

# **BASt FE 86.0096/2014**

## **Brandüberschlag in Straßentunneln**

### **Anlage B7: Rechteck Mulde Gegenverkehr 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 Dr. rer. nat. Peter Simon Dipl.-Ing. (BA) Tom Guder	10/2014
--------------	--	---------

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

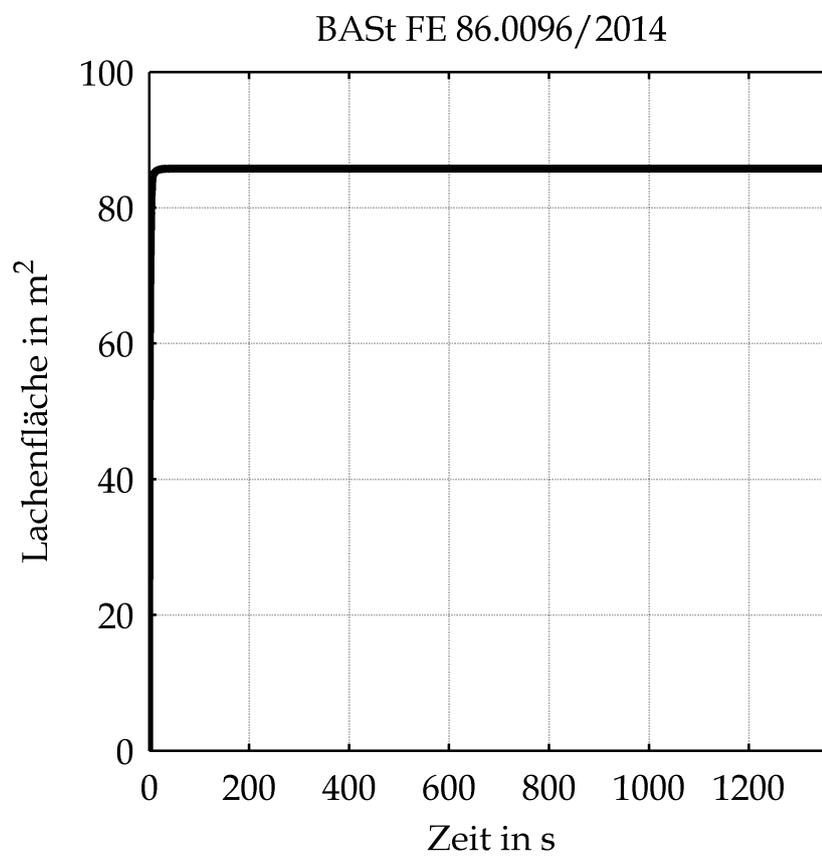
Raum für Prüfeintragungen:



## I Gesamtinhaltsverzeichnis

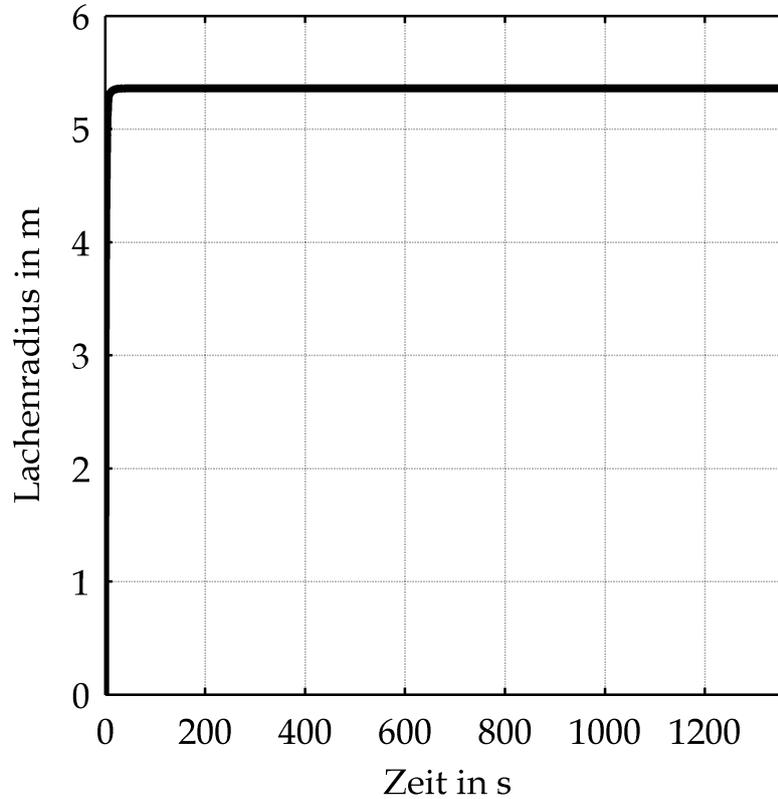
<b>II</b>	<b>Ermittlung der Lachengeometrie unter Berücksichtigung der Ventilation</b>	<b>2</b>
<b>III</b>	<b>Berechnungsergebnisse</b>	<b>14</b>
1	Energien und Bauteiltemperaturen . . . . .	14
2	Wärmestrahlung an der Tunneldecke . . . . .	22
3	Gastemperaturen . . . . .	28
4	Gasgeschwindigkeiten . . . . .	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>
<b>VI</b>	<b>Brandüberschlag auf andere Fahrzeuge</b>	<b>75</b>

## II Ermittlung der Lachengeometrie unter Berücksichtigung der Ventilation



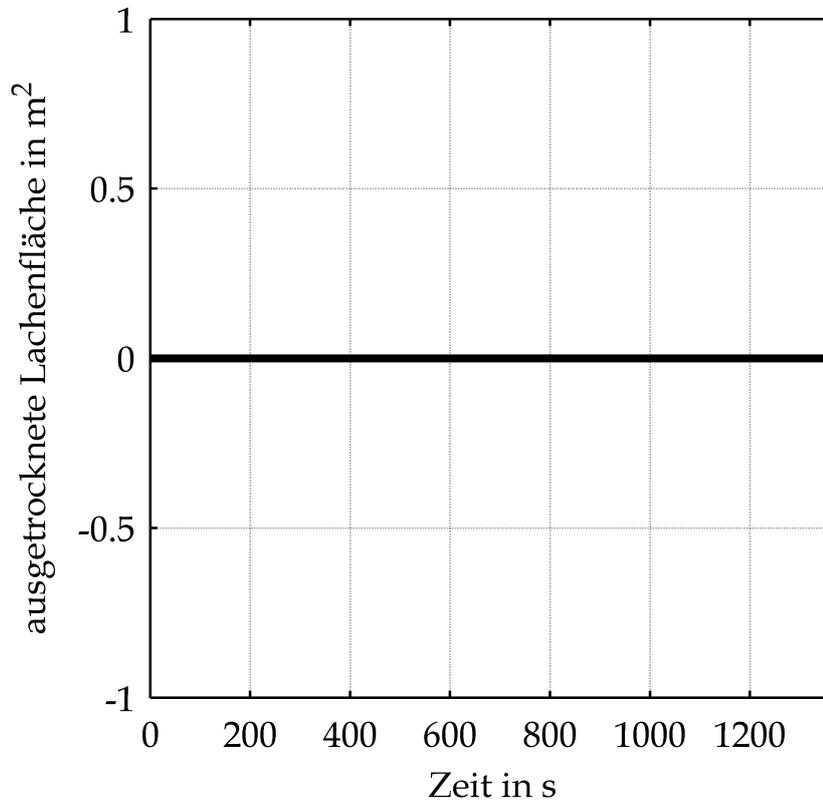
Fläche der Lache in Abhängigkeit von der Zeit

### BASSt FE 86.0096/2014



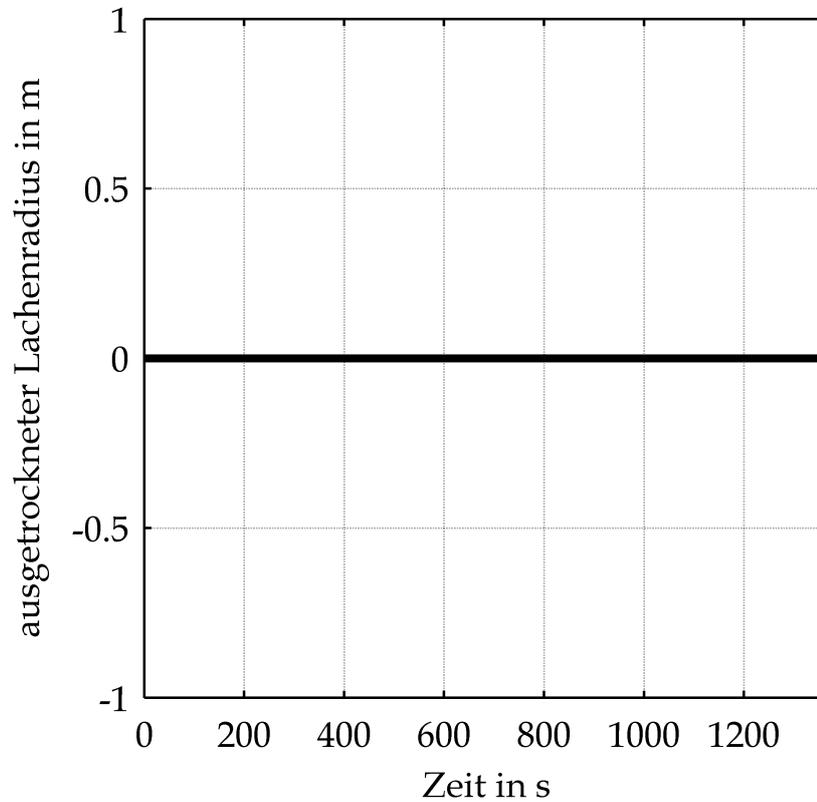
Radius der Lache in Abhängigkeit von der Zeit

### BASt FE 86.0096/2014

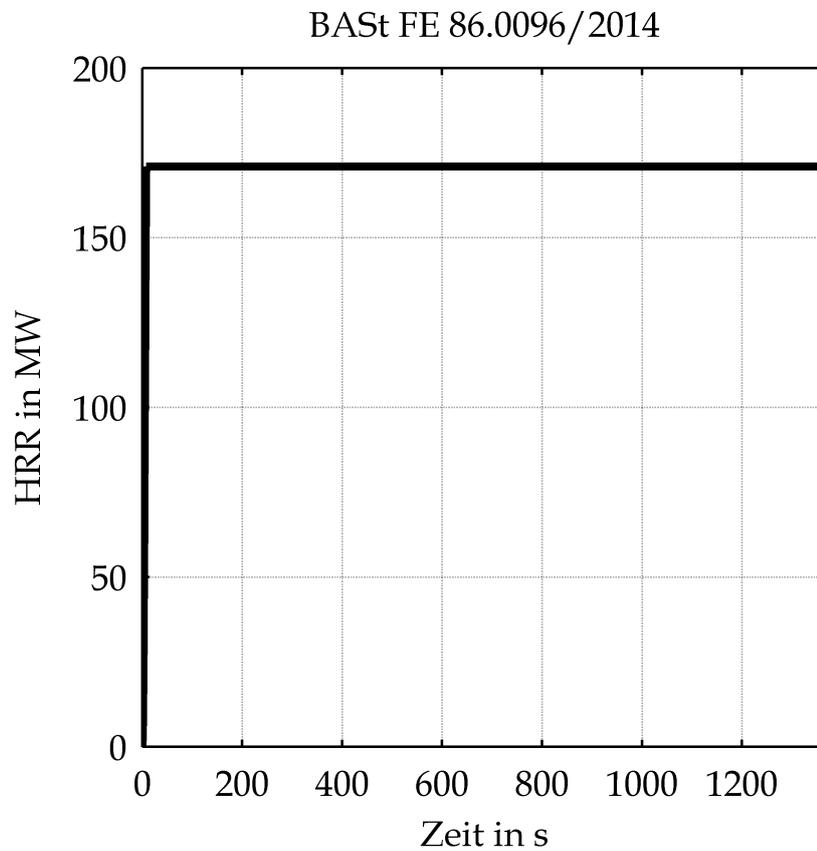


Fläche der ausgetrockneten Lache in Abhängigkeit von der Zeit

### BASSt FE 86.0096/2014

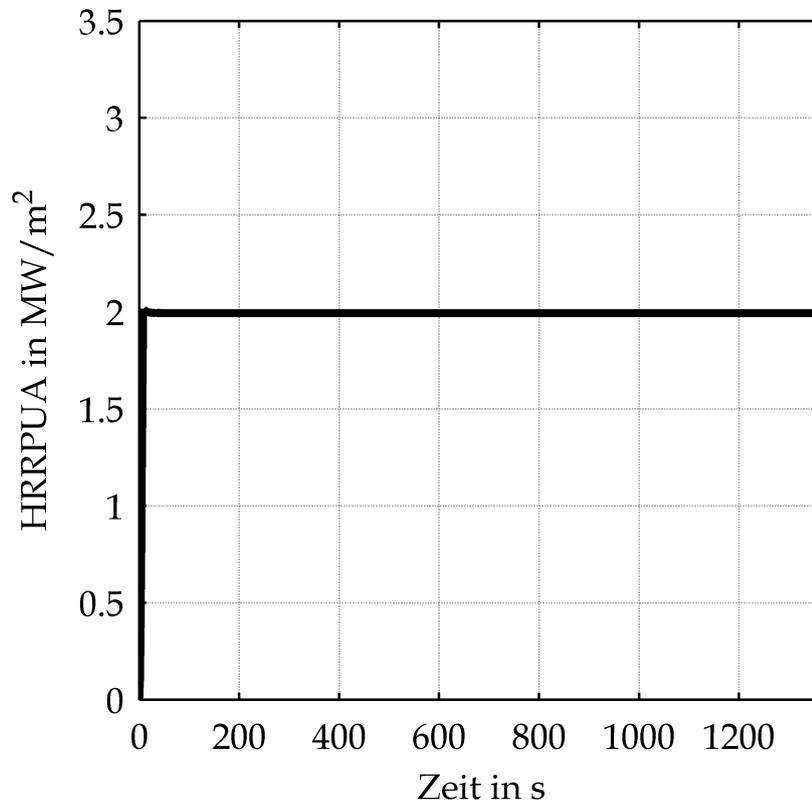


Radius der ausgetrockneten Lache in Abhängigkeit von der Zeit



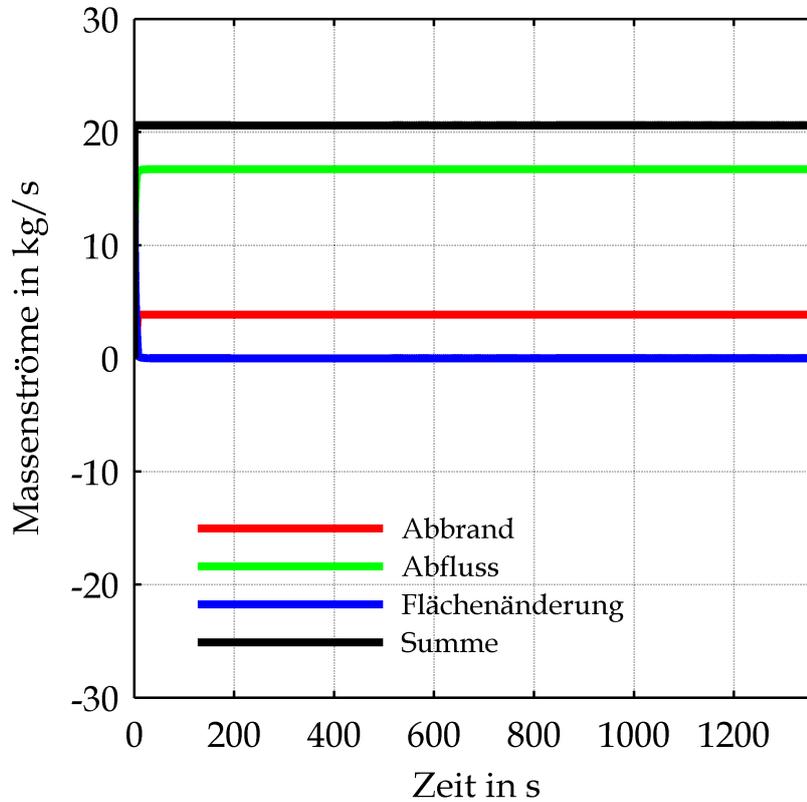
Wärmefreisetzungsrate (HRR) in Abhängigkeit von der Zeit

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

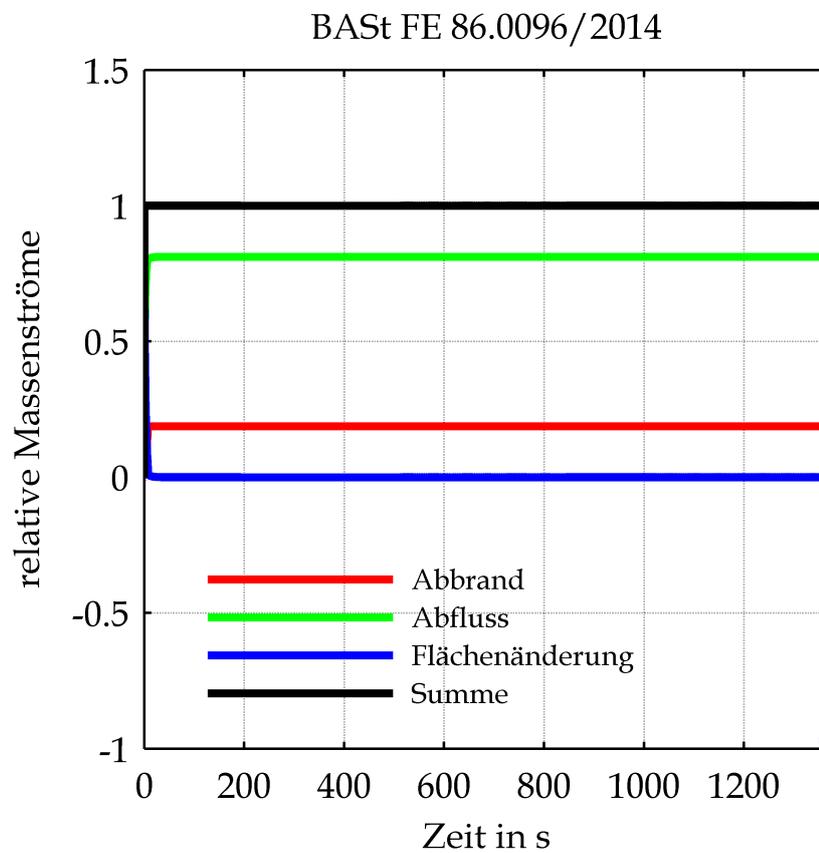


Wärmefreisetzungsrate pro Flächeneinheit (HRRPUA)  
in Abhängigkeit von der Zeit

### BASSt FE 86.0096/2014

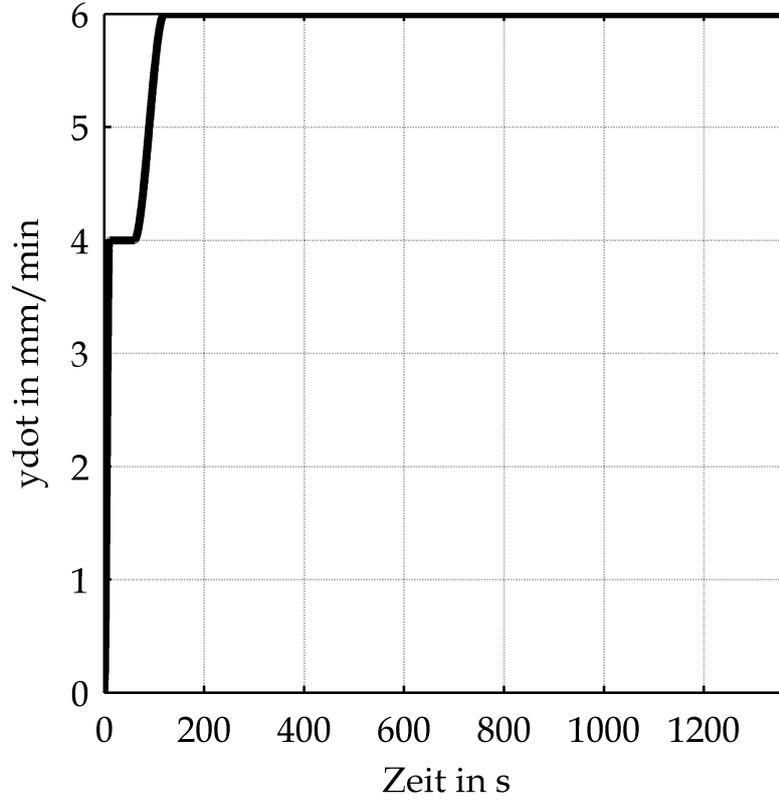


Gesamtübersicht der Massenströme in Abhängigkeit von der Zeit



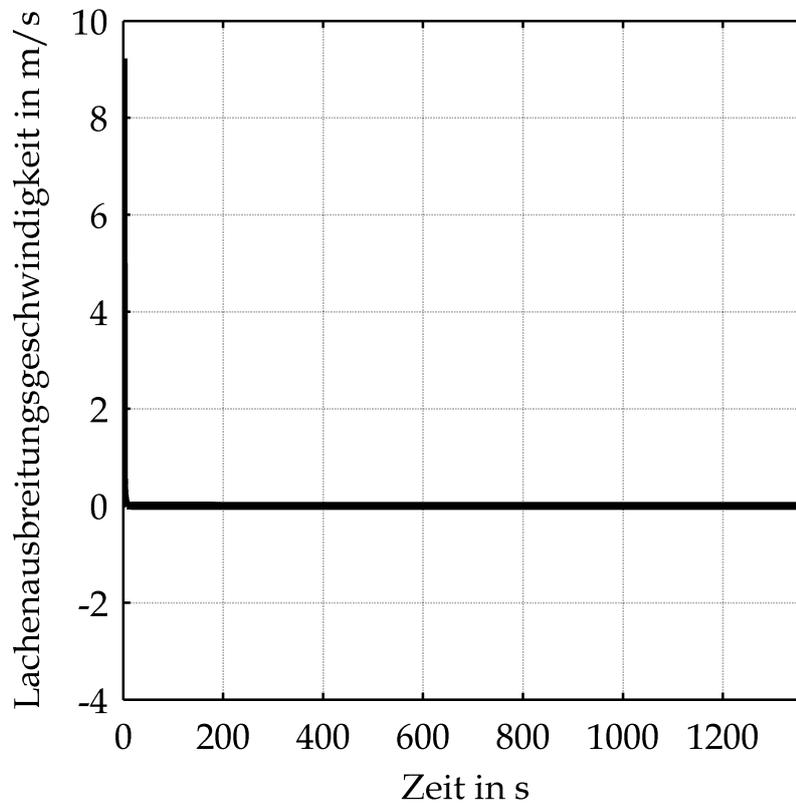
Gesamtübersicht der auf die austretende Flüssigkeit bezogenen Massenströme in Abhängigkeit von der Zeit

BASSt FE 86.0096/2014

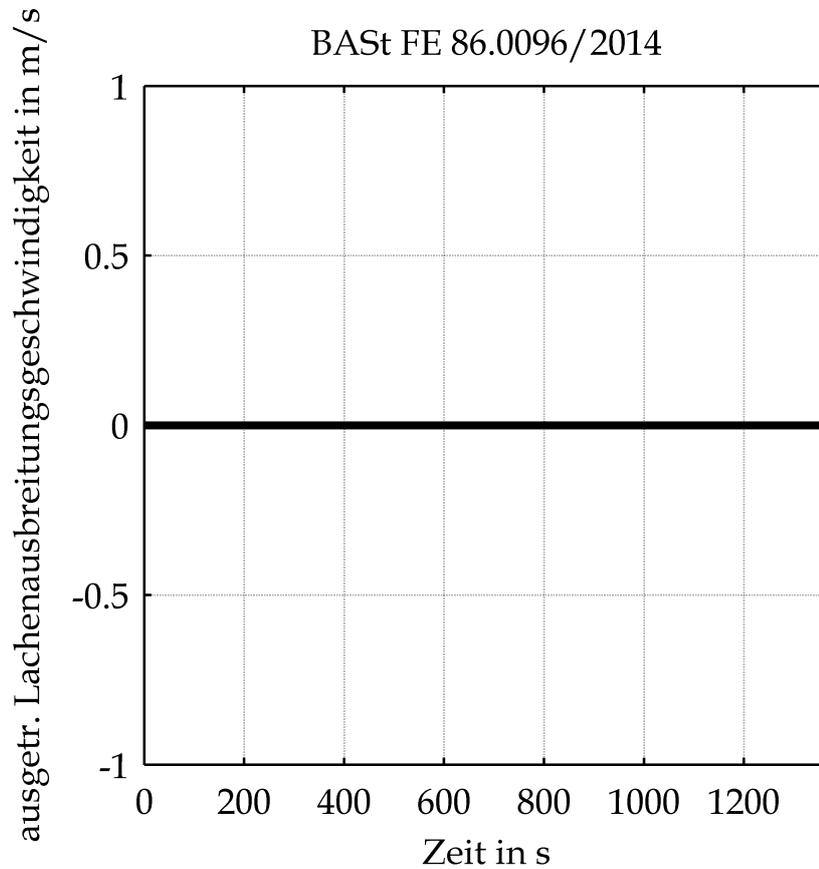


Vorgegebene Abbrandgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit

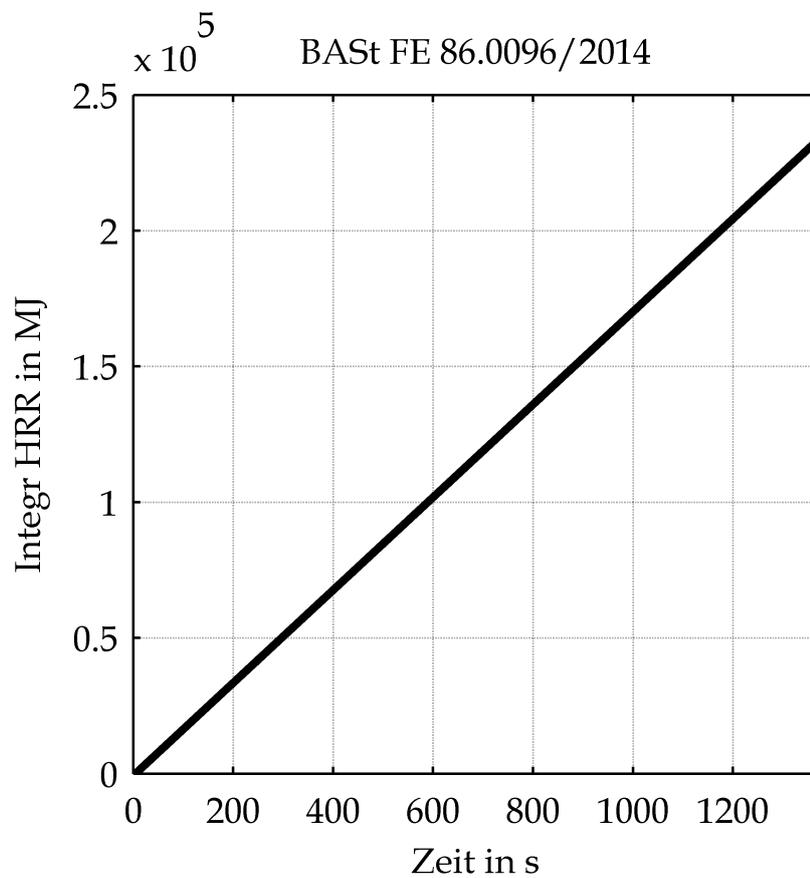
### BASt FE 86.0096/2014



Ausbreitungsgeschwindigkeit der Lache in Abhängigkeit von der Zeit



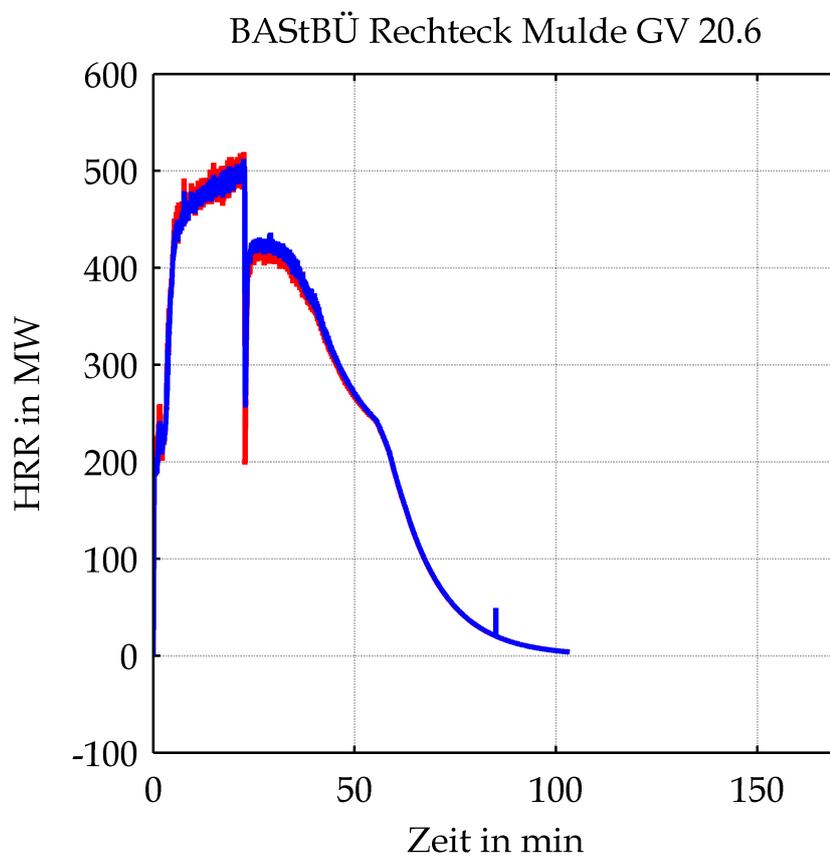
Austrocknungsgeschwindigkeit der Lache in  
Abhängigkeit von der Zeit



Freigesetzte Gesamtenergie in Abhängigkeit von der  
Zeit

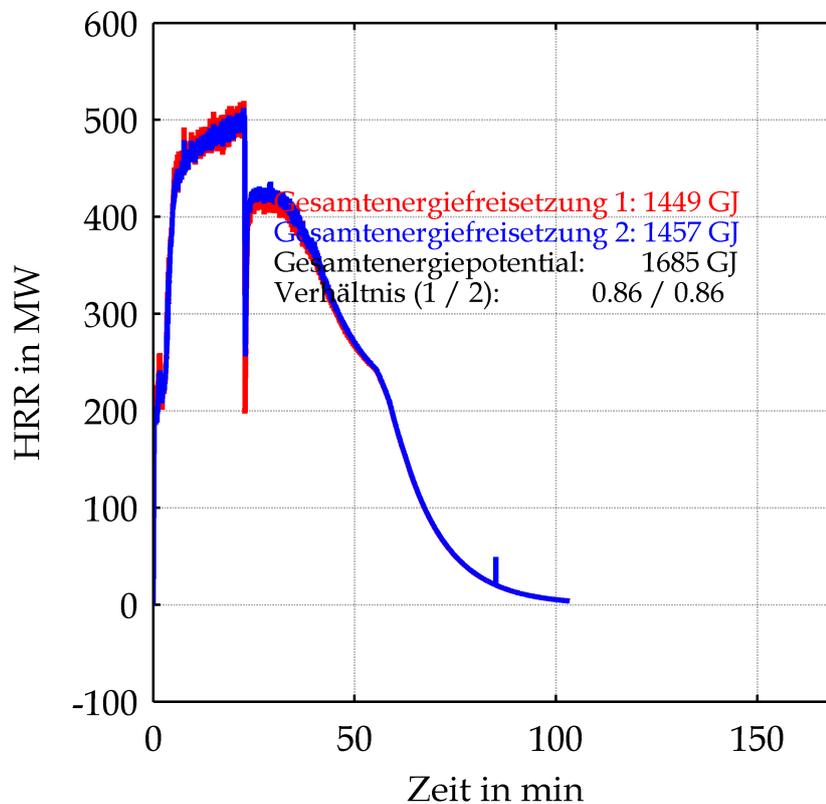
### III Berechnungsergebnisse

#### 1 Energien und Bauteiltemperaturen



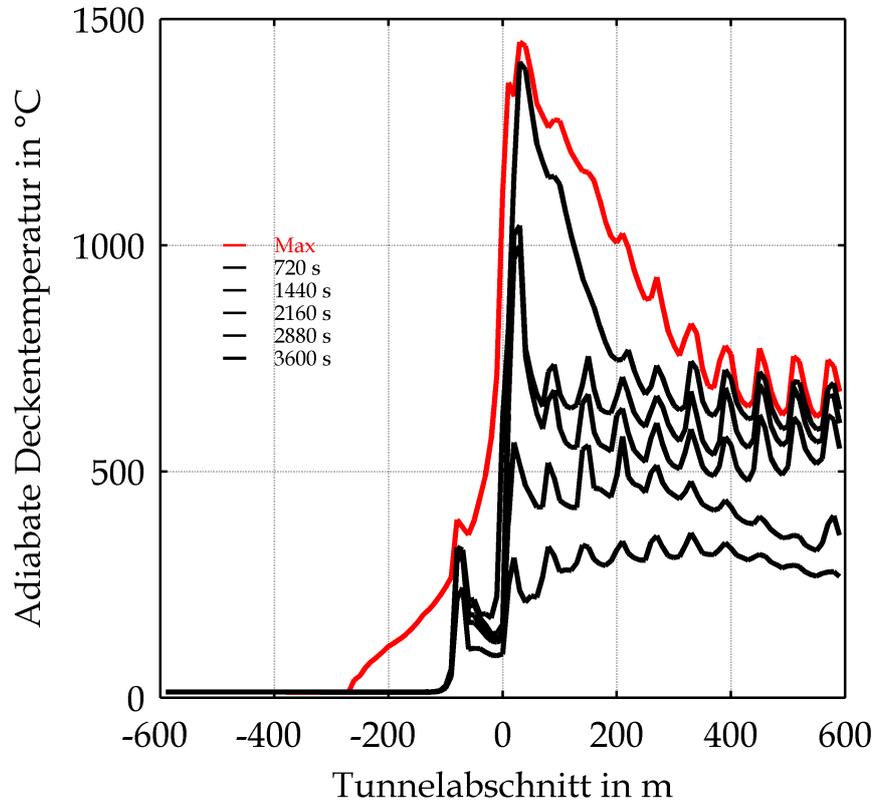
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Wärmefreisetzungsrate in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Integral der Energiedichte; blau: Energieverluste an den Modellgrenzen)

### BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6

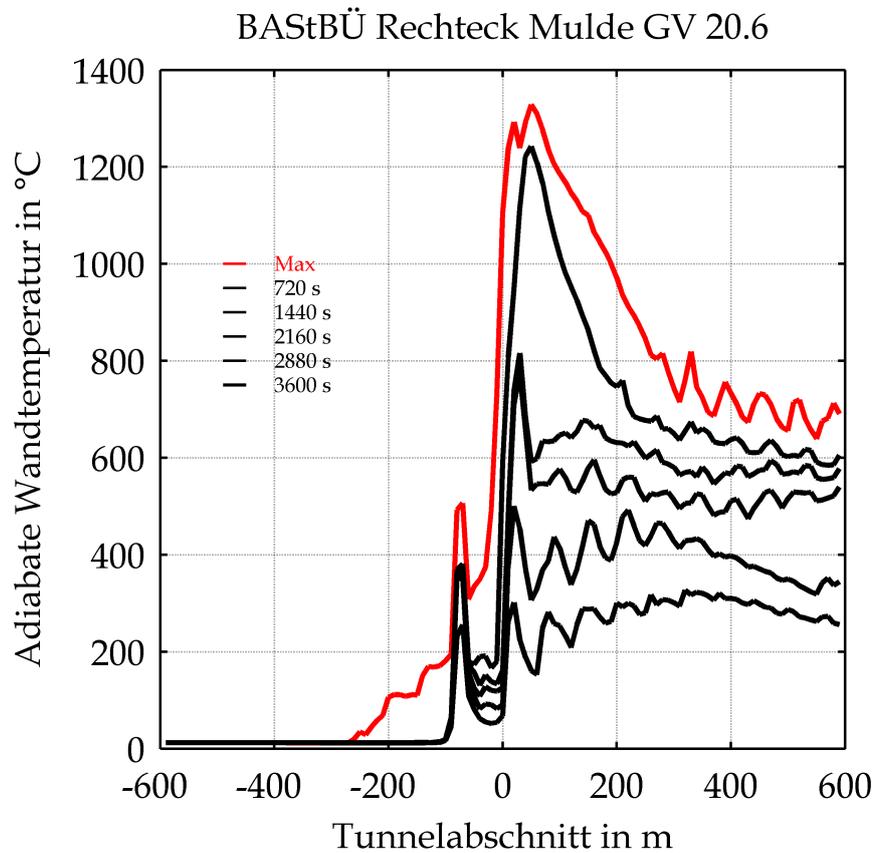


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Wärmefreisetzungsrate in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Integral der Energiedichte; blau: Energieverluste an den Modellgrenzen) sowie Vergleich der Gesamtenergiefreisetzung mit dem Gesamtenergiepotential

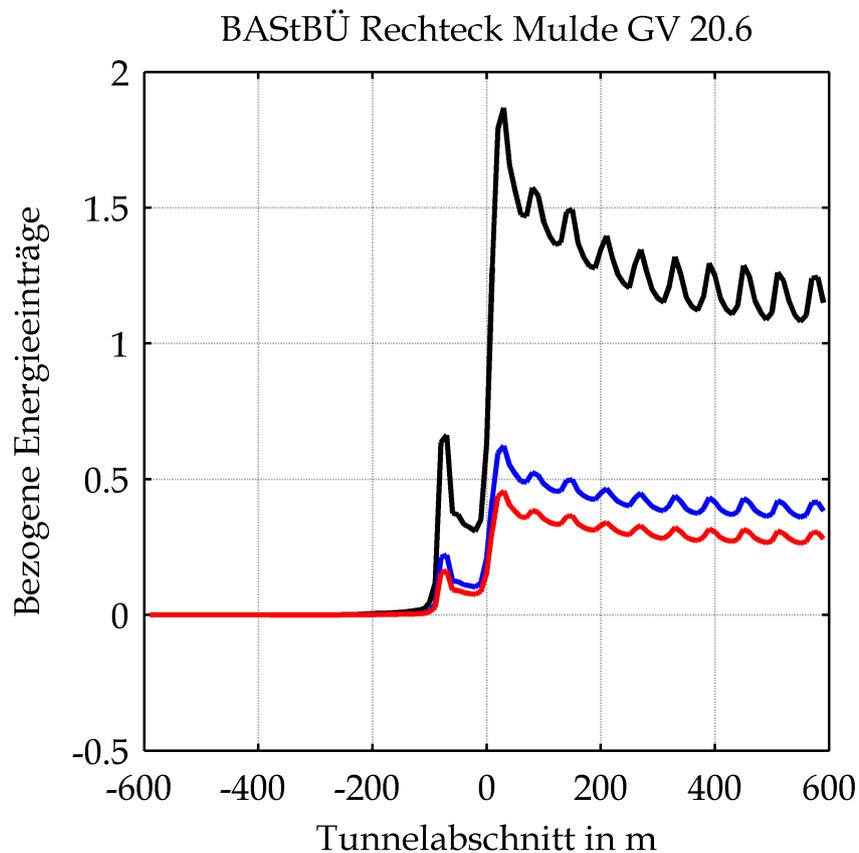
### BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6



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)

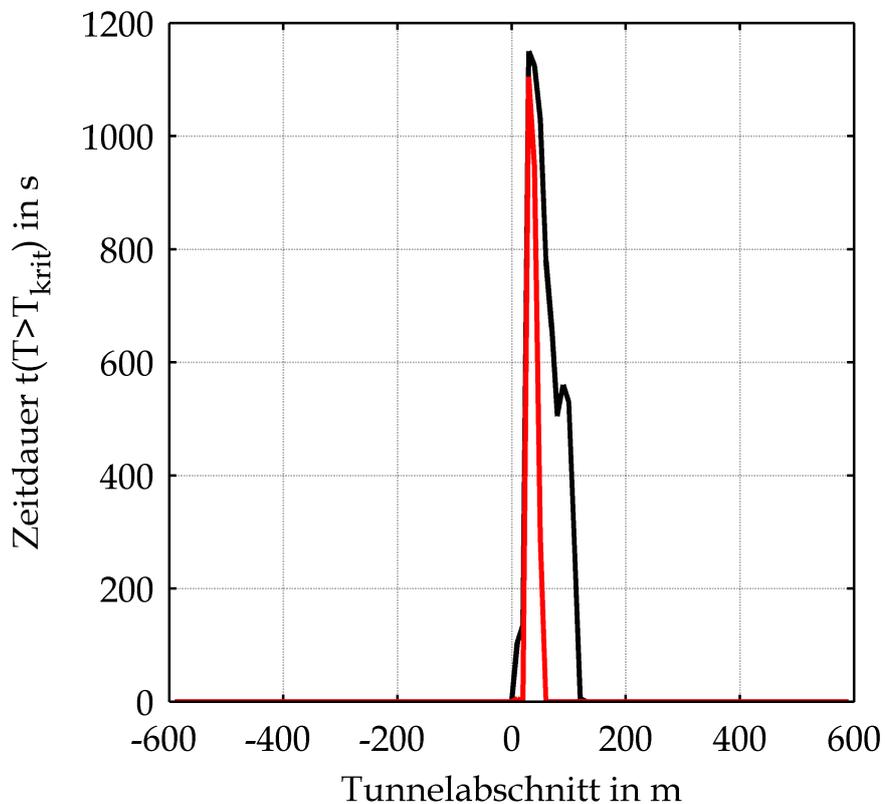


Mittels CFD-Berechnung ermittelte adiabate Wandtemperaturen in 3 m Höhe in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Maximalwerte, schwarz: Temperaturen in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer)



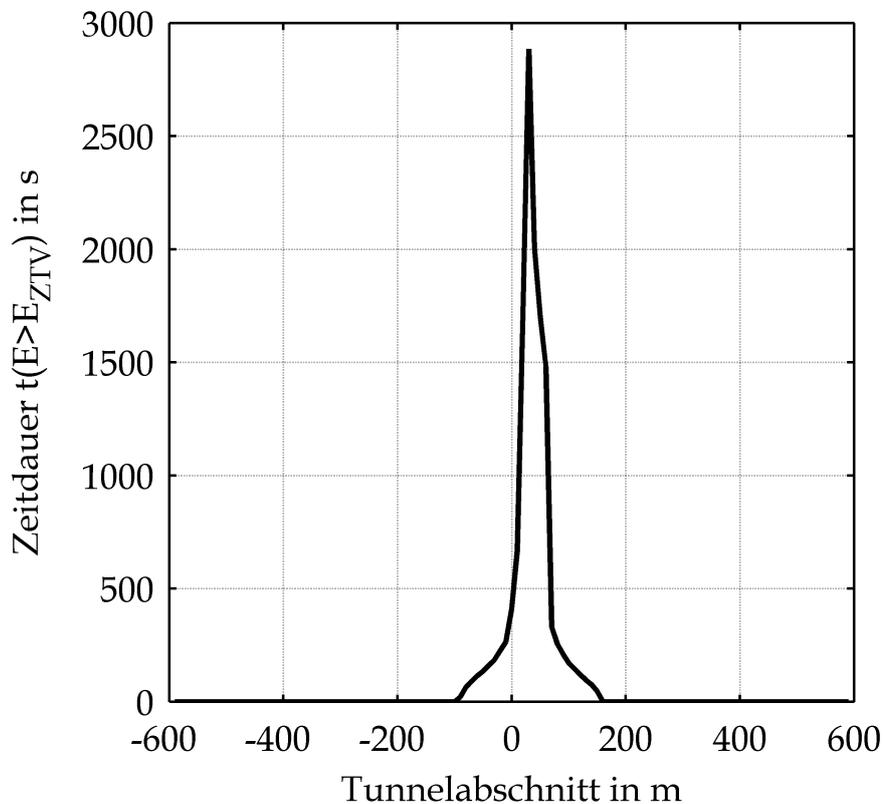
Mittels CFD-Berechnung ermittelte, auf den Energieeintrag der ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve bezogene Energieeinträge in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (blau: Basiswert ZTV-ING 150 min, schwarz: Basiswert ZTV-ING 30 min)

### BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6



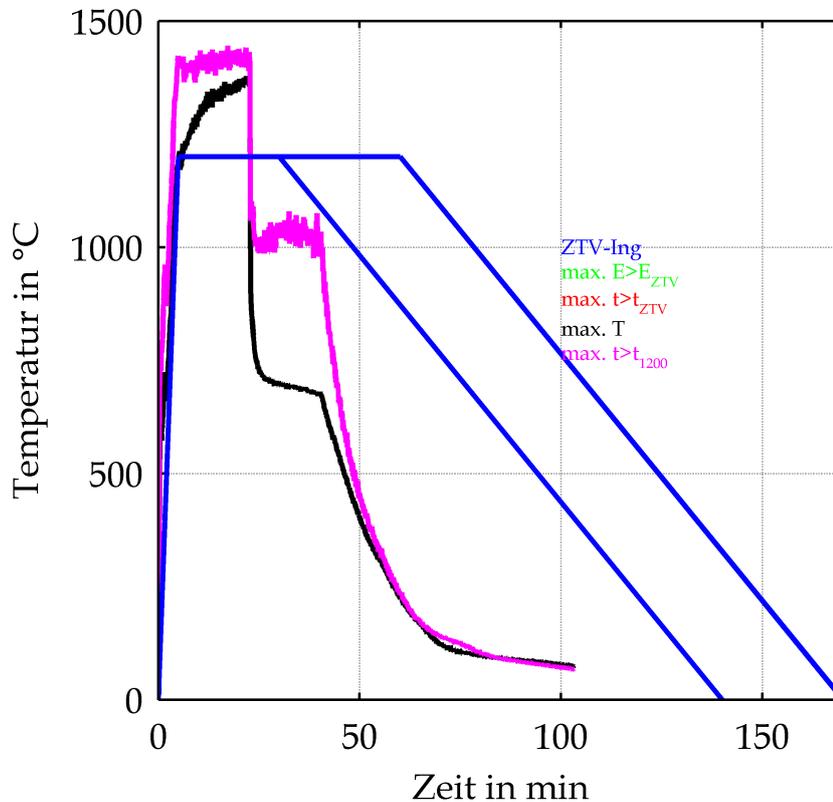
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Zeitdauer der adiabaten Deckentemperatur größer 1200°C (schwarz) bzw. größer 1350°C (rot) in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung

### BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6



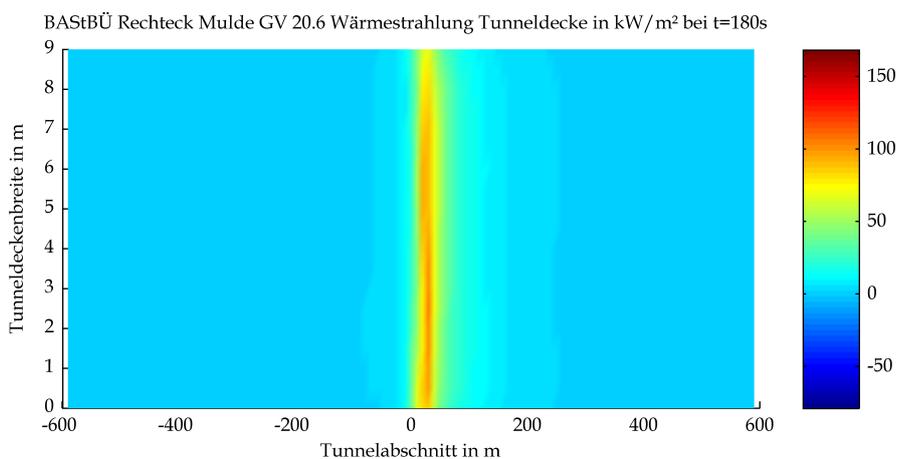
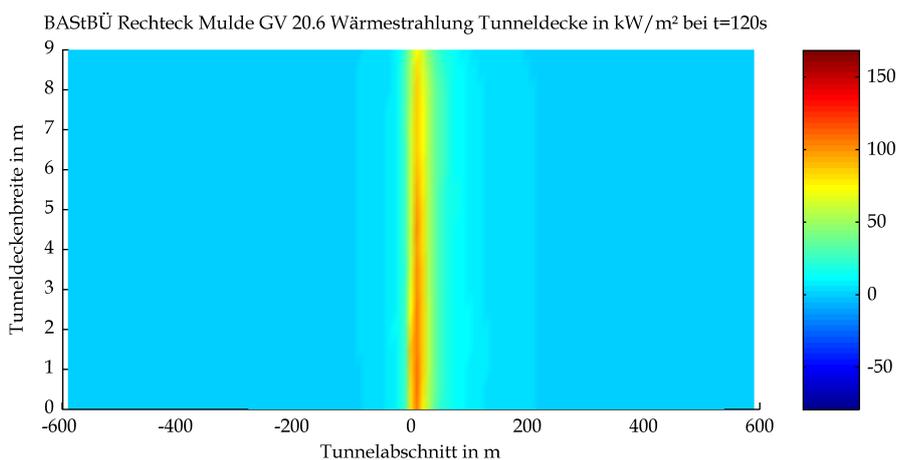
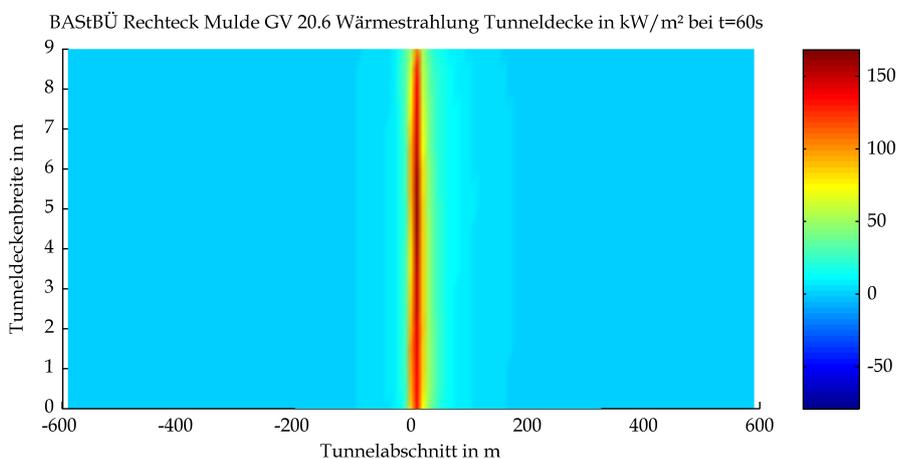
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Zeitdauer mit im Vergleich zur ZTV-ING-Kurve höheren Energieeinträgen in die Tunneldecke in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung

### BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6

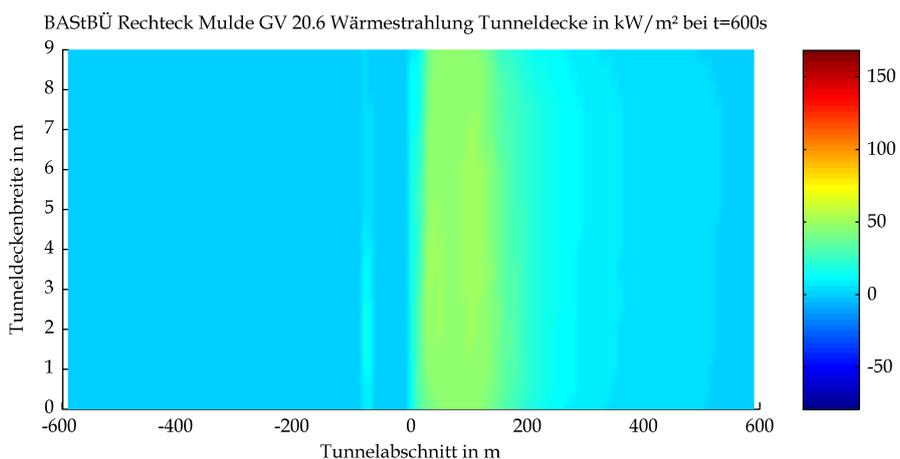
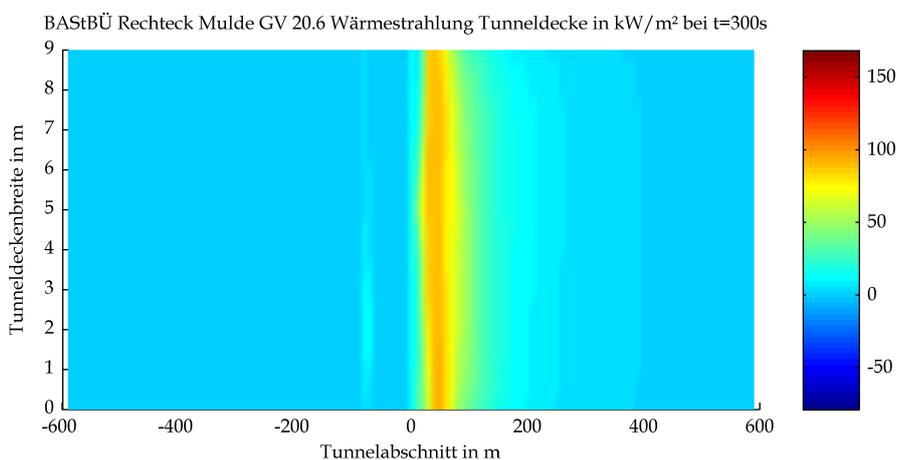
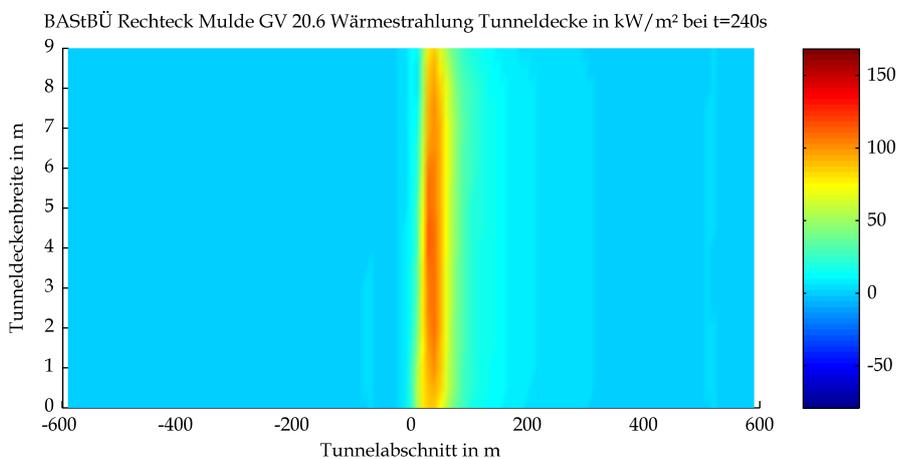


Mittels CFD-Berechnung ermittelte  
Temperatur-Zeit-Verläufe für die Maximalwerte der  
zuvor dargestellten Kriterien unter Berücksichtigung der  
Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung  
(blau: ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Verlauf)

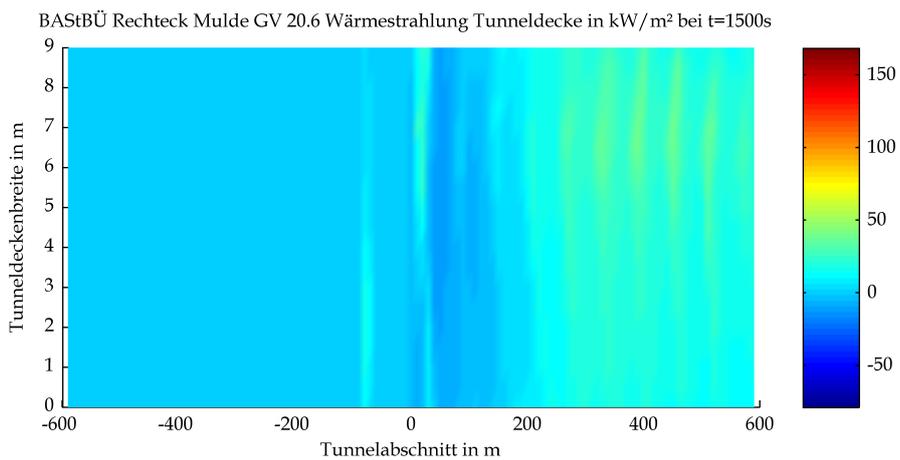
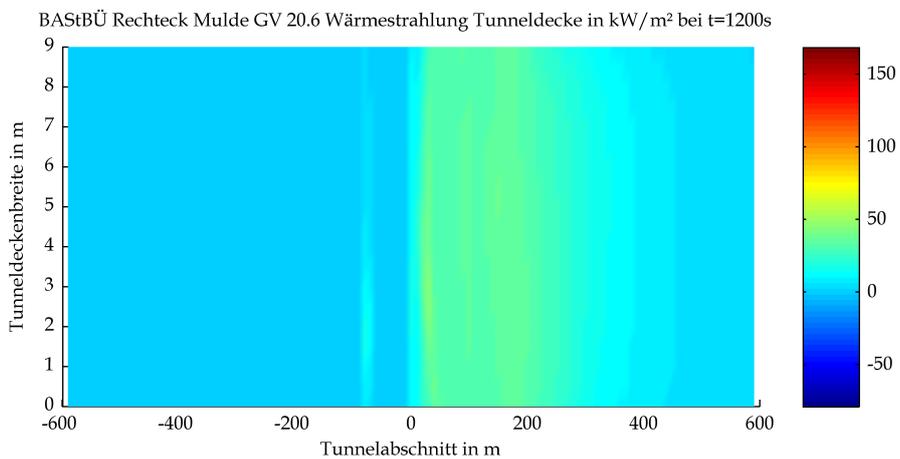
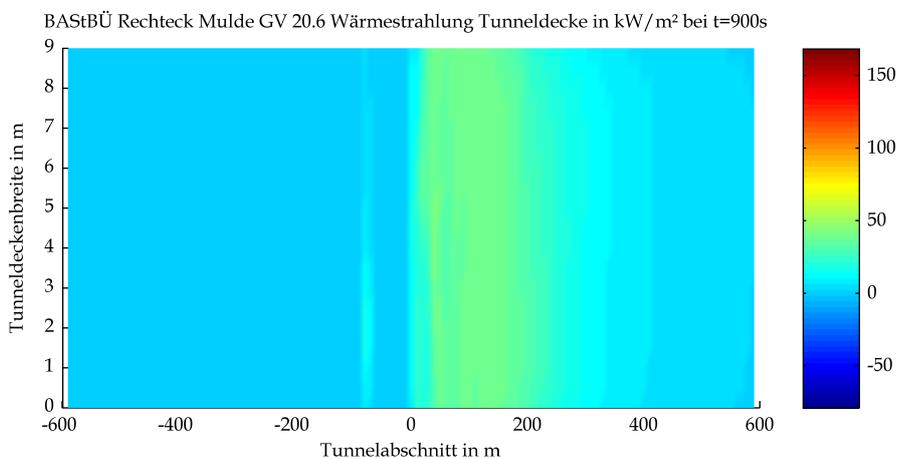
## 2 Wärmestrahlung an der Tunneldecke



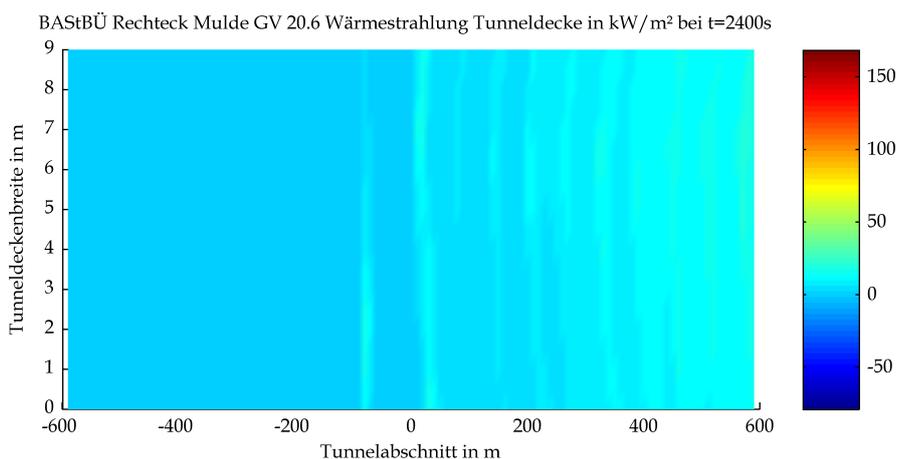
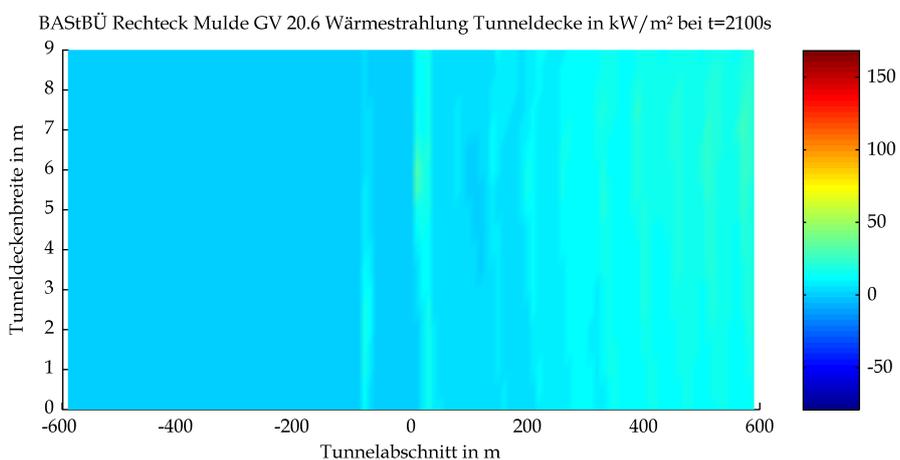
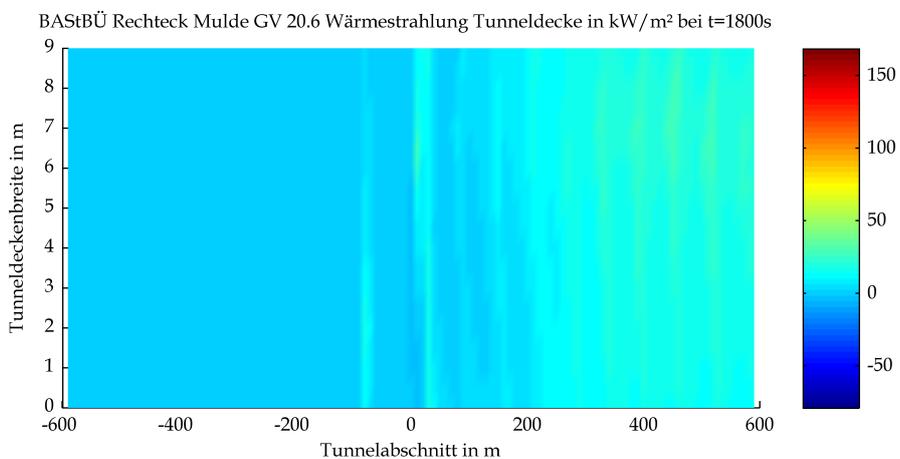
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



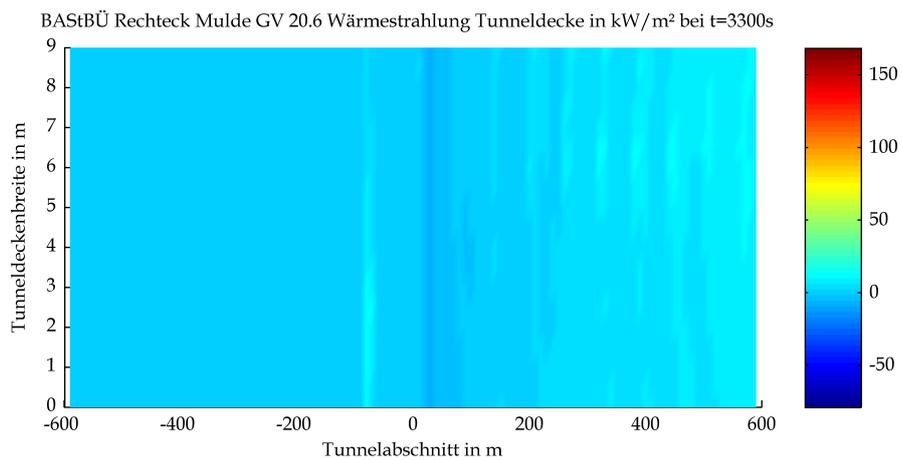
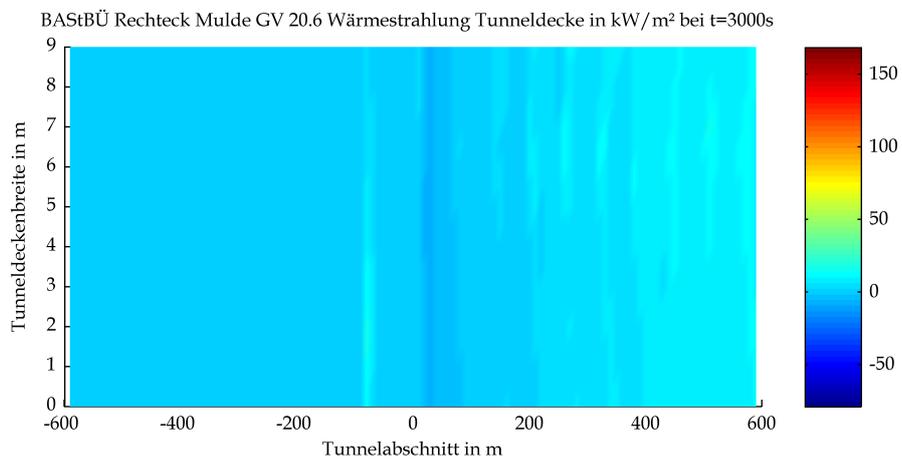
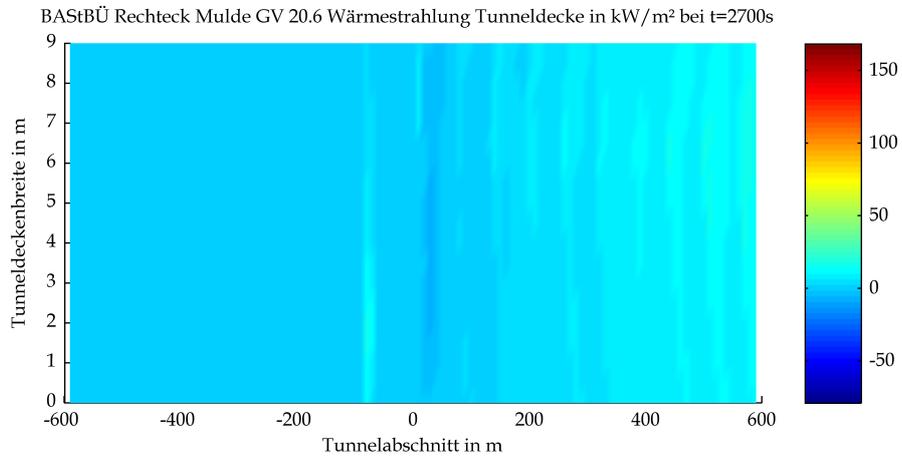
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



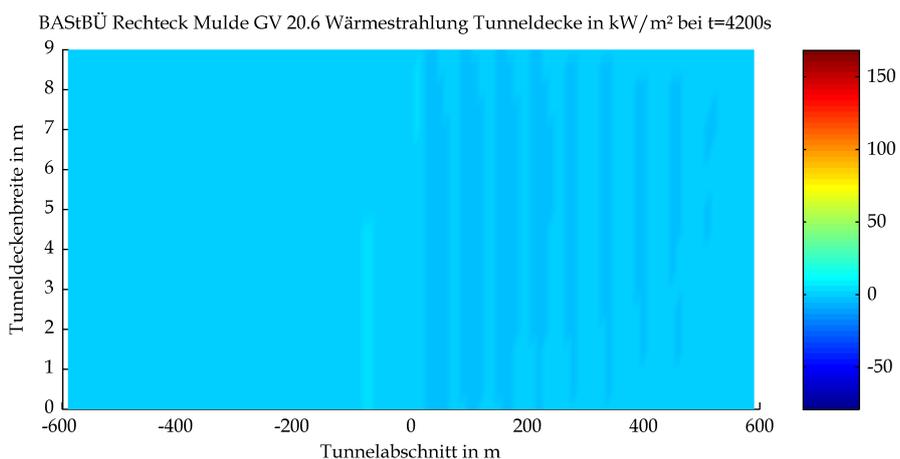
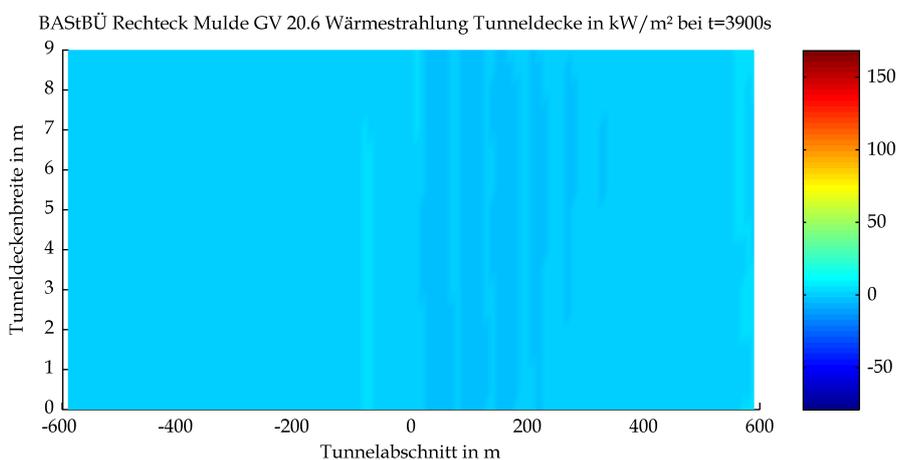
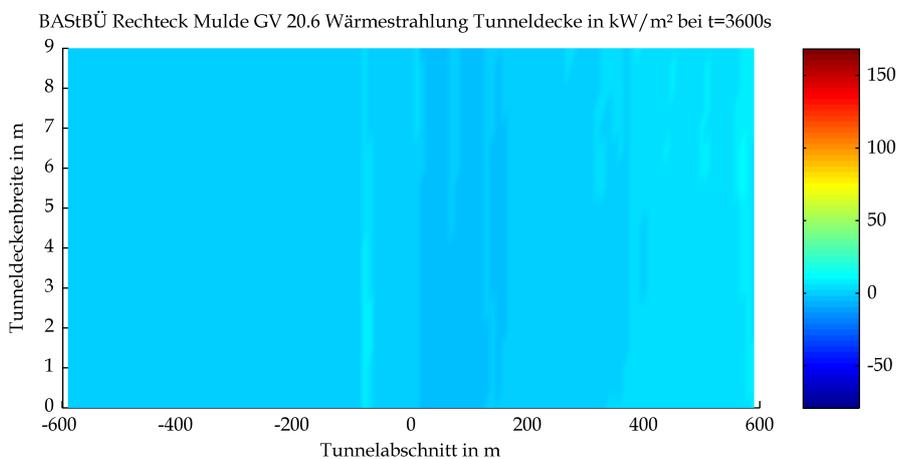
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

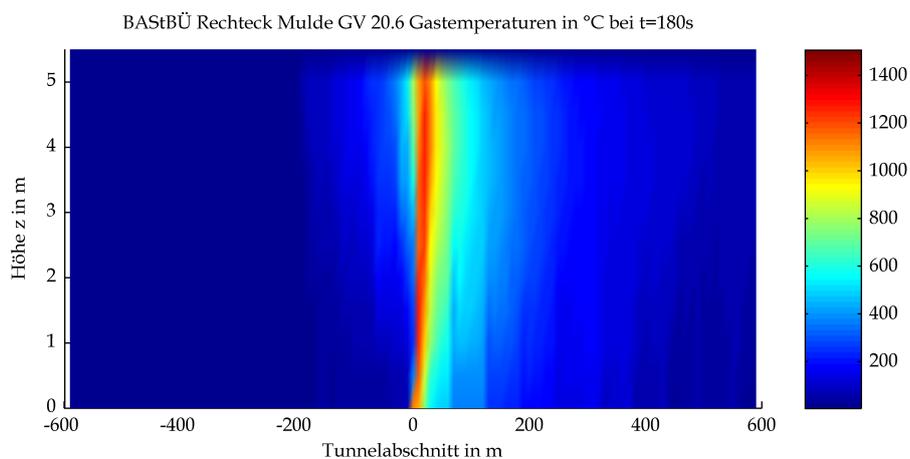
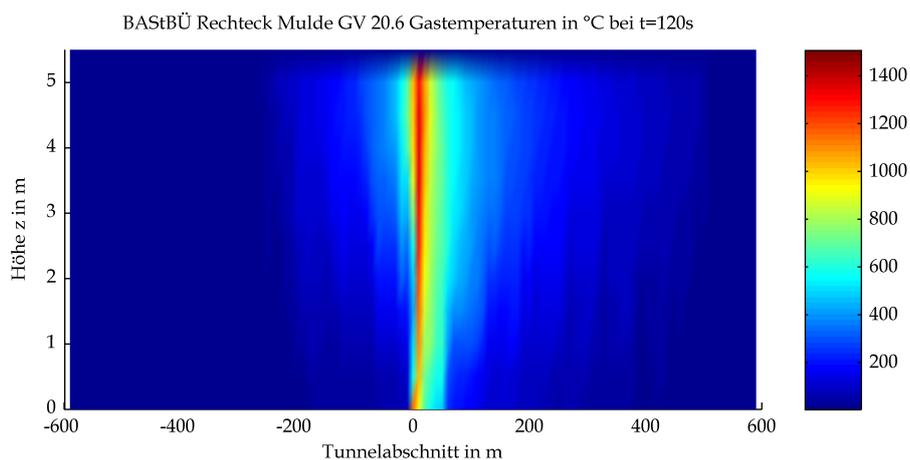
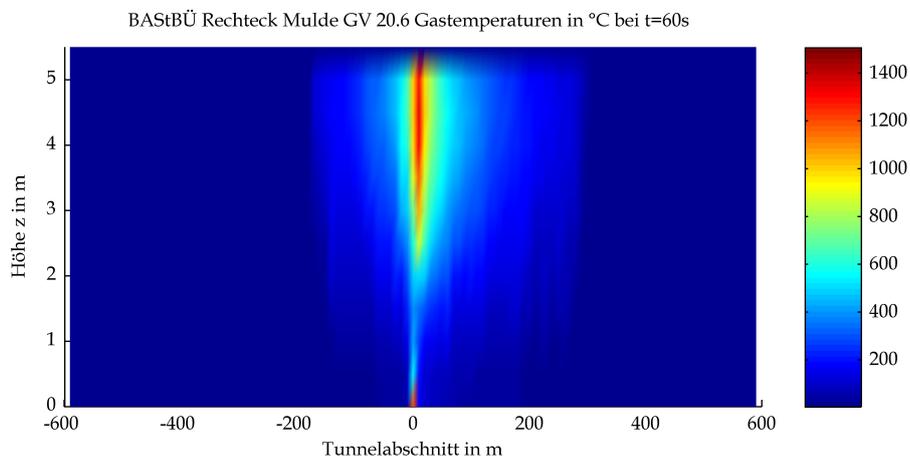


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

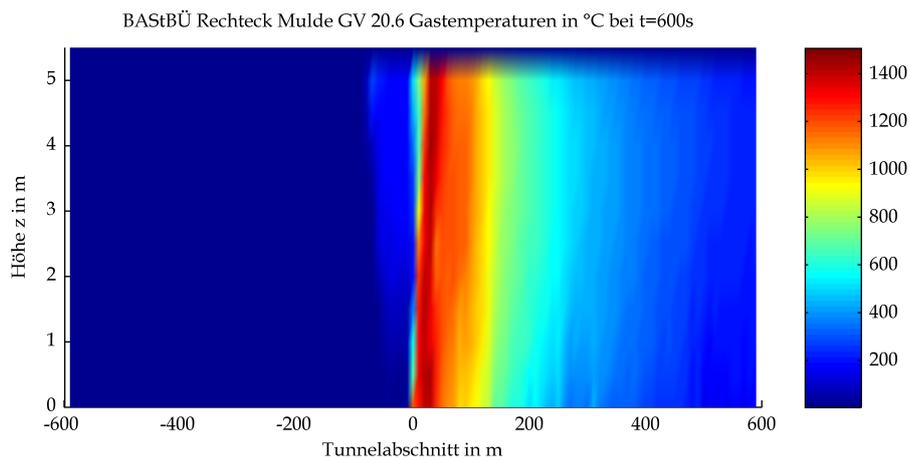
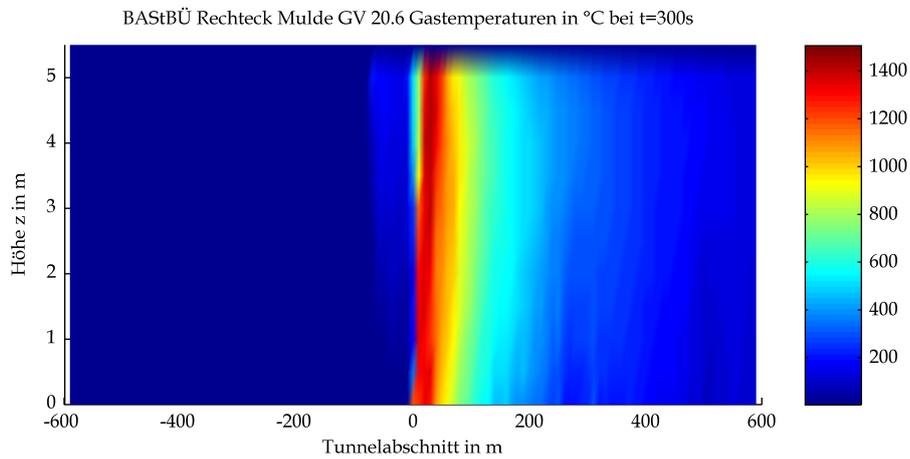
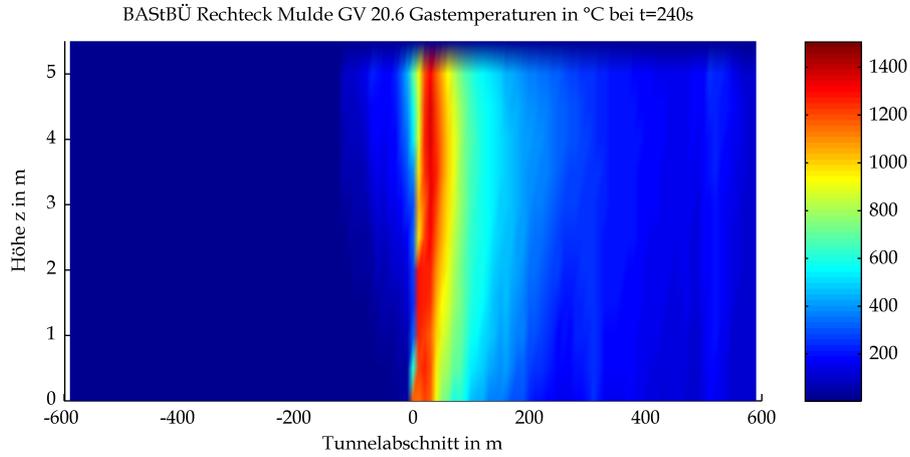


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

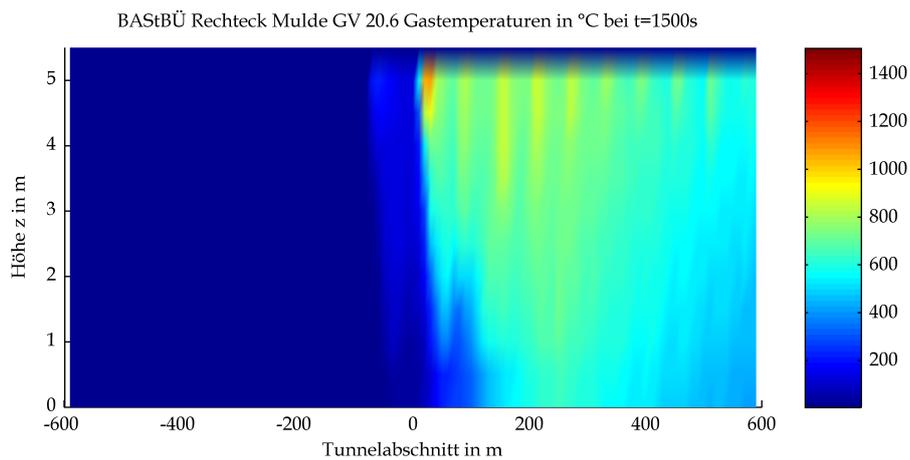
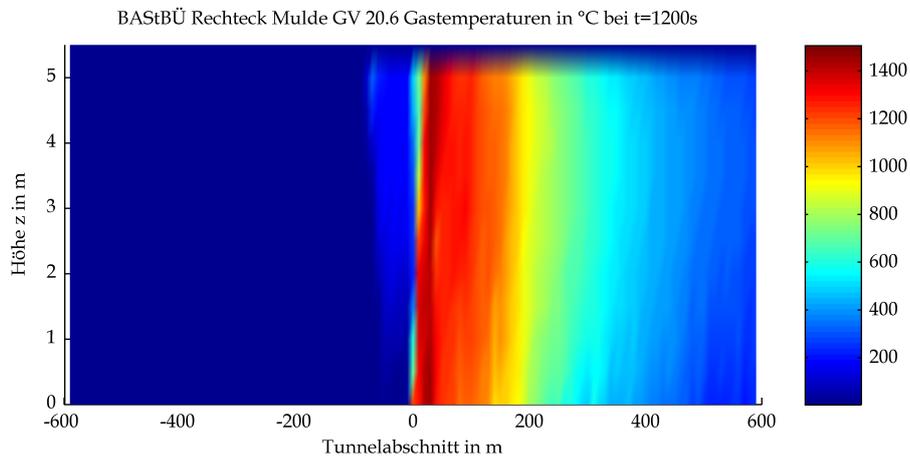
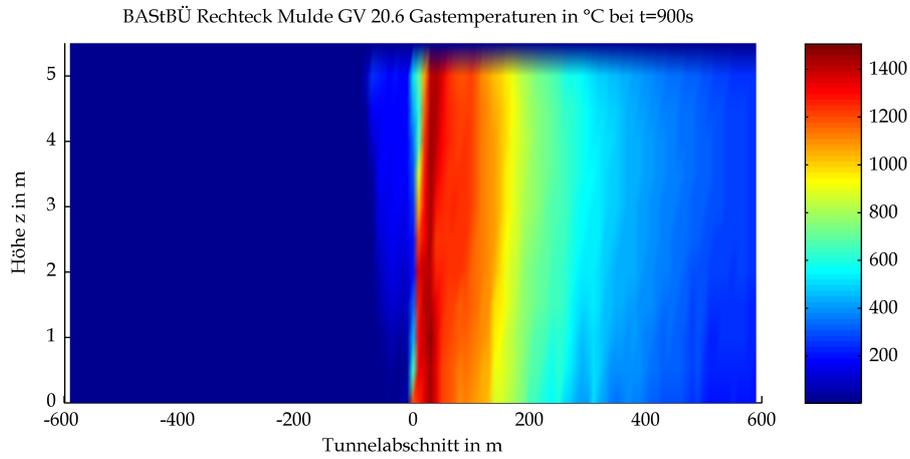
### 3 Gastemperaturen



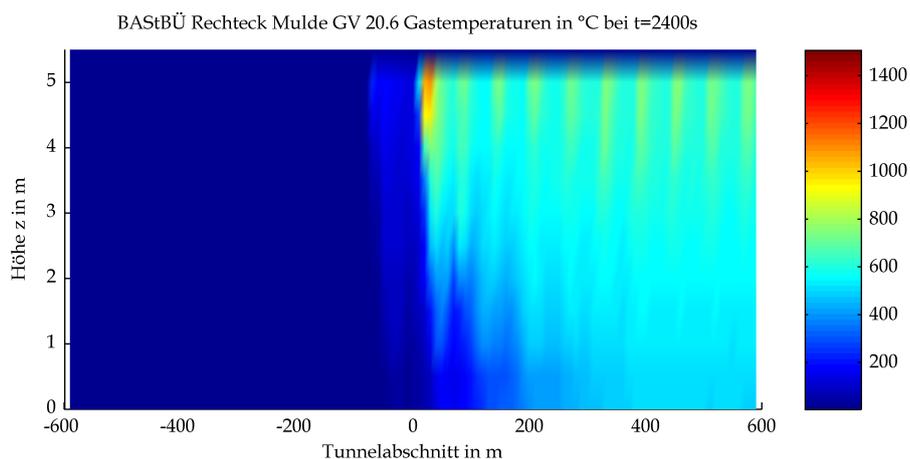
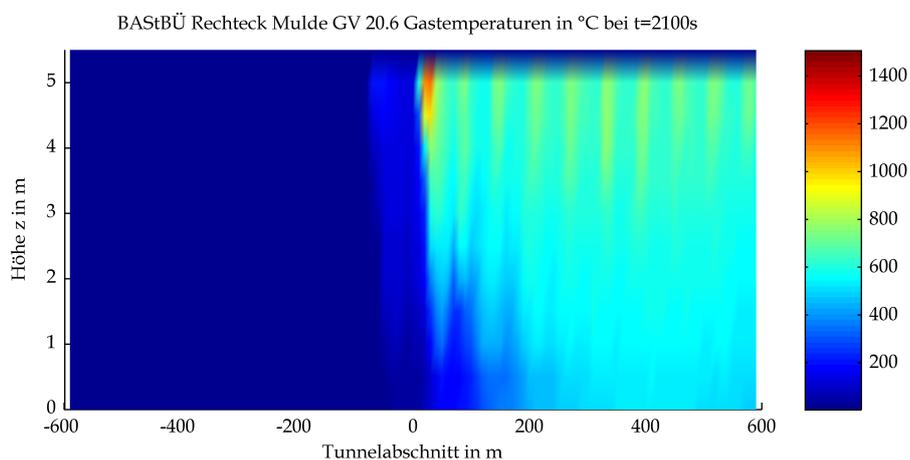
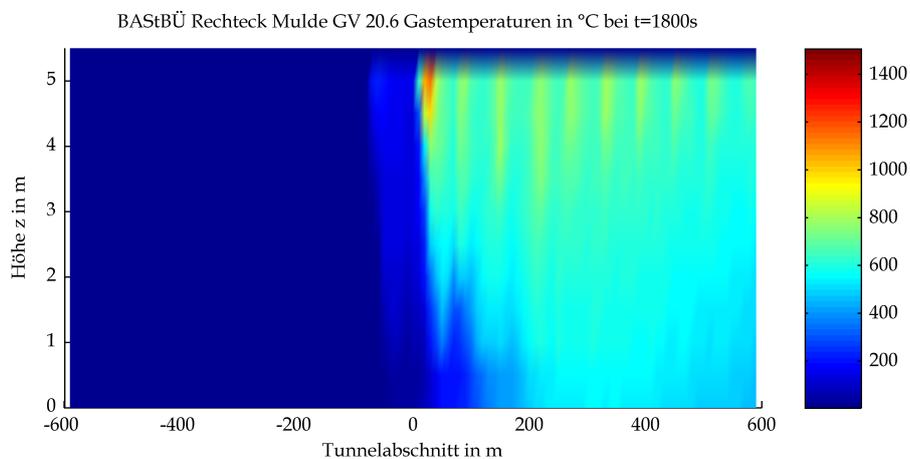
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



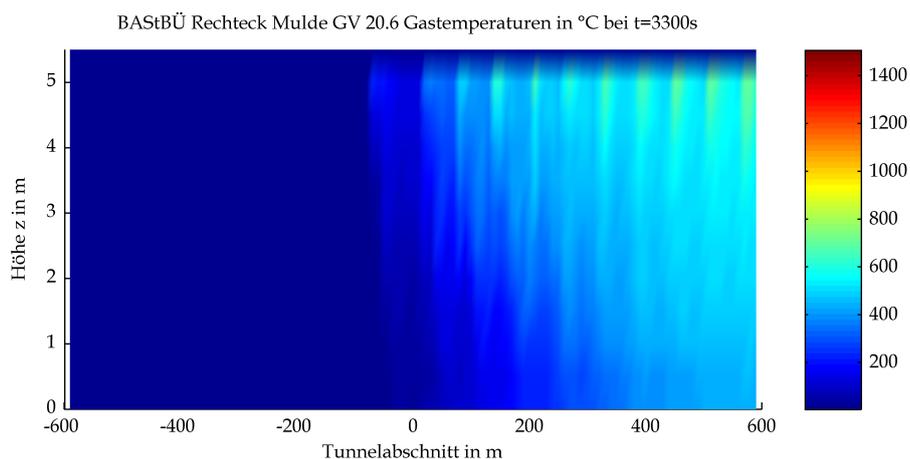
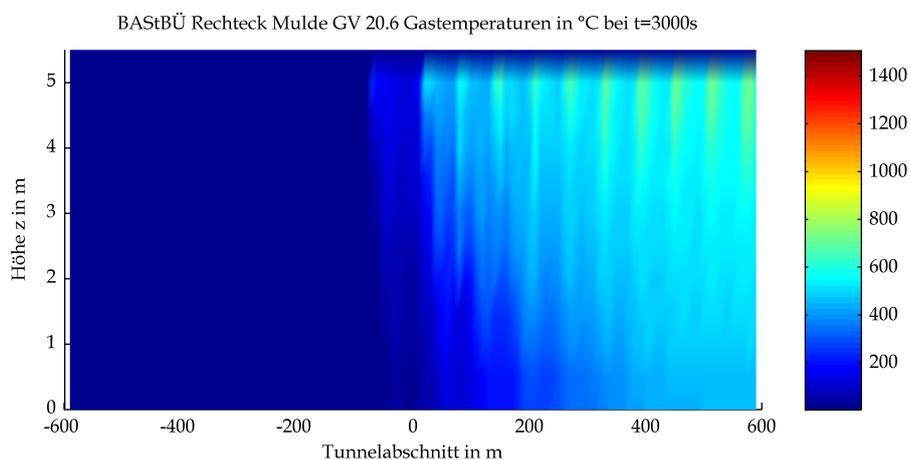
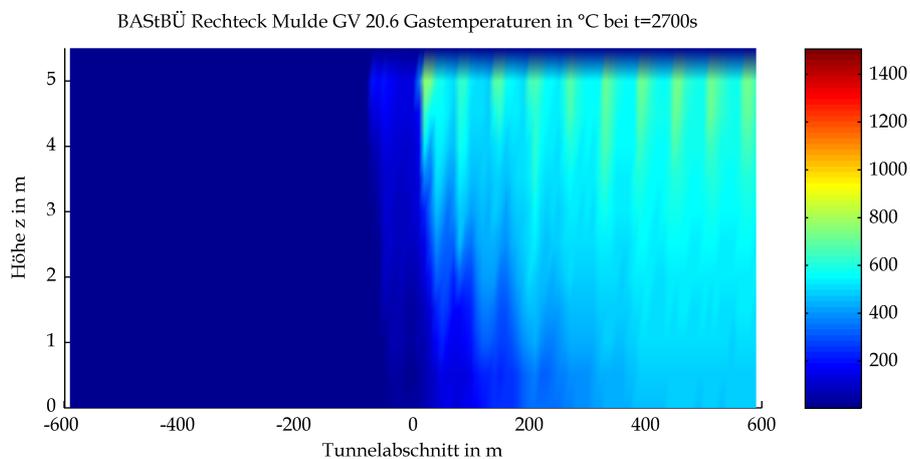
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



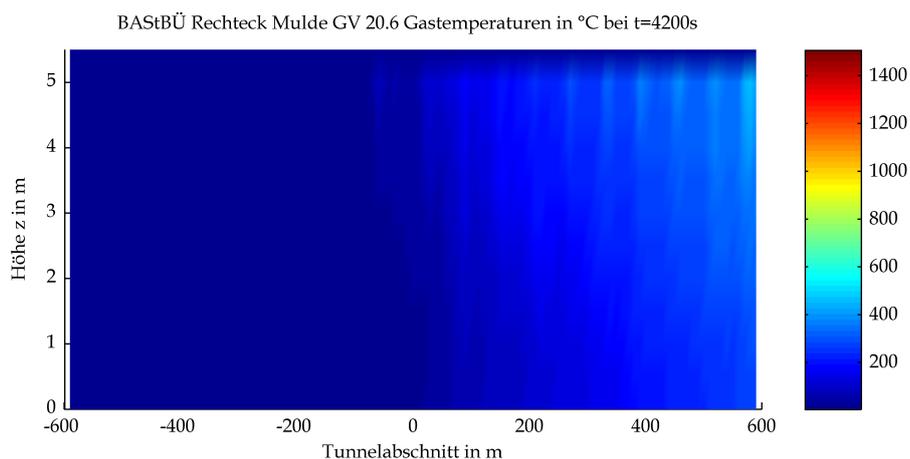
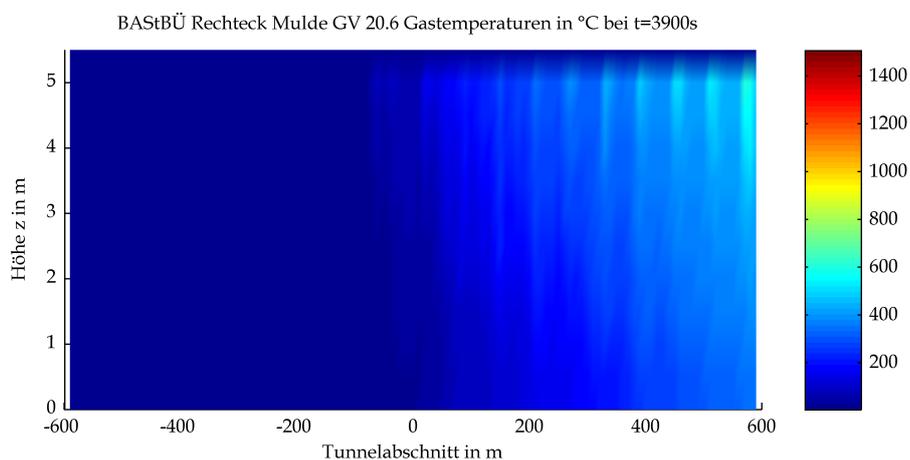
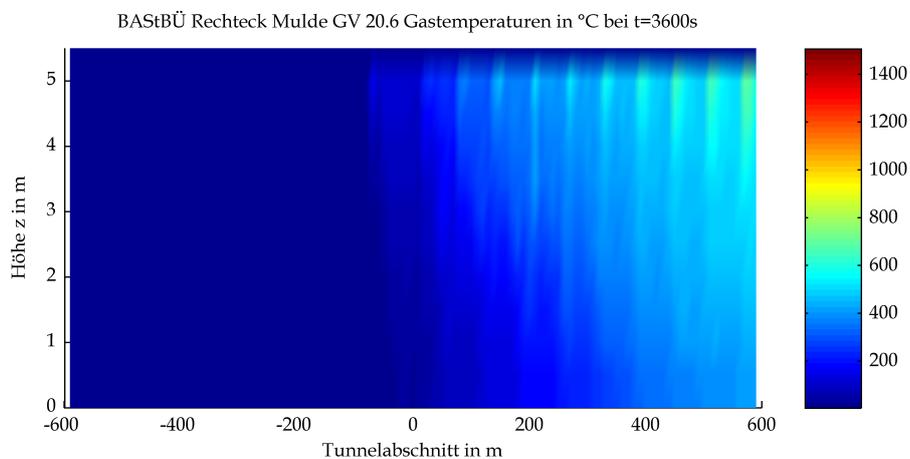
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen

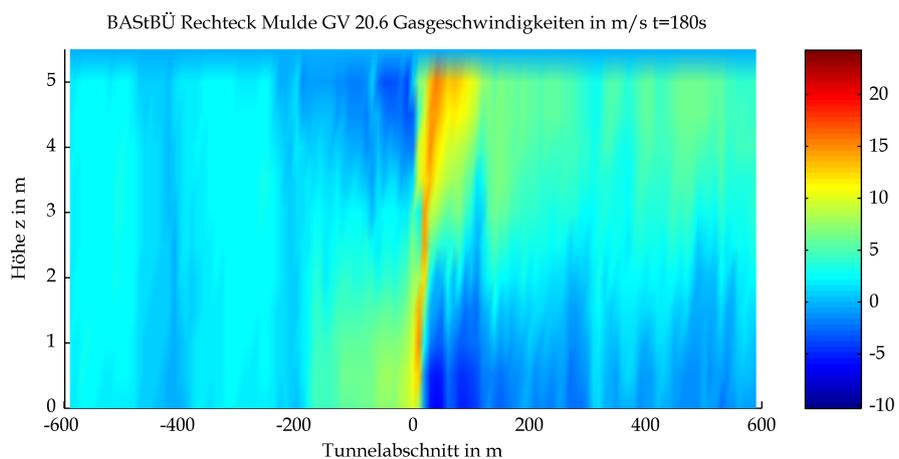
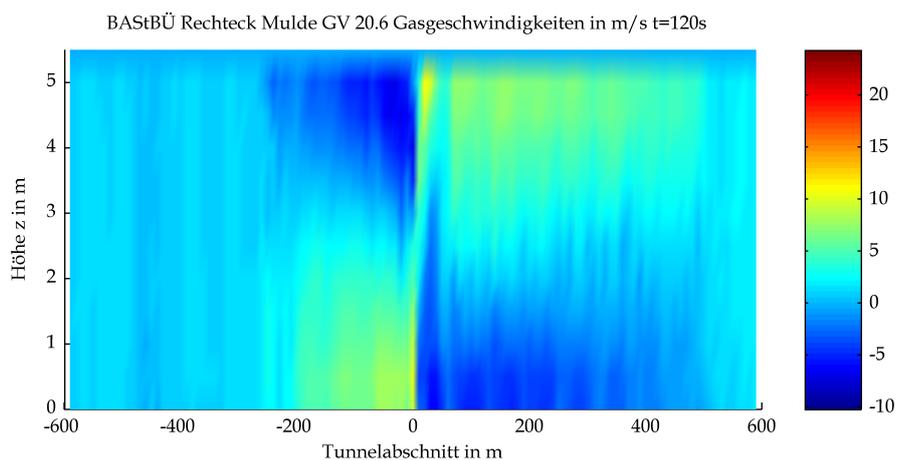
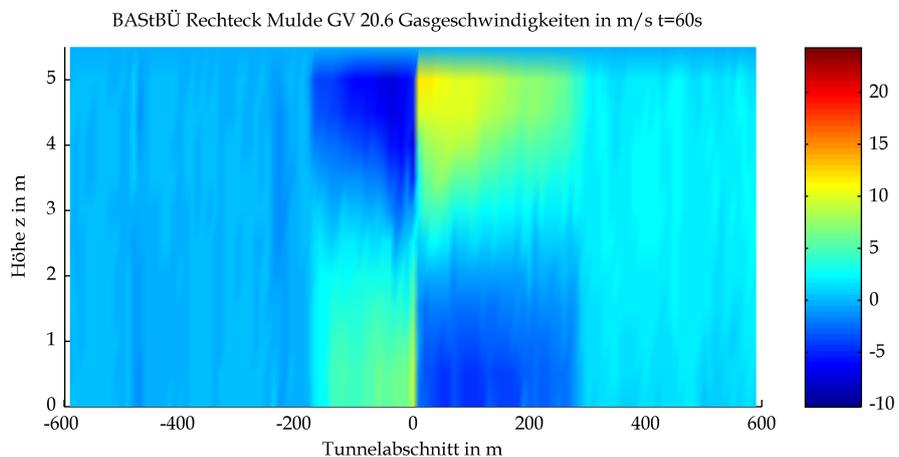


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen

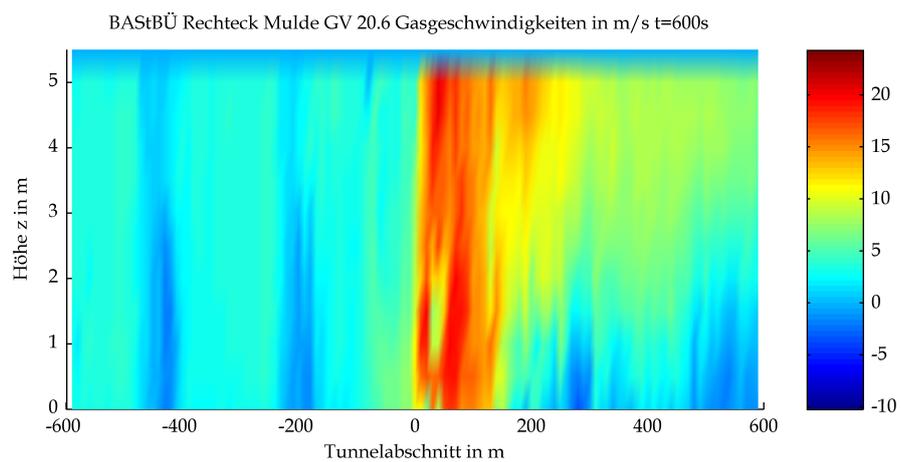
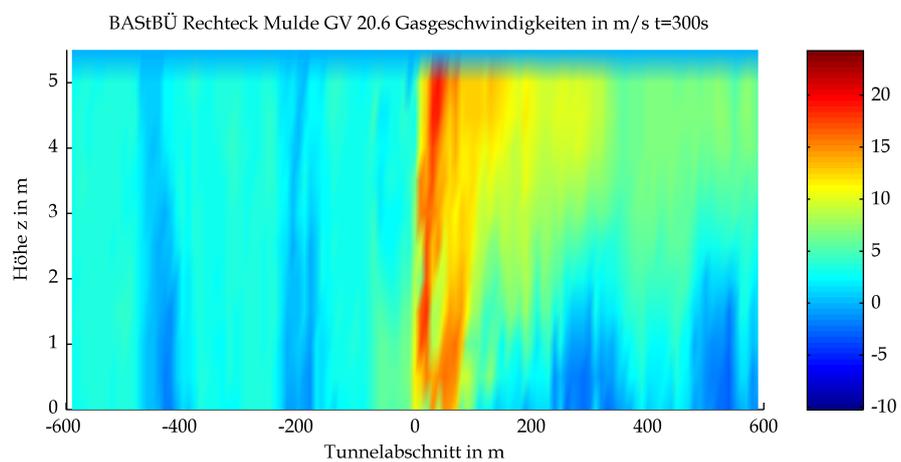
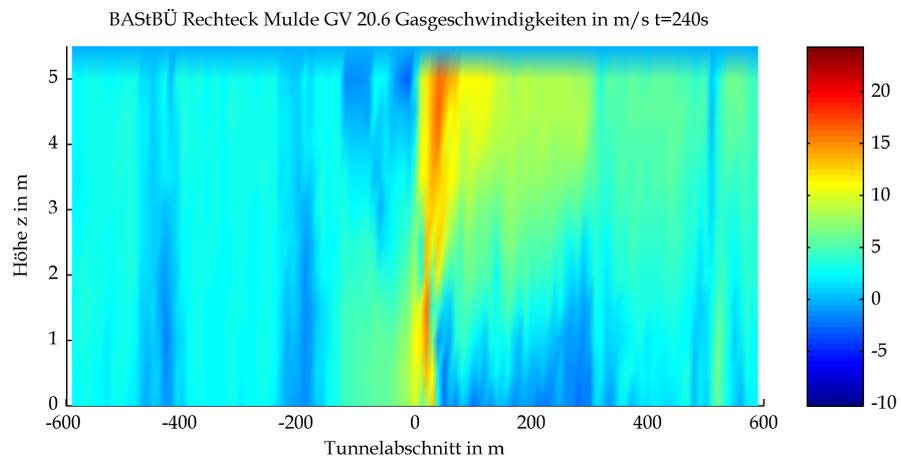


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen

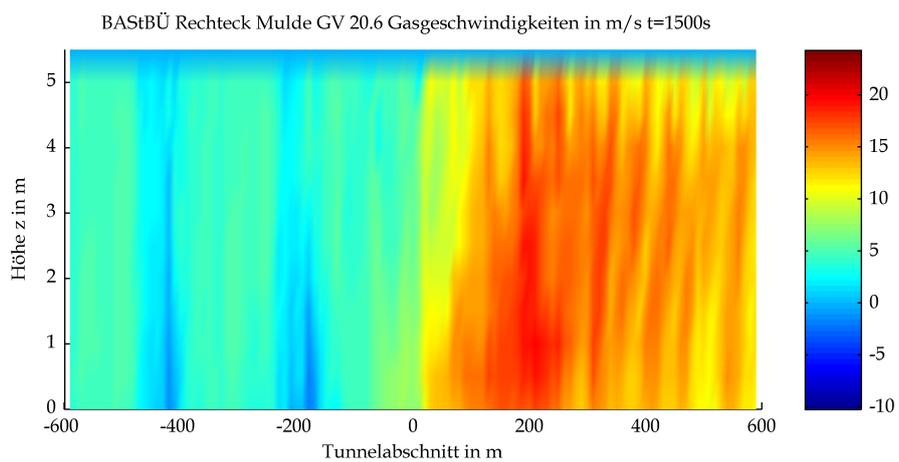
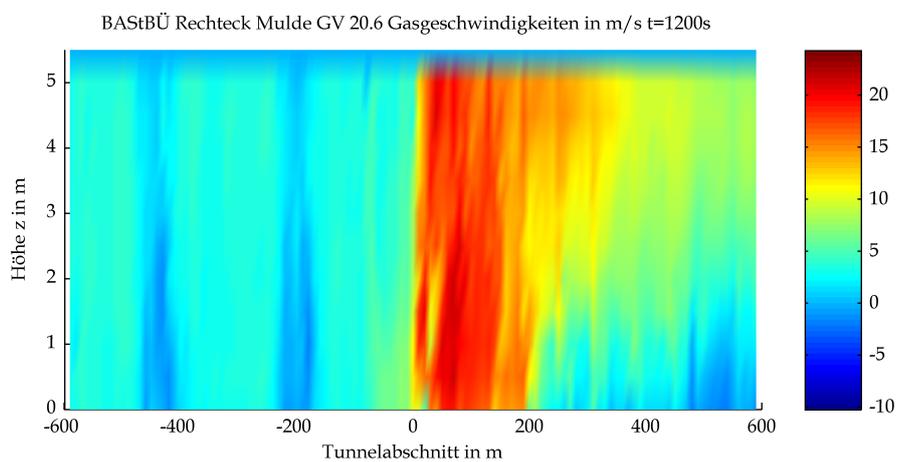
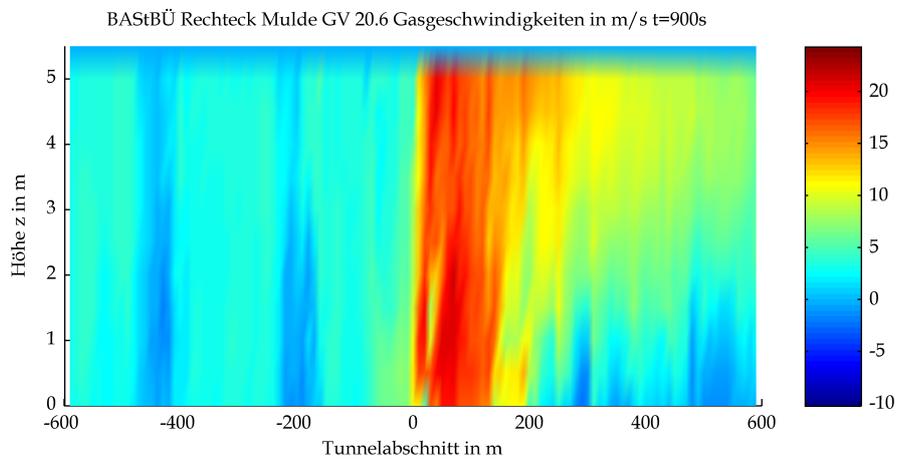
## 4 Gasgeschwindigkeiten



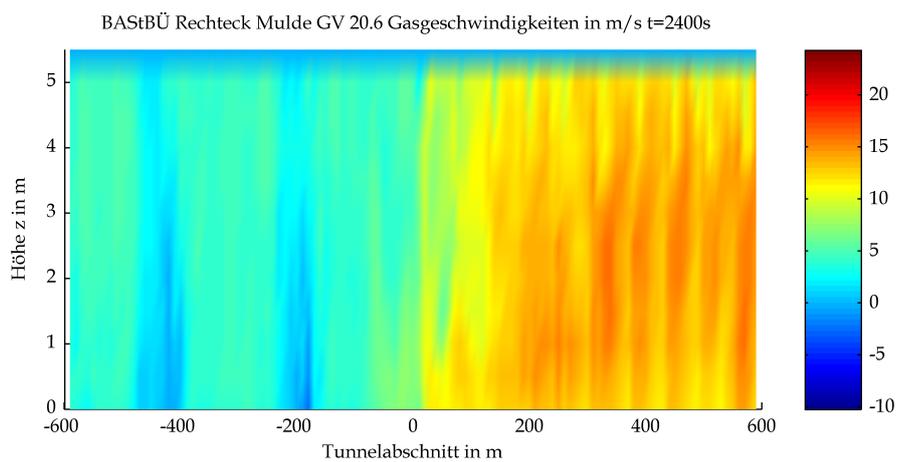
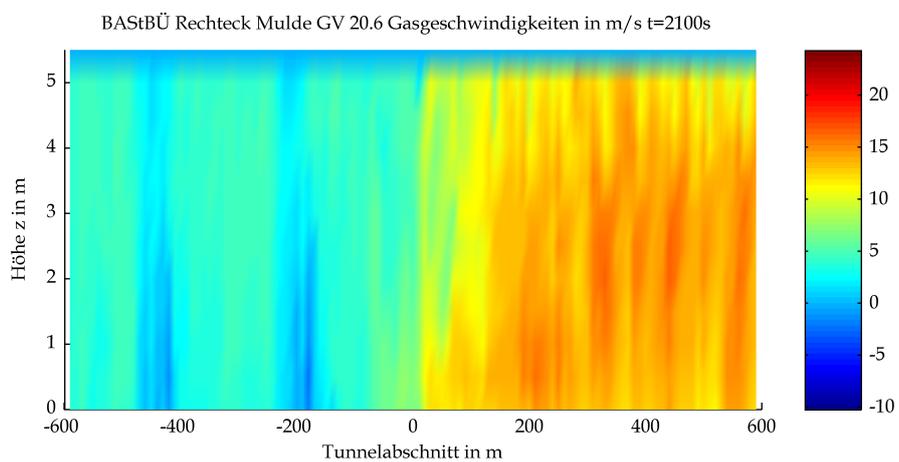
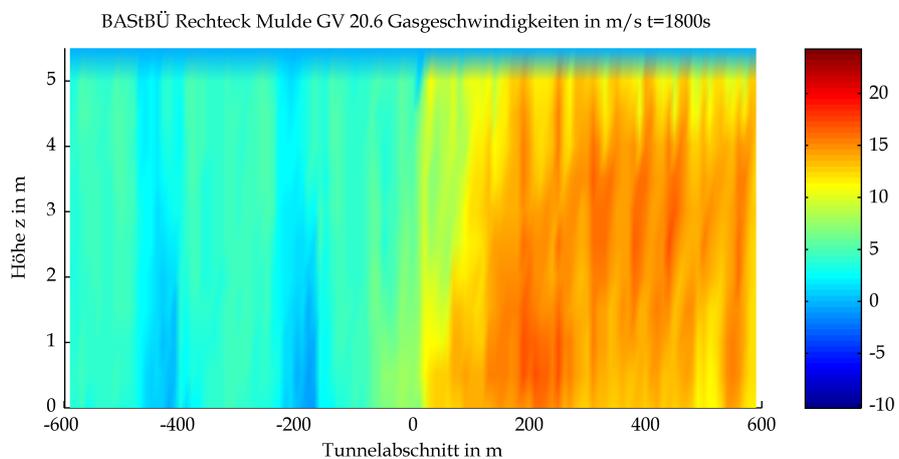
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



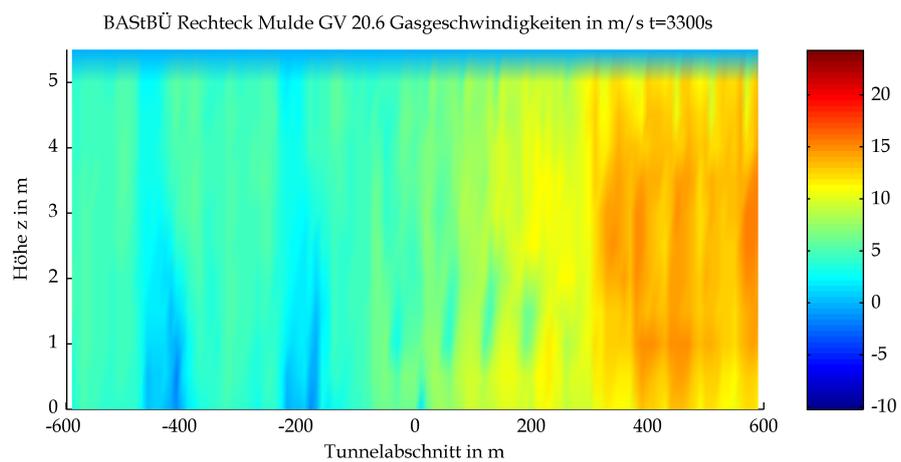
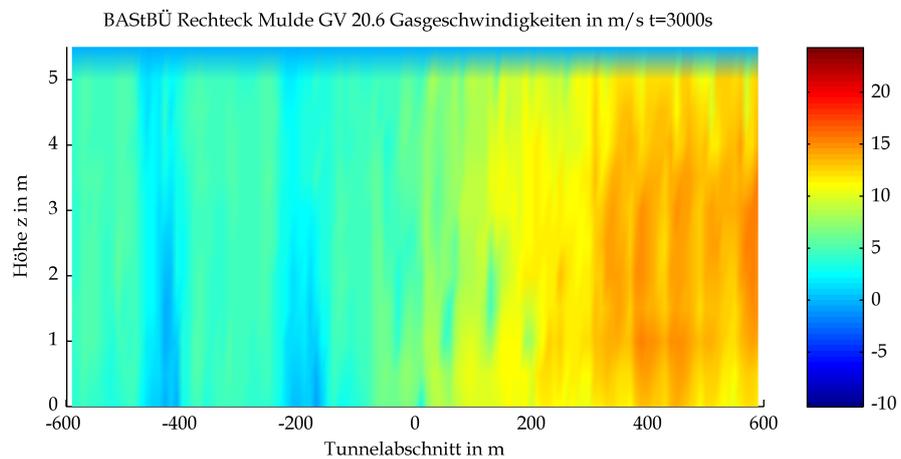
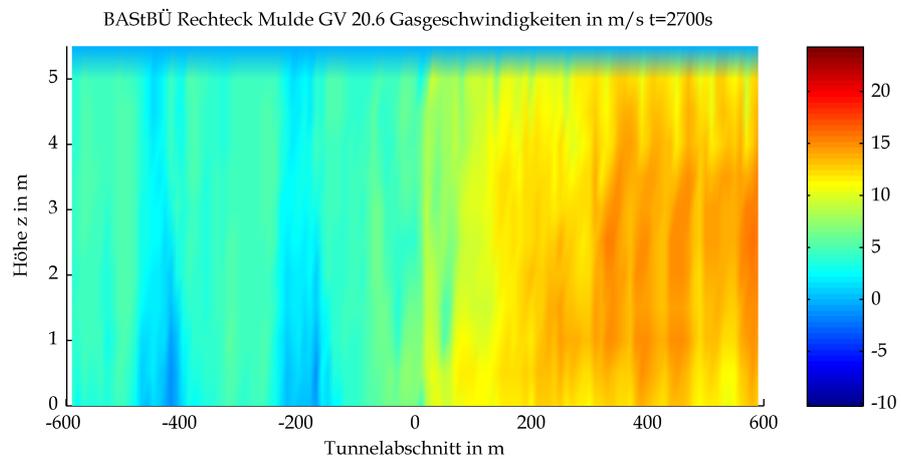
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



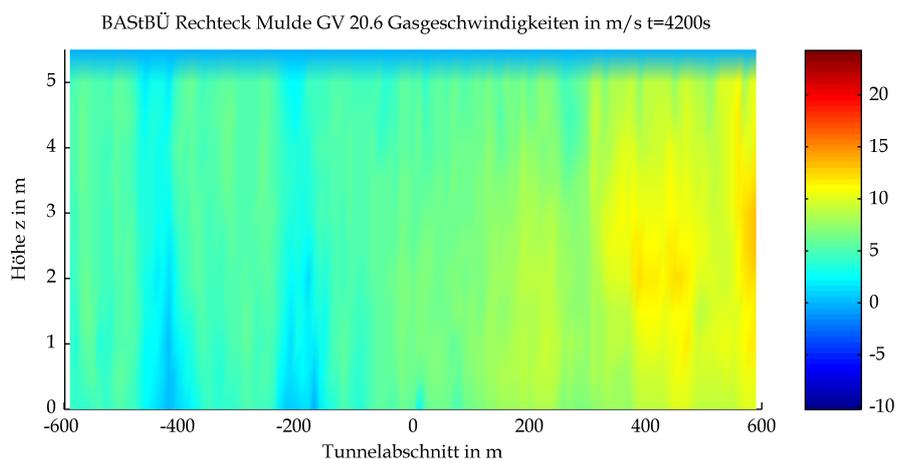
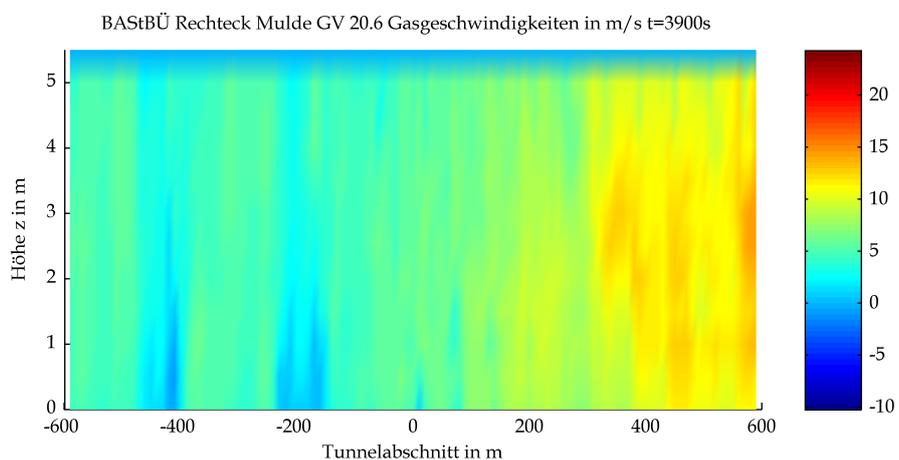
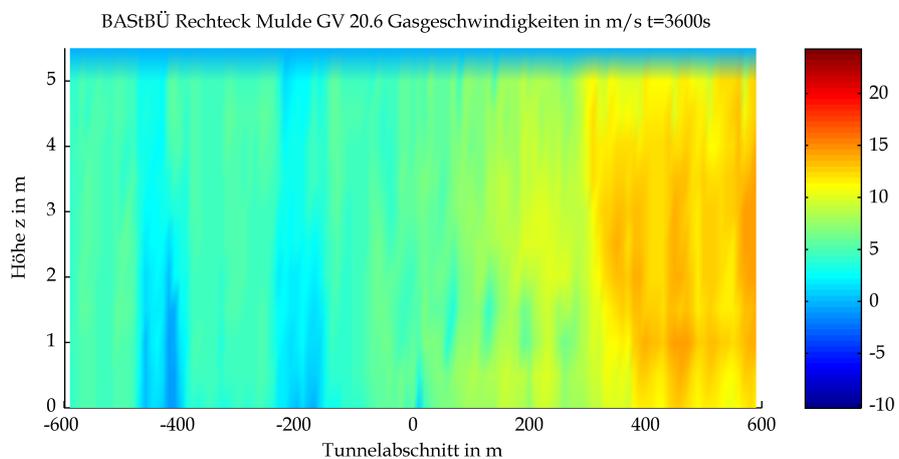
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



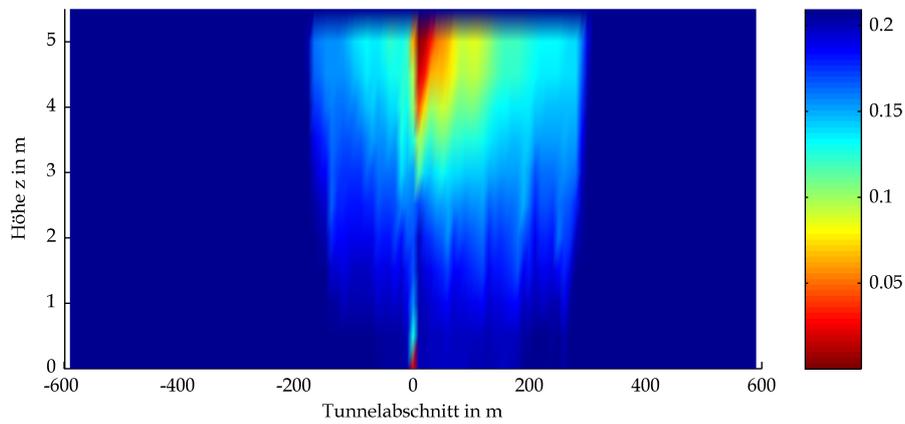
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



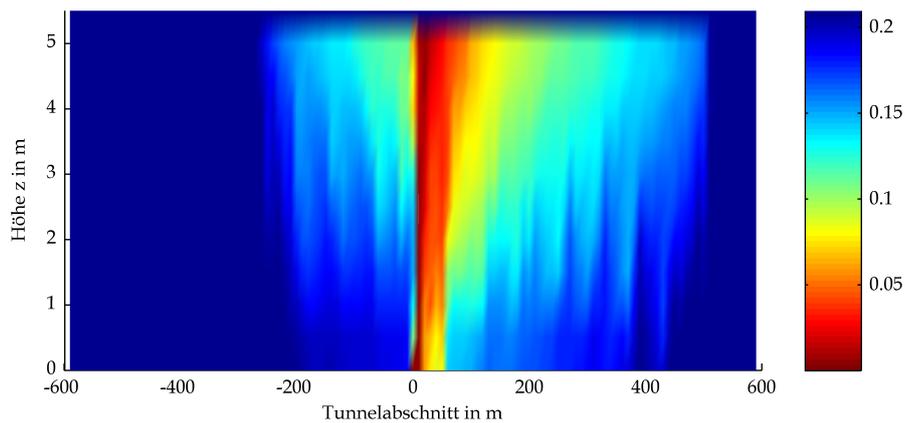
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

## 5 Sauerstoffgehalt

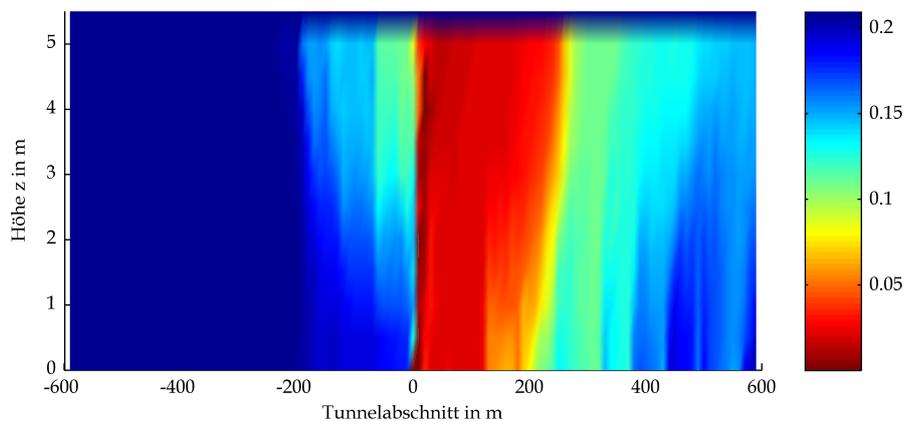
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sauerstoffkonzentration in Vol-% bei t=60s



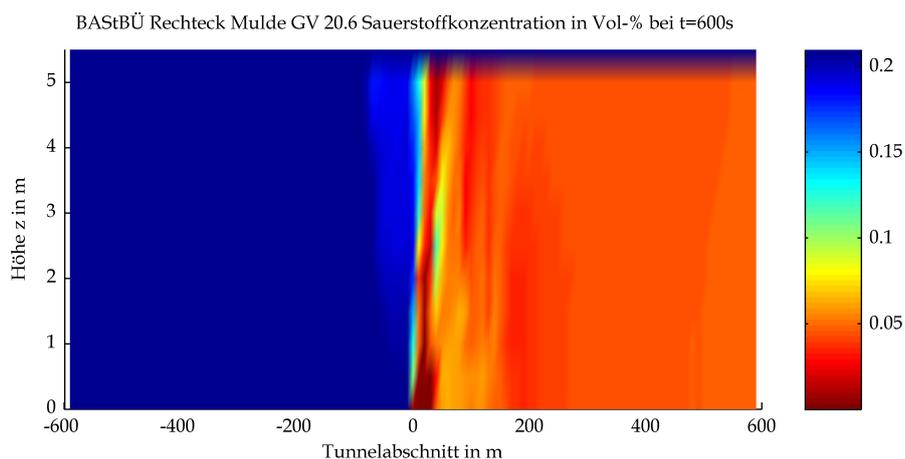
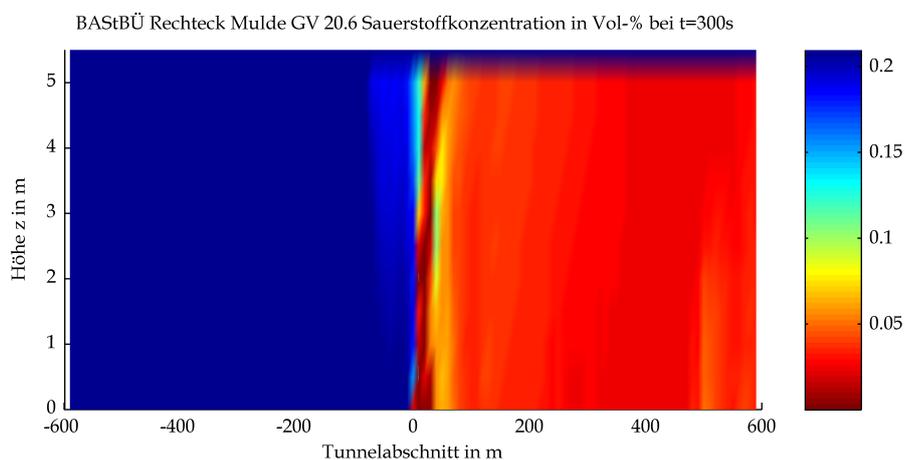
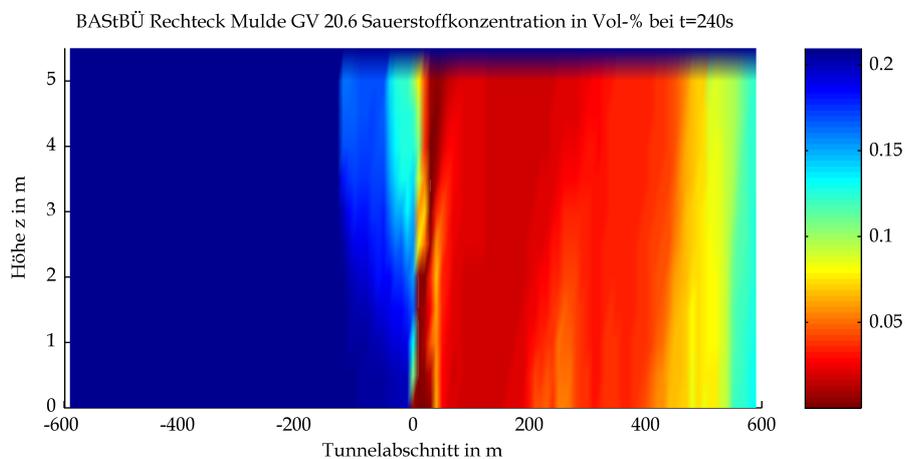
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sauerstoffkonzentration in Vol-% bei t=120s



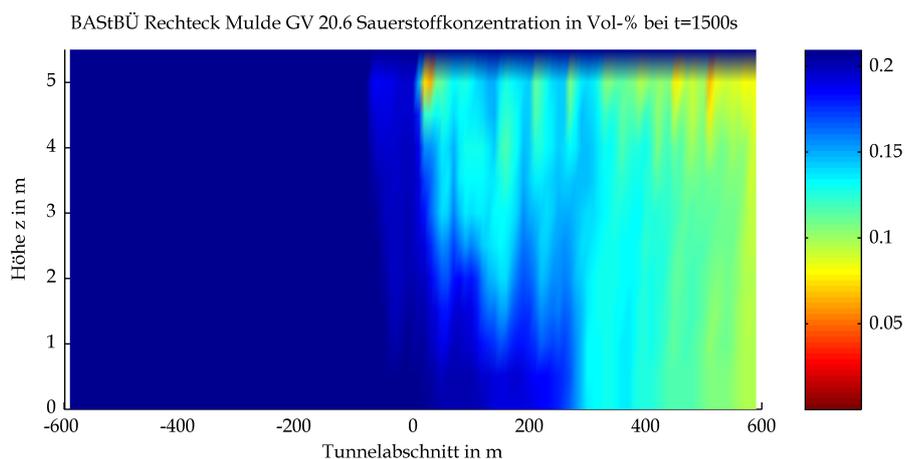
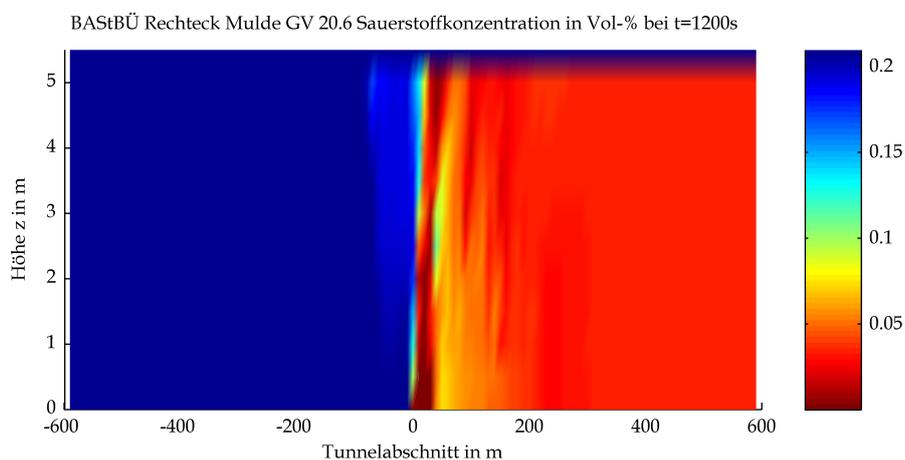
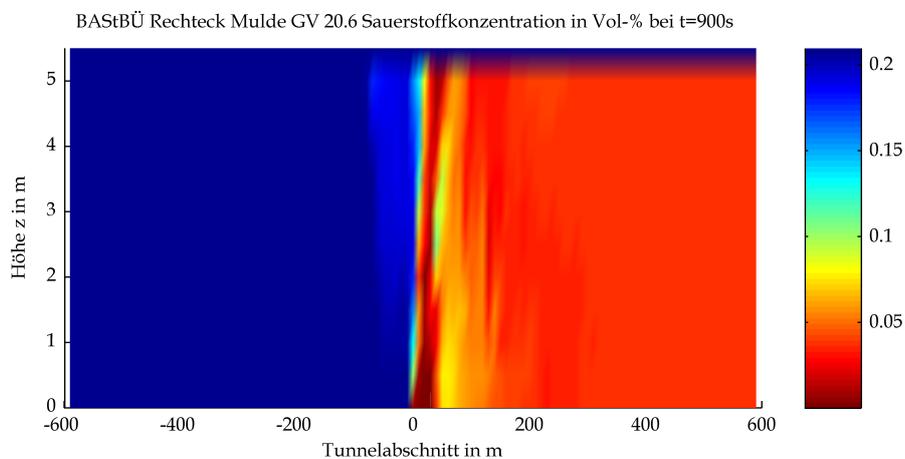
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sauerstoffkonzentration in Vol-% bei t=180s



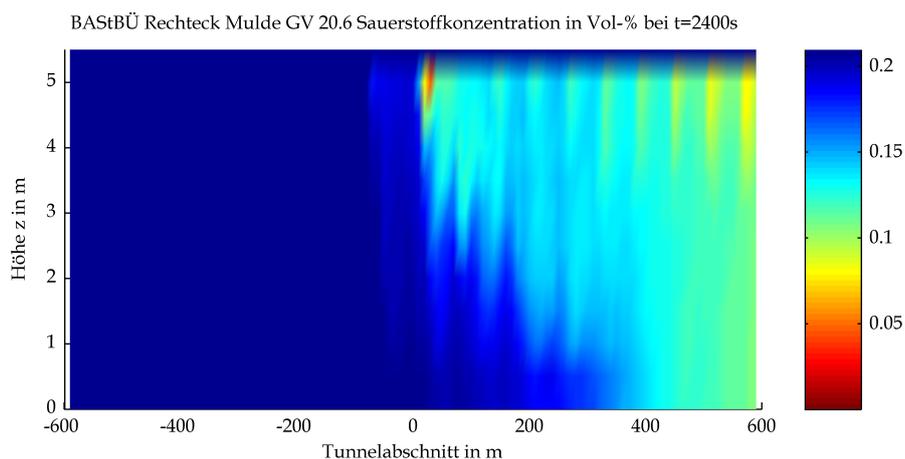
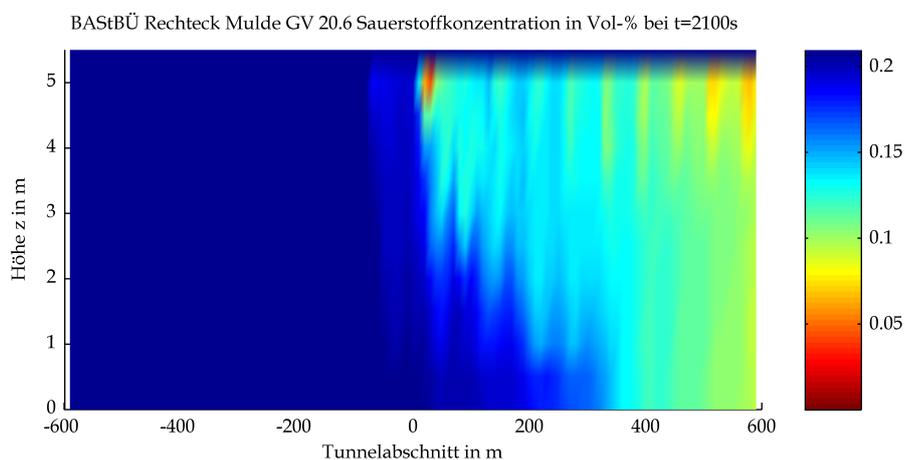
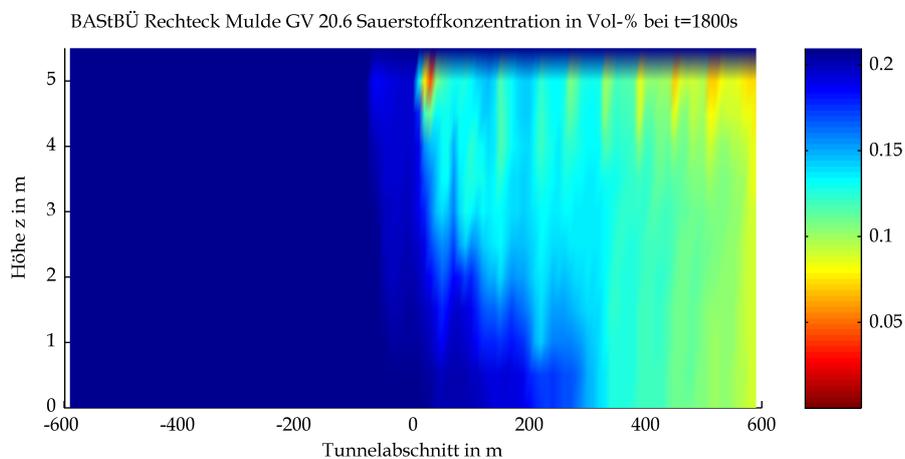
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



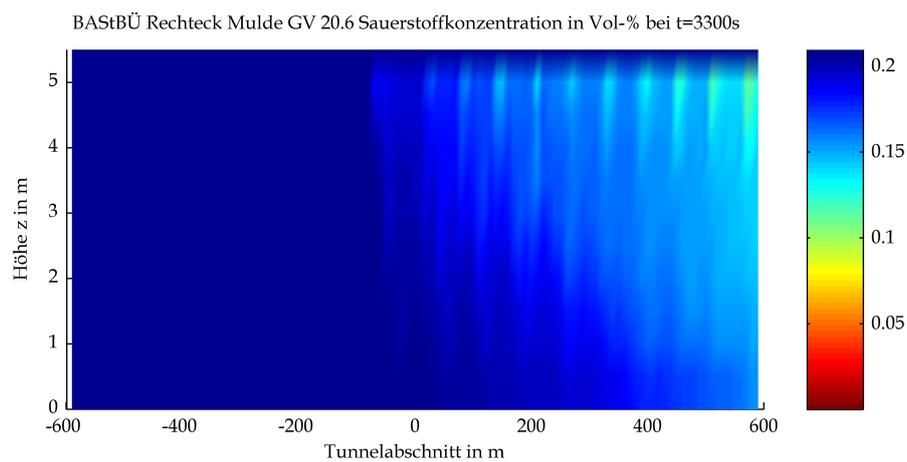
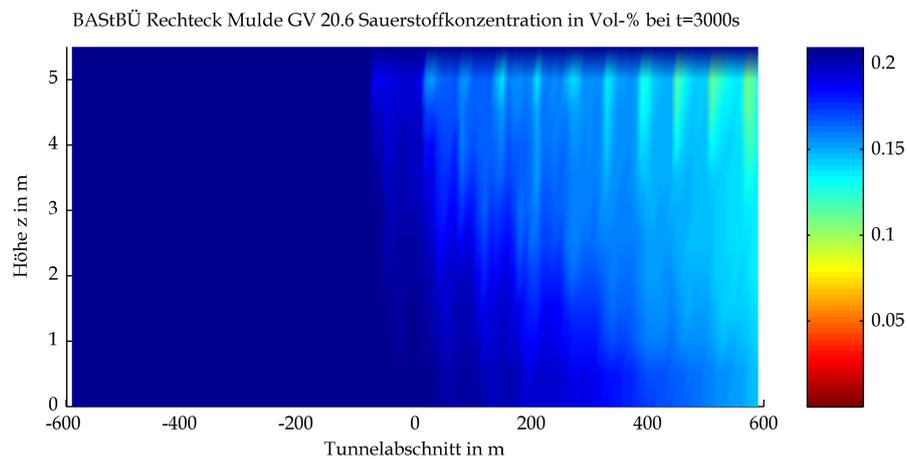
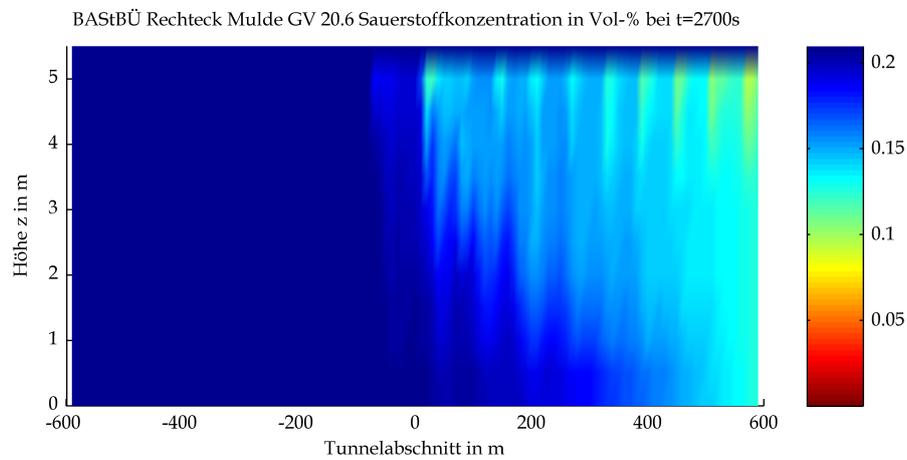
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



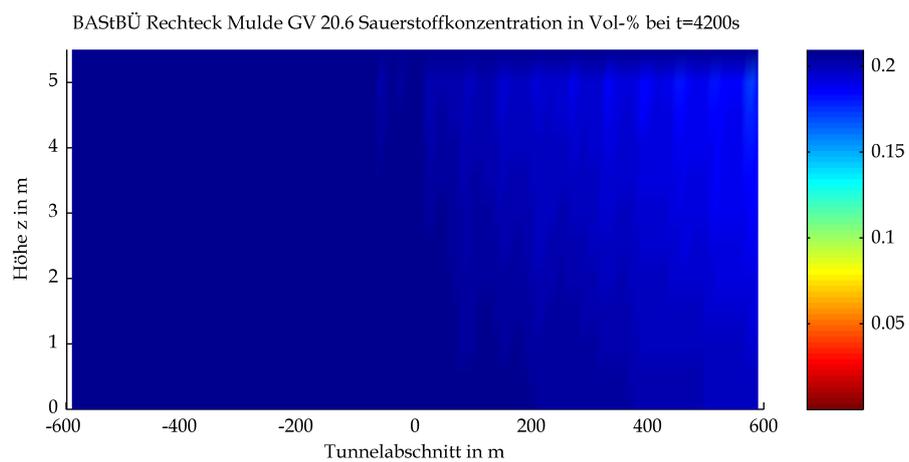
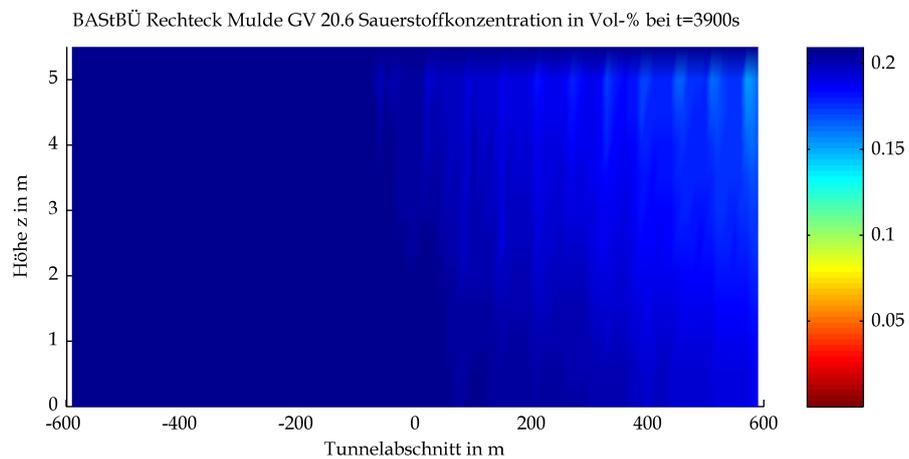
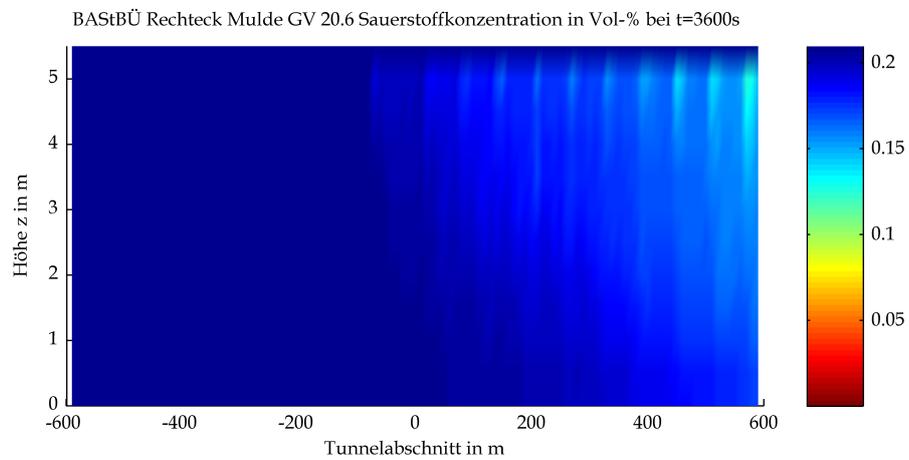
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



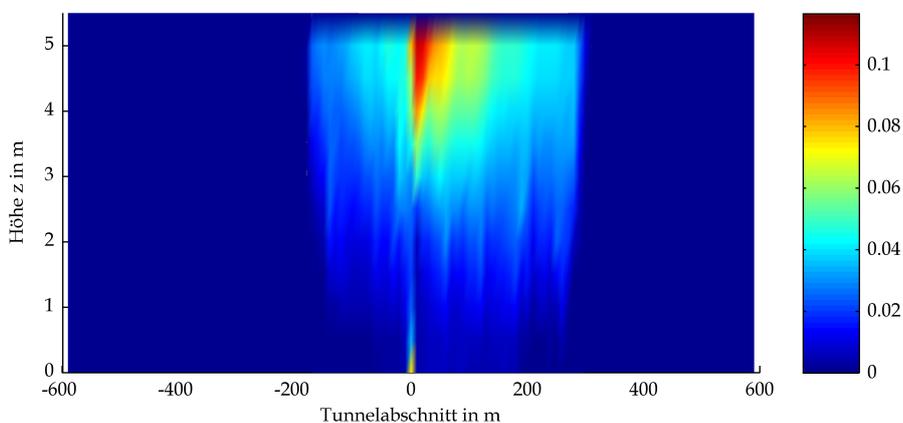
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



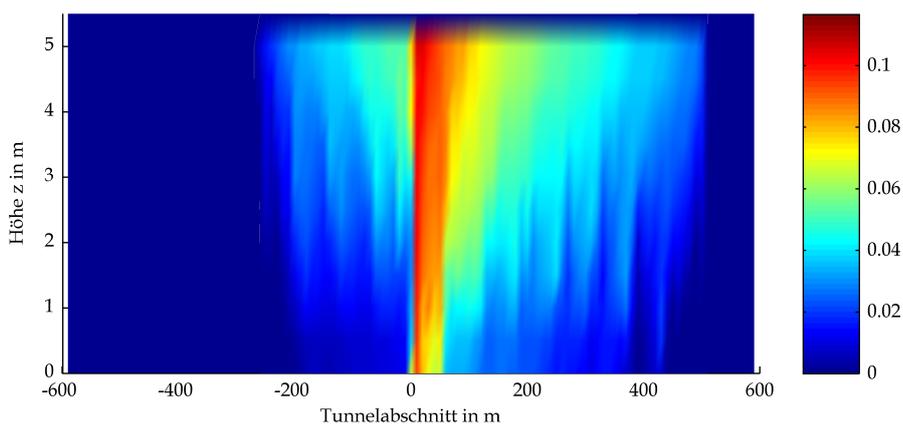
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte

## 6 Kohlendioxidgehalt

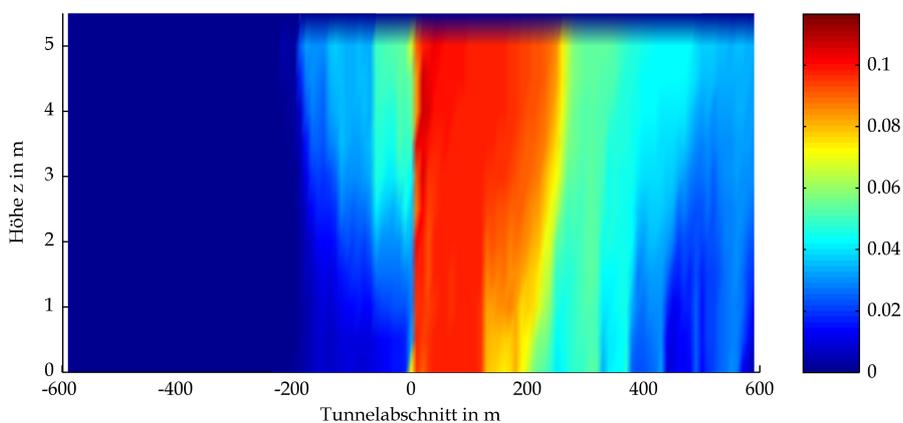
BASTbÜ Rechteck Mulde GV 20.6 CO<sub>2</sub>-Gehalt in Masse-% bei t=60s



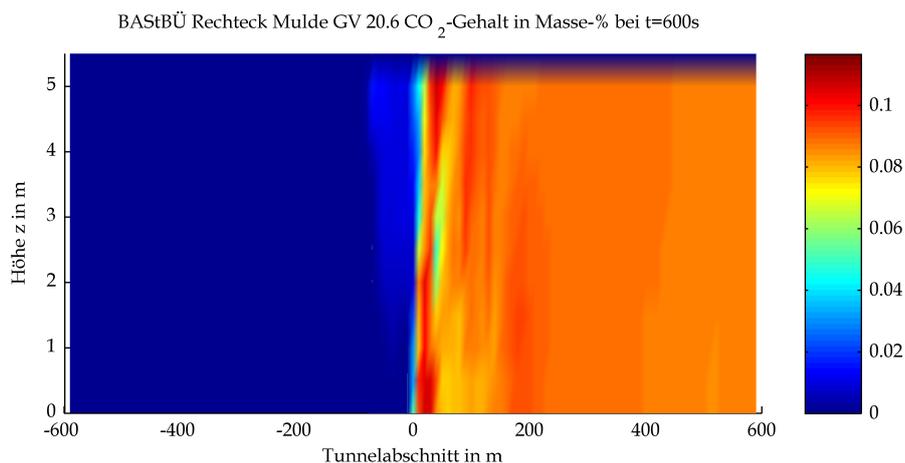
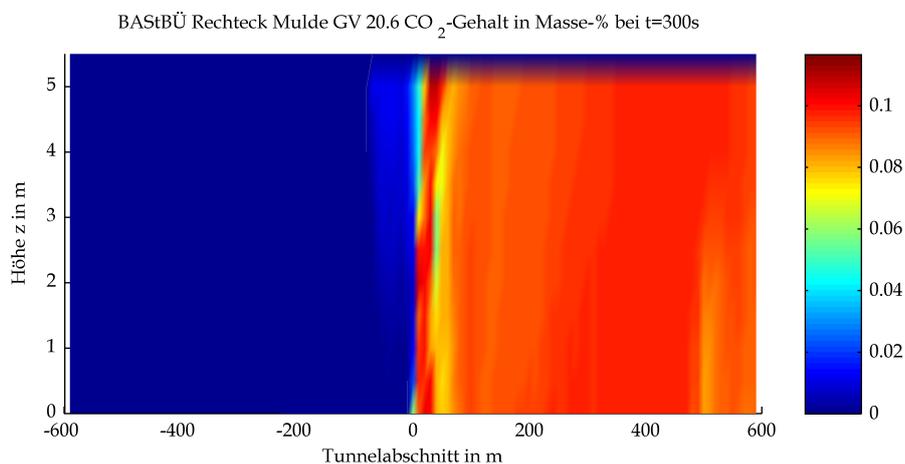
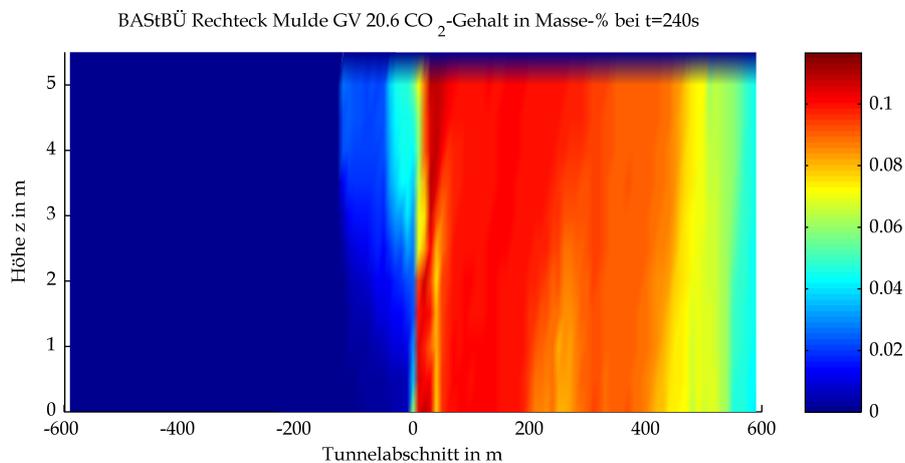
BASTbÜ Rechteck Mulde GV 20.6 CO<sub>2</sub>-Gehalt in Masse-% bei t=120s



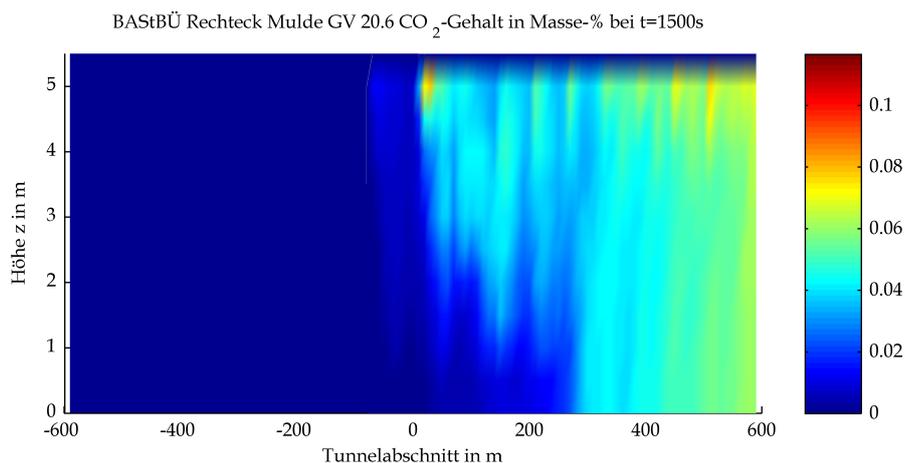
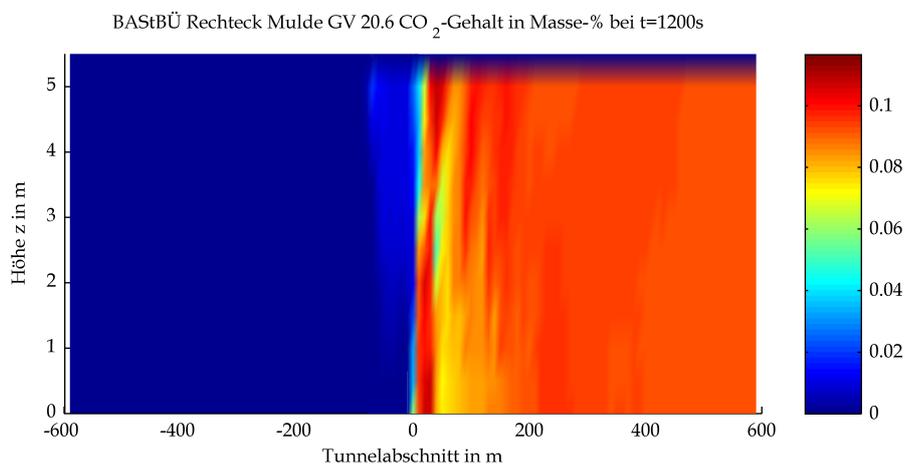
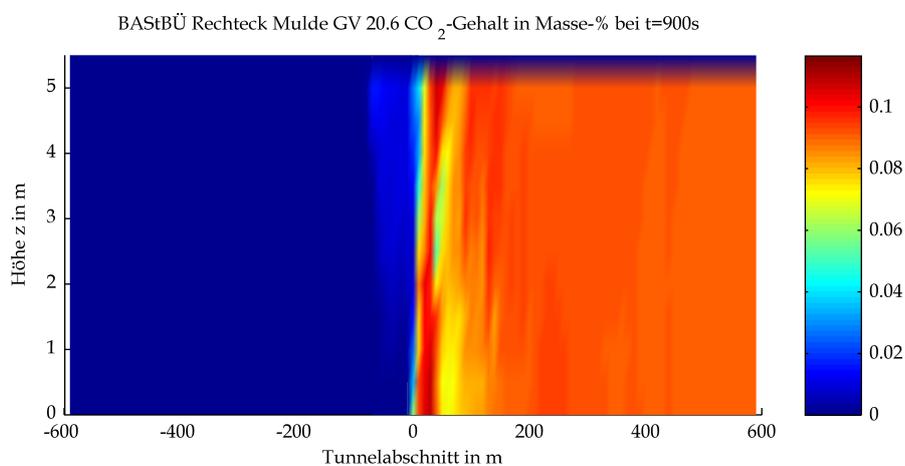
BASTbÜ Rechteck Mulde GV 20.6 CO<sub>2</sub>-Gehalt in Masse-% bei t=180s



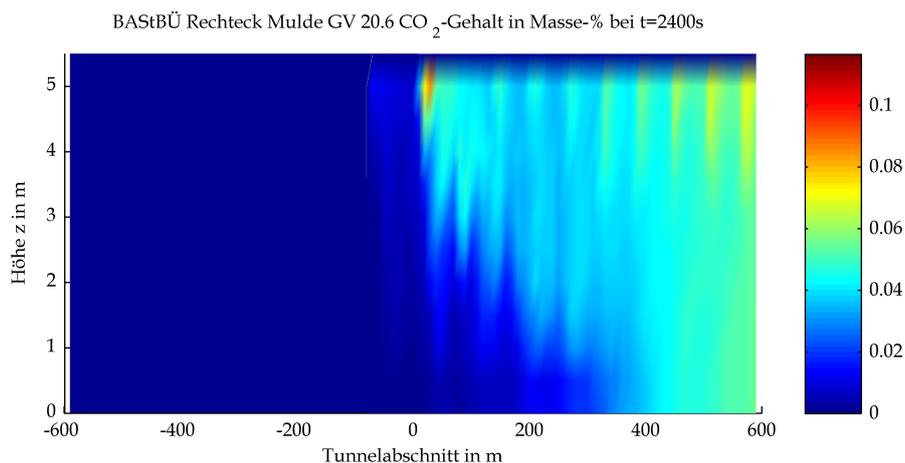
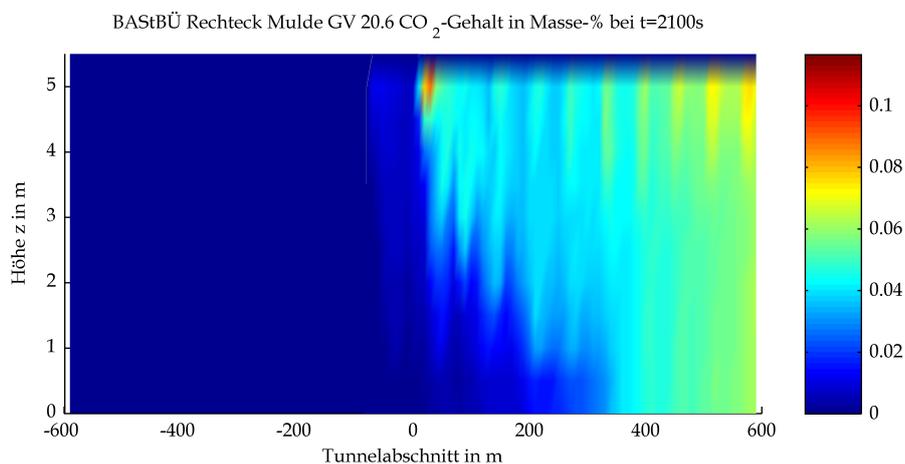
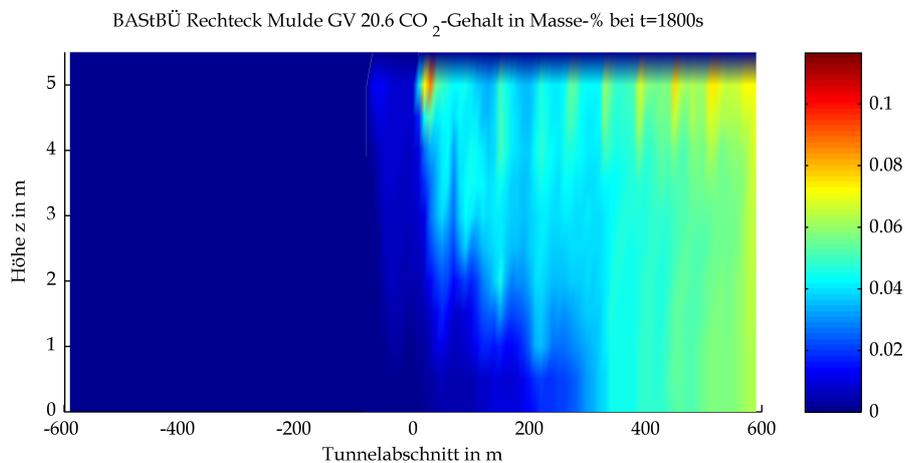
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte



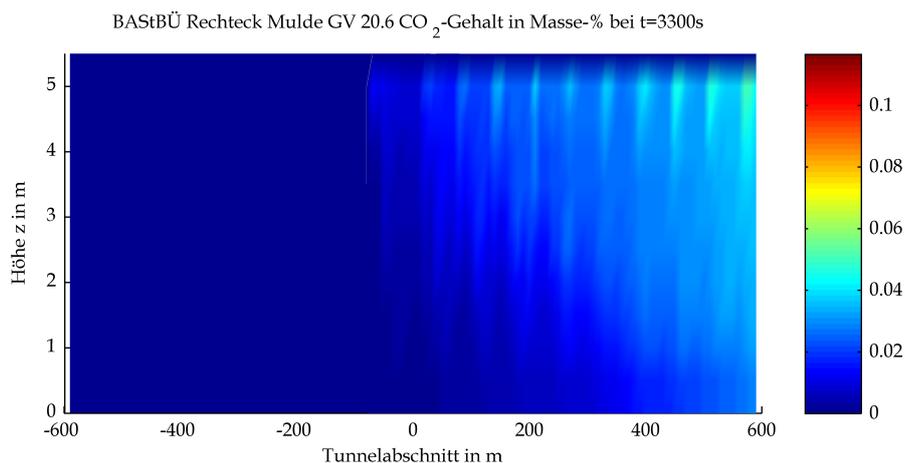
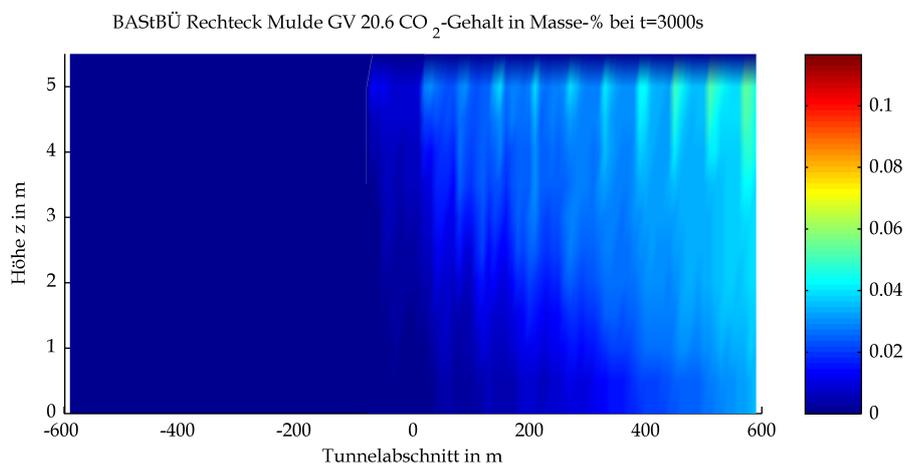
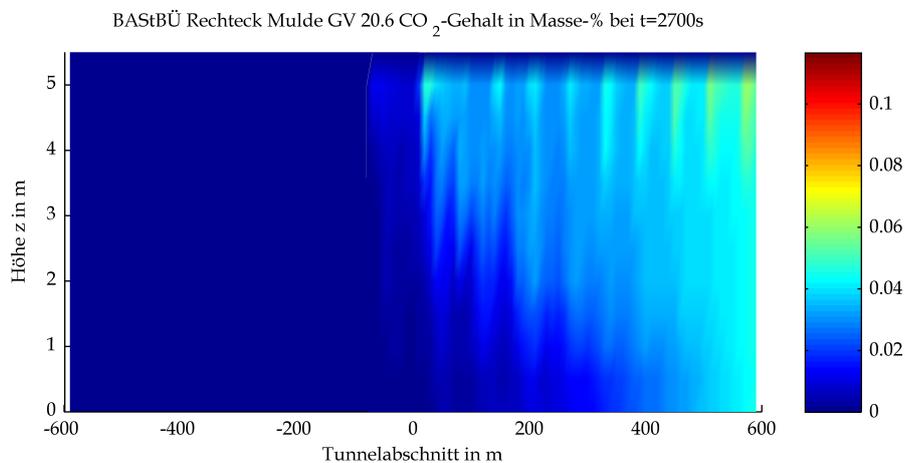
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte



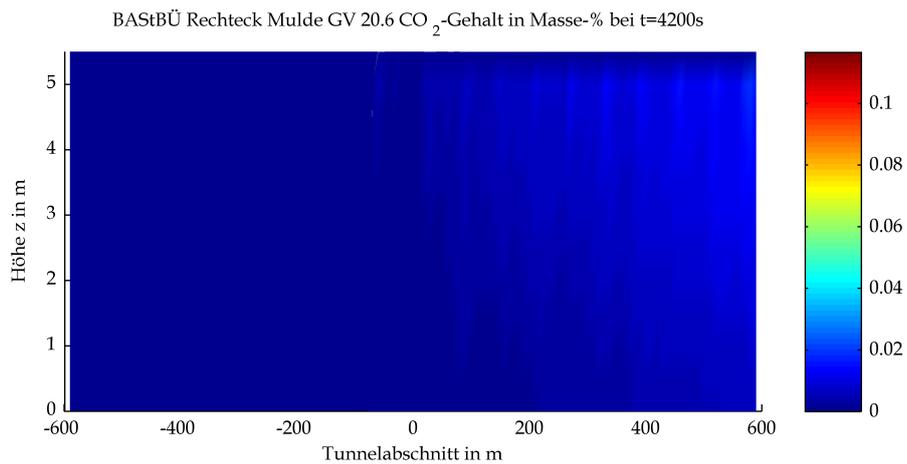
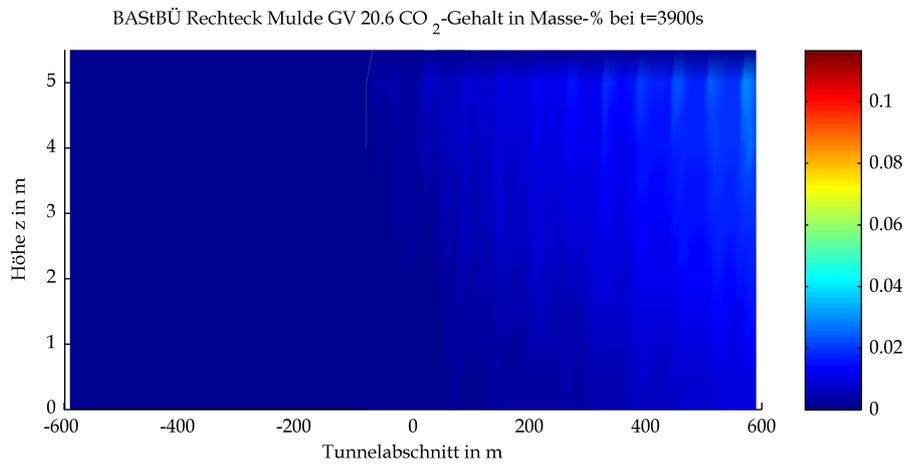
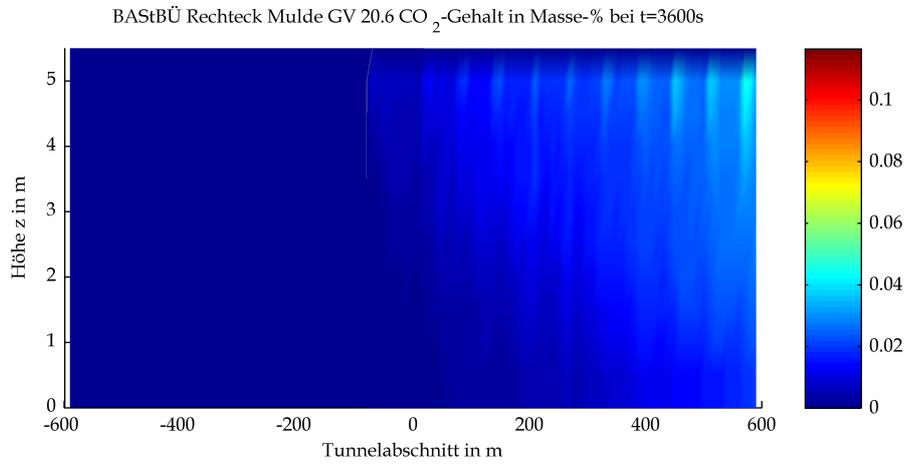
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

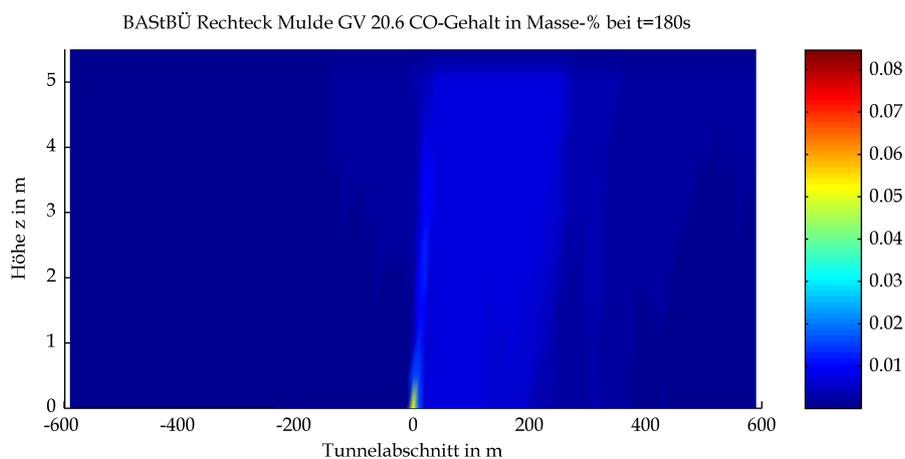
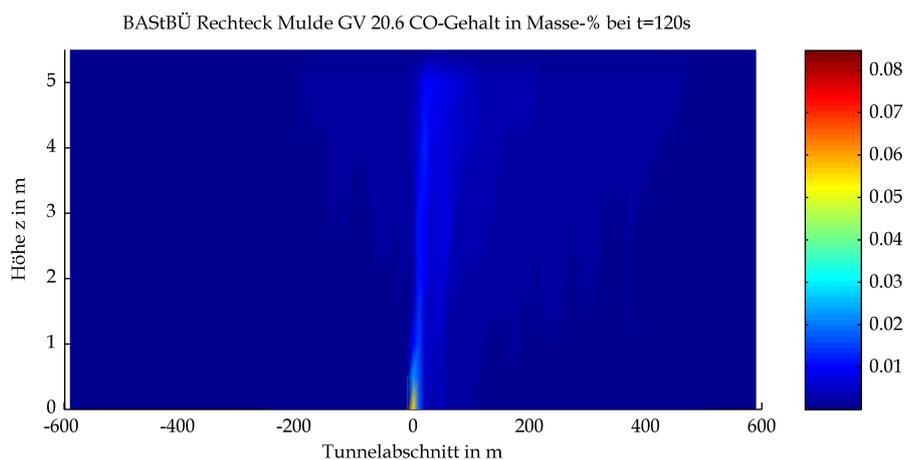
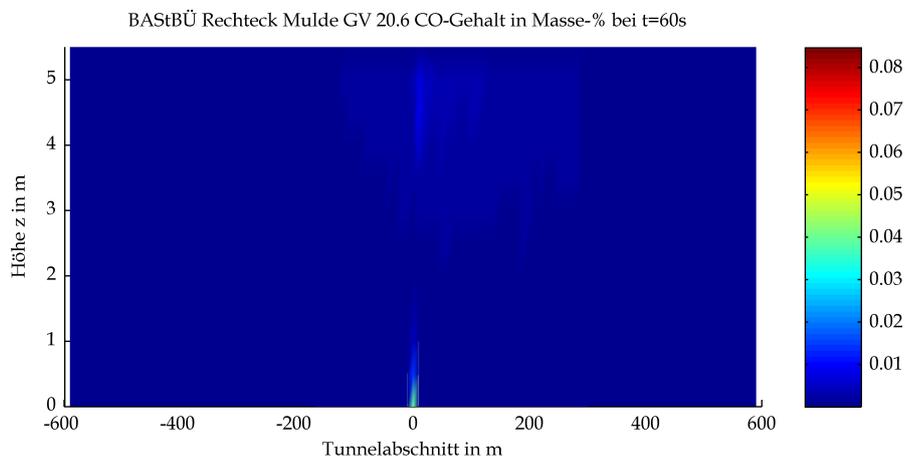


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

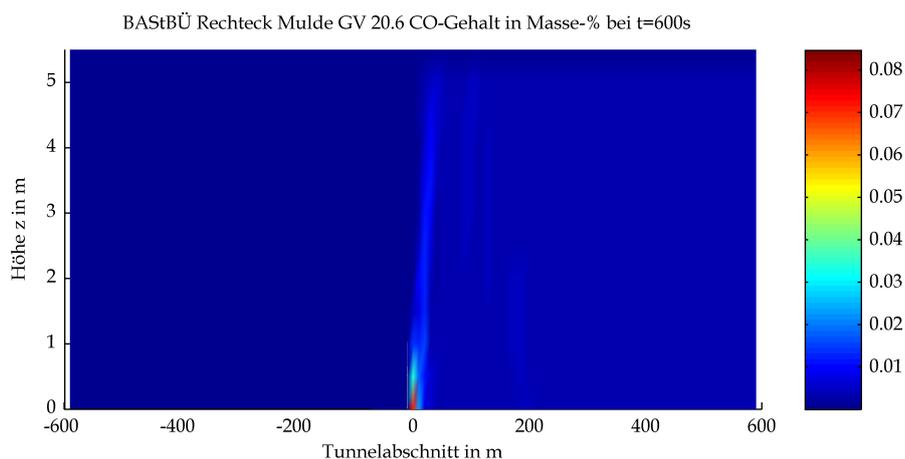
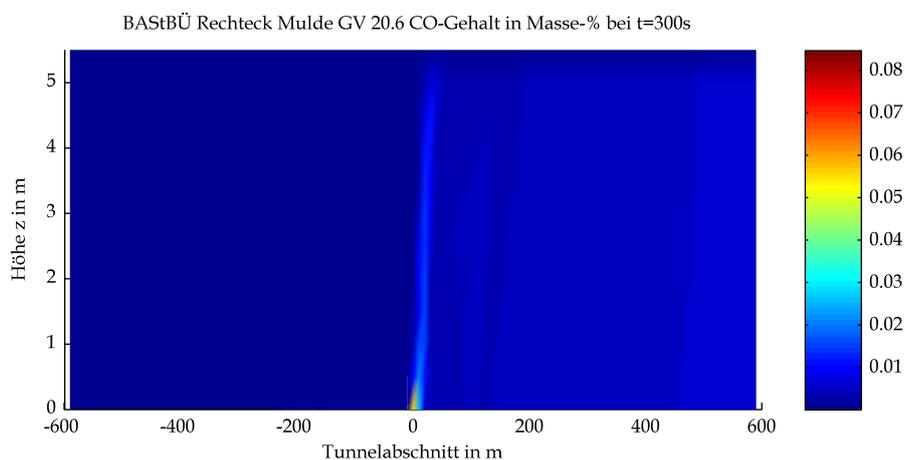
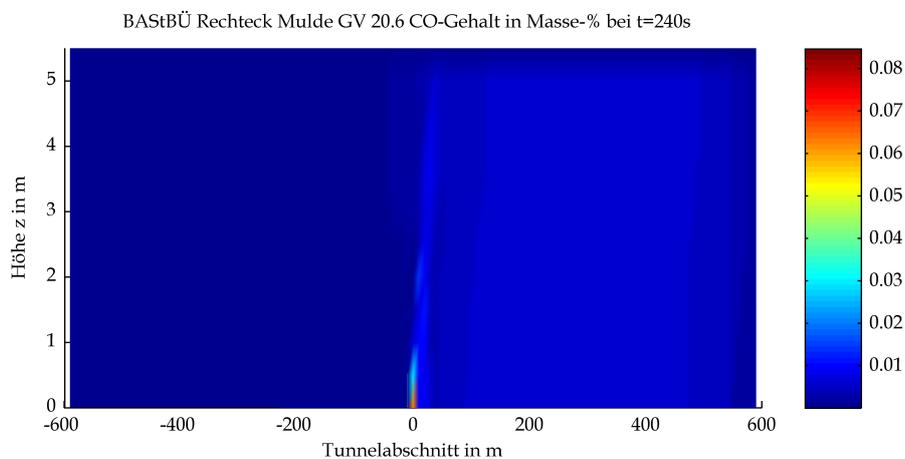


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

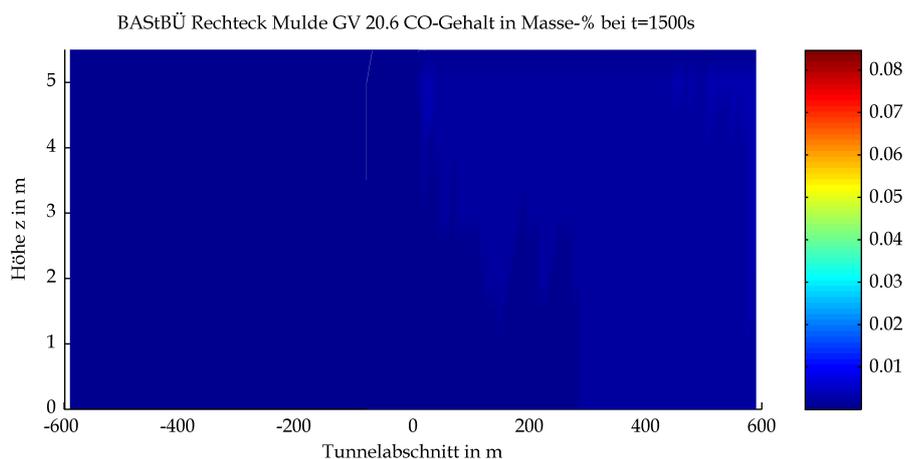
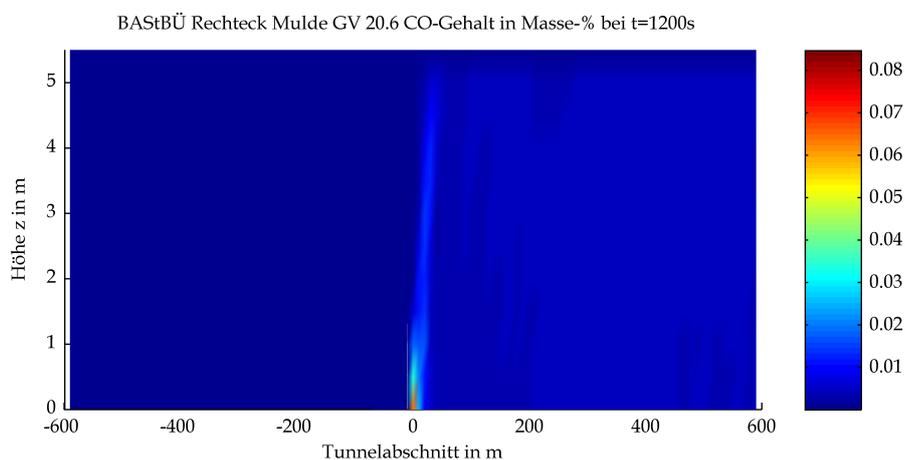
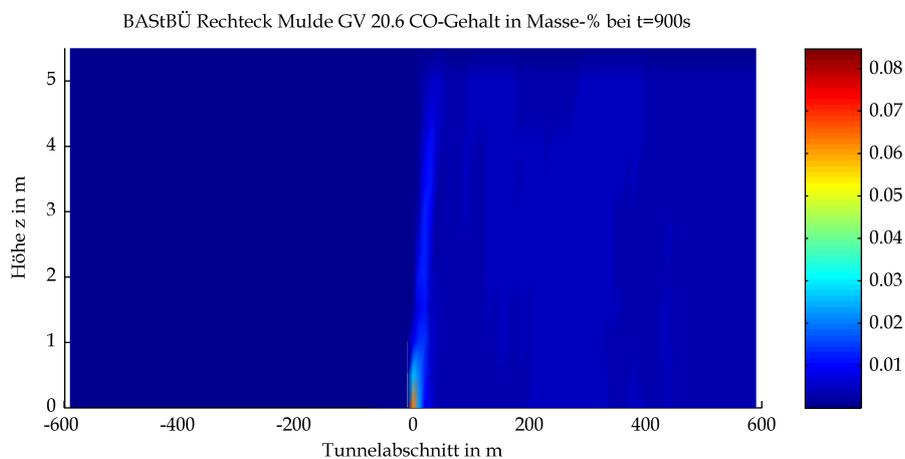
## 7 Kohlenmonoxidgehalt



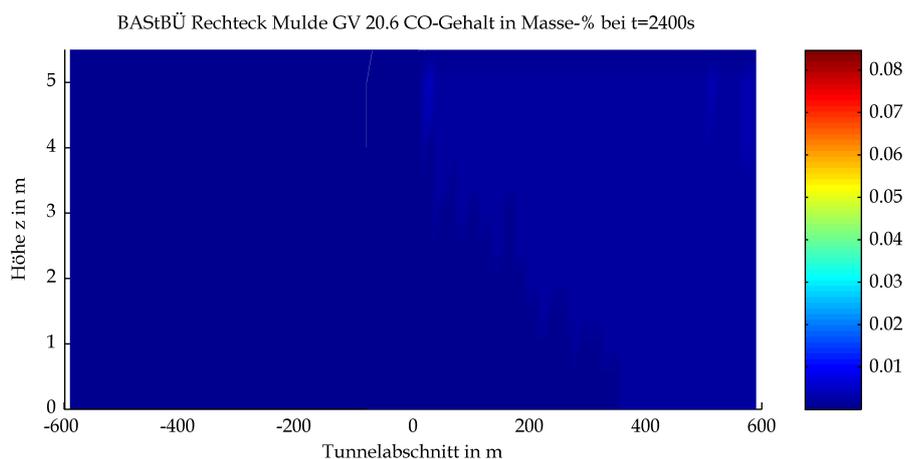
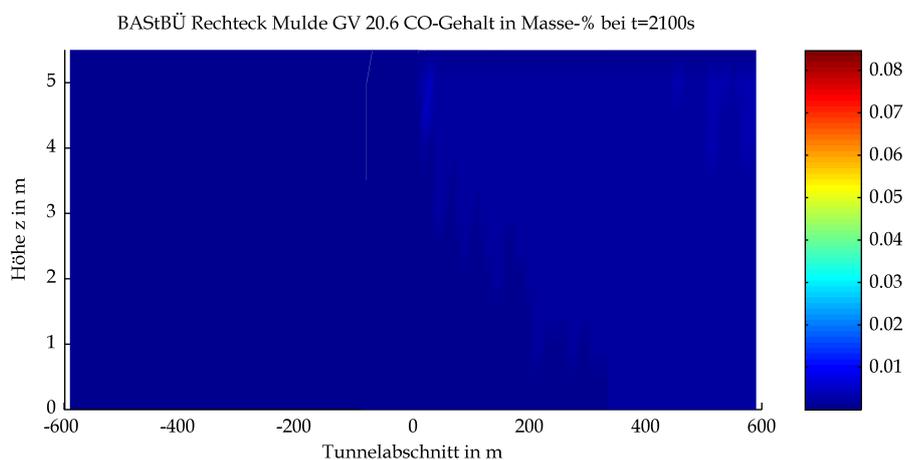
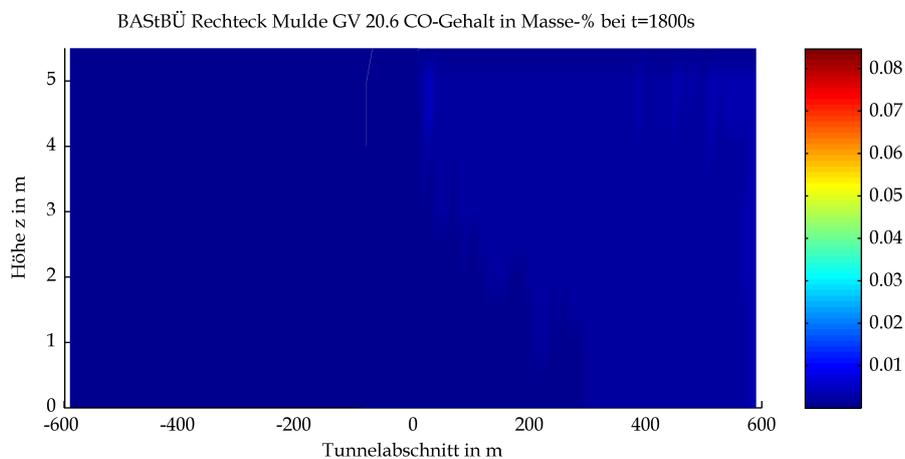
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



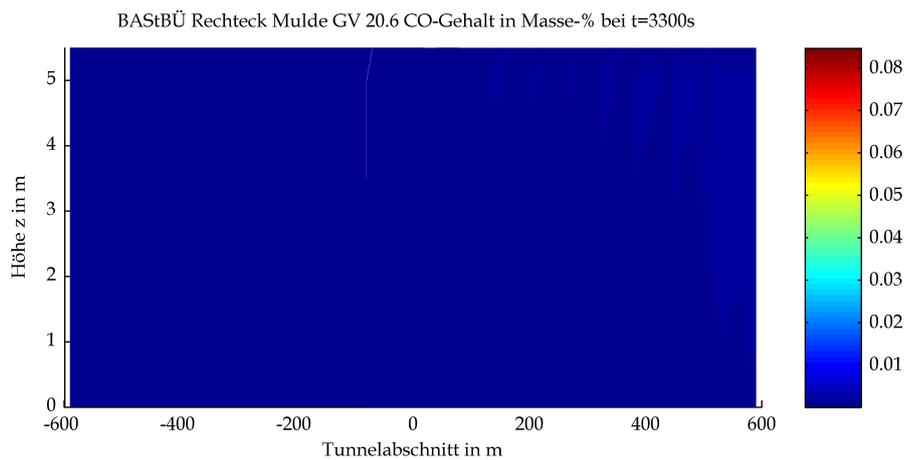
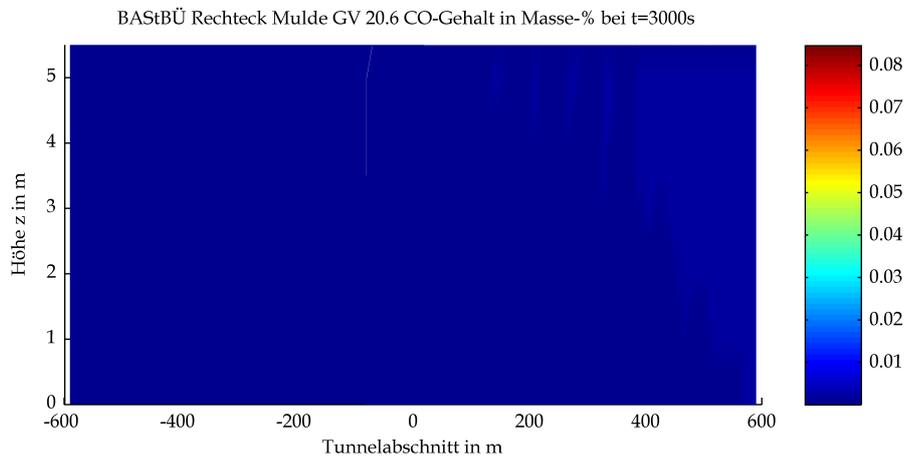
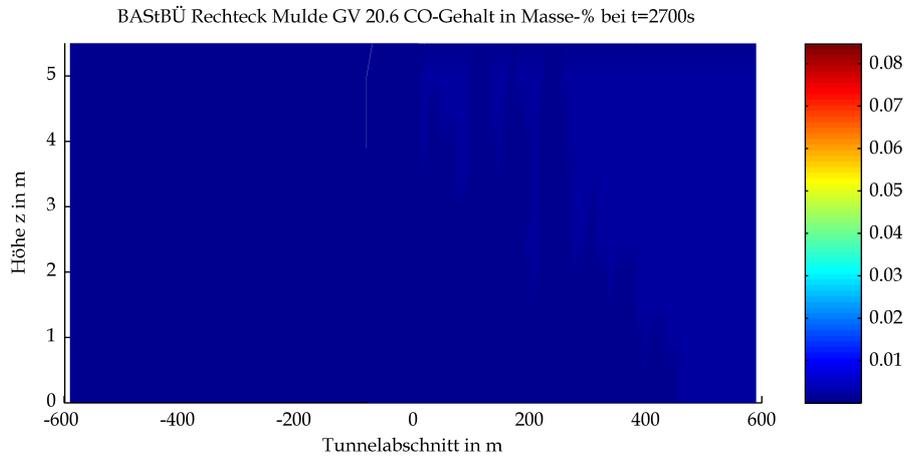
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



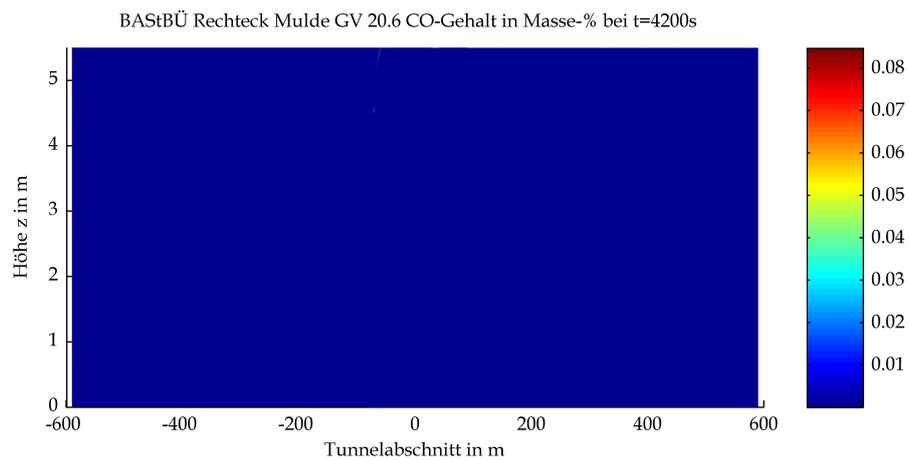
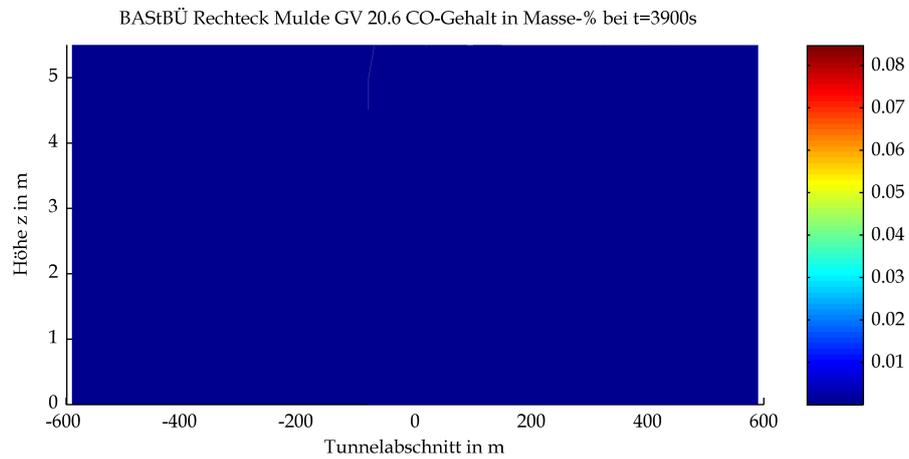
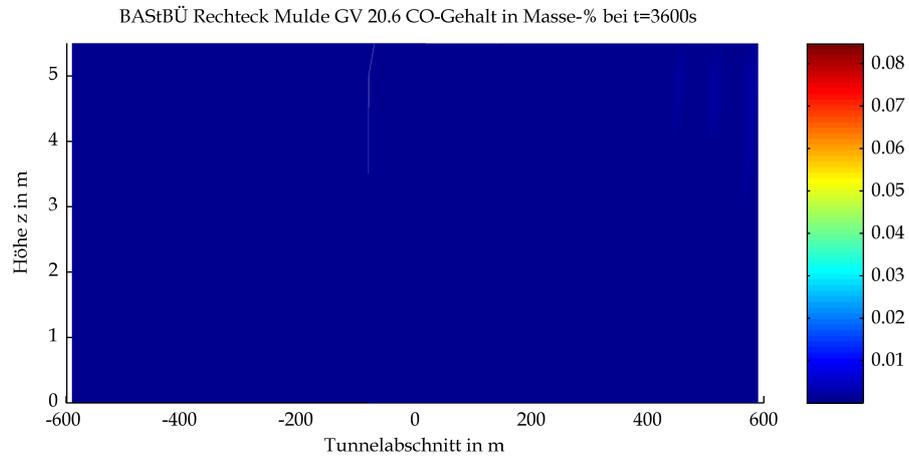
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



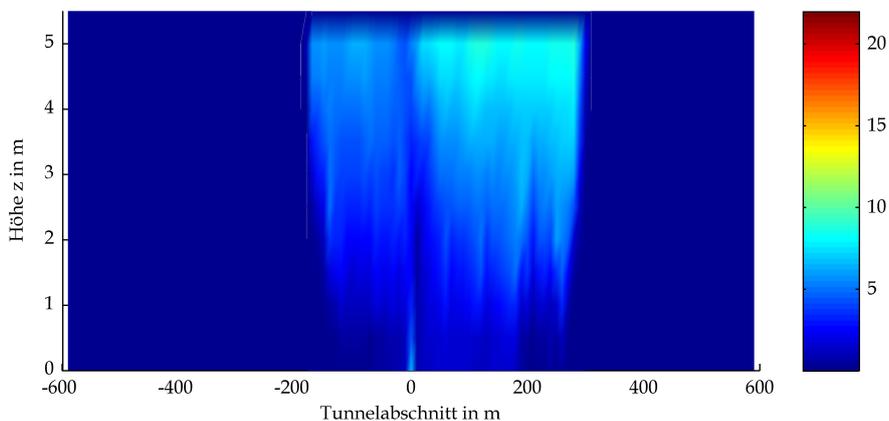
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



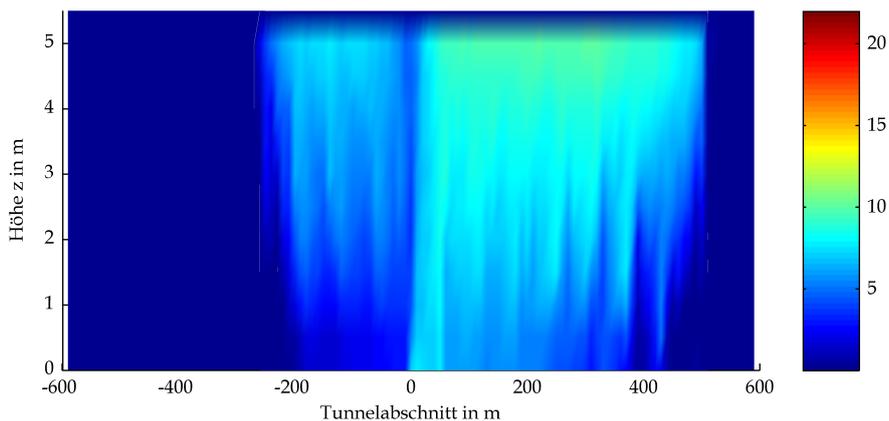
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte

## 8 Optische Dichte

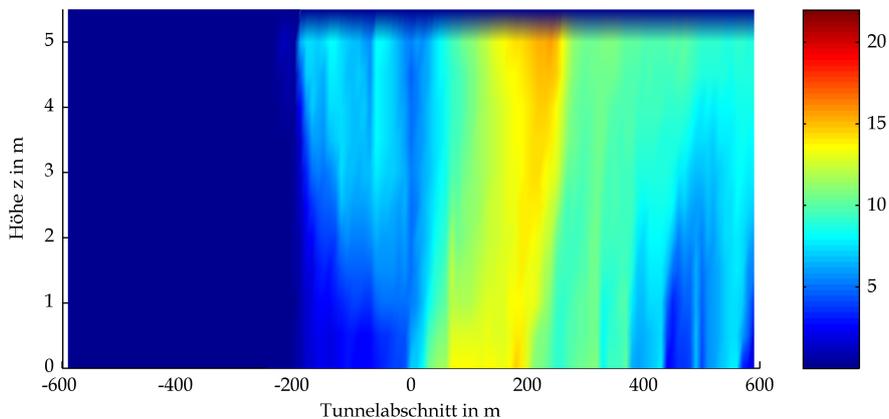
BASTBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=60s



BASTBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=120s

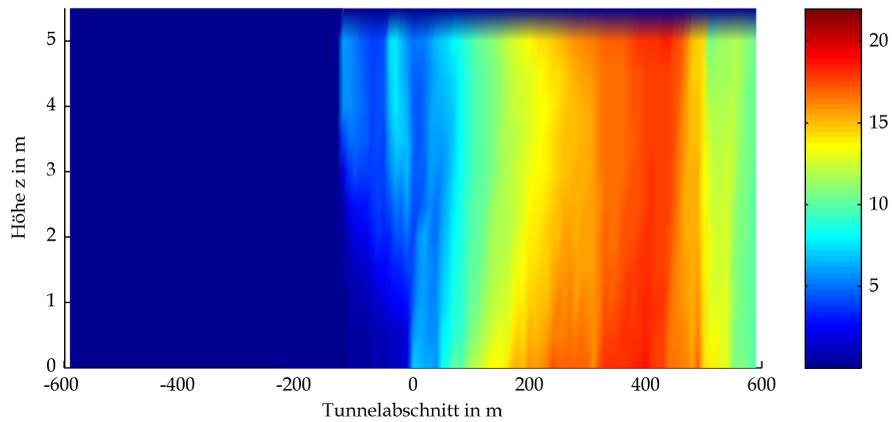


BASTBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=180s

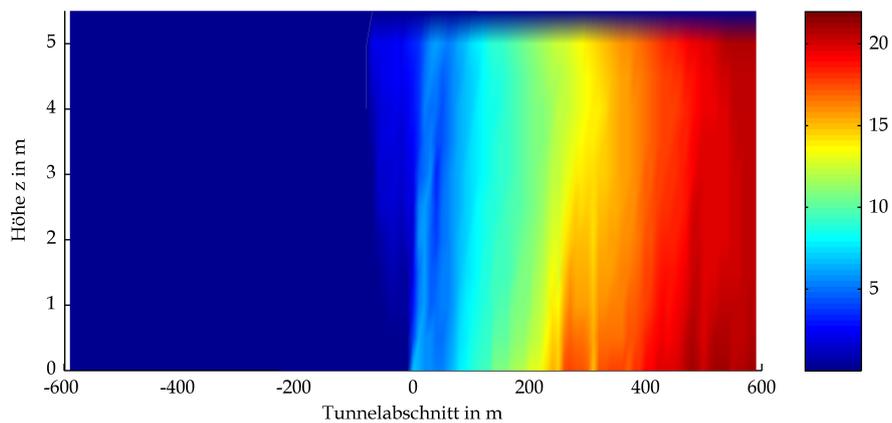


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

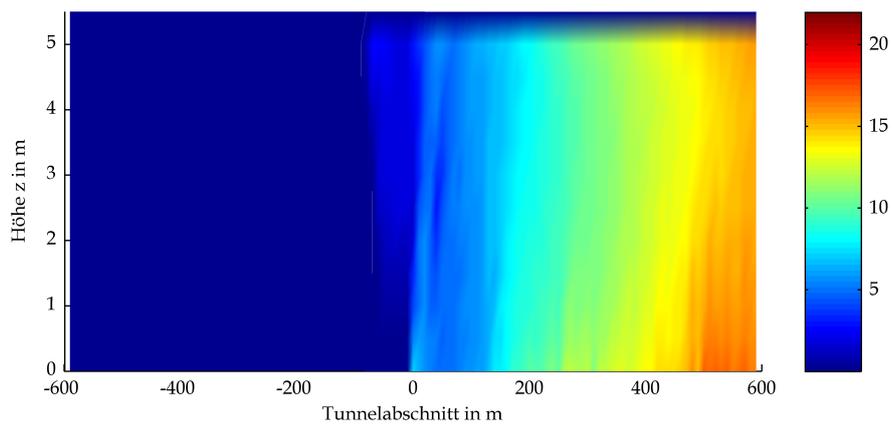
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=240s



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

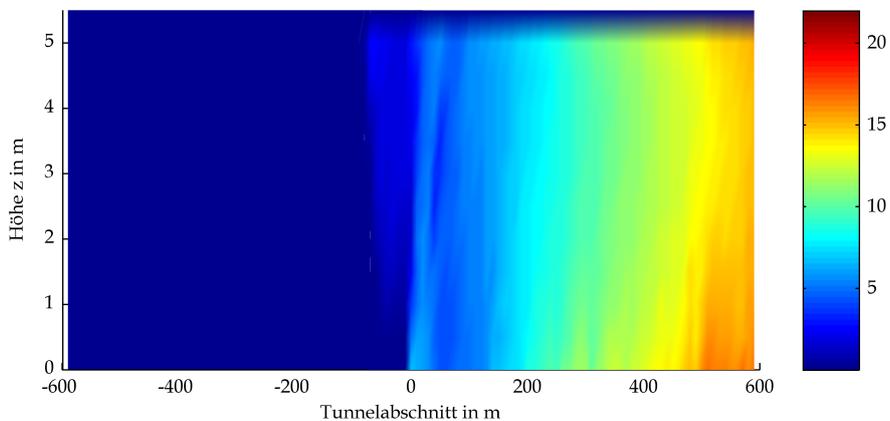


BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=600s

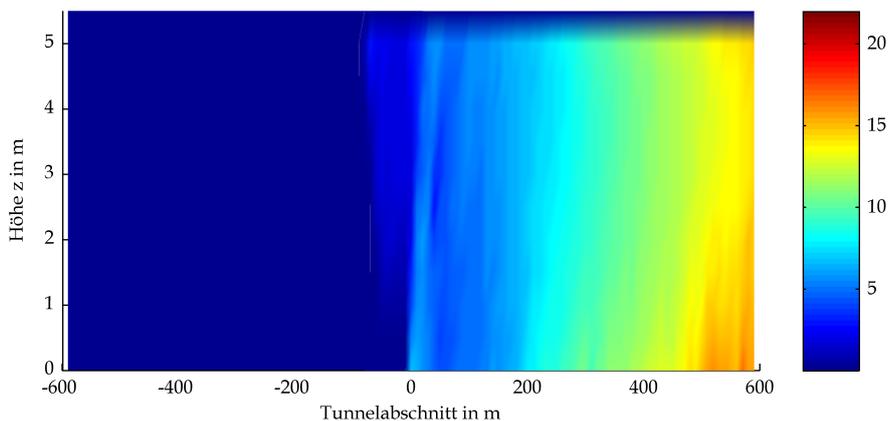


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

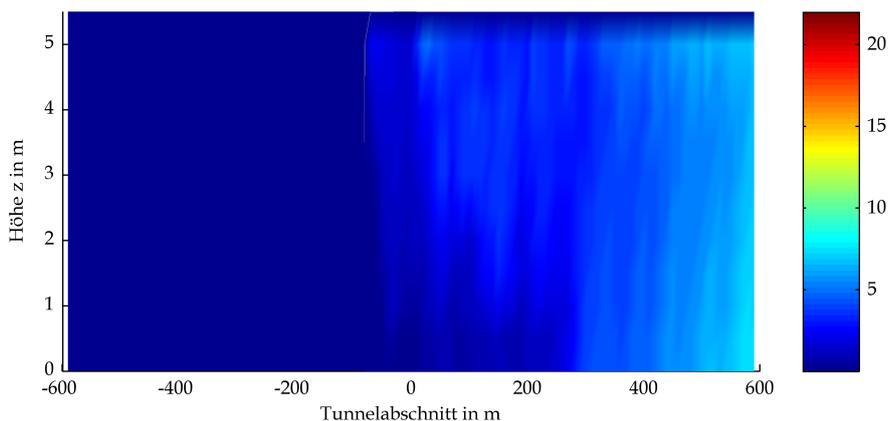
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=900s



BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=1200s

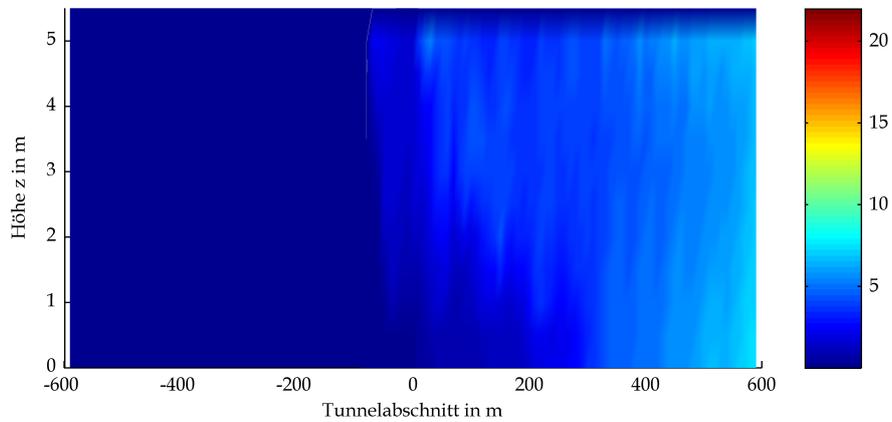


BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=1500s

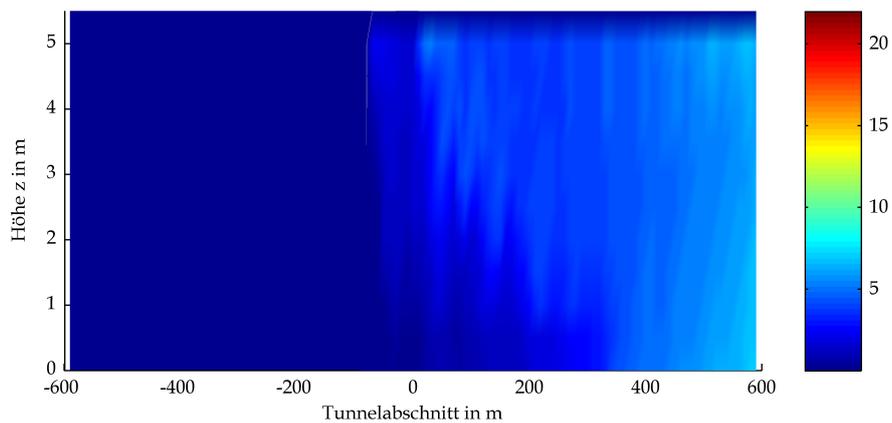


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

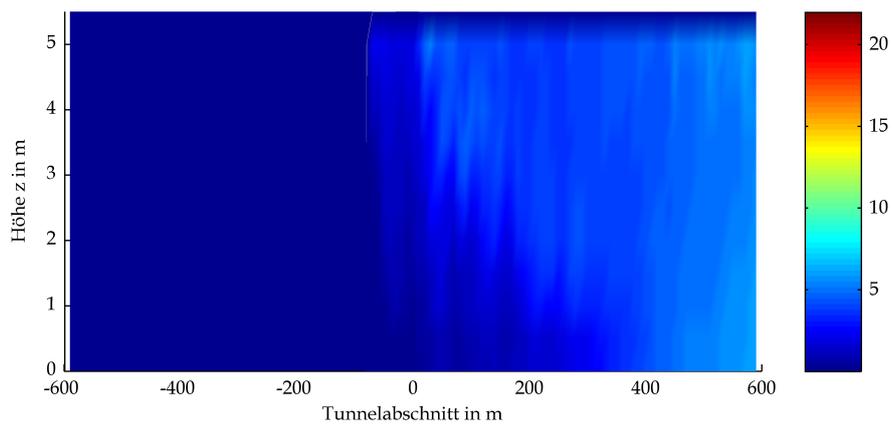
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=1800s



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

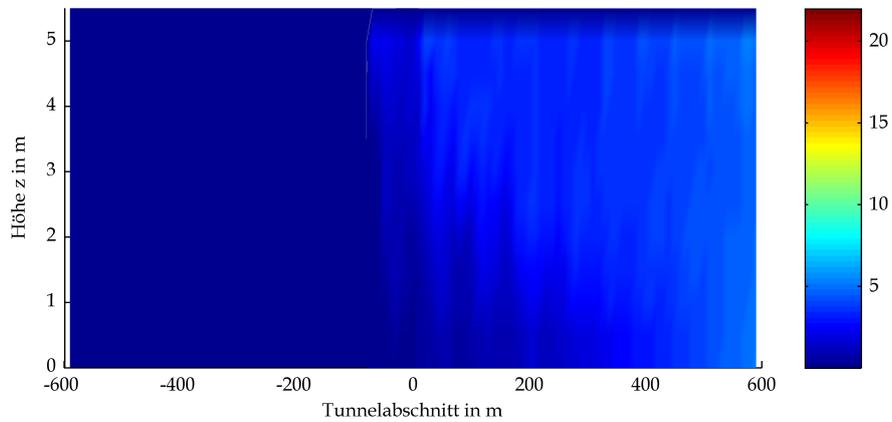


BASStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=2400s

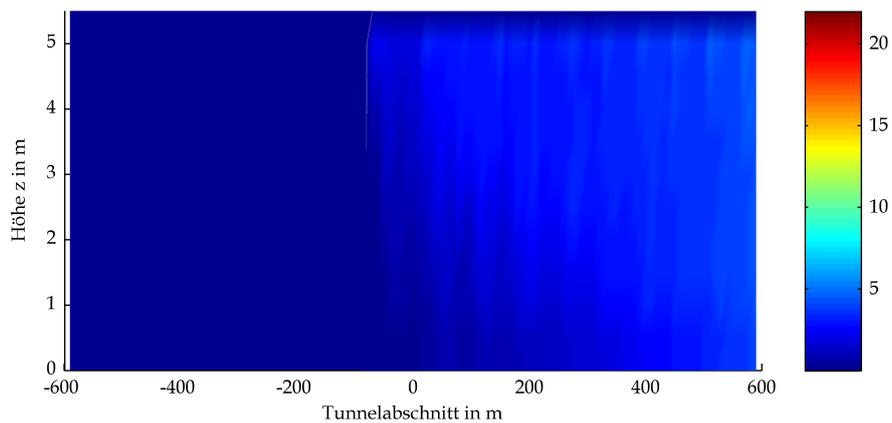


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

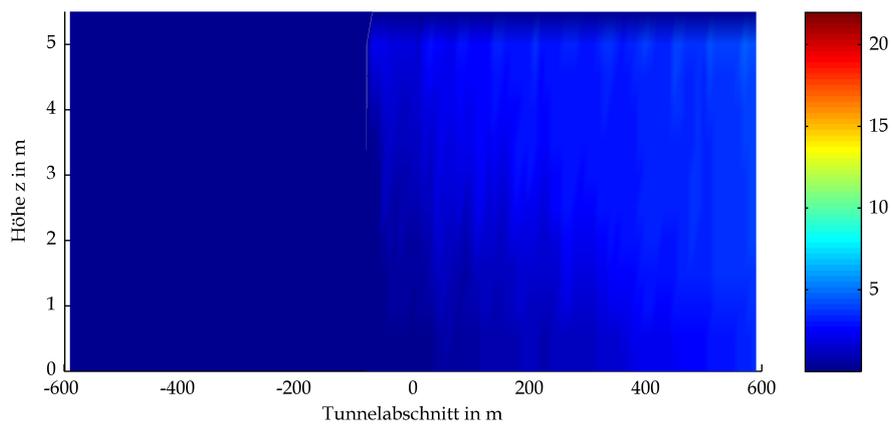
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=2700s



BASStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=3000s

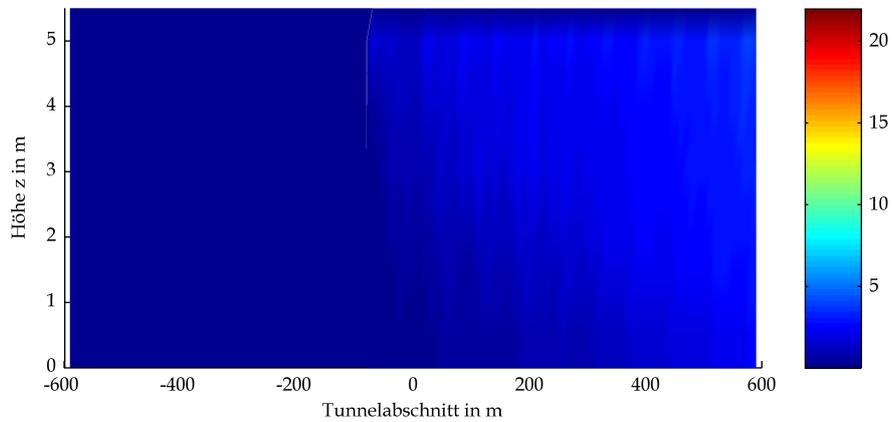


BASStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=3300s

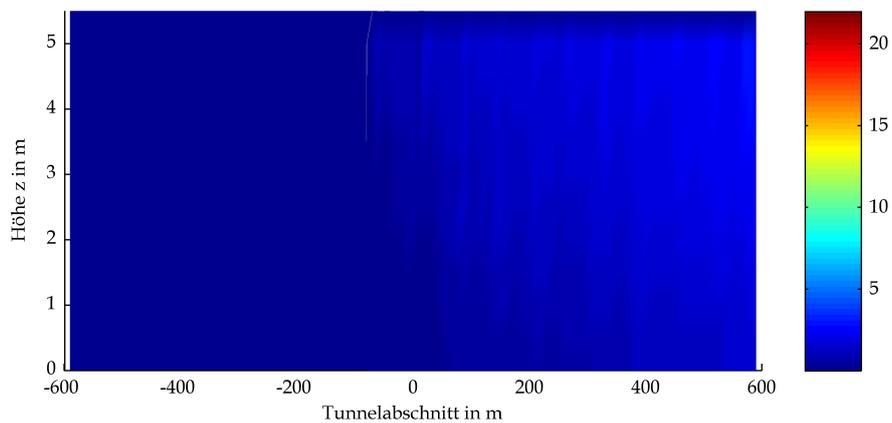


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

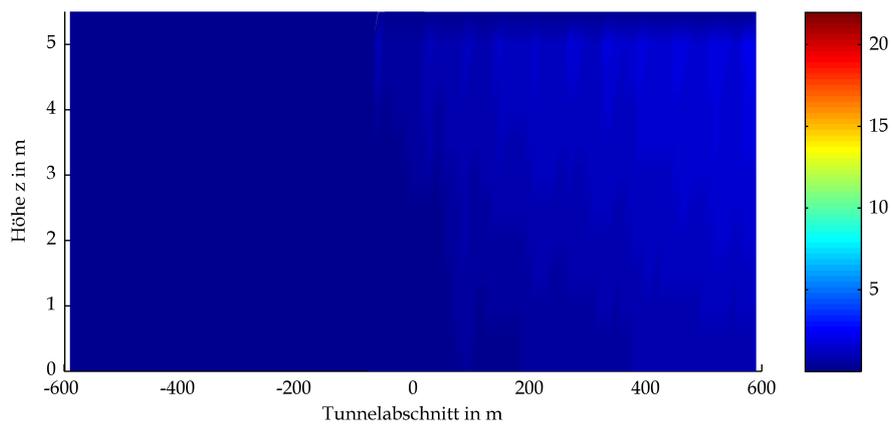
BASTBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=3600s



BASTBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=3900s



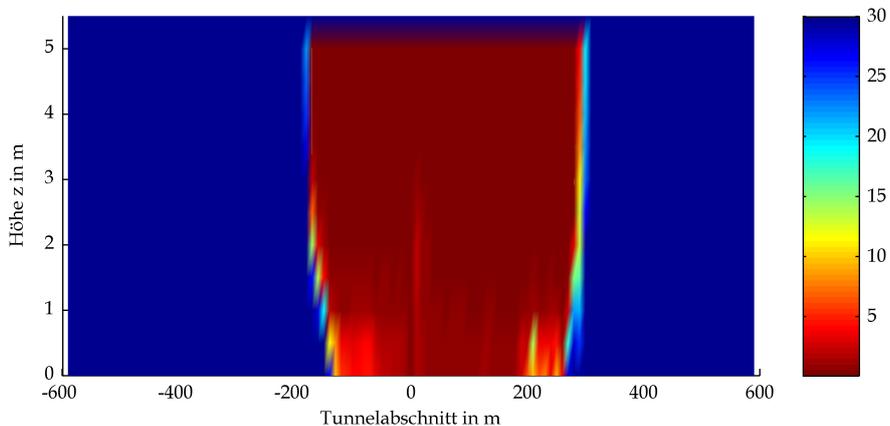
BASTBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Optische Dichte bei t=4200s



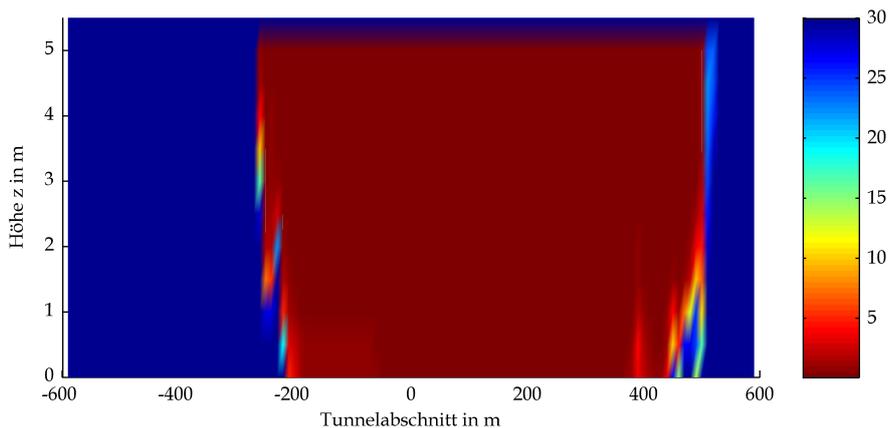
Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

## 9 Sichtweiten

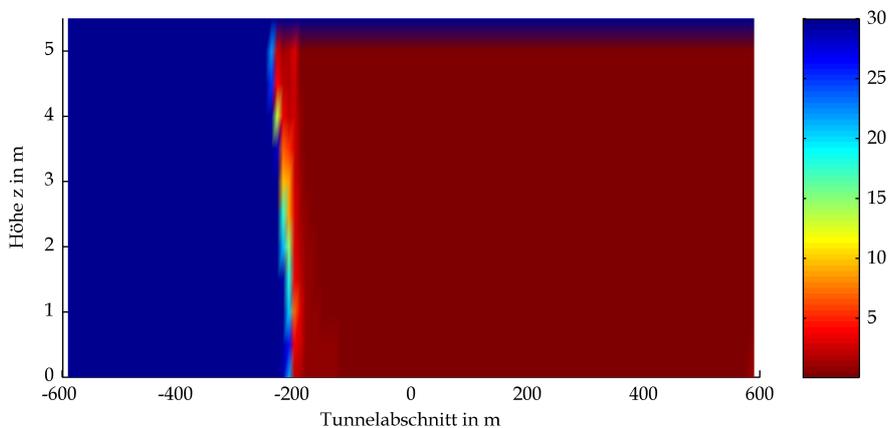
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=60s



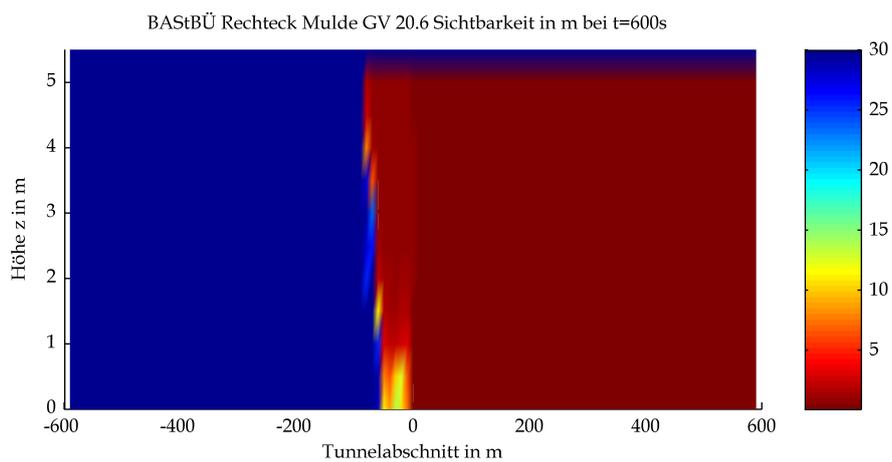
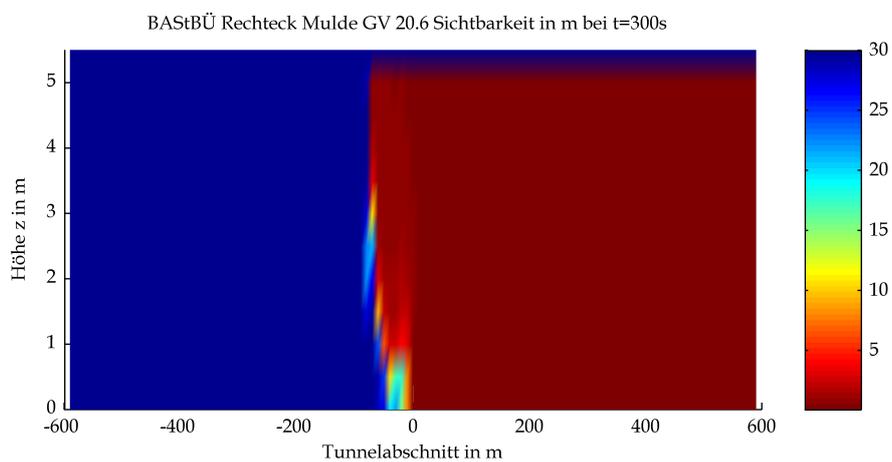
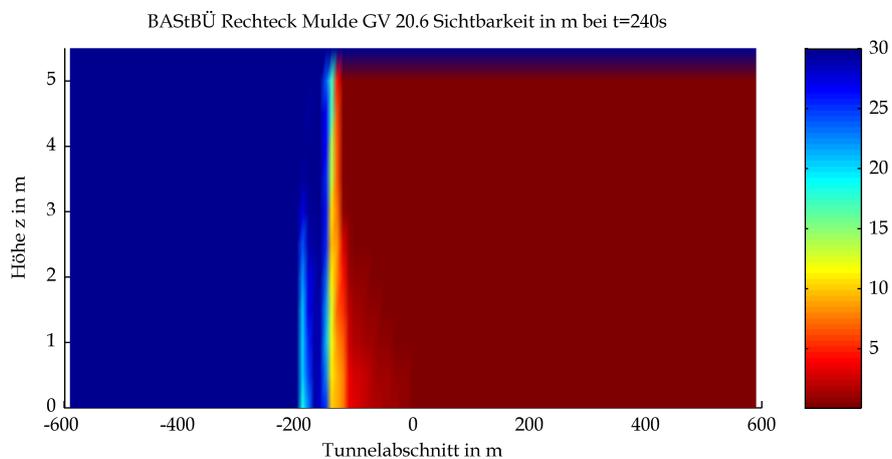
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=120s



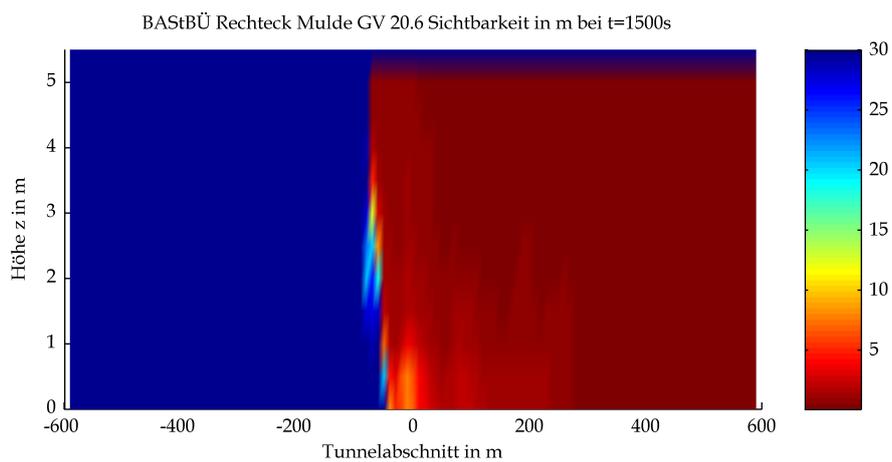
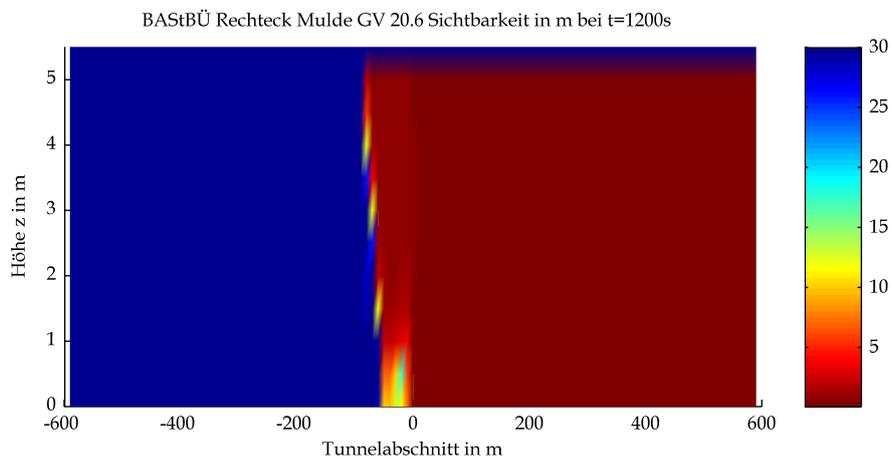
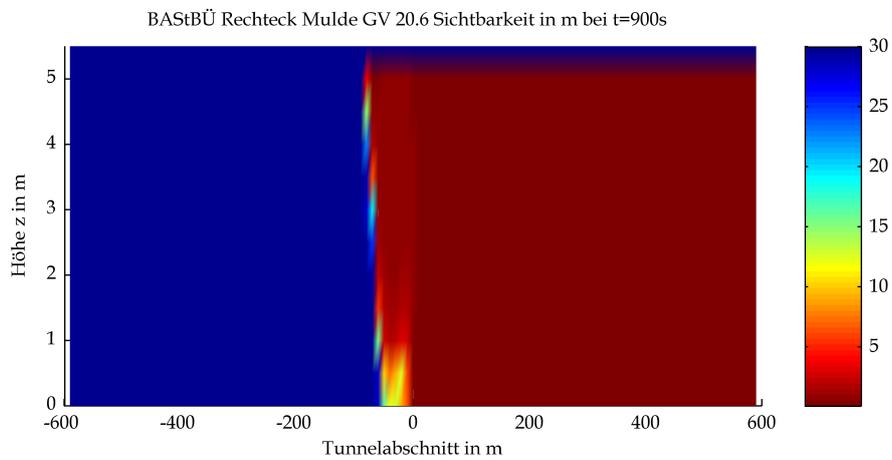
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=180s



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

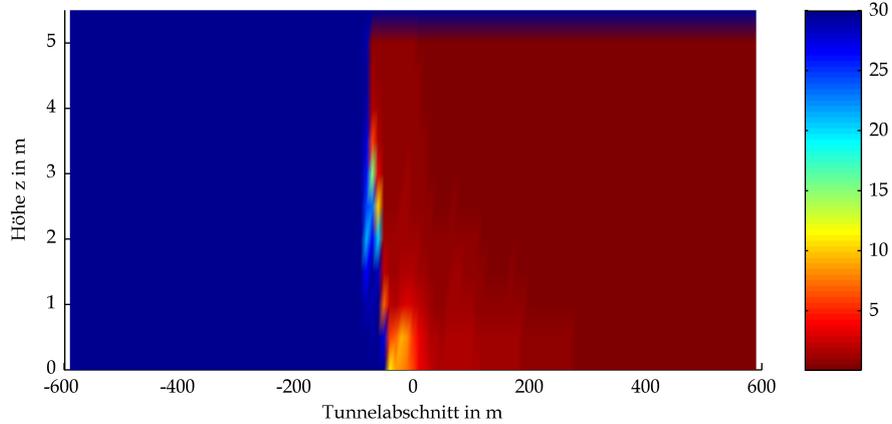


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

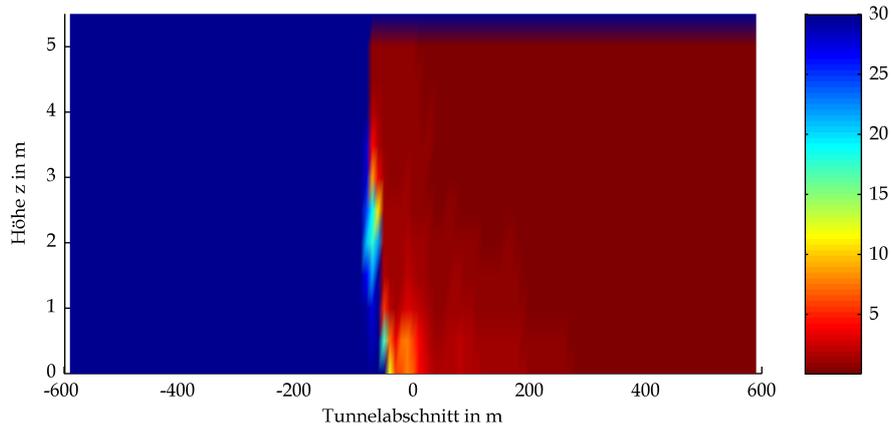


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

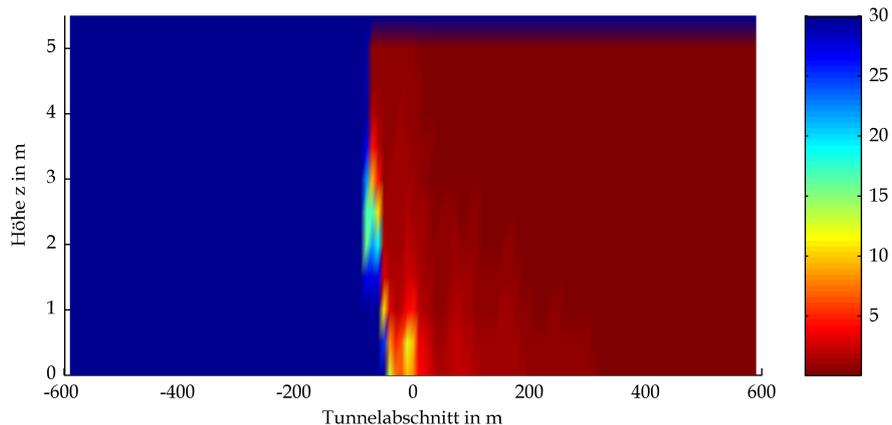
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=1800s



BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=2100s

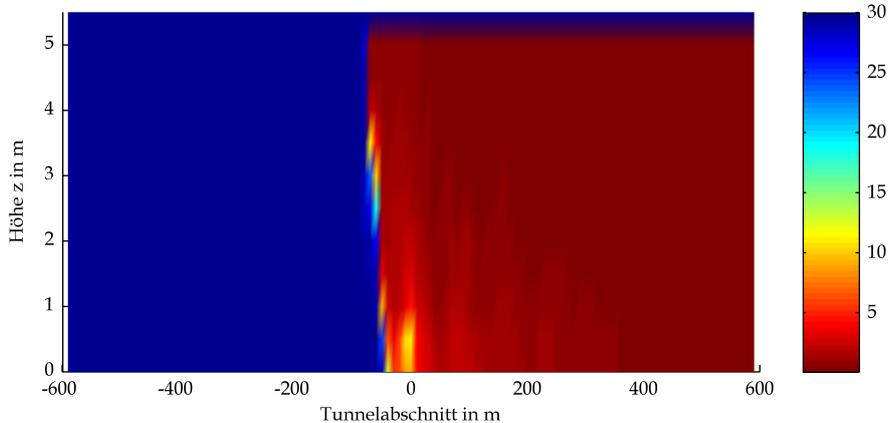


BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=2400s

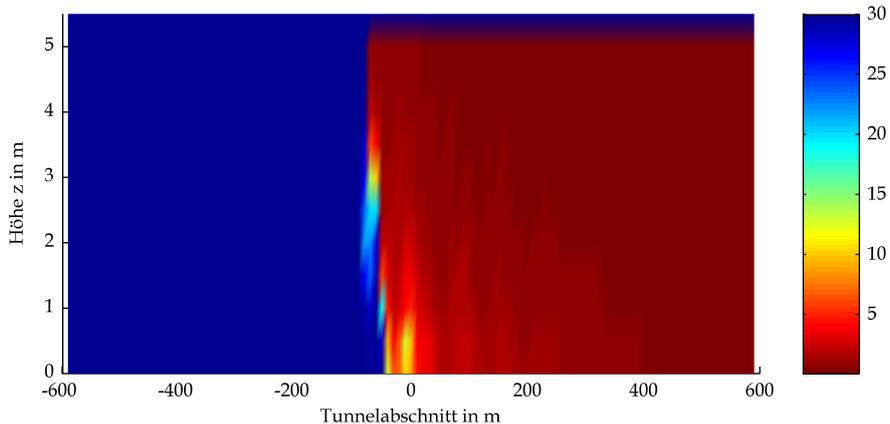


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

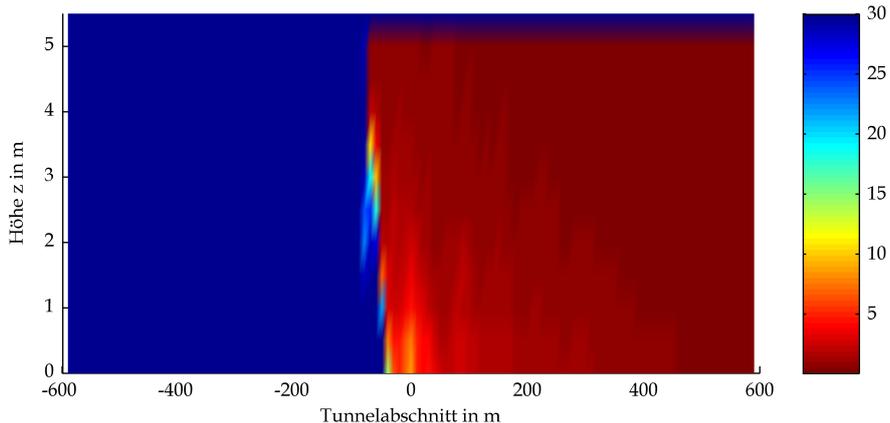
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=2700s



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

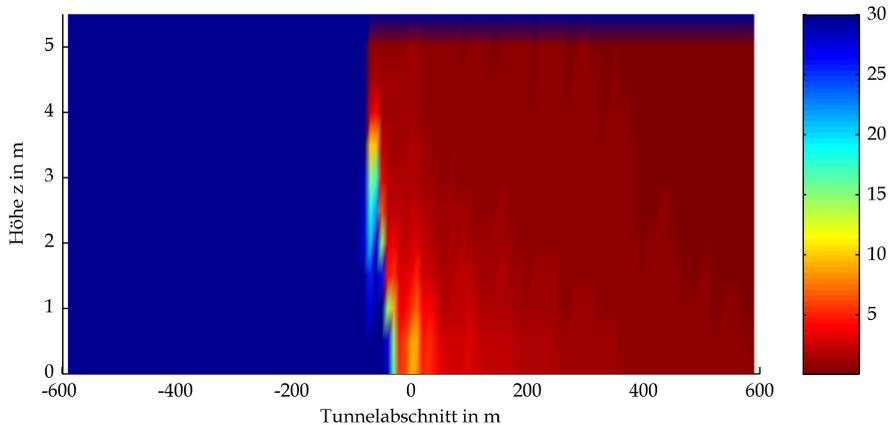


BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=3300s

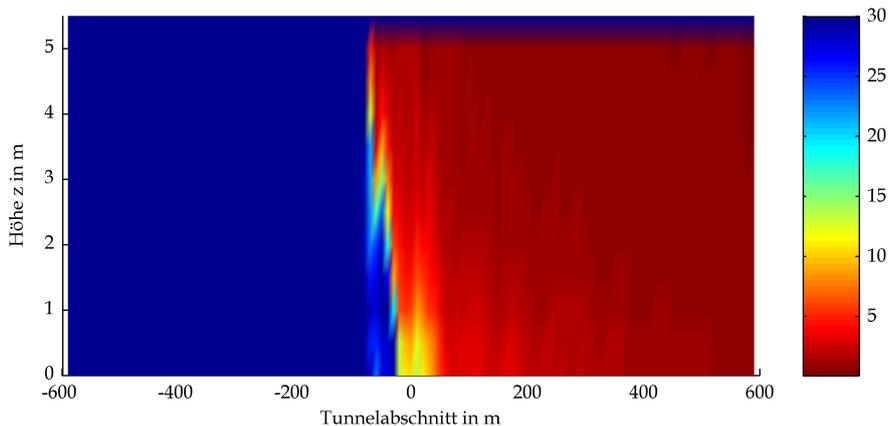


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

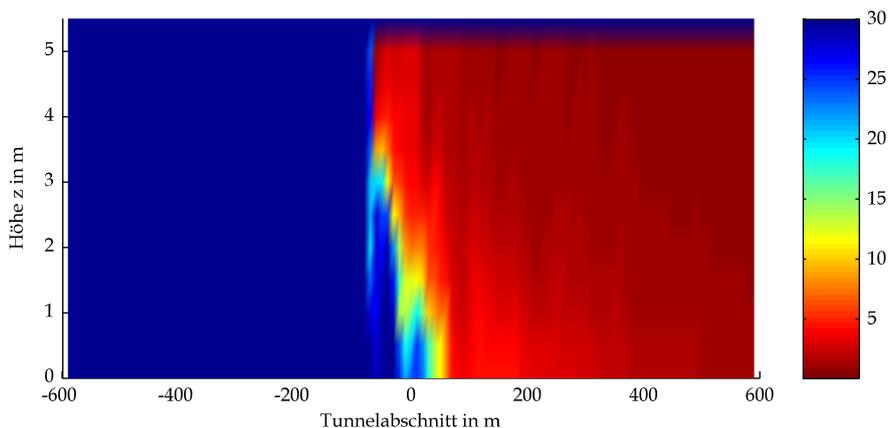
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=3600s



BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=3900s

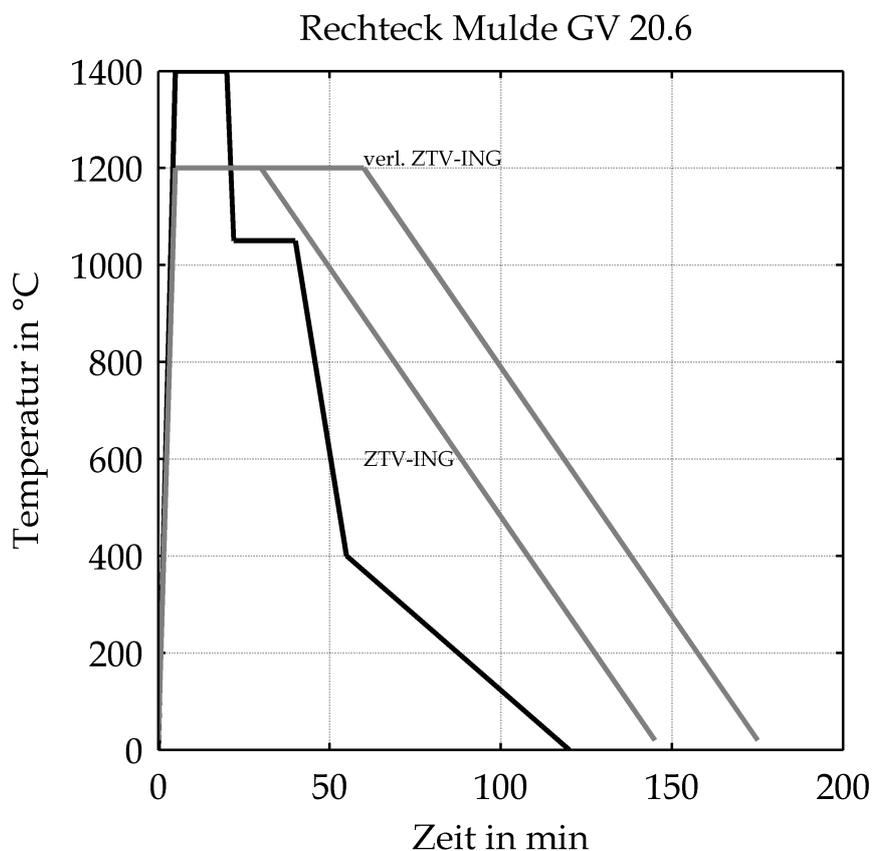


BAStBÜ Rechteck Mulde GV 20.6 Sichtbarkeit in m bei t=4200s



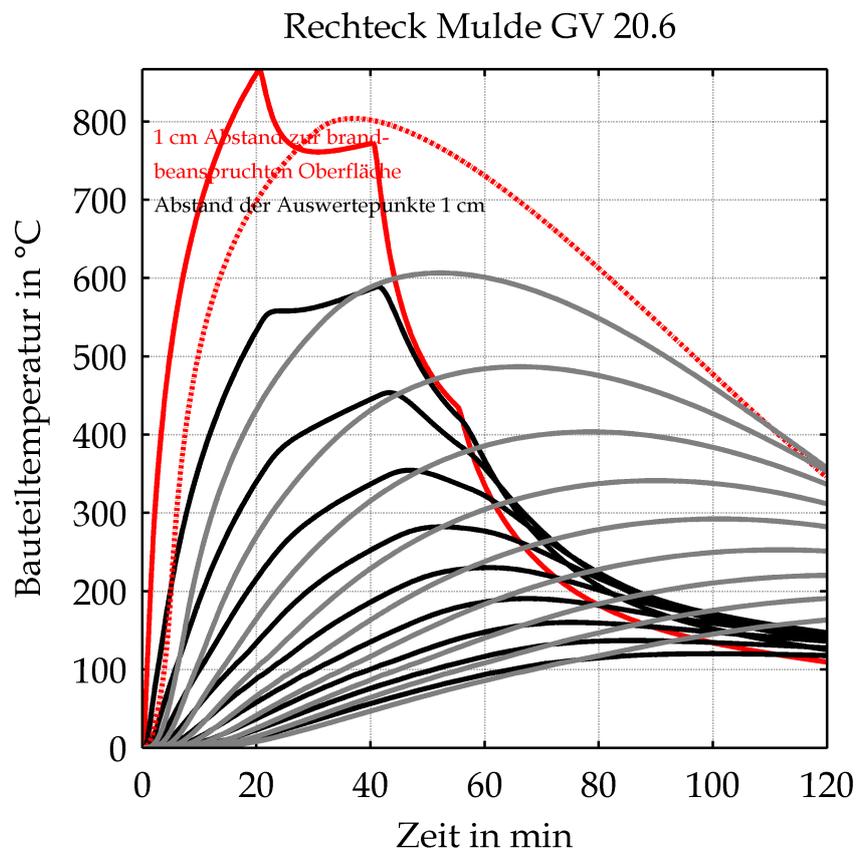
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

## IV Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf



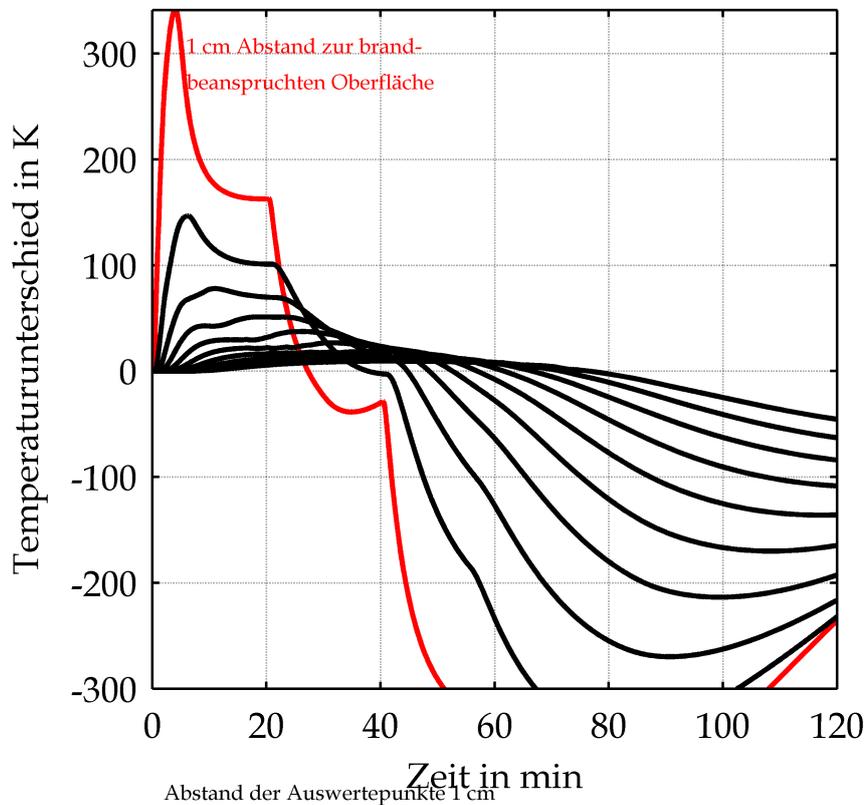
Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (schwarz) sowie Temperatur-Zeit-Verlauf nach ZTV-ING und RWS-Kurve (beide grau)

## V Durchwärmungsverhalten



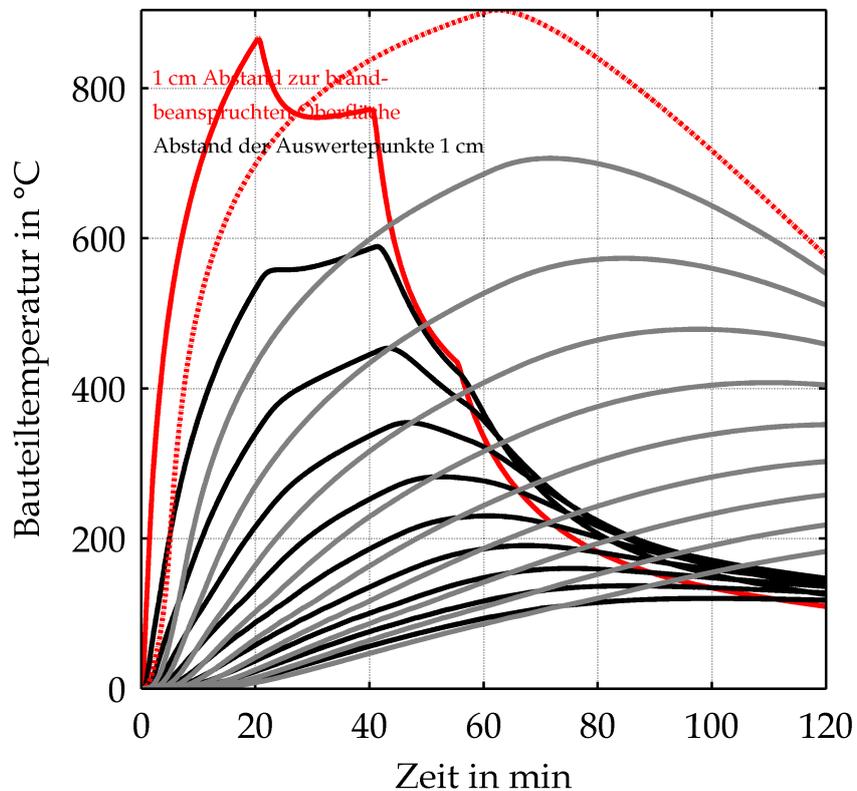
Bauteiltemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche für den bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf (rot und schwarz) und infolge ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve (rot gestrichelt, grau)

### Rechteck Mulde GV 20.6



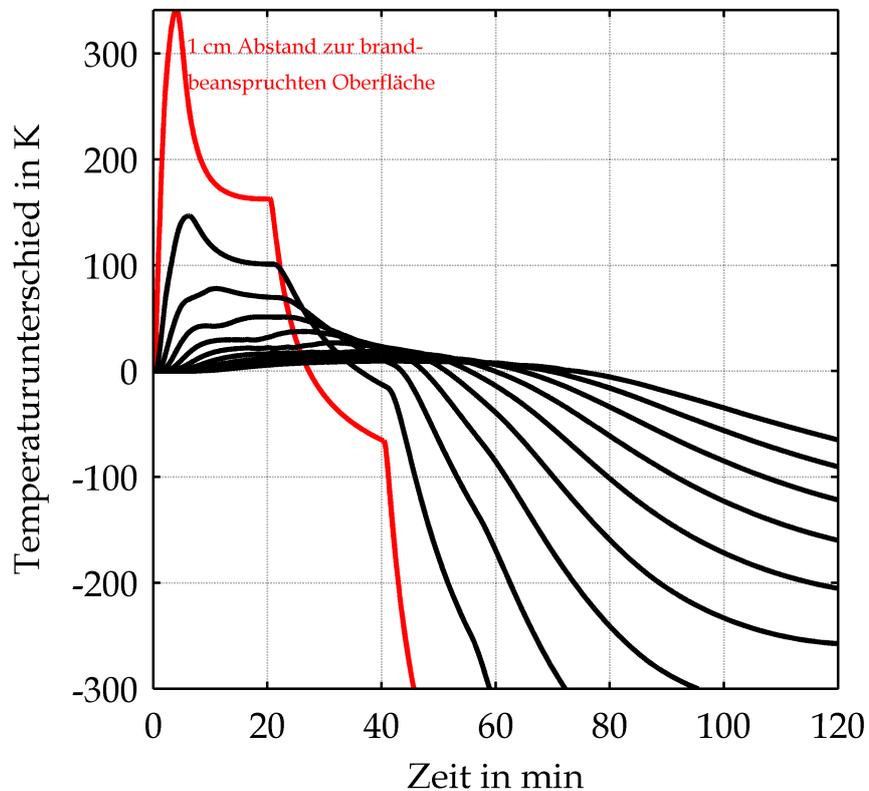
Temperaturdifferenz in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche zwischen den Bauteiltemperaturen infolge des bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf und der ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve

### Rechteck Mulde GV 20.6



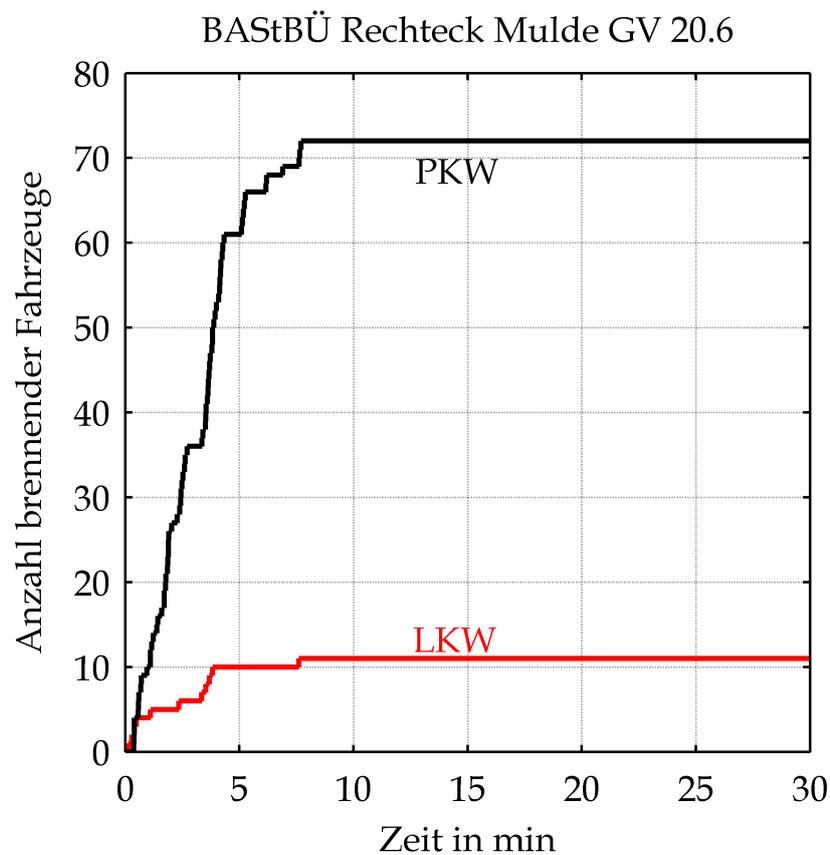
Bauteiltemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche für den bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf (rot und schwarz) und infolge verlängerter ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve (rot gestrichelt, grau)

### Rechteck Mulde GV 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)