

# **BASt FE 86.0096/2014**

## **Brandüberschlag in Straßentunneln**

### **Anlage B10: Gewölbe Neigung Richtungsverkehr 300 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
--------------	--	---------

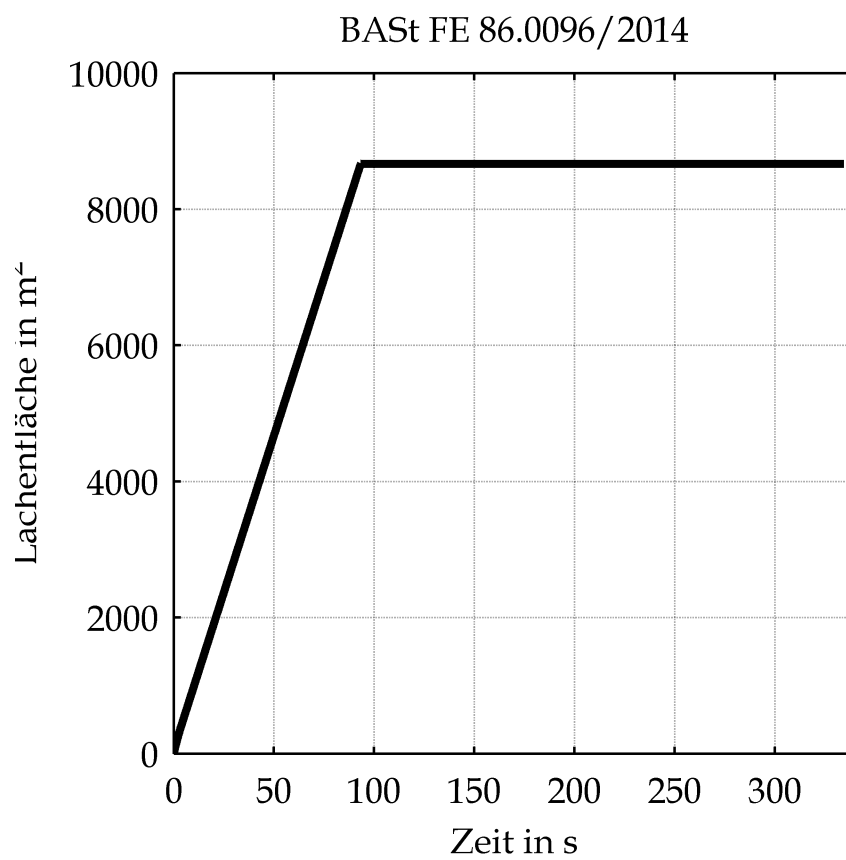
Intern geprüft:	Prof. Dr.-Ing. Frank Dehn
-----------------	---------------------------

Raum für Prüfeintragungen:

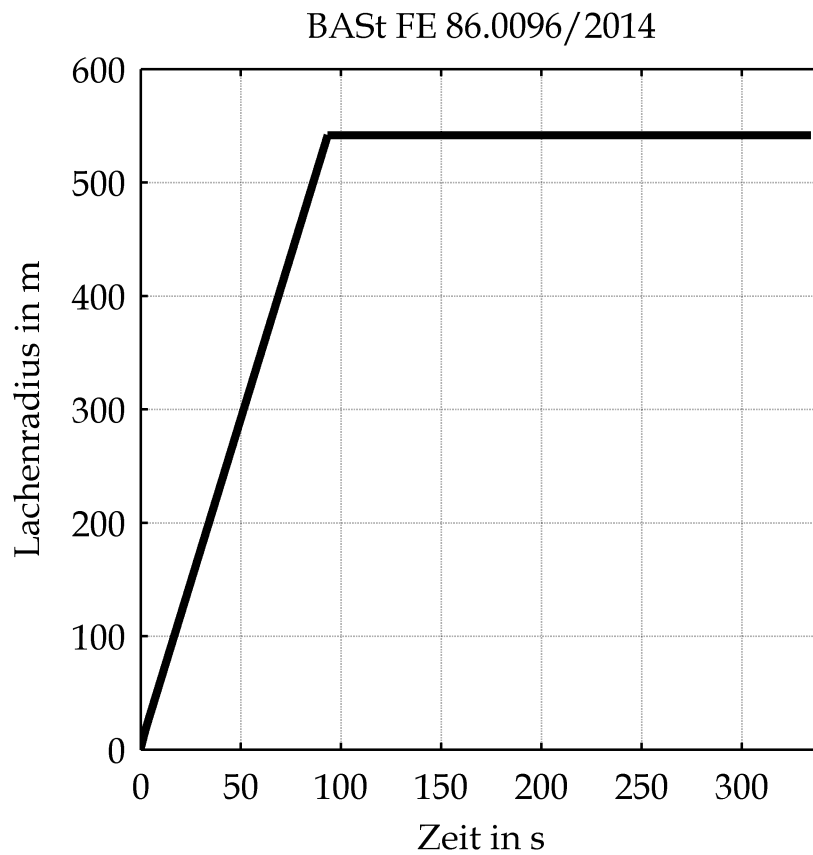
## I Gesamtinhaltsverzeichnis

<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>

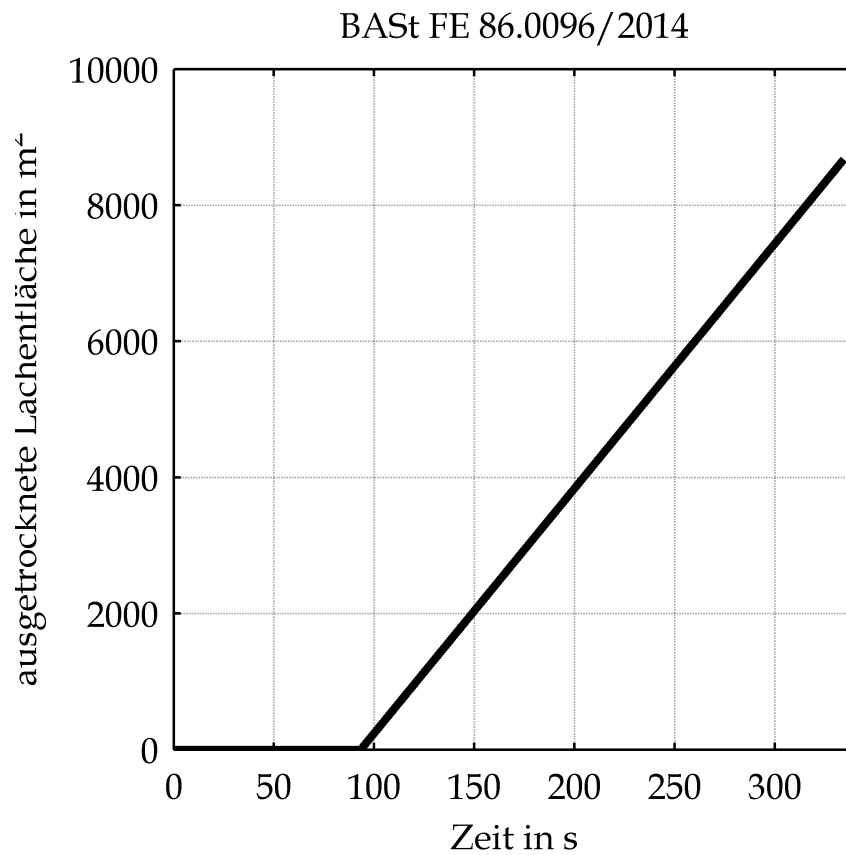
## II Ermittlung der Lachengeometrie unter Berücksichtigung der Ventilation



Fläche der Lache in Abhängigkeit von der Zeit

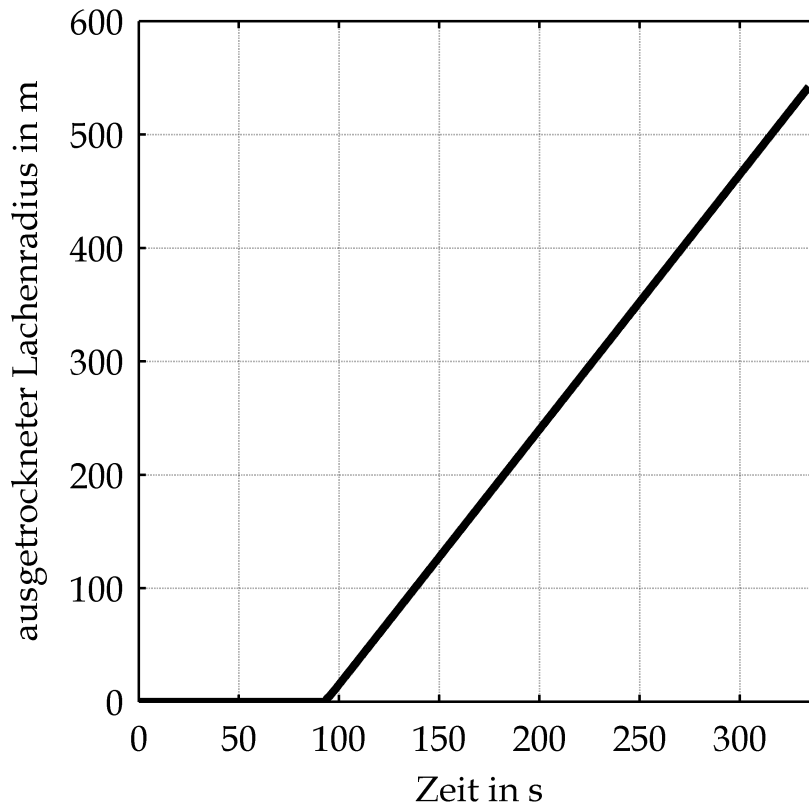


Radius der Lache in Abhängigkeit von der Zeit



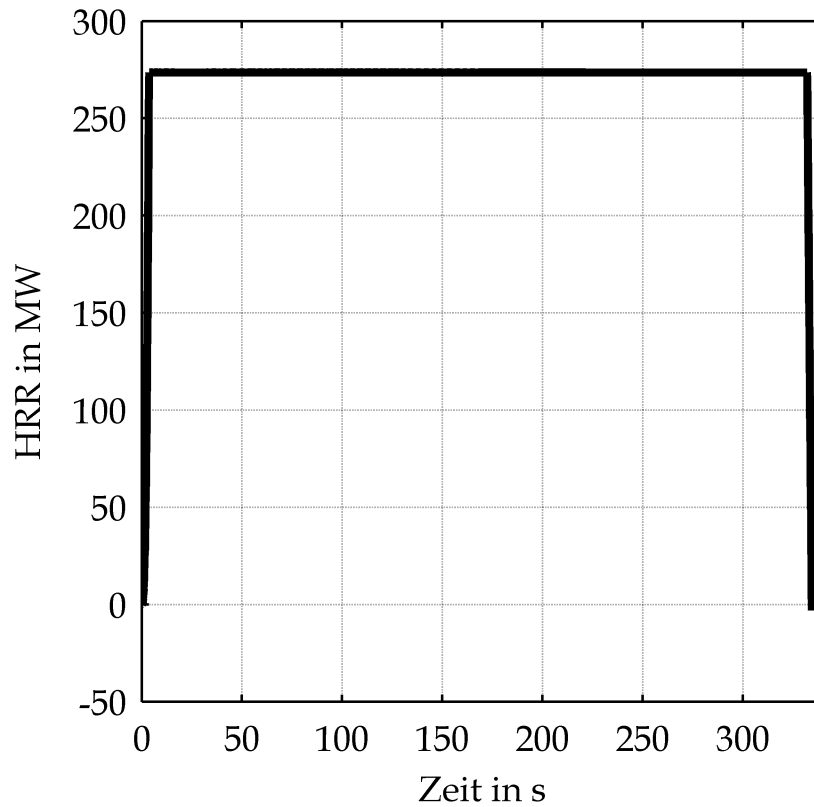
Fläche der ausgetrockneten Lache in Abhängigkeit von der Zeit

### BASt FE 86.0096/2014



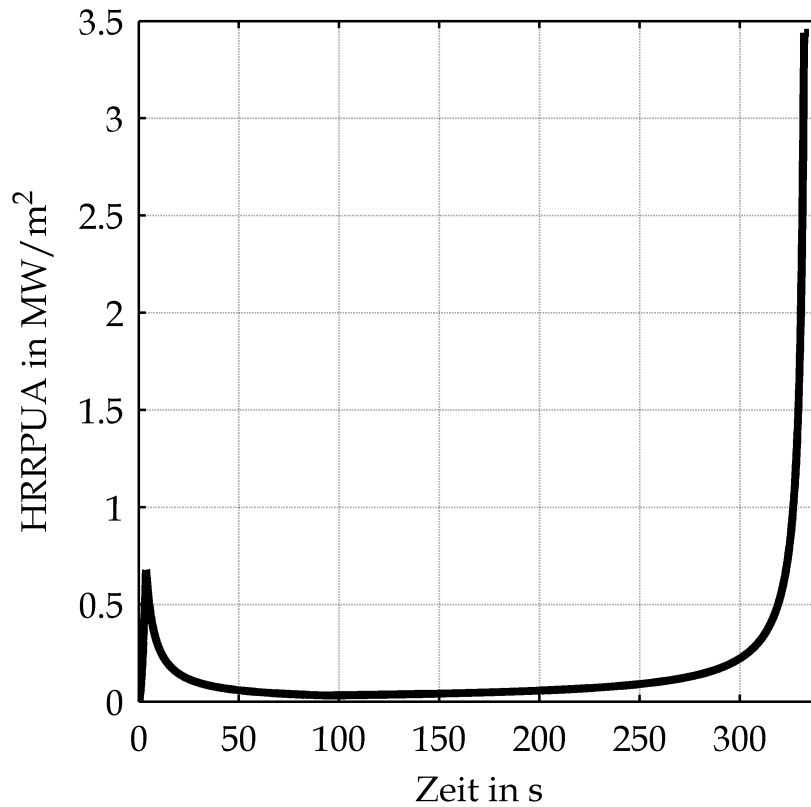
Radius der ausgetrockneten Lache in Abhängigkeit von der Zeit

### BASt FE 86.0096/2014



Wärmefreisetzungsrate (HRR) in Abhängigkeit von der Zeit

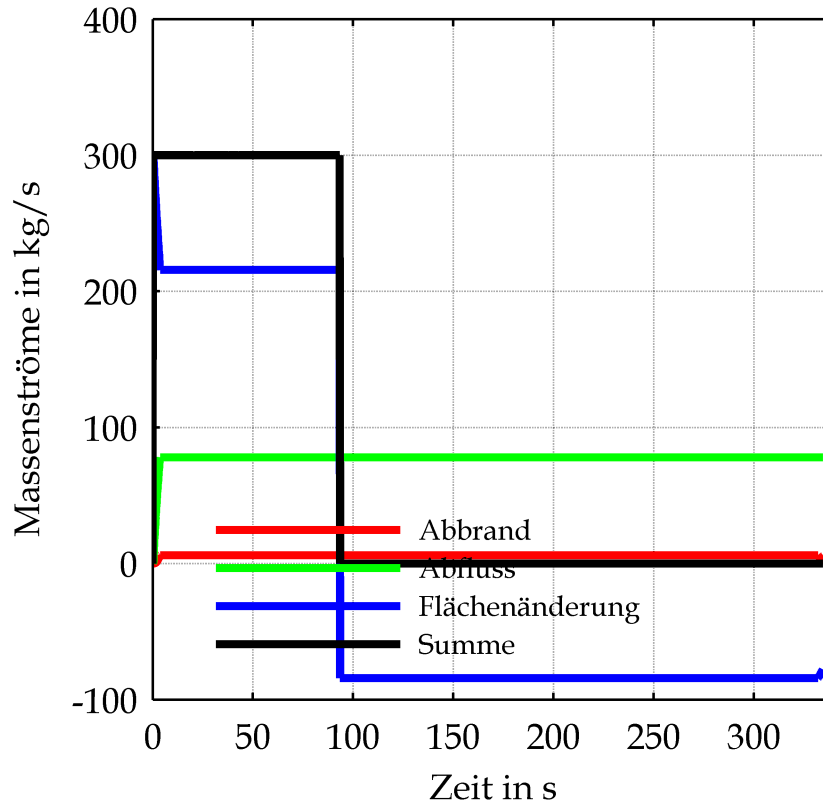
### BASSt FE 86.0096/2014



Wärmefreisetzungsrate pro Flächeneinheit (HRRPUA)  
in Abhängigkeit von der Zeit

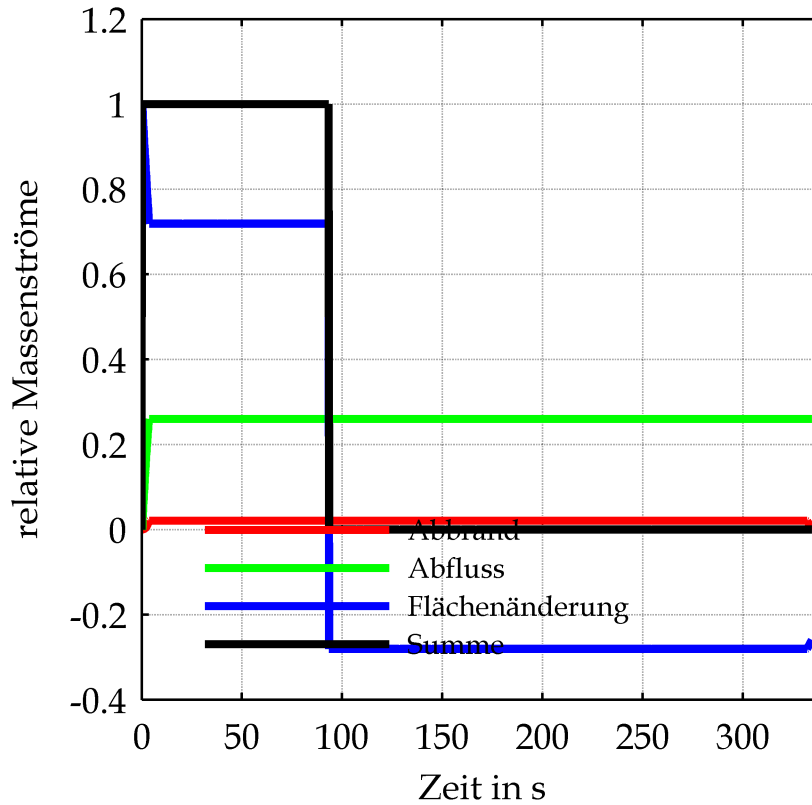


### BASt FE 86.0096/2014



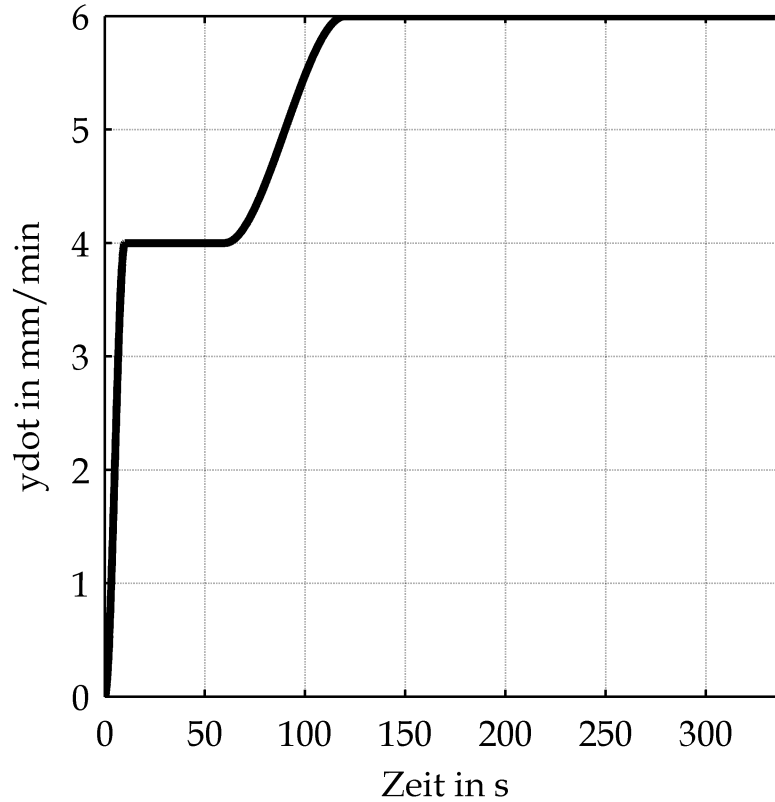
Gesamtübersicht der Massenströme in Abhängigkeit von der Zeit

### BASSt FE 86.0096/2014



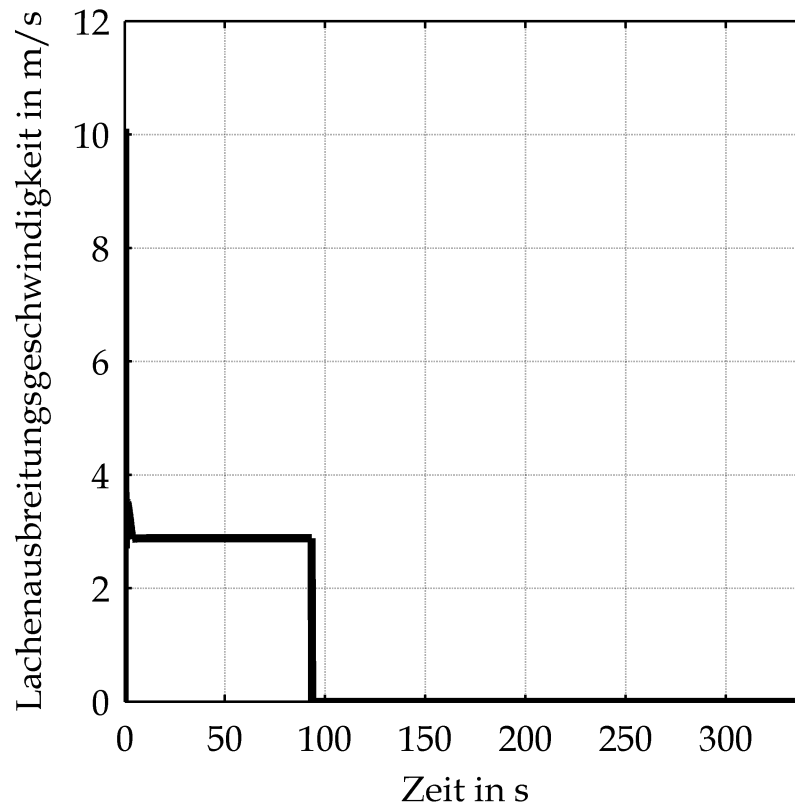
Gesamtübersicht der auf die austretende Flüssigkeit bezogenen Massenströme in Abhängigkeit von der Zeit

BASt FE 86.0096/2014

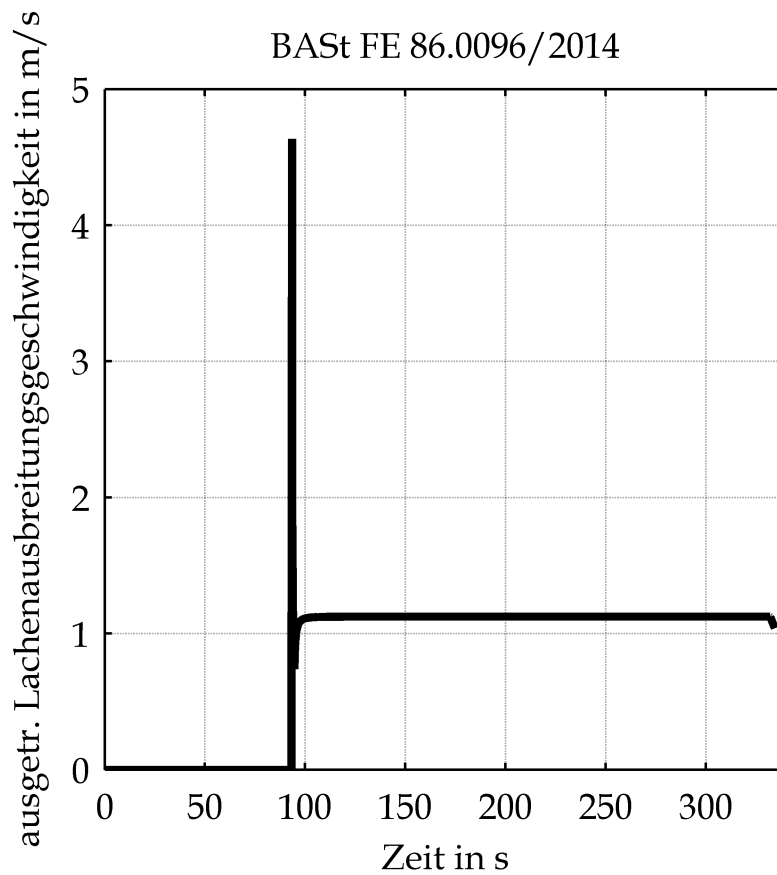


Vorgegebene Abbrandgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit

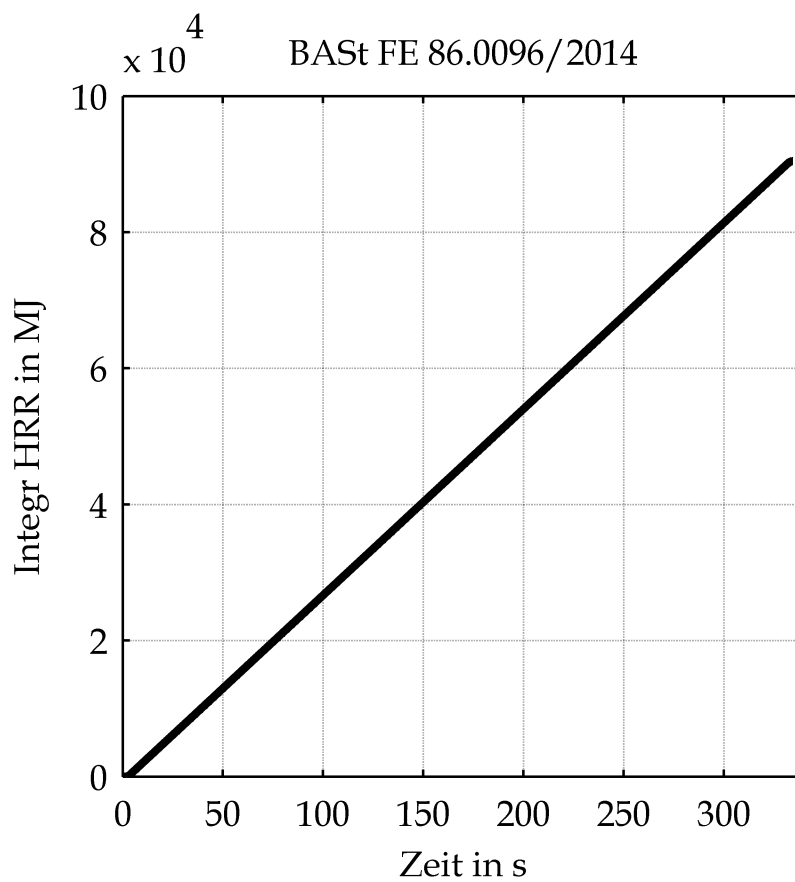
### BASt FE 86.0096/2014



Ausbreitungsgeschwindigkeit der Lache in Abhängigkeit von der Zeit



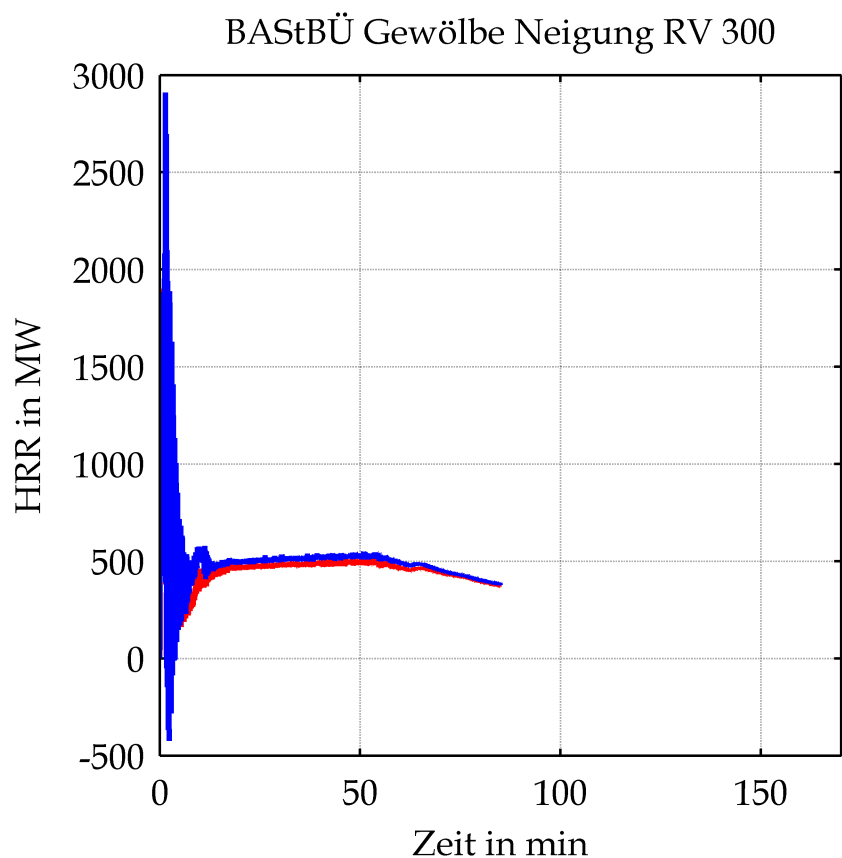
Austrocknungsgeschwindigkeit der Lache in  
Abhängigkeit von der Zeit



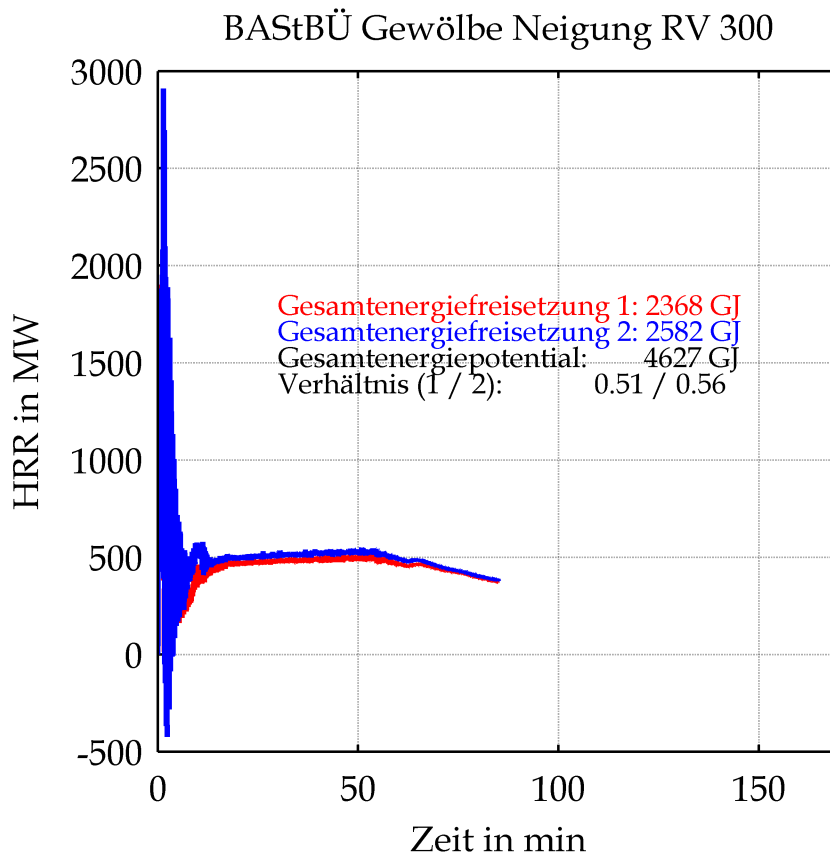
Freigesetzte Gesamtenergie in Abhängigkeit von der  
Zeit

### III Berechnungsergebnisse

#### 1 Energien und Bauteiltemperaturen

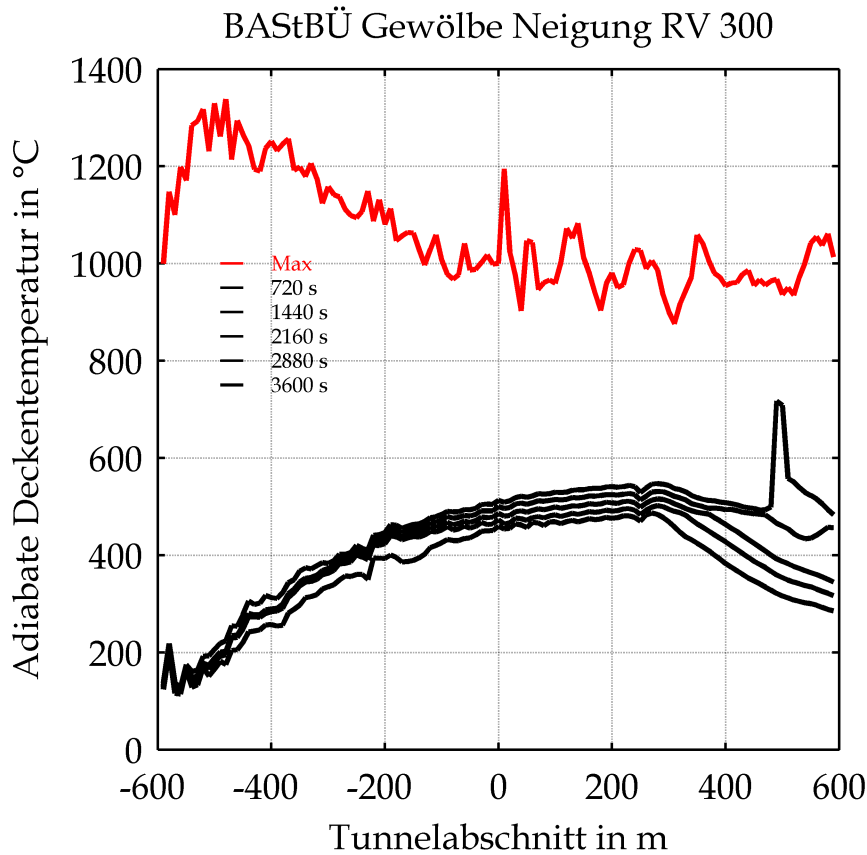


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Wärmefreisetzungsrate in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Integral der Energiedichte; blau: Energieverluste an den Modellgrenzen)

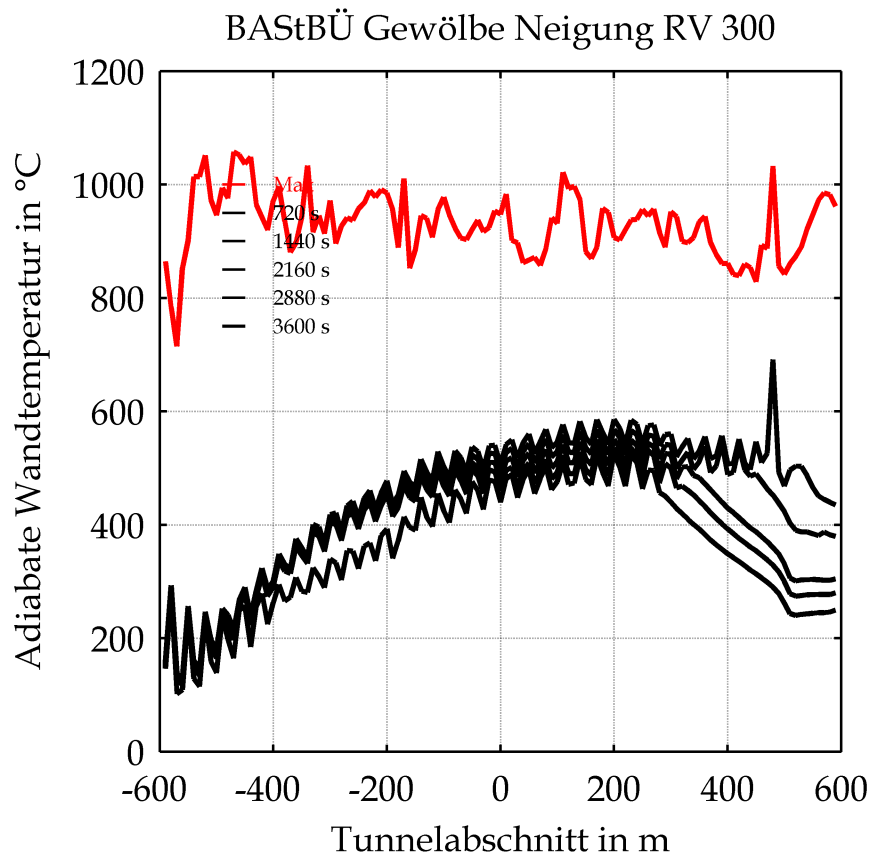


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Wärmefreisetzungsrate in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Integral der Energiedichte; blau: Energieverluste an den Modellgrenzen) sowie Vergleich der Gesamtenergiefreisetzung mit dem Gesamtenergiepotential

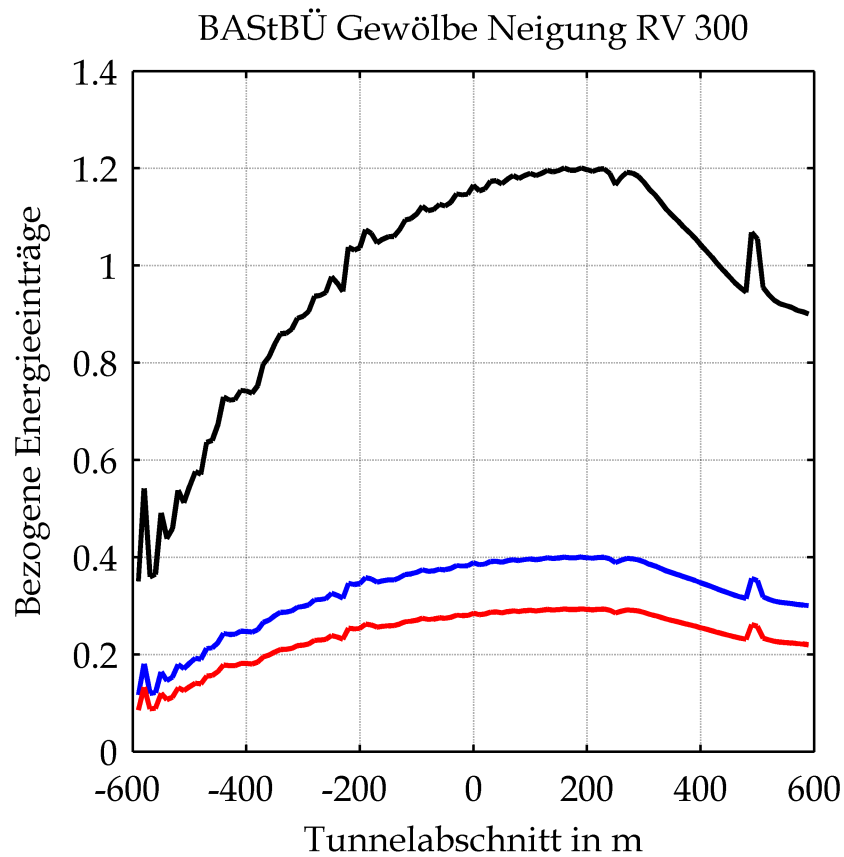




Mittels CFD-Berechnung ermittelte adiabate Deckentemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Maximalwerte, schwarz: Temperaturen in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer)

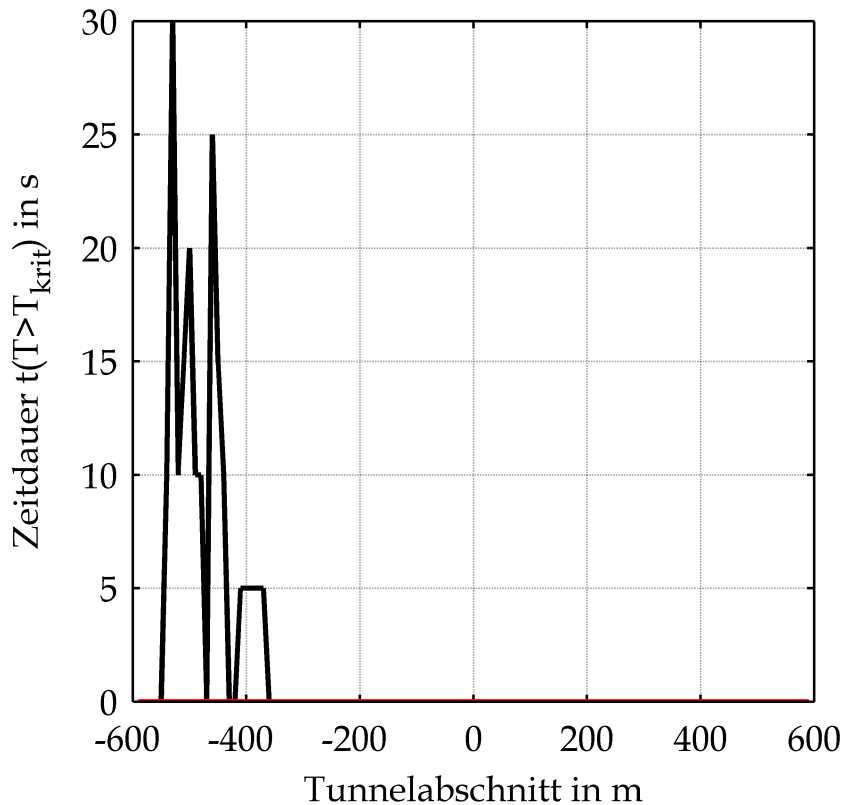


Mittels CFD-Berechnung ermittelte adiabate Wandtemperaturen in 3 m Höhe in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Maximalwerte, schwarz: Temperaturen in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer)

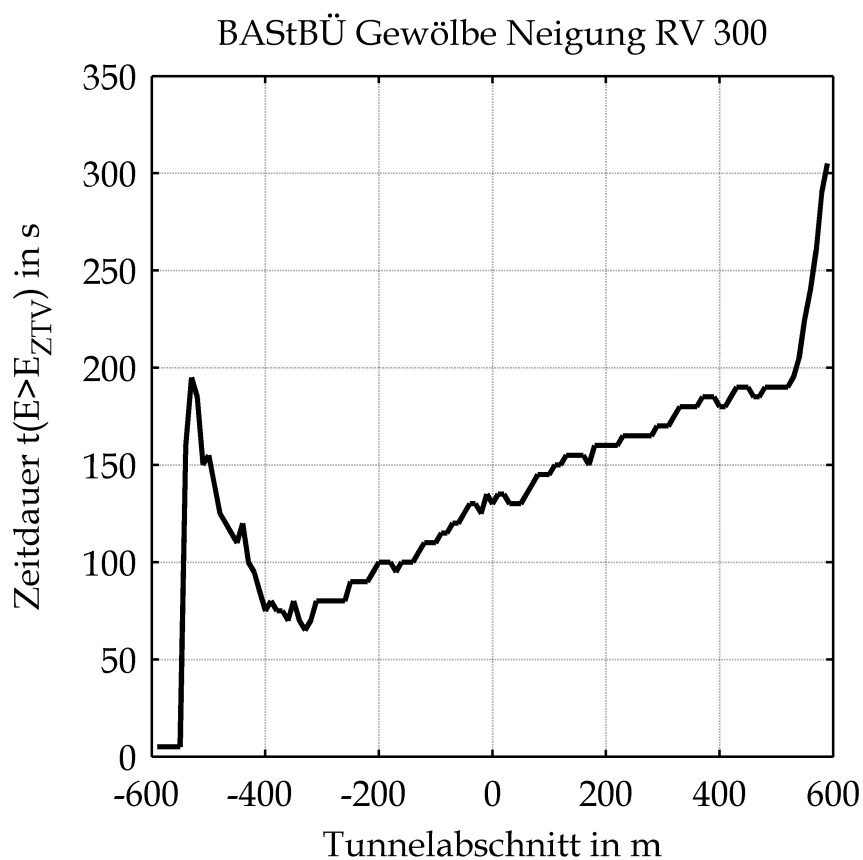


Mittels CFD-Berechnung ermittelte, auf den Energieeintrag der ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve bezogene Energieeinträge in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (blau: Basiswert ZTV-ING 150 min, schwarz: Basiswert ZTV-ING 30 min)

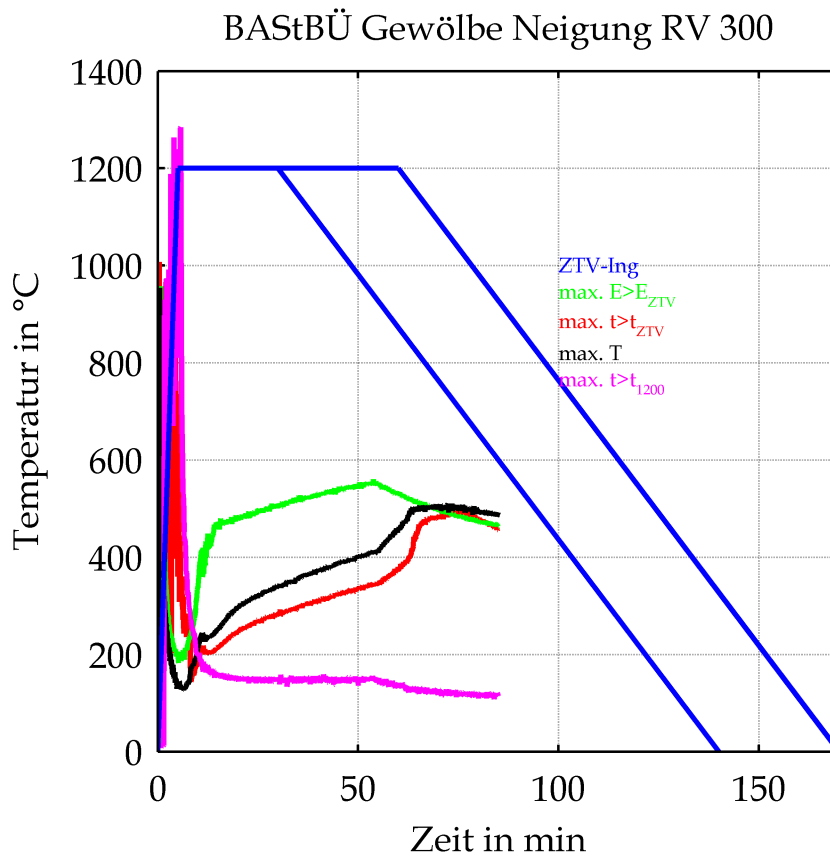
### BASStBÜ Gewölbe Neigung RV 300



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

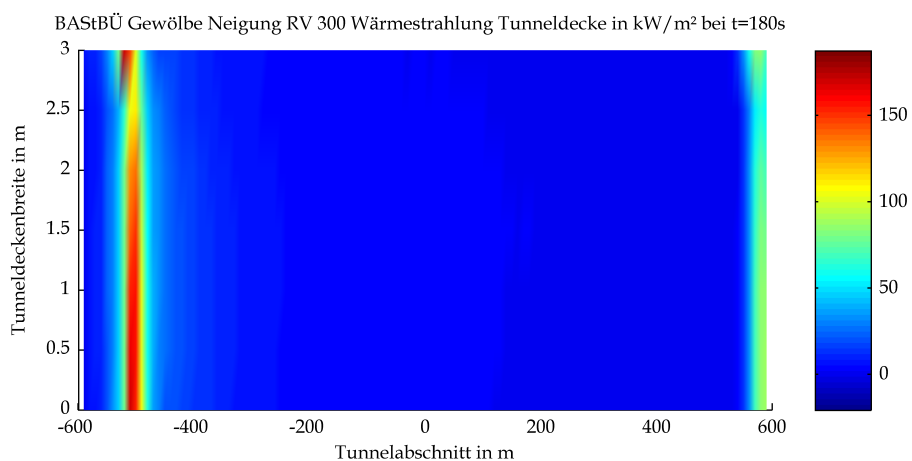
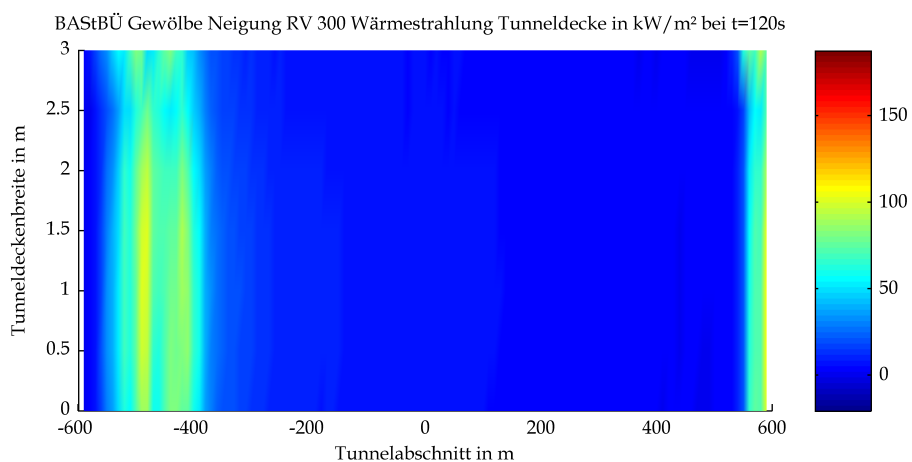
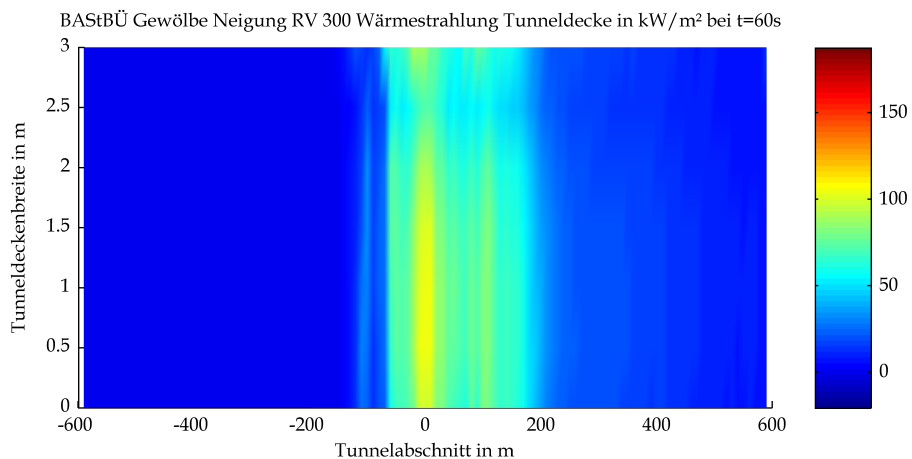


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Zeitdauer mit im Vergleich zur ZTV-ING-Kurve höheren Energieeinträgen in die Tunneldecke in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung

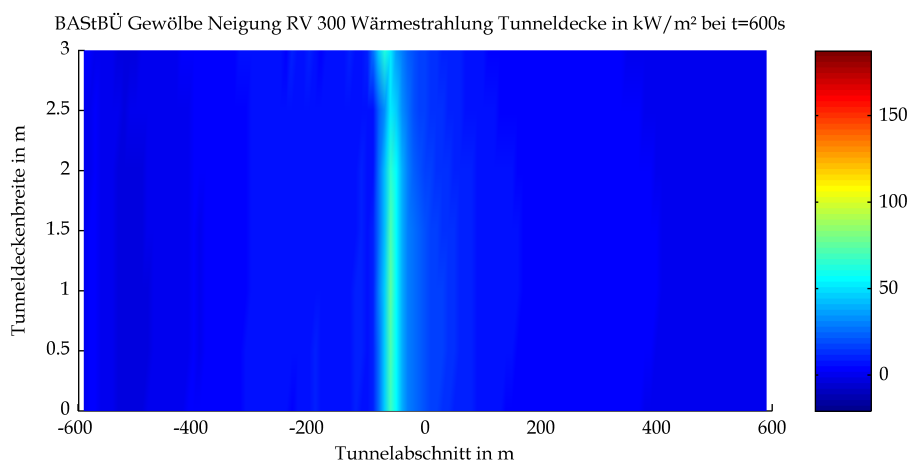
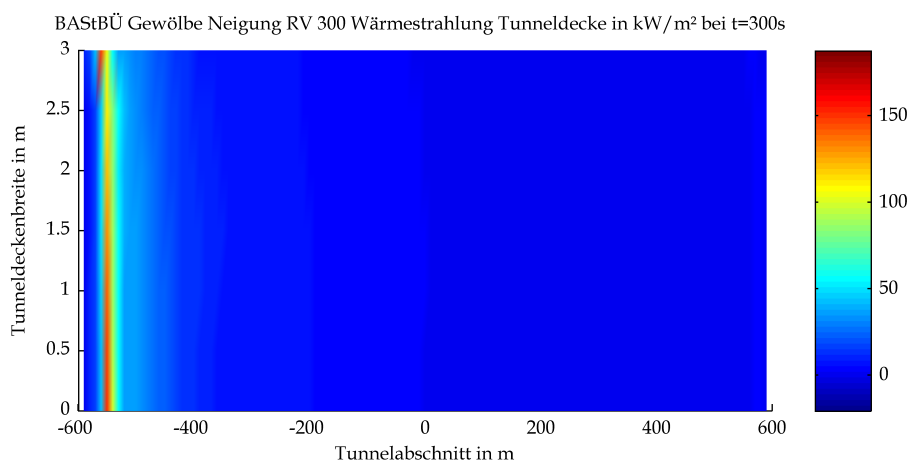
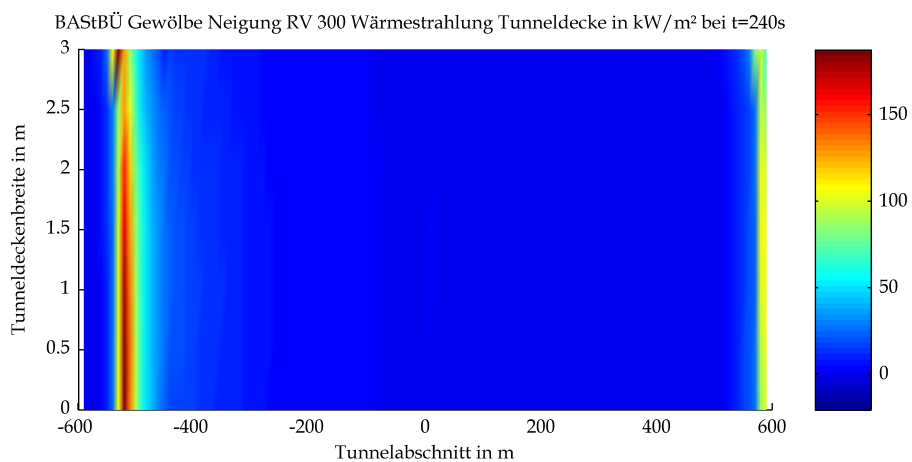


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Temperatur-Zeit-Verläufe für die Maximalwerte der zuvor dargestellten Kriterien unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (blau: ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Verlauf)

## 2 Wärmestrahlung an der Tunneldecke

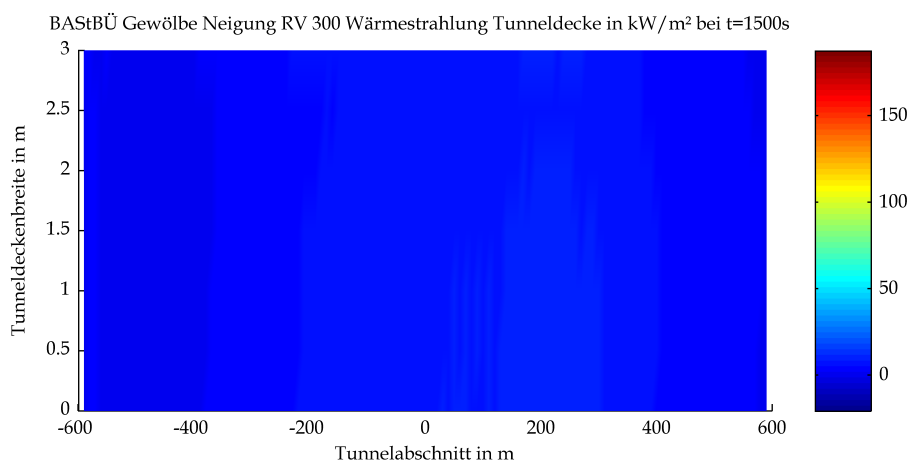
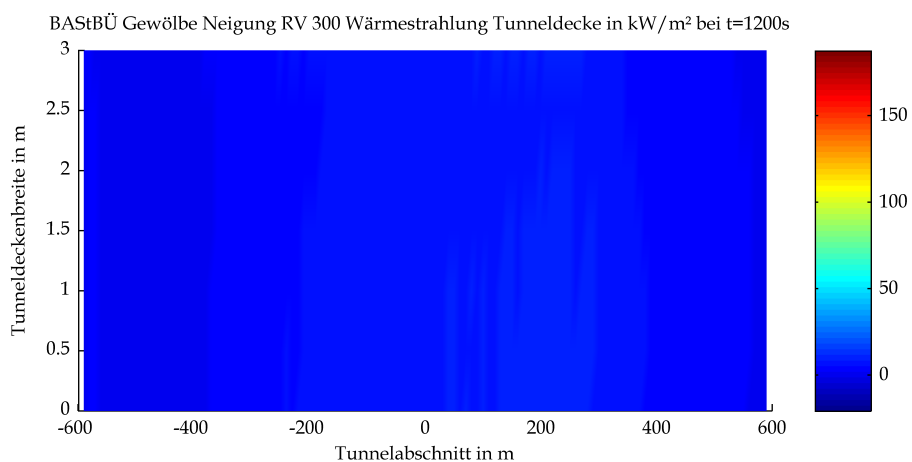
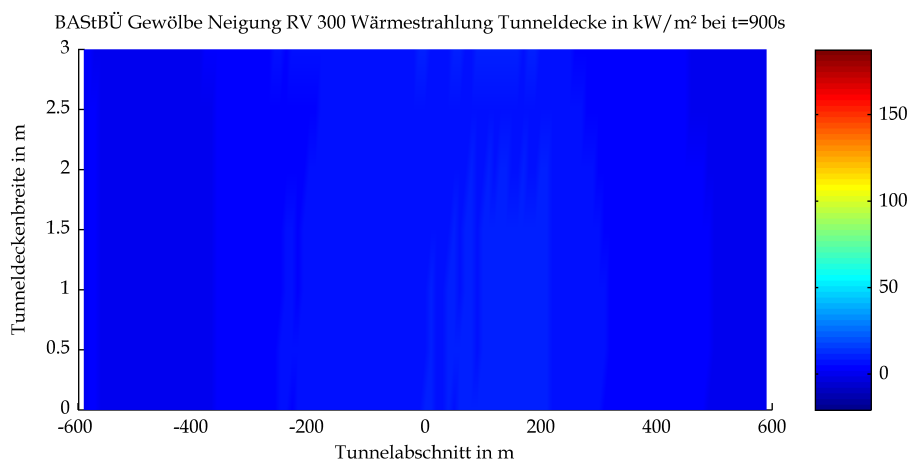


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

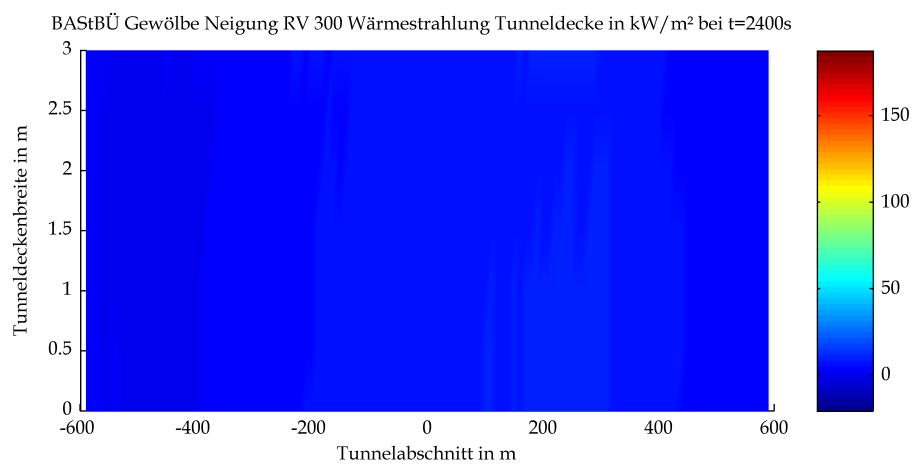
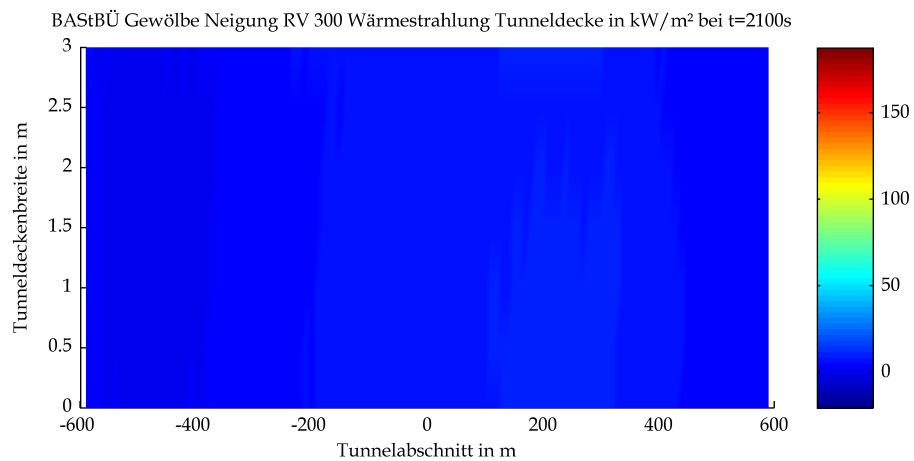
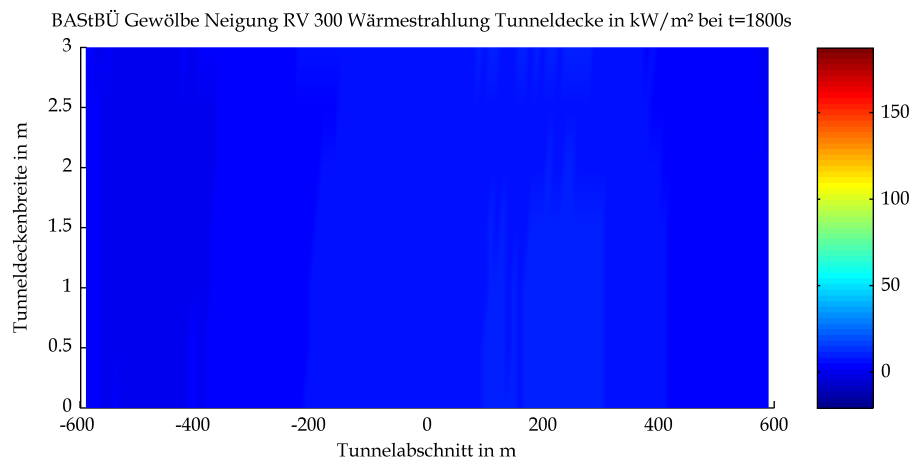


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

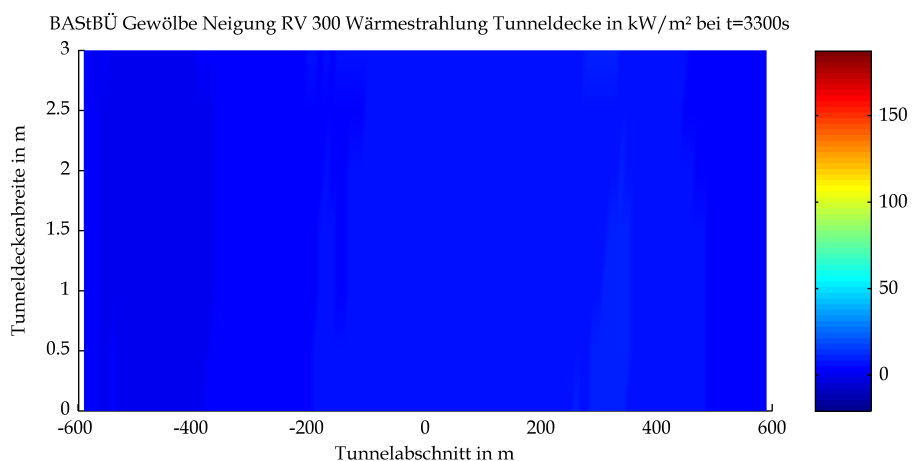
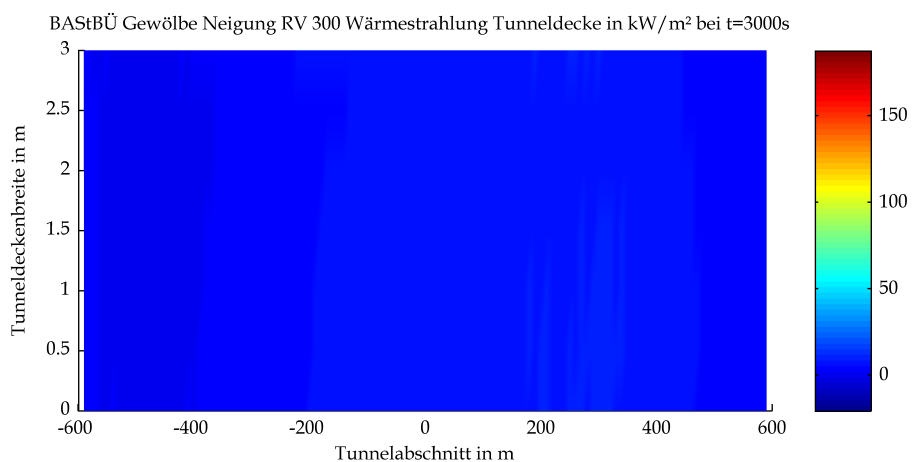
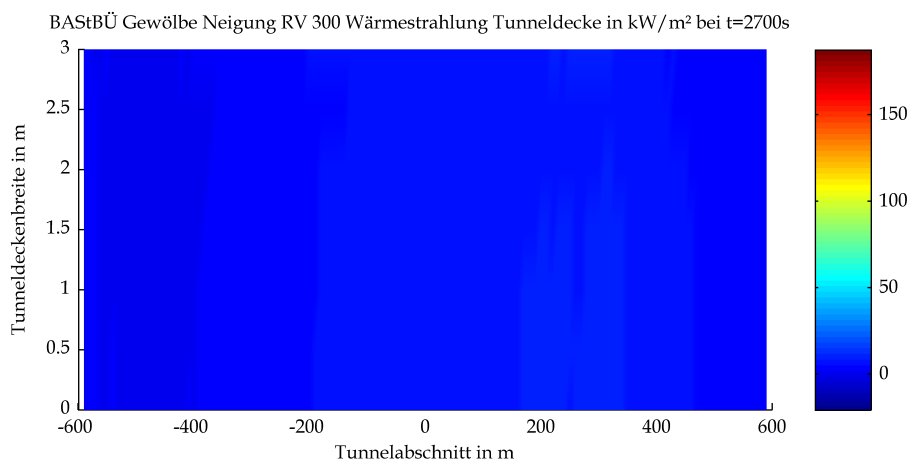




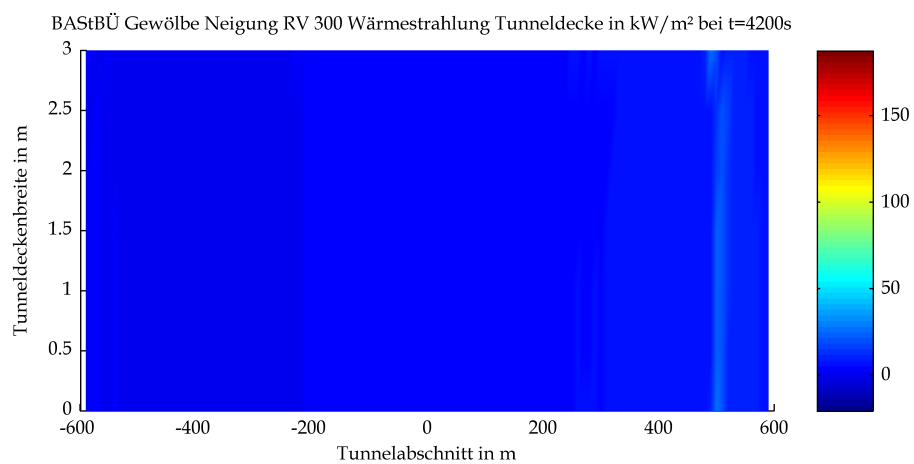
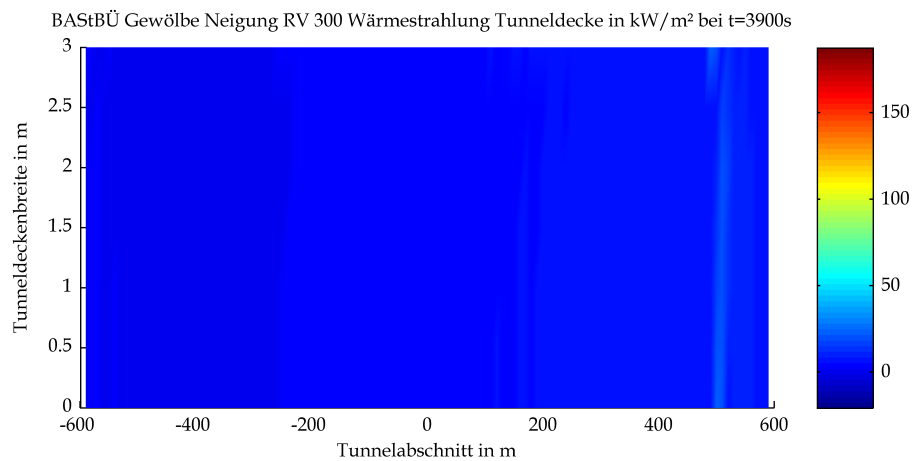
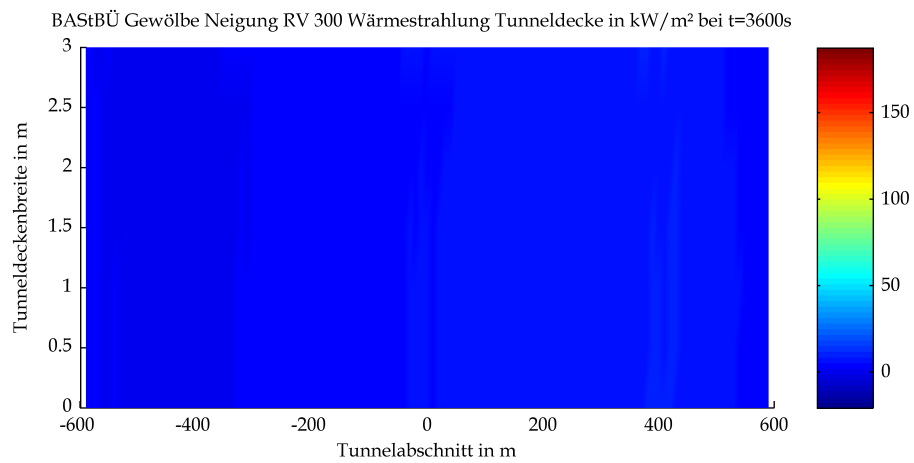
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



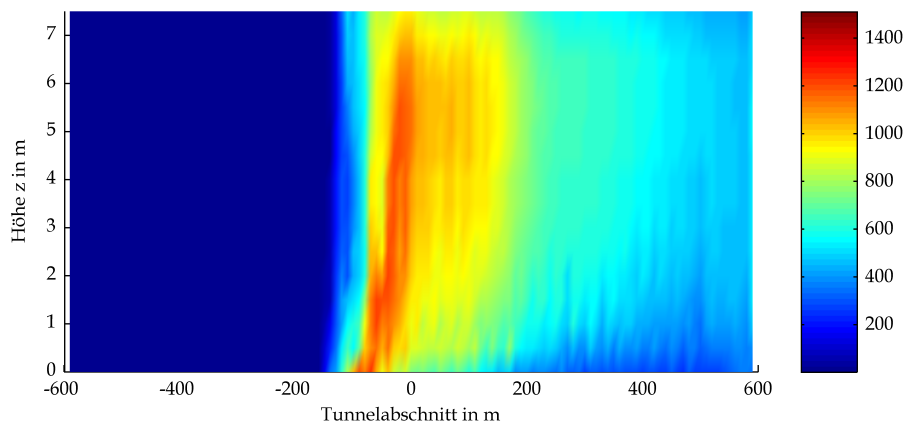
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



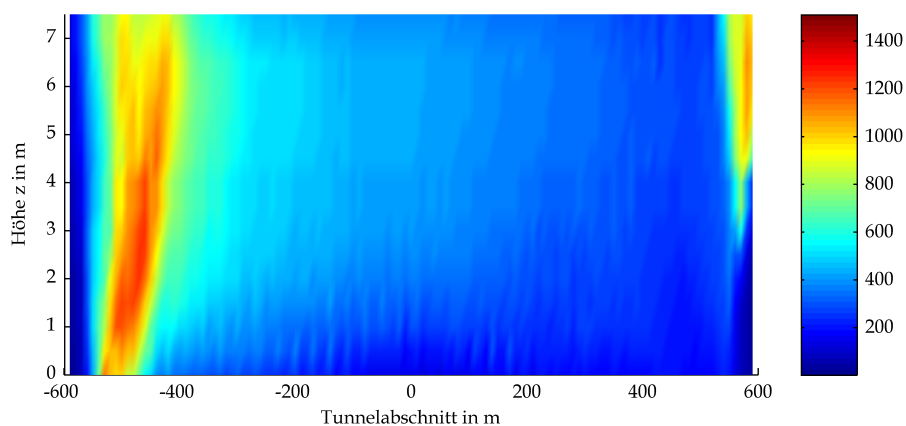
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

### 3 Gastemperaturen

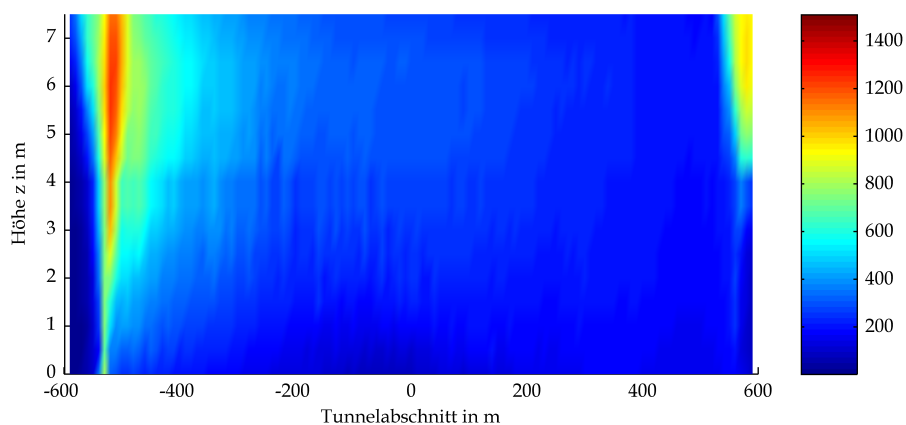
BASTBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Gastemperaturen in °C bei t=60s



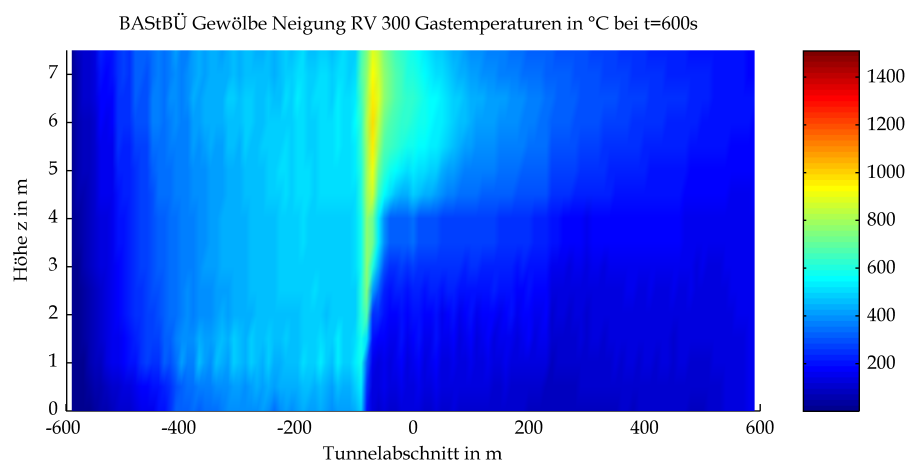
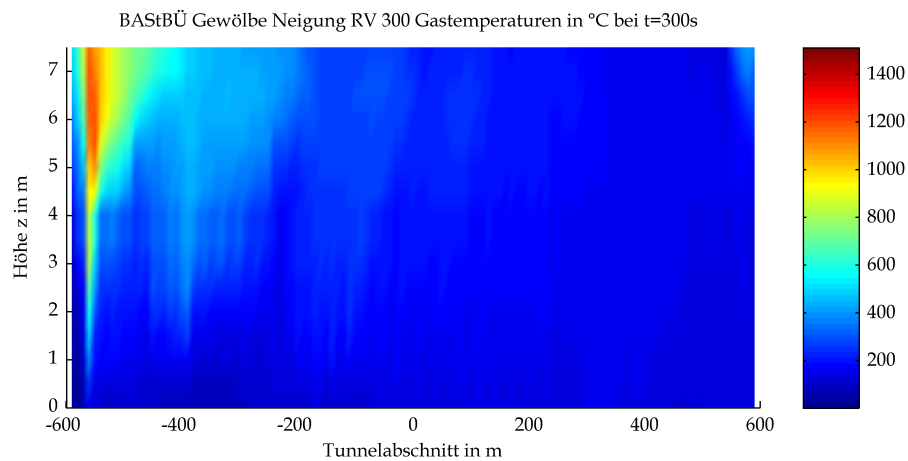
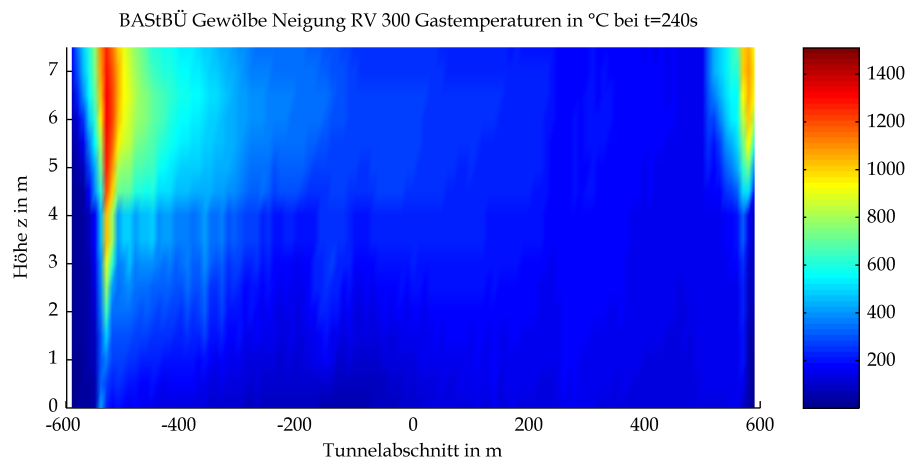
BASTBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Gastemperaturen in °C bei t=120s



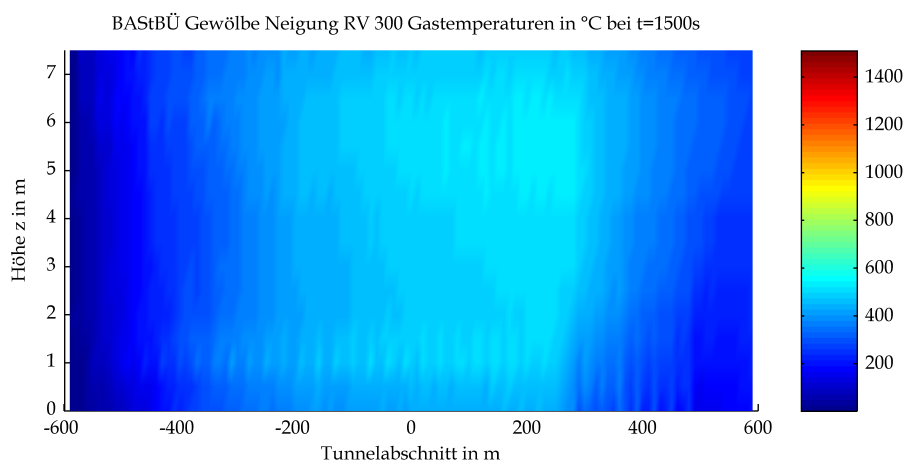
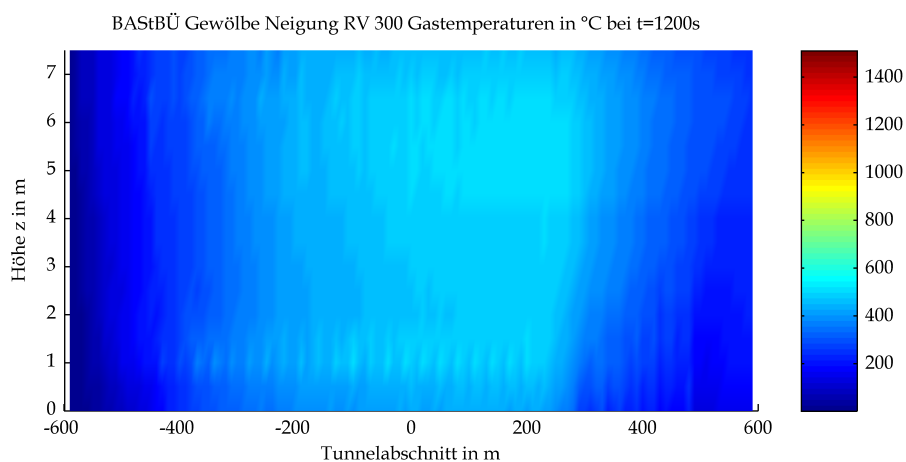
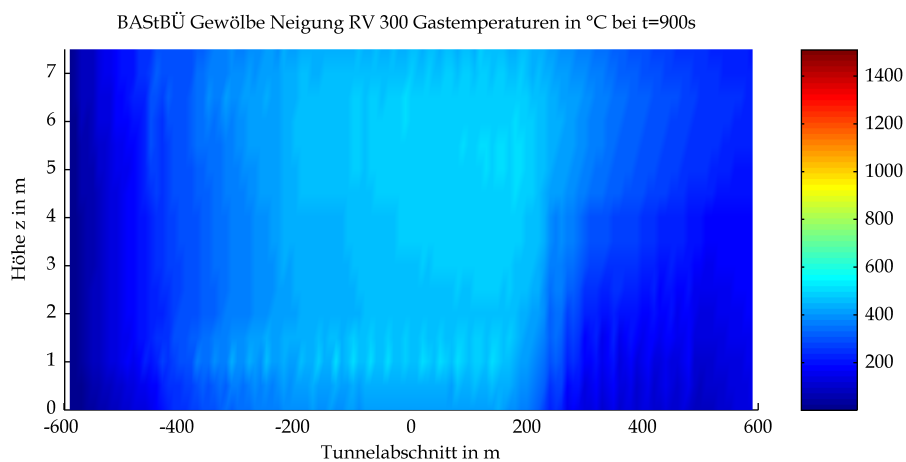
BASTBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Gastemperaturen in °C bei t=180s



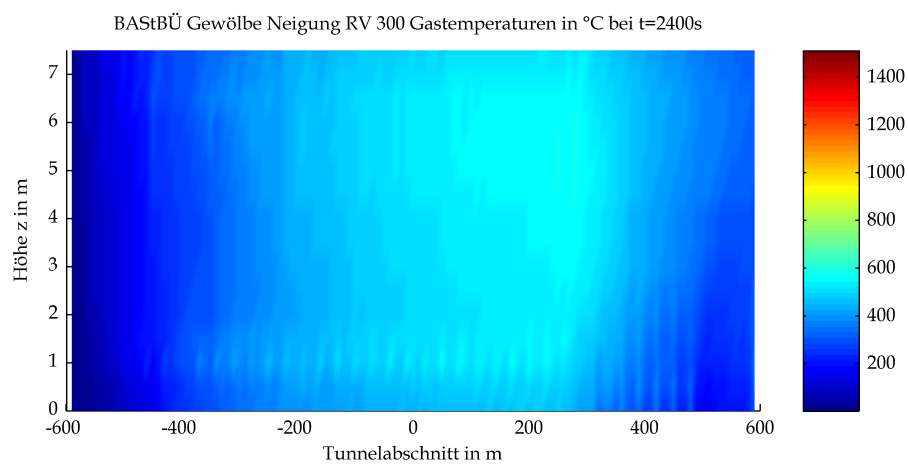
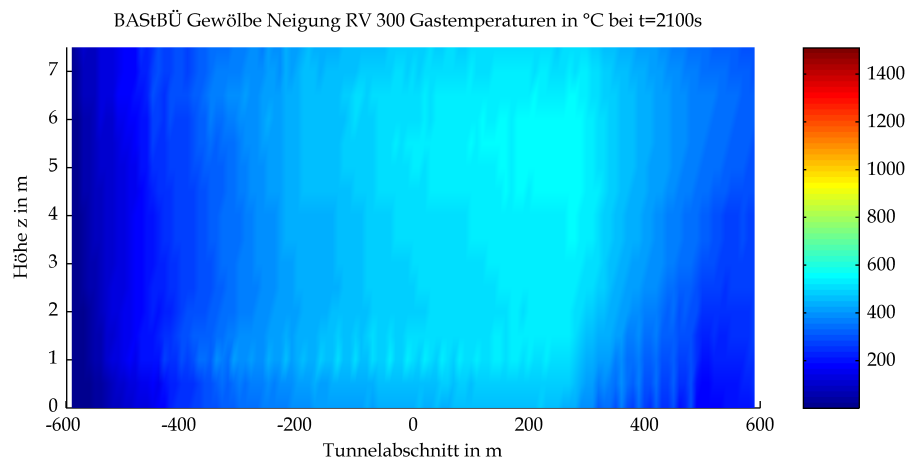
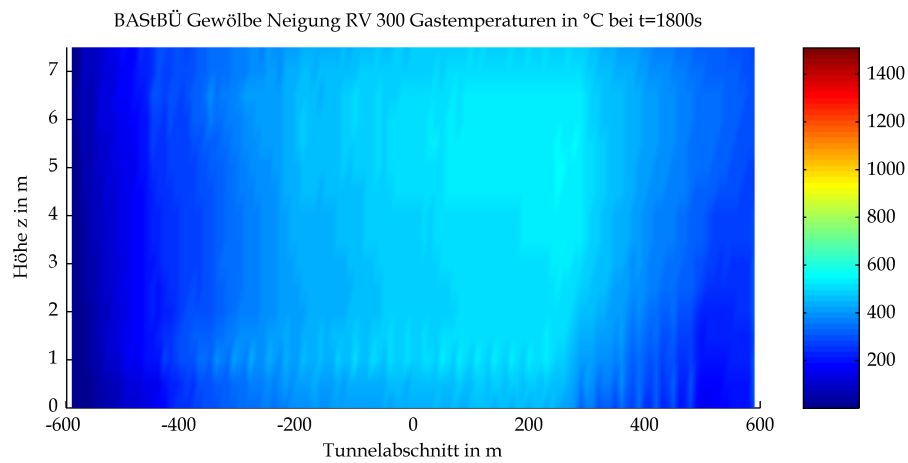
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasttemperaturen

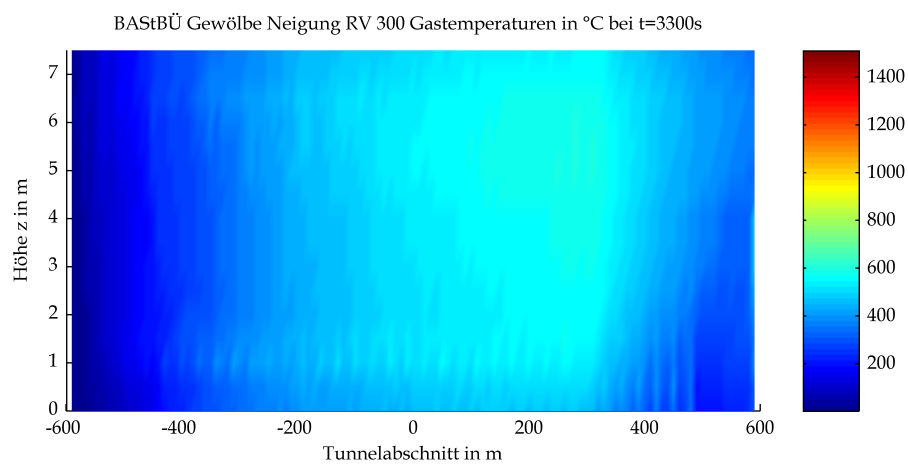
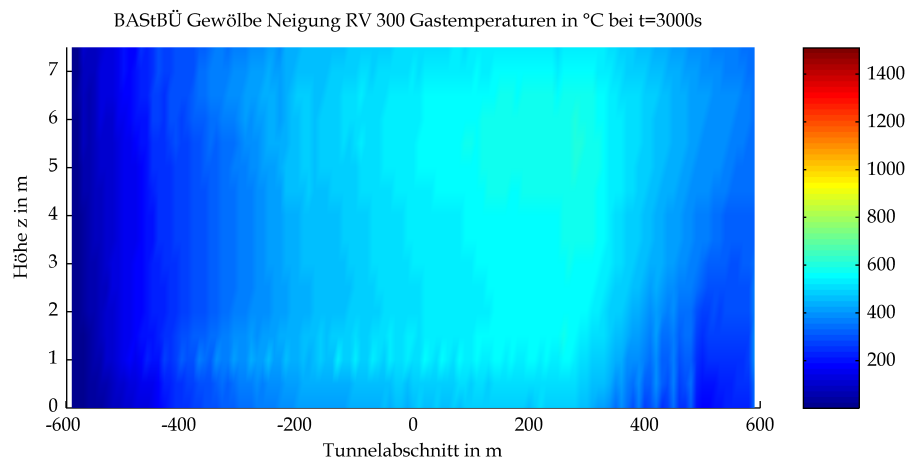
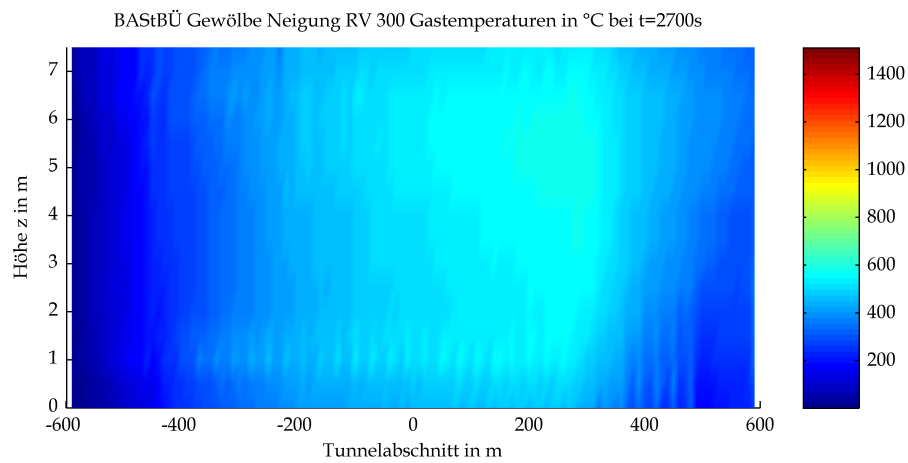


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasttemperaturen

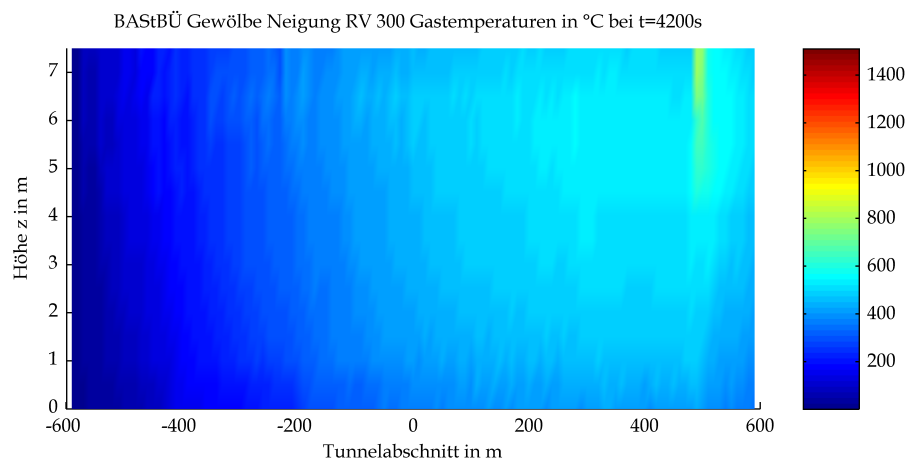
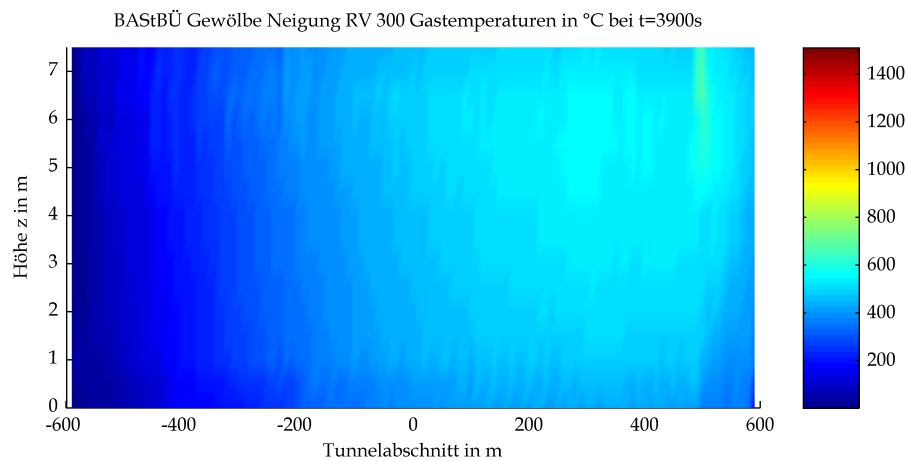
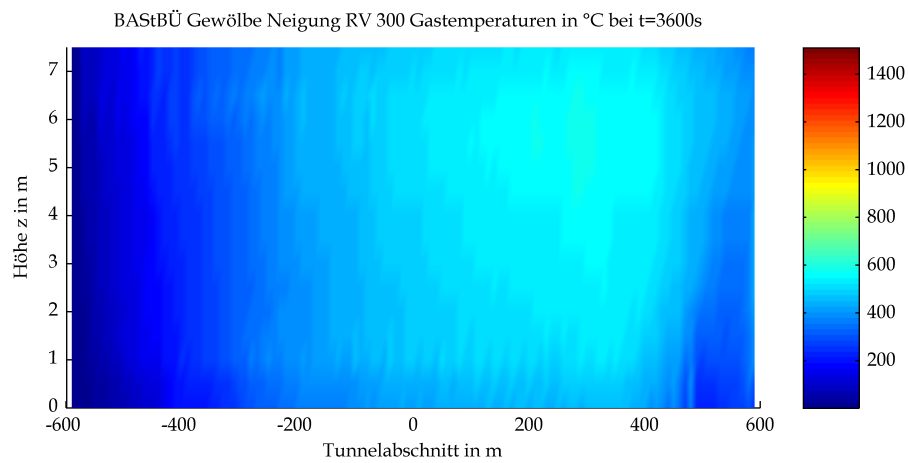


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasttemperaturen



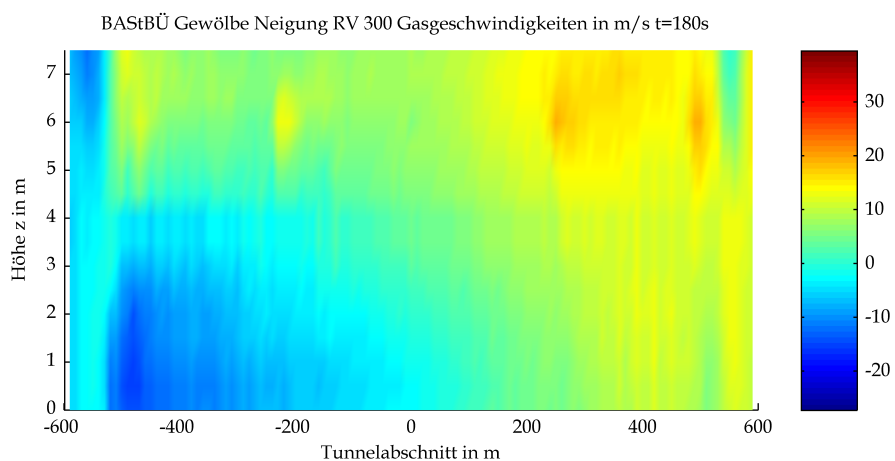
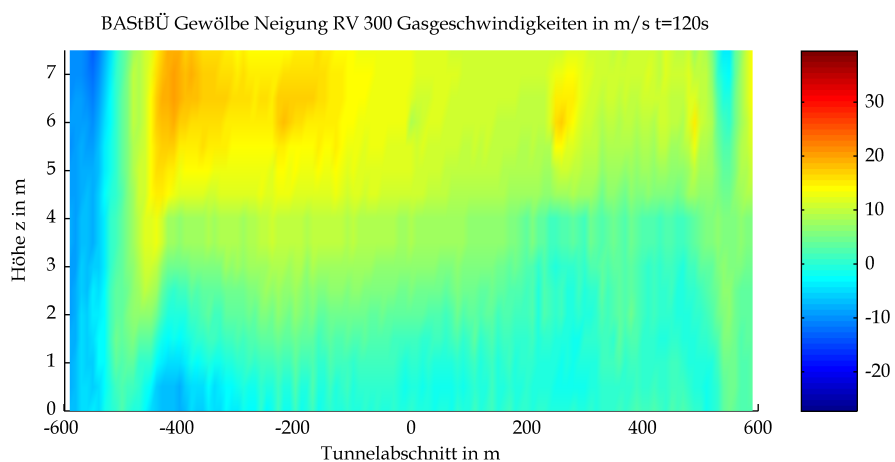
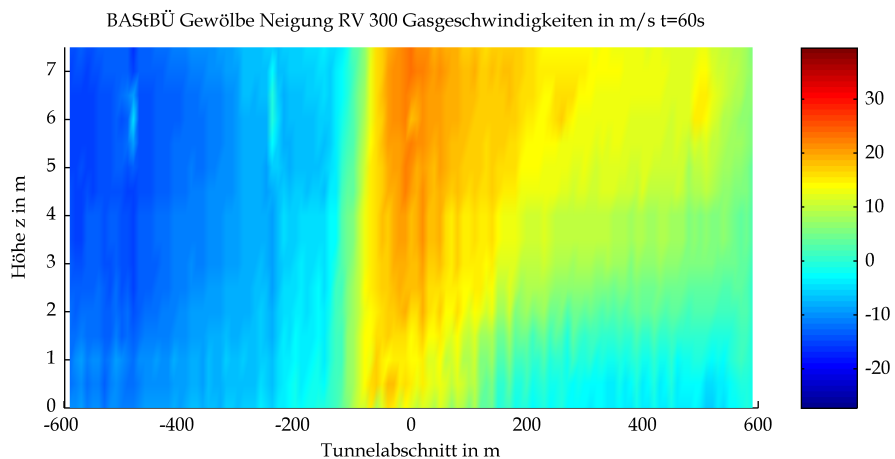


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasttemperaturen

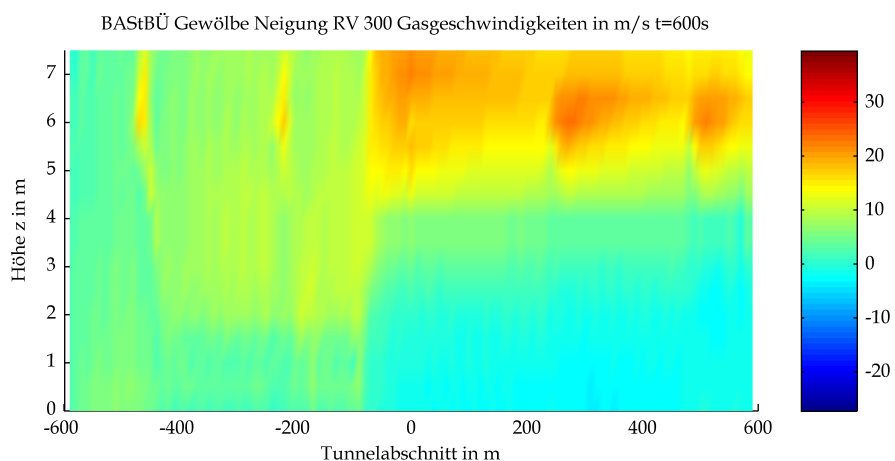
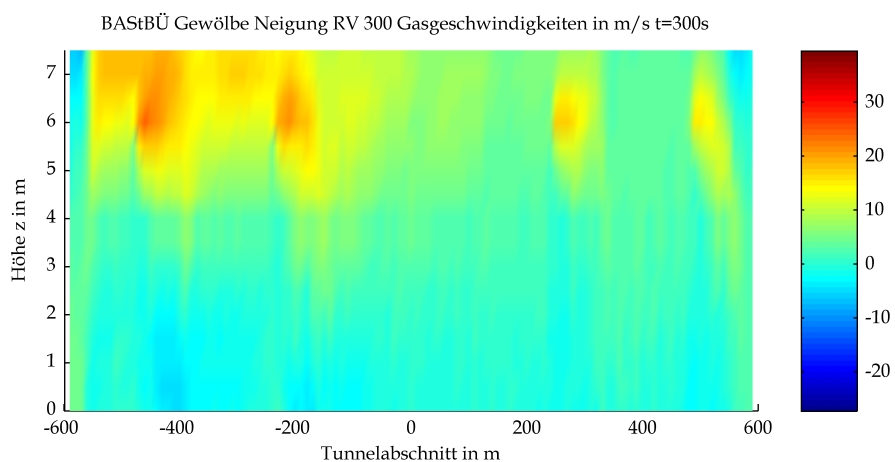
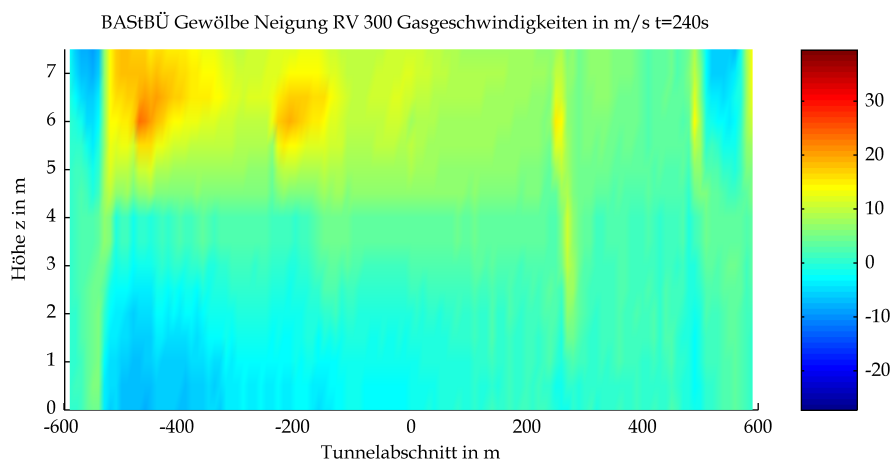


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen

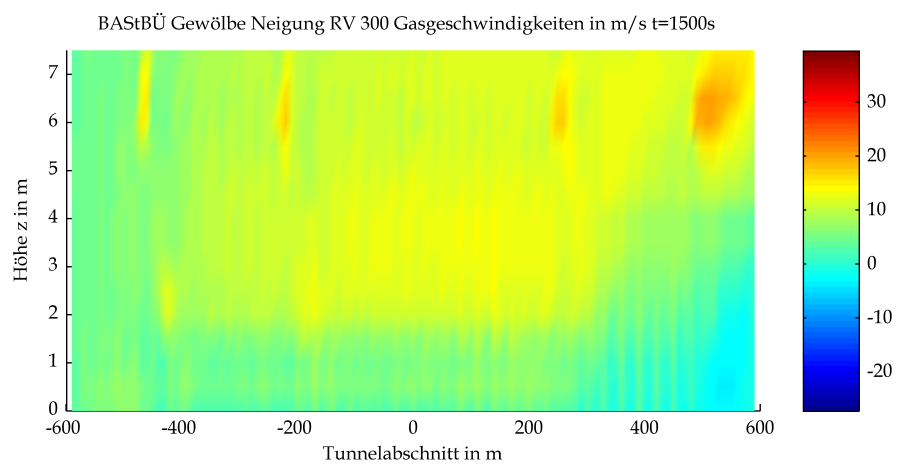
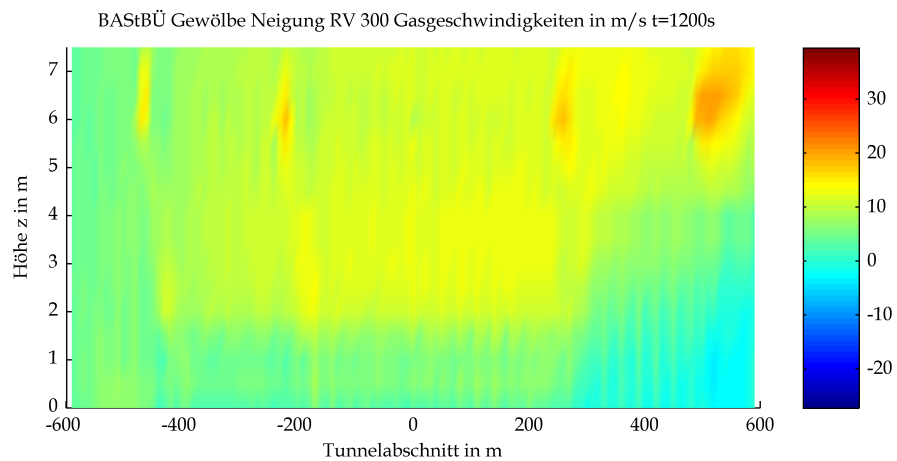
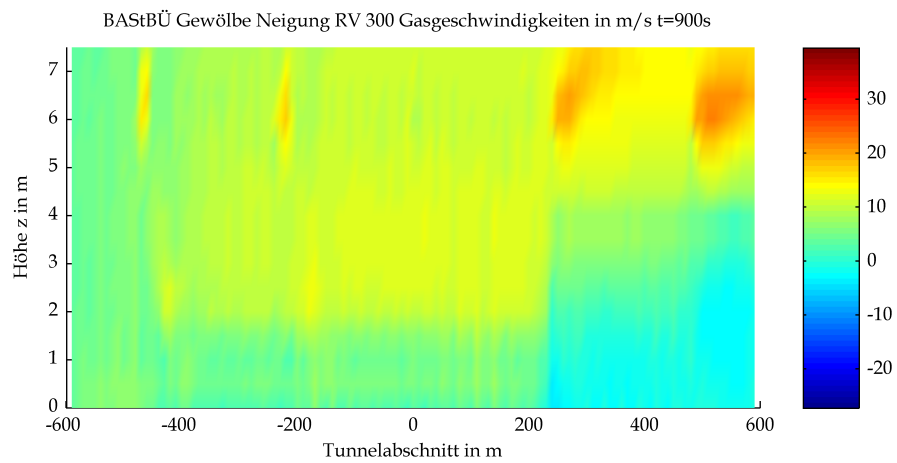
## 4 Gasgeschwindigkeiten



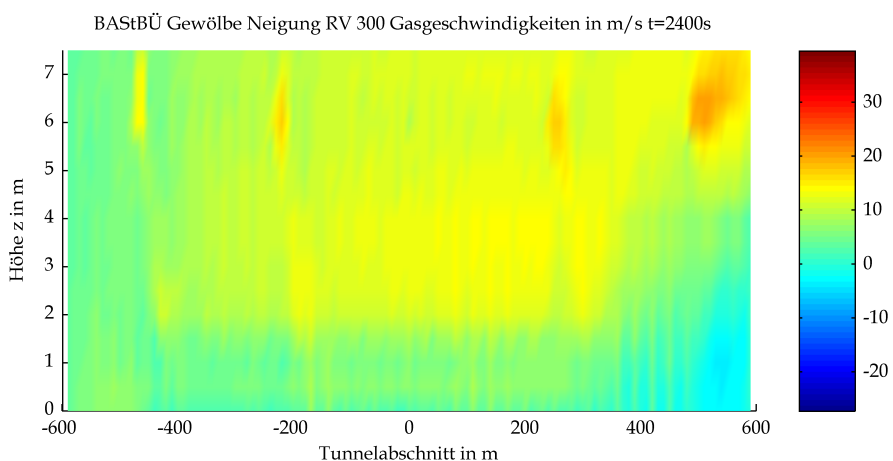
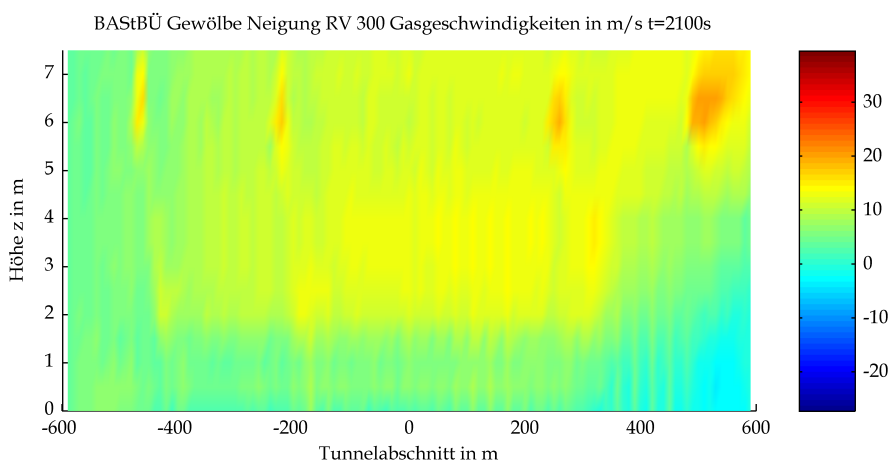
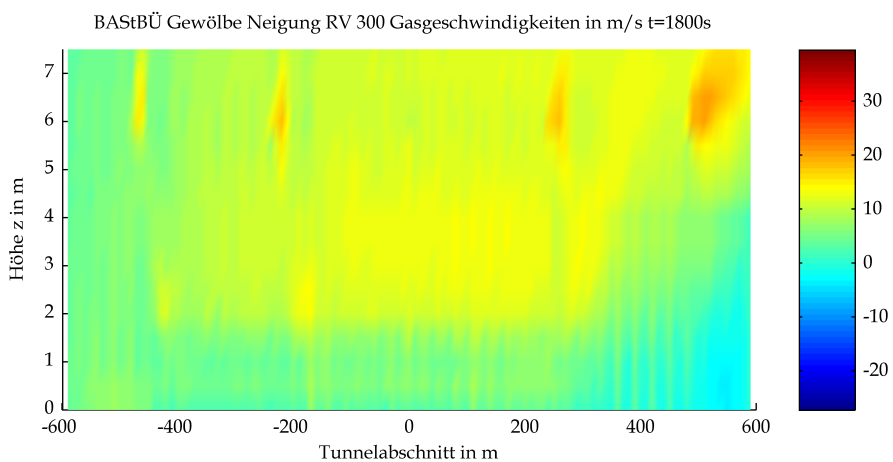
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



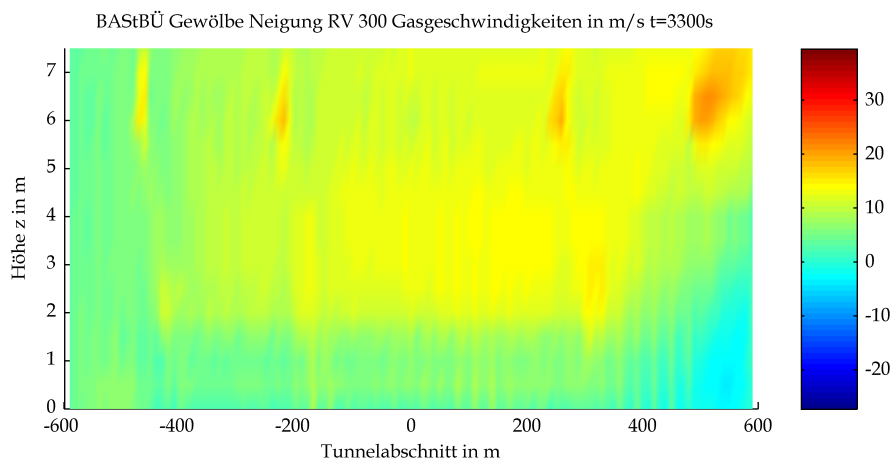
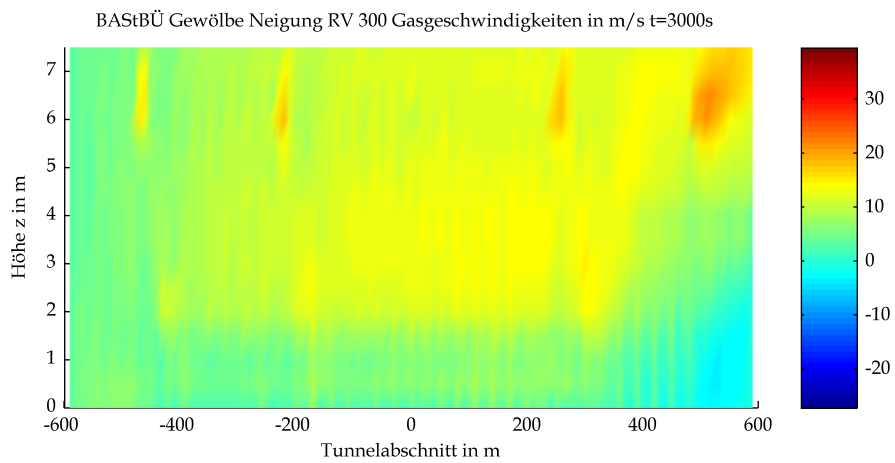
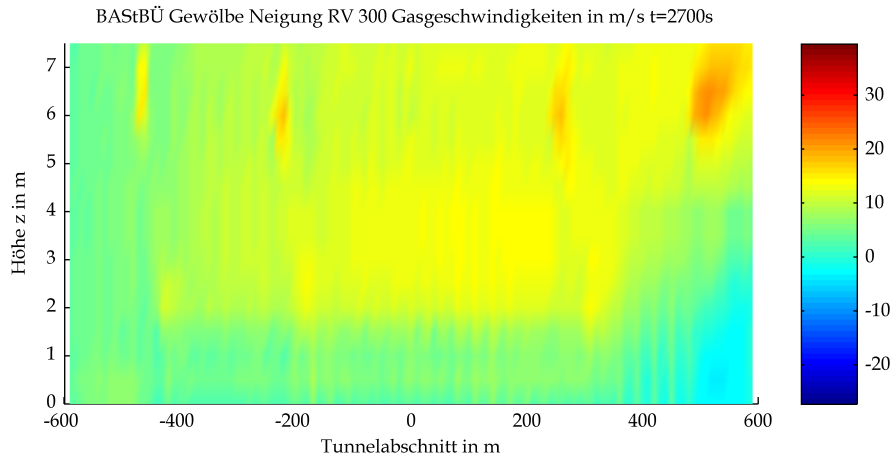
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



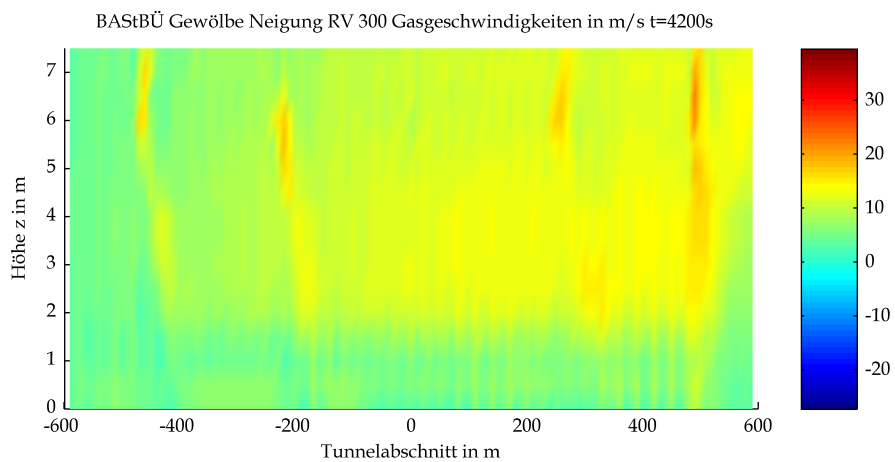
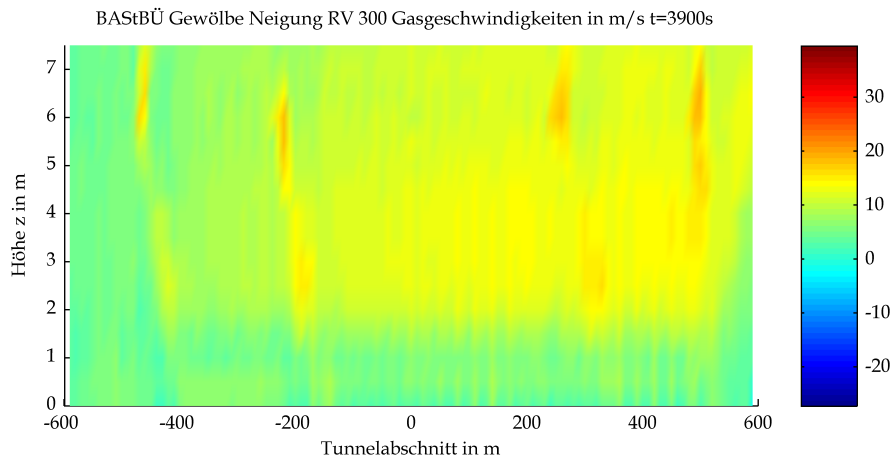
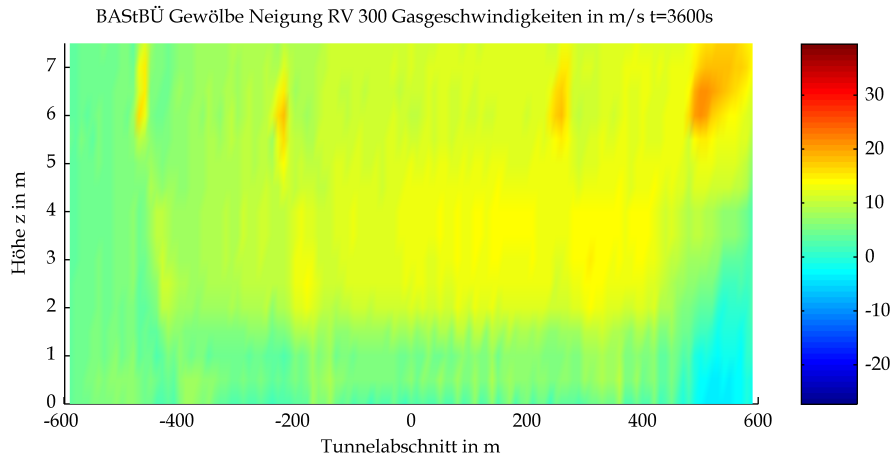
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



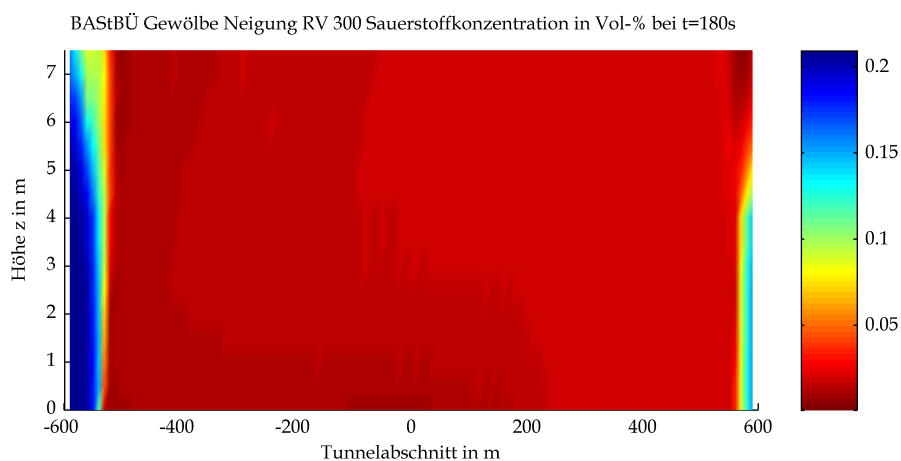
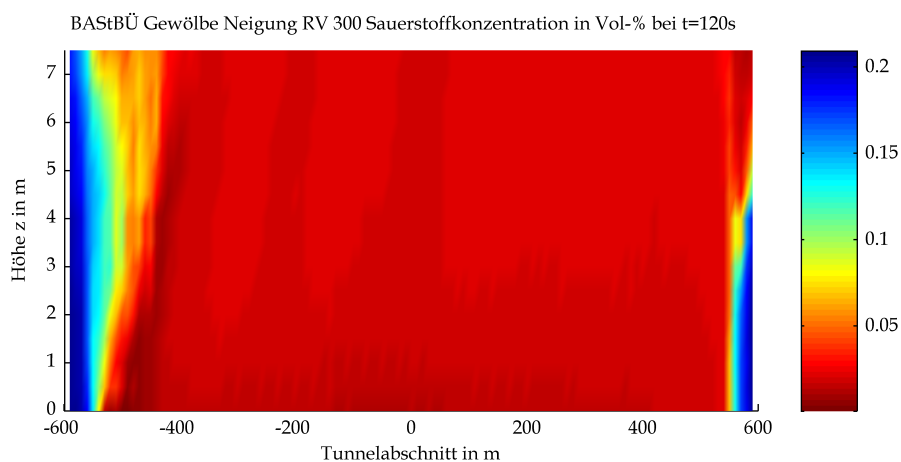
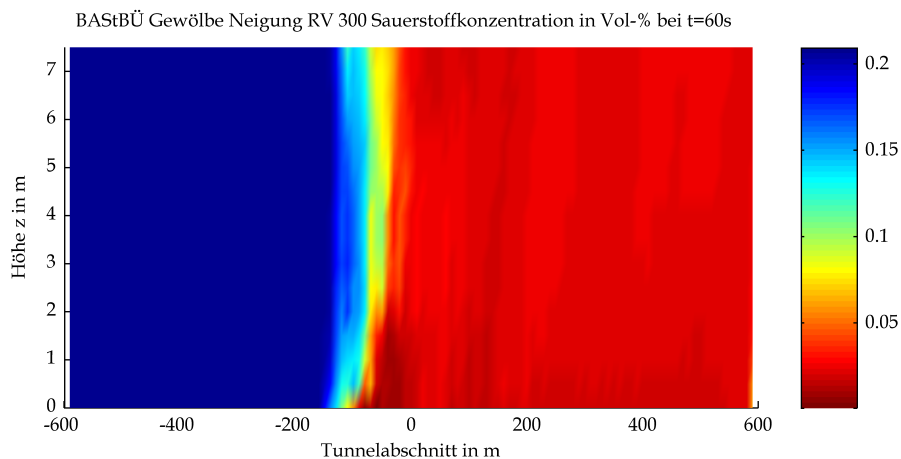
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



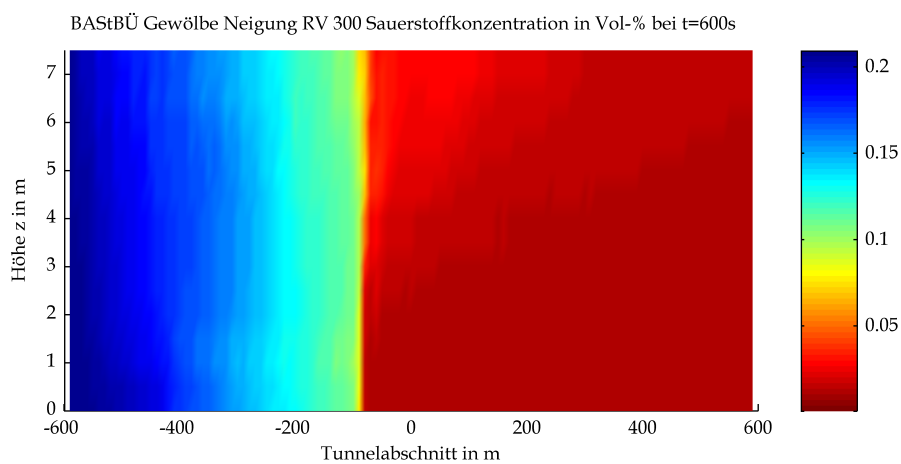
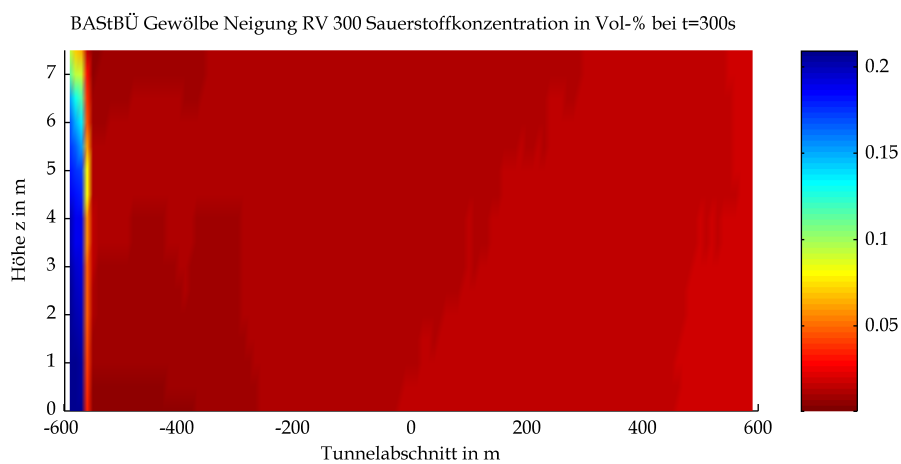
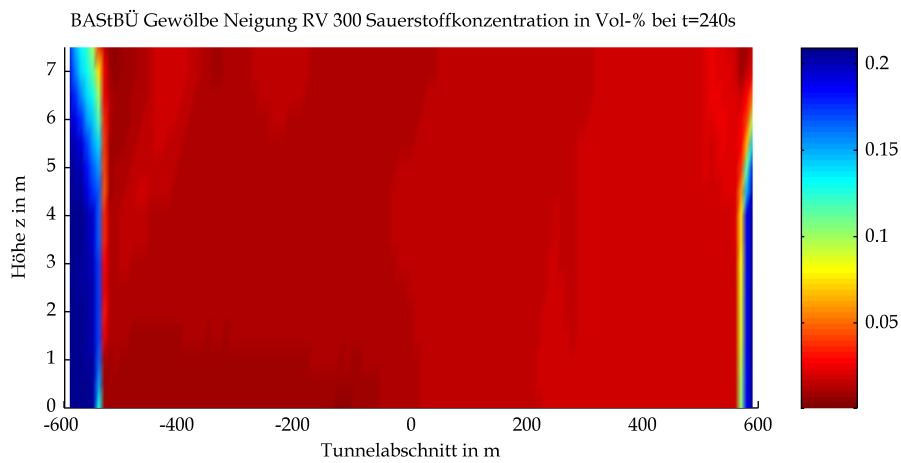
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



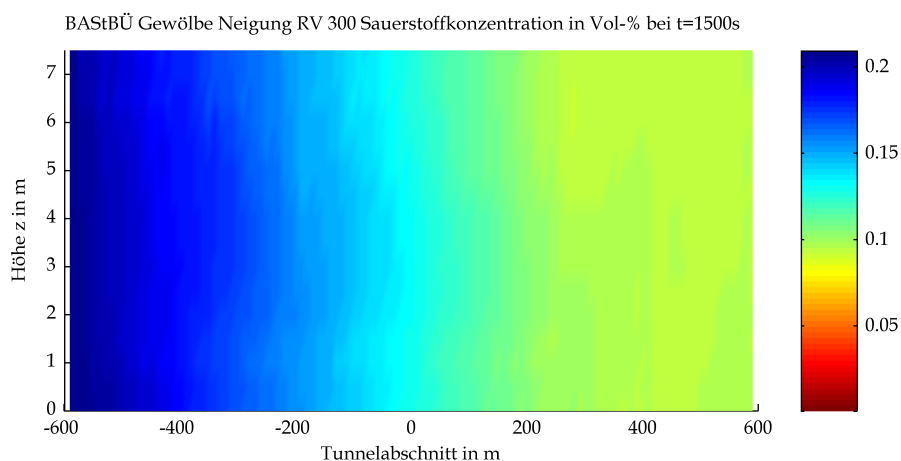
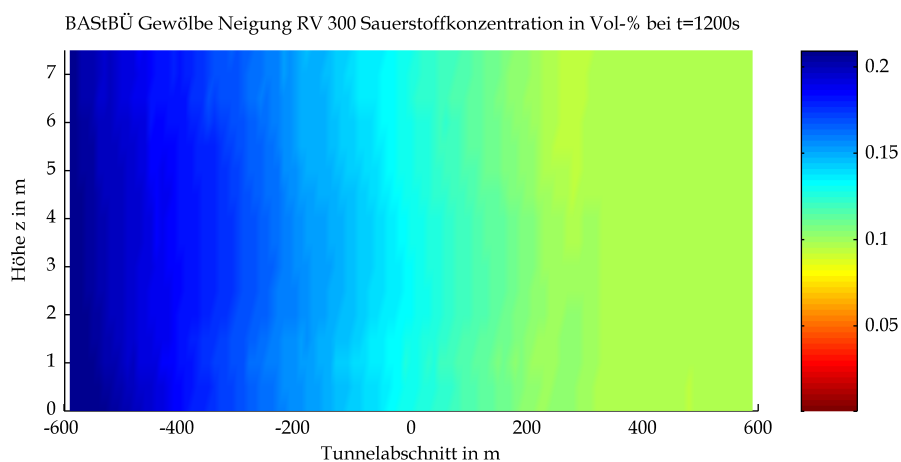
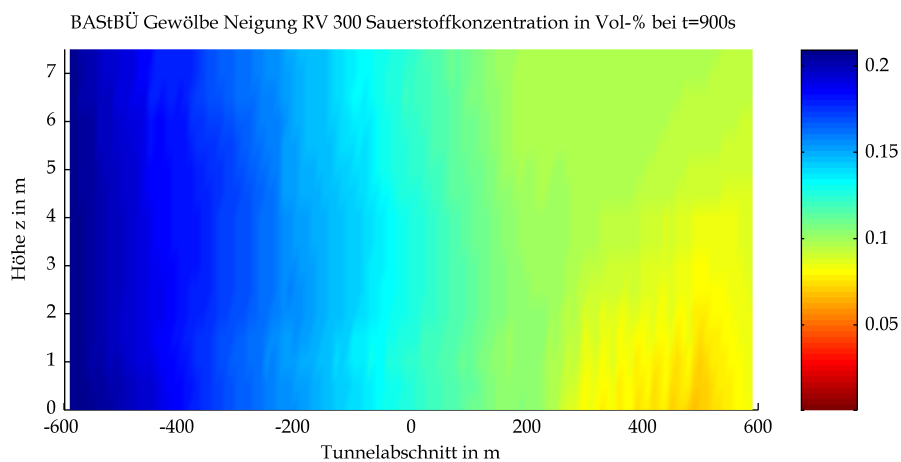
## 5 Sauerstoffgehalt



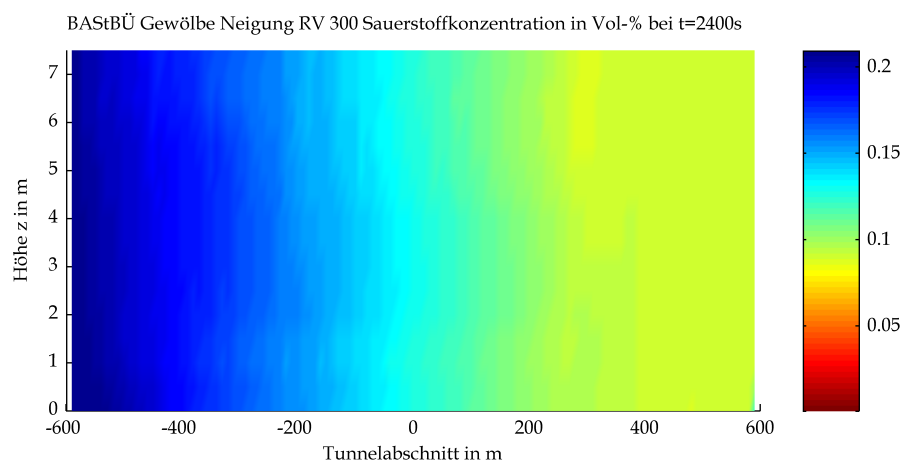
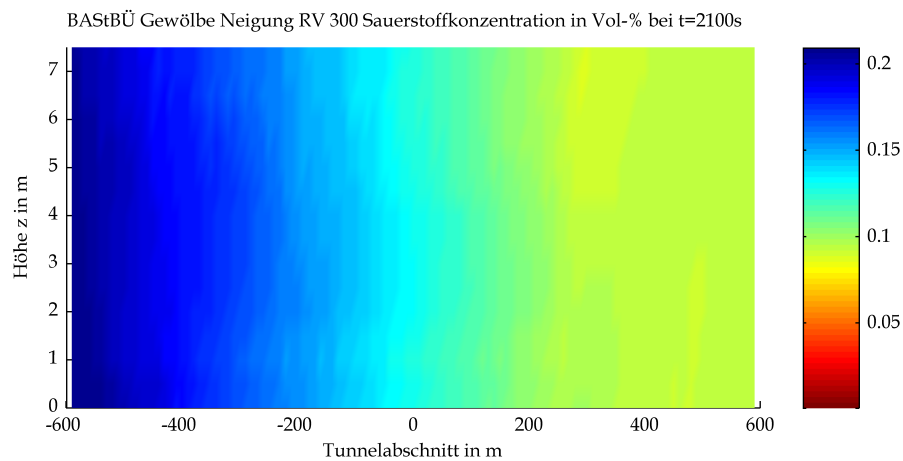
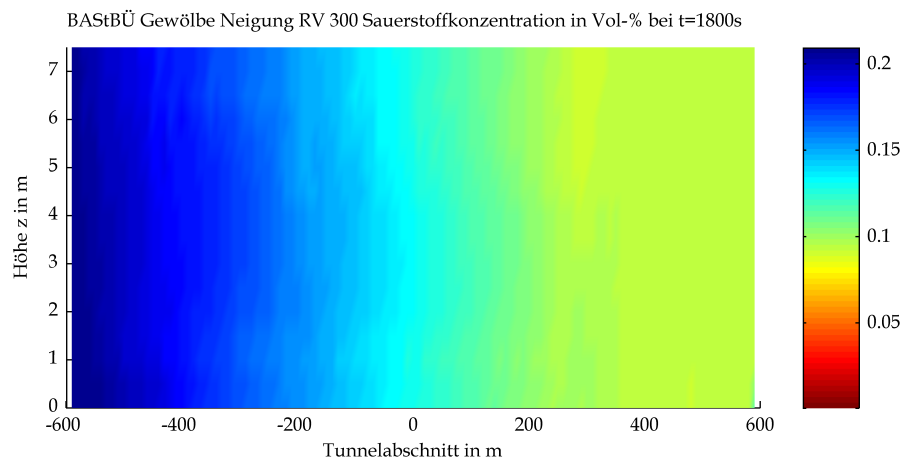
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



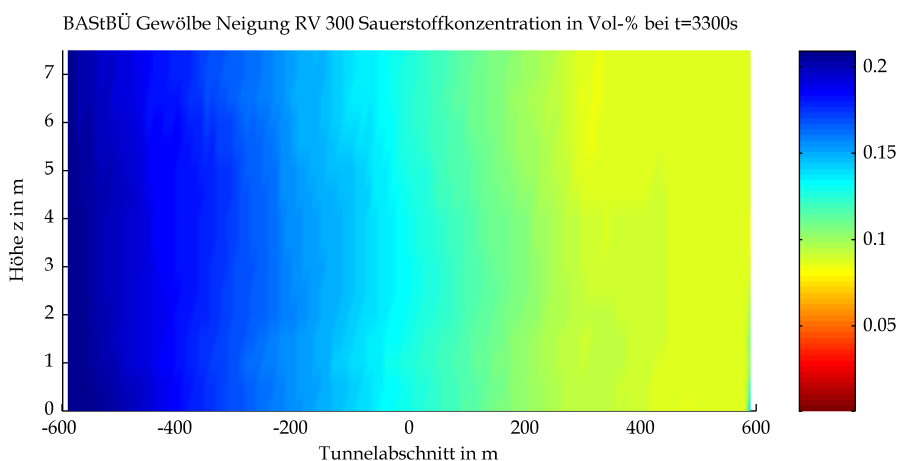
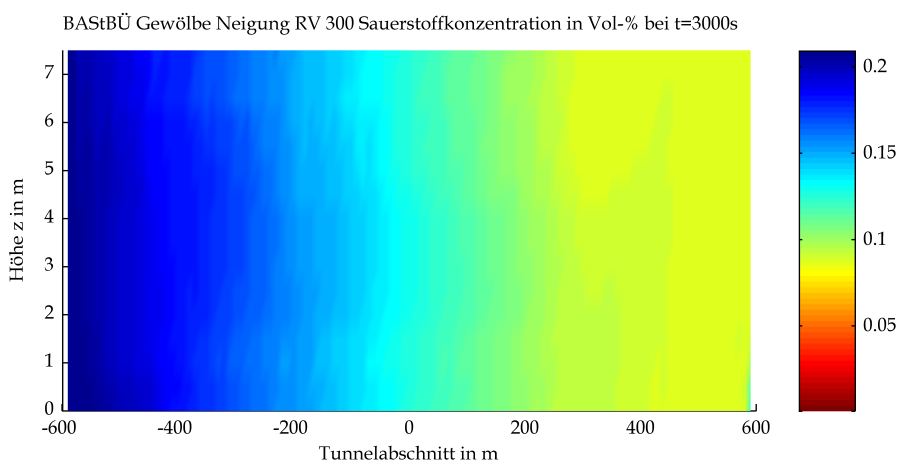
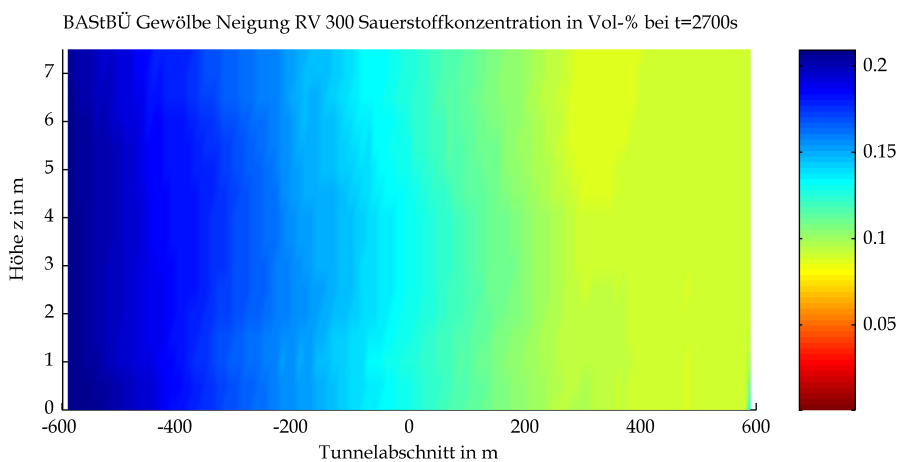
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



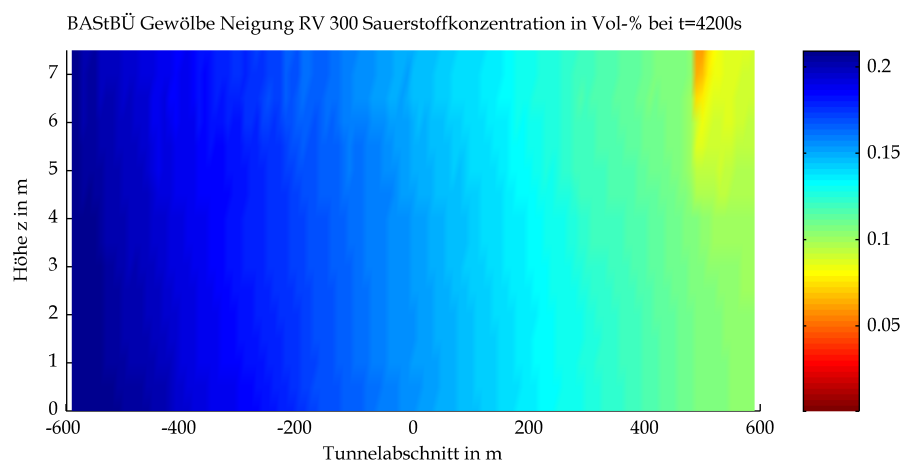
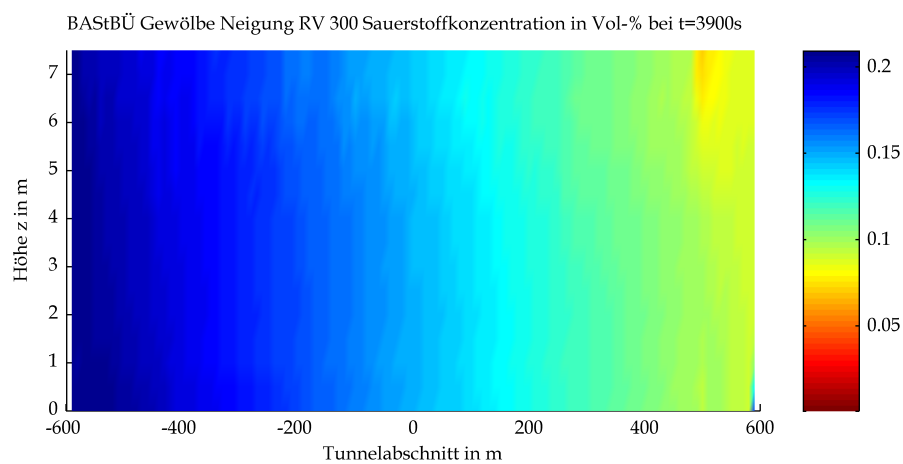
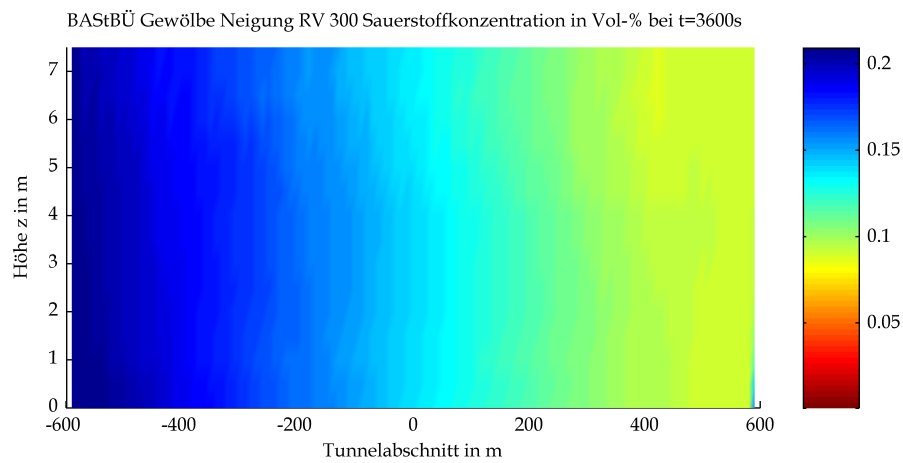
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte

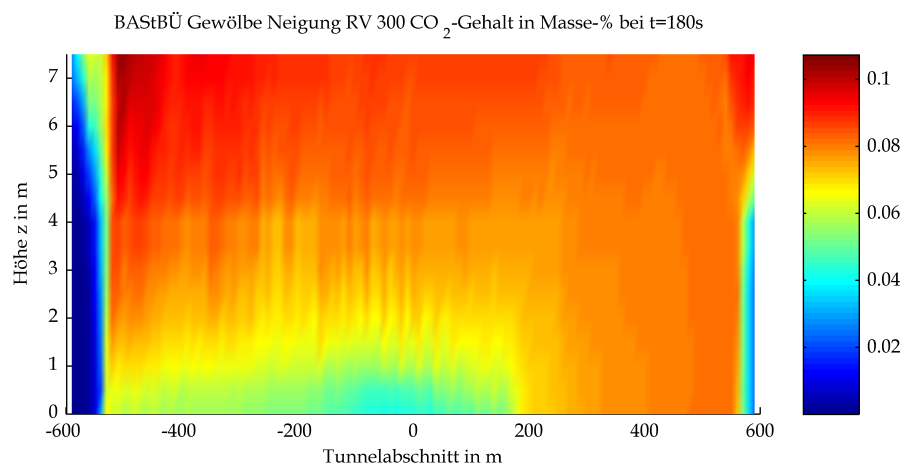
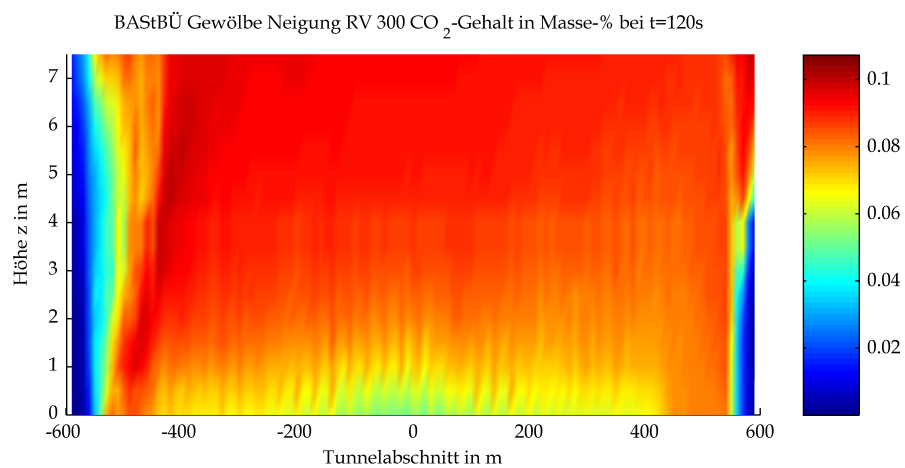
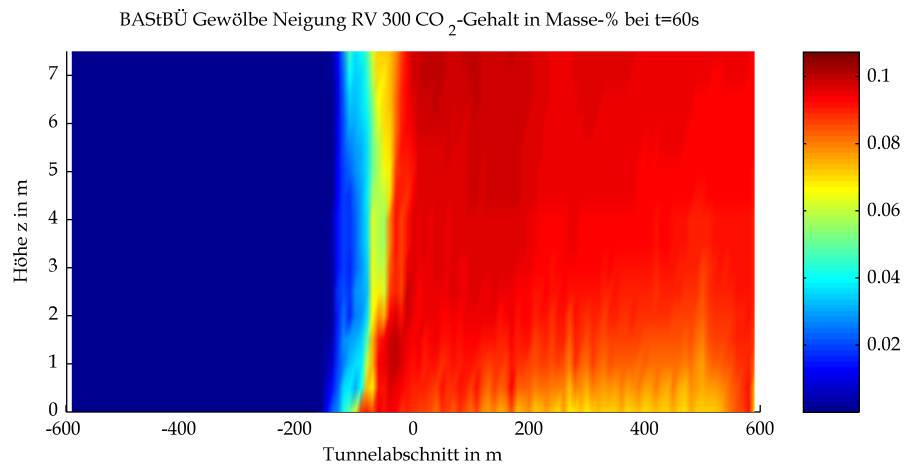


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte

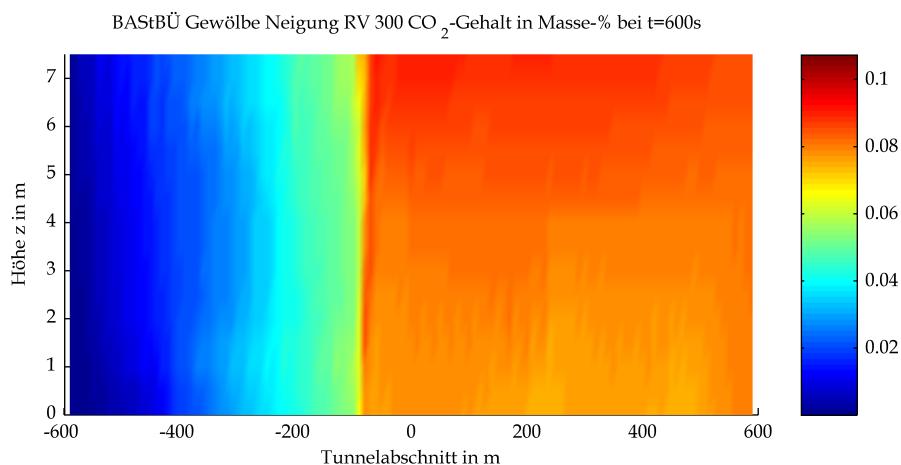
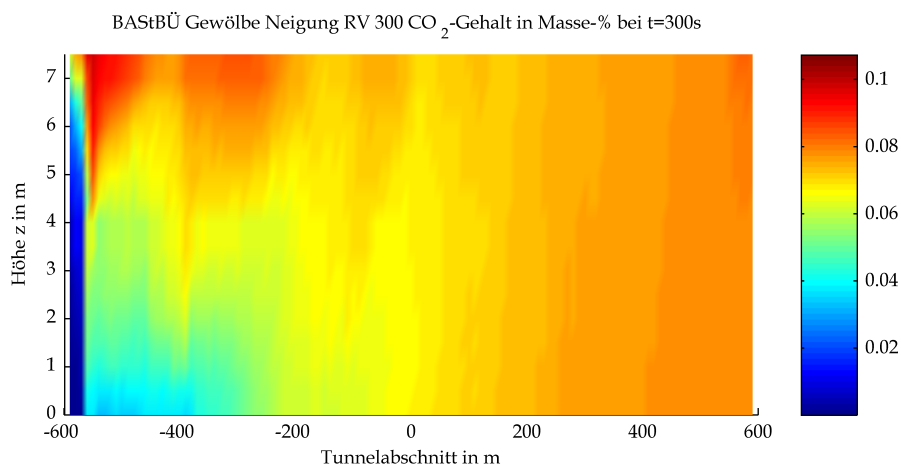
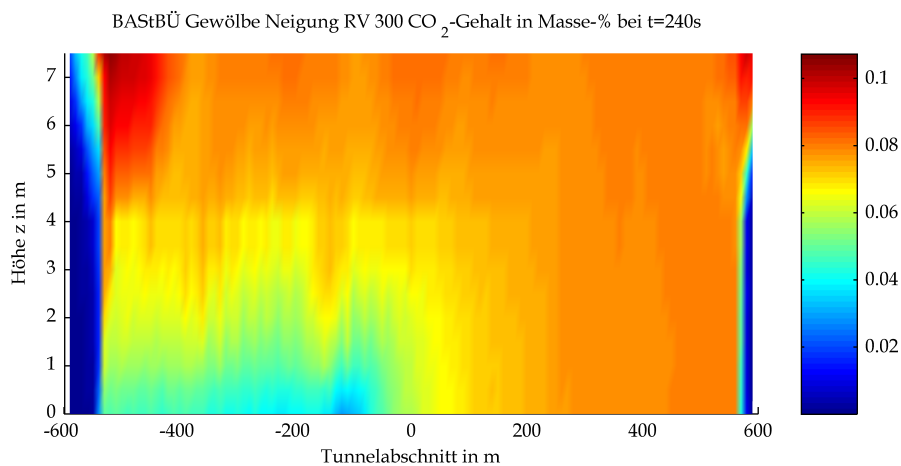


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte

## 6 Kohlendioxidgehalt

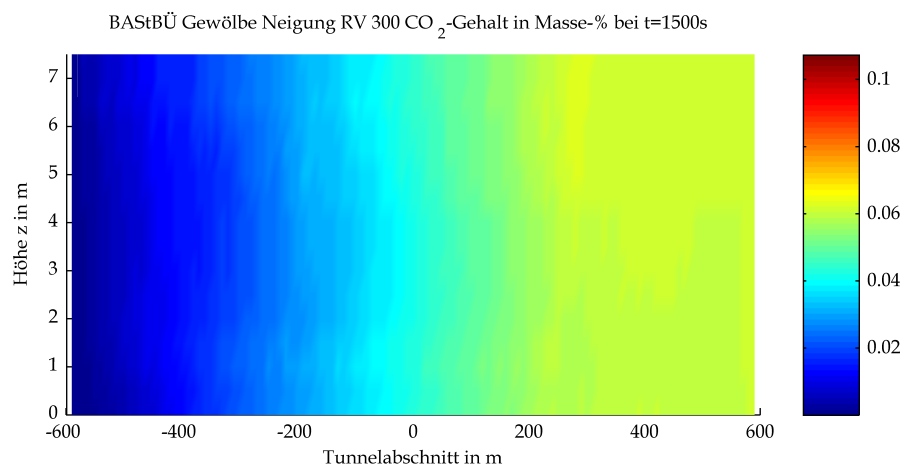
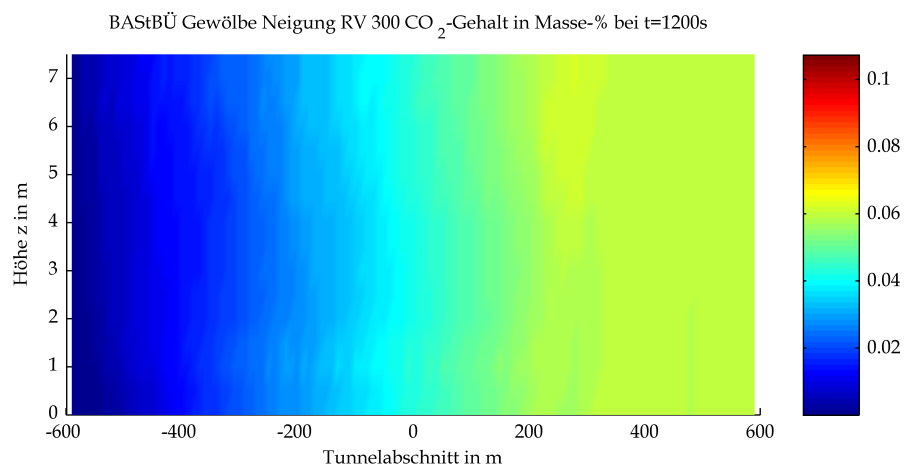
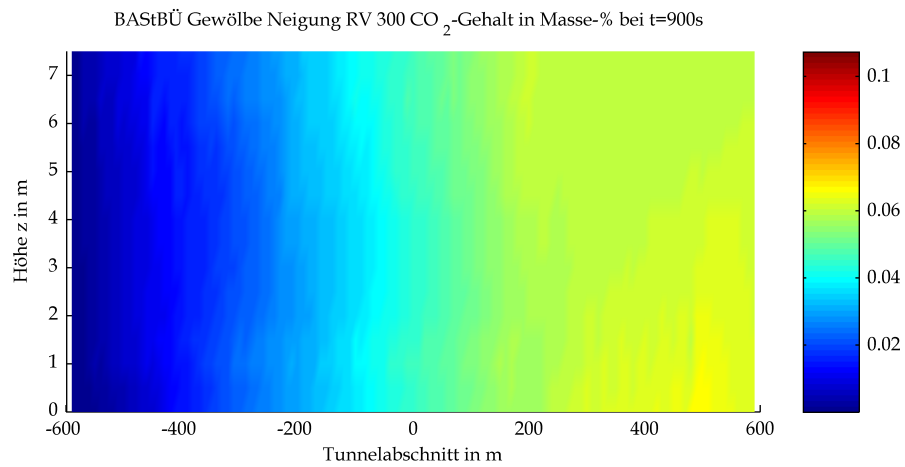


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

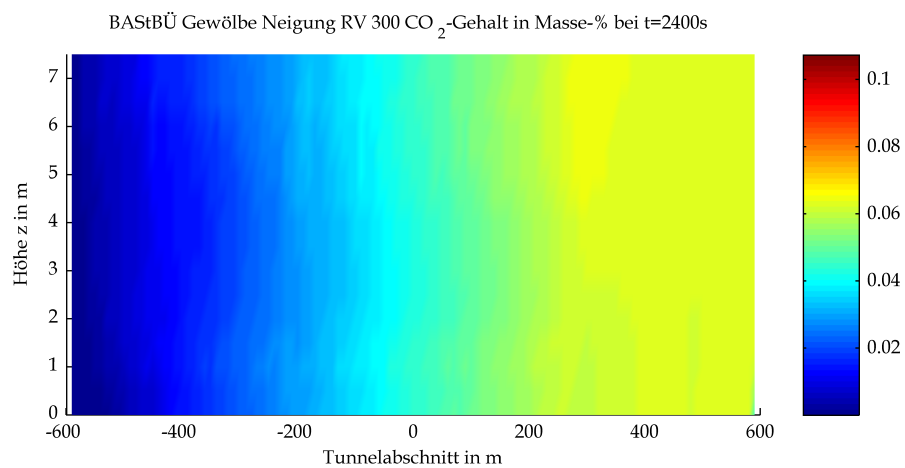
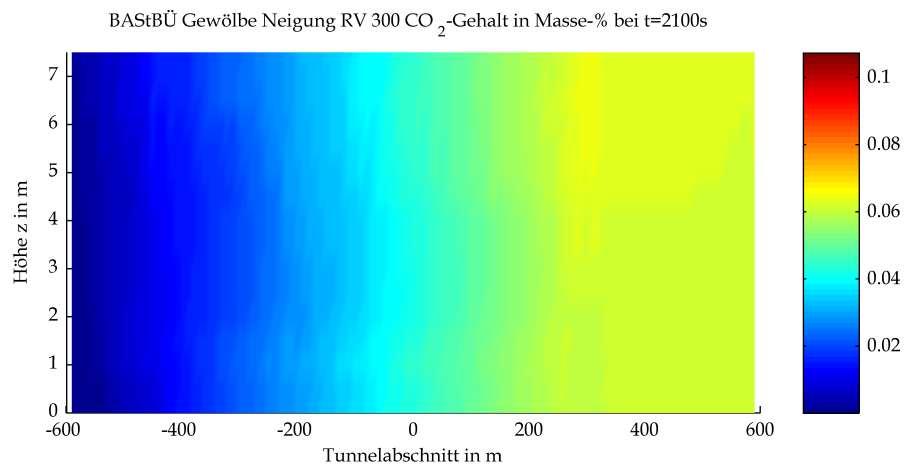
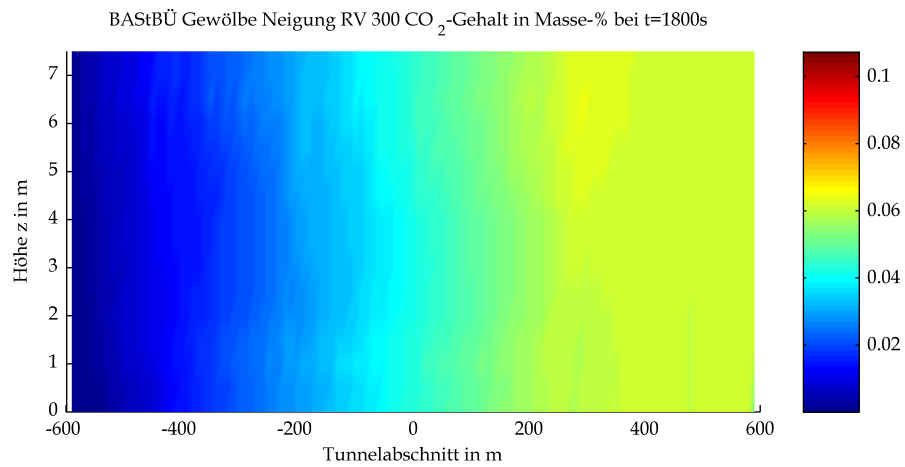


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

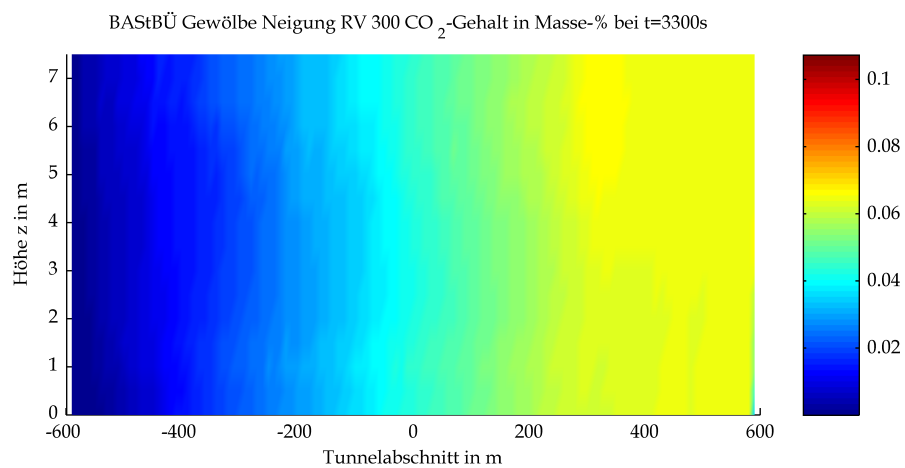
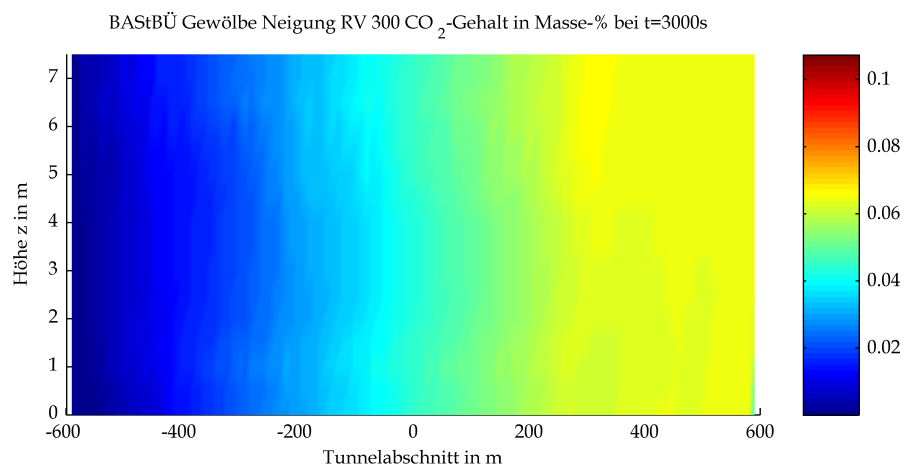
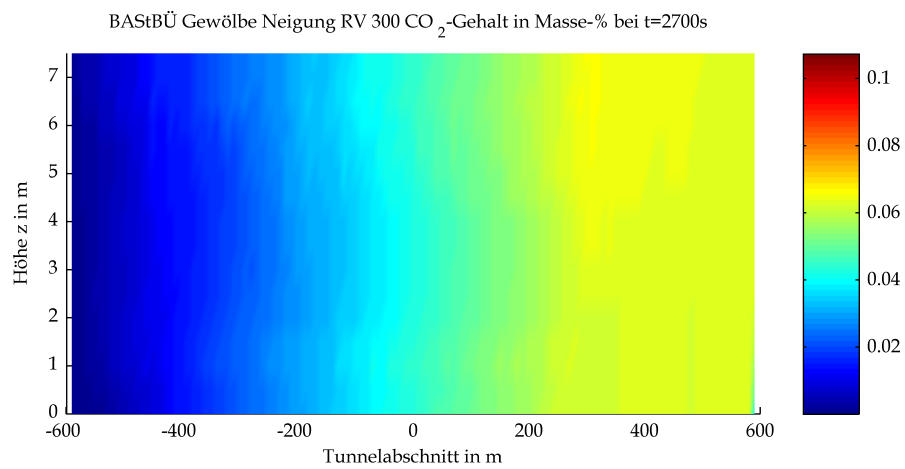




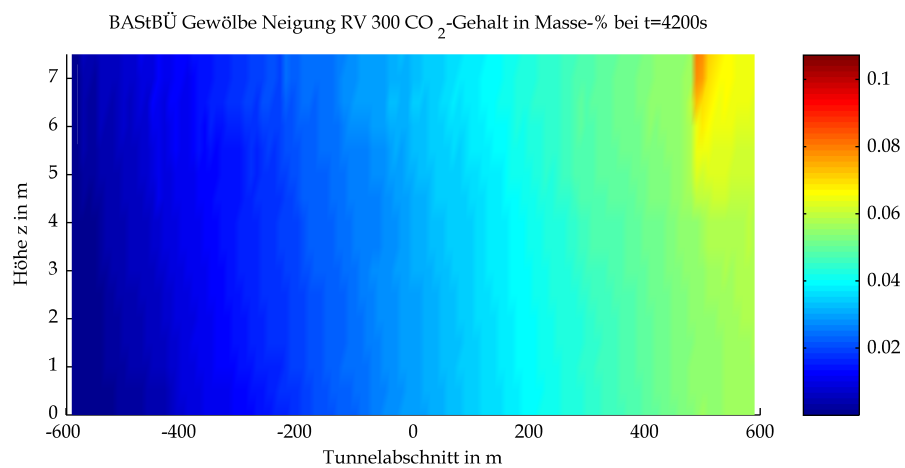
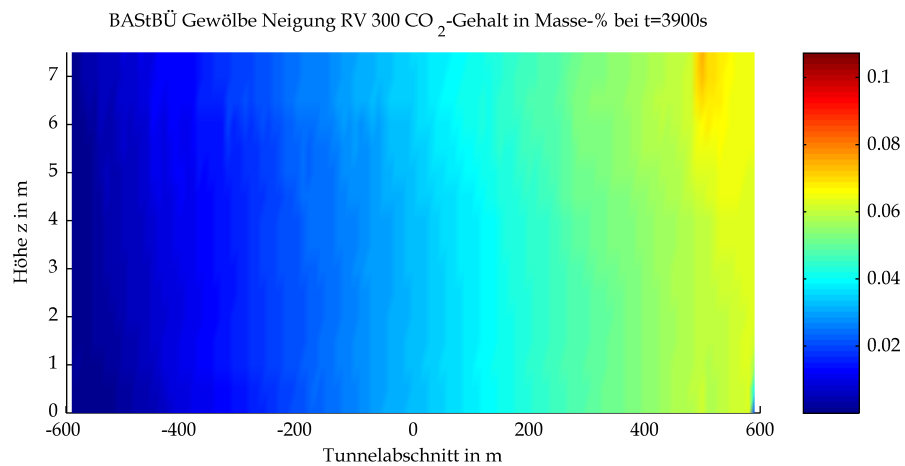
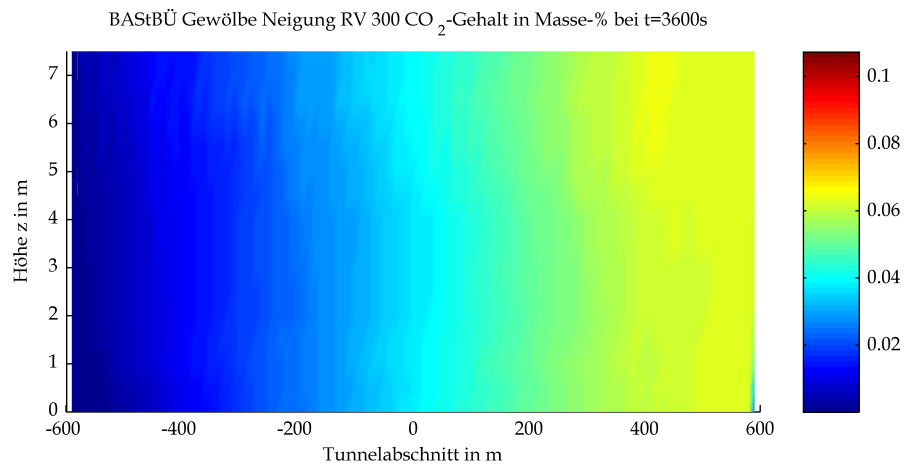
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

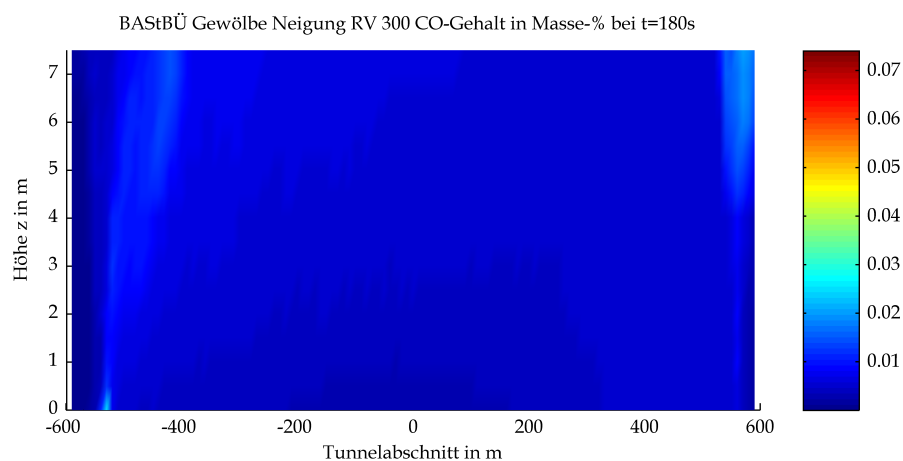
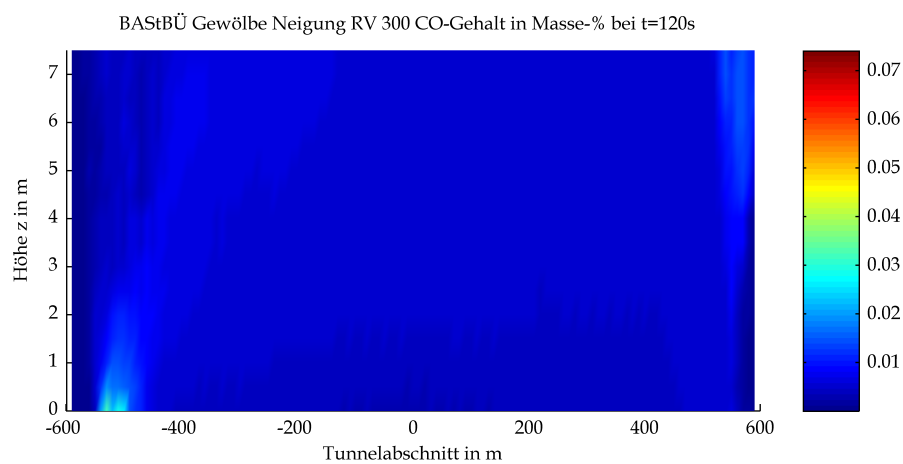
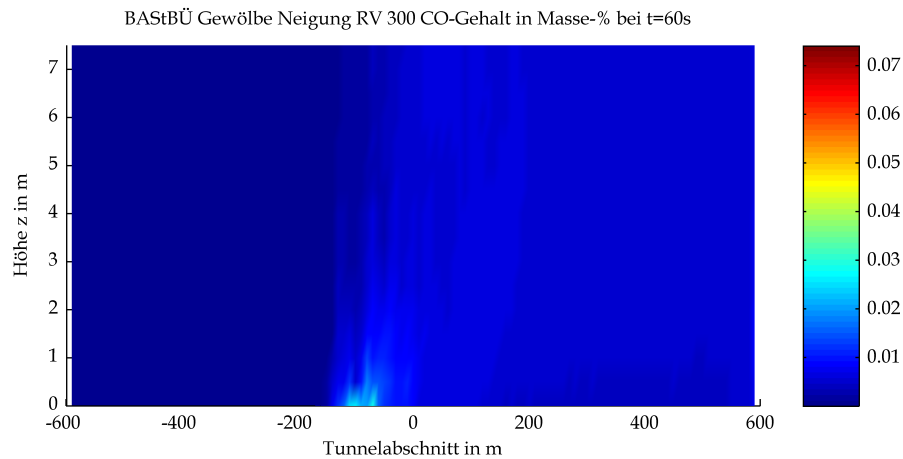


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

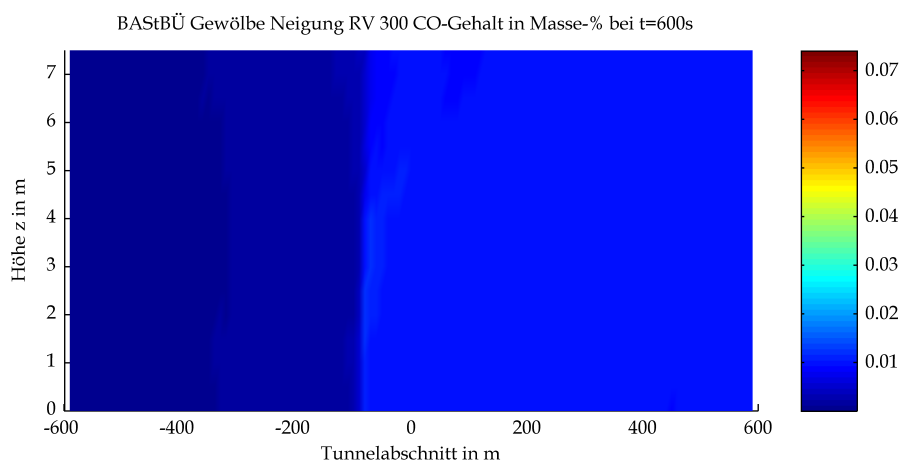
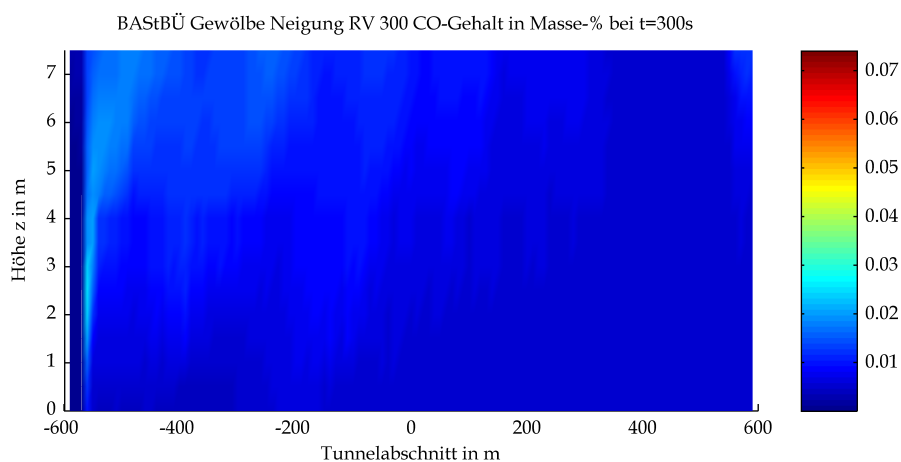
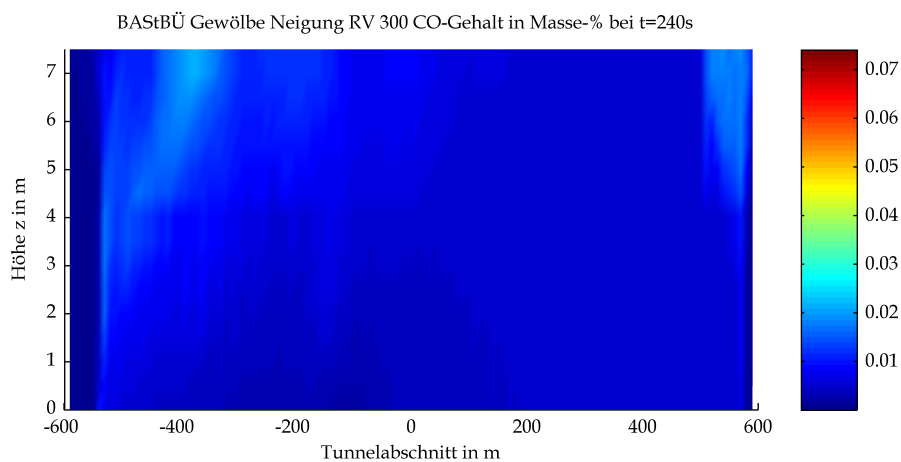


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

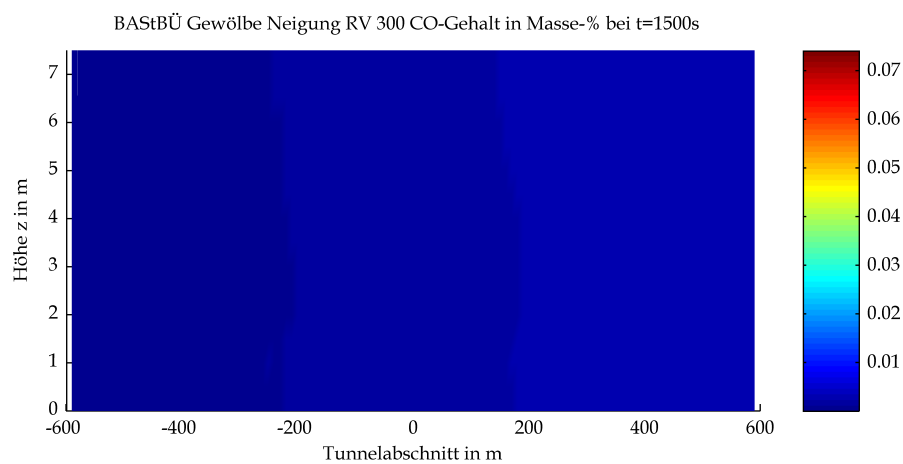
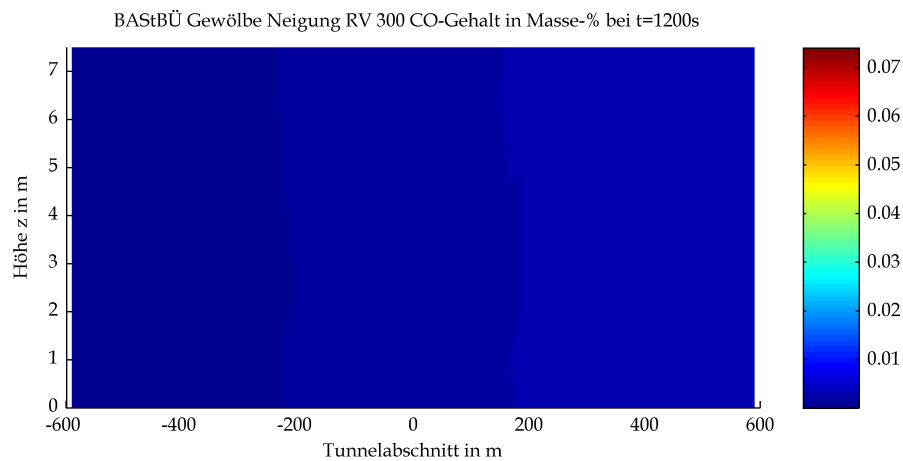
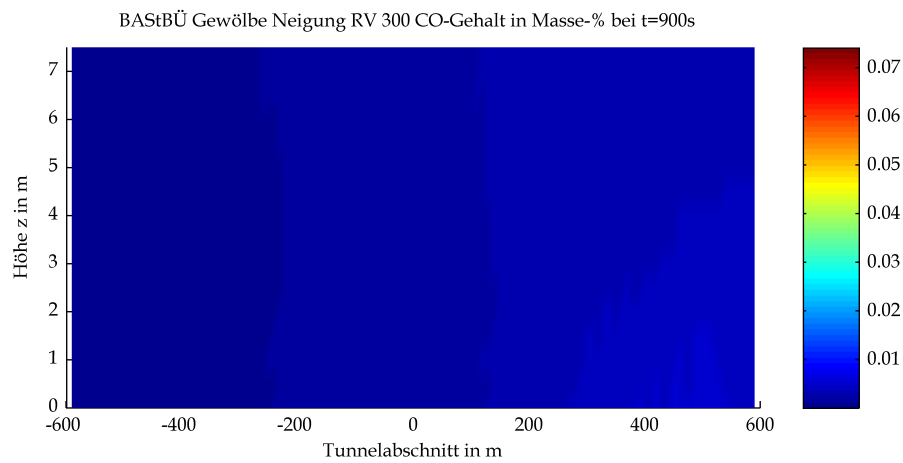
## 7 Kohlenmonoxidgehalt



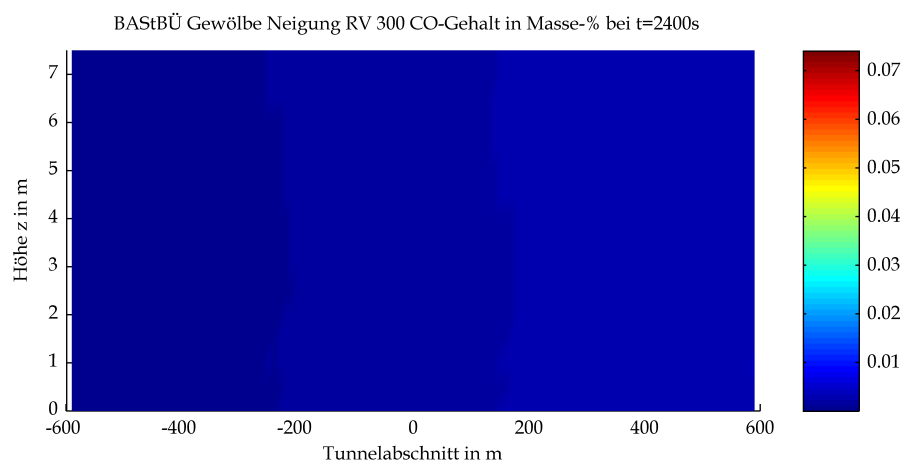
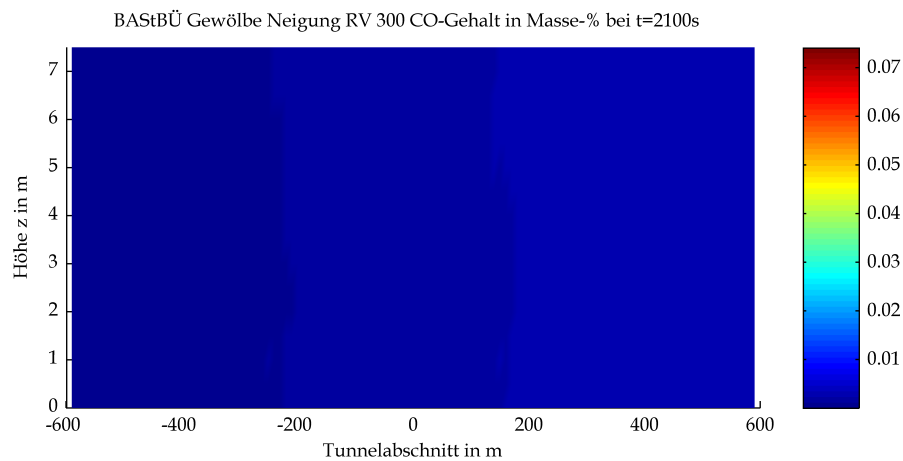
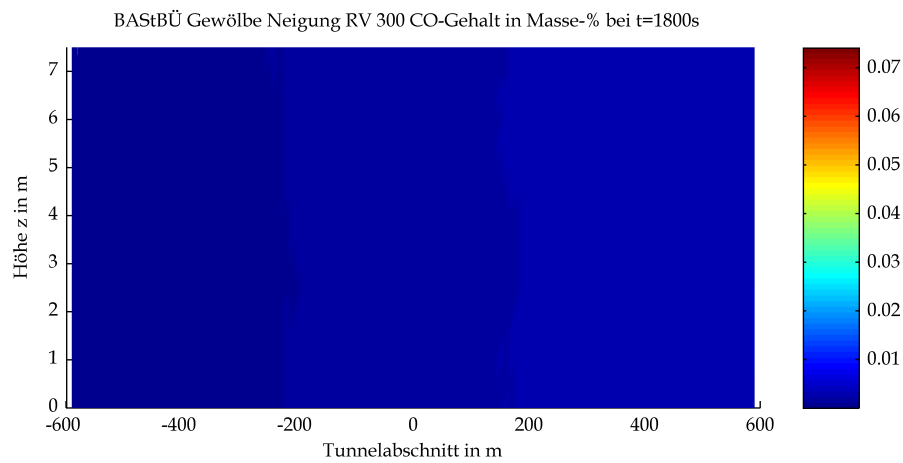
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte

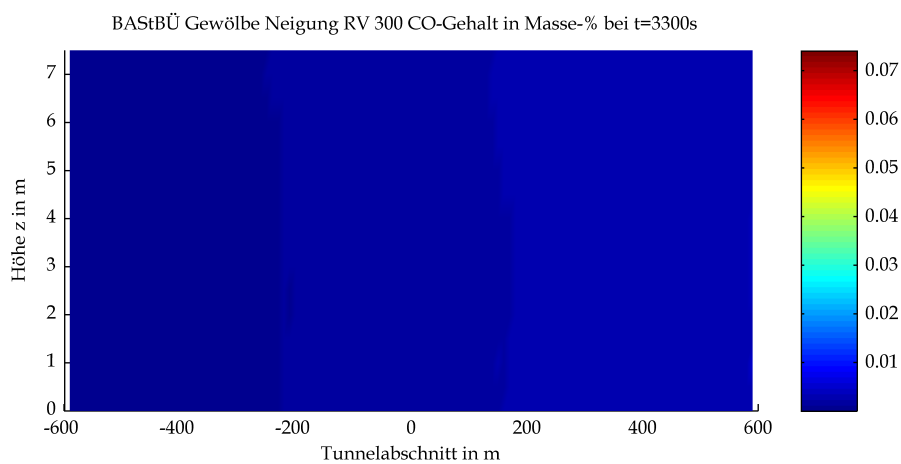
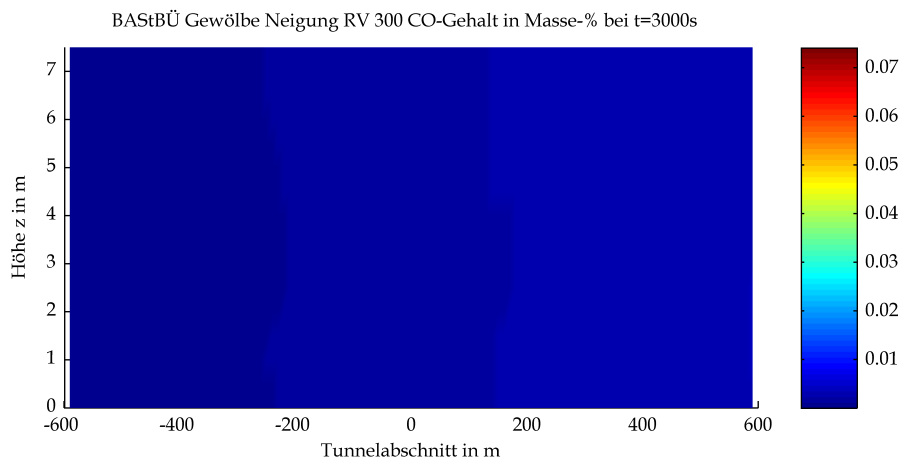
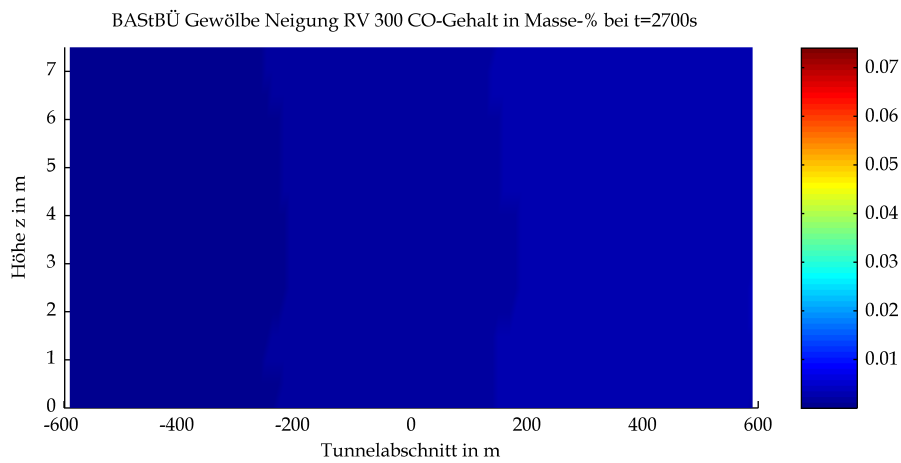


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte

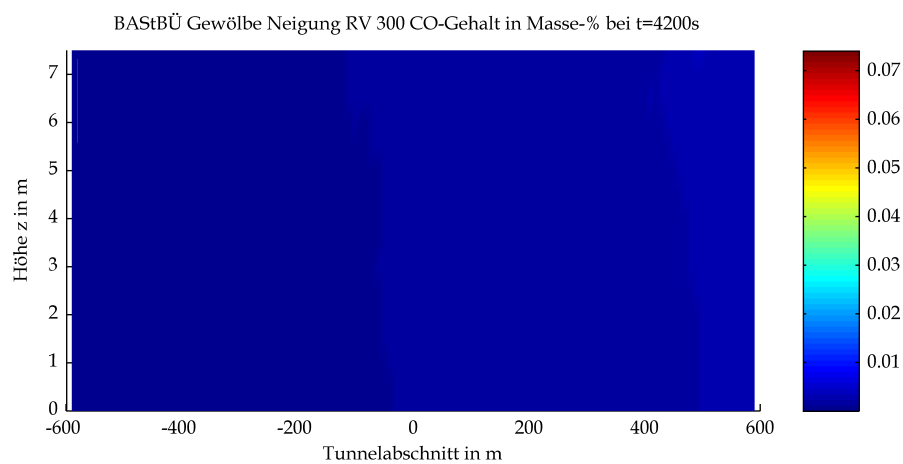
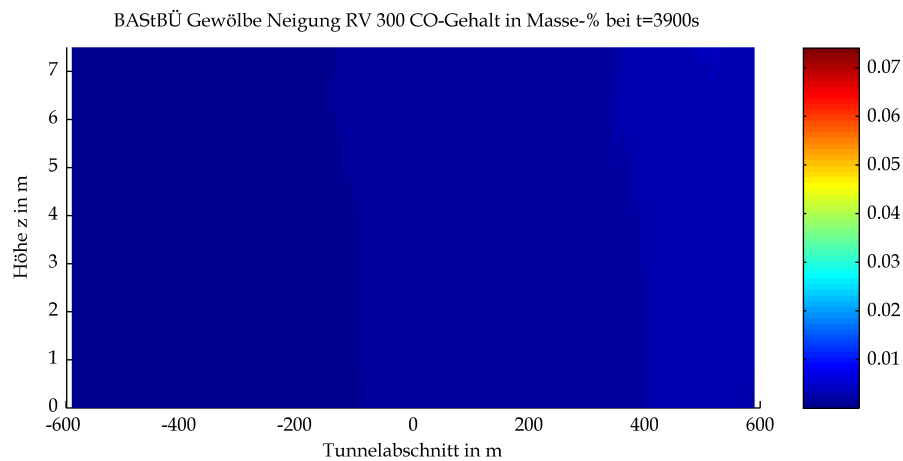
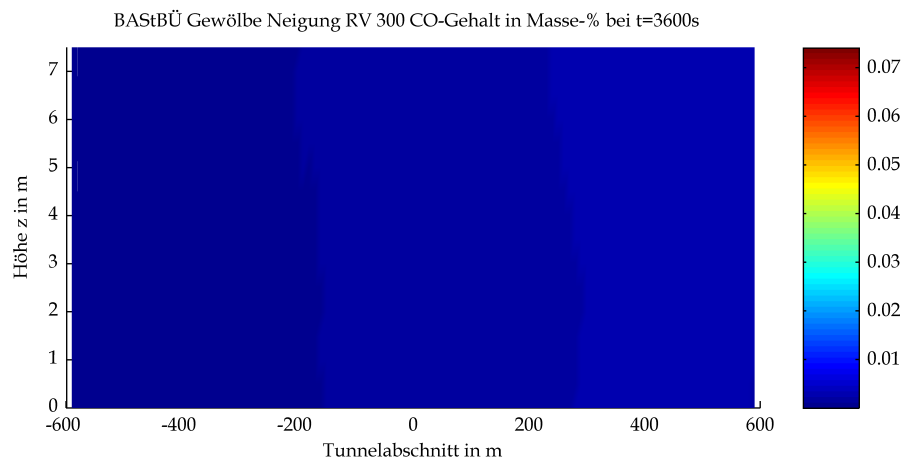


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte





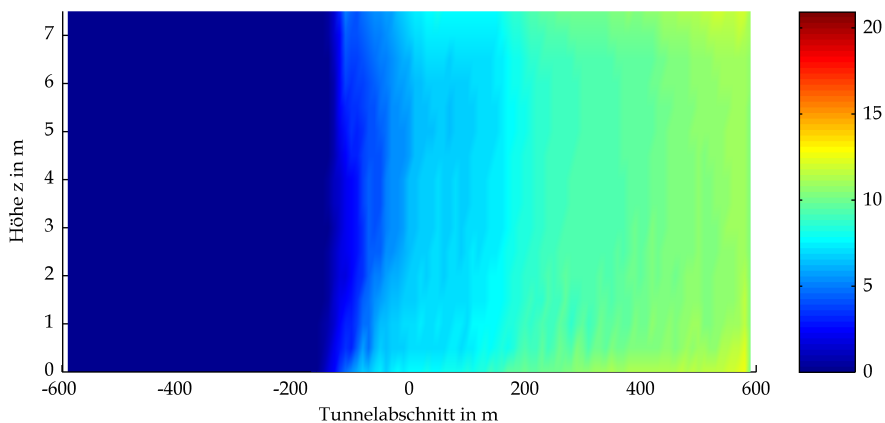
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



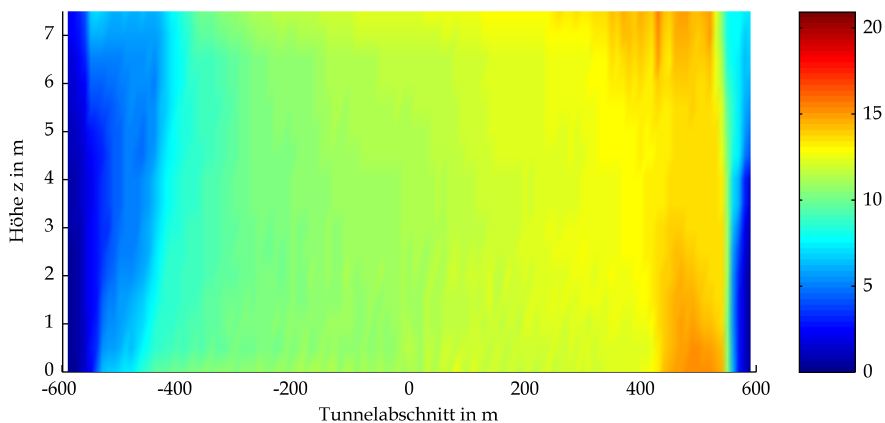
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte

## 8 Optische Dichte

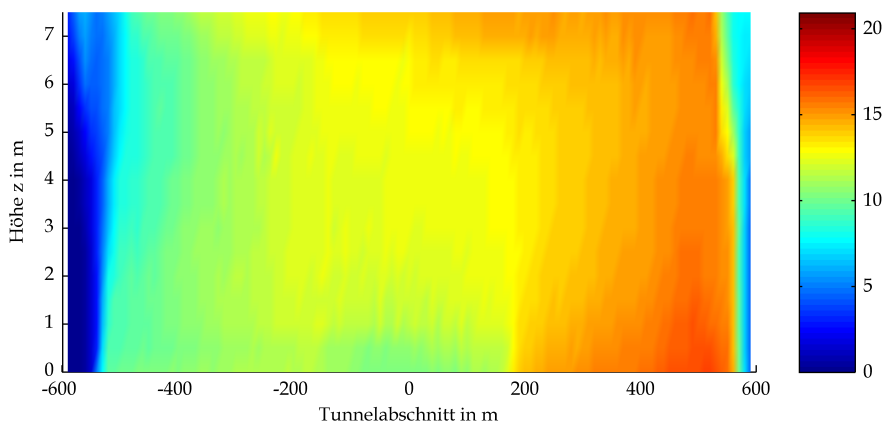
BASStBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Optische Dichte bei t=60s



BASStBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Optische Dichte bei t=120s

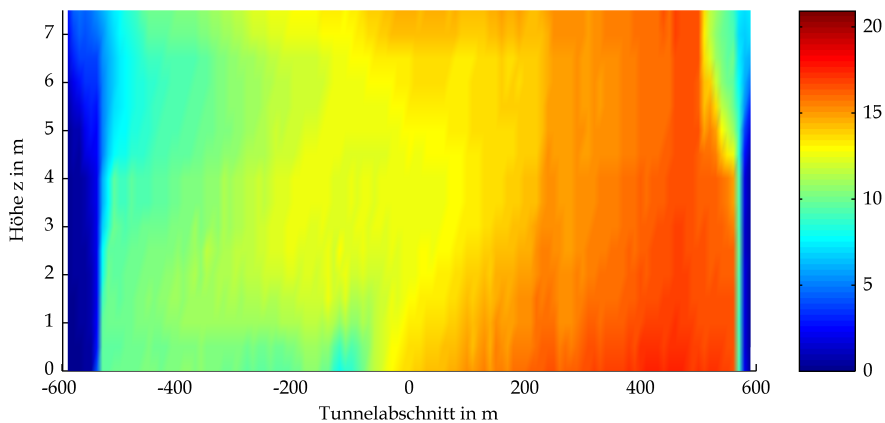


BASStBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Optische Dichte bei t=180s

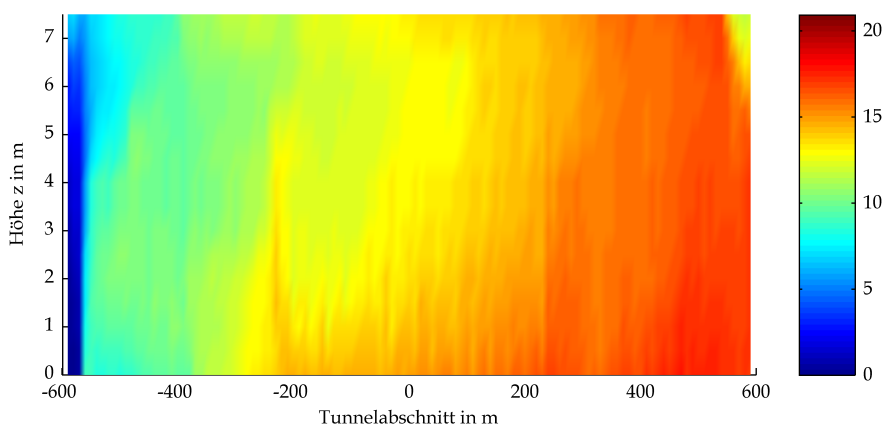


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

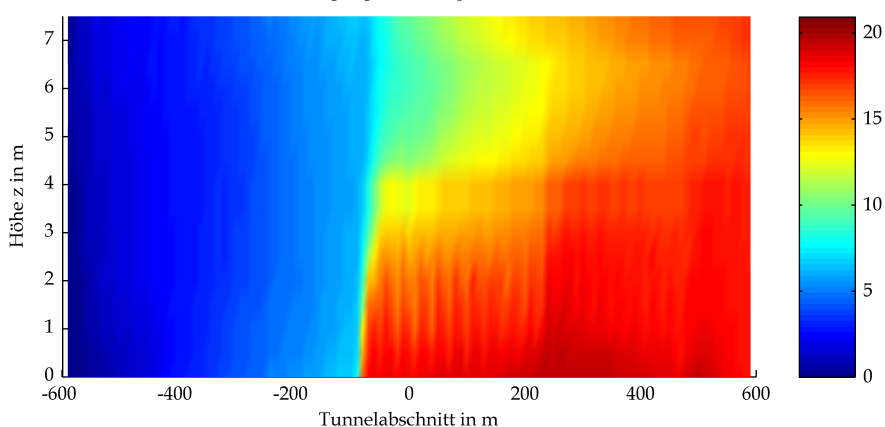
BASTBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Optische Dichte bei t=240s



BASTBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Optische Dichte bei t=300s

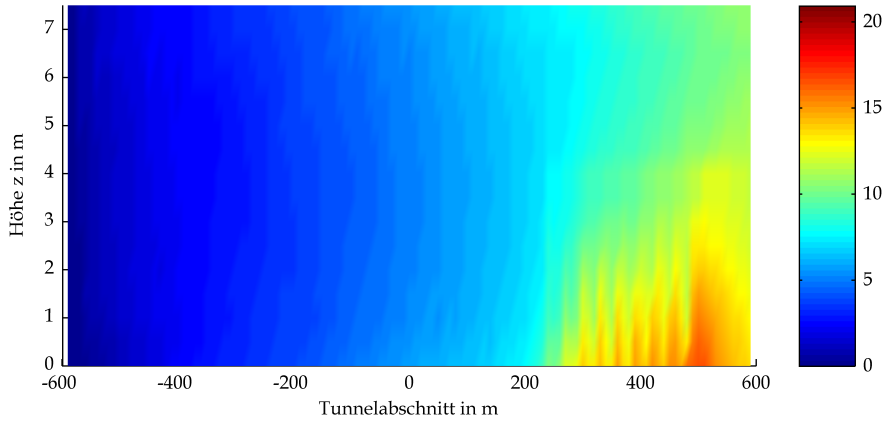


BASTBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Optische Dichte bei t=600s

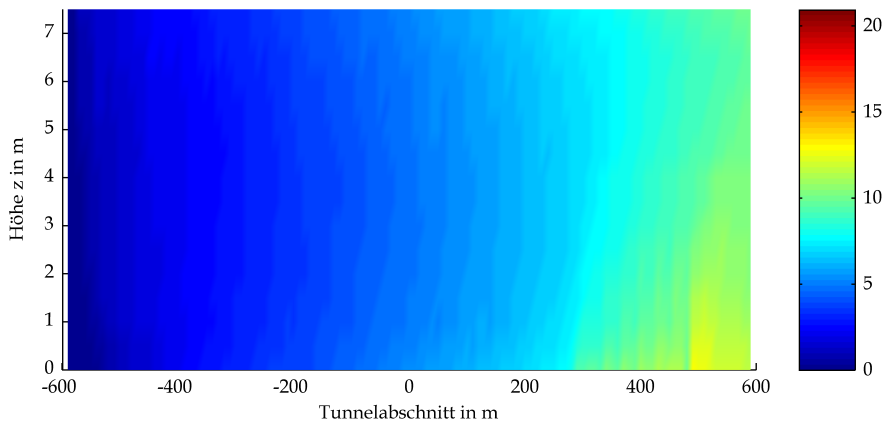


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

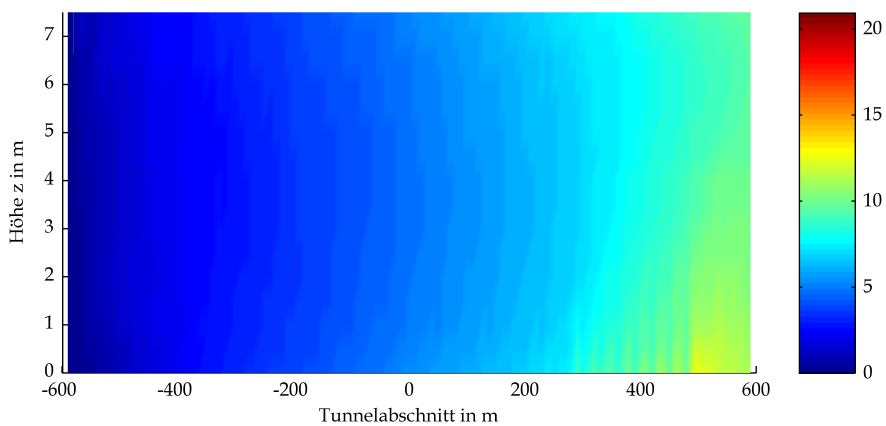
BASTBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Optische Dichte bei t=900s



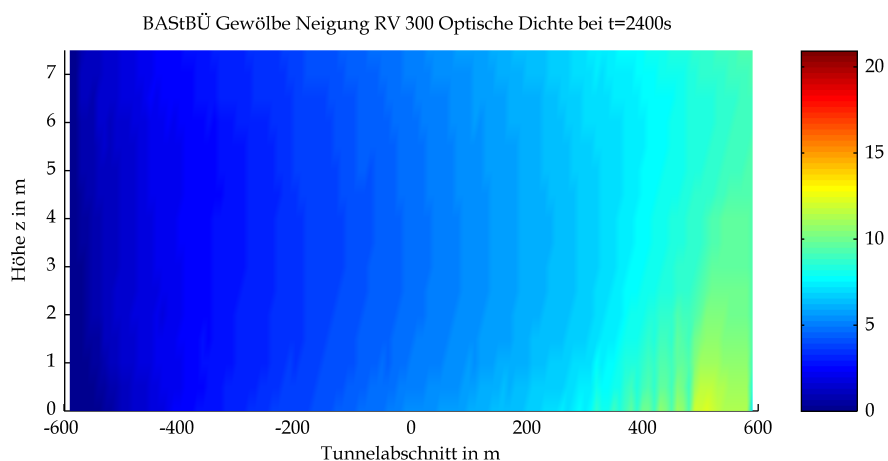
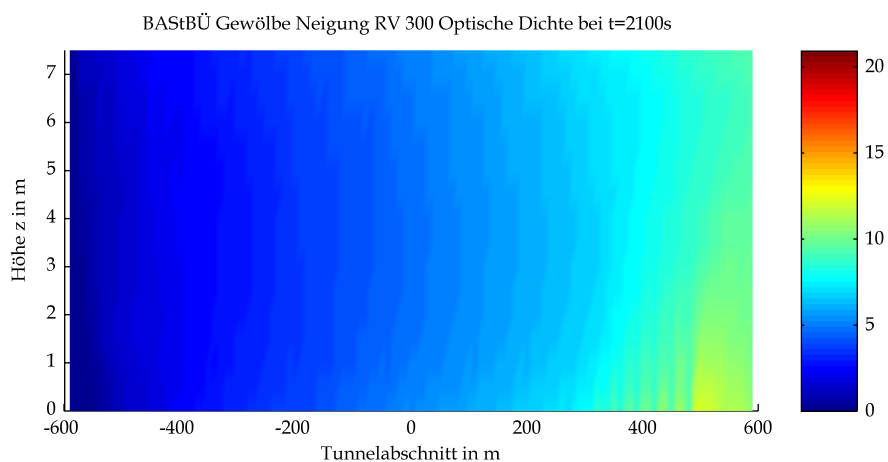
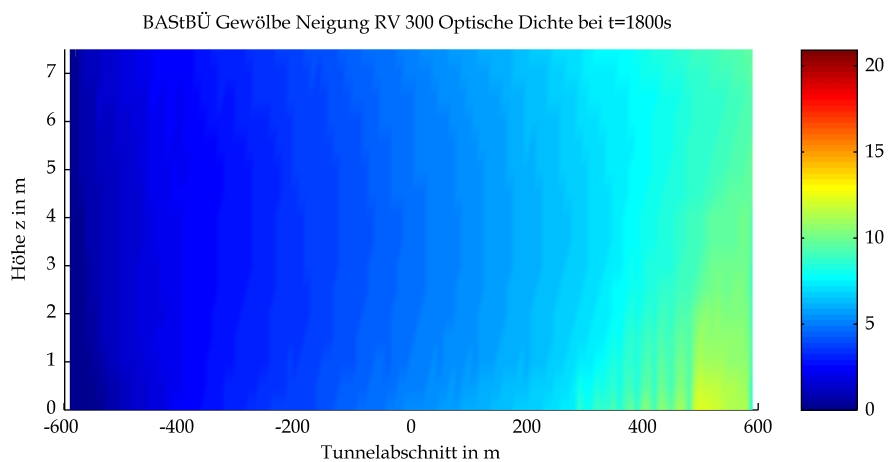
BASTBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Optische Dichte bei t=1200s



BASTBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Optische Dichte bei t=1500s

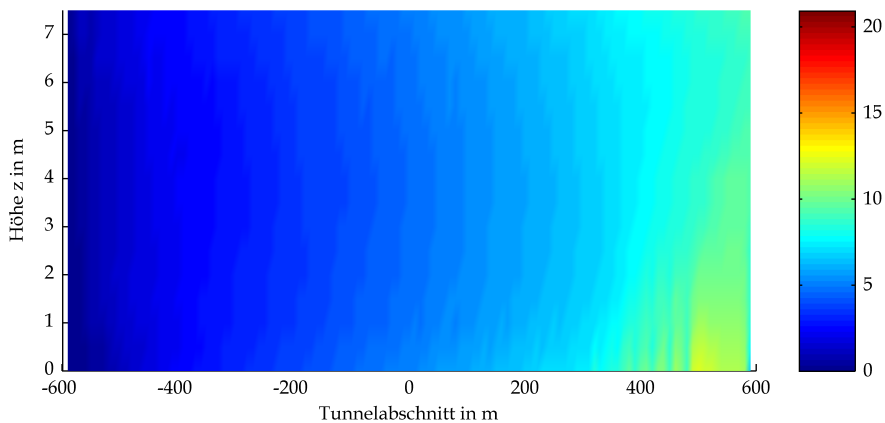


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

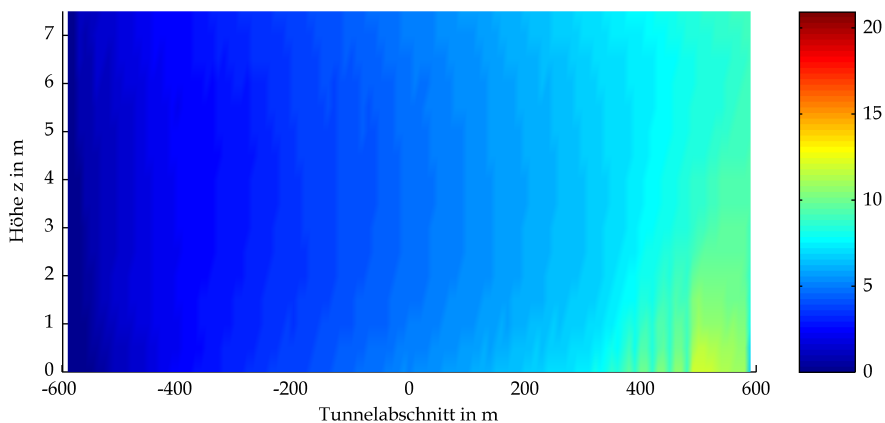


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

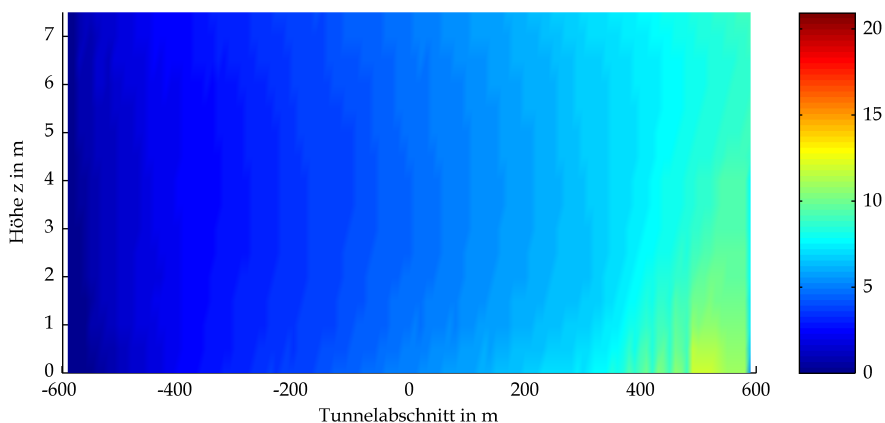
BASTBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Optische Dichte bei t=2700s



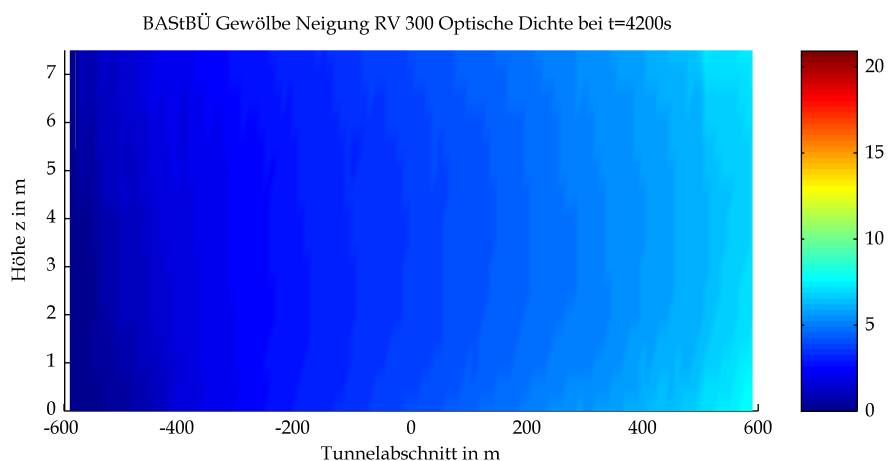
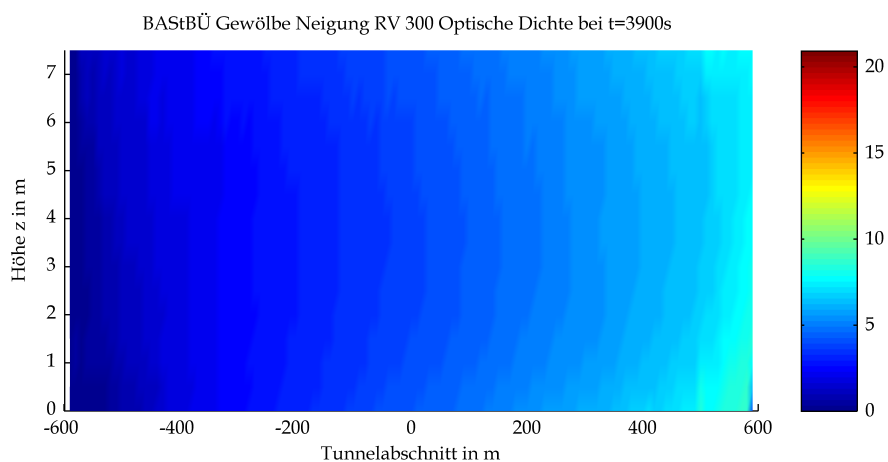
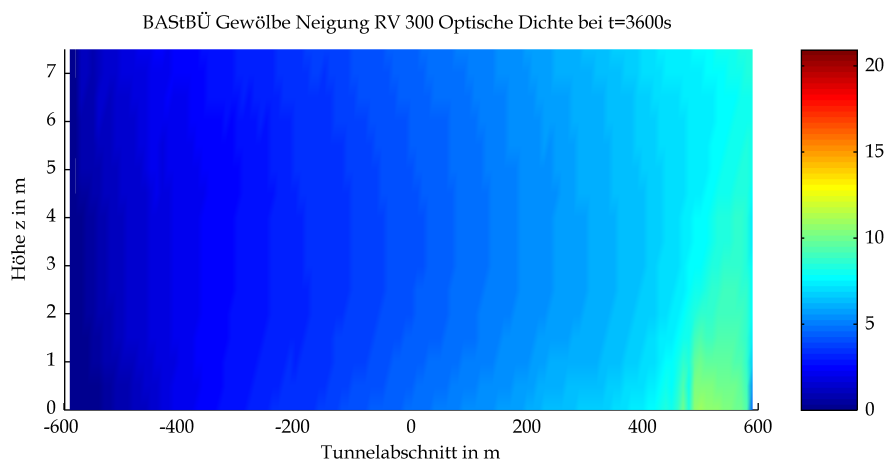
BASTBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Optische Dichte bei t=3000s



BASTBÜ Gewölbe Neigung RV 300 Optische Dichte bei t=3300s



Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

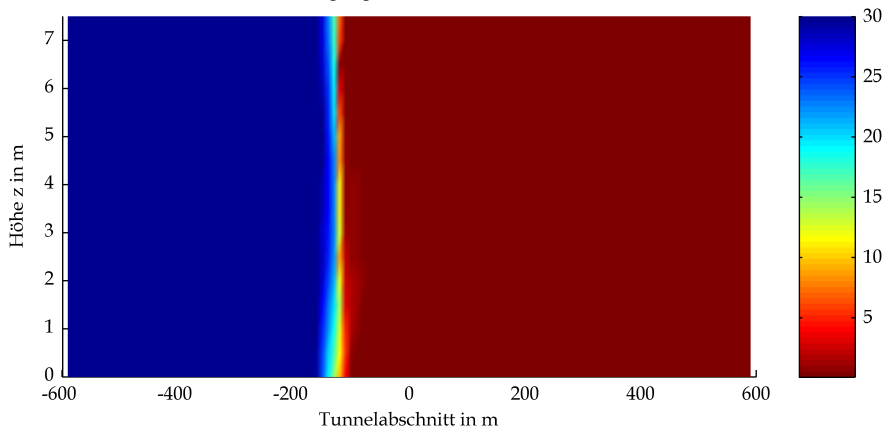


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

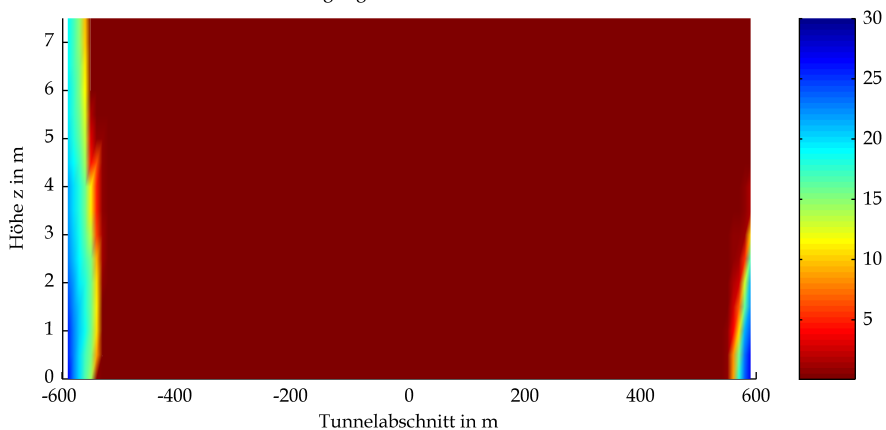


## 9 Sichtweiten

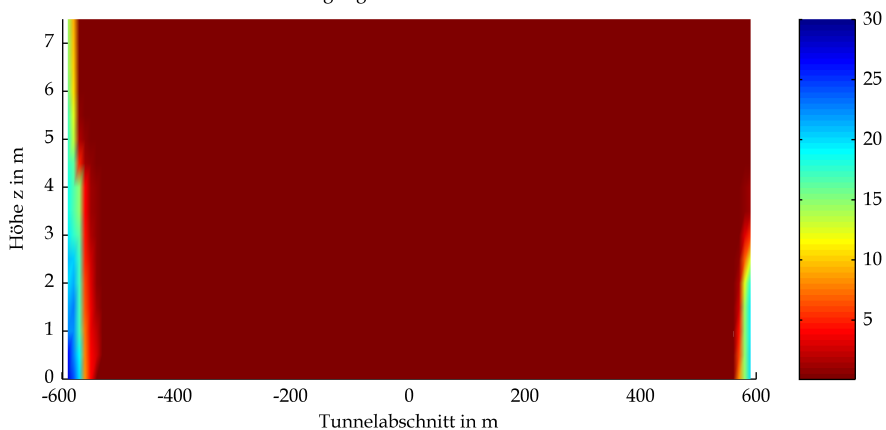
BASTÜ Gewölbe Neigung RV 300 Sichtbarkeit in m bei t=60s



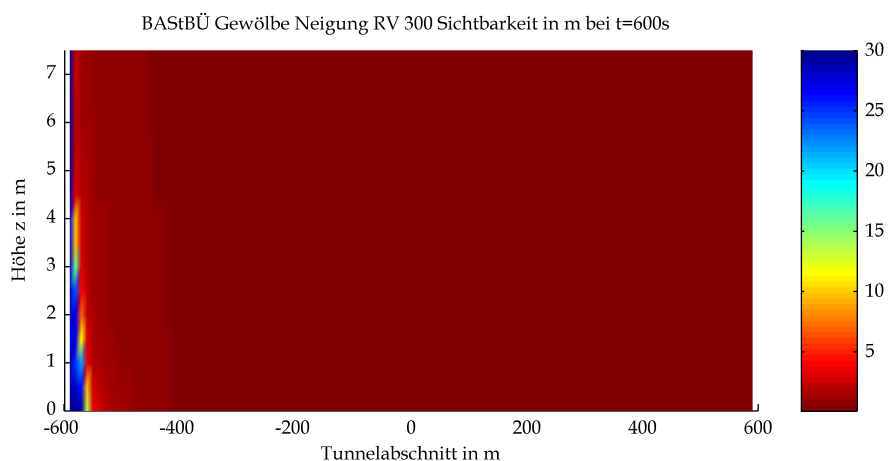
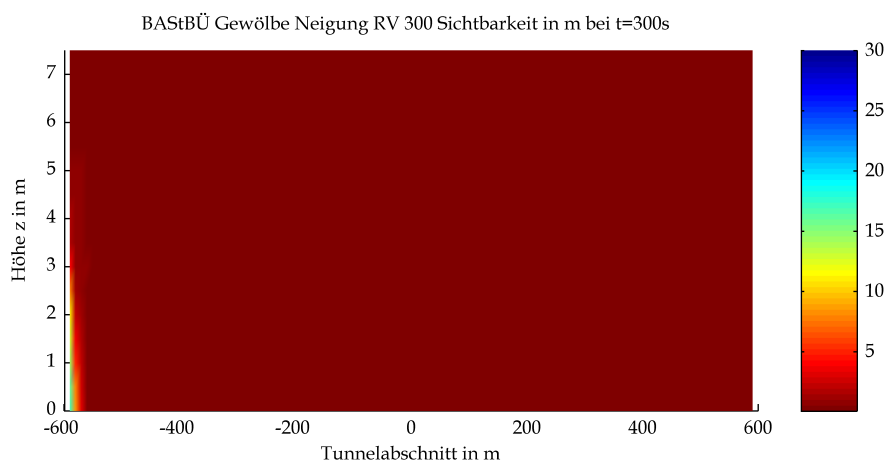
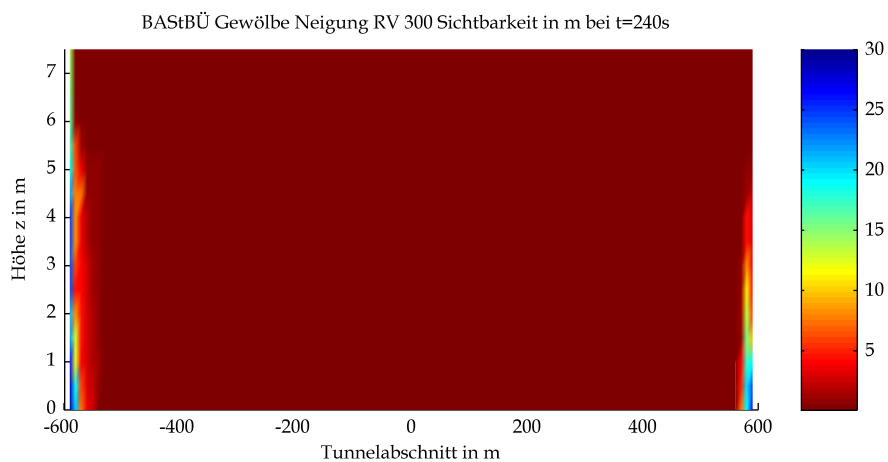
BASTÜ Gewölbe Neigung RV 300 Sichtbarkeit in m bei t=120s



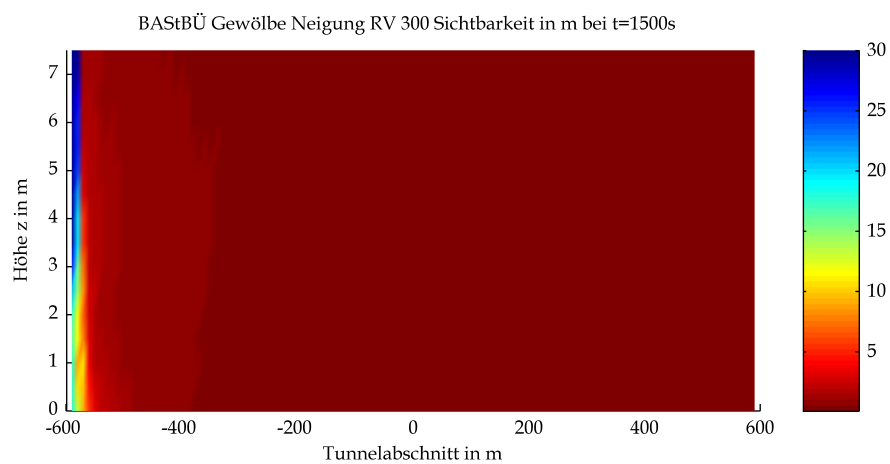
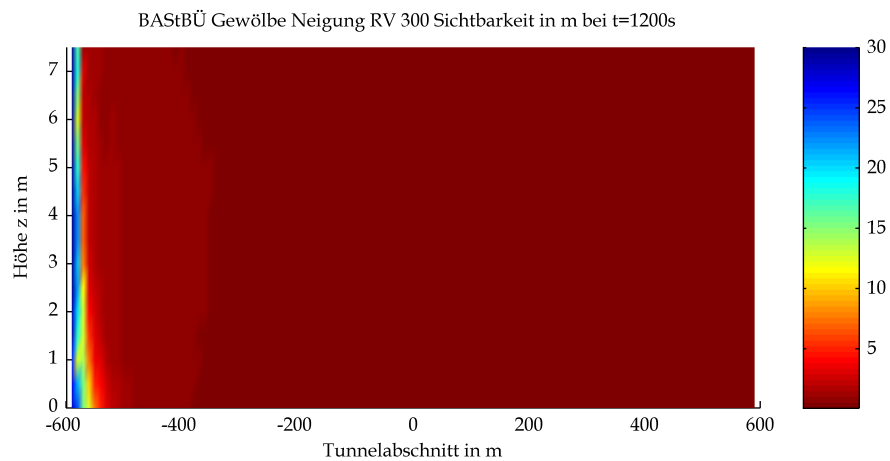
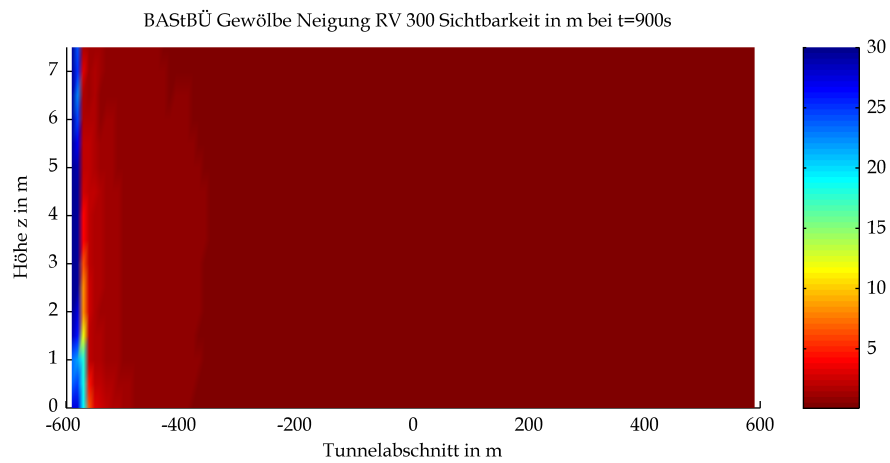
BASTÜ Gewölbe Neigung RV 300 Sichtbarkeit in m bei t=180s



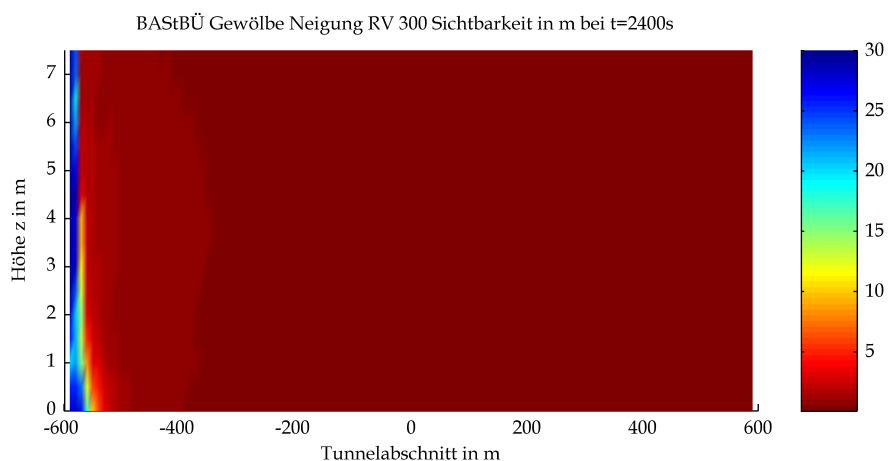
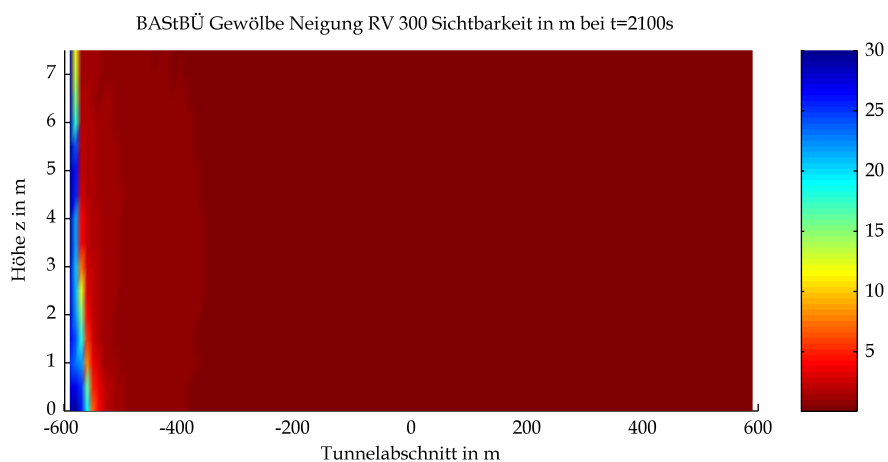
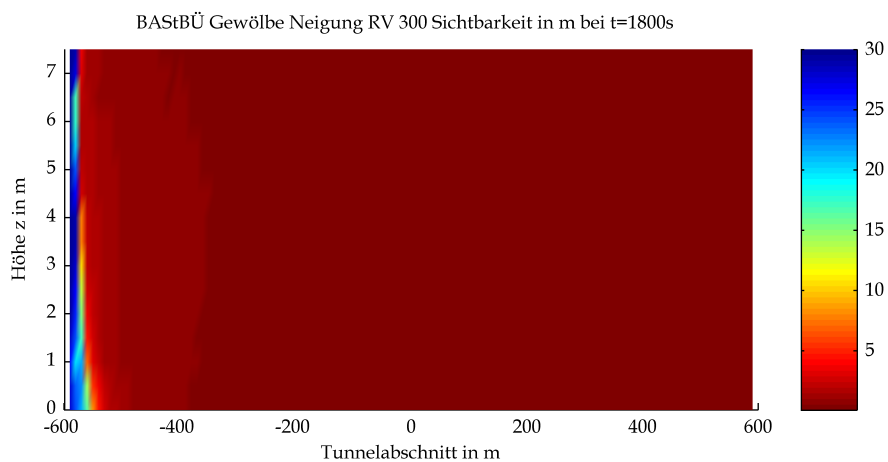
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



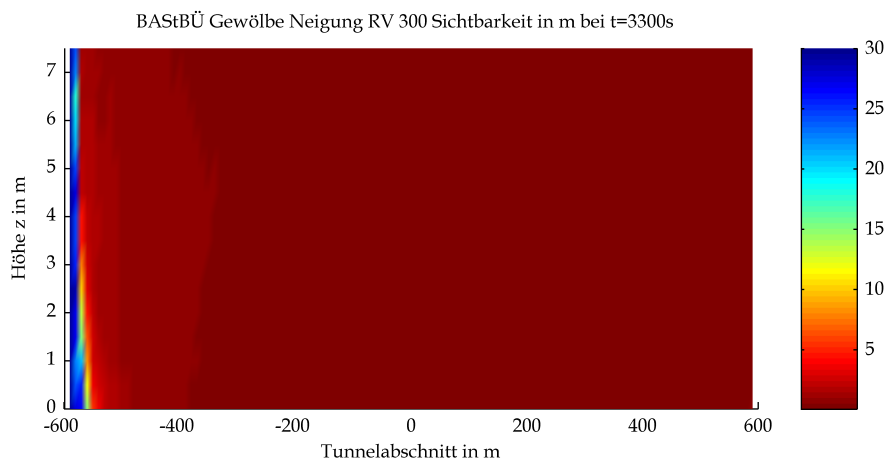
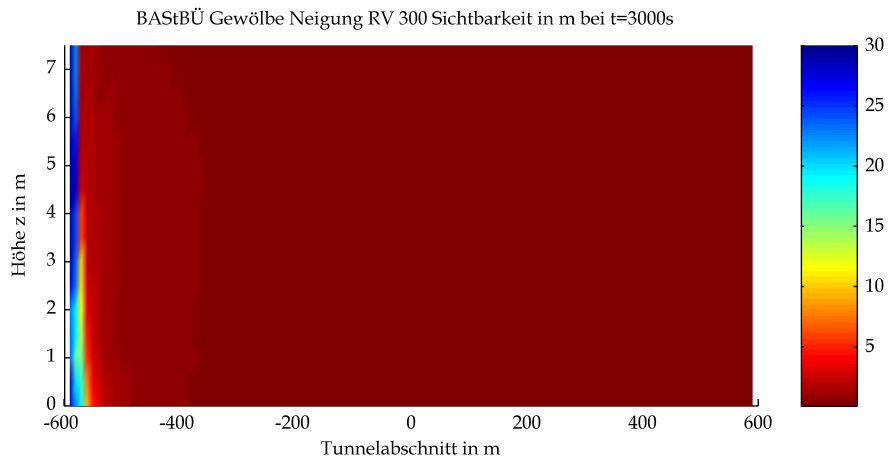
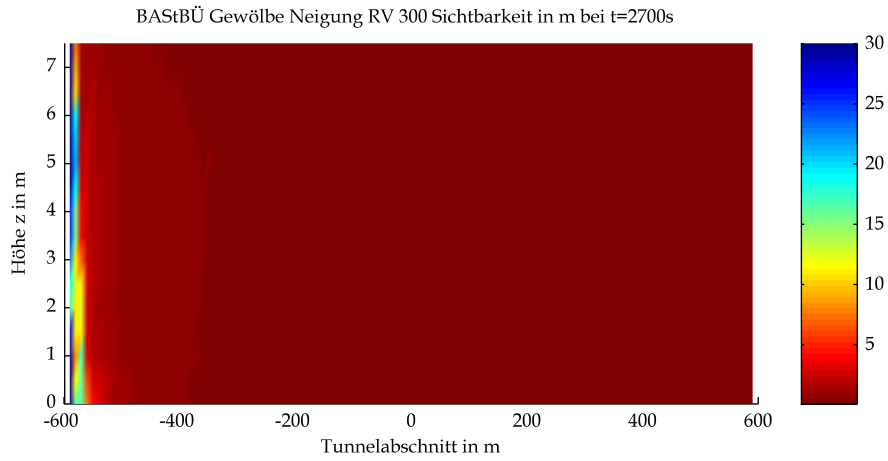
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



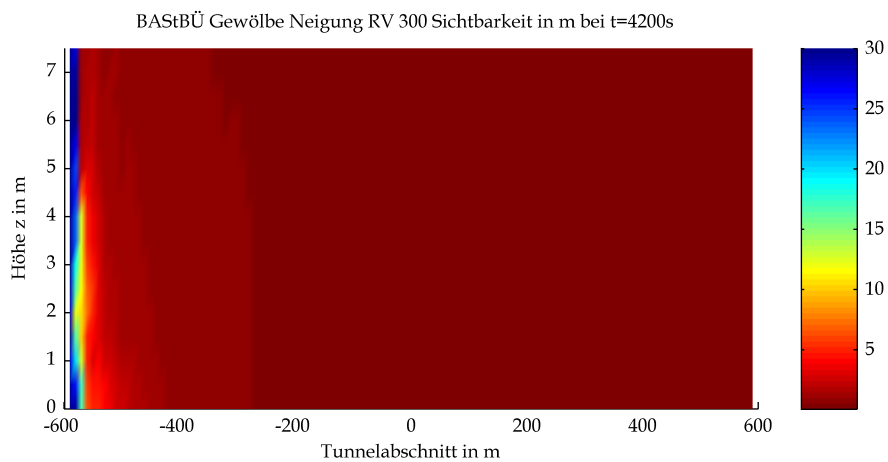
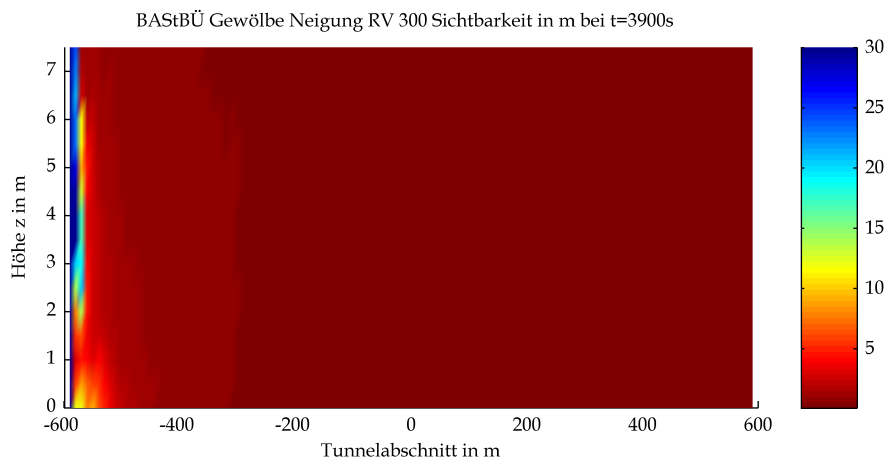
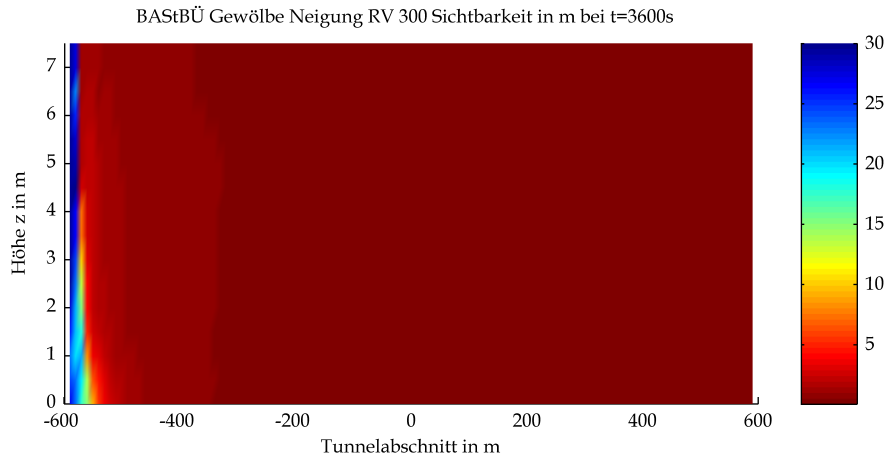
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

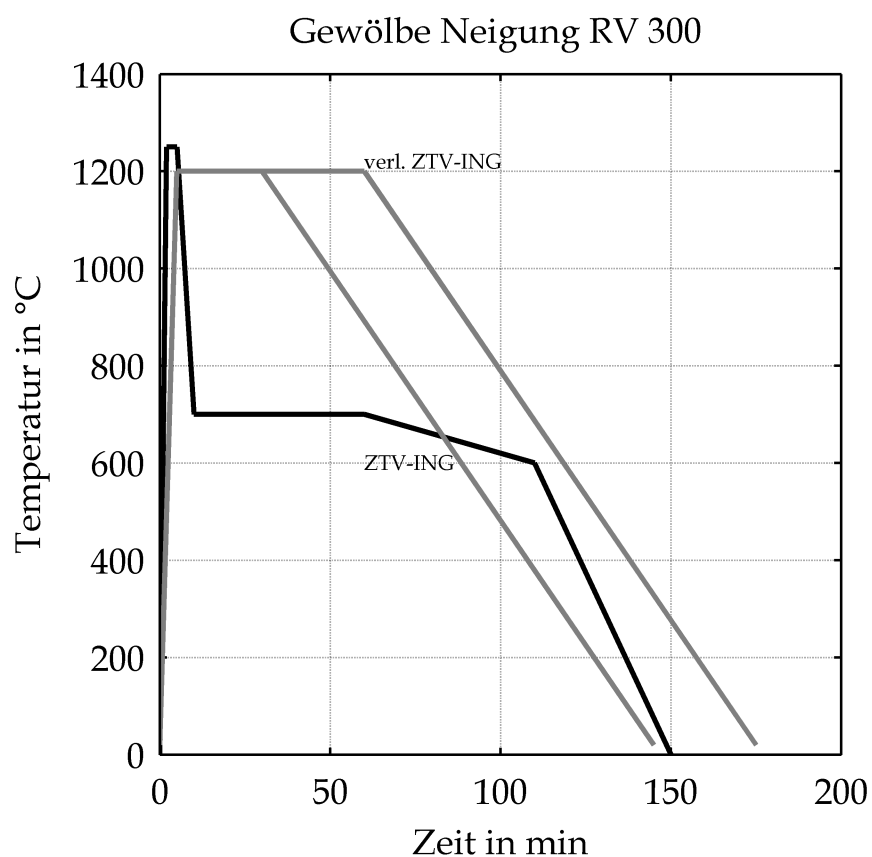


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



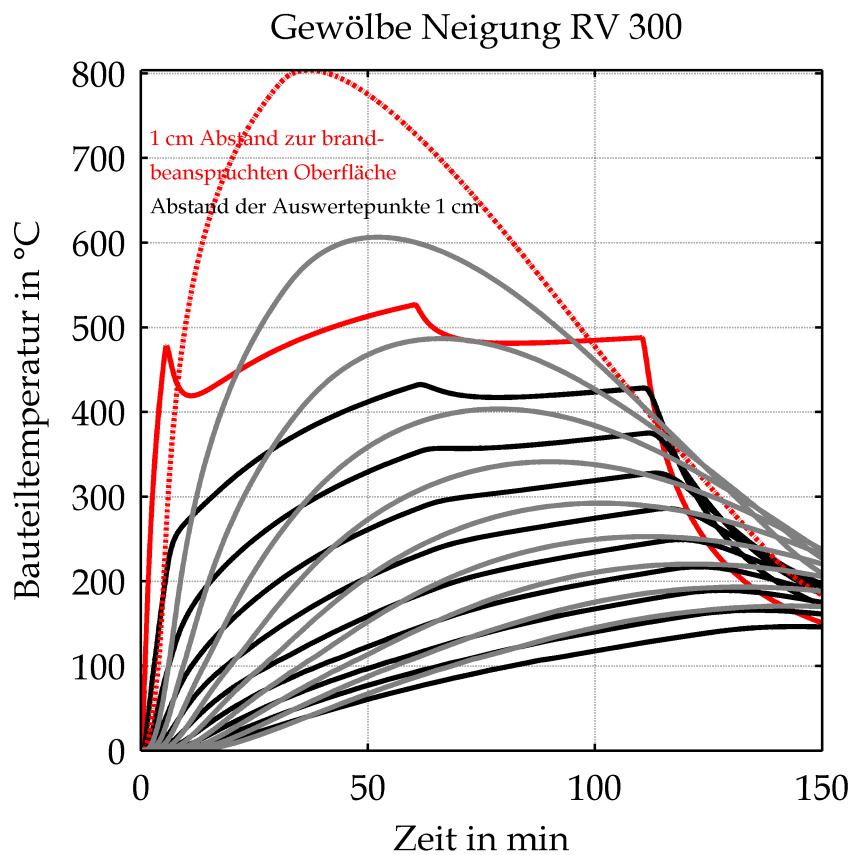
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

## IV Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf



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

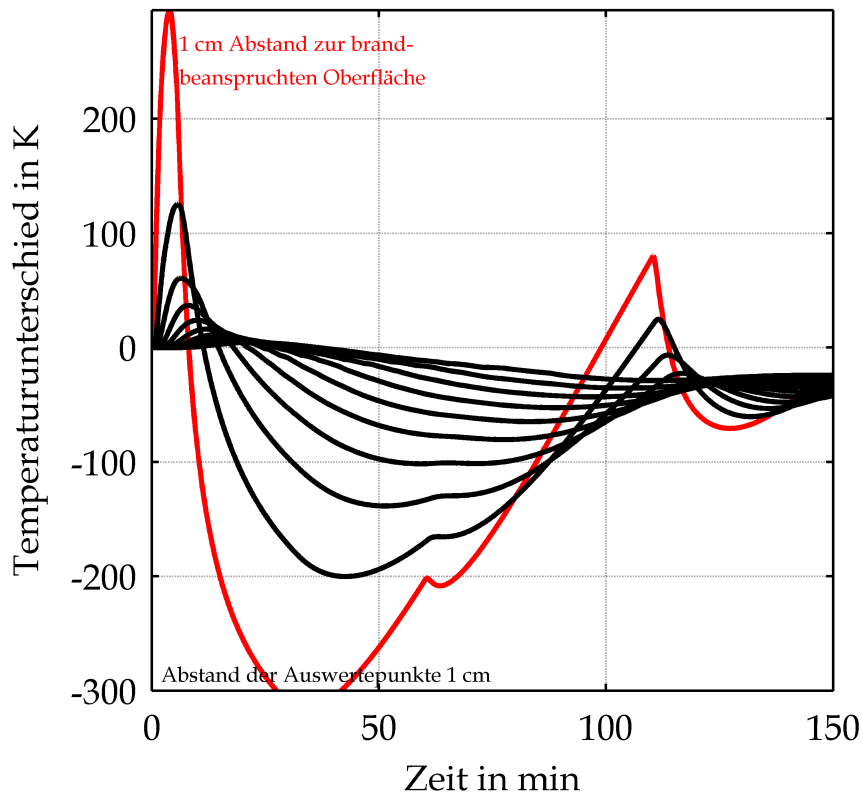
## V Durchwärmungsverhalten



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

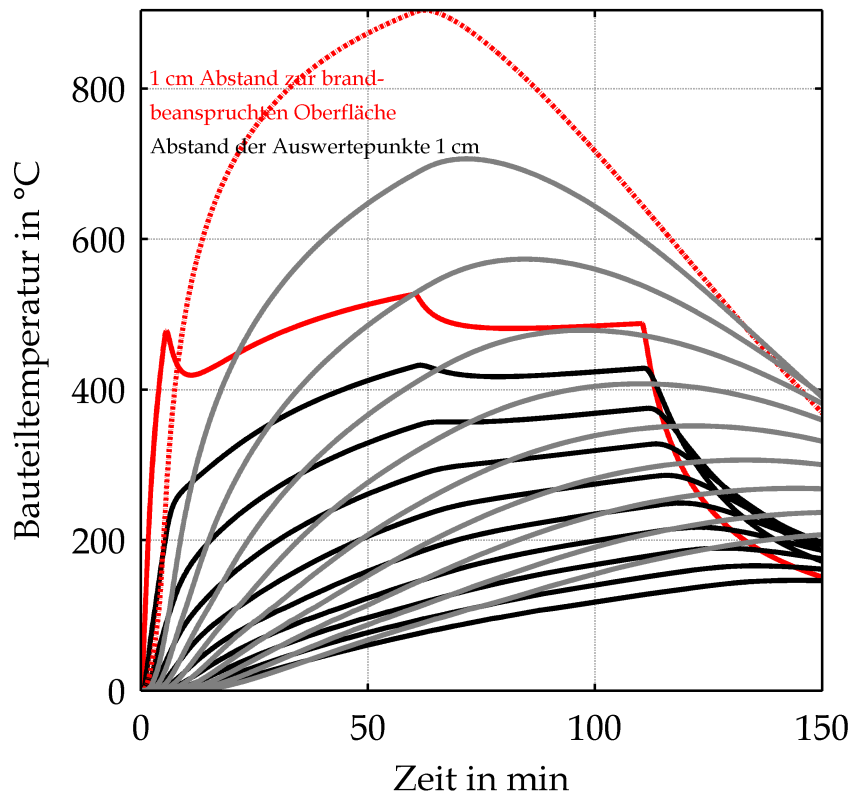


### Gewölbe Neigung RV 300



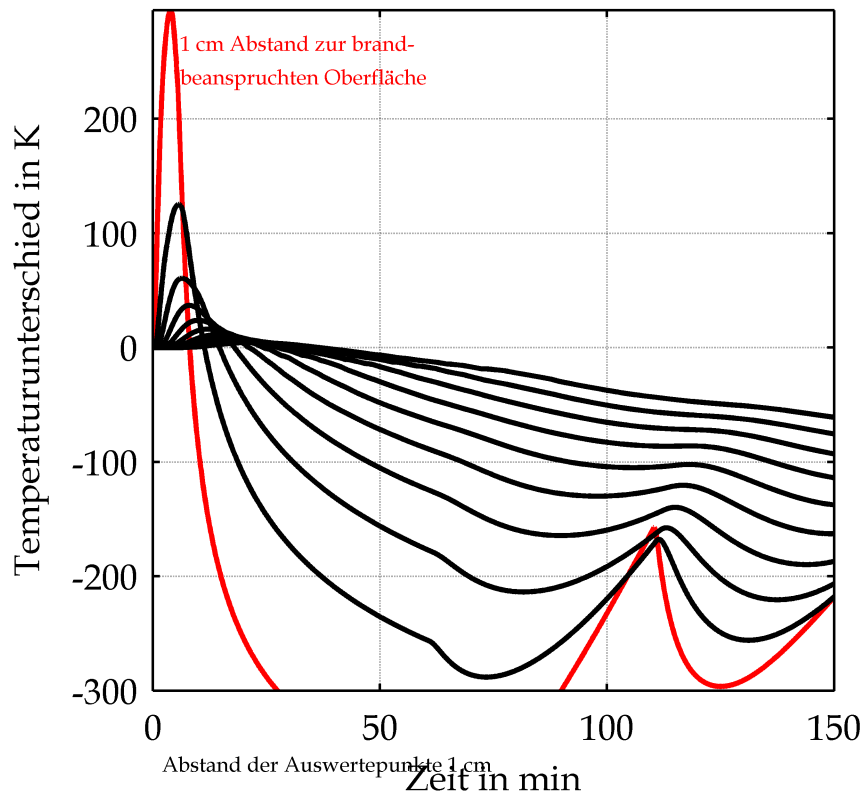
Temperaturdifferenz in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche zwischen den Bauteiltemperaturen infolge des bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf und der ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve

### Gewölbe Neigung RV 300



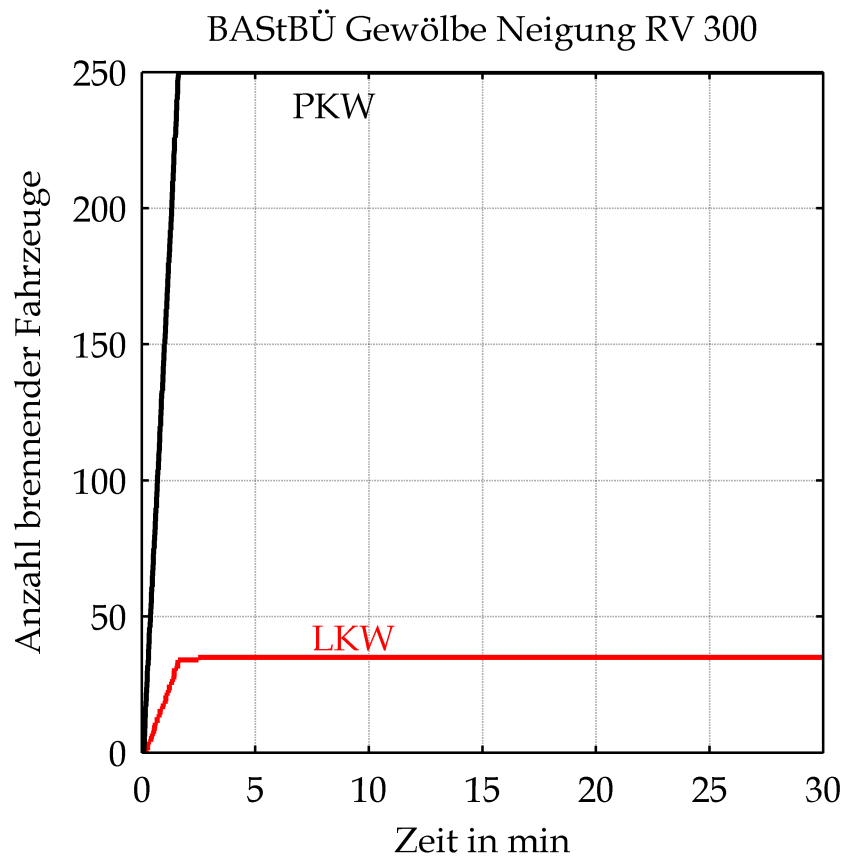
Bauteiltemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche für den bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf (rot und schwarz) und infolge verlängerter ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve (rot gestrichelt, grau)

### Gewölbe Neigung RV 300



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)