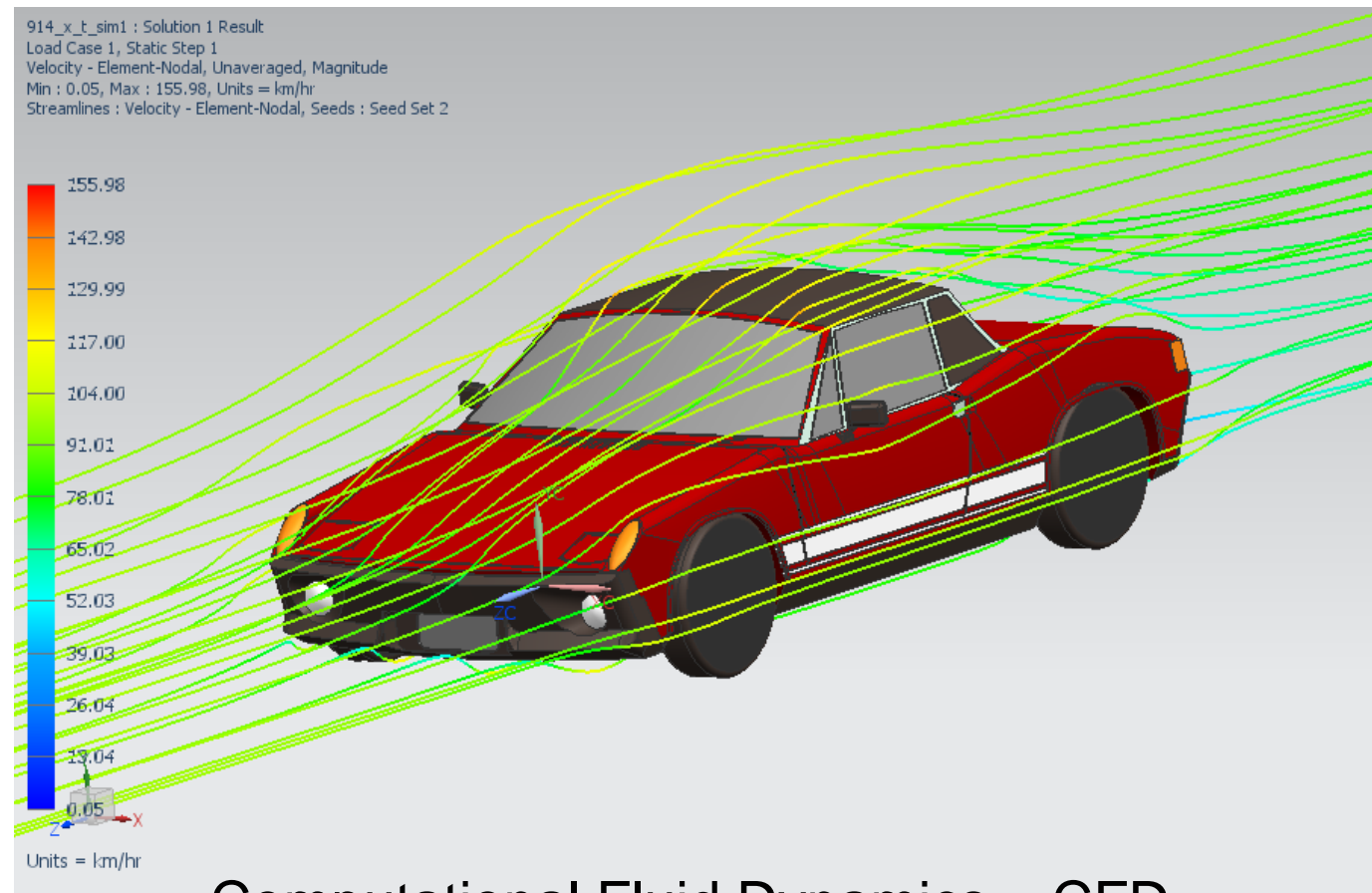


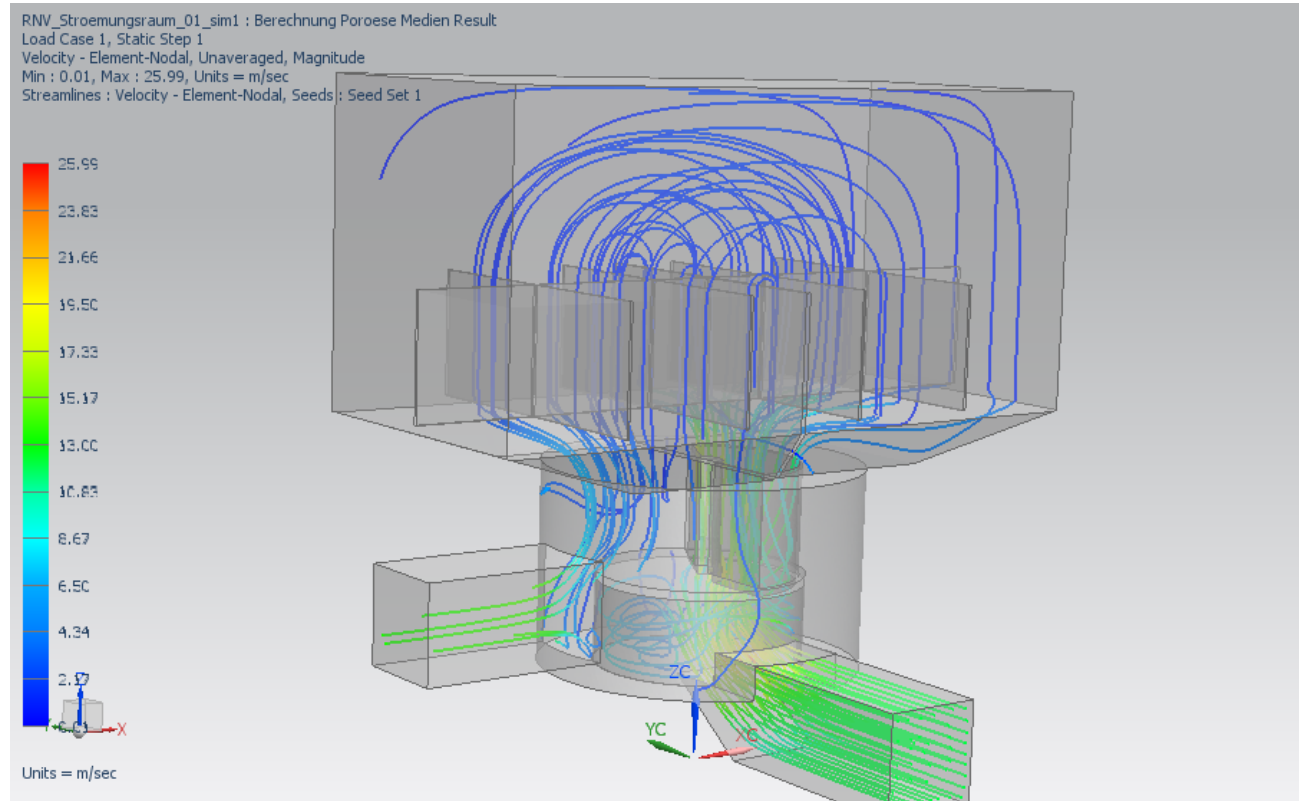
- Numerische Strömungsberechnungen mit NX – Herausforderungen und Lösungen bei Durchströmungs- und Umströmungs-Vorgängen

Prof. Dr.-Ing. Alexander Steinmann  
Dr. Binde Ingenieure  
Design & Engineering GmbH  
Tel. 0173 232 78 11  
Alexander.Steinmann@drbinde.de



## Computational Fluid Dynamics – CFD

- Strömungsmechanik: Physikalische Grundlagen und deren Umsetzung in NX
- Mathematik: Numerische Berechnungen und deren Umsetzung in NX
- Arbeitsschritte bei numerischen Strömungsberechnungen
- Durchströmungsberechnungen
  - Krümmerströmung
  - Frischluftaufbereitung
  - Hydraulikventil
- Umströmungsberechnungen
  - Gebäudeaerodynamik
  - Fahrzeugaerodynamik
- Zusammenfassung und Fazit



- **Strömungsmechanik: Physikalische Grundlagen und deren Umsetzung in NX**
- Mathematik: Numerische Berechnungen und deren Umsetzung in NX
- Arbeitsschritte bei numerischen Strömungsberechnungen
  
- Durchströmungsberechnungen
  - Krümmerströmung
  - Frischluftaufbereitung
  - Hydraulikventil
- Umströmungsberechnungen
  - Gebäudeaerodynamik
  - Fahrzeugaerodynamik
  
- Zusammenfassung und Fazit

# Impulserhaltung – Navier-Stokes-Bewegungsgleichung

- Die Bewegungsgleichung beschreibt das vollständige Kräftegleichgewicht (Impulserhaltung) in einem Strömungsfeld. Für ein inkompressibles Newton-Fluid lautet sie in Vektorform:

$$\underbrace{\frac{d\underline{v}}{dt}}_{\substack{\text{Trägheitskraft / Masse} \\ \text{aufgrund substanztieller} \\ \text{Beschleunigung}}} = \underbrace{\frac{\partial \underline{v}}{\partial t}}_{\substack{\text{Trägheitskraft / Masse} \\ \text{aufgrund lokaler} \\ \text{Beschleunigung}}} + \underbrace{(\underline{v} \cdot \nabla) \underline{v}}_{\substack{\text{Trägheitskraft / Masse} \\ \text{aufgrund konvektiver} \\ \text{Beschleunigung}}} = \underbrace{\underline{f}}_{\text{Feldkraft / Masse}} - \underbrace{\frac{1}{\rho} \nabla p}_{\text{Druckkraft / Masse}} + \underbrace{\nu \Delta \underline{v}}_{\text{Reibungskraft / Masse}}$$

- Diese grundlegende Gleichung heißt auch Navier-Stokes-Bewegungsgleichung.
- Diese partielle Differentialgleichung ist nichtlinear und äußerst kleinskalig in Raum und Zeit.
- Vektorgleichung führt im Raum auf drei zu lösenden Gleichungen für die drei Strömungsgeschwindigkeitskomponenten.

=> Deutlich komplexer als Strukturmechanik

# Massenerhaltung und Energieerhaltung

- Neben der Impulserhaltung werden auch Massenerhaltung und Energieerhaltung benötigt, um Strömungen zu berechnen.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \cdot \underline{v}) = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \cdot v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \cdot v_z)}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla(h \cdot \underline{v}) = \lambda \Delta T = \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(h \cdot v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(h \cdot v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(h \cdot v_z)}{\partial z} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

- Diese beiden Erhaltungsgleichungen (partielle Differentialgleichungen) sind linear und von skalaren Größen (zwei zu lösende Gleichungen).

# Impulserhaltung turbulent – Reynolds-Bewegungsgleichung

- Bei turbulenten Strömungen, die ca. 95% der in der Strömungstechnik vorkommenden Strömungen ausmachen, wird eine sog. Reynolds-Mittelung der Navier-Stokes-Bewegungsgleichung (RANSE) vorgenommen (bei kompressiblen Strömungen Favré-Mittelung); mit der mittleren Strömungsgeschwindigkeit und dem mittleren Druck folgt dann die Reynolds-Bewegungsgleichung:

$$\frac{\partial \underline{\bar{v}}}{\partial t} + (\underline{\bar{v}} \cdot \underline{\nabla}) \underline{\bar{v}} = \underline{f} - \frac{1}{\rho} \underline{\nabla} \bar{p} + \nu \Delta \underline{\bar{v}} + \underline{Z}$$

- Das Zusatzglied  $\underline{Z}$  repräsentiert die Reynolds-Zusatz-Scheinspannung, die als zusätzliche Viskosität aufgrund der Turbulenz zu interpretieren ist.
- Eine Auflösung der turbulenten Strukturen durch die sog. „Direkte Numerische Simulation – DNS“ stellt Anforderungen an die Hardware, die selbst in Forschungsprojekten kaum zu realisieren ist.
- Auch Mittelwege durch Auflösung der Turbulenz-Grobstrukturen durch die sog. „Large Eddy Simulation – LES“ sind im industriellen Umfeld kaum möglich aufgrund der Hardwareanforderungen.

# Turbulenzmodelle

# Prinzip der CFD

- Alle sieben genannten Erhaltungsgleichungen lassen sich umschreiben in die Form der allgemeinen Transportgleichung:

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi)}_{\text{Zeitl. Änderungsrate}} + \underbrace{v_j \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\Phi)}_{\text{Konvektiver Transport}} = \underbrace{\Gamma_\Phi \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x_j^2}}_{\text{Diffusiver Transport}} + \underbrace{S_\Phi}_{\text{Pr oduktion}}$$

Zeitl. Änderungsrate
Konvektiver Transport
Diffusiver Transport
Pr oduktion

Zeitterm
Konvektionsterm
Diffusionsterm
Quellterm

- Es handelt sich um Flussgrößen.
- Die Auswahl der Diskretisierungsmethode wird von den Größen bestimmt.



# Diskretisierungsmethode

# Zwischenfazit

- Strömungsmechanik: Physikalische Grundlagen und deren Umsetzung in NX
- **Mathematik: Numerische Berechnungen und deren Umsetzung in NX**
- Arbeitsschritte bei numerischen Strömungsberechnungen
  
- Durchströmungsberechnungen
  - Krümmerströmung
  - Frischluftaufbereitung
  - Hydraulikventil
- Umströmungsberechnungen
  - Gebäudeaerodynamik
  - Fahrzeugaerodynamik
  
- Zusammenfassung und Fazit



# Gleichungssysteme und Lösungsverfahren

# Lösungsverfahren

# Zwischenfazit

- Strömungsmechanik: Physikalische Grundlagen und deren Umsetzung in NX
- Mathematik: Numerische Berechnungen und deren Umsetzung in NX
- **Arbeitsschritte bei numerischen Strömungsberechnungen**
  
- Durchströmungsberechnungen
  - Krümmerströmung
  - Frischluftaufbereitung
  - Hydraulikventil
- Umströmungsberechnungen
  - Gebäudeaerodynamik
  - Fahrzeugaerodynamik
  
- Zusammenfassung und Fazit



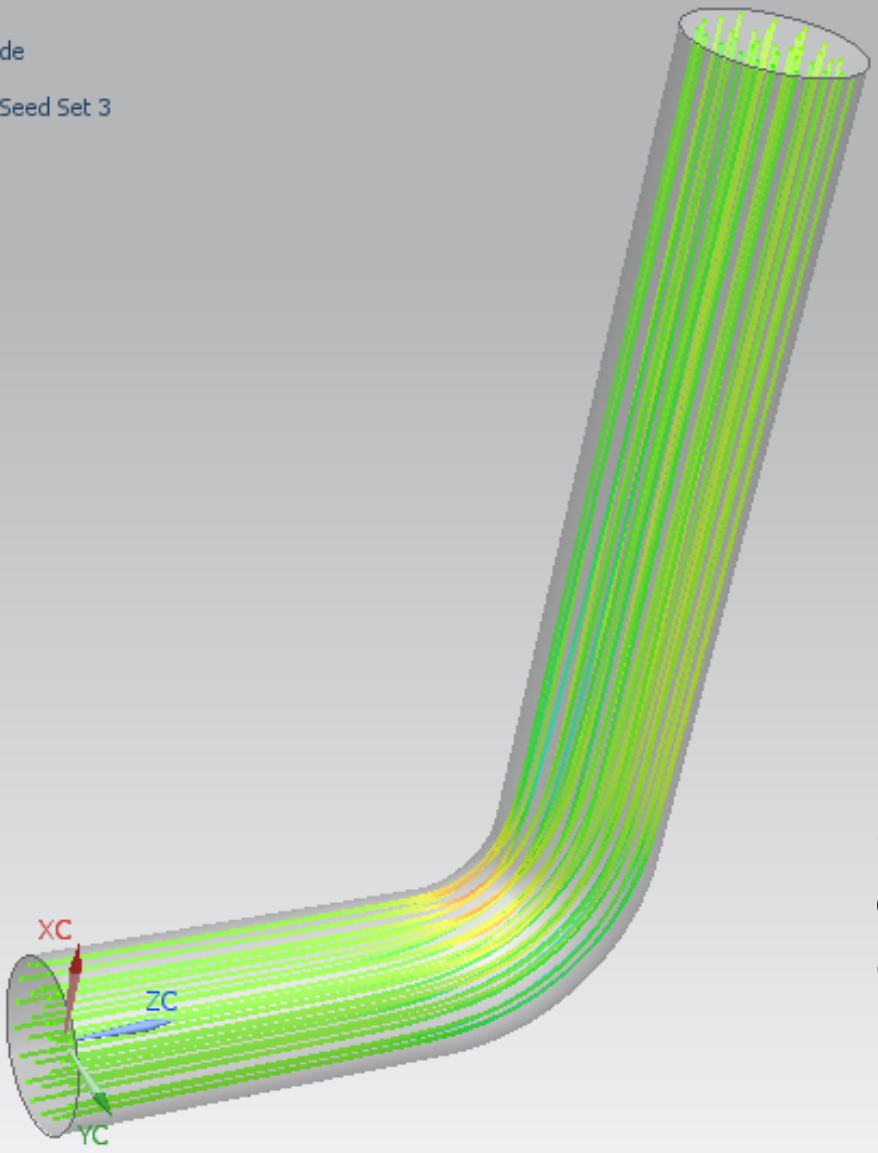
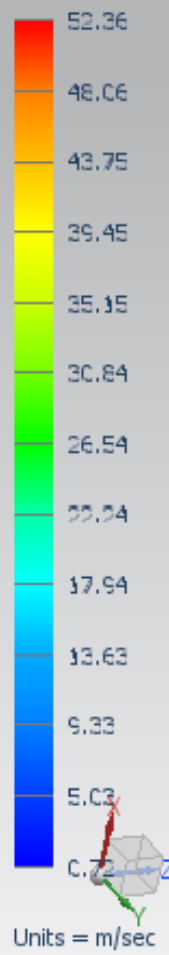
## Fünf Arbeitsschritte bei numerischen Strömungsberechnung

- Geometrieaufbereitung → Strukturnegativ
- Gittergenerierung → Wandauflösung und Qualitätsrichtlinien
- Pre-Processing → Physik und Mathematik
- Solving → Zeit
- Post-Processing → Erstellen der „bunten Bilder“, Interpretation der Ergebnisse und Umsetzung in Maschinen und Anlagen

- Strömungsmechanik: Physikalische Grundlagen und deren Umsetzung in NX
- Mathematik: Numerische Berechnungen und deren Umsetzung in NX
- Arbeitsschritte bei numerischen Strömungsberechnungen
  
- **Durchströmungsberechnungen**
  - Krümmerströmung
  - Frischluftaufbereitung
  - Hydraulikventil
- **Umströmungsberechnungen**
  - Gebäudeaerodynamik
  - Fahrzeugaerodynamik
  
- Zusammenfassung und Fazit

# Durchströmungsberechnung - Krümmerströmung

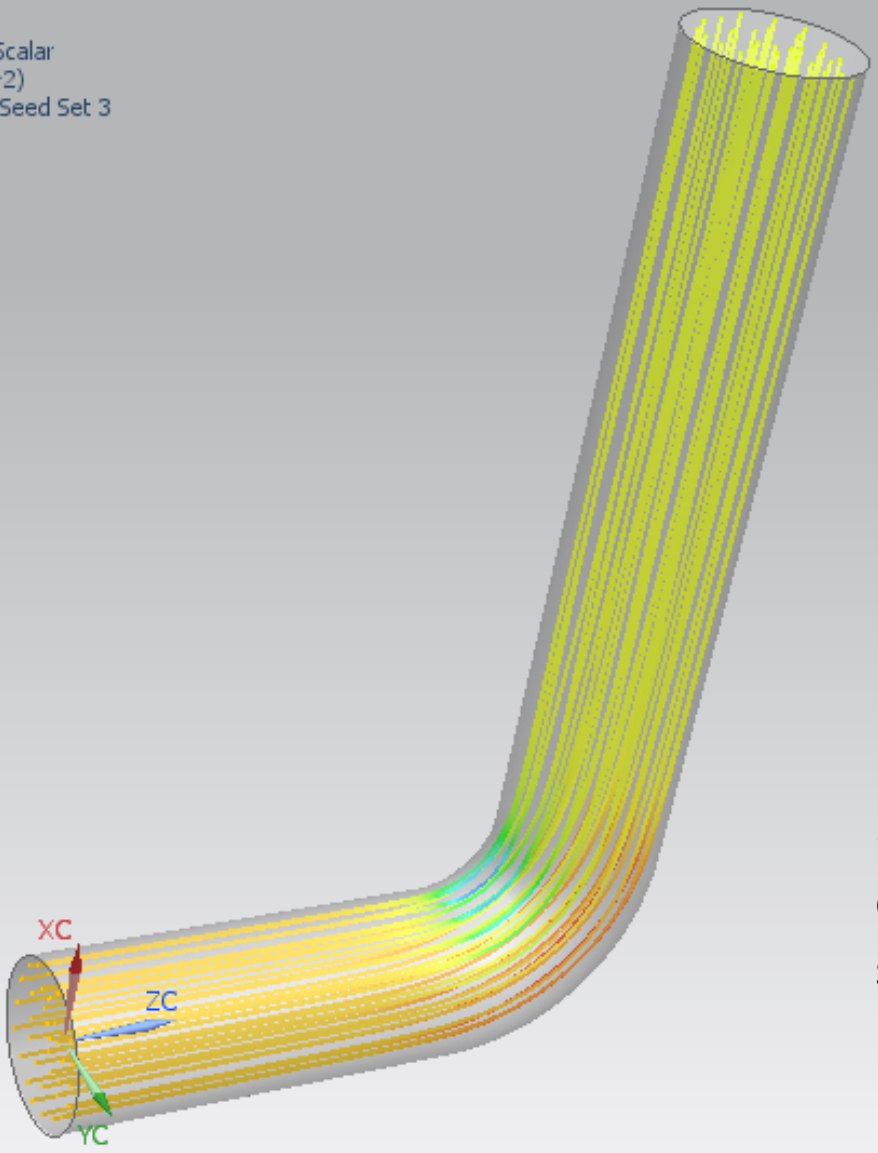
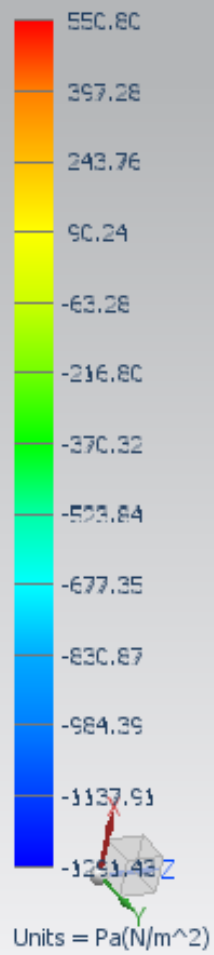
Bend75\_x\_t\_sim1 : Solution Result  
Load Case 1, Static Step 1  
Velocity - Element-Nodal, Unaveraged, Magnitude  
Min : 0.72, Max : 52.36, Units = m/sec  
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 3



Stromlinien  
eingefärbt mit  
Geschwindigkeit

# Durchströmungsberechnung - Krümmerströmung

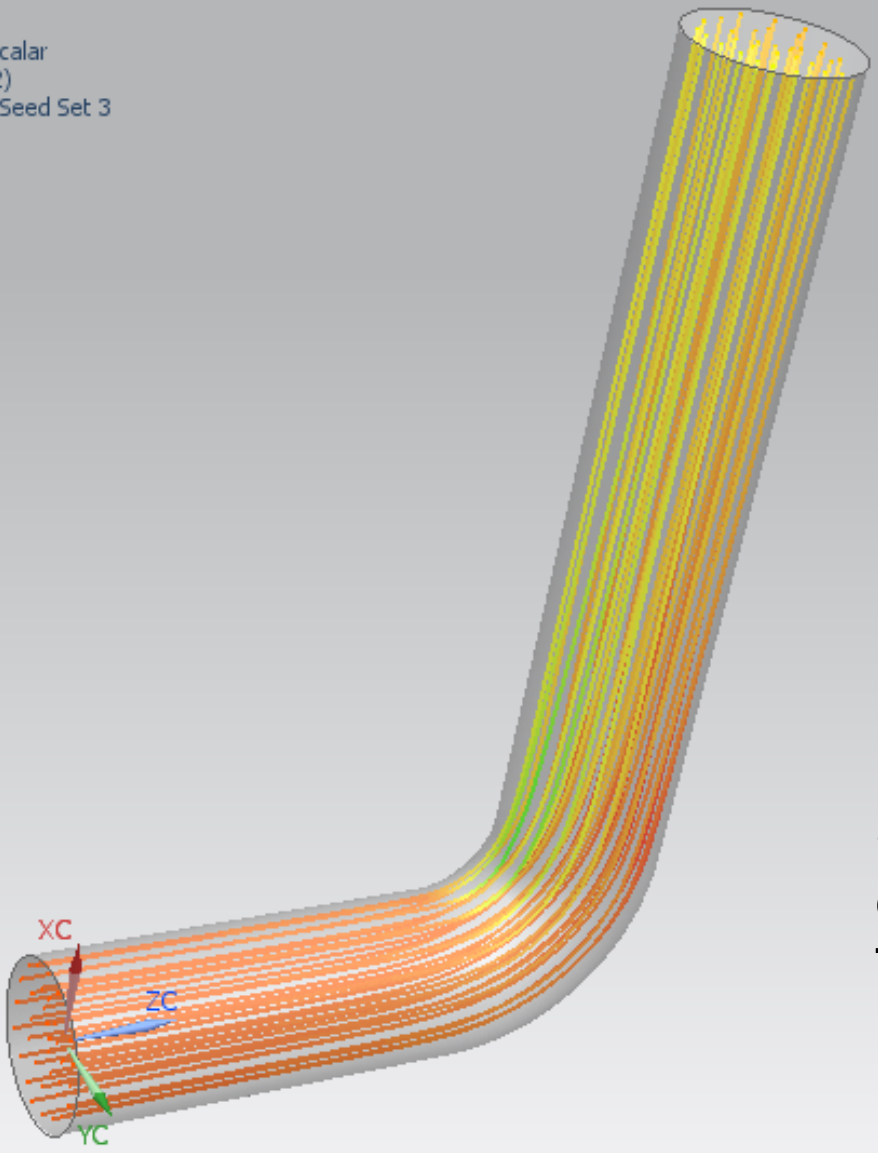
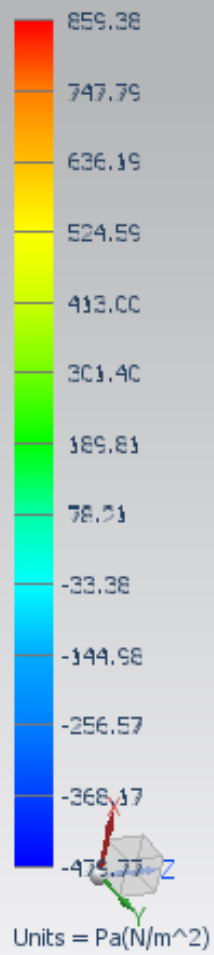
Bend75\_x\_t\_sim1 : Solution Result  
Load Case 1, Static Step 1  
Static Pressure - Element-Nodal, Unaveraged, Scalar  
Min : -1291.43, Max : 550.80, Units = Pa(N/m^2)  
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 3



Stromlinien  
eingefärbt mit  
statischen Druck

# Durchströmungsberechnung - Krümmerströmung

Bend75\_x\_t\_sim1 : Solution Result  
Load Case 1, Static Step 1  
Total Pressure - Element-Nodal, Unaveraged, Scalar  
Min : -479.77, Max : 859.38, Units = Pa(N/m^2)  
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 3



Stromlinien  
eingefärbt mit  
Totaldruck

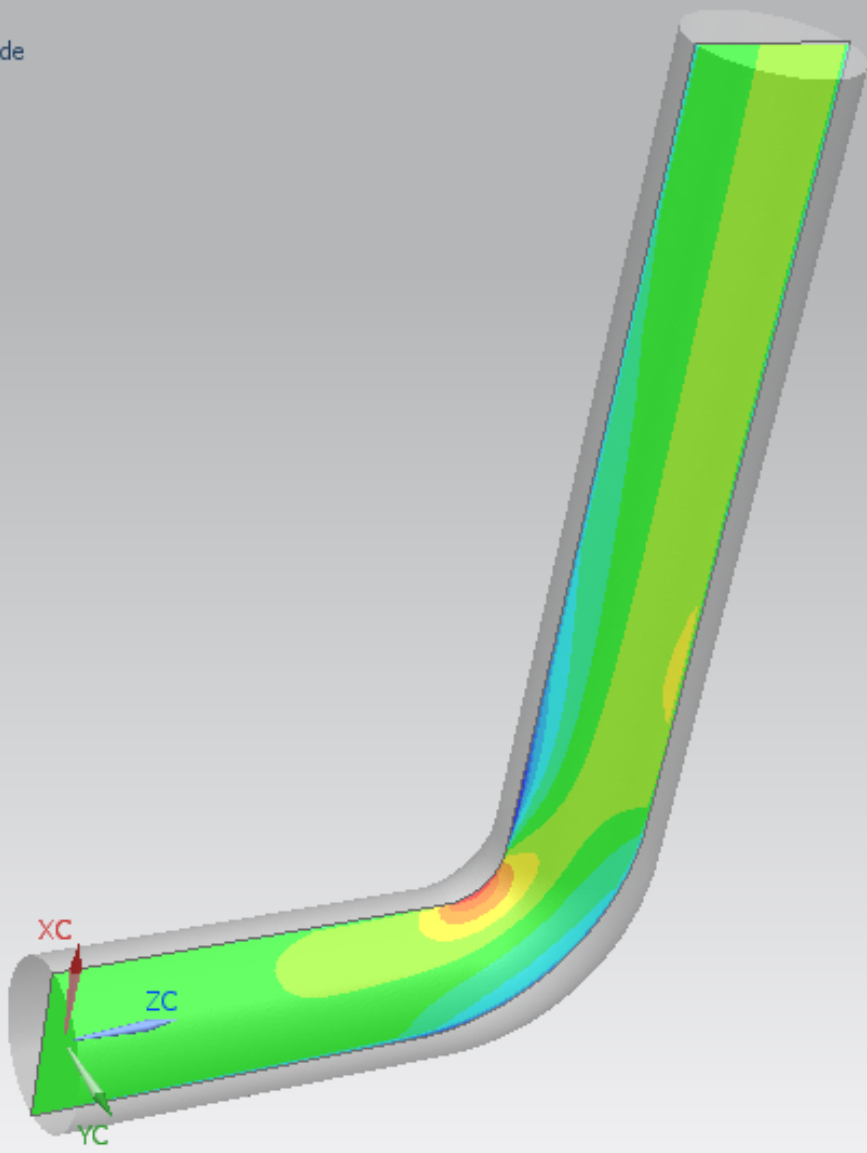
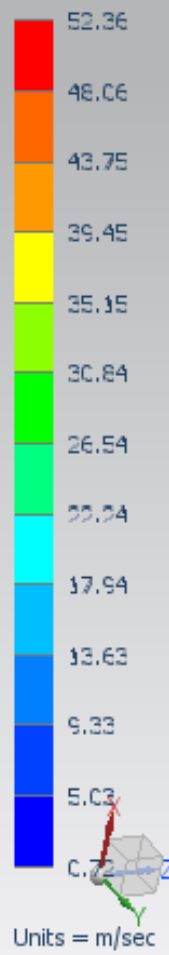
# Durchströmungsberechnung - Krümmerströmung

Stromlinien

Animation

# Durchströmungsberechnung - Krümmerströmung

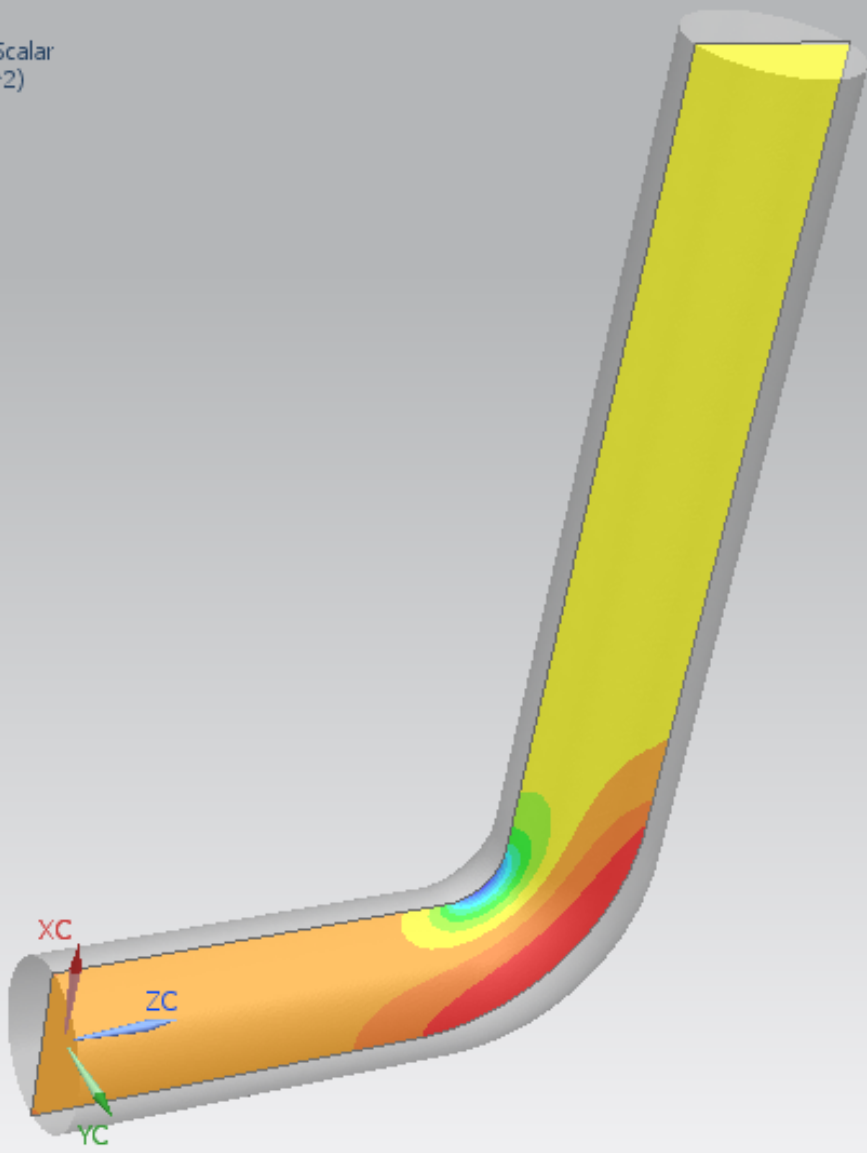
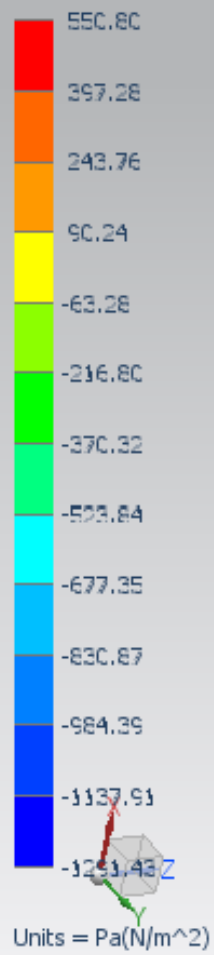
Bend75\_x\_t\_sim1 : Solution Result  
Load Case 1, Static Step 1  
Velocity - Element-Nodal, Unaveraged, Magnitude  
Min : 0.72, Max : 52.36, Units = m/sec



Geschwindigkeit  
→ Ablösung

# Durchströmungsberechnung - Krümmerströmung

Bend75\_x\_t\_sim1 : Solution Result  
Load Case 1, Static Step 1  
Static Pressure - Element-Nodal, Unaveraged, Scalar  
Min : -1291.43, Max : 550.80, Units = Pa(N/m^2)

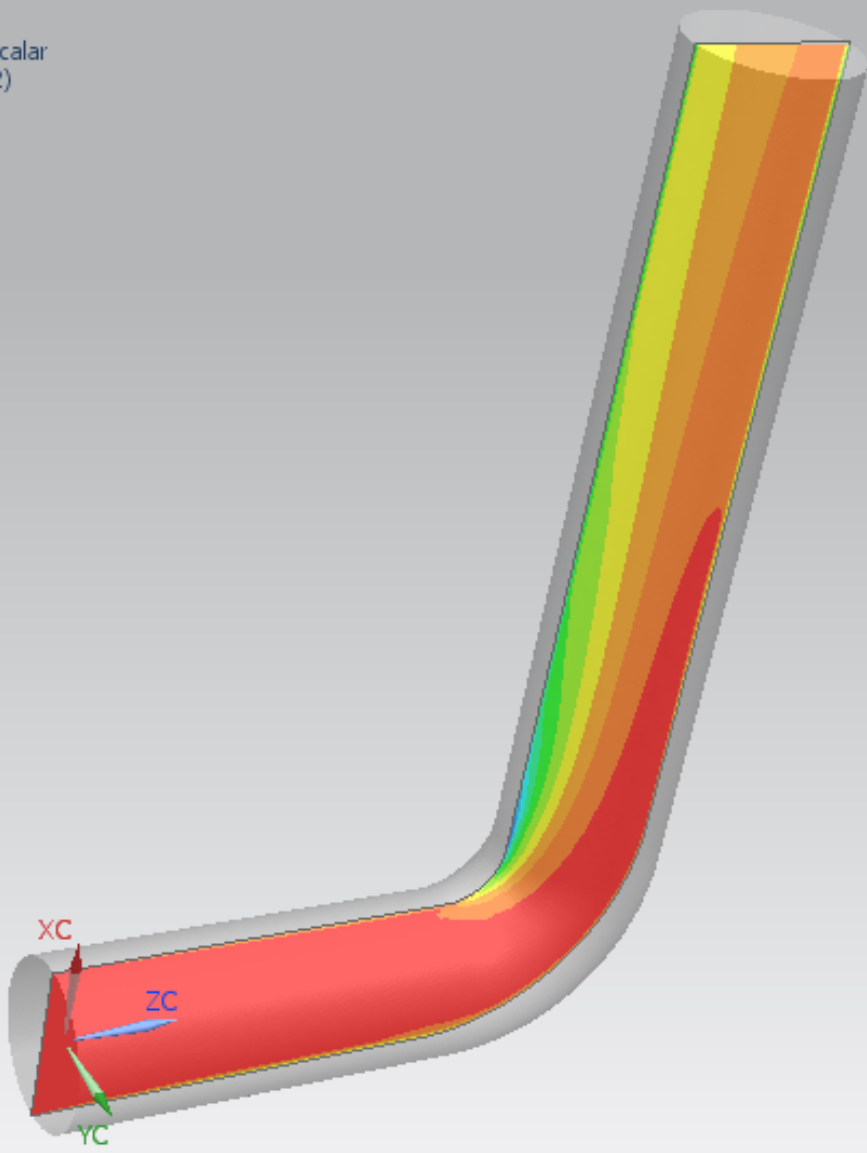
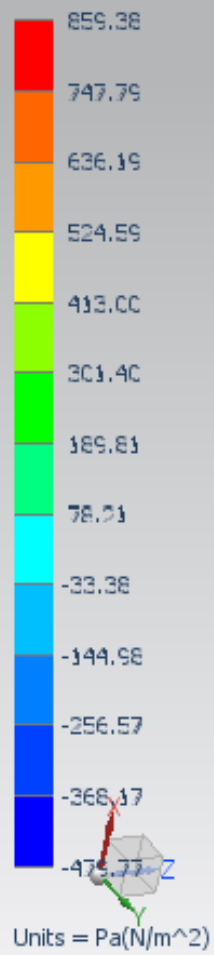


Statischer Druck  
→ Radiale  
Druckverteilung



# Durchströmungsberechnung - Krümmerströmung

Bend75\_x\_t\_sim1 : Solution Result  
Load Case 1, Static Step 1  
Total Pressure - Element-Nodal, Unaveraged, Scalar  
Min : -479.77, Max : 859.38, Units = Pa(N/m^2)



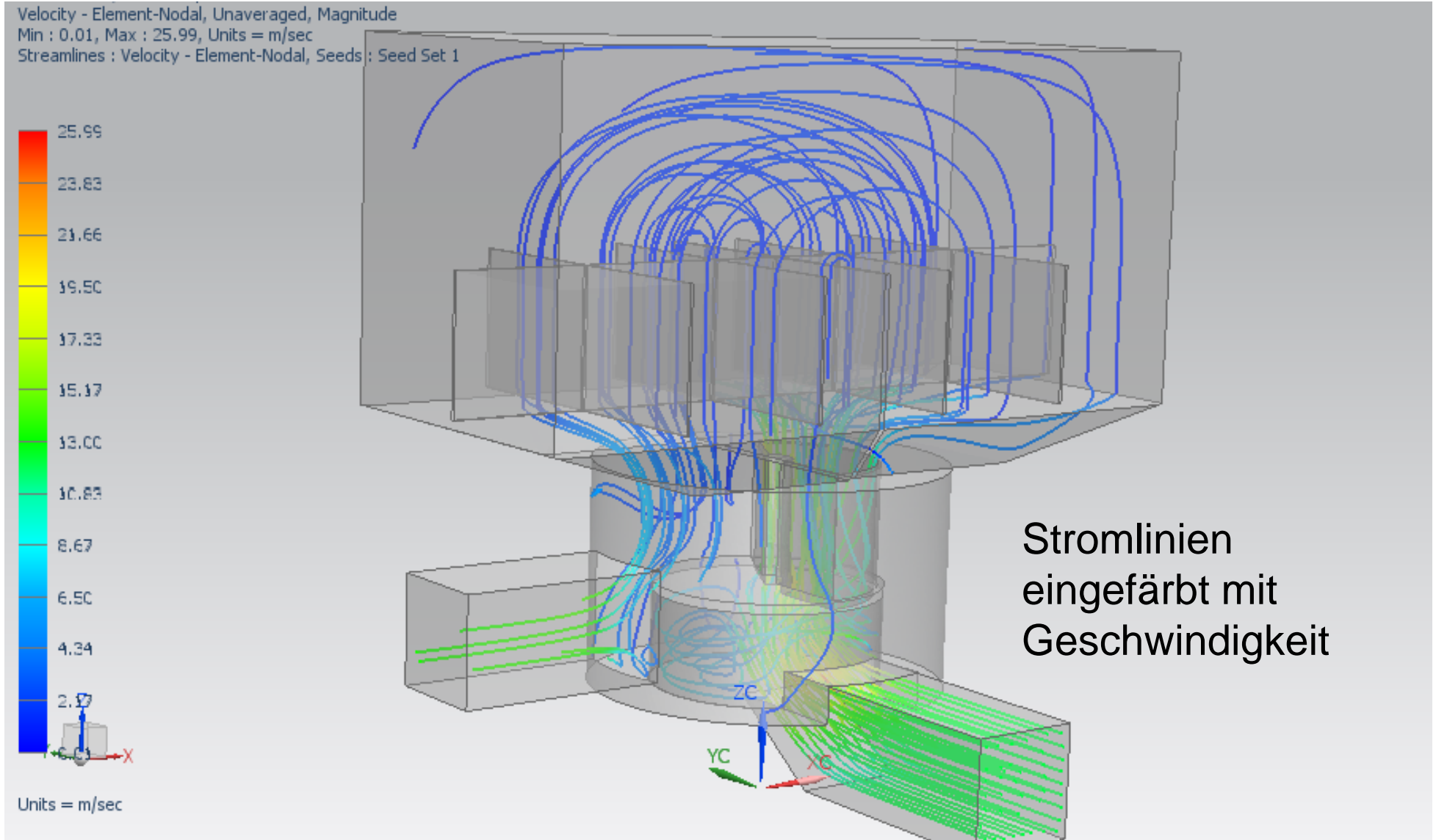
Totaldruck  
→ Verluste

$$\zeta_k = \frac{2 \cdot (p_{tot.1} - p_{tot.2})}{\rho \cdot v_{vol}^2}$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot D \cdot (p_1 - p_2)}{\rho \cdot L \cdot v_{vol}^2}$$

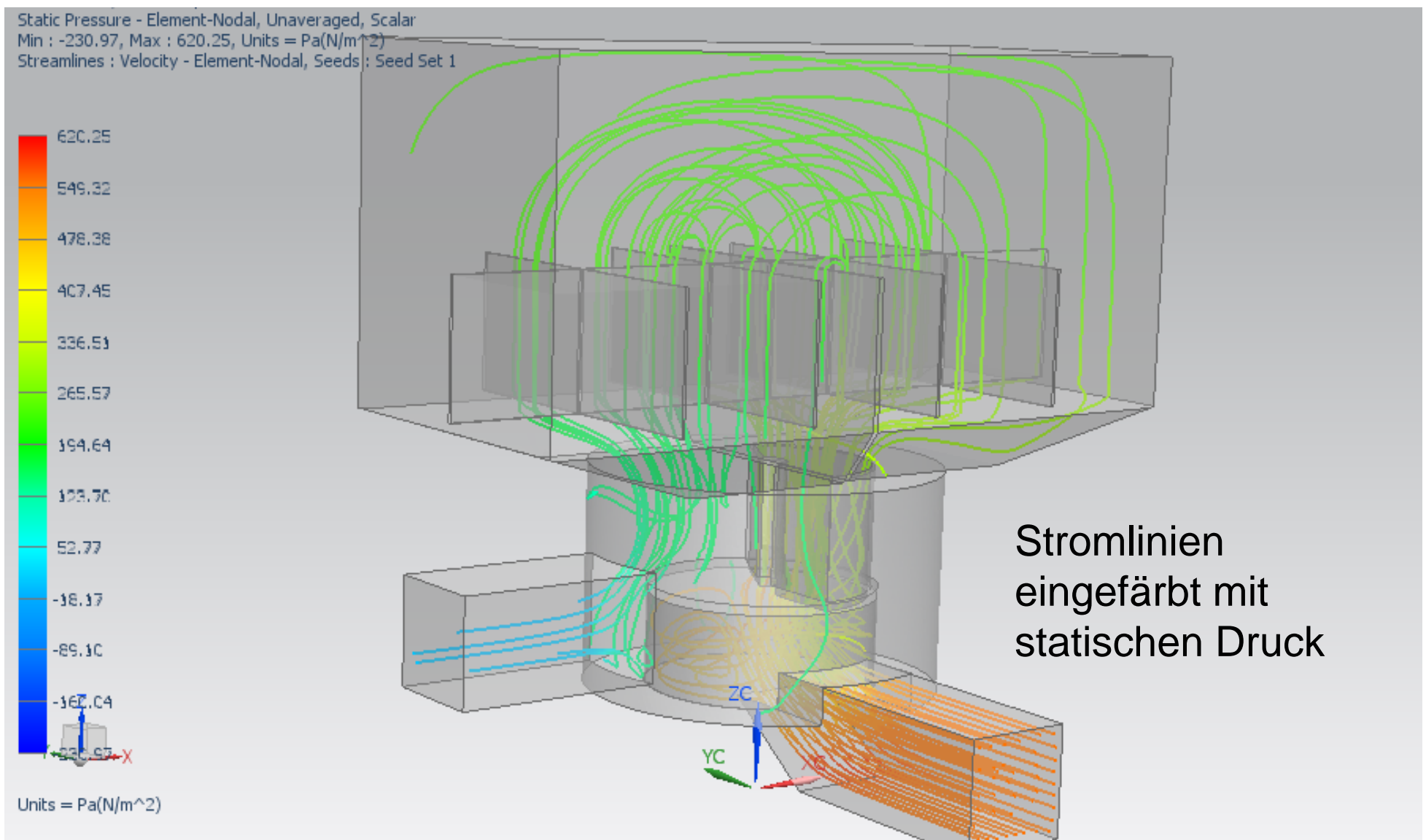
- Strömungsmechanik: Physikalische Grundlagen und deren Umsetzung in NX
- Mathematik: Numerische Berechnungen und deren Umsetzung in NX
- Arbeitsschritte bei numerischen Strömungsberechnungen
  
- **Durchströmungsberechnungen**
  - Krümmerströmung
  - **Frischluftaufbereitung**
  - Hydraulikventil
- Umströmungsberechnungen
  - Gebäudeaerodynamik
  - Fahrzeugaerodynamik
  
- Zusammenfassung und Fazit

# Durchströmungsberechnung - Frischluftaufbereitung



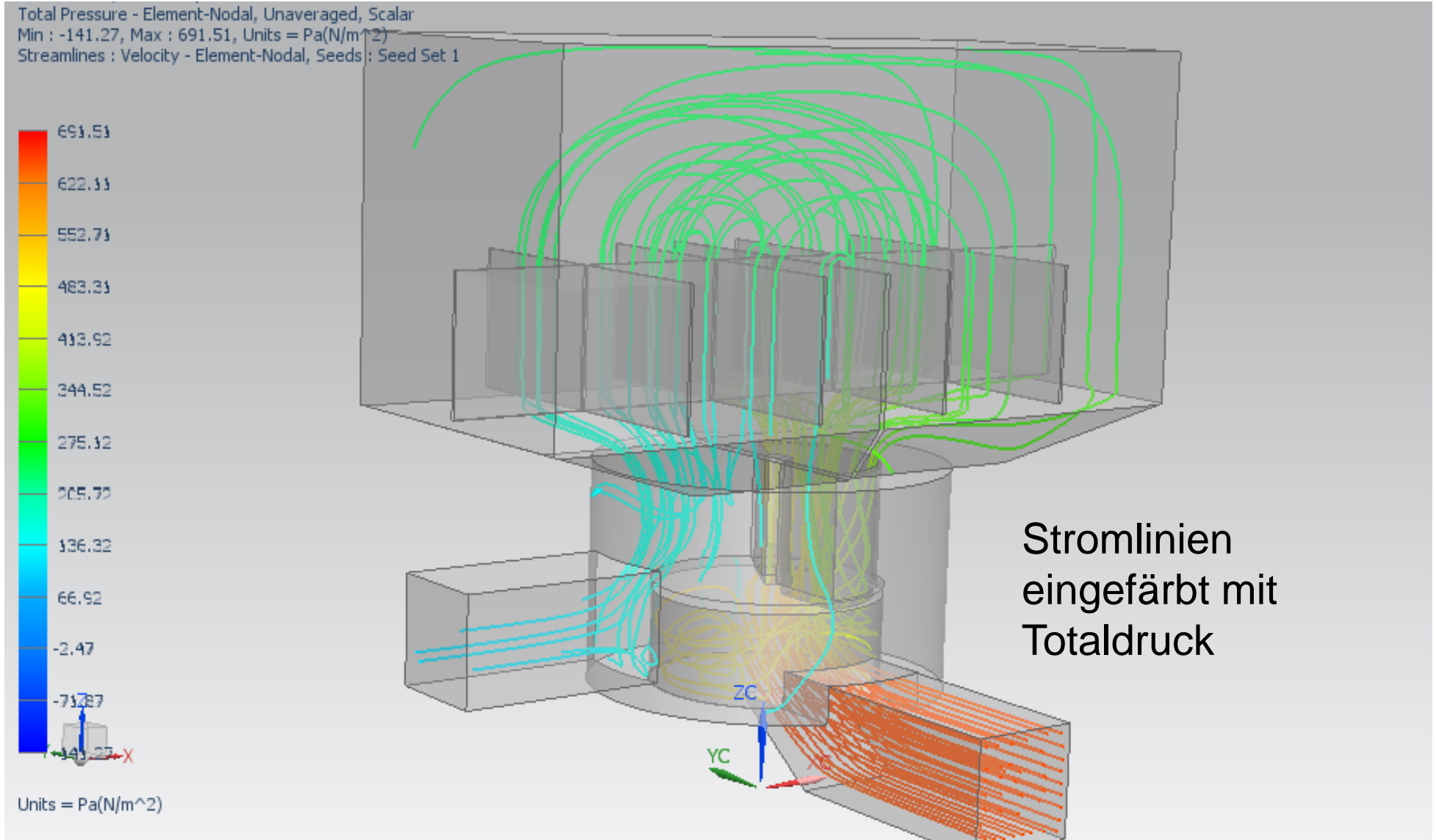
© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH: alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

# Durchströmungsberechnung - Frischluftaufbereitung



© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH: alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

# Durchströmungsberechnung - Frischluftaufbereitung

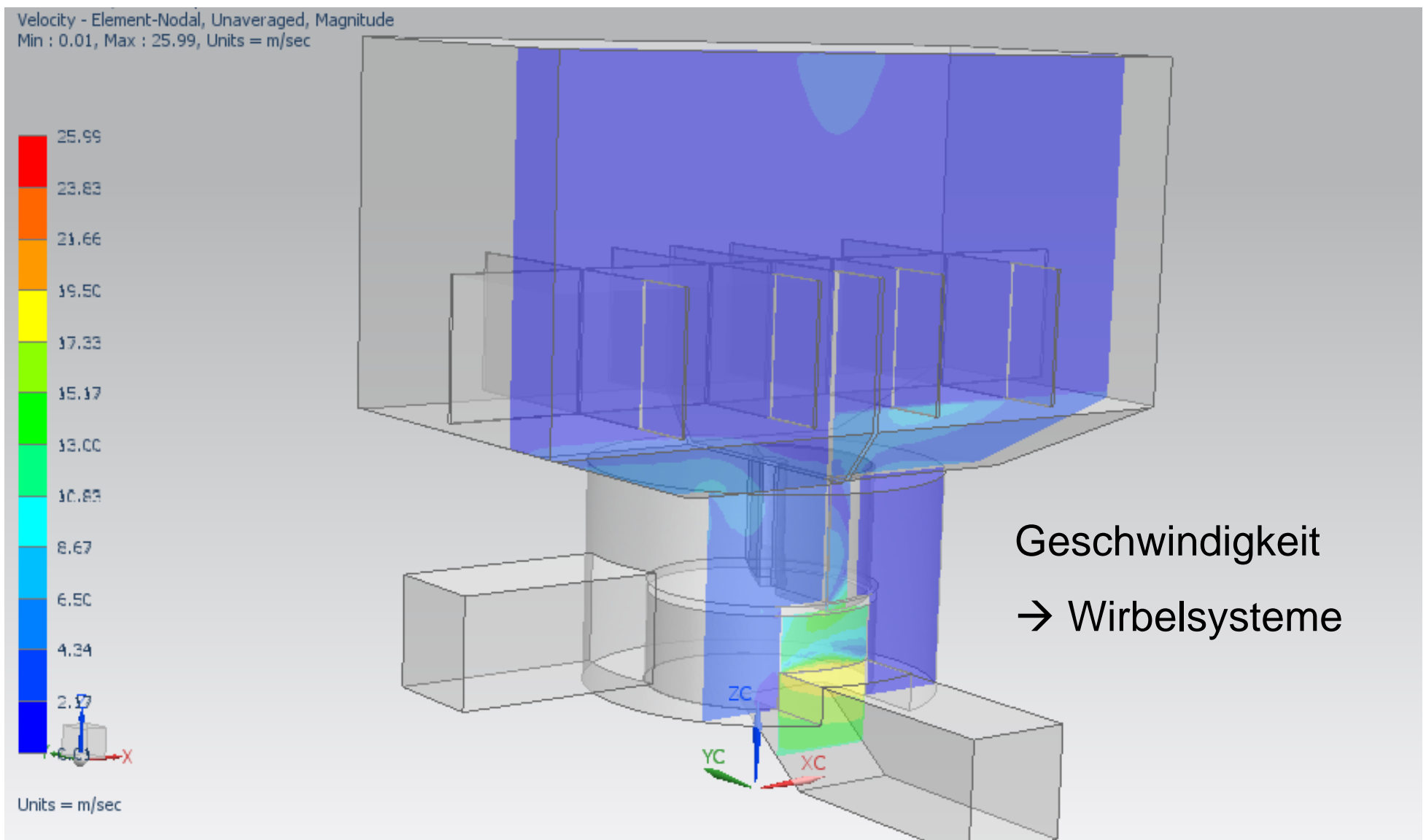


© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH: alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

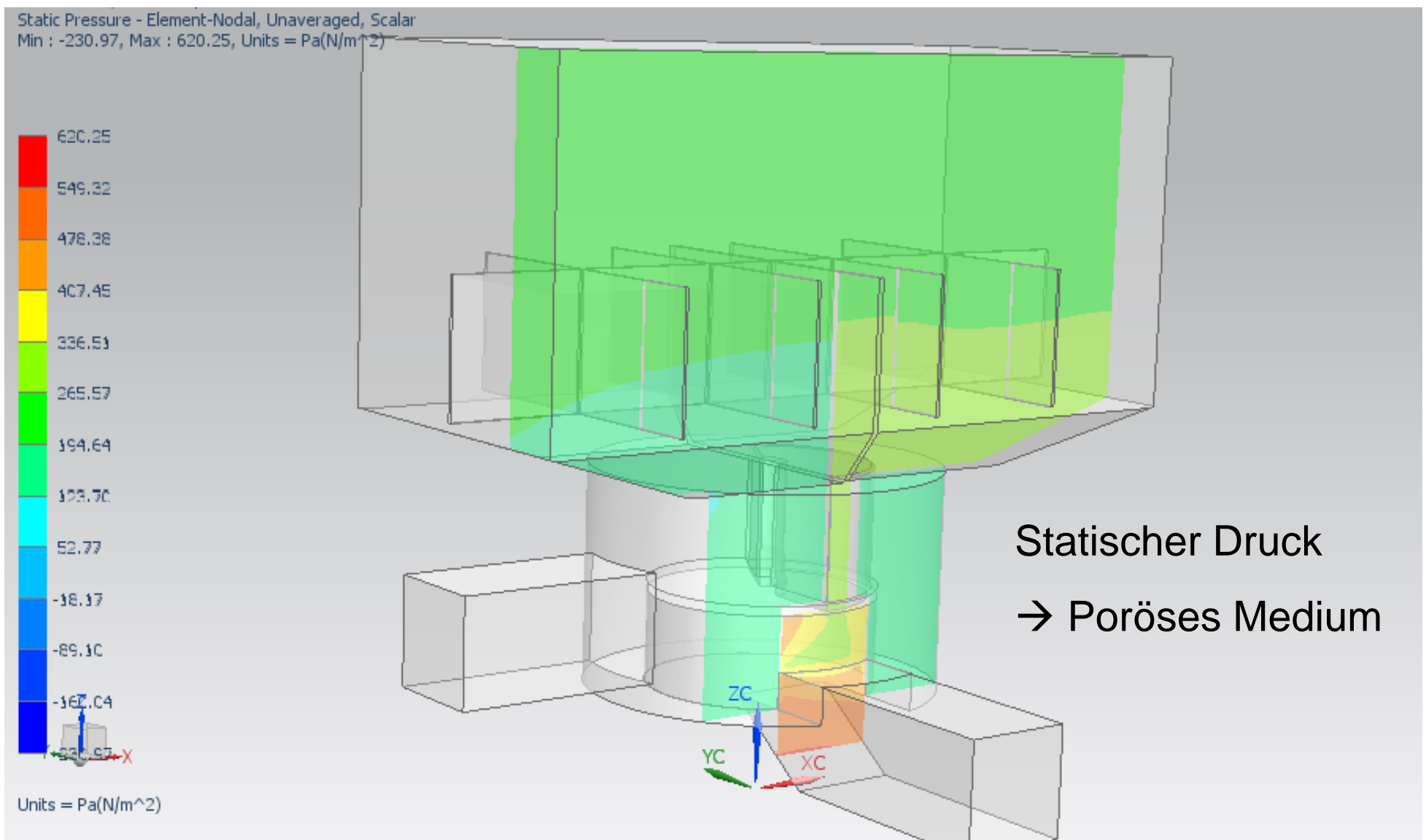
Stromlinien

Animation

# Durchströmungsberechnung - Krümmerströmung

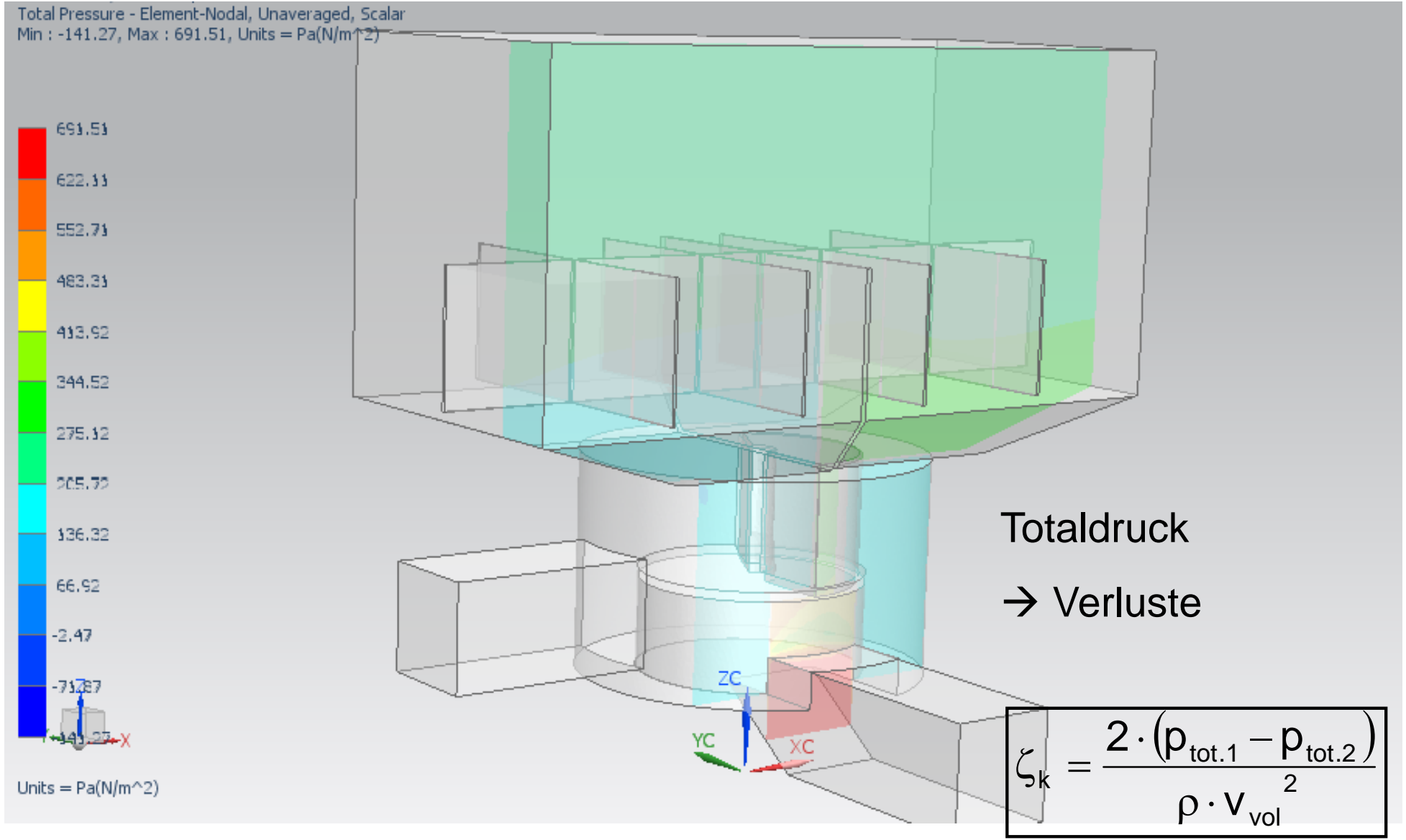


# Durchströmungsberechnung - Frischluftaufbereitung





# Durchströmungsberechnung - Frischluftaufbereitung

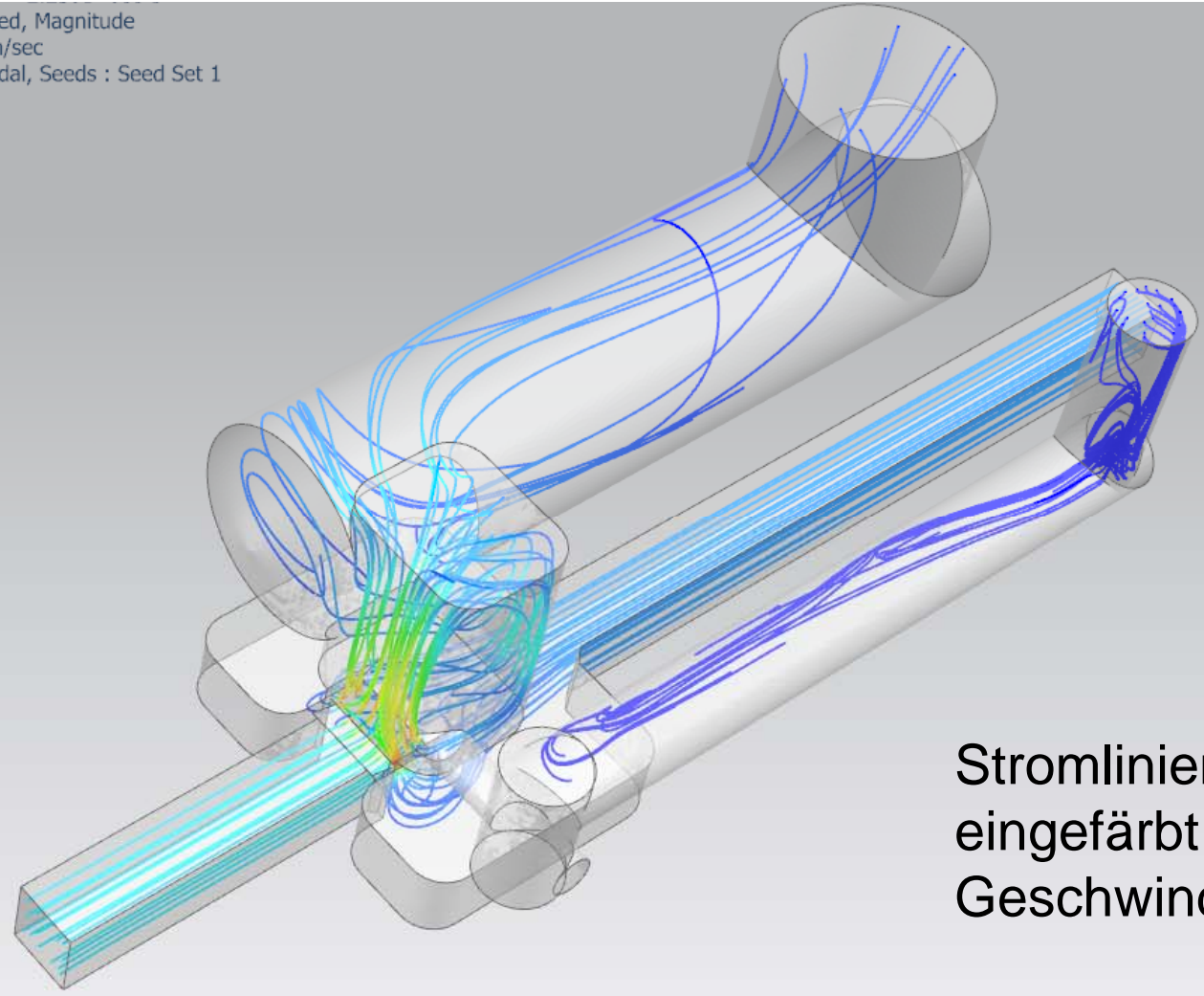
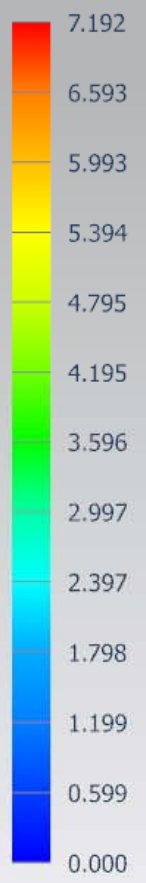


© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH: alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

- Strömungsmechanik: Physikalische Grundlagen und deren Umsetzung in NX
- Mathematik: Numerische Berechnungen und deren Umsetzung in NX
- Arbeitsschritte bei numerischen Strömungsberechnungen
  
- **Durchströmungsberechnungen**
  - Krümmerströmung
  - Frischluftaufbereitung
  - Hydraulikventil
- Umströmungsberechnungen
  - Gebäudeaerodynamik
  - Fahrzeugaerodynamik
  
- Zusammenfassung und Fazit

# Durchströmungsberechnung - Hydraulikventil

Velocity - Element-Nodal, Unaveraged, Magnitude  
Min : 0.000, Max : 7.192, Units = m/sec  
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 1

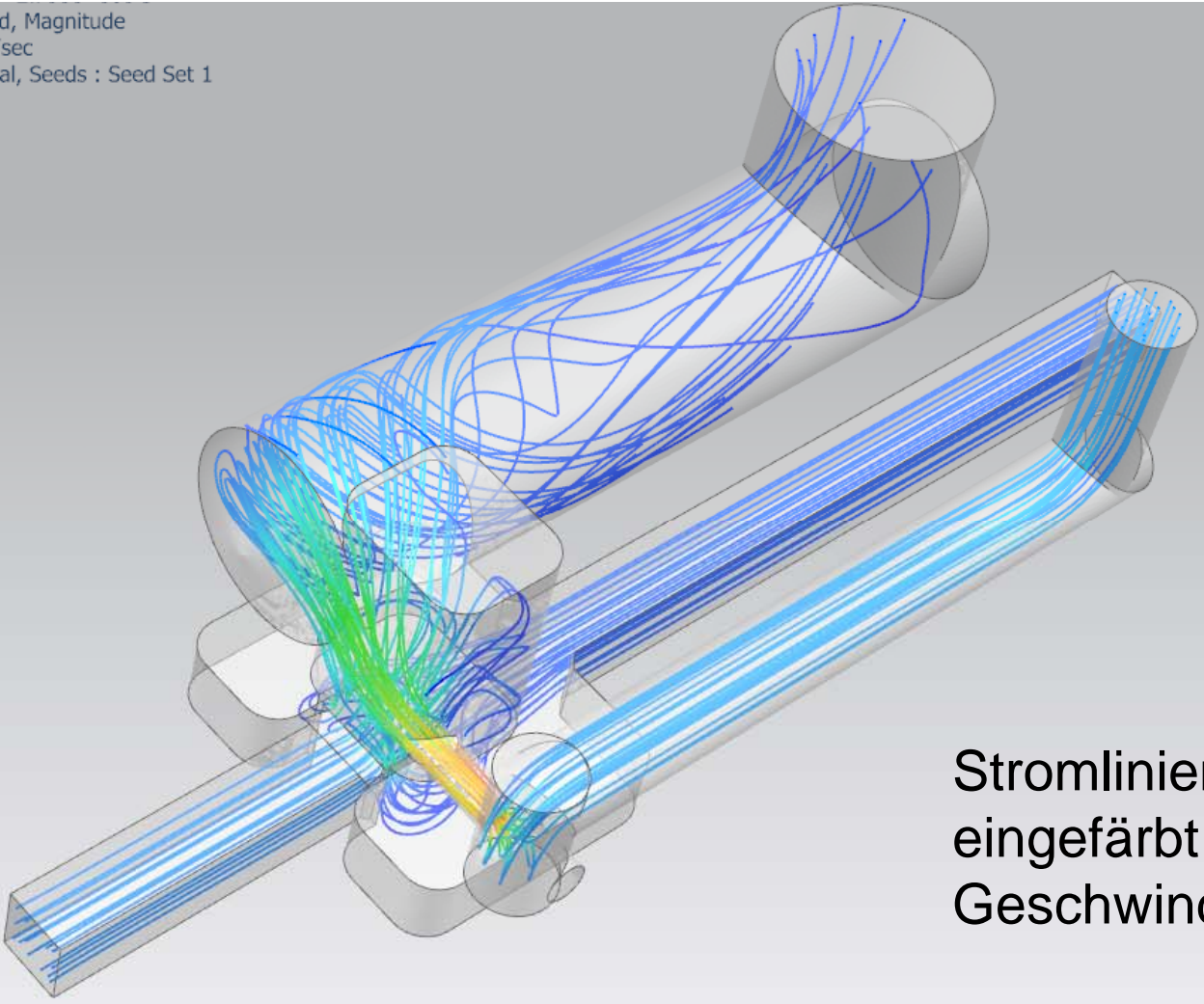
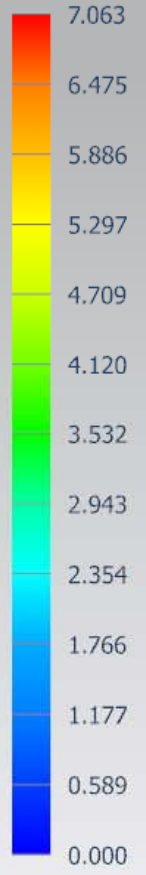


Stromlinien  
eingefärbt mit  
Geschwindigkeit

Units = m/sec

# Durchströmungsberechnung - Hydraulikventil

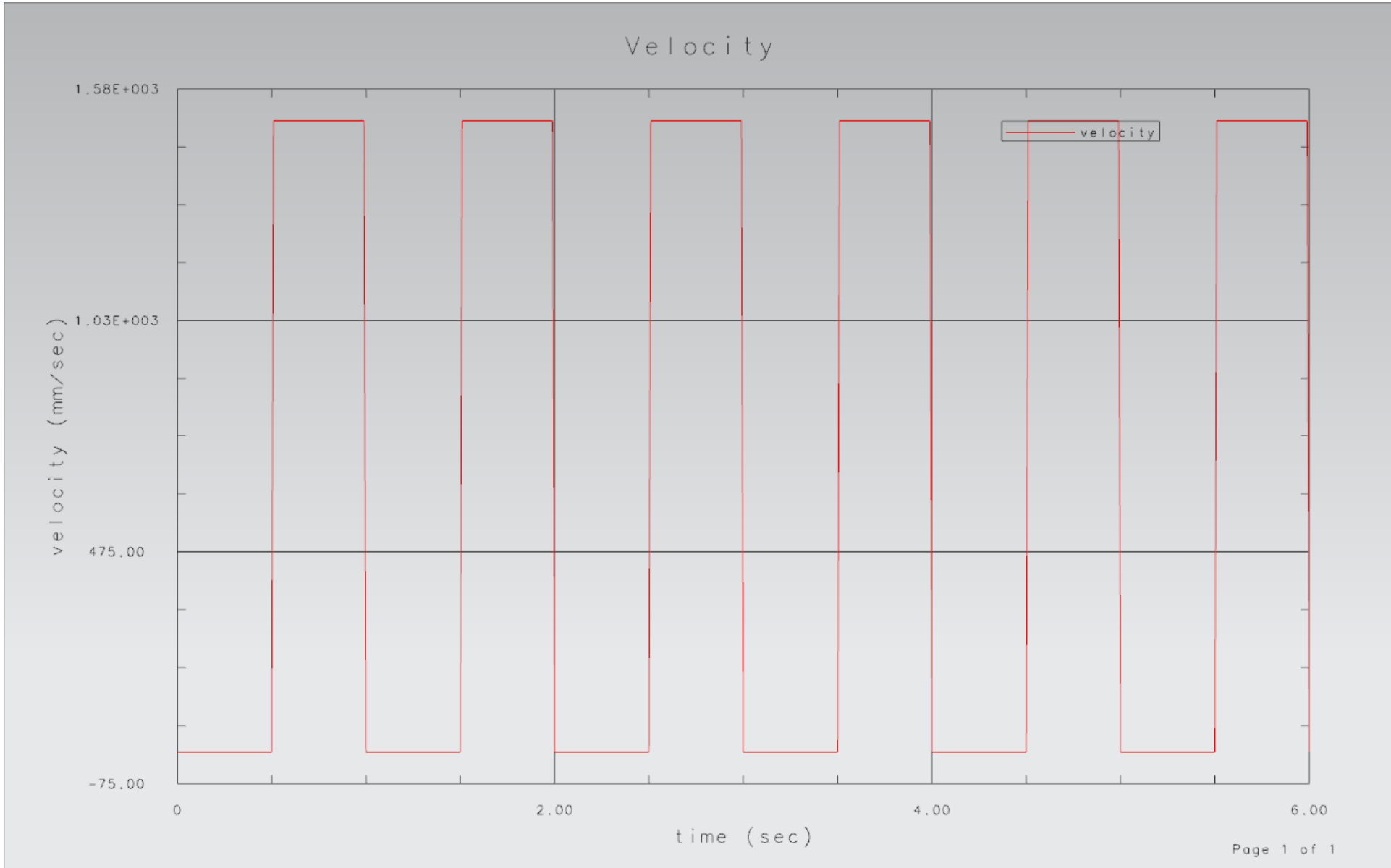
Velocity - Element-Nodal, Unaveraged, Magnitude  
Min : 0.000, Max : 7.063, Units = m/sec  
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 1



Stromlinien  
eingefärbt mit  
Geschwindigkeit

Units = m/sec

# Durchströmungsberechnung - Hydraulikventil



Geschwindigkeit

Animation

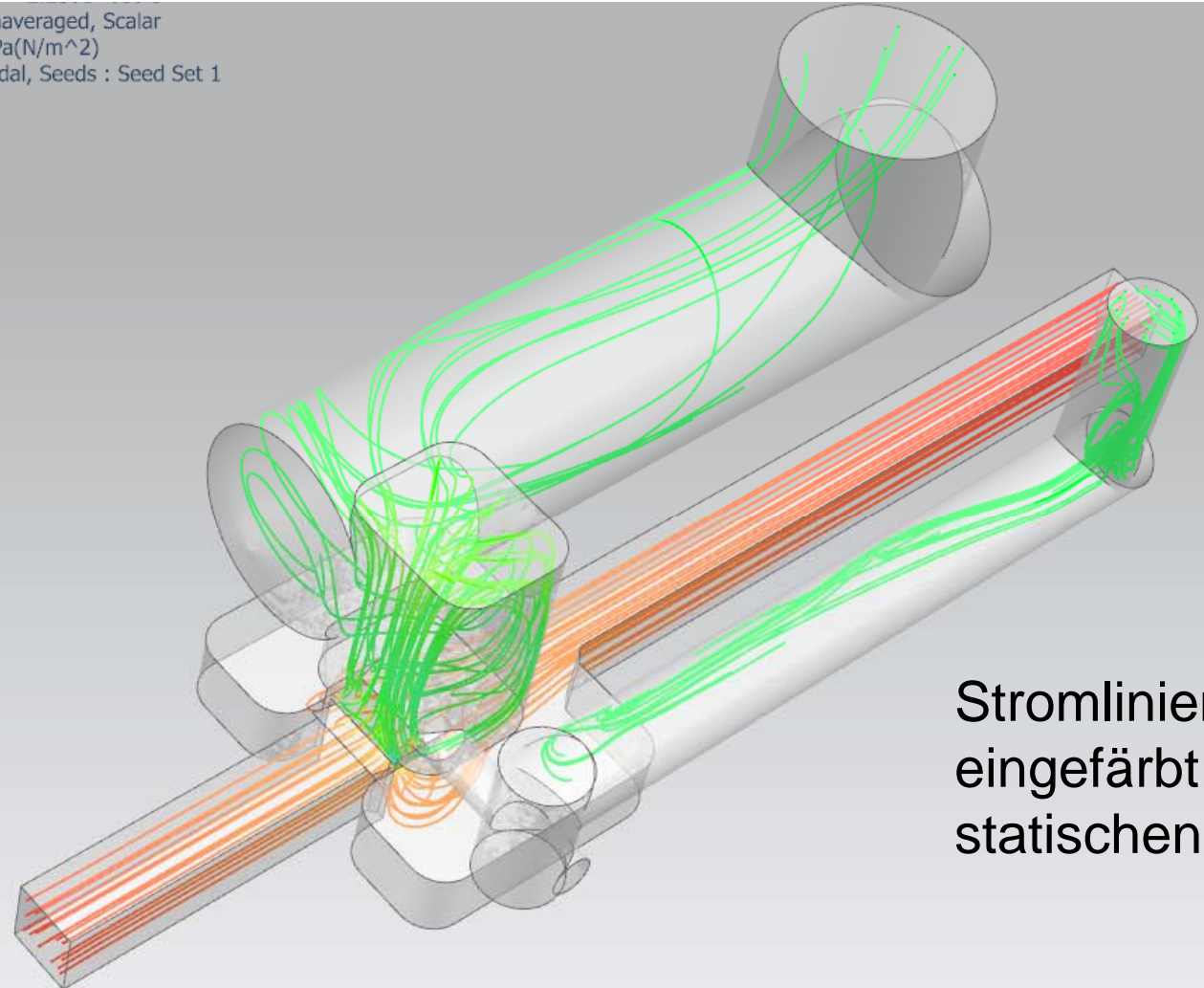
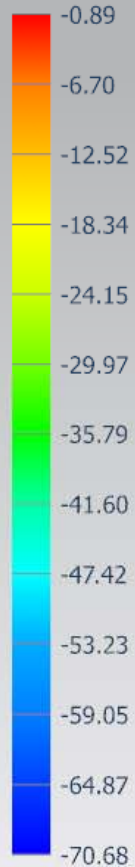
# Durchströmungsberechnung - Hydraulikventil

Statischer Druck

Animation

# Durchströmungsberechnung - Hydraulikventil

Static Pressure - Element-Nodal, Unaveraged, Scalar  
Min : -70.68, Max : -0.89, Units = Pa(N/m<sup>2</sup>)  
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 1



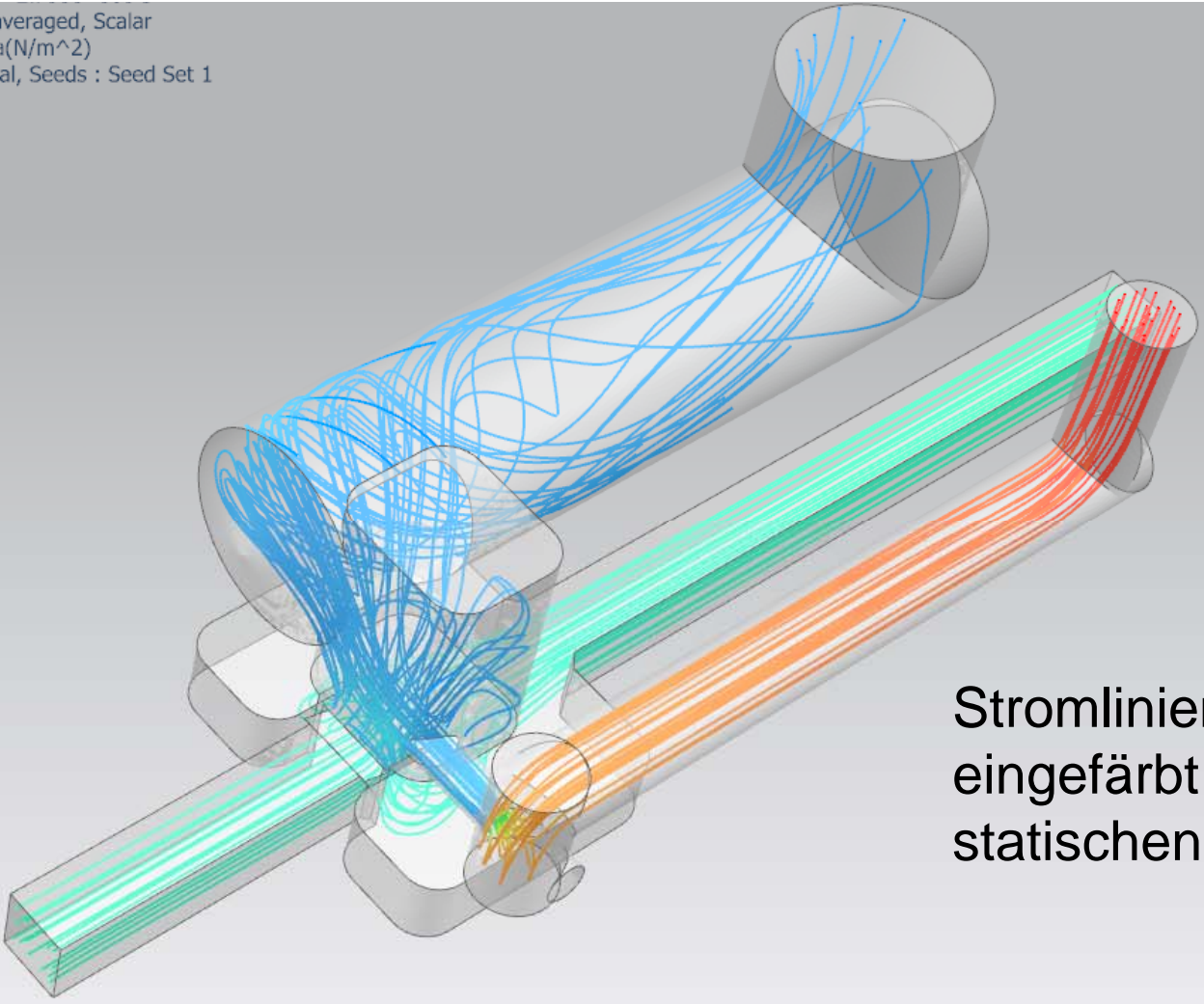
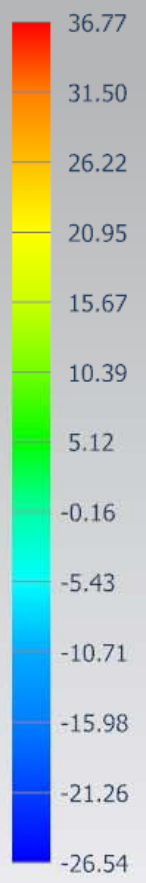
Stromlinien  
eingefärbt mit  
statischen Druck

Units = Pa(N/m<sup>2</sup>)



# Durchströmungsberechnung - Hydraulikventil

Static Pressure - Element-Nodal, Unaveraged, Scalar  
Min : -26.54, Max : 36.77, Units = Pa(N/m<sup>2</sup>)  
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 1

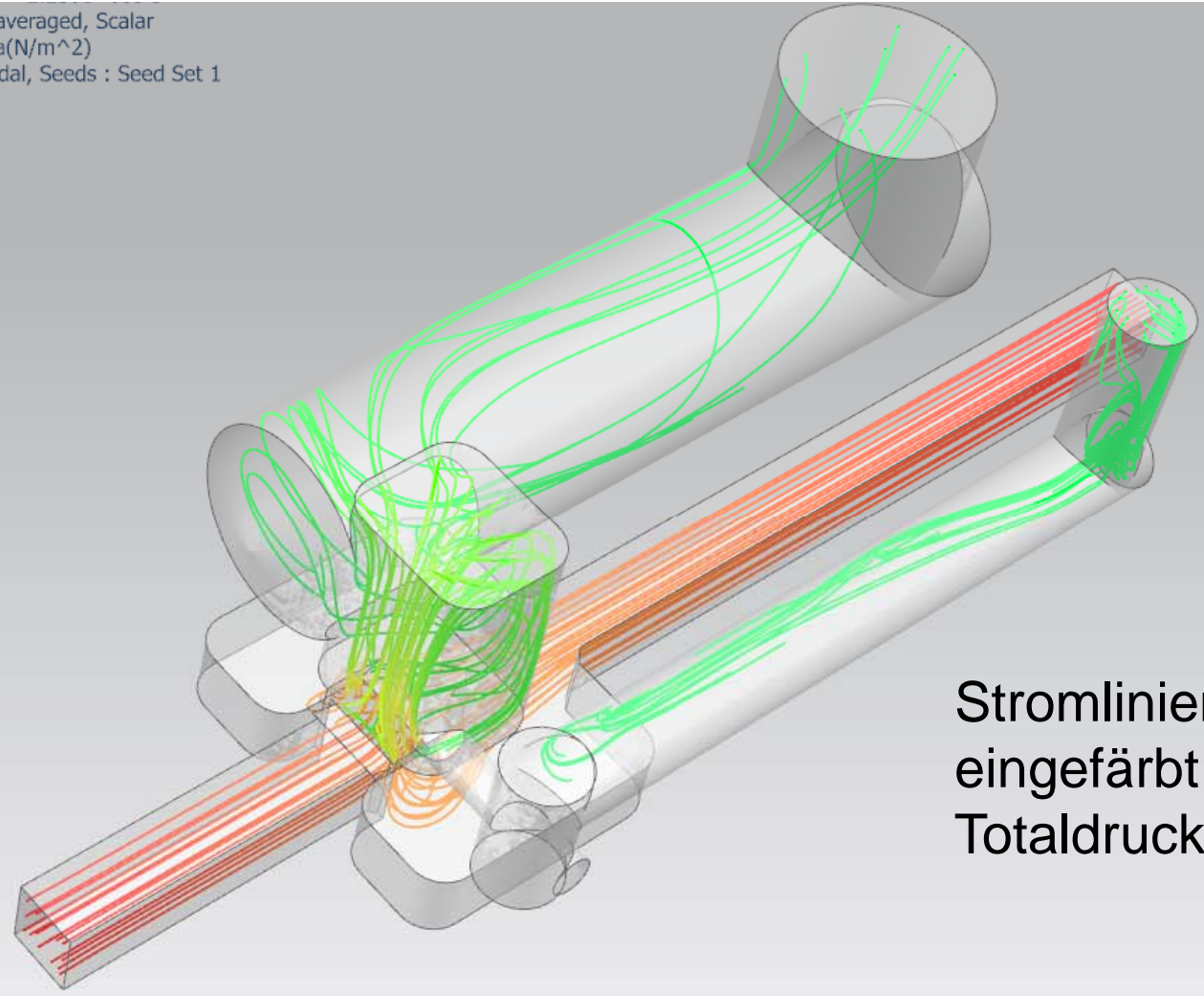
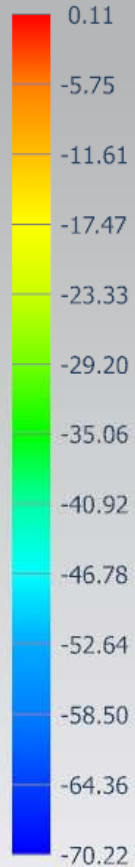


Stromlinien  
eingefärbt mit  
statischen Druck

Units = Pa(N/m<sup>2</sup>)

# Durchströmungsberechnung - Hydraulikventil

Total Pressure - Element-Nodal, Unaveraged, Scalar  
Min : -70.22, Max : 0.11, Units = Pa(N/m^2)  
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 1

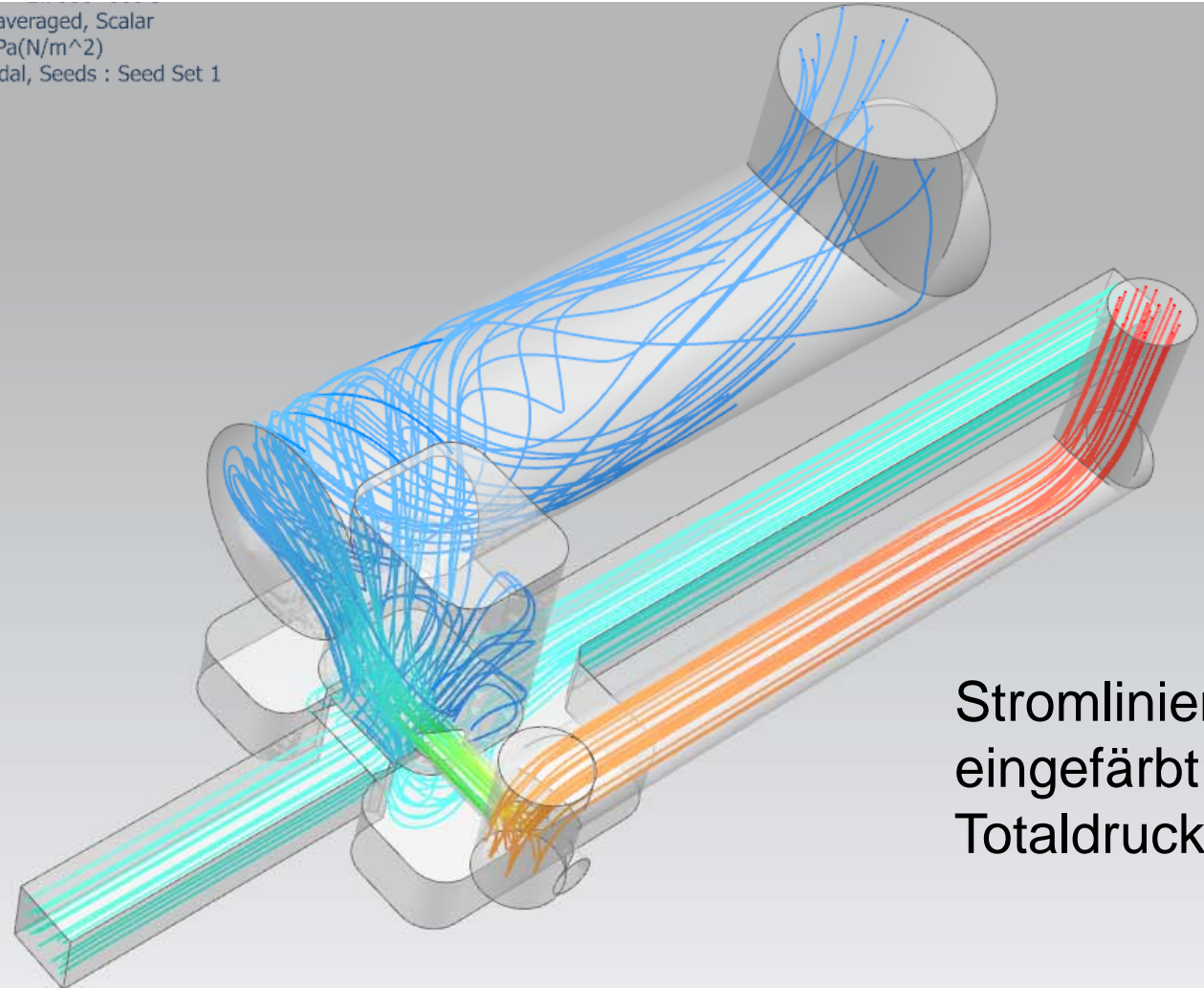
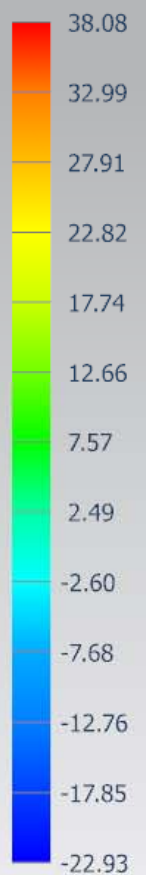


Stromlinien  
eingefärbt mit  
Totaldruck

Units = Pa(N/m^2)

# Durchströmungsberechnung - Hydraulikventil

Total Pressure - Element-Nodal, Unaveraged, Scalar  
Min : -22.93, Max : 38.08, Units = Pa(N/m^2)  
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 1

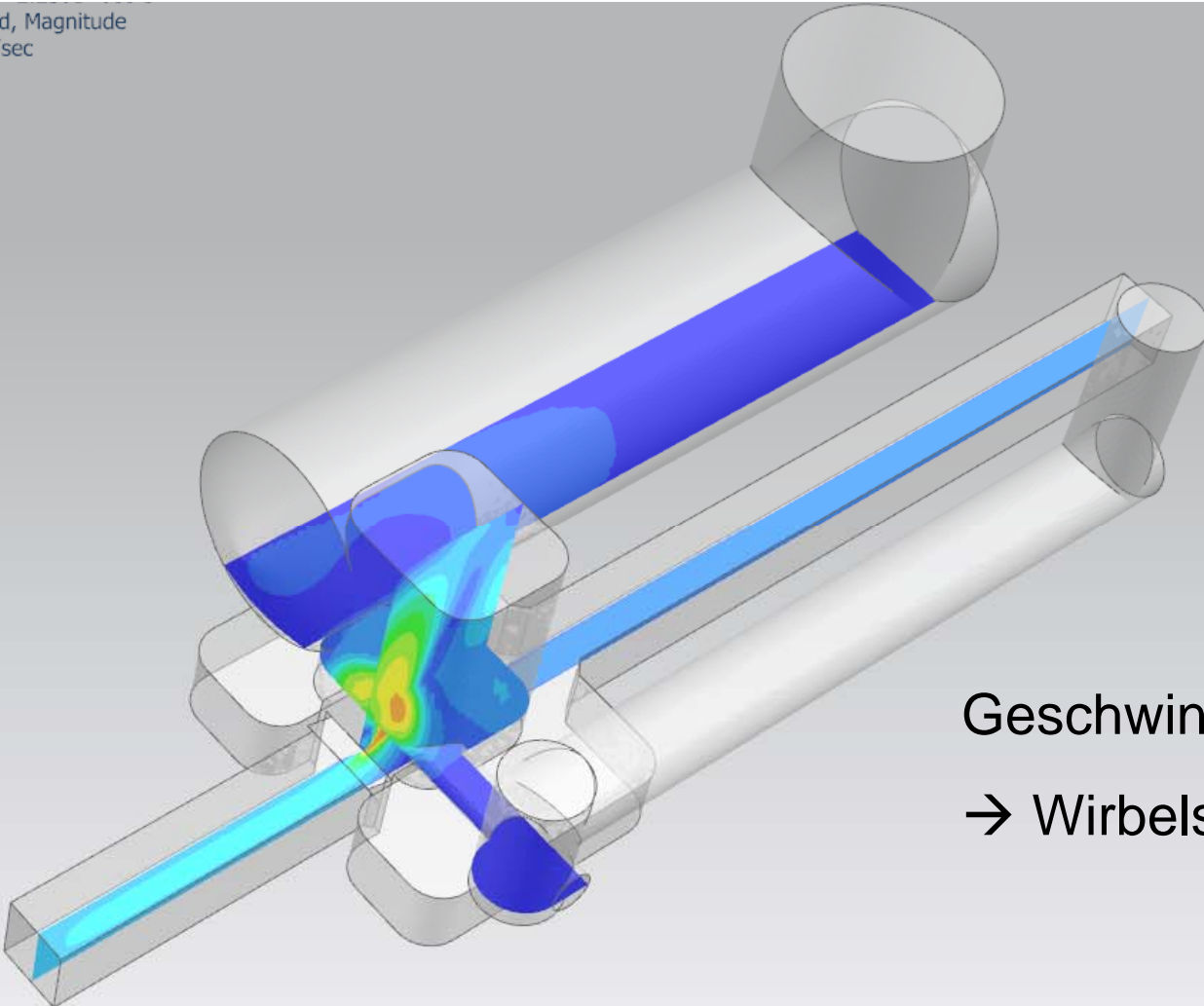
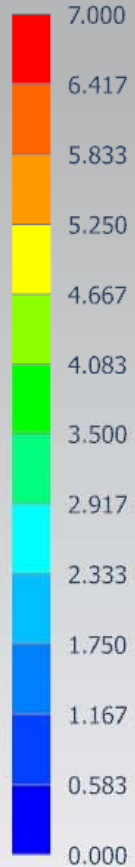


Stromlinien  
eingefärbt mit  
Totaldruck

Units = Pa(N/m^2)

# Durchströmungsberechnung - Hydraulikventil

Velocity - Element-Nodal, Unaveraged, Magnitude  
Min : 0.000, Max : 7.192, Units = m/sec

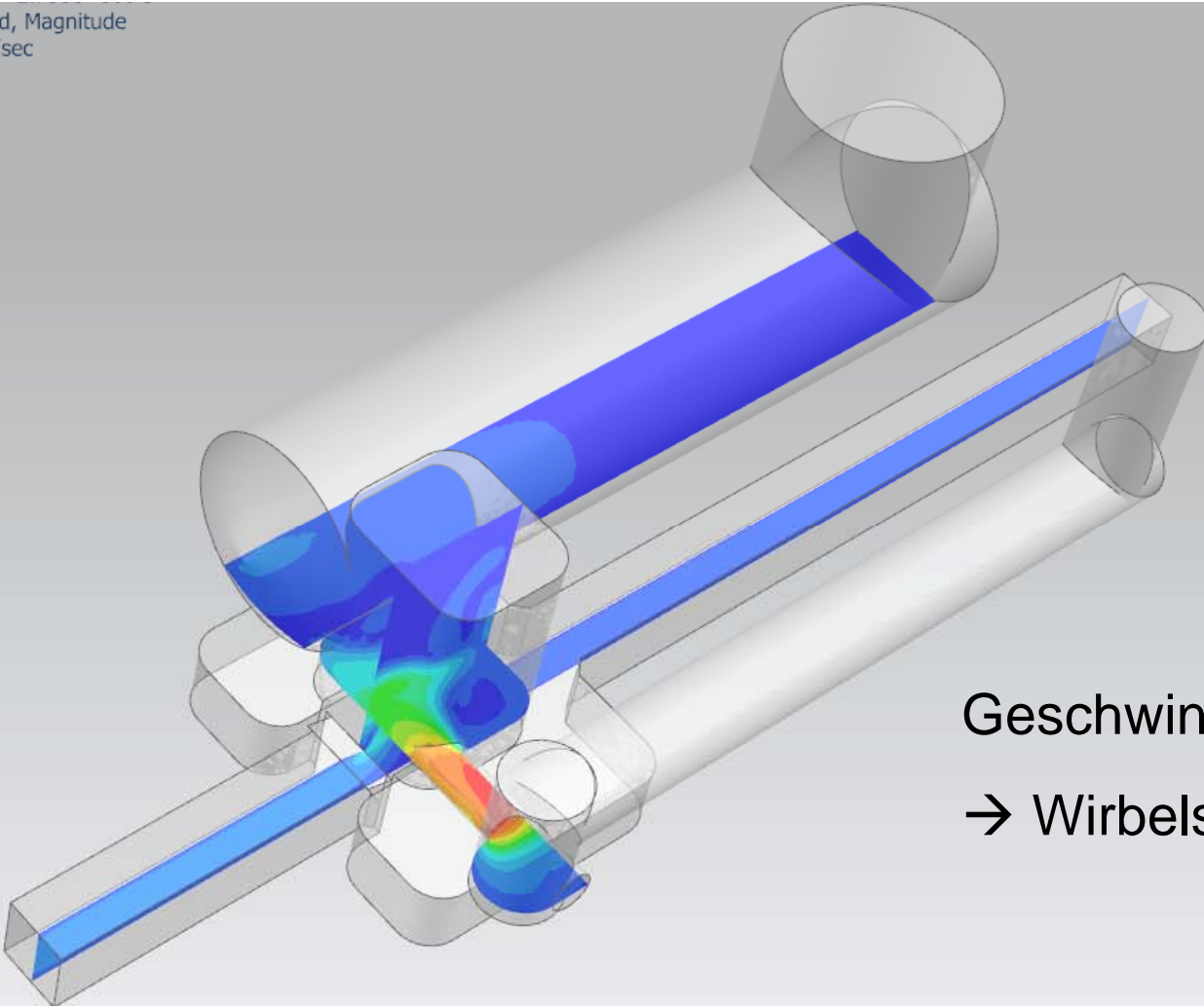
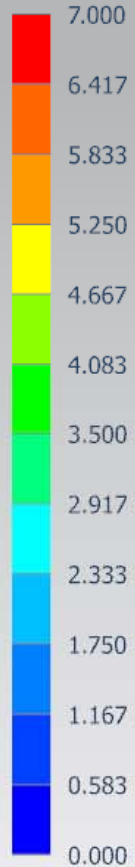


Geschwindigkeit  
→ Wirbelsysteme

Units = m/sec

# Durchströmungsberechnung - Hydraulikventil

Velocity - Element-Nodal, Unaveraged, Magnitude  
Min : 0.000, Max : 7.063, Units = m/sec

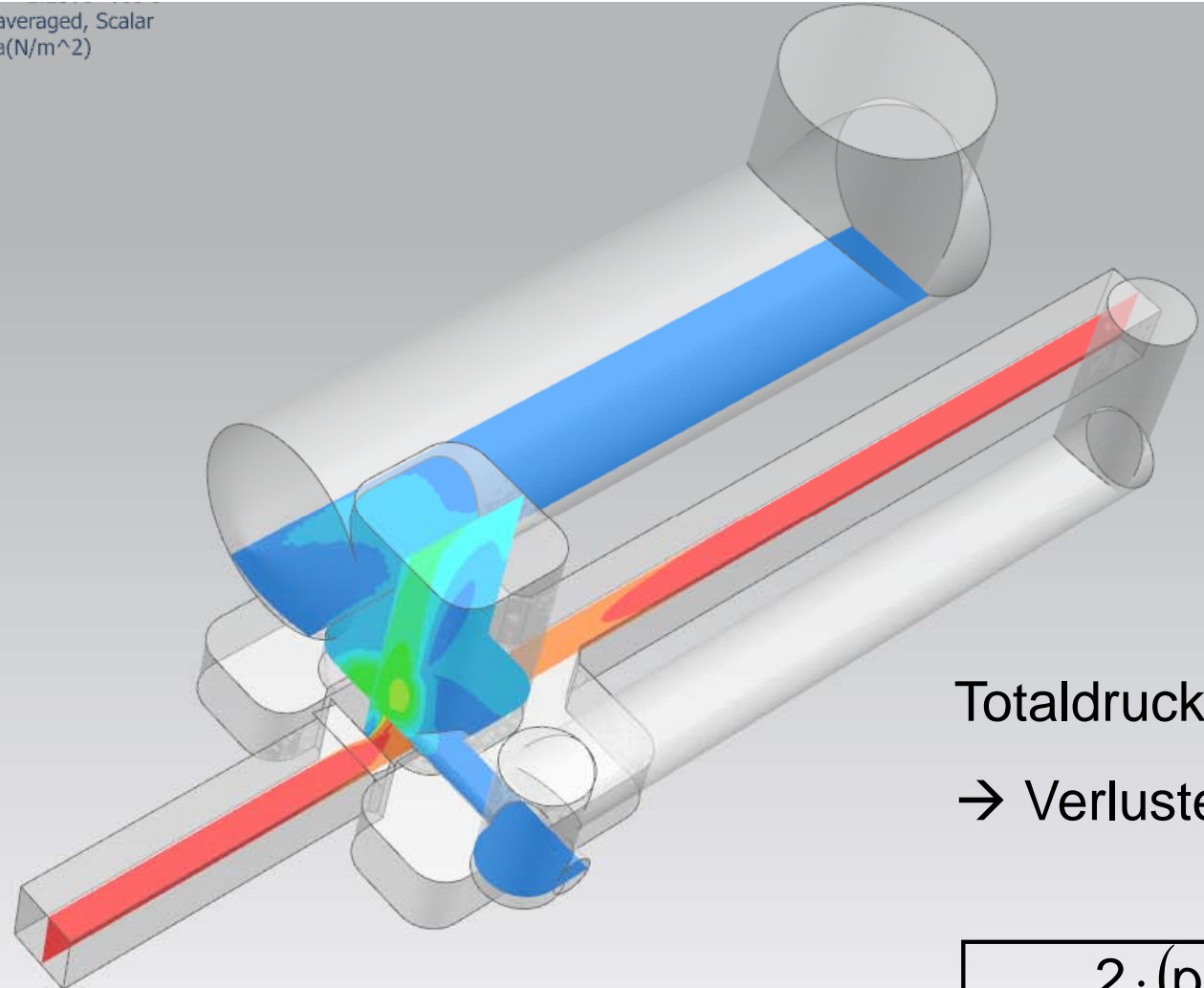
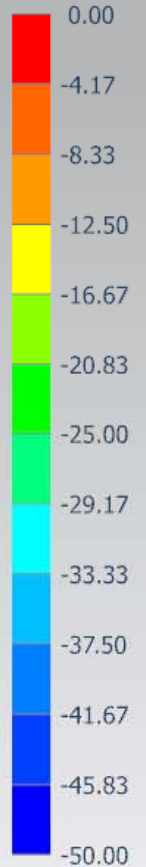


Units = m/sec

Geschwindigkeit  
→ Wirbelsysteme

# Durchströmungsberechnung - Hydraulikventil

Total Pressure - Element-Nodal, Unaveraged, Scalar  
Min : -70.22, Max : 0.11, Units = Pa(N/m^2)



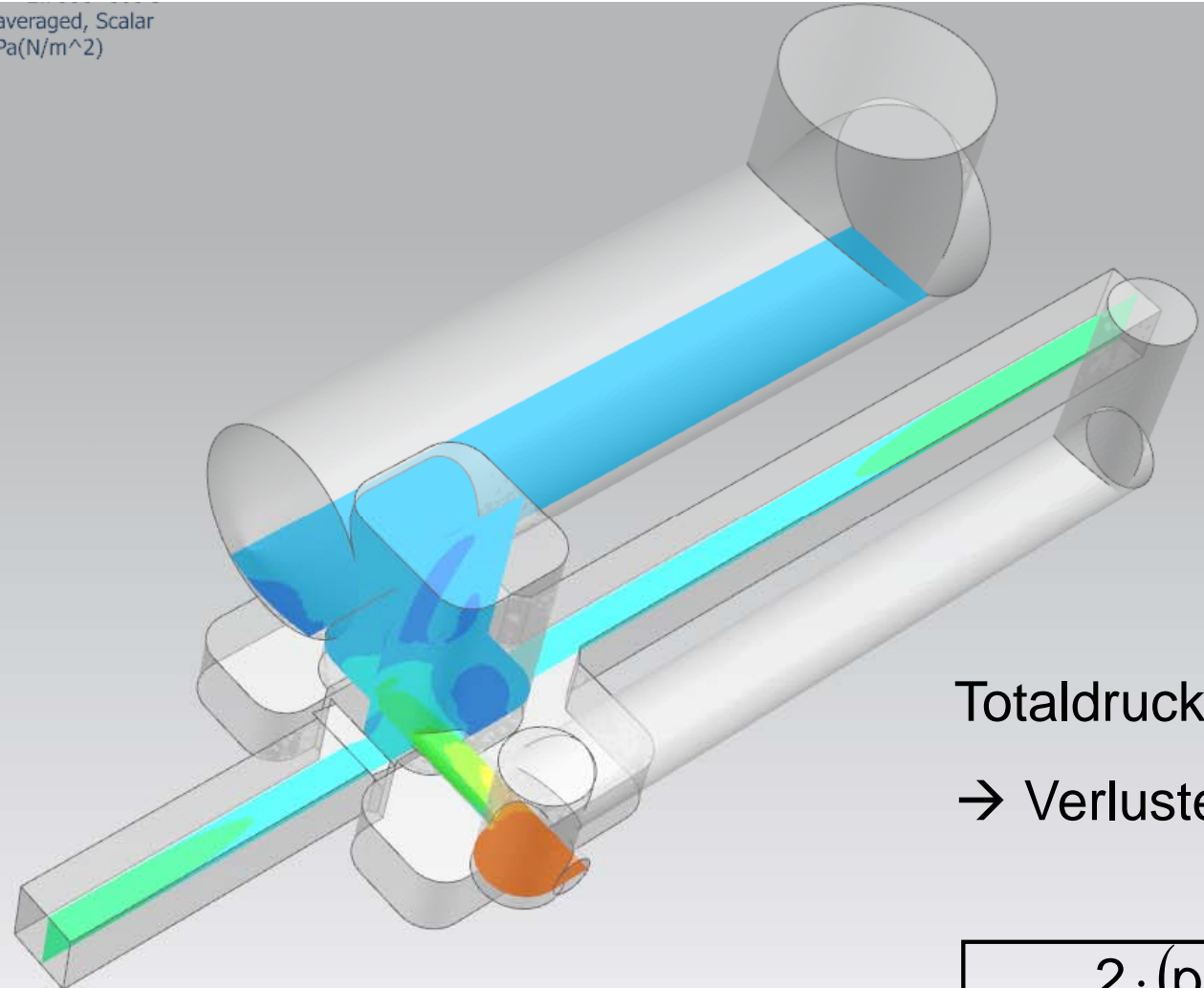
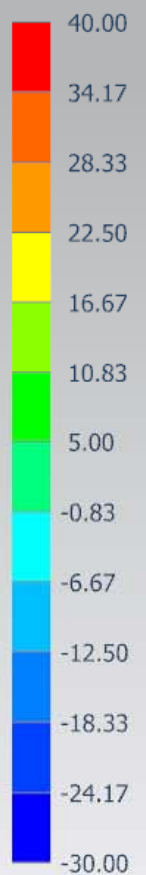
Units = Pa(N/m^2)

Totaldruck  
→ Verluste

$$\zeta_k = \frac{2 \cdot (p_{tot.1} - p_{tot.2})}{\rho \cdot v_{vol}^2}$$

# Durchströmungsberechnung - Hydraulikventil

Total Pressure - Element-Nodal, Unaveraged, Scalar  
Min : -22.93, Max : 38.08, Units = Pa(N/m^2)



Units = Pa(N/m^2)

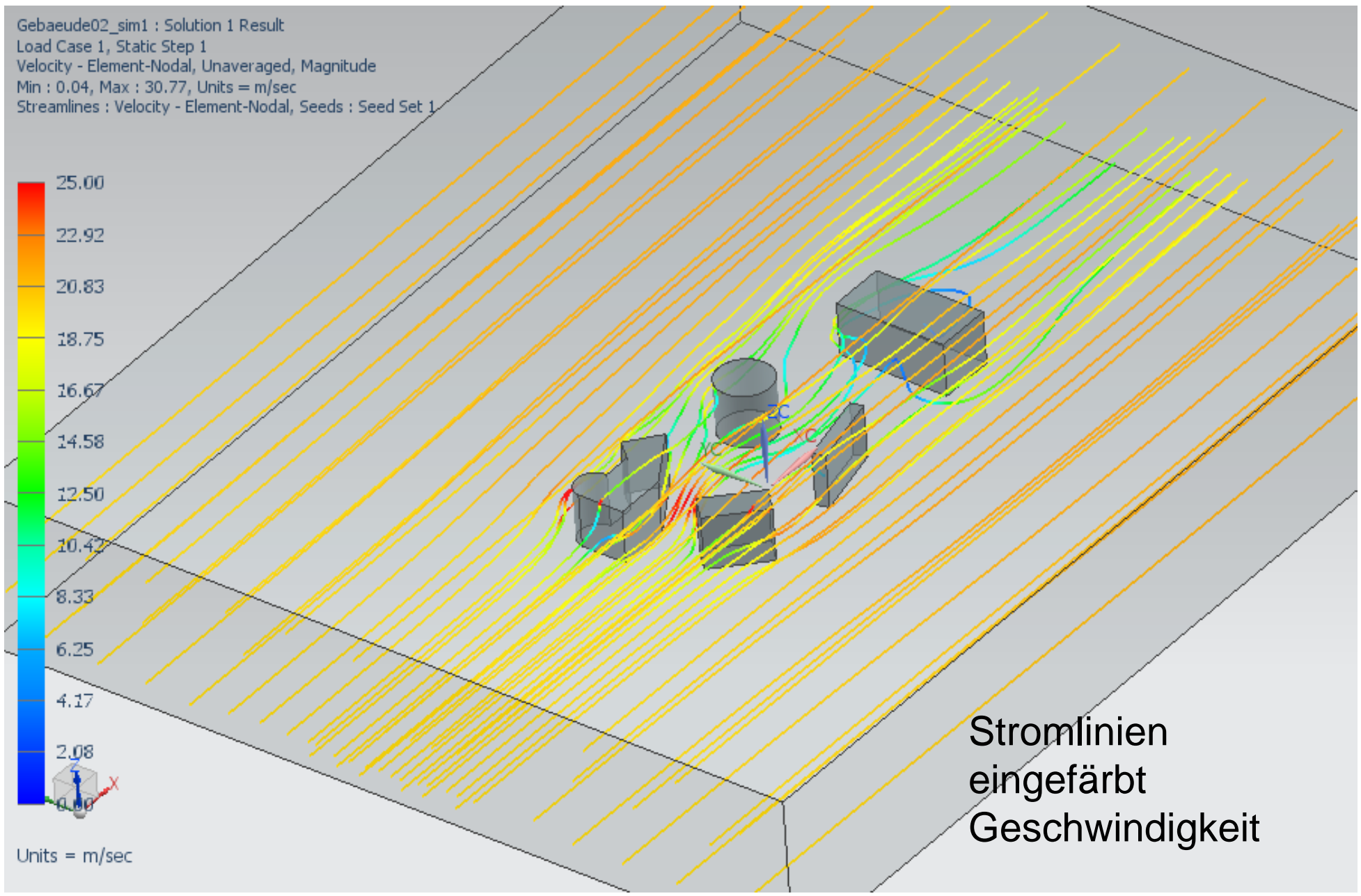
Totaldruck  
→ Verluste

$$\zeta_k = \frac{2 \cdot (p_{tot.1} - p_{tot.2})}{\rho \cdot v_{vol}^2}$$

- Strömungsmechanik: Physikalische Grundlagen und deren Umsetzung in NX
- Mathematik: Numerische Berechnungen und deren Umsetzung in NX
- Arbeitsschritte bei numerischen Strömungsberechnungen
  
- Durchströmungsberechnungen
  - Krümmerströmung
  - Frischluftaufbereitung
  - Hydraulikventil
  
- Umströmungsberechnungen
  - Gebäudeaerodynamik
  - Fahrzeugaerodynamik
  
- Zusammenfassung und Fazit



# Umströmungsberechnung - Gebäudeaerodynamik

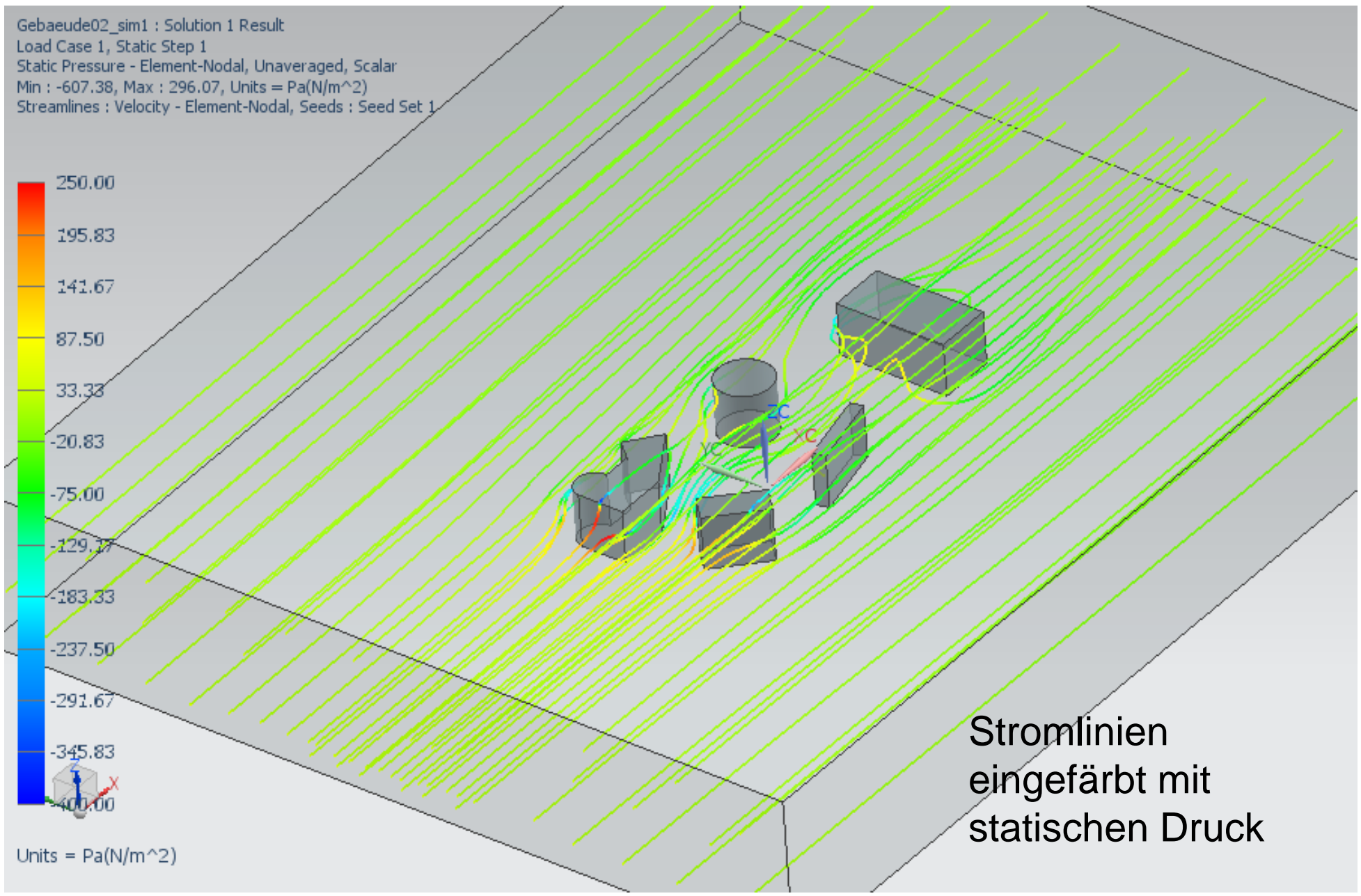


© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH: alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Stromlinien

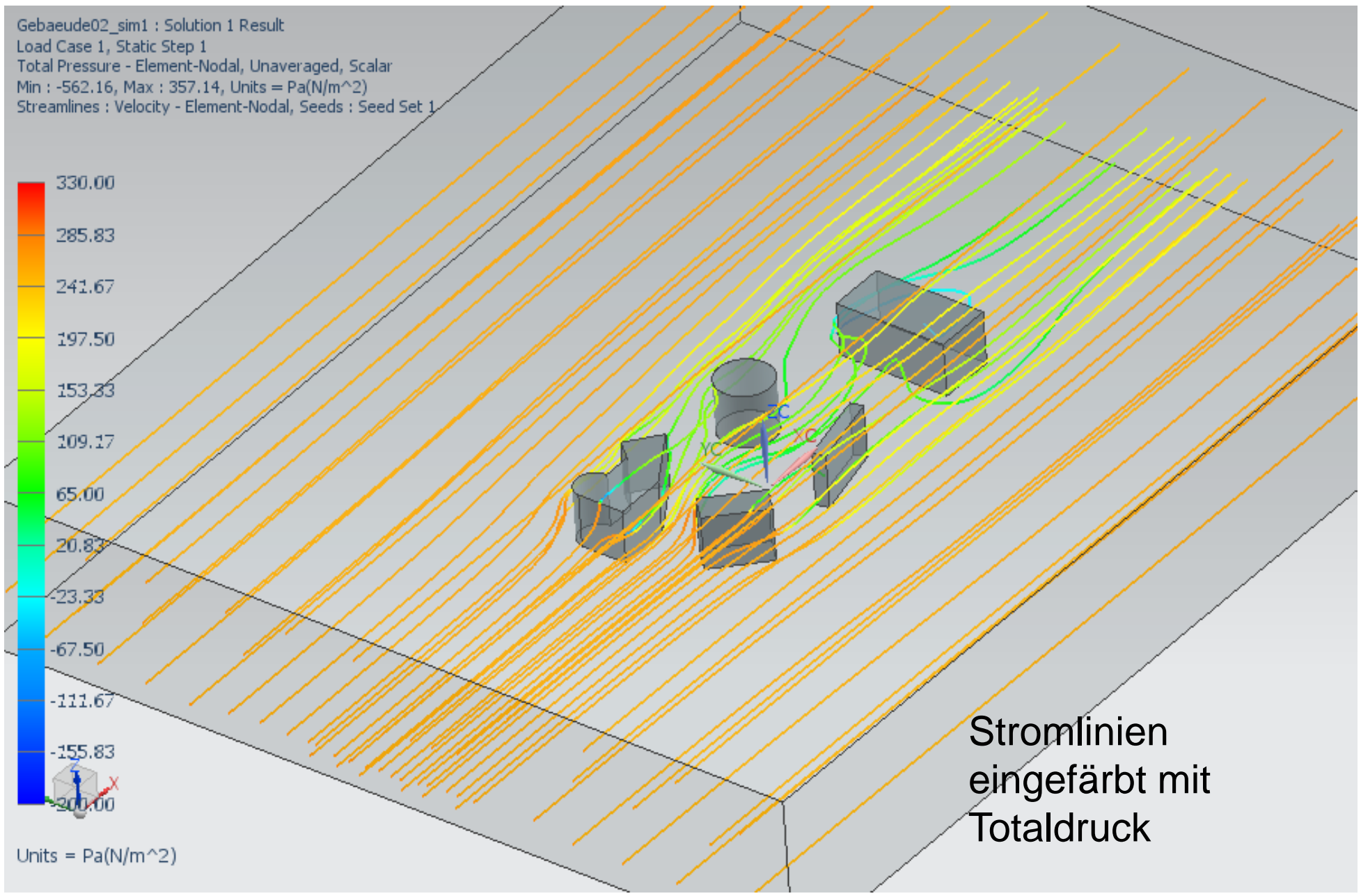
Animation

# Umströmungsberechnung - Gebäudeaerodynamik



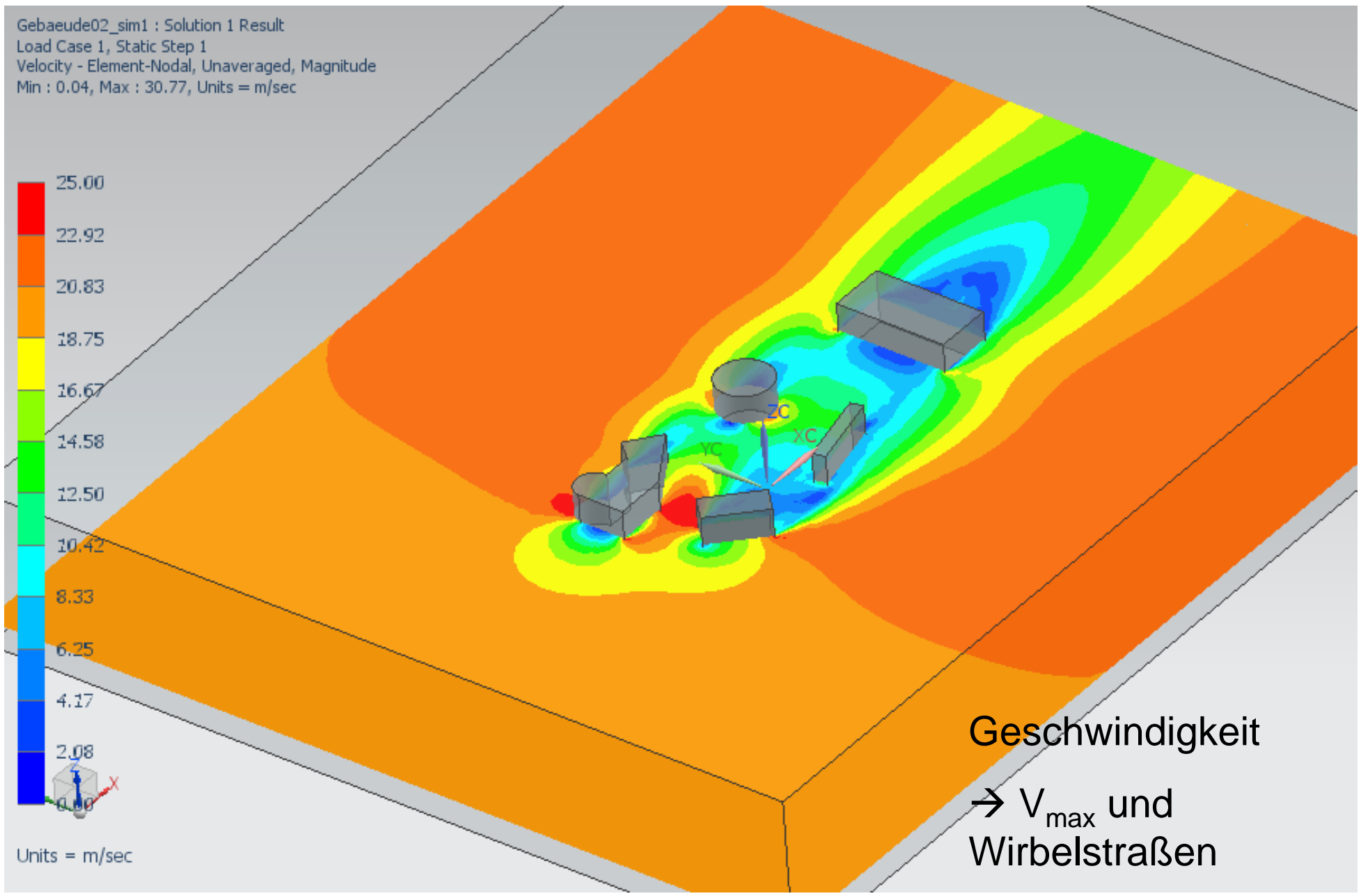
© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH: alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

# Umströmungsberechnung - Gebäudeaerodynamik



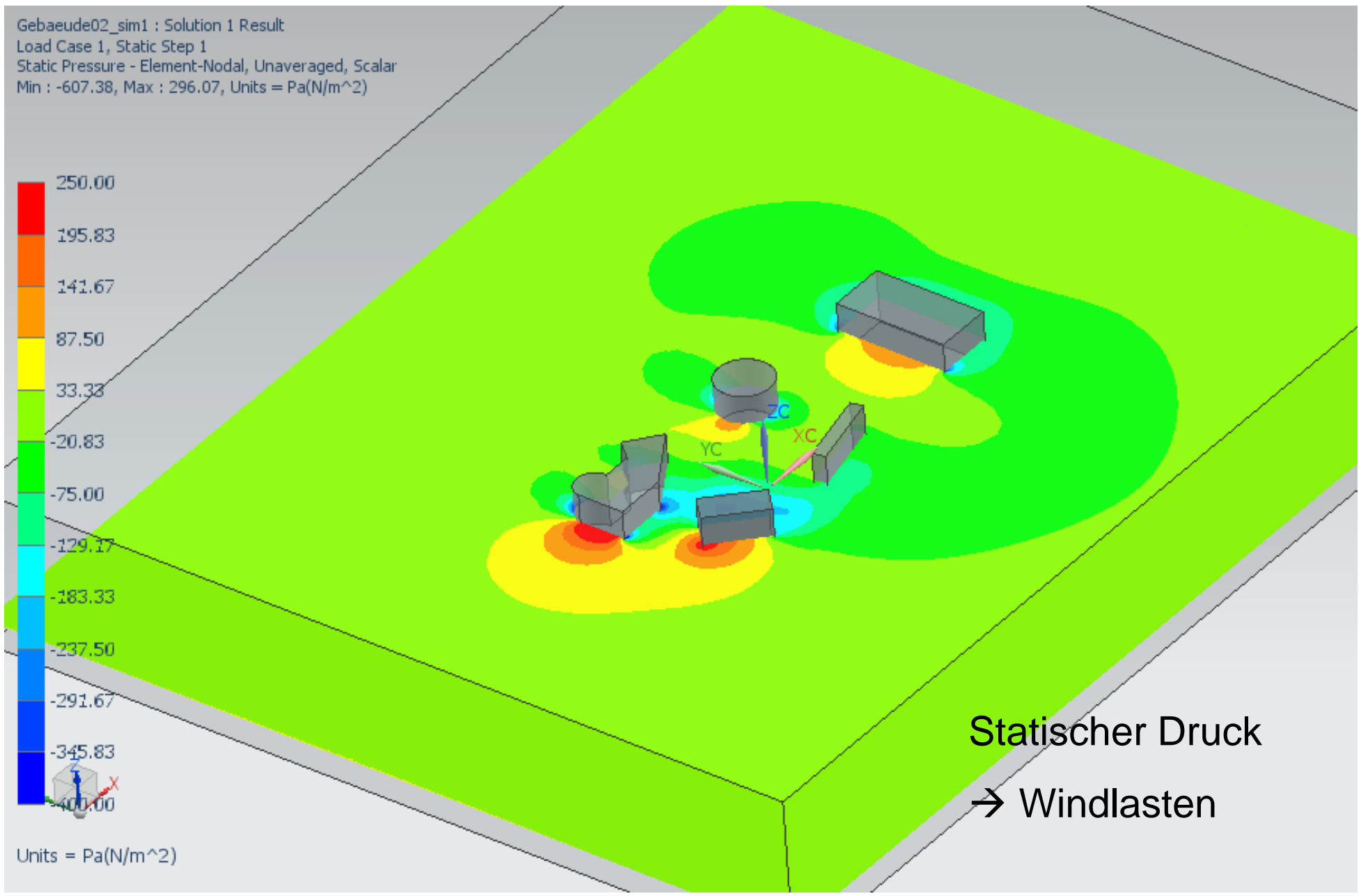
© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH: alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

# Umströmungsberechnung - Gebäudeaerodynamik



© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH: alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

# Umströmungsberechnung - Gebäudeaerodynamik



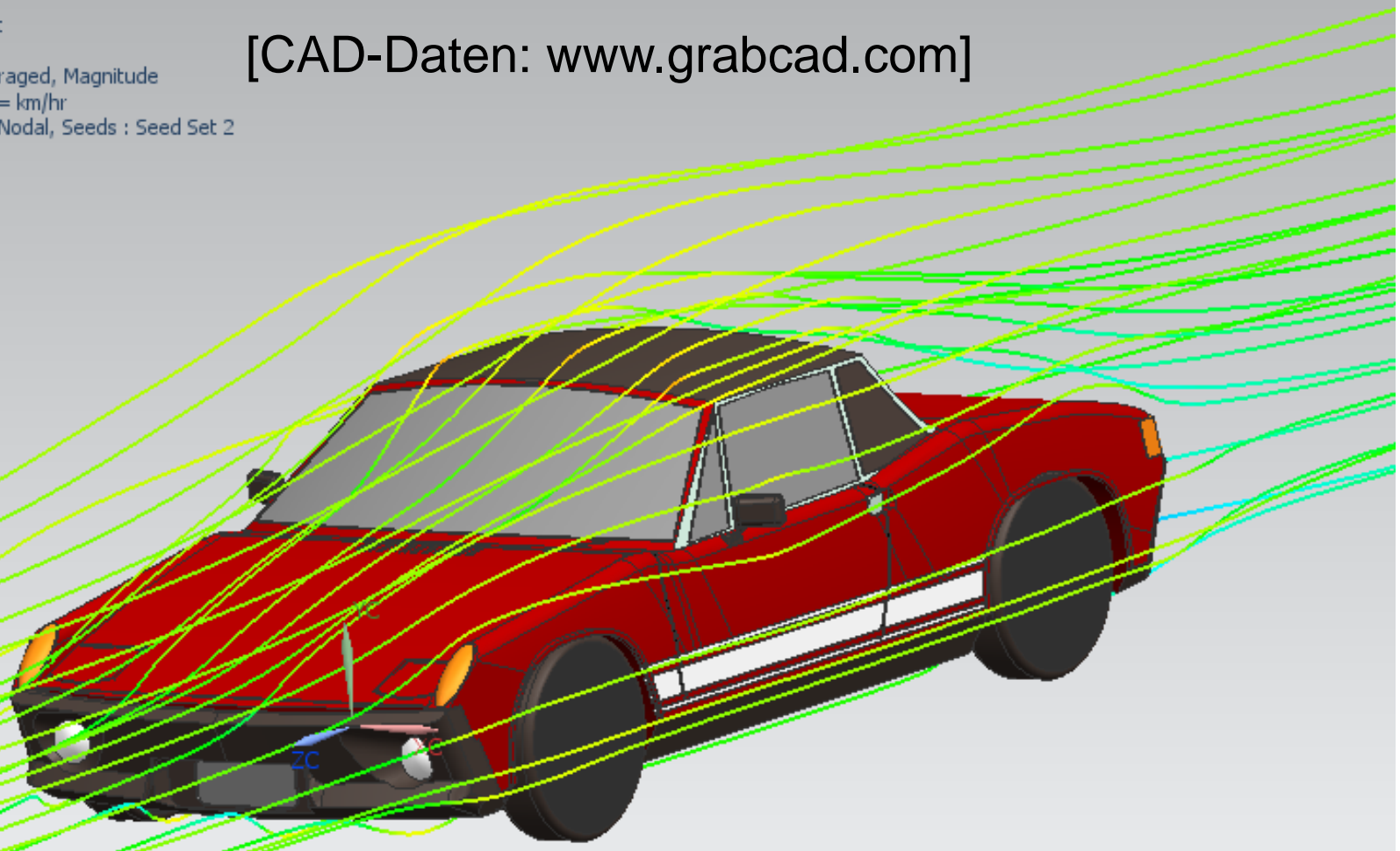
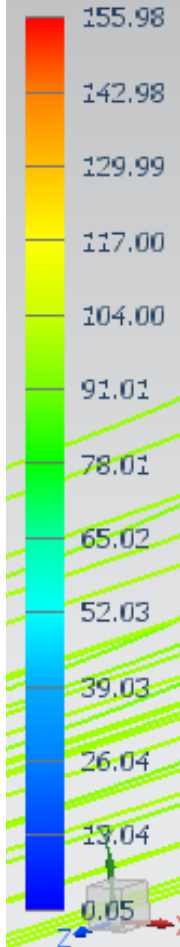
© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH: alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

- Strömungsmechanik: Physikalische Grundlagen und deren Umsetzung in NX
- Mathematik: Numerische Berechnungen und deren Umsetzung in NX
- Arbeitsschritte bei numerischen Strömungsberechnungen
  
- Durchströmungsberechnungen
  - Krümmerströmung
  - Frischluftaufbereitung
  - Hydraulikventil
- Umströmungsberechnungen
  - Gebäudeaerodynamik
  - Fahrzeugaerodynamik
  
- Zusammenfassung und Fazit

# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik

[CAD-Daten: [www.grabcad.com](http://www.grabcad.com)]

914\_x\_t\_sim1 : Solution 1 Result  
Load Case 1, Static Step 1  
Velocity - Element-Nodal, Unaveraged, Magnitude  
Min : 0.05, Max : 155.98, Units = km/hr  
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 2

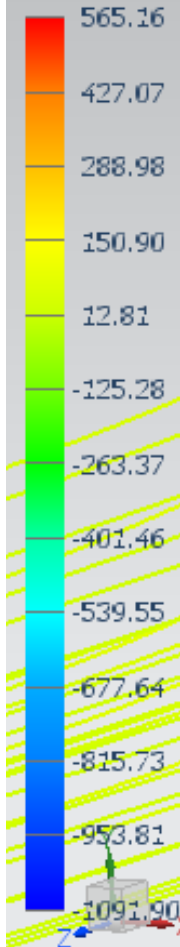


Stromlinien  
eingefärbt mit  
Geschwindigkeit

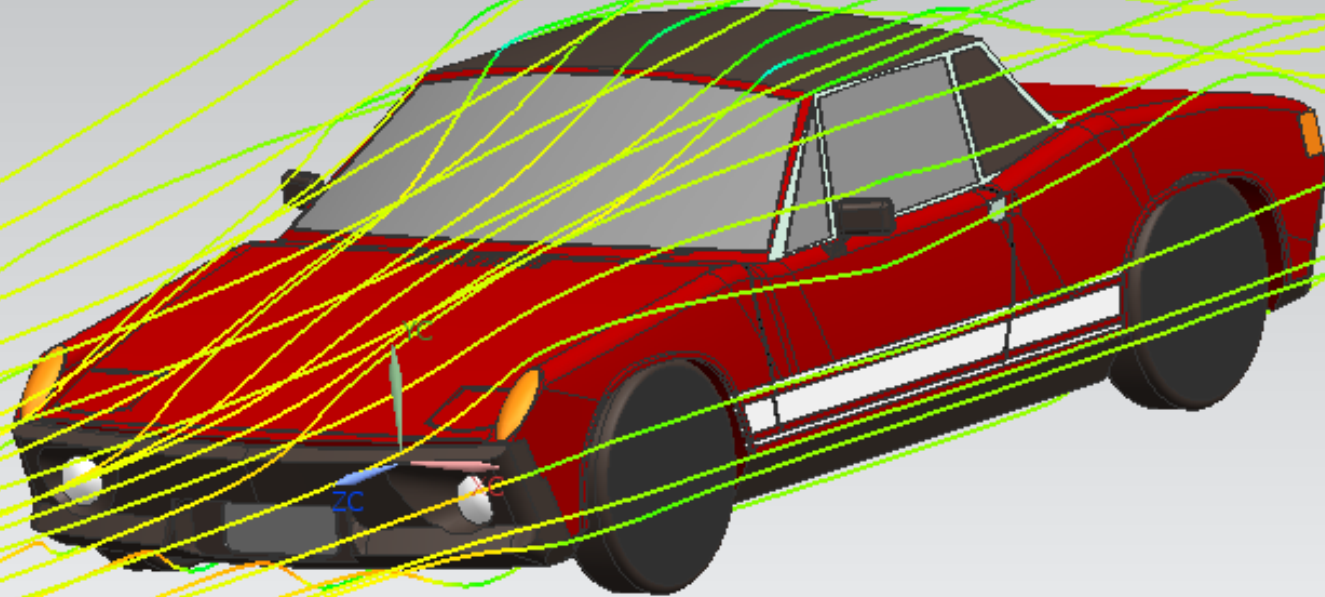


# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik

914\_x\_t\_sim1 : Solution 1 Result  
Load Case 1, Static Step 1  
Static Pressure - Element-Nodal, Unaveraged, Scalar  
Min : -1091.90, Max : 565.16, Units = Pa(N/m^2)  
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 2



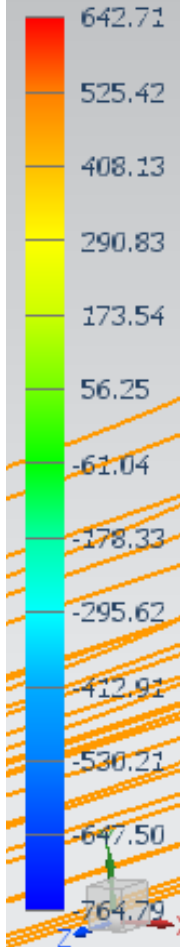
Units = Pa(N/m^2)



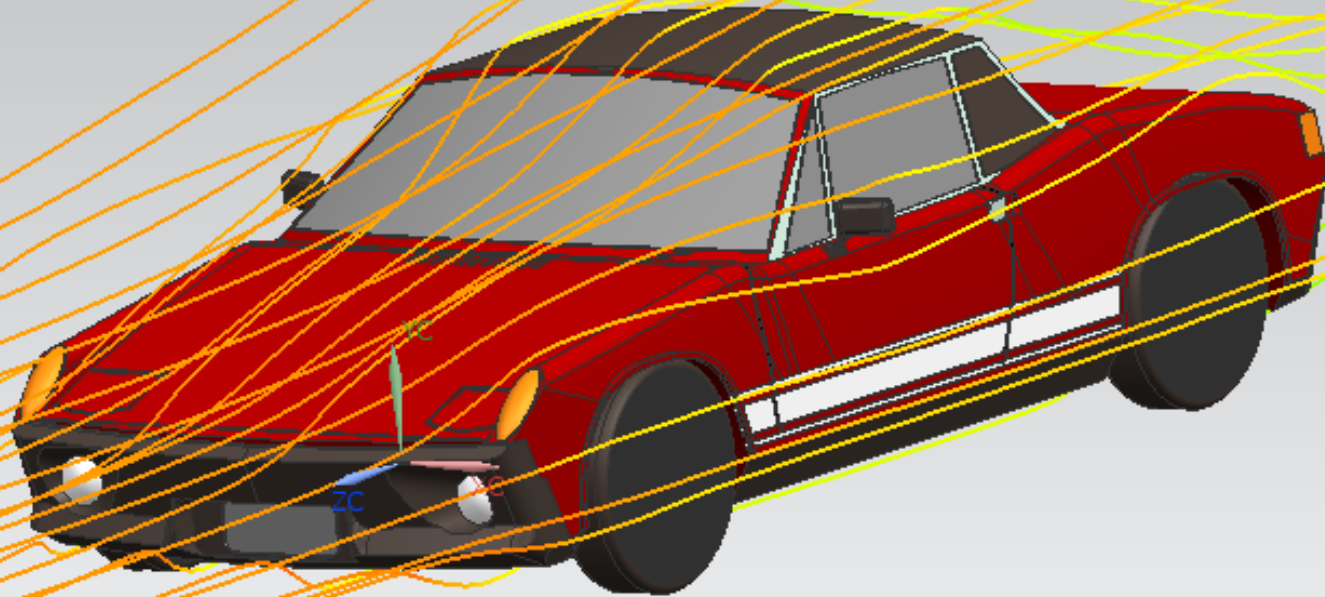
Stromlinien  
eingefärbt mit  
statischen Druck

# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik

914\_x\_t\_sim1 : Solution 1 Result  
Load Case 1, Static Step 1  
Total Pressure - Element-Nodal, Unaveraged, Scalar  
Min : -764.79, Max : 642.71, Units = Pa(N/m^2)  
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 2



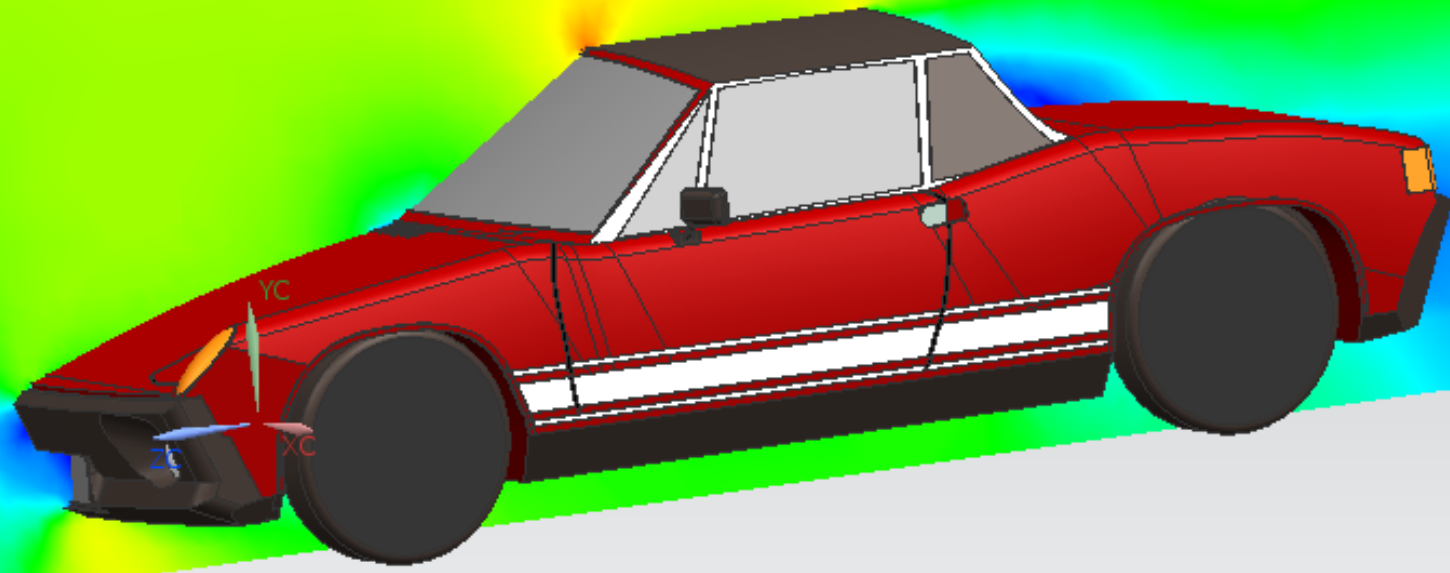
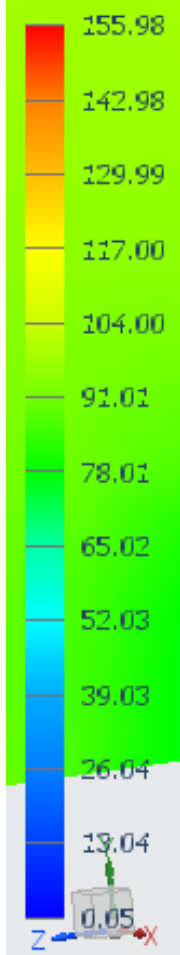
Units = Pa(N/m^2)



Stromlinien  
eingefärbt mit  
Totaldruck

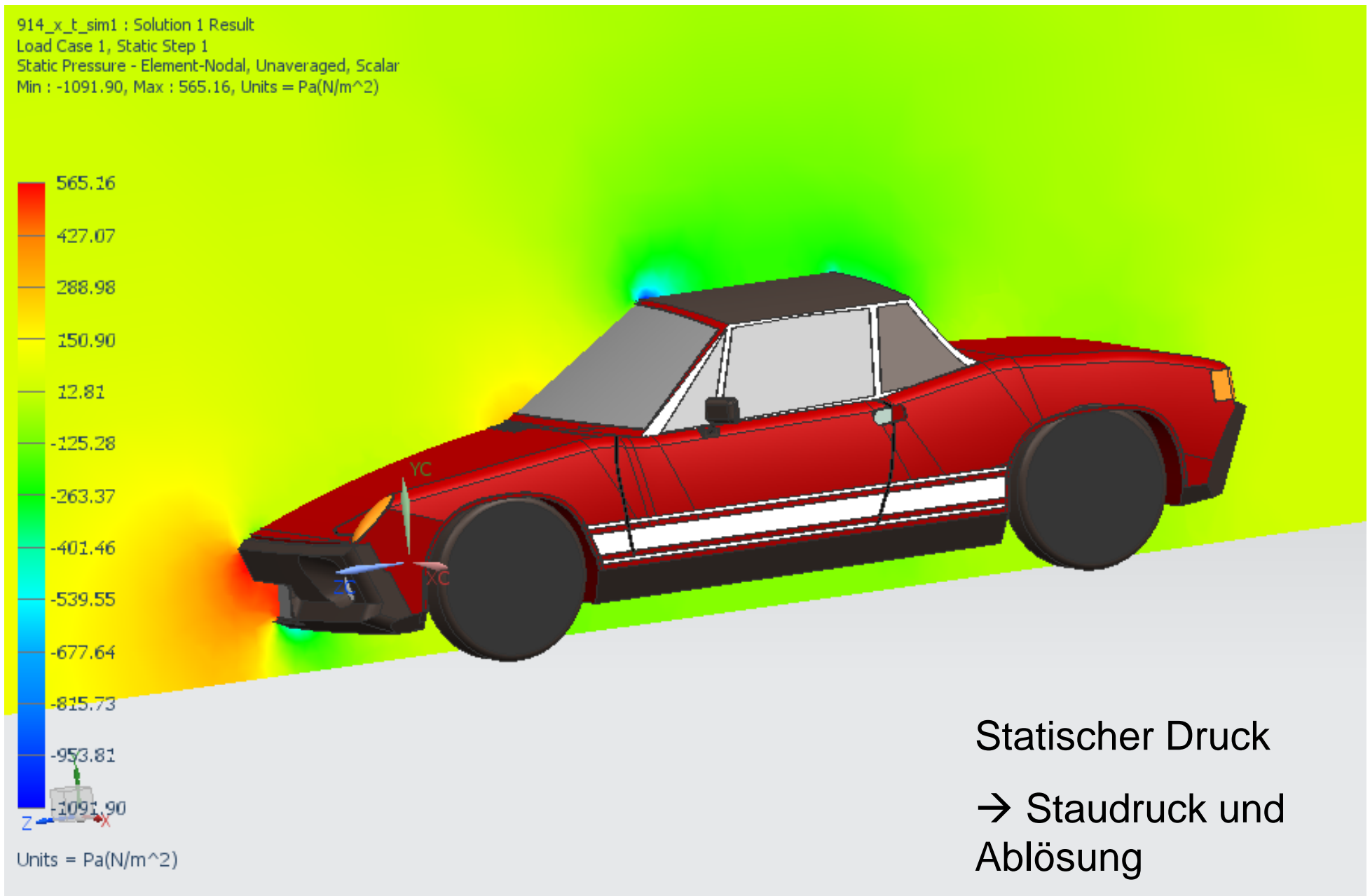
# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik

914\_x\_t\_sim1 : Solution 1 Result  
Load Case 1, Static Step 1  
Velocity - Element-Nodal, Unaveraged, Magnitude  
Min : 0.05, Max : 155.98, Units = km/hr



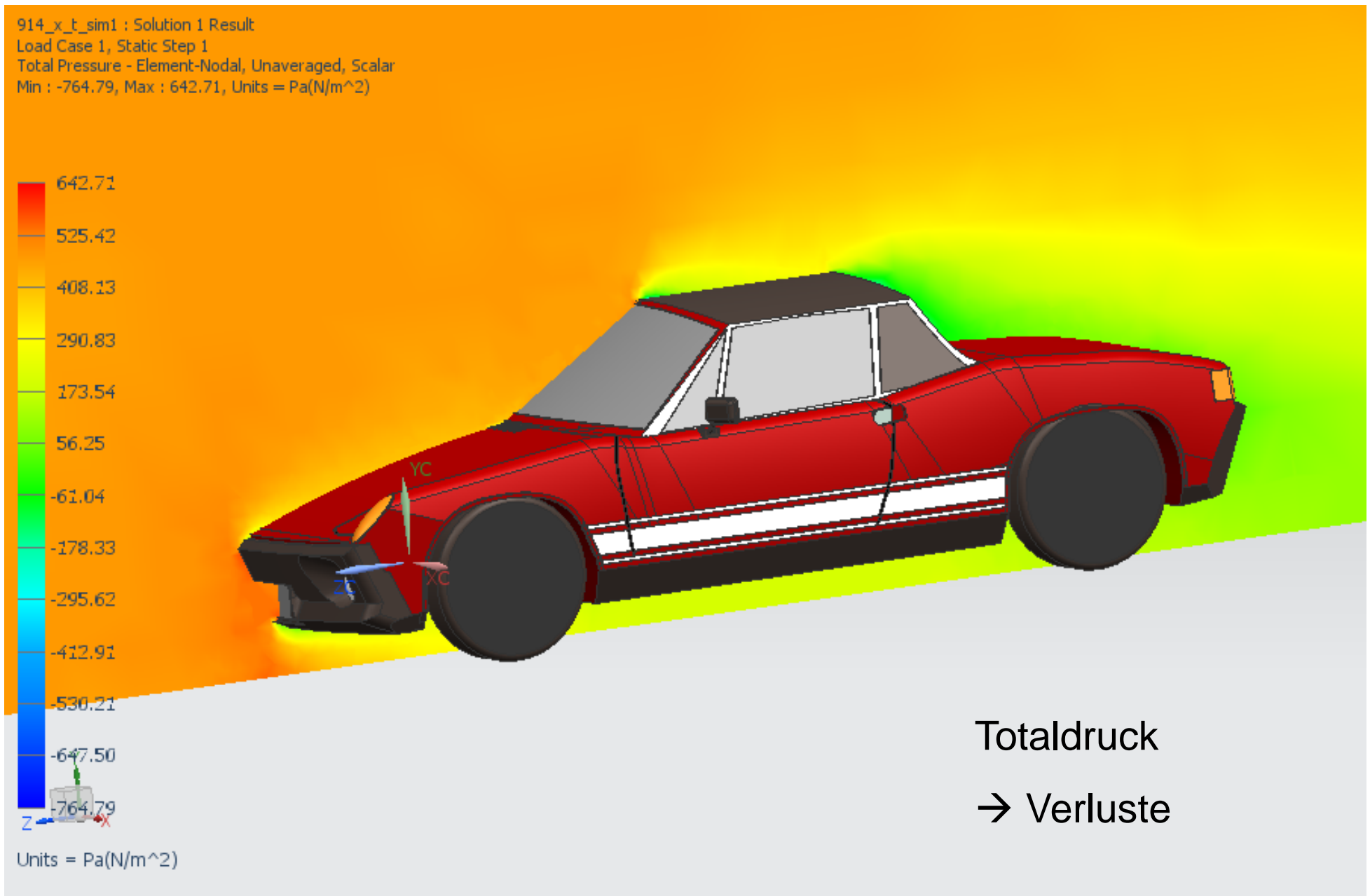
Geschwindigkeit  
→ Staudruck und Ablösung

# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik



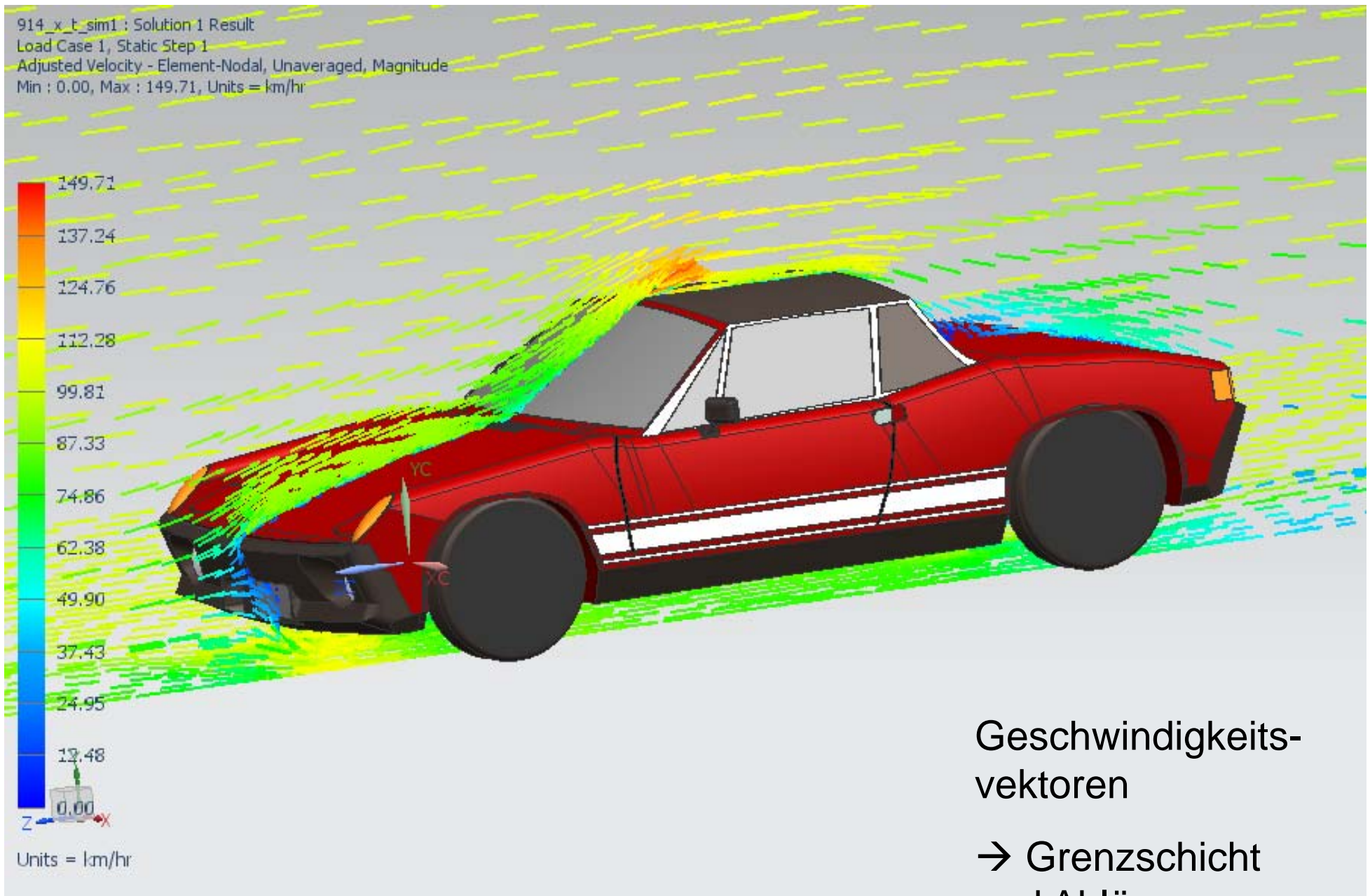
© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH: alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik



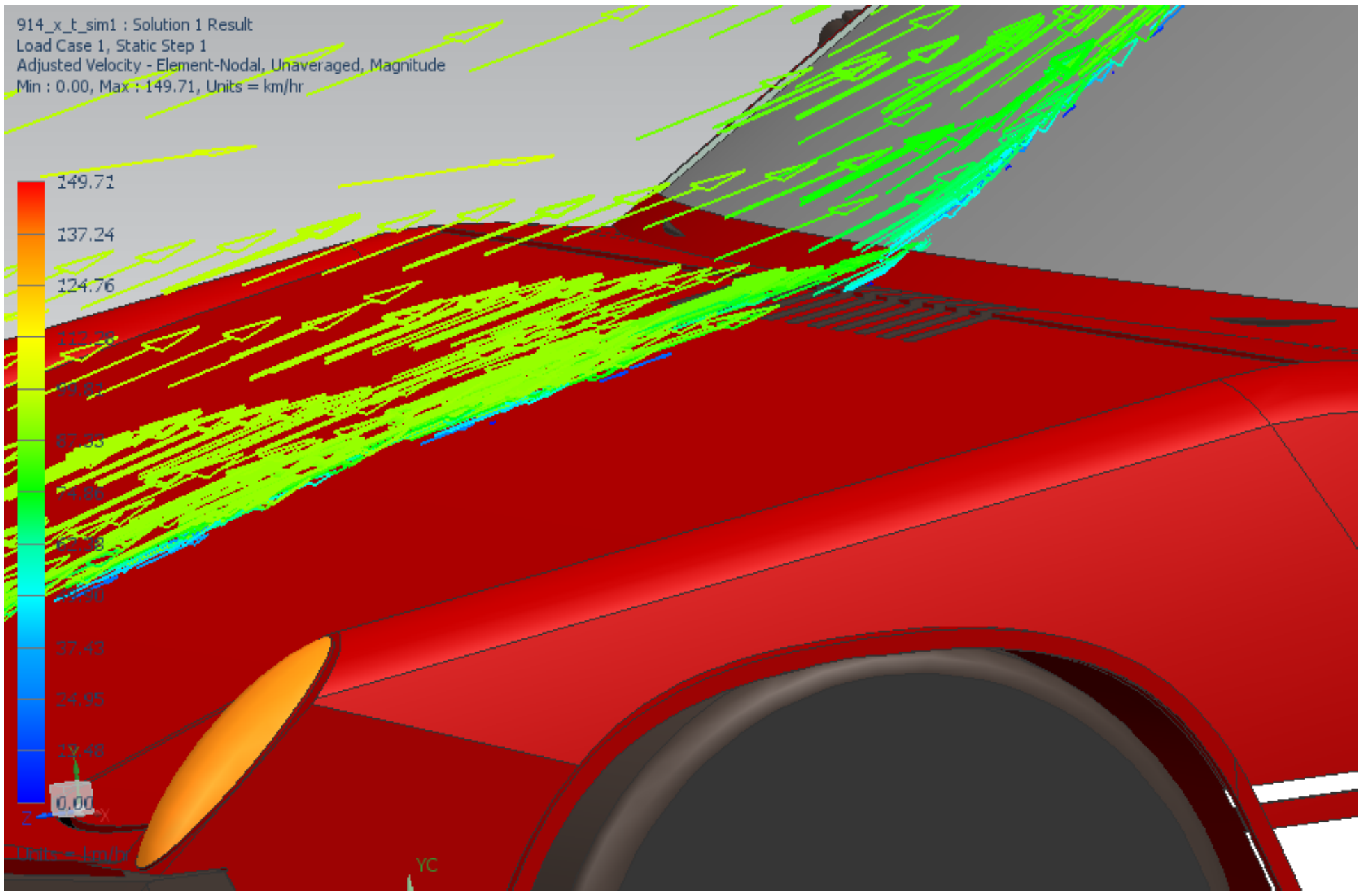
© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH: alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik



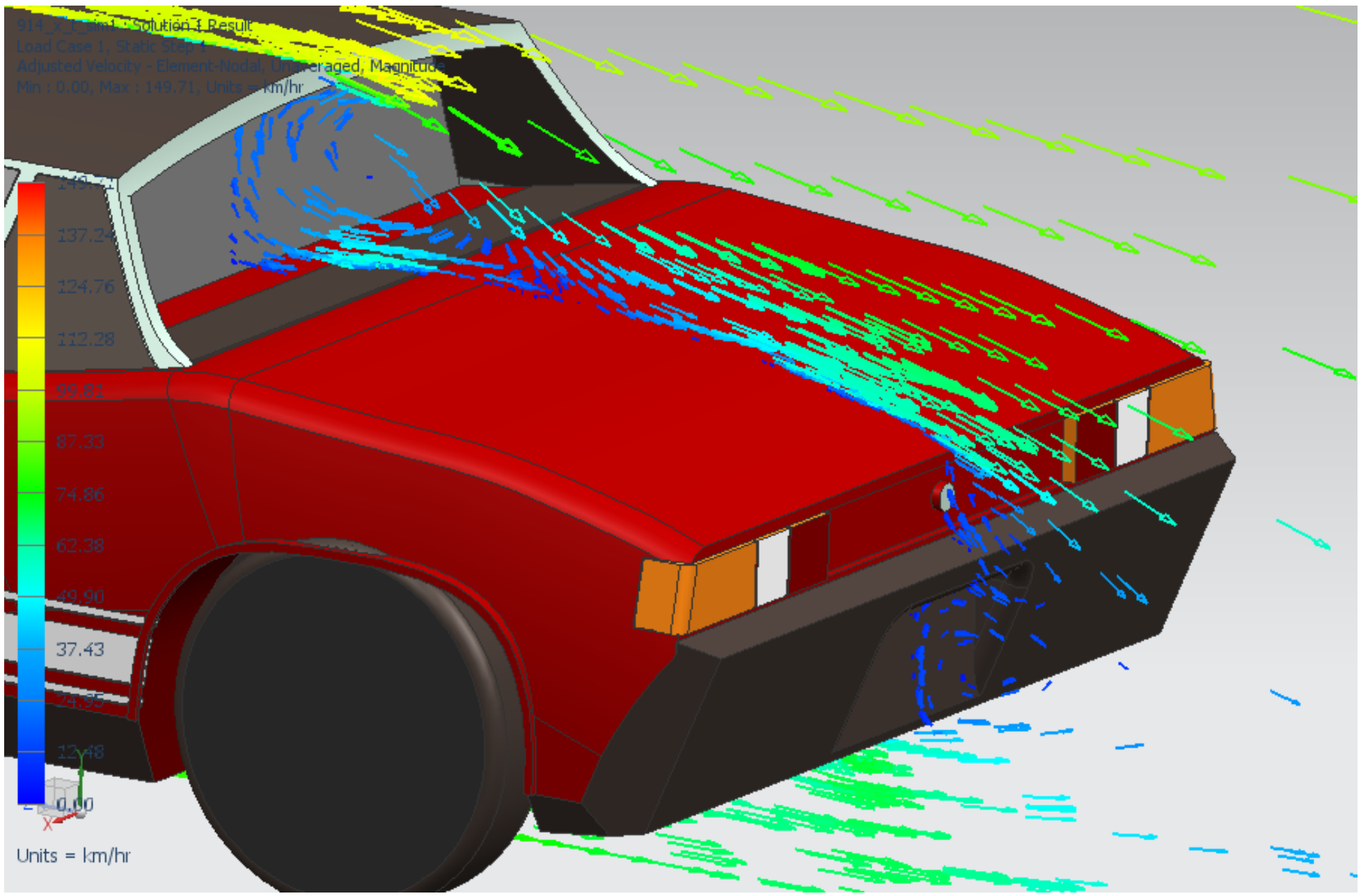
Geschwindigkeits-  
vektoren  
→ Grenzschicht  
und Ablösung

# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik



© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH; alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

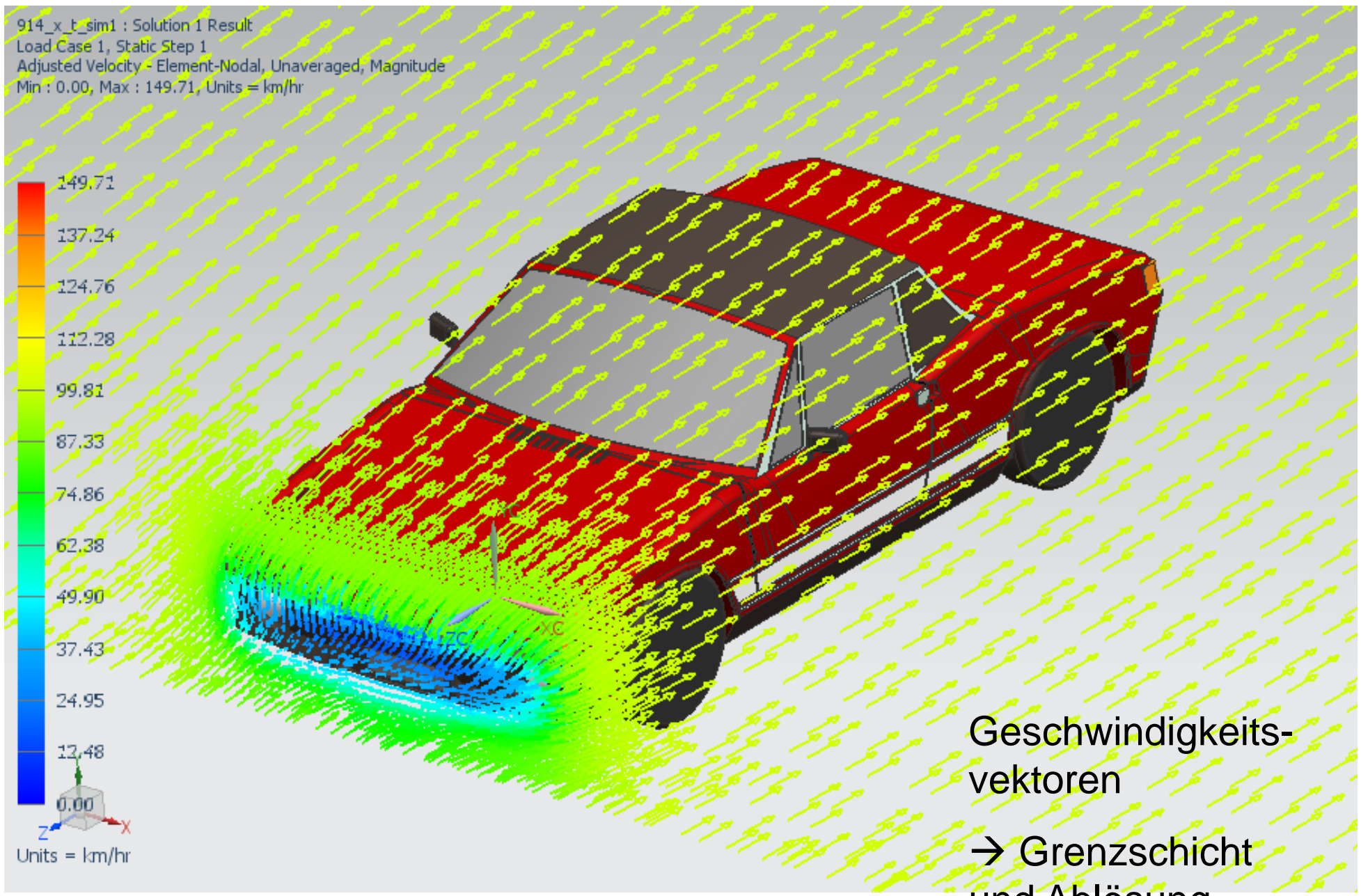
# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik



© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH; alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.



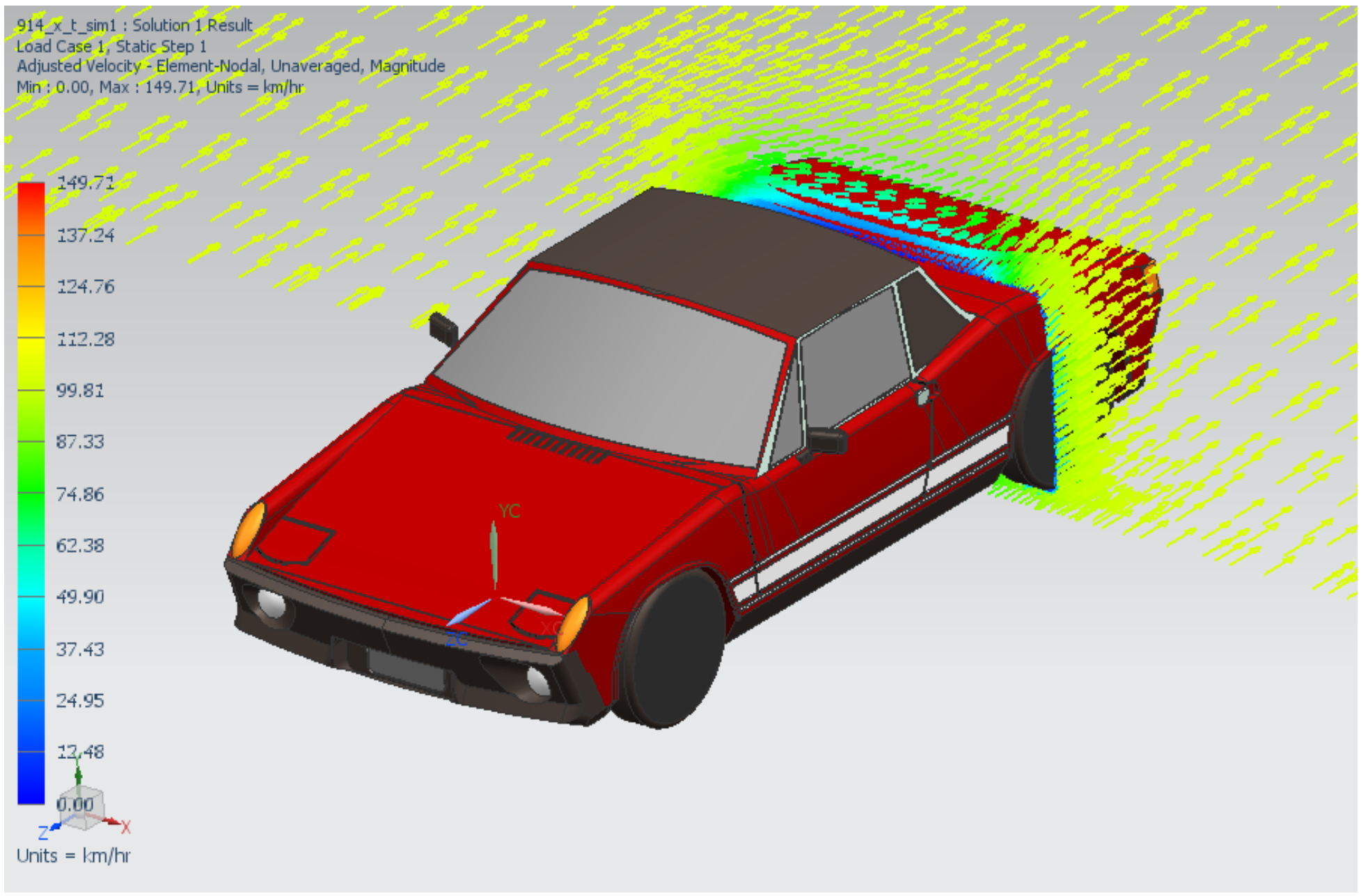
# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik



Geschwindigkeitsvektoren

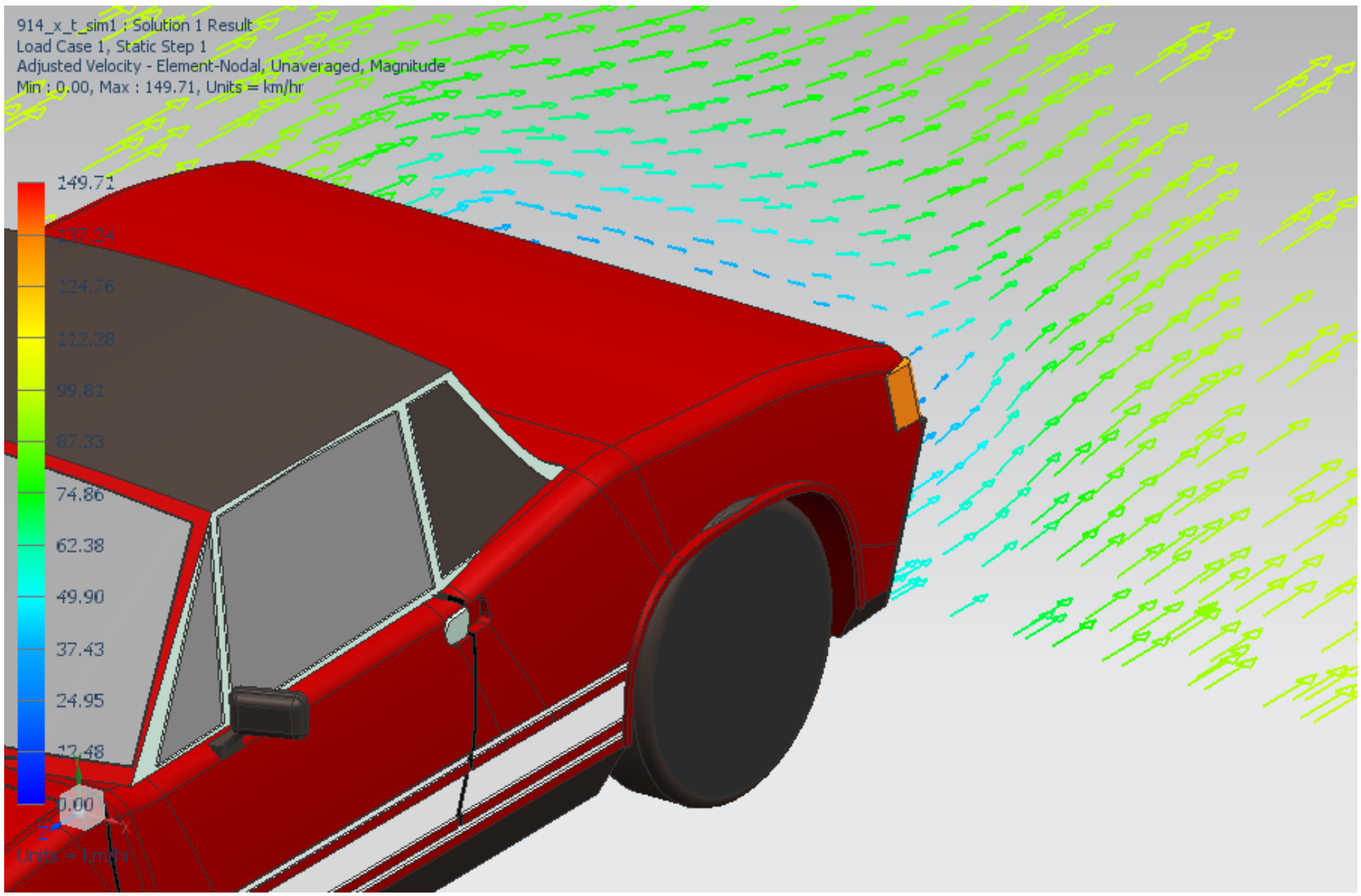
→ Grenzschicht und Ablösung

# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik



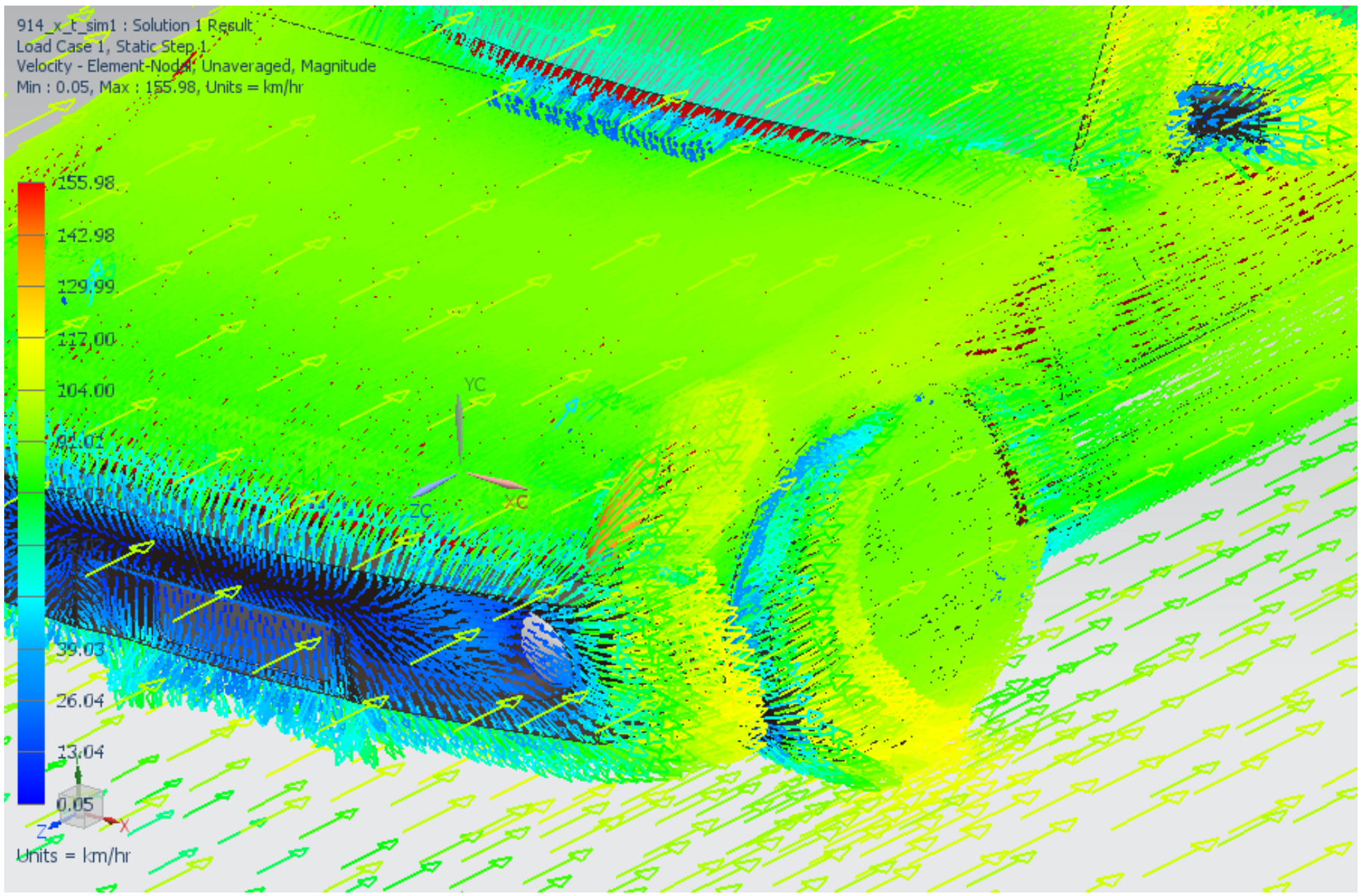
© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH: alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik



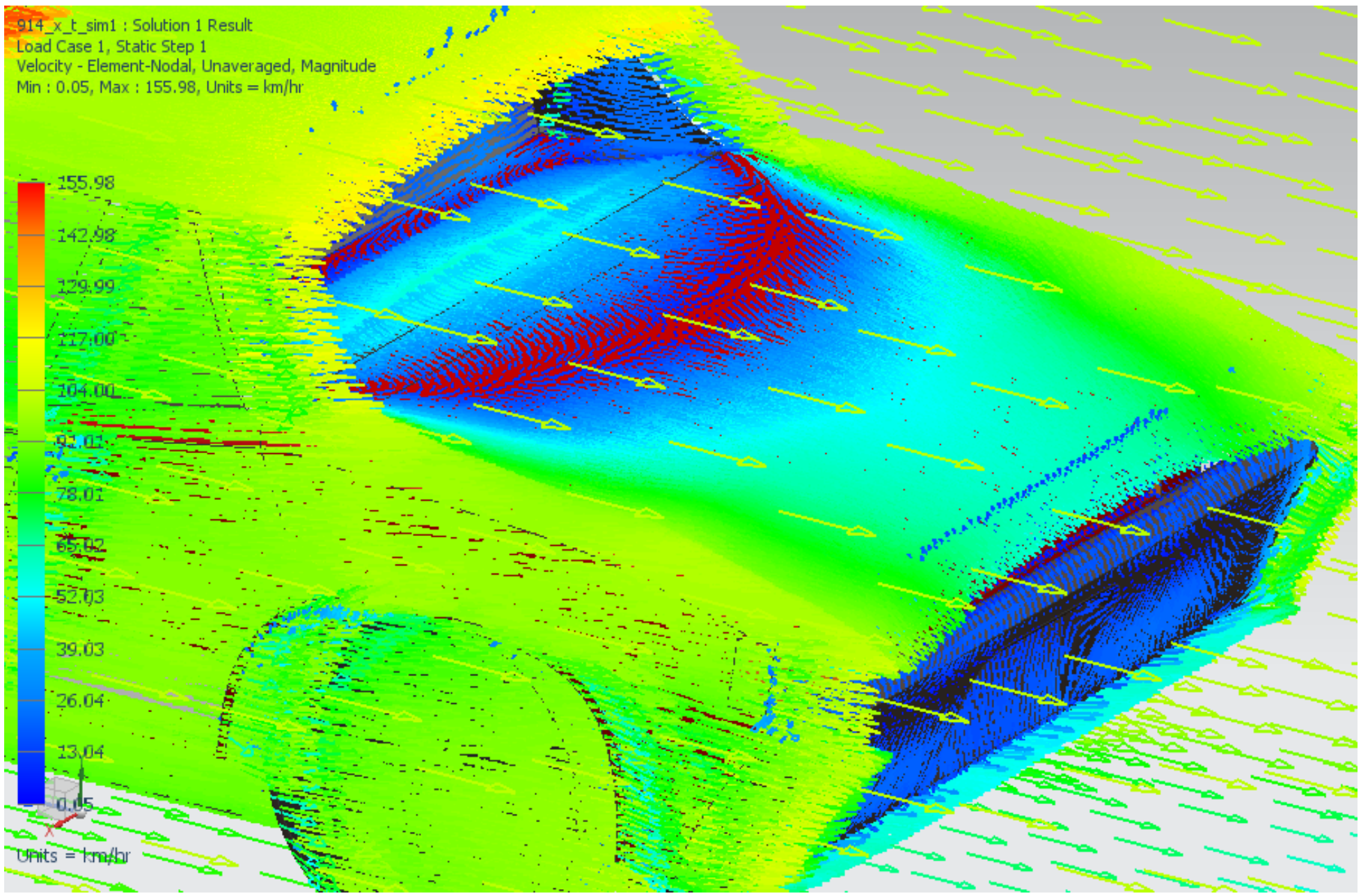
© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH; alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik



© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH: alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

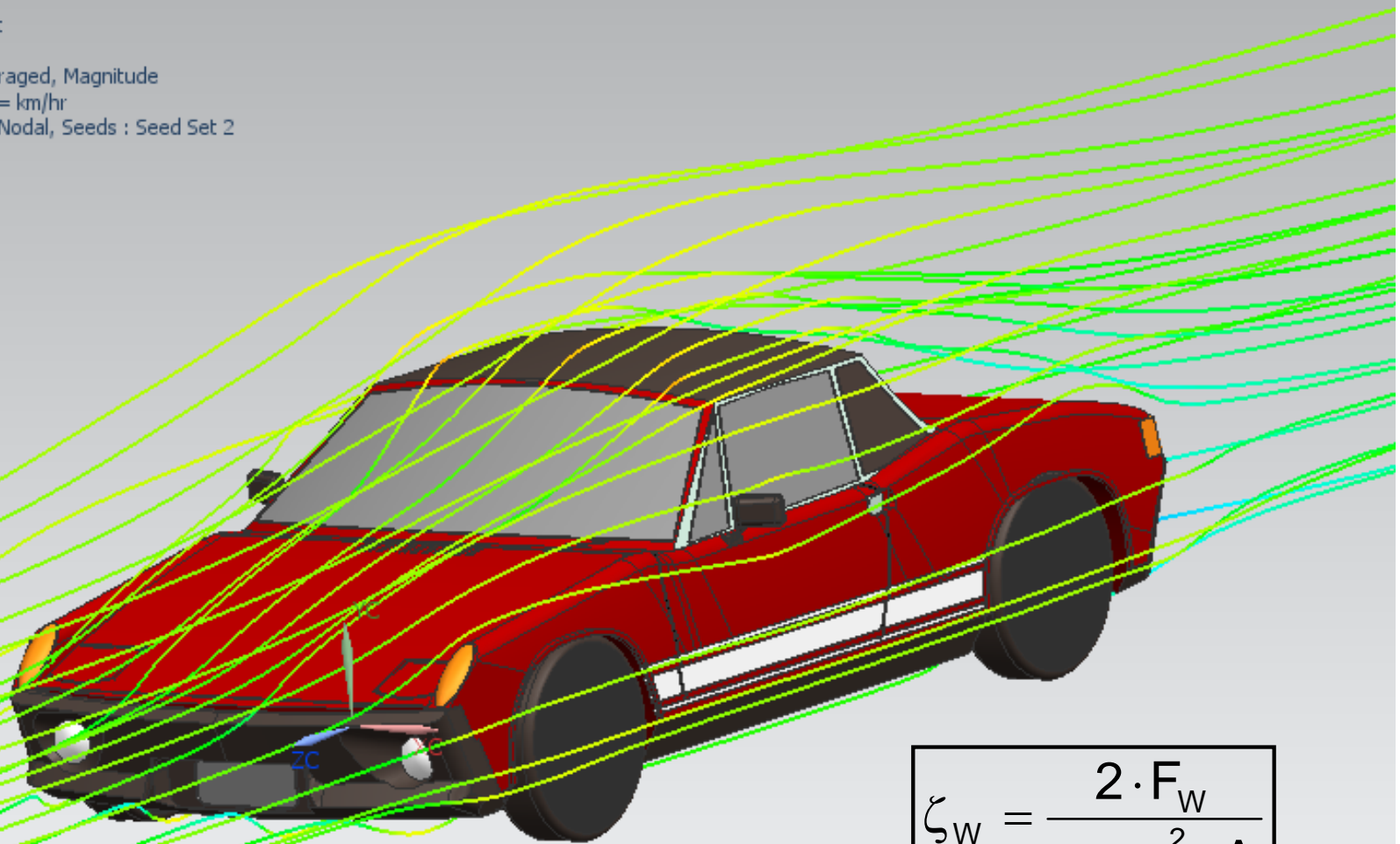
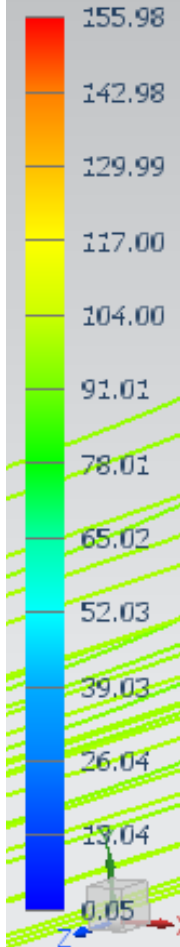
# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik



© Dr. Binde Ingenieure, Design & Engineering GmbH; alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

# Umströmungsberechnung - Fahrzeugaerodynamik

914\_x\_t\_sim1 : Solution 1 Result  
Load Case 1, Static Step 1  
Velocity - Element-Nodal, Unaveraged, Magnitude  
Min : 0.05, Max : 155.98, Units = km/hr  
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 2



$$\zeta_W = \frac{2 \cdot F_W}{\rho \cdot v_{\infty}^2 \cdot A}$$

$$\zeta_A = \frac{2 \cdot F_A}{\rho \cdot v_{\infty}^2 \cdot A}$$

Units = km/hr

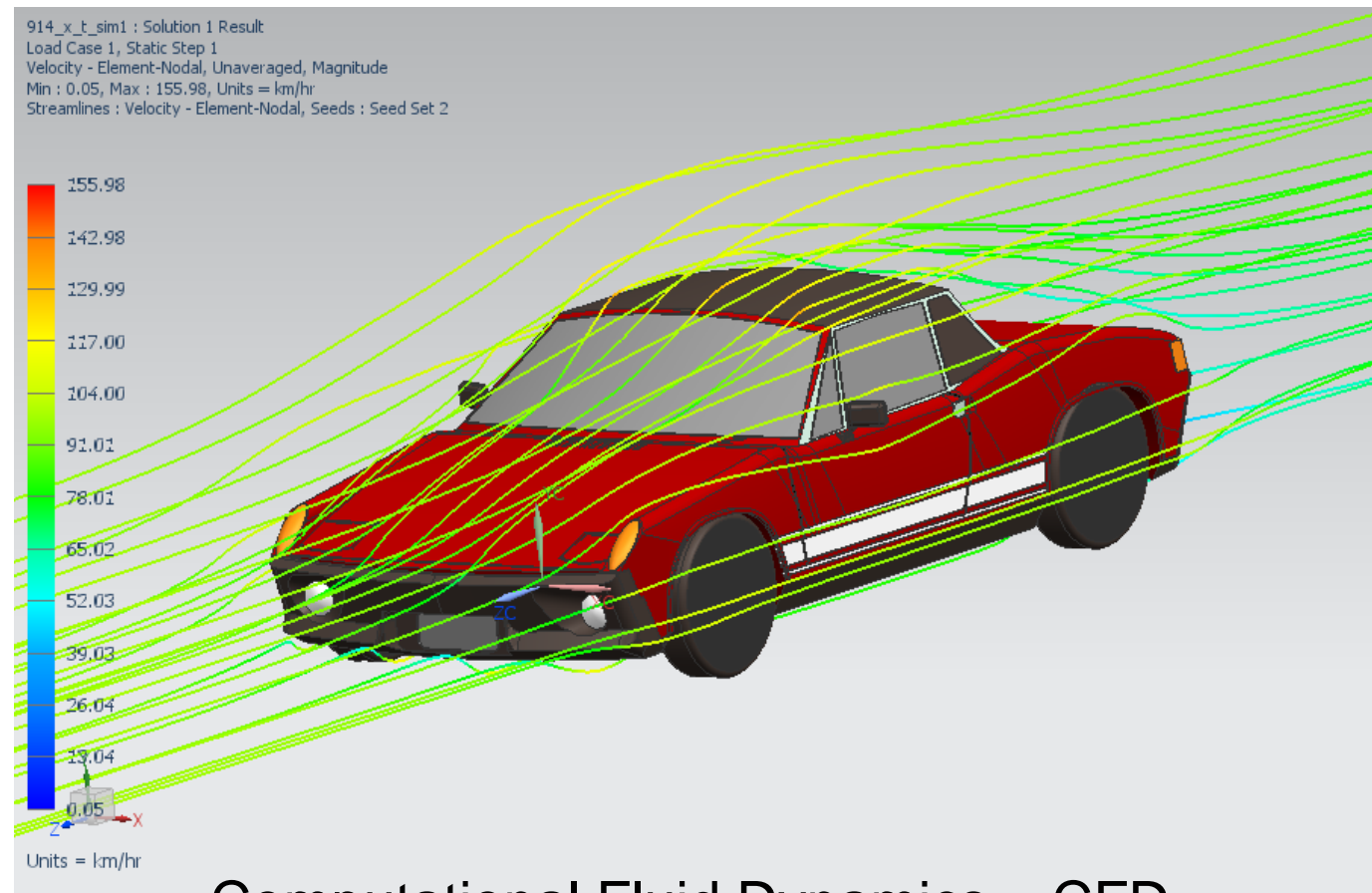
- Strömungsmechanik: Physikalische Grundlagen und deren Umsetzung in NX
- Mathematik: Numerische Berechnungen und deren Umsetzung in NX
- Arbeitsschritte bei numerischen Strömungsberechnungen
  
- Durchströmungsberechnungen
  - Krümmerströmung
  - Frischluftaufbereitung
  - Hydraulikventil
- Umströmungsberechnungen
  - Gebäudeaerodynamik
  - Fahrzeugaerodynamik
  
- Zusammenfassung und Fazit

- Physikalische Grundlagen und numerische Berechnungen sind komplex → Komplexität und damit Aufwand sind deutlich höher als numerische Strukturberechnungen (FEM).
- NX macht keine Vereinfachungen, die nicht alle CFD-Codes auch machen müssen (Reynolds-Mittelung in Kombination mit Turbulenzmodellen).
- NX-CFD-Feature List: konturangepasste Koordinaten, Finite-Volumen-Methode, Gekoppelter Löser, Algebraisches Mehrgitterverfahren.
- NX-CFD ist „General Purpose CFD Code“.
- Numerischen Strömungsberechnungen bestehen aus fünf Arbeitsschritten.
- NX-CFD ist ein Werkzeug bei dem nicht die Bedienung entscheidend ist, sondern die Interpretation der Ergebnisse und die Umsetzung in Maschinen und Anlagen.



- Numerische Strömungsberechnungen mit NX – Herausforderungen und Lösungen bei Durchströmungs- und Umströmungs-Vorgängen

Prof. Dr.-Ing. Alexander Steinmann  
Dr. Binde Ingenieure  
Design & Engineering GmbH  
Tel. 0173 232 78 11  
Alexander.Steinmann@drbinde.de



## Computational Fluid Dynamics – CFD