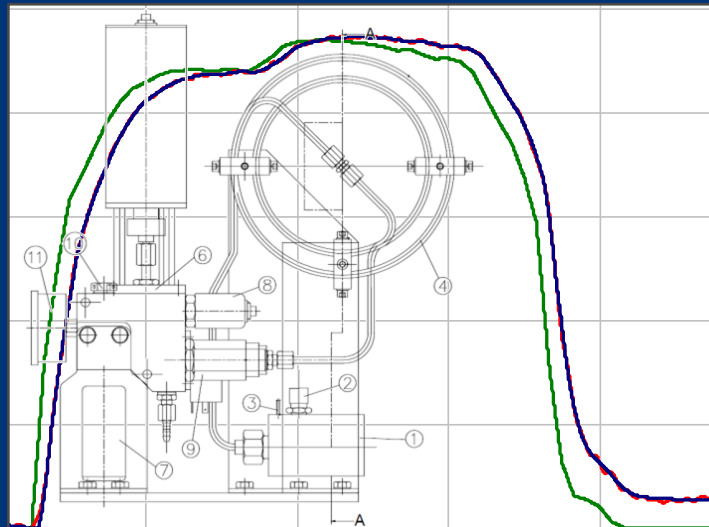


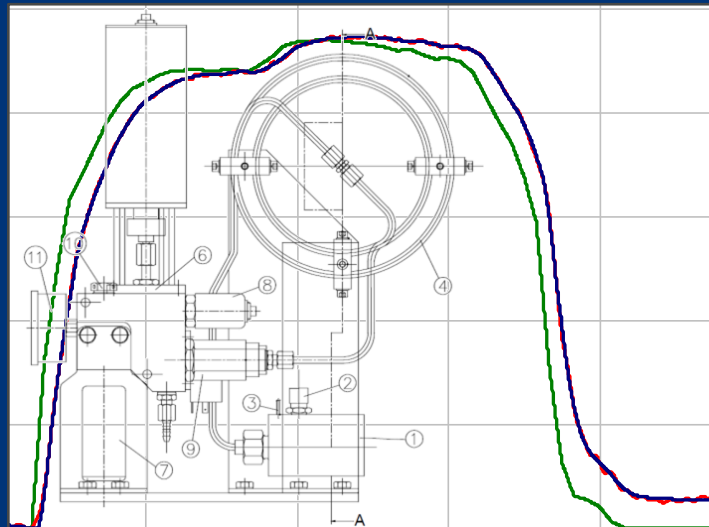
# Optimierung mit DSHCalc

Dr-Ing. David van Bebber



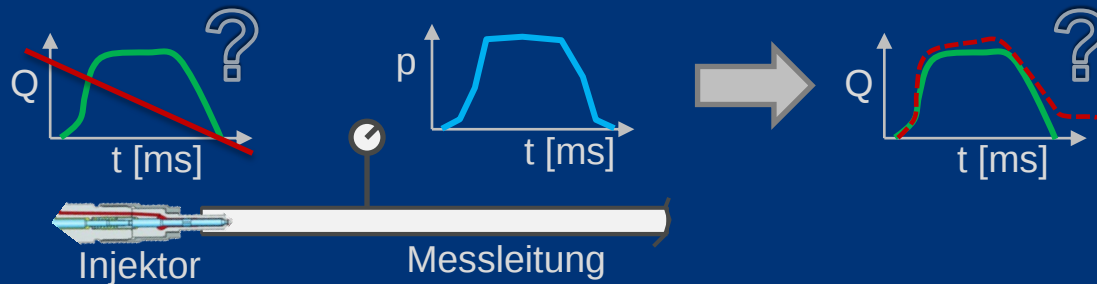
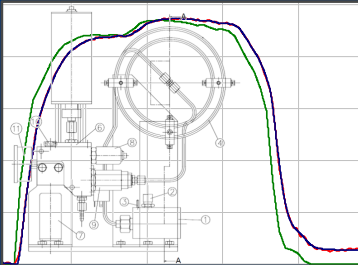
# Optimierung mit DSHCalc

Dr-Ing. David van Bebber



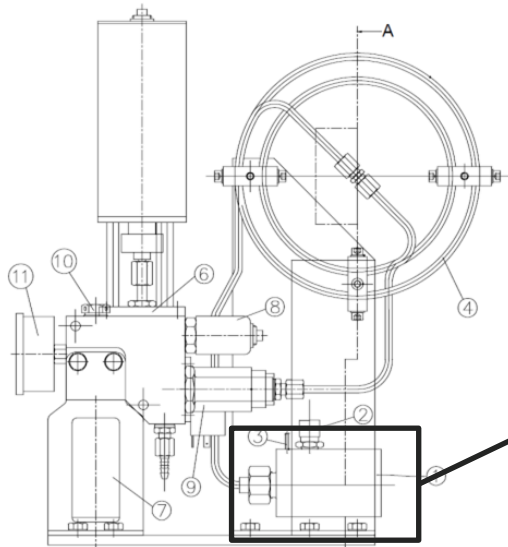
# Optimierung mit DSHCalc

Dr-Ing. David van Bebbber

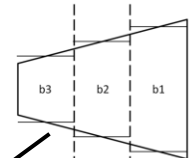
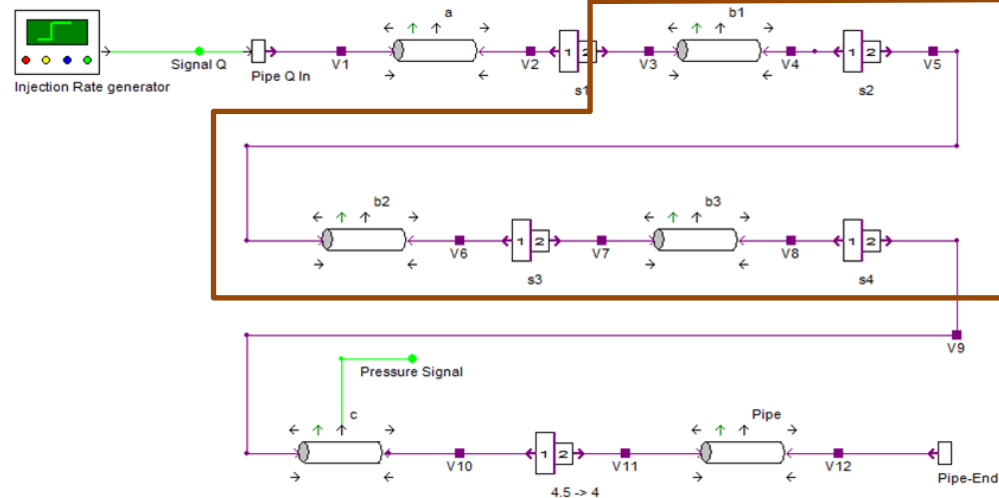
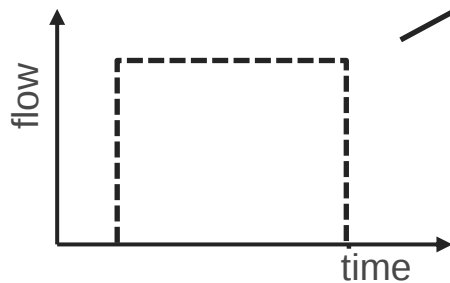
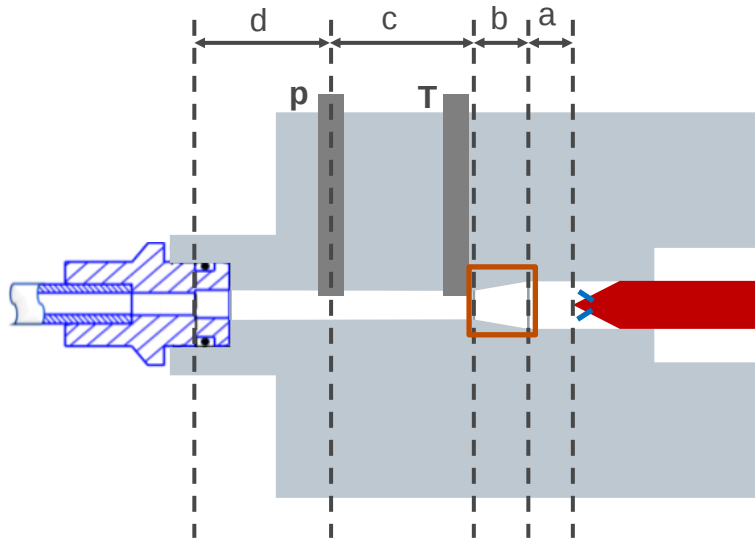


- **Einspritzraten Messsystem**
- **Geometrie- und Temperatureinfluss**
- **Rückrechnung der wahren Einspritzrate**
  - **klassische Korrektur**
  - **Optimierung mit DSHplus**
  - **Optimierung mit Matlab**
    - **DSHcalc Kopplung und Parallelisierung**
    - **Sequentieller Optimierungsansatz**
    - **Iteratives Lösungsverfahren**
    - **Verbesserung der Auflösung**
- **Vergleich der Rechenzeiten**
- **Zusammenfassung**

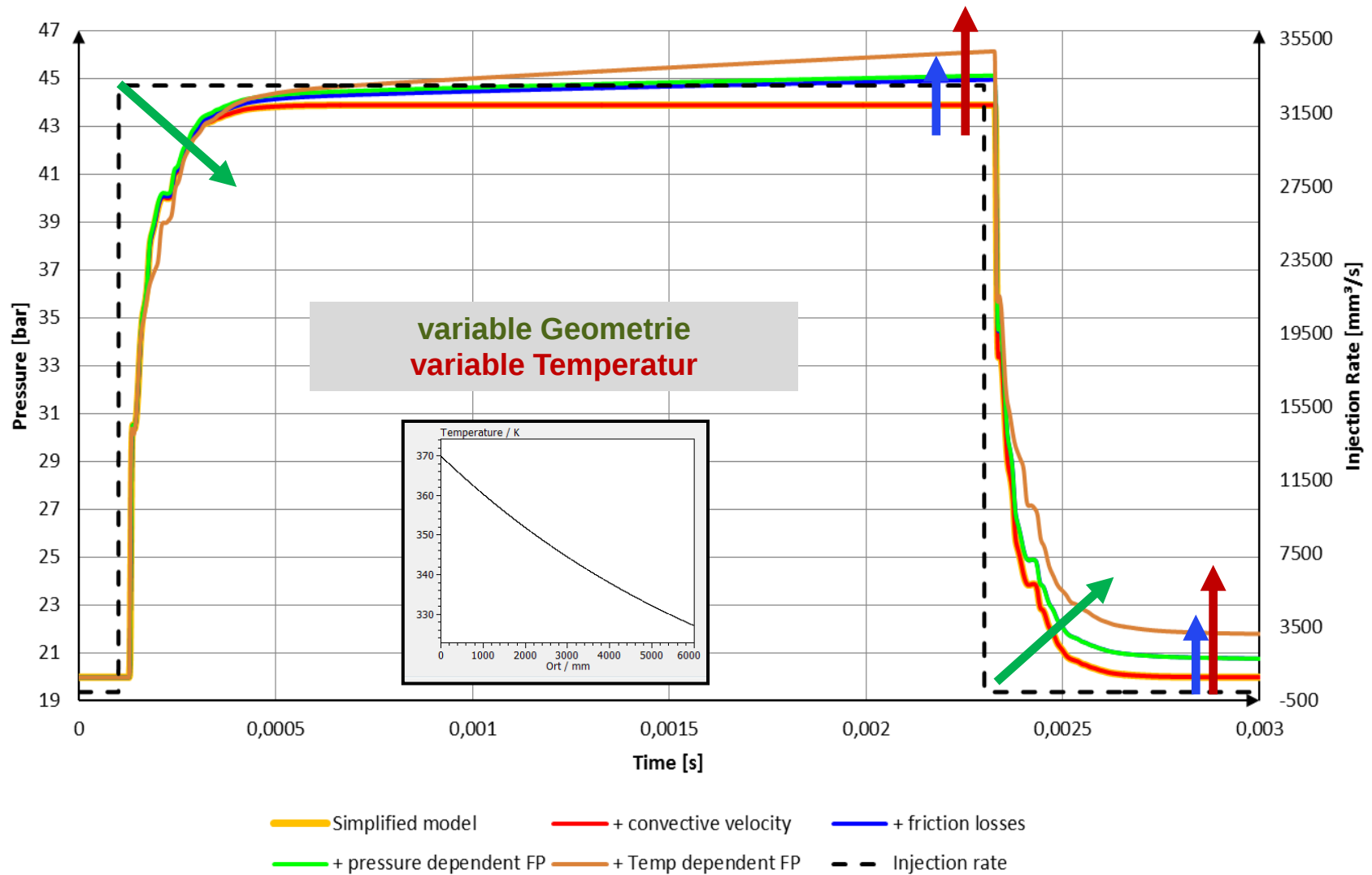
# Einspritzraten Messsystem



Quelle: János Kerégyártó  
Ermittlung des Einspritzverlaufs an Diesel-Injektoren  
Dissertation, Universität Magdeburg, 2009



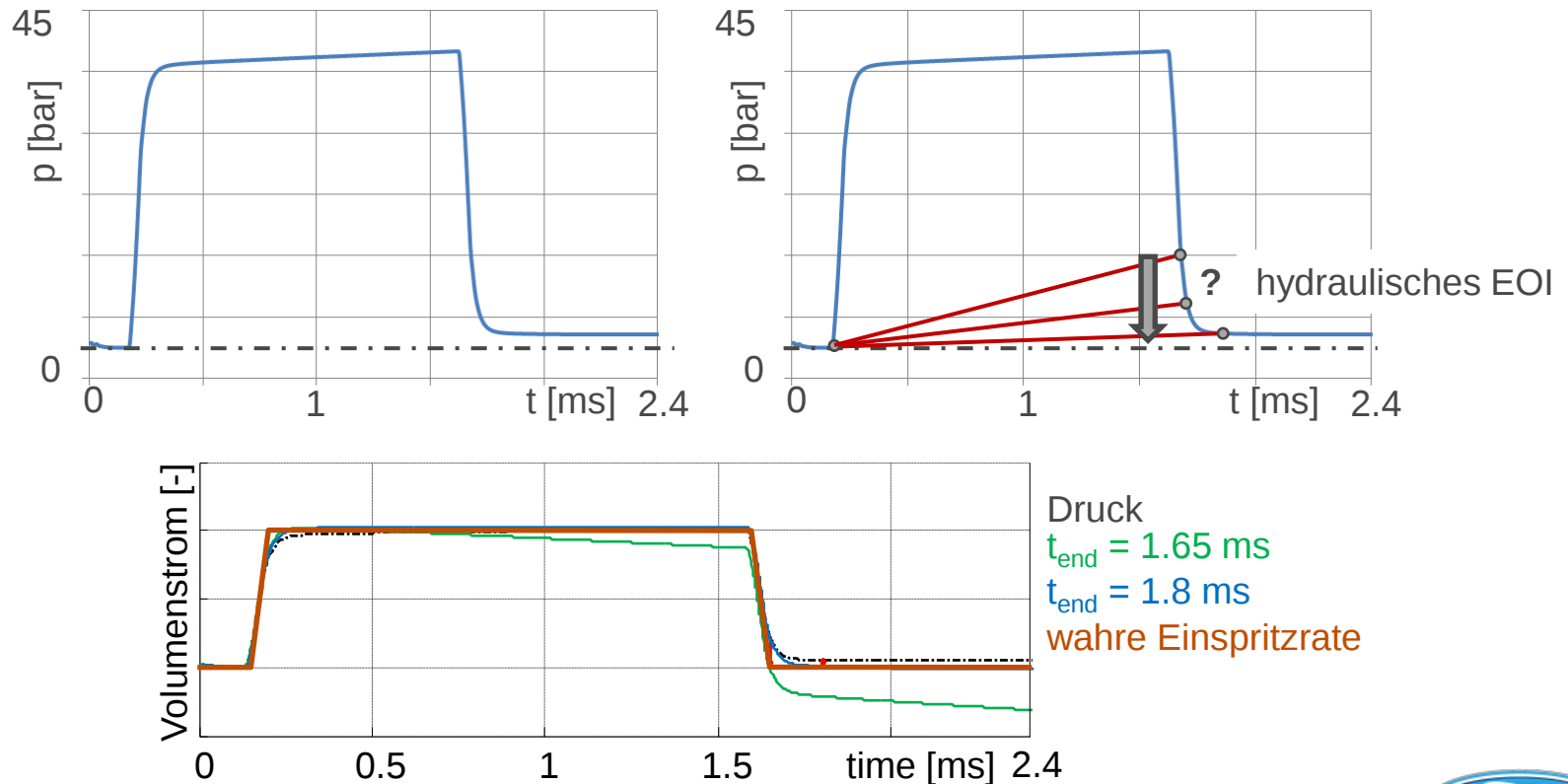
# Geometrie- und Temperatureinfluss



- Einspritzraten Messsystem
- Geometrie- und Temperatureinfluss
- Rückrechnung der wahren Einspritzrate
  - klassische Korrektur
  - Optimierung mit DSHplus
  - Optimierung mit Matlab
    - DSHcalc Kopplung und Parallelisierung
    - Sequentieller Optimierungsansatz
    - Iteratives Lösungsverfahren
    - Verbesserung der Auflösung
- Vergleich der Rechenzeiten
- Zusammenfassung

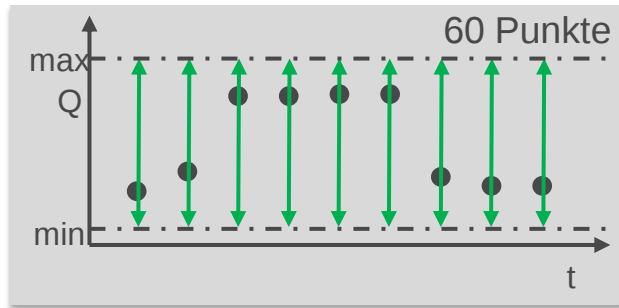
# Rückrechnung der wahren Einspritzrate

- Klassische Einspritzratenmesssysteme liefern lediglich einen hochaufgelösten Druckverlauf und eine mittlere Temperatur am Anfang der Messleitung
- In vielen Fällen wird eine lineare Korrektur eingesetzt
- Das elektrische Einspritzende (EOI) ist bekannt, das hydraulische Ende aber nicht
- Starker Einfluss des abgeschätzten hydraulischen Einspritzendes auf das Ergebnis
- Wahres hydraulisches Einspritzende liefert falsche Korrektur
- Keine Möglichkeit, den fehlerhaft abgerundeten Verlauf zu korrigieren



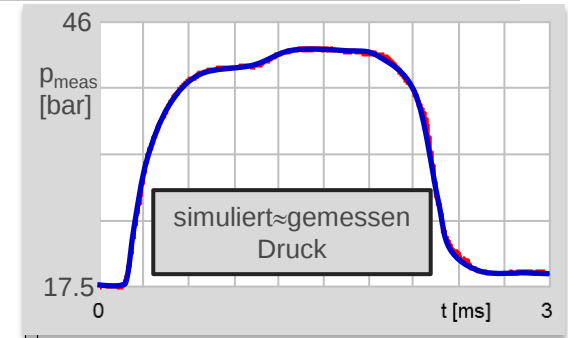
- Einspritzraten Messsystem
- Geometrie- und Temperatureinfluss
- Rückrechnung der wahren Einspritzrate
  - klassische Korrektur
  - Optimierung mit DSHplus
  - Optimierung mit Matlab
    - DSHcalc Kopplung und Parallelisierung
    - Sequentieller Optimierungsansatz
    - Iteratives Lösungsverfahren
    - Verbesserung der Auflösung
- Vergleich der Rechenzeiten
- Zusammenfassung

# Rückrechnung der wahren Einspritzrate

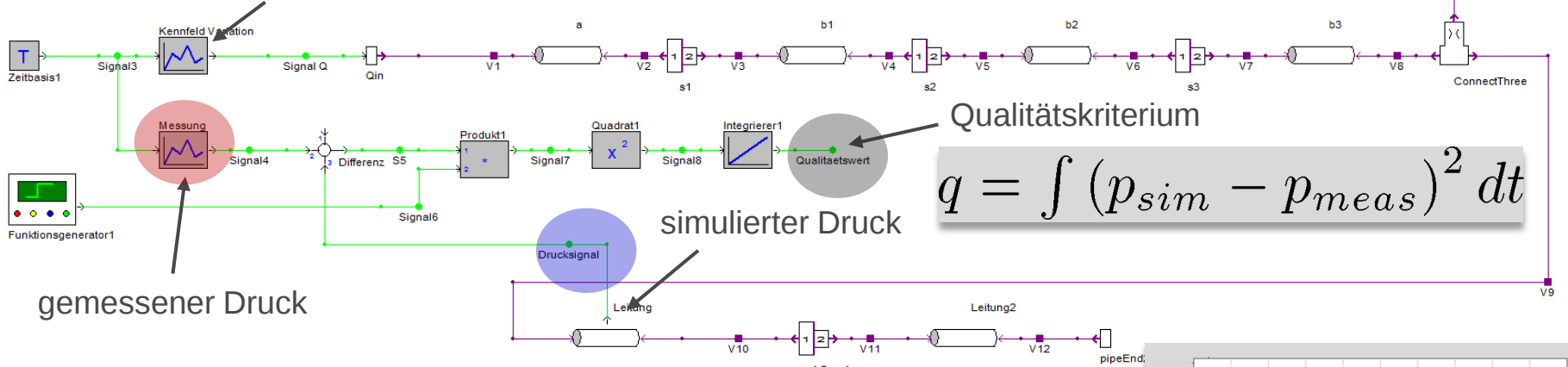


Einspritzrate

Optimiere Einspritzrate, so dass gemessener und simulierter Druck übereinstimmen.



Leckage

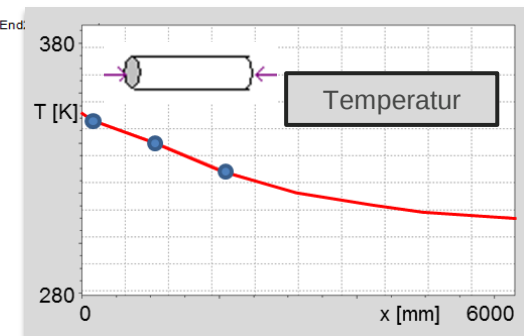
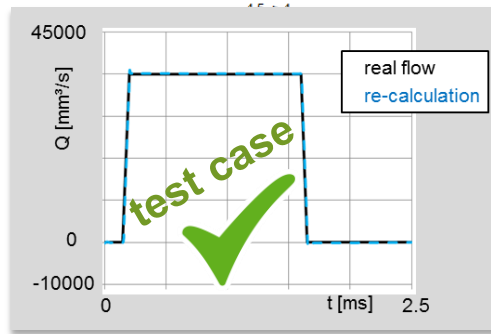
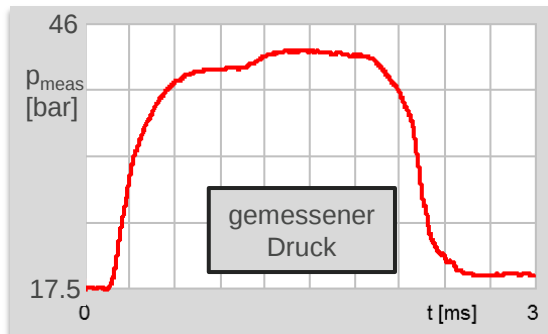


gemessener Druck

simulierter Druck

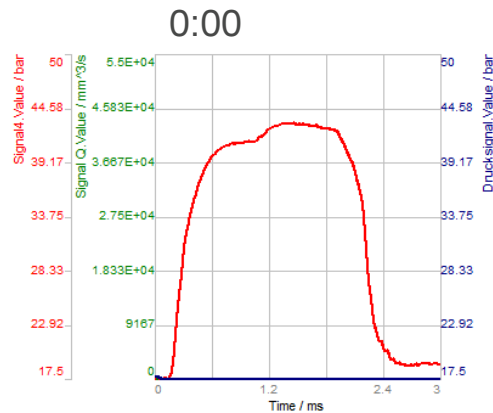
Qualitätskriterium

$$q = \int (p_{sim} - p_{meas})^2 dt$$



# Optimierungsalgorithmus - DSHplus

- Implimentierter DSHplus Optimierungsalgorithmus: Hooke & Jeeves für 1 CPU Kern



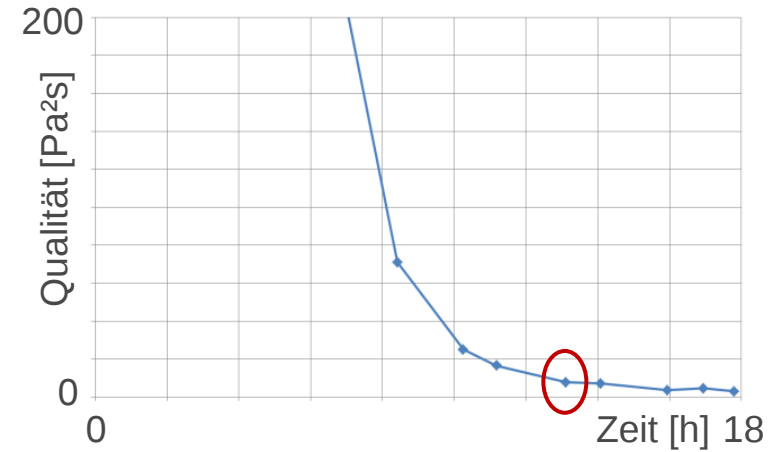
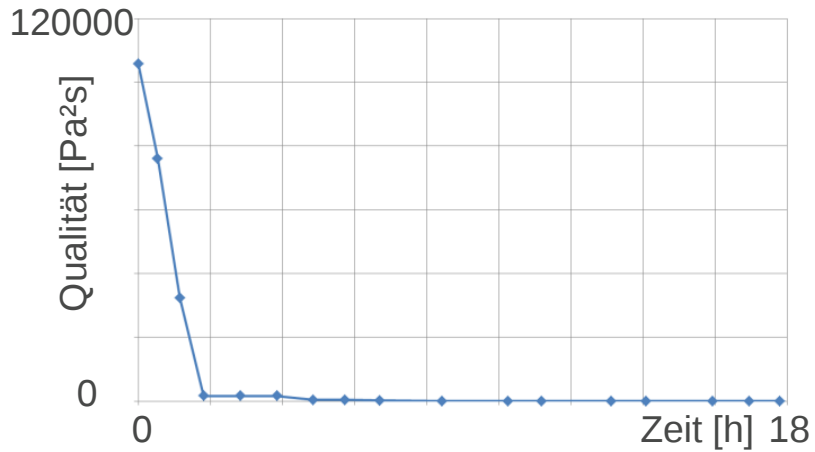
Druck gemessen

Druck simuliert

Volumenstrom simuliert

# Optimierungsalgorithmus – DSHplus → Matlab

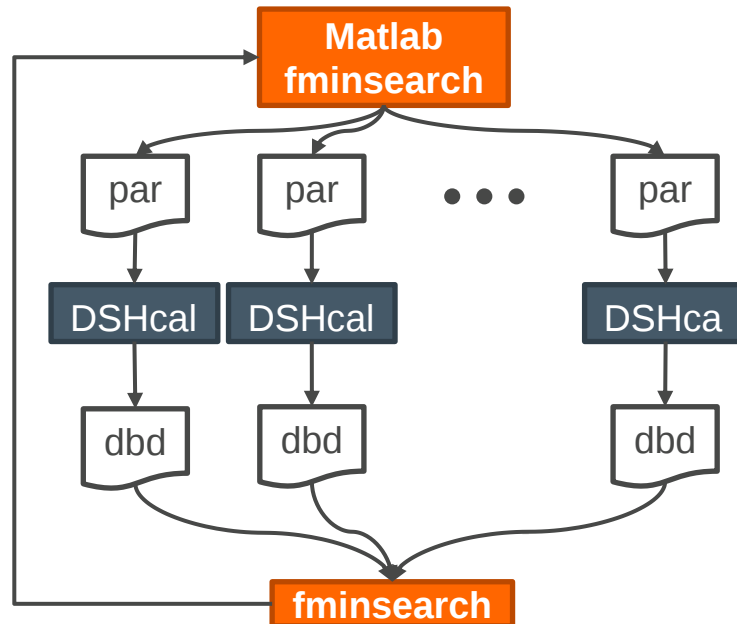
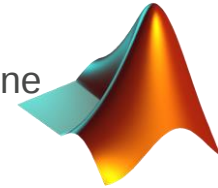
- Akzeptable Ergebnisse nach 13h



- Einspritzraten Messsystem
- Geometrie- und Temperatureinfluss
- Rückrechnung der wahren Einspritzrate
  - klassische Korrektur
  - Optimierung mit DSHplus
  - Optimierung mit Matlab
    - DSHcalc Kopplung und Parallelisierung
    - Sequentieller Optimierungsansatz
    - Iteratives Lösungsverfahren
    - Verbesserung der Auflösung
- Vergleich der Rechenzeiten
- Zusammenfassung

# Optimierungsalgorithmus – Matlab, fminsearch

- Modellexport und Integration in Matlab über DSHcalc
- Einsatz des Matlab Optimierungsverfahrens *fminsearch* für mehrere CPU Kerne



Parameter Dateien

Simulation

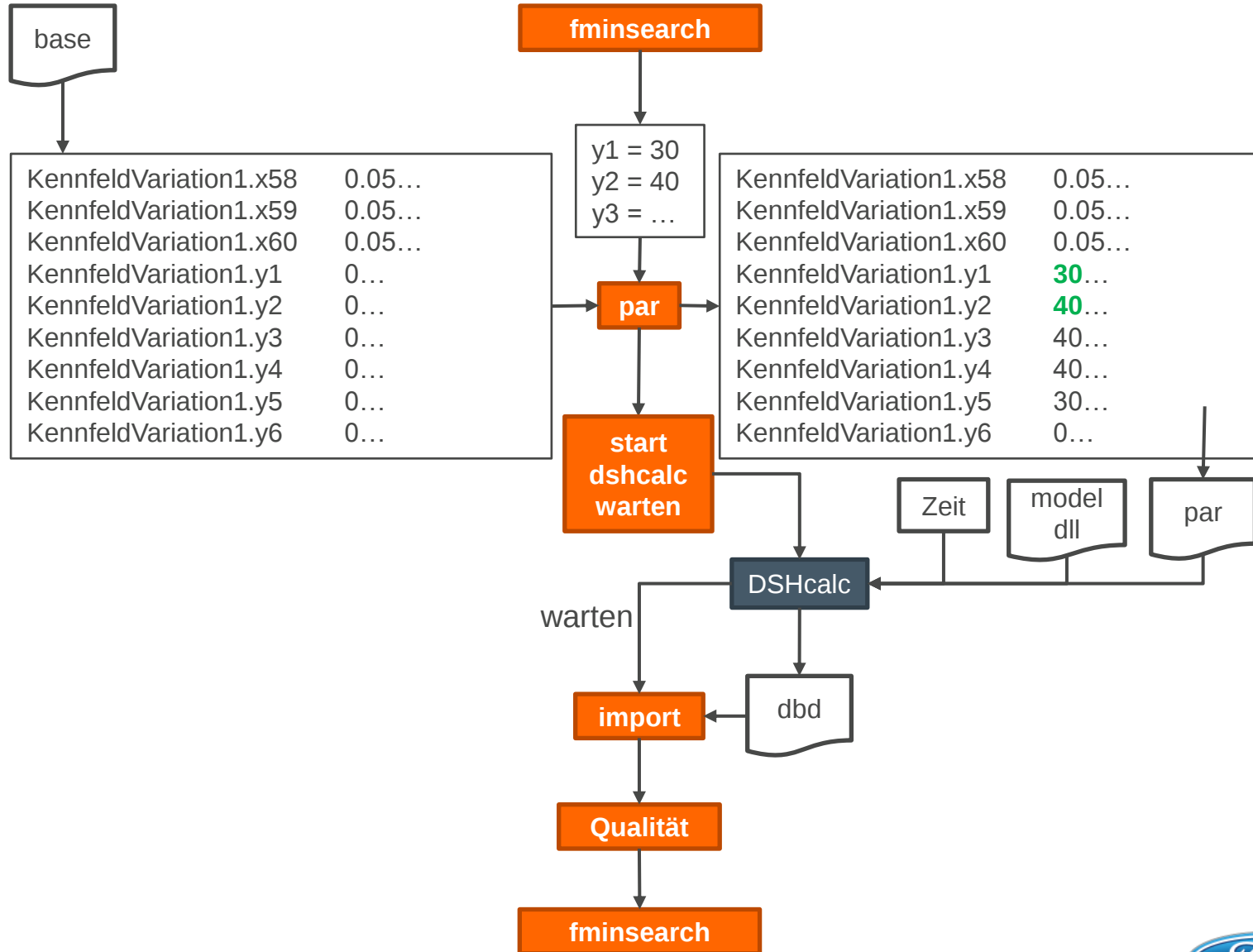
Ergebnis Dateien

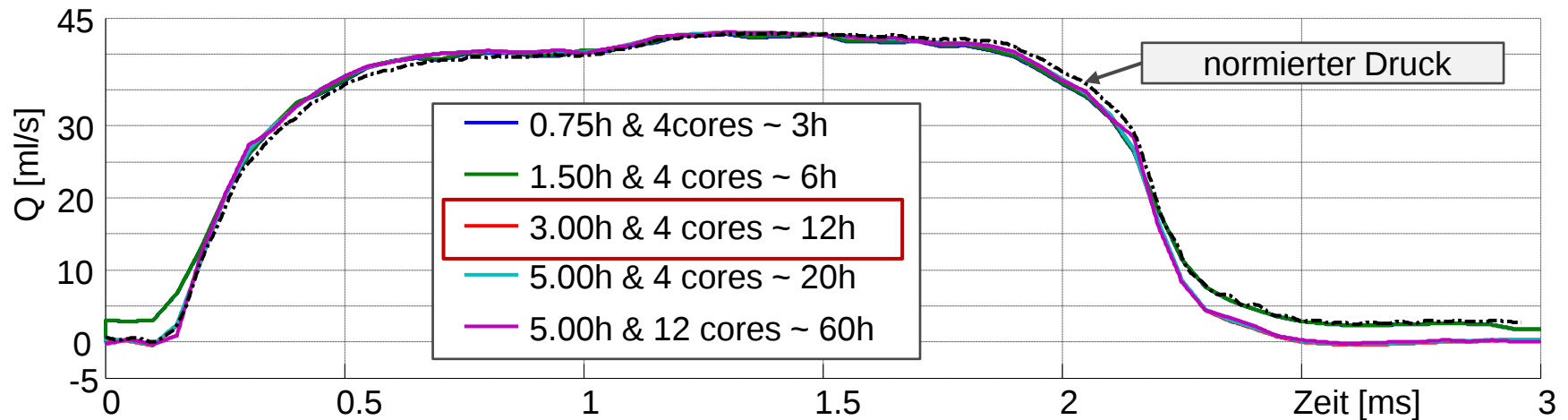
Analyse

## Matlab Funktionen

- 1) Erzeuge Parameter- und Kennfelddateien
- 2) Starte externe DSHplus Berechnung mit *dshcalc*
- 3) Bestimmung des Qualitätskriteriums mittels Ergebnisdatei

# Optimierungsalgorithmus – Matlab, fminsearch



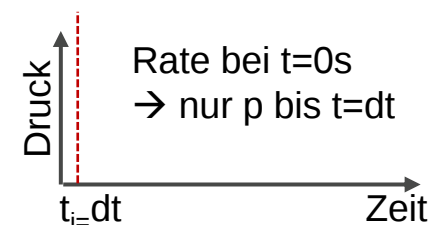
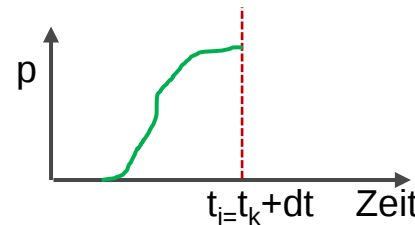
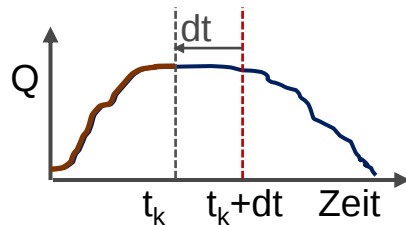
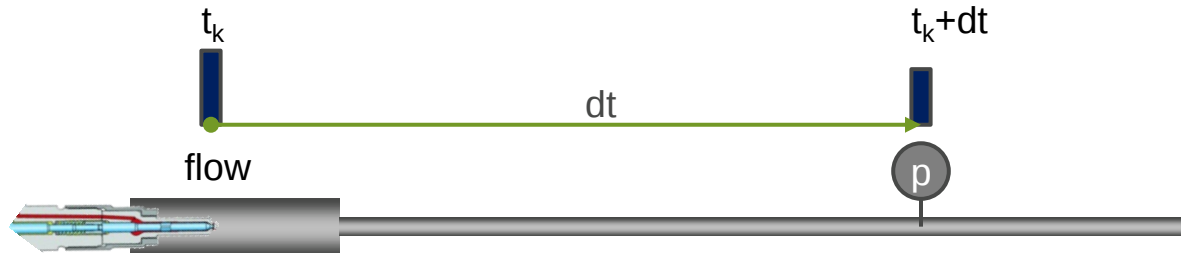


- Grundlegende Einspritzrate nach 45 Minuten, aber noch nicht korrekt und nutzbar
- Sinnvolle Ergebnisse nach 2.5 – 3 Stunden, was 10-12 Stunden CPU Zeit entspricht
- Hauptreduktion der Berechnungszeit durch Parallelisierung
- Verbesserungen durch Parameteranpassung (fminsearch) eventuell möglich

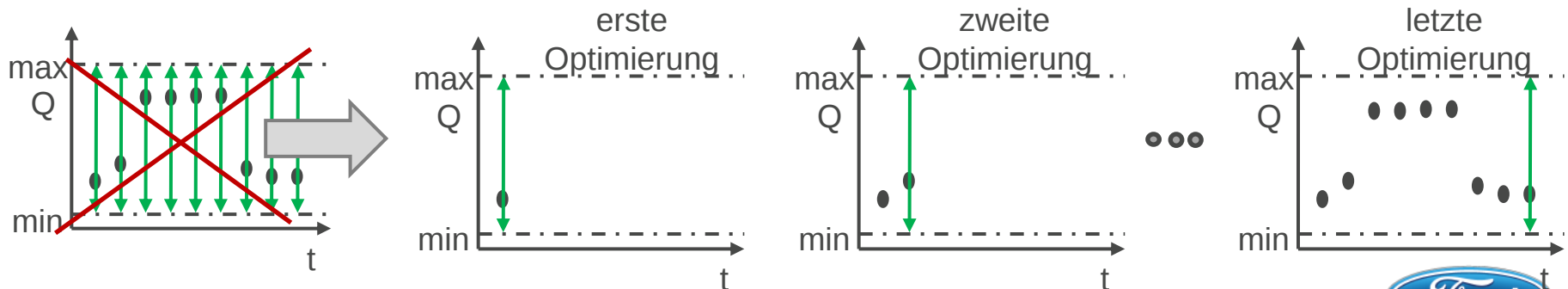
- Einspritzraten Messsystem
- Geometrie- und Temperatureinfluss
- Rückrechnung der wahren Einspritzrate
  - klassische Korrektur
  - Optimierung mit DSHplus
  - Optimierung mit Matlab
    - DSHcalc Kopplung und Parallelisierung
    - Sequentieller Optimierungsansatz
    - Iteratives Lösungsverfahren
    - Verbesserung der Auflösung
- Vergleich der Rechenzeiten
- Zusammenfassung

# Optimierungsalgorithmus – Matlab, neuer Algorithmus

- Einspritzinformation breitet sich in der Zeit  $dt$  bis zum Drucksensor aus

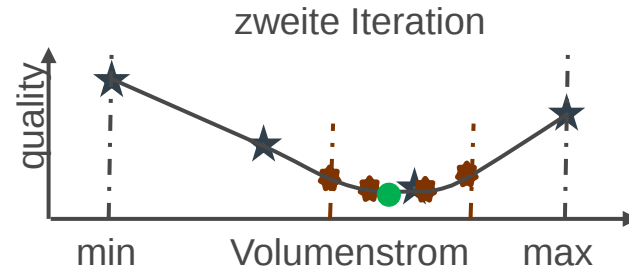
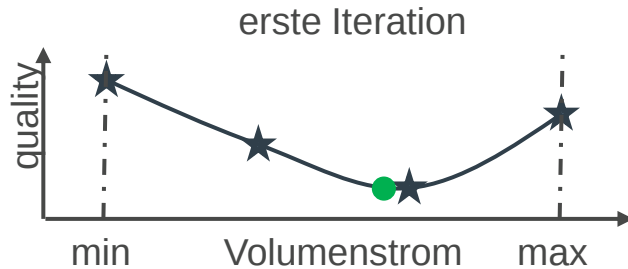
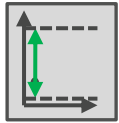


- Druck bei  $t_k + dt$  wird nur von der Einspritzrate bis  $t_k$  beeinflusst
- Zur Optimierung des Volumenstroms bei  $t=0$  ist lediglich der Druck bis  $dt$  zu betrachten
- Ein optimierter Volumenstrom  $Q(t_k)$  kann nicht durch Volumenströme  $Q(t > t_k)$  beeinflusst werden
- Jeder Volumenstrom kann sequentiell optimiert werden
- Neues Qualitätskriterium: minimiere  $|\Delta p(t_k + dt)|$



# Optimierungsalgorithmus – Matlab, erweiterter Algorithmus

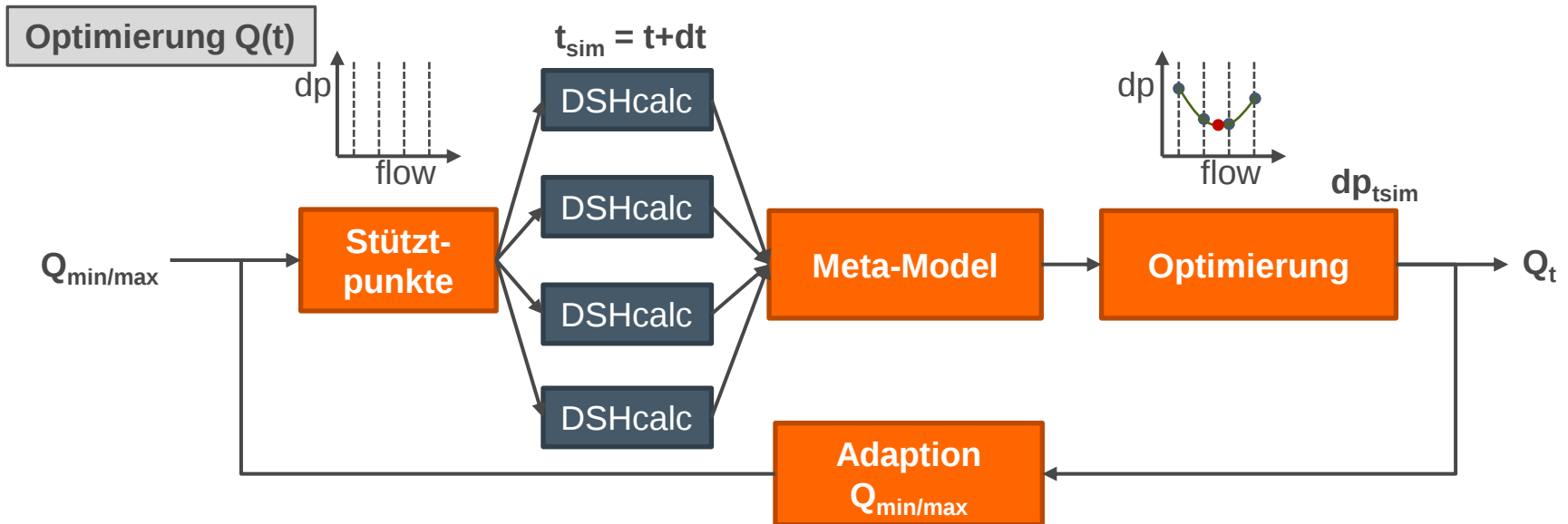
- Volumenstromoptimierung weist einzelnes Minimum auf



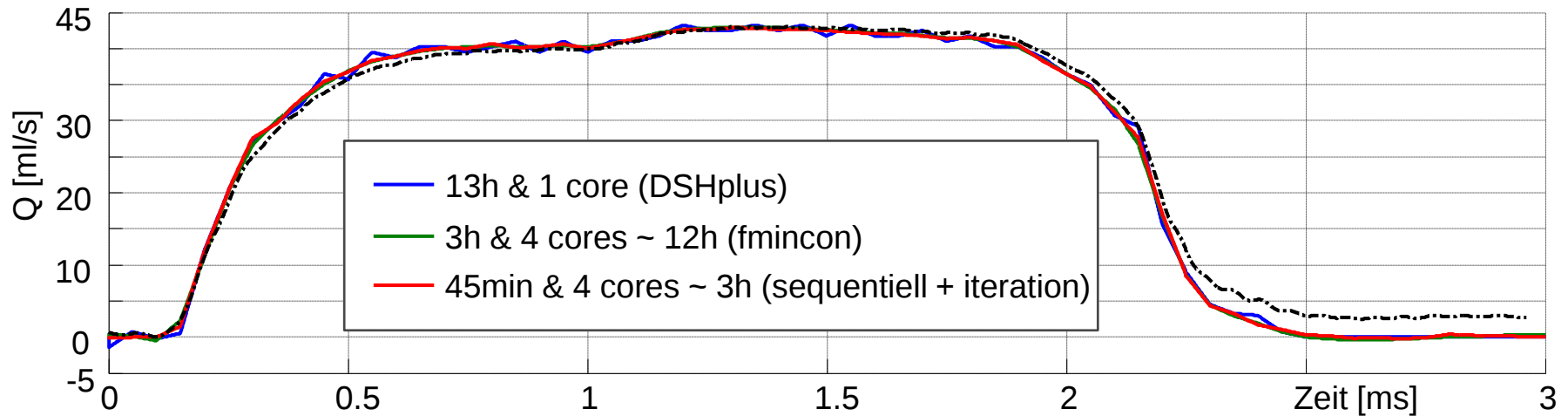
iterative  
Minimierung

4 CPU Kerne

- Matlab Flussdiagramm

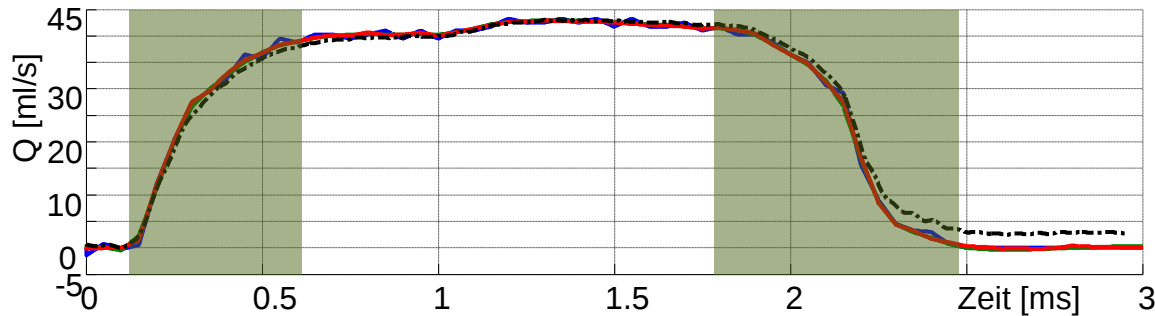


# Optimierungsalgorithmus – Matlab

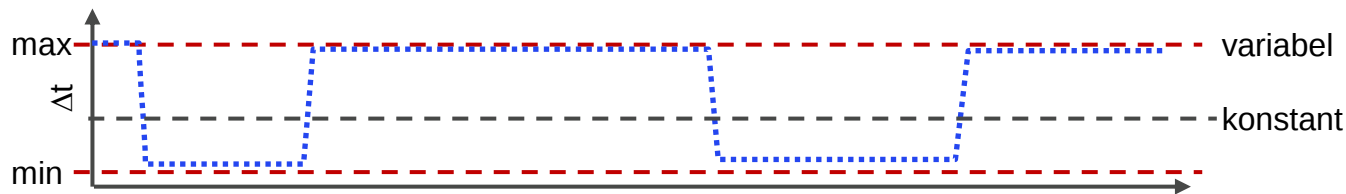


- Verwendbares Ergebnis nach **45 Minuten** anstelle von 13 Stunden
- Weitere Rechenzeitreduktion durch *größere Modell-Zeitschrittweite* → **7 Minuten**
- Mit 12 CPU-Kernen (Linux cluster) und lediglich einer Iteration bereits gute Ergebnisse nach **3.5 Minuten**

- Einspritzraten Messsystem
- Geometrie- und Temperatureinfluss
- Rückrechnung der wahren Einspritzrate
  - klassische Korrektur
  - Optimierung mit DSHplus
  - **Optimierung mit Matlab**
    - DSHcalc Kopplung und Parallelisierung
    - Sequentieller Optimierungsansatz
    - Iteratives Lösungsverfahren
    - **Verbesserung der Auflösung**
- Vergleich der Rechenzeiten
- Zusammenfassung



- Zeit zwischen Stützstellen



- Automatische Adaption der Auflösung auf Basis der aktuellen Volumenstromänderung

$$\Delta t_{i+1} = \begin{cases} \Delta t_i c_g, & \text{if } \Delta Q \leq \Delta Q_{lim} \\ \Delta t_i c_s, & \text{otherwise} \end{cases}$$

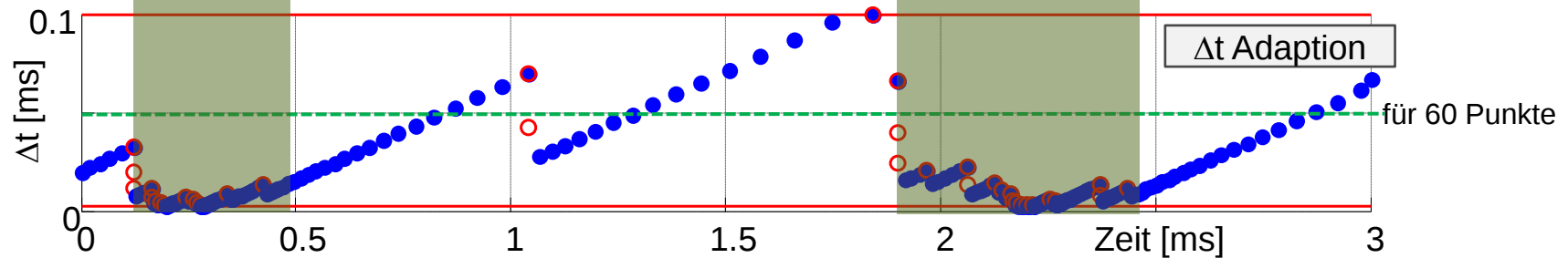
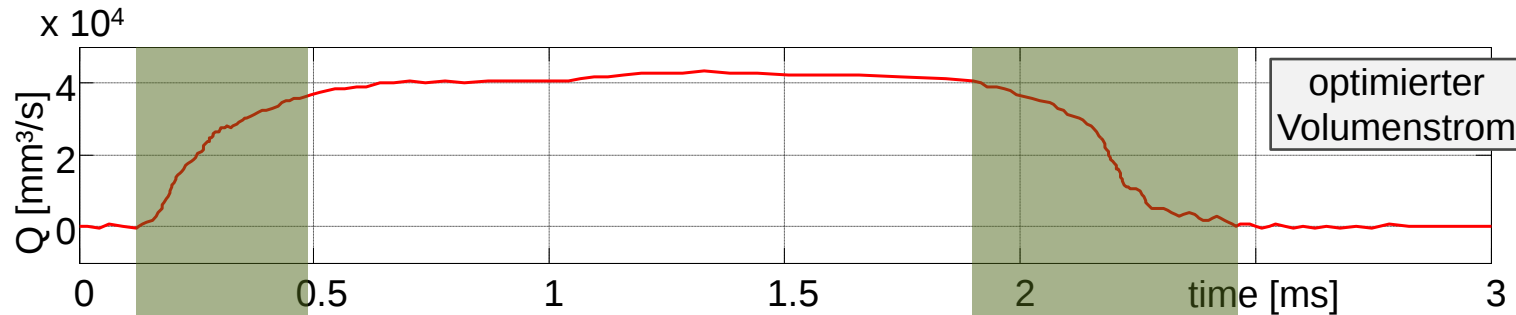
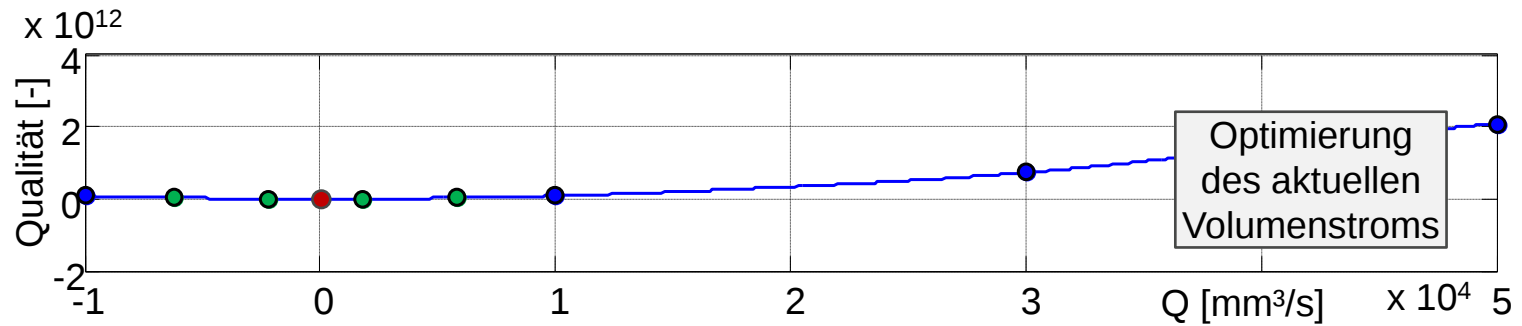
$$c_g = 1.1$$

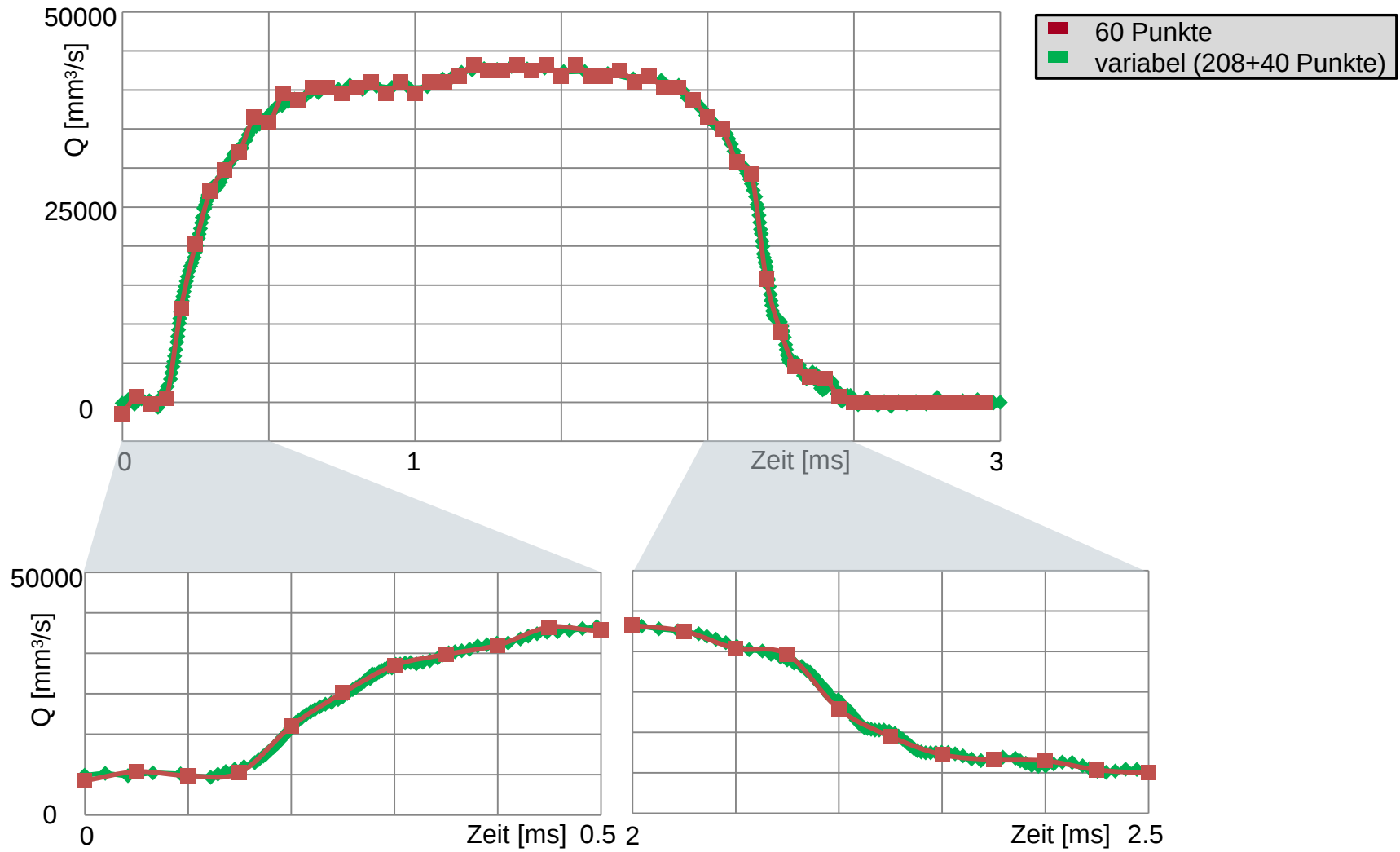
$$c_s = 0.6$$

$$\Delta Q = |Q(t_k) - Q(t_k - \Delta t)|$$

$$Q_{lim} = 1000 \frac{mm^3}{s}$$

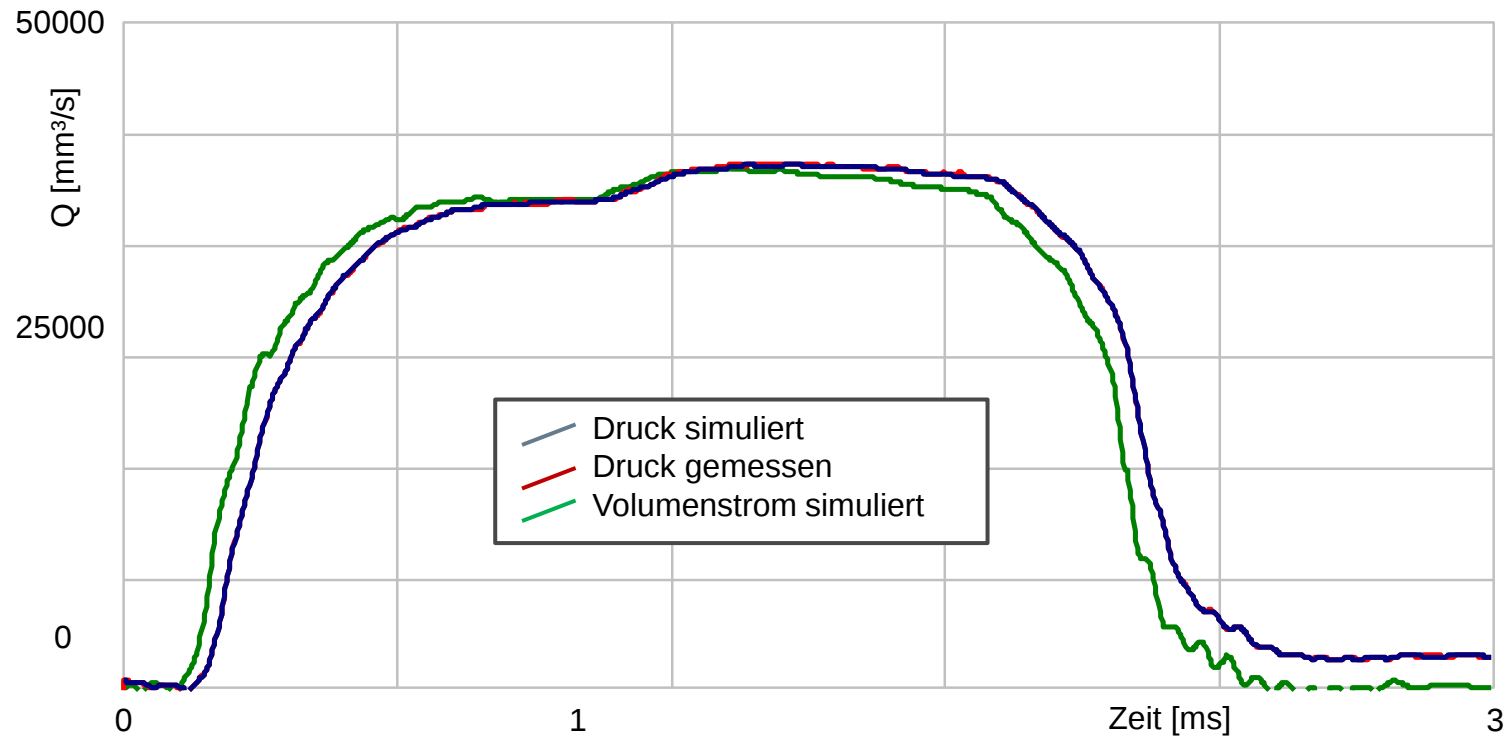
# Optimierungsalgorithmus – Matlab





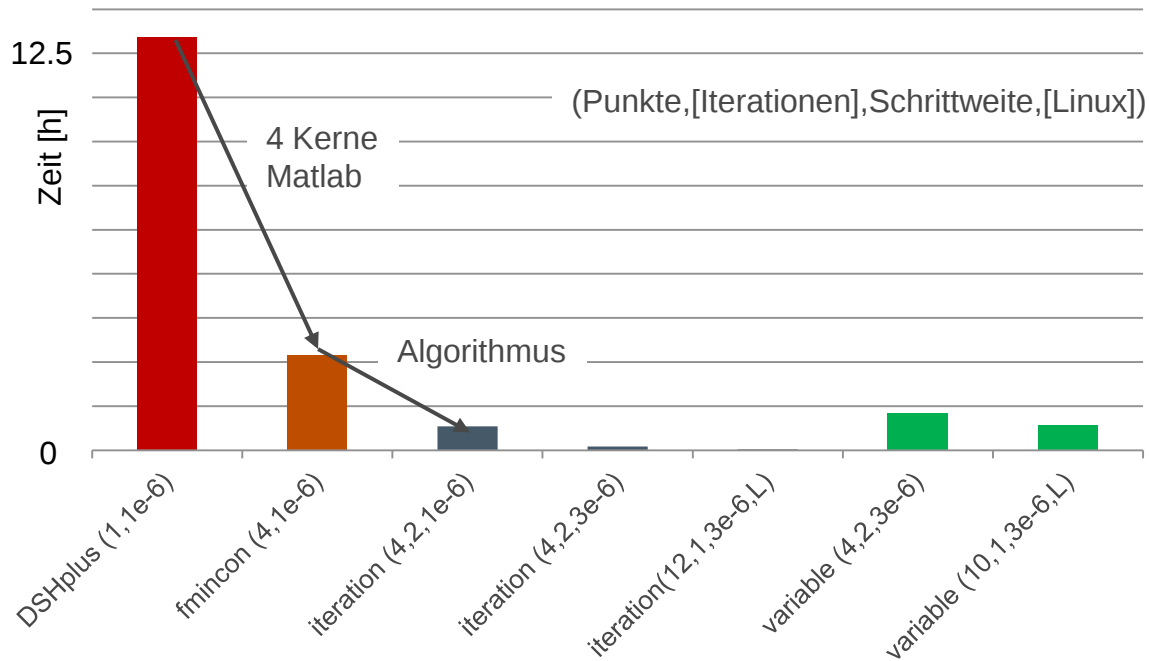
# Optimierungsalgorithmus – Matlab

- Hohe Übereinstimmung des gemessenen und simulierten Druckverlaufs
- Automatische Detektion des hydraulischen Schließzeitpunkts

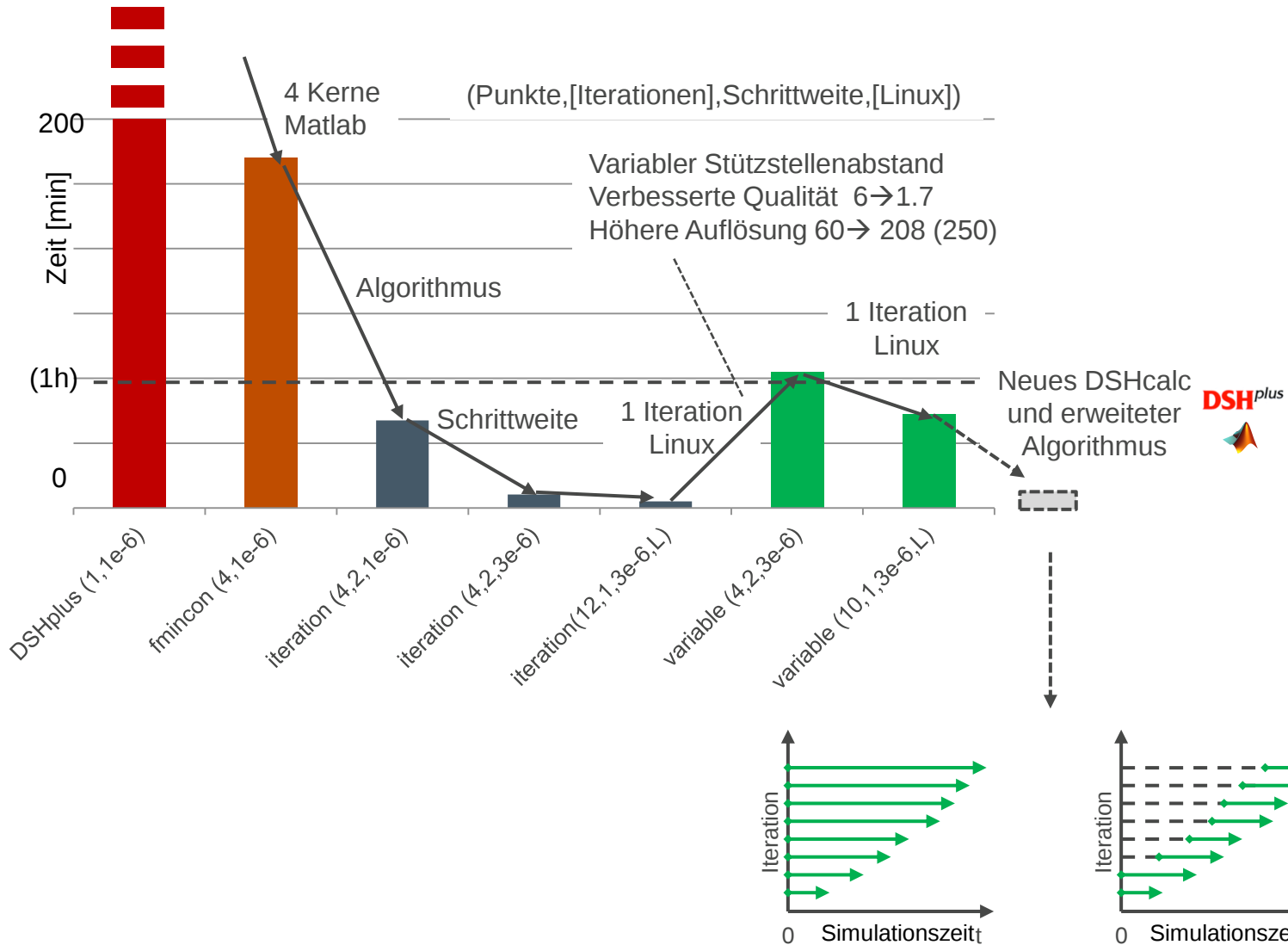


- Einspritzraten Messsystem
- Geometrie- und Temperatureinfluss
- Rückrechnung der wahren Einspritzrate
  - klassische Korrektur
  - Optimierung mit DSHplus
  - Optimierung mit Matlab
    - DSHcalc Kopplung und Parallelisierung
    - Sequentieller Optimierungsansatz
    - Iteratives Lösungsverfahren
    - Verbesserung der Auflösung
- Vergleich der Rechenzeiten
- Zusammenfassung

# Optimierungsalgorithmus – Matlab – Berechnungsdauer

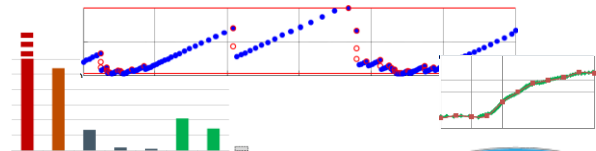
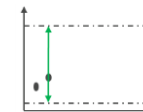
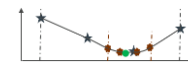
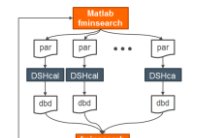
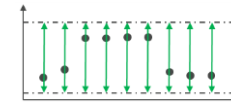
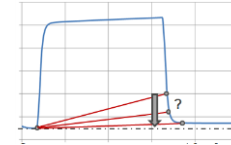
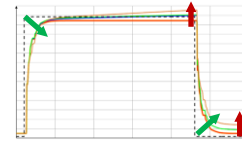


# Optimierungsalgorithmus – Matlab – Berechnungsdauer



# Zusammenfassung

- **Deutlicher Geometrie- und Temperatureinfluss auf Druckverlauf (→ gemessene Einspritzrate)**
- **Klassische Rückrechnung des Volumenstroms kann Effekte nicht kompensieren**
- **Rückrechnung durch Volumenstromanpassung im Simulationsmodell**
- **Rechenzeitverkürzung durch**
  - **Matlab-DSHcalc Interface**
  - **Parallelisierung**
  - **Sequentieller Algorithmus**
  - **Iterative Lösung**
  - **Erhöhte Simulationsschrittweite**
- **Verbesserung der Auflösung**



# Ende

---