

BASt FE 86.0096/2014

Brandüberschlag in Straßentunneln

Anlage B5: Rechteck Mulde Gegenverkehr 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
-----------------	---------------------------

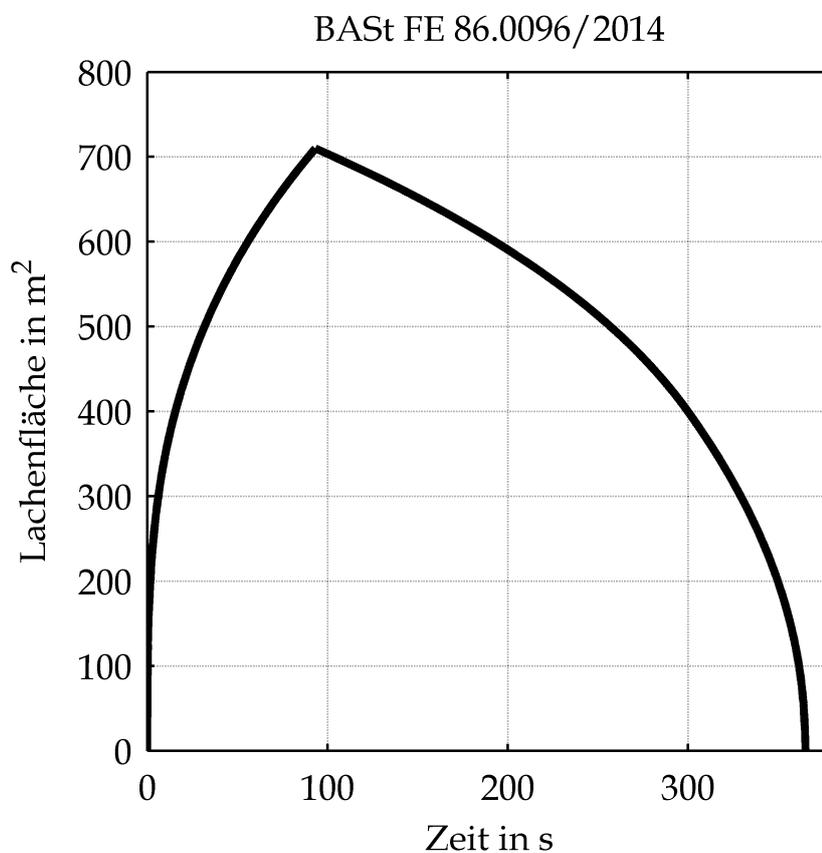
Raum für Prüfeintragungen:



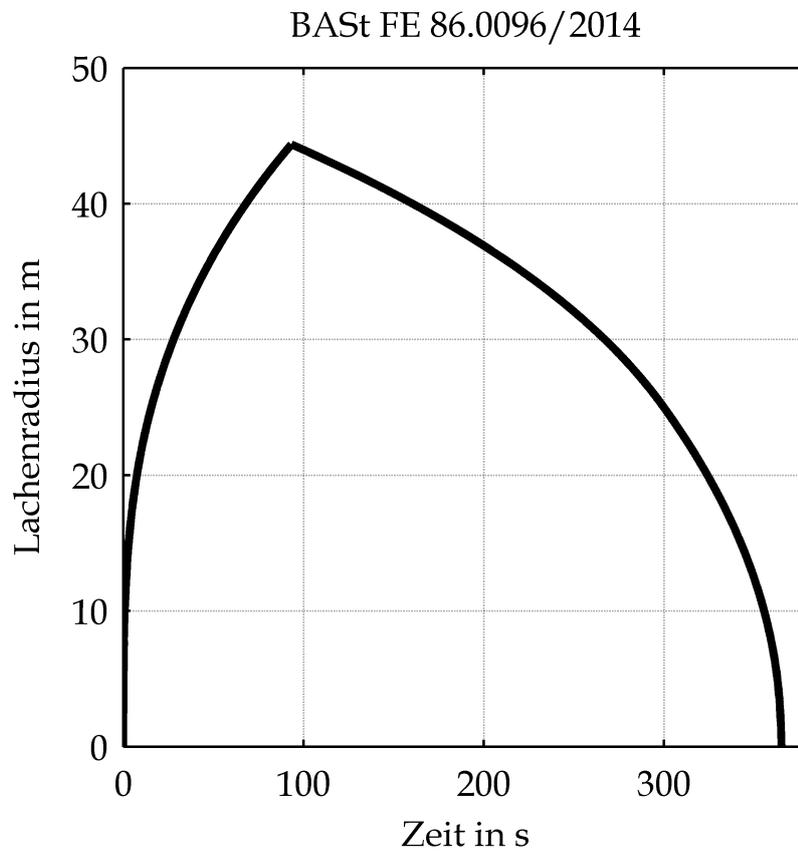
I Gesamtinhaltsverzeichnis

II	Ermittlung der Lachengeometrie unter Berücksichtigung der Ventilation	2
III	Berechnungsergebnisse	14
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
IV	Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf	70
V	Durchwärmungsverhalten	71
VI	Brandüberschlag auf andere Fahrzeuge	75

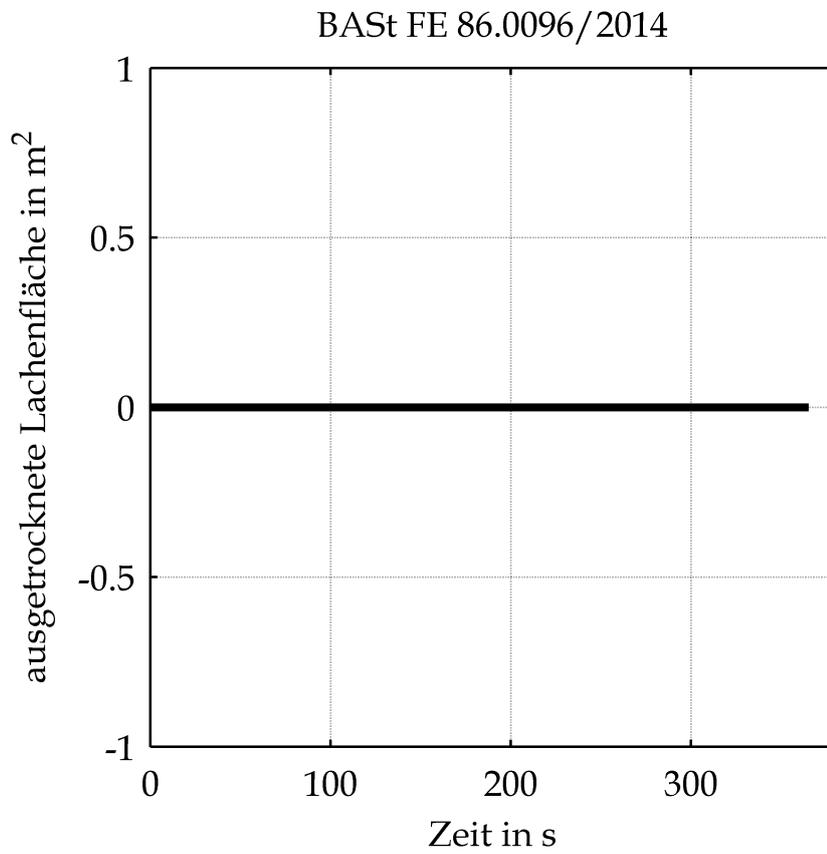
II Ermittlung der Lachengeometrie unter Berücksichtigung der Ventilation



Fläche der Lache in Abhängigkeit von der Zeit

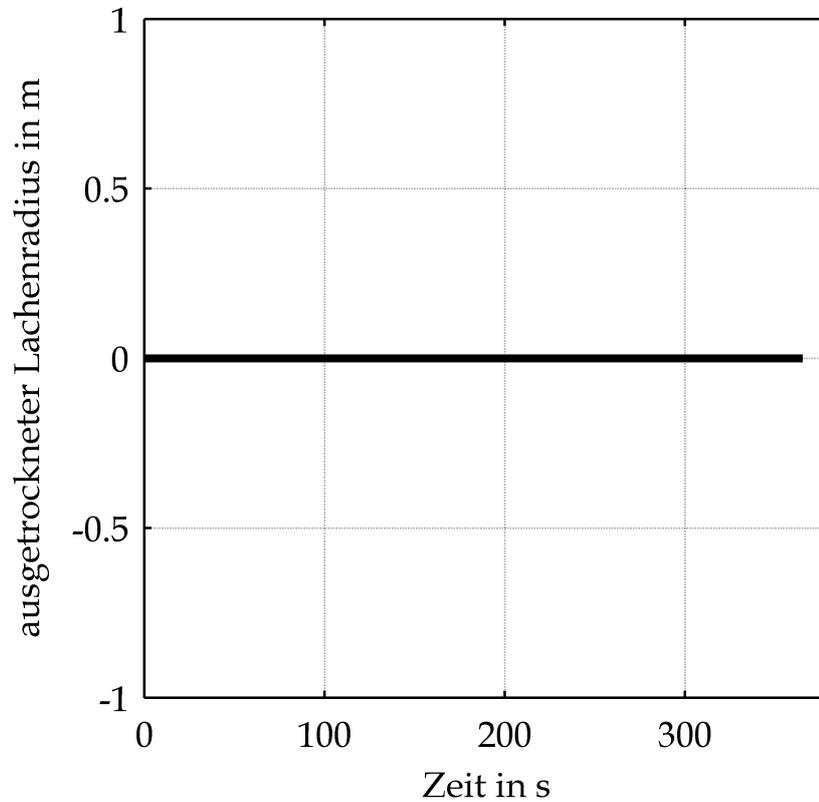


Radius der Lache in Abhängigkeit von der Zeit



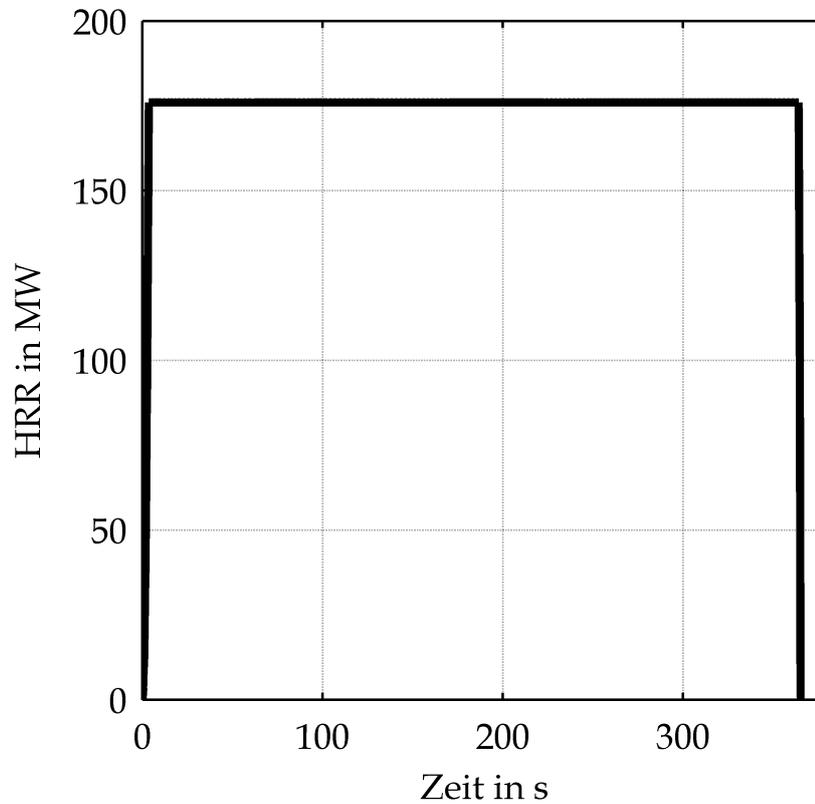
Fläche der ausgetrockneten Lache in Abhängigkeit von der Zeit

BASSt FE 86.0096/2014



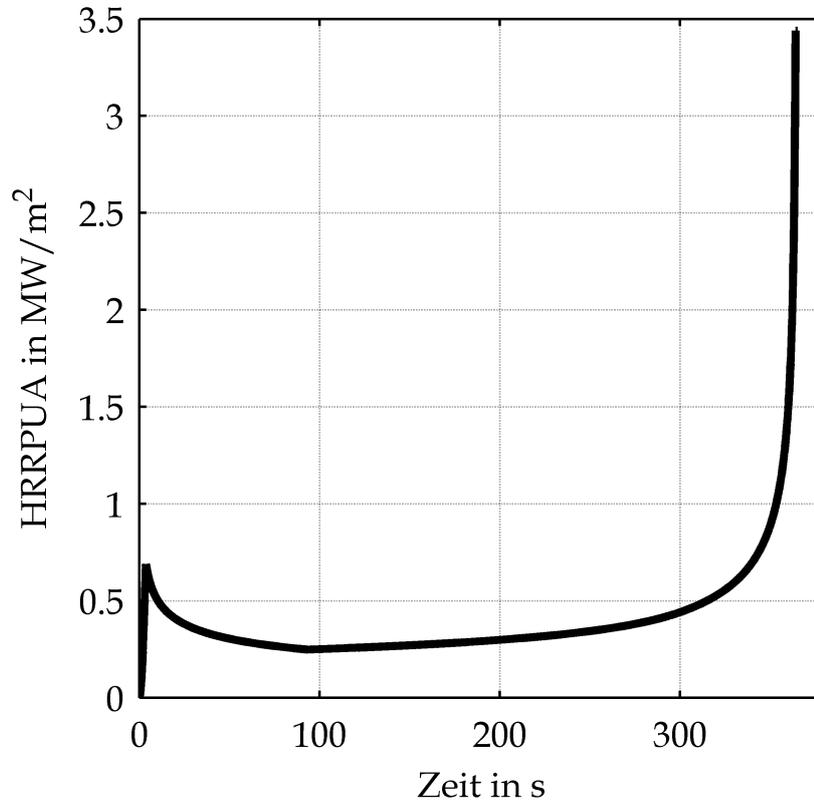
Radius der ausgetrockneten Lache in Abhängigkeit von der Zeit

BASt FE 86.0096/2014



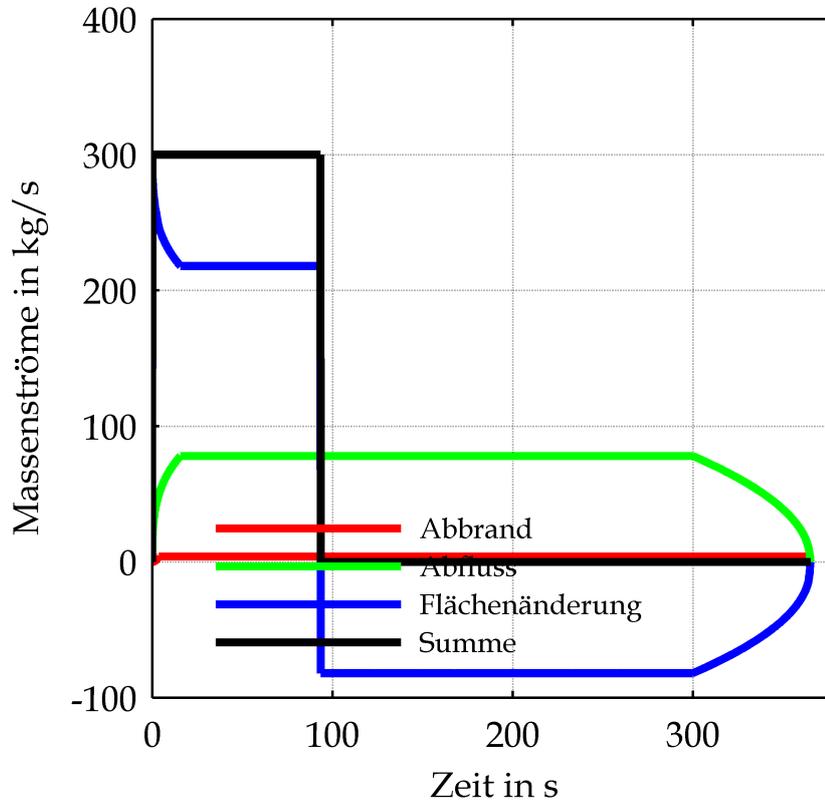
Wärmefreisetzungsrate (HRR) in Abhängigkeit von der Zeit

BASSt FE 86.0096/2014



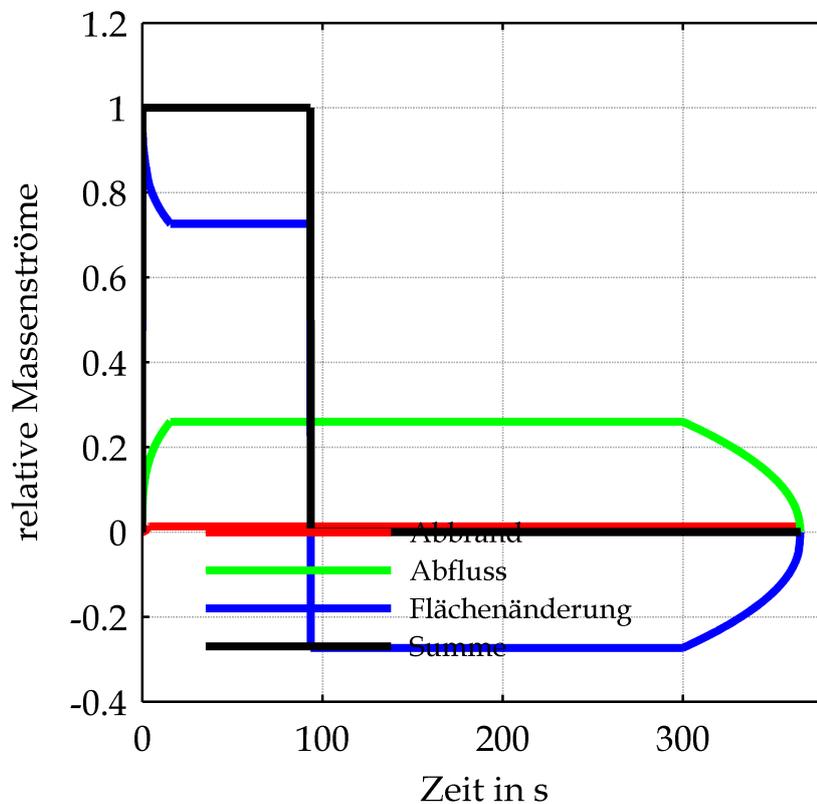
Wärmefreisetzungsrate pro Flächeneinheit (HRRPUA)
in Abhängigkeit von der Zeit

BASt FE 86.0096/2014



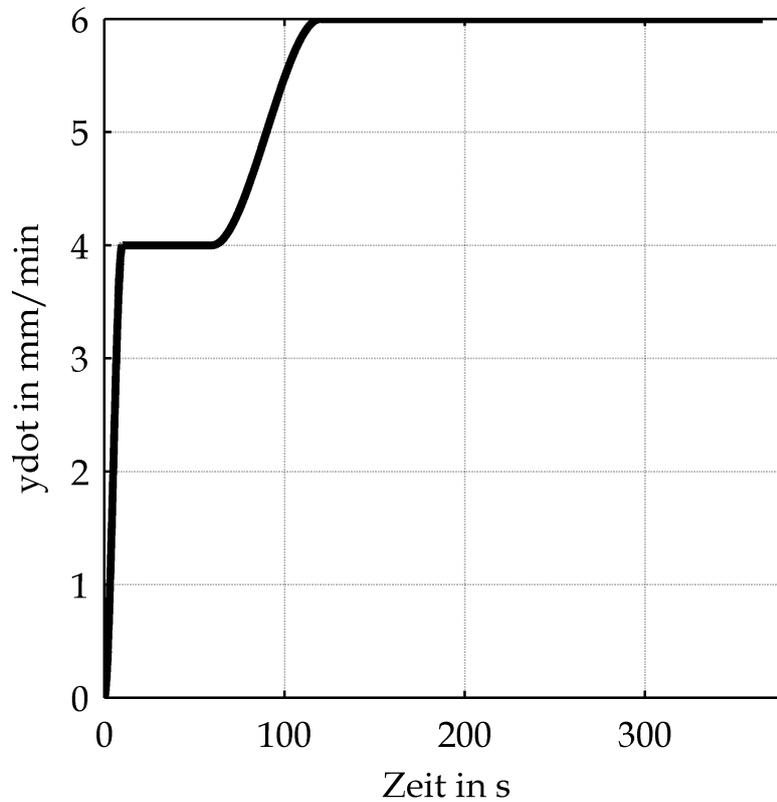
Gesamtübersicht der Massenströme in Abhängigkeit von der Zeit

BASSt FE 86.0096/2014



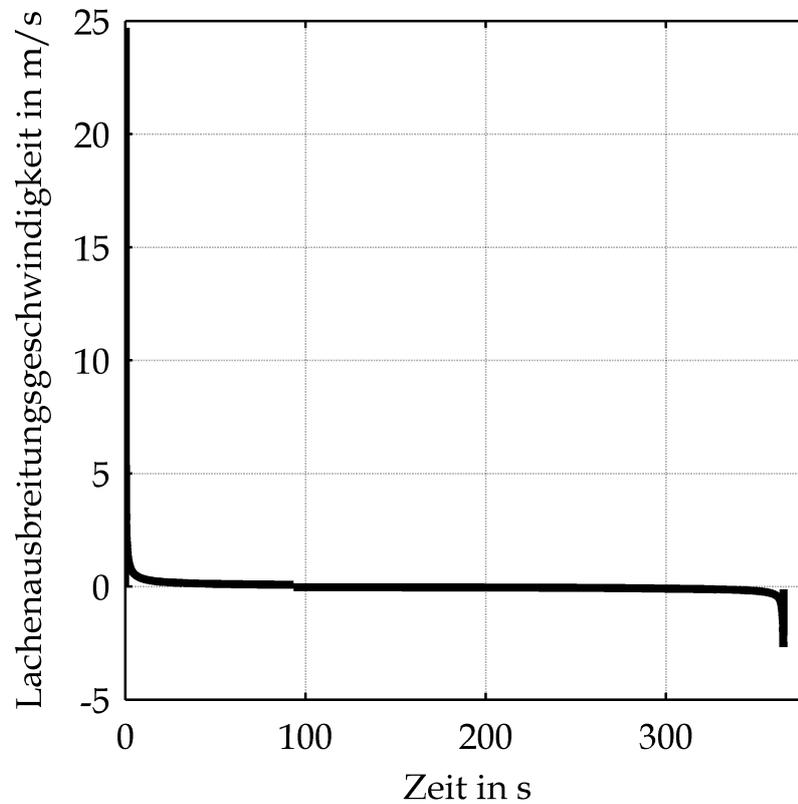
Gesamtübersicht der auf die austretende Flüssigkeit bezogenen Massenströme in Abhängigkeit von der Zeit

BASt FE 86.0096/2014

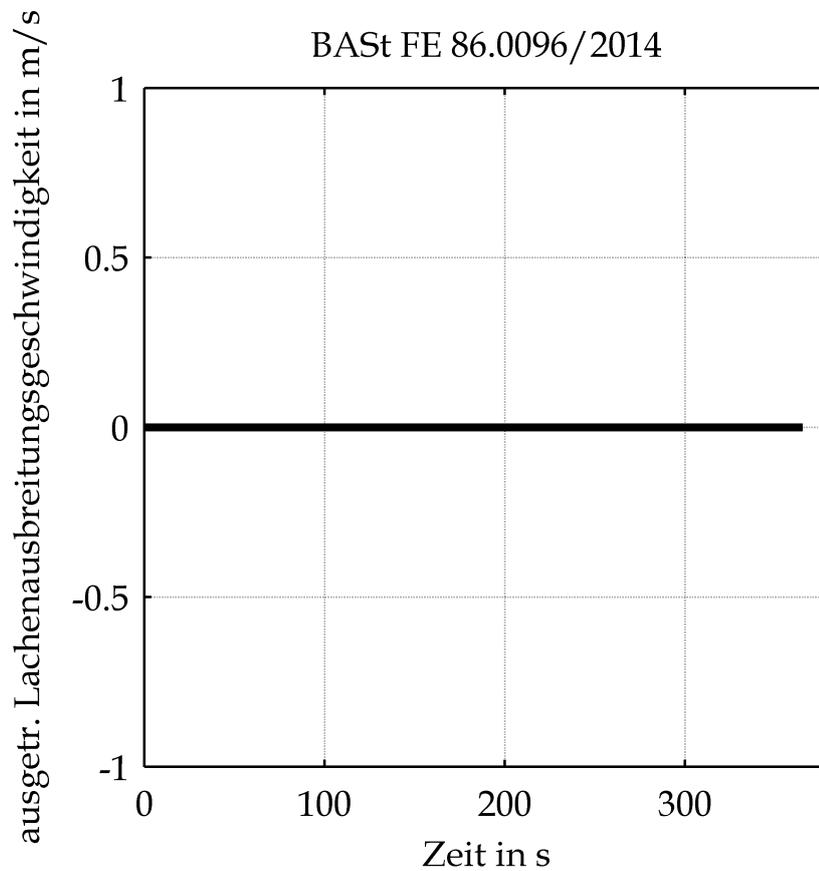


Vorgegebene Abbrandgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit

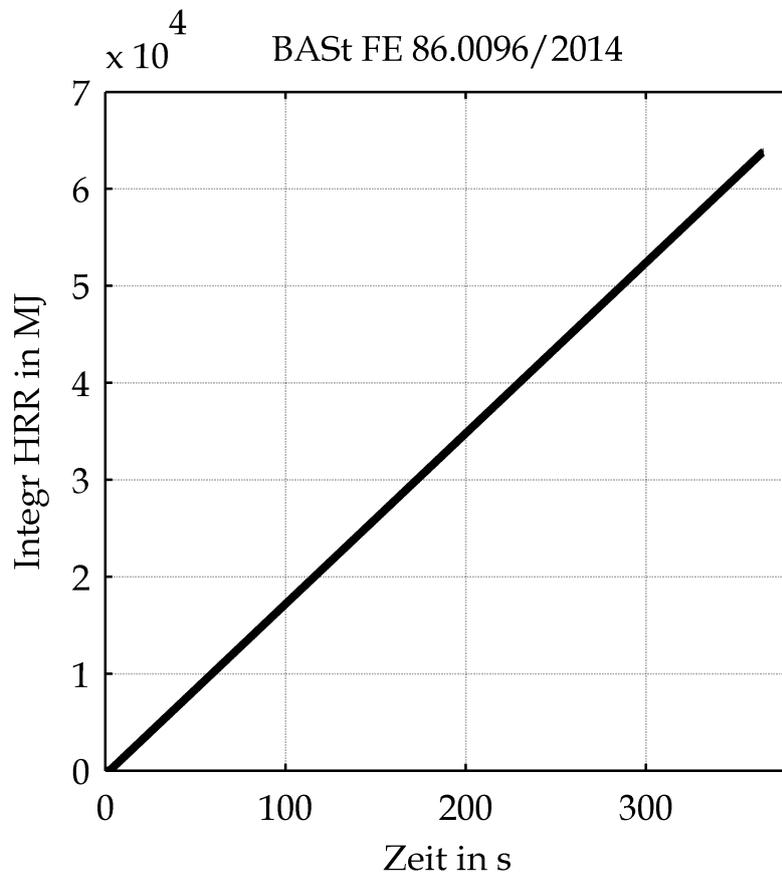
BASt FE 86.0096/2014



Ausbreitungsgeschwindigkeit der Lache in Abhängigkeit von der Zeit



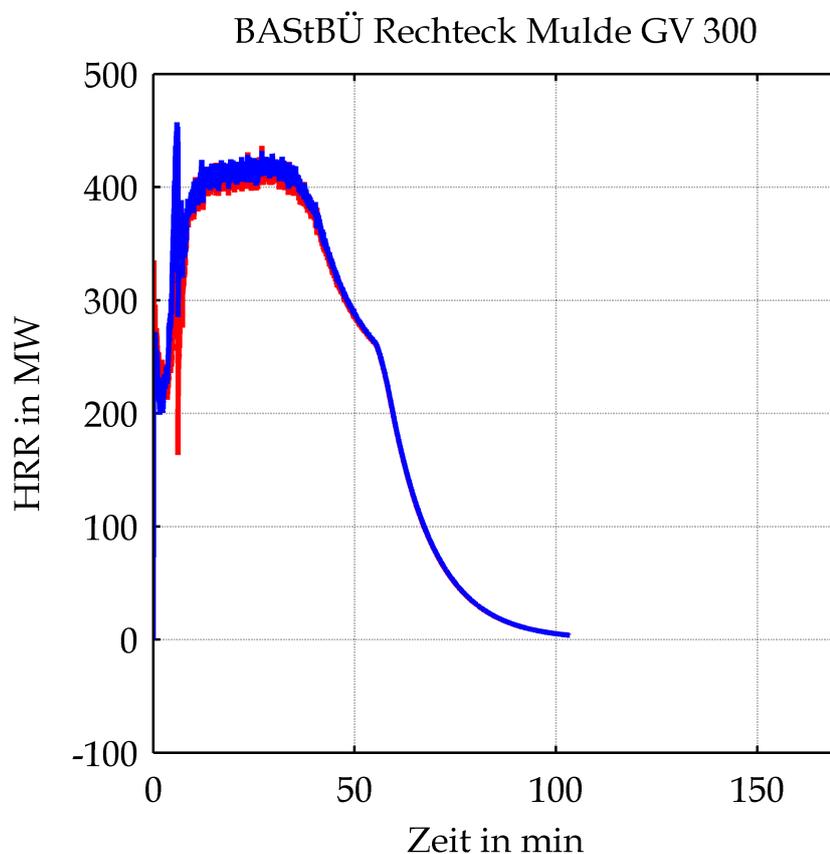
Austrocknungsgeschwindigkeit der Lache in
Abhängigkeit von der Zeit



Freigesetzte Gesamtenergie in Abhängigkeit von der
Zeit

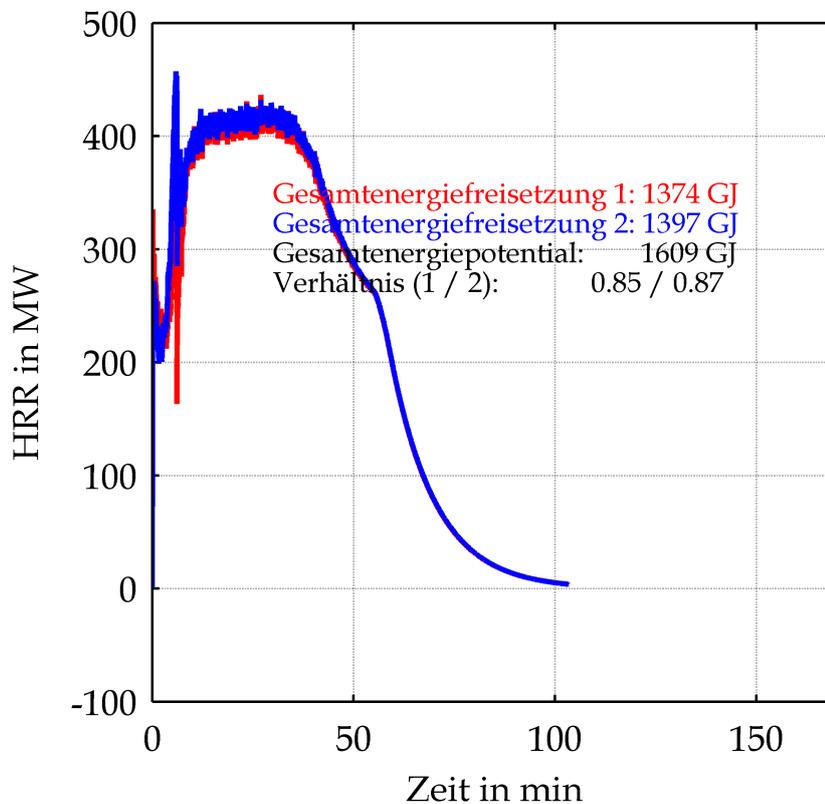
III Berechnungsergebnisse

1 Energien und Bauteiltemperaturen

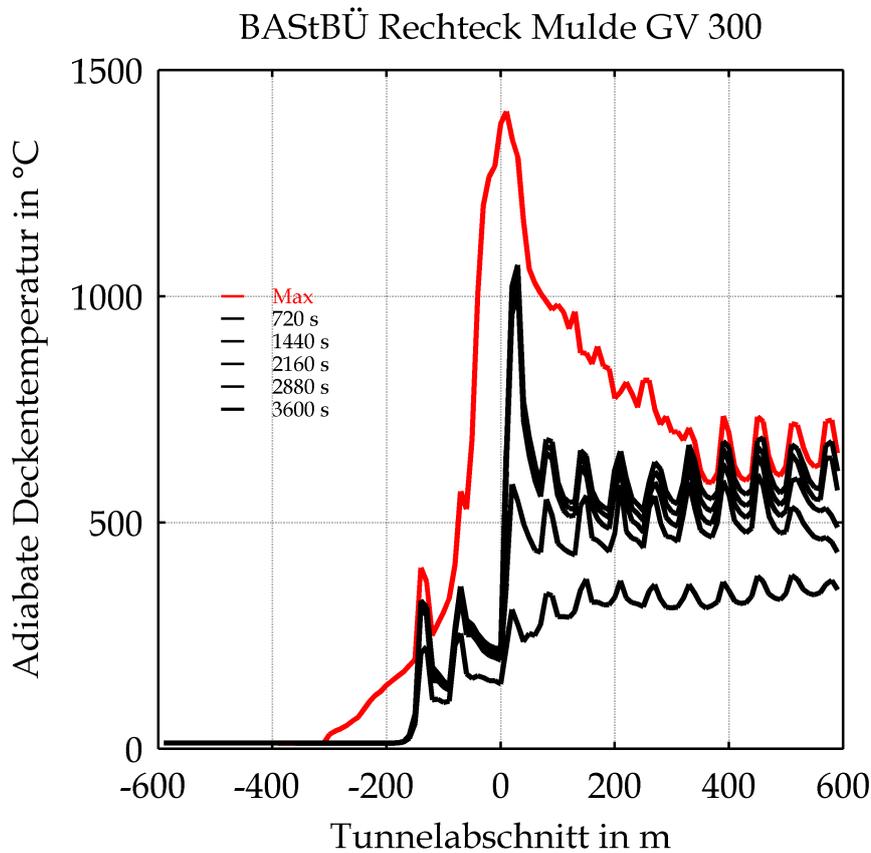


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Wärmefreisetzungsrate in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Integral der Energiedichte; blau: Energieverluste an den Modellgrenzen)

BASTÜ Rechteck Mulde GV 300

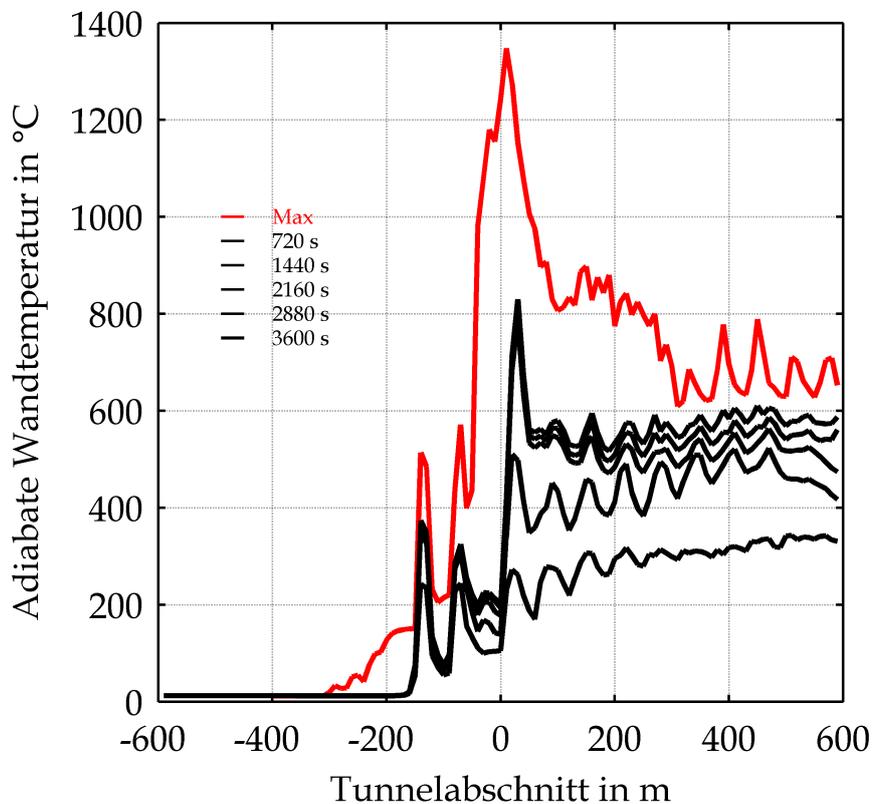


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Wärmefreisetzungsrate in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Integral der Energiedichte; blau: Energieverluste an den Modellgrenzen) sowie Vergleich der Gesamtenergiefreisetzung mit dem Gesamtenergiepotential

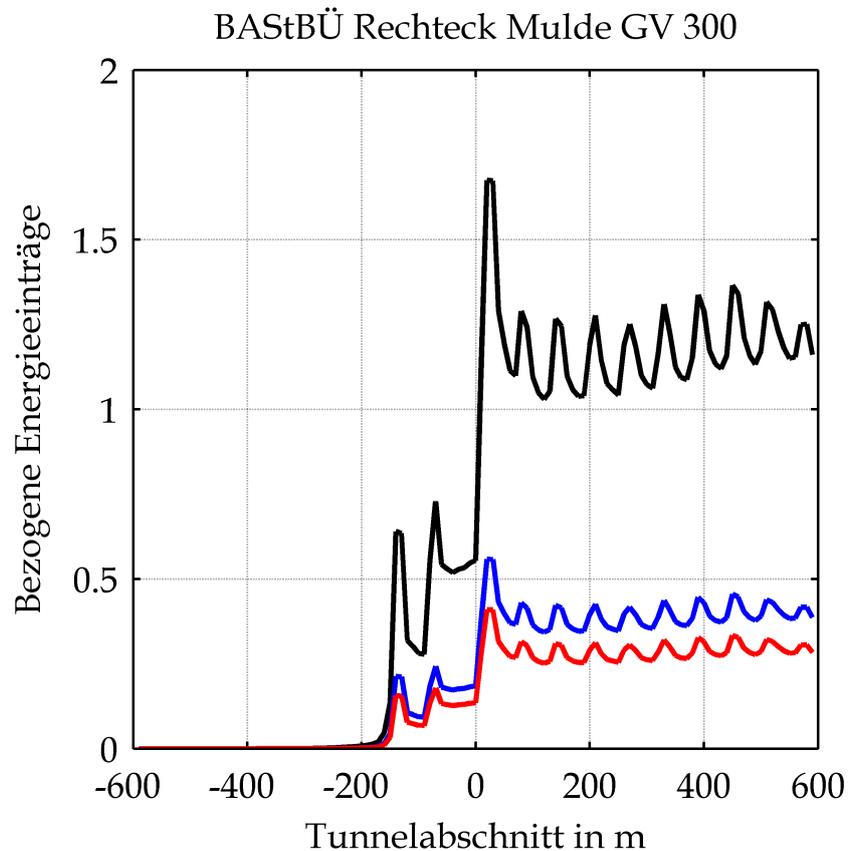


Mittels CFD-Berechnung ermittelte adiabate Deckentemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Maximalwerte, schwarz: Temperaturen in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer)

BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300

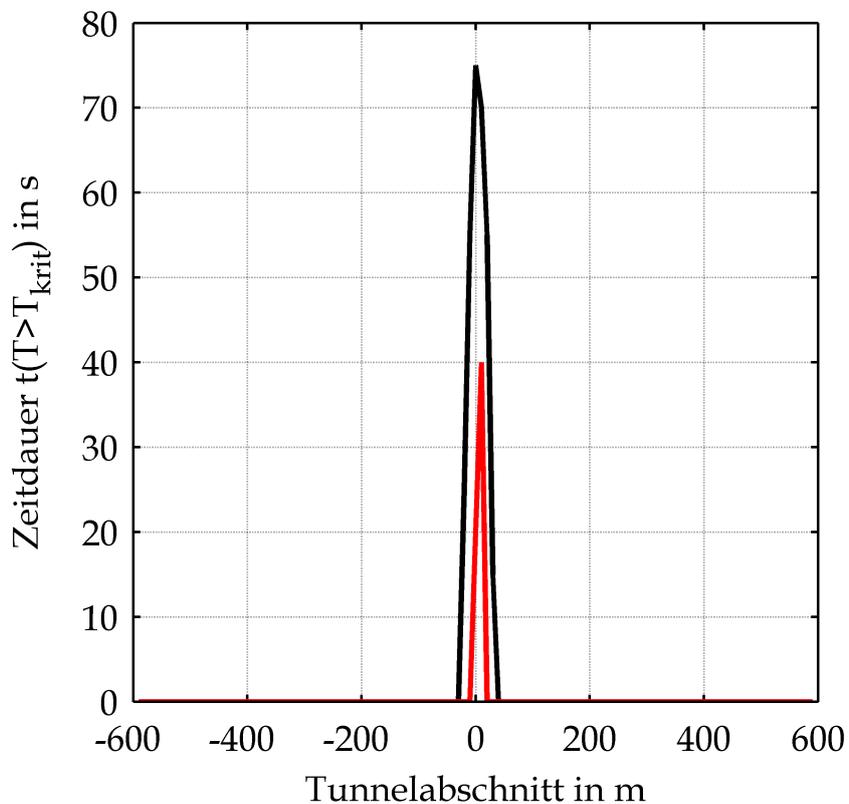


Mittels CFD-Berechnung ermittelte adiabate Wandtemperaturen in 3 m Höhe in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Maximalwerte, schwarz: Temperaturen in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer)



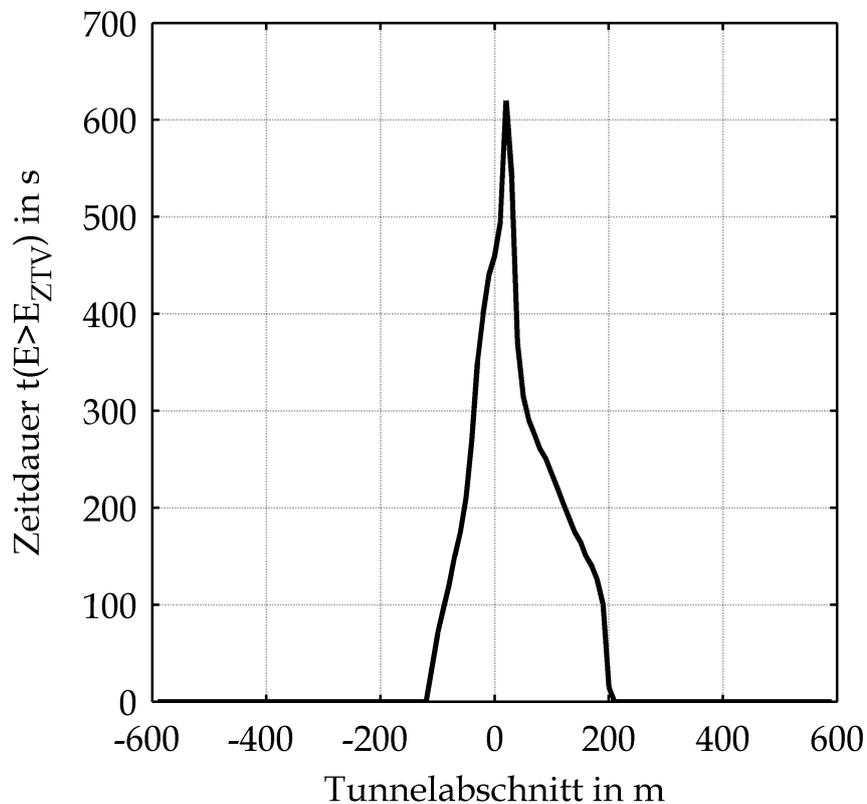
Mittels CFD-Berechnung ermittelte, auf den Energieeintrag der ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve bezogene Energieeinträge in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (blau: Basiswert ZTV-ING 150 min, schwarz: Basiswert ZTV-ING 30 min)

BASTBÜ Rechteck Mulde GV 300



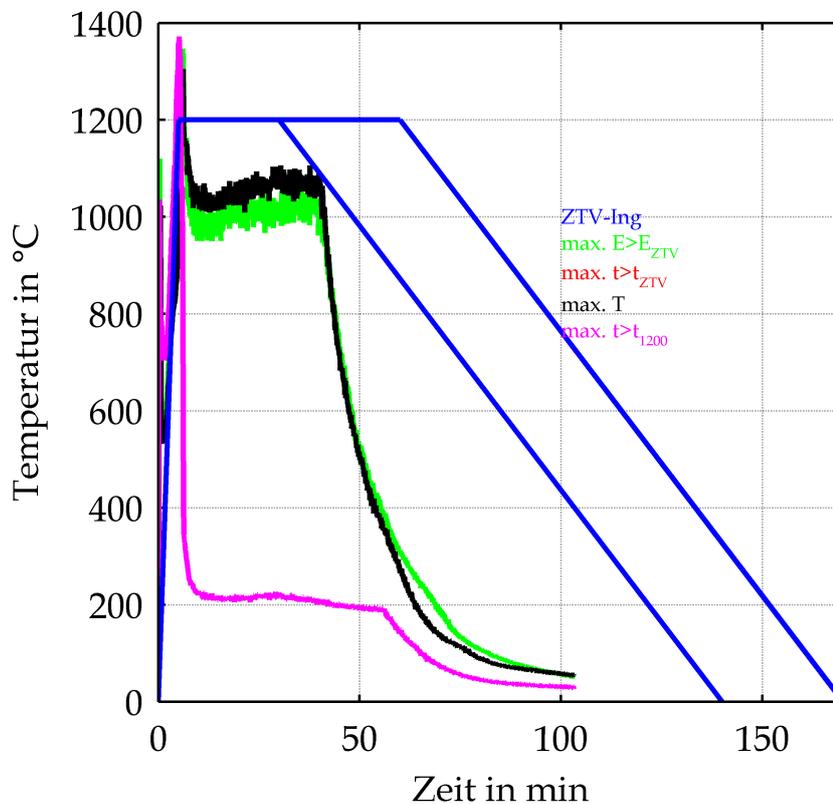
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Zeitdauer der adiabaten Deckentemperatur größer 1200°C (schwarz) bzw. größer 1350°C (rot) in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung

BASTBÜ Rechteck Mulde GV 300



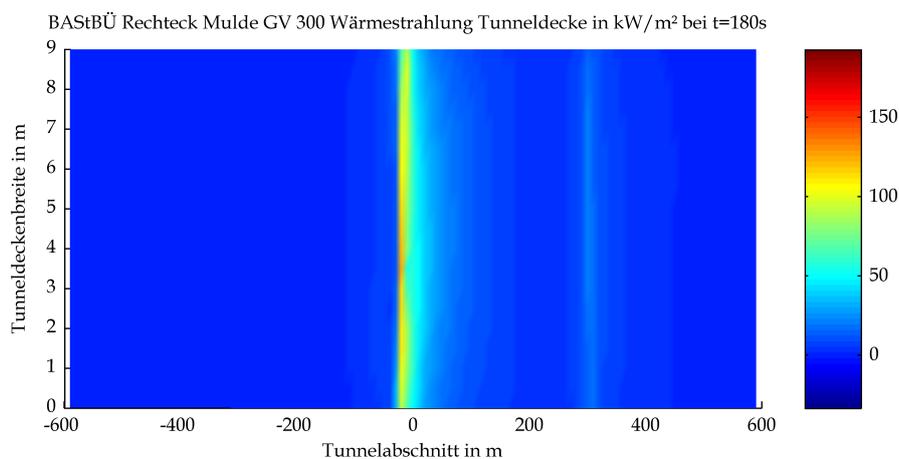
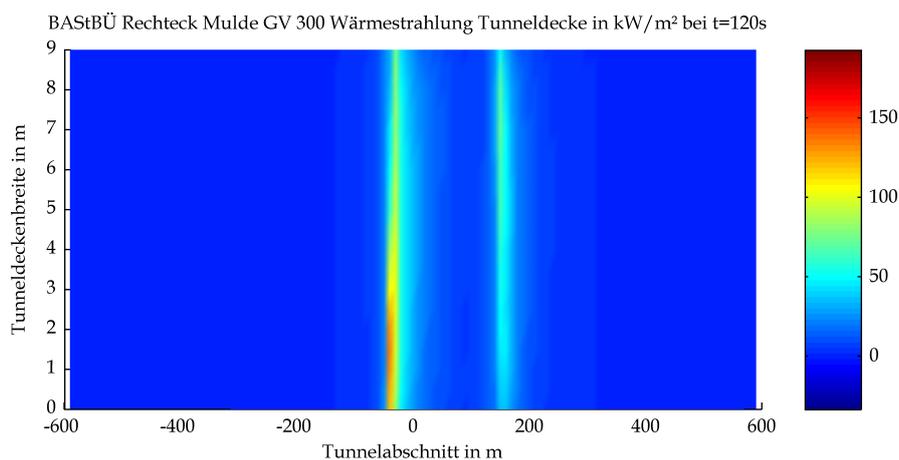
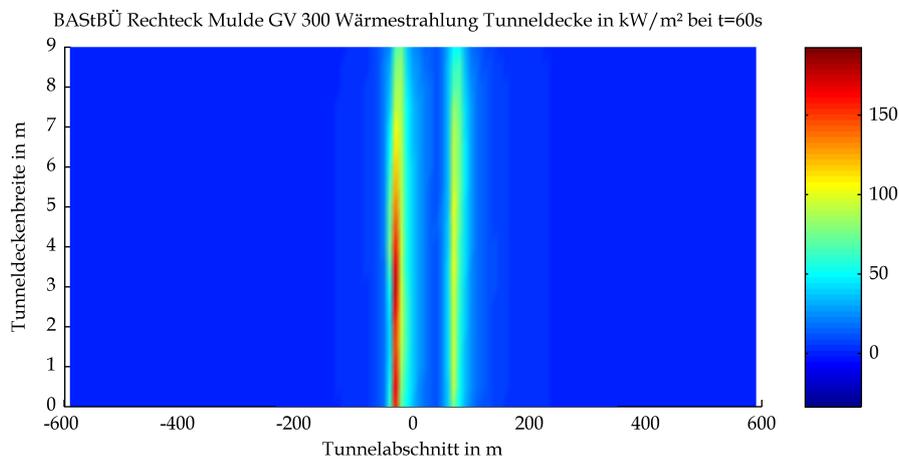
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Zeitdauer mit im Vergleich zur ZTV-ING-Kurve höheren Energieeinträgen in die Tunneldecke in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung

BASTBÜ Rechteck Mulde GV 300

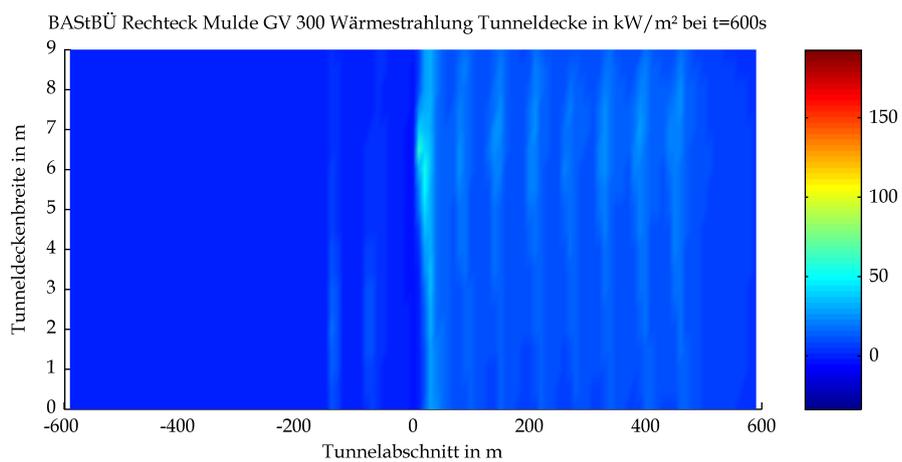
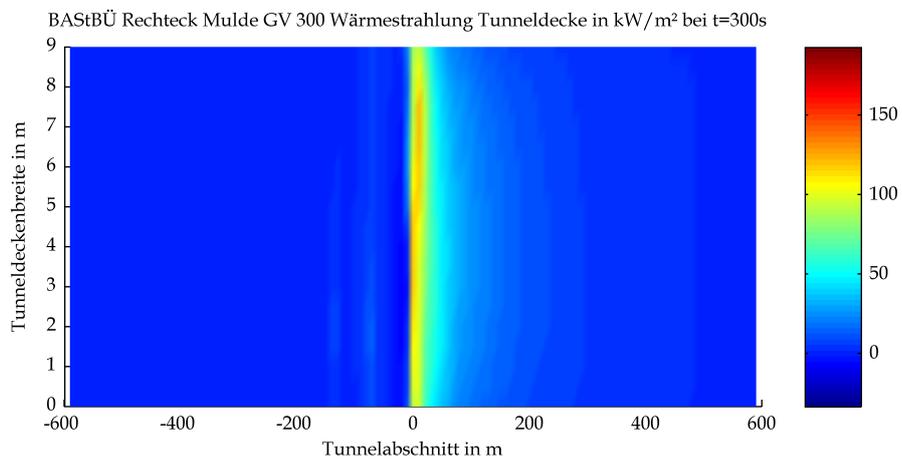
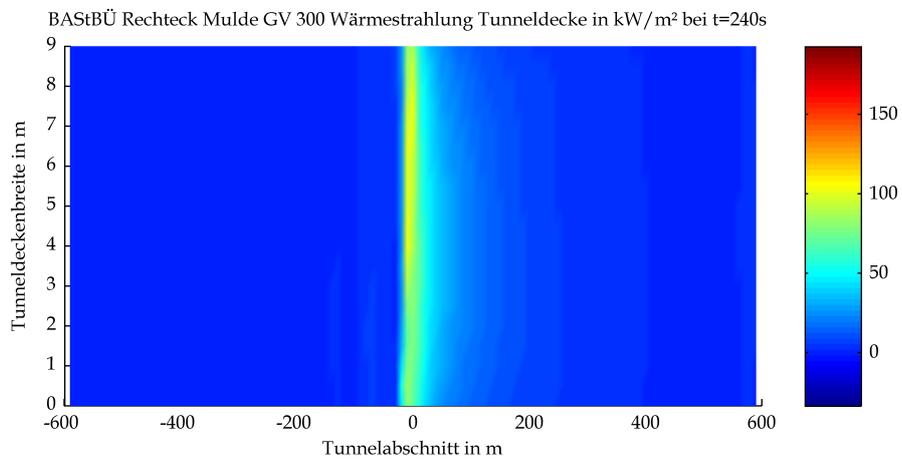


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Temperatur-Zeit-Verläufe für die Maximalwerte der zuvor dargestellten Kriterien unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (blau: ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Verlauf)

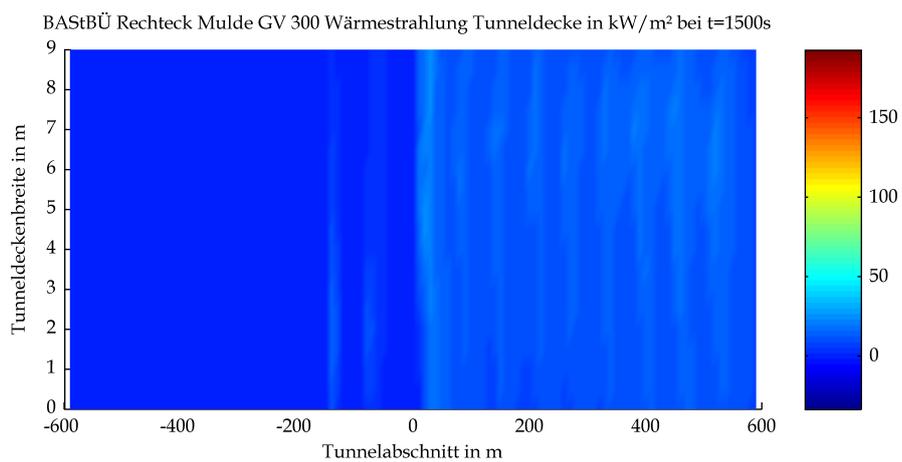
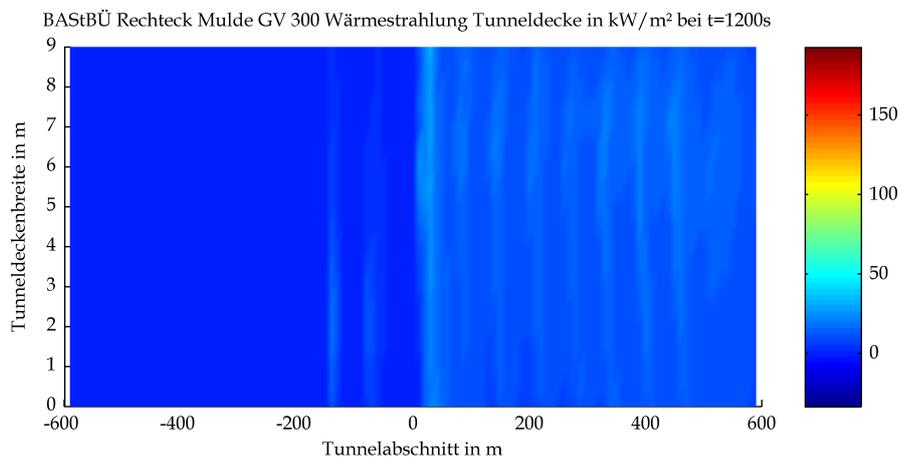
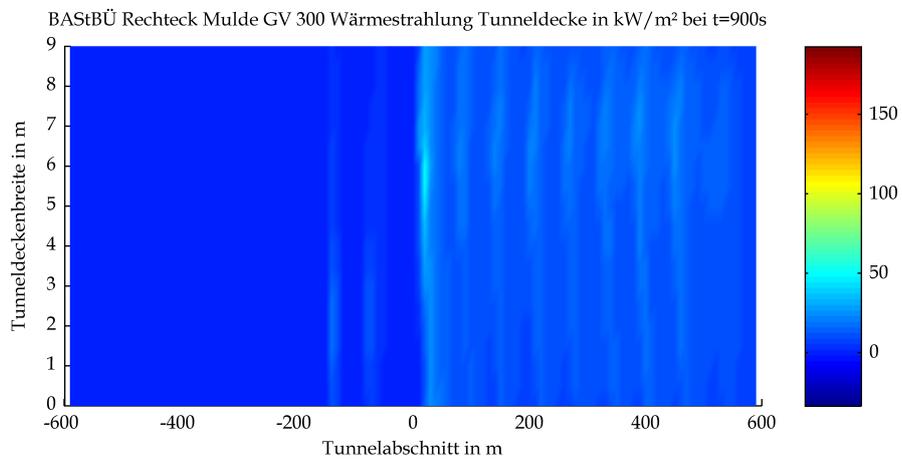
2 Wärmestrahlung an der Tunneldecke



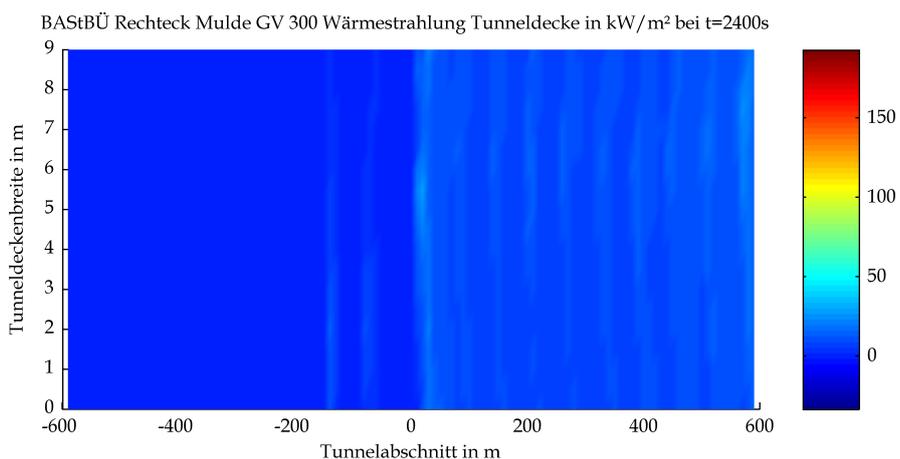
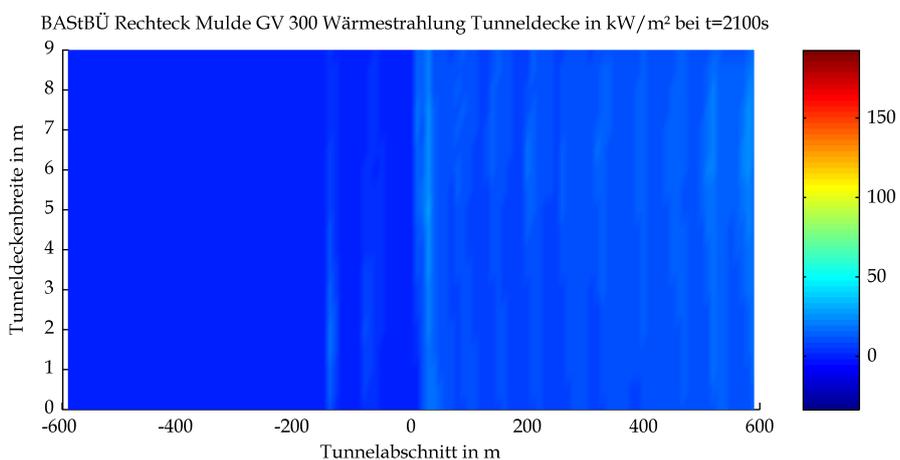
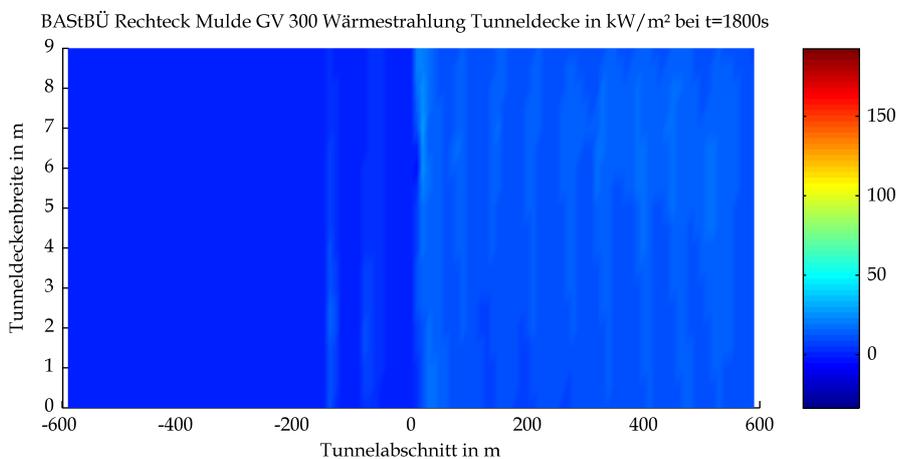
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



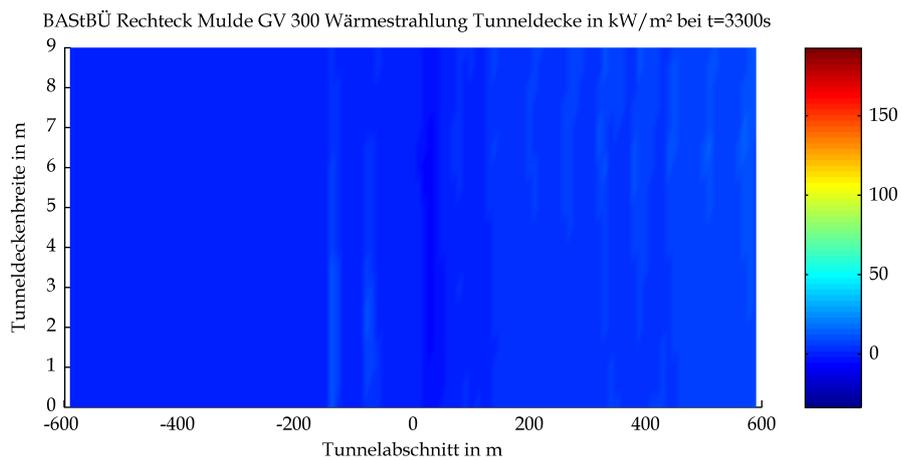
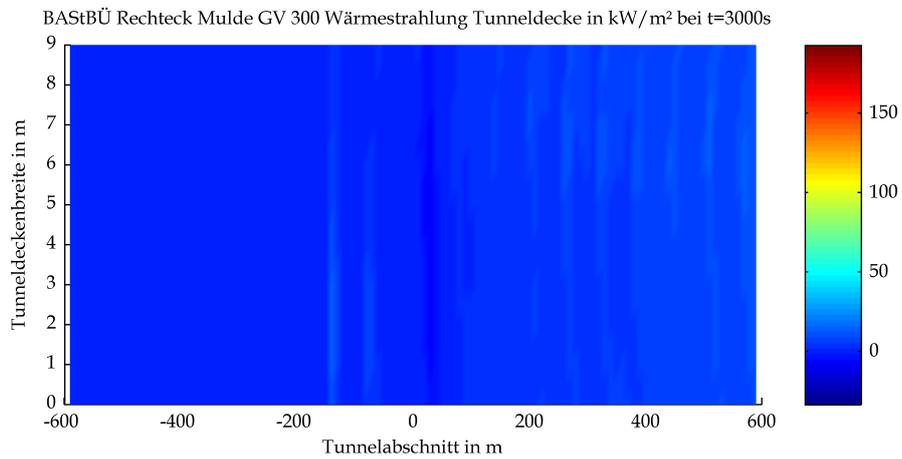
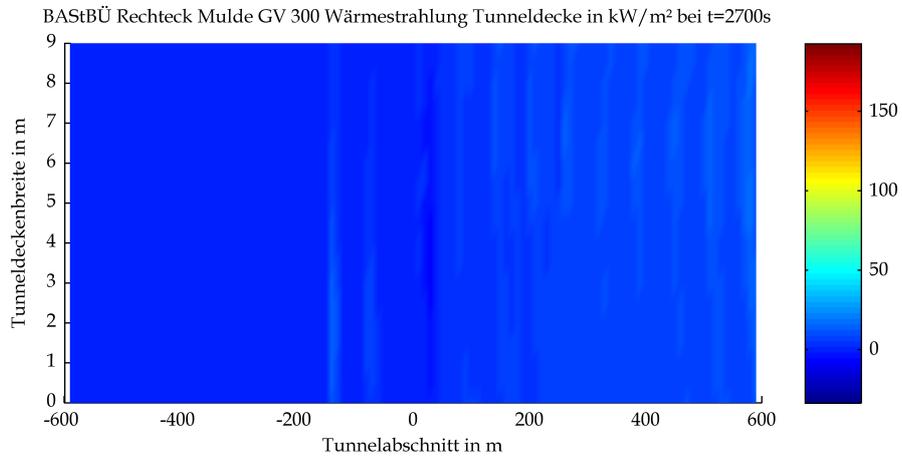
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



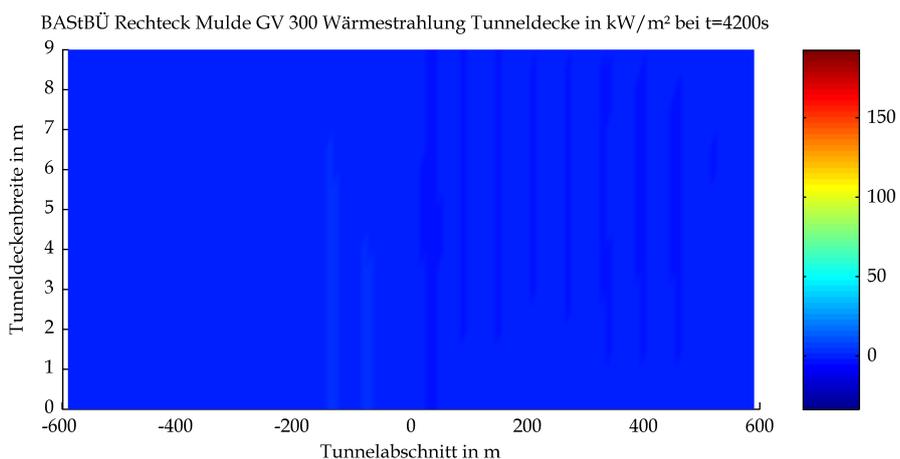
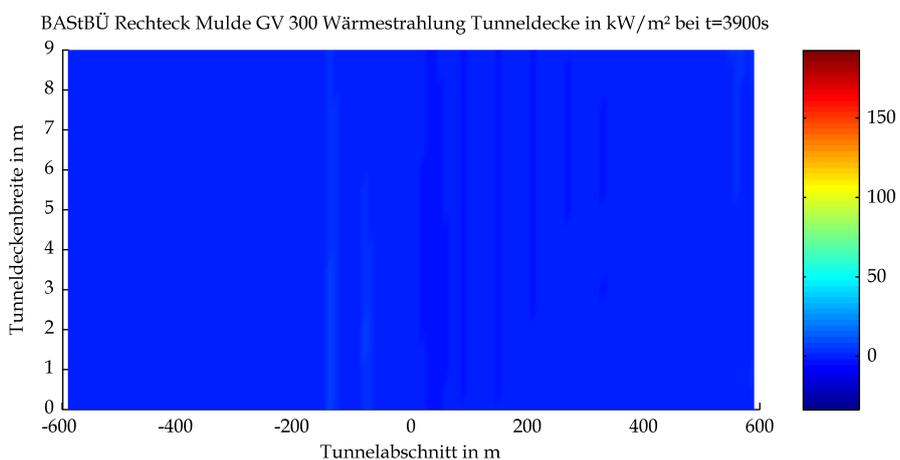
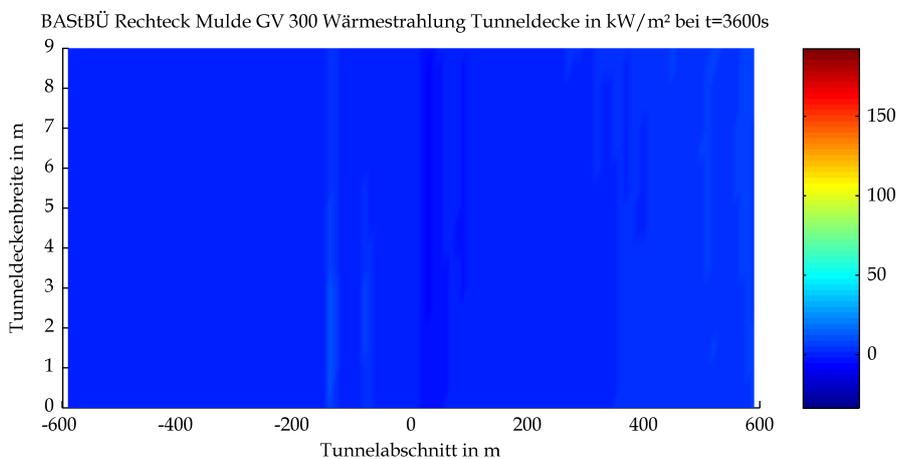
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

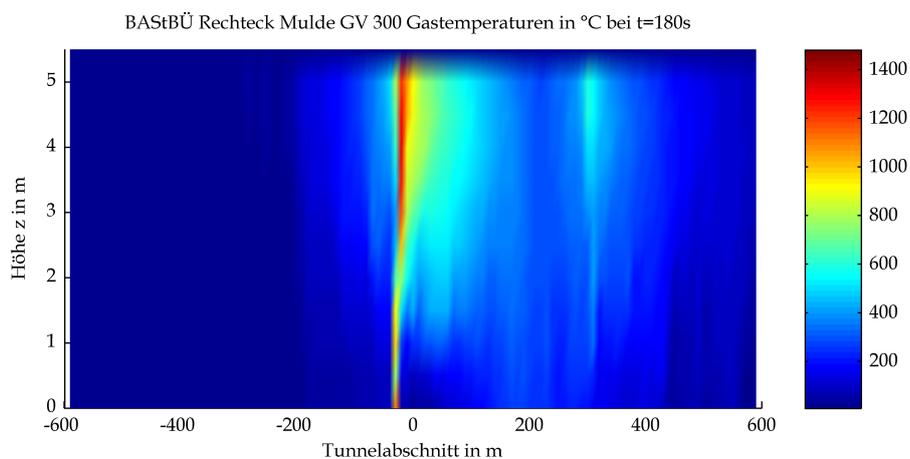
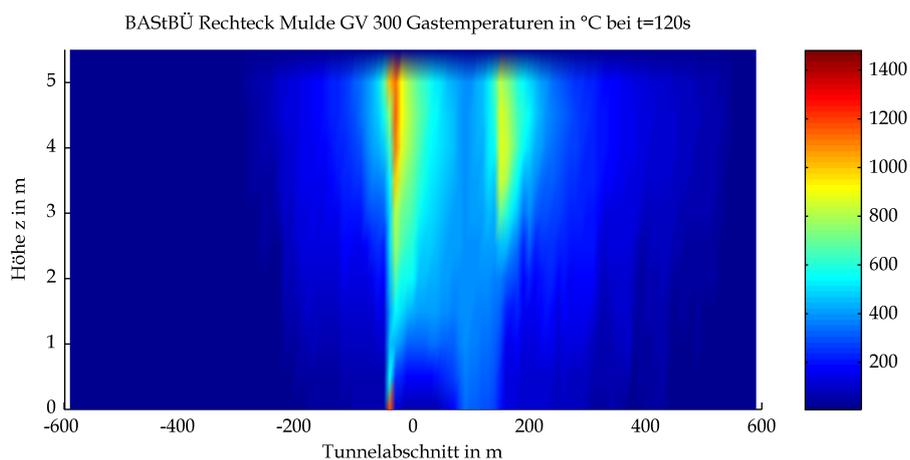
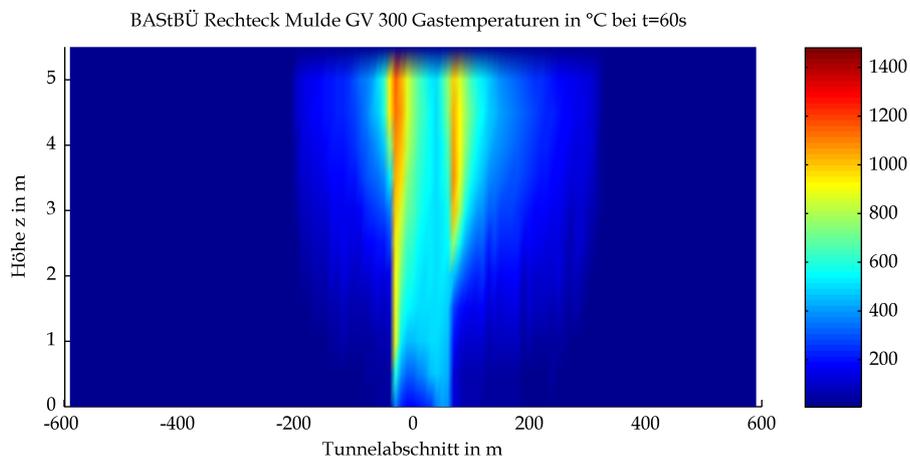


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

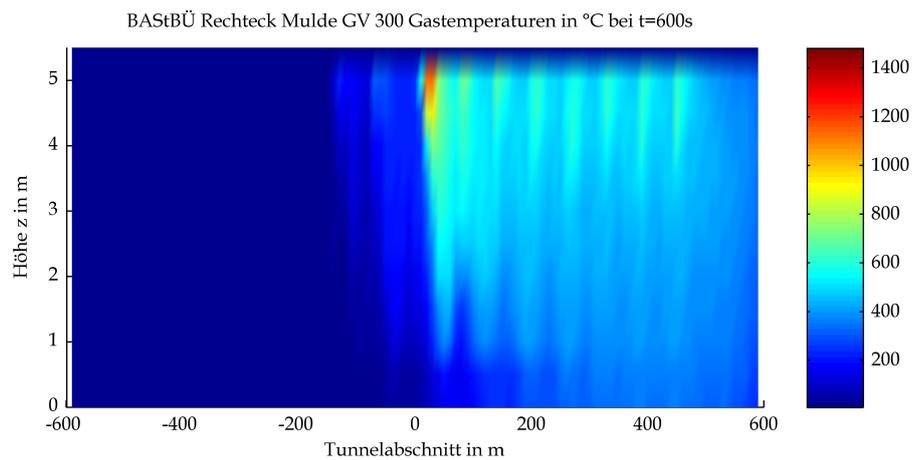
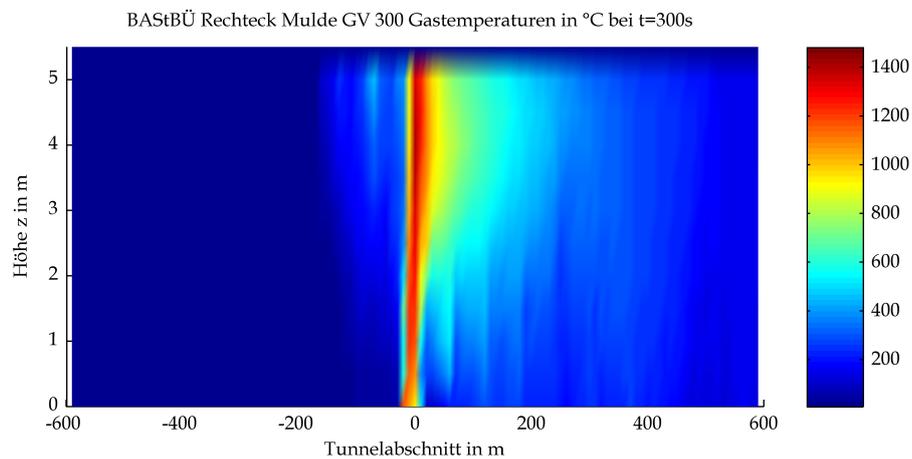
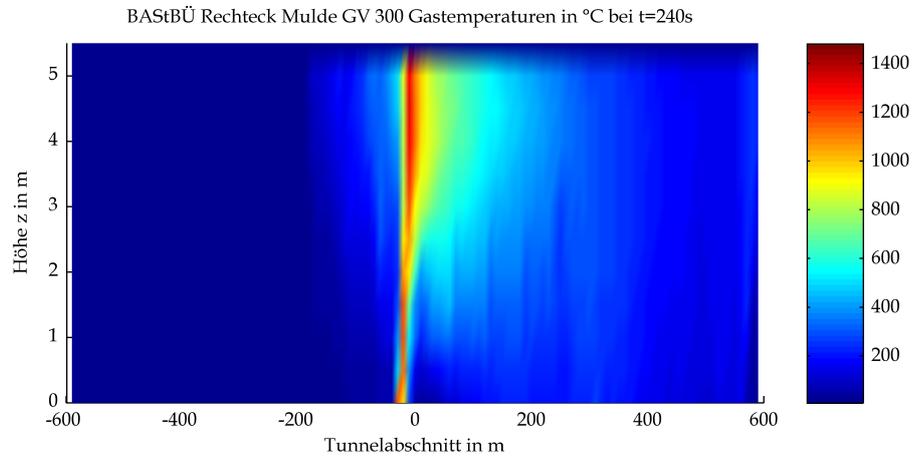


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

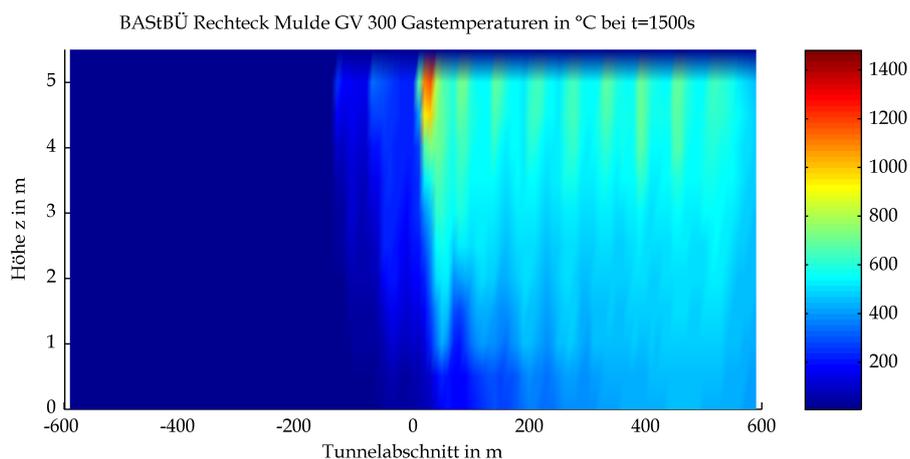
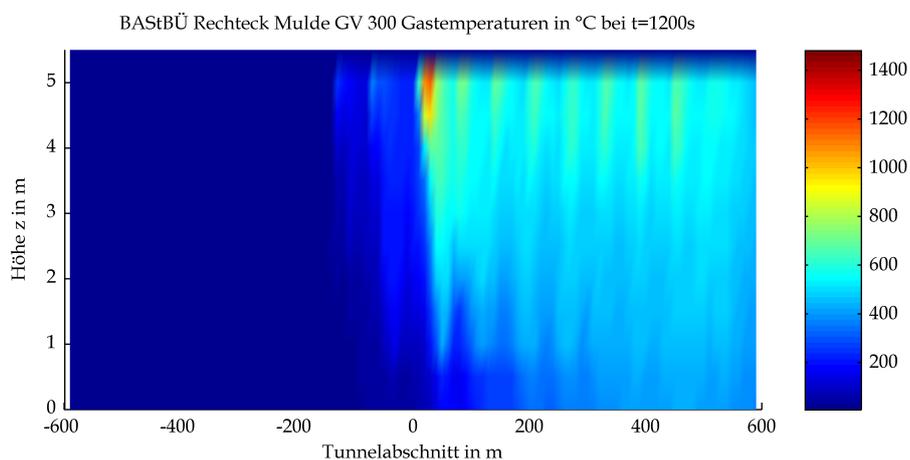
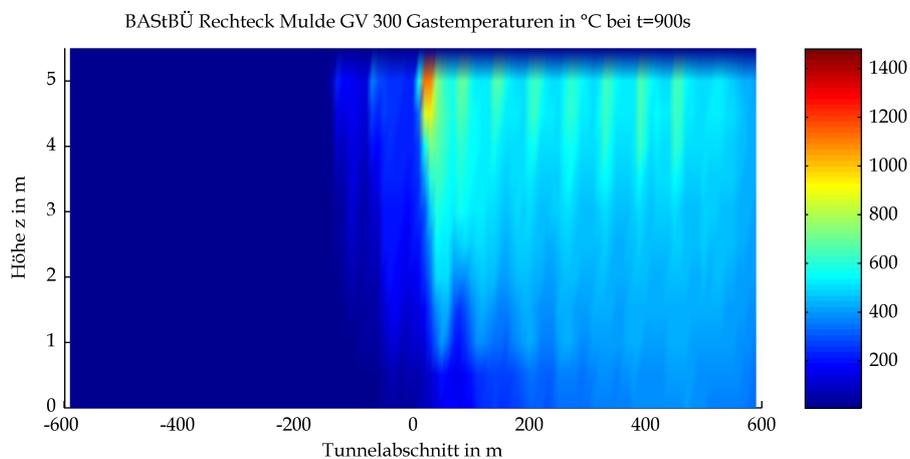
3 Gastemperaturen



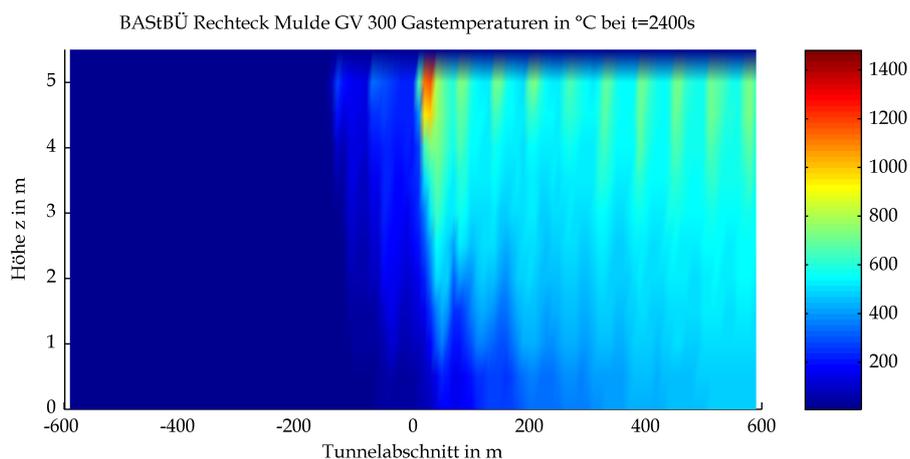
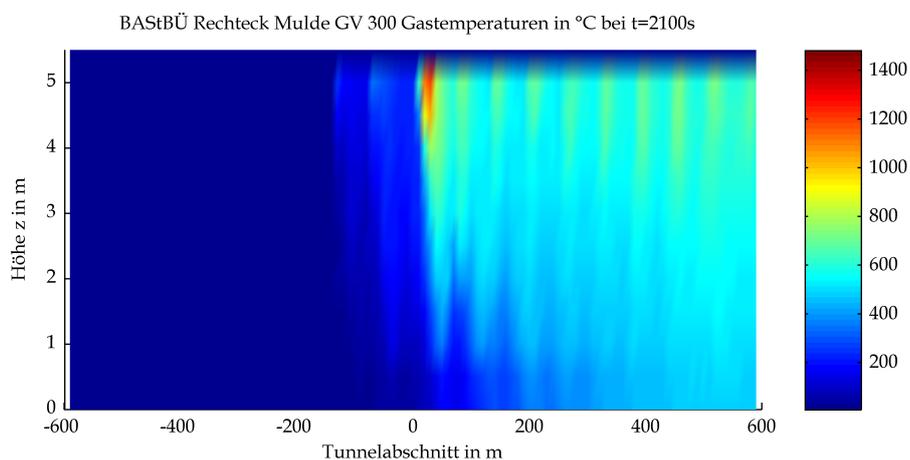
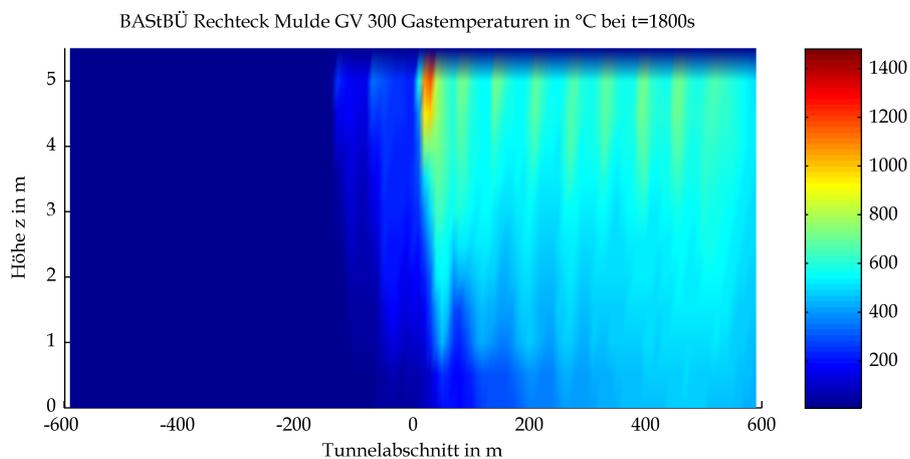
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



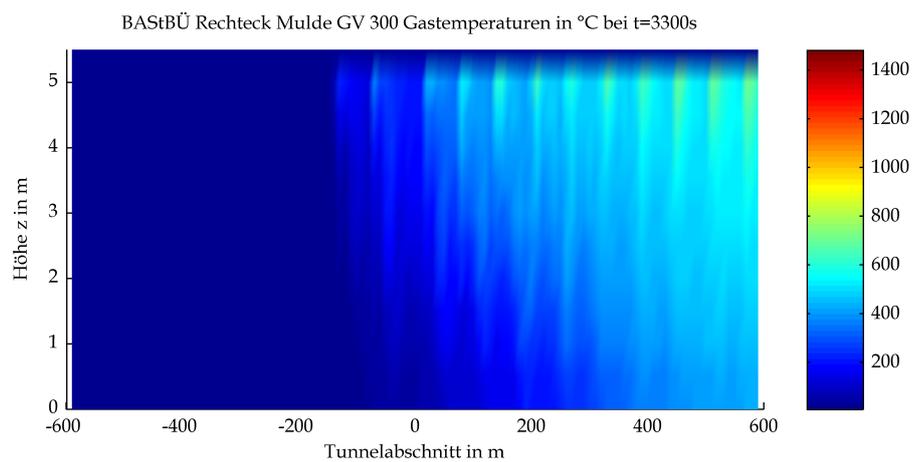
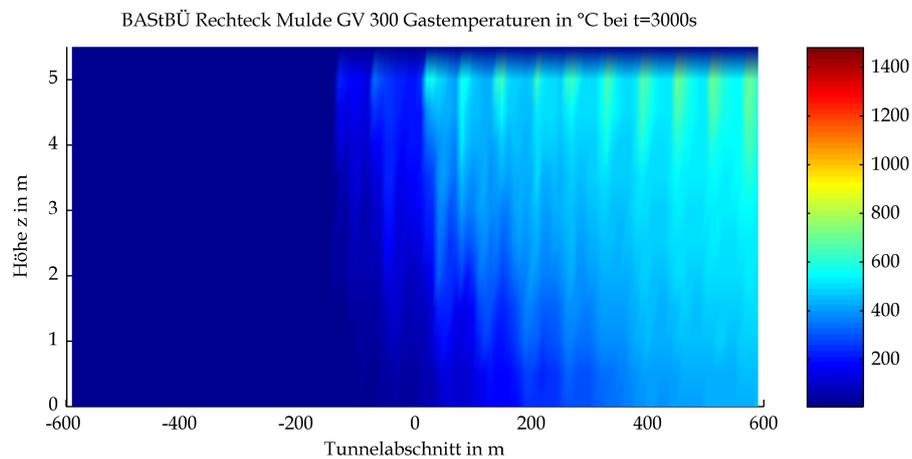
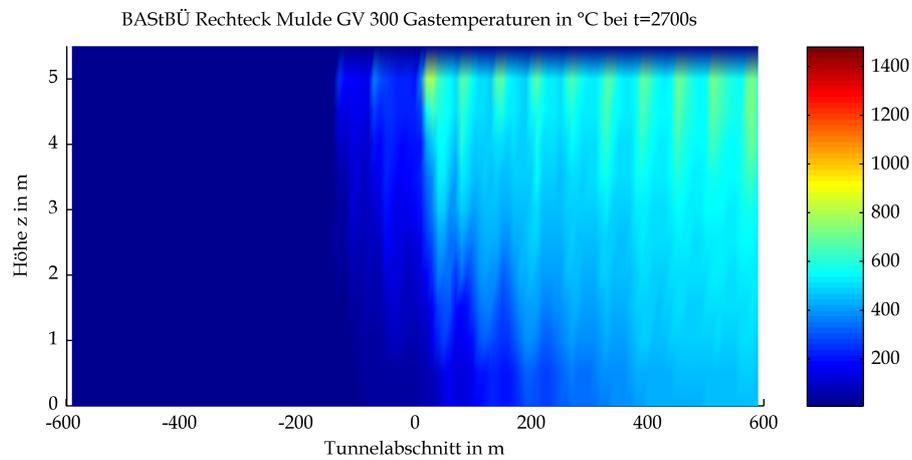
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasttemperaturen



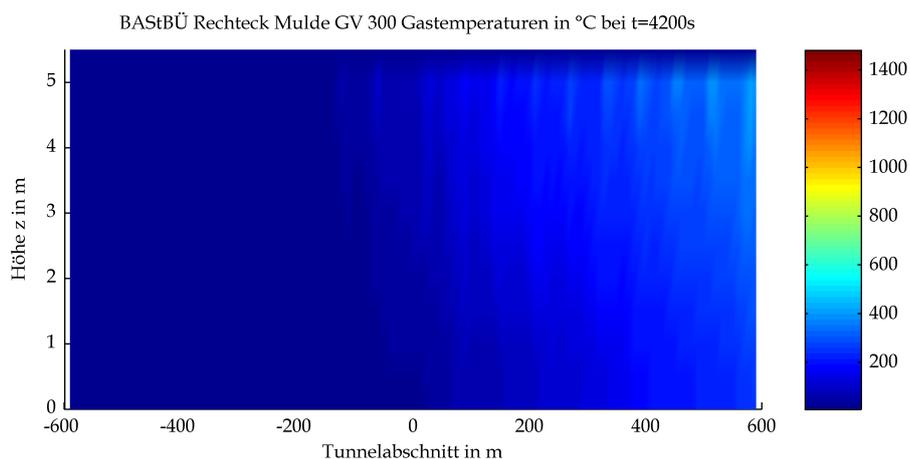
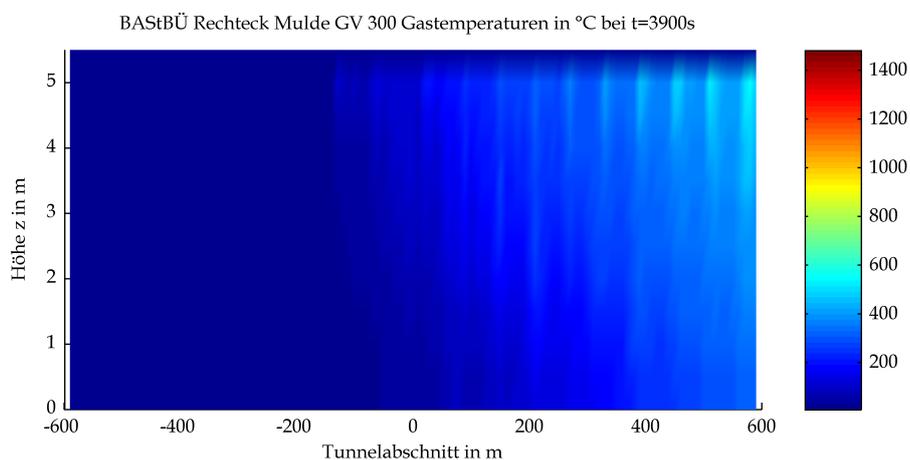
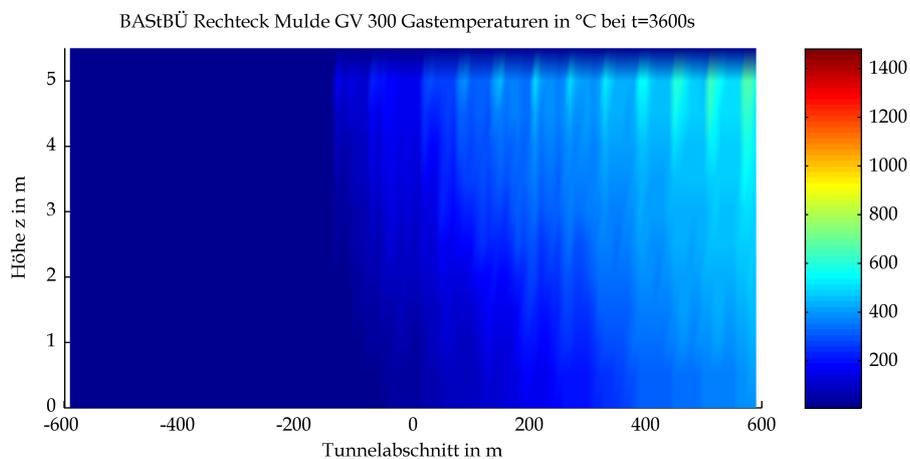
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen

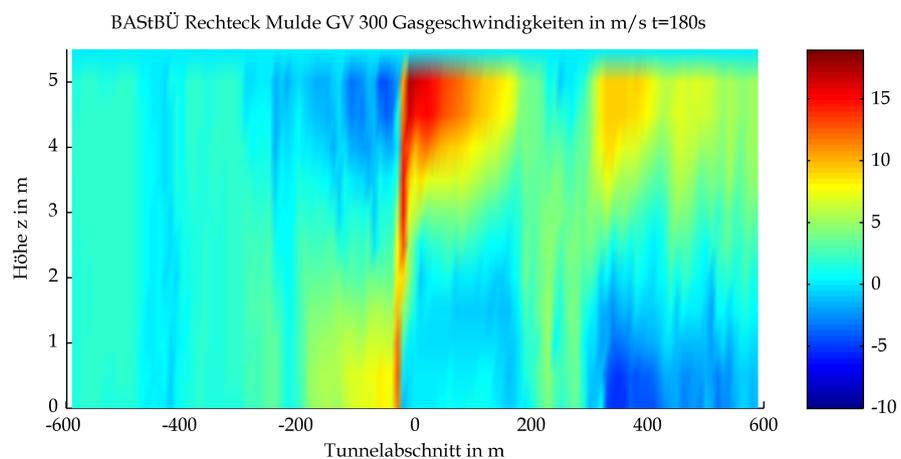
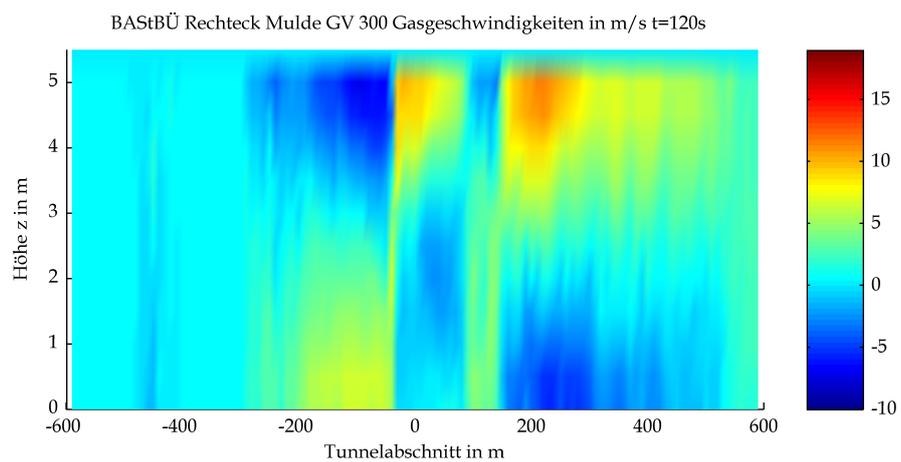
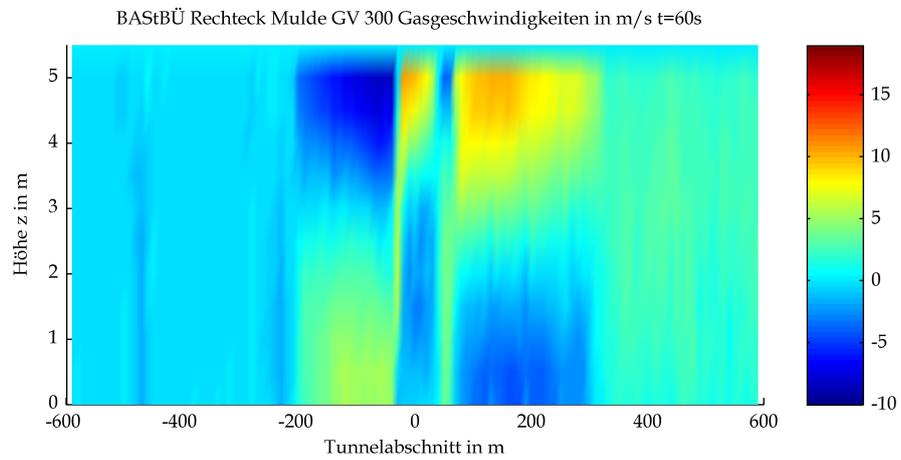


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen

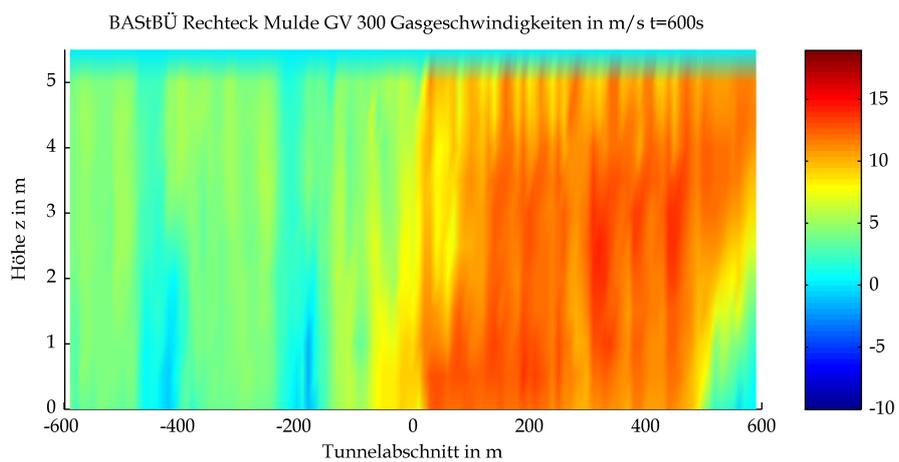
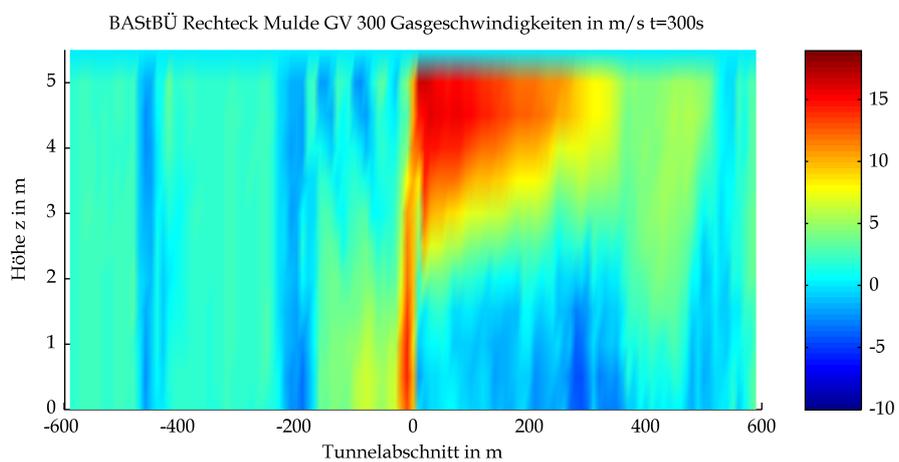
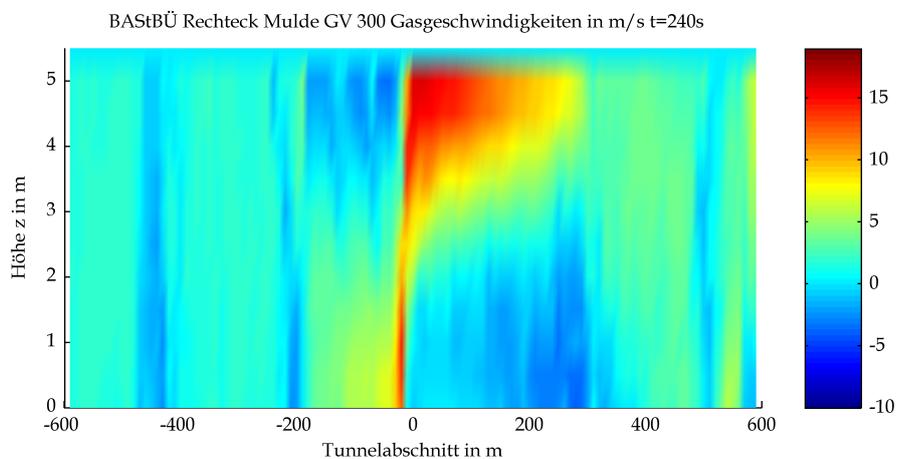


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen

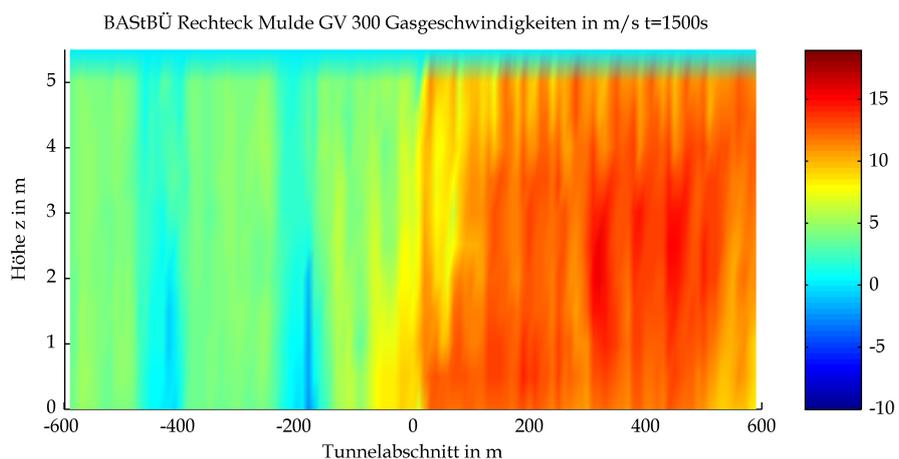
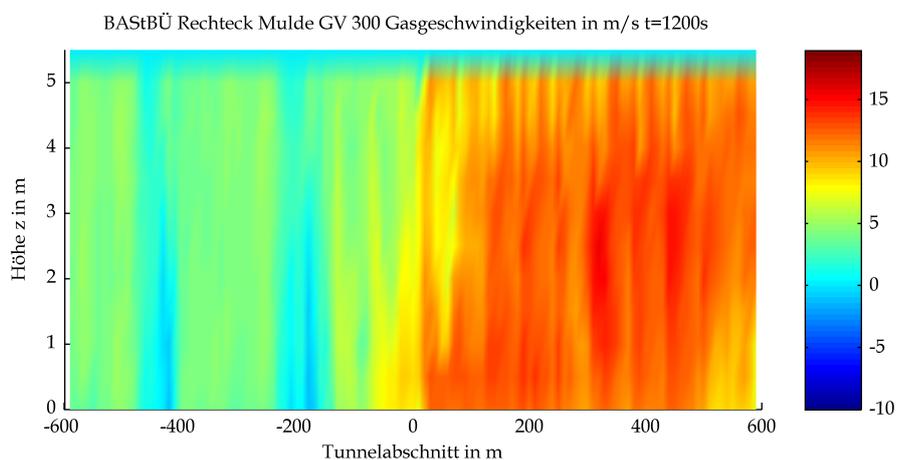
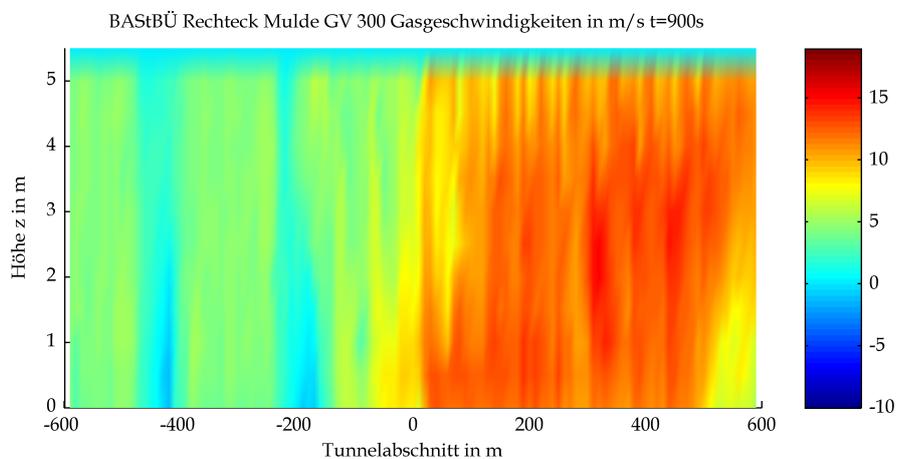
4 Gasgeschwindigkeiten



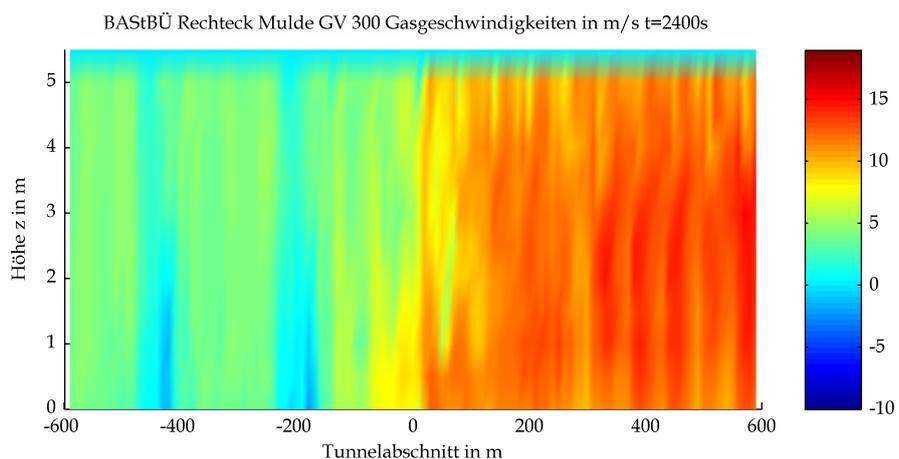
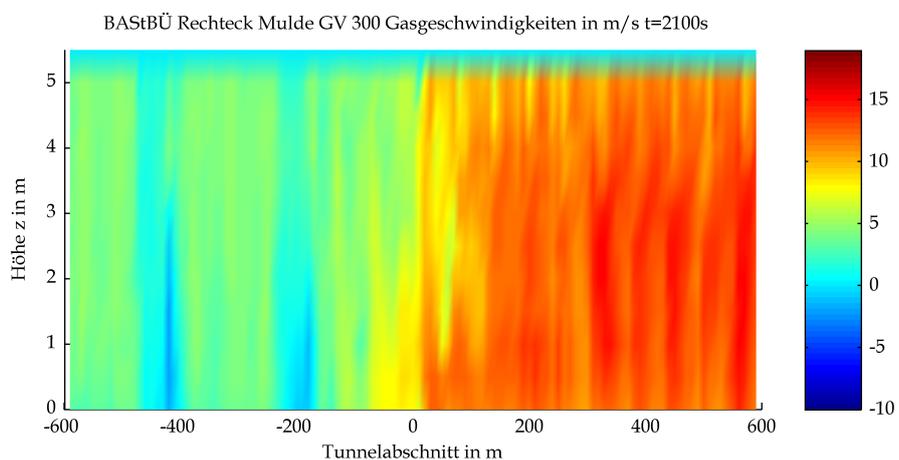
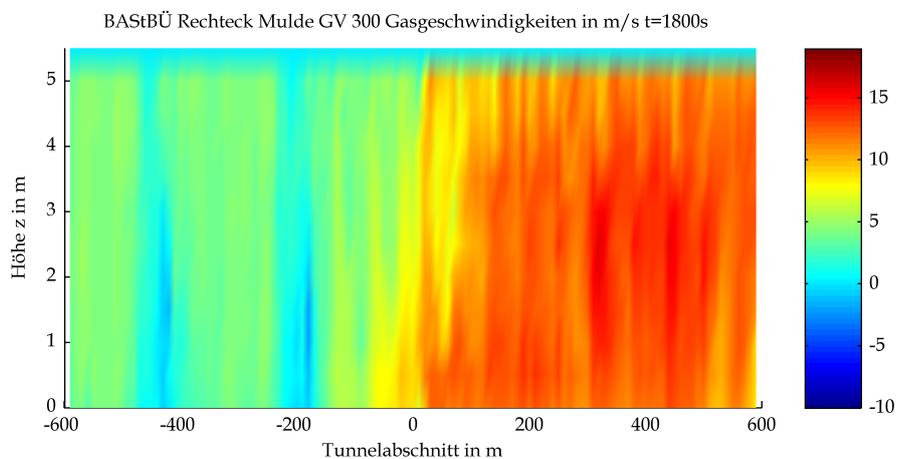
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



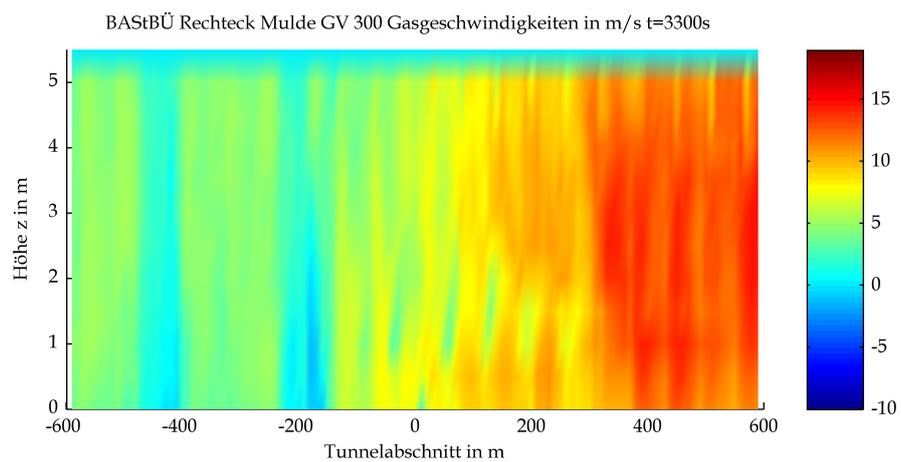
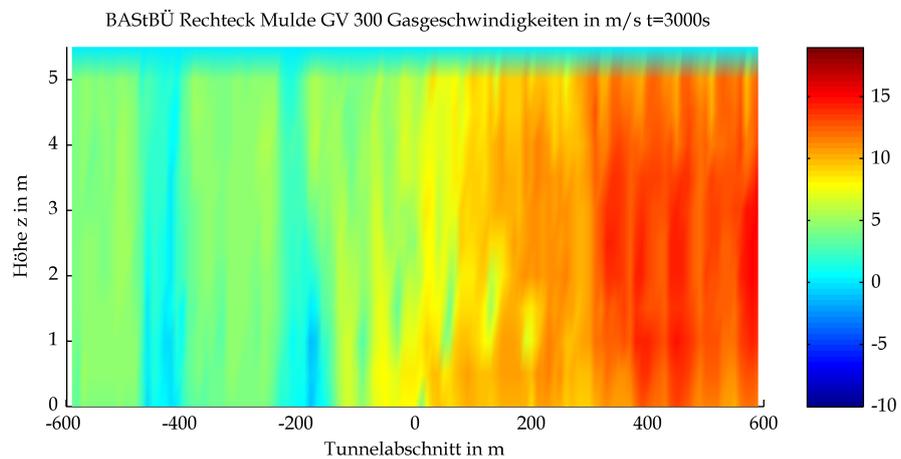
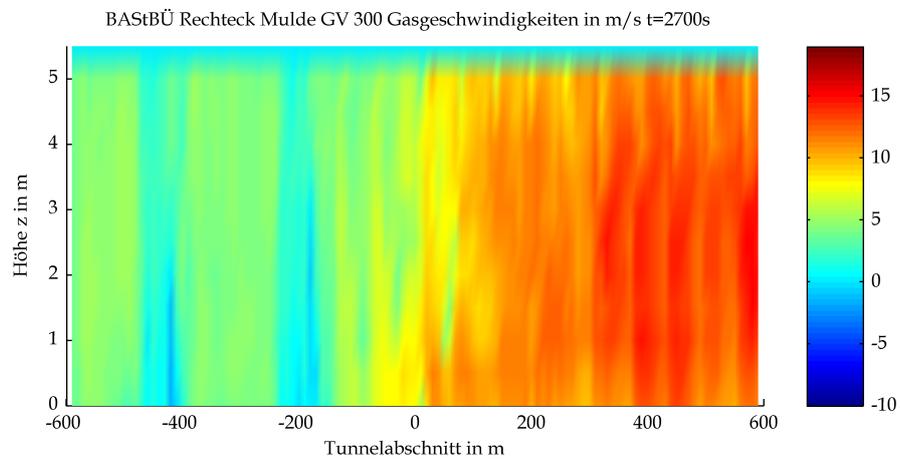
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



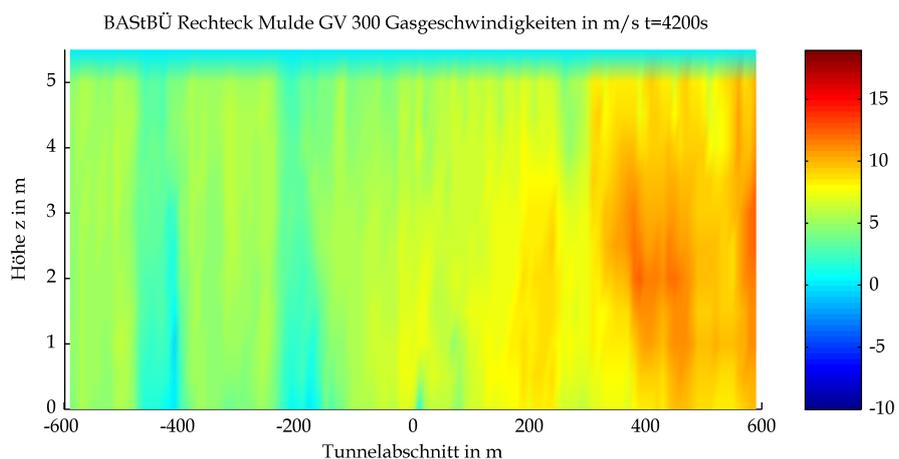
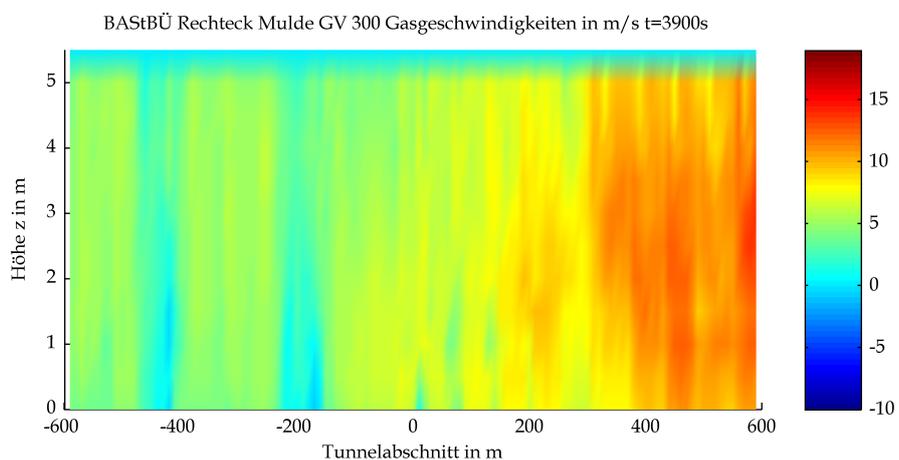
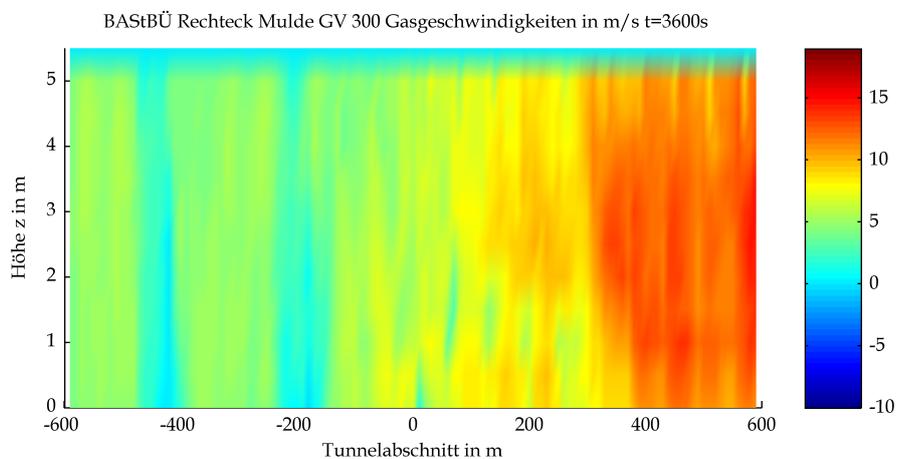
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

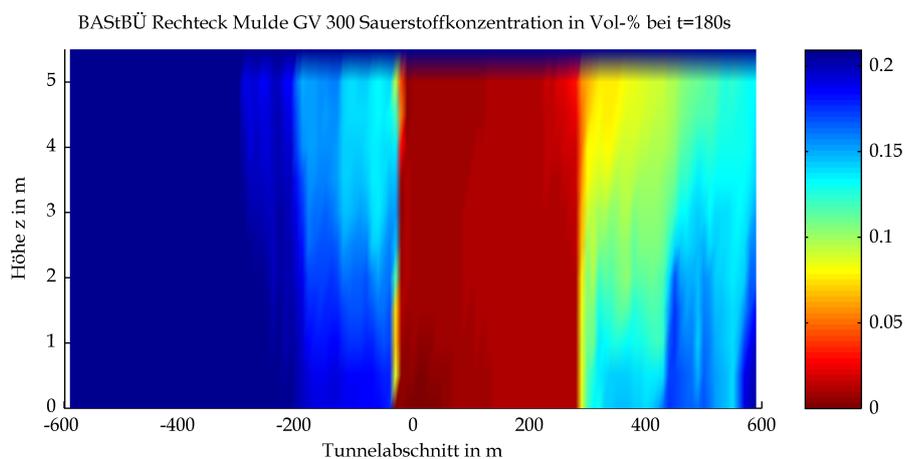
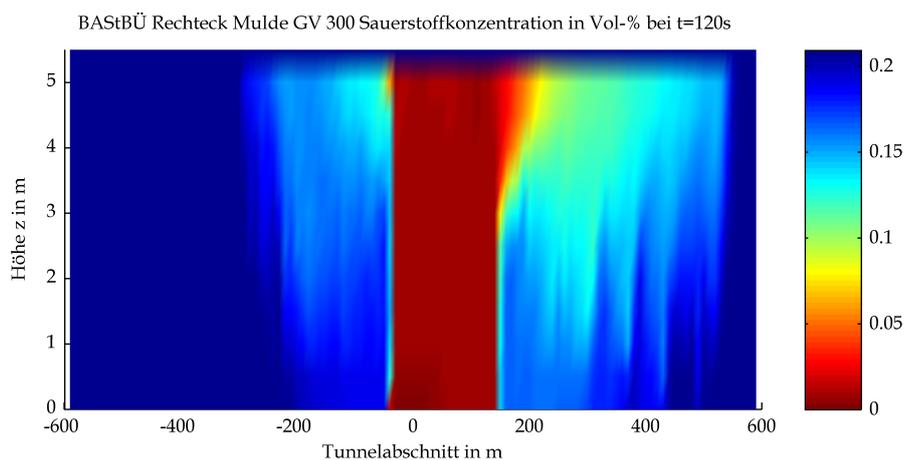
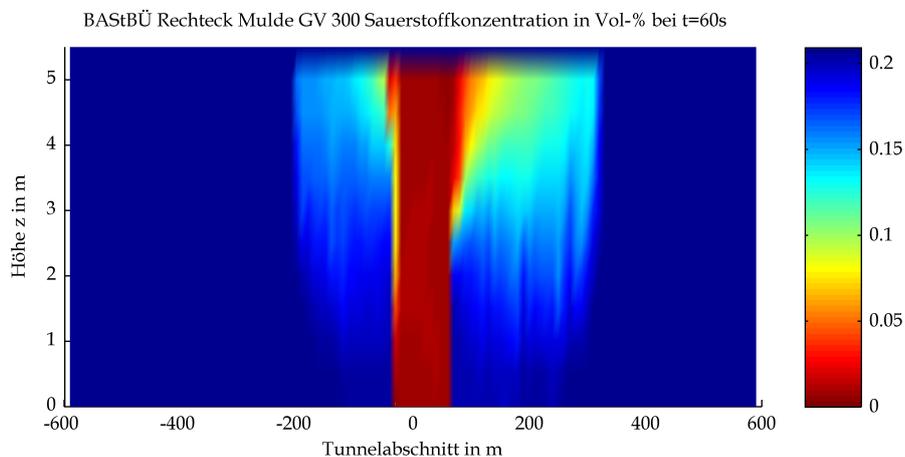


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

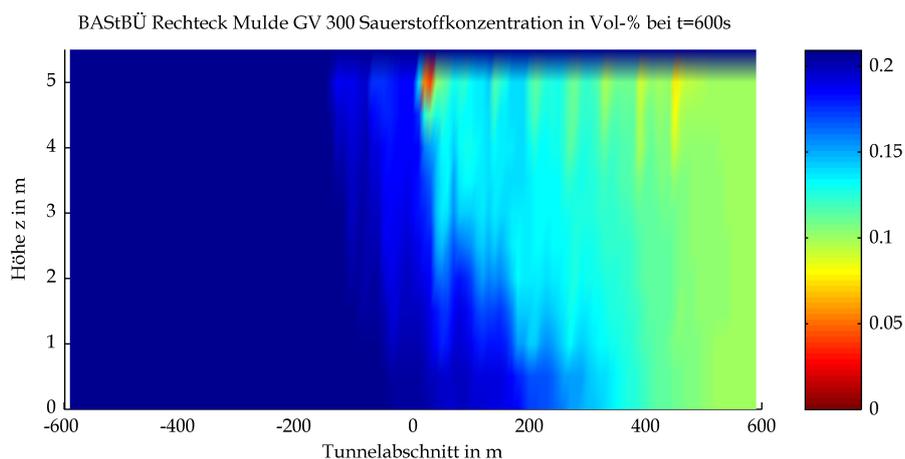
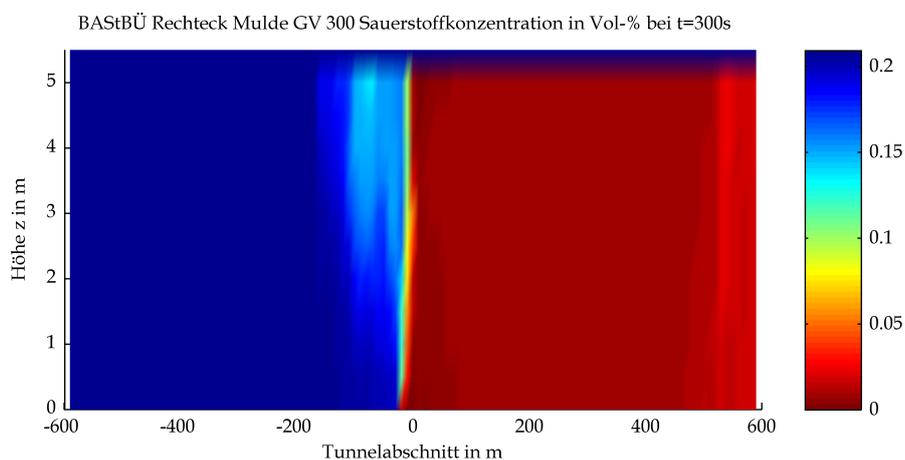
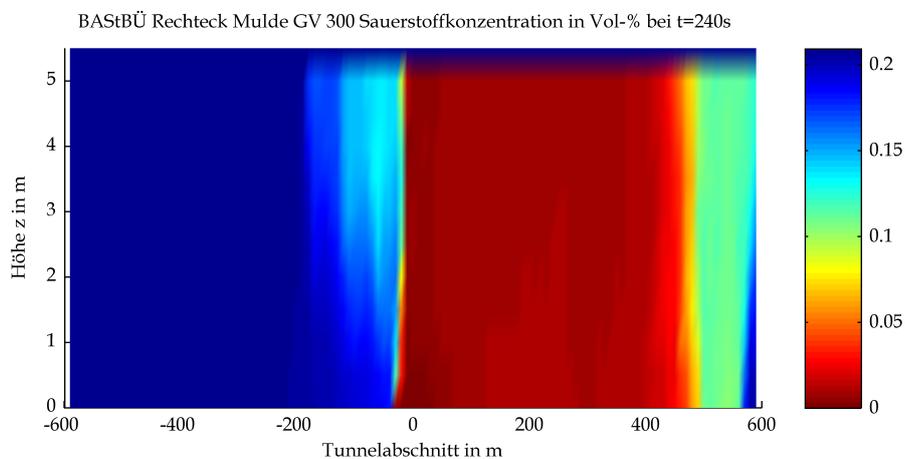


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

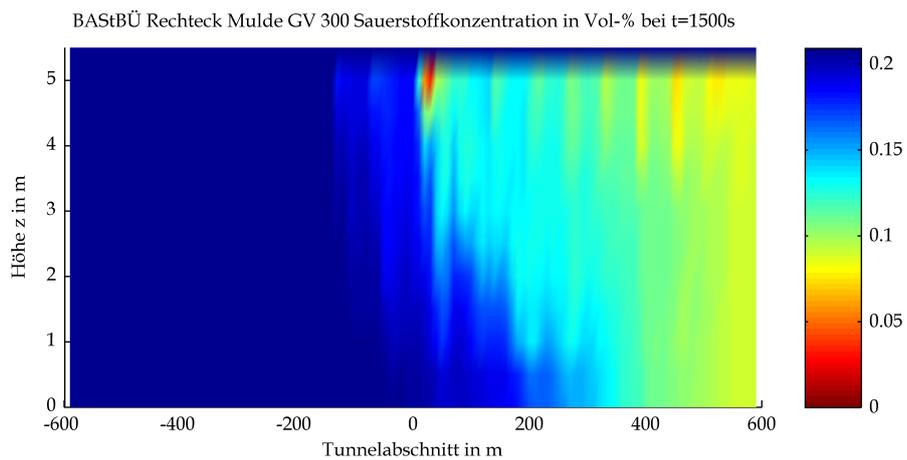
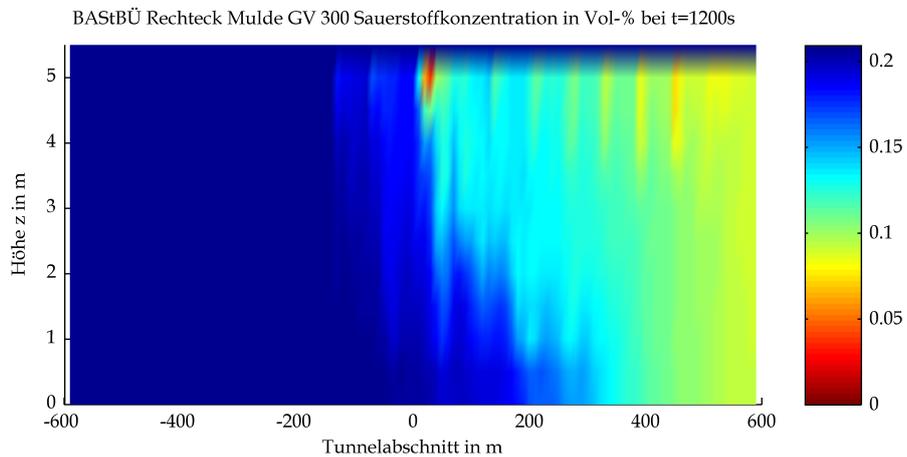
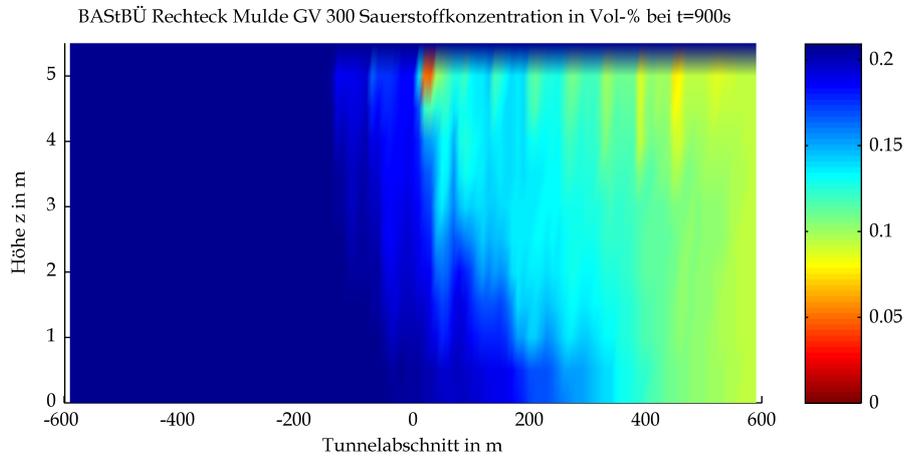
5 Sauerstoffgehalt



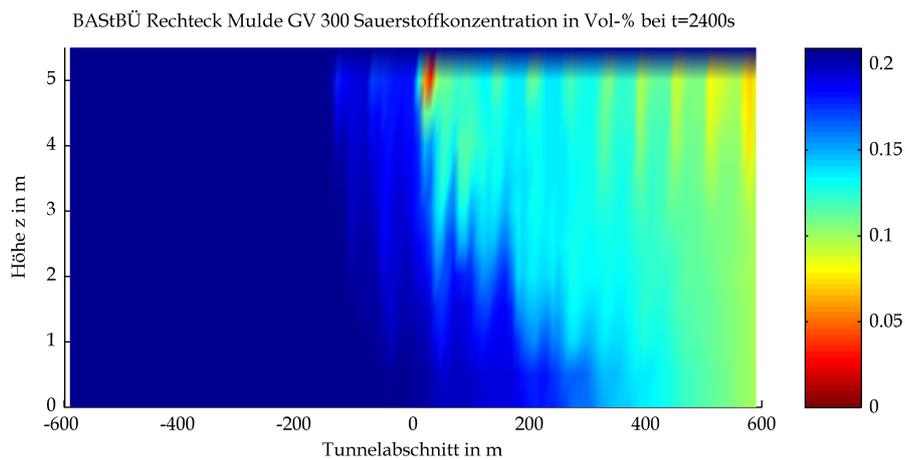
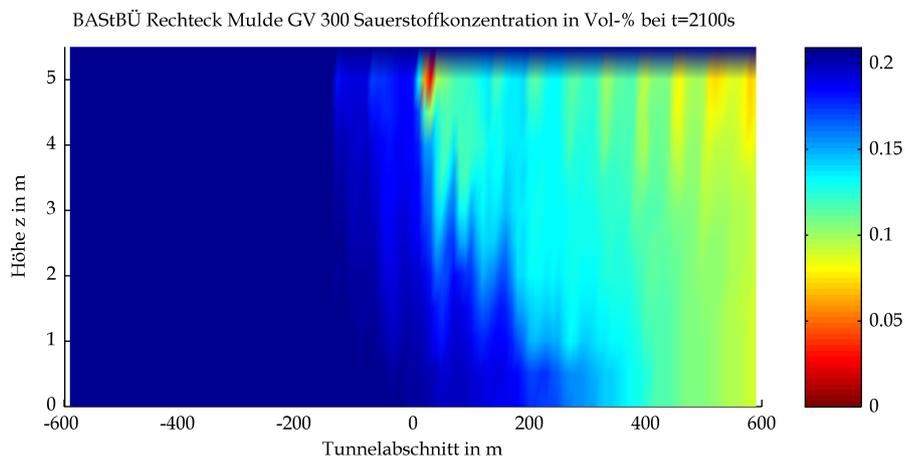
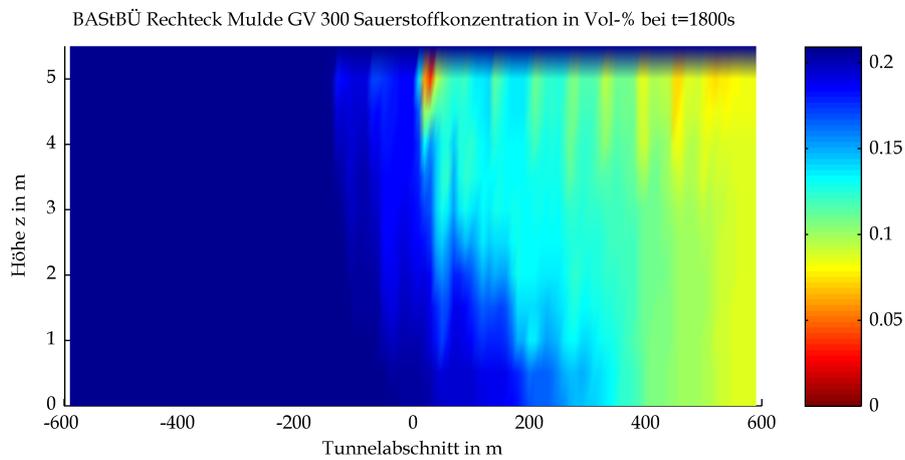
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



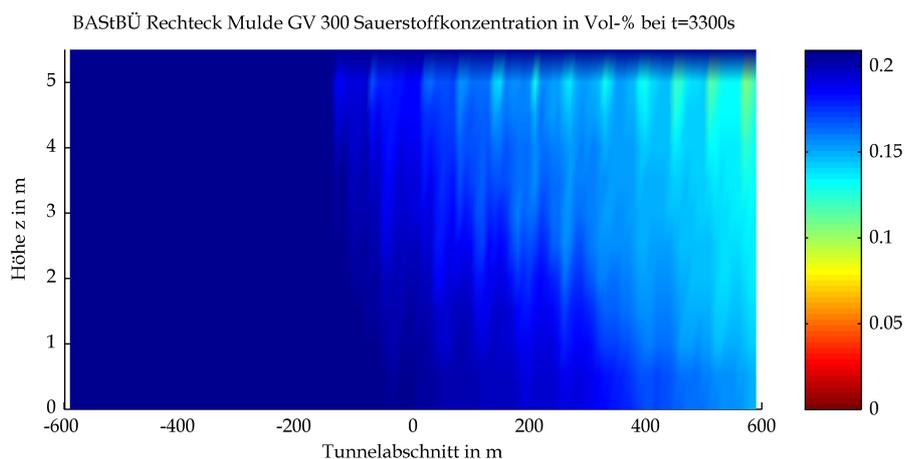
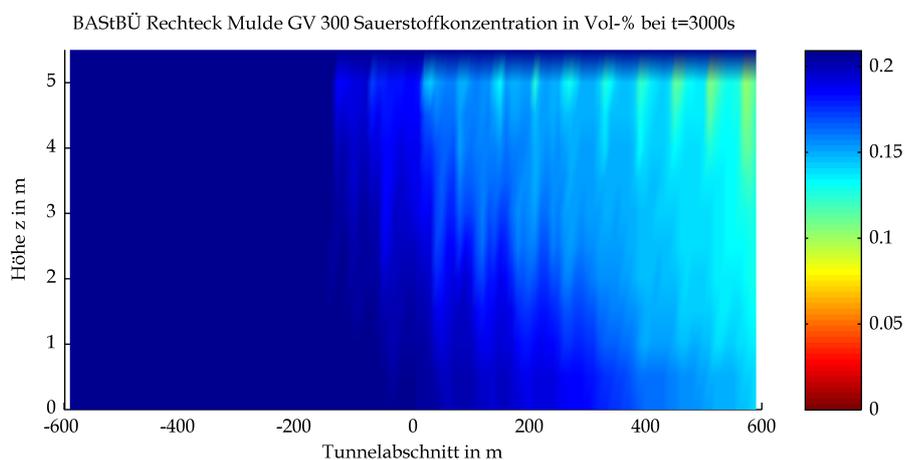
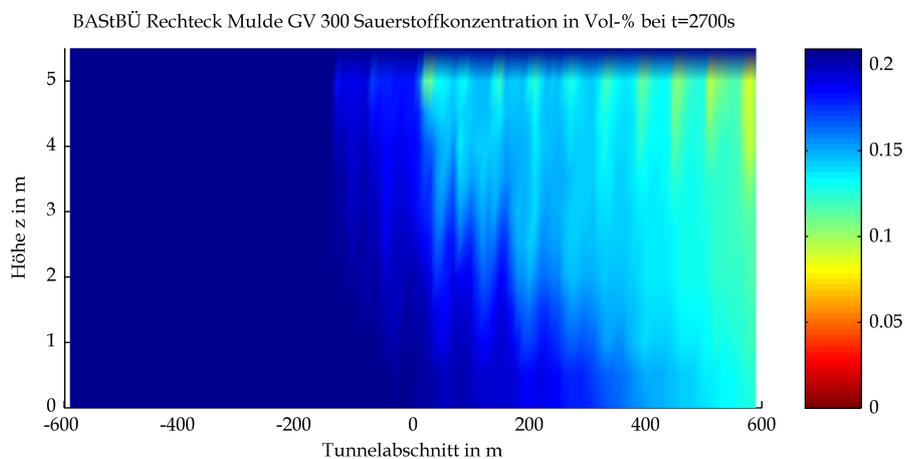
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



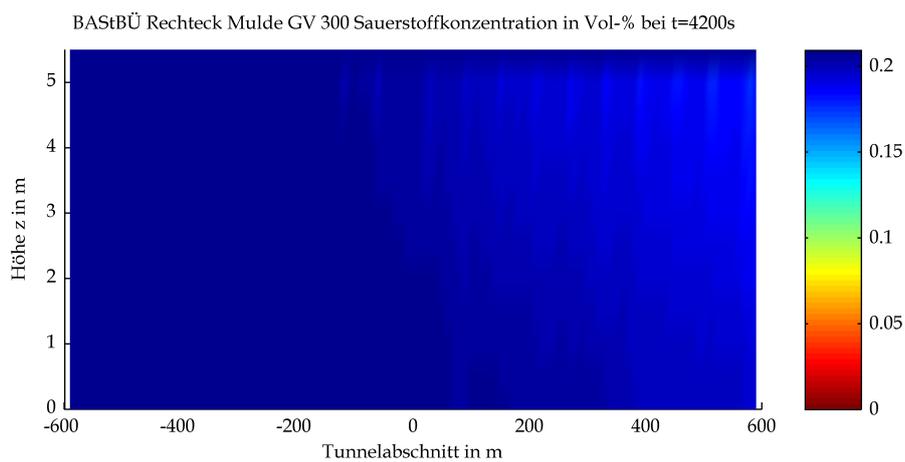
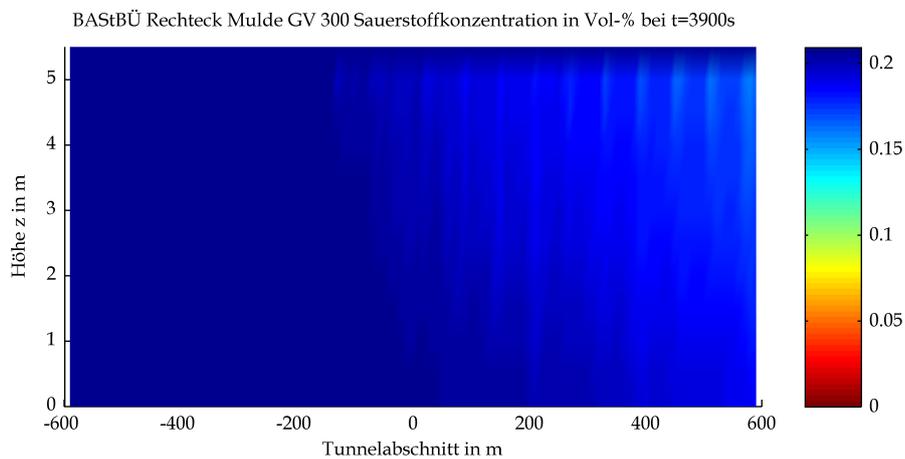
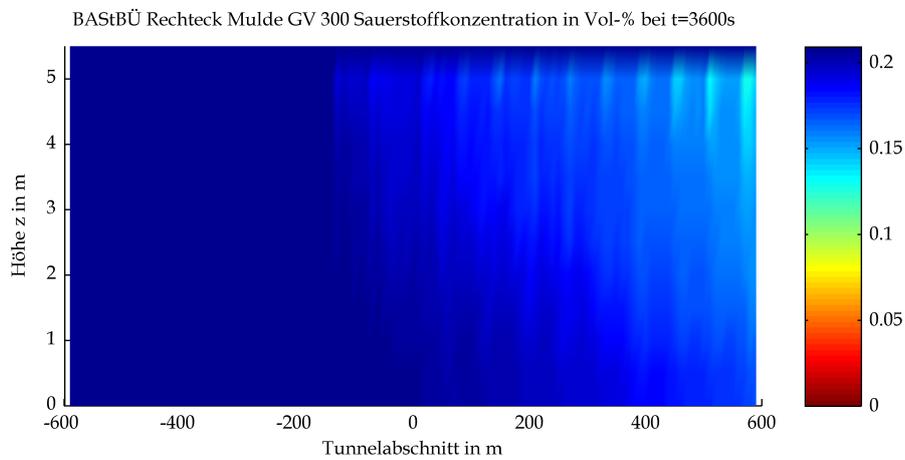
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



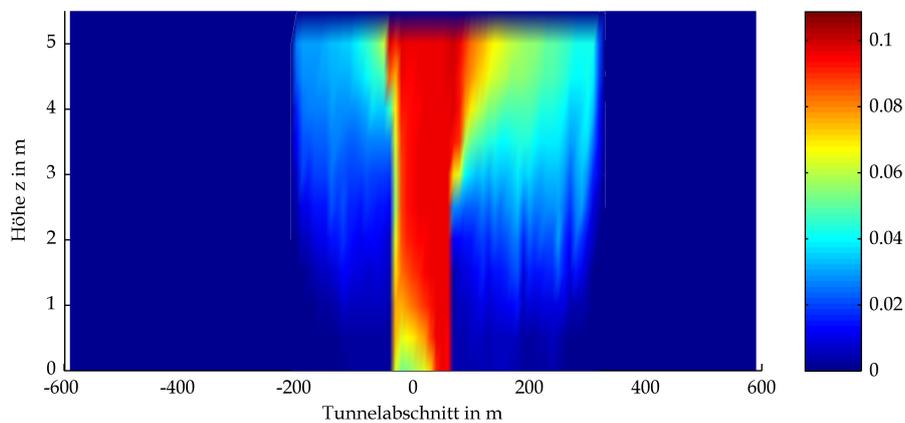
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



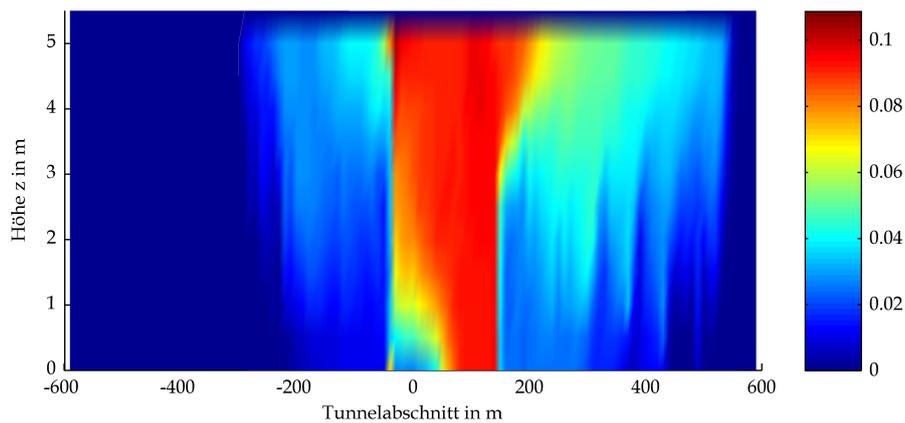
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte

6 Kohlendioxidgehalt

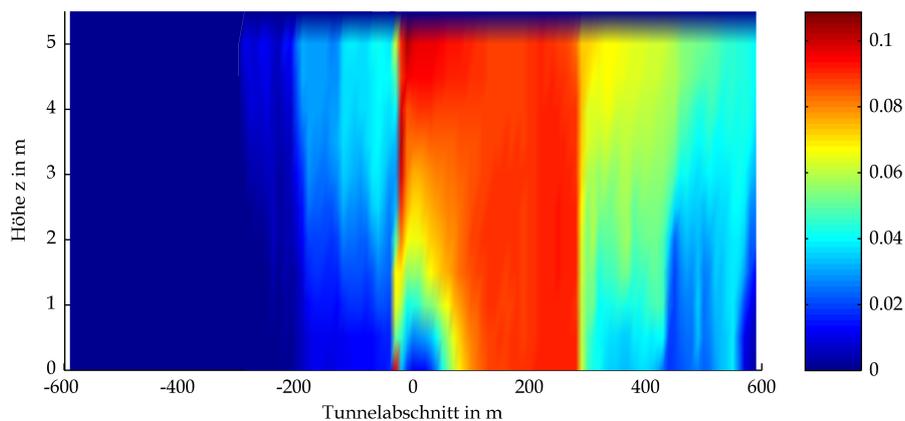
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 CO₂-Gehalt in Masse-% bei t=60s



BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 CO₂-Gehalt in Masse-% bei t=120s

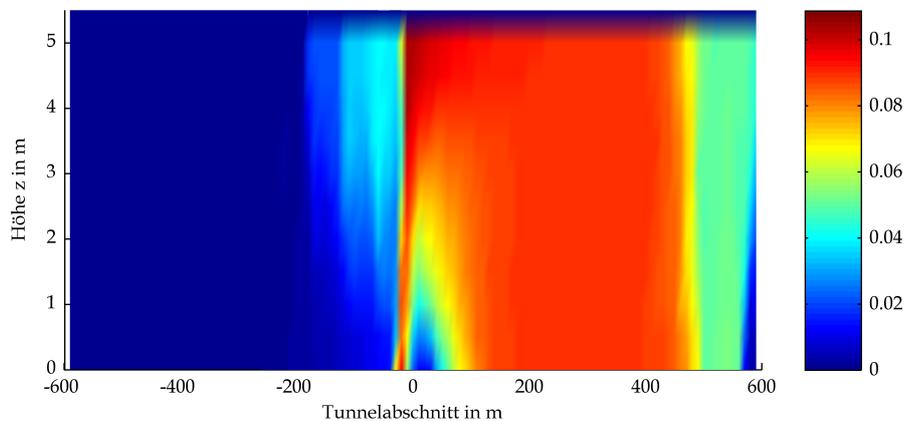


BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 CO₂-Gehalt in Masse-% bei t=180s

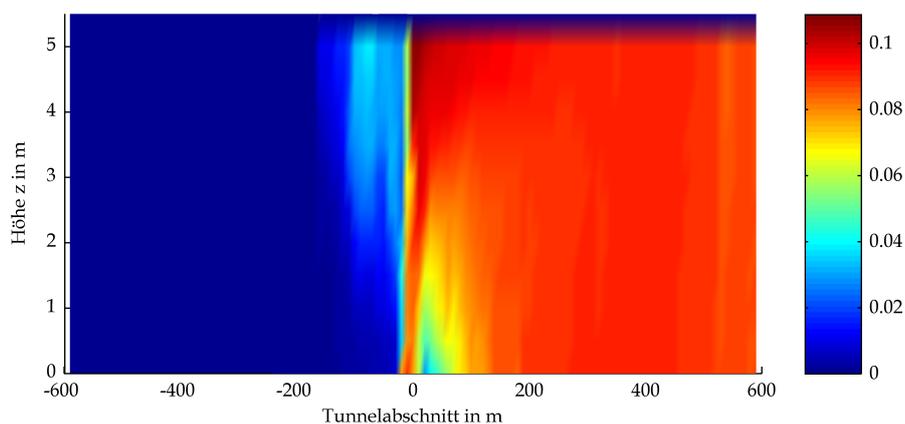


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

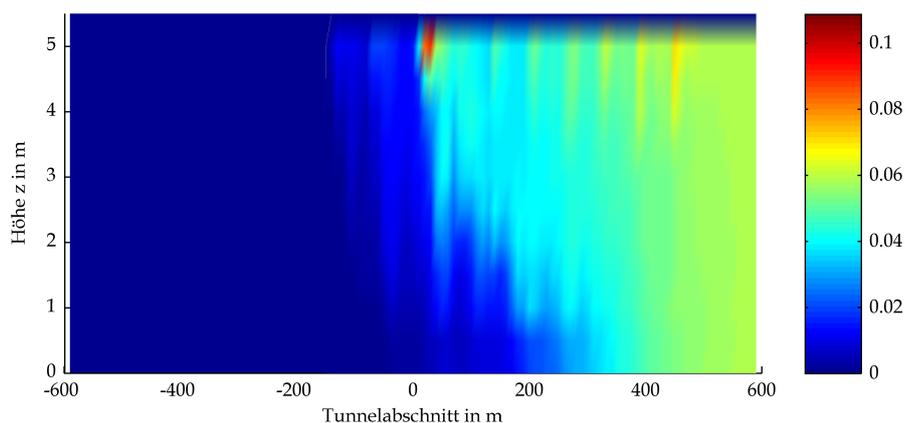
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 CO₂-Gehalt in Masse-% bei t=240s



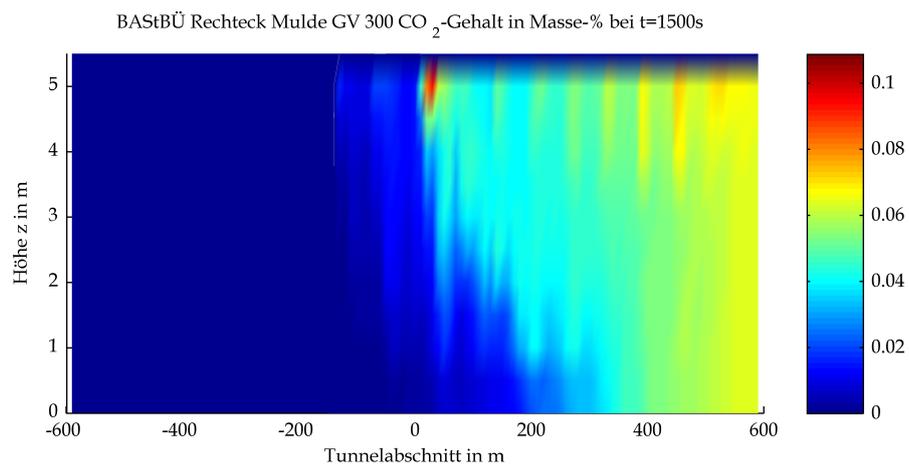
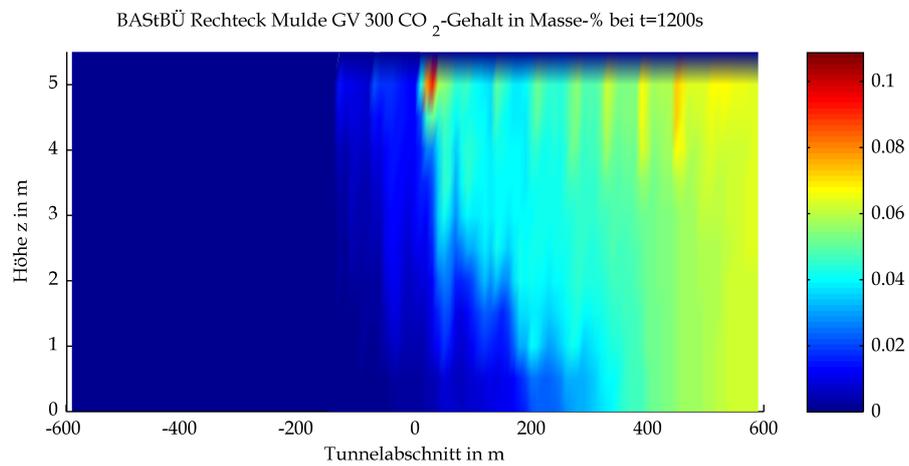
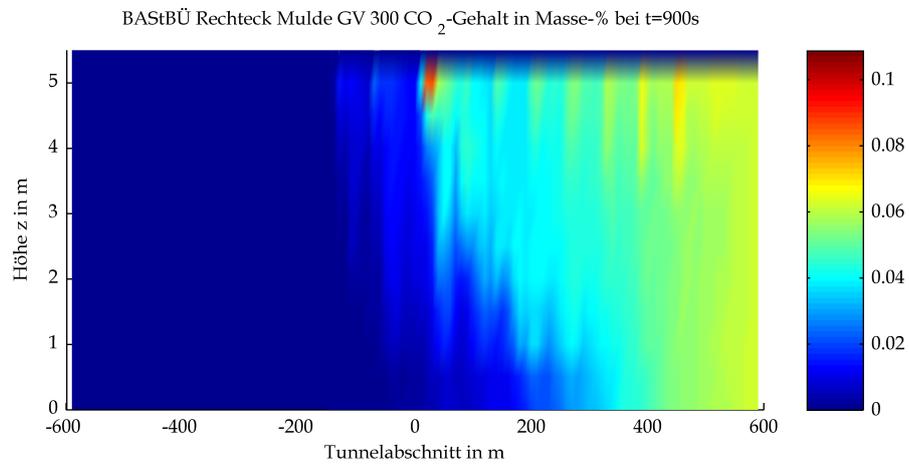
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 CO₂-Gehalt in Masse-% bei t=300s



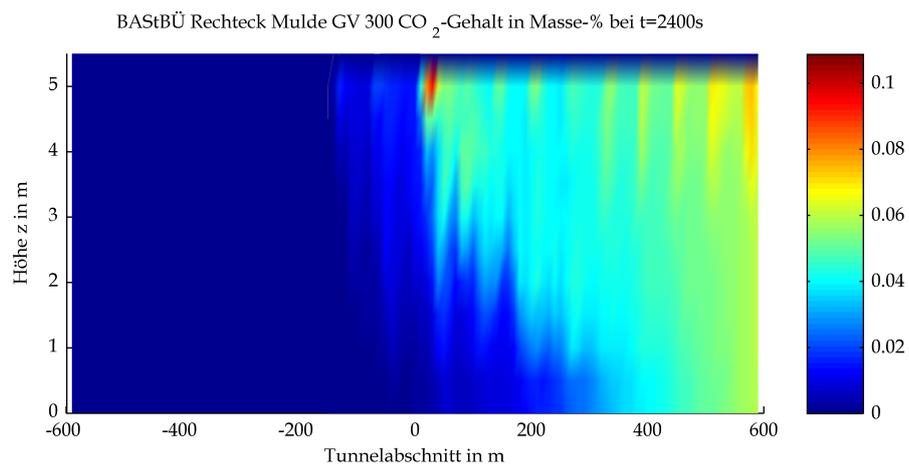
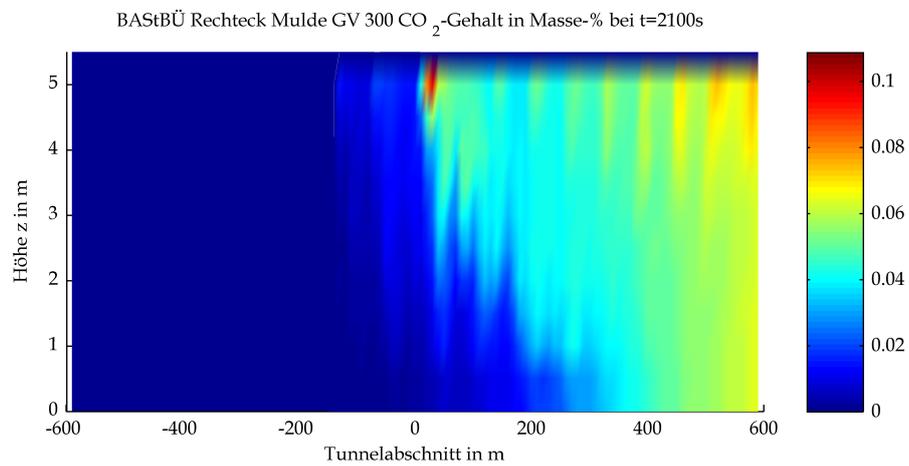
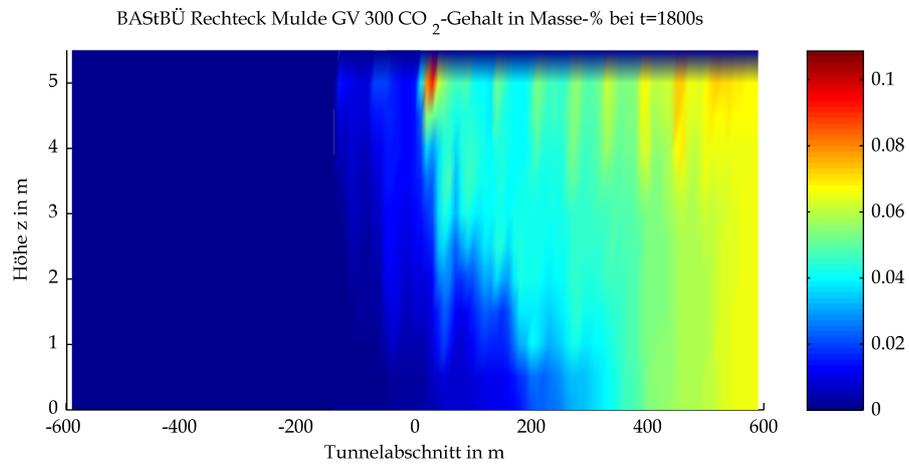
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 CO₂-Gehalt in Masse-% bei t=600s



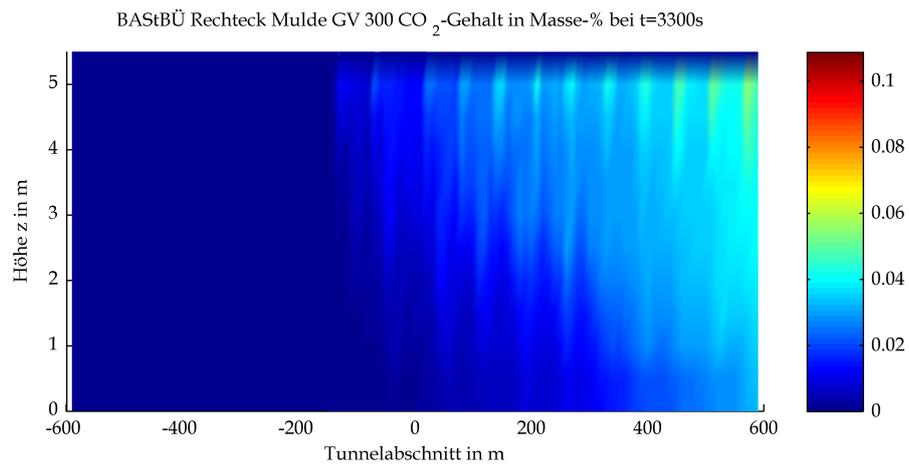
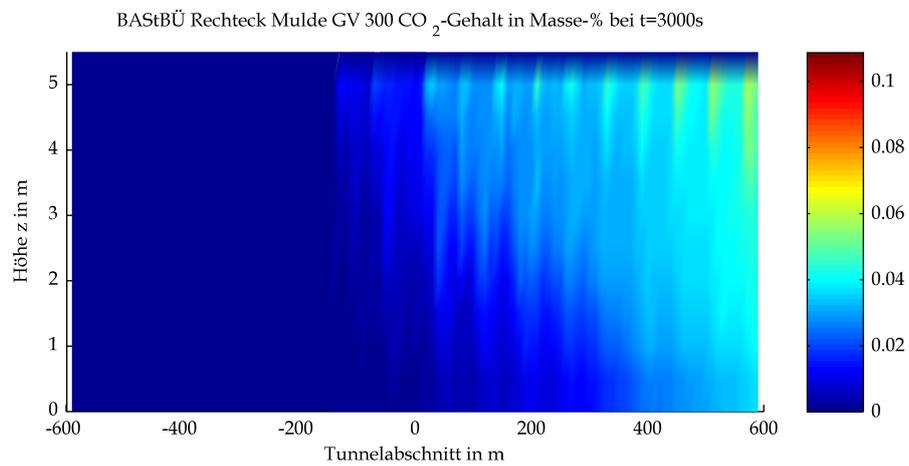
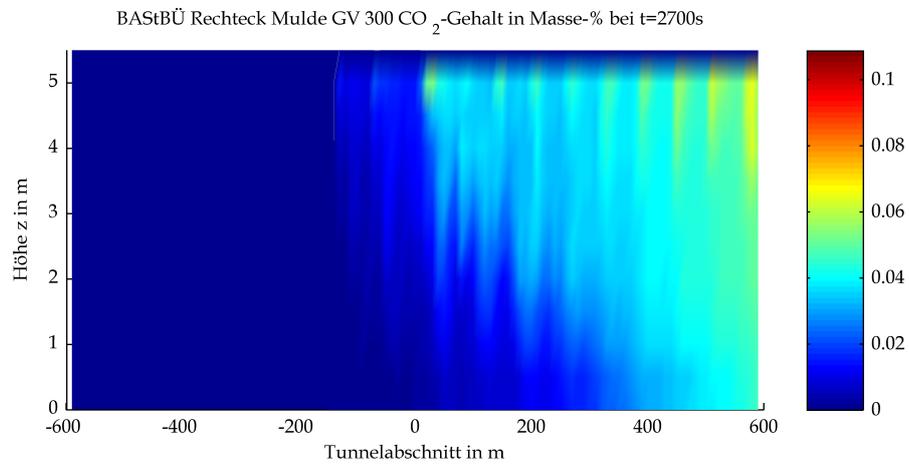
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte



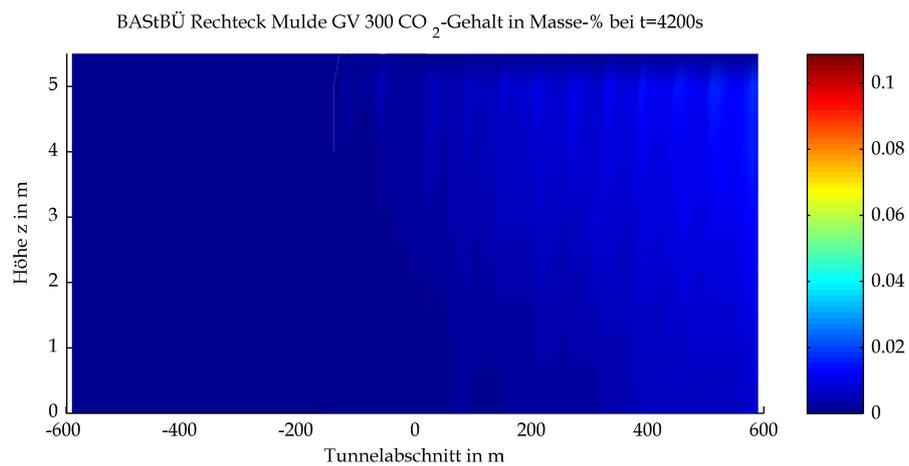
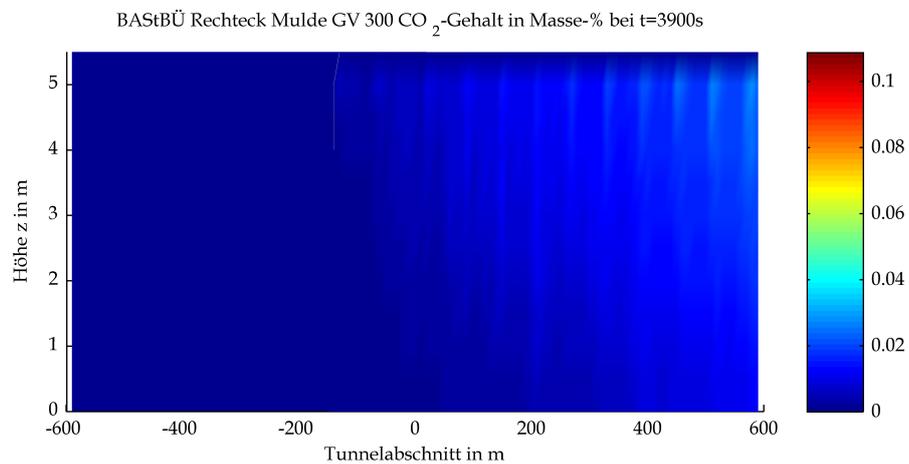
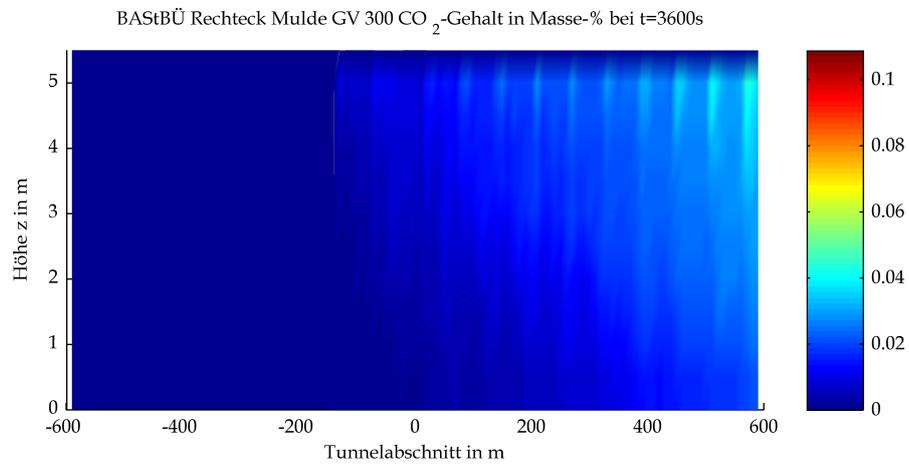
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

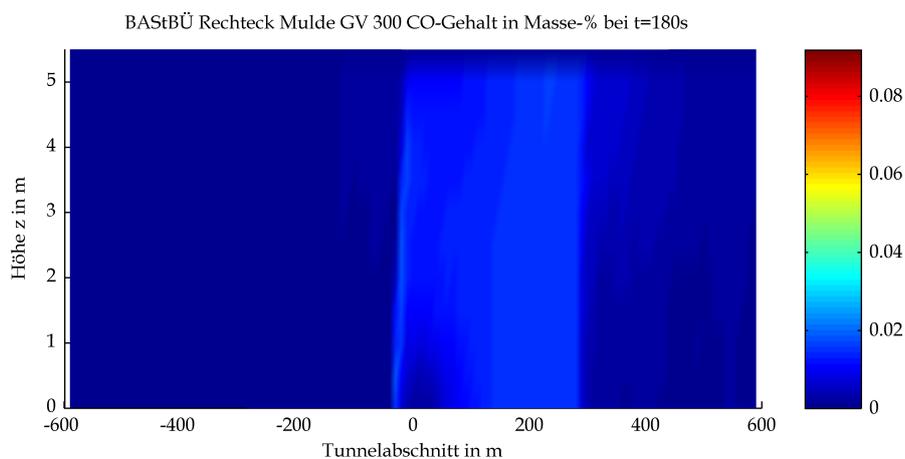
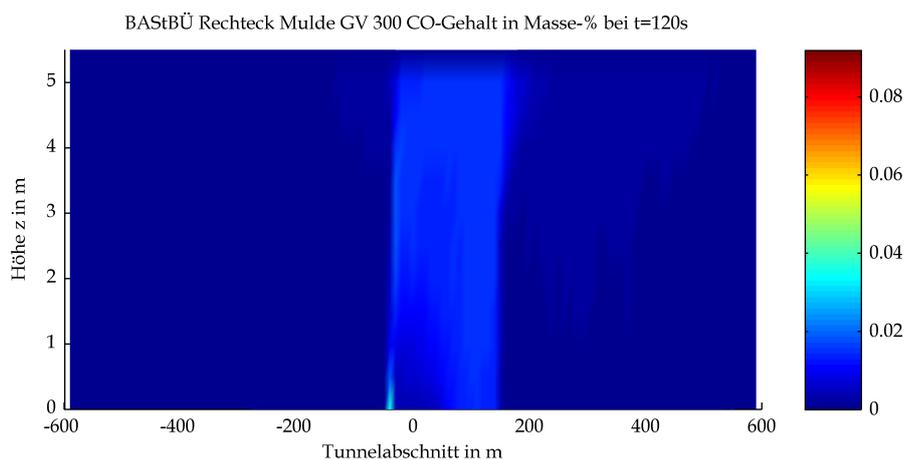
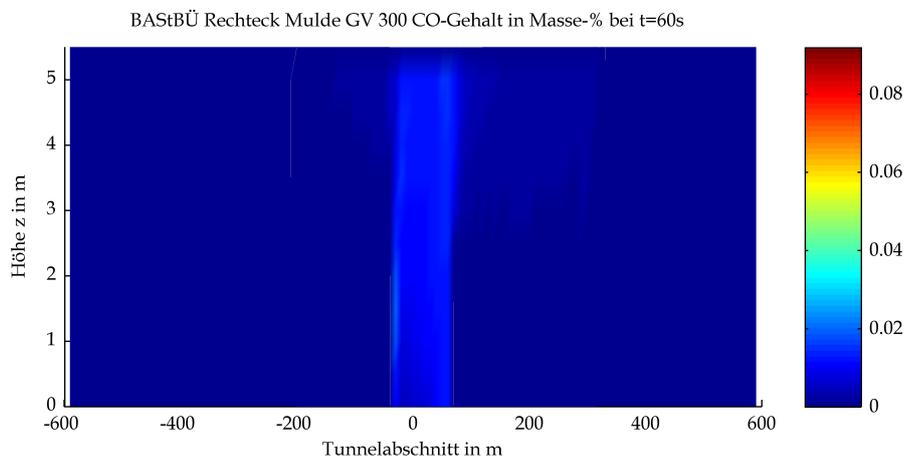


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

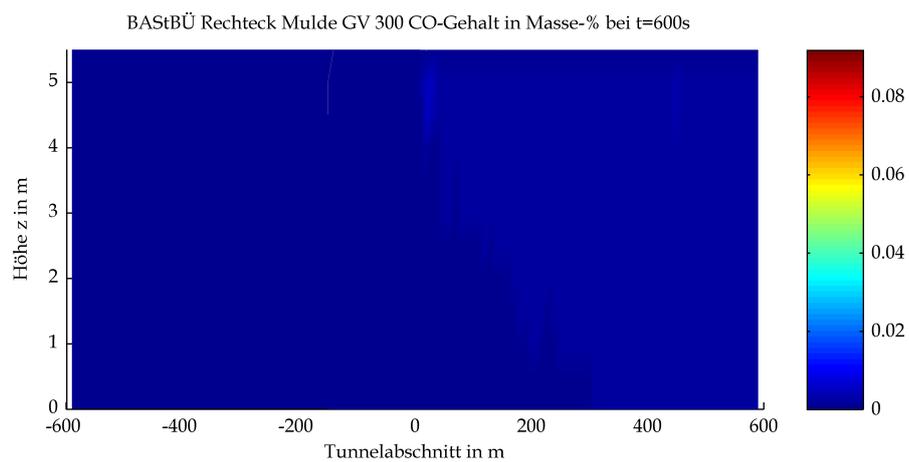
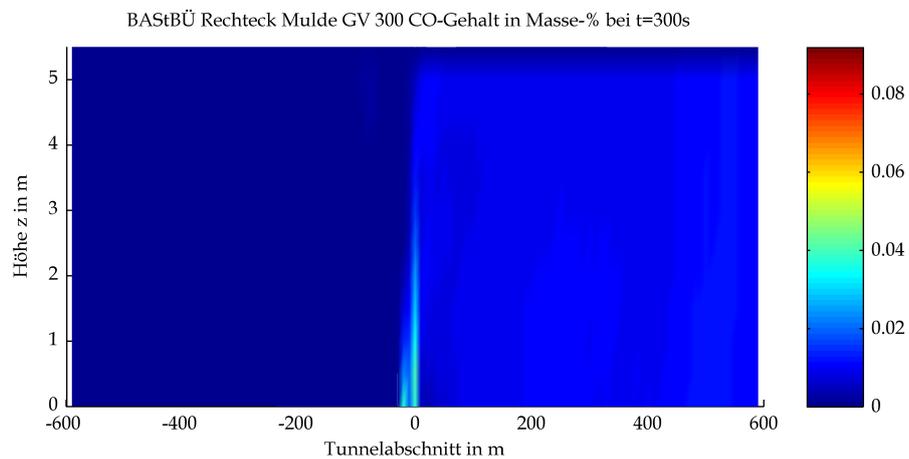
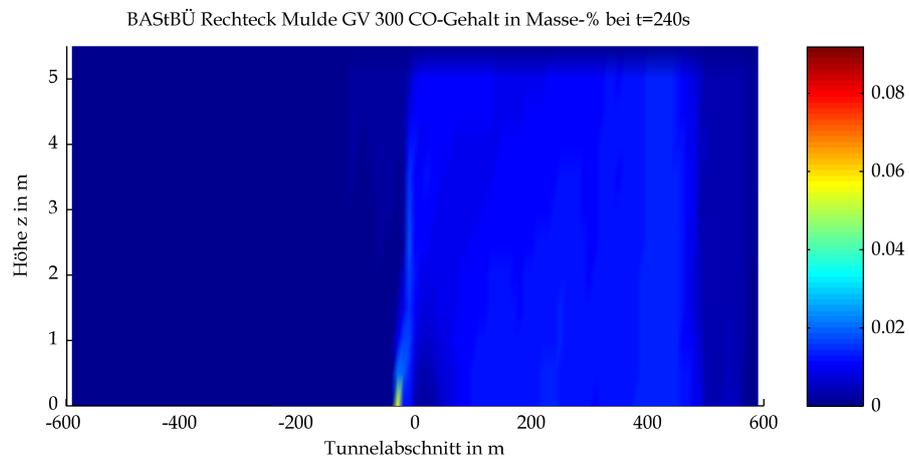


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

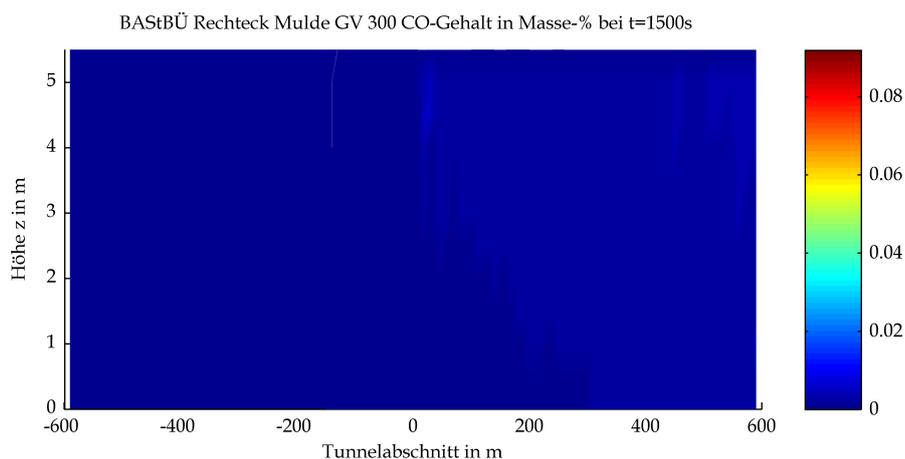
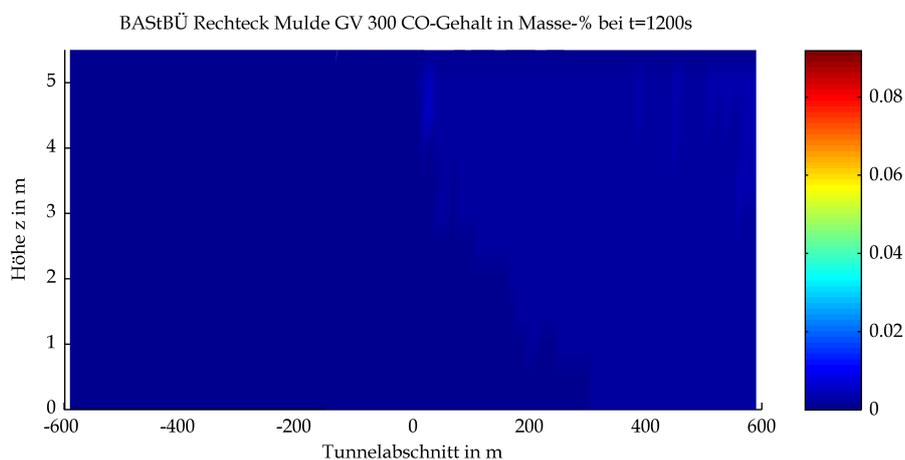
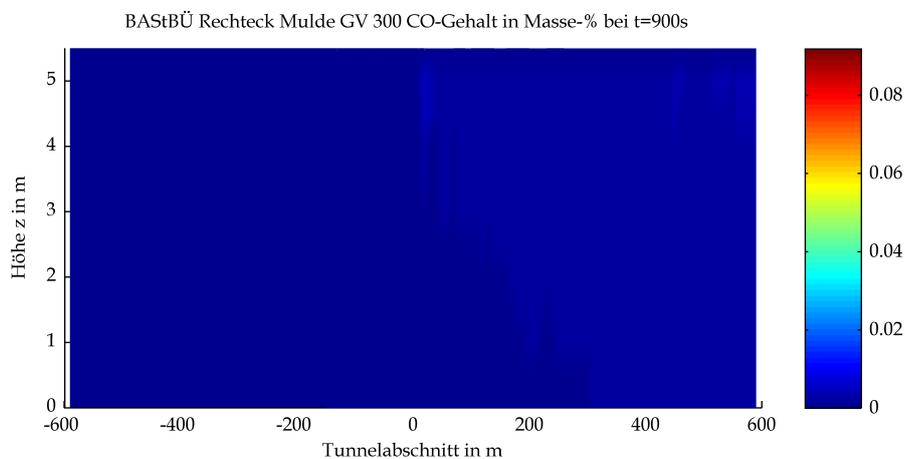
7 Kohlenmonoxidgehalt



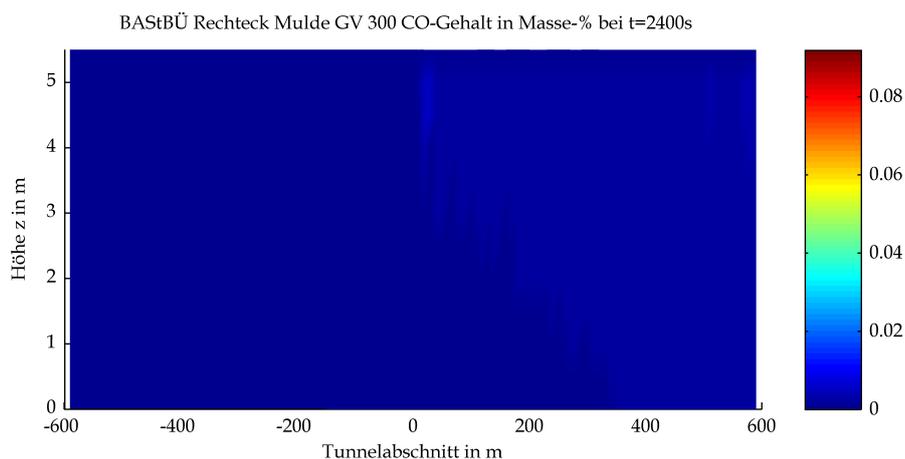
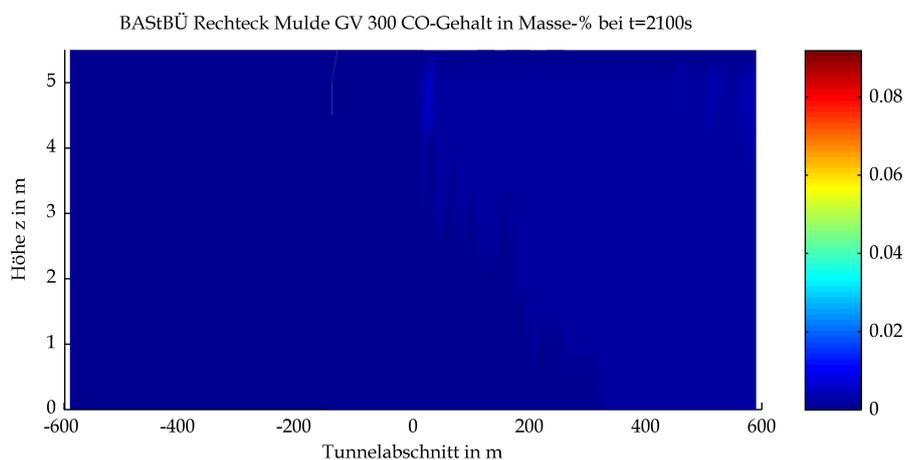
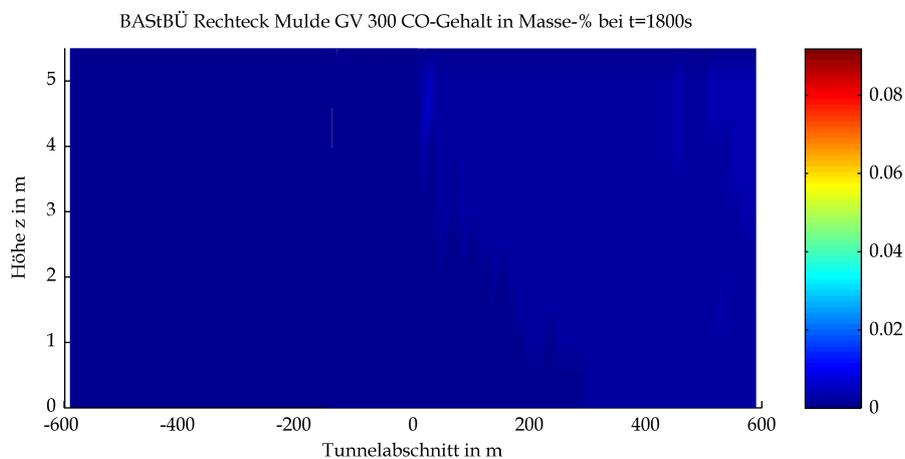
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



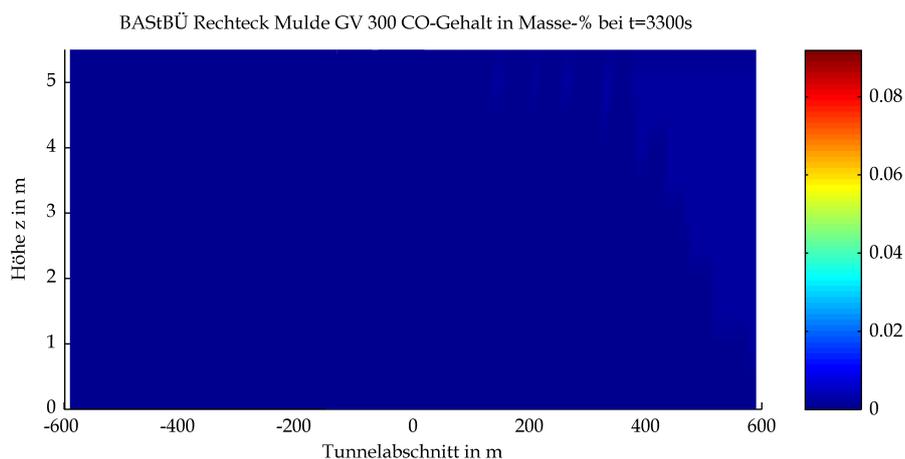
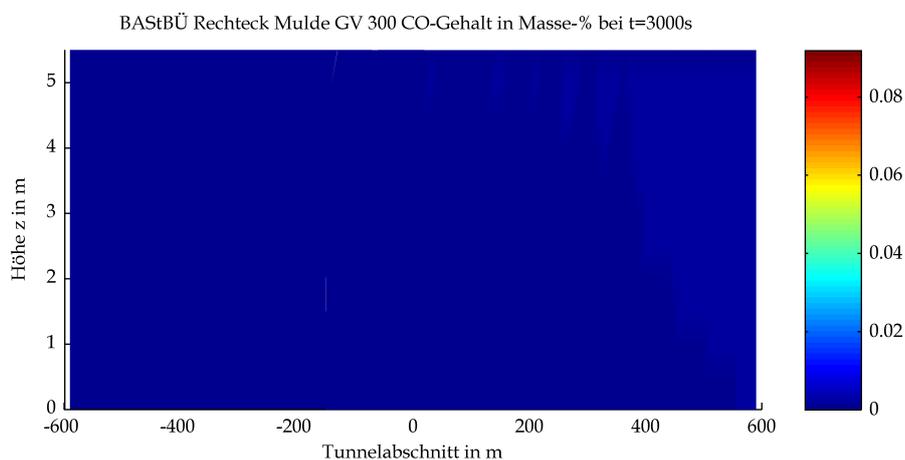
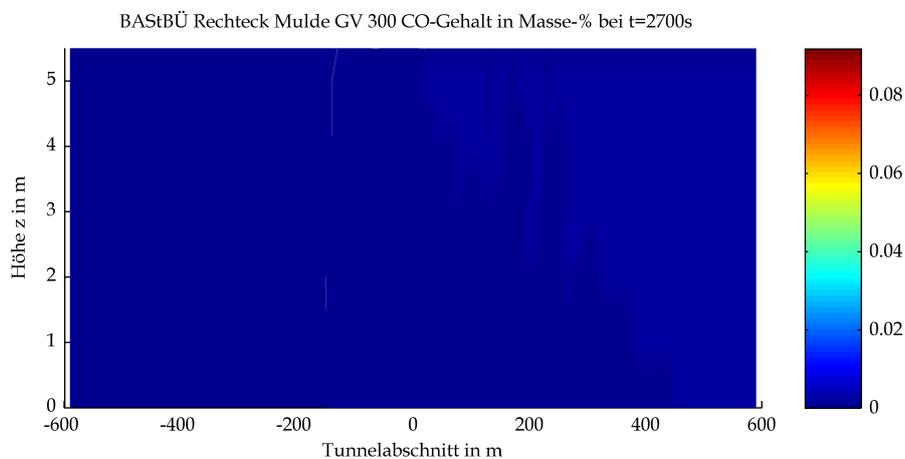
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



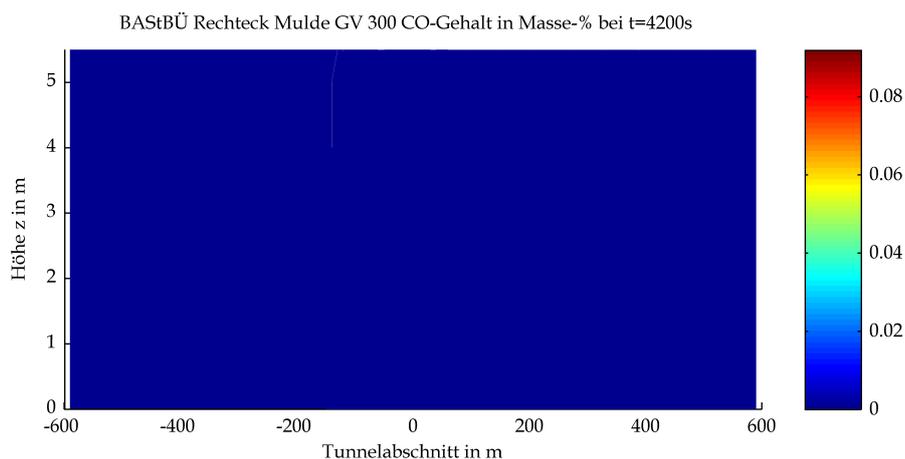
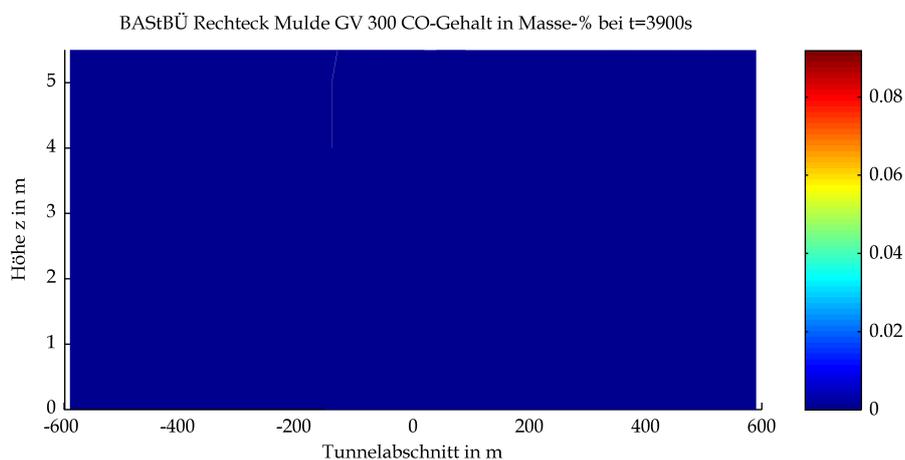
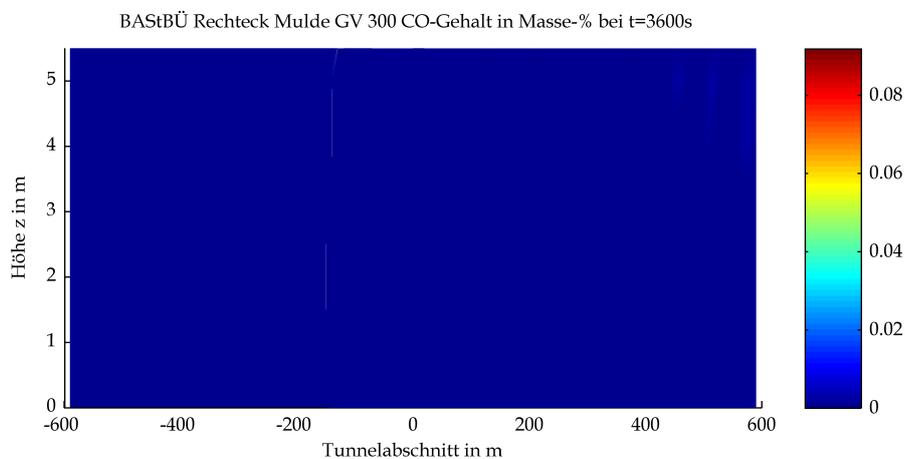
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



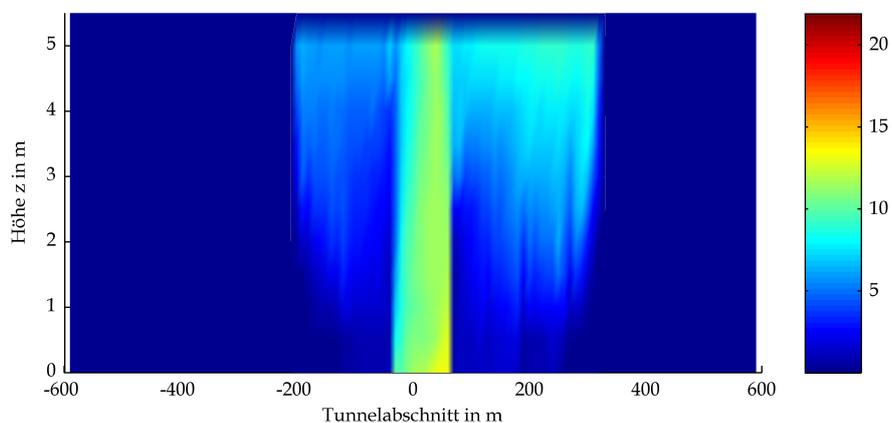
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



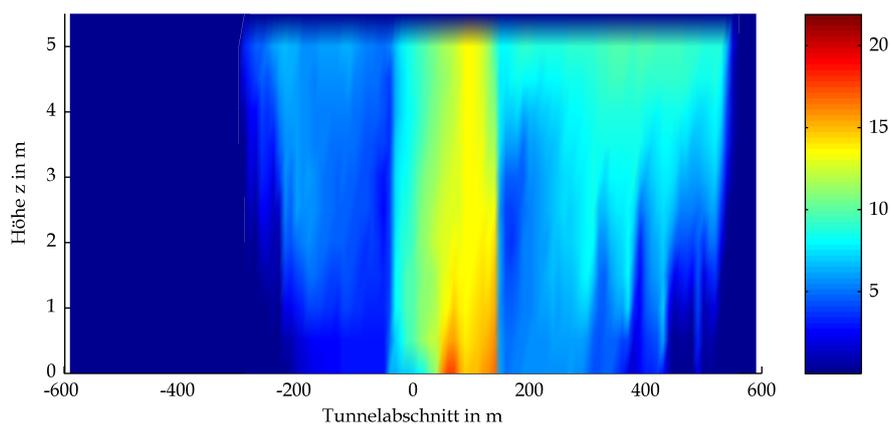
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte

8 Optische Dichte

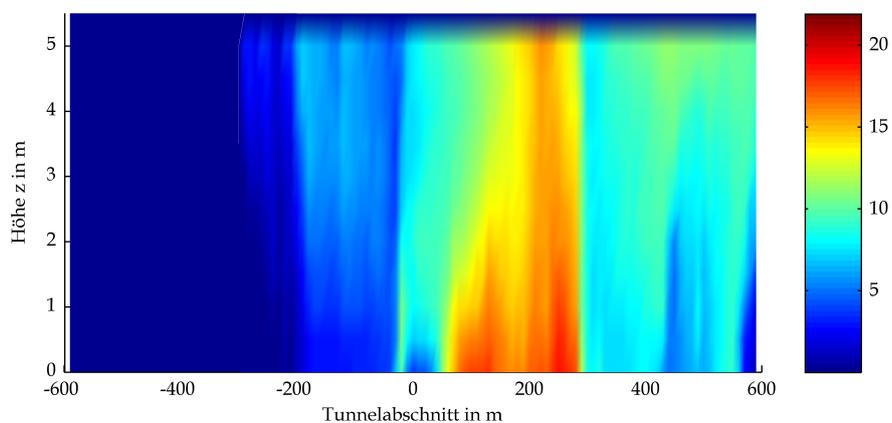
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei t=60s



BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei t=120s

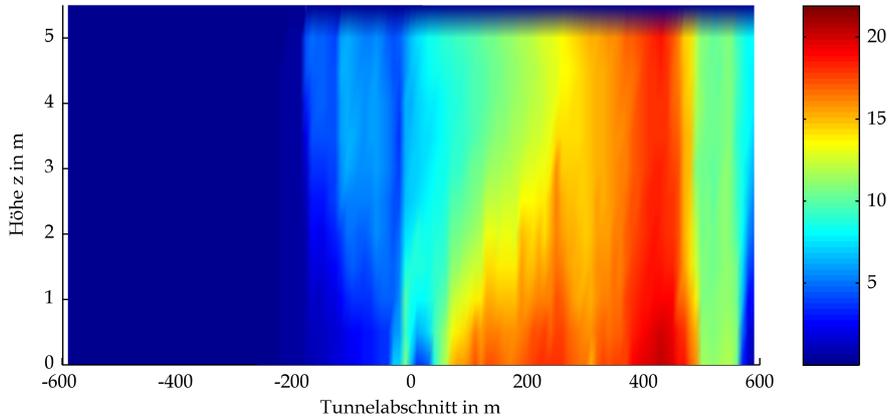


BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei t=180s

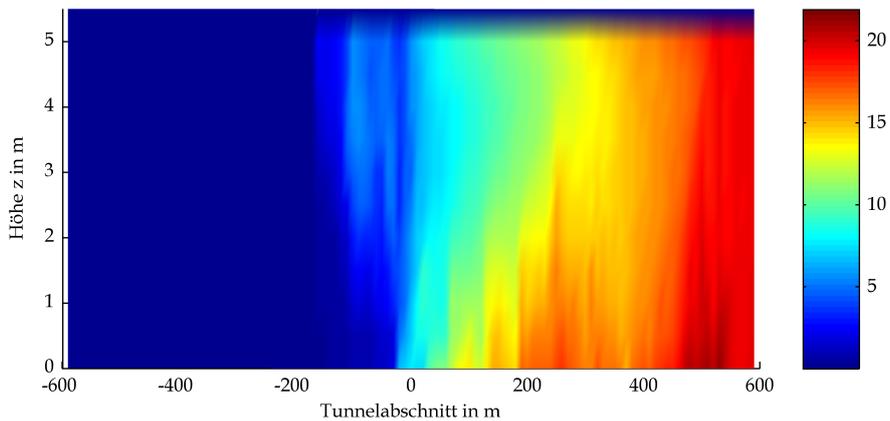


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

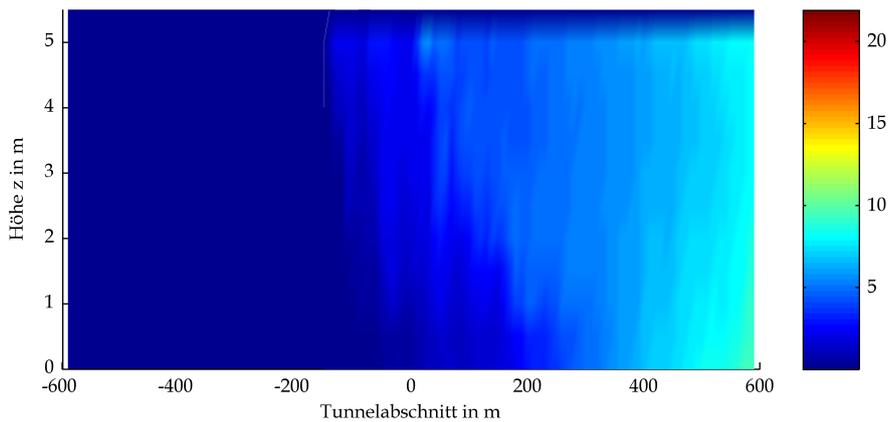
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei t=240s



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

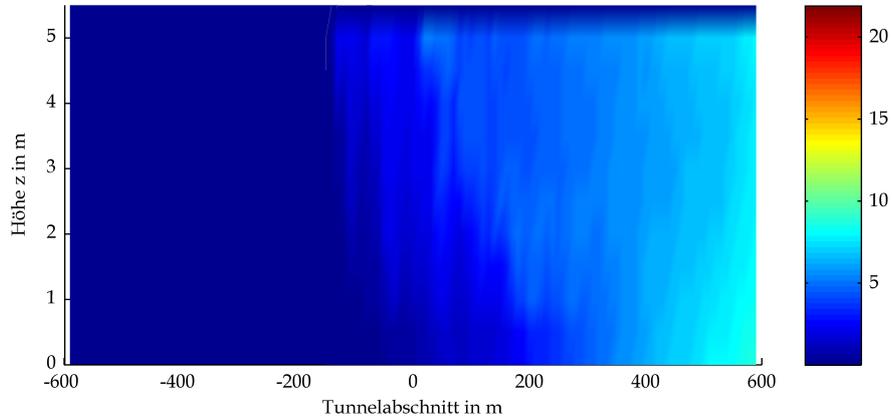


BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei t=600s

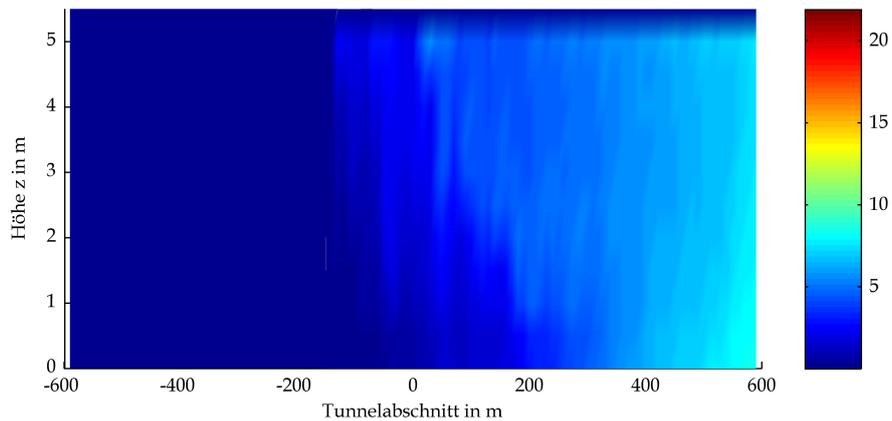


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

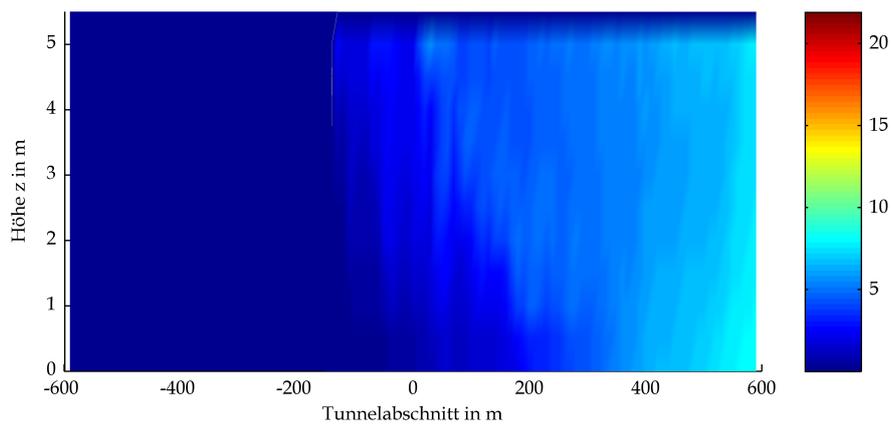
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei t=900s



BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei t=1200s

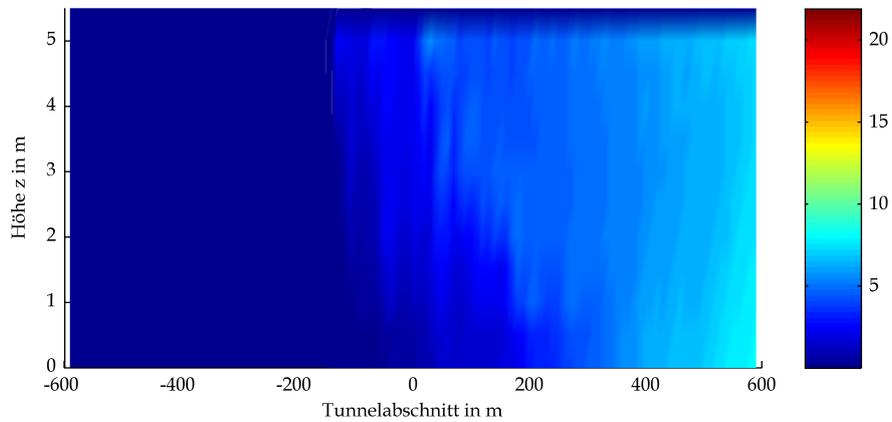


BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei t=1500s

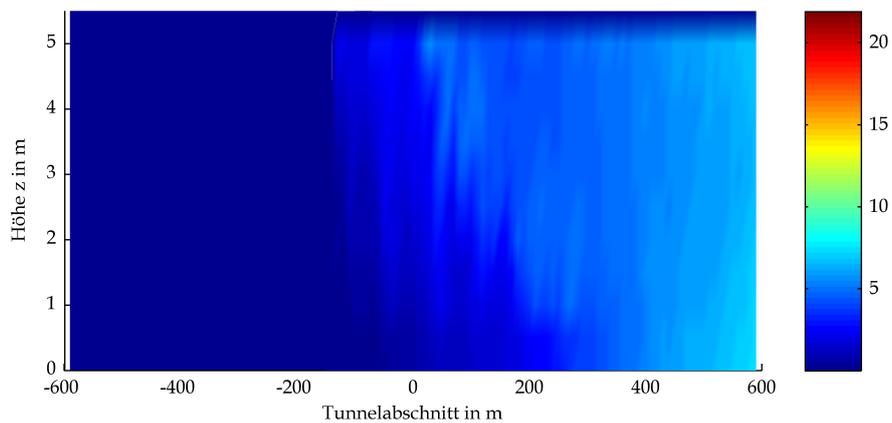


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

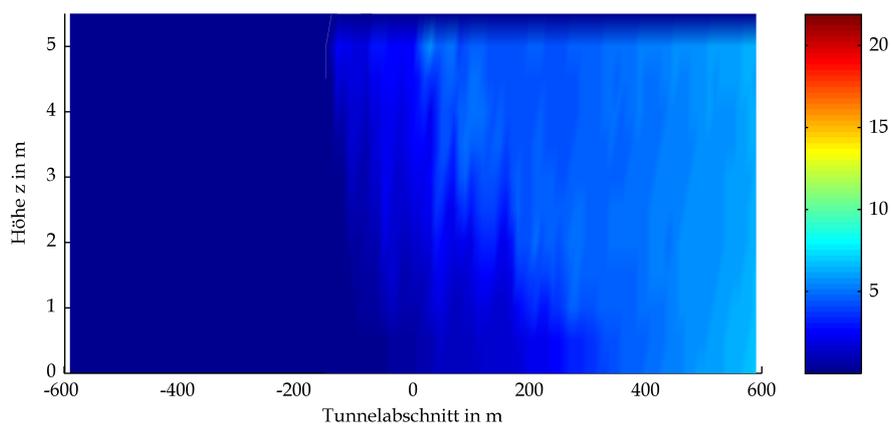
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei $t=1800s$



BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei $t=2100s$

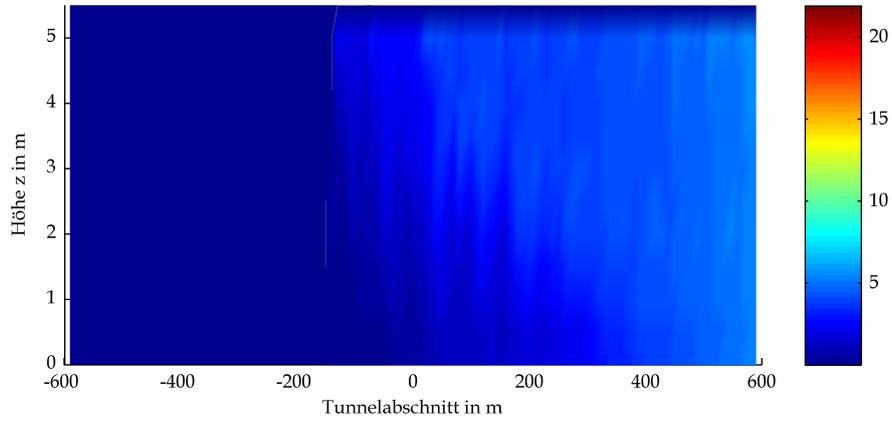


BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei $t=2400s$

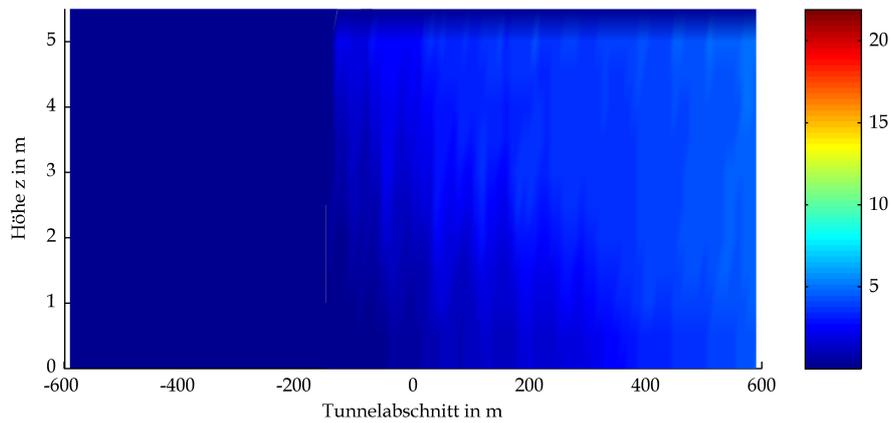


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

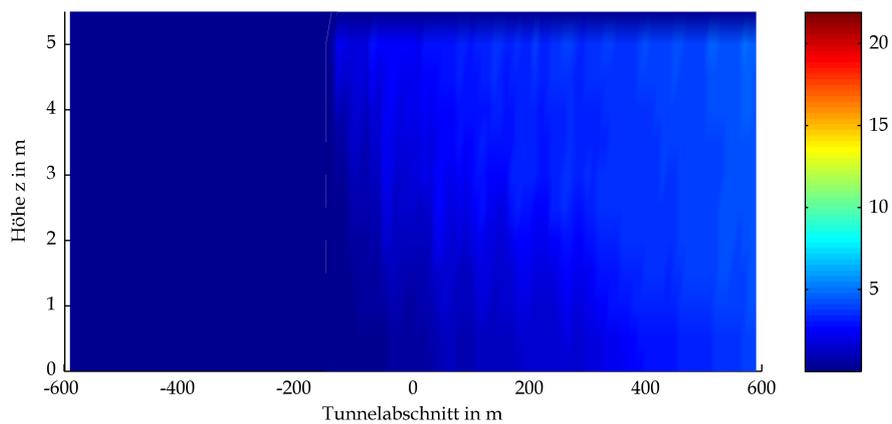
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei $t=2700s$



BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei $t=3000s$

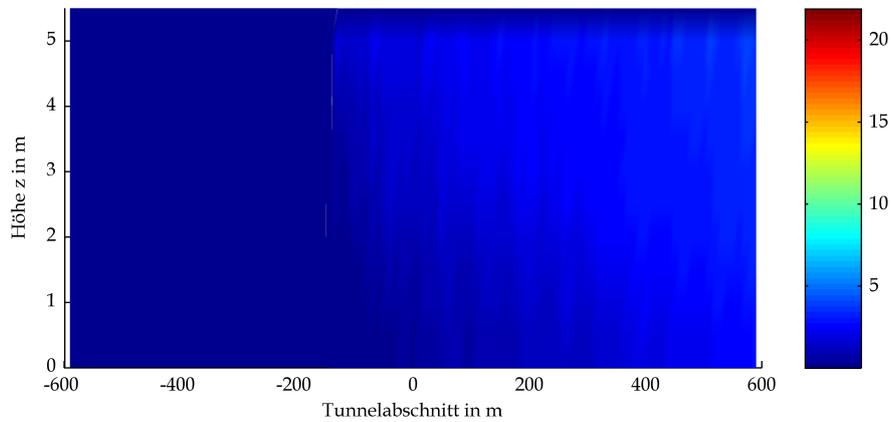


BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei $t=3300s$

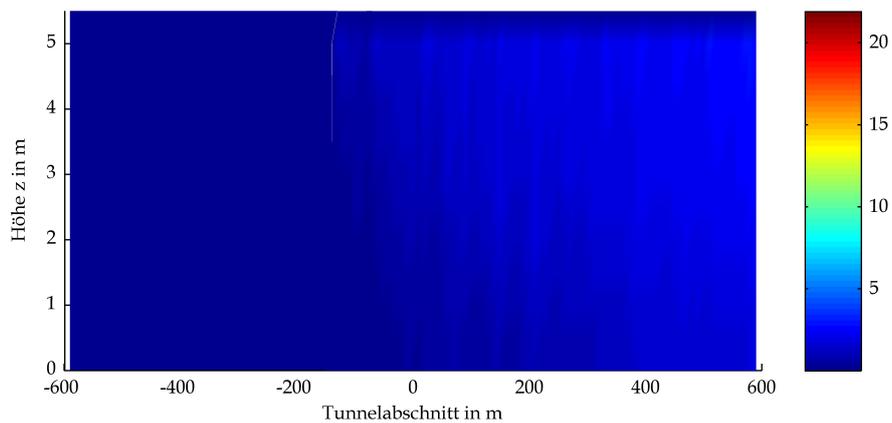


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

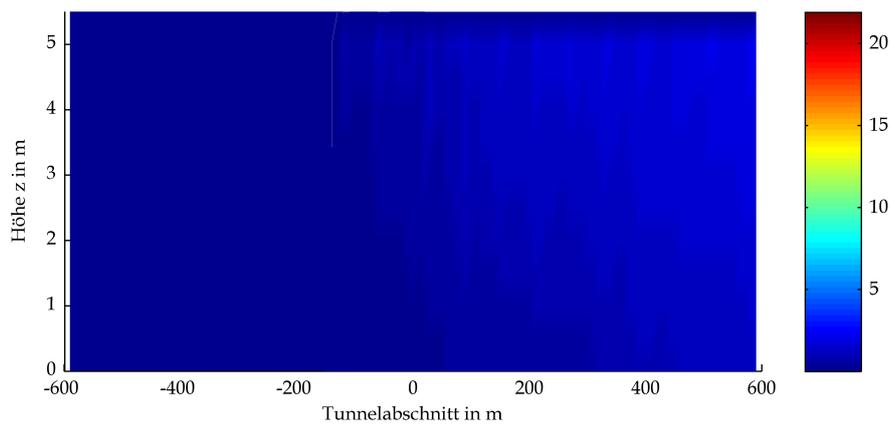
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei t=3600s



BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei t=3900s



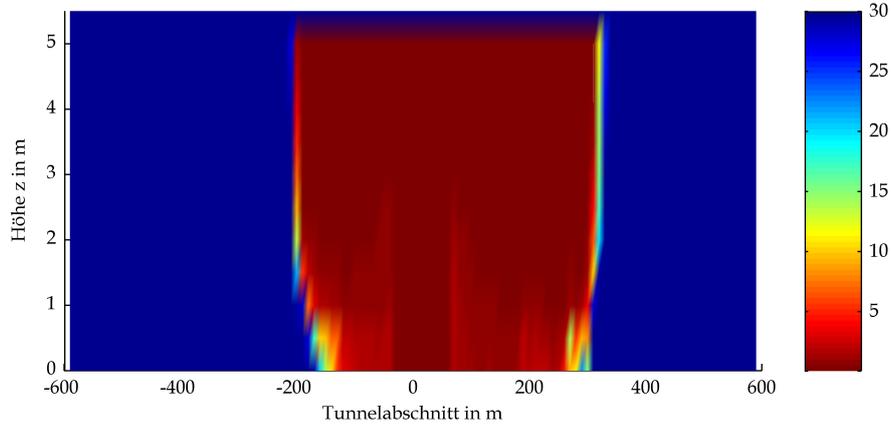
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Optische Dichte bei t=4200s



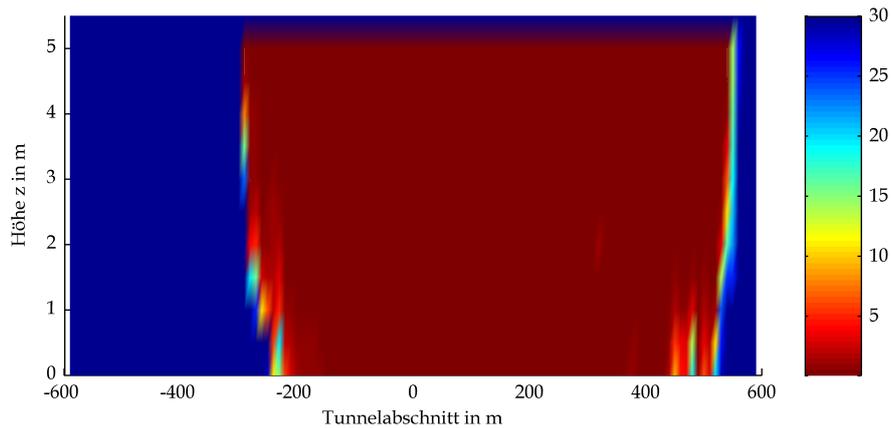
Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

9 Sichtweiten

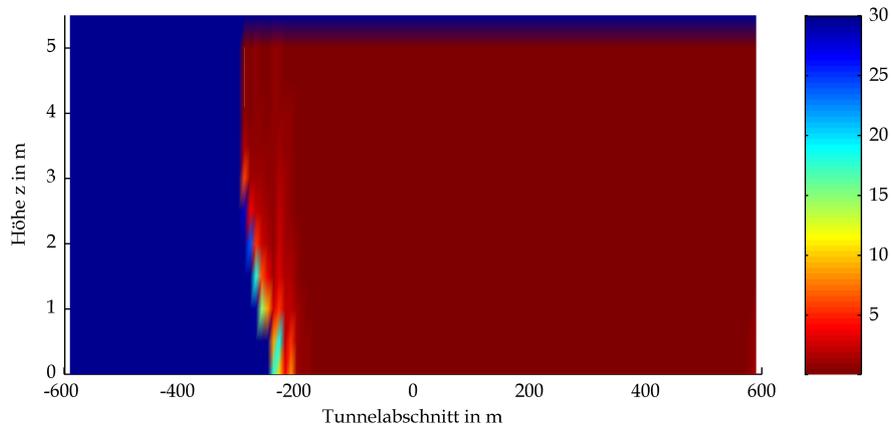
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Sichtbarkeit in m bei t=60s



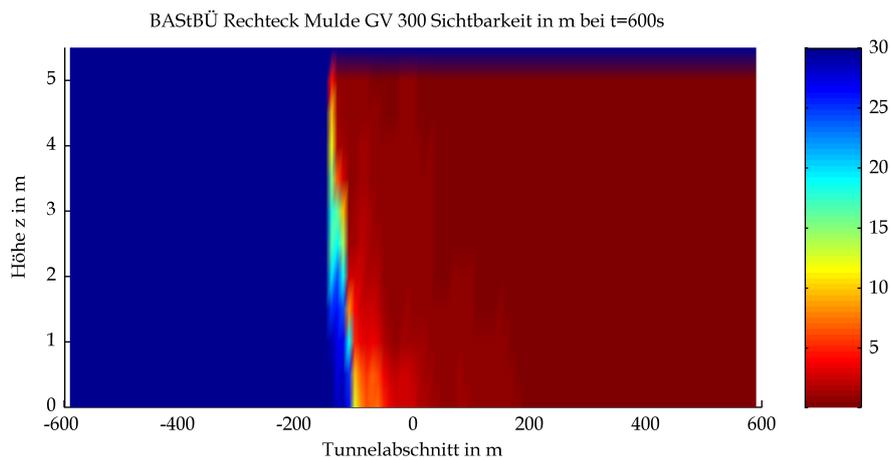
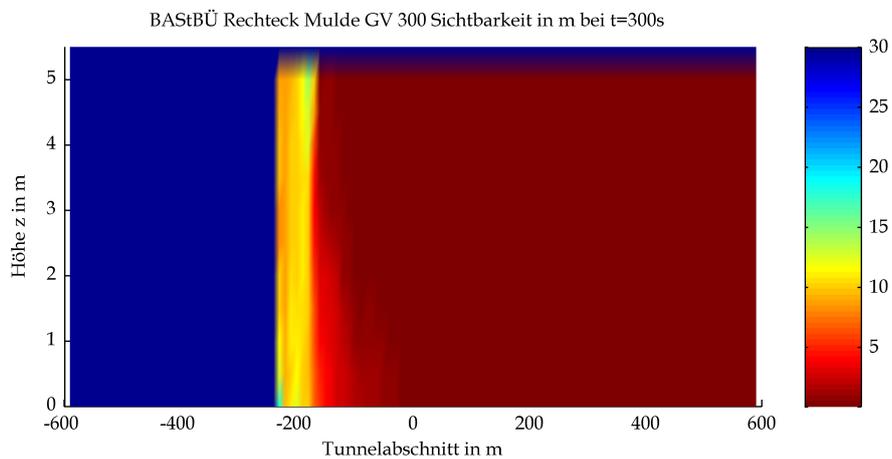
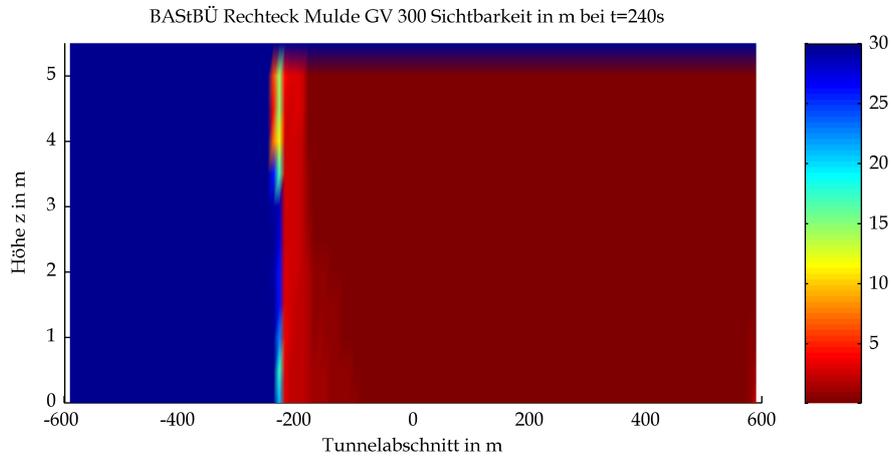
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Sichtbarkeit in m bei t=120s



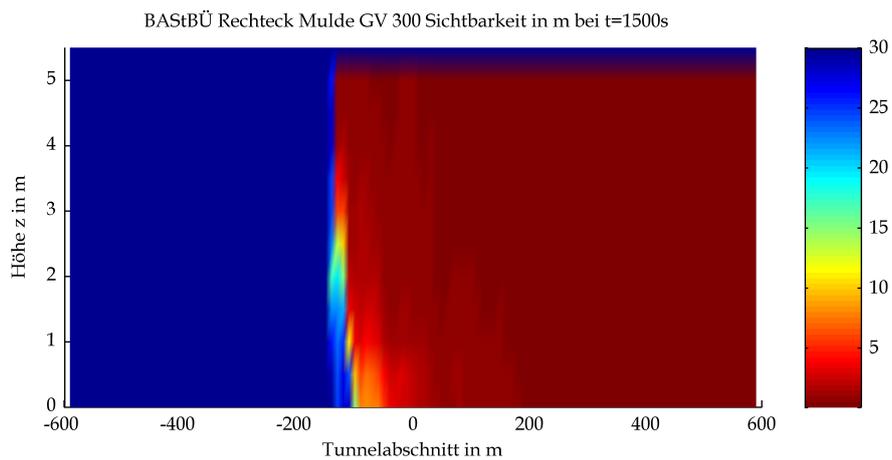
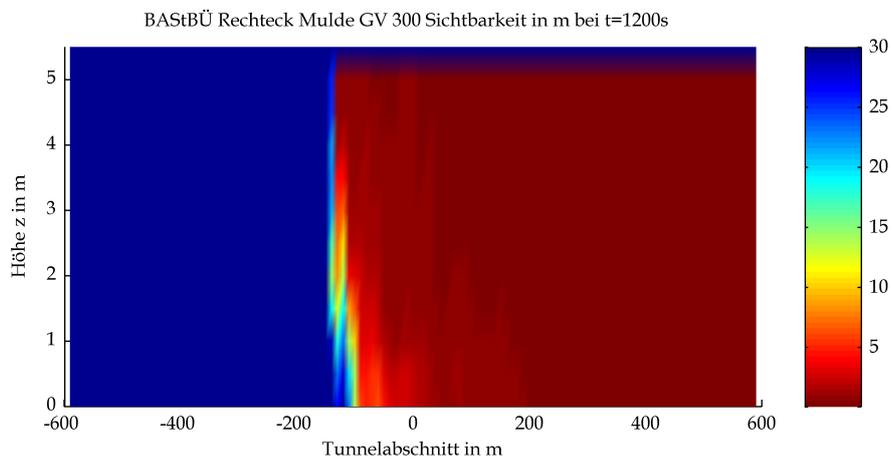
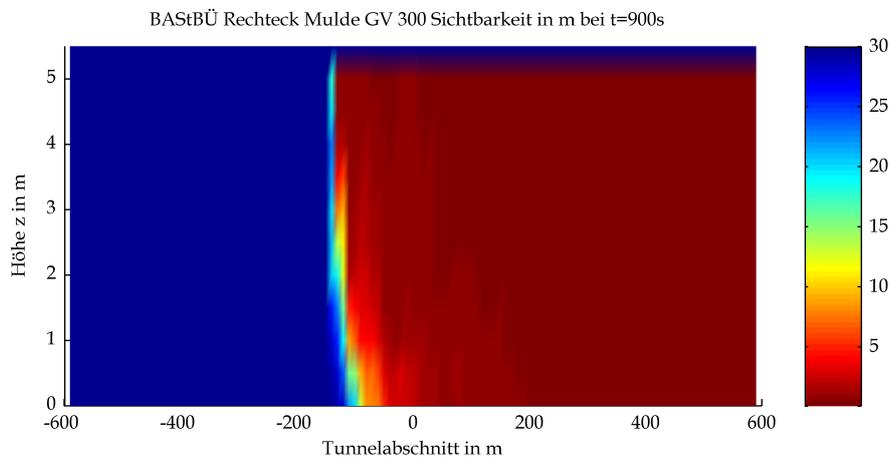
BASStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Sichtbarkeit in m bei t=180s



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

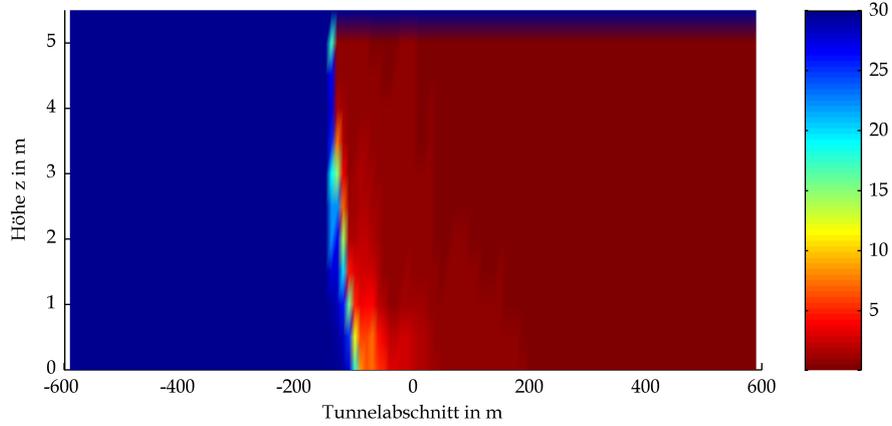


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

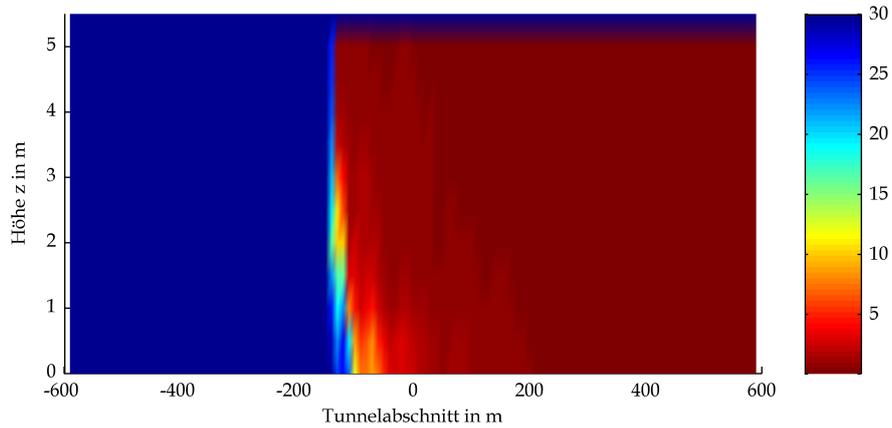


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

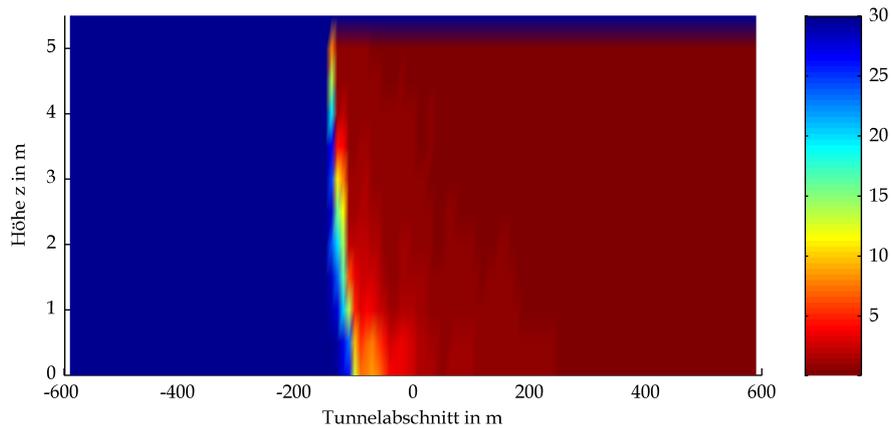
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Sichtbarkeit in m bei t=1800s



BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Sichtbarkeit in m bei t=2100s

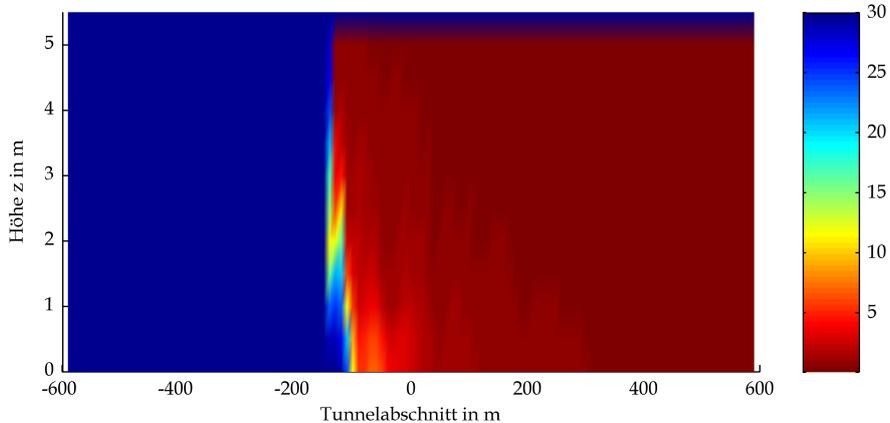


BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Sichtbarkeit in m bei t=2400s

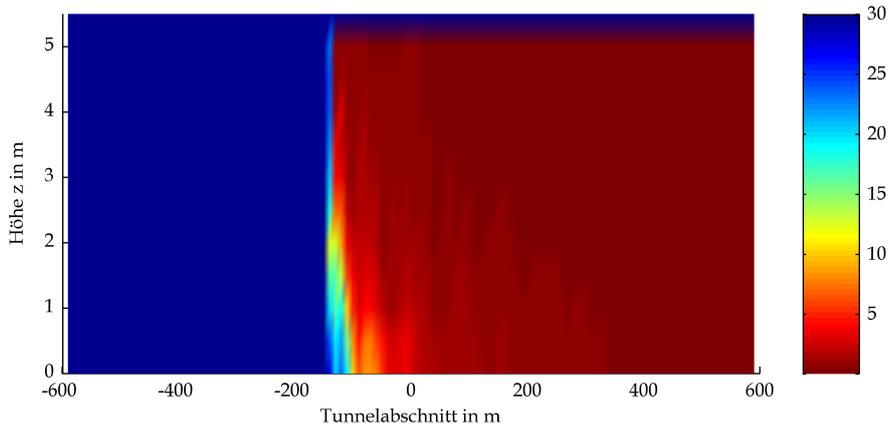


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

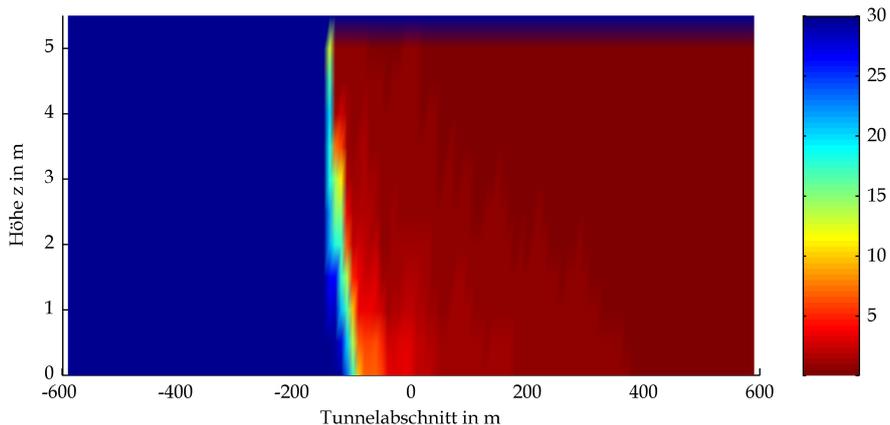
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Sichtbarkeit in m bei t=2700s



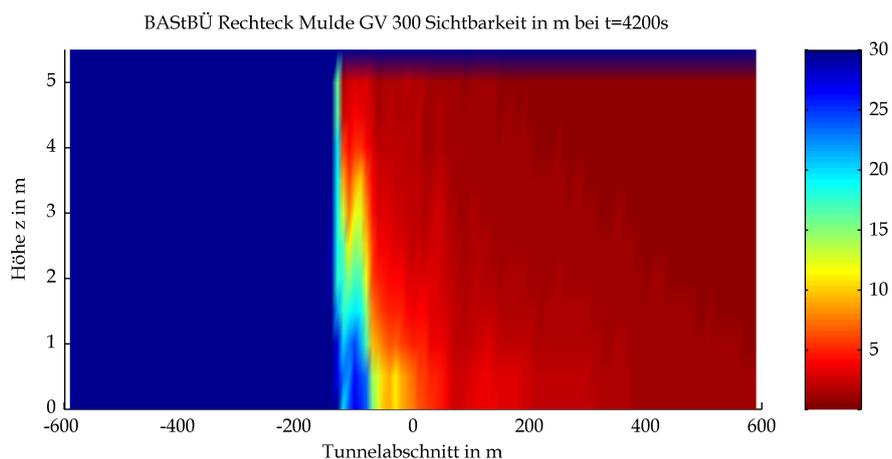
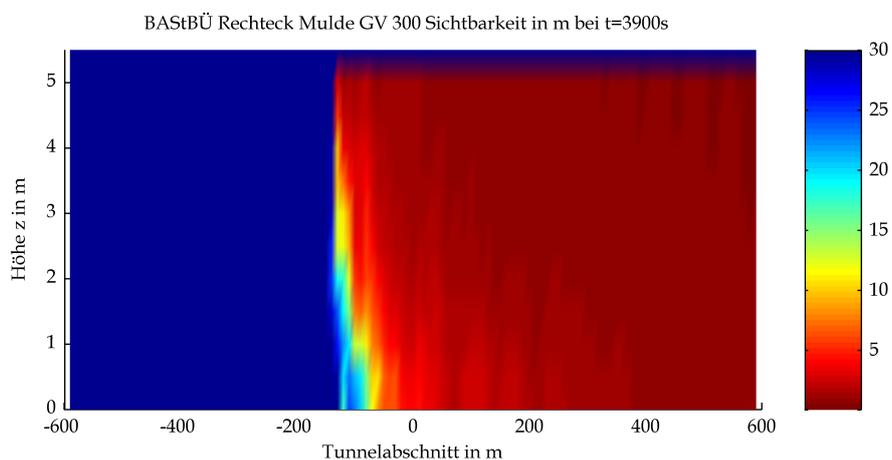
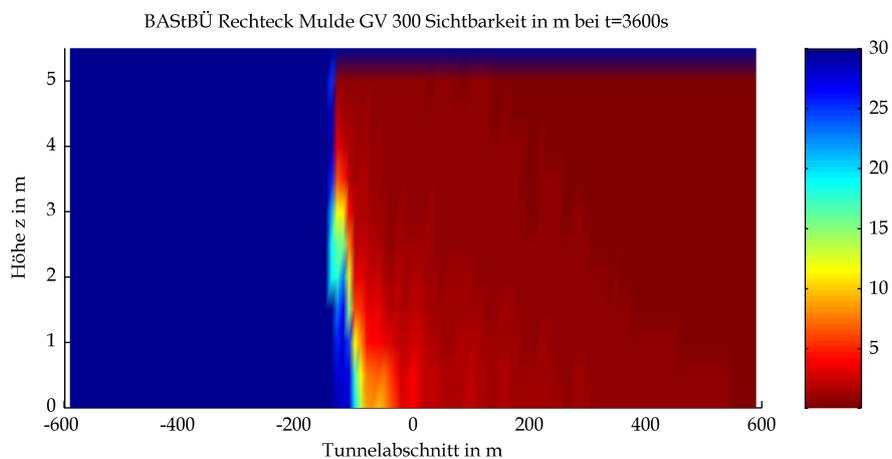
BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Sichtbarkeit in m bei t=3000s



BAStBÜ Rechteck Mulde GV 300 Sichtbarkeit in m bei t=3300s

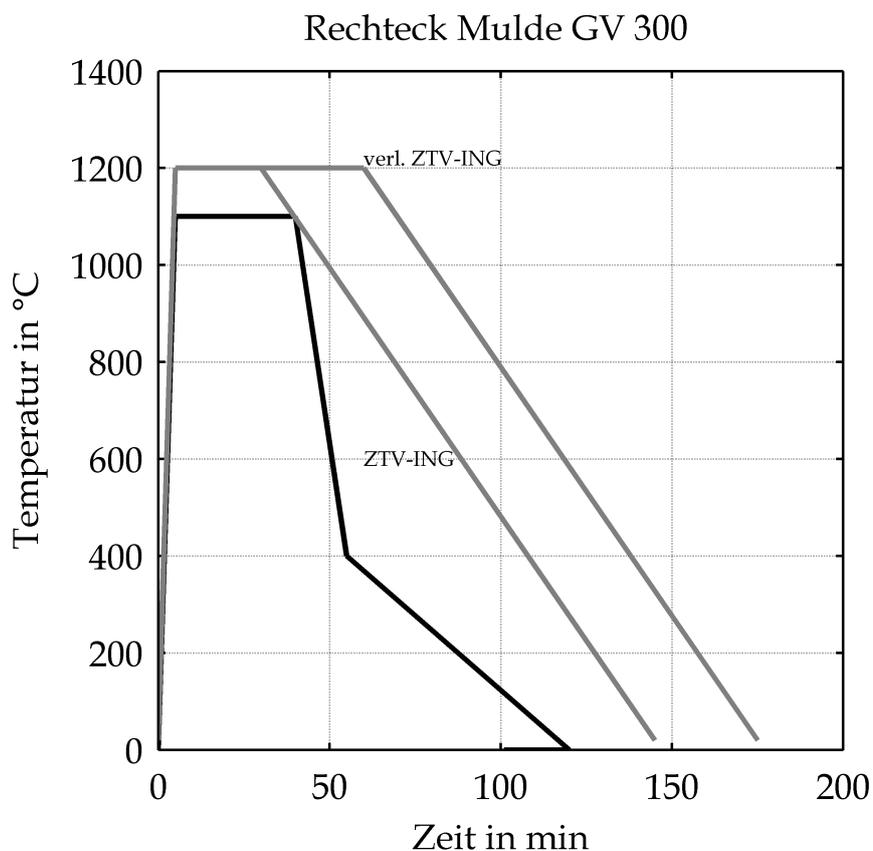


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



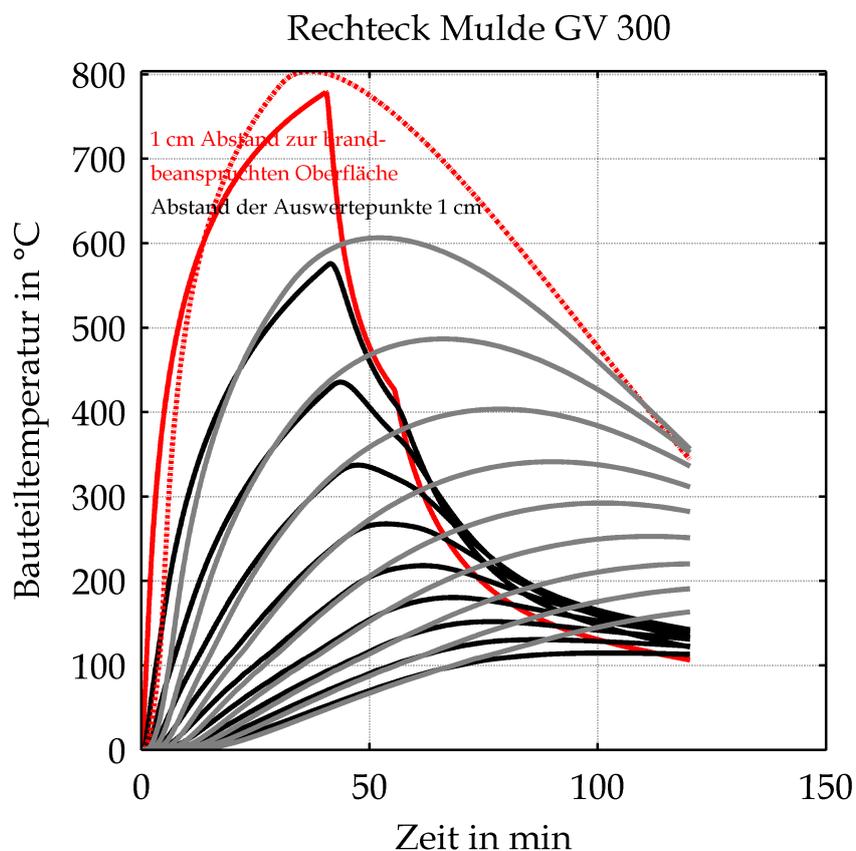
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

IV Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf



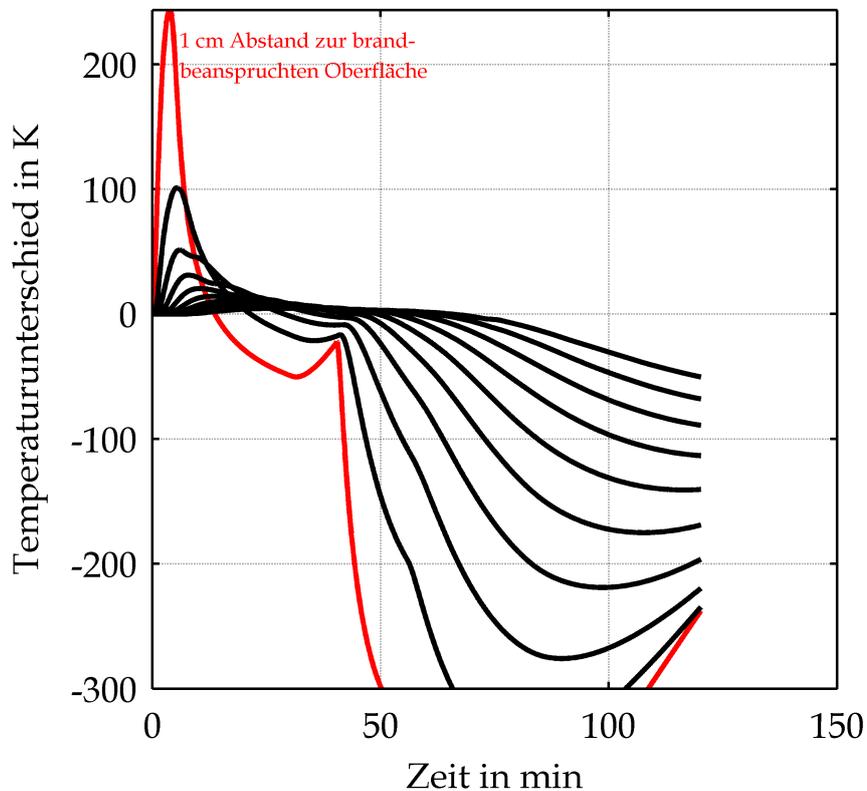
Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (schwarz) sowie Temperatur-Zeit-Verlauf nach ZTV-ING und RWS-Kurve (beide grau)

V Durchwärmungsverhalten



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

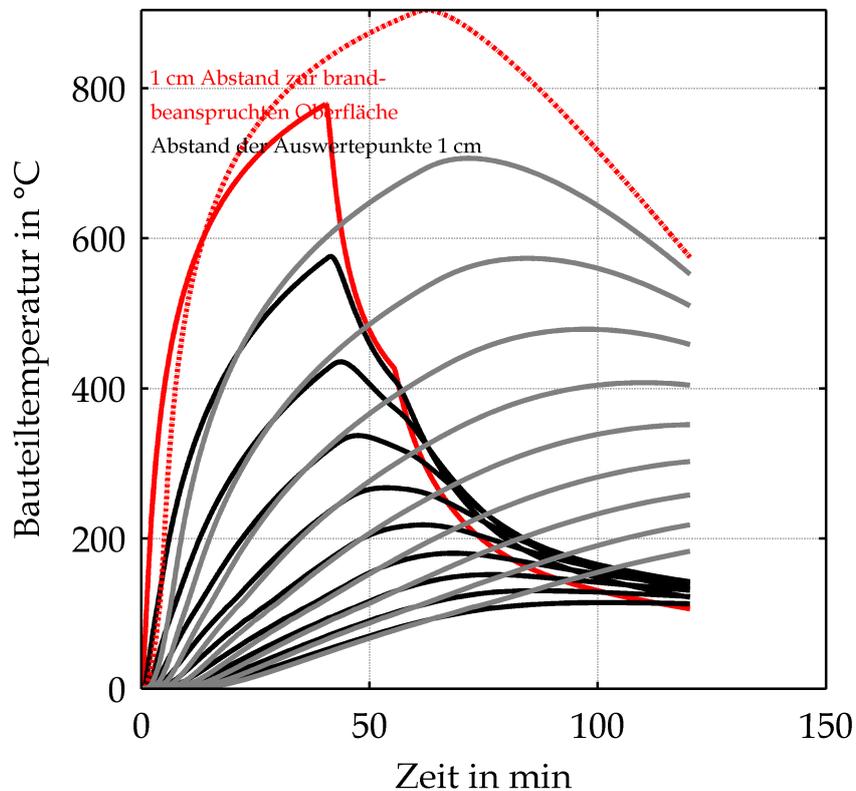
Rechteck Mulde GV 300



Abstand der Auswertpunkte 1 cm

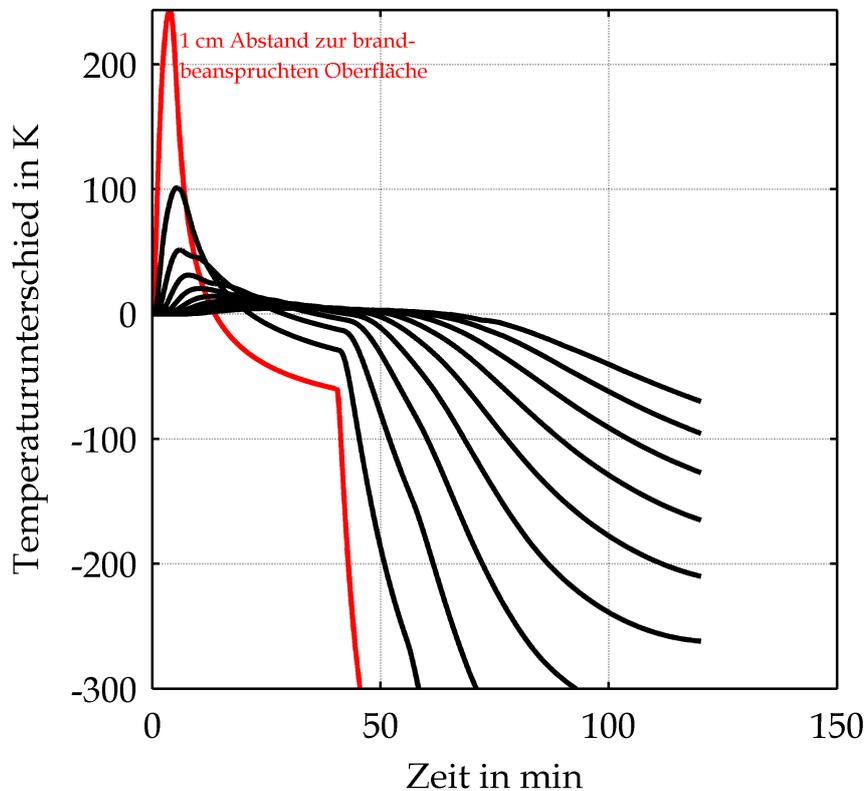
Temperaturdifferenz in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche zwischen den Bauteiltemperaturen infolge des bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf und der ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve

Rechteck Mulde GV 300



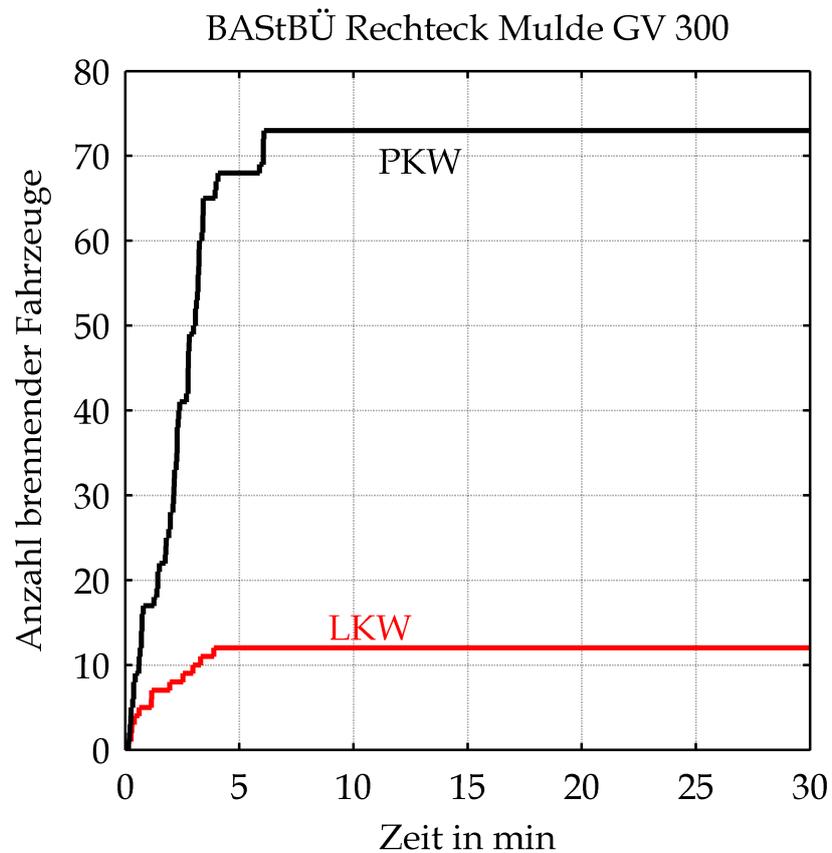
Bauteiltemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche für den bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf (rot und schwarz) und infolge verlängerter ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve (rot gestrichelt, grau)

Rechteck Mulde GV 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)