

# **BASt FE 86.0096/2014**

## **Brandüberschlag in Straßentunneln**

### **Anlage A15: Gewölbe Mulde Gegenverkehr 20,6 kg/s owF**

Bauherr: **BASt**  
Brüderstraße 53  
51427 Bergisch Gladbach

Auftraggeber: **BASt**  
Brüderstraße 53  
51427 Bergisch Gladbach

Auftrag Nr.: 6.1/14-011

Berechnete Bauteile:

Gesamtumfang: 75 Seiten

|              |  |         |
|--------------|--|---------|
| Aufgestellt: | Dr.-Ing. habil. Jörg Schmidt<br>Dr. rer. nat. Peter Simon<br>Dipl.-Ing. (BA) Tom Guder | 10/2014 |
|--------------|--|---------|

|                 |                           |
|-----------------|---------------------------|
| Intern geprüft: | Prof. Dr.-Ing. Frank Dehn |
|-----------------|---------------------------|

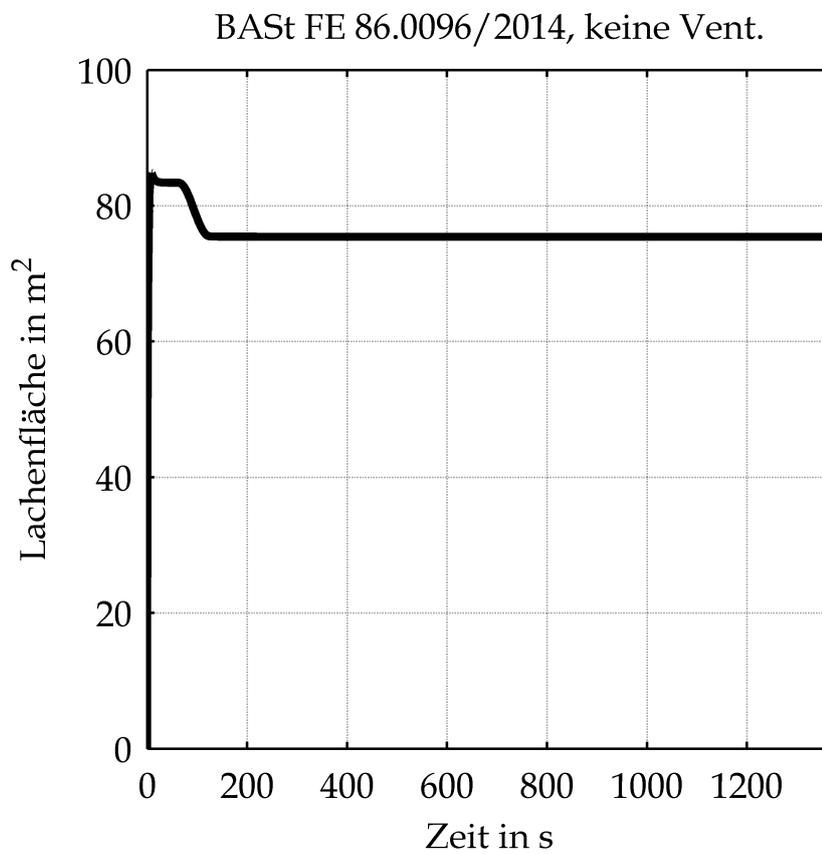
Raum für Prüfeintragungen:



# I Gesamtinhaltsverzeichnis

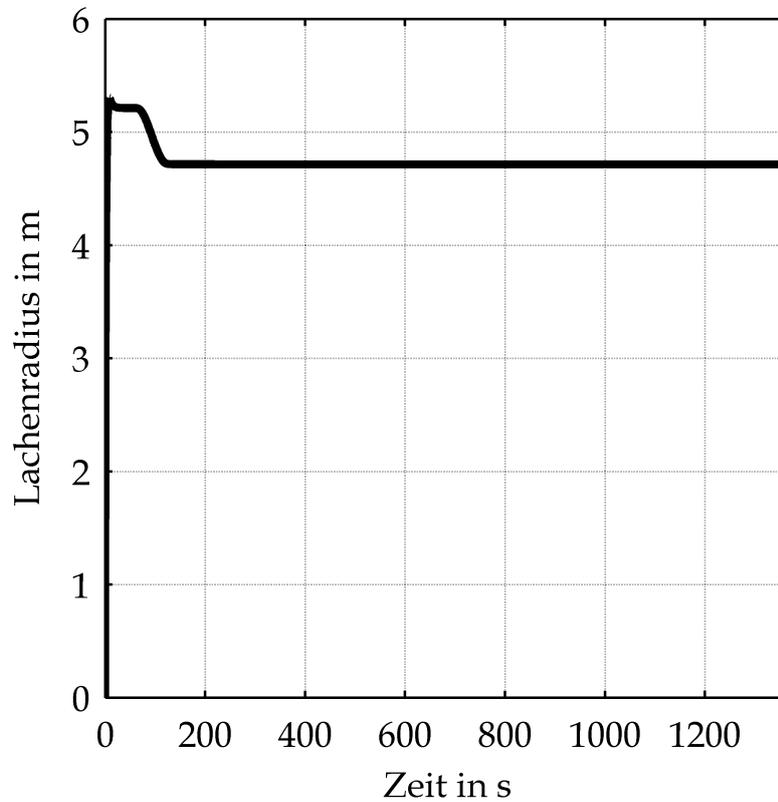
|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>II</b>  | <b>Ermittlung der Lachengeometrie unter Berücksichtigung der Ventilation</b> | <b>2</b>  |
| <b>III</b> | <b>Berechnungsergebnisse</b>   | <b>14</b> |
| 1          | Energien und Bauteiltemperaturen . . . . .                                   | 14        |
| 2          | Wärmestrahlung an der Tunneldecke . . . . .                                  | 22        |
| 3          | Gastemperaturen . . . . .  | 28        |
| 4          | Gasgeschwindigkeiten . . . . .   | 34        |
| 5          | Sauerstoffgehalt . . . . .   | 40        |
| 6          | Kohlendioxidgehalt . . . . .   | 46        |
| 7          | Kohlenmonoxidgehalt . . . . .  | 52        |
| 8          | Optische Dichte . . . . .  | 58        |
| 9          | Sichtweiten . . . . .  | 64        |
| <b>IV</b>  | <b>Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf</b>                                    | <b>70</b> |
| <b>V</b>   | <b>Durchwärmungsverhalten</b>  | <b>71</b> |

## II Ermittlung der Lachengeometrie unter Berücksichtigung der Ventilation

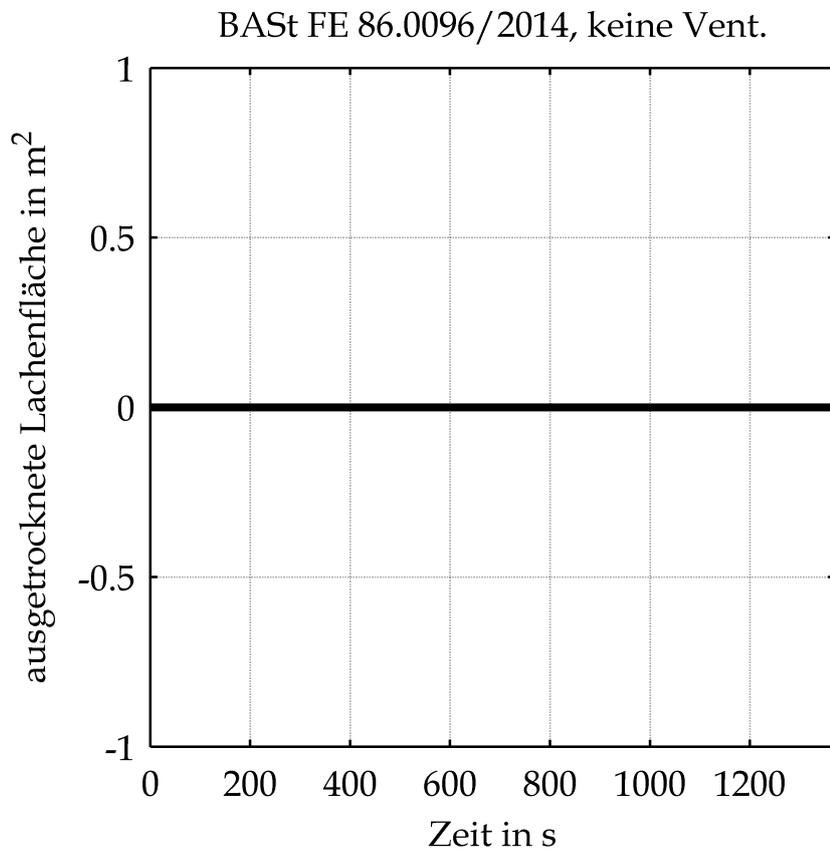


Fläche der Lache in Abhängigkeit von der Zeit

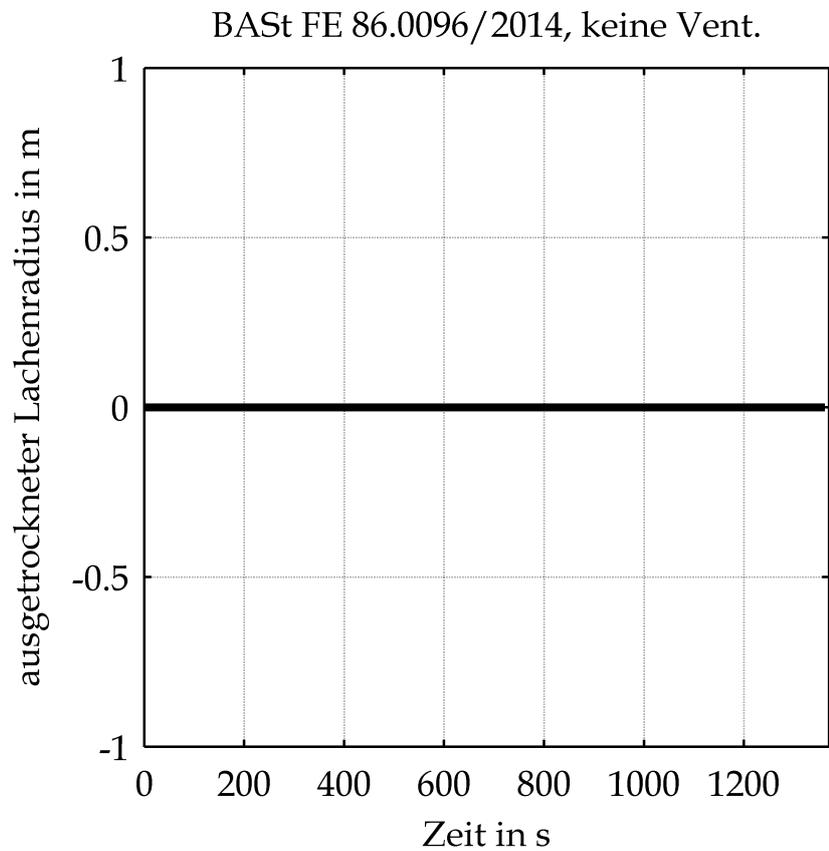
BASSt FE 86.0096/2014, keine Vent.



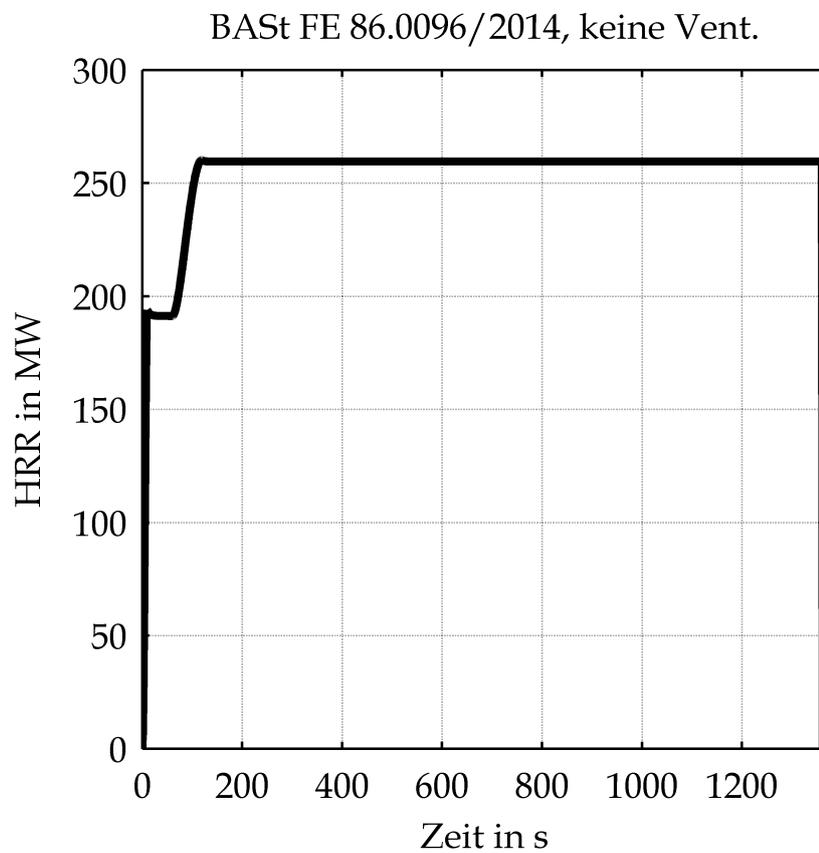
Radius der Lache in Abhängigkeit von der Zeit



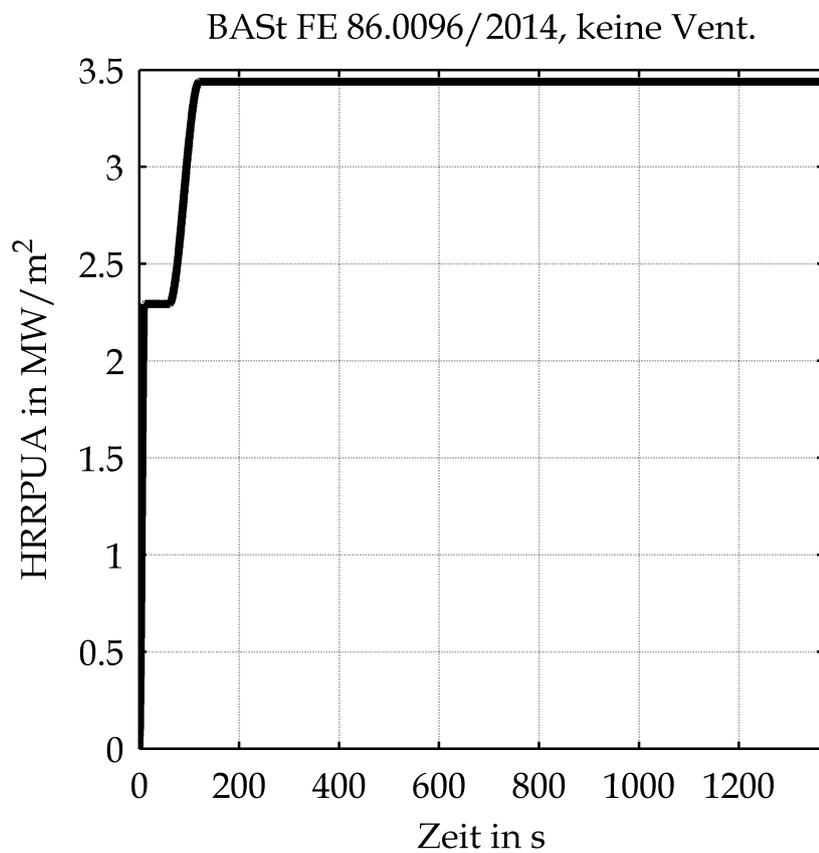
Fläche der ausgetrockneten Lache in Abhängigkeit von der Zeit



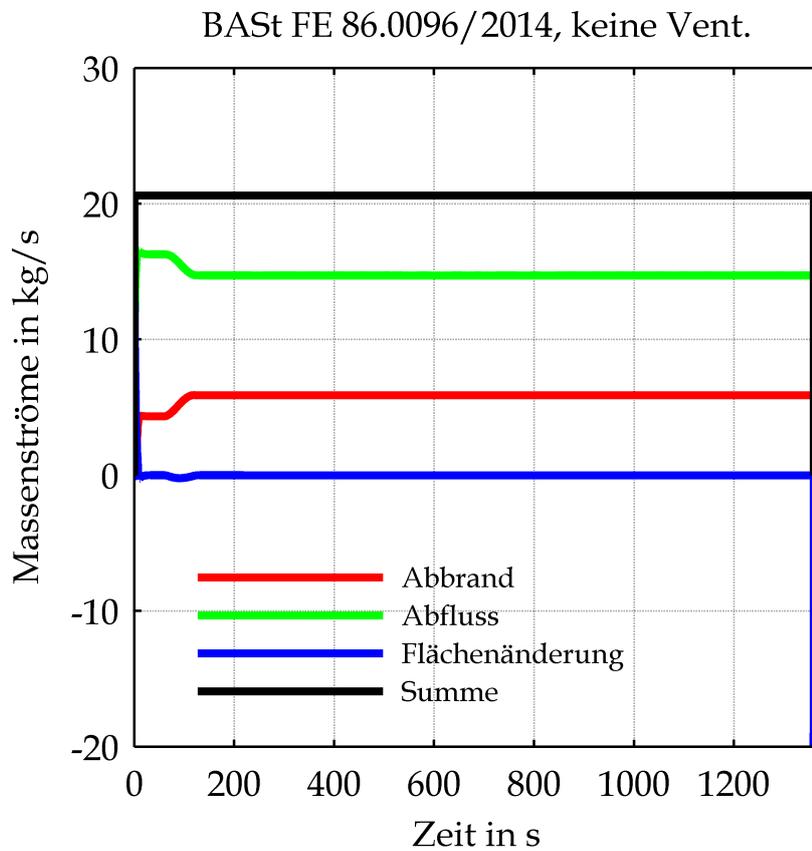
Radius der ausgetrockneten Lache in Abhängigkeit von der Zeit



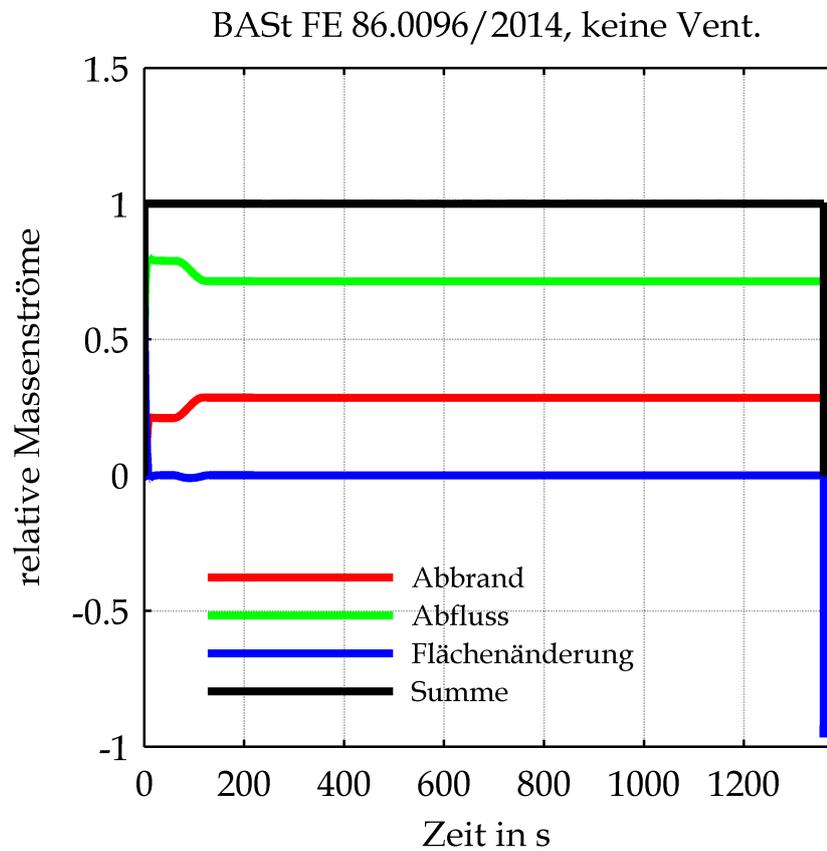
Wärmefreisetzungsrate (HRR) in Abhängigkeit von der Zeit



Wärmefreisetzungsrate pro Flächeneinheit (HRRPUA)  
in Abhängigkeit von der Zeit

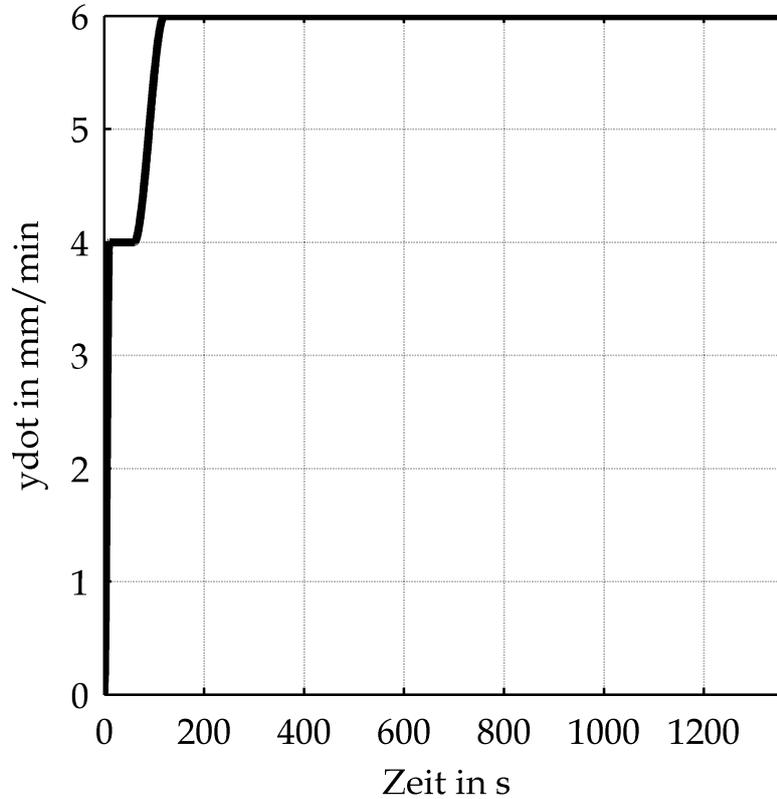


Gesamtübersicht der Massenströme in Abhängigkeit von der Zeit

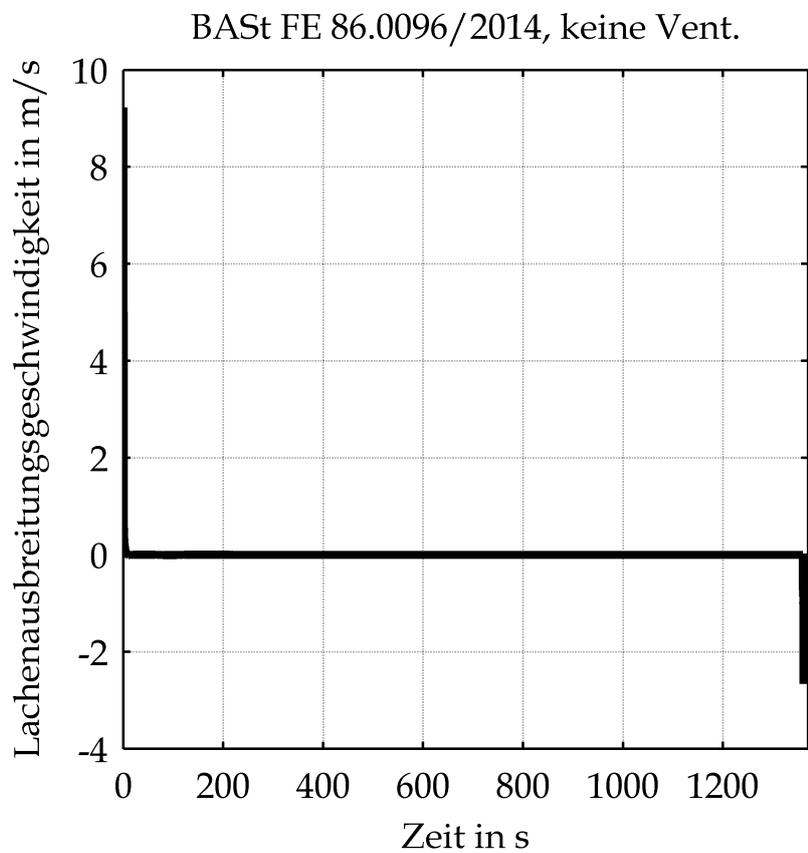


Gesamtübersicht der auf die austretende Flüssigkeit bezogenen Massenströme in Abhängigkeit von der Zeit

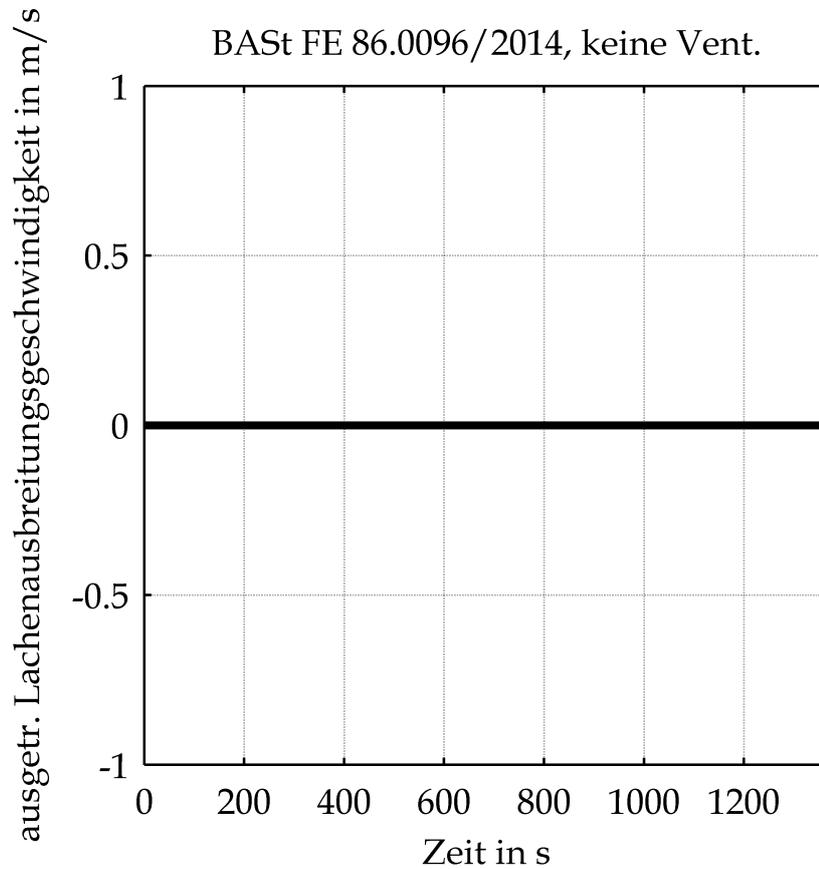
BAST FE 86.0096/2014, keine Vent.



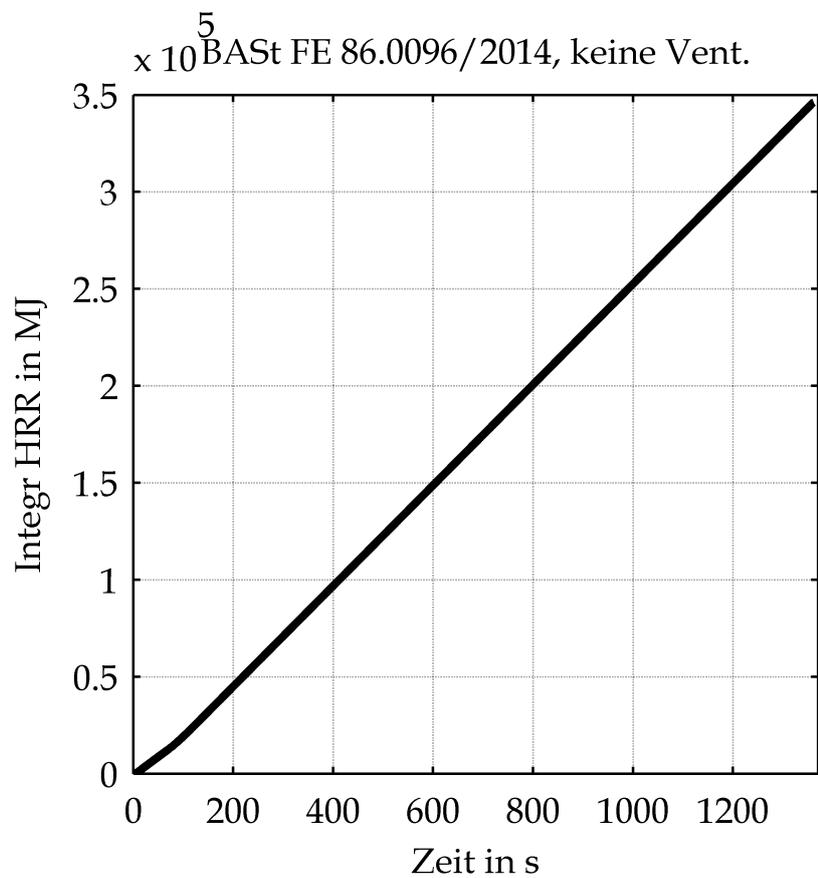
Vorgegebene Abbrandgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit



Ausbreitungsgeschwindigkeit der Lache in Abhängigkeit  
von der Zeit



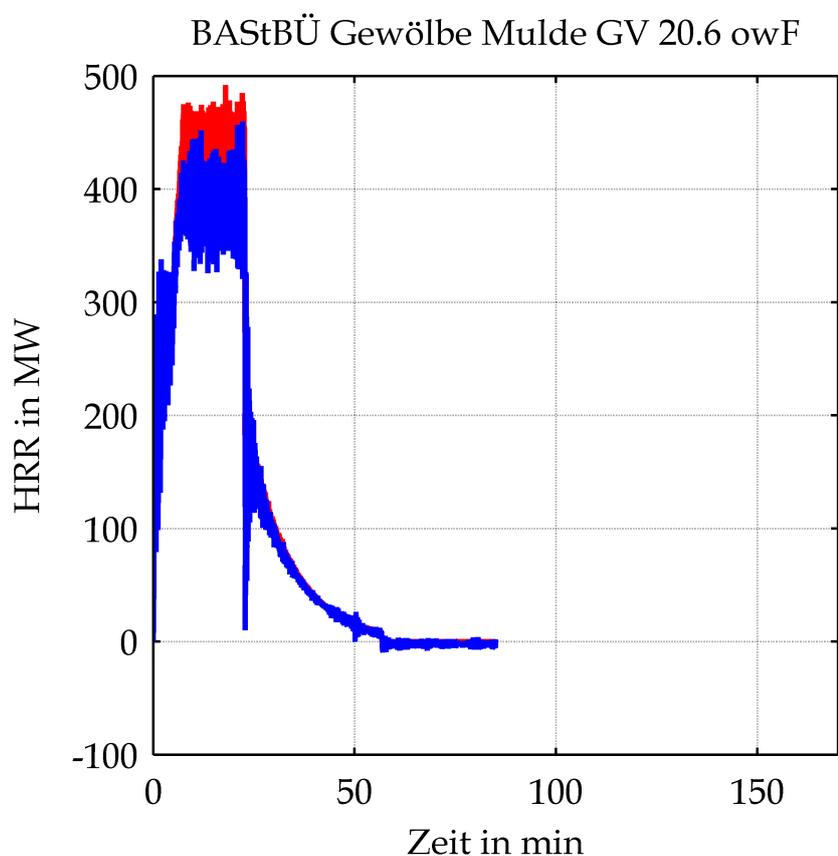
Austrocknungsgeschwindigkeit der Lache in  
Abhängigkeit von der Zeit



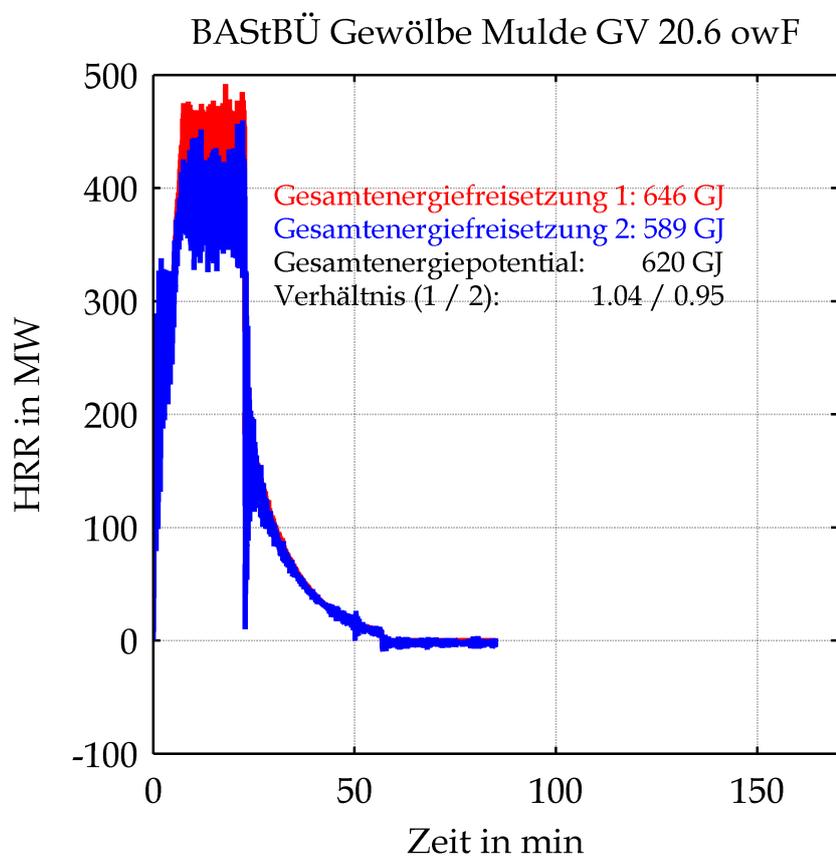
Freigesetzte Gesamtenergie in Abhängigkeit von der Zeit

### III Berechnungsergebnisse

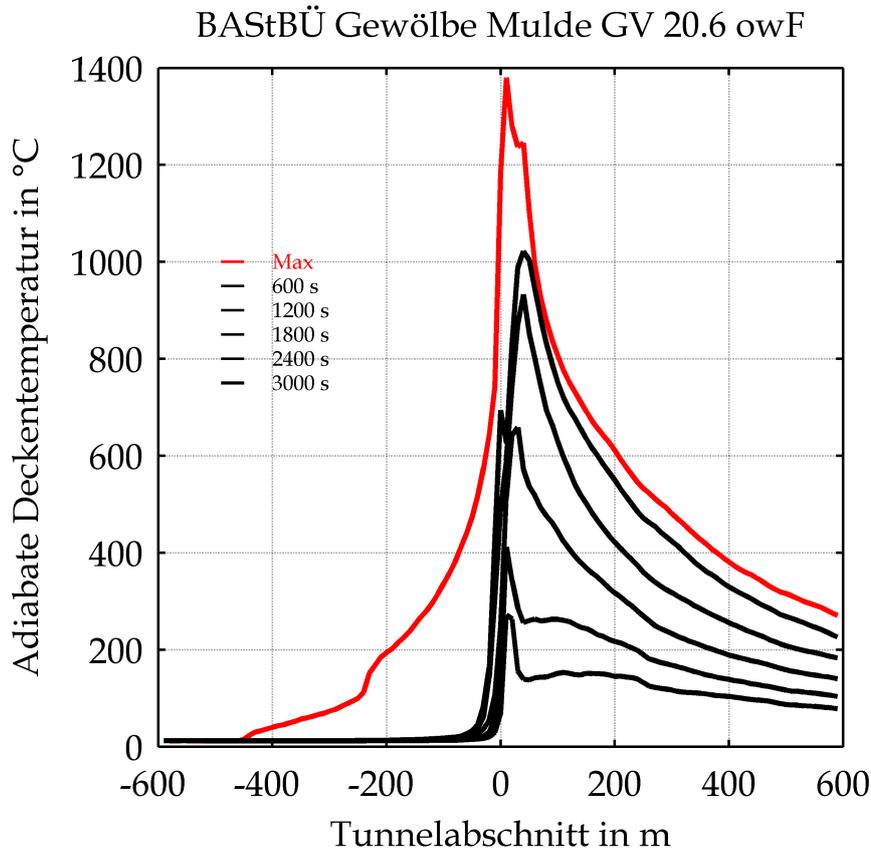
#### 1 Energien und Bauteiltemperaturen



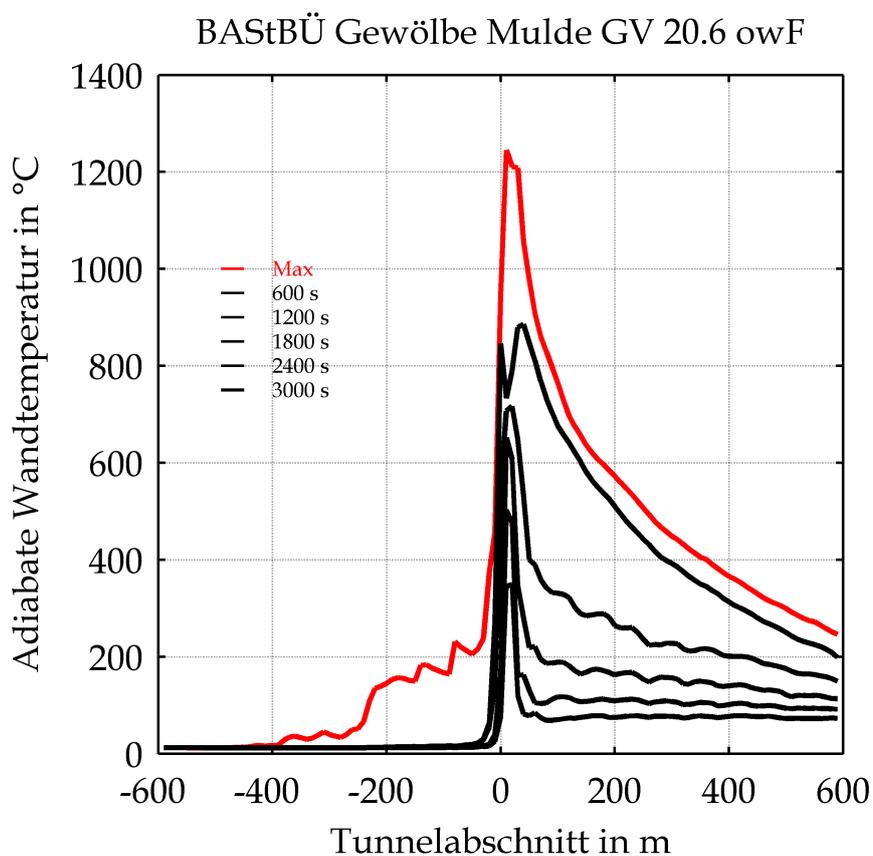
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Wärmefreisetzungsrates in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Integral der Energiedichte; blau: Energieverluste an den Modellgrenzen)



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Wärmefreisetzungsrate in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Integral der Energiedichte; blau: Energieverluste an den Modellgrenzen) sowie Vergleich der Gesamtenergiefreisetzung mit dem Gesamtenergiepotential

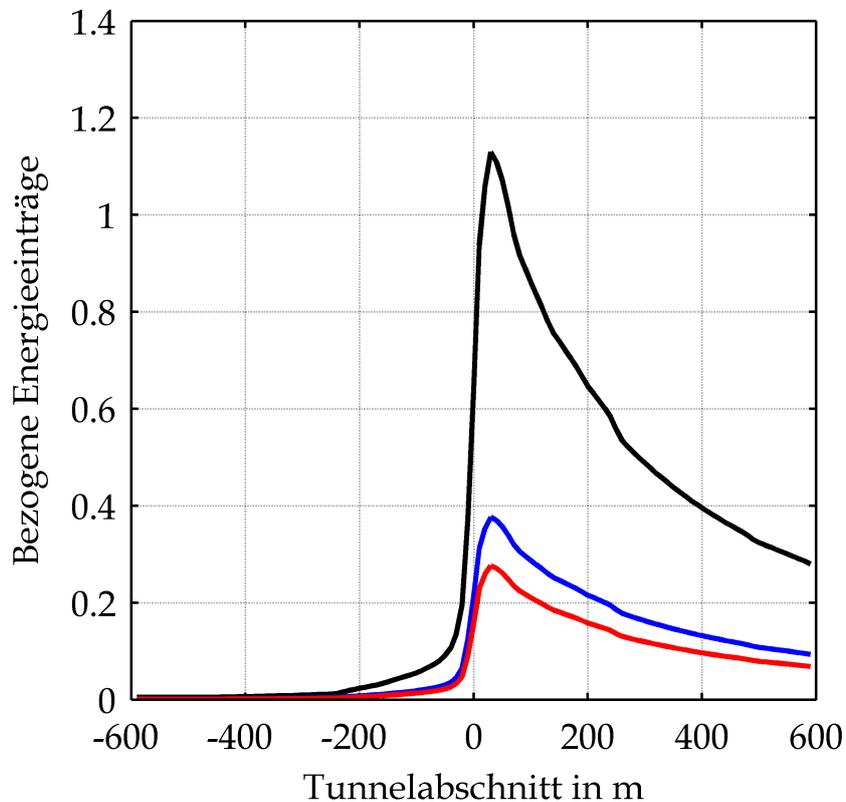


Mittels CFD-Berechnung ermittelte adiabate Deckentemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Maximalwerte, schwarz: Temperaturen in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer)

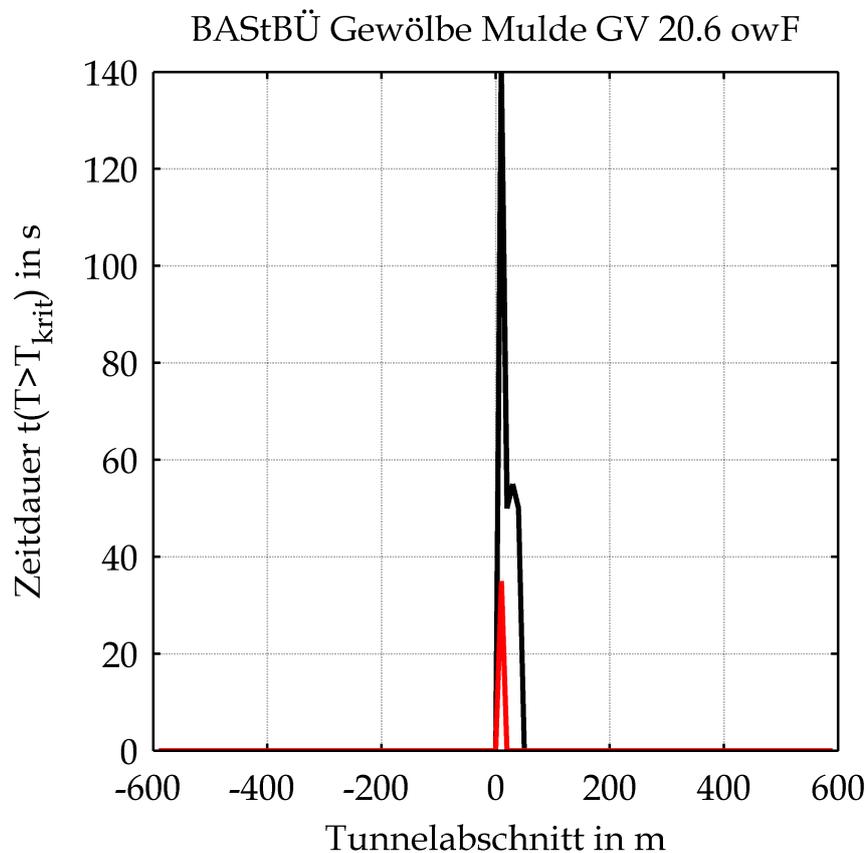


Mittels CFD-Berechnung ermittelte adiabate Wandtemperaturen in 3 m Höhe in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Maximalwerte, schwarz: Temperaturen in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer)

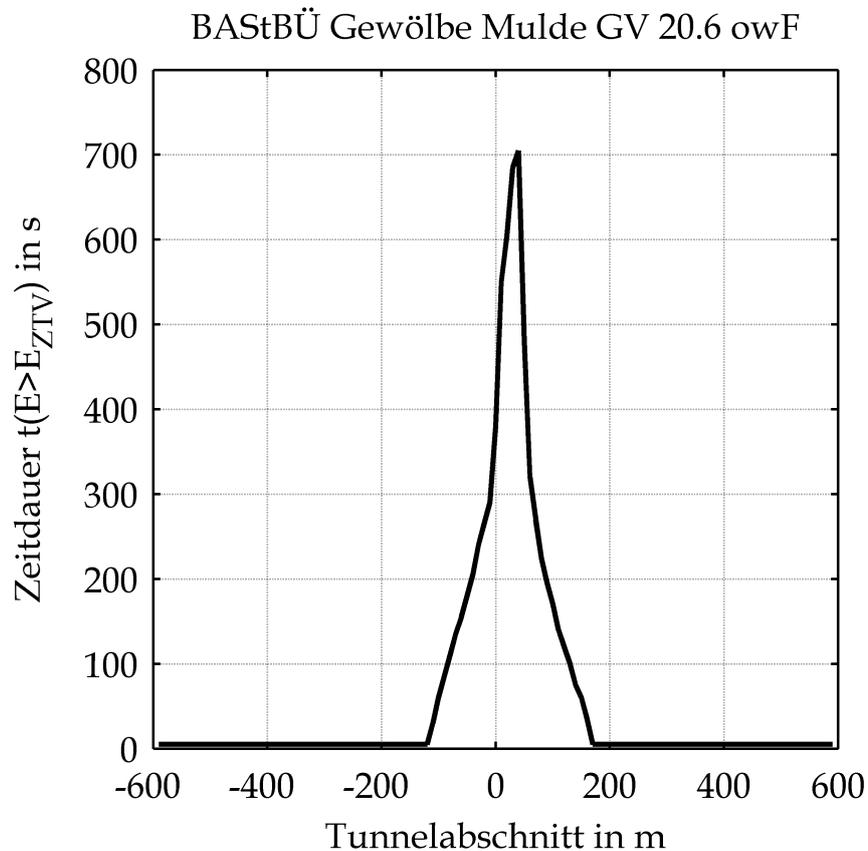
### BASTBÜ Gewölbe Mulde GV 20.6 owF



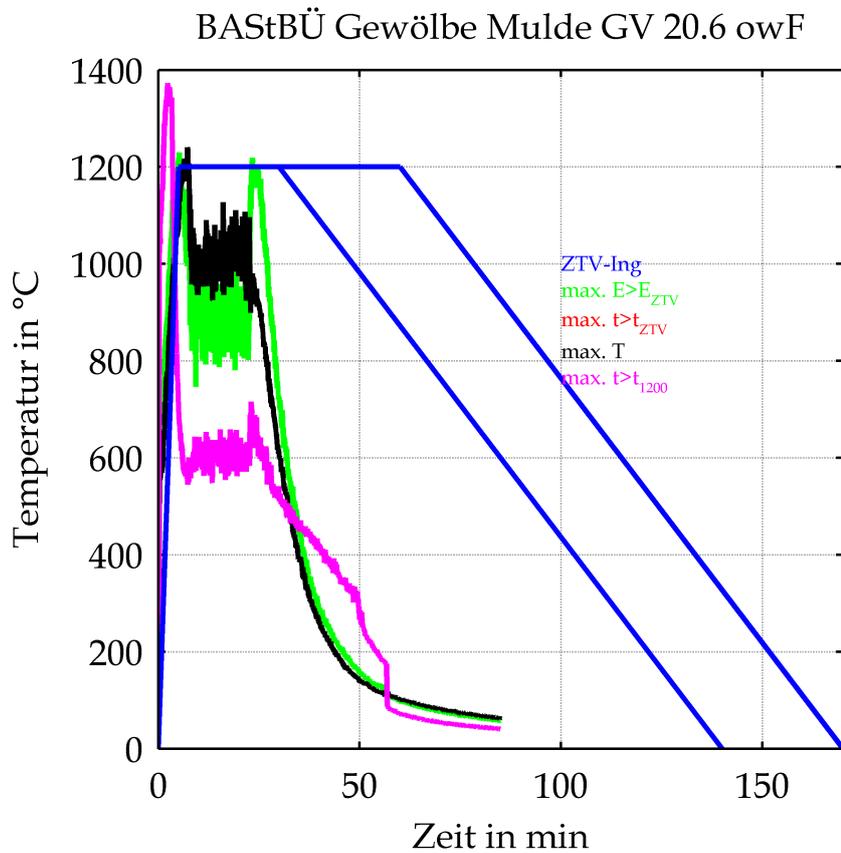
Mittels CFD-Berechnung ermittelte, auf den Energieeintrag der ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve bezogene Energieeinträge in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (blau: Basiswert ZTV-ING 150 min, schwarz: Basiswert ZTV-ING 30 min)



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Zeitdauer der adiabaten Deckentemperatur größer 1200°C (schwarz) bzw. größer 1350°C (rot) in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung



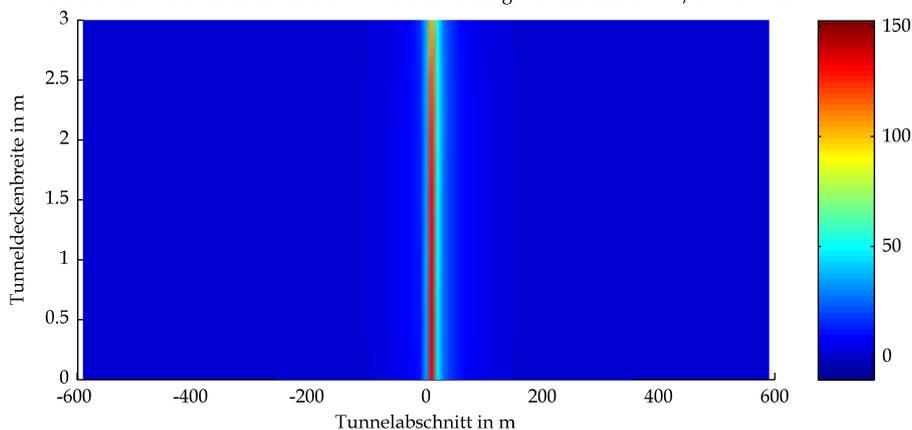
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Zeitdauer mit im Vergleich zur ZTV-ING-Kurve höheren Energieeinträgen in die Tunneldecke in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung



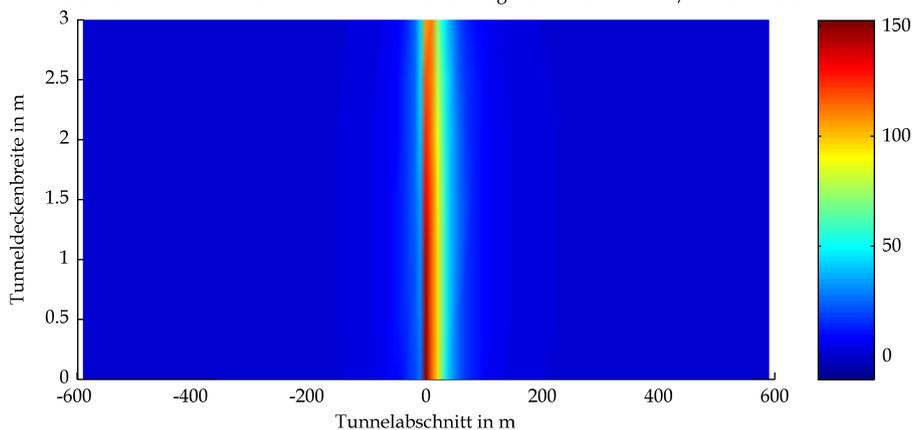
Mittels CFD-Berechnung ermittelte  
Temperatur-Zeit-Verläufe für die Maximalwerte der  
zuvor dargestellten Kriterien unter Berücksichtigung der  
Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung  
(blau: ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Verlauf)

## 2 Wärmestrahlung an der Tunneldecke

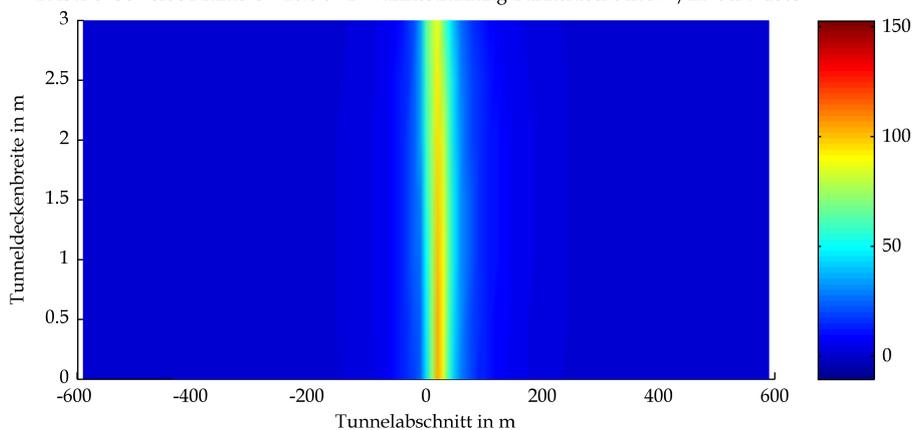
BAStBÜ Gewölbe Mulde GV 20.6 owF Wärmestrahlung Tunneldecke in kW/m<sup>2</sup> bei t=60s



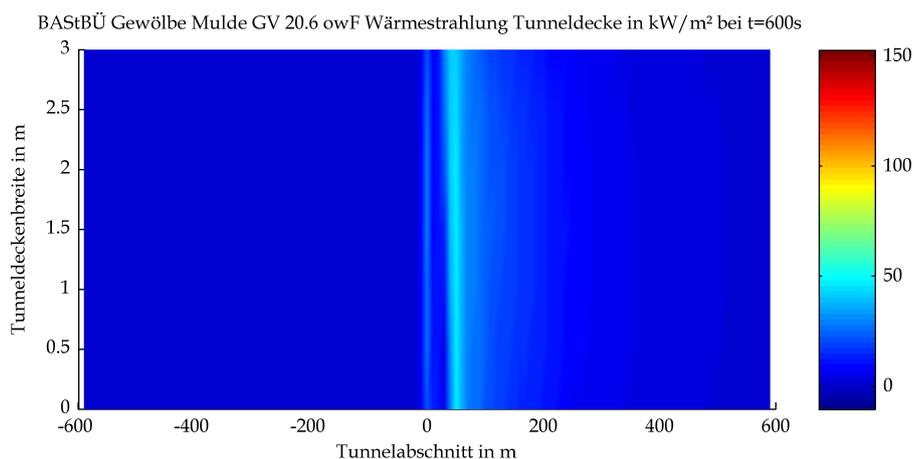
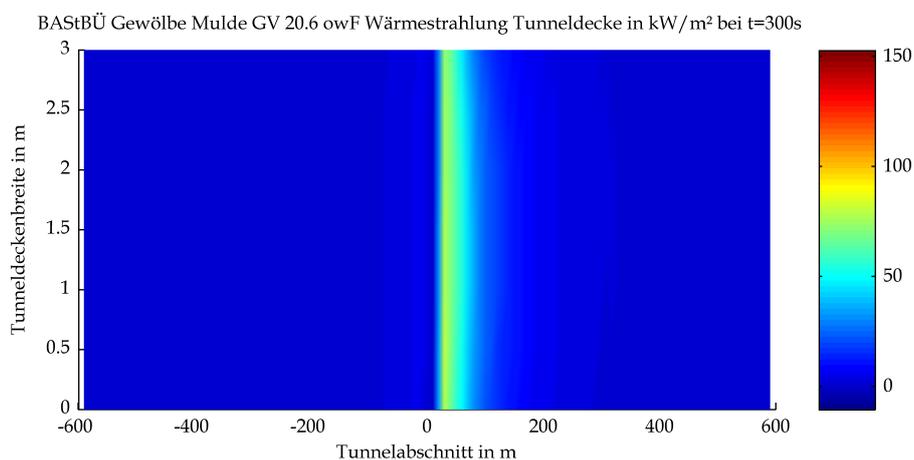
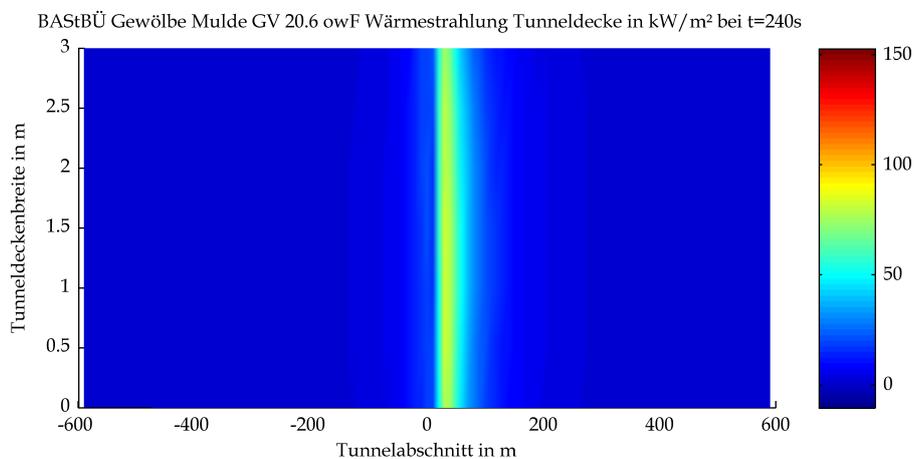
BAStBÜ Gewölbe Mulde GV 20.6 owF Wärmestrahlung Tunneldecke in kW/m<sup>2</sup> bei t=120s



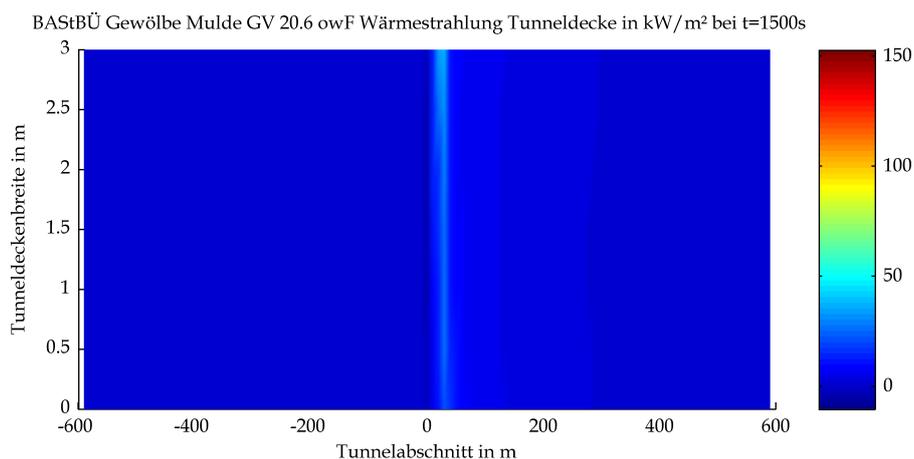
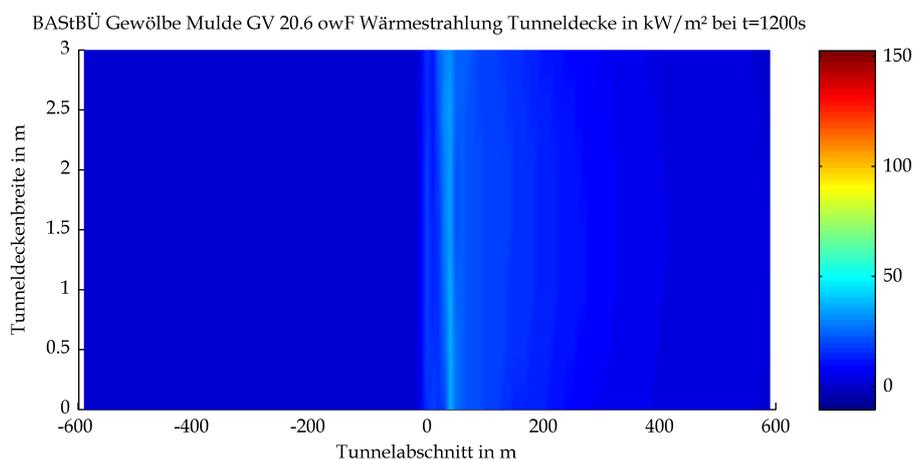
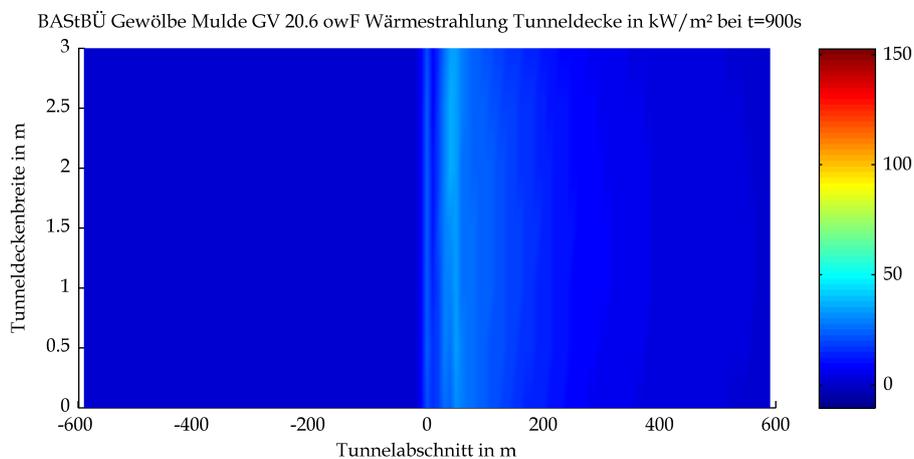
BAStBÜ Gewölbe Mulde GV 20.6 owF Wärmestrahlung Tunneldecke in kW/m<sup>2</sup> bei t=180s



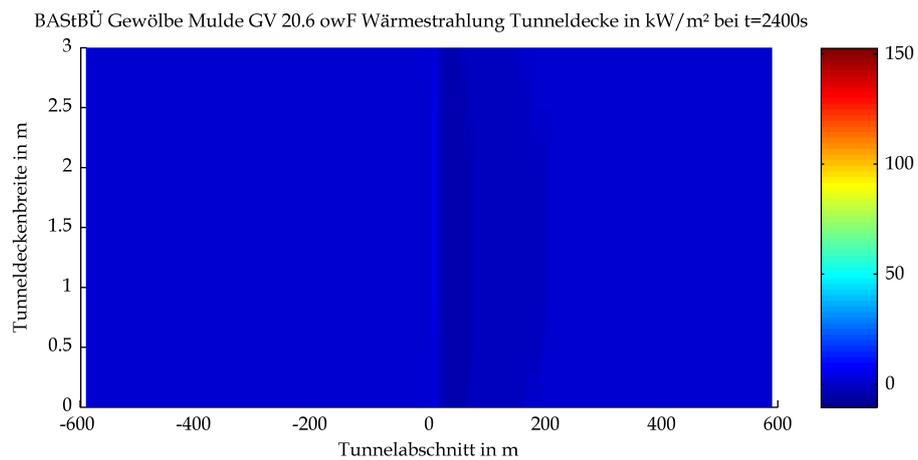
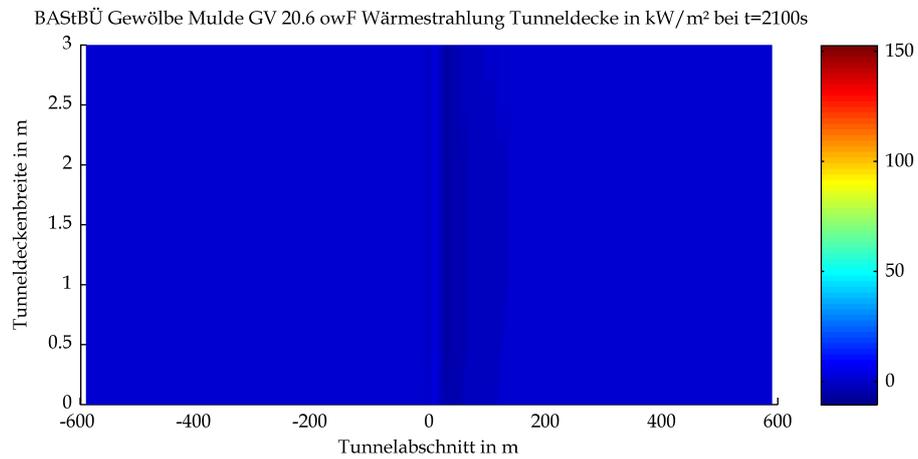
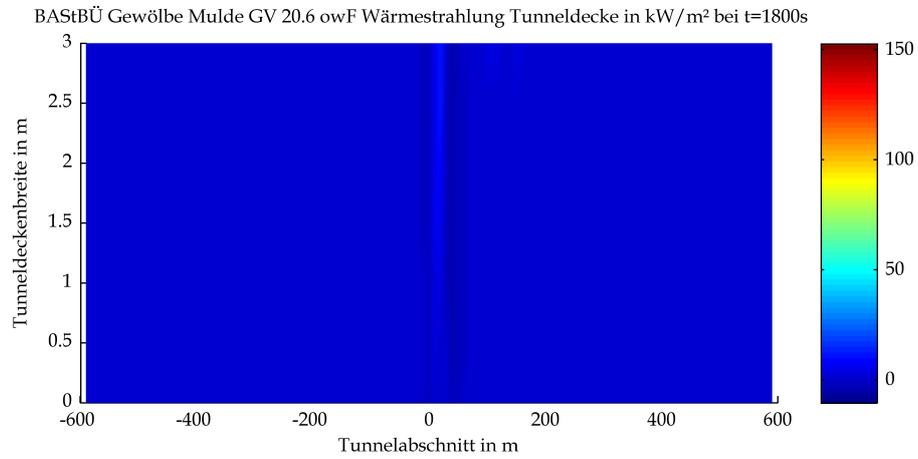
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



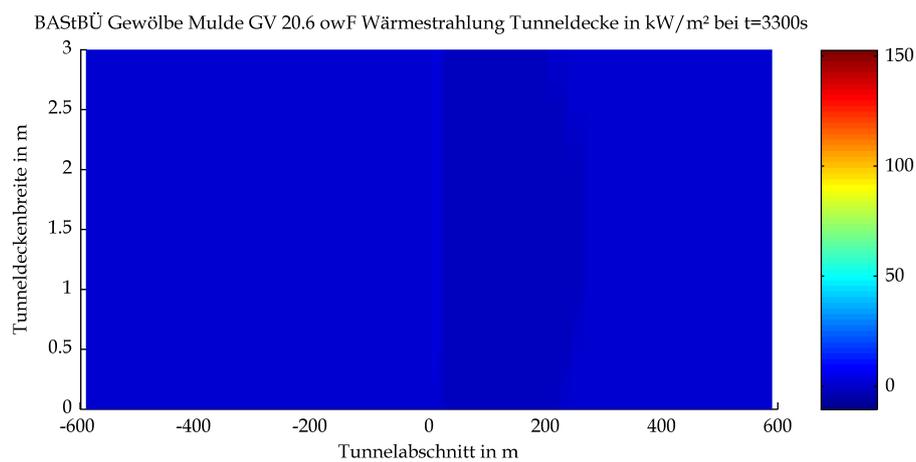
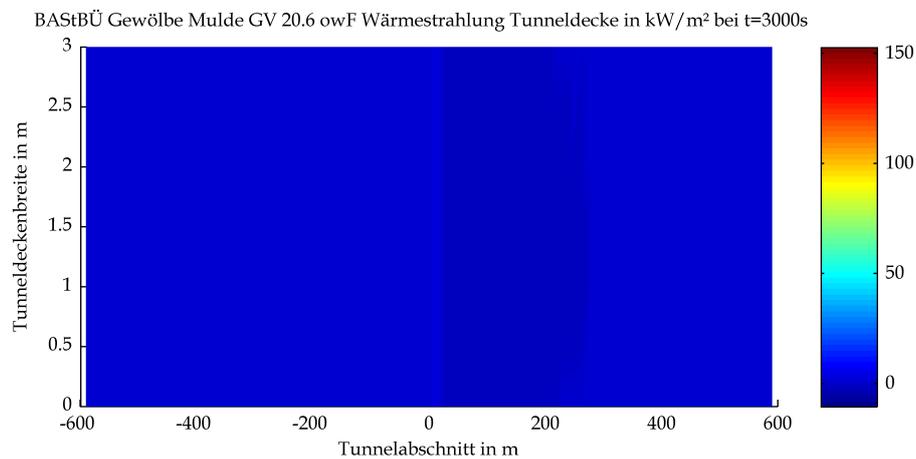
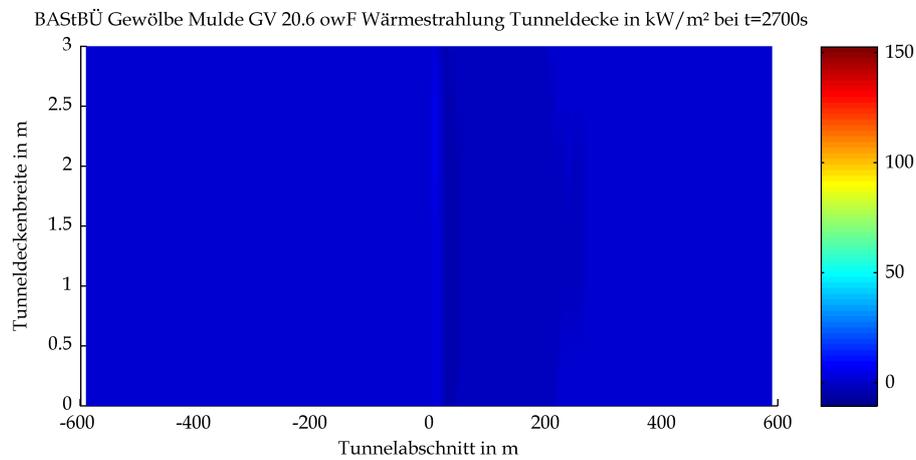
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



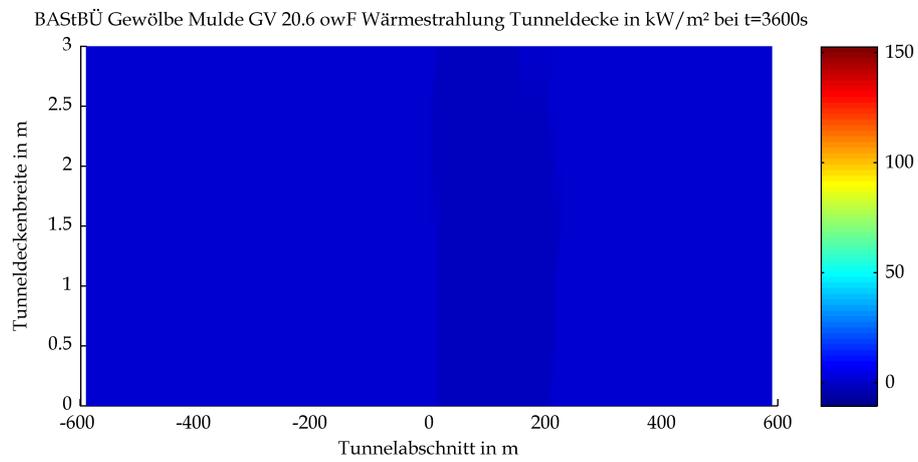
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

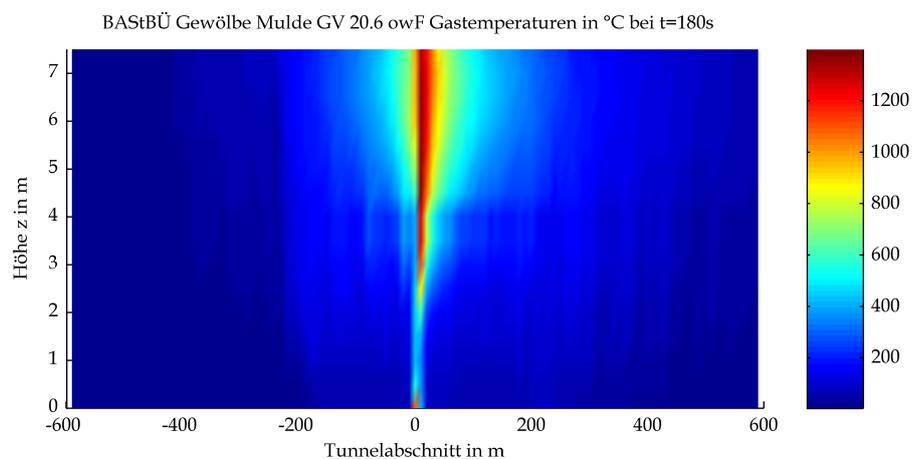
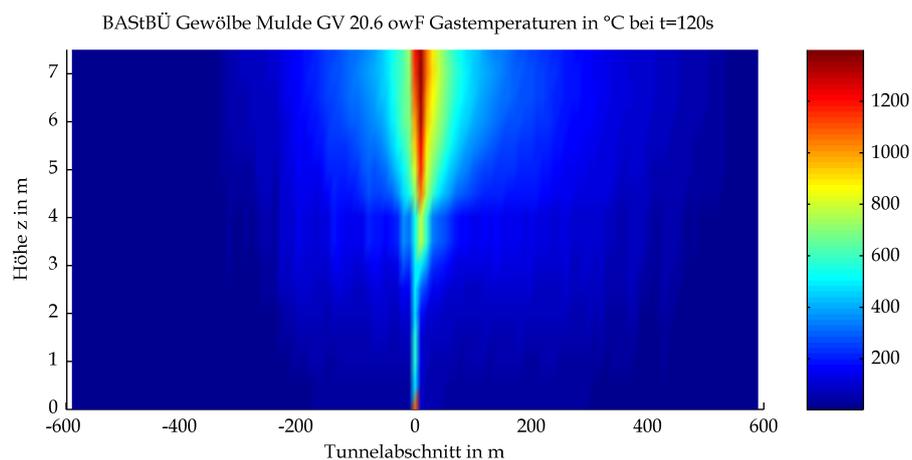
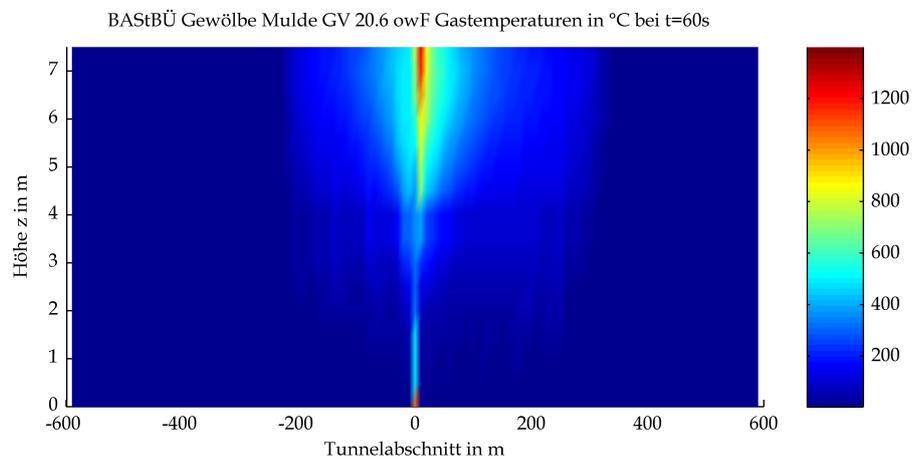


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

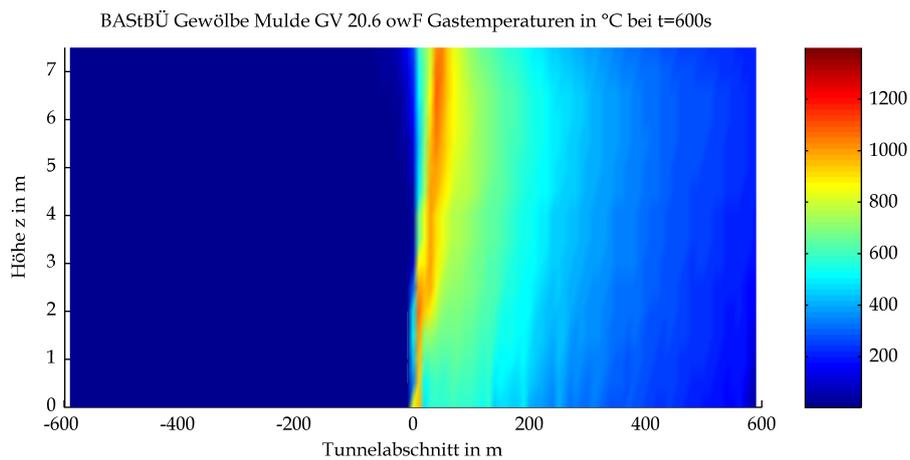
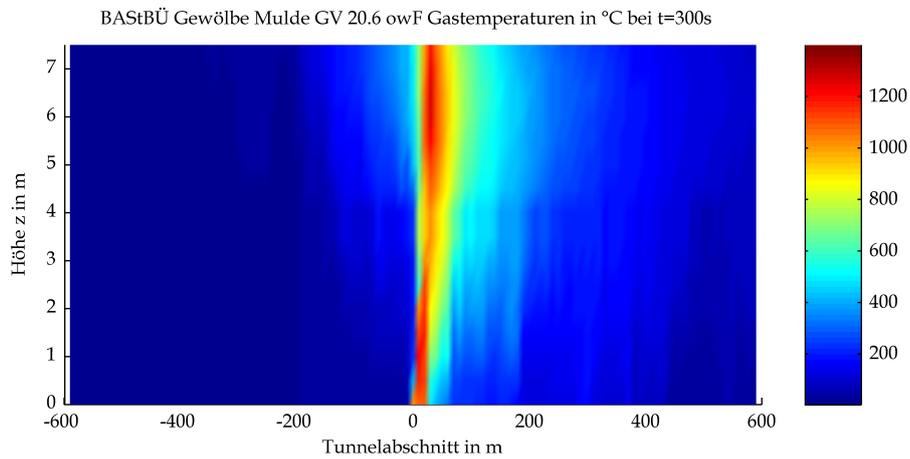
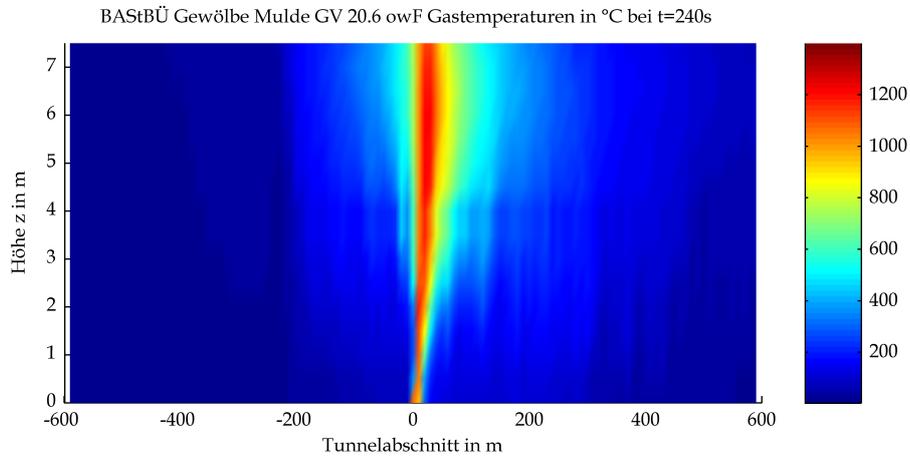


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

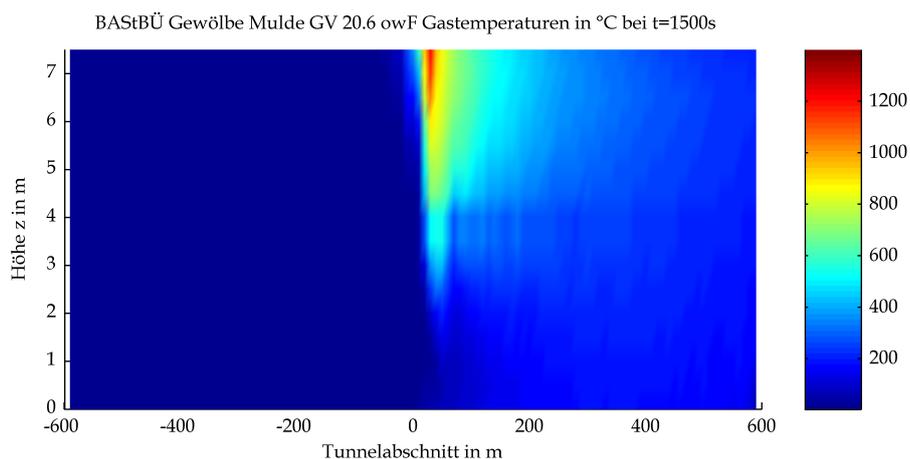
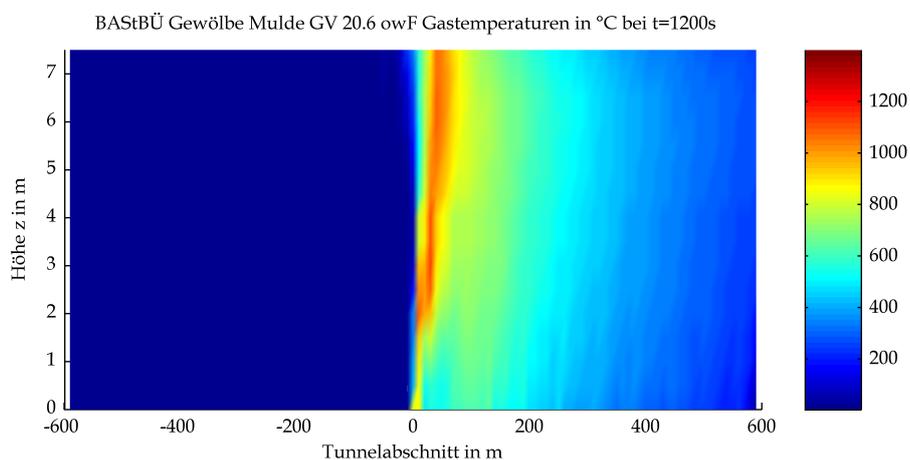
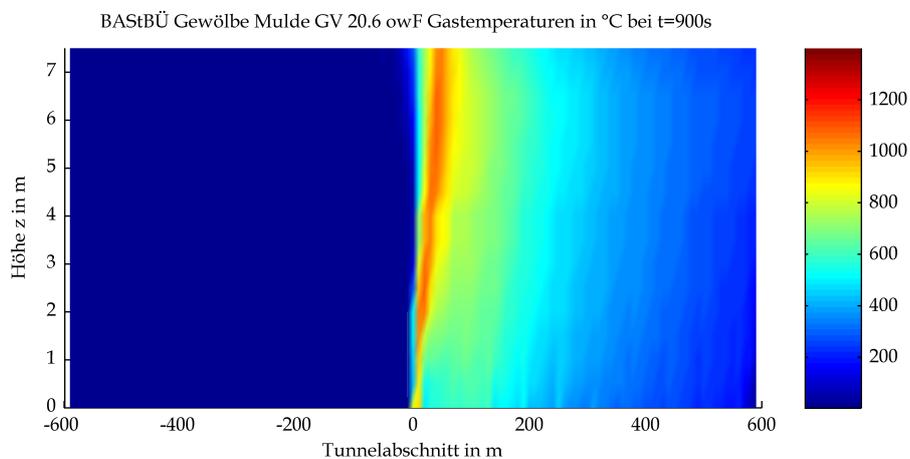
### 3 Gastemperaturen



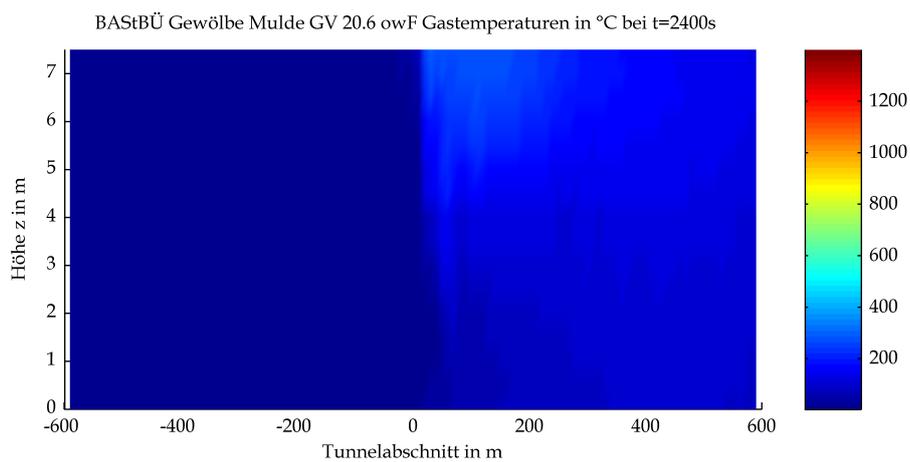
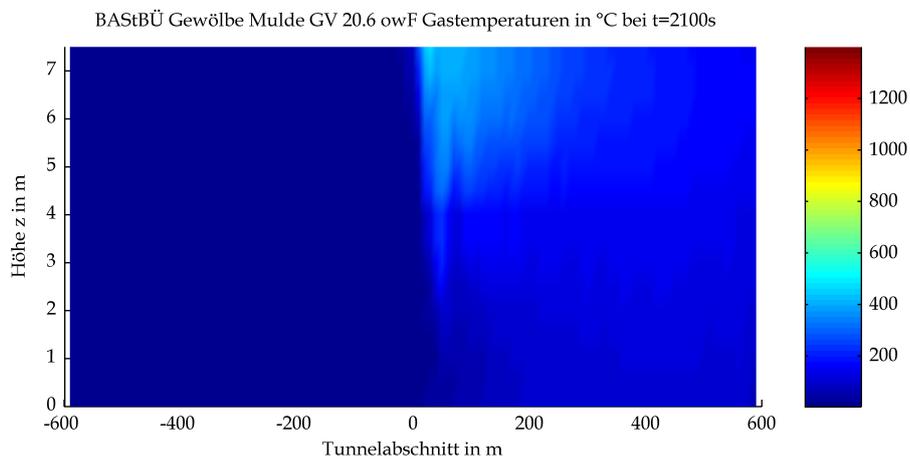
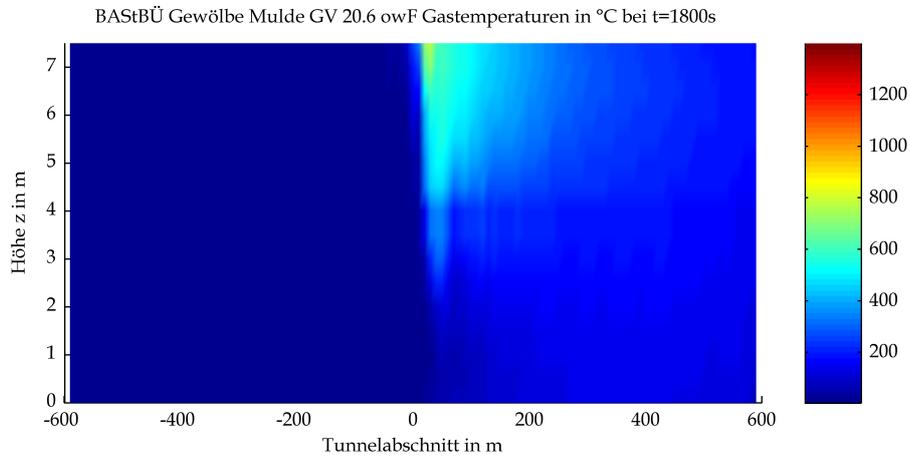
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



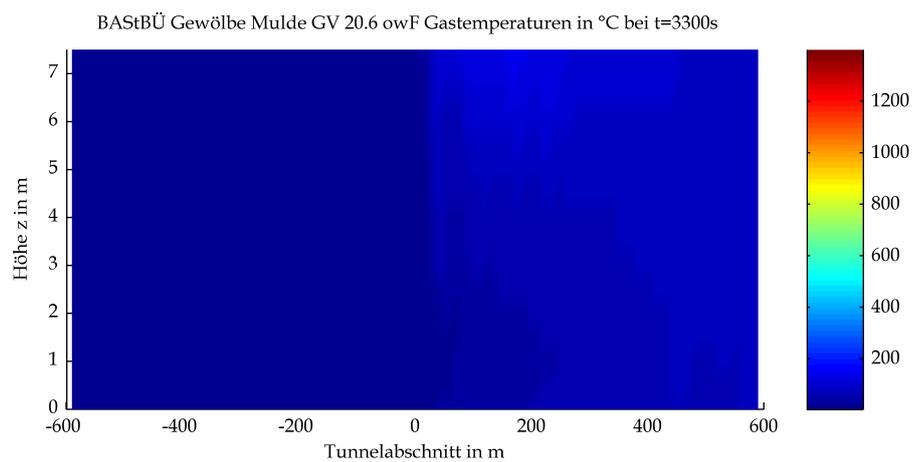
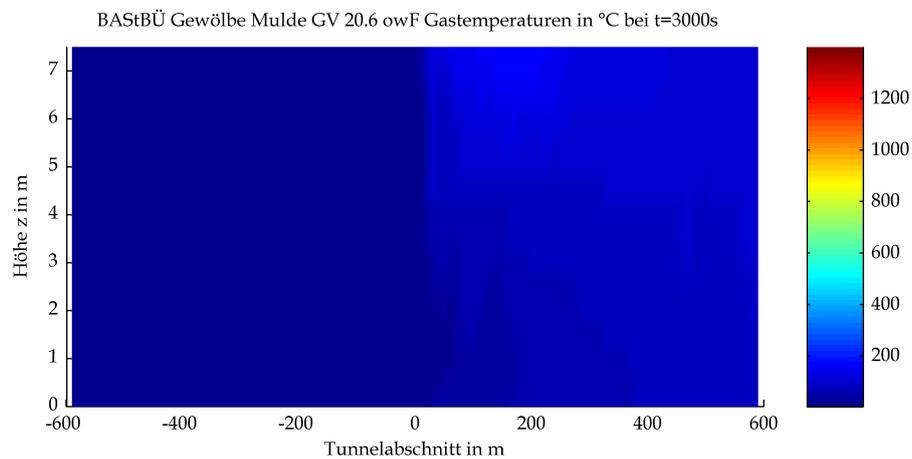
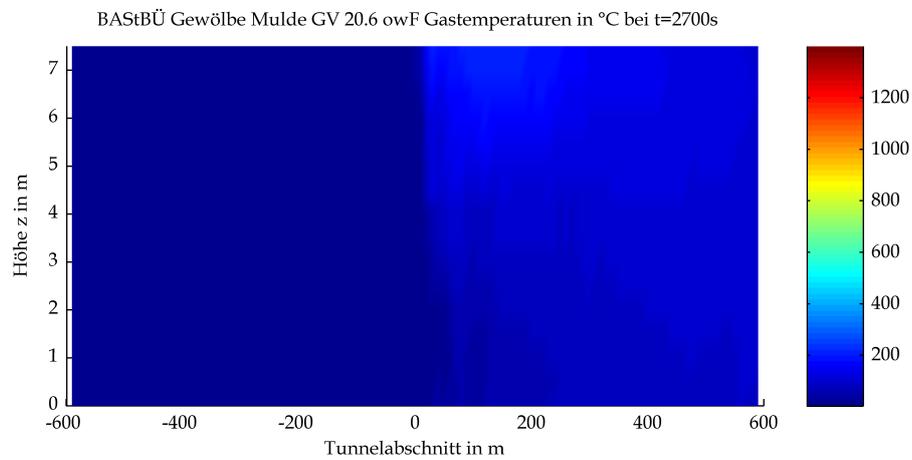
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



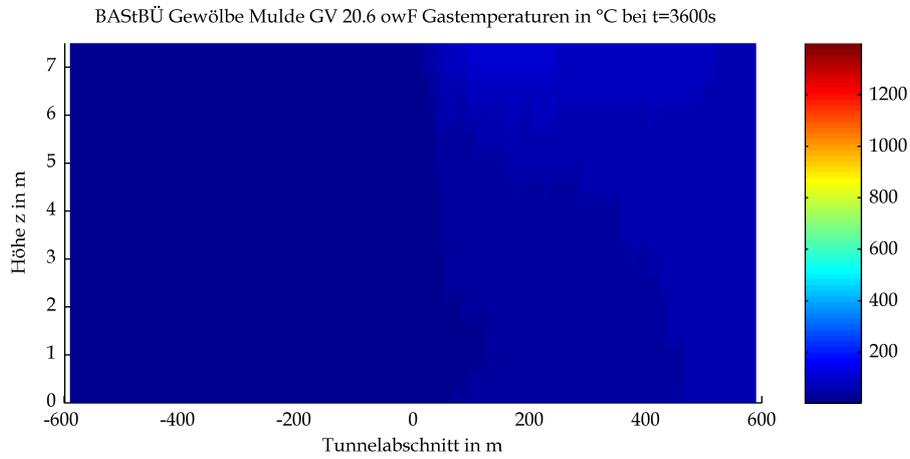
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasttemperaturen



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasttemperaturen

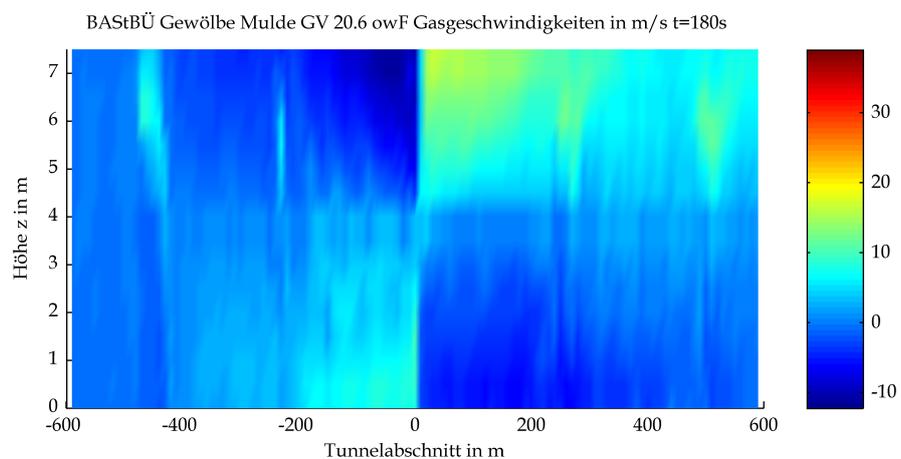
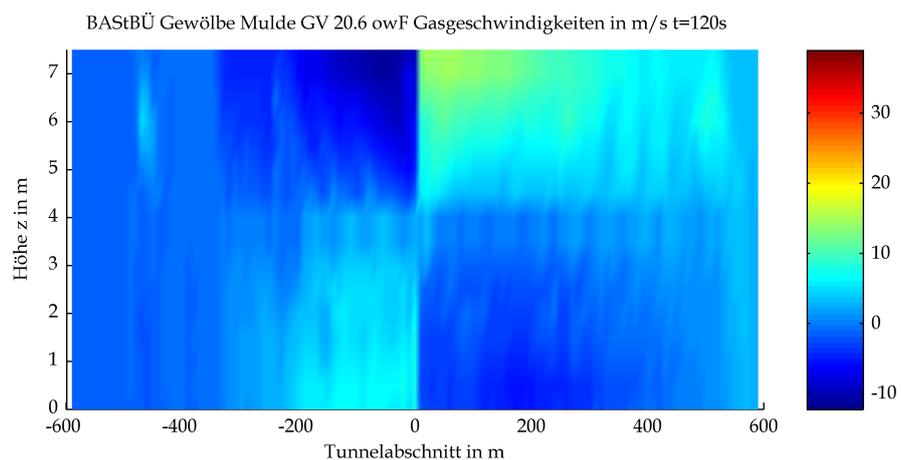
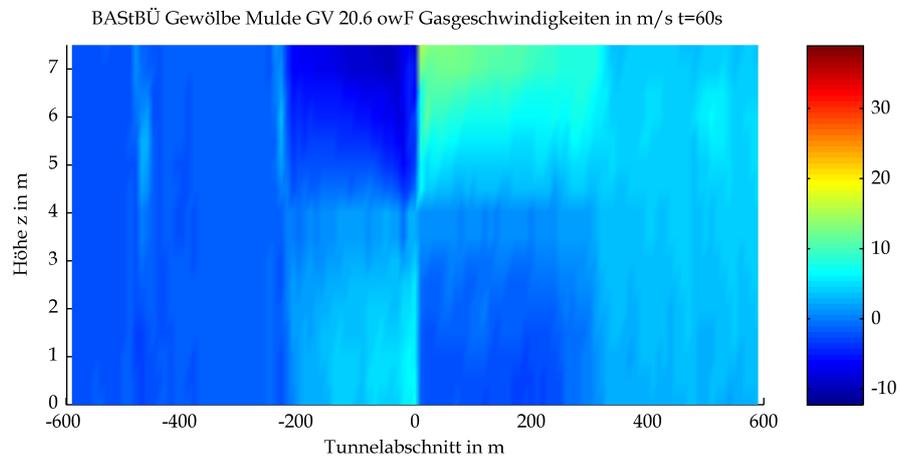


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen

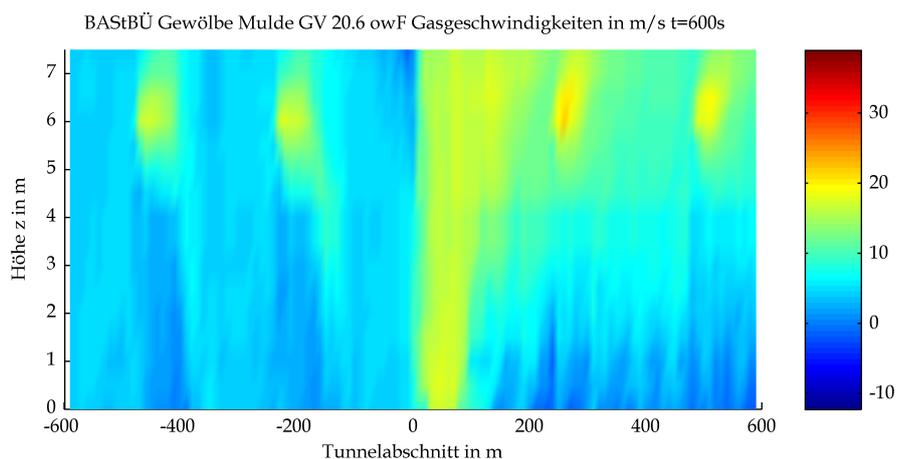
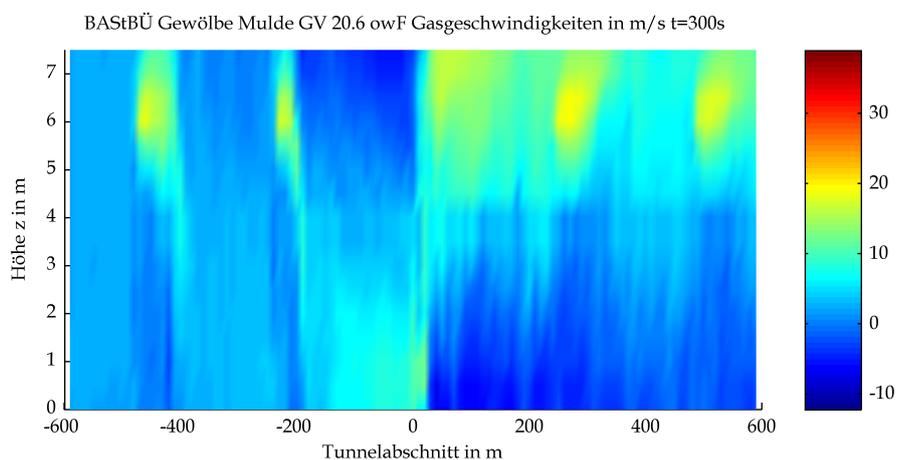
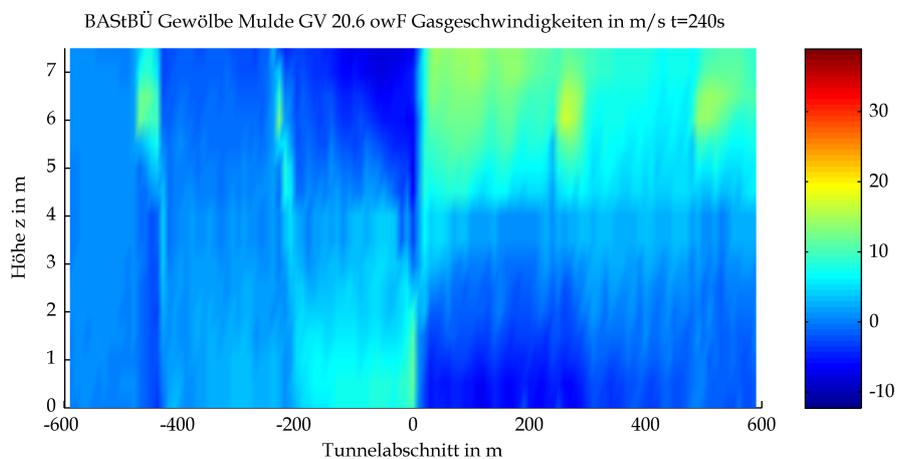


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen

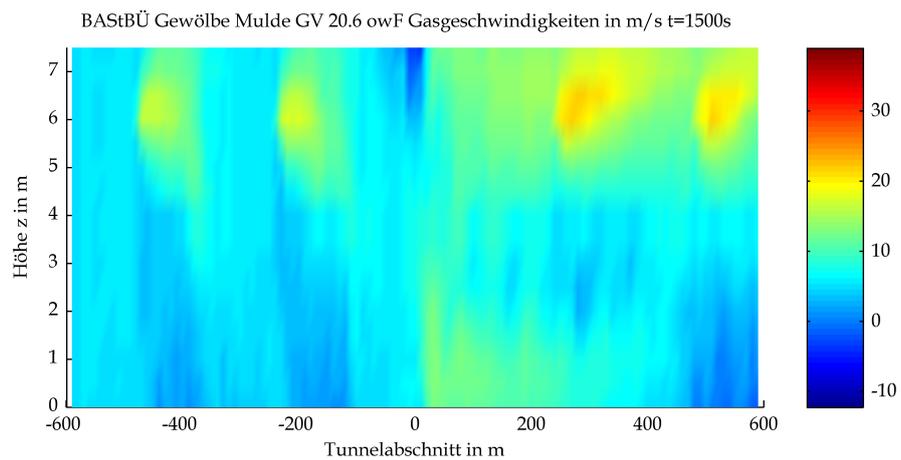
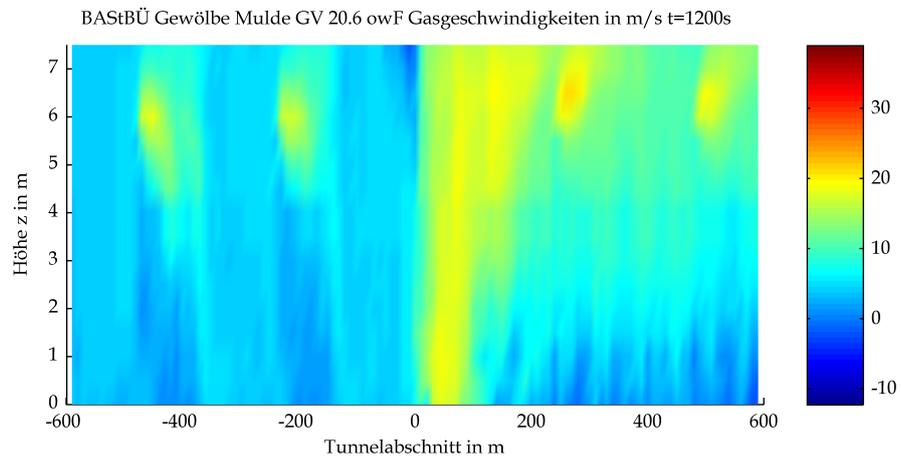
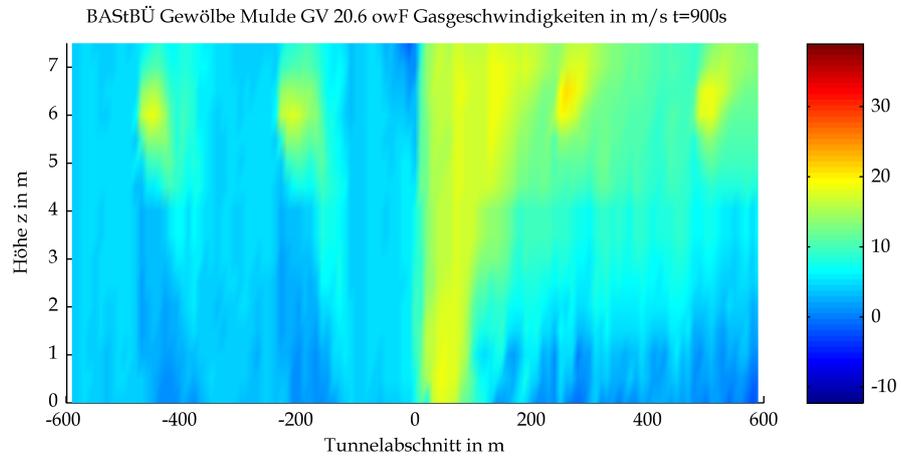
## 4 Gasgeschwindigkeiten



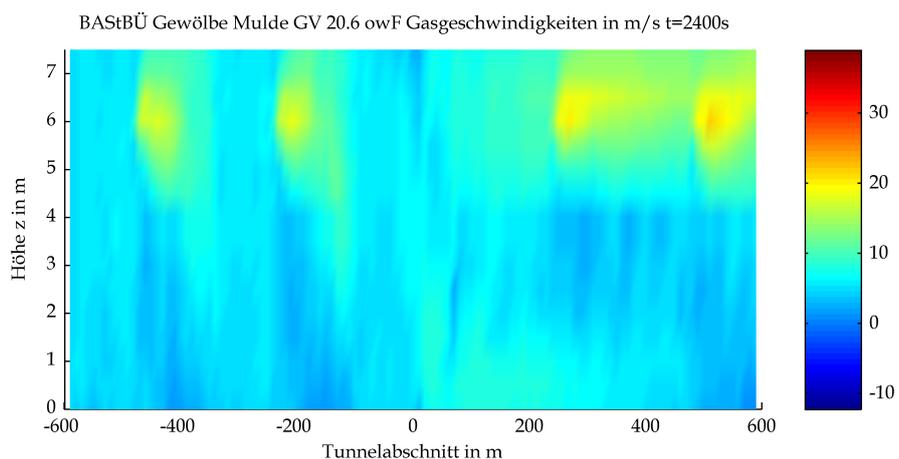
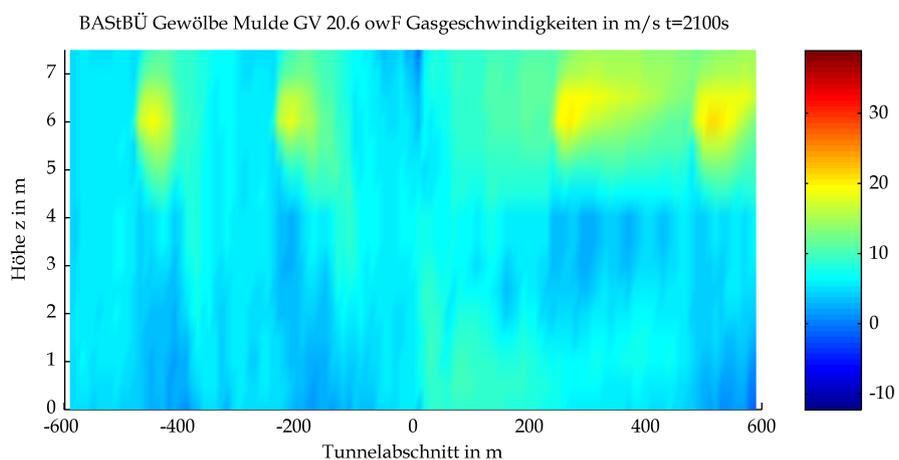
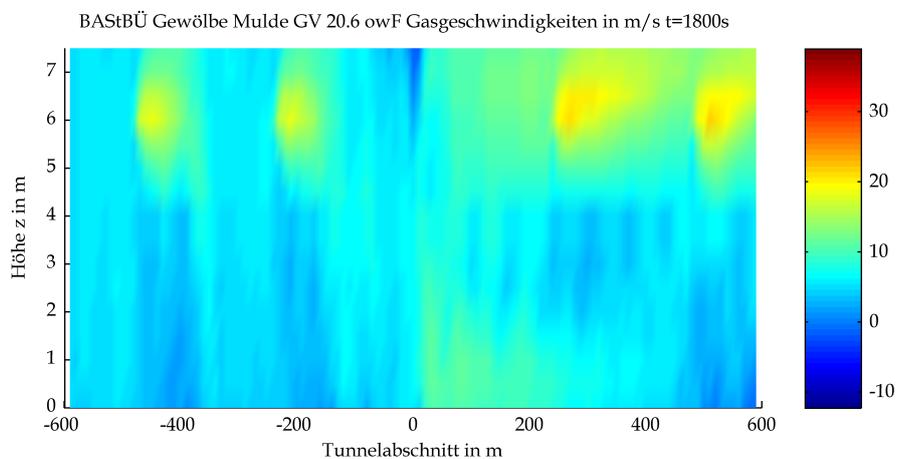
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

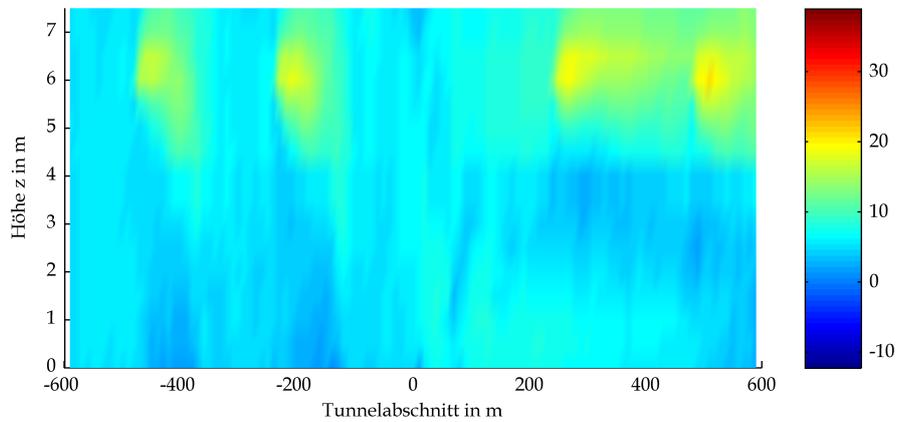


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

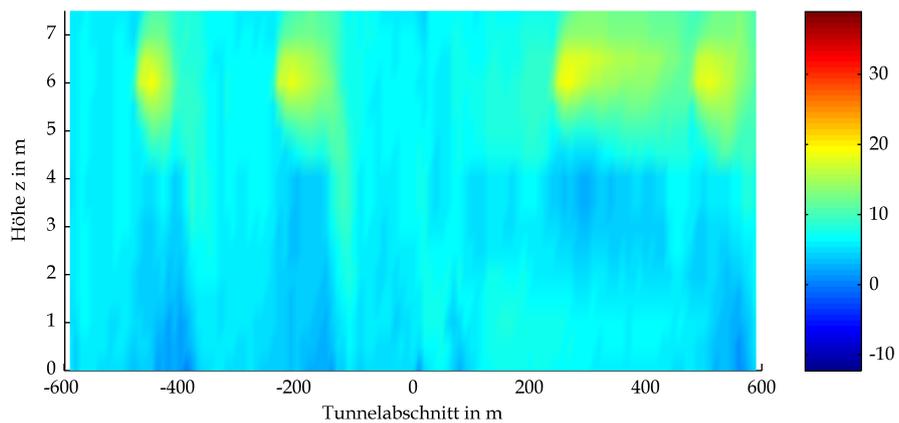


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

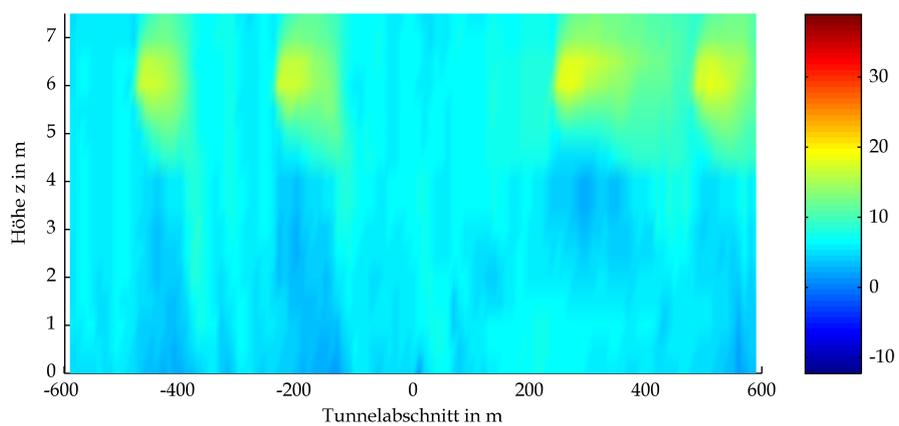
BAStBÜ Gewölbe Mulde GV 20.6 owF Gasgeschwindigkeiten in m/s t=2700s



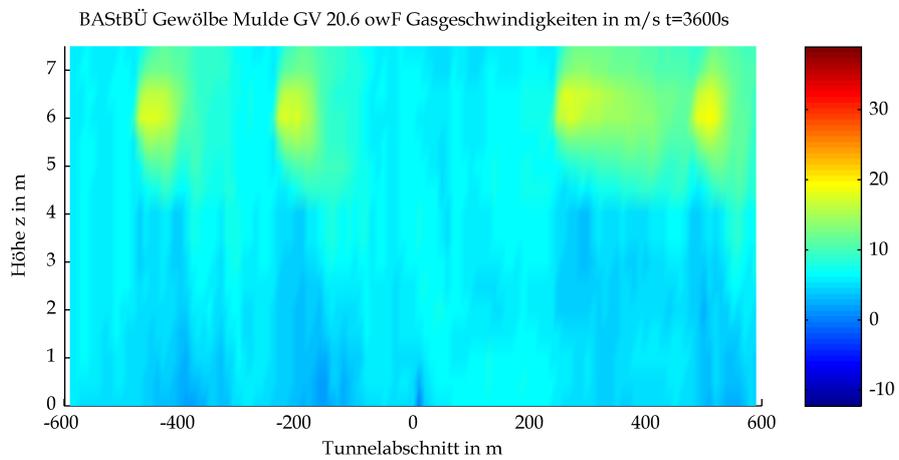
BAStBÜ Gewölbe Mulde GV 20.6 owF Gasgeschwindigkeiten in m/s t=3000s



BAStBÜ Gewölbe Mulde GV 20.6 owF Gasgeschwindigkeiten in m/s t=3300s

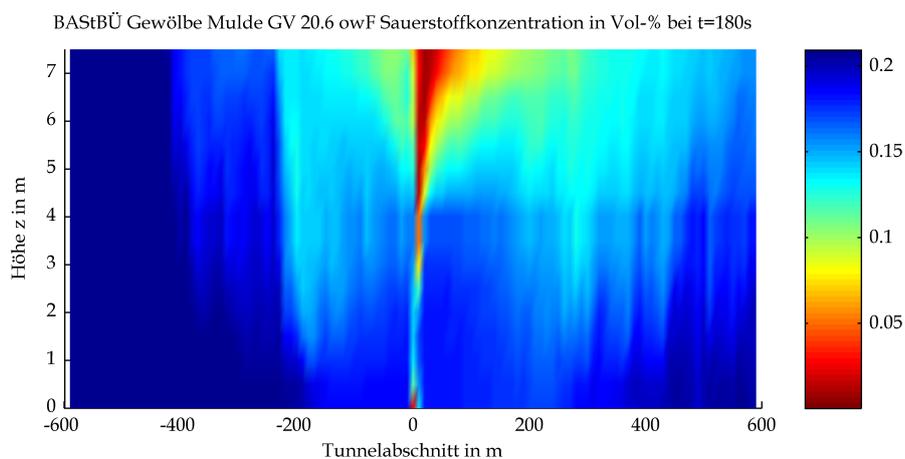
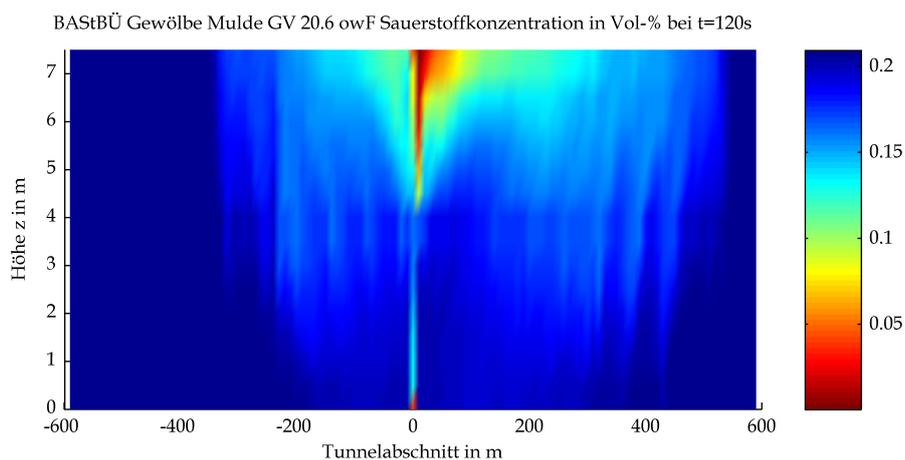
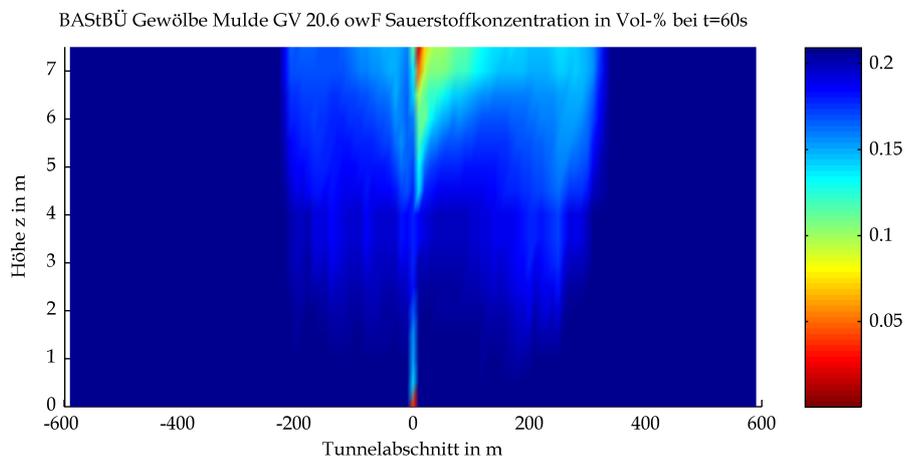


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

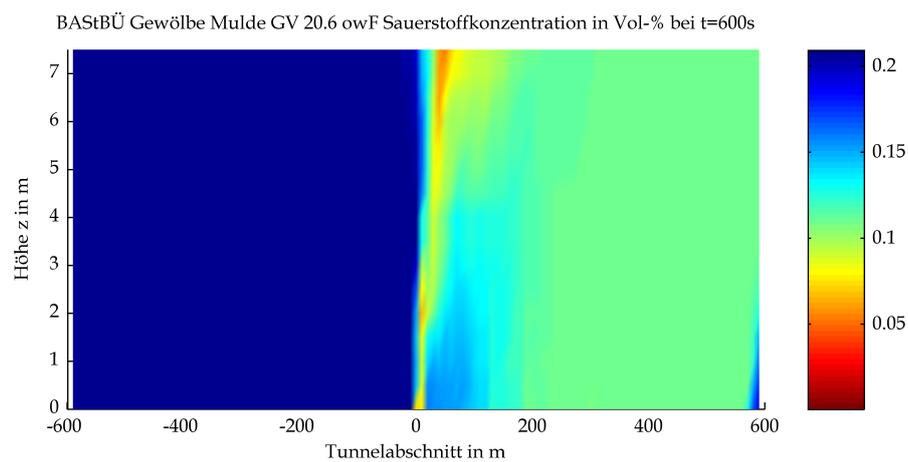
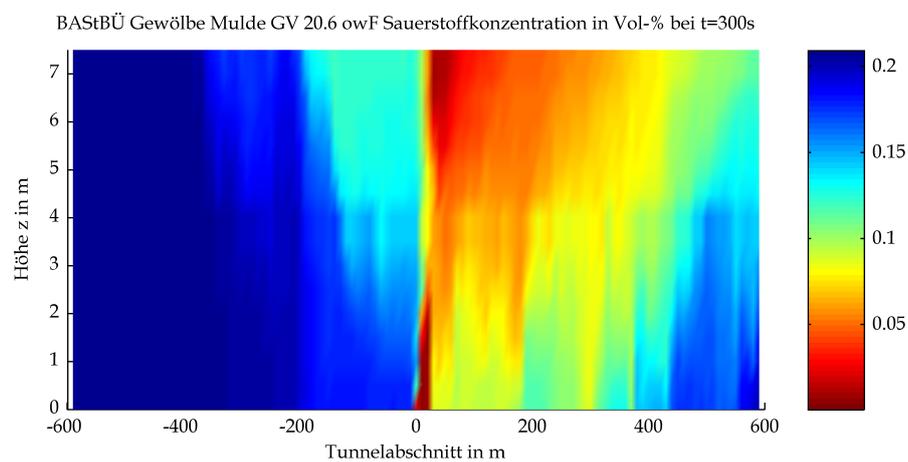
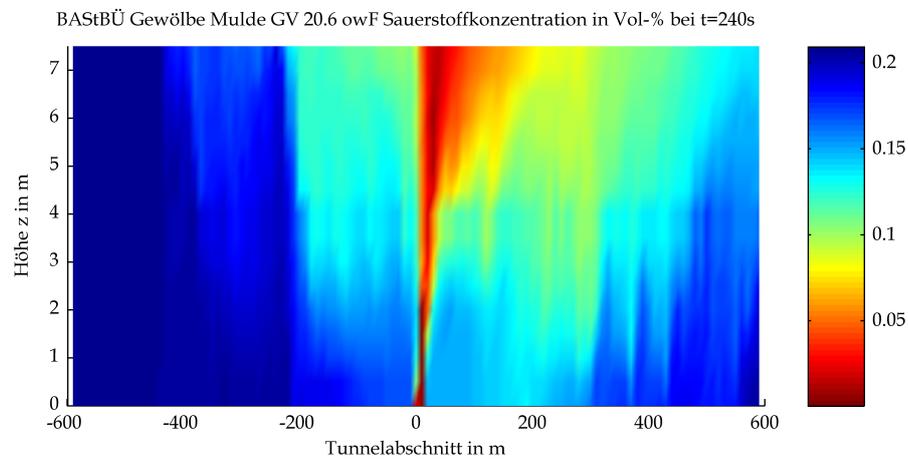


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

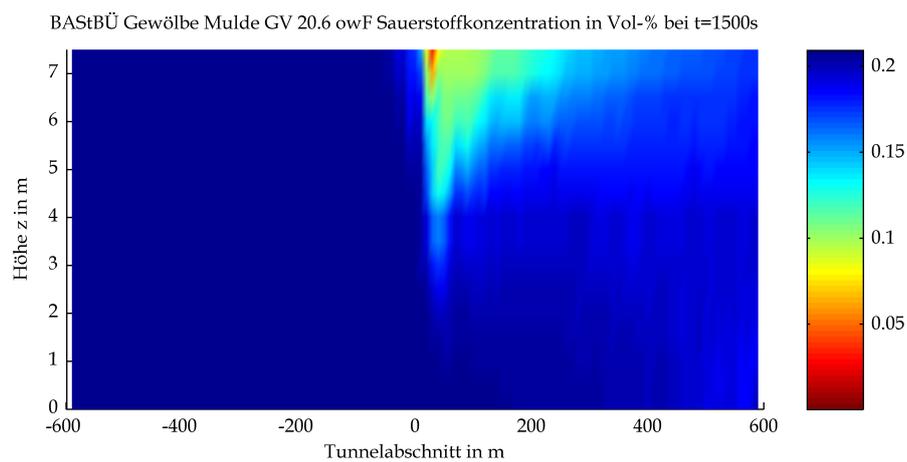
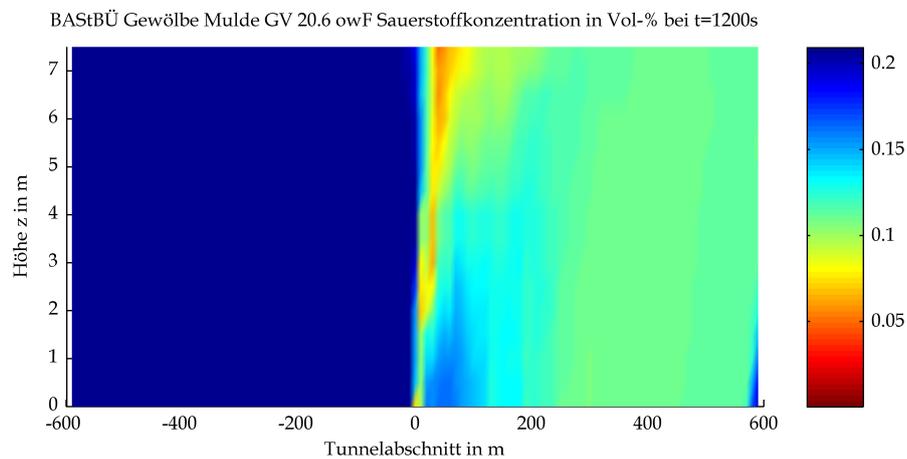
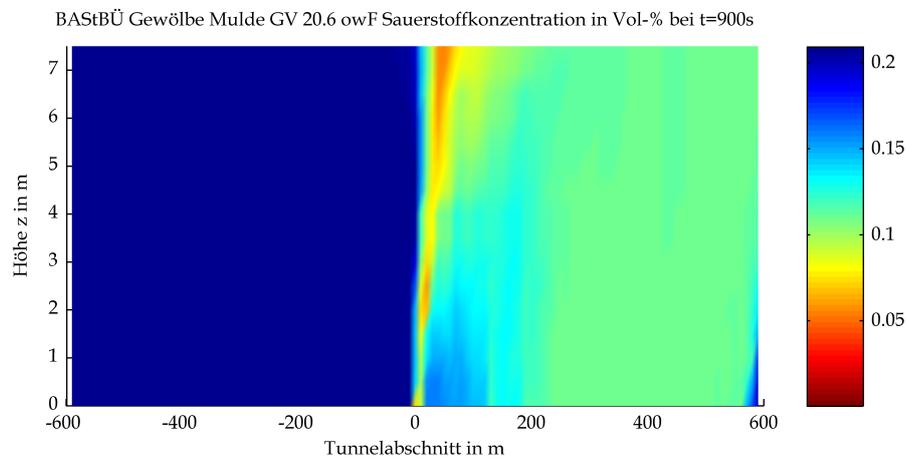
## 5 Sauerstoffgehalt



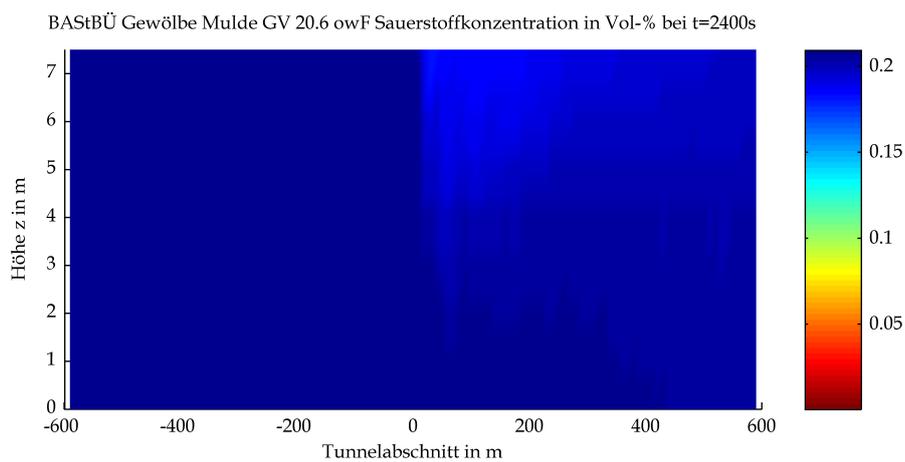
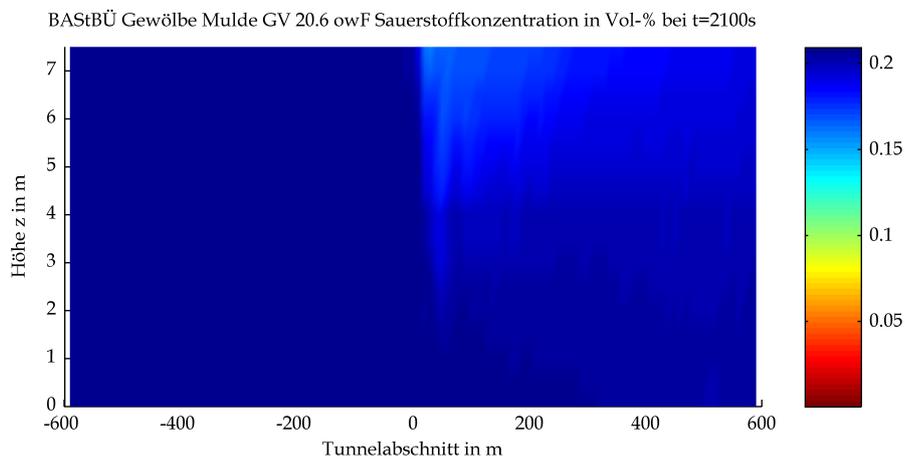
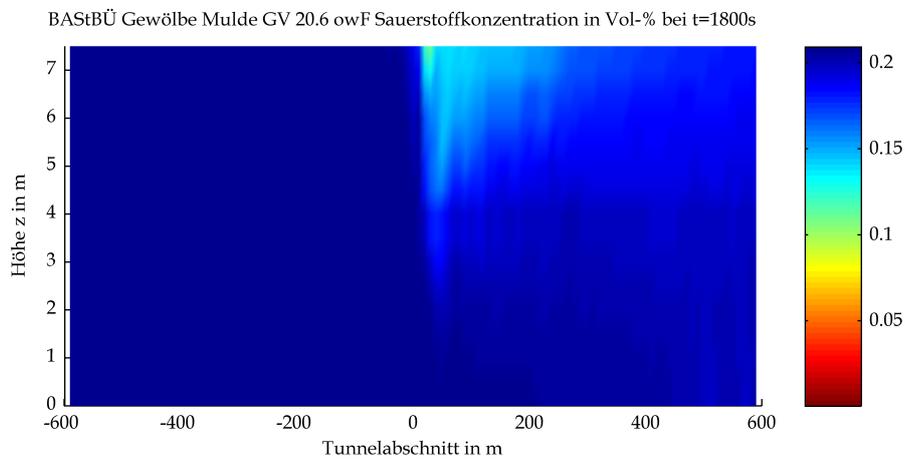
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



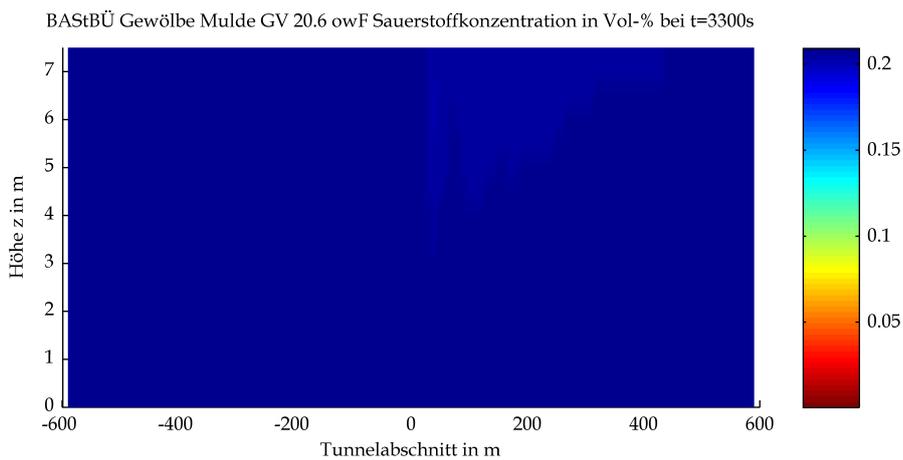
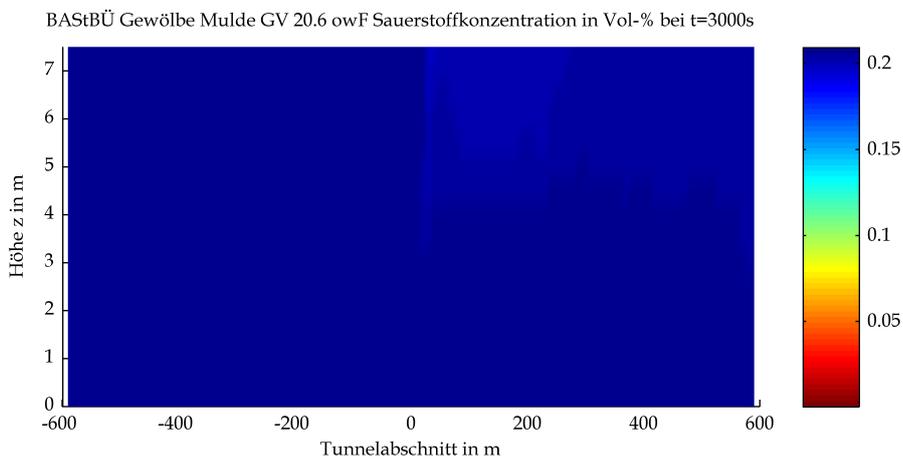
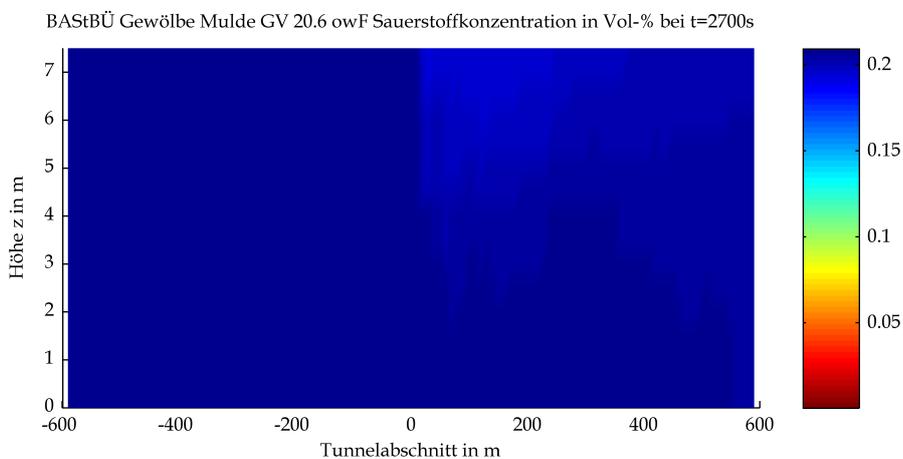
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



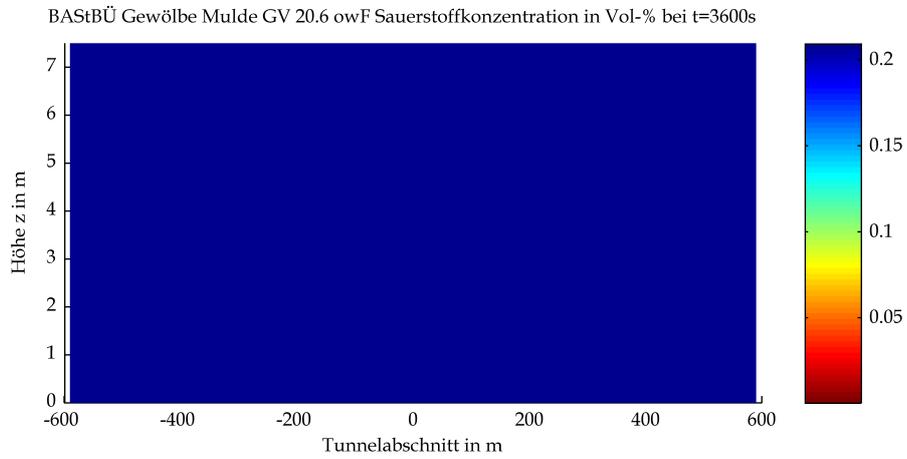
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte

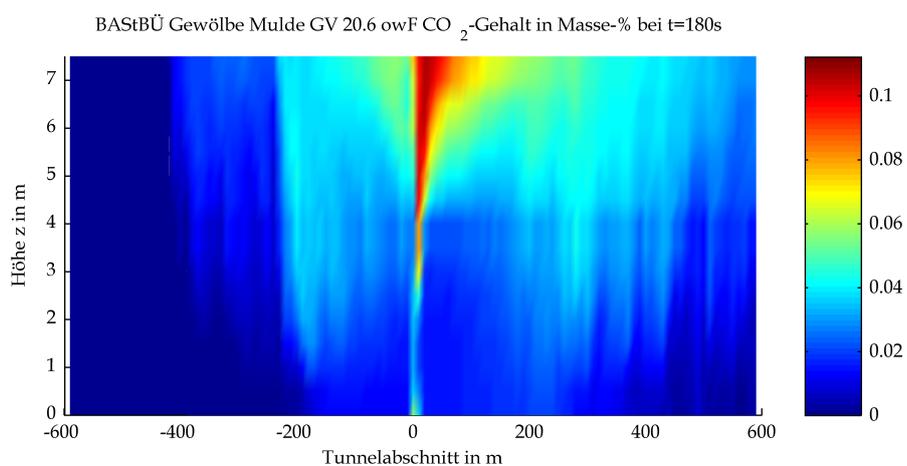
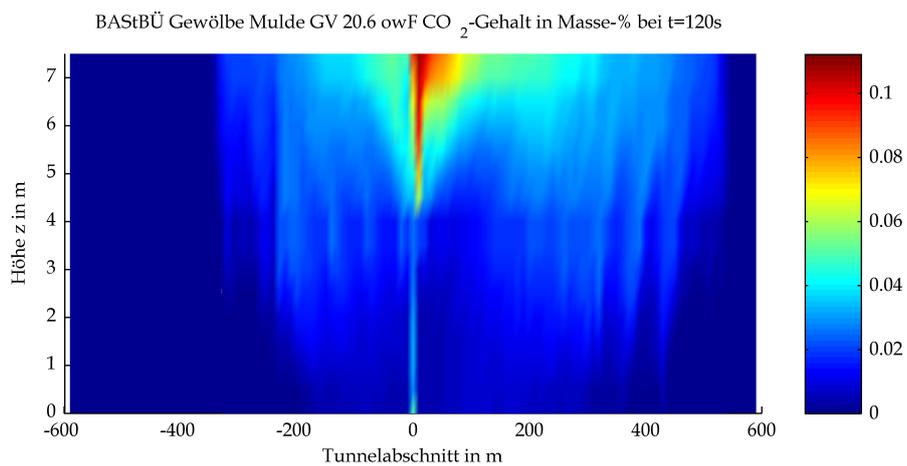
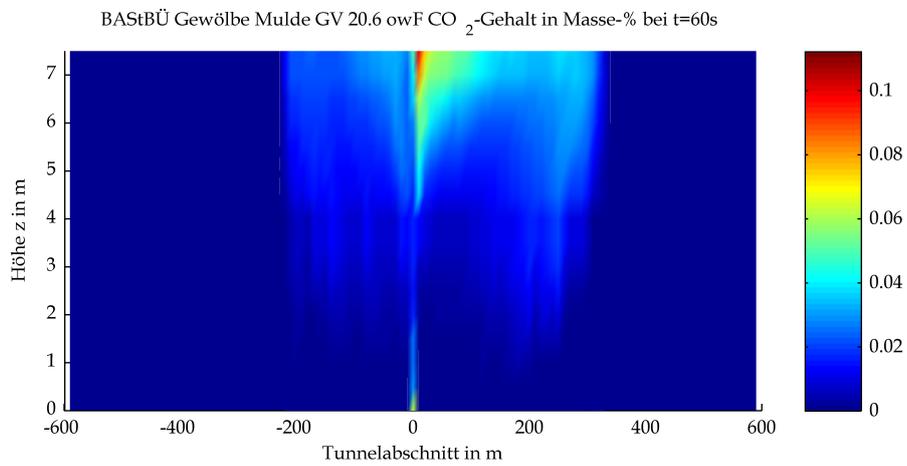


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte

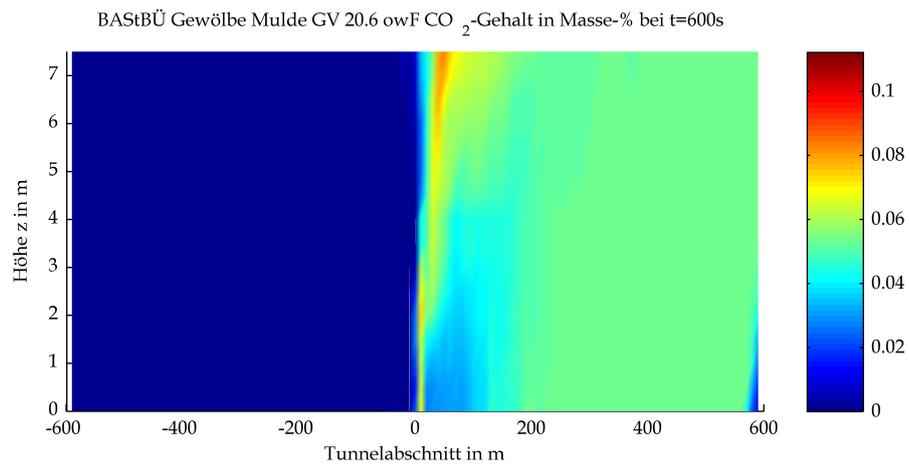
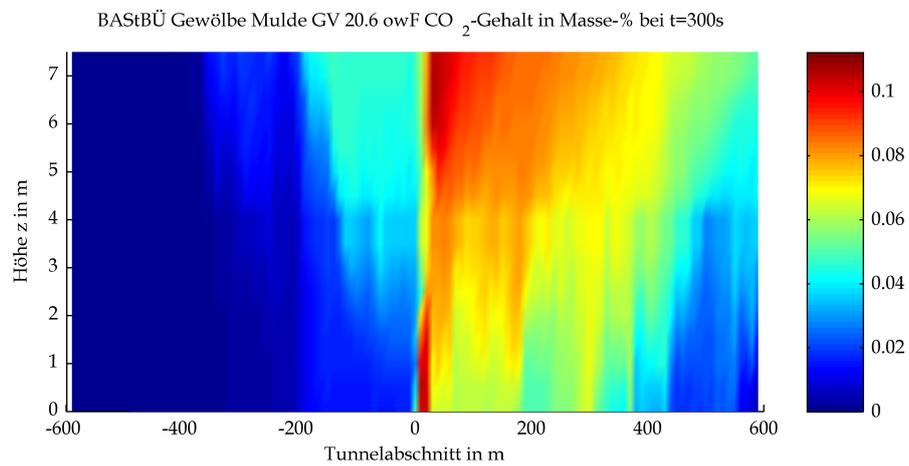
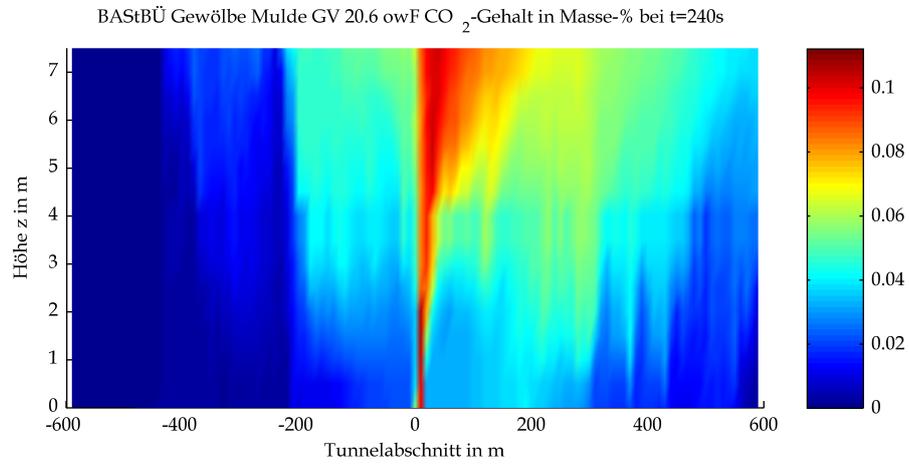


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte

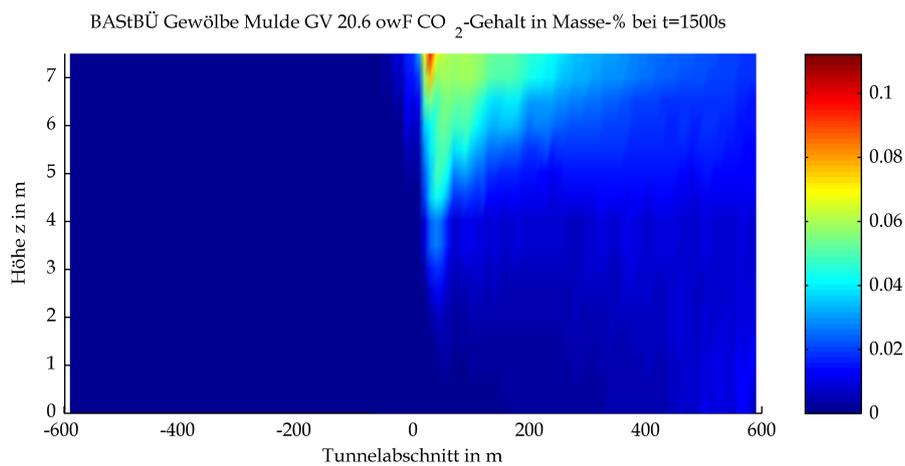
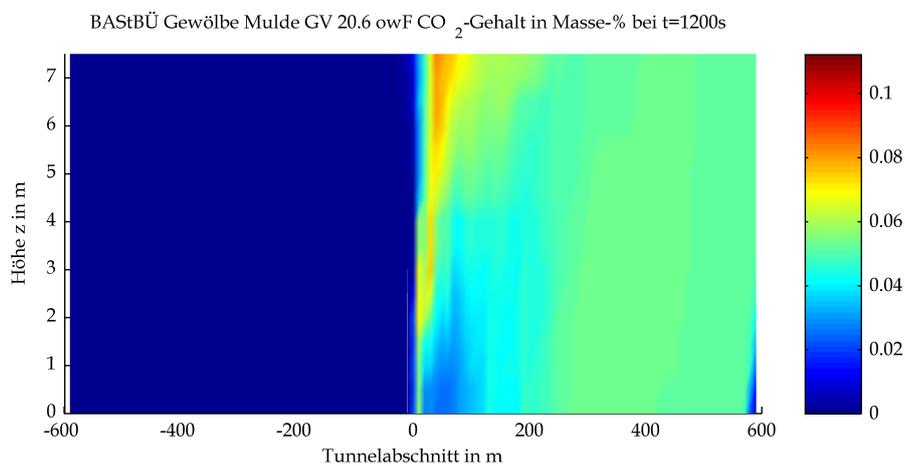
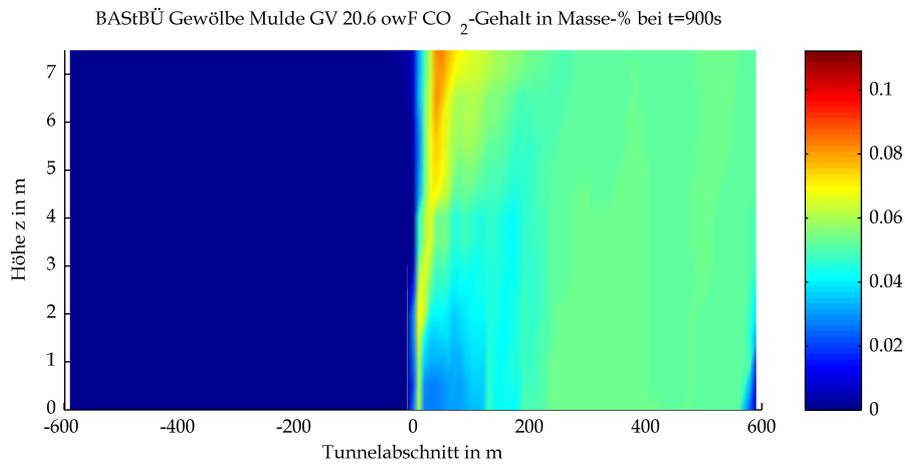
## 6 Kohlendioxidgehalt



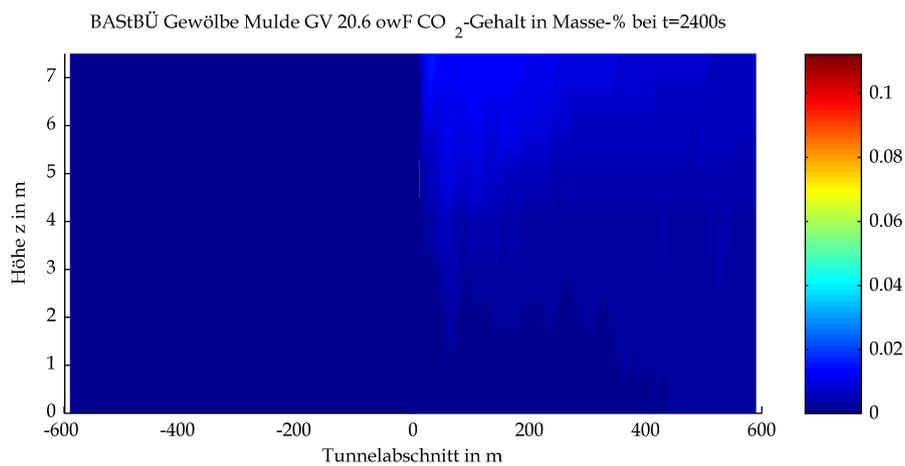
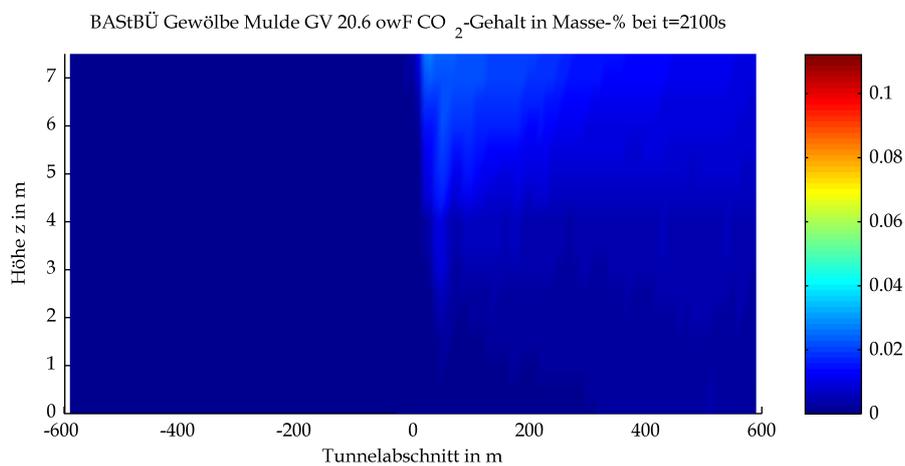
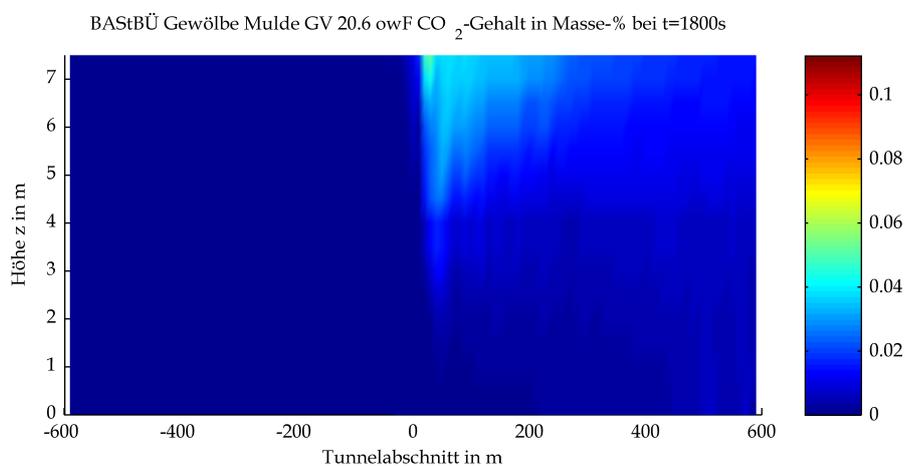
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte



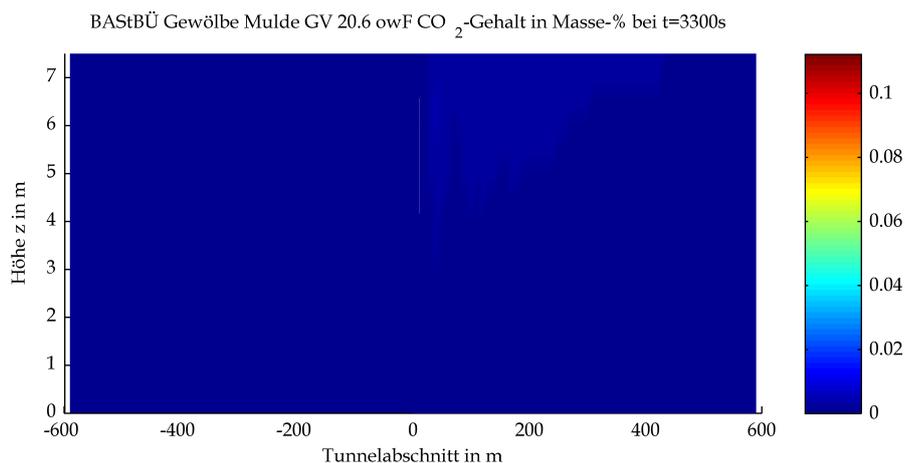
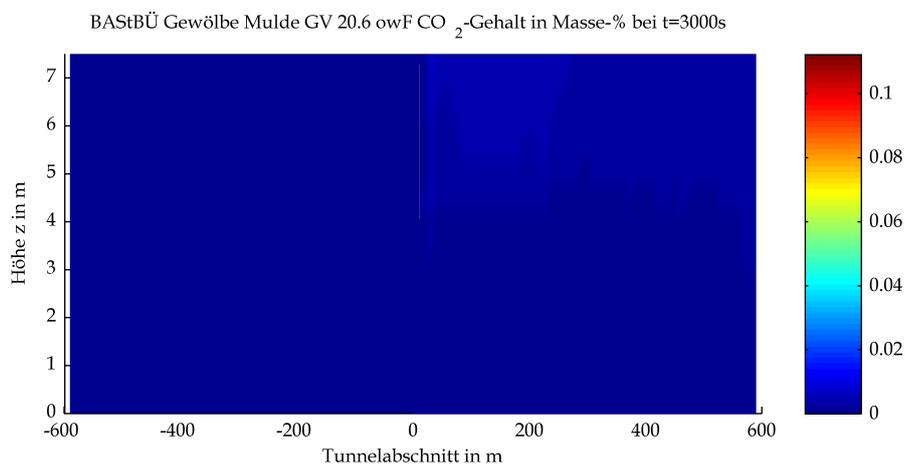
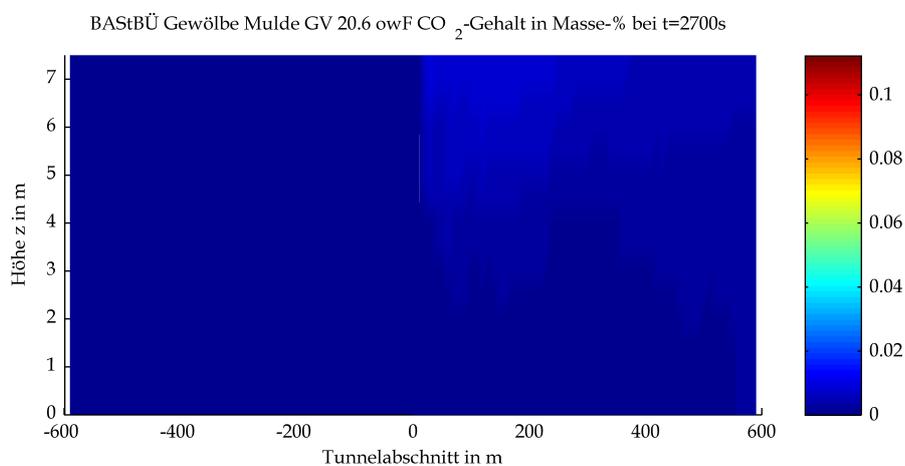
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte



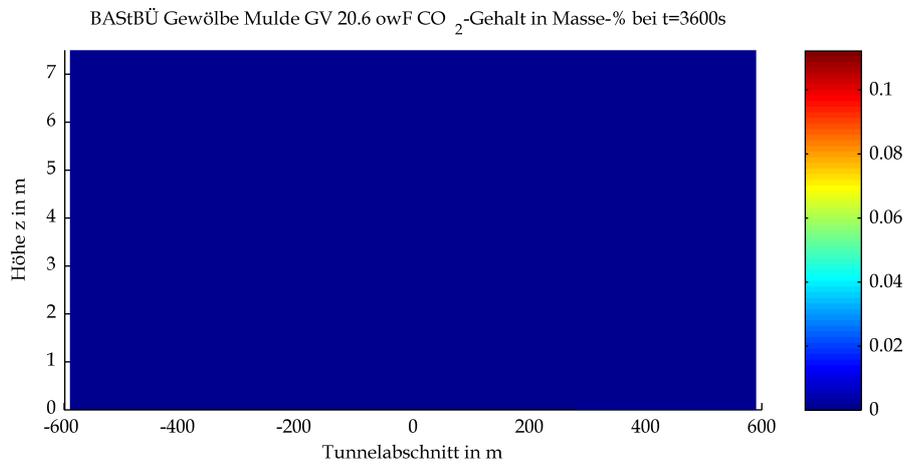
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

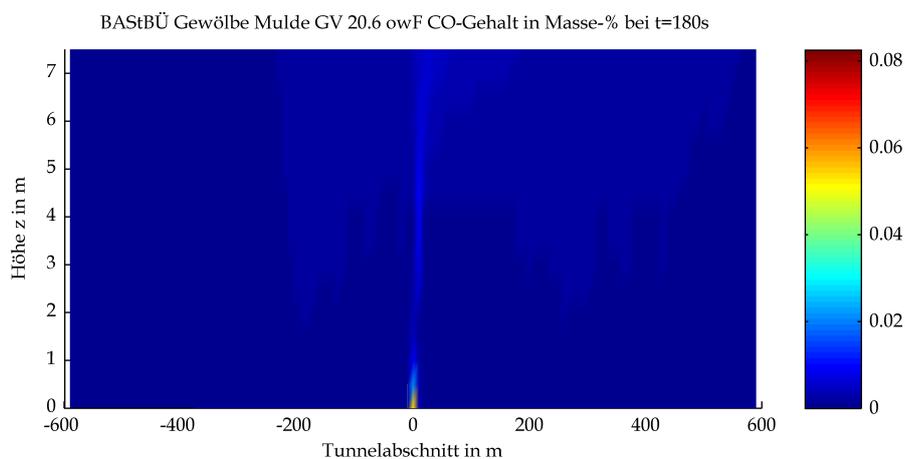
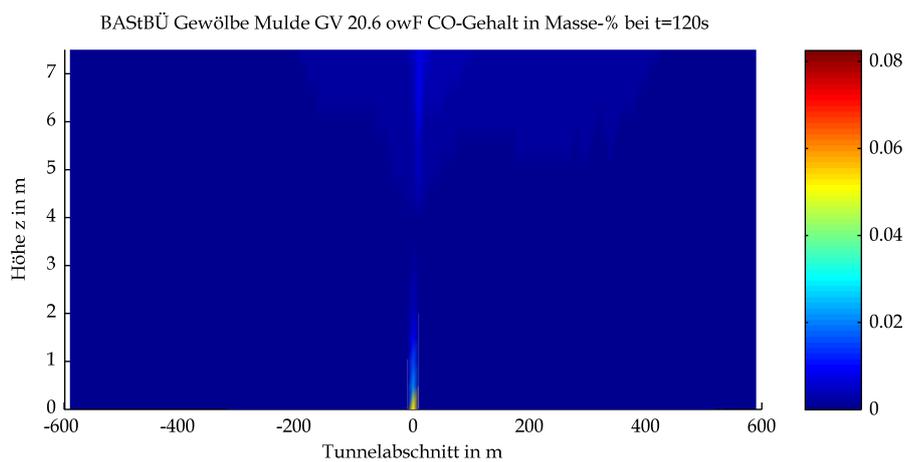
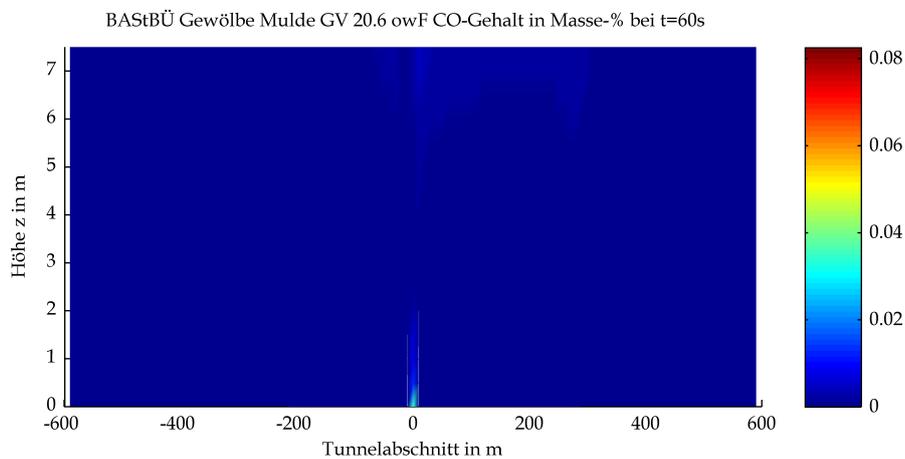


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

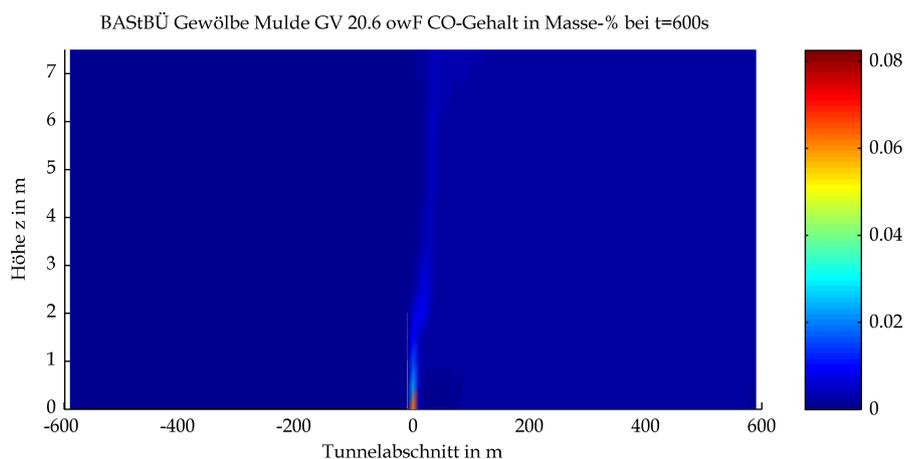
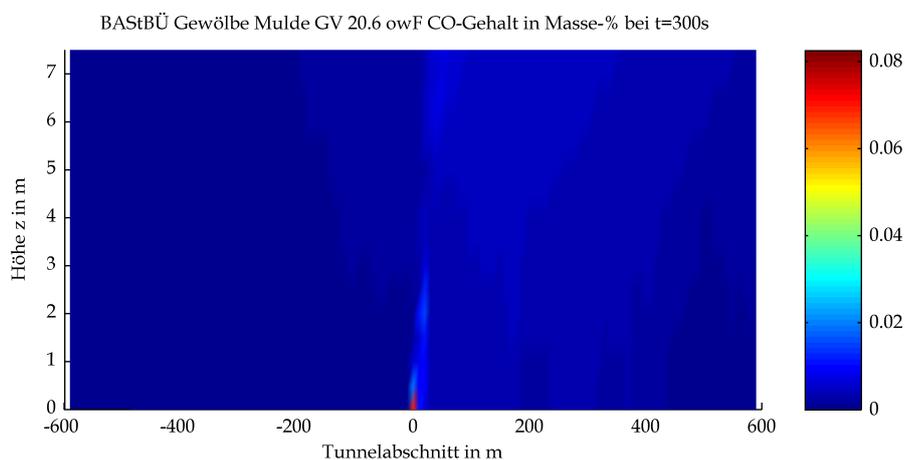
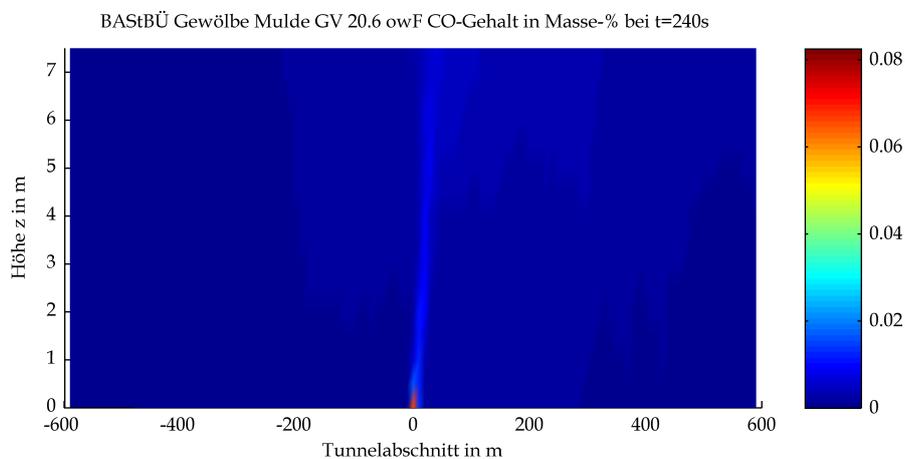


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

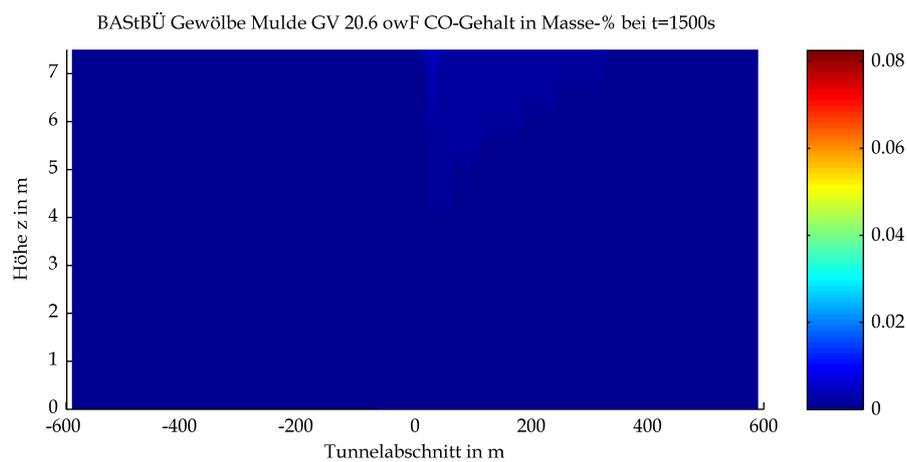
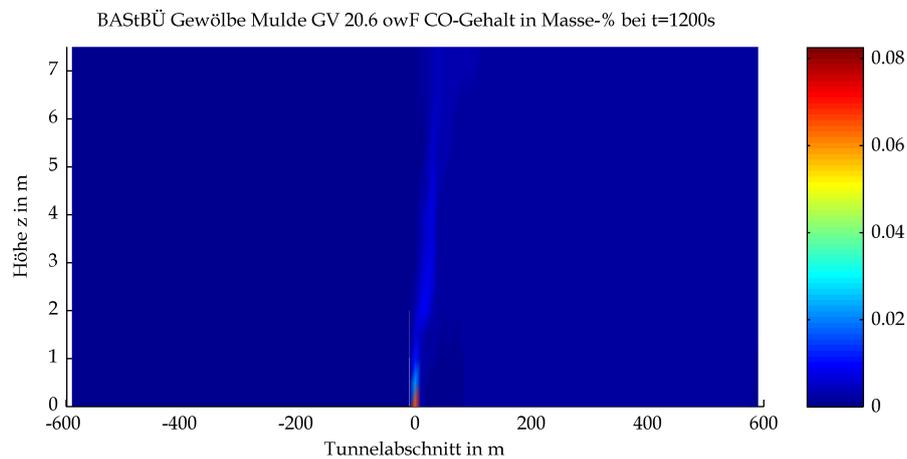
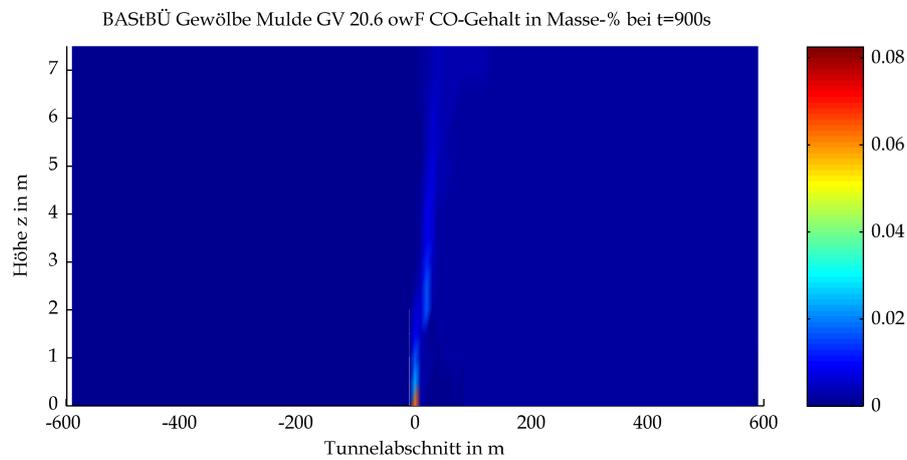
## 7 Kohlenmonoxidgehalt



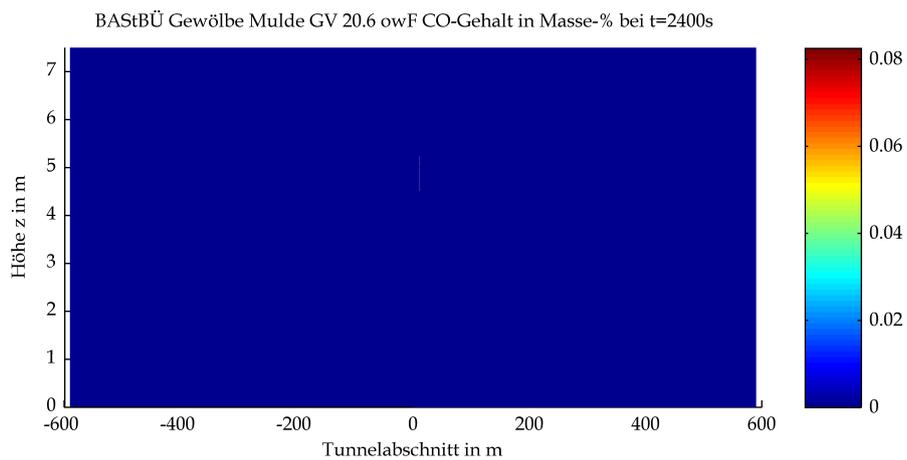
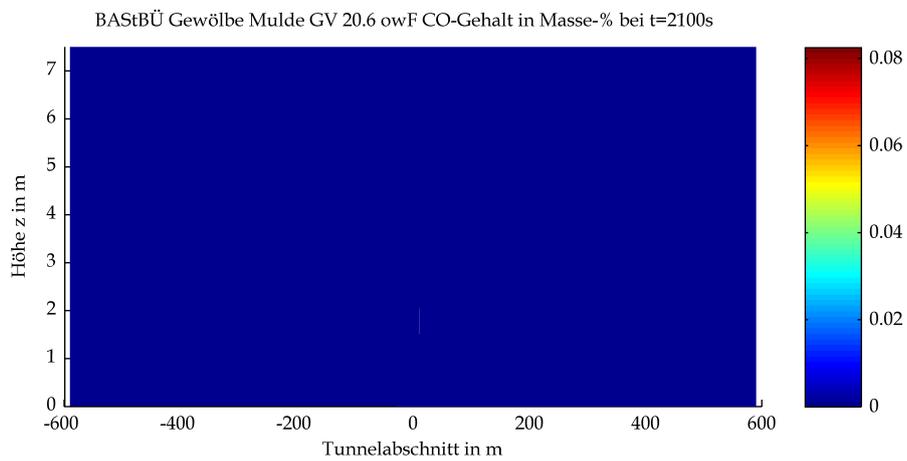
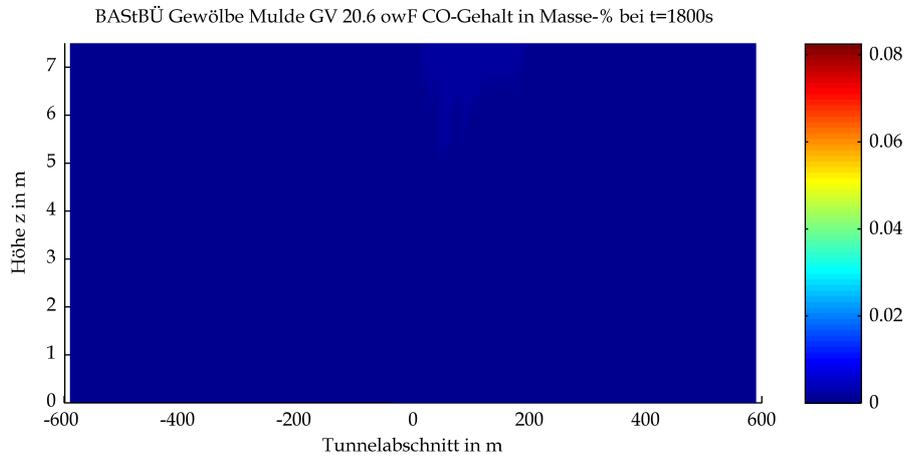
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



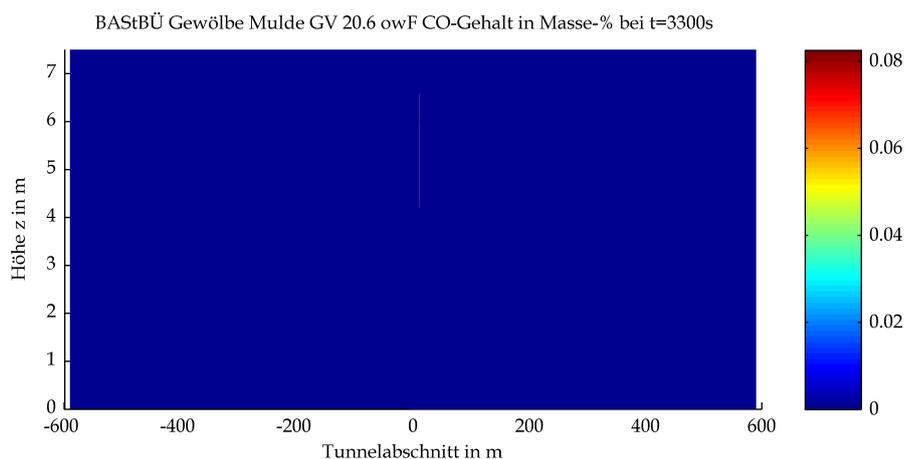
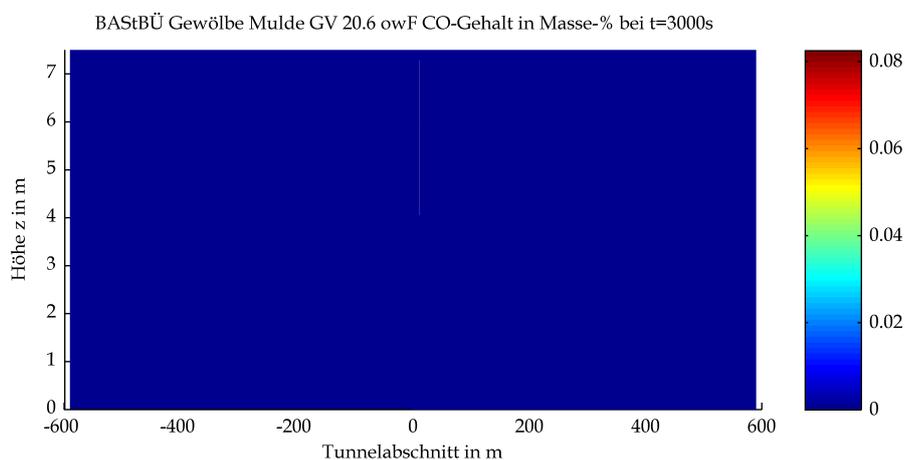
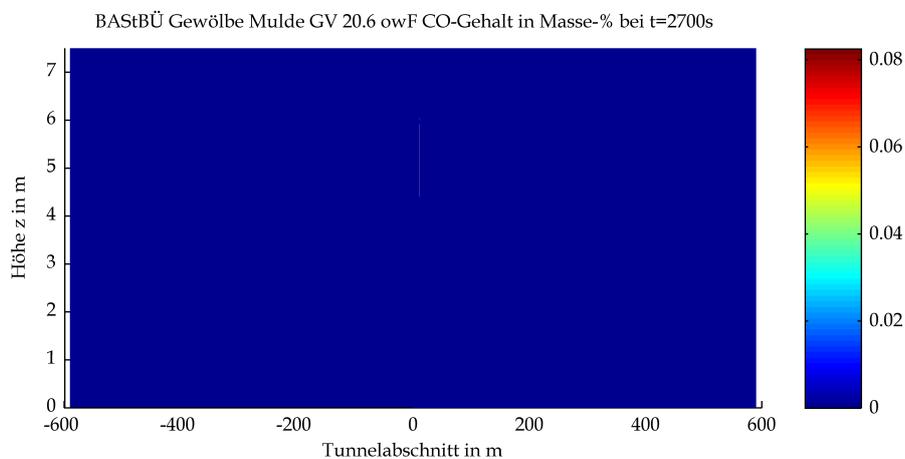
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



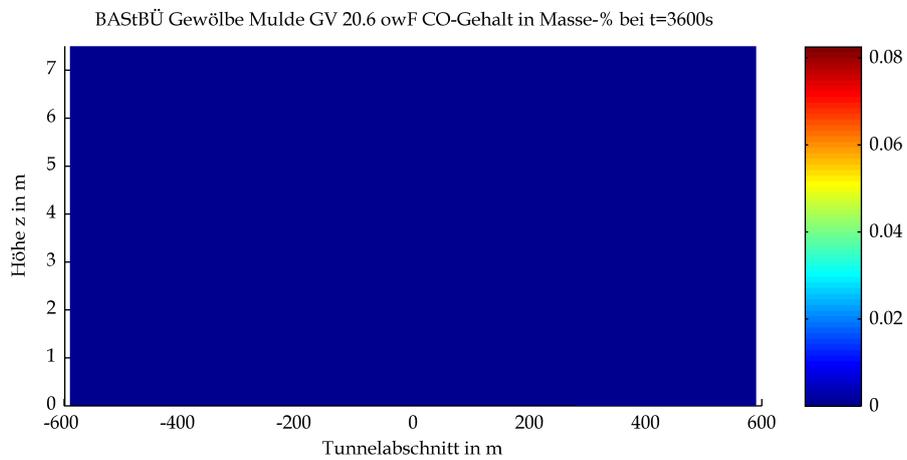
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



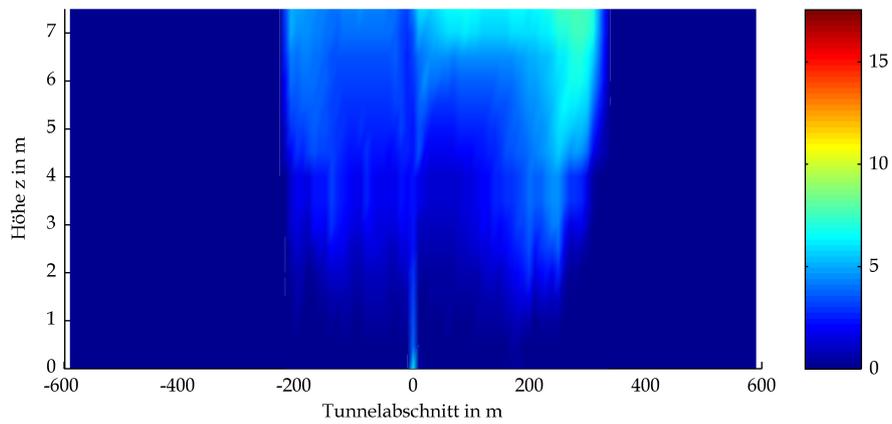
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



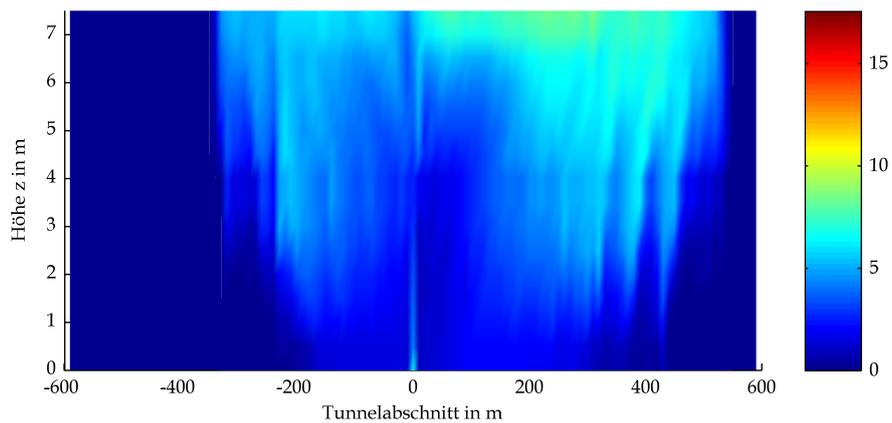
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte

## 8 Optische Dichte

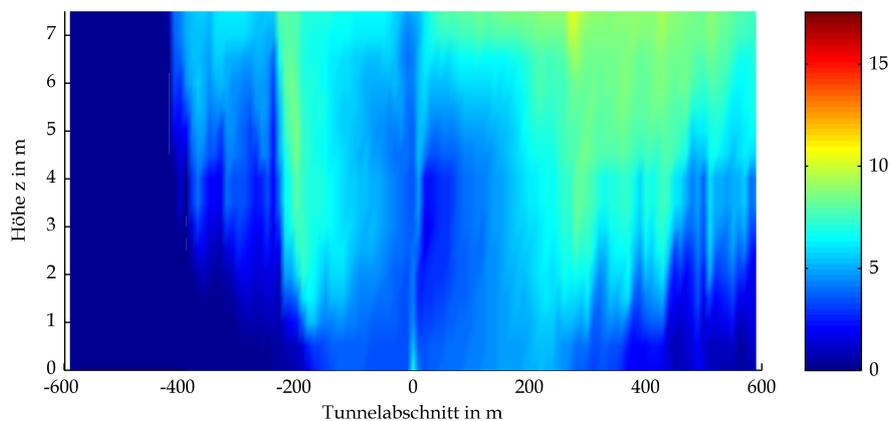
BAStBÜ Gewölbe Mulde GV 20.6 owF Optische Dichte bei t=60s



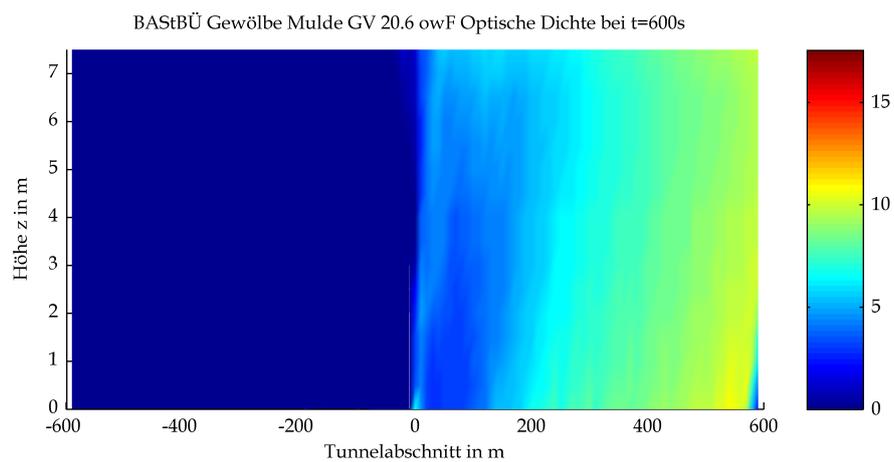
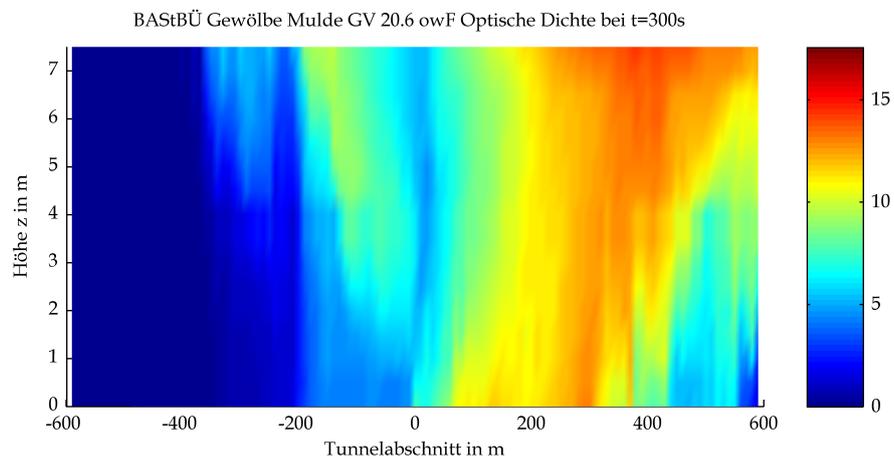
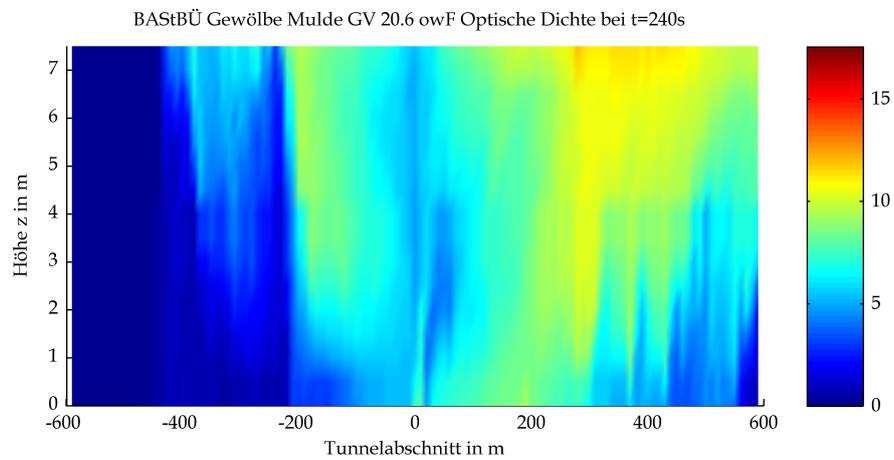
BAStBÜ Gewölbe Mulde GV 20.6 owF Optische Dichte bei t=120s



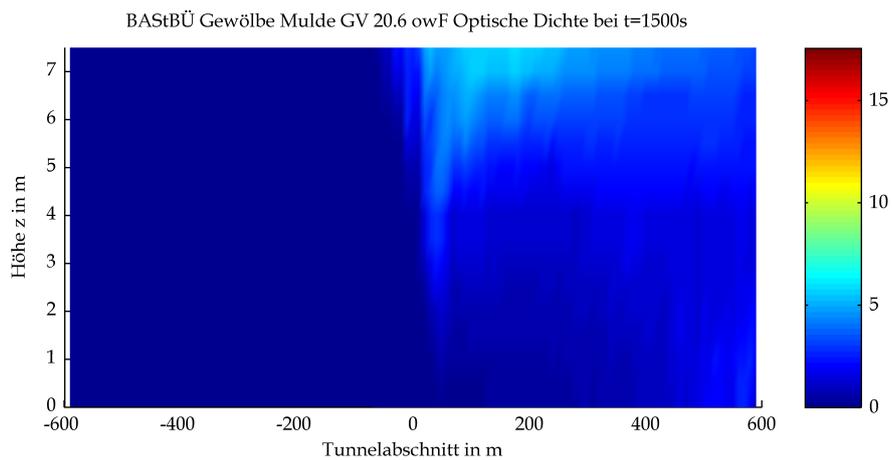
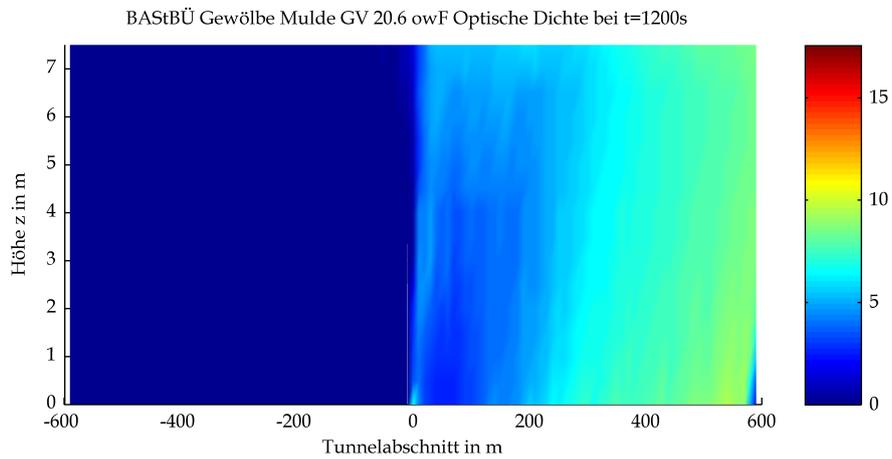
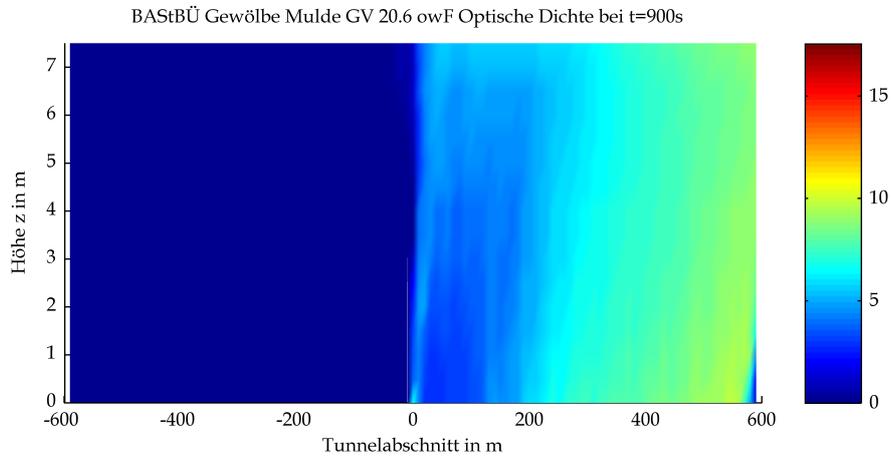
BAStBÜ Gewölbe Mulde GV 20.6 owF Optische Dichte bei t=180s



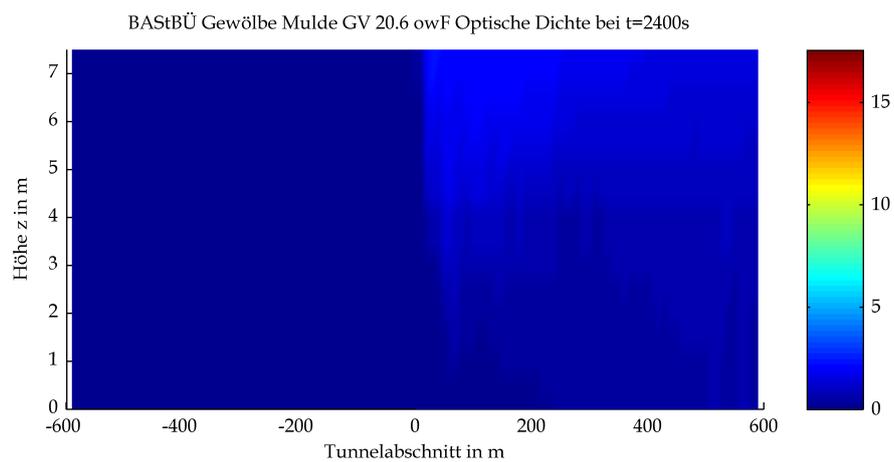
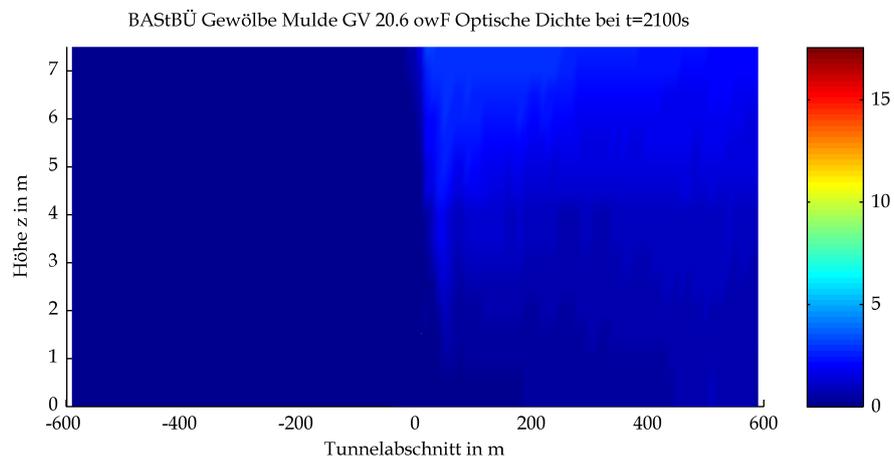
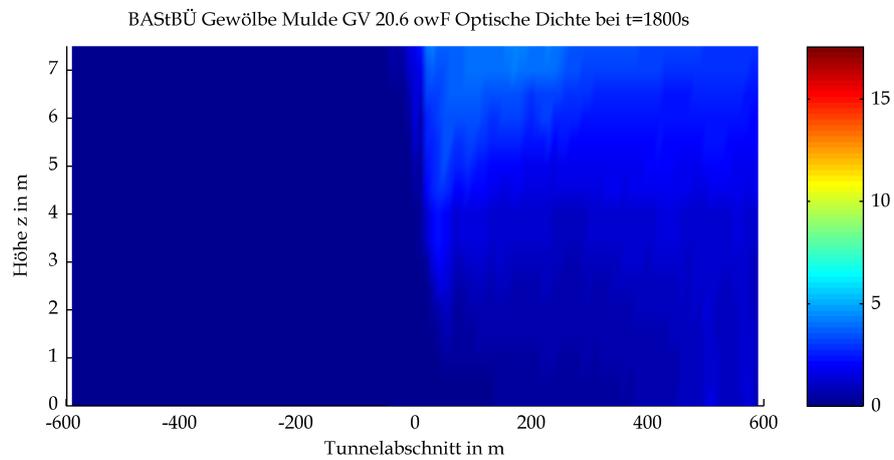
Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten



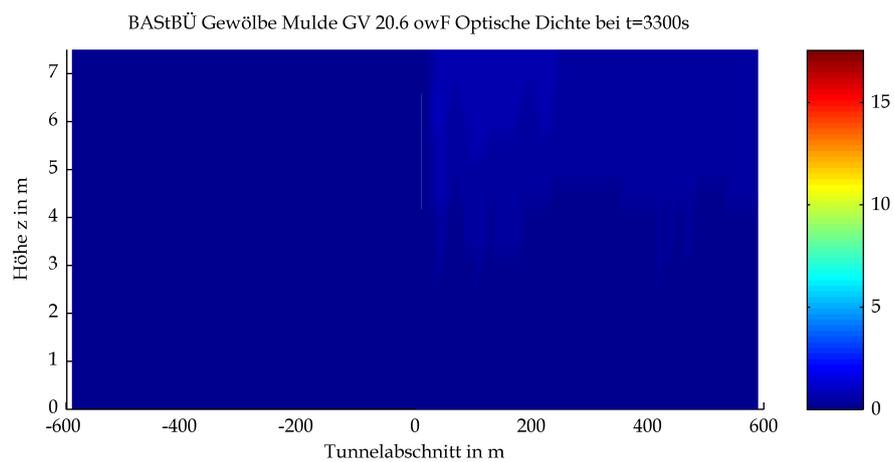
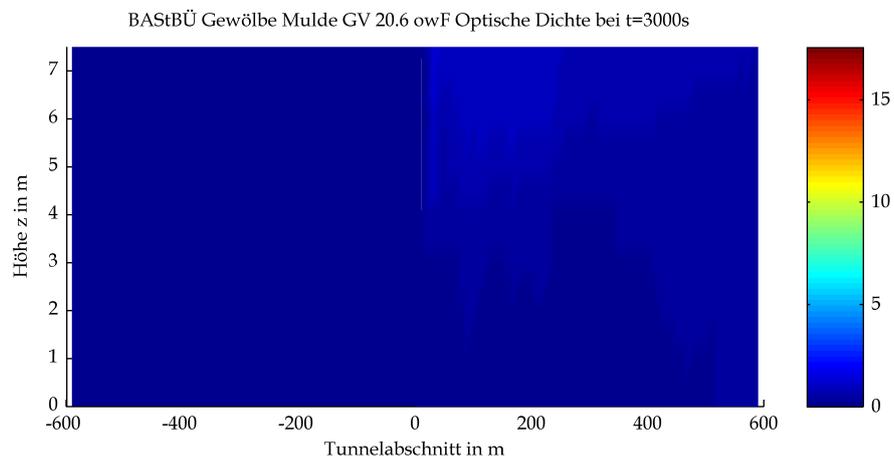
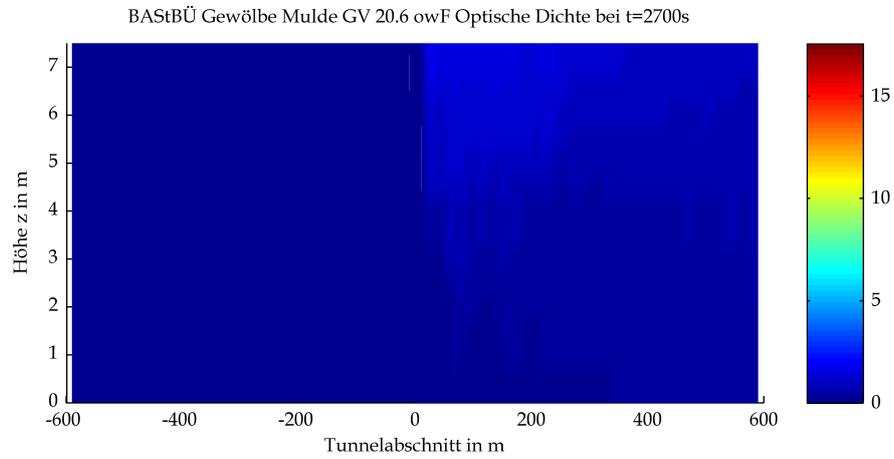
Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten



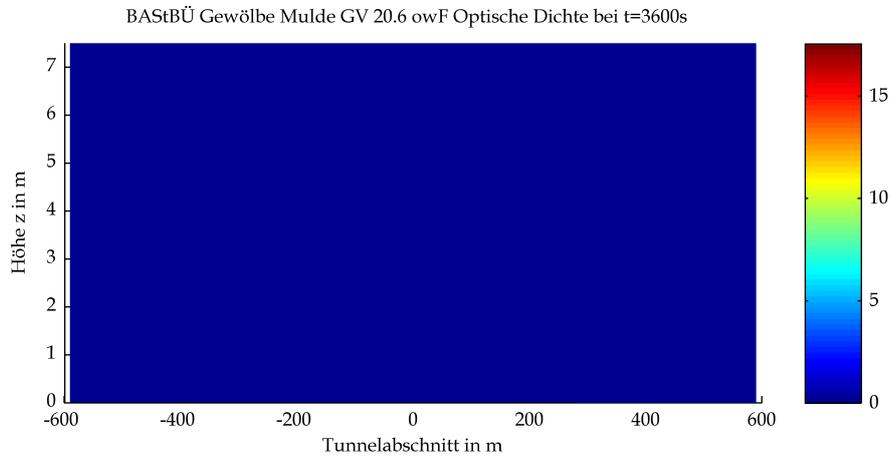
Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten



Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

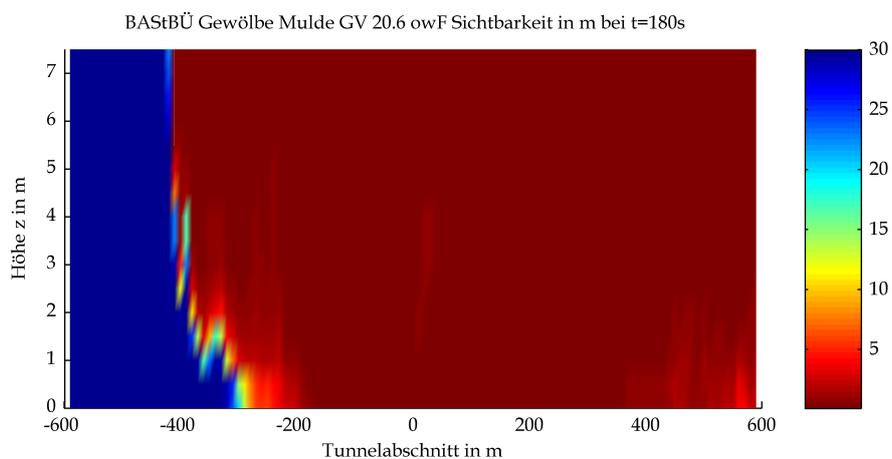
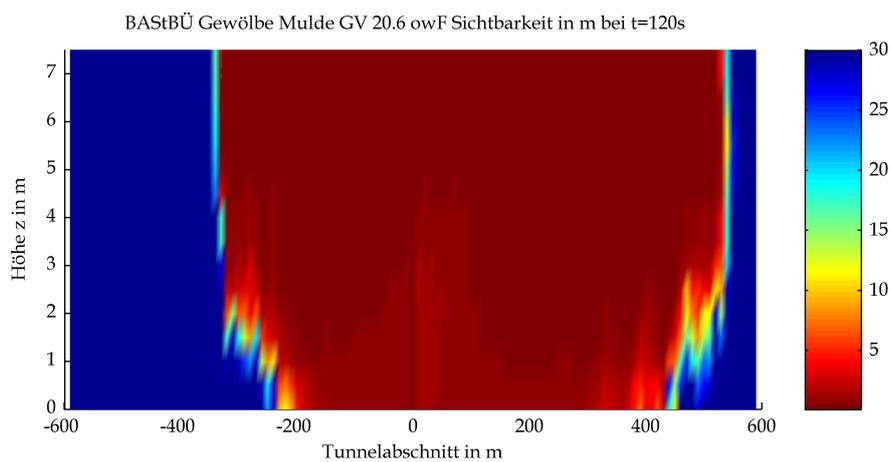
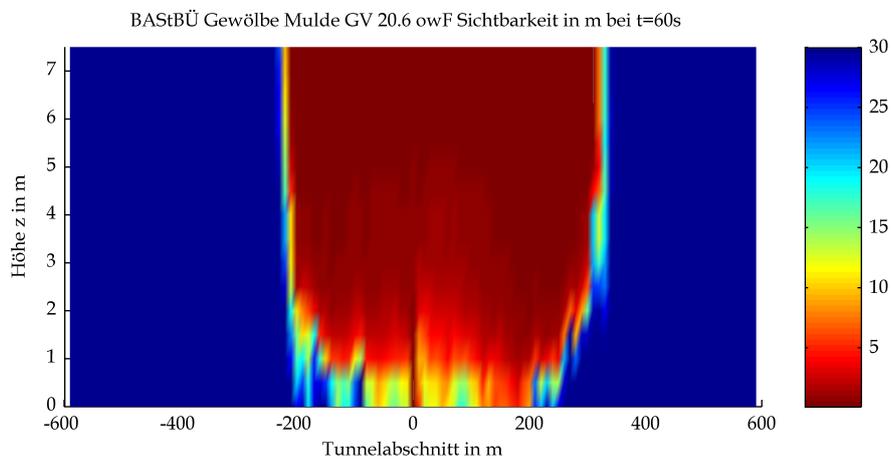


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

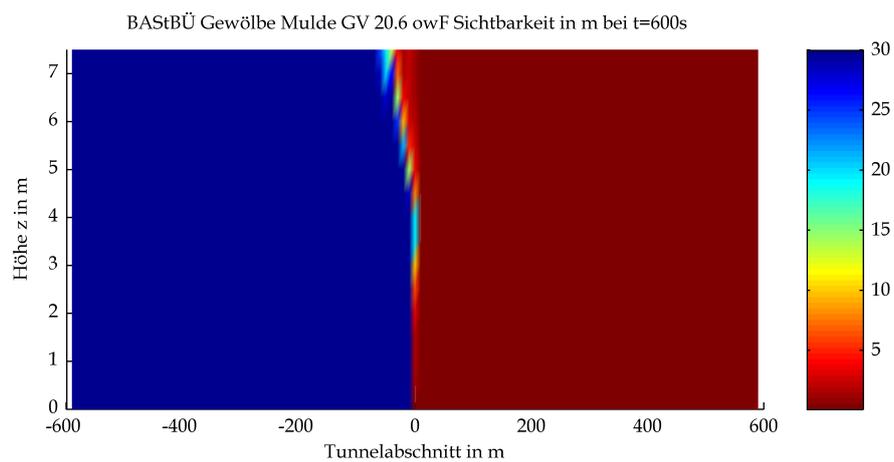
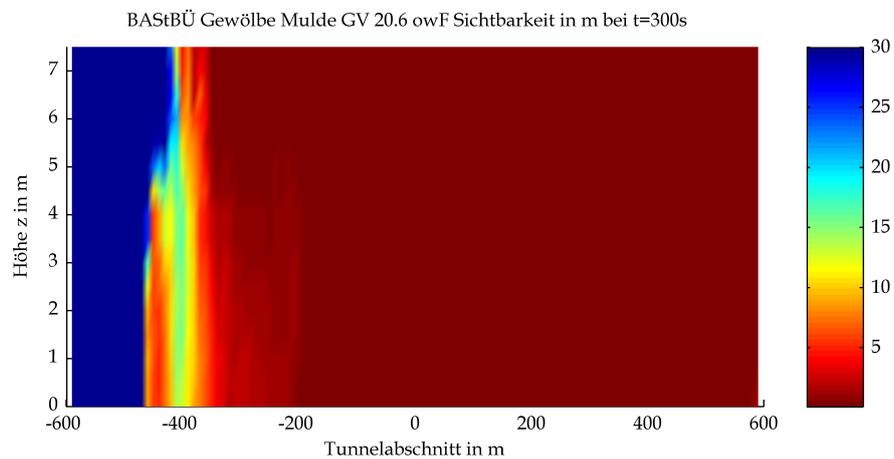
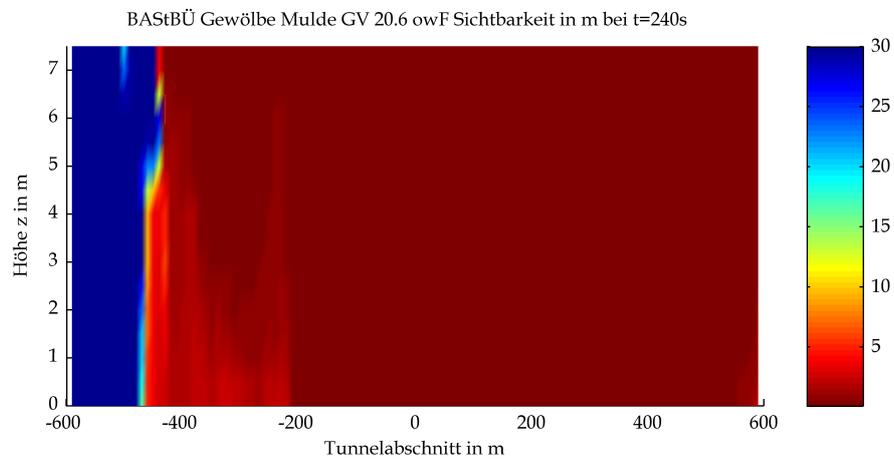


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

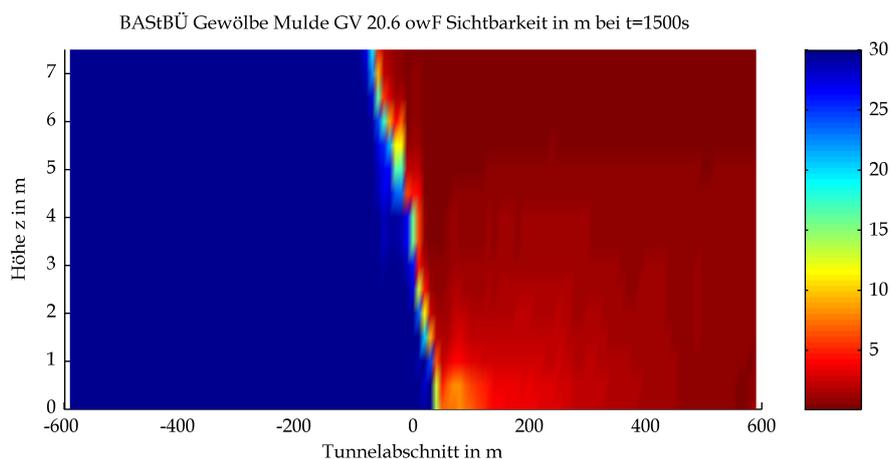
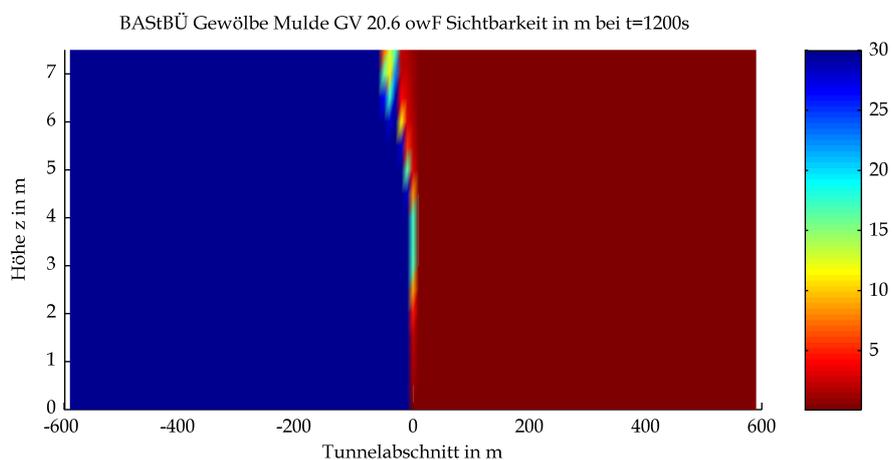
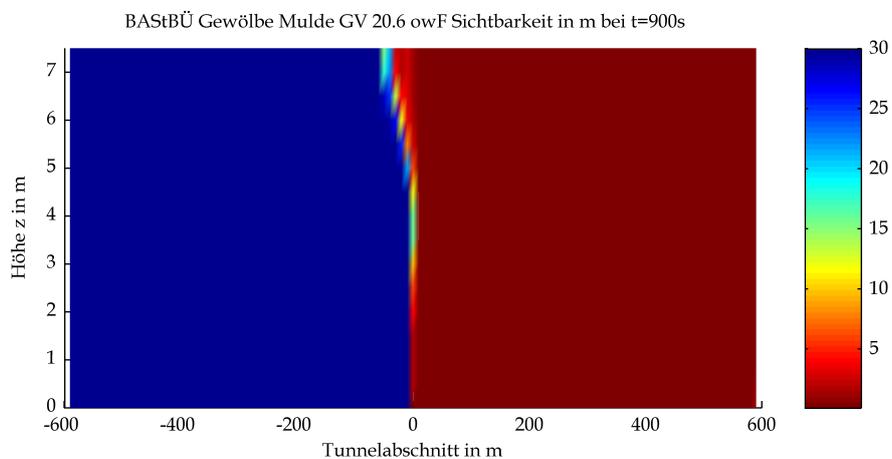
## 9 Sichtweiten



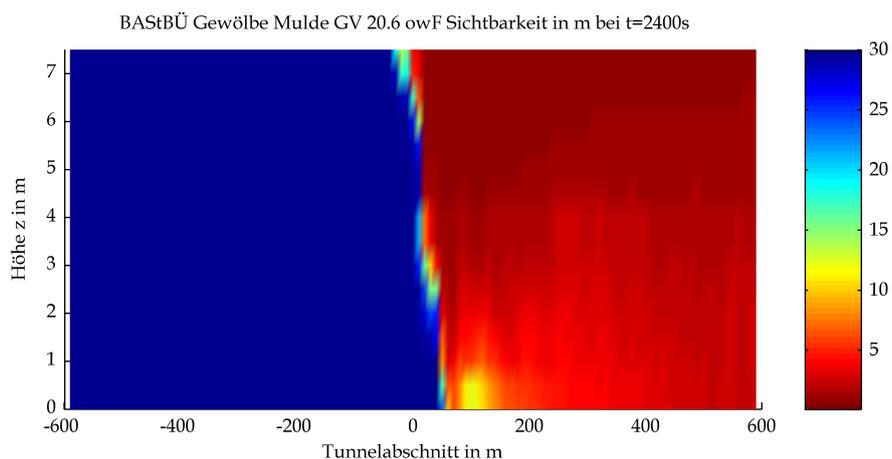
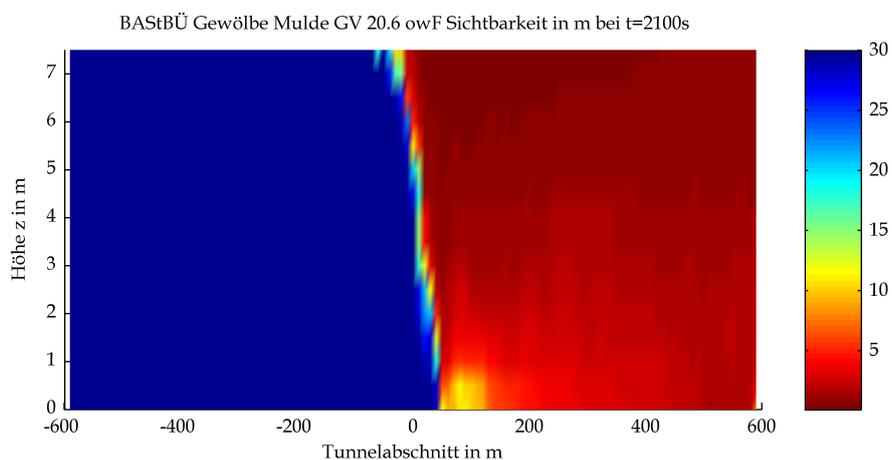
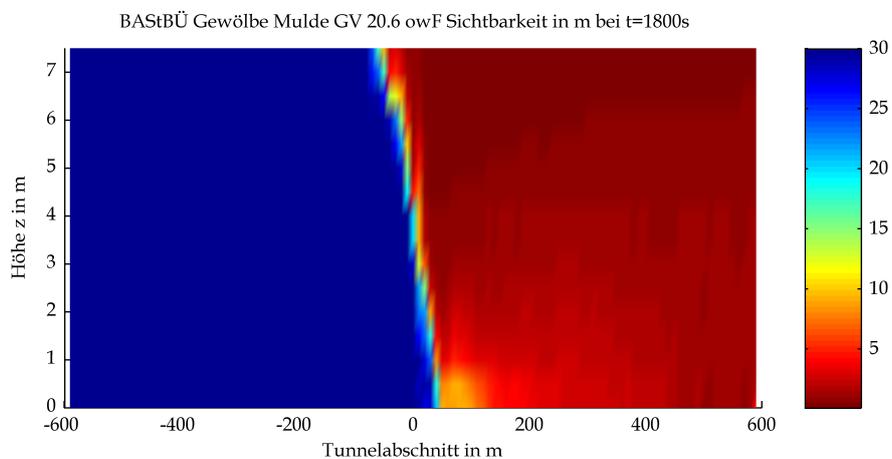
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



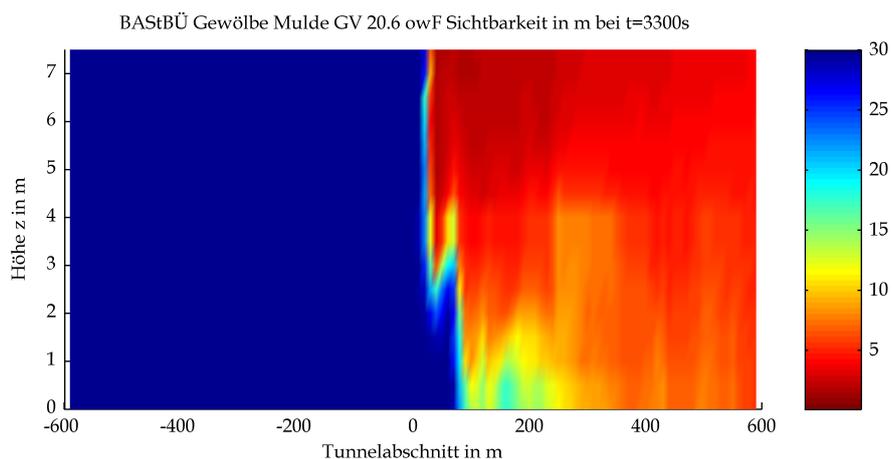
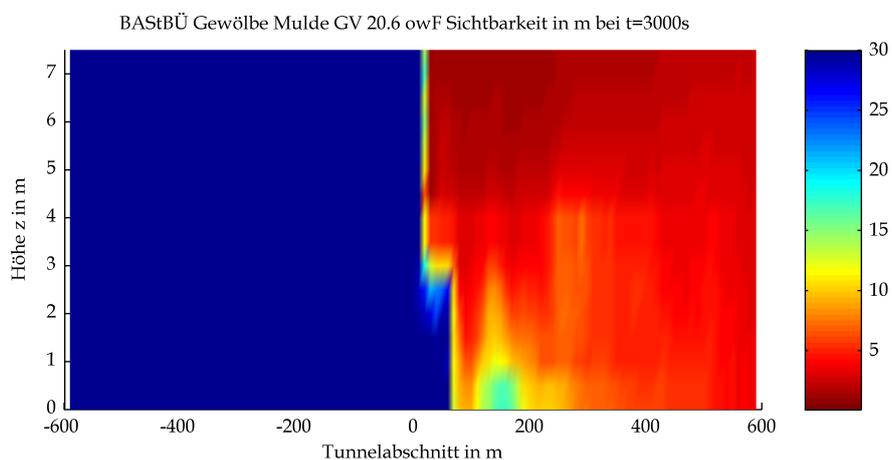
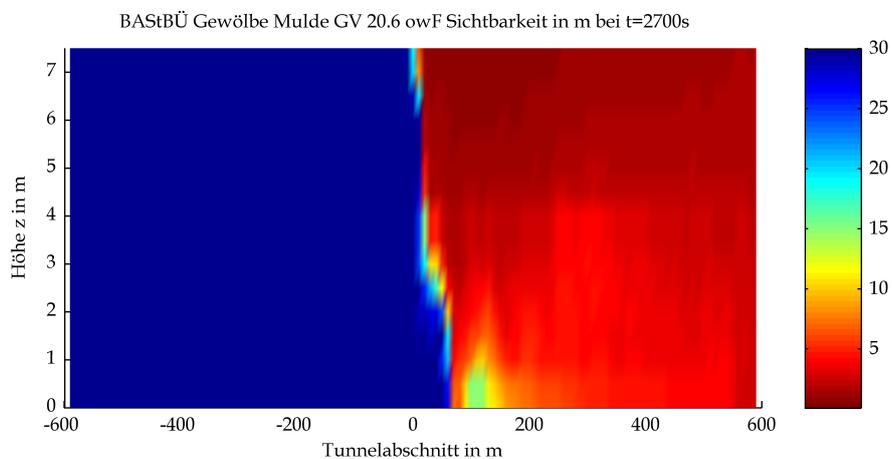
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



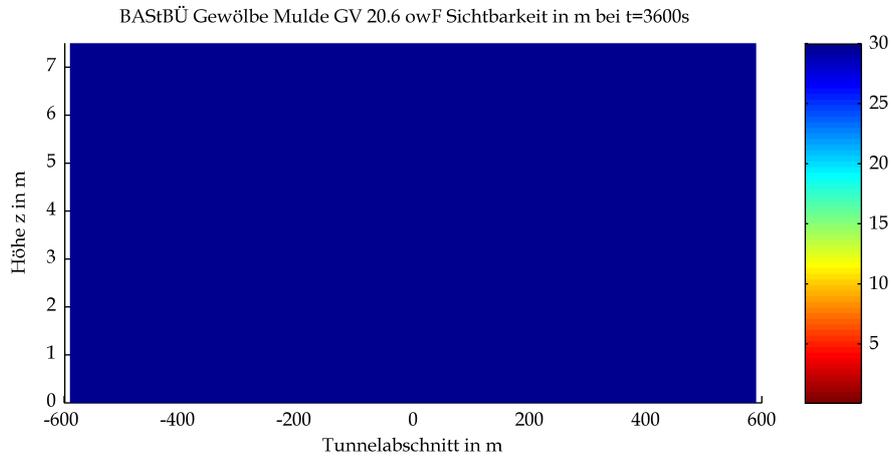
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

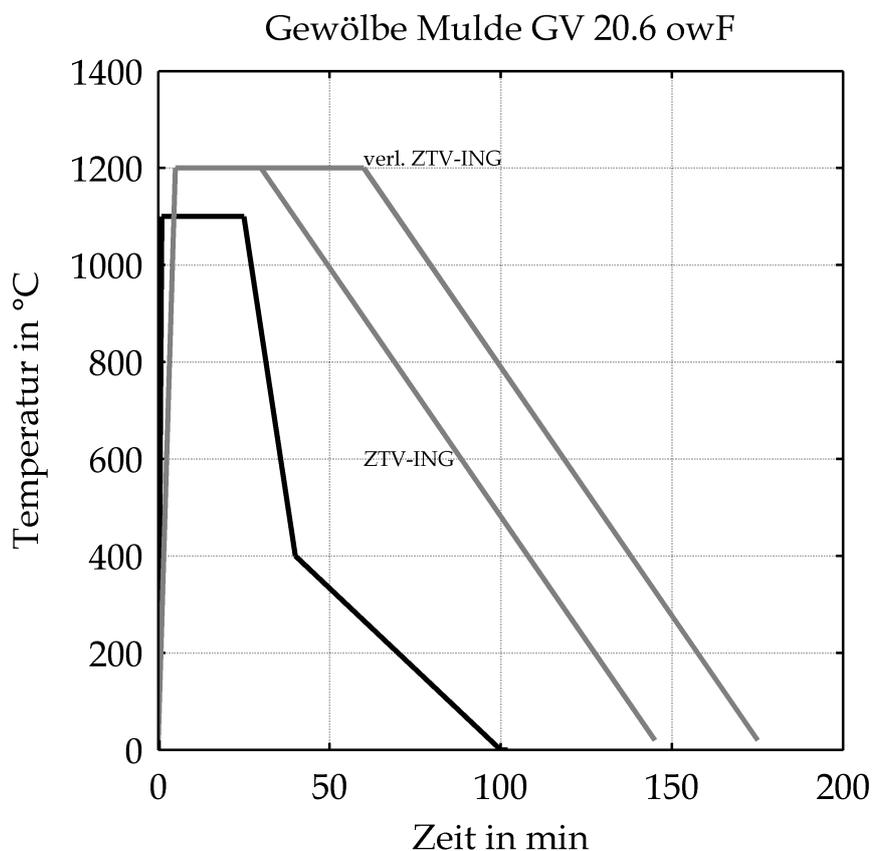


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



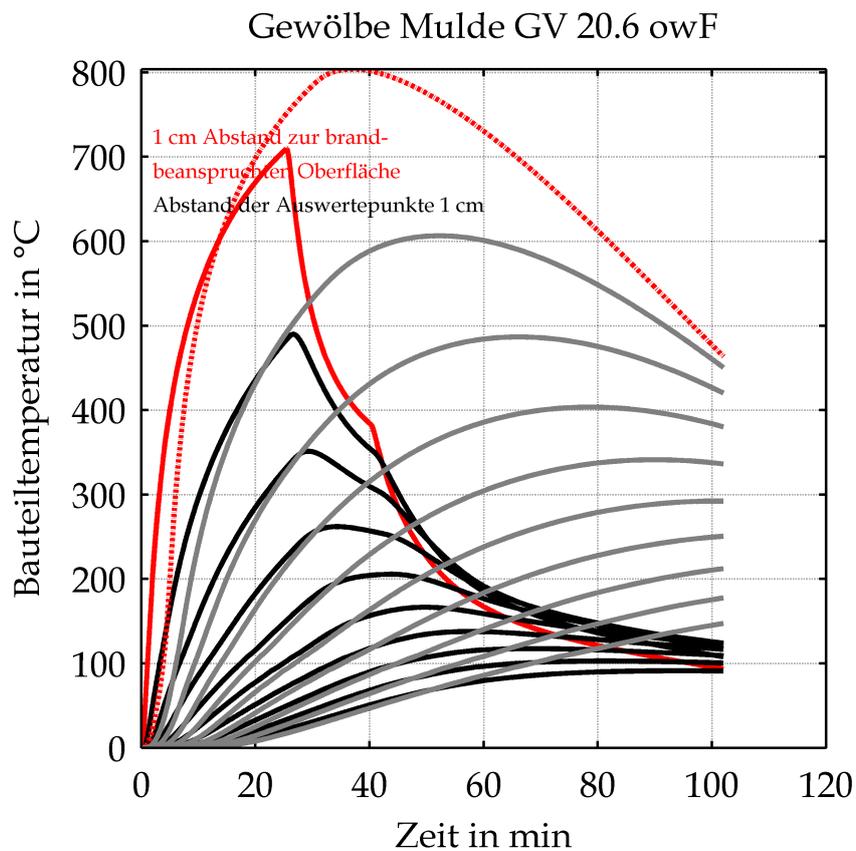
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

## IV Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf



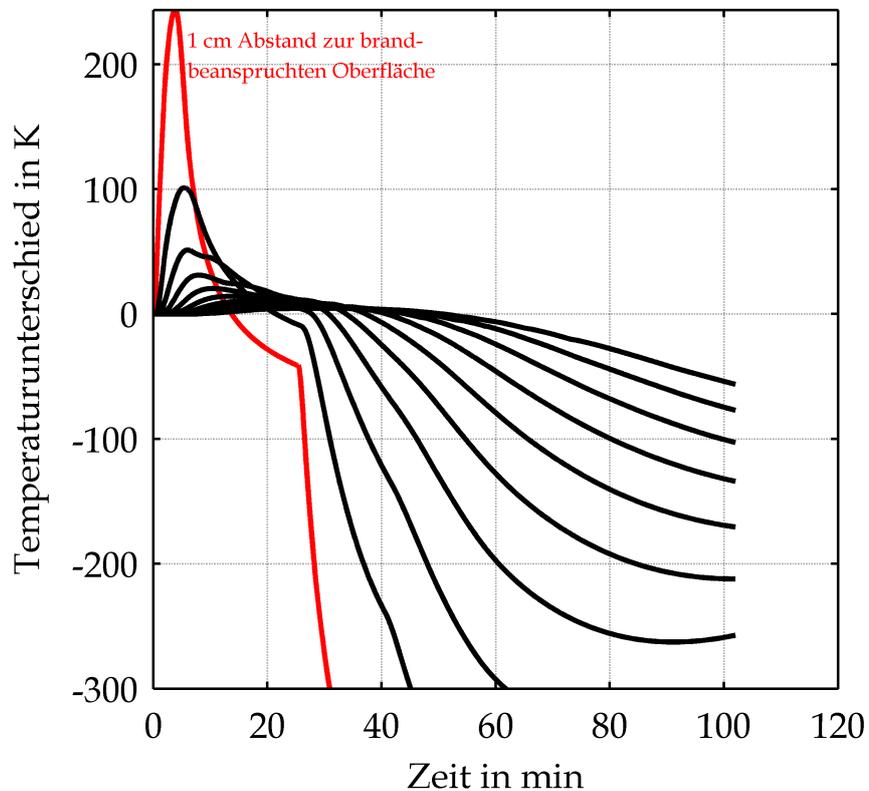
Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (schwarz) sowie Temperatur-Zeit-Verlauf nach ZTV-ING und RWS-Kurve (beide grau)

## V Durchwärmungsverhalten



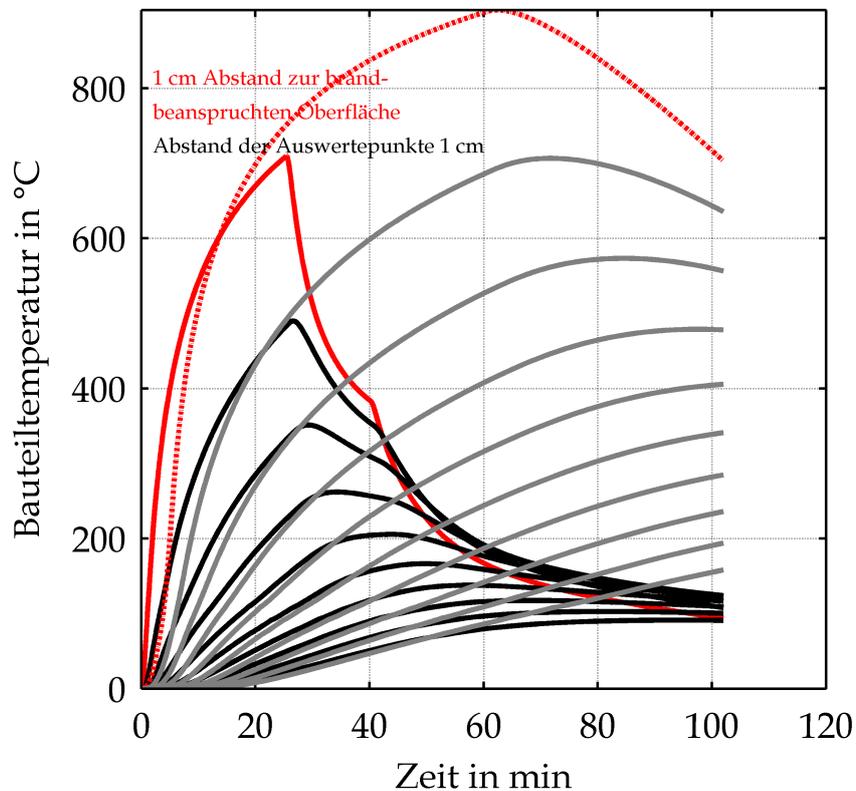
Bauteiltemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche für den bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf (rot und schwarz) und infolge ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve (rot gestrichelt, grau)

### Gewölbe Mulde GV 20.6 owF



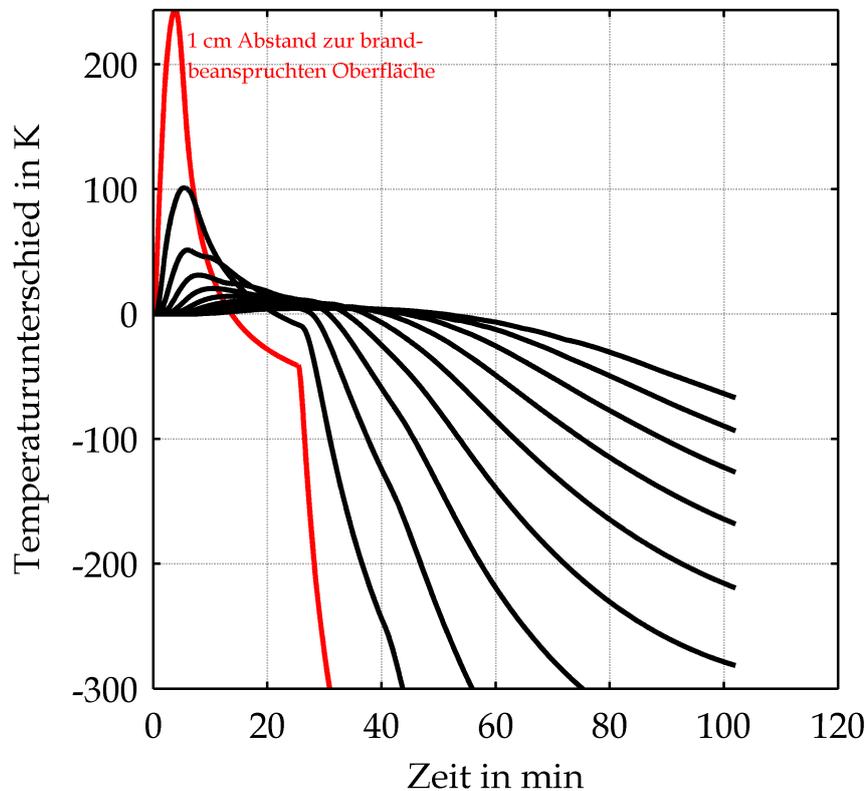
Temperaturdifferenz in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche zwischen den Bauteiltemperaturen infolge des bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf und der ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve

### Gewölbe Mulde GV 20.6 owF



Bauteiltemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche für den bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf (rot und schwarz) und infolge verlängerter ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve (rot gestrichelt, grau)

### Gewölbe Mulde GV 20.6 owF



Temperaturdifferenz in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche zwischen den Bauteiltemperaturen infolge des bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf und der verlängerten ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve