

# **BASt FE 86.0096/2014**

## **Brandüberschlag in Straßentunneln**

### **Anlage B4: Rechteck Mulde Richtungsverkehr 20,6 kg/s**

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

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

Auftrag Nr.: 6.1/14-011

Berechnete Bauteile:

Gesamtumfang: 76 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 |
|-----------------|---------------------------|

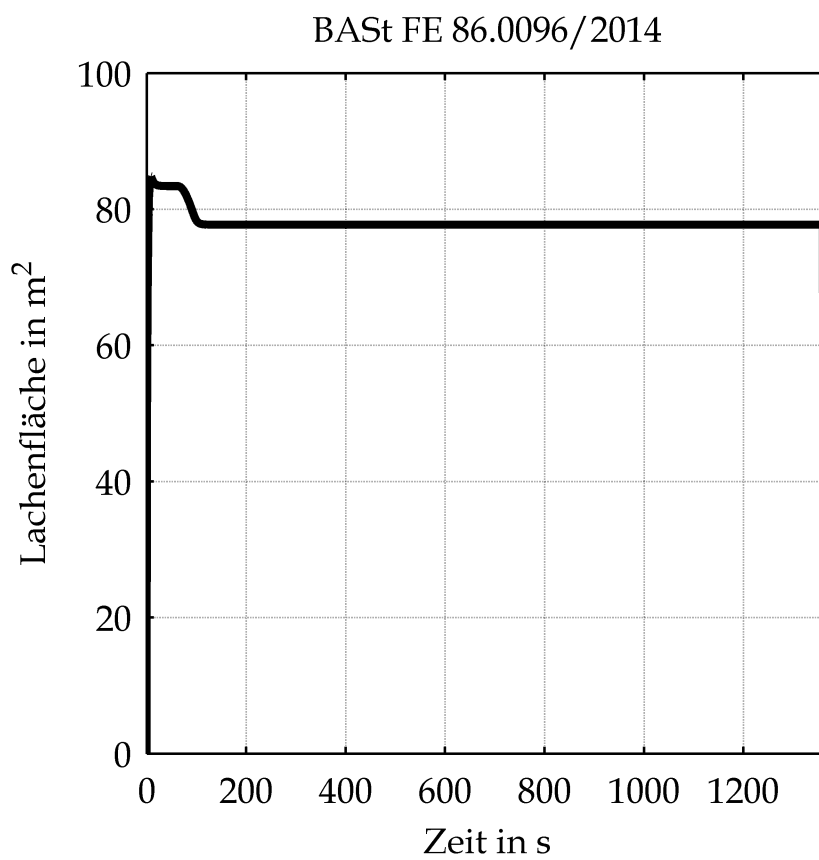
Raum für Prüfeintragungen:

## **I Gesamtinhaltsverzeichnis**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>II Ermittlung der Lachengeometrie unter Berücksichtigung der Ventilation</b> | <b>2</b>  |
| <b>III 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 Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf</b>                                    | <b>70</b> |
| <b>V Durchwärmungsverhalten</b>   | <b>71</b> |
| <b>VI Brandüberschlag auf andere Fahrzeuge</b>                                  | <b>75</b> |

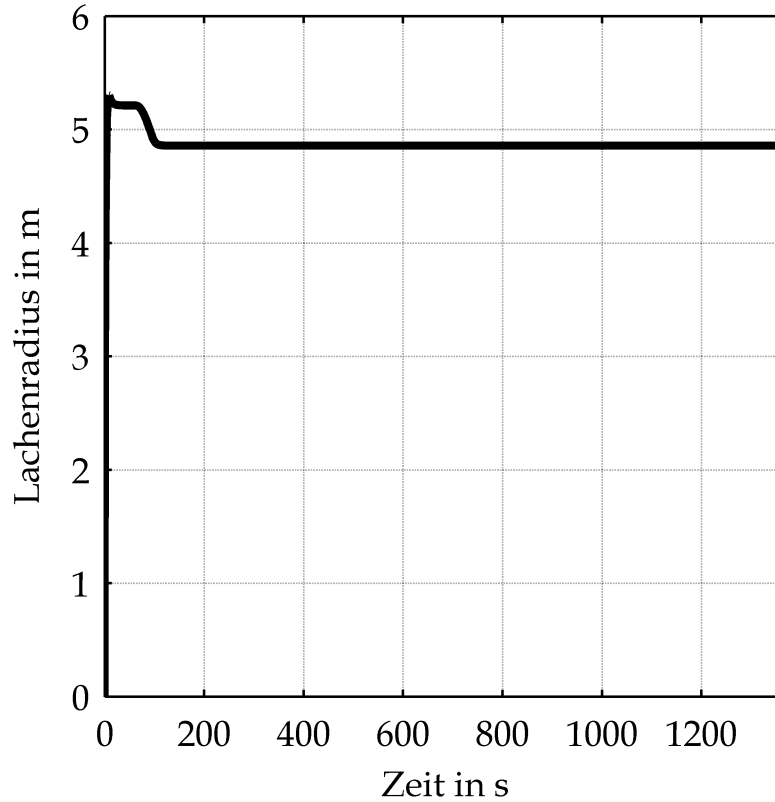


## II Ermittlung der Lachengeometrie unter Berücksichtigung der Ventilation



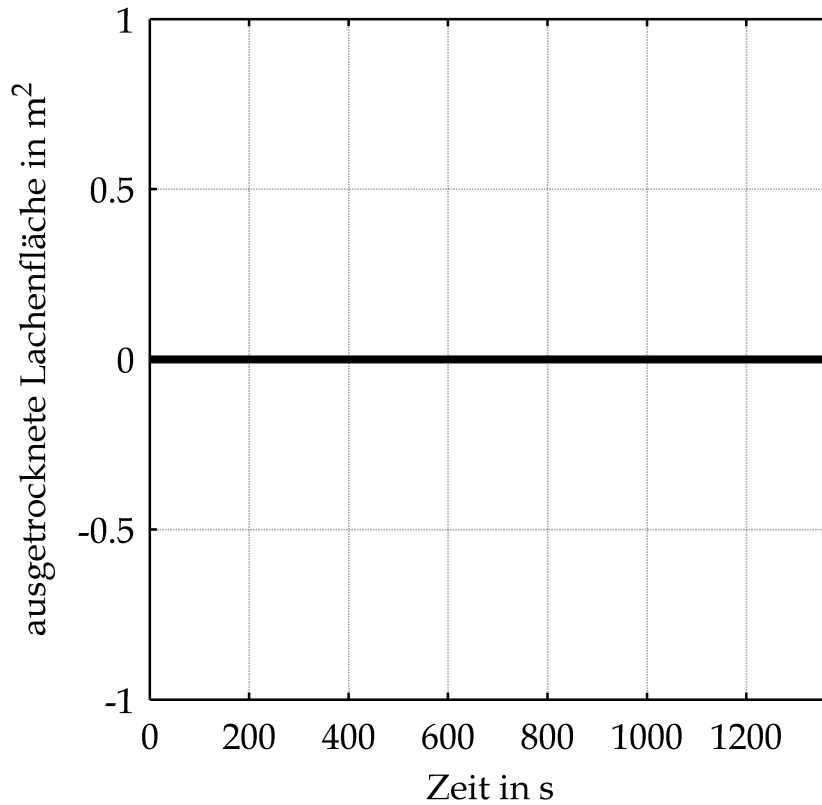
Fläche der Lache in Abhängigkeit von der Zeit

### BASt FE 86.0096/2014



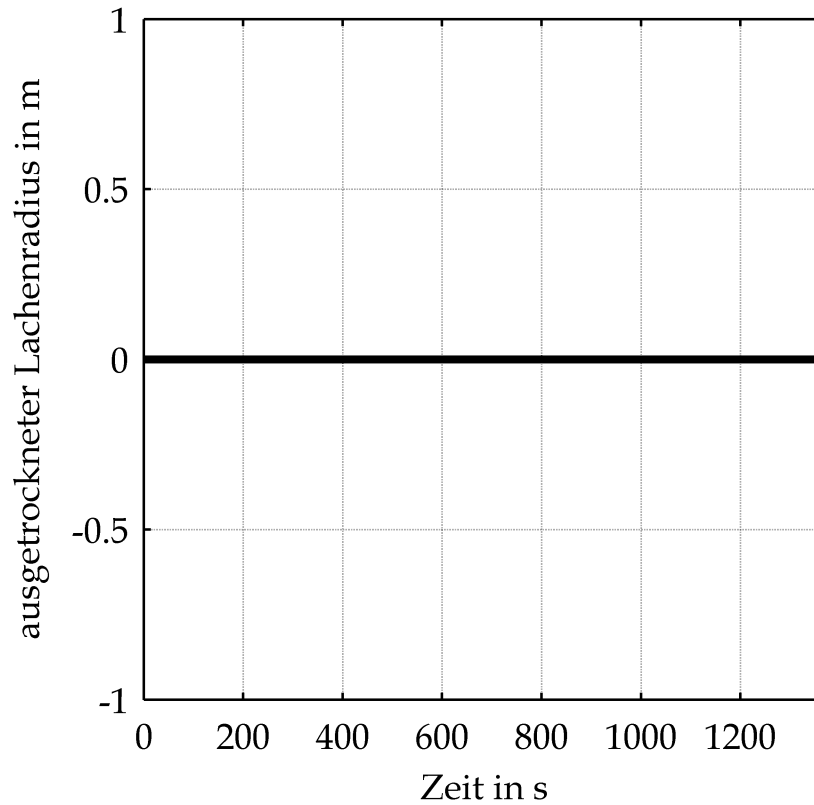
Radius der Lache in Abhängigkeit von der Zeit

BAS<sub>t</sub> FE 86.0096/2014



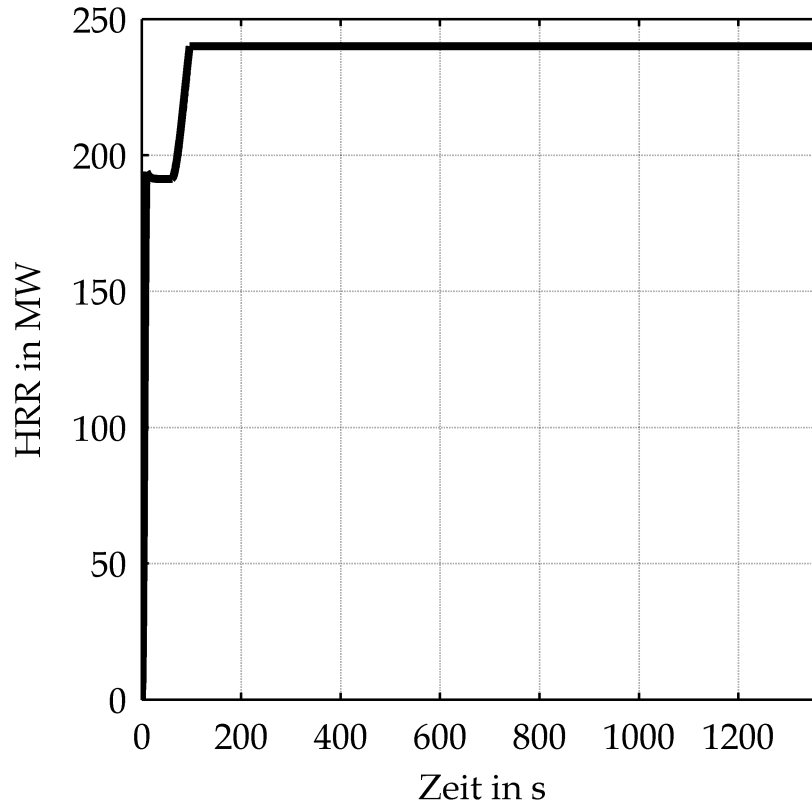
Fläche der ausgetrockneten Lache in Abhängigkeit von der Zeit

### BASSt FE 86.0096/2014



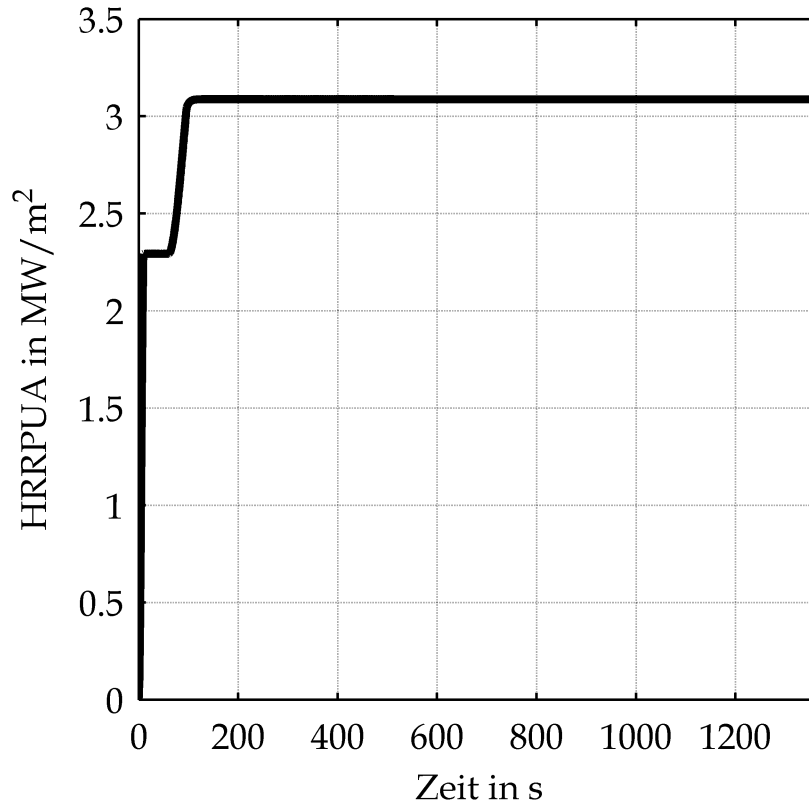
Radius der ausgetrockneten Lache in Abhängigkeit von der Zeit

BASSt FE 86.0096/2014



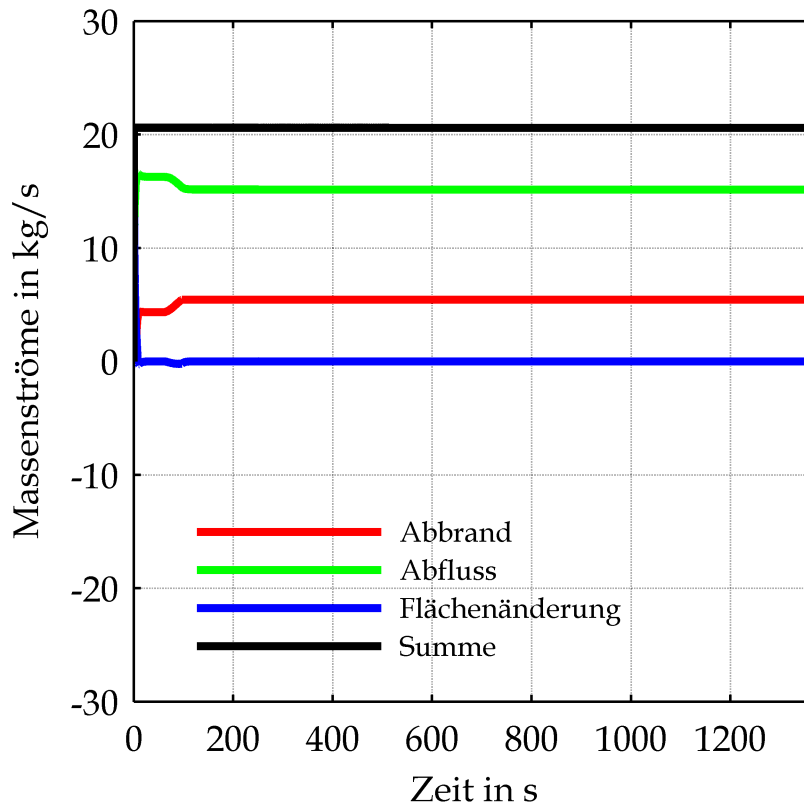
Wärmefreisetzungsrate (HRR) in Abhängigkeit von der Zeit

BASSt FE 86.0096/2014



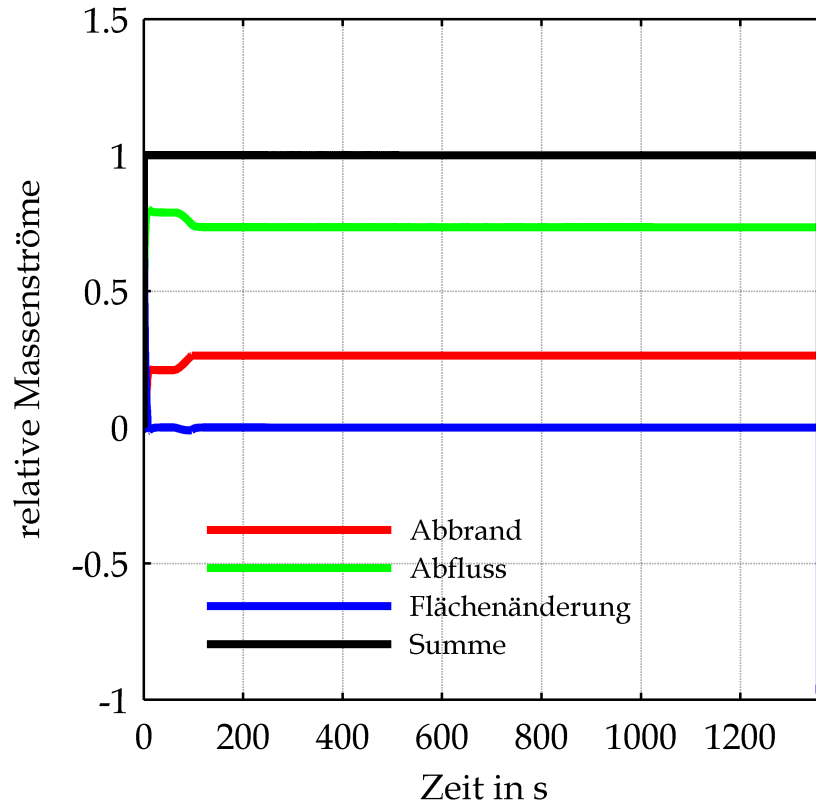
Wärmefreisetzungsrate pro Flächeneinheit (HRRPUA)  
in Abhängigkeit von der Zeit

### BASSt FE 86.0096/2014



Gesamtübersicht der Massenströme in Abhängigkeit von der Zeit

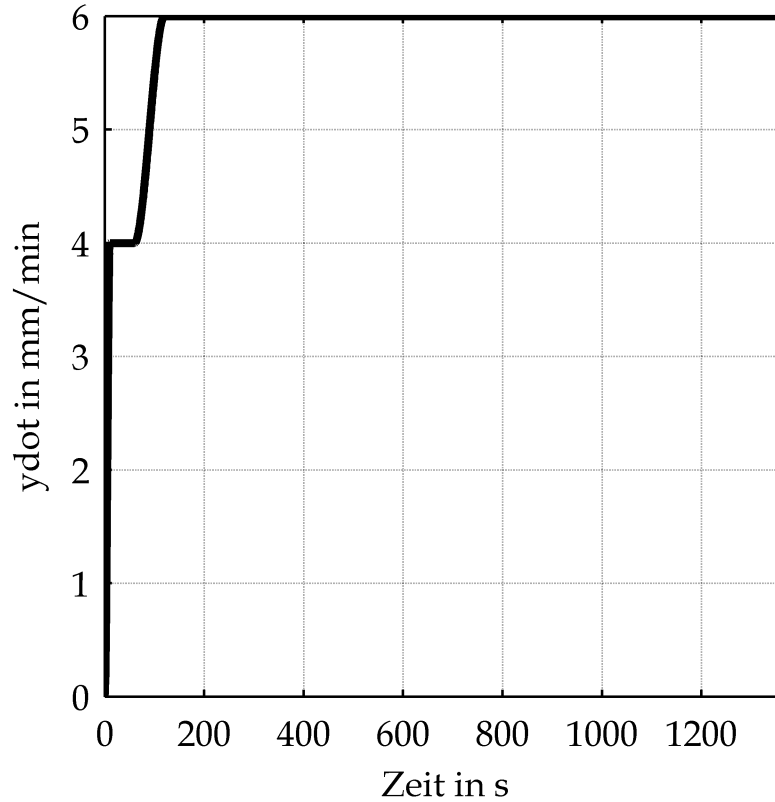
### BASt FE 86.0096/2014



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

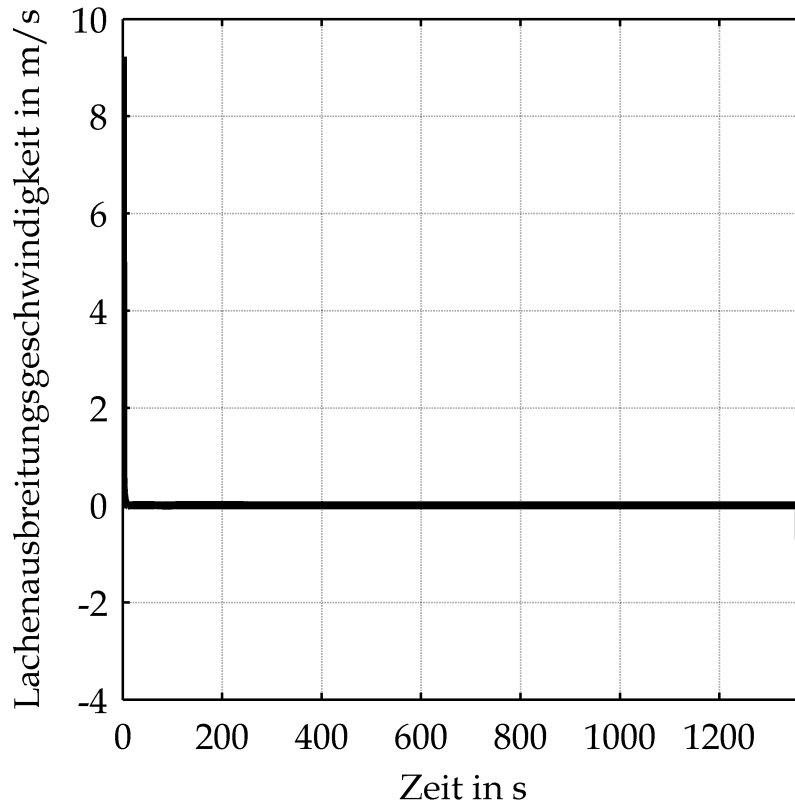


### BASSt FE 86.0096/2014

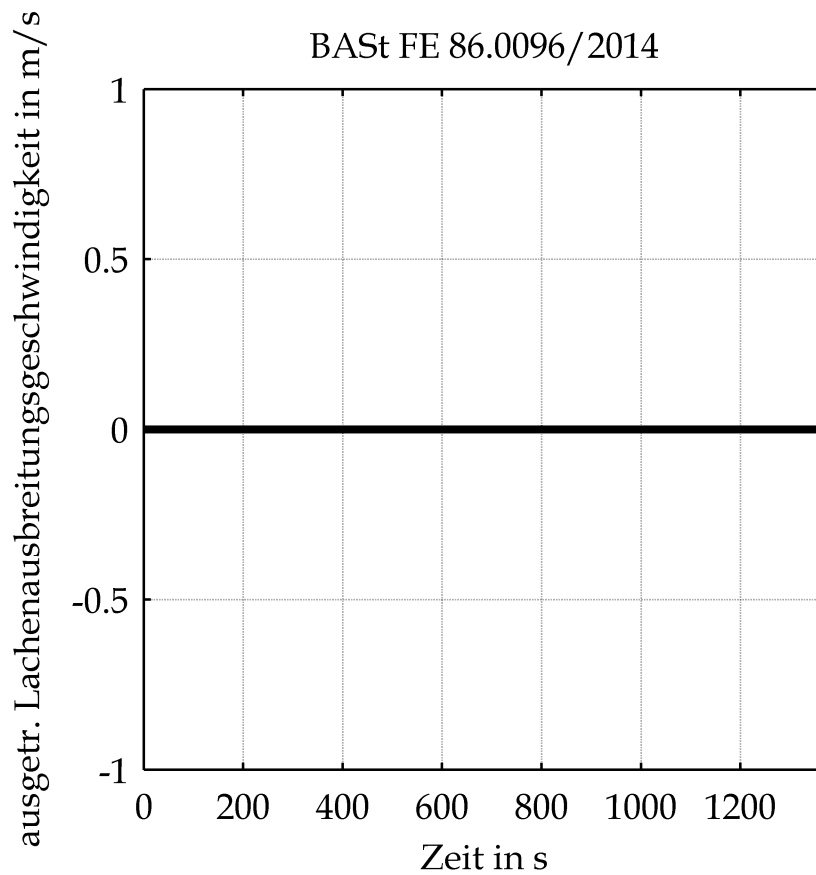


Vorgegebene Abbrandgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit

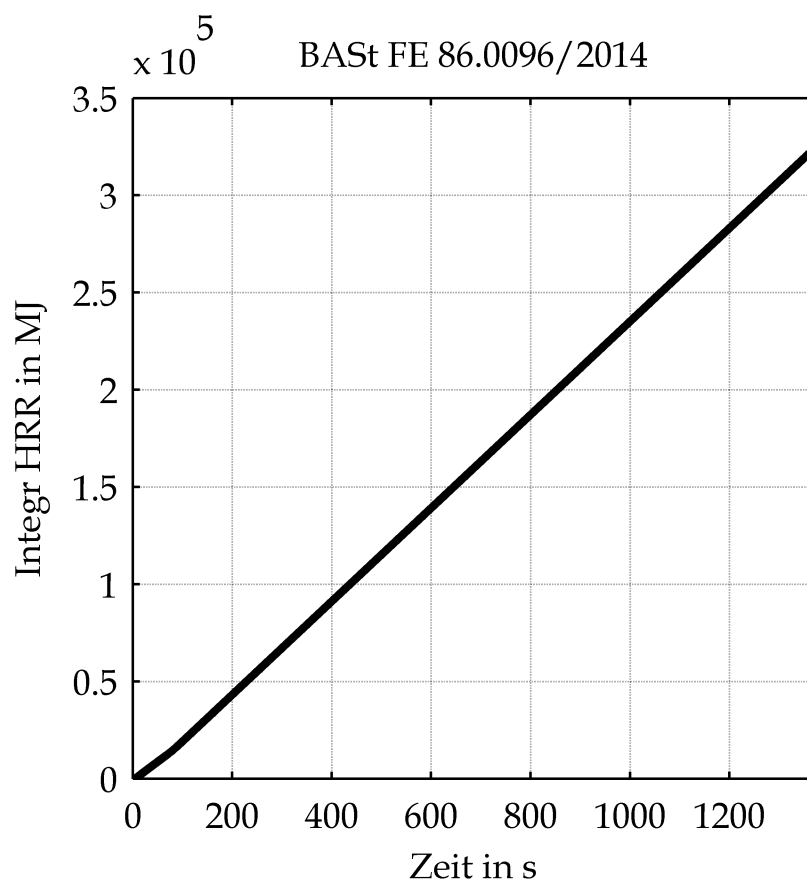
### BASSt FE 86.0096/2014



Ausbreitungsgeschwindigkeit der Lache in Abhängigkeit von der Zeit



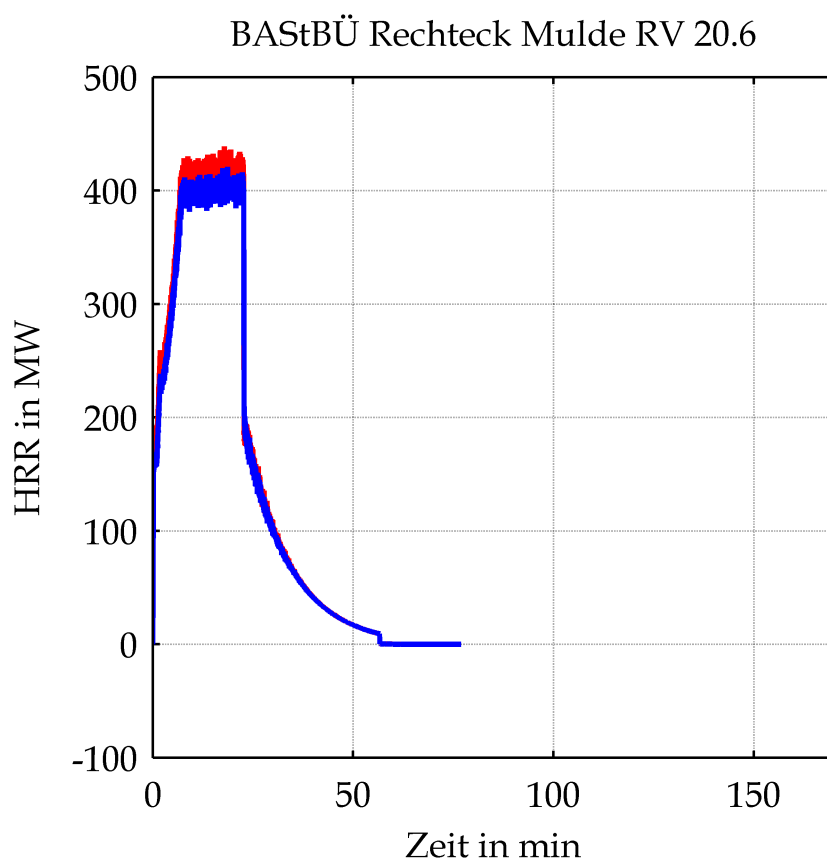
Austrocknungsgeschwindigkeit der Lache in  
Abhängigkeit von der Zeit



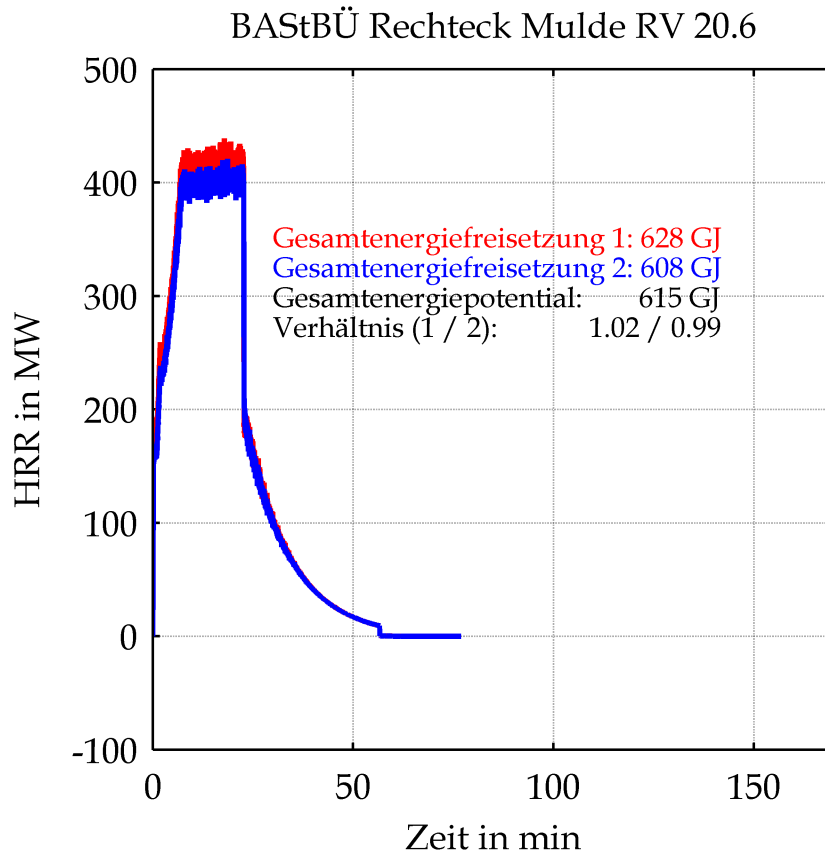
Freigesetzte Gesamtenergie in Abhängigkeit von der  
Zeit

### III Berechnungsergebnisse

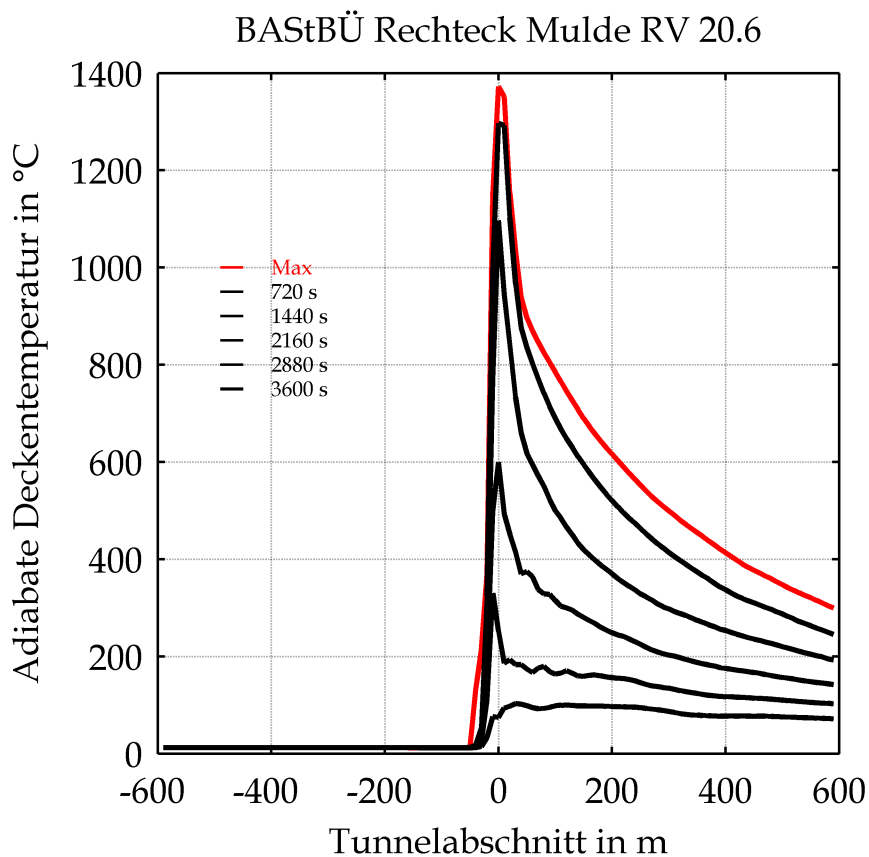
#### 1 Energien und Bauteiltemperaturen



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

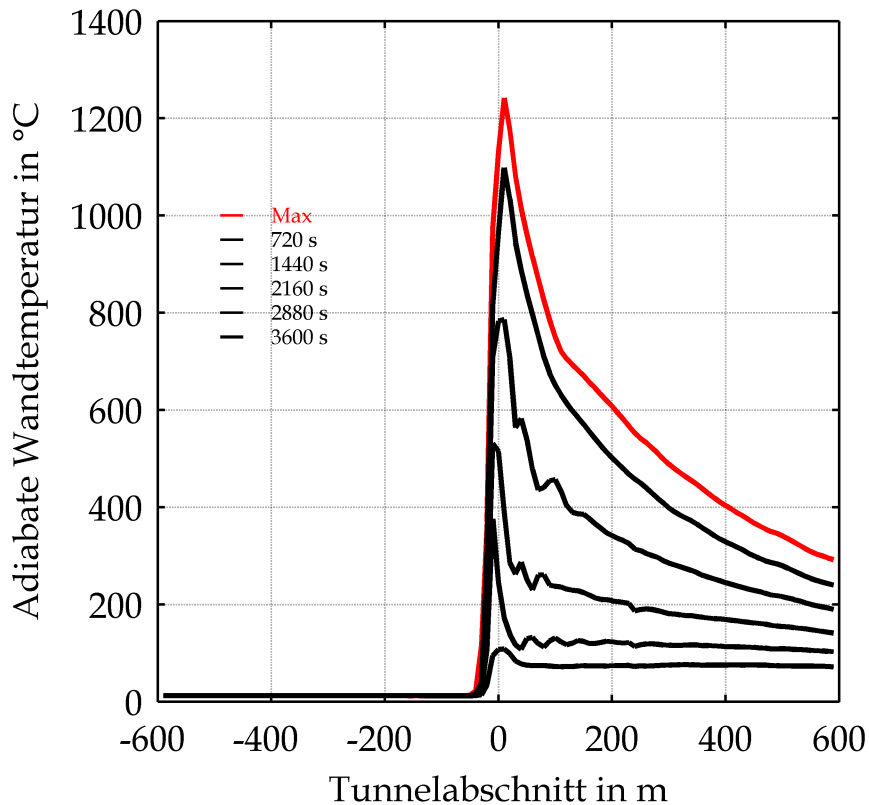


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Wärmefreisetzungsrate in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Integral der Energiedichte; blau: Energieverluste an den Modellgrenzen) sowie Vergleich der Gesamtenergiefreisetzung mit dem Gesamtenergiepotential



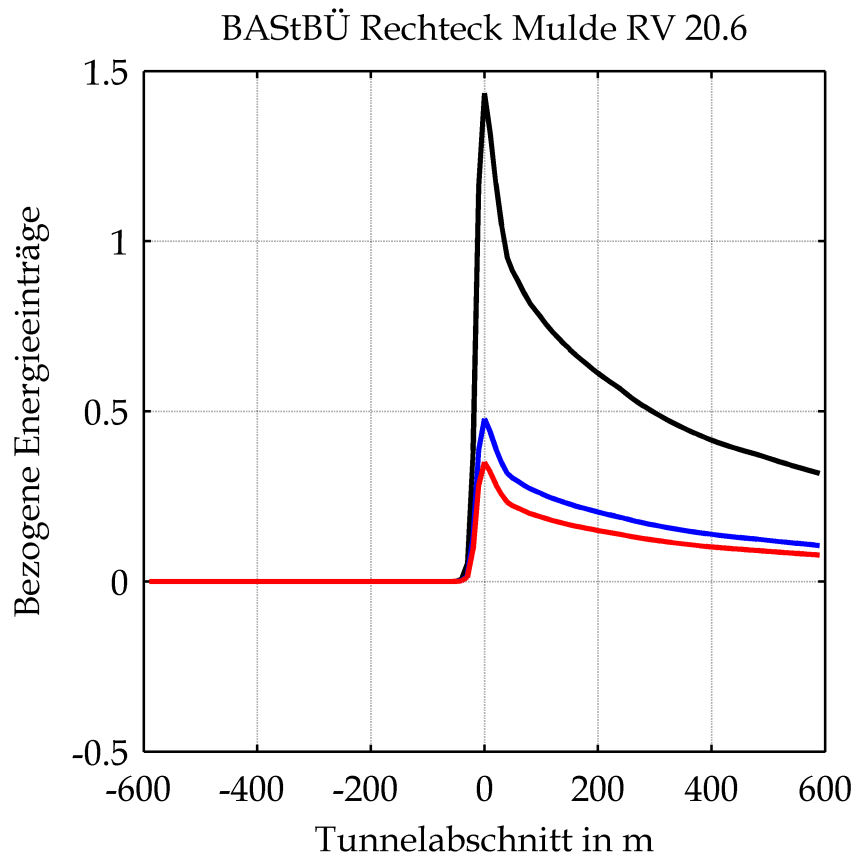
Mittels CFD-Berechnung ermittelte adiabate Deckentemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Maximalwerte, schwarz: Temperaturen in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer)

### BAStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6



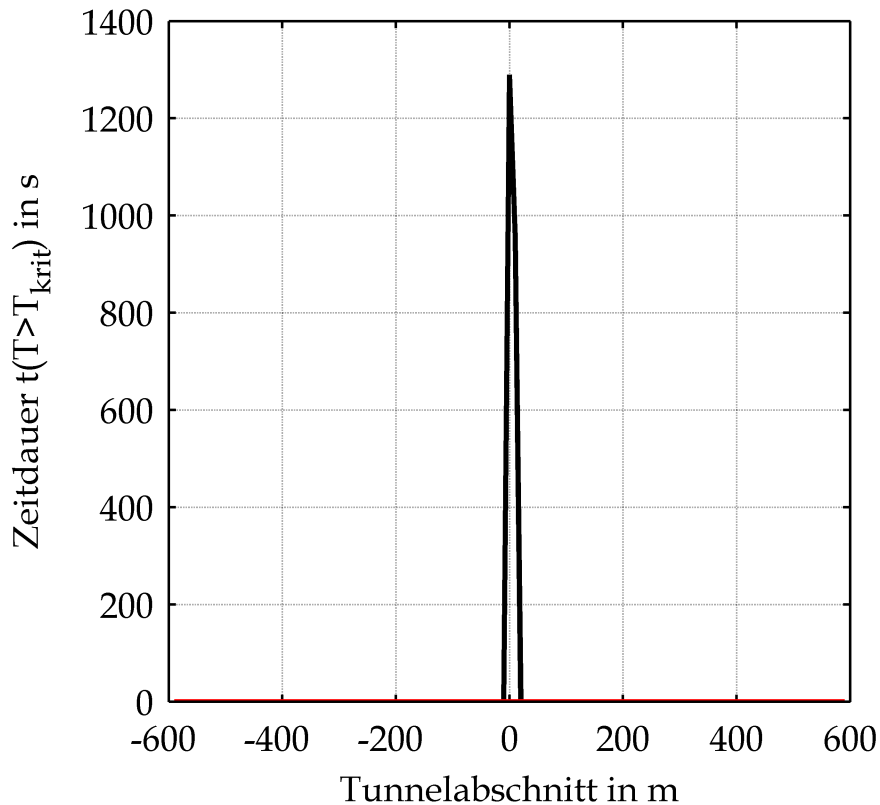
Mittels CFD-Berechnung ermittelte adiabate Wandtemperaturen in 3 m Höhe in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Maximalwerte, schwarz: Temperaturen in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer)



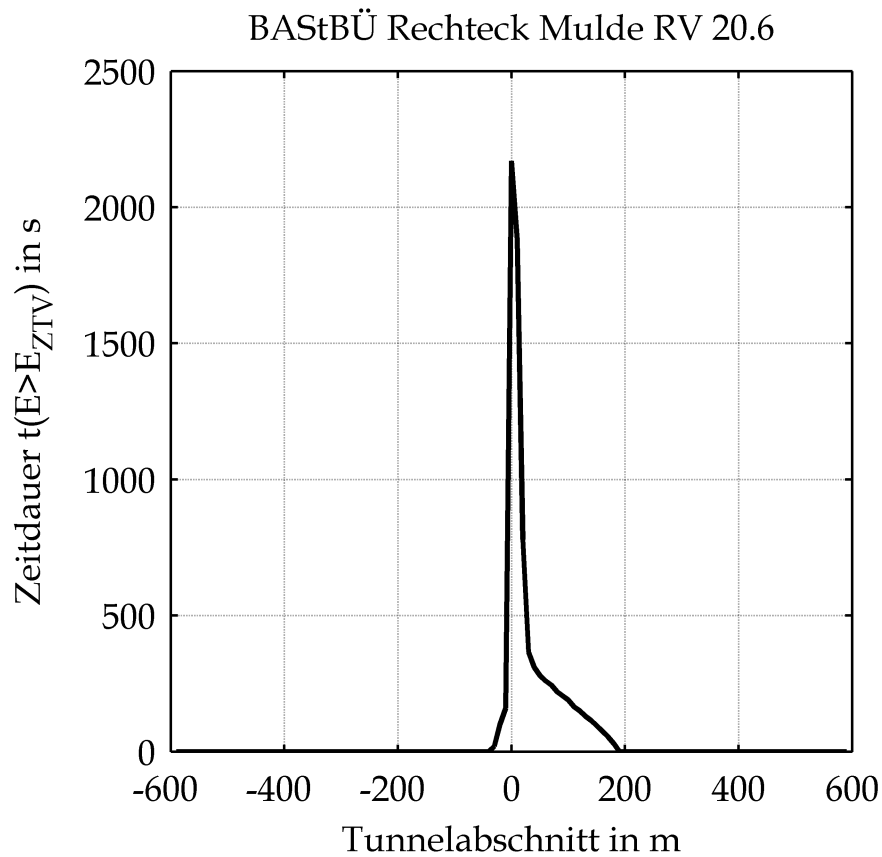


Mittels CFD-Berechnung ermittelte, auf den Energieeintrag der ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve bezogene Energieeinträge in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (blau: Basiswert ZTV-ING 150 min, schwarz: Basiswert ZTV-ING 30 min)

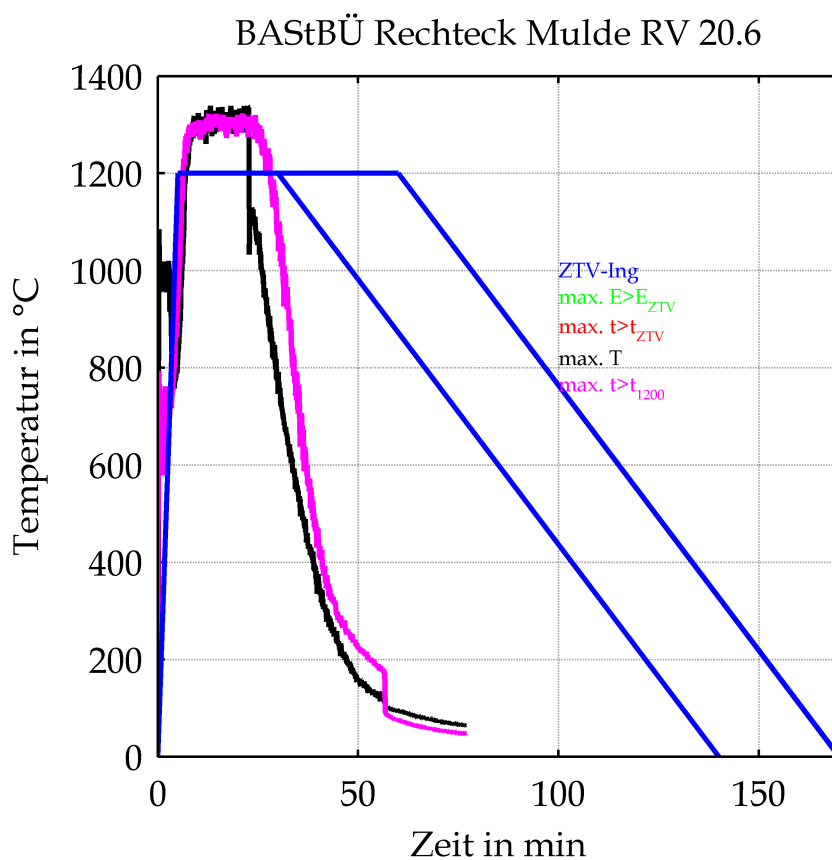
### BAStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6



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

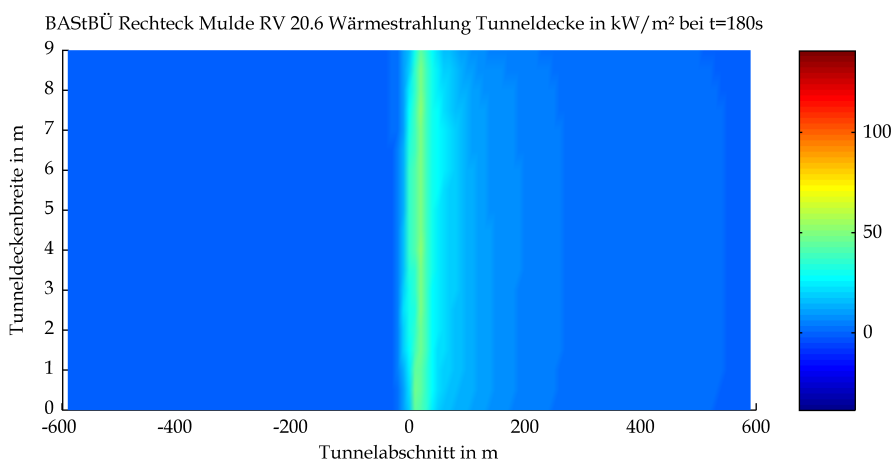
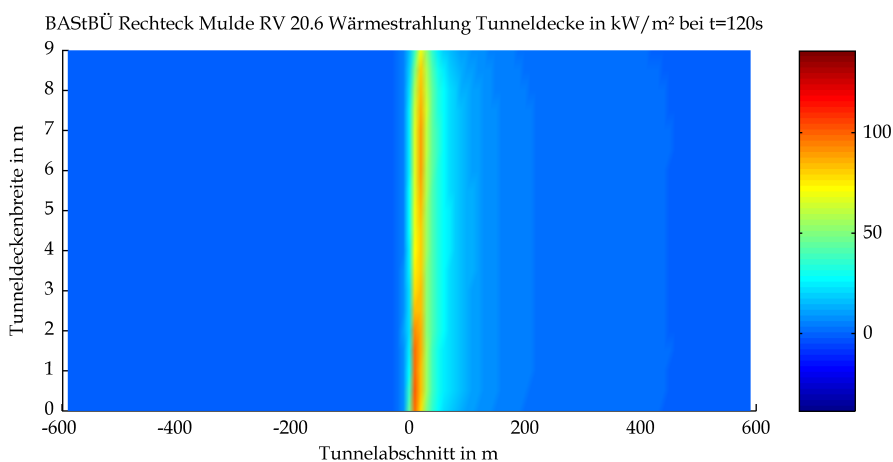
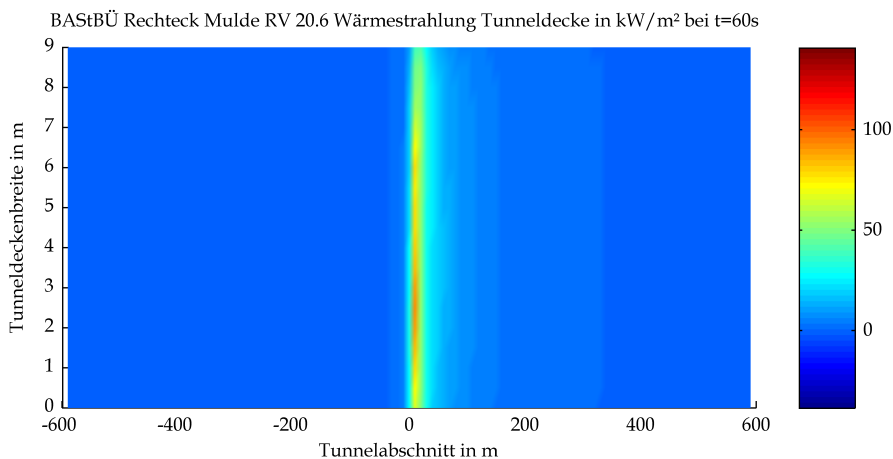


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Zeitdauer mit im Vergleich zur ZTV-ING-Kurve höheren Energieeinträgen in die Tunneldecke in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung

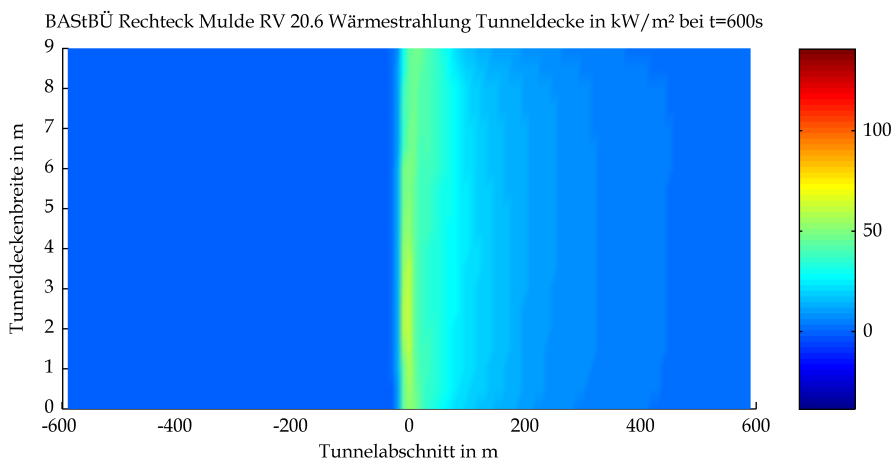
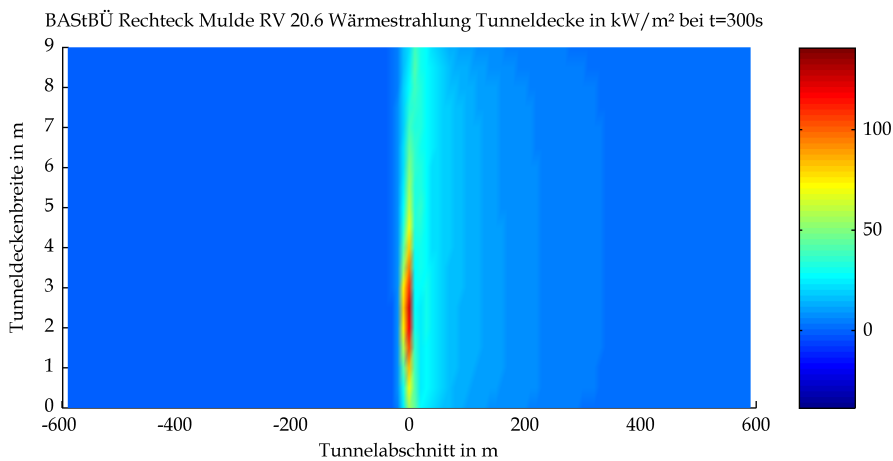
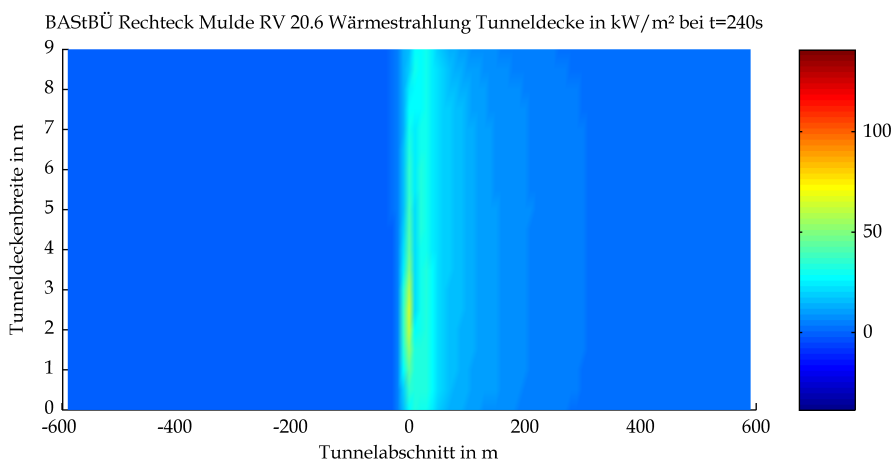


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Temperatur-Zeit-Verläufe für die Maximalwerte der zuvor dargestellten Kriterien unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (blau: ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Verlauf)

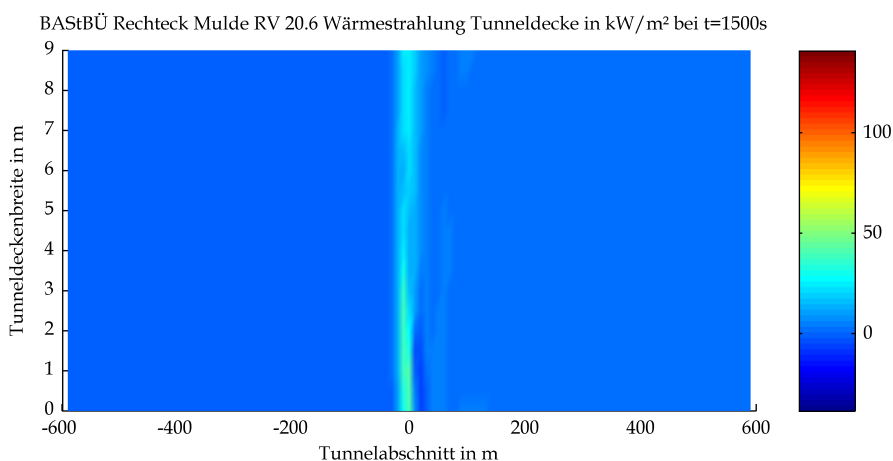
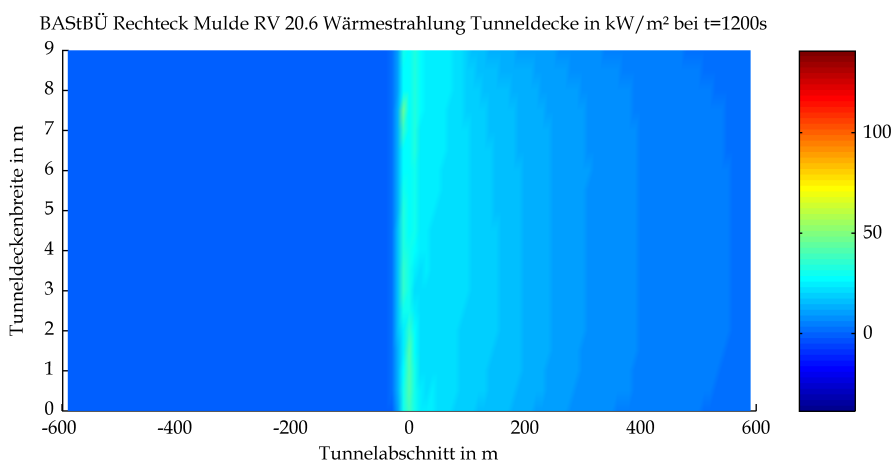
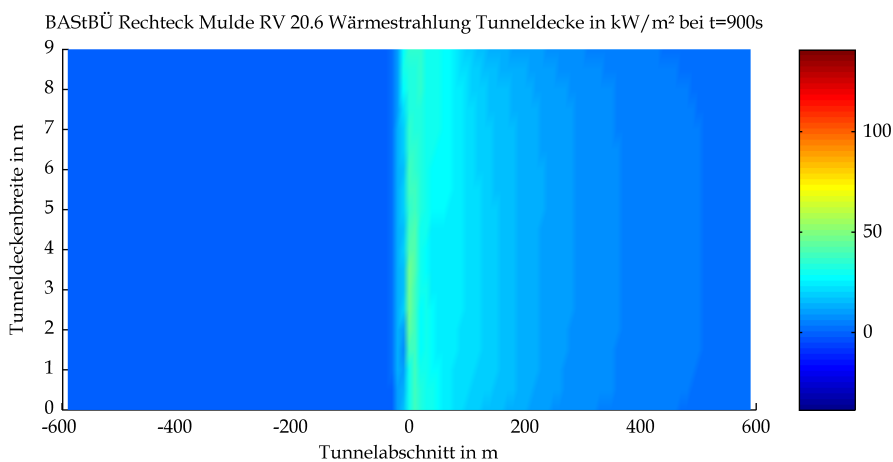
## 2 Wärmestrahlung an der Tunneldecke



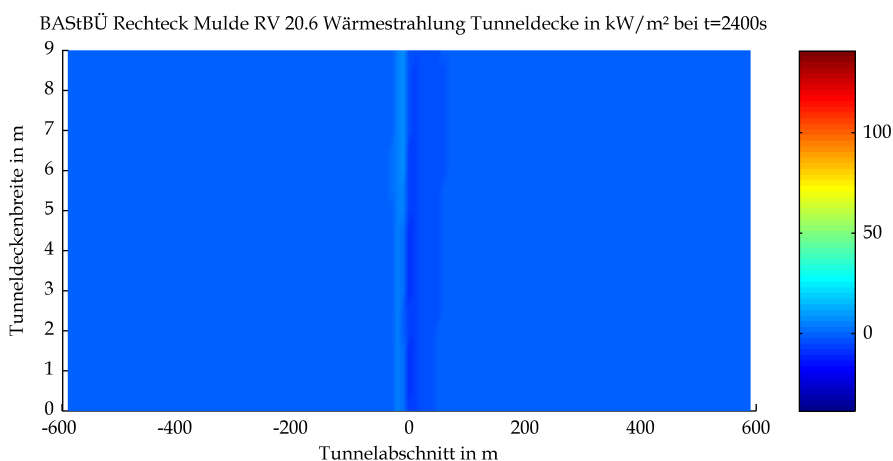
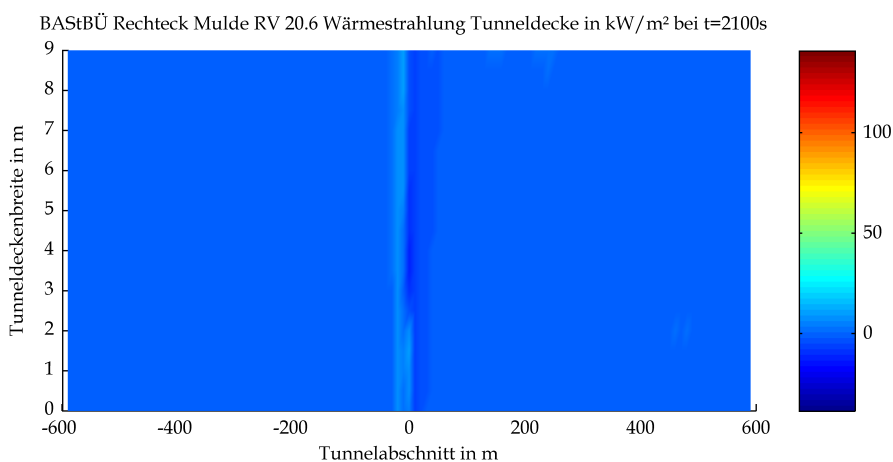
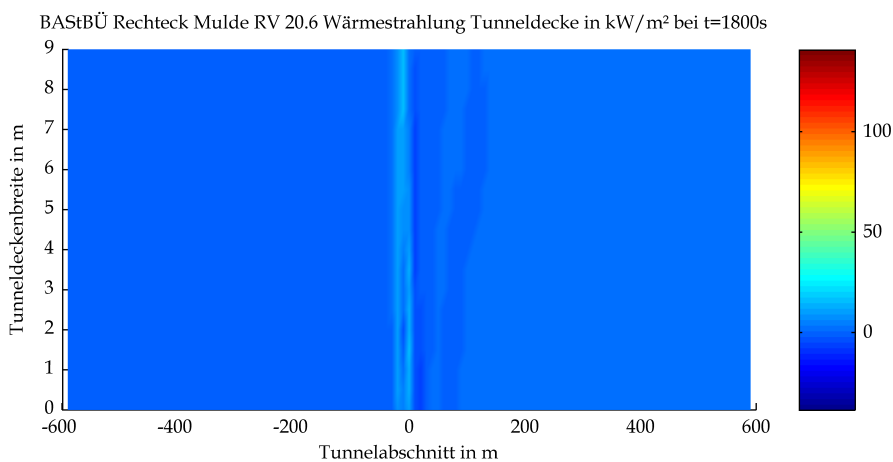
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

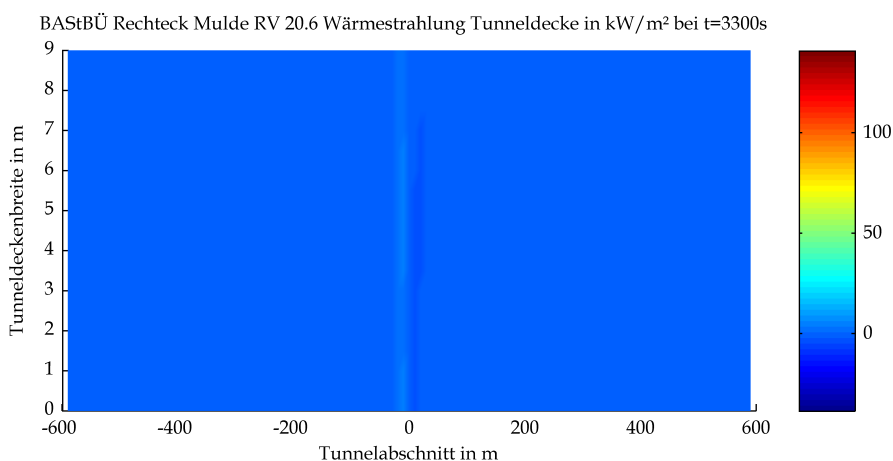
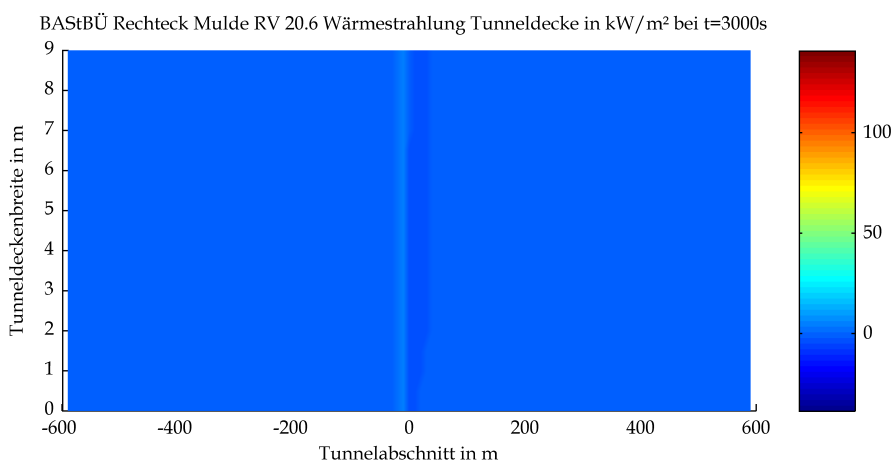
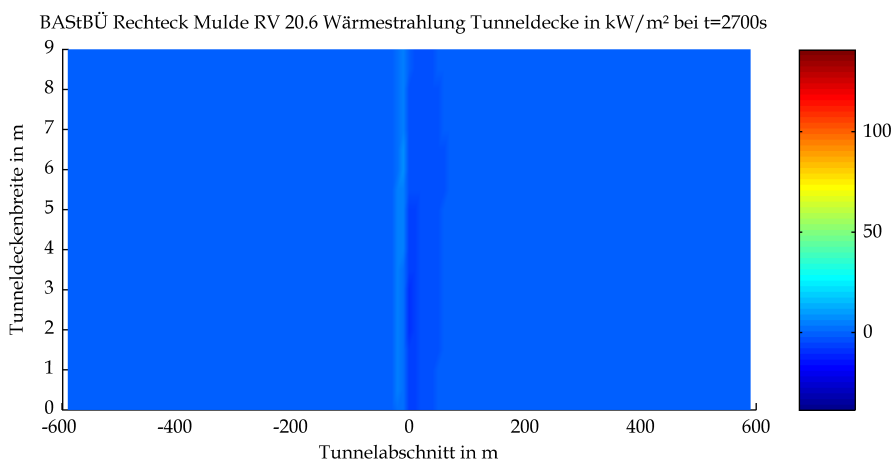


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

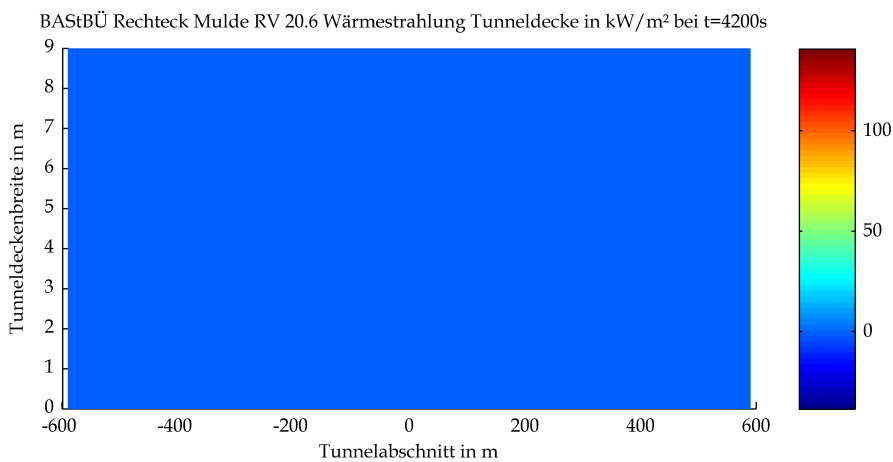
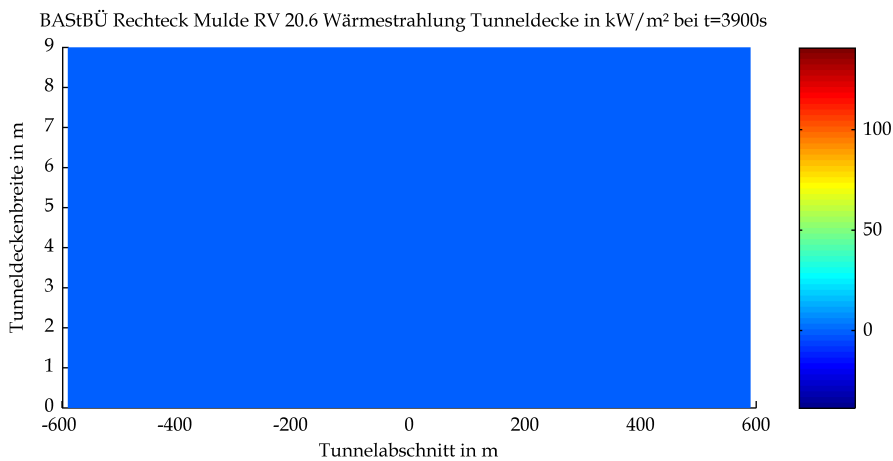
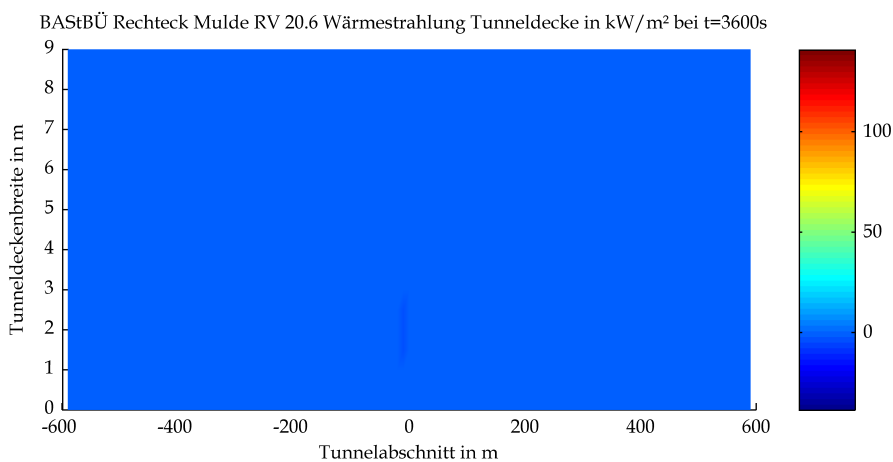


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



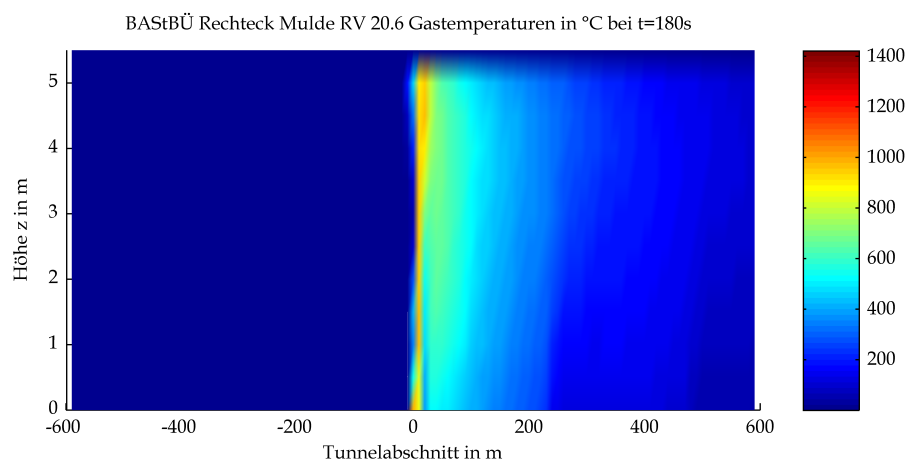
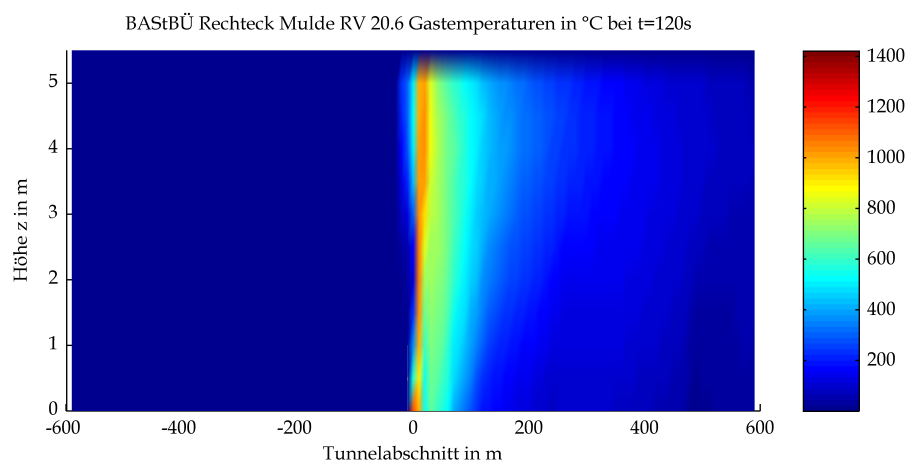
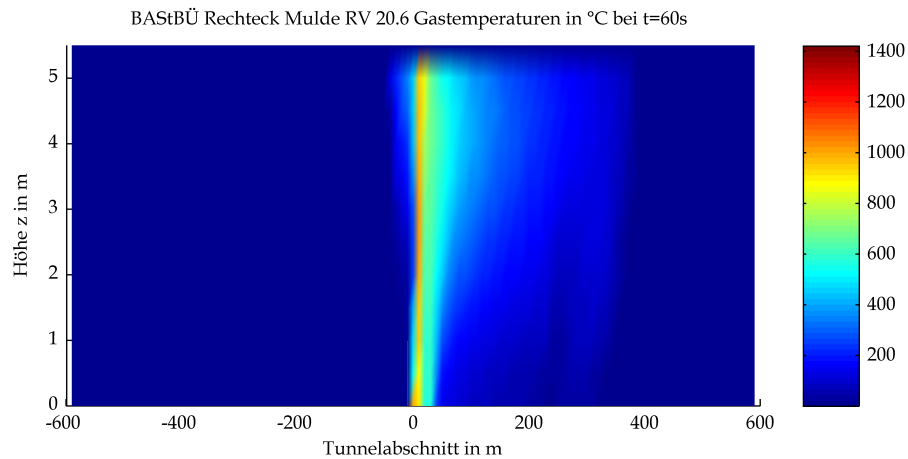


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

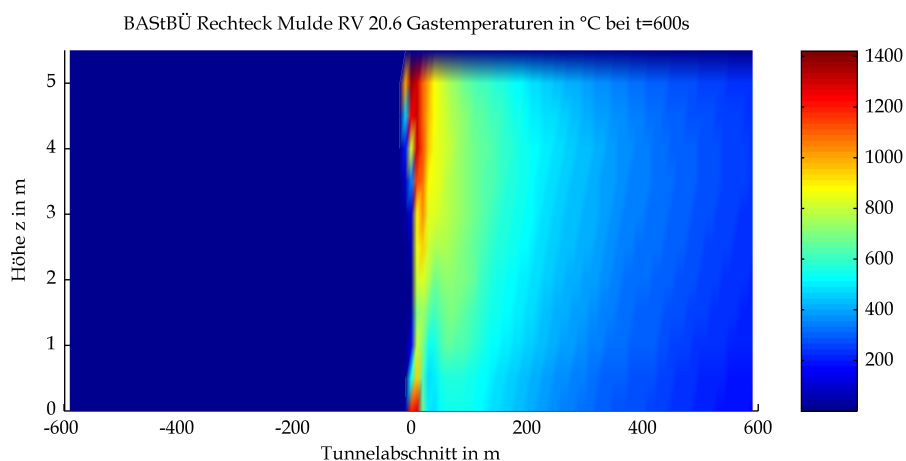
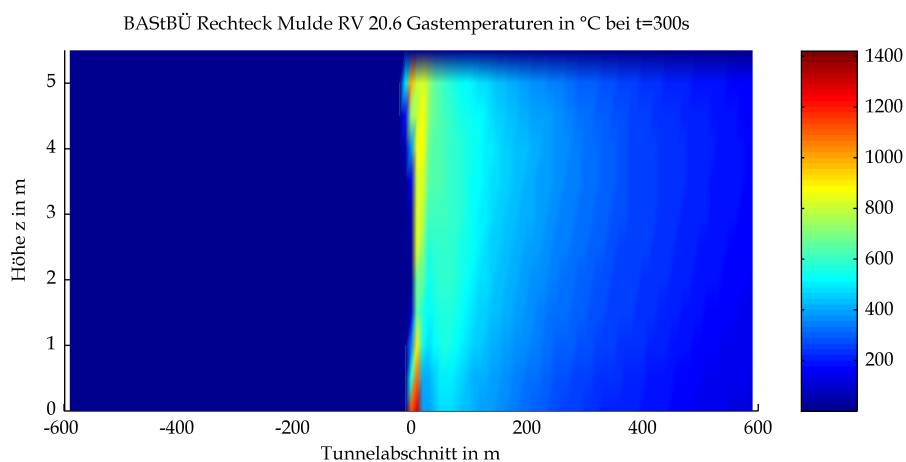
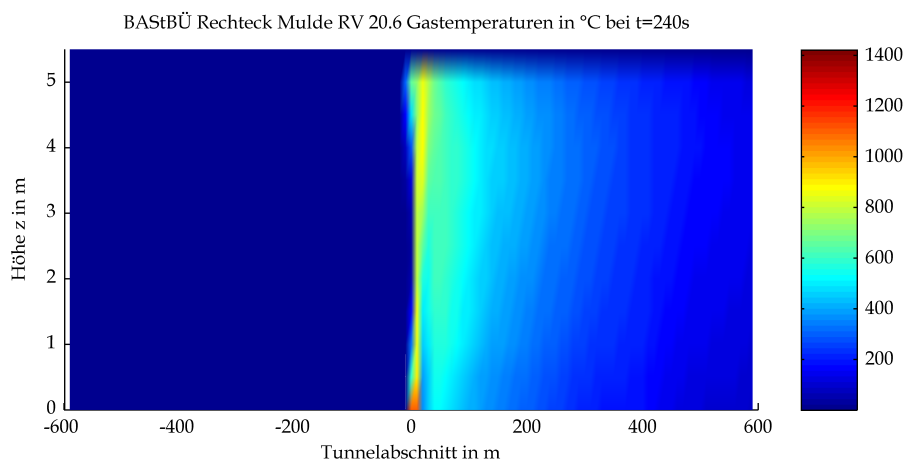


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

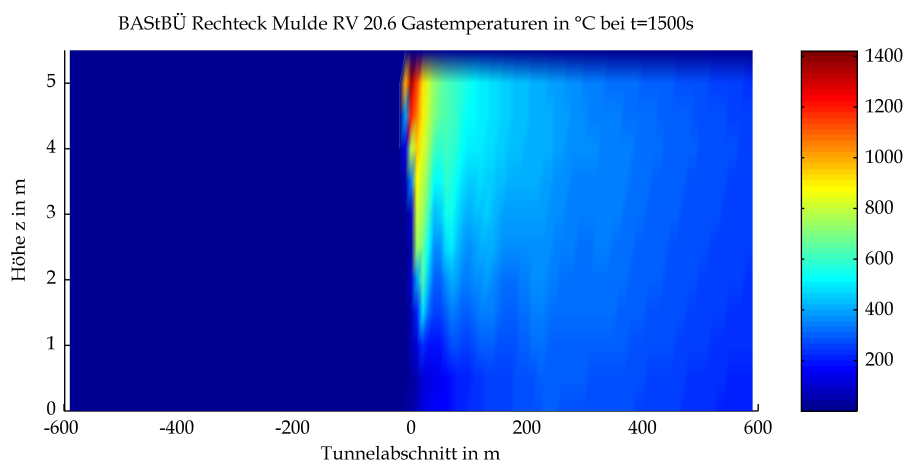
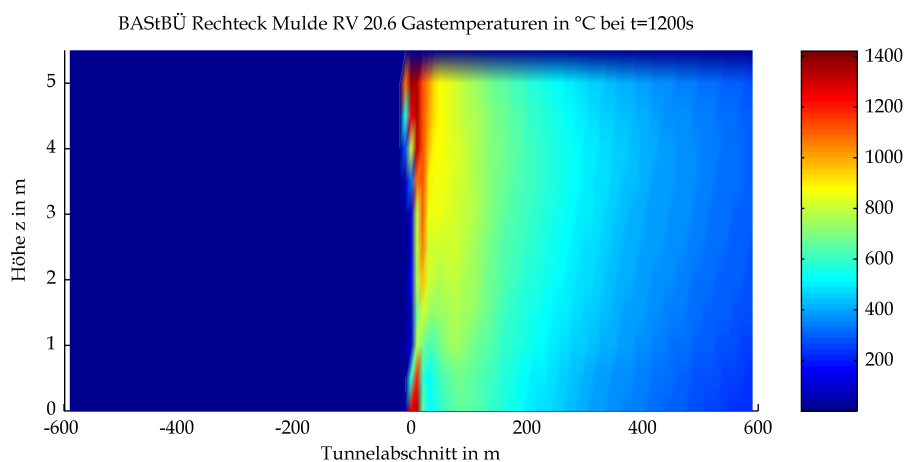
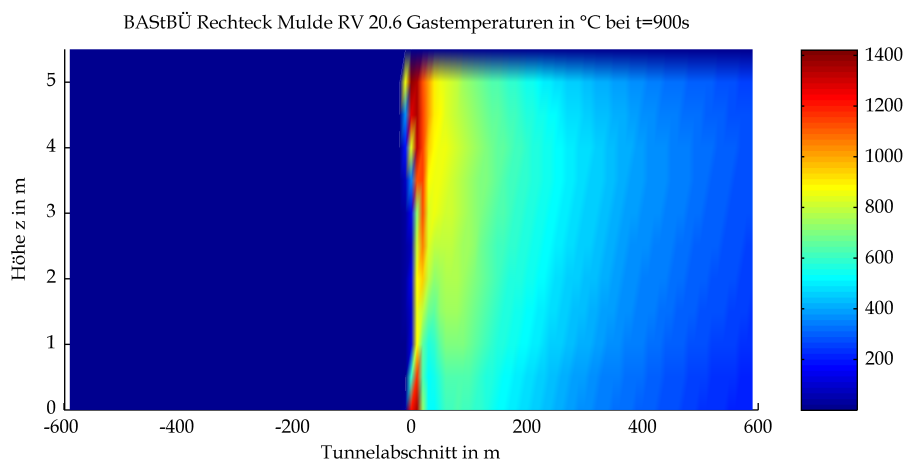
### 3 Gastemperaturen



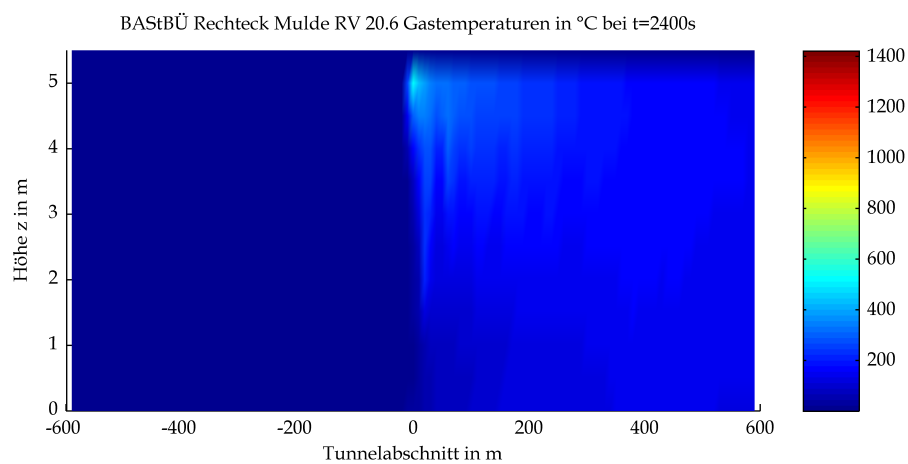
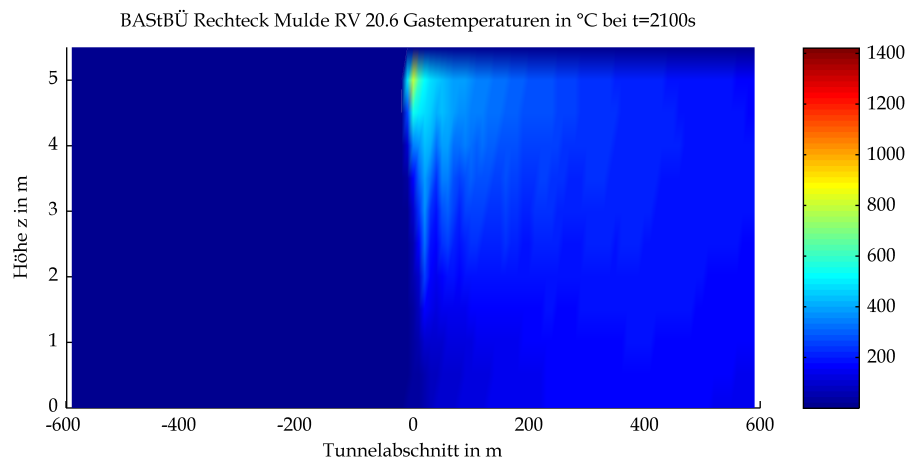
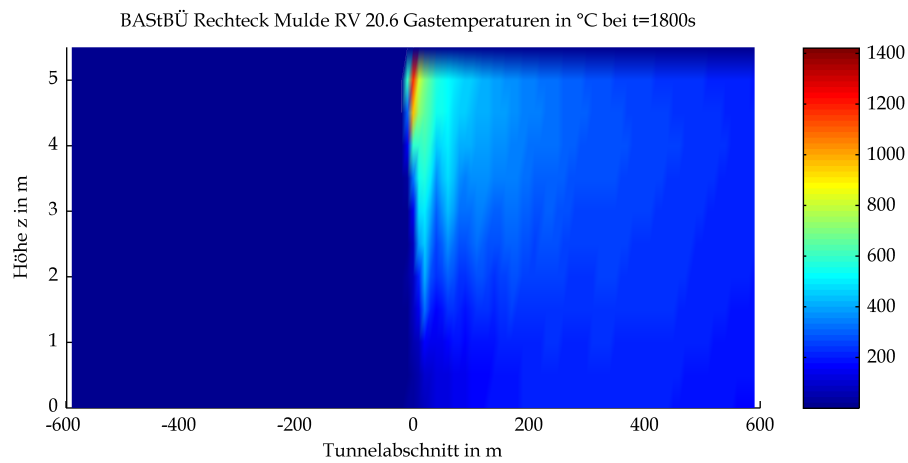
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



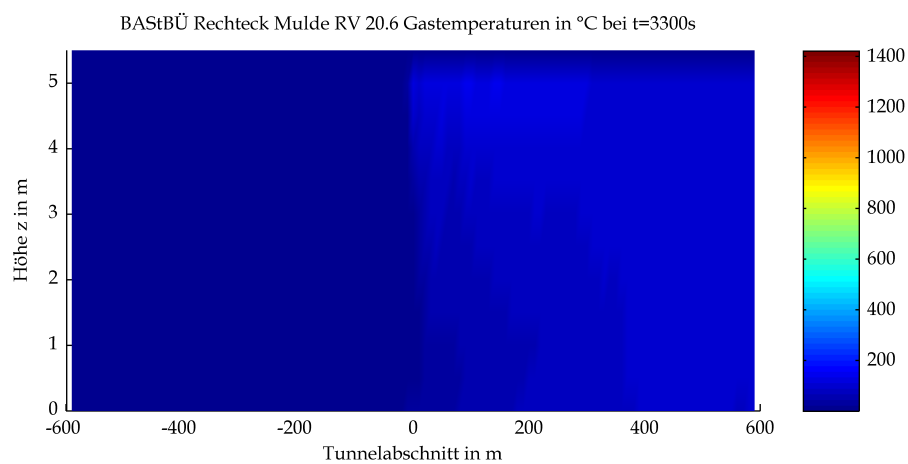
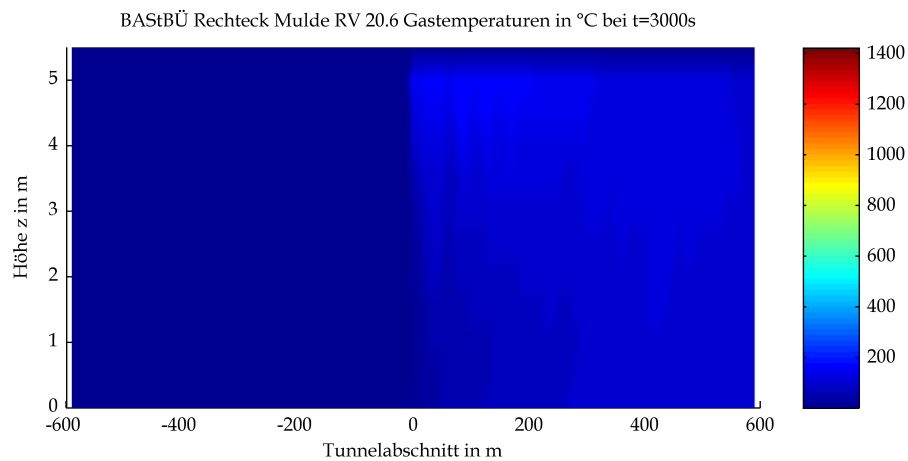
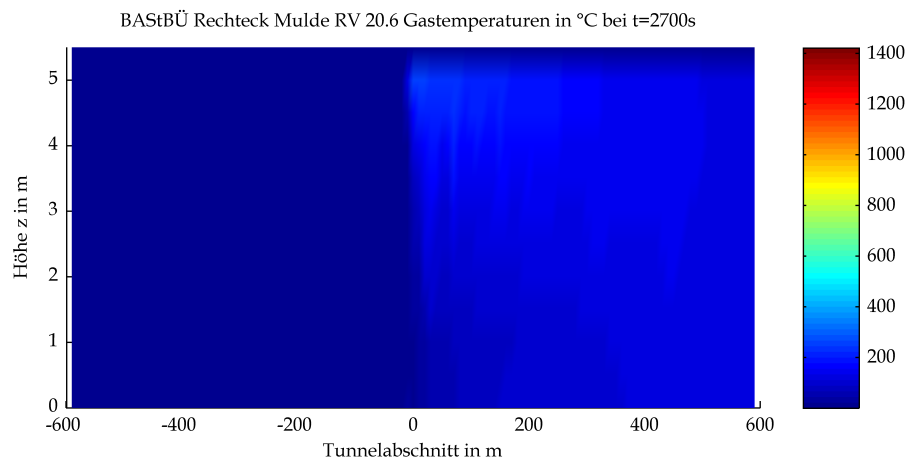
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



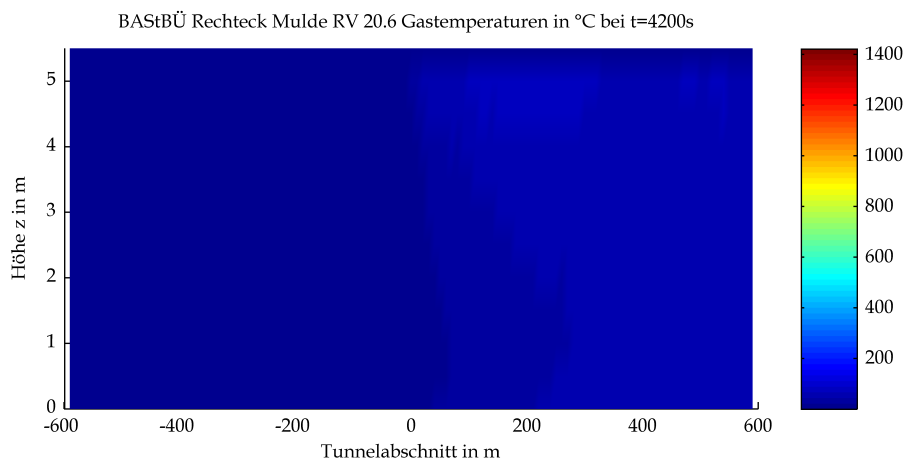
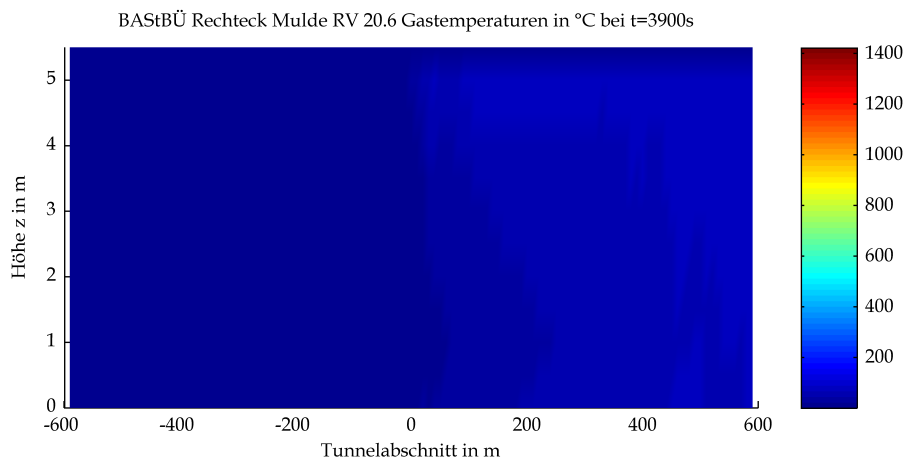
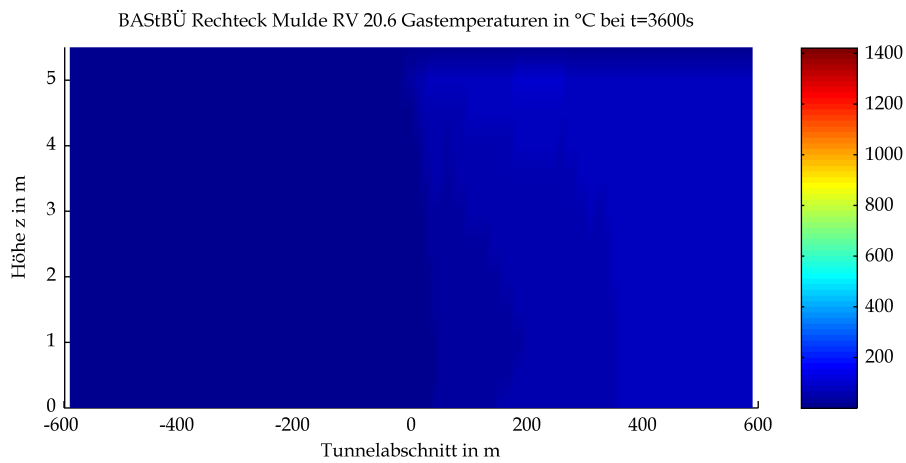
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



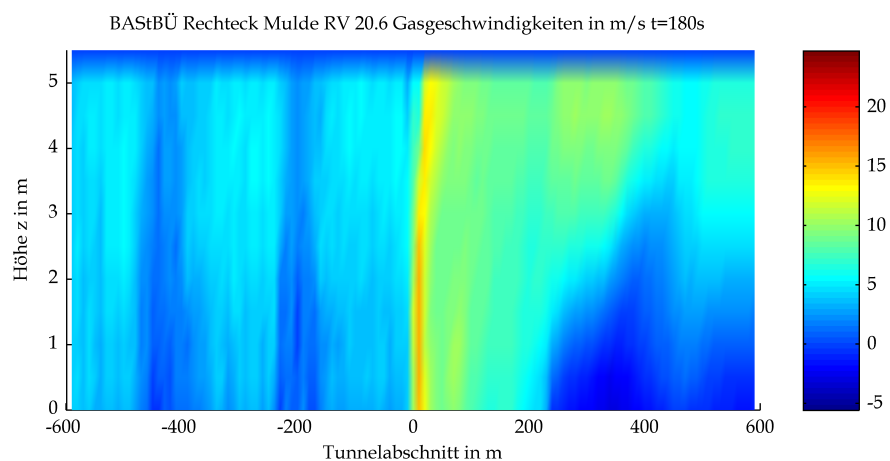
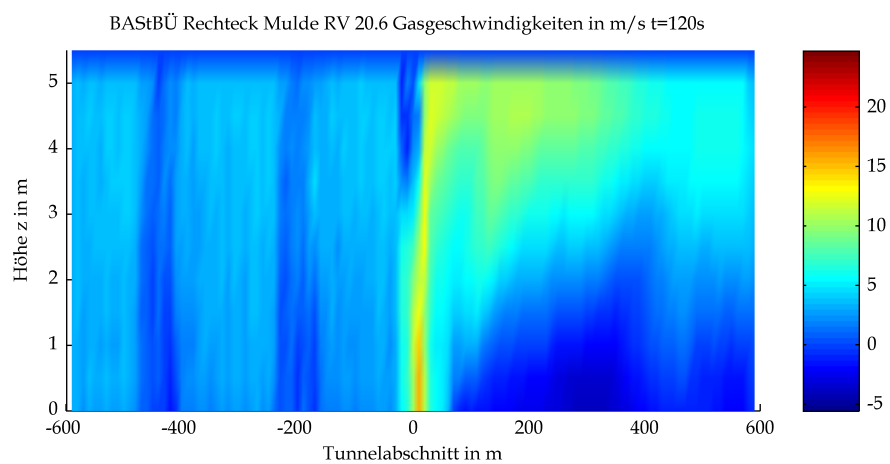
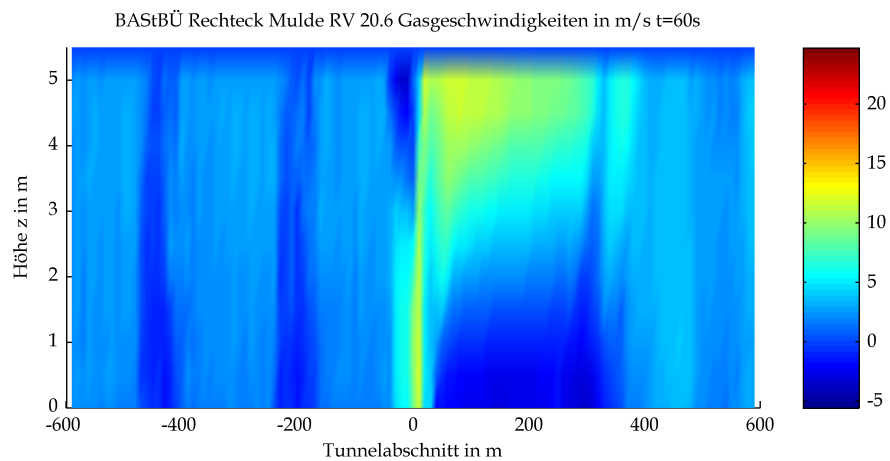
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



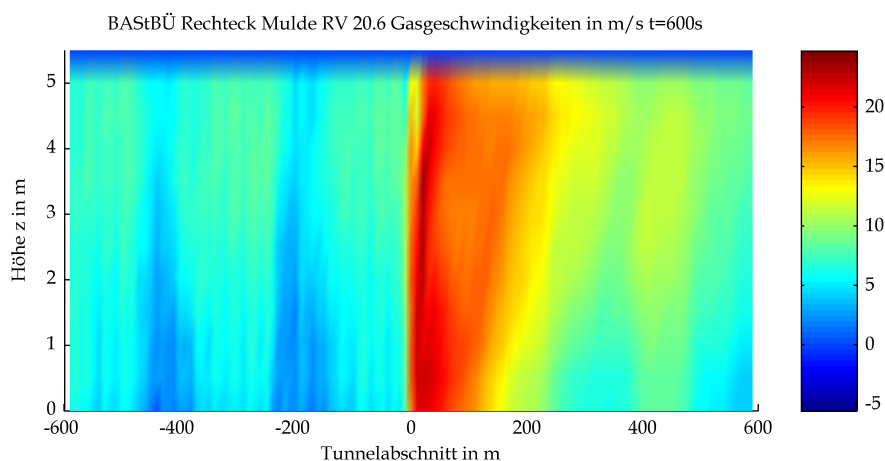
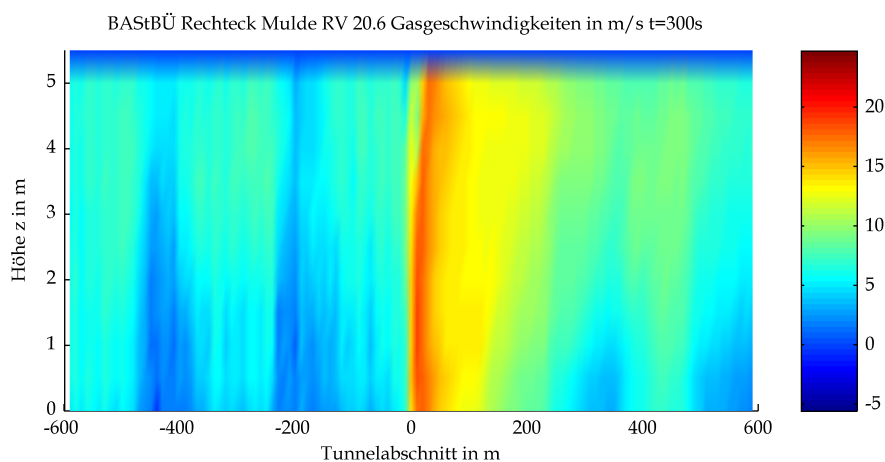
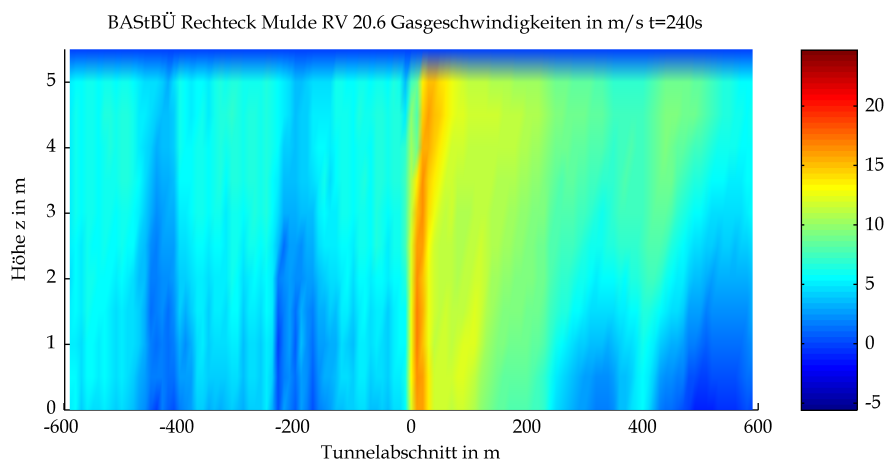
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



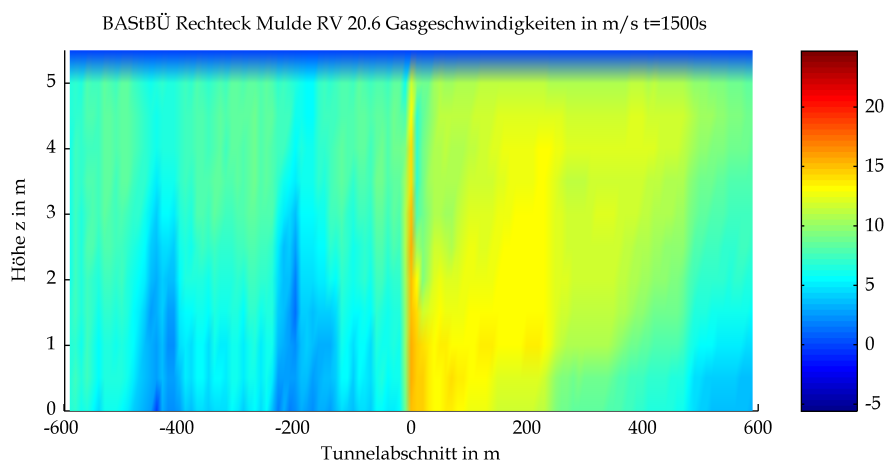
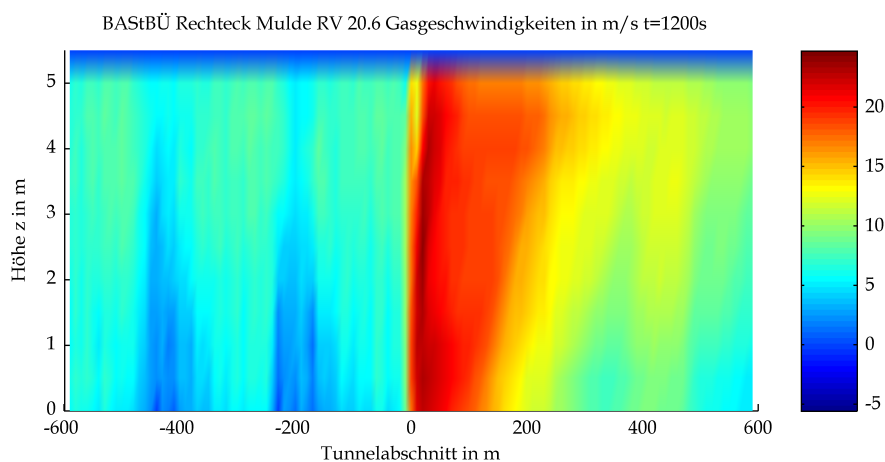
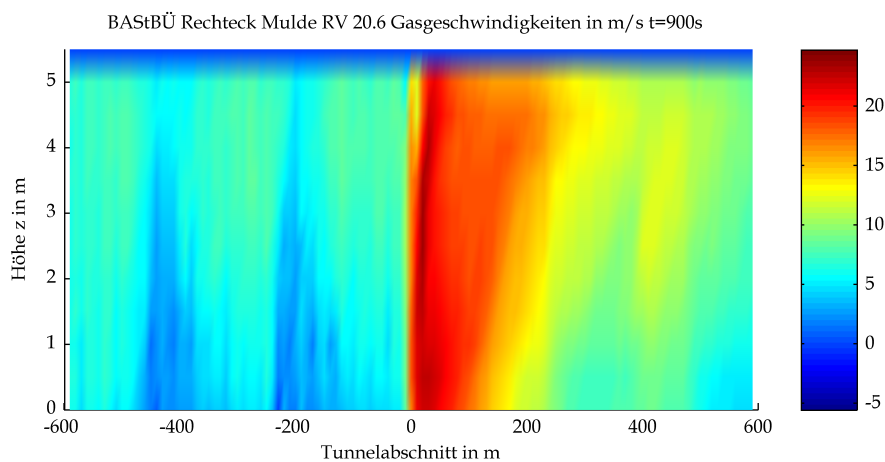
## 4 Gasgeschwindigkeiten



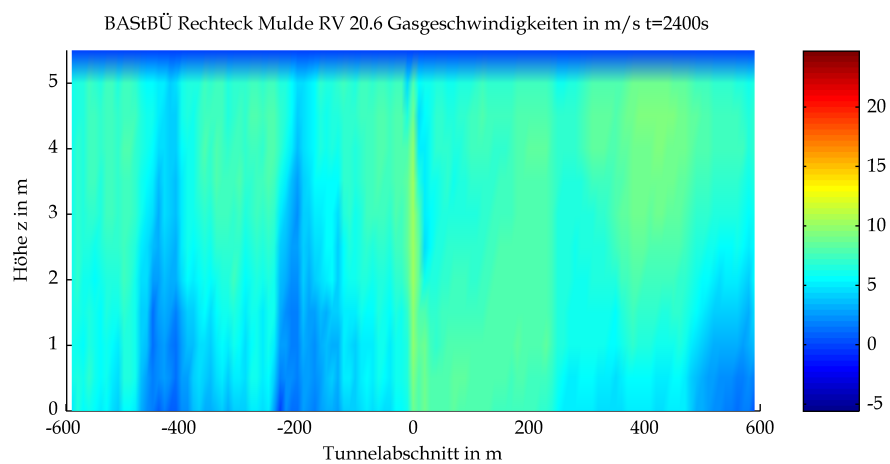
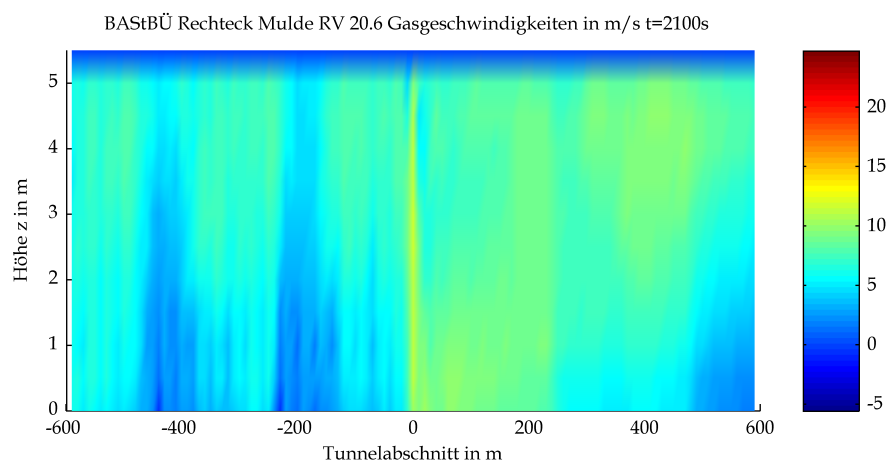
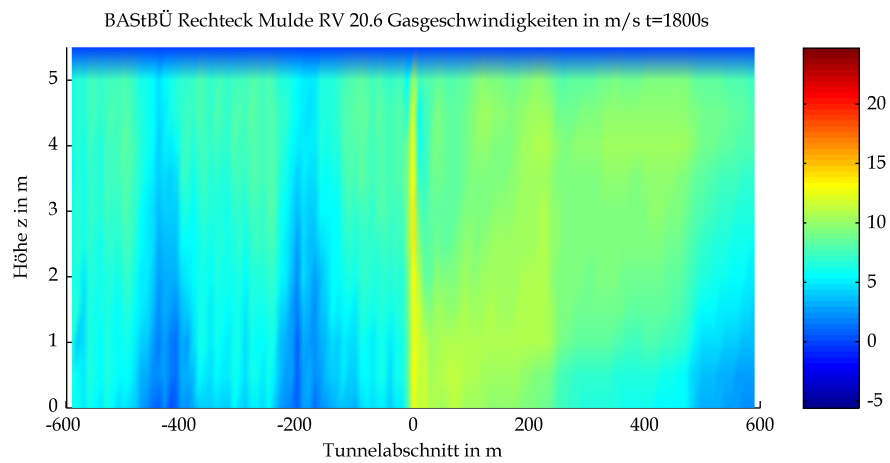
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



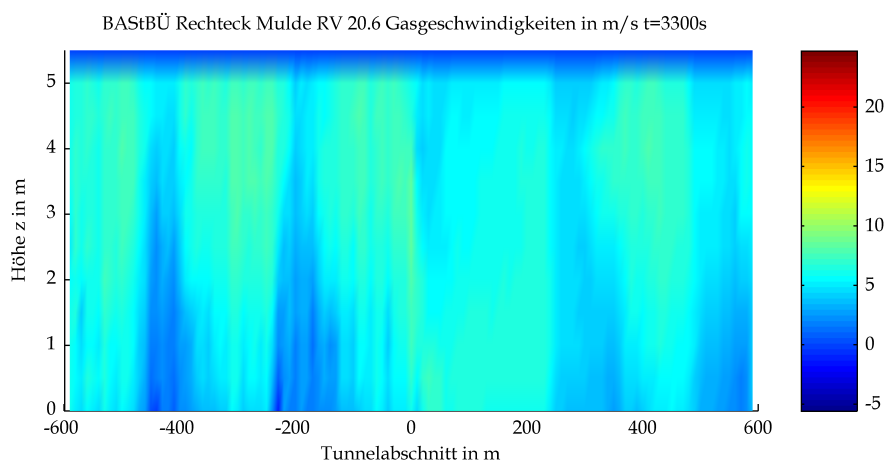
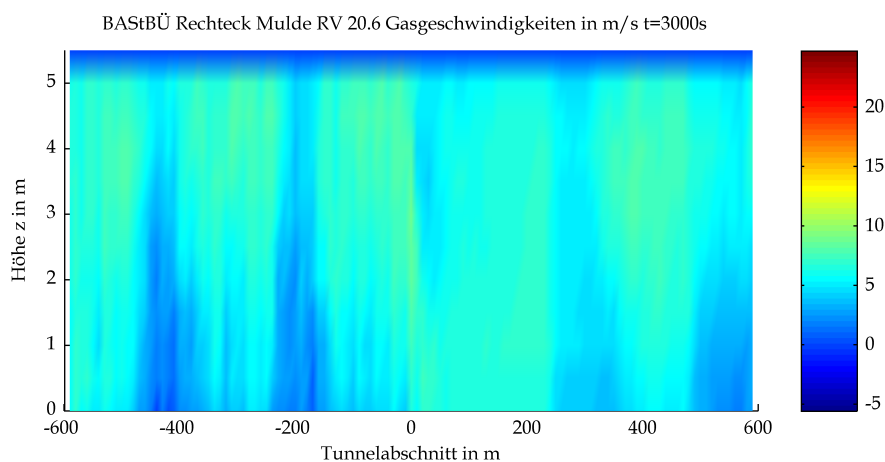
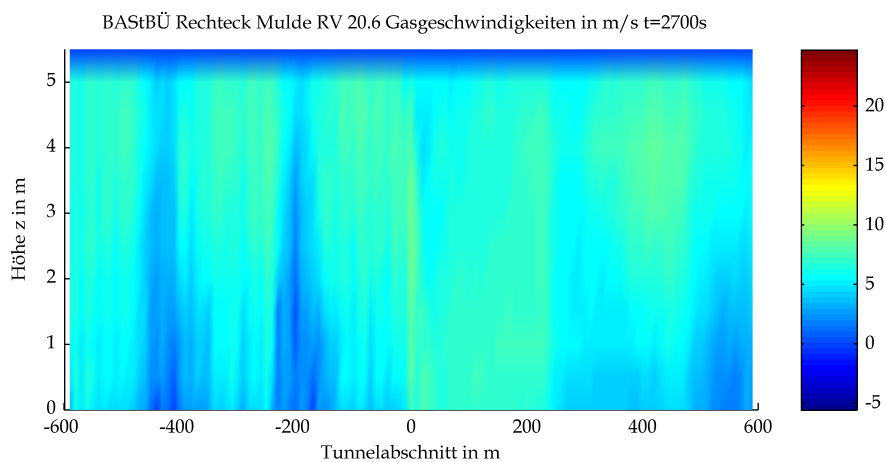
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



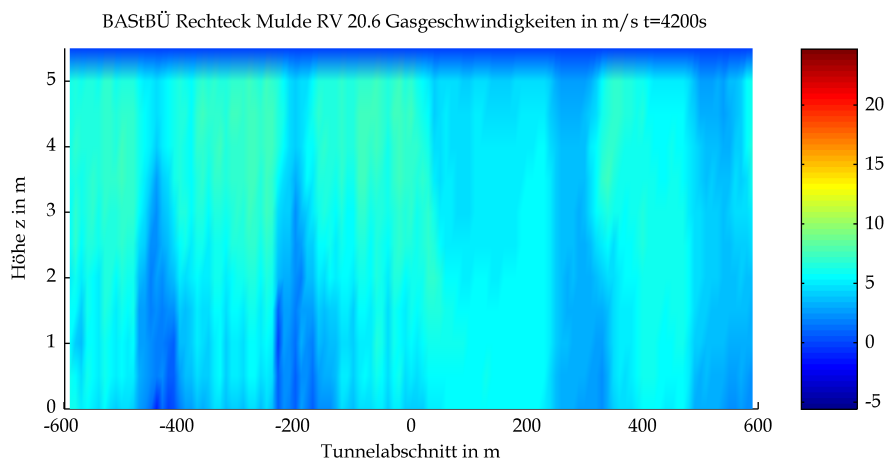
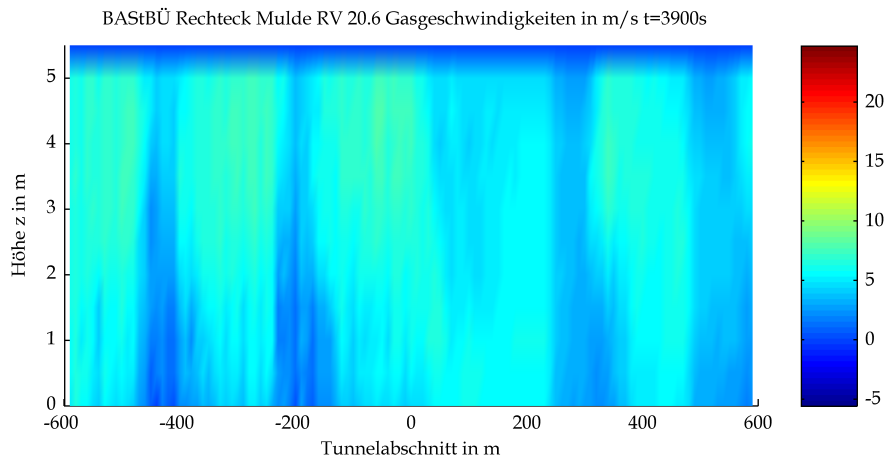
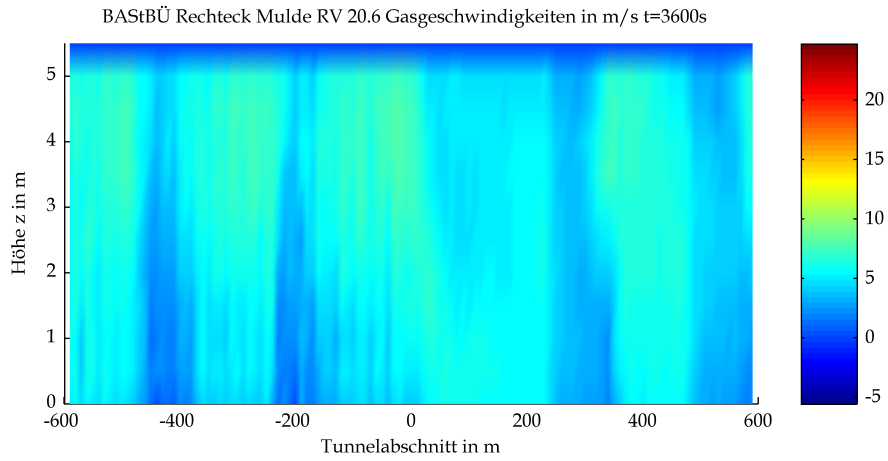
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

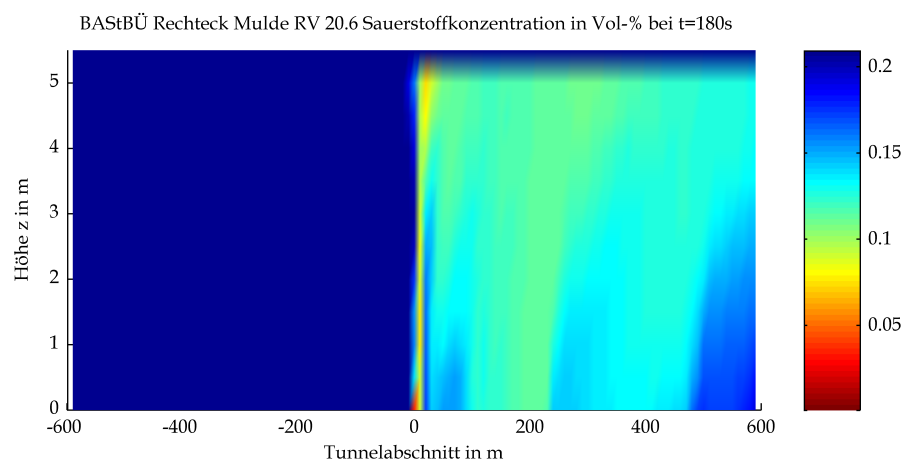
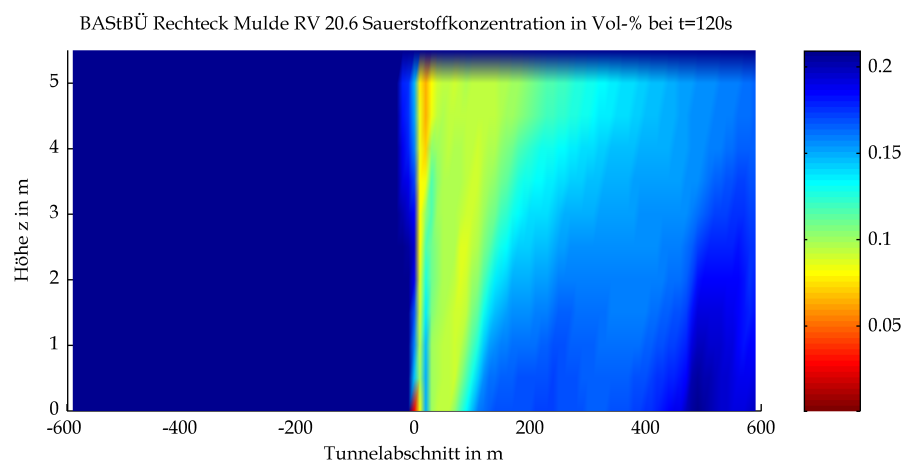
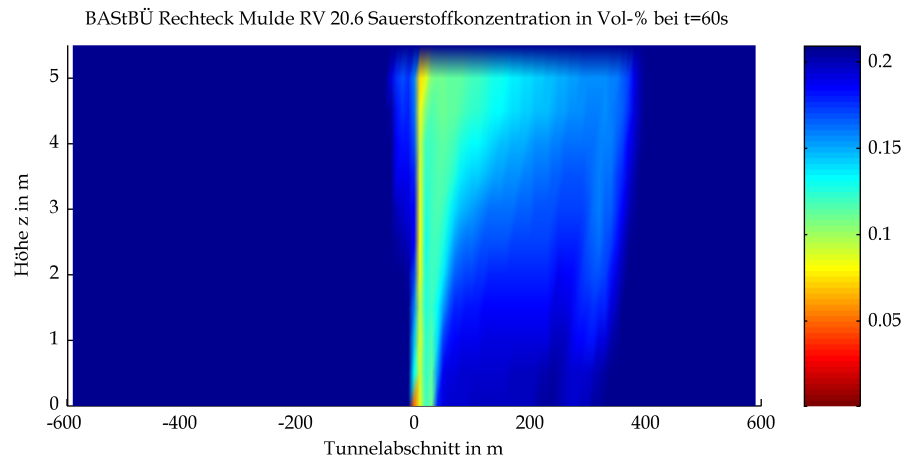


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

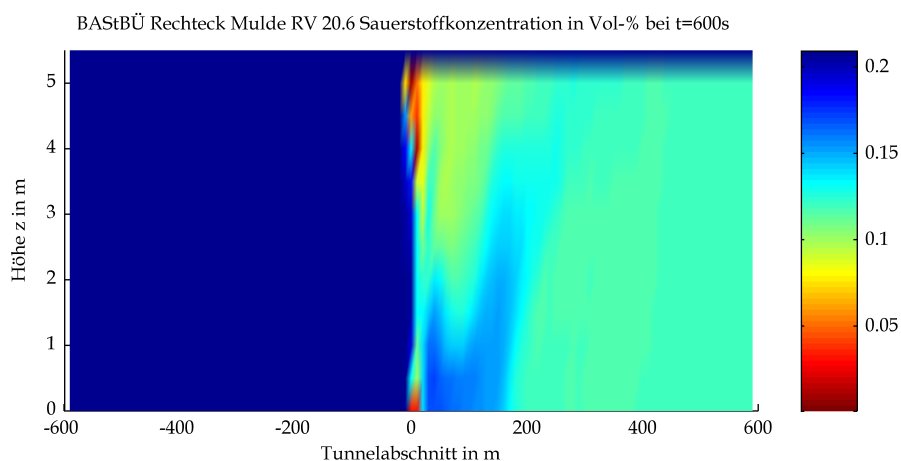
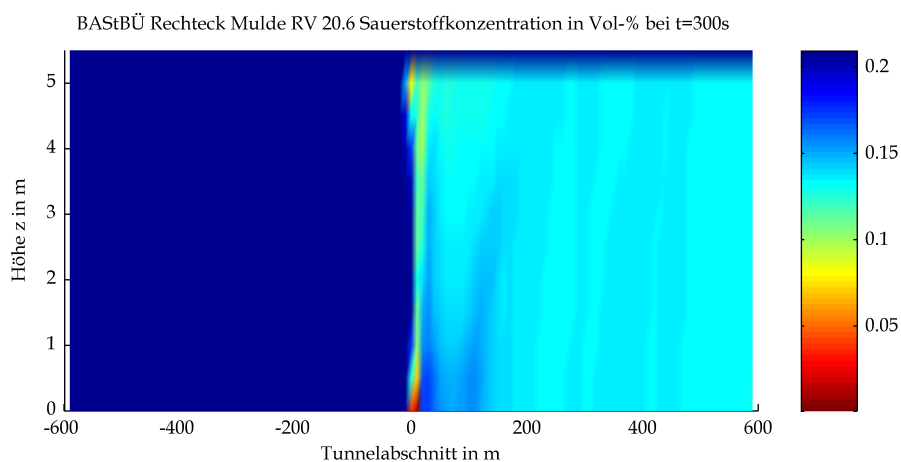
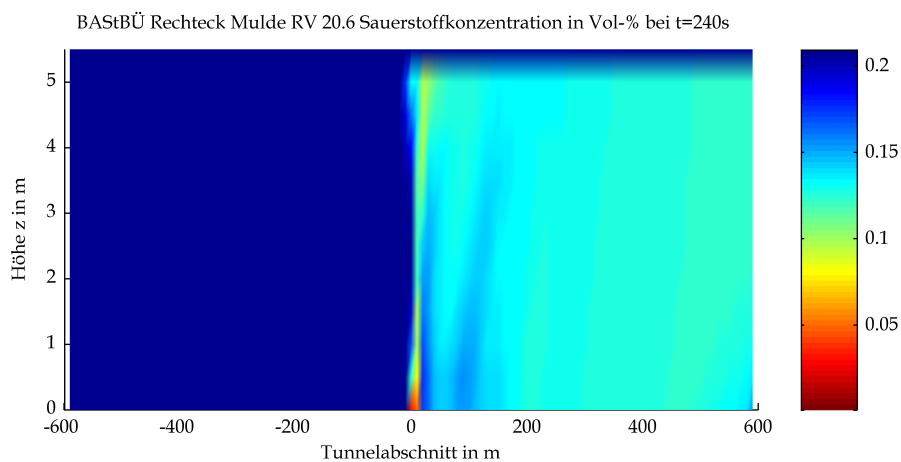


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

## 5 Sauerstoffgehalt

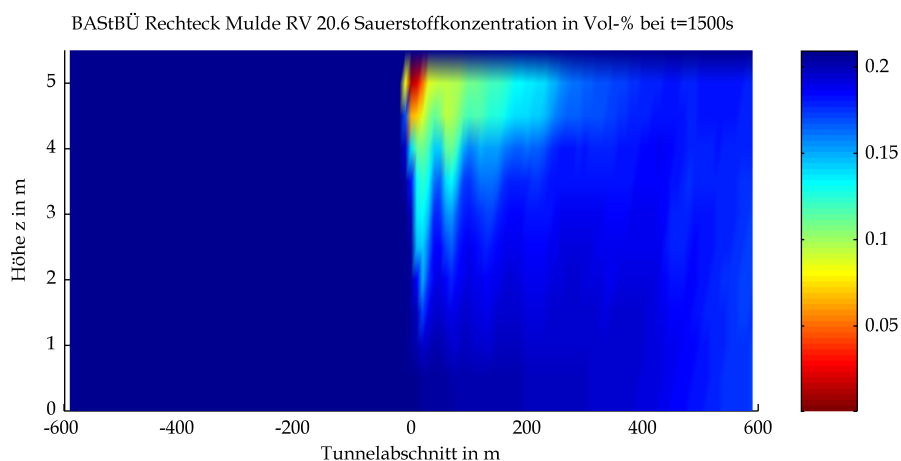
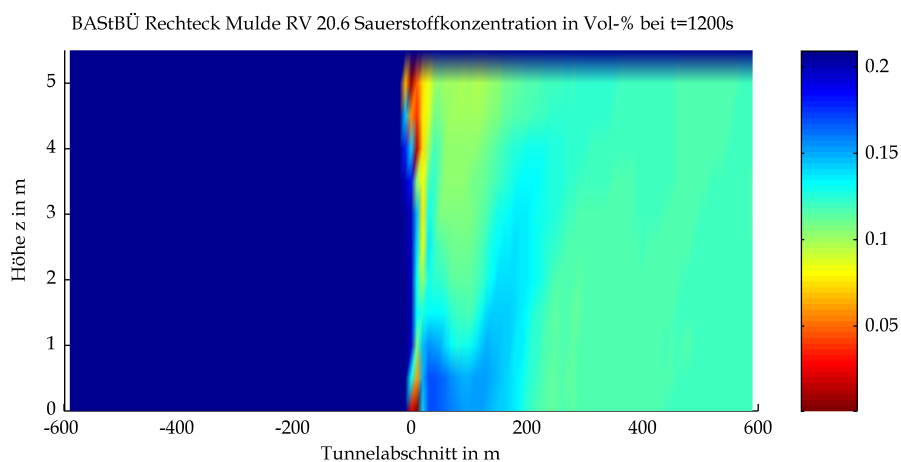
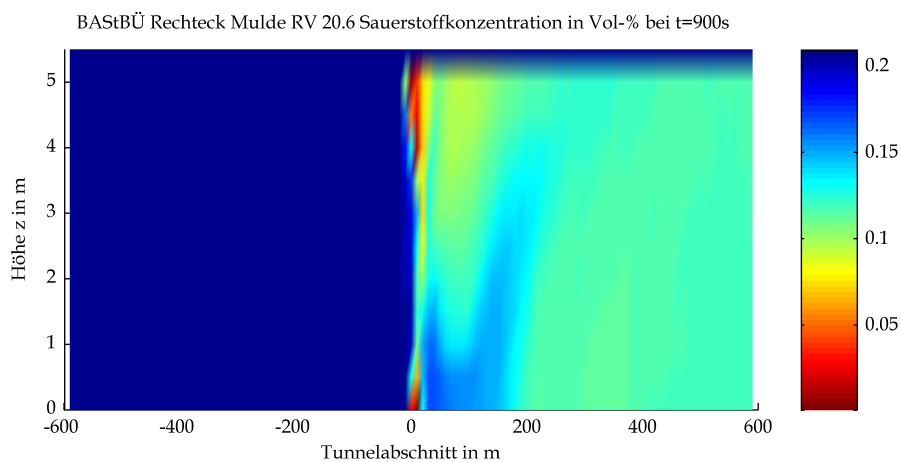


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte

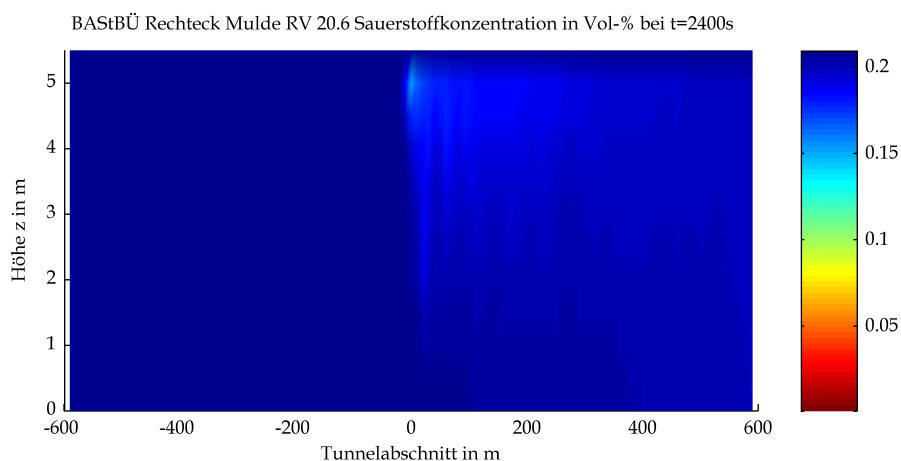
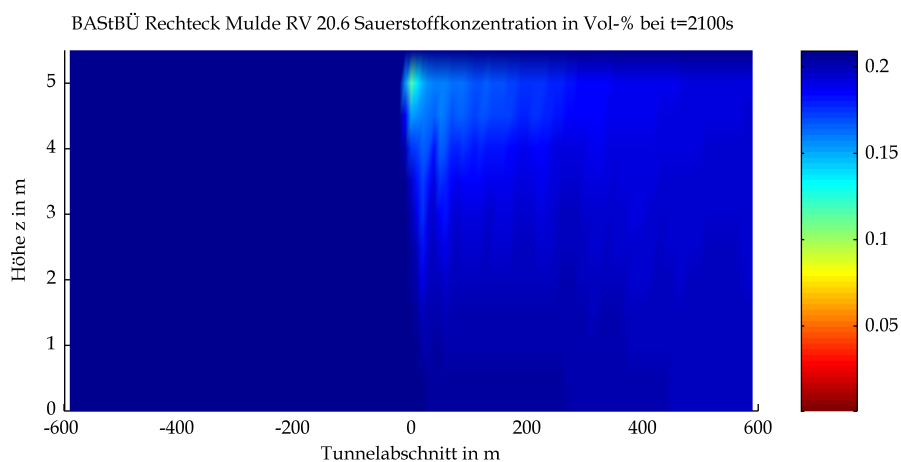
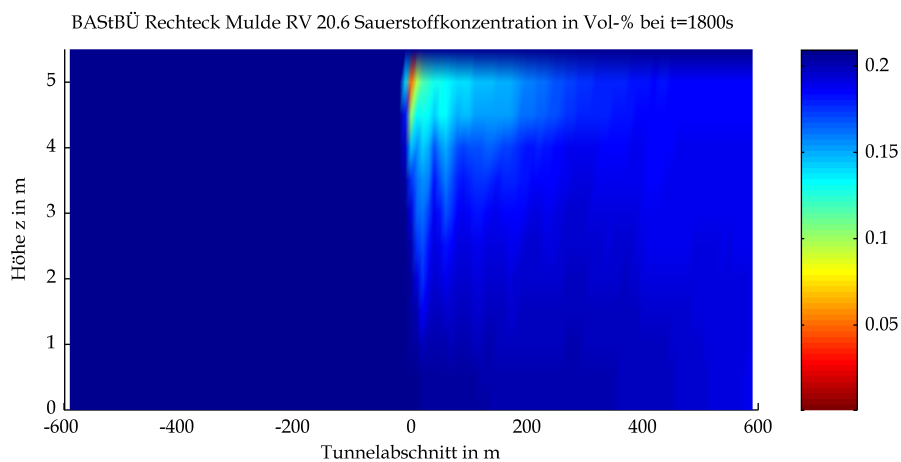


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte

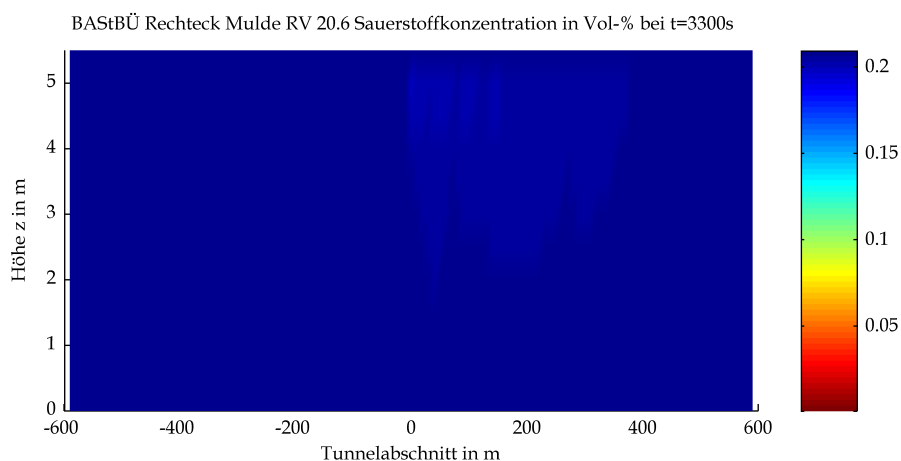
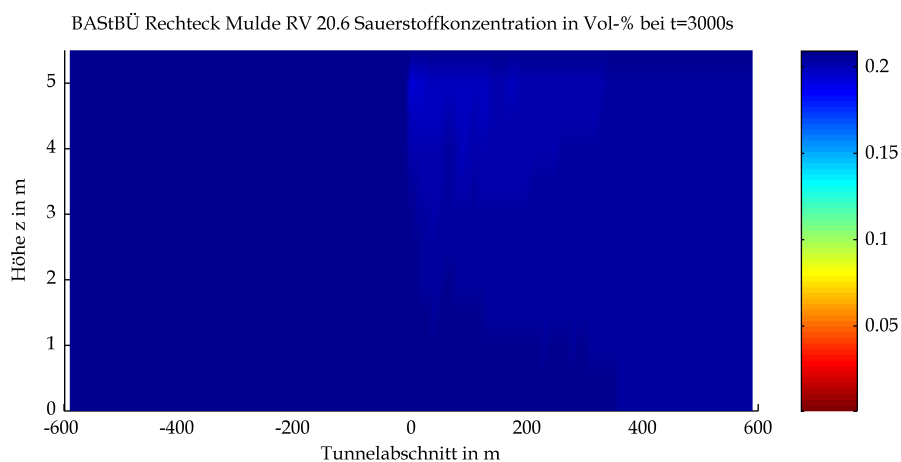
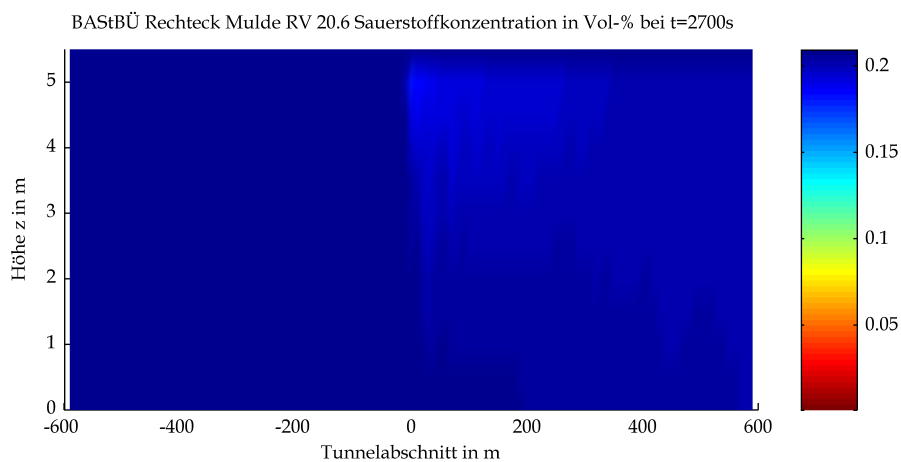




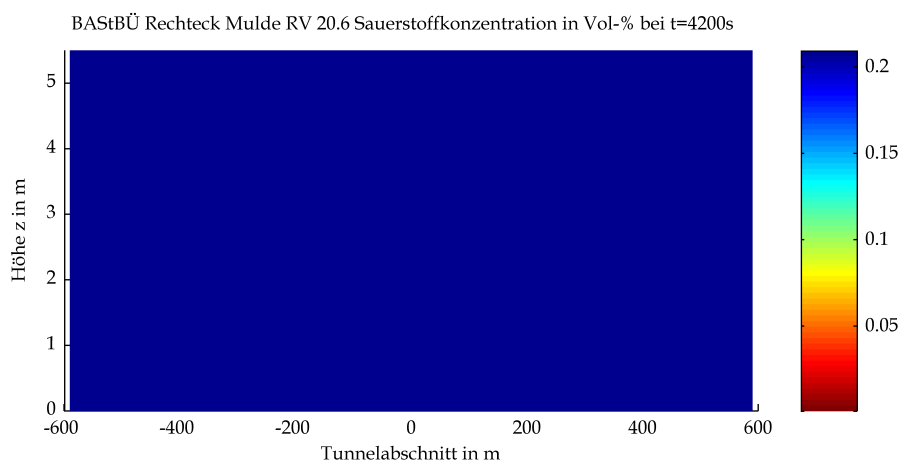
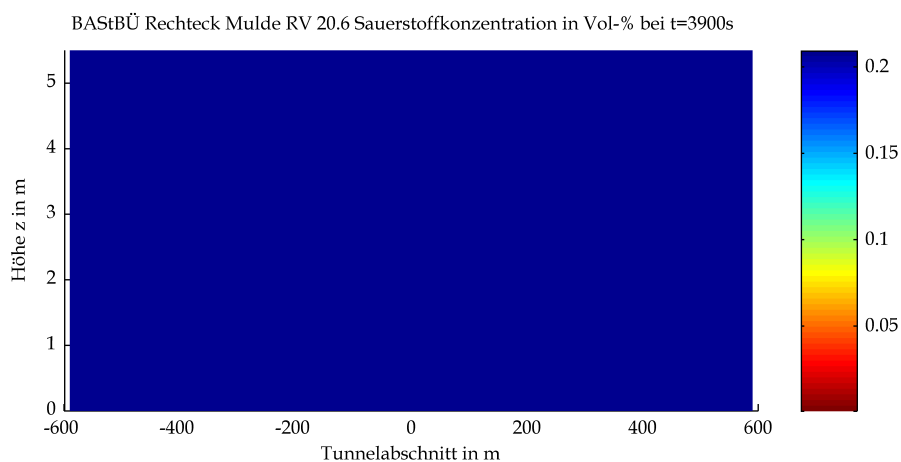
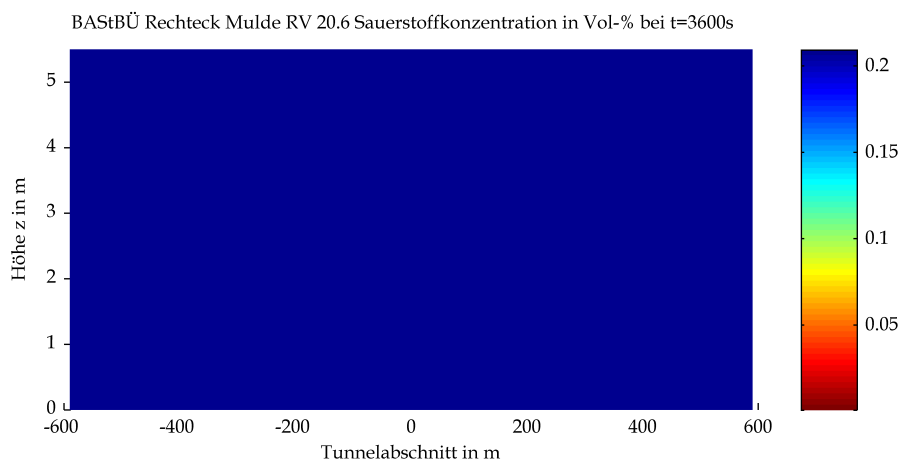
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



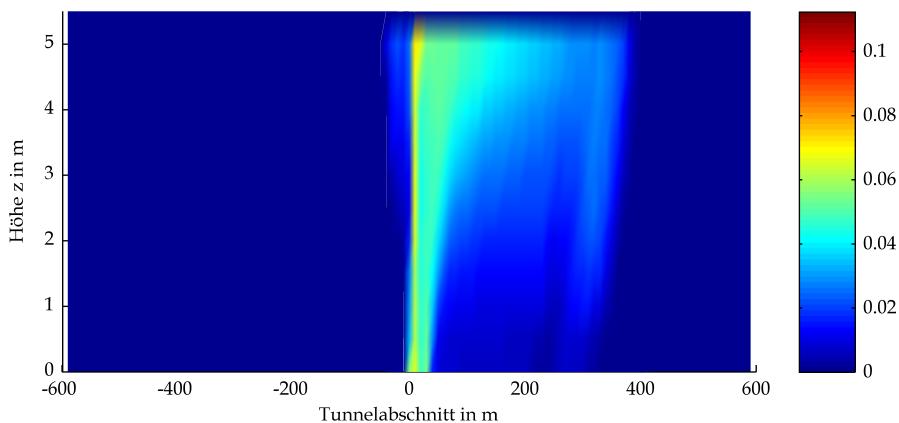
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



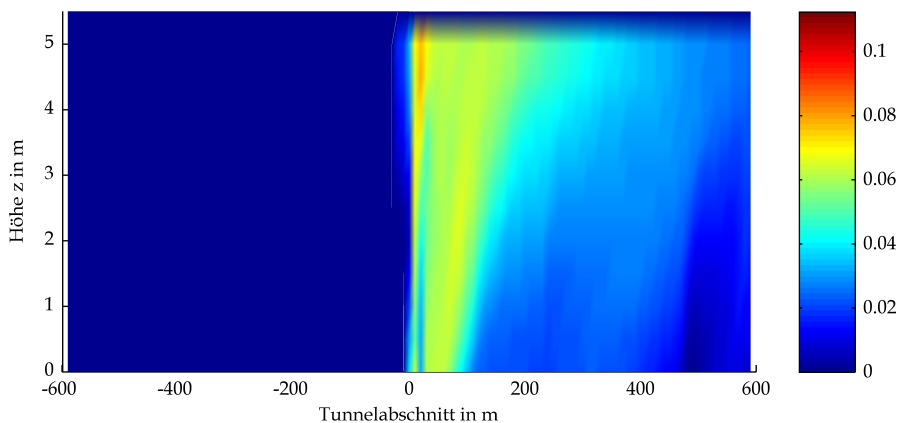
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte

## 6 Kohlendioxidgehalt

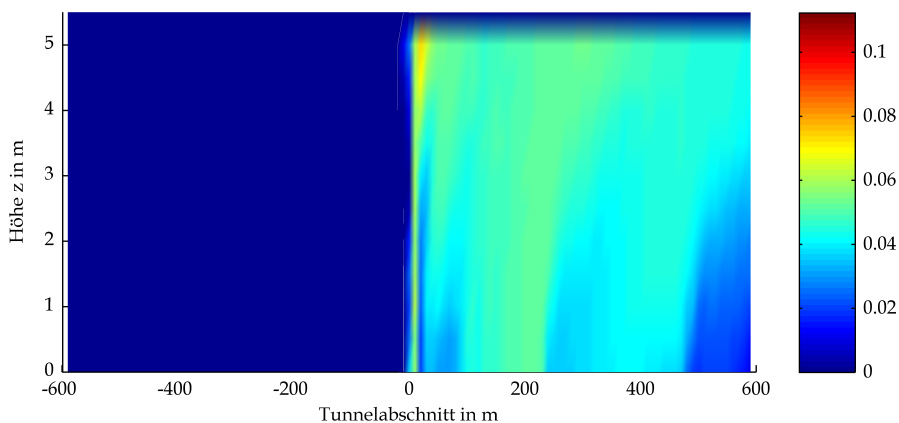
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 CO<sub>2</sub>-Gehalt in Masse-% bei t=60s



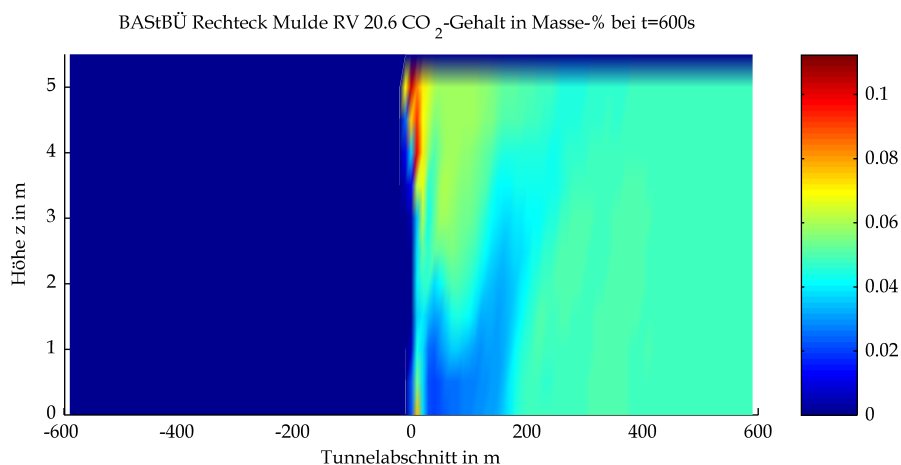
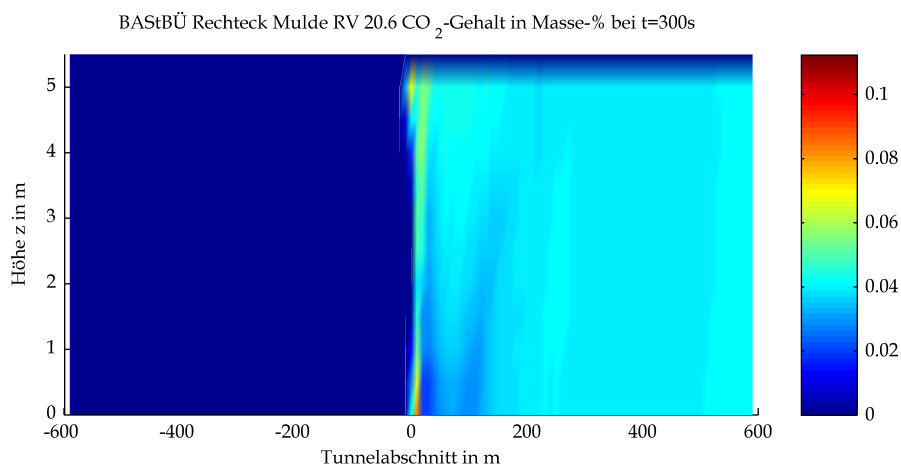
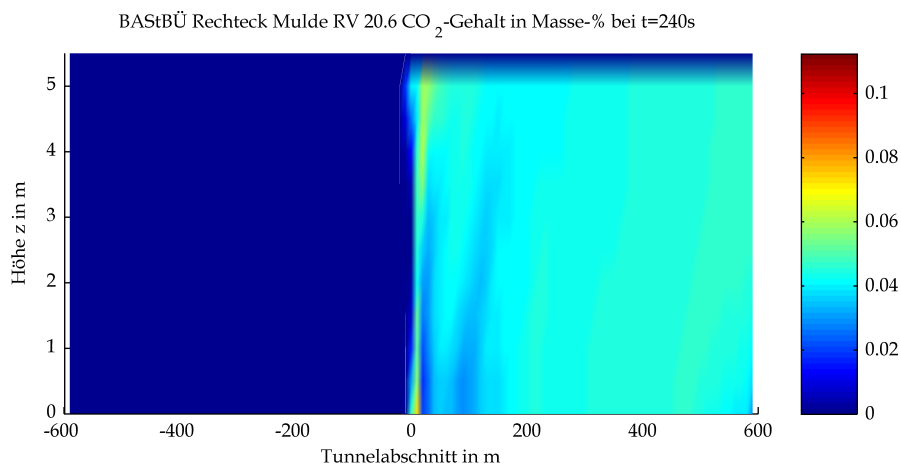
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 CO<sub>2</sub>-Gehalt in Masse-% bei t=120s



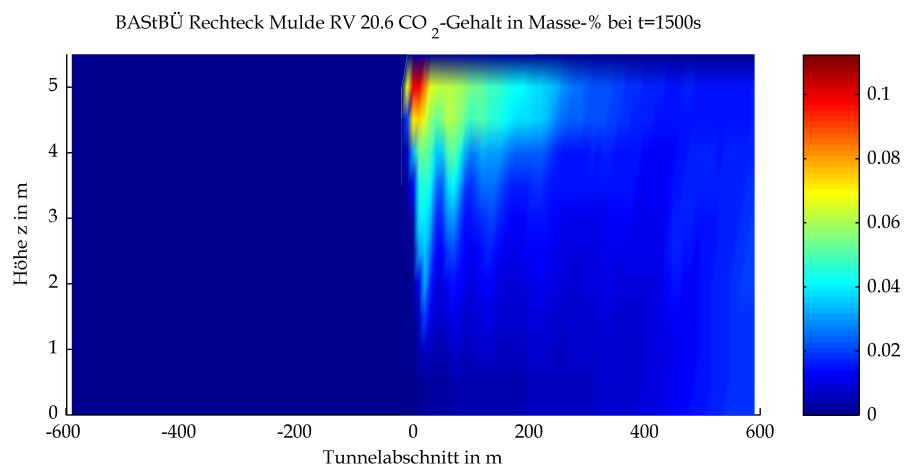
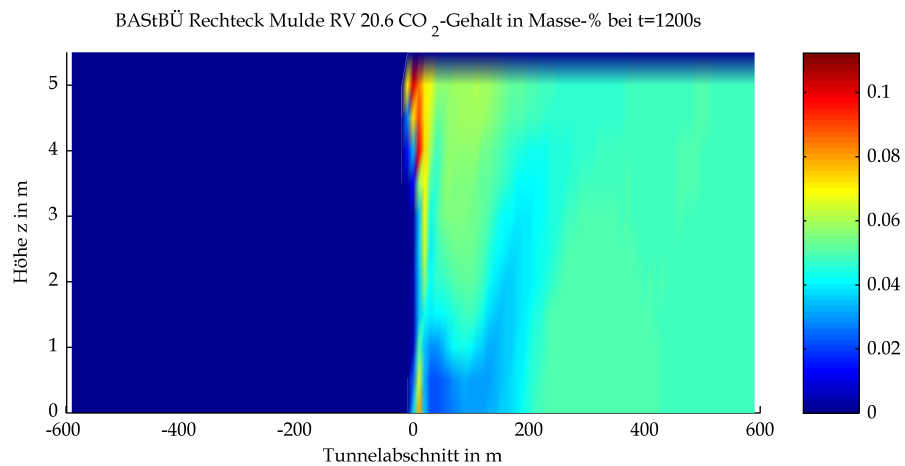
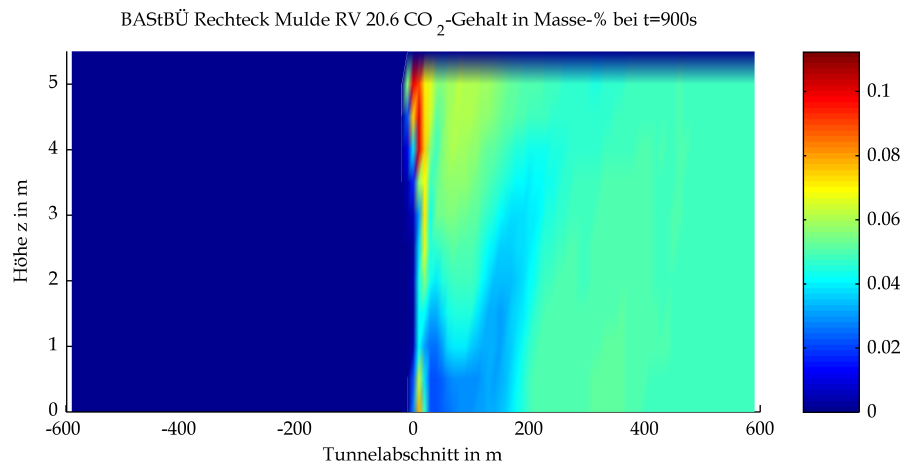
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 CO<sub>2</sub>-Gehalt in Masse-% bei t=180s



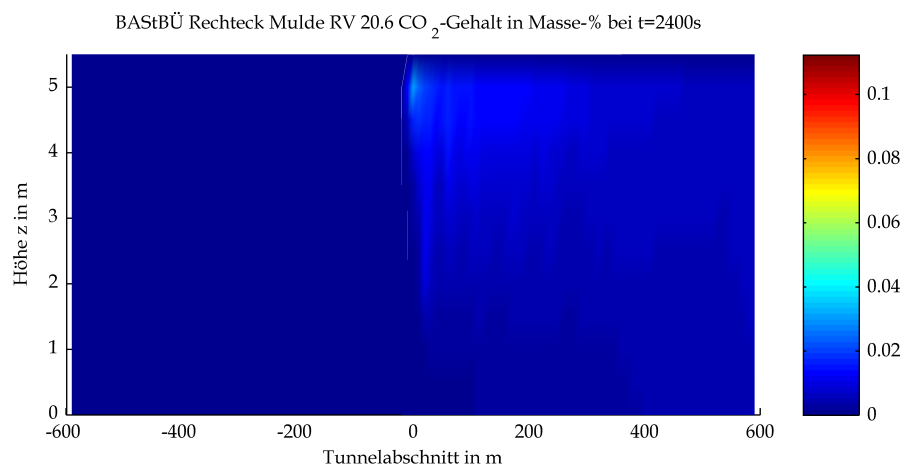
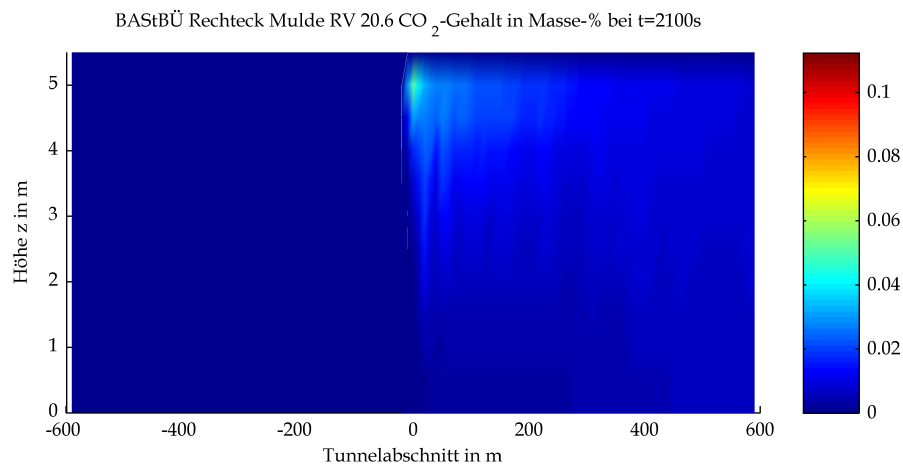
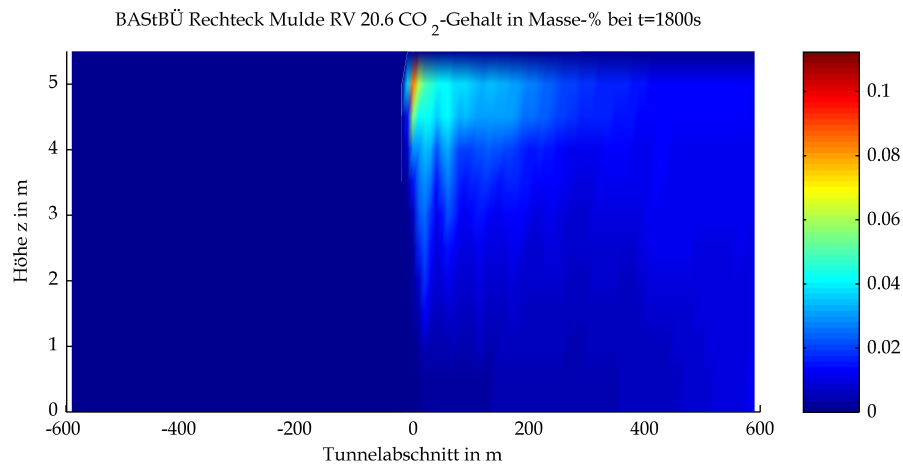
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

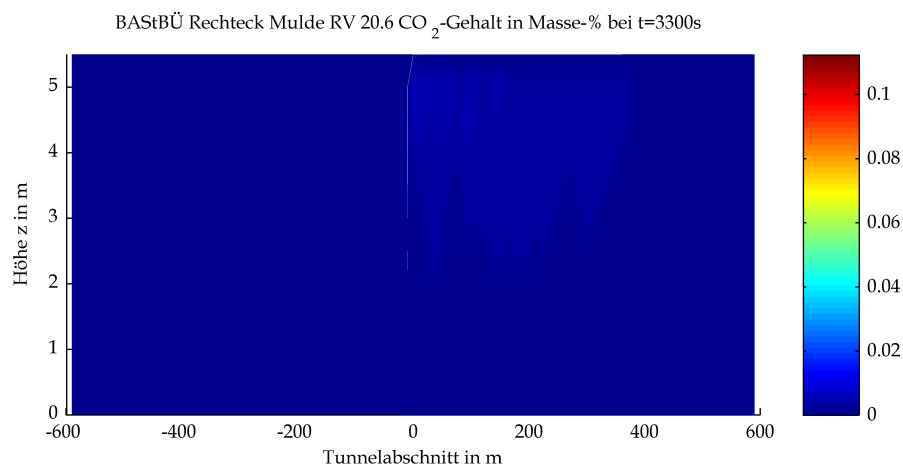
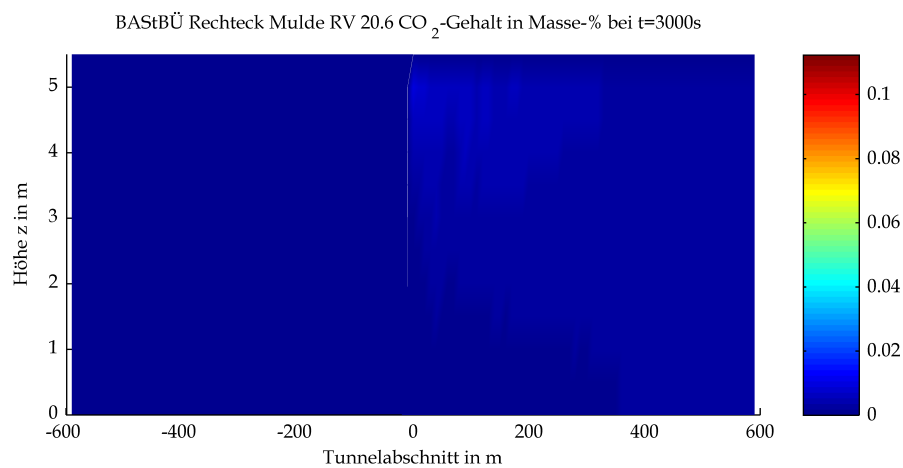
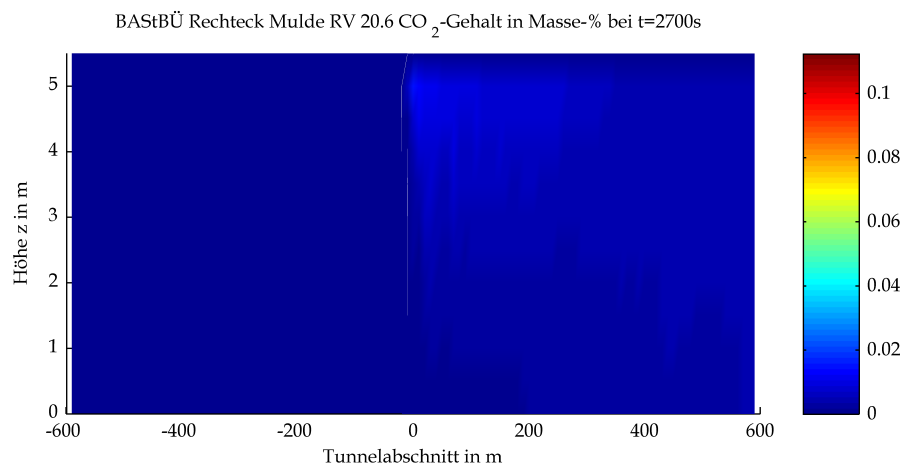


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

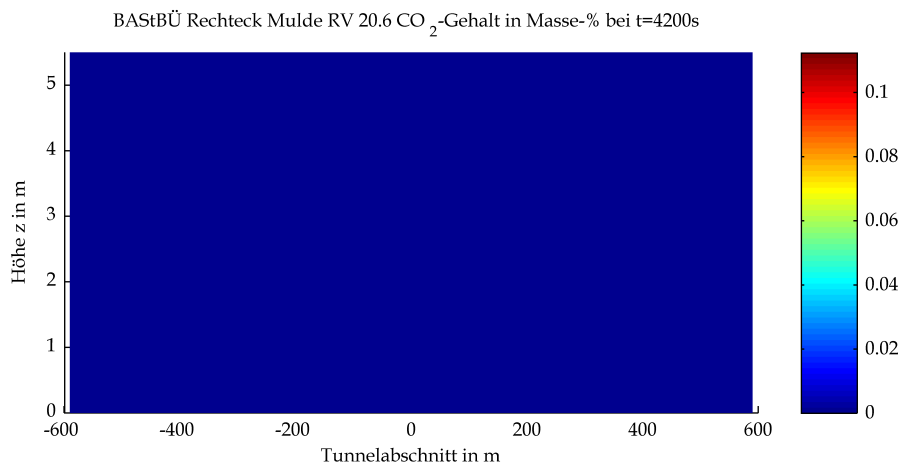
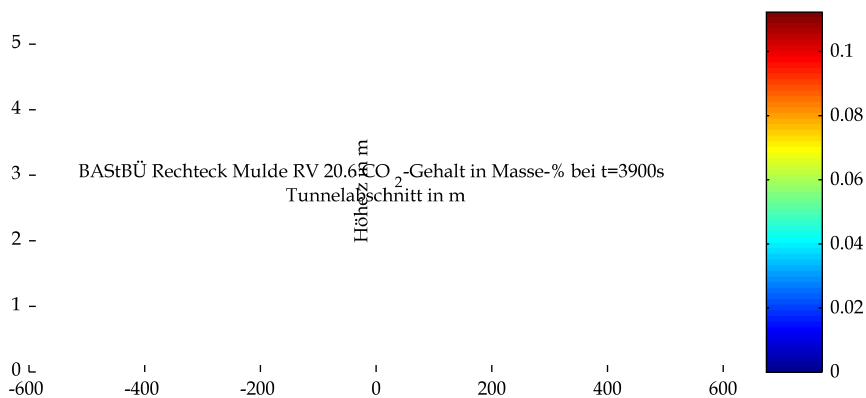
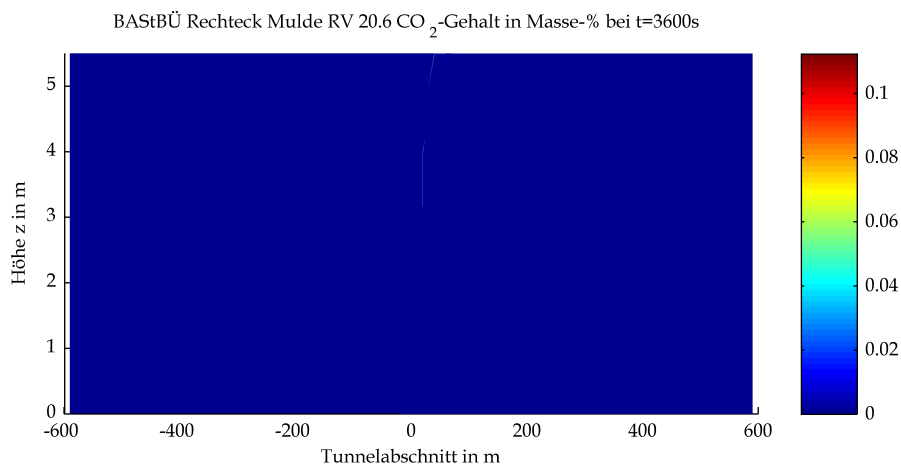


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte



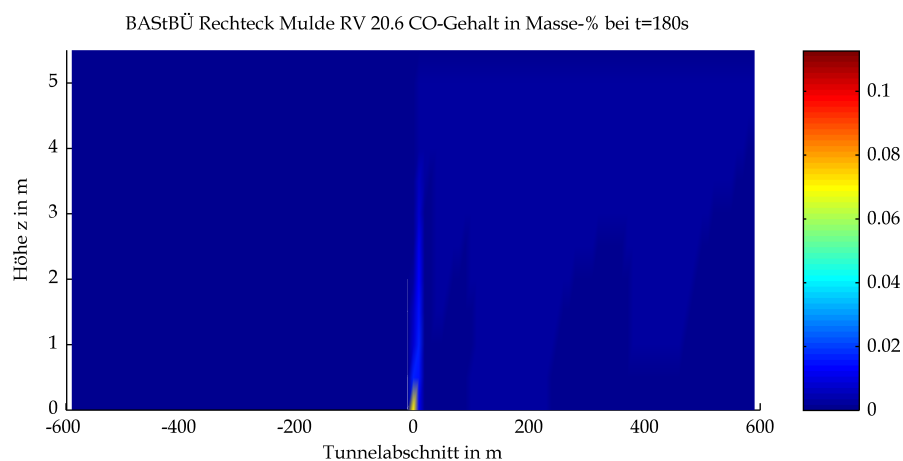
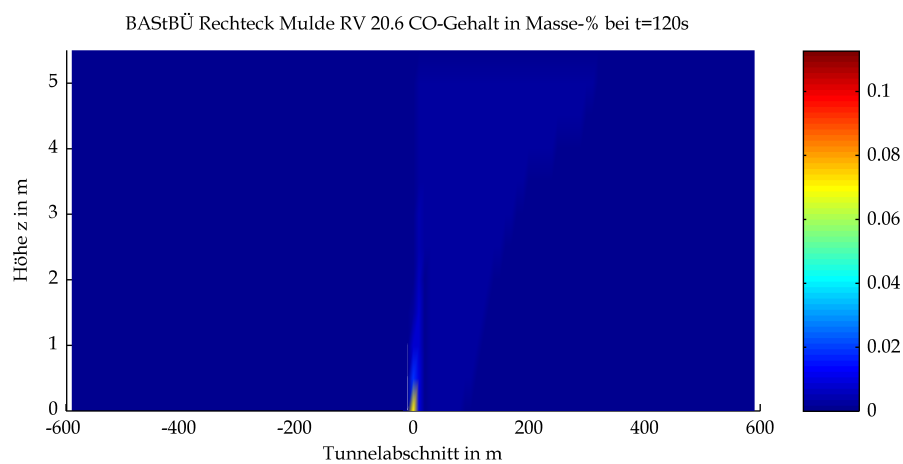
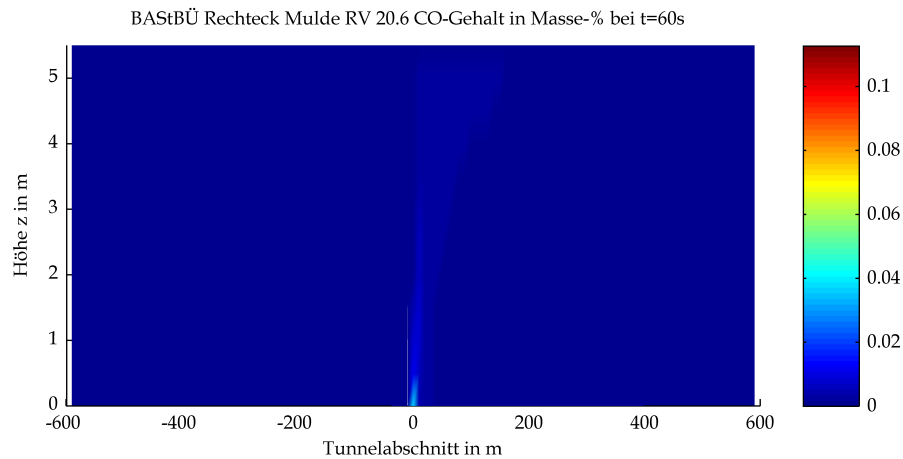


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

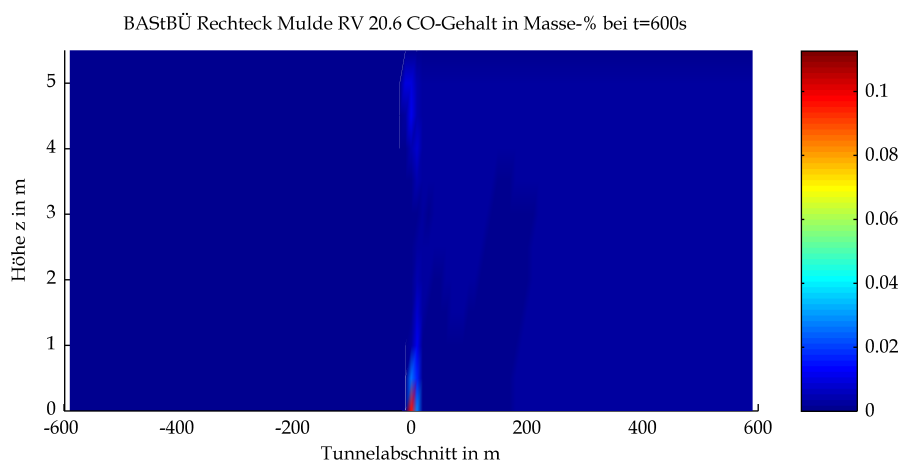
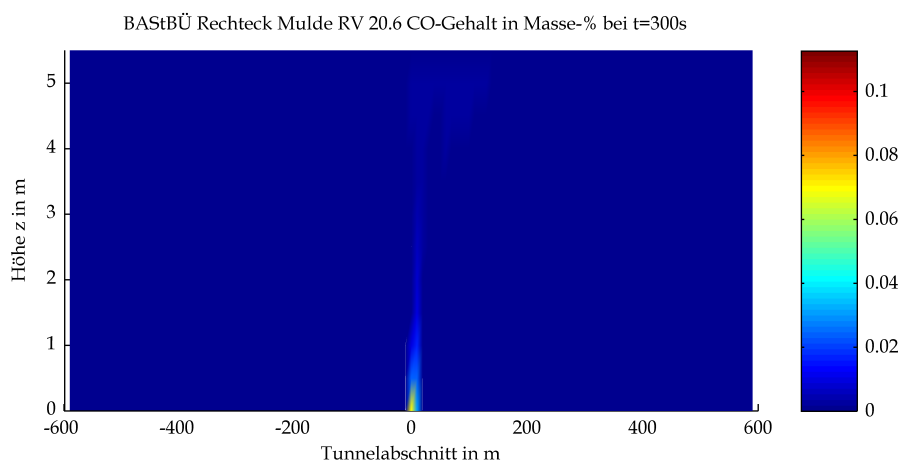
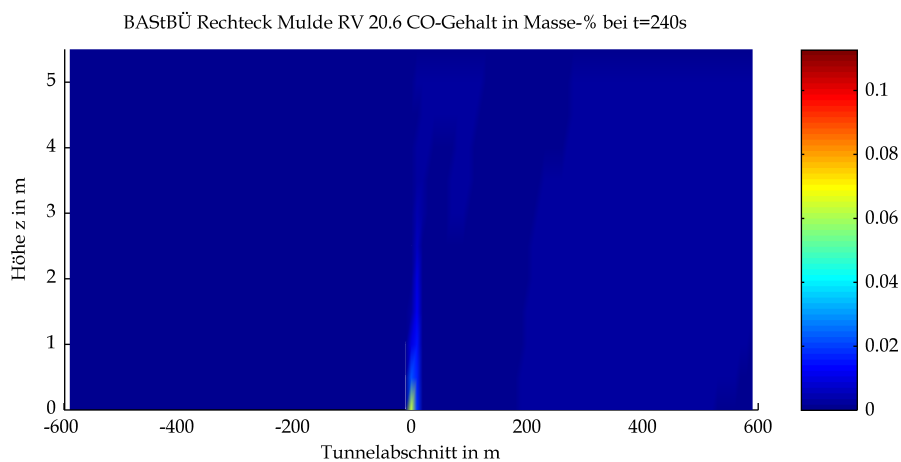


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

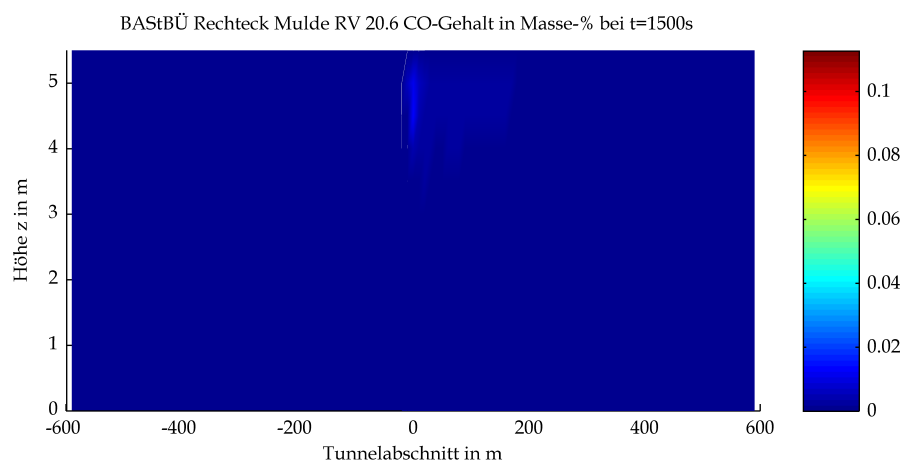
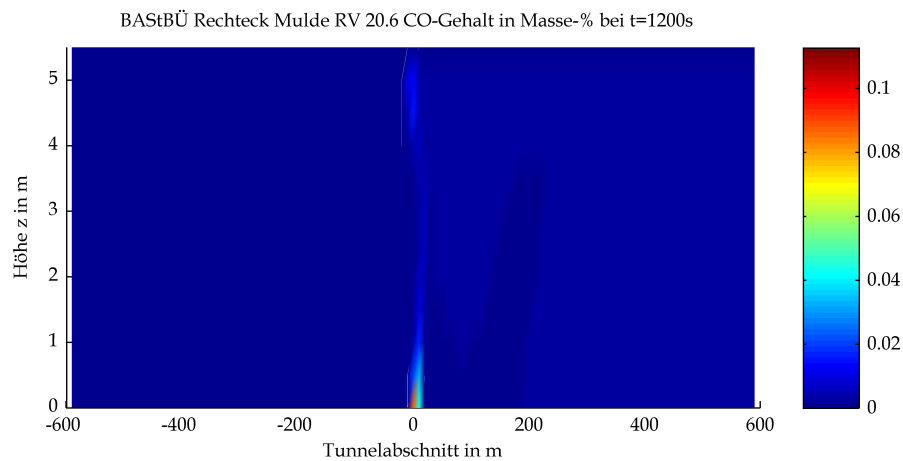
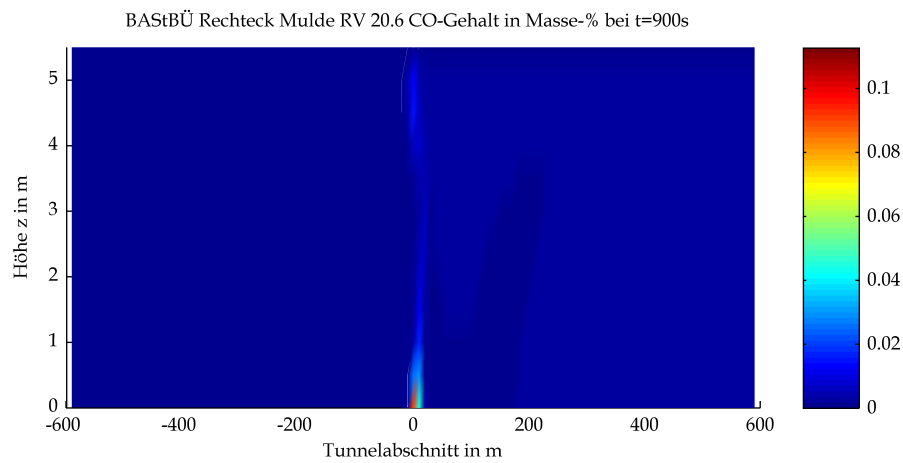
## 7 Kohlenmonoxidgehalt



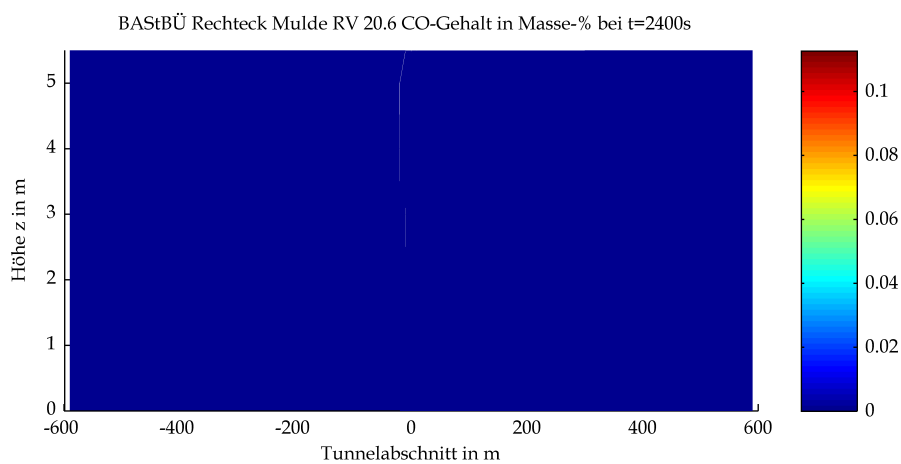
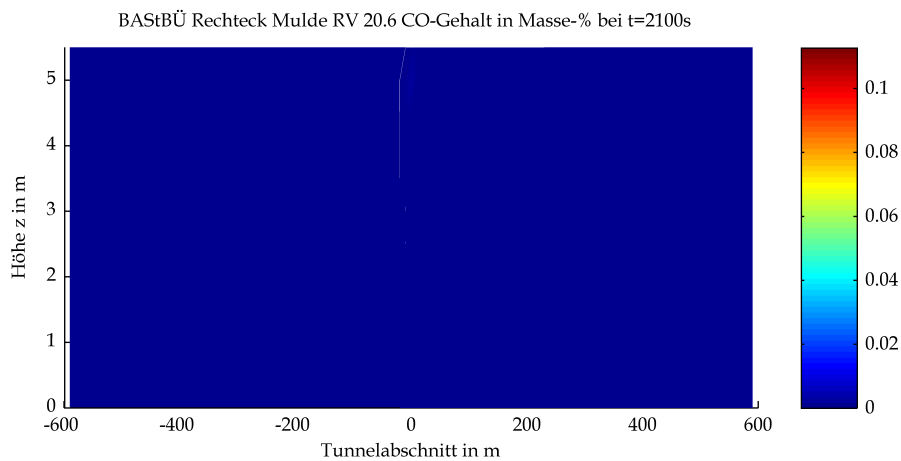
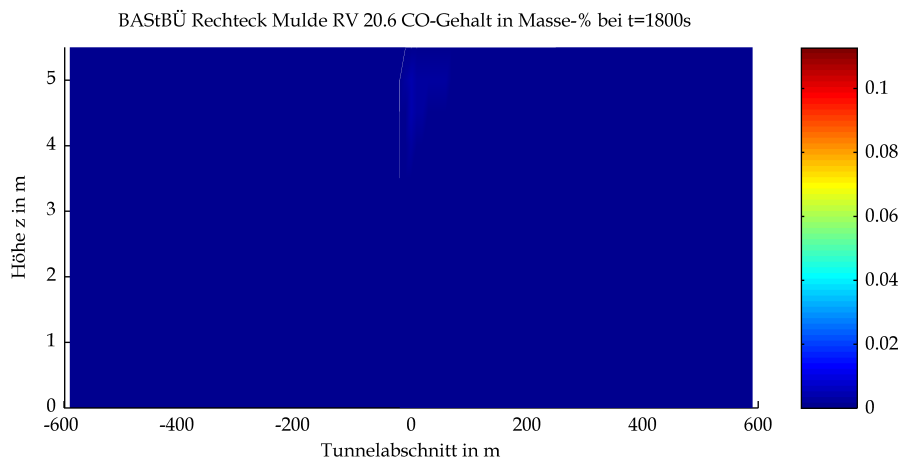
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



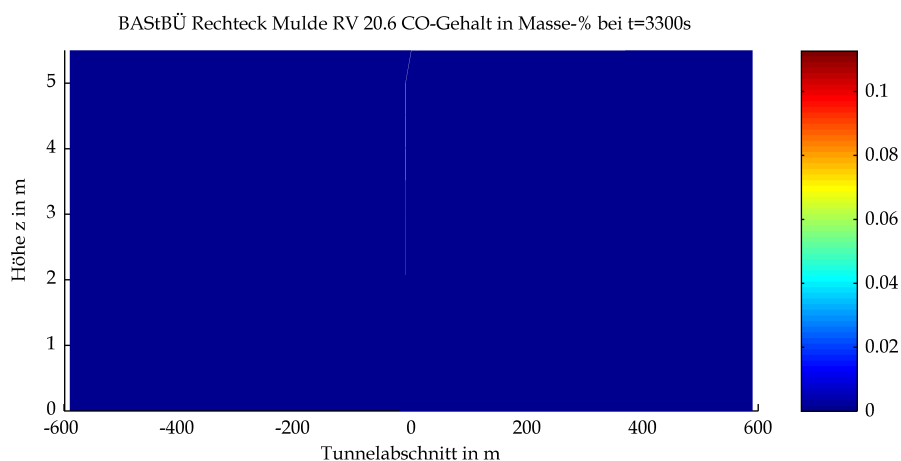
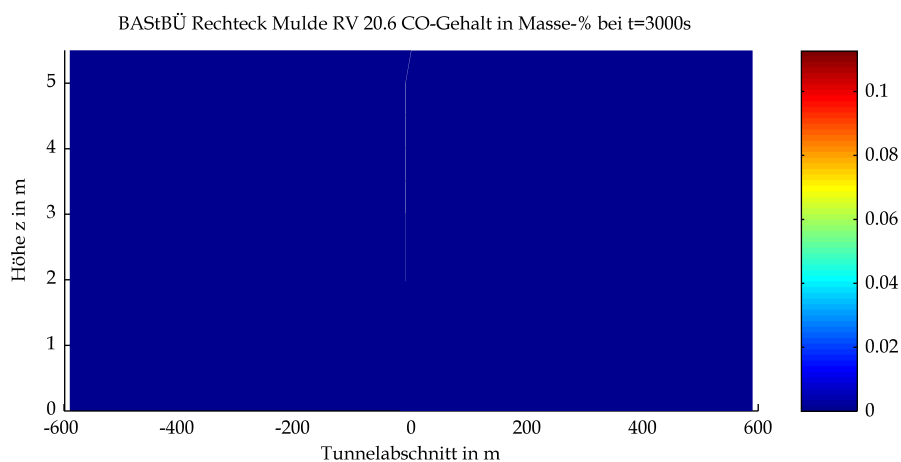
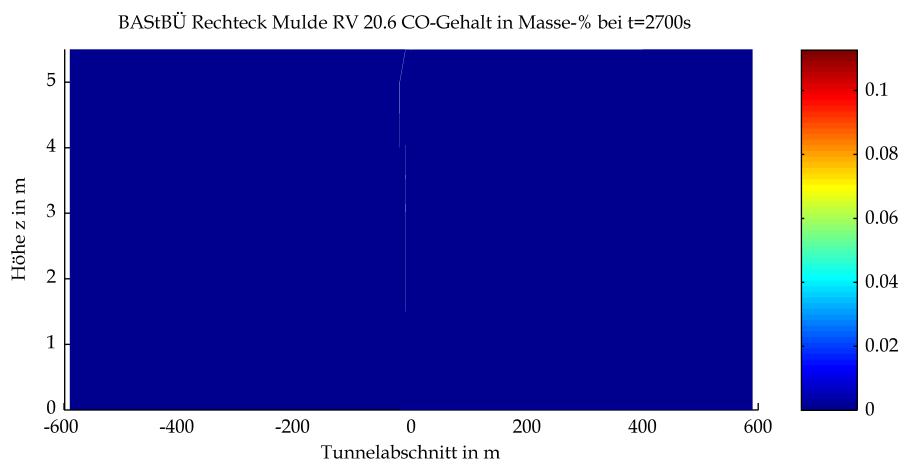
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



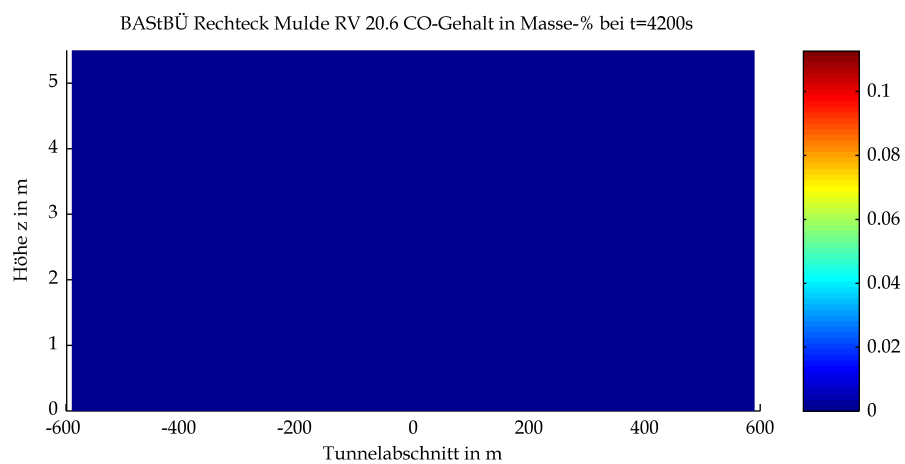
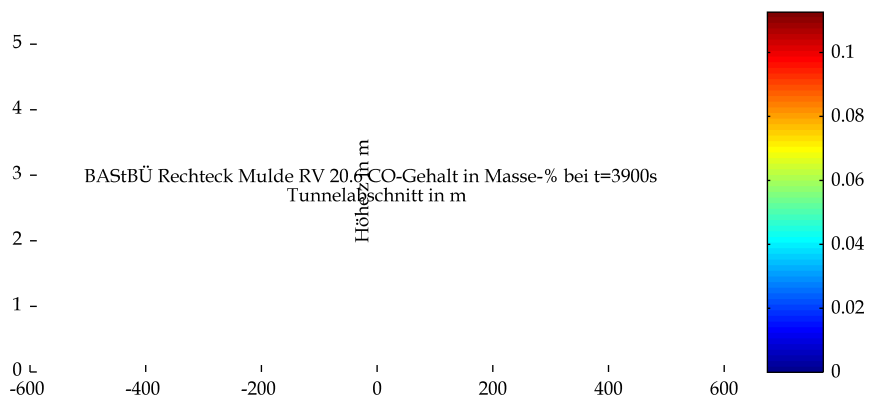
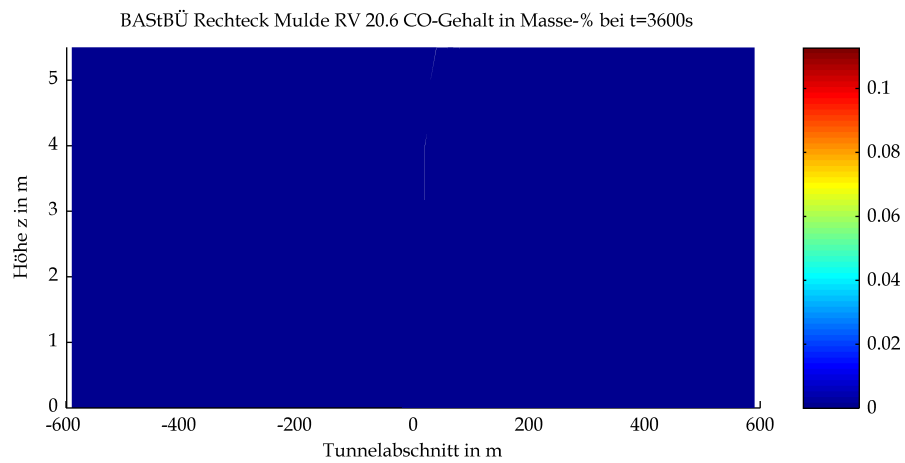
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte

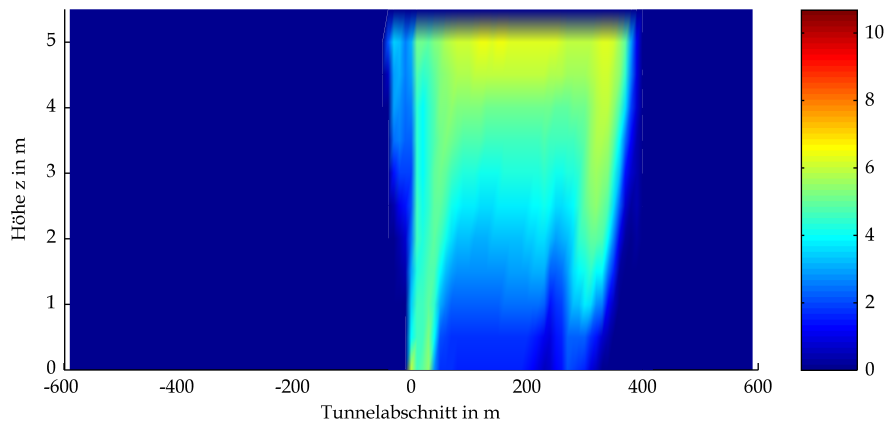


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte

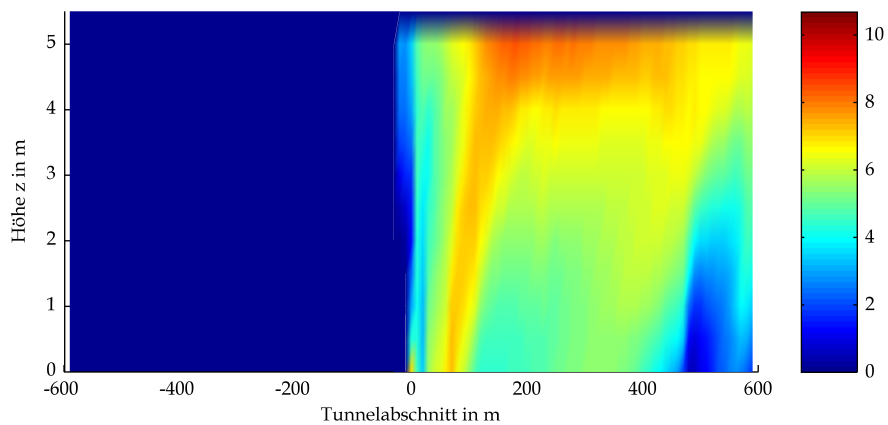


## 8 Optische Dichte

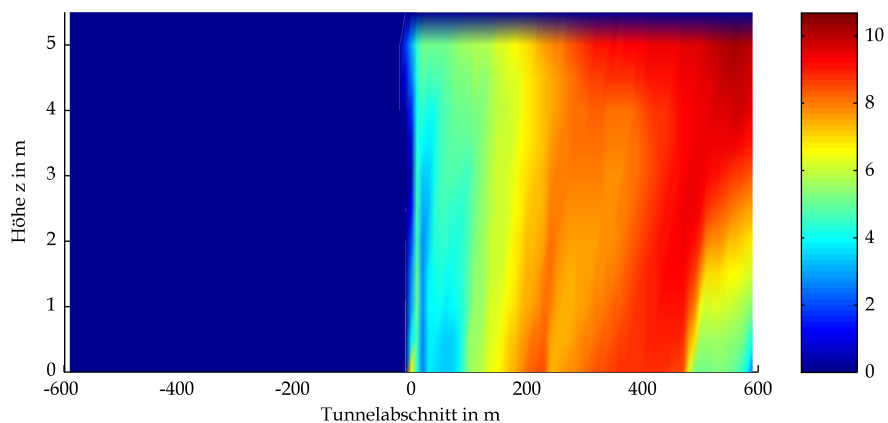
BASStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=60s



BASStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=120s

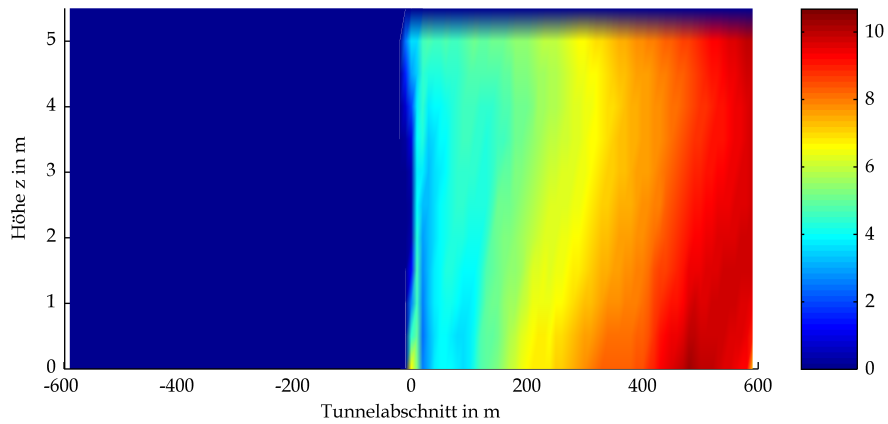


BASStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=180s

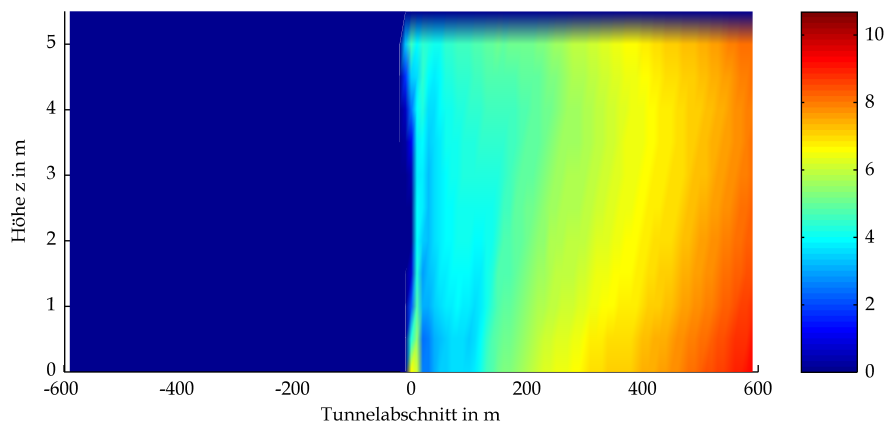


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

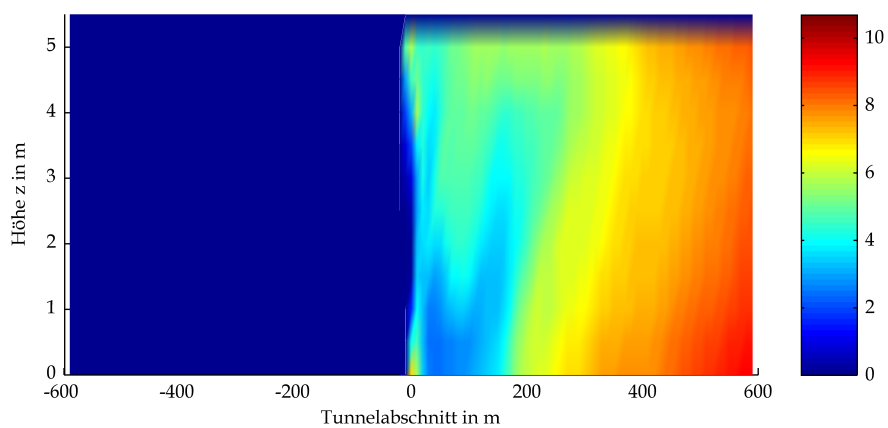
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=240s



BAStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=300s

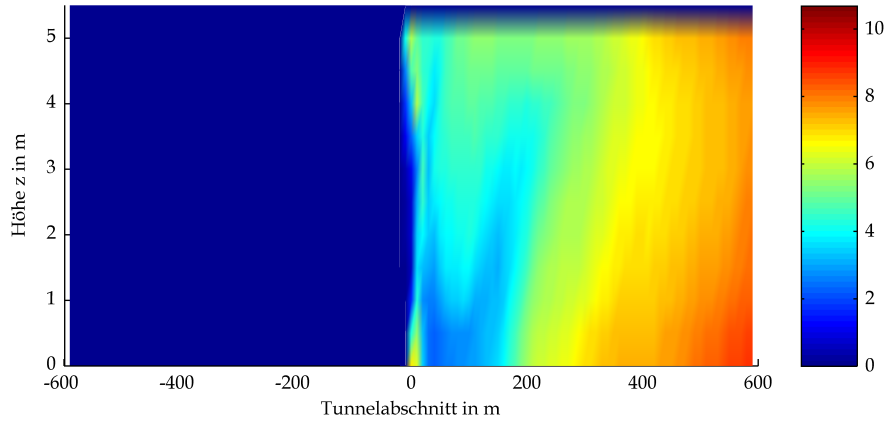


BAStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=600s

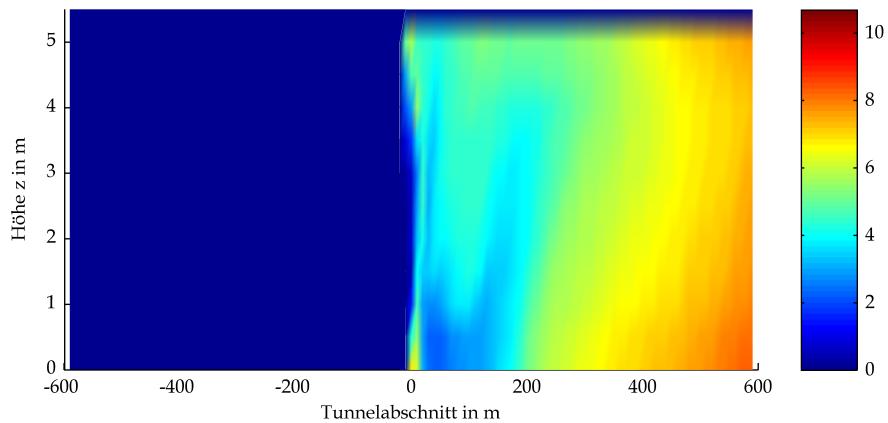


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

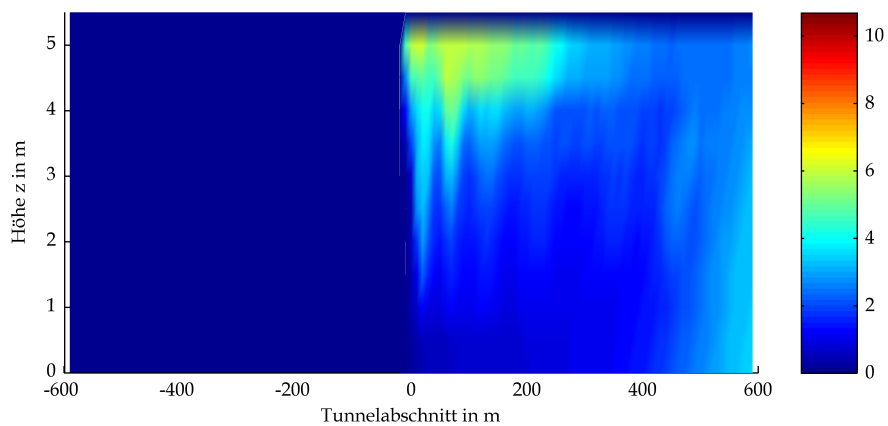
BASStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=900s



BASStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=1200s

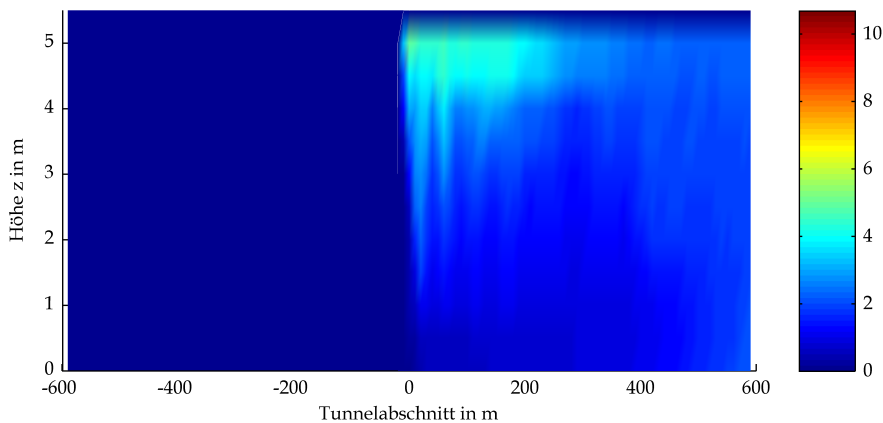


BASStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=1500s

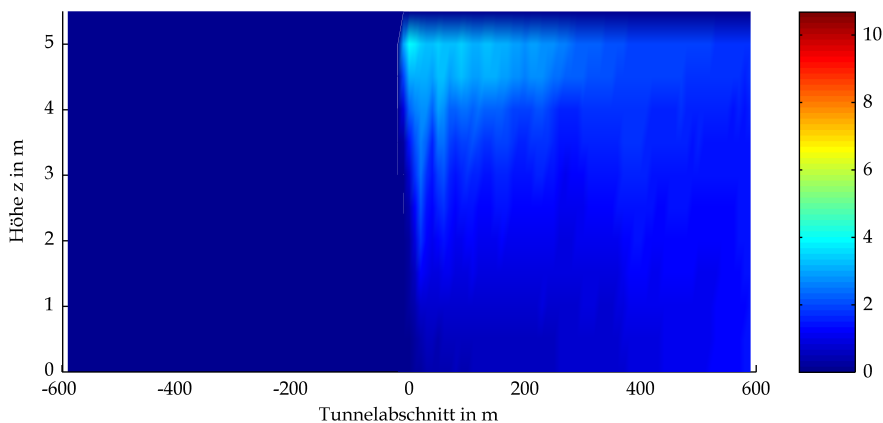


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

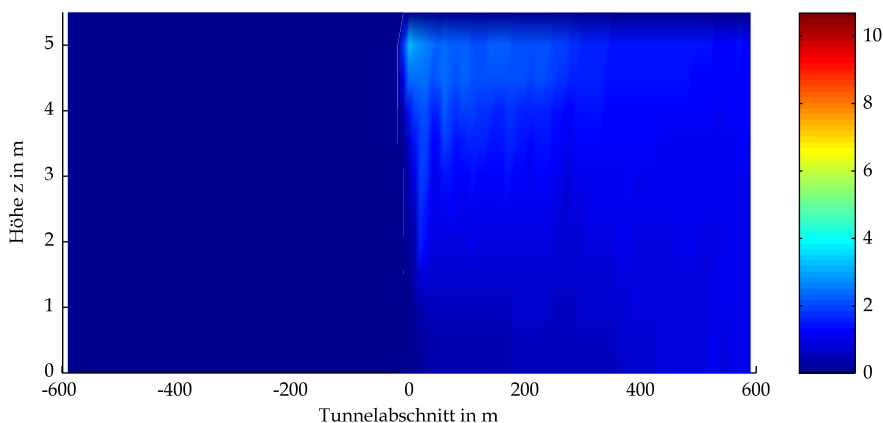
BASStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=1800s



BASStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=2100s

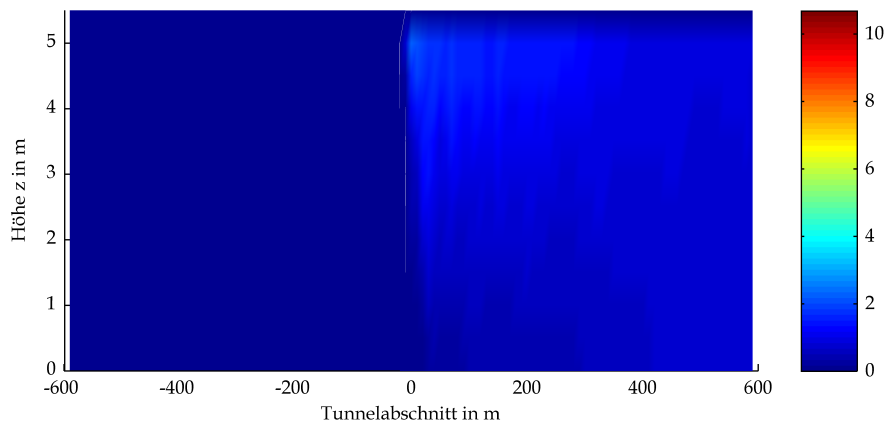


BASStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=2400s

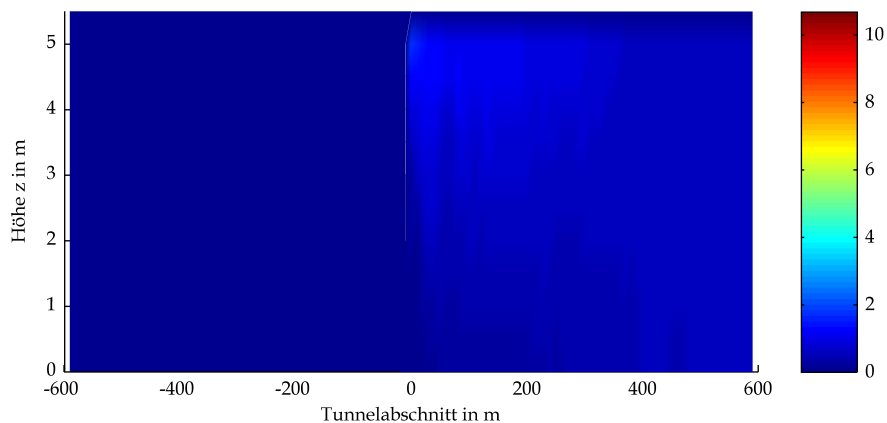


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

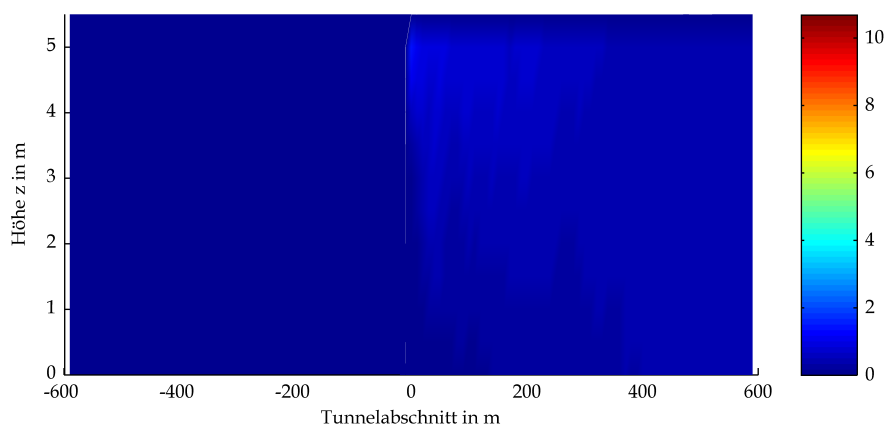
BASTbÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=2700s



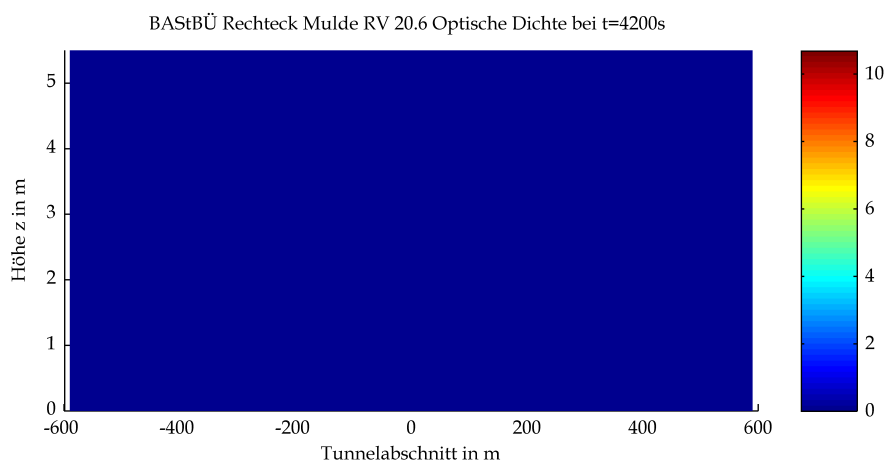
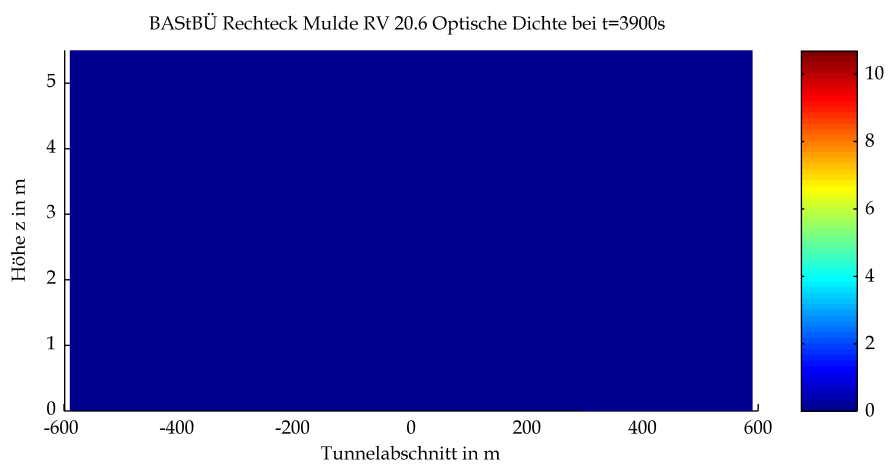
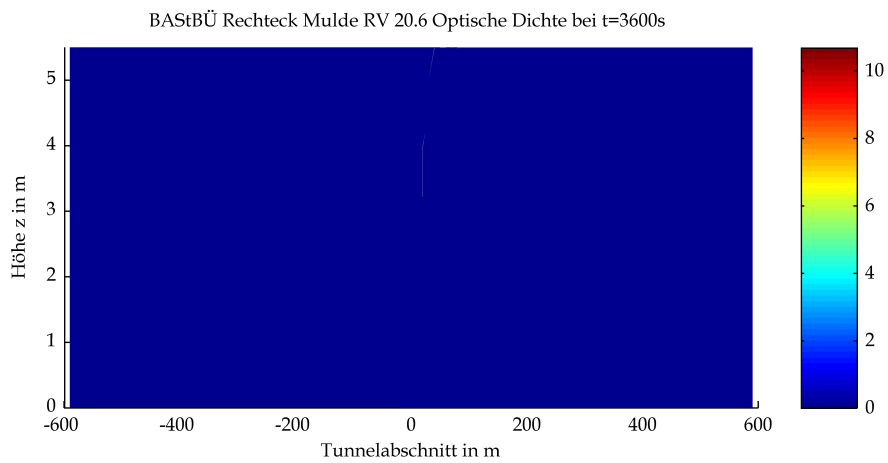
BASTbÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=3000s



BASTbÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Optische Dichte bei t=3300s



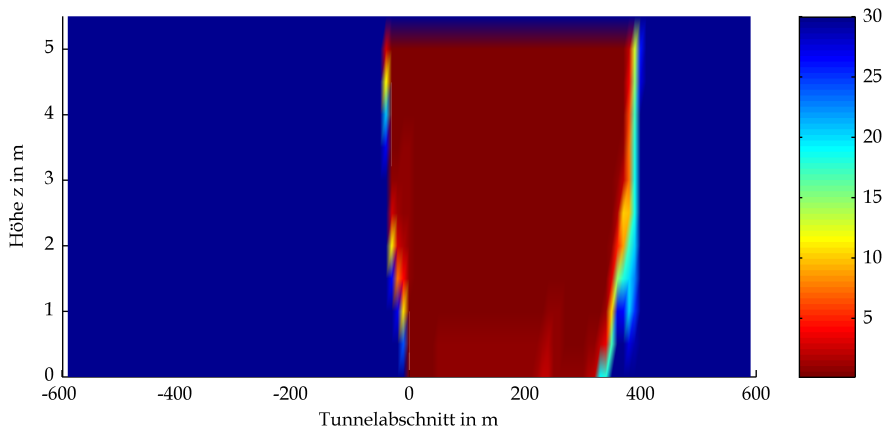
Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten



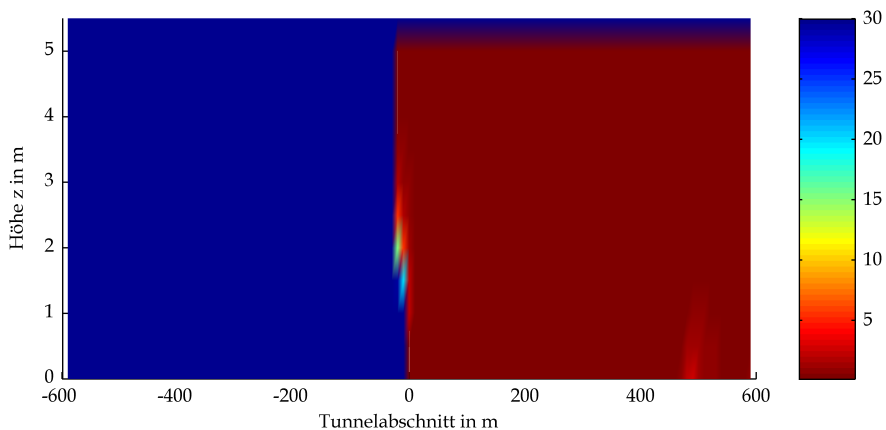
Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

## 9 Sichtweiten

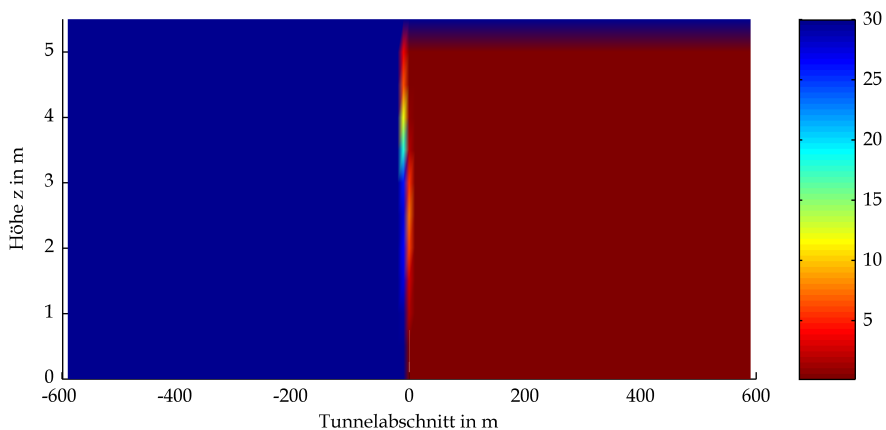
BASTBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=60s



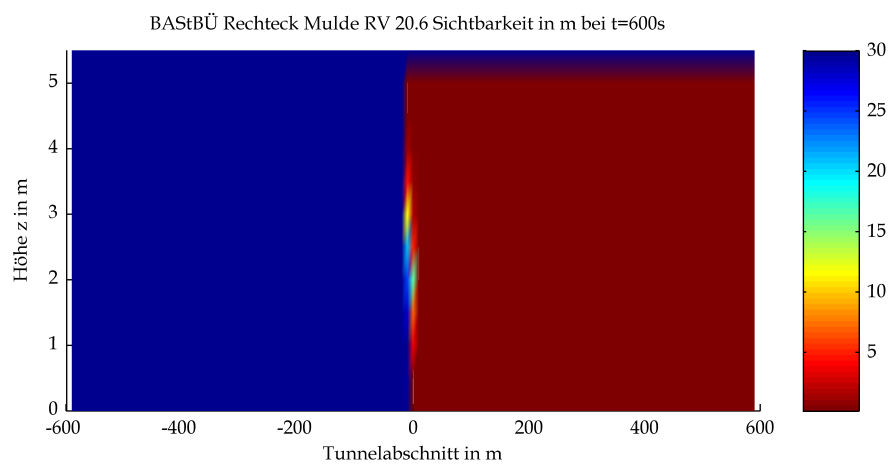
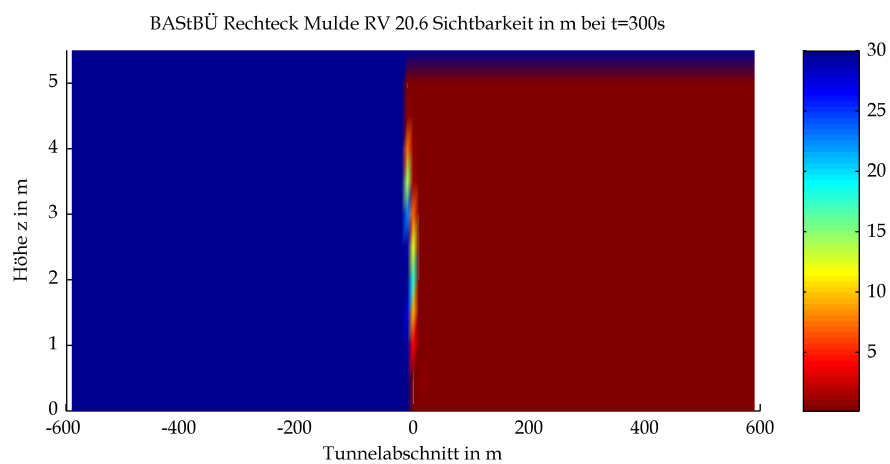
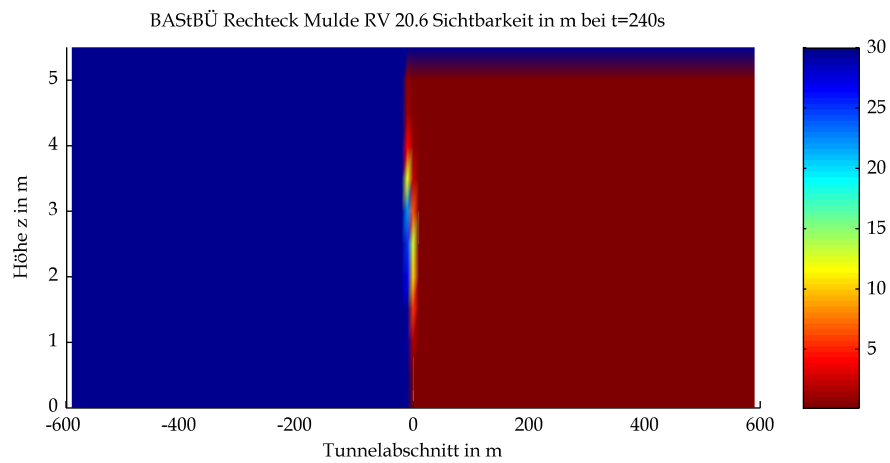
BASTBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=120s



BASTBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=180s

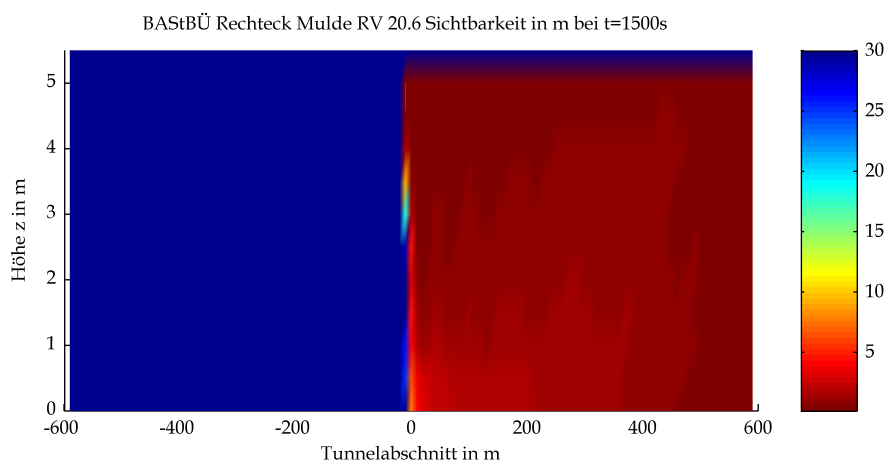
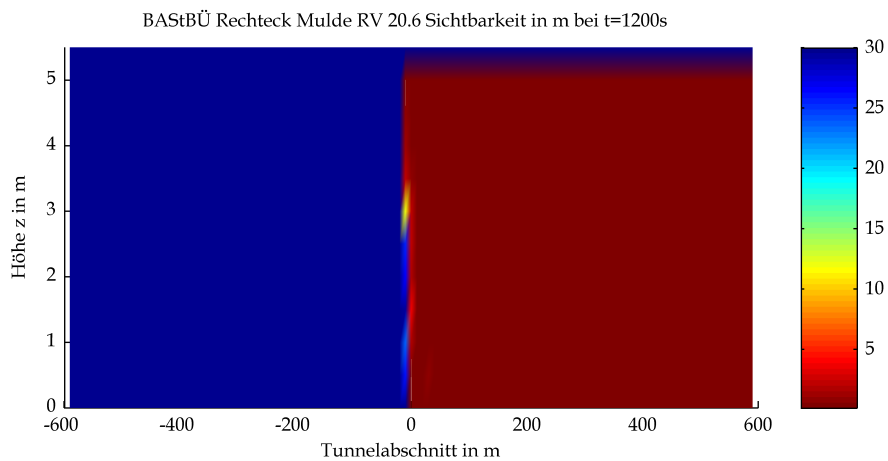
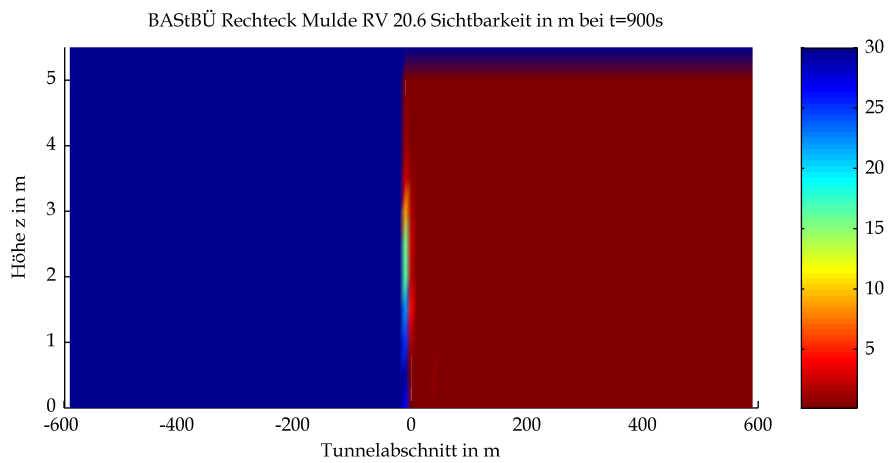


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



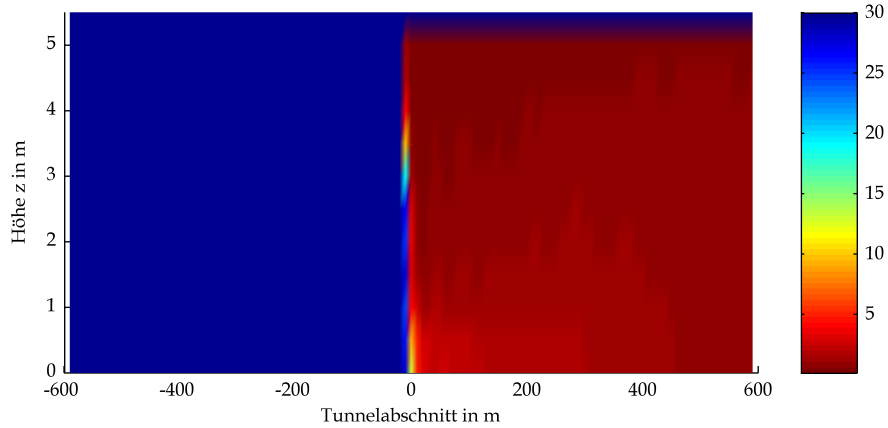
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



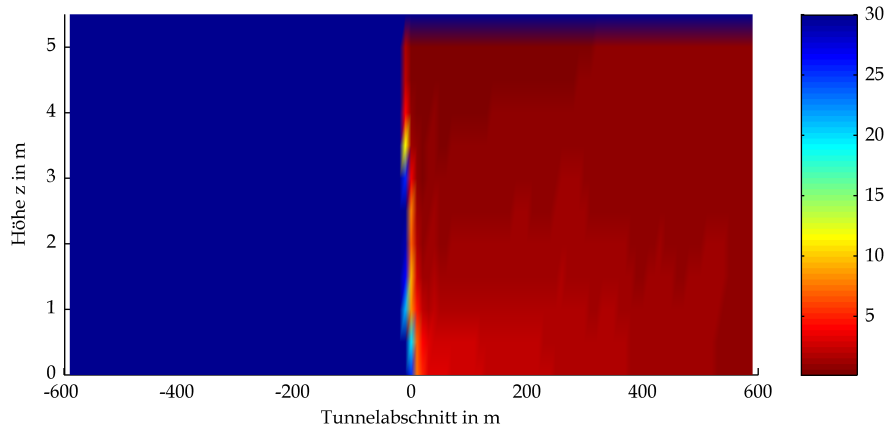


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

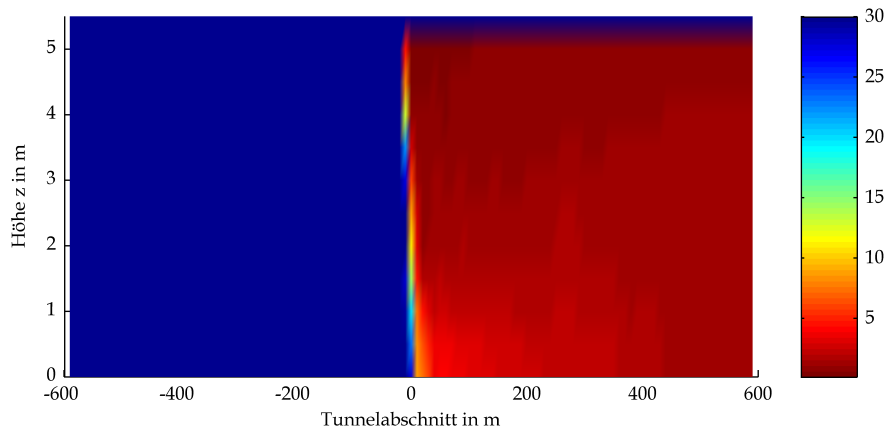
BASTBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=1800s



BASTBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=2100s

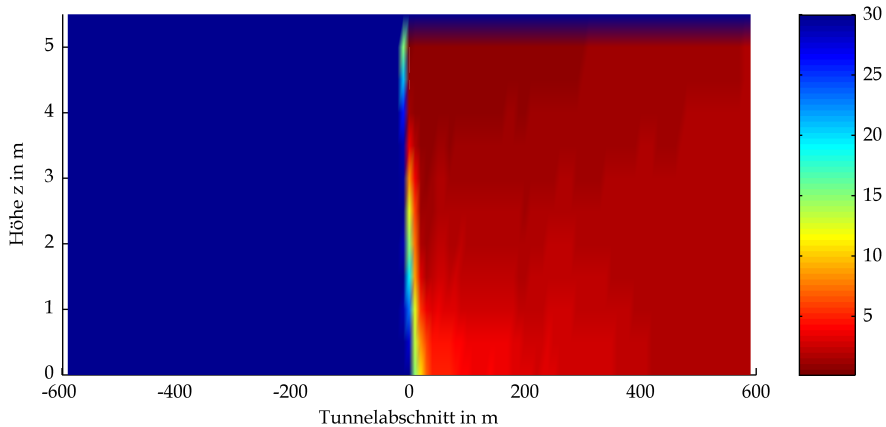


BASTBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=2400s

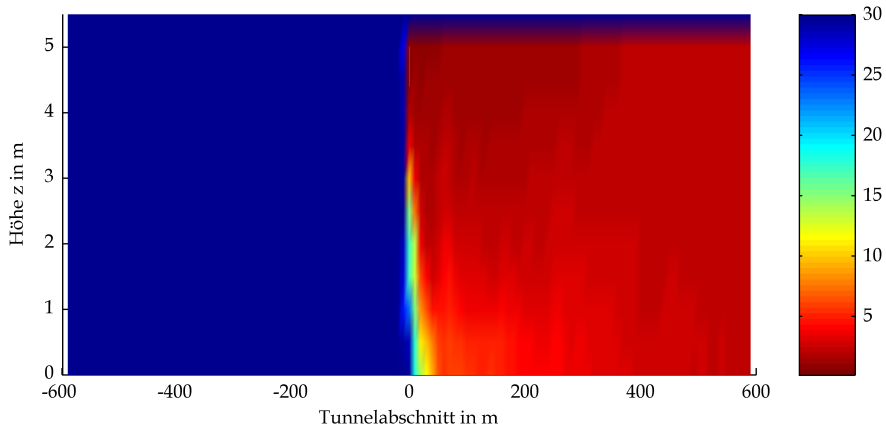


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

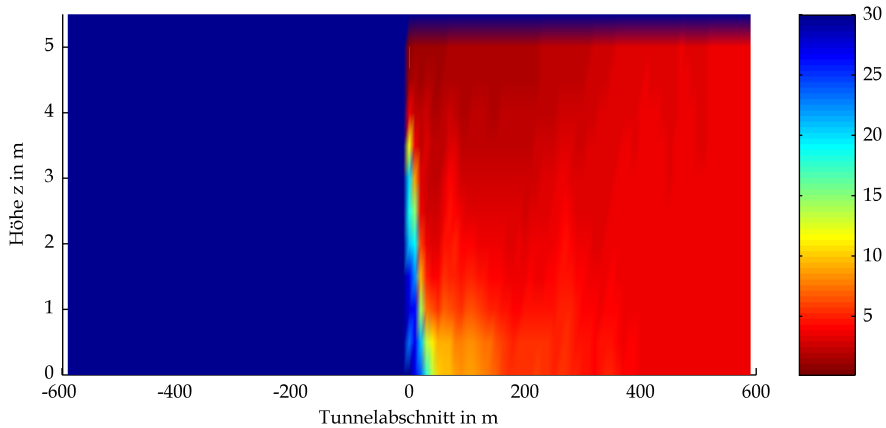
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=2700s



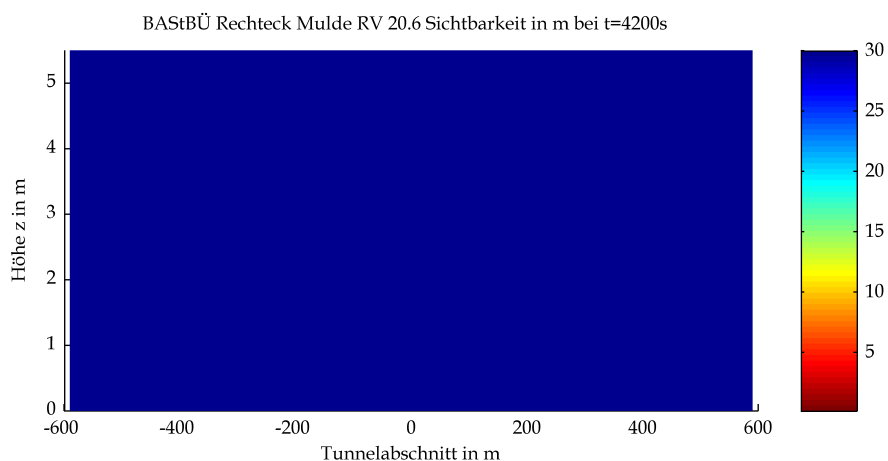
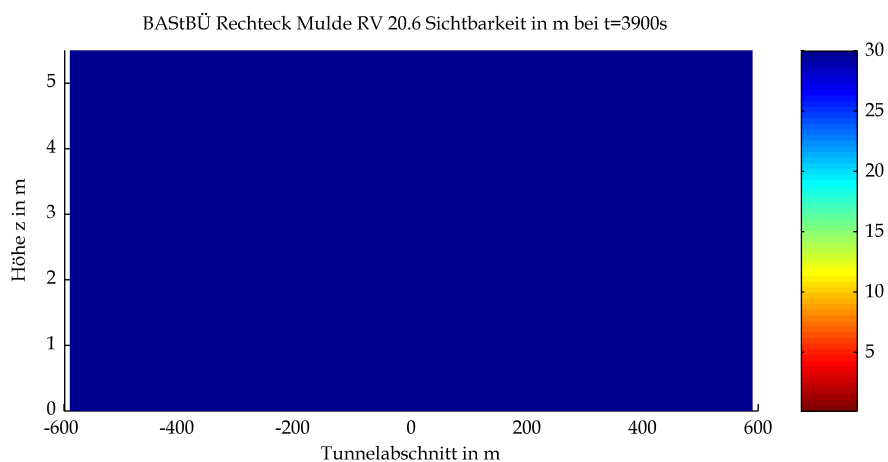
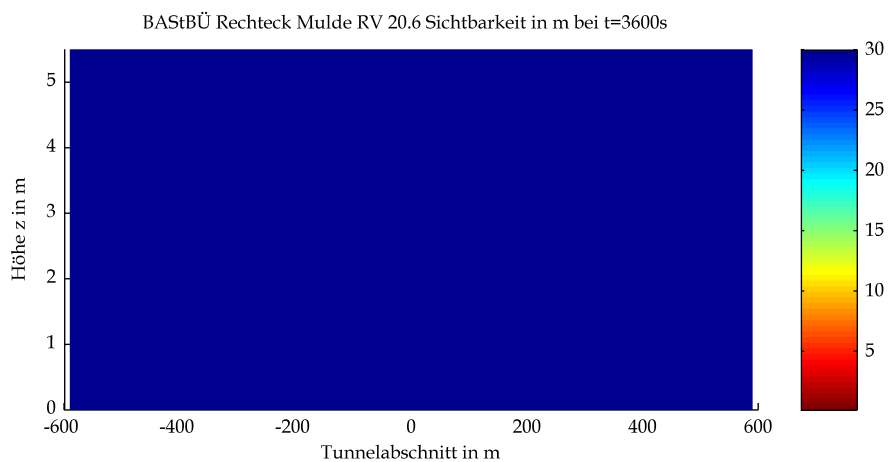
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=3000s



BAStBÜ Rechteck Mulde RV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=3300s

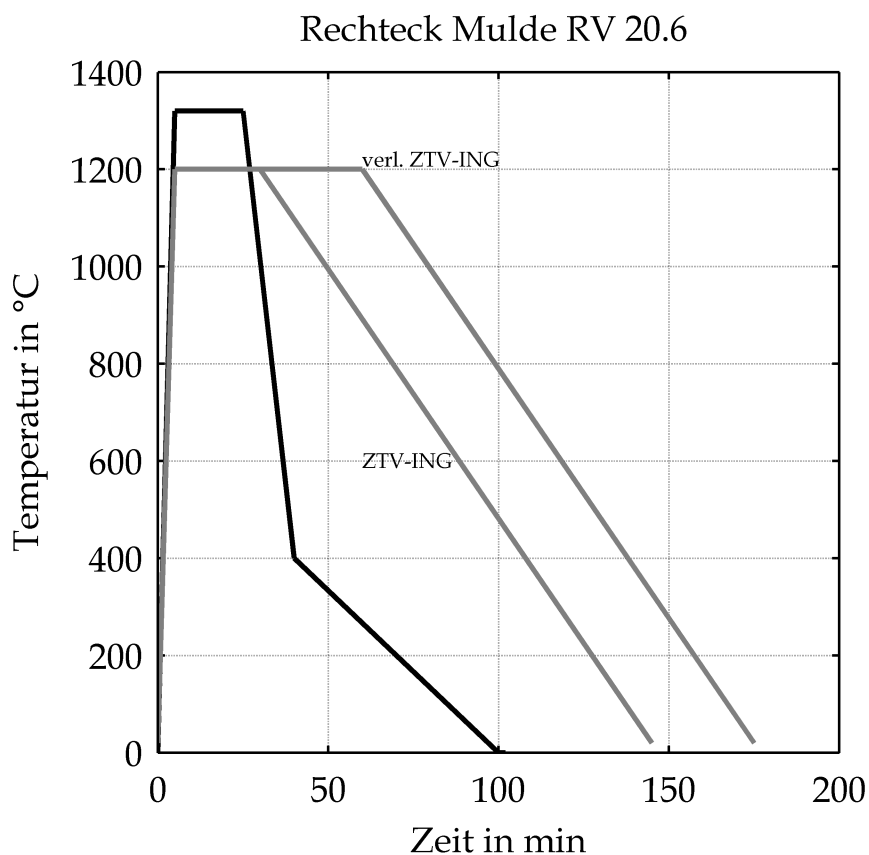


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



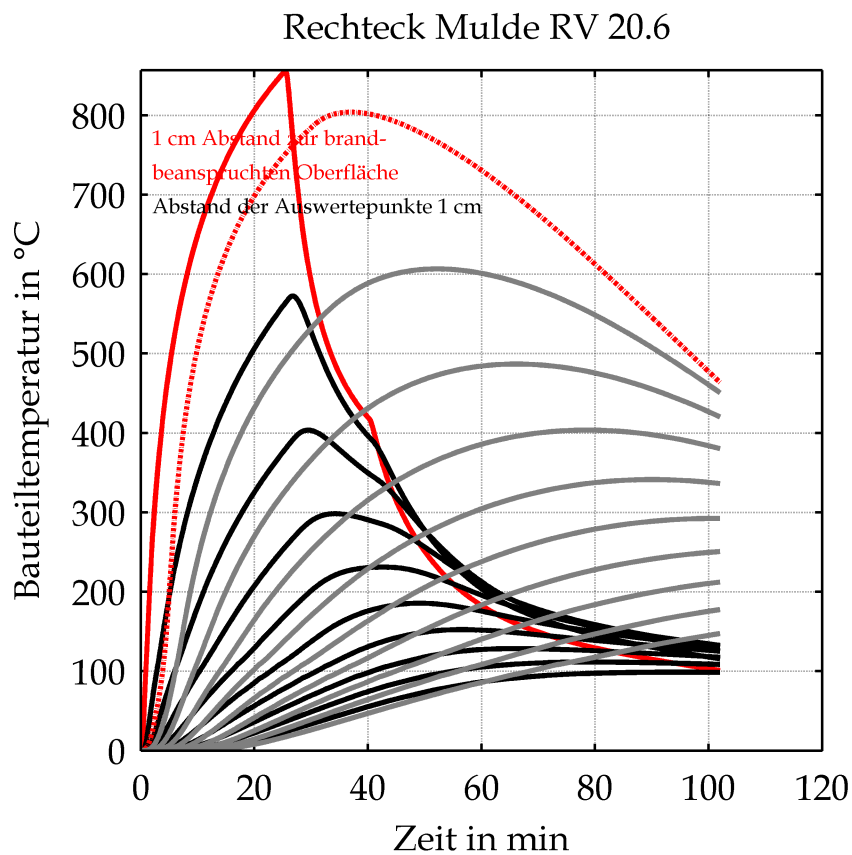
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

## IV Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf



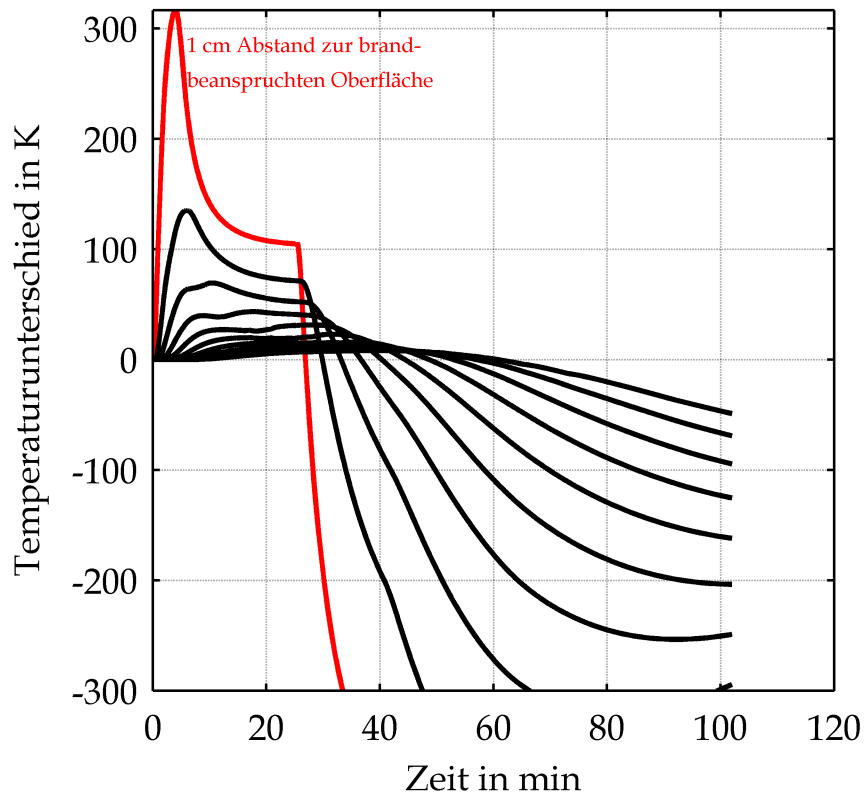
Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (schwarz) sowie Temperatur-Zeit-Verlauf nach ZTV-ING und RWS-Kurve (beide grau)

## V Durchwärmungsverhalten



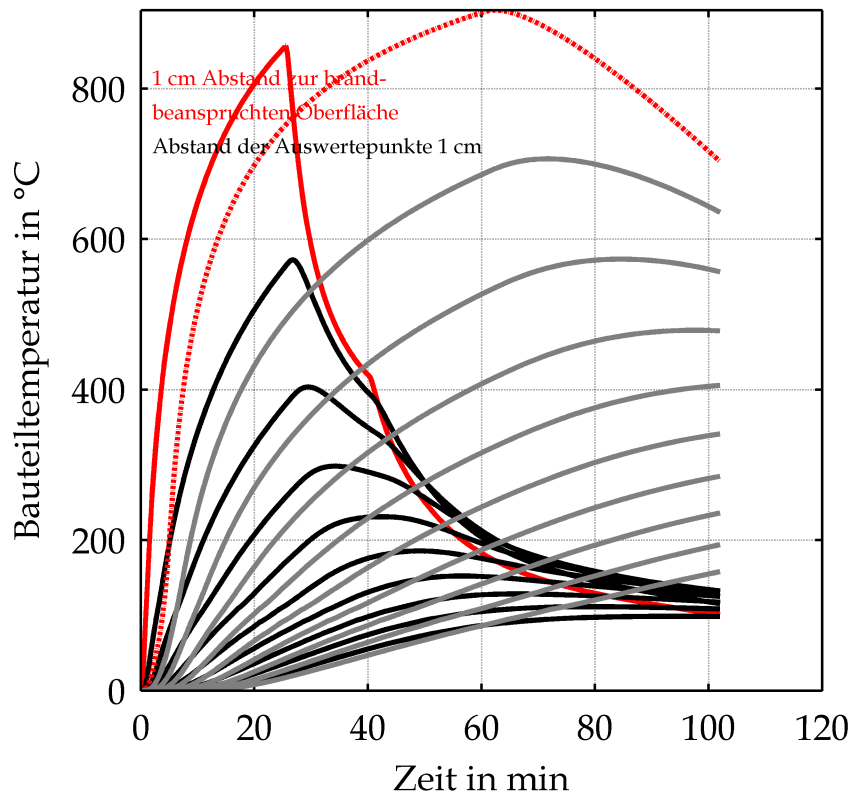
Bauteiltemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche für den bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf (rot und schwarz) und infolge ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve (rot gestrichelt, grau)

### Rechteck Mulde RV 20.6



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

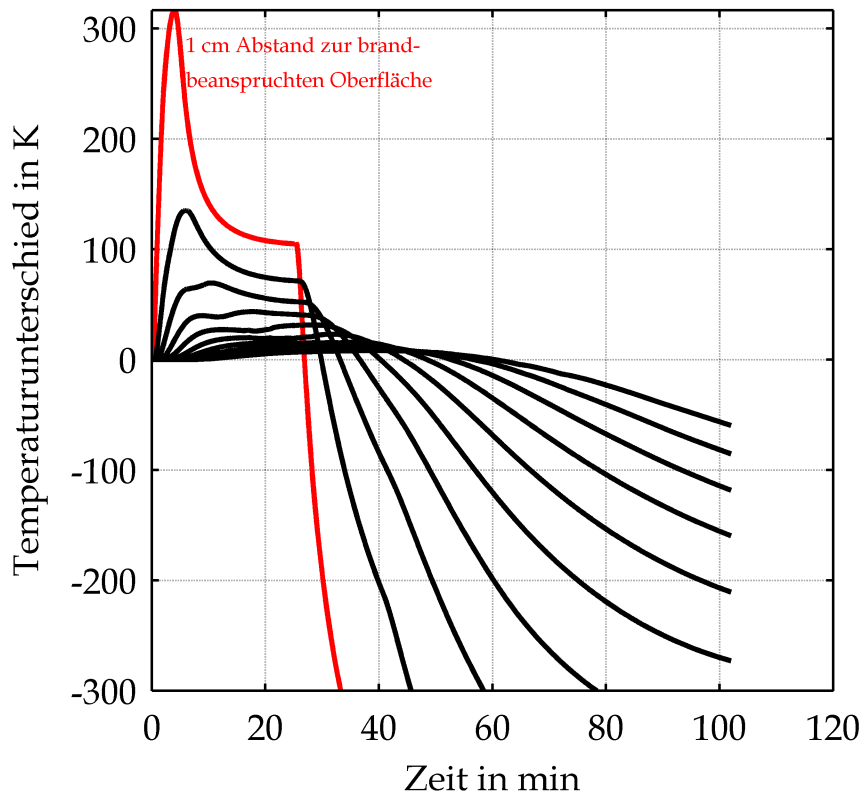
### Rechteck Mulde RV 20.6



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)

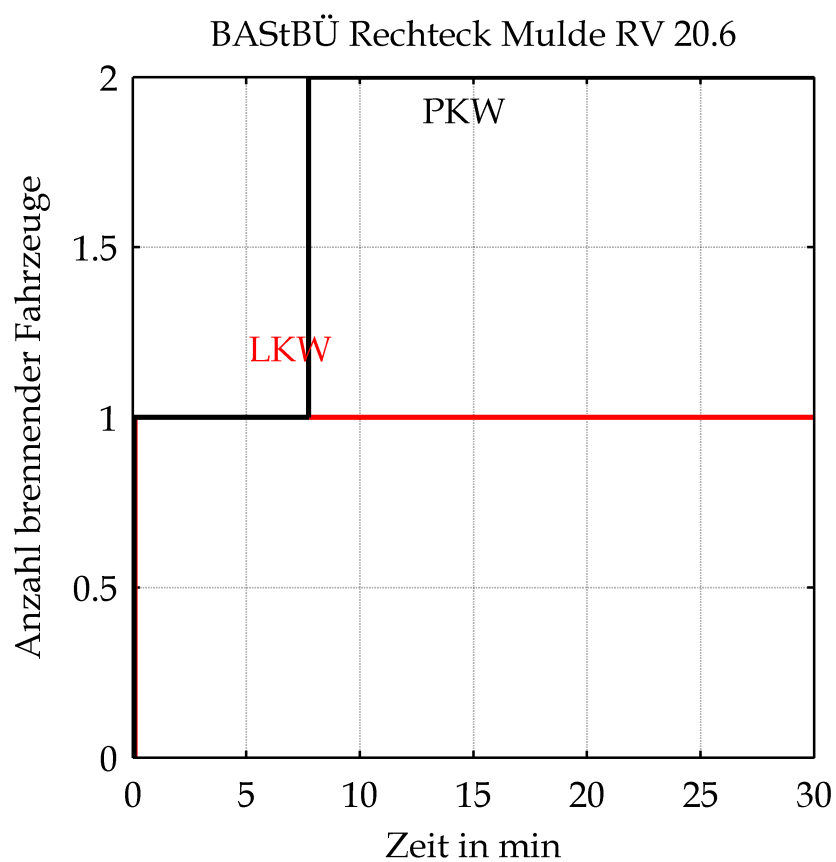


### Rechteck Mulde RV 20.6



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

## VI Brandüberschlag auf andere Fahrzeuge



Zeitlicher Verlauf der Anzahl brennender PKW (schwarz) und brennender LKW (rot)