

BASt FE 86.0096/2014

Brandüberschlag in Straßentunneln

Anlage B4: Rechteck Mulde 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
--------------	--	---------

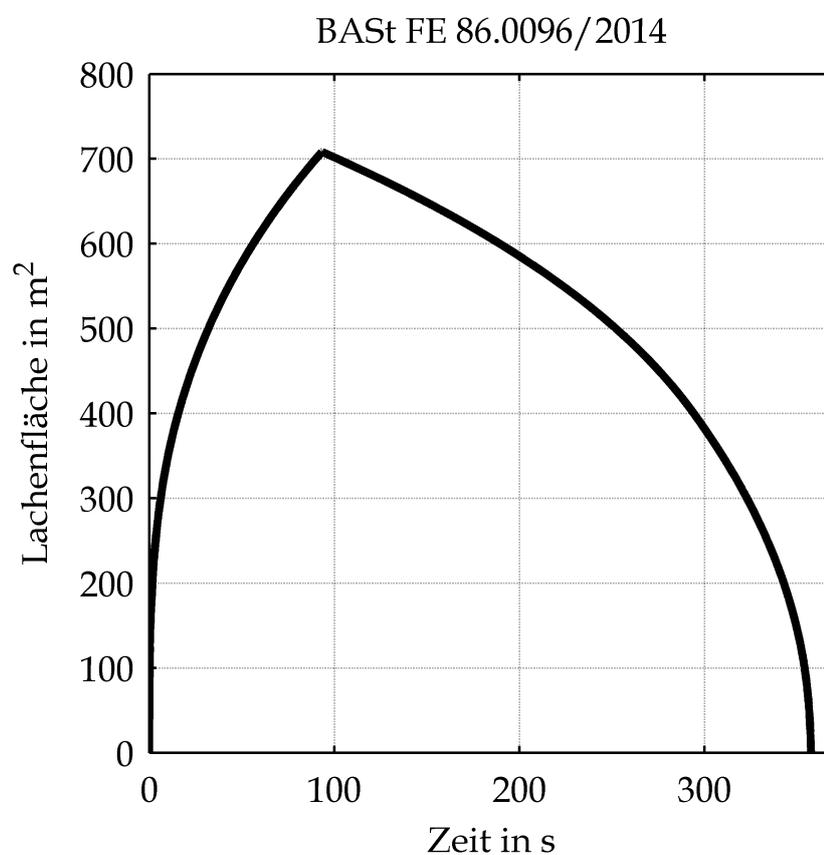
Intern geprüft:	Prof. Dr.-Ing. Frank Dehn
-----------------	---------------------------

Raum für Prüfeintragungen:

I Gesamtinhaltsverzeichnis

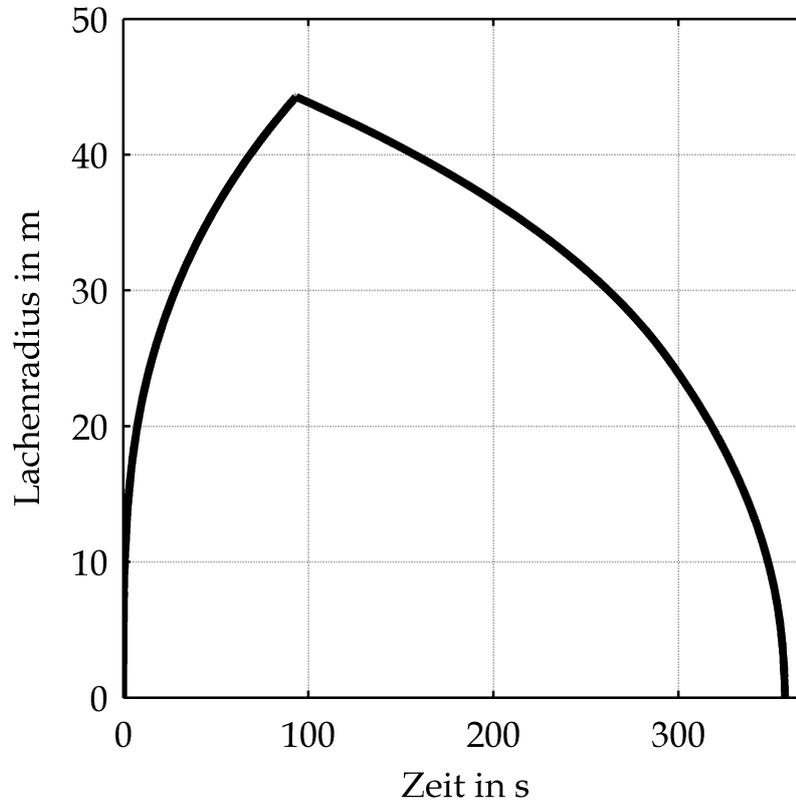
II Ermittlung der Lachengeometrie unter Berücksichtigung der Ventilation	2
III Berechnungsergebnisse	14
1 Energien und Bauteiltemperaturen	14
2 Wärmestrahlung an der Tunneldecke	22
3 Gastemperaturen	28
4 Gasgeschwindigkeiten	34
5 Sauerstoffgehalt	40
6 Kohlendioxidgehalt	46
7 Kohlenmonoxidgehalt	52
8 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

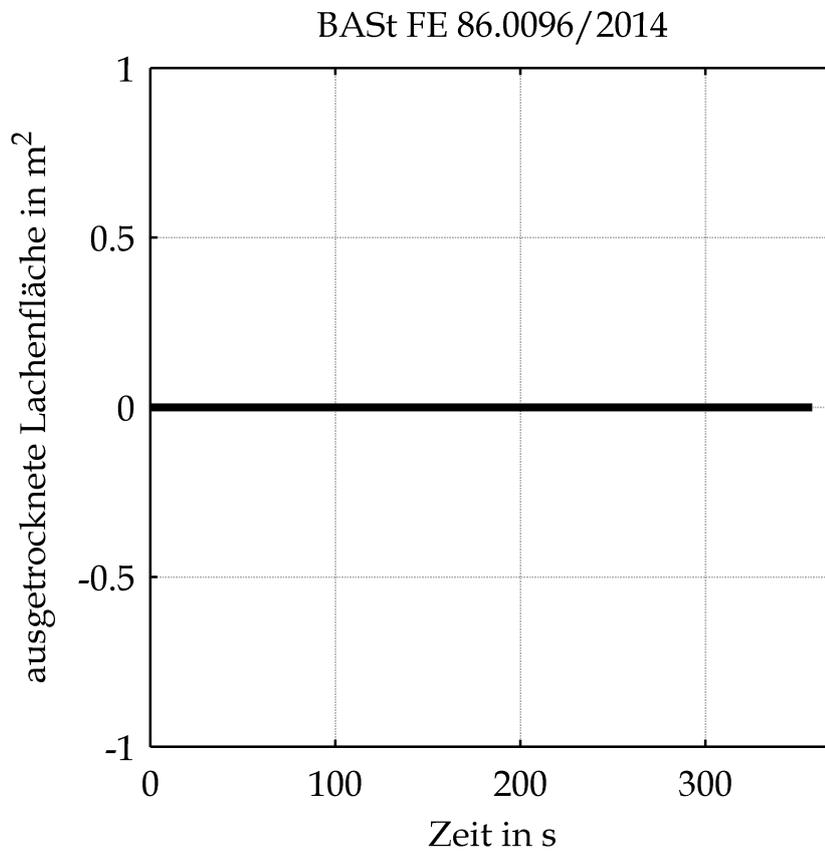


Fläche der Lache in Abhängigkeit von der Zeit

BAS_t FE 86.0096/2014

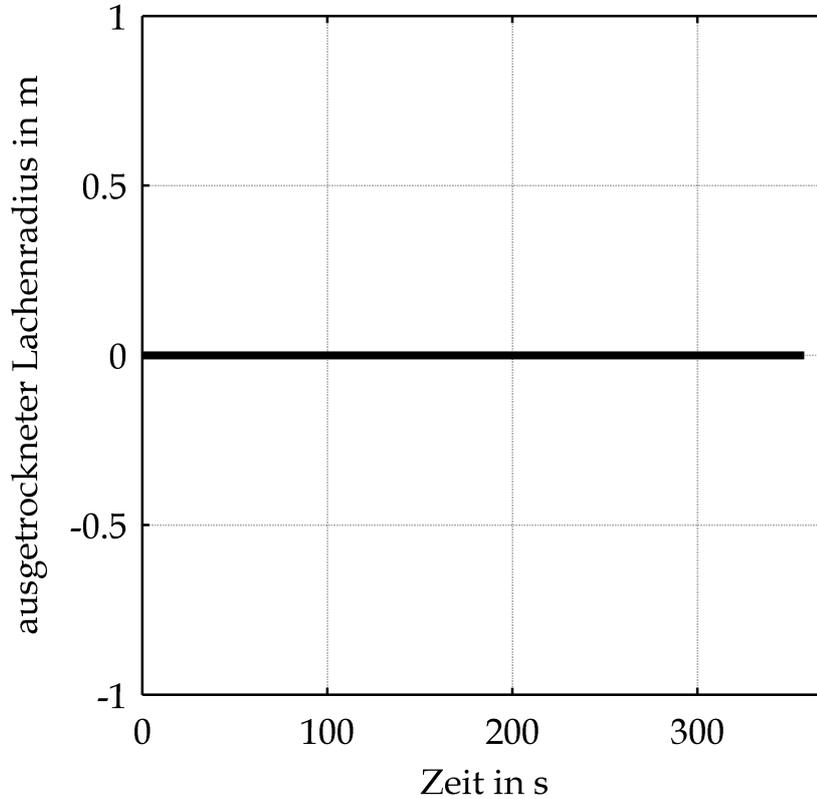


Radius der Lache in Abhängigkeit von der Zeit



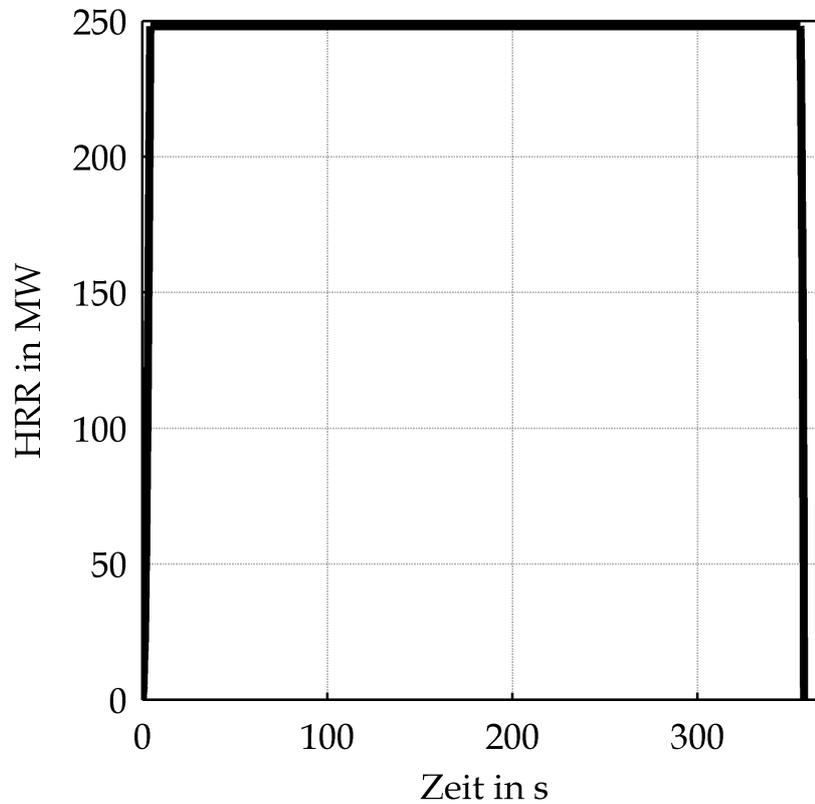
Fläche der ausgetrockneten Lache in Abhängigkeit von der Zeit

BASt FE 86.0096/2014



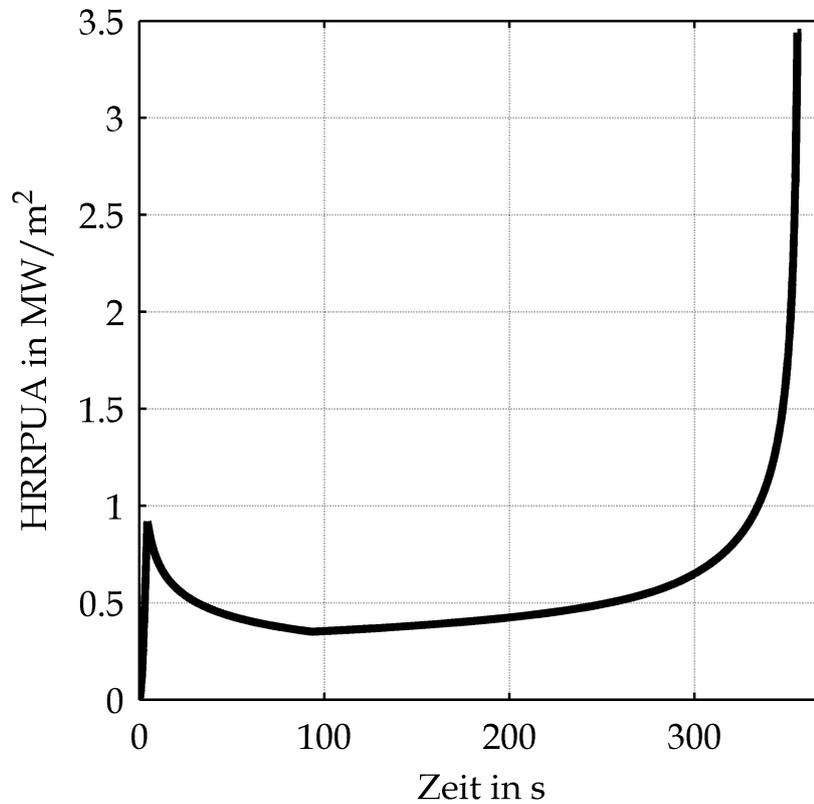
Radius der ausgetrockneten Lache in Abhängigkeit von der Zeit

BAS_t FE 86.0096/2014



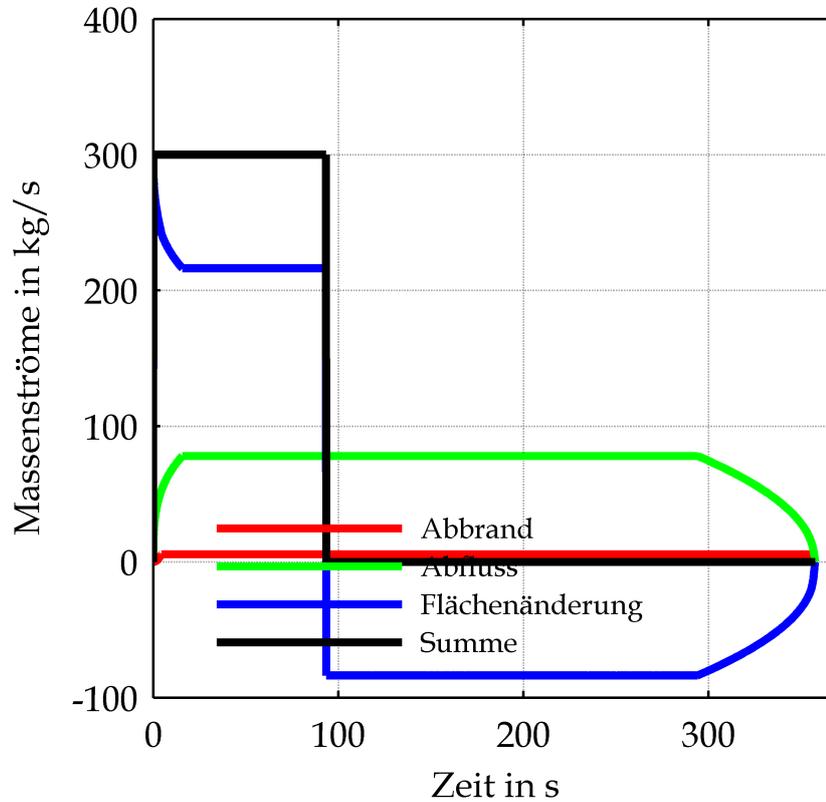
Wärmefreisetzungsrate (HRR) in Abhängigkeit von der Zeit

BASSt FE 86.0096/2014



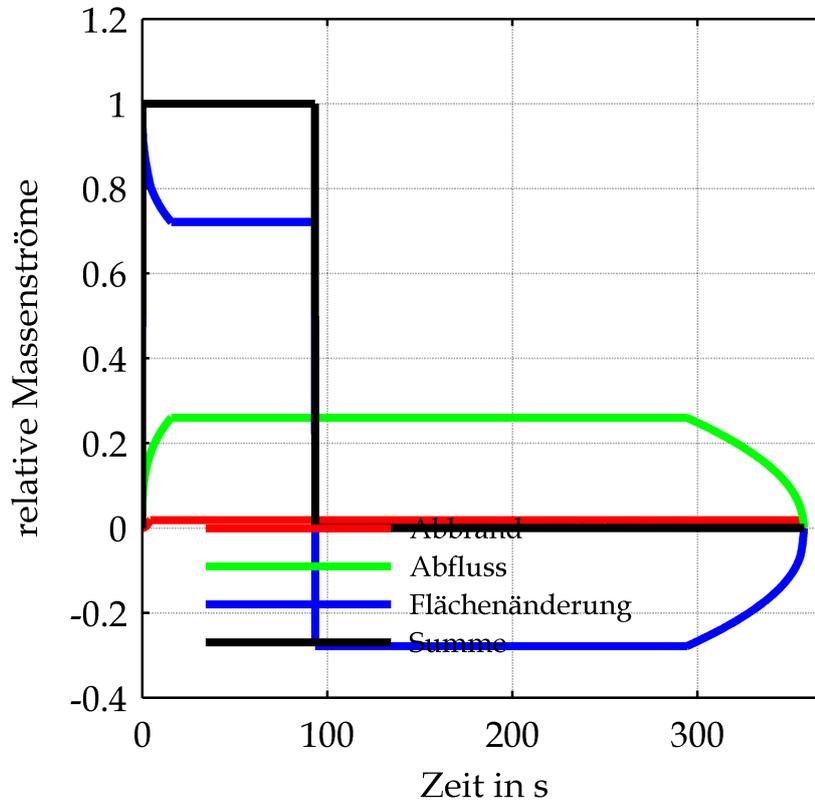
Wärmefreisetzungsrate pro Flächeneinheit (HRRPUA)
in Abhängigkeit von der Zeit

BASSt FE 86.0096/2014



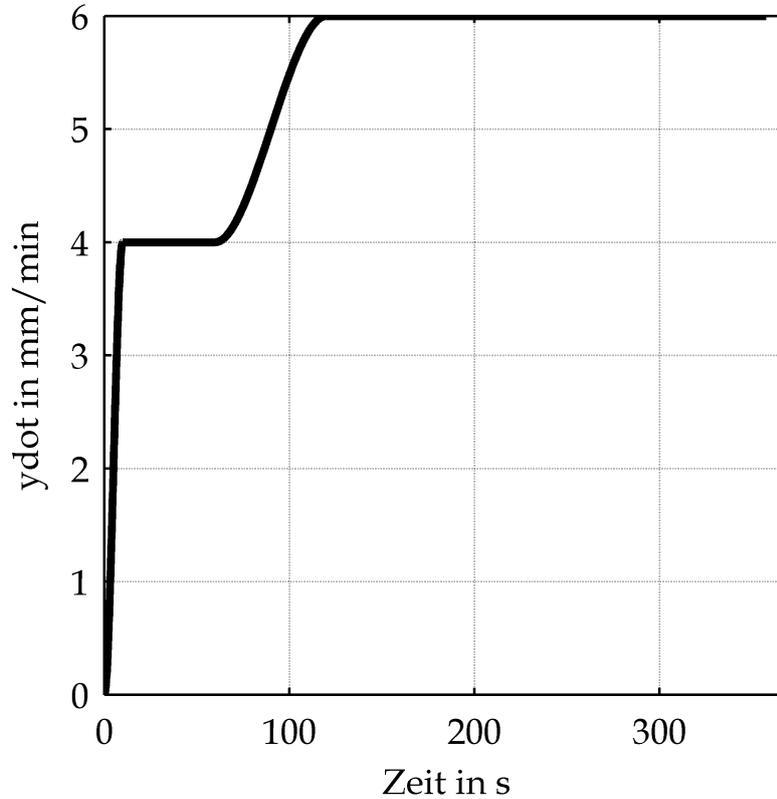
Gesamtübersicht der Massenströme in Abhängigkeit von der Zeit

BASSt FE 86.0096/2014



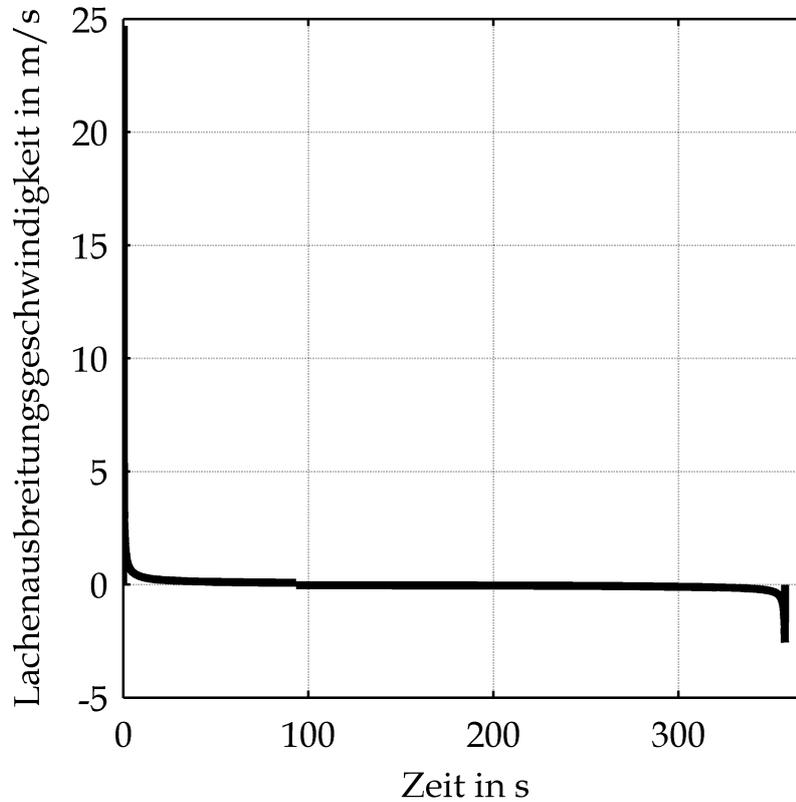
Gesamtübersicht der auf die austretende Flüssigkeit bezogenen Massenströme in Abhängigkeit von der Zeit

BASSt FE 86.0096/2014

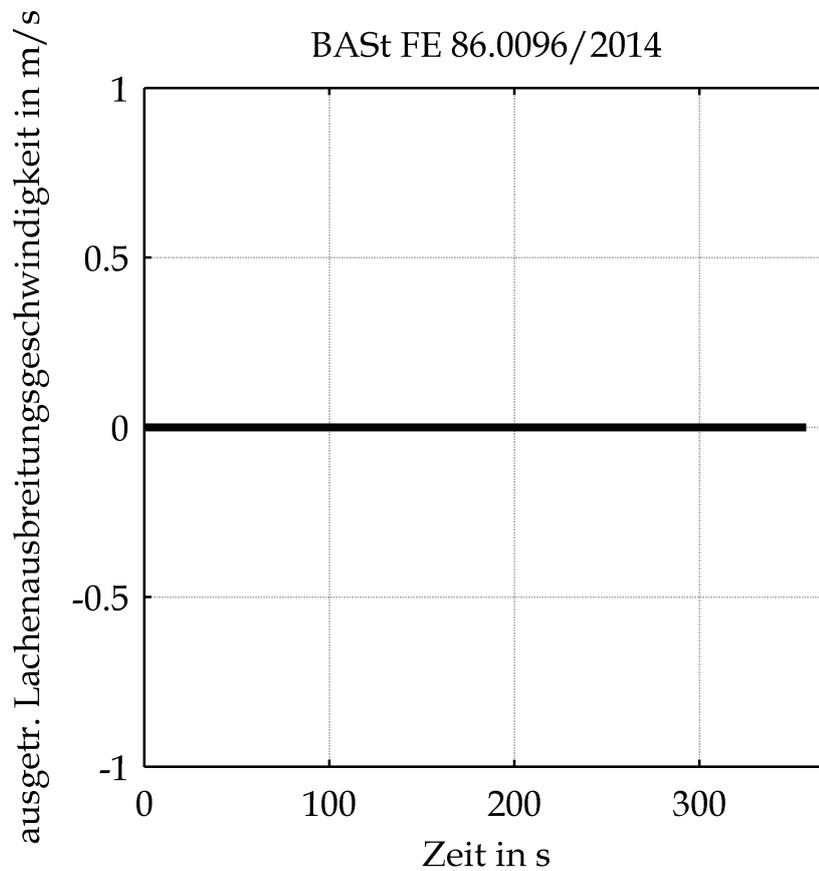


Vorgegebene Abbrandgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit

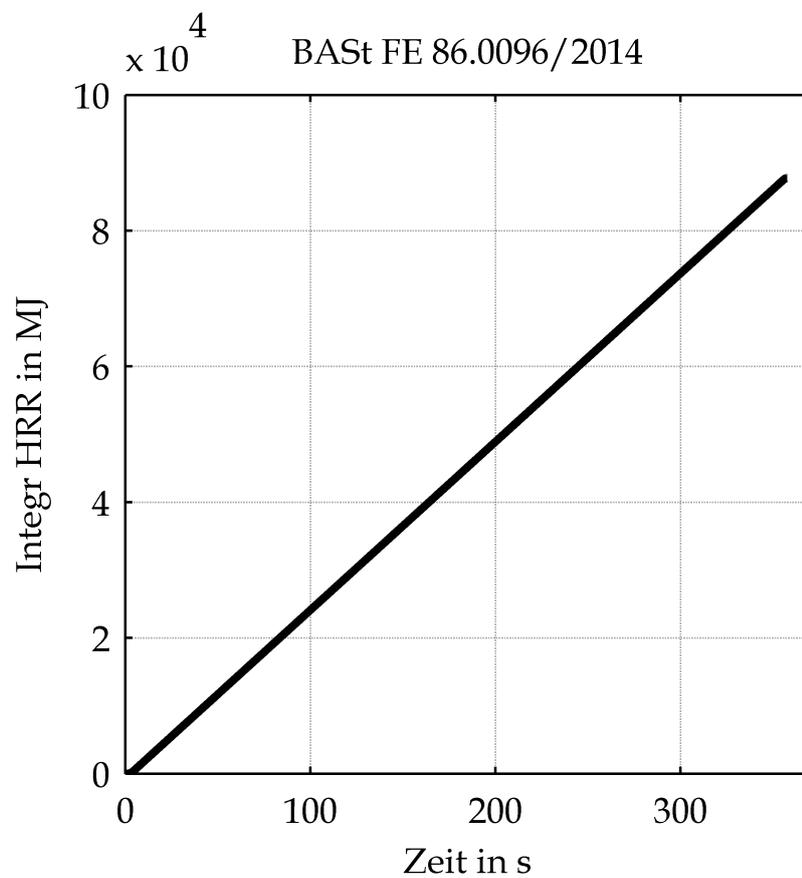
BASt FE 86.0096/2014



Ausbreitungsgeschwindigkeit der Lache in Abhängigkeit von der Zeit



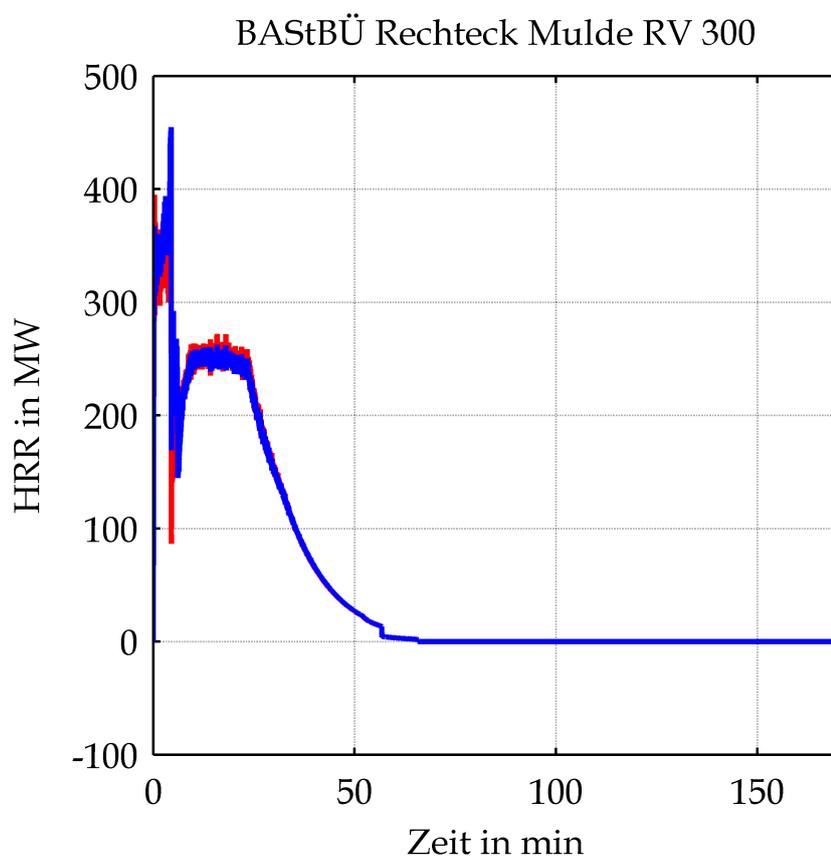
Austrocknungsgeschwindigkeit der Lache in
Abhängigkeit von der Zeit



Freigesetzte Gesamtenergie in Abhängigkeit von der
Zeit

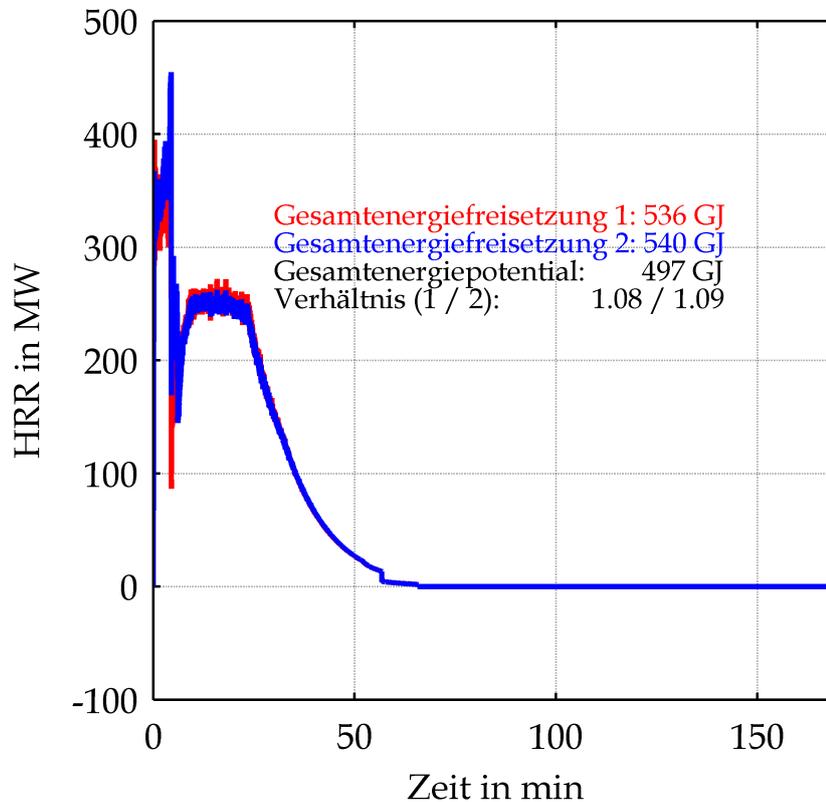
III Berechnungsergebnisse

1 Energien und Bauteiltemperaturen



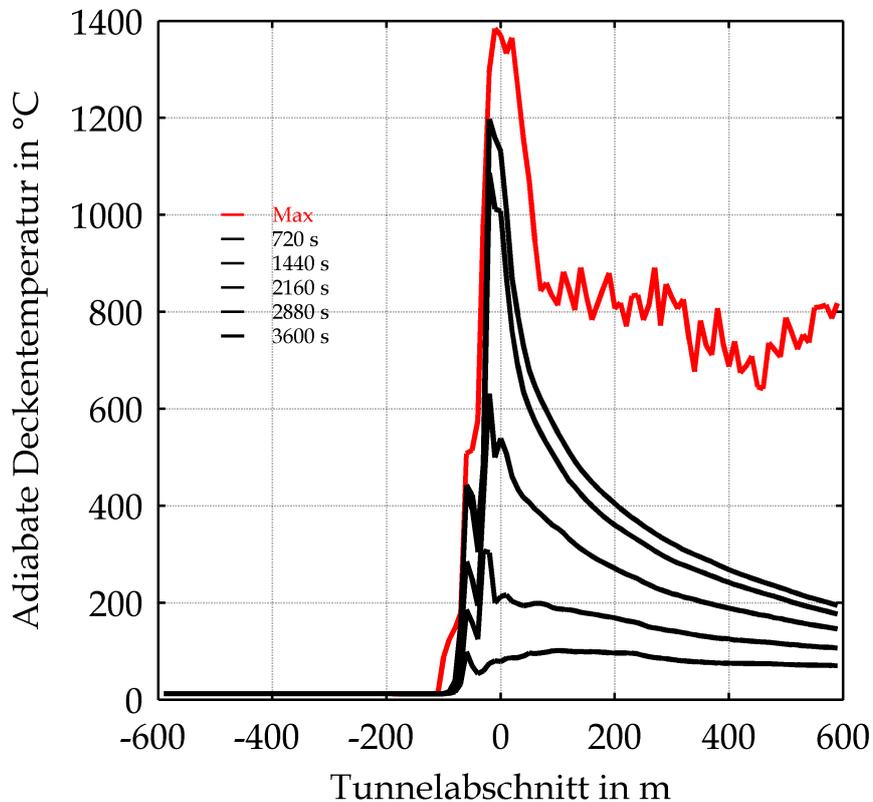
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Wärmefreisetzungsrate in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Integral der Energiedichte; blau: Energieverluste an den Modellgrenzen)

BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300

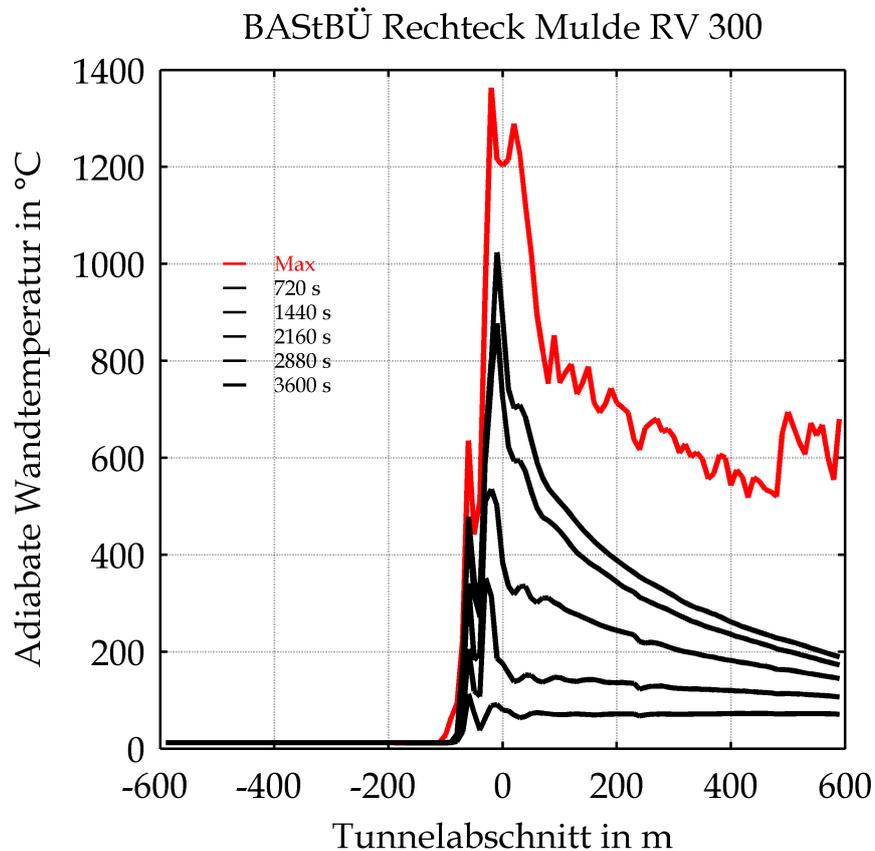


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Wärmefreisetzungsrate in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Integral der Energiedichte; blau: Energieverluste an den Modellgrenzen) sowie Vergleich der Gesamtenergiefreisetzung mit dem Gesamtenergiepotential

BASStBÜ Rechteck Mulde RV 300

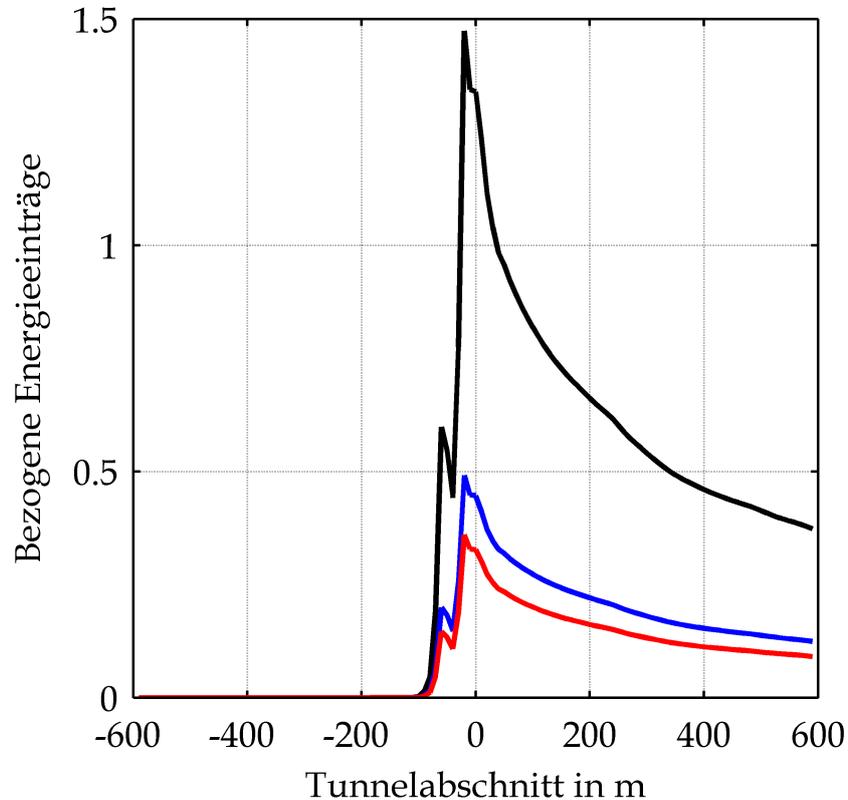


Mittels CFD-Berechnung ermittelte adiabate Deckentemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Maximalwerte, schwarz: Temperaturen in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer)

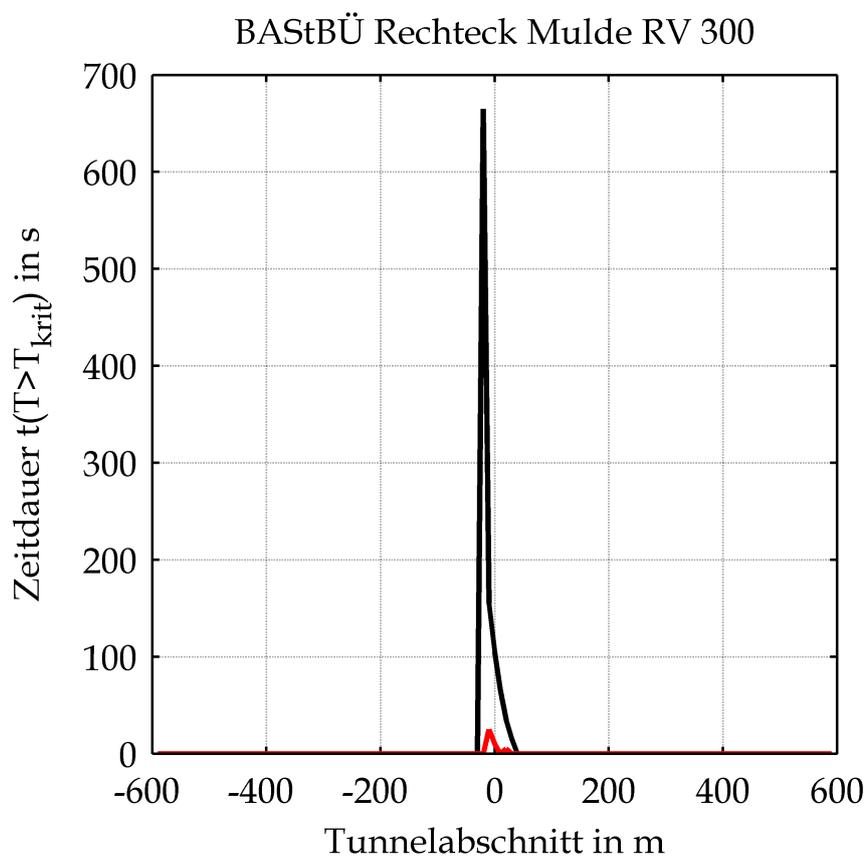


Mittels CFD-Berechnung ermittelte adiabate Wandtemperaturen in 3 m Höhe in Abhängigkeit von der Zeit unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (rot: Maximalwerte, schwarz: Temperaturen in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer)

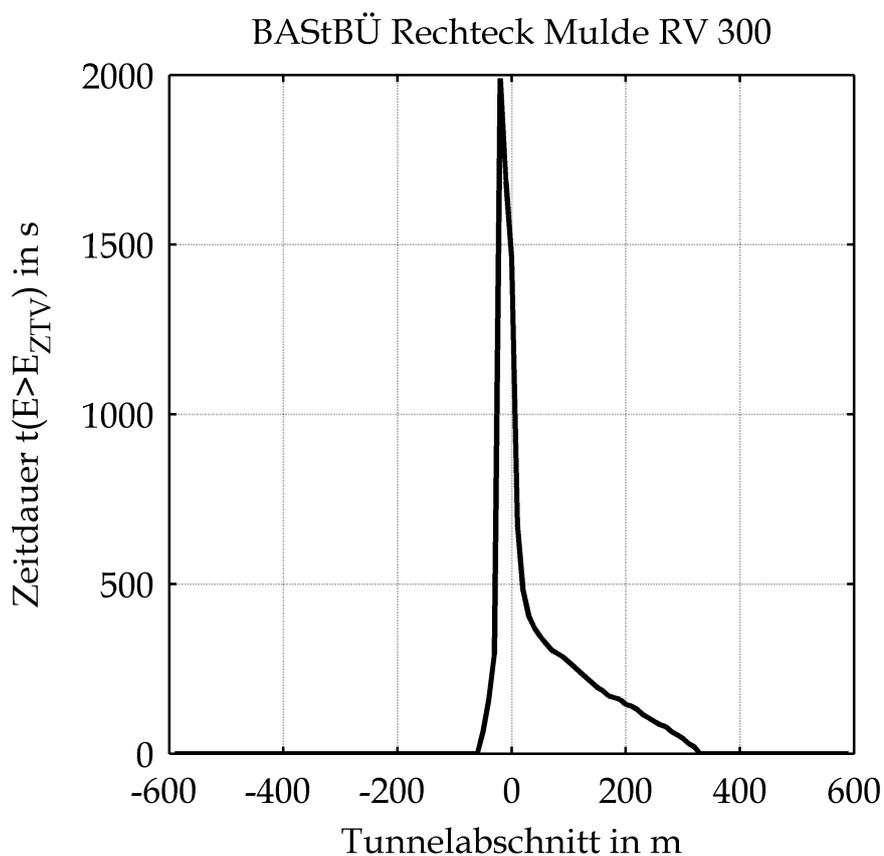
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300



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

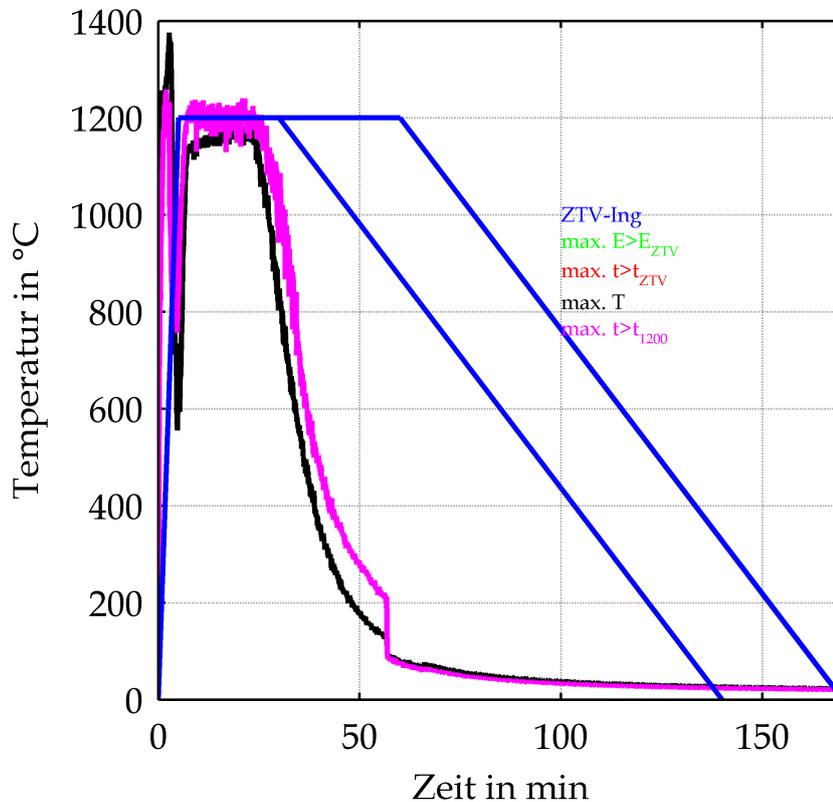


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Zeitdauer der adiabaten Deckentemperatur größer 1200°C (schwarz) bzw. größer 1350°C (rot) in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung



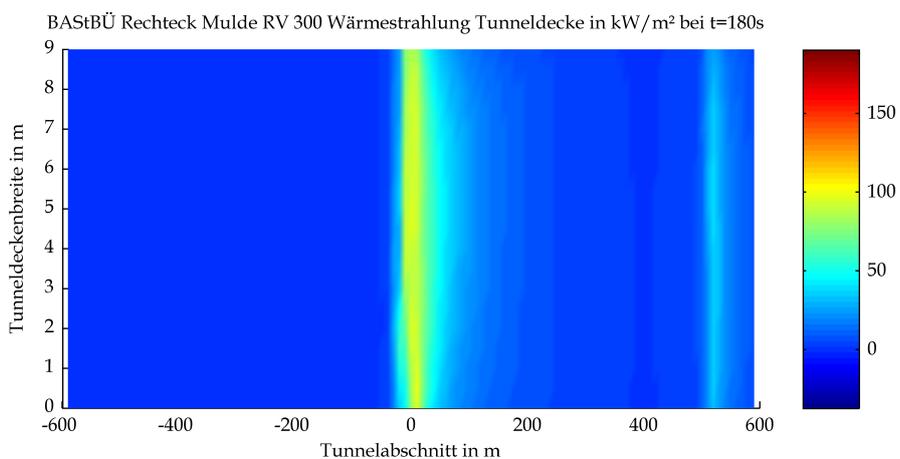
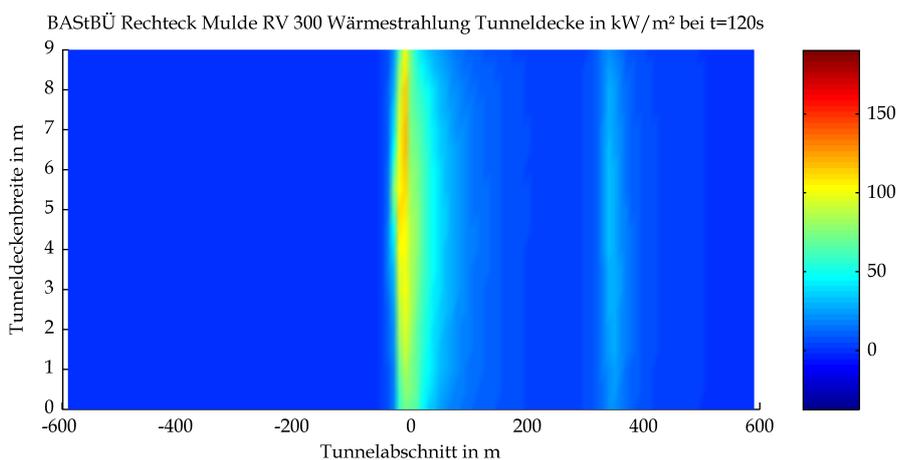
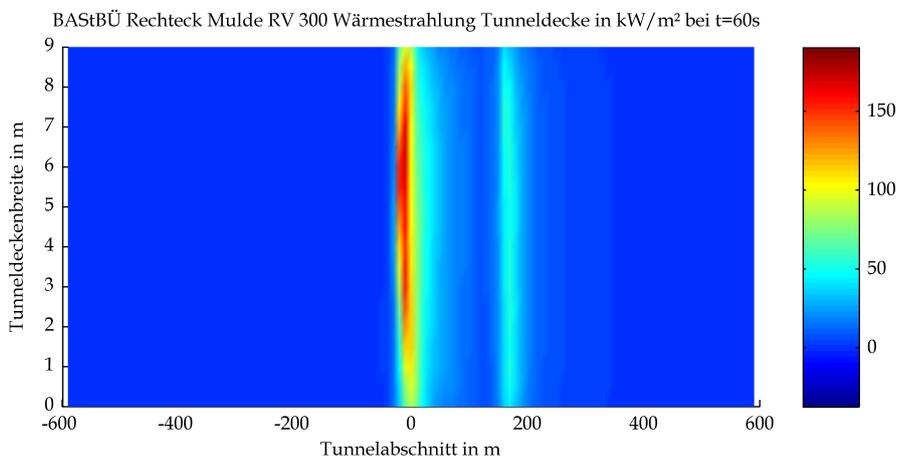
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Zeitdauer mit im Vergleich zur ZTV-ING-Kurve höheren Energieeinträgen in die Tunneldecke in Abhängigkeit von der Tunnellänge unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung

BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300

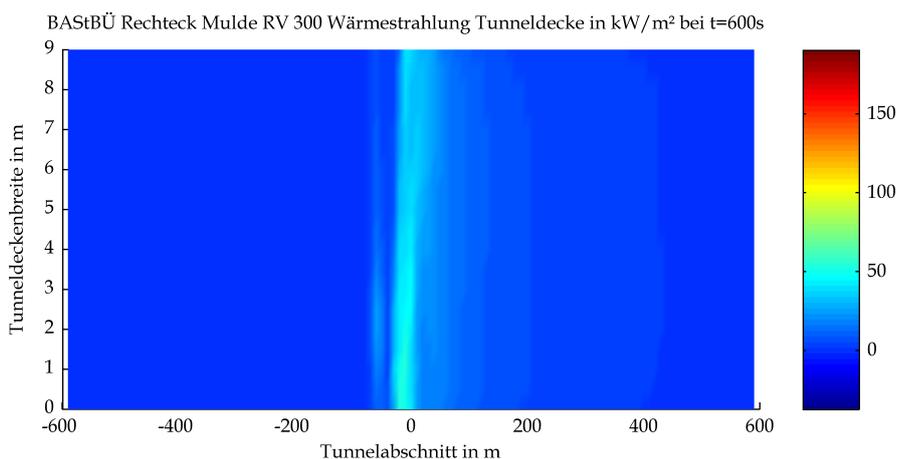
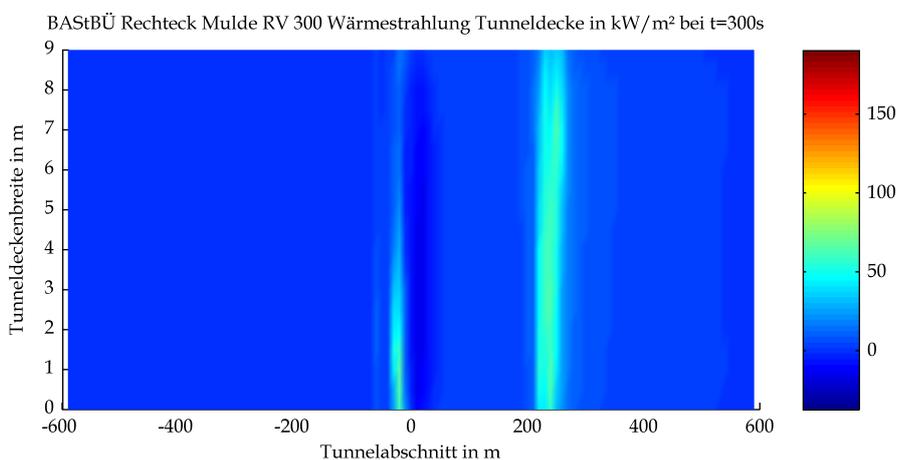
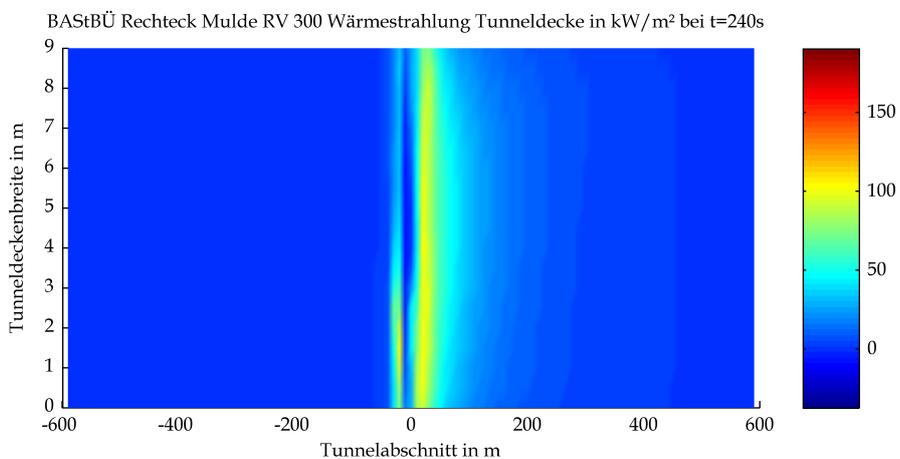


Mittels CFD-Berechnung ermittelte
Temperatur-Zeit-Verläufe für die Maximalwerte der
zuvor dargestellten Kriterien unter Berücksichtigung der
Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung
(blau: ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Verlauf)

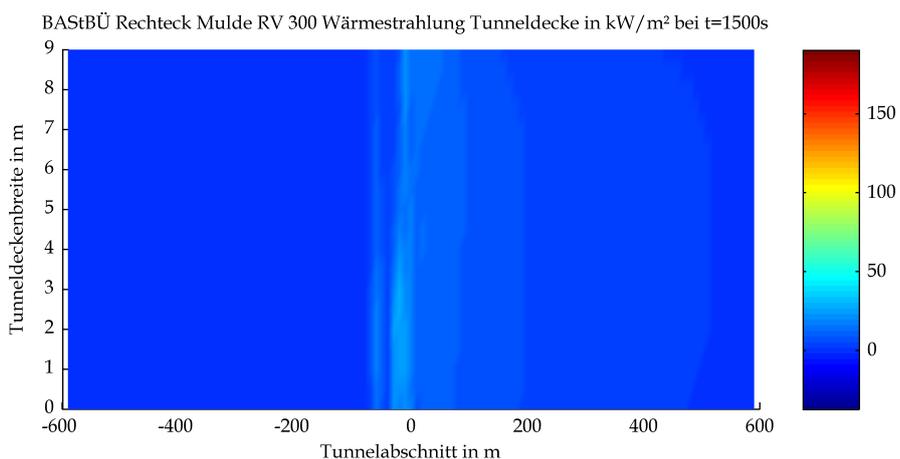
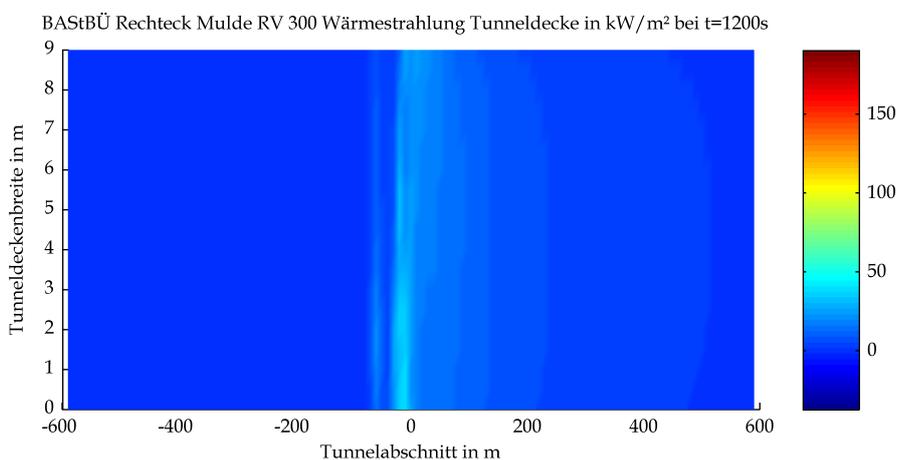
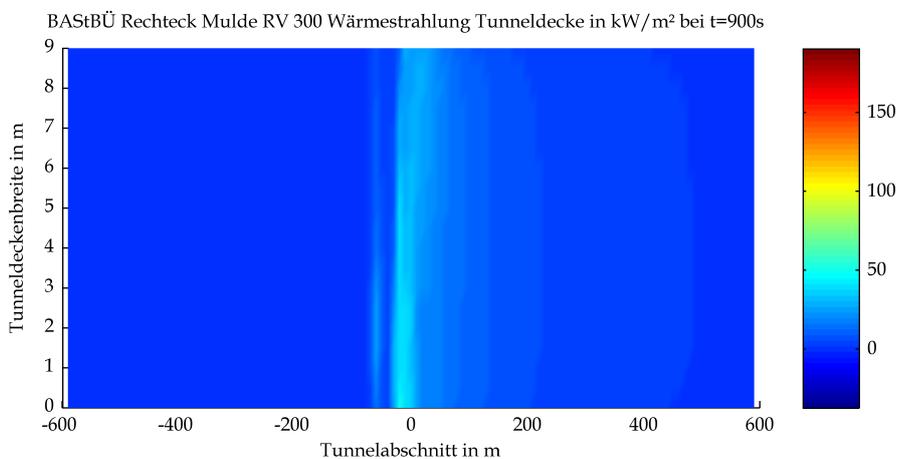
2 Wärmestrahlung an der Tunneldecke



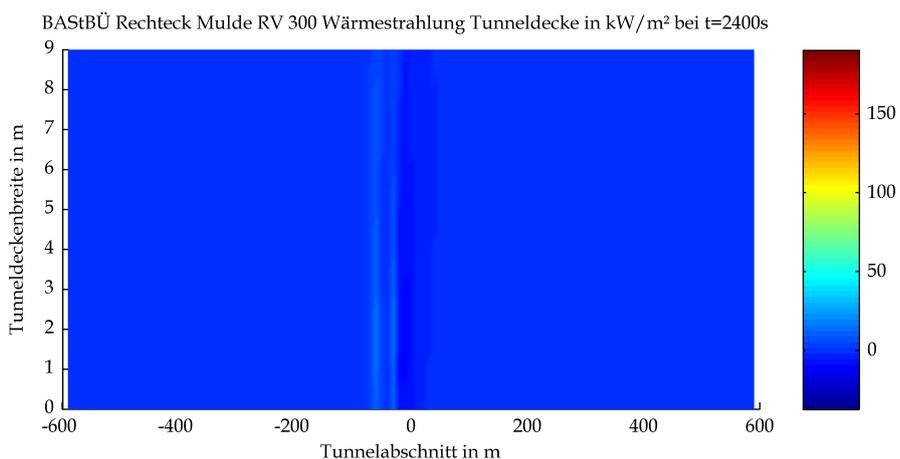
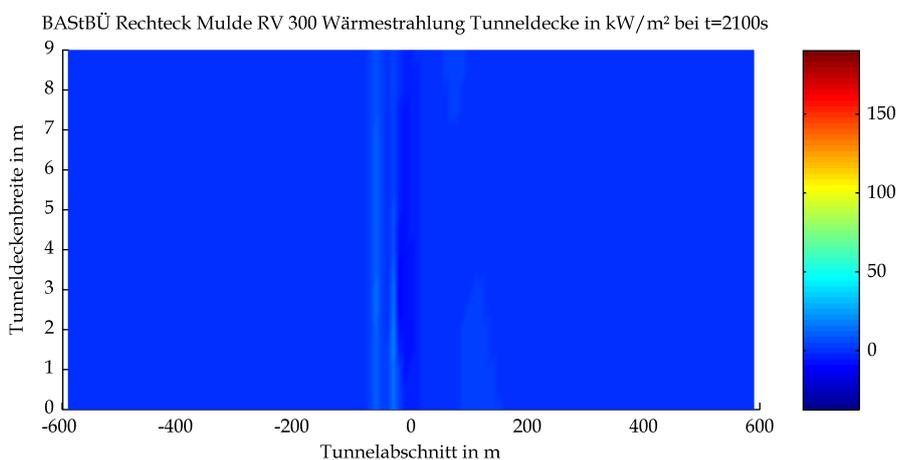
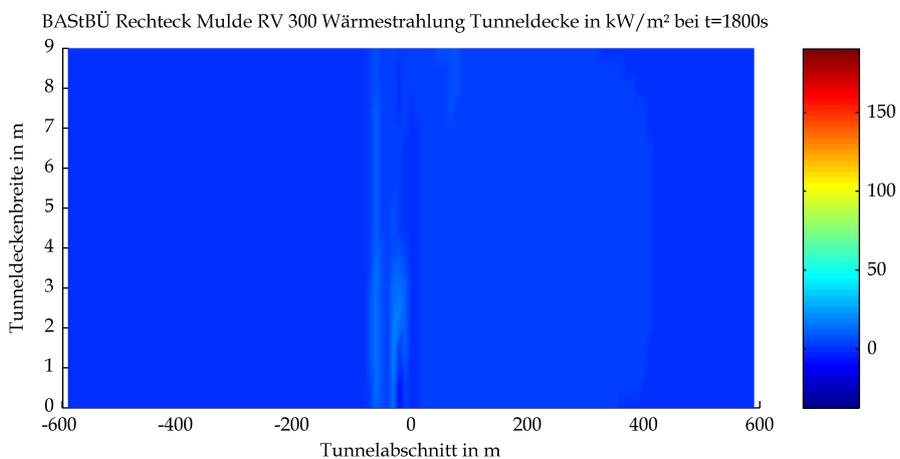
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



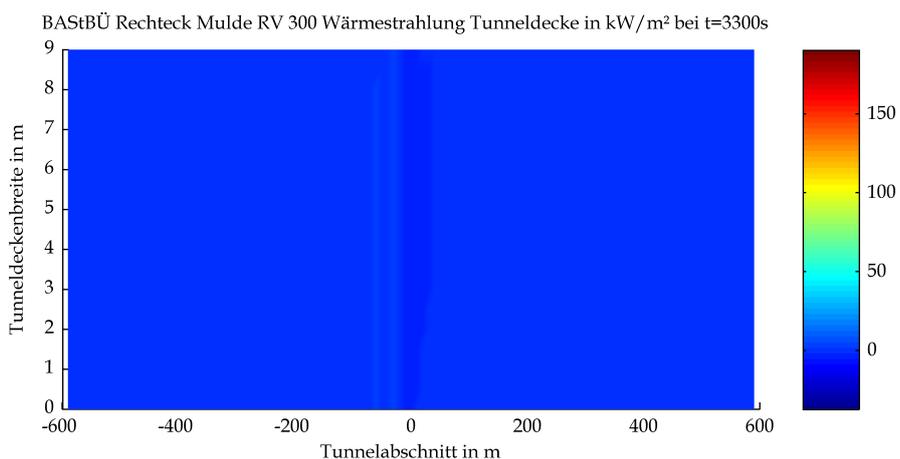
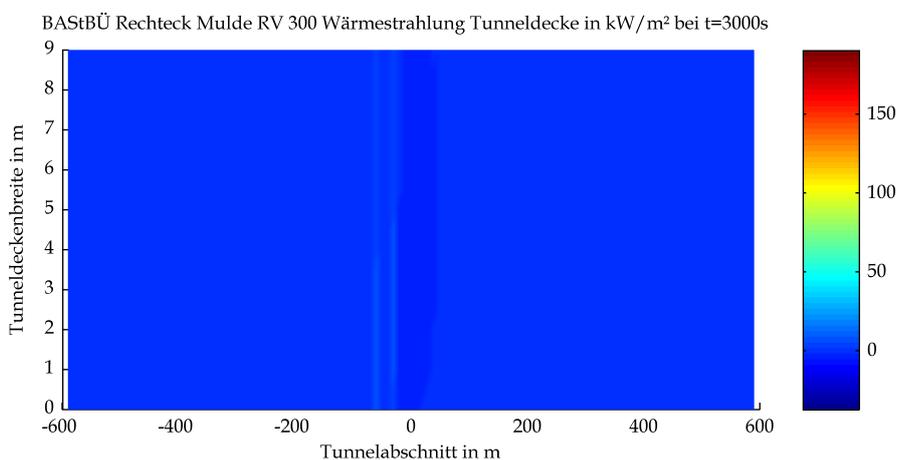
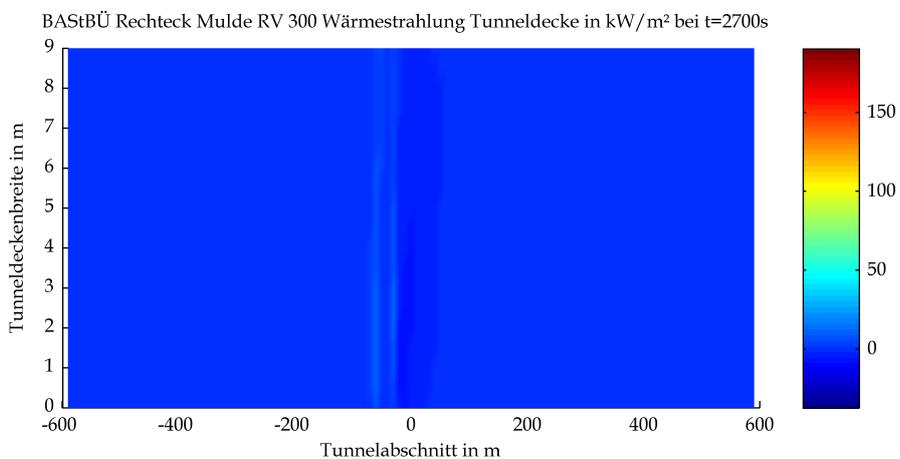
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



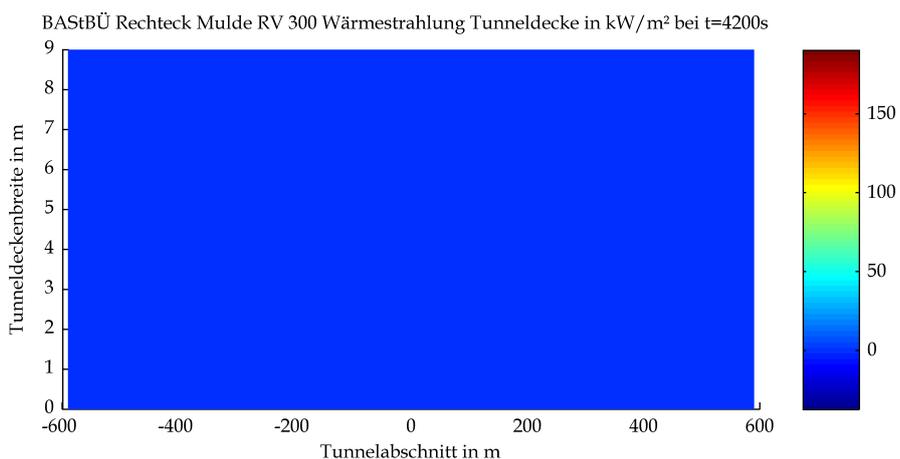
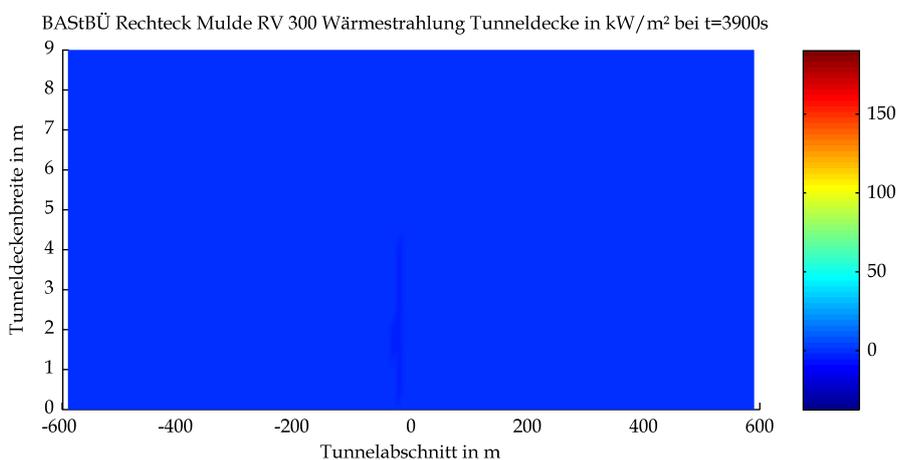
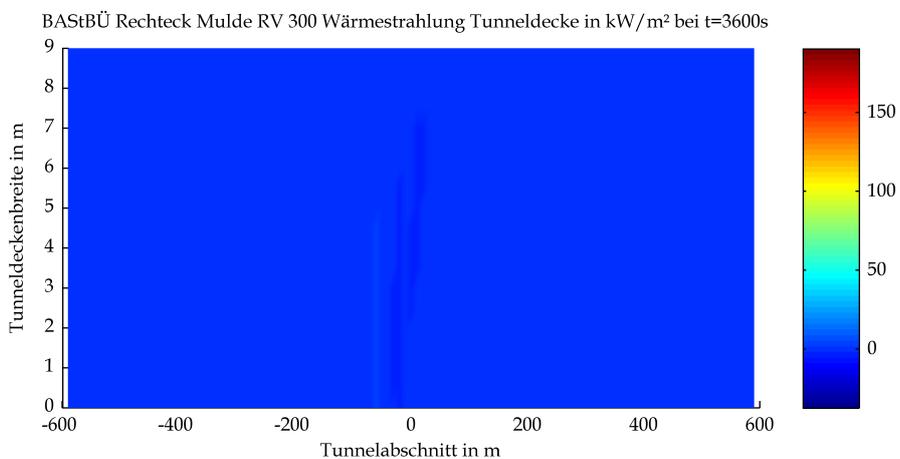
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

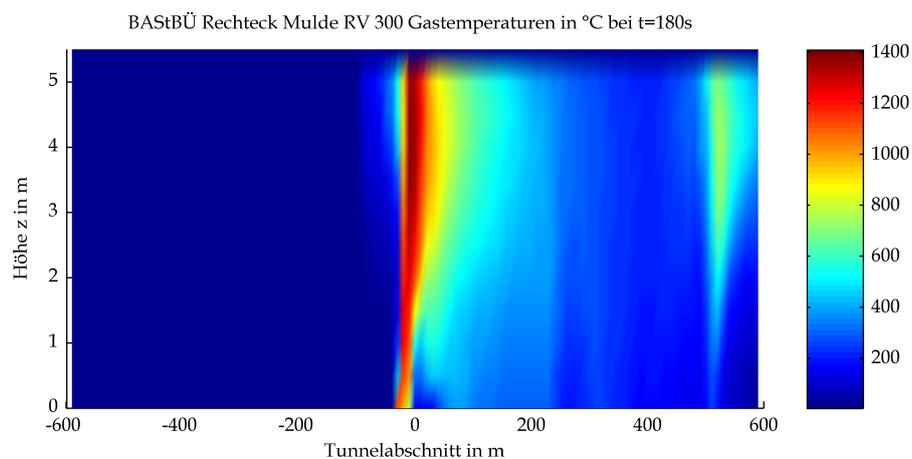
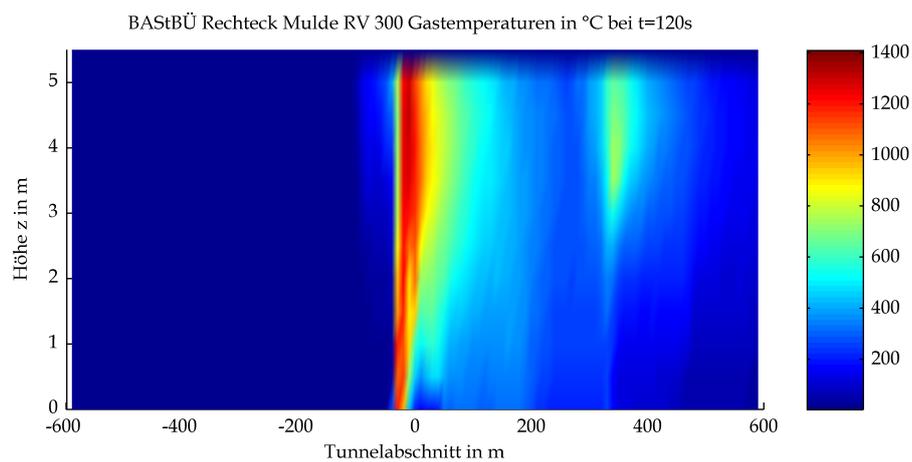
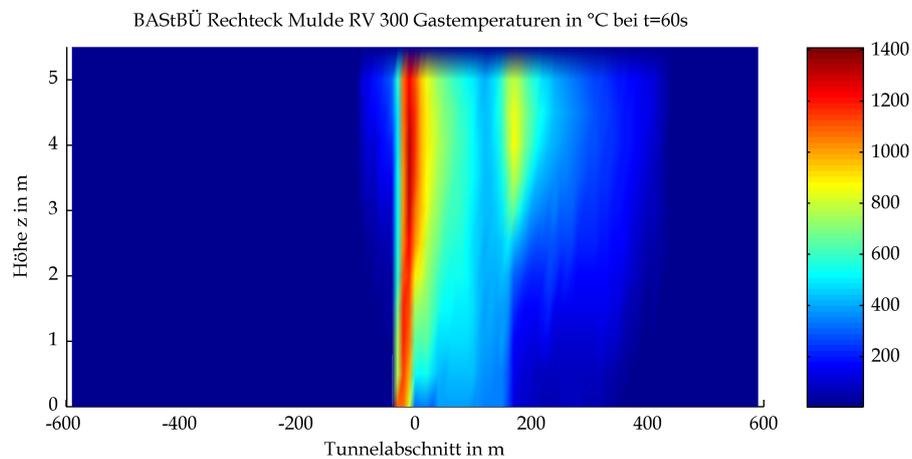


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

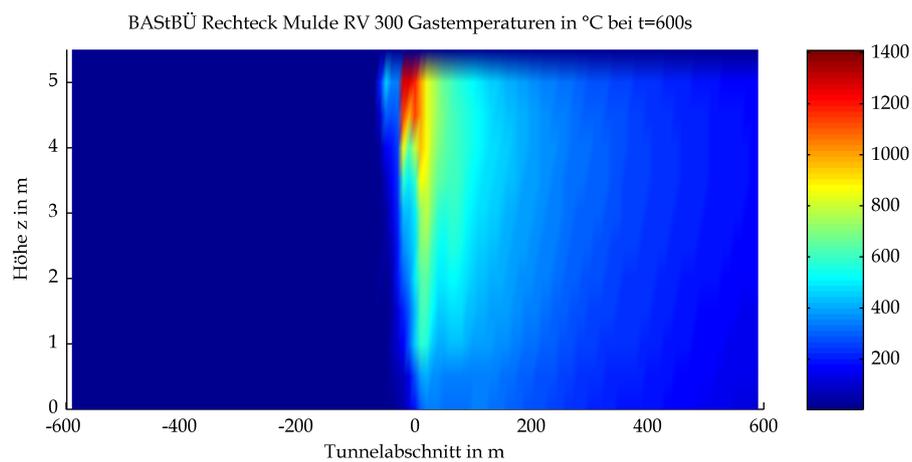
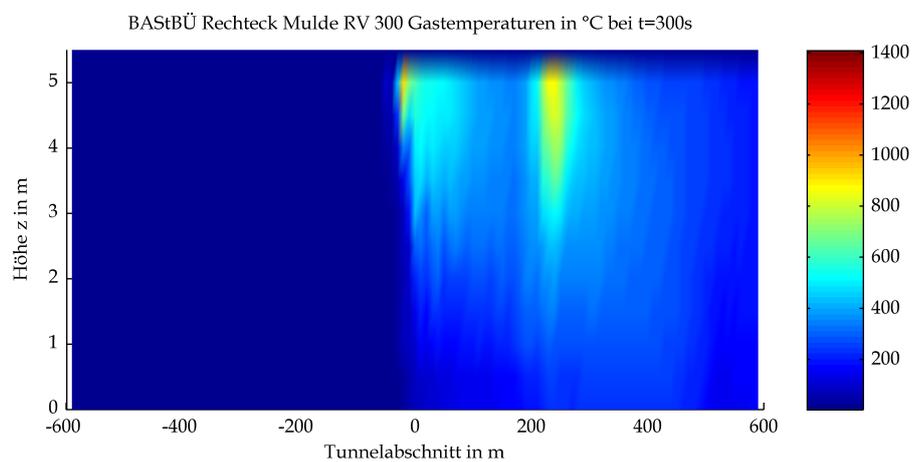
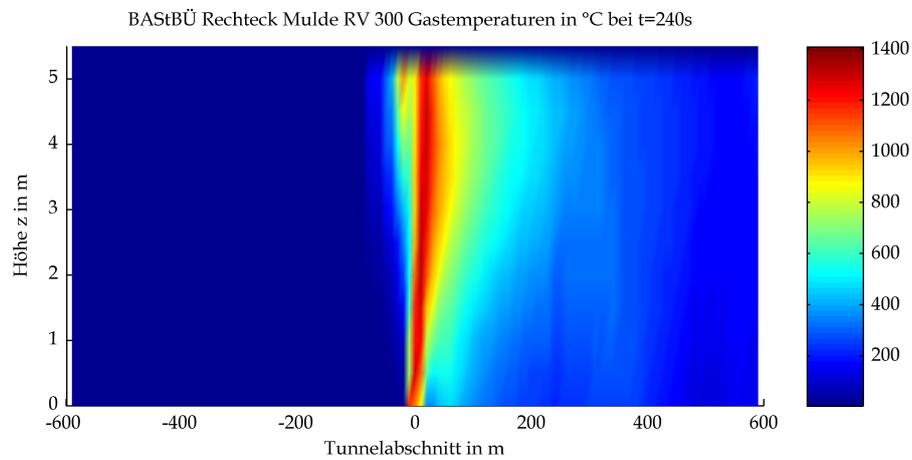


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Strahlungswärme an der Tunneldecke

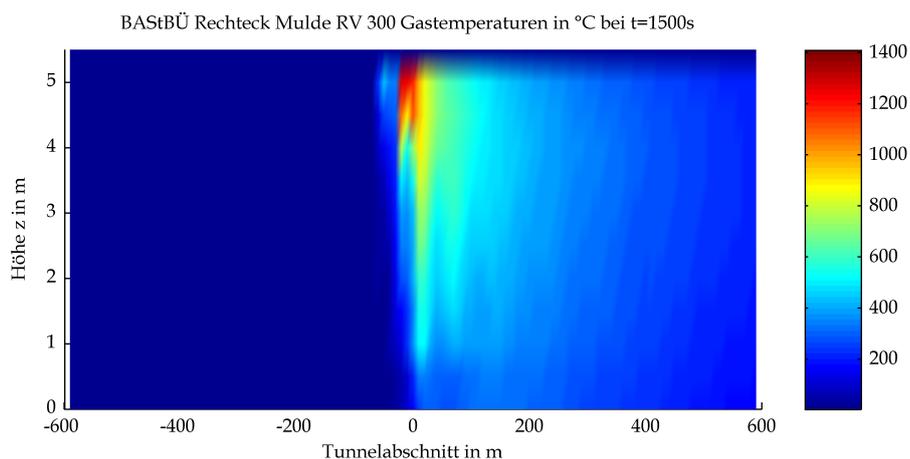
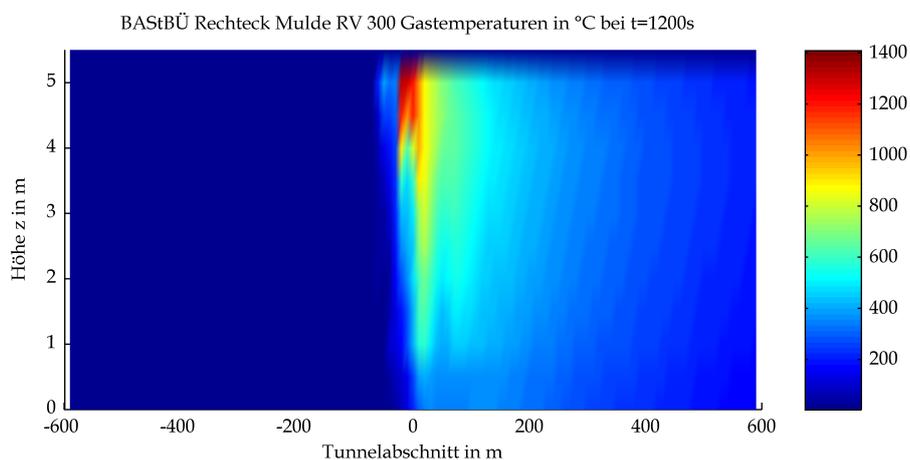
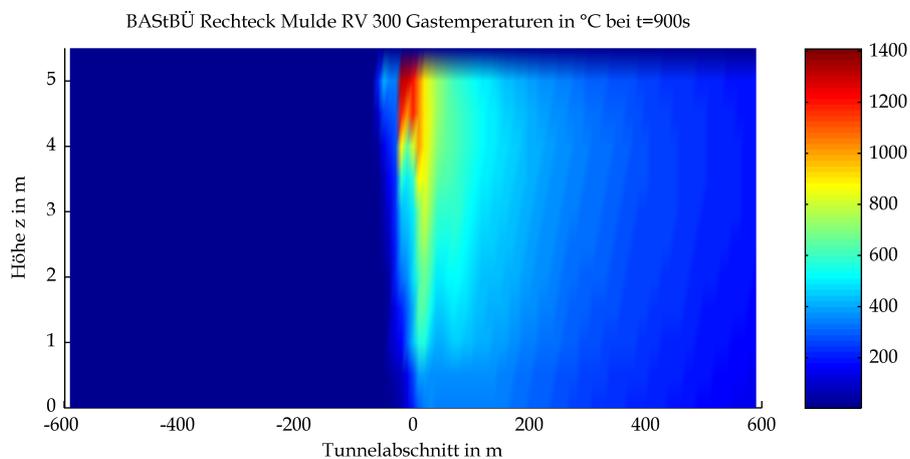
3 Gastemperaturen



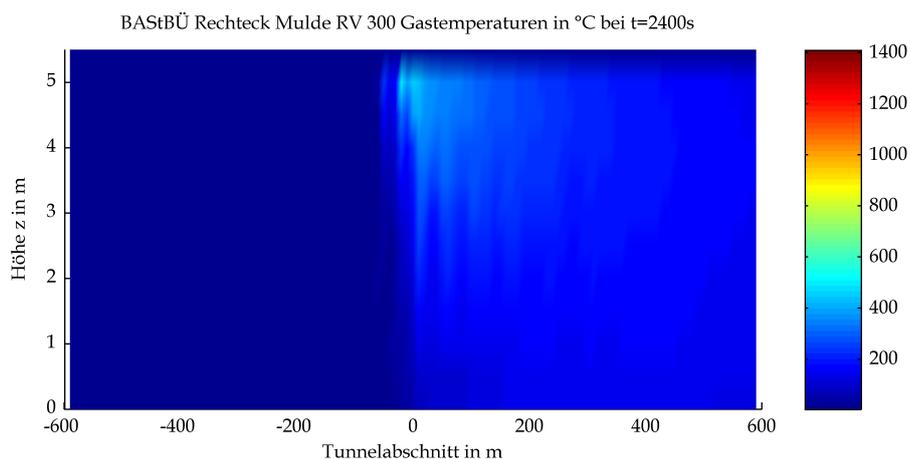
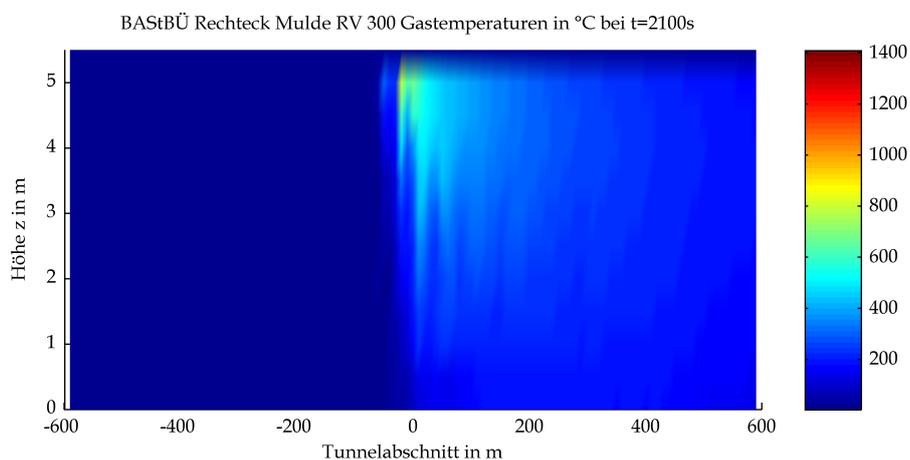
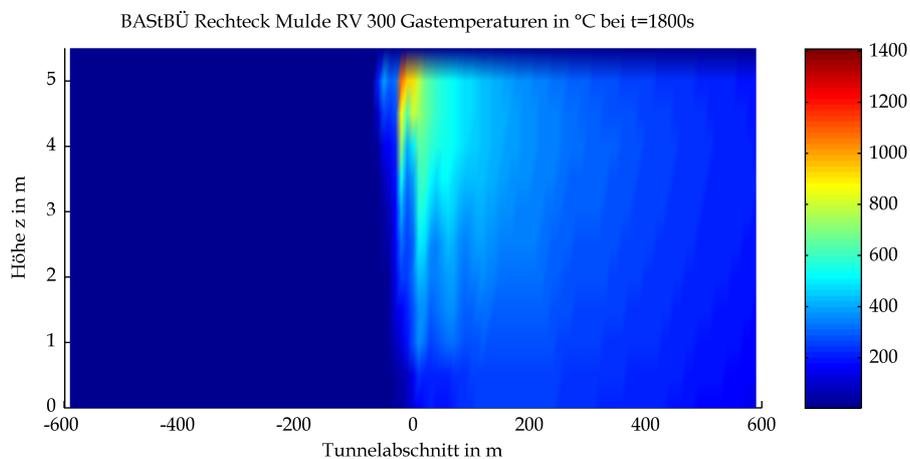
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen



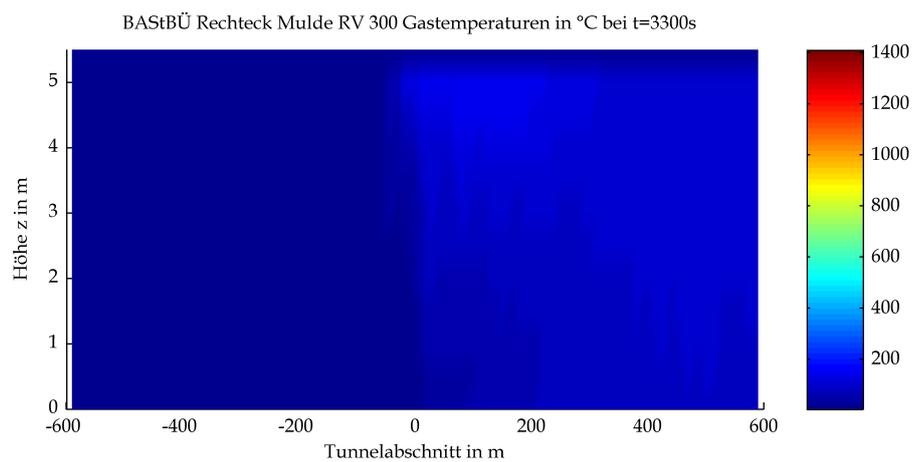
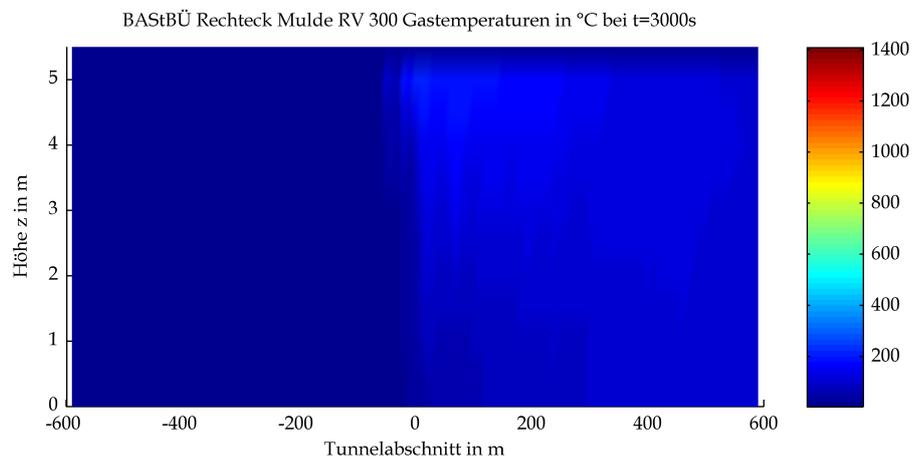
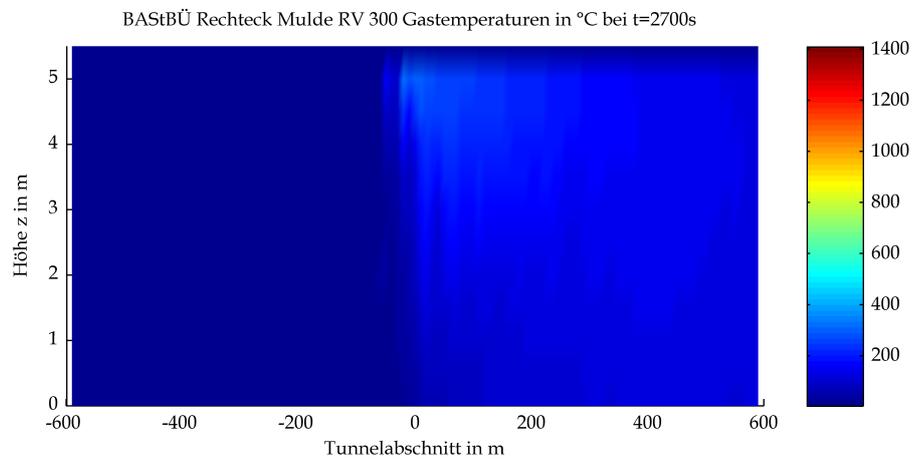
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasttemperaturen



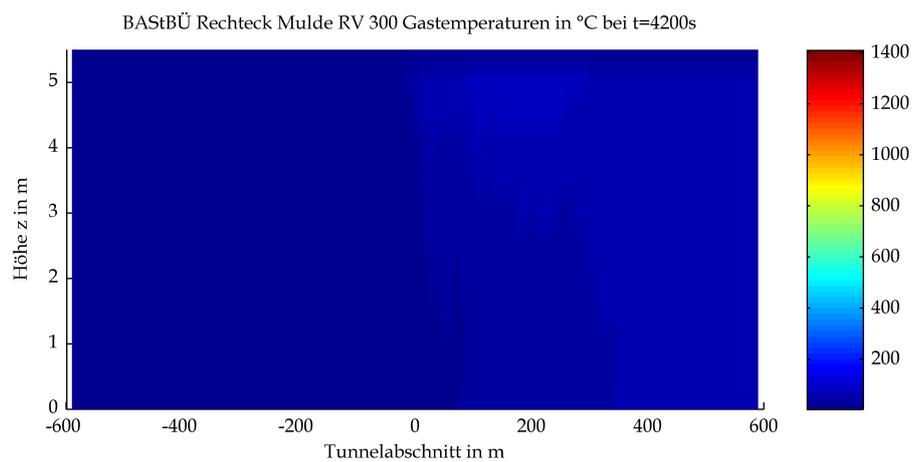
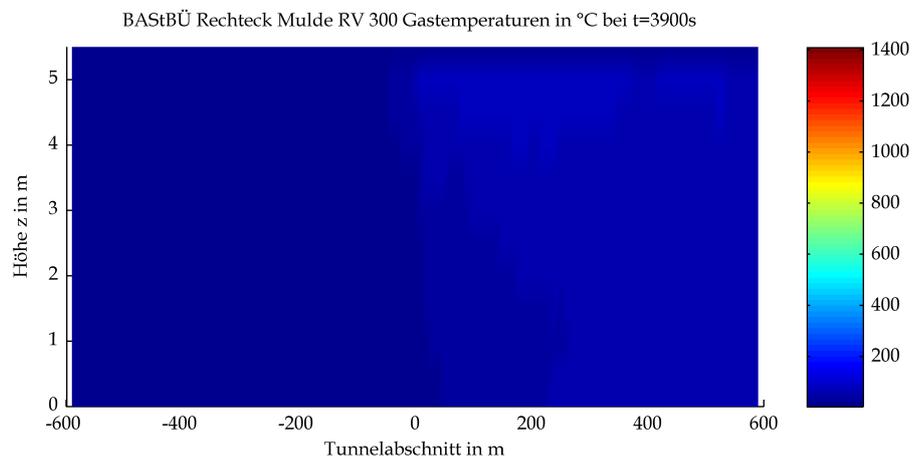
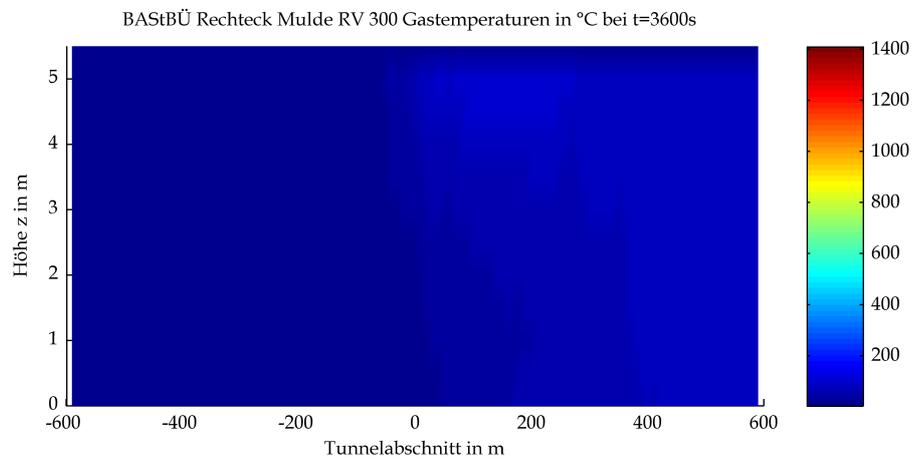
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasttemperaturen



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen

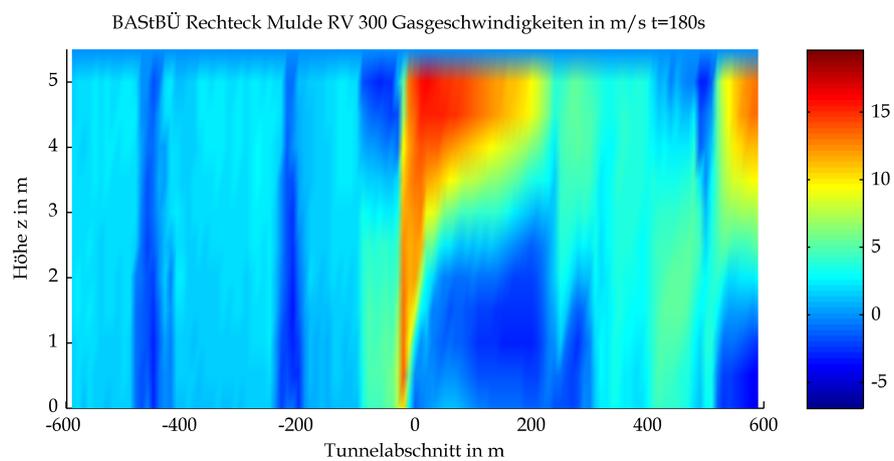
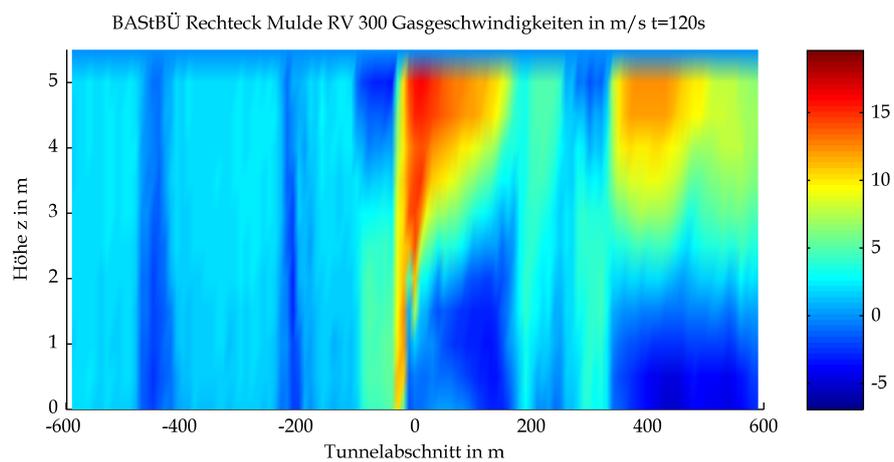
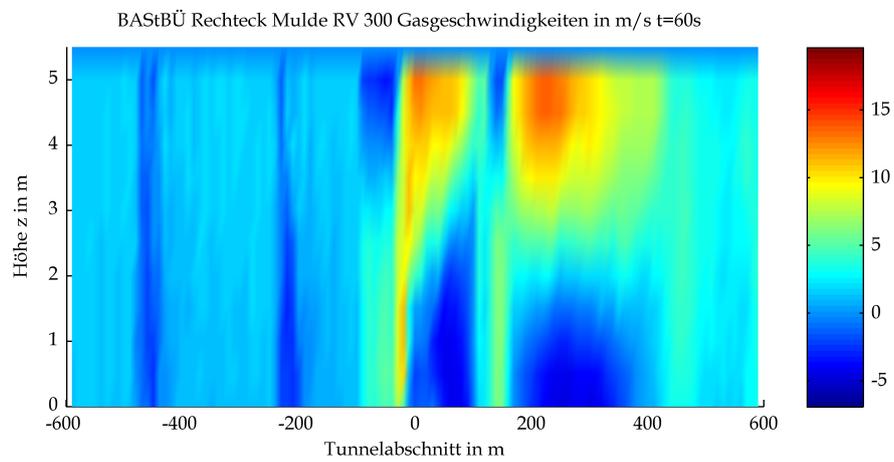


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen

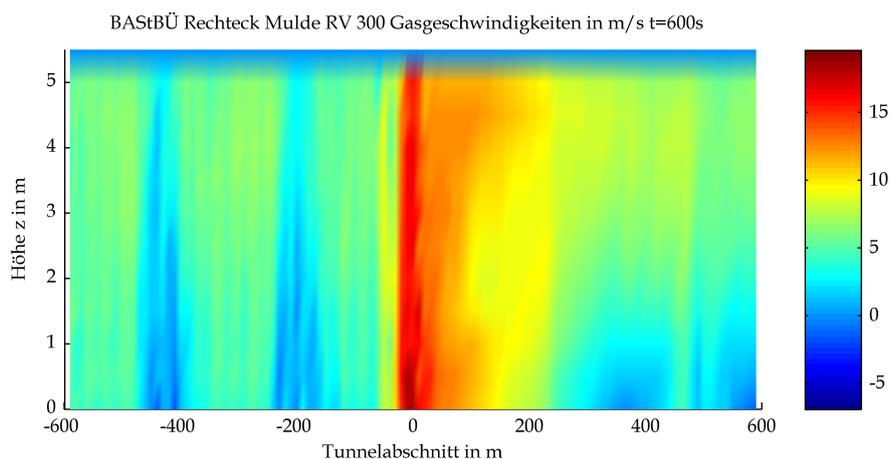
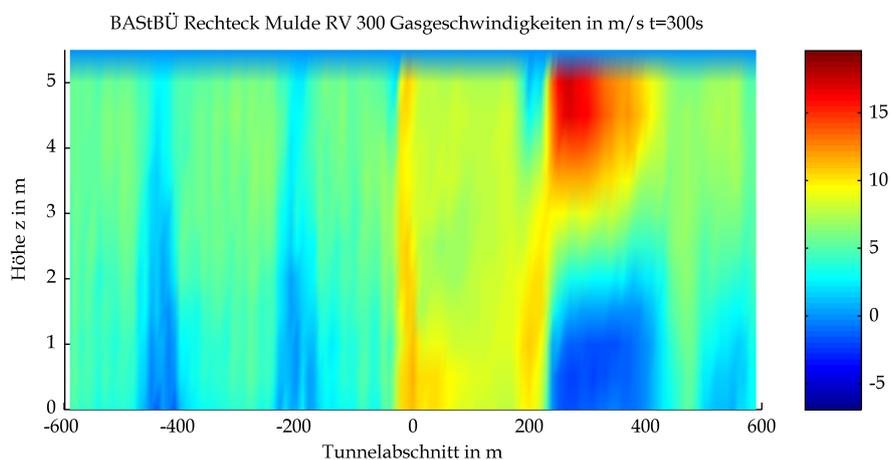
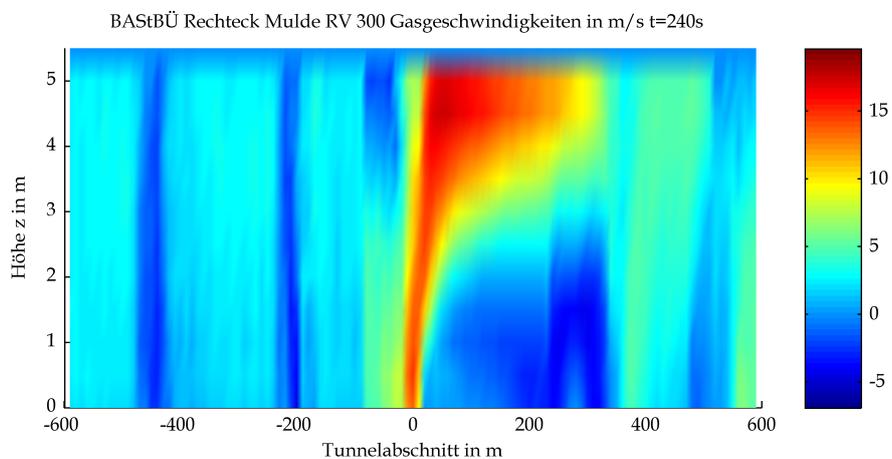


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gastemperaturen

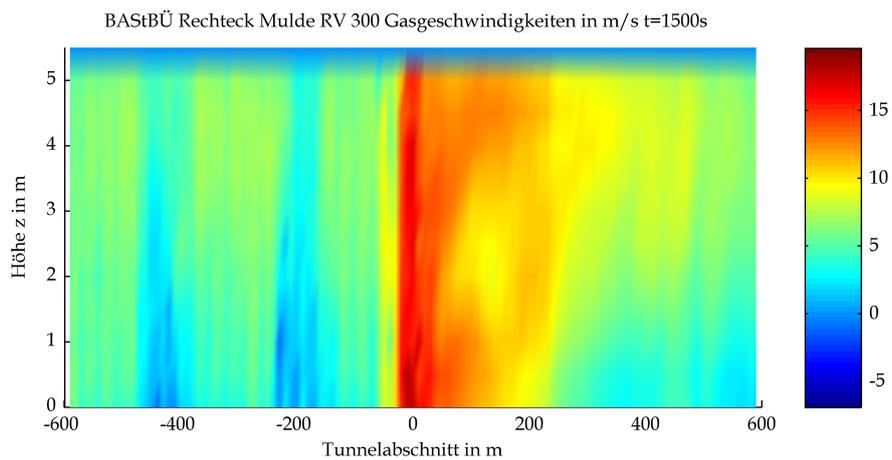
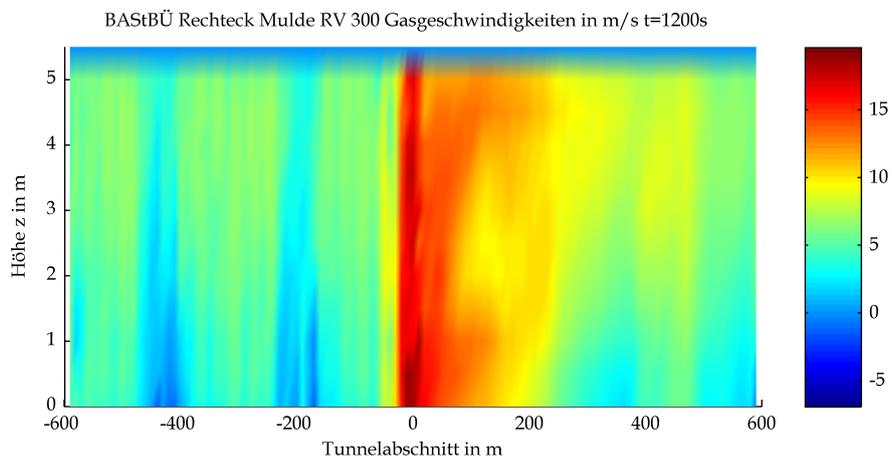
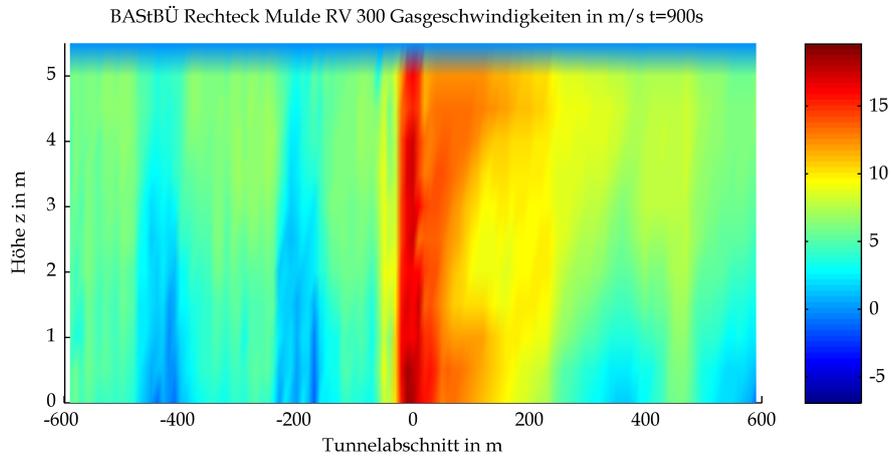
4 Gasgeschwindigkeiten



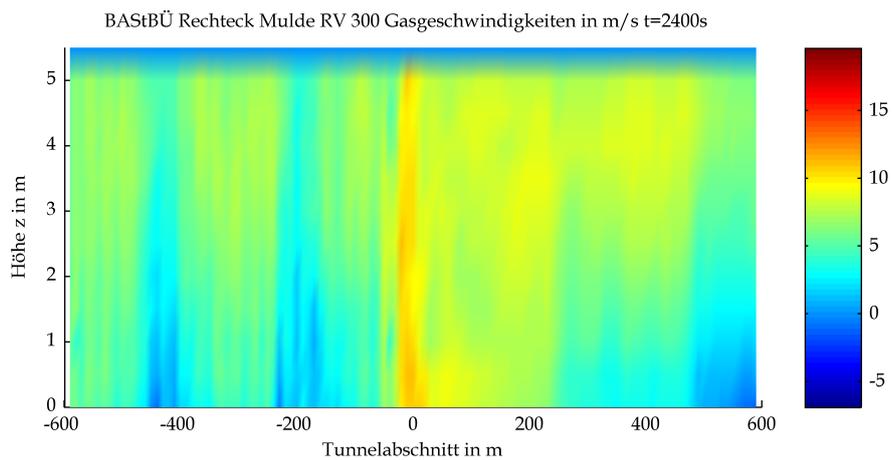
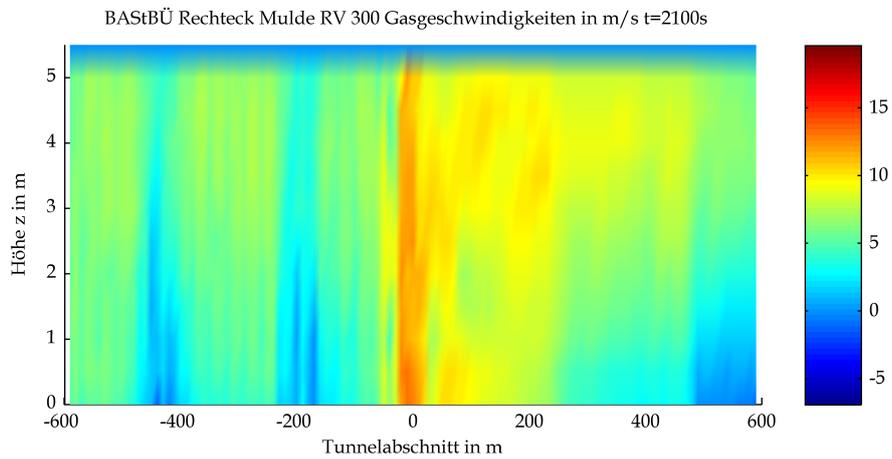
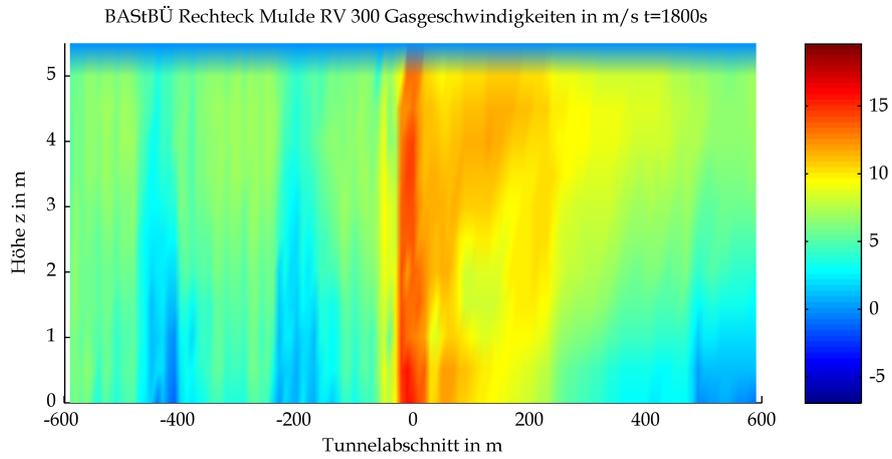
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



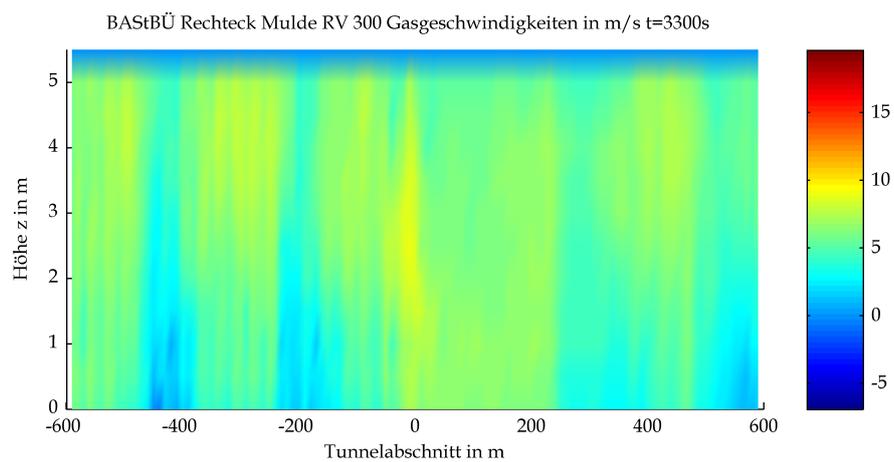
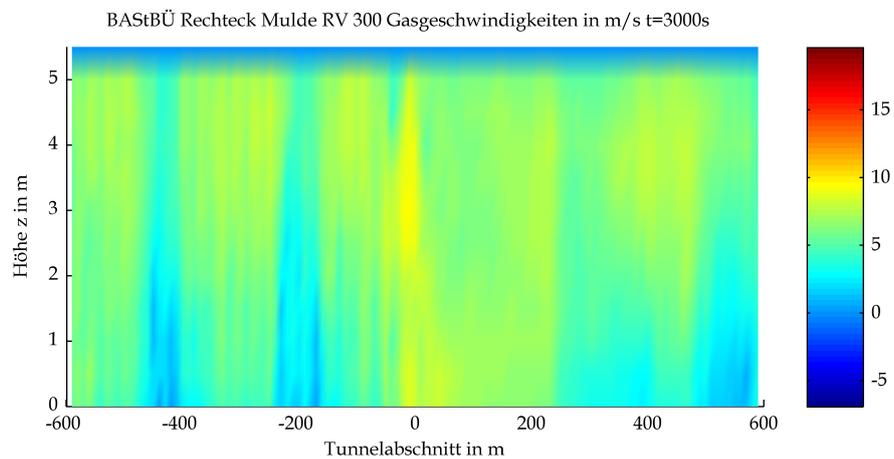
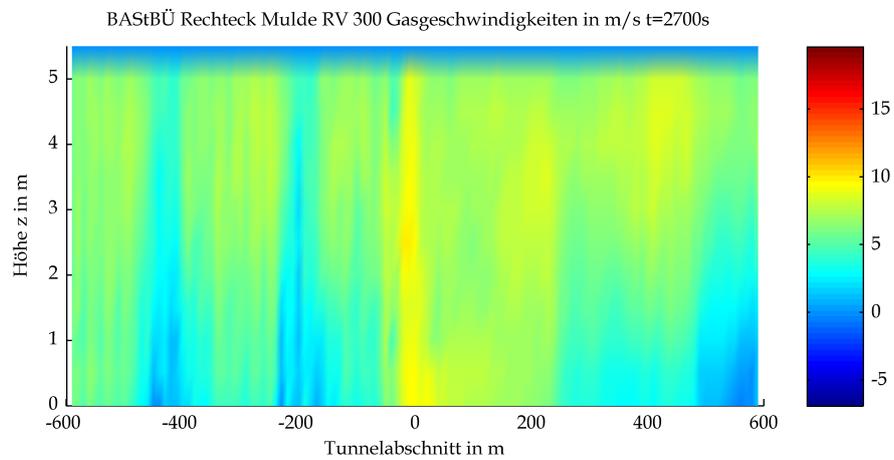
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



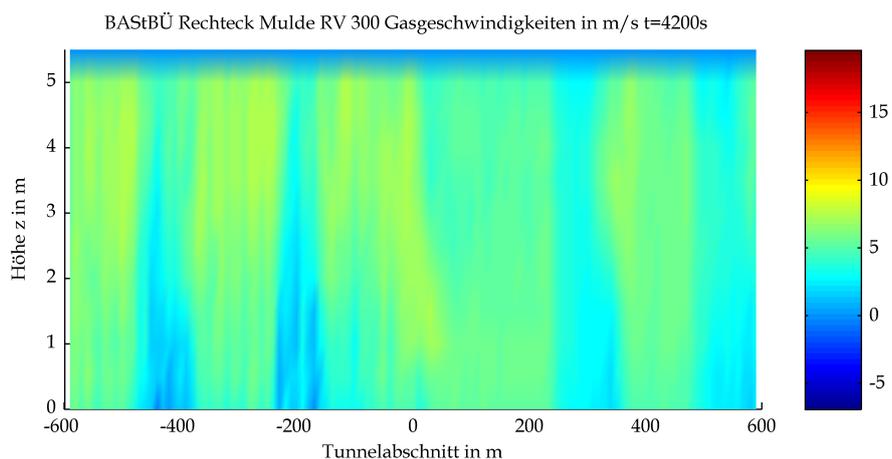
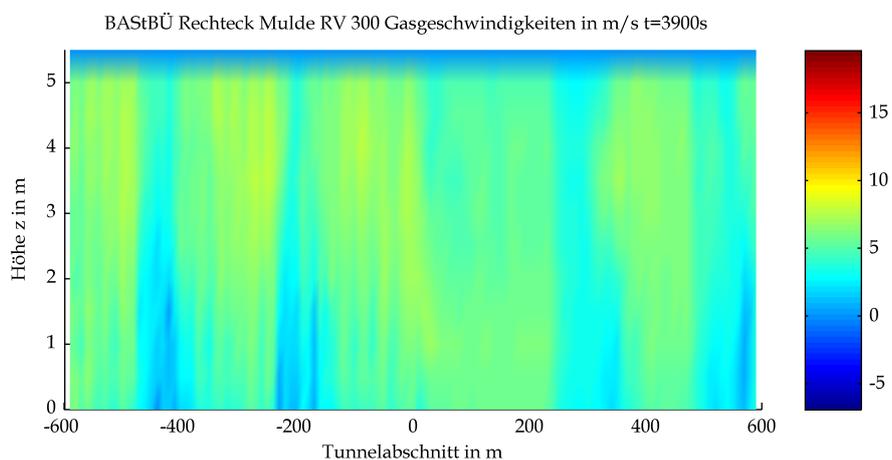
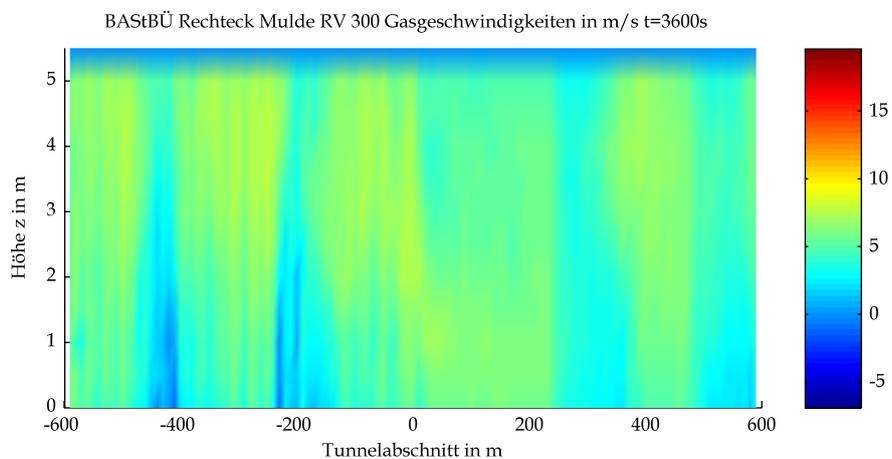
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

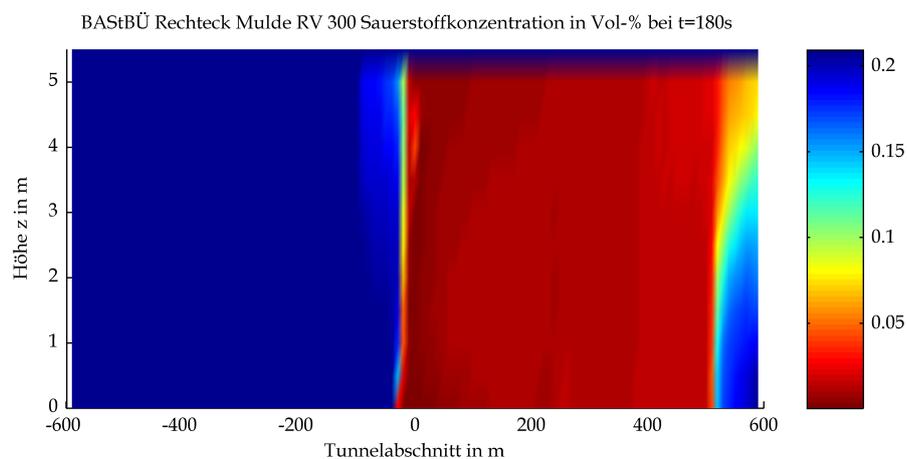
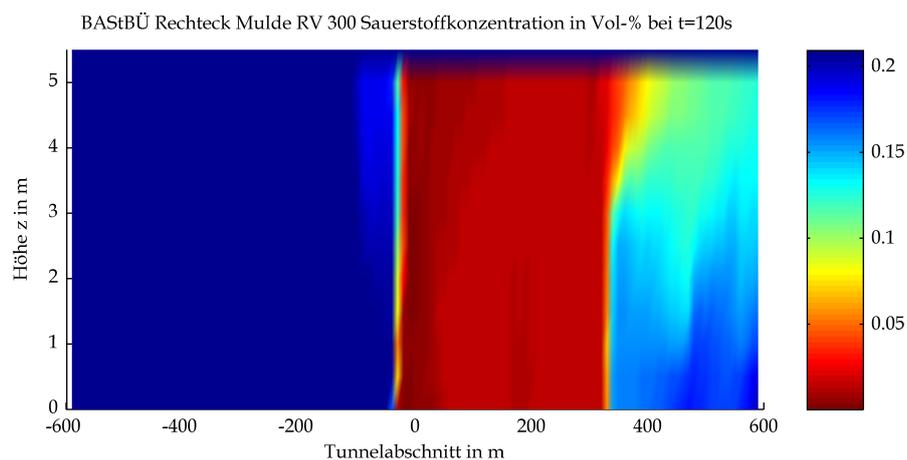
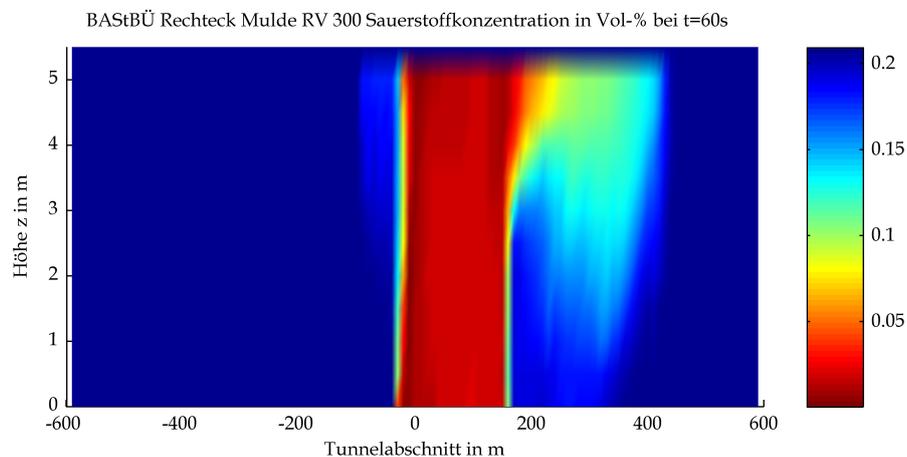


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

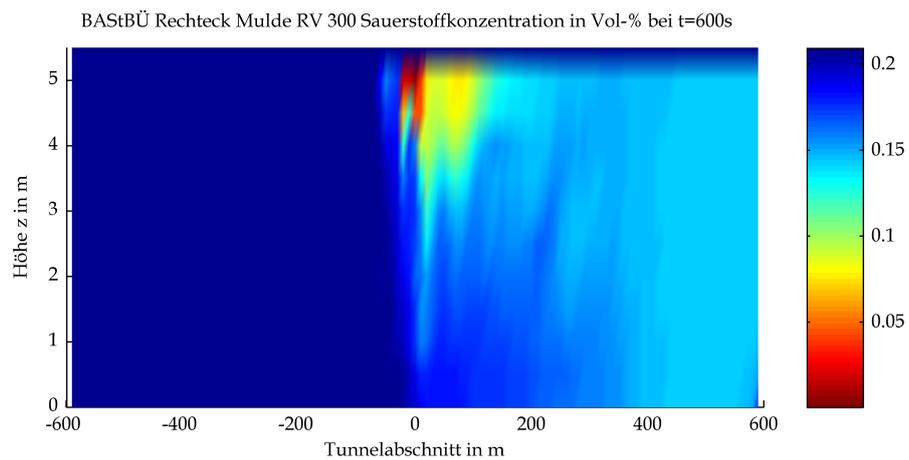
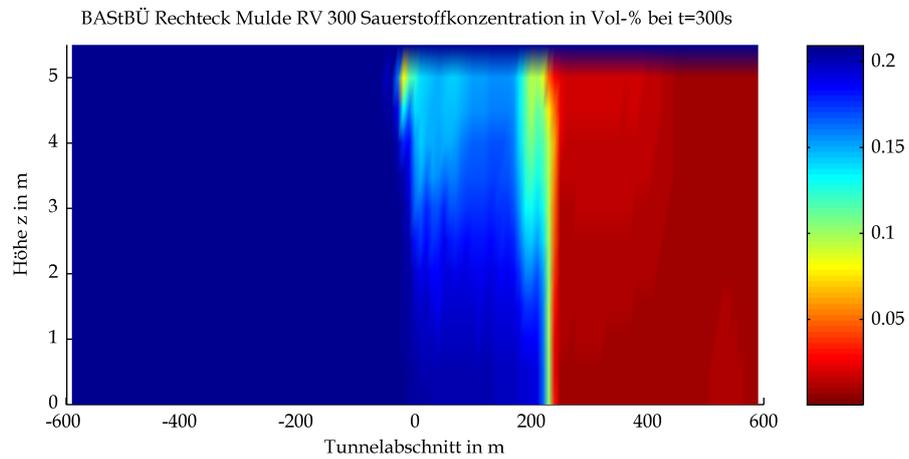
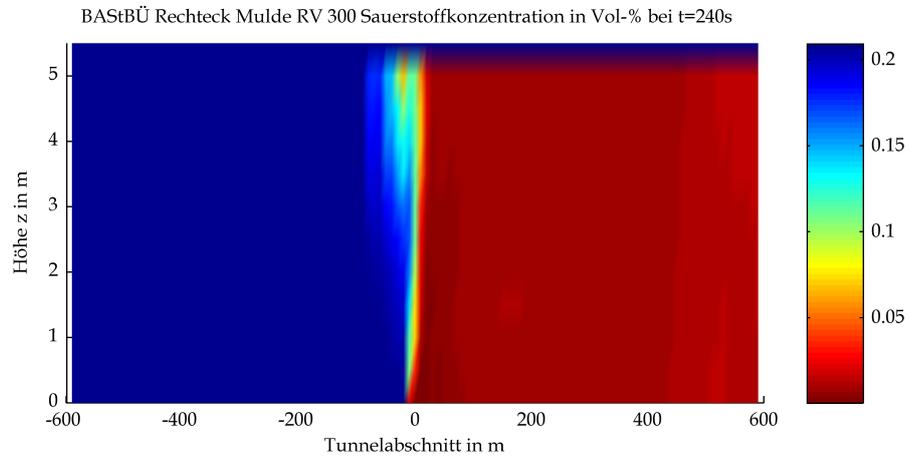


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Gasgeschwindigkeit

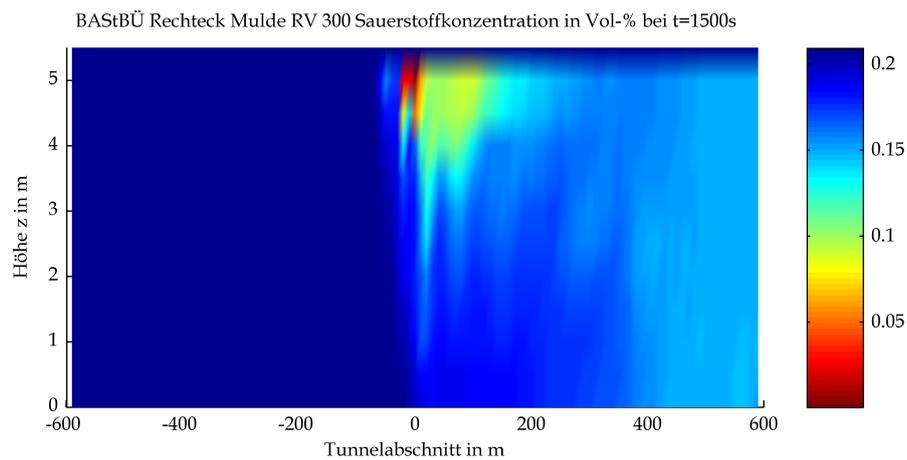
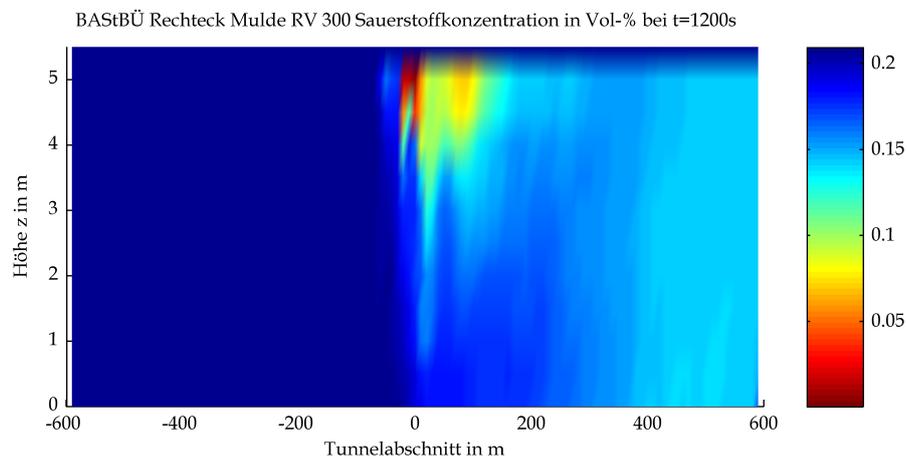
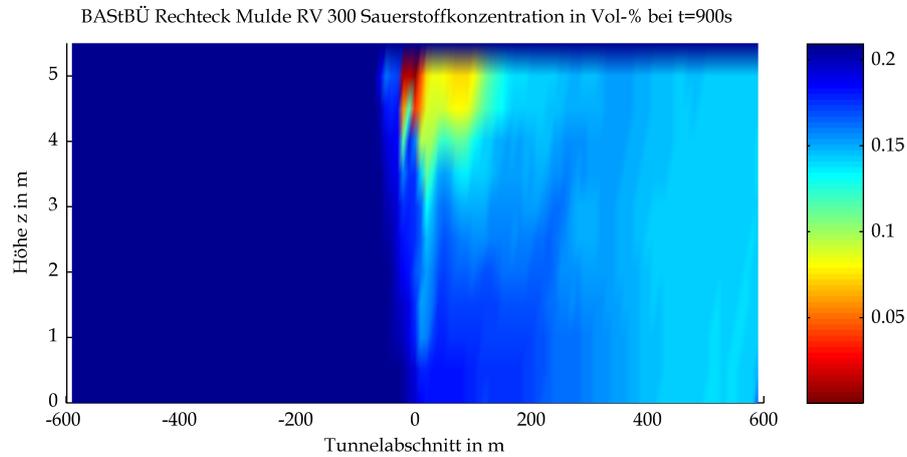
5 Sauerstoffgehalt



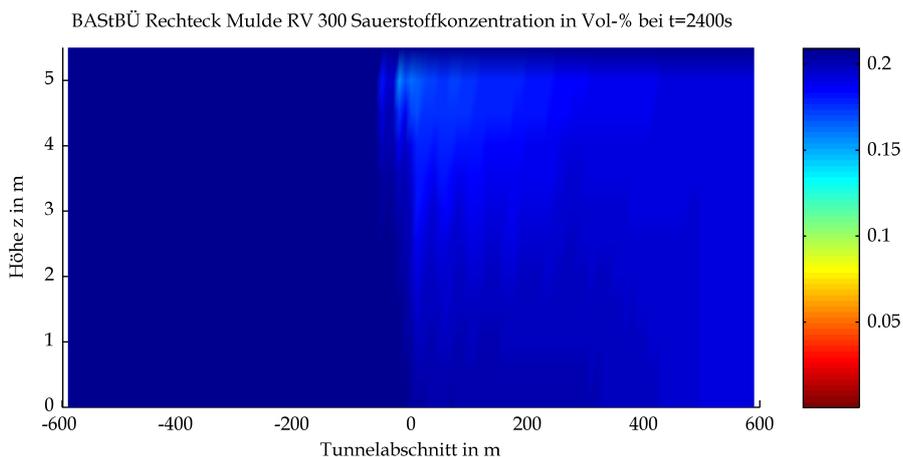
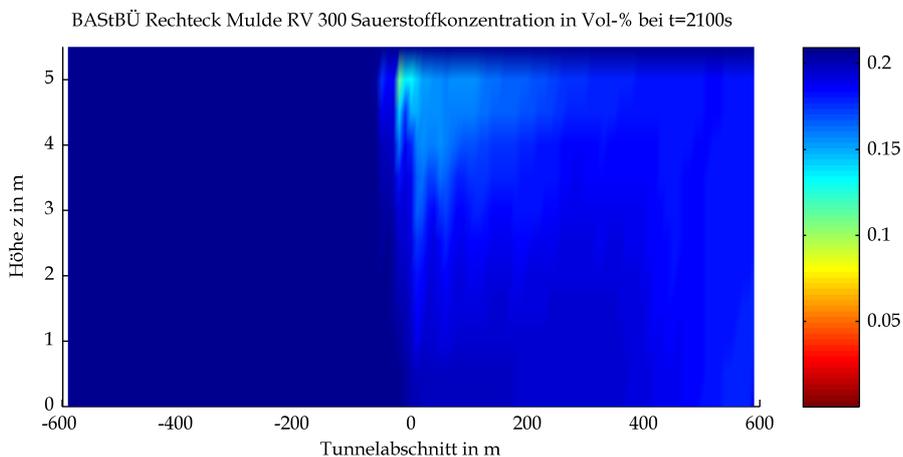
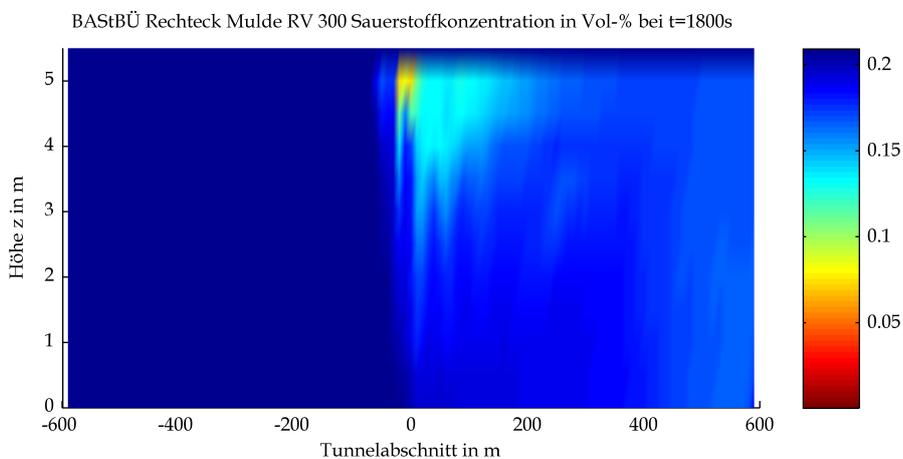
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



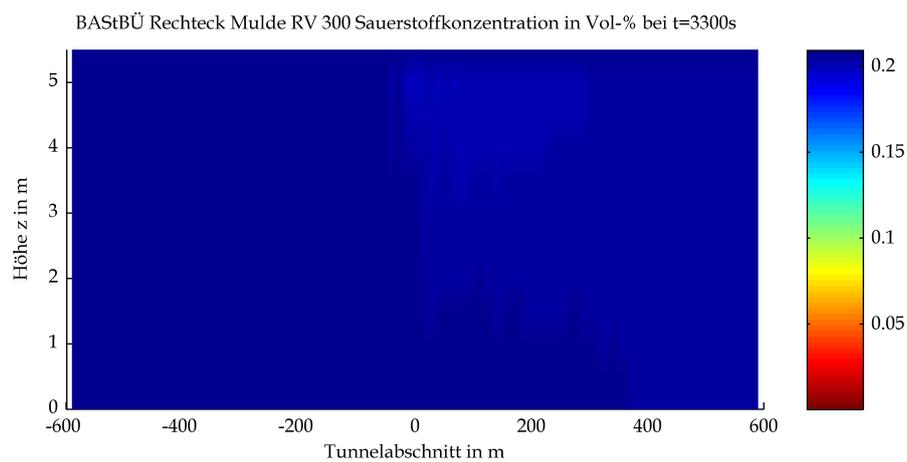
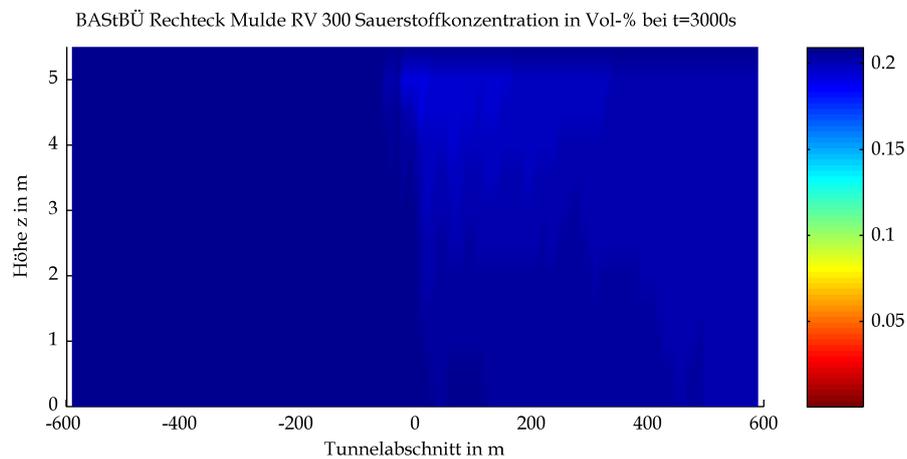
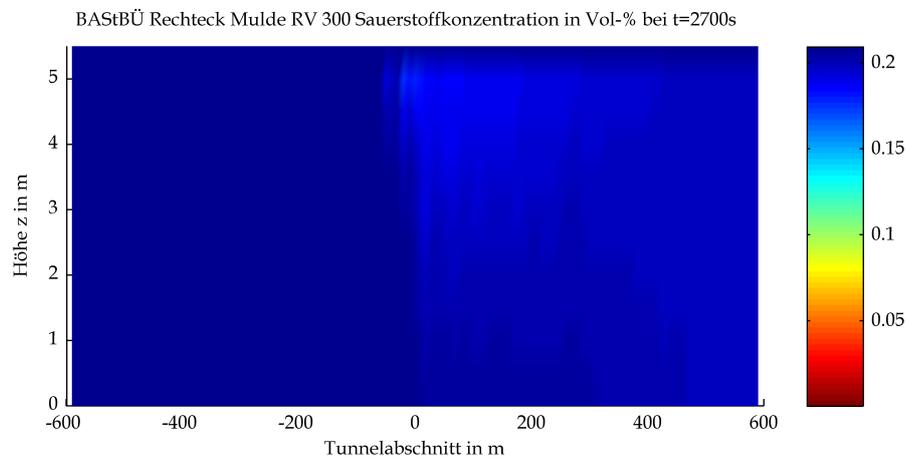
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



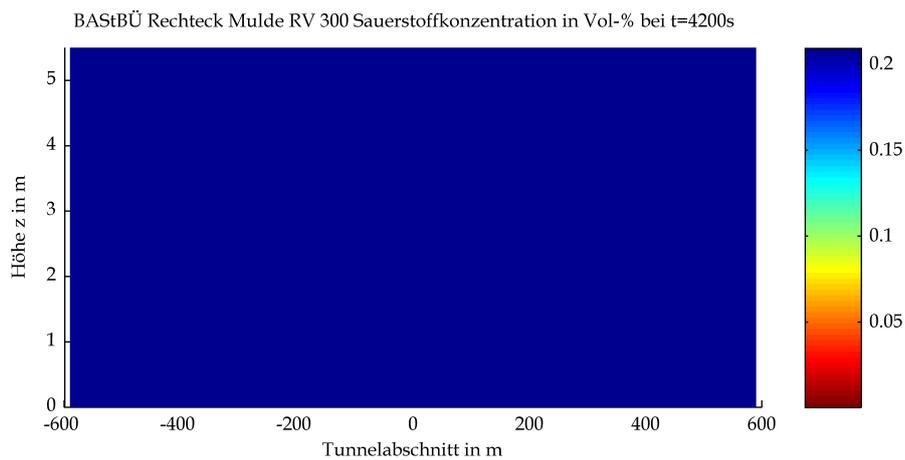
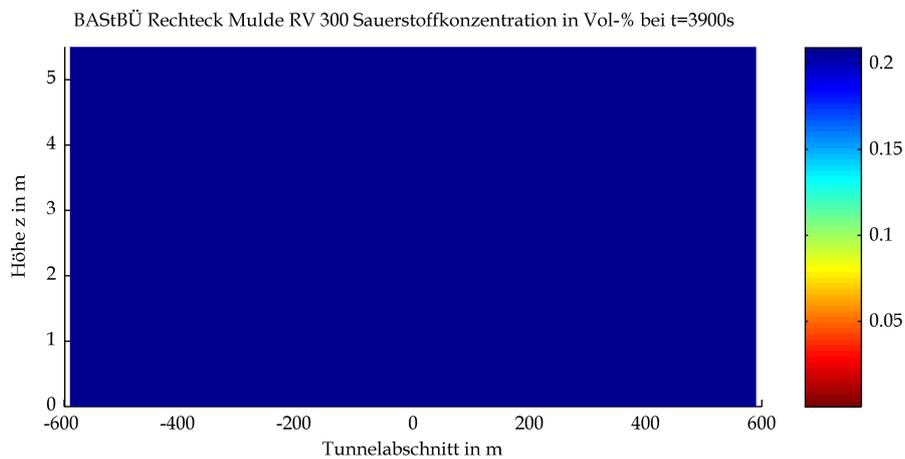
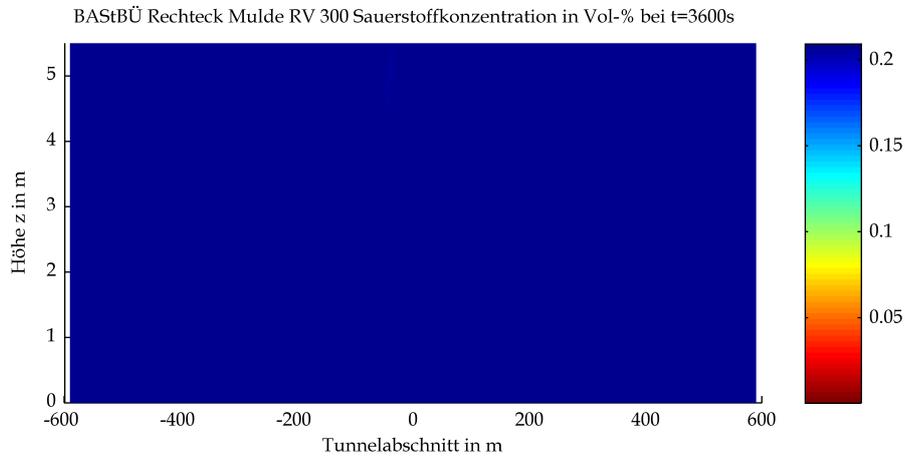
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



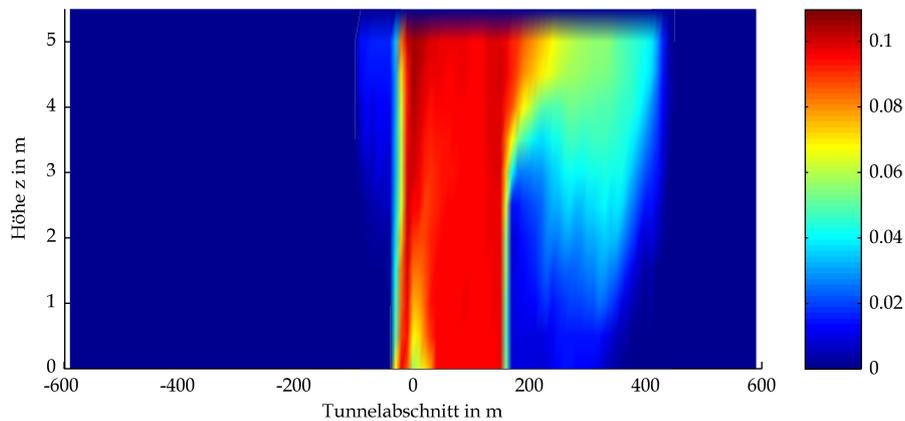
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte



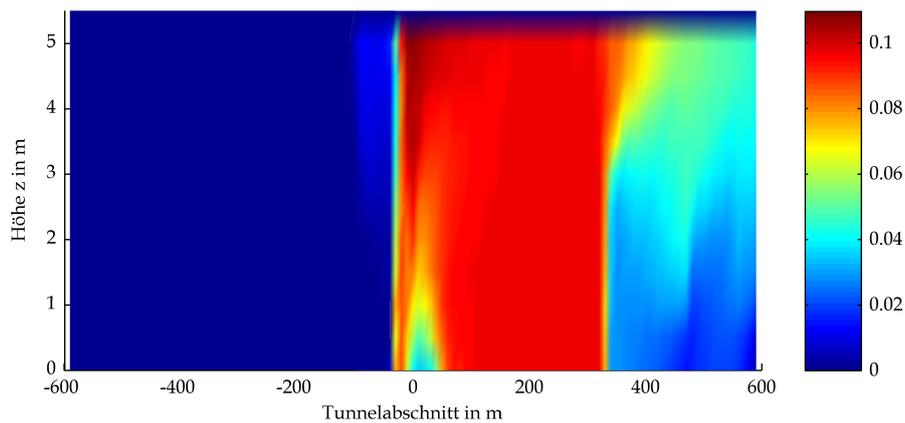
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sauerstoffgehalte

6 Kohlendioxidgehalt

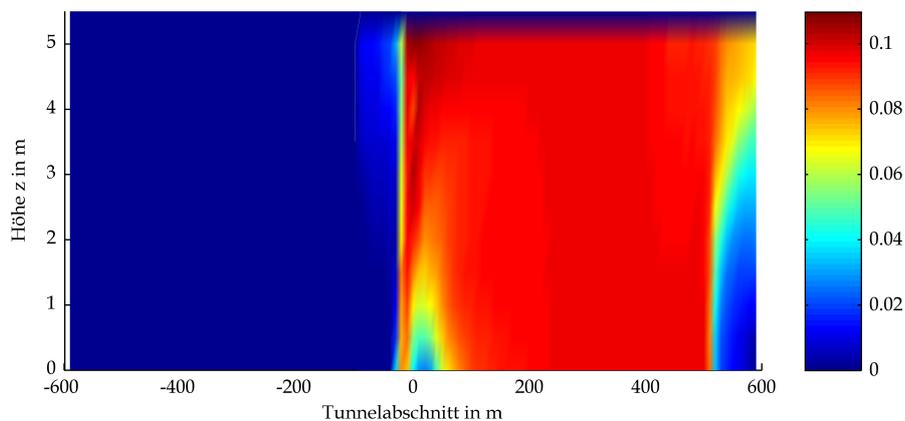
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 CO₂-Gehalt in Masse-% bei t=60s



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

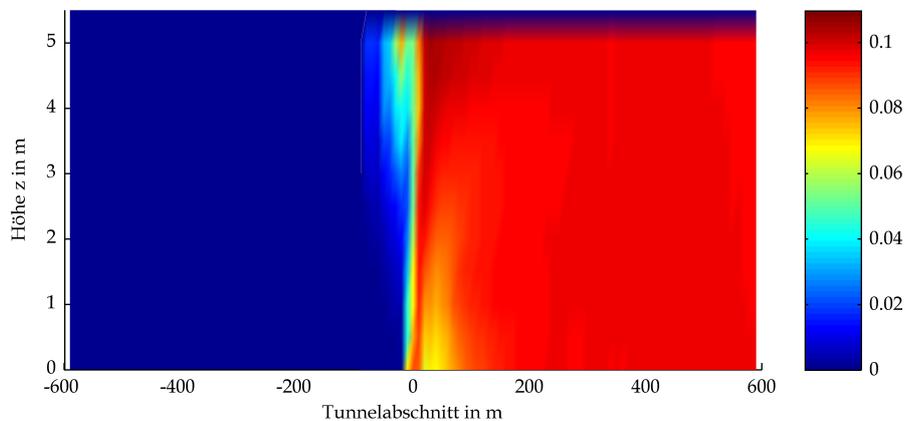


BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 CO₂-Gehalt in Masse-% bei t=180s

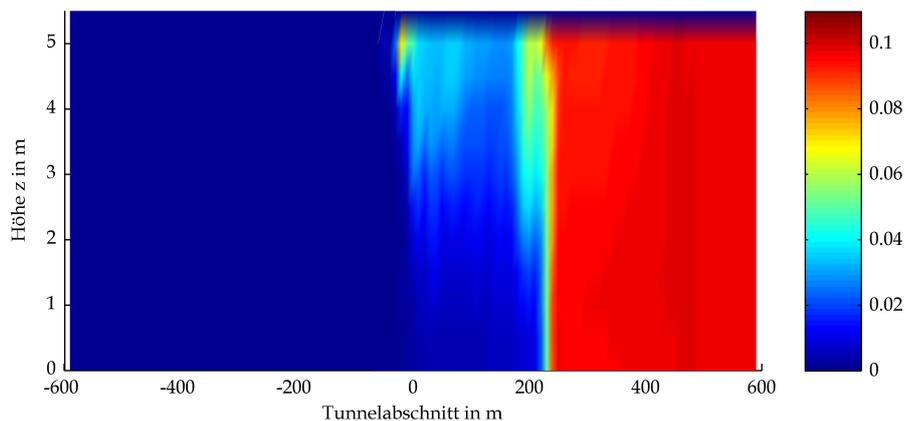


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

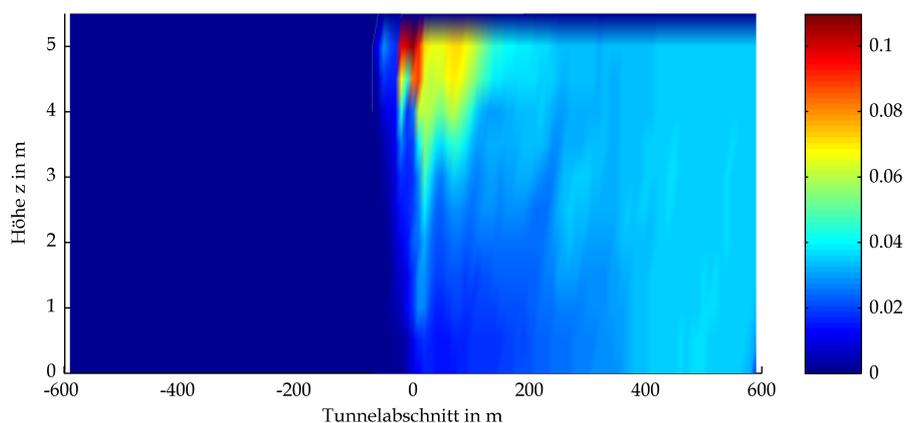
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 CO₂-Gehalt in Masse-% bei t=240s



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

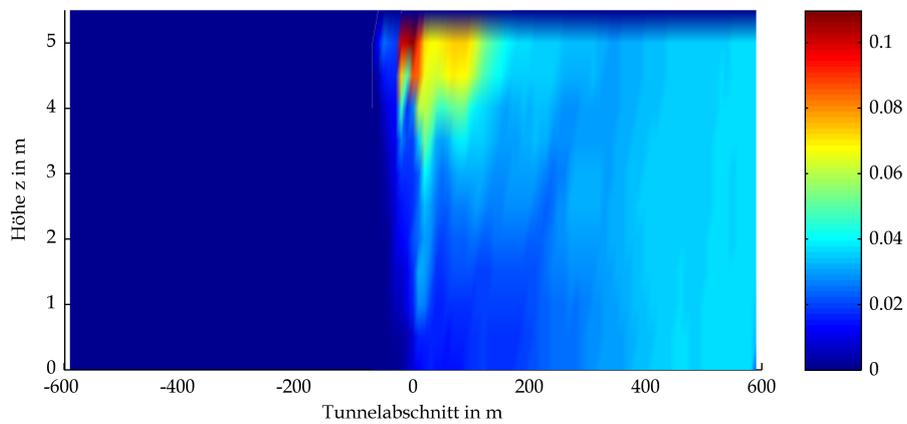


BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 CO₂-Gehalt in Masse-% bei t=600s

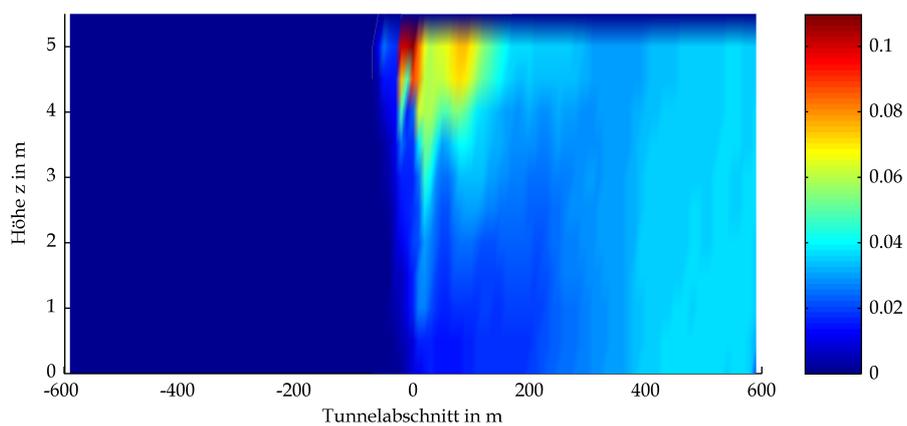


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

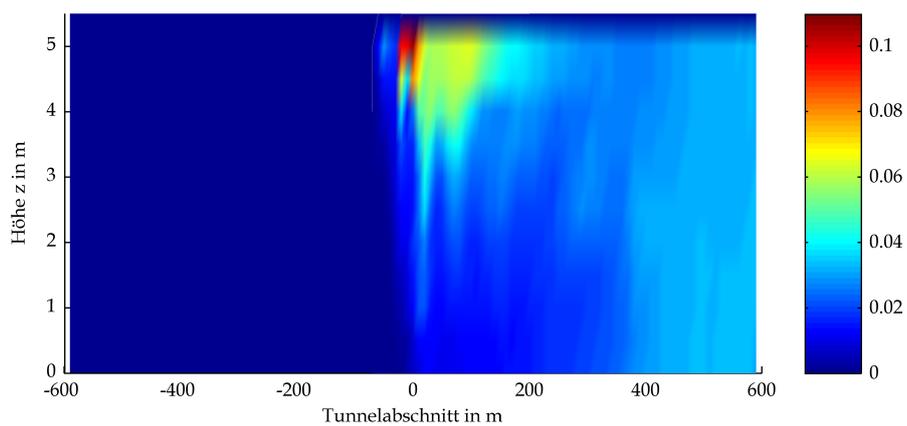
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 CO₂-Gehalt in Masse-% bei t=900s



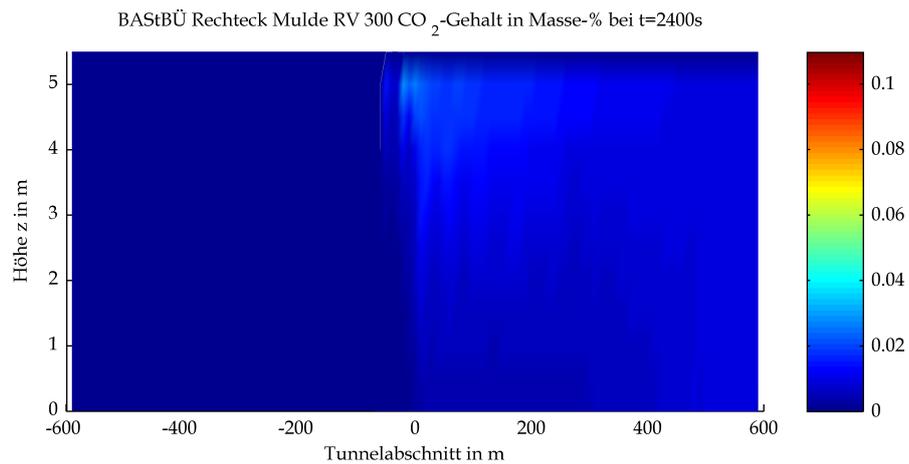
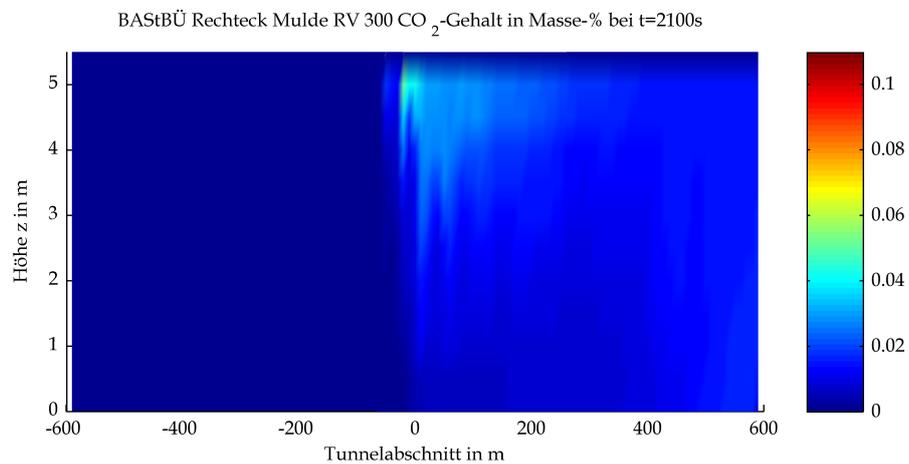
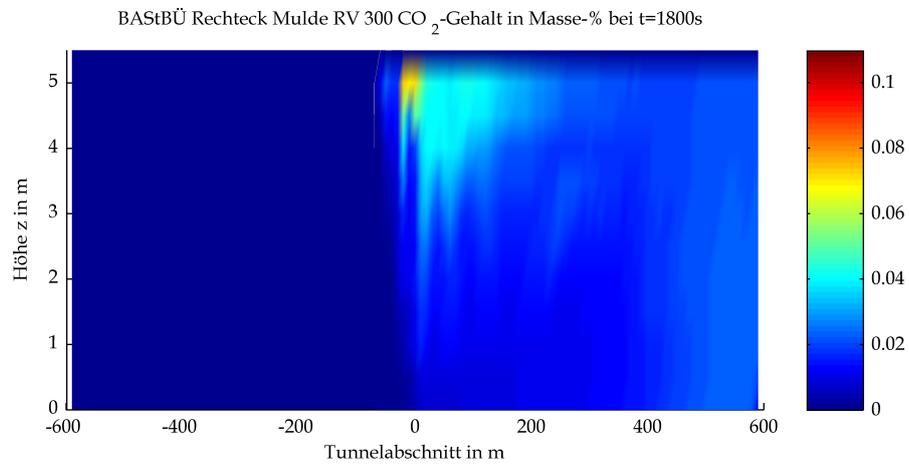
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 CO₂-Gehalt in Masse-% bei t=1200s



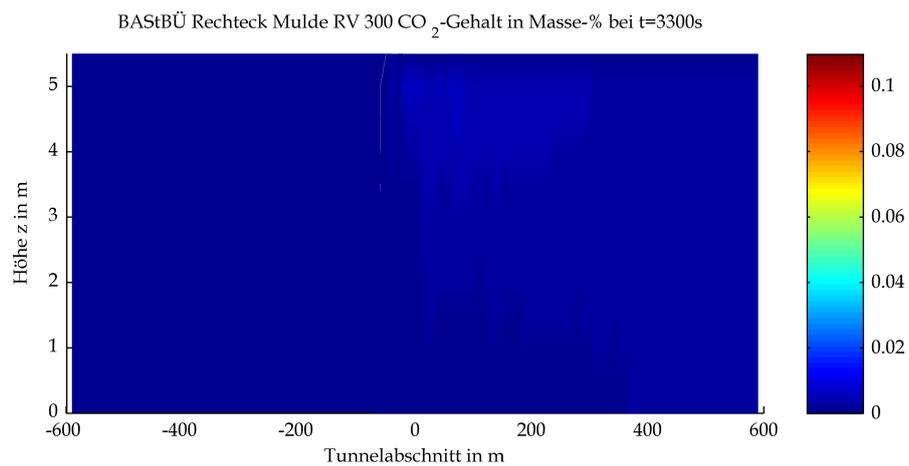
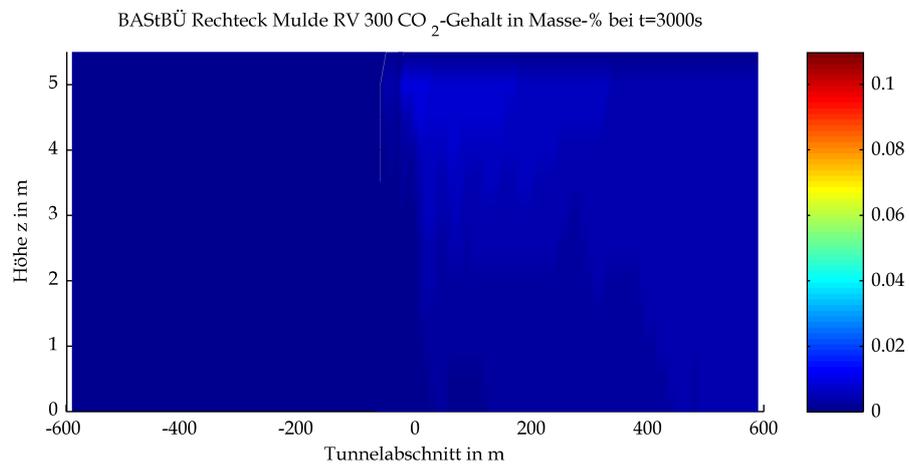
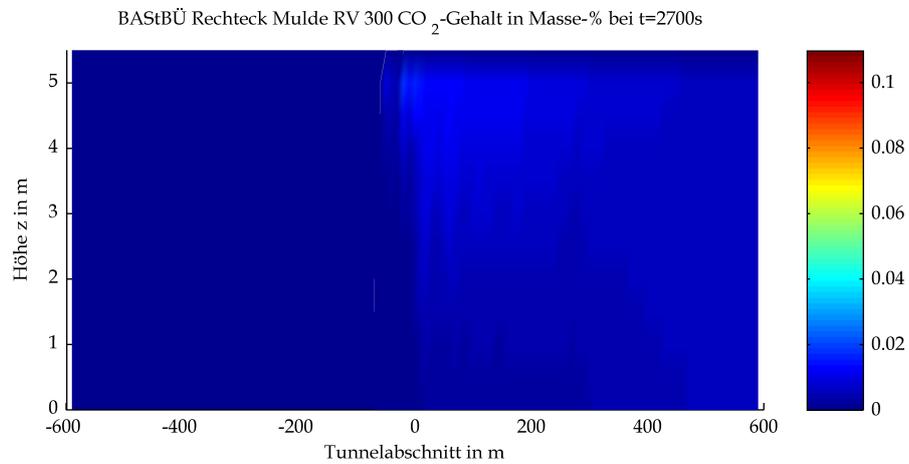
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 CO₂-Gehalt in Masse-% bei t=1500s



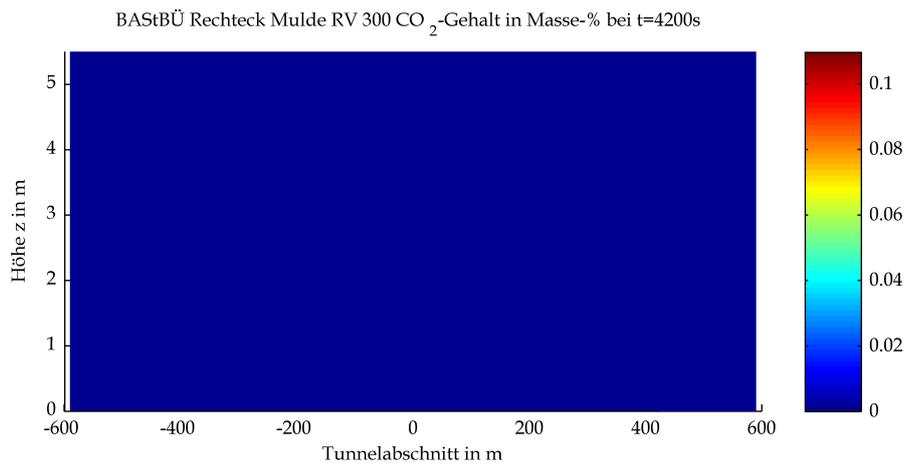
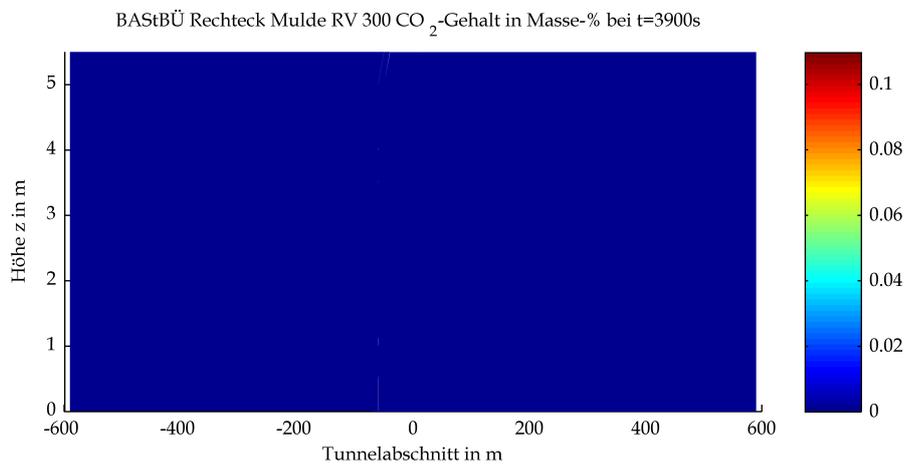
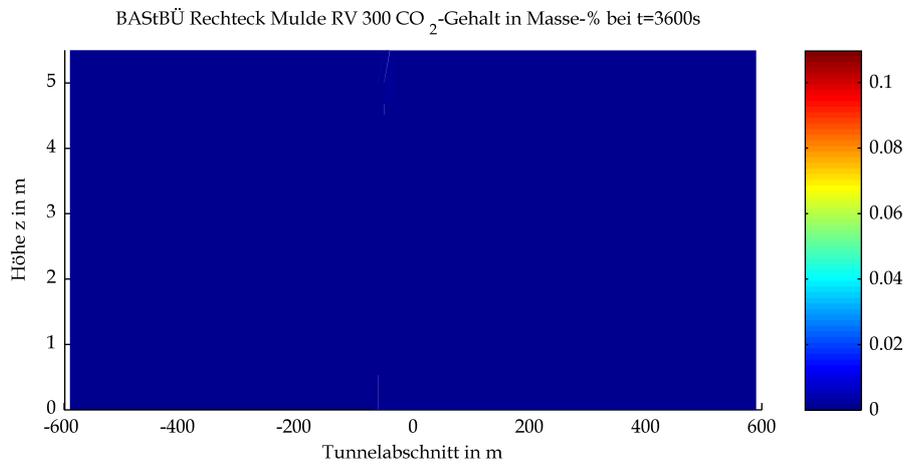
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

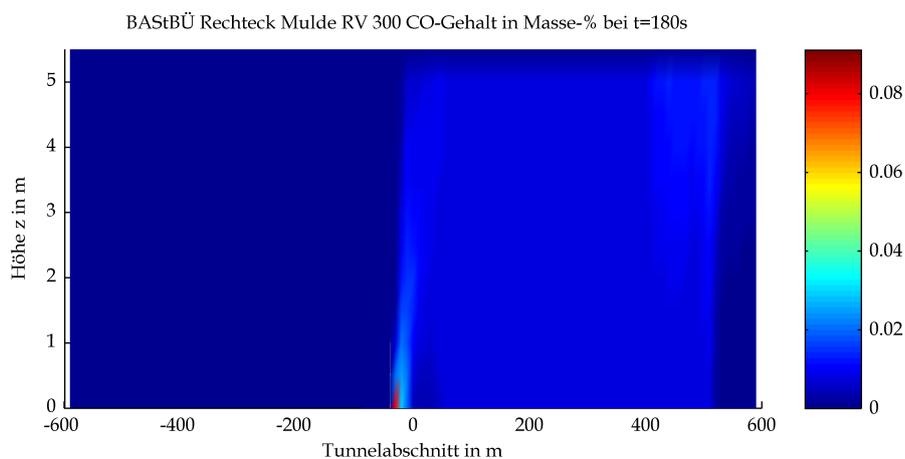
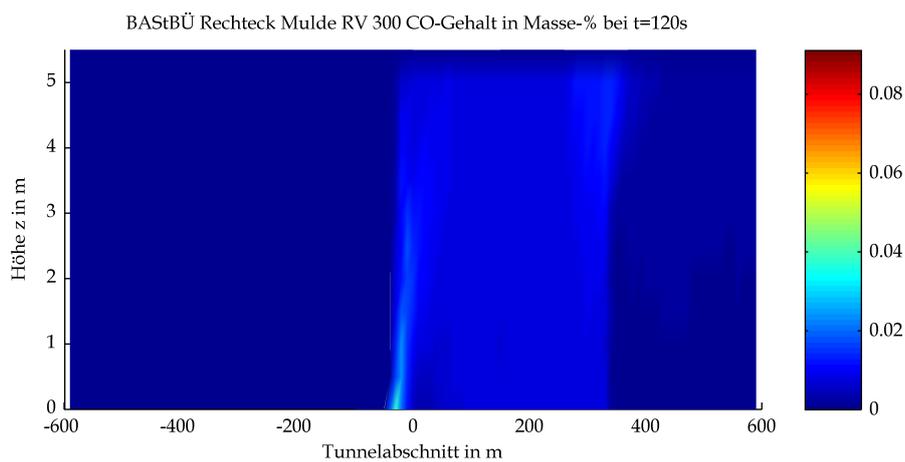
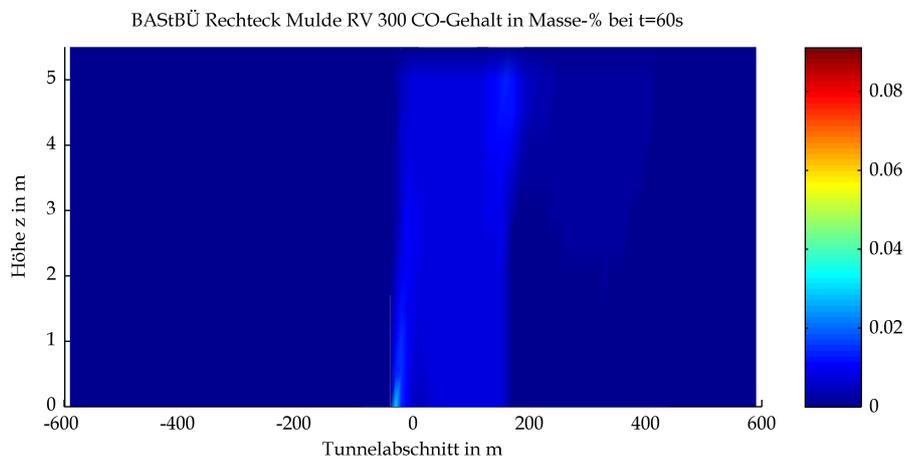


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

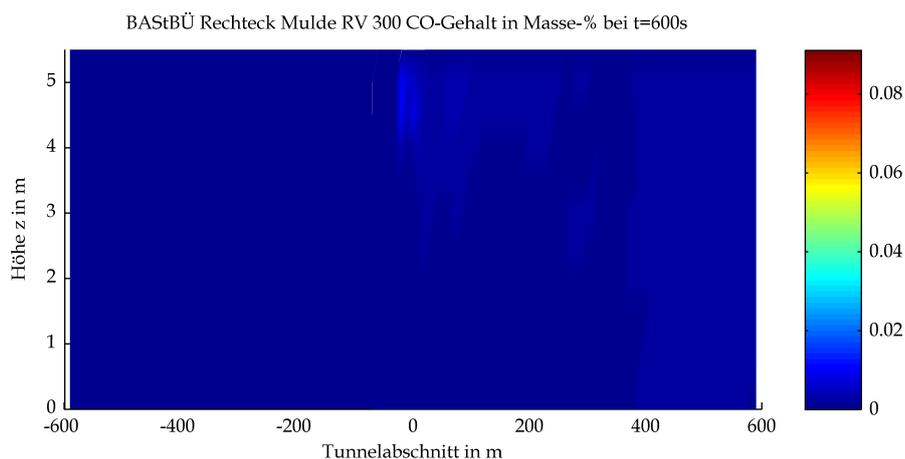
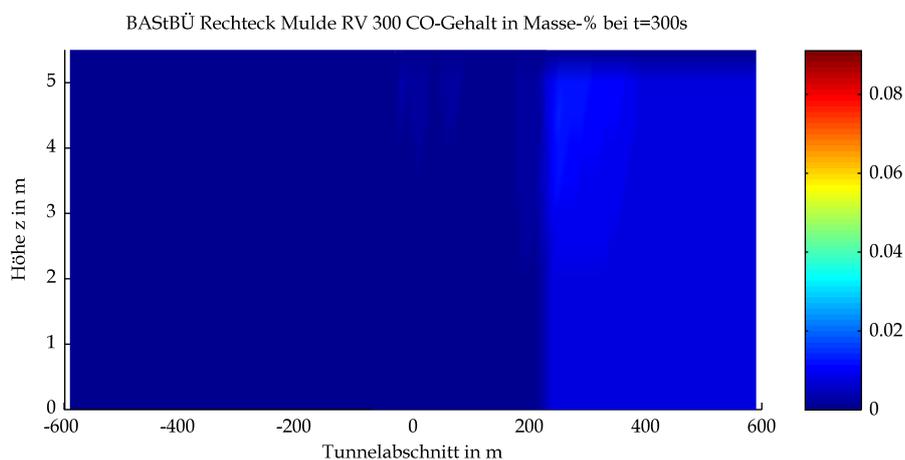
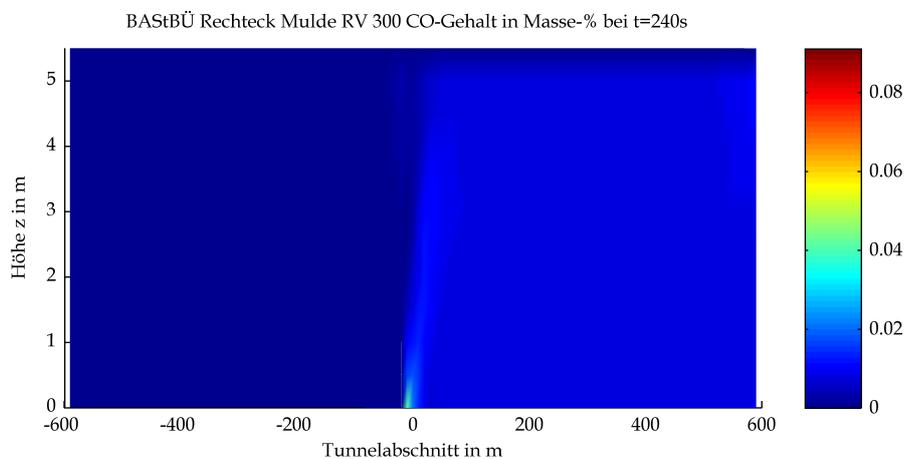


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlendioxidgehalte

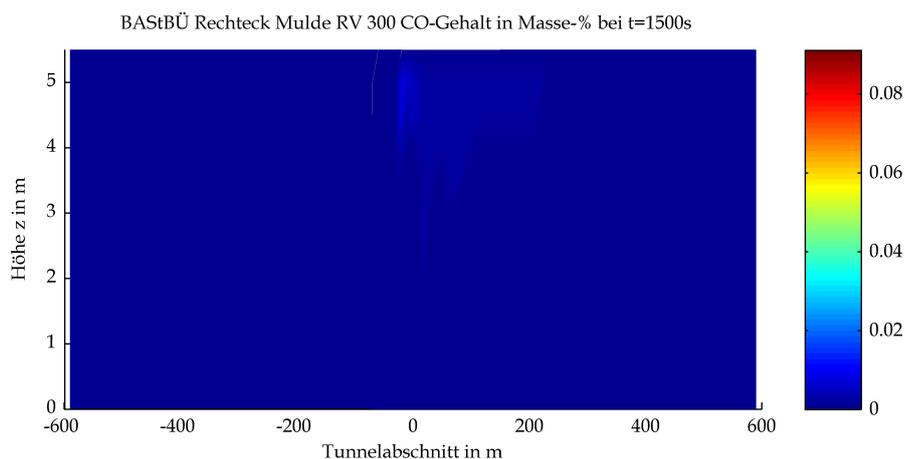
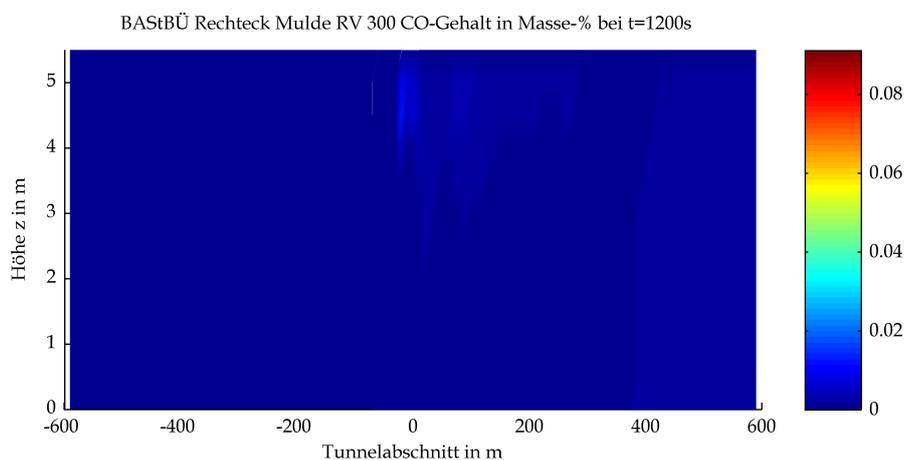
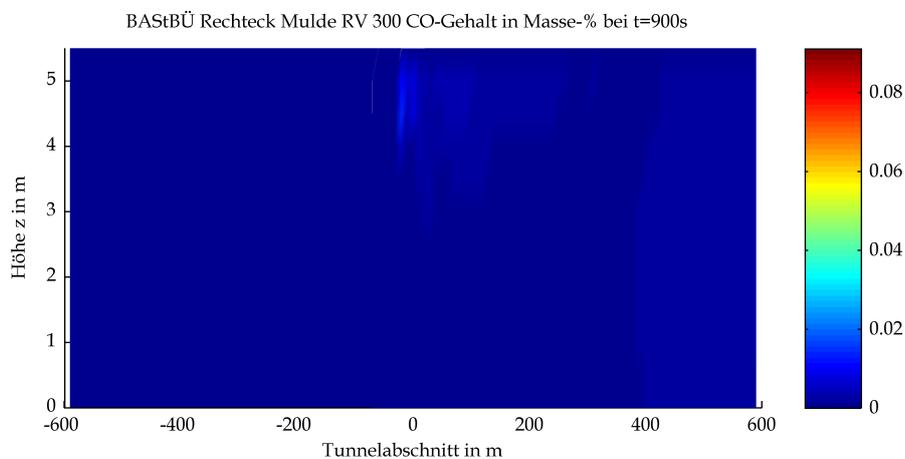
7 Kohlenmonoxidgehalt



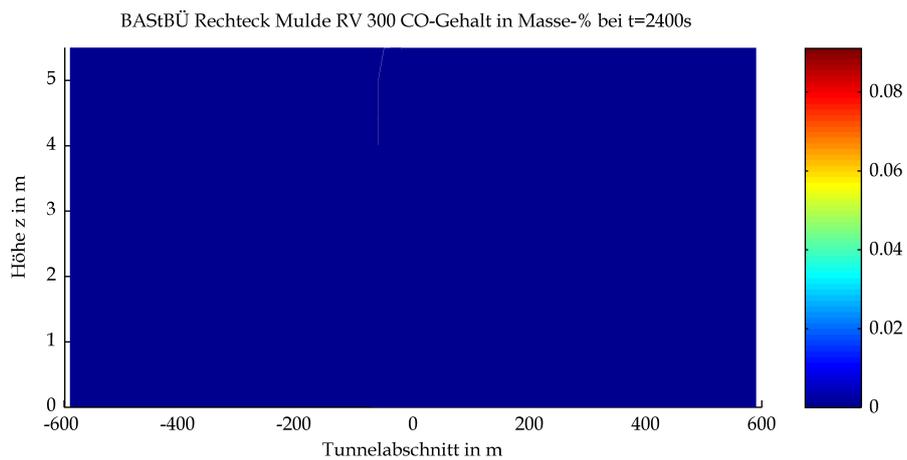
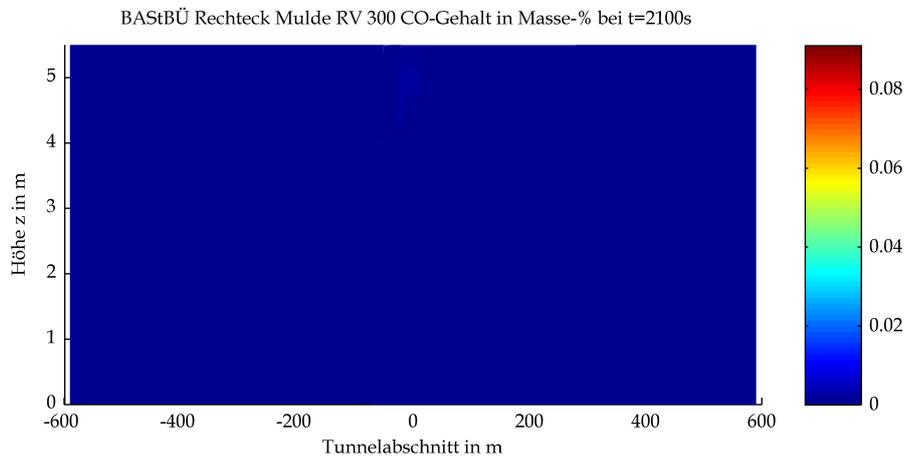
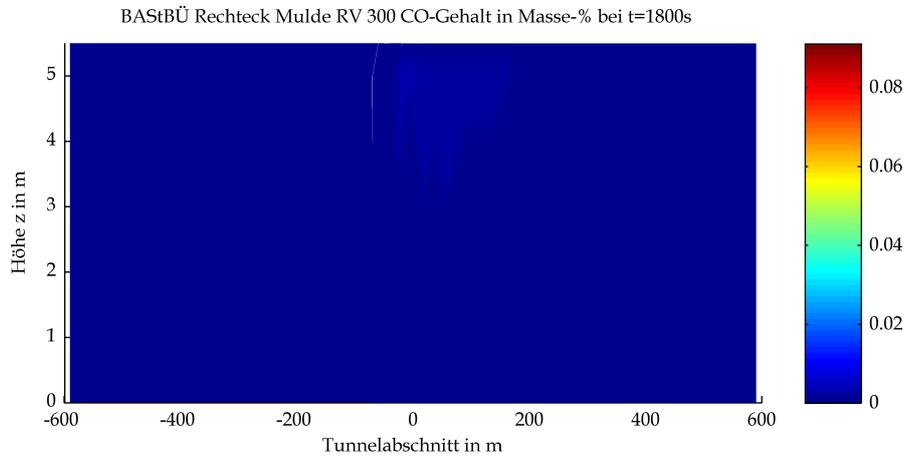
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



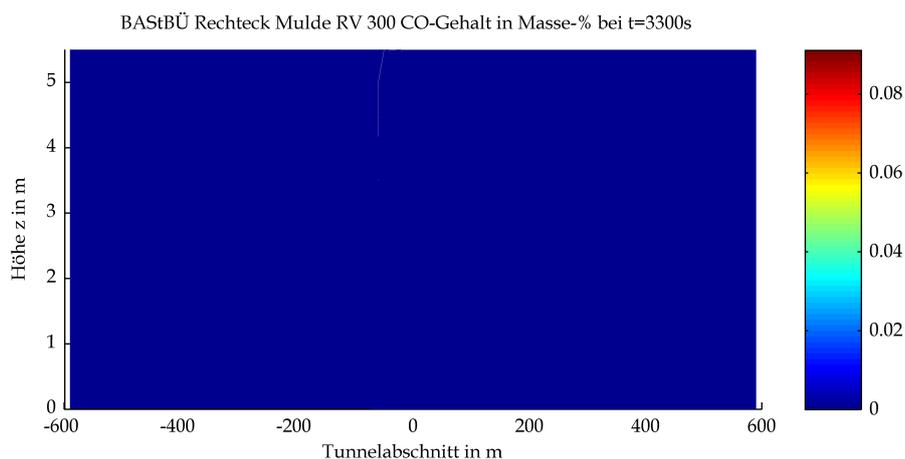
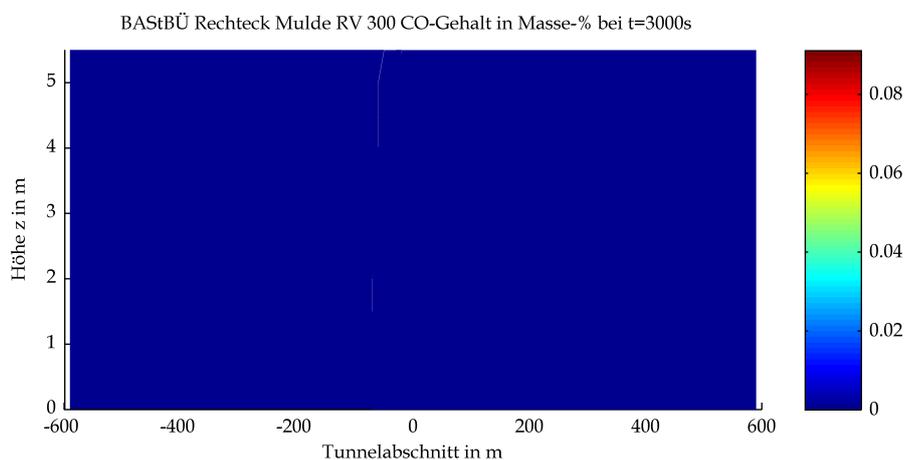
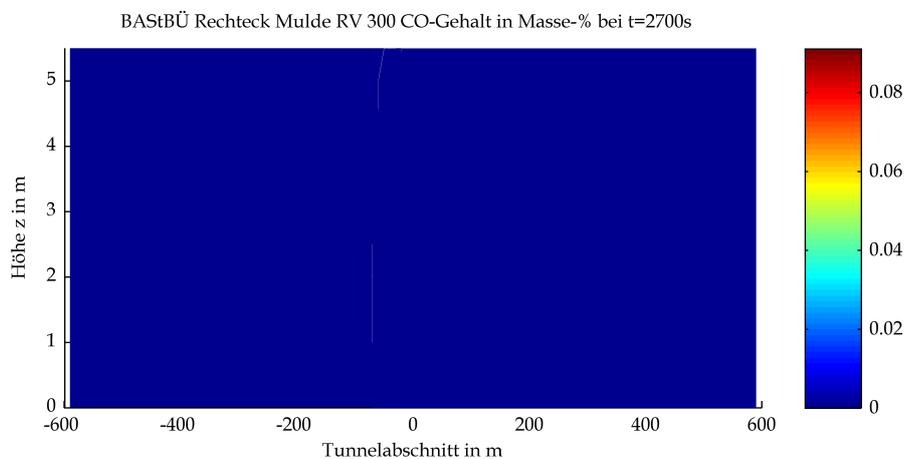
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



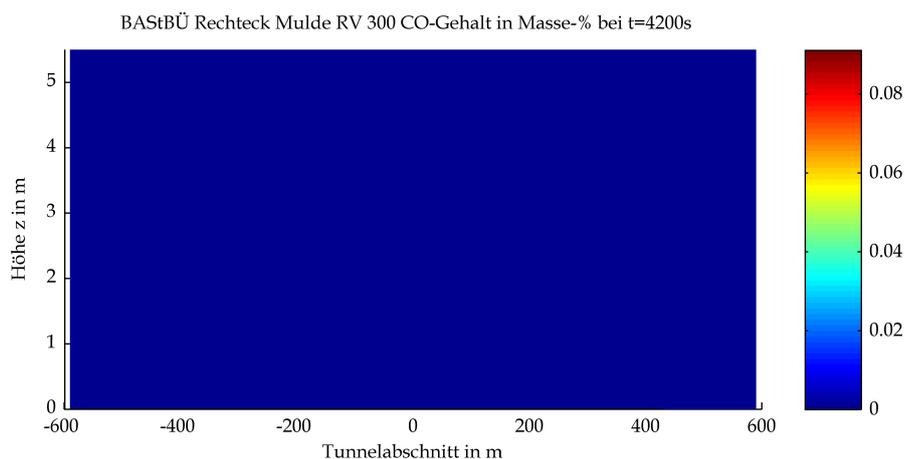
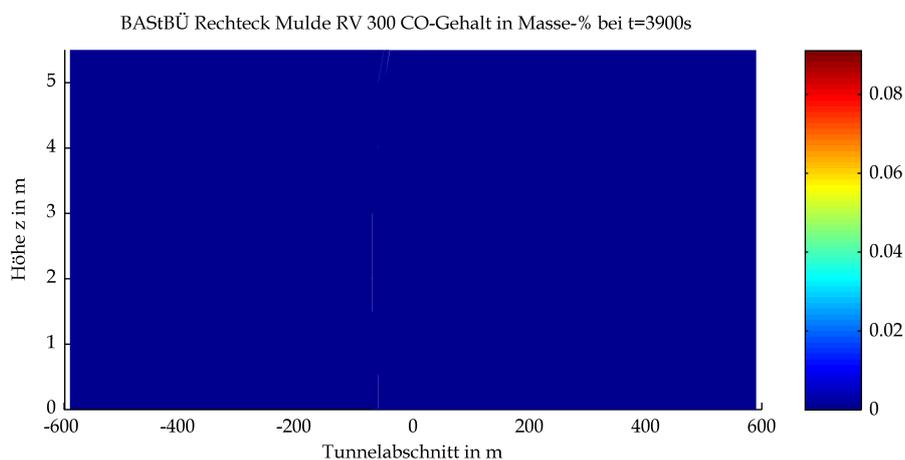
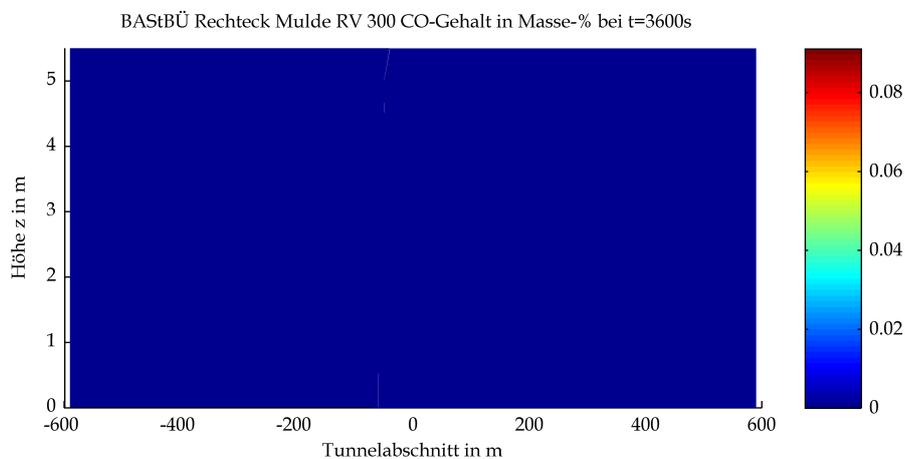
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



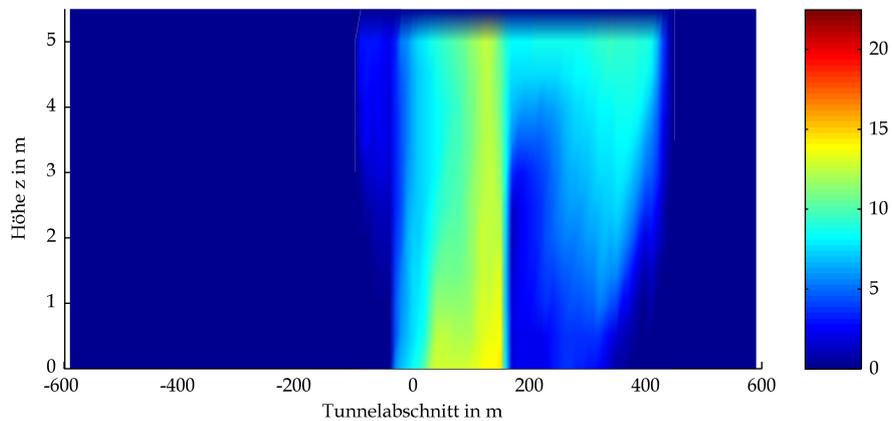
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte



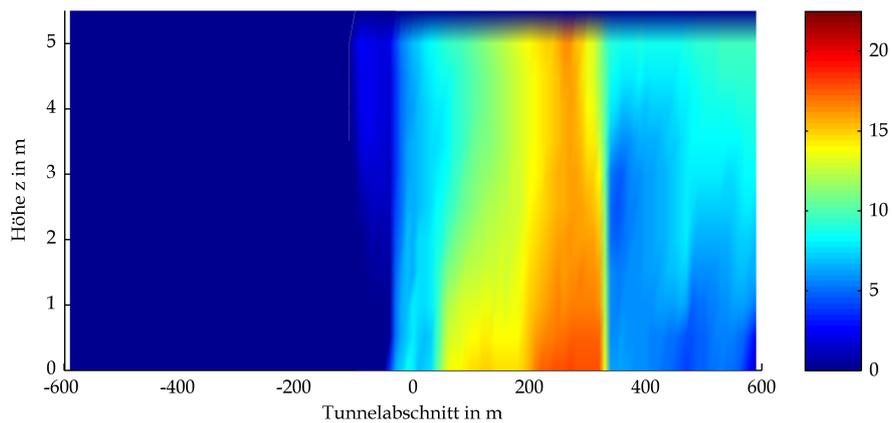
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Kohlenmonoxidgehalte

8 Optische Dichte

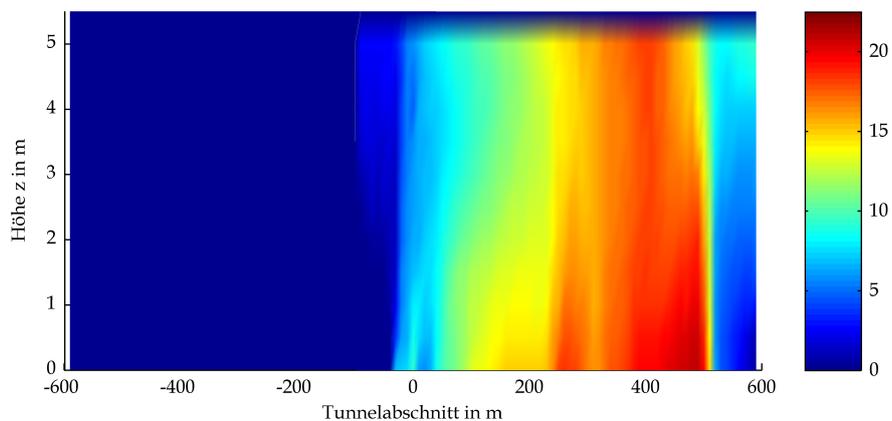
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=60s



BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=120s

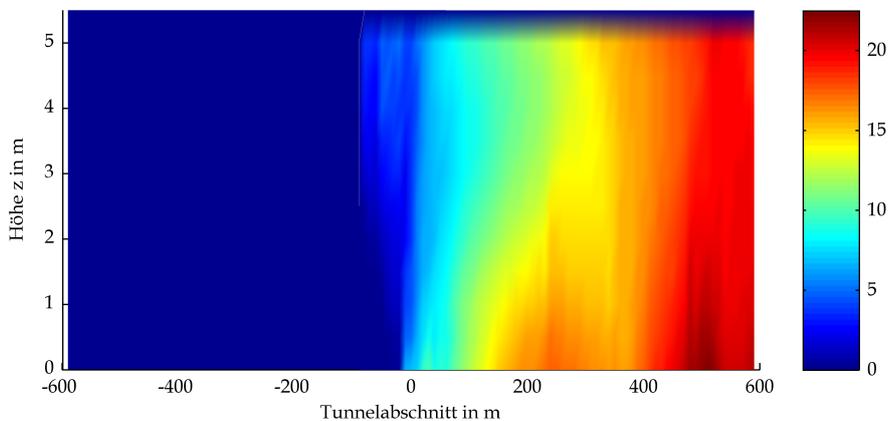


BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=180s

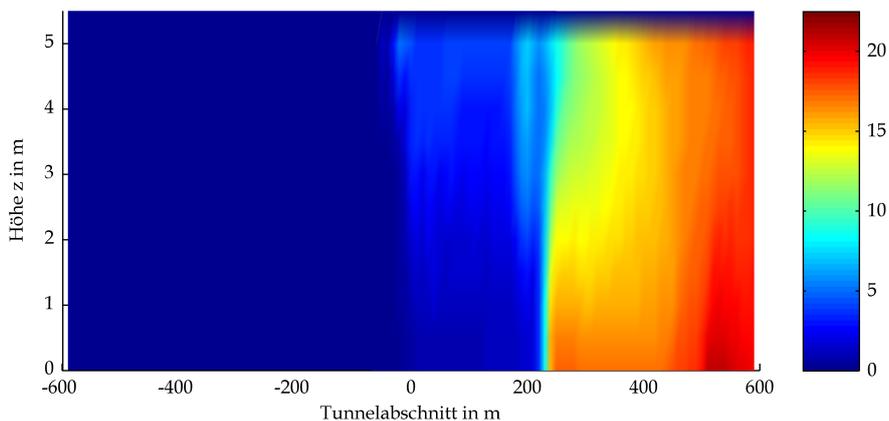


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

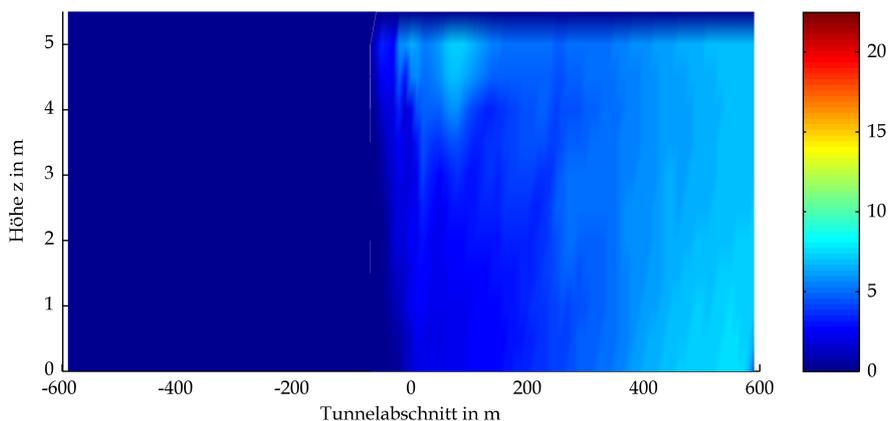
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=240s



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

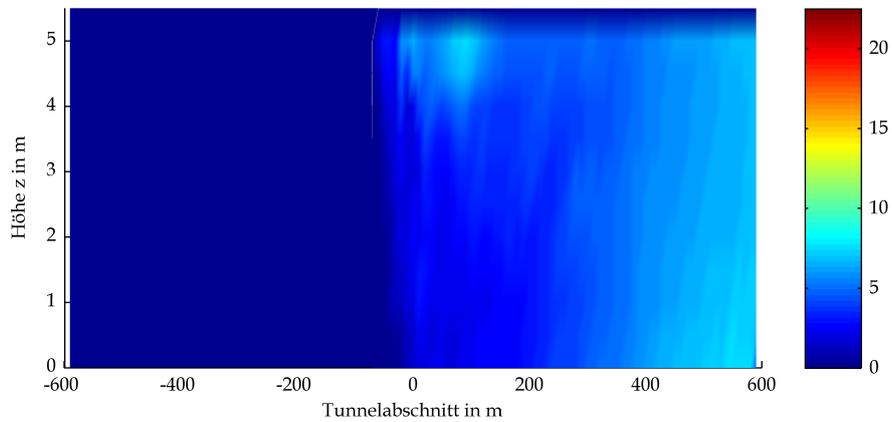


BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=600s

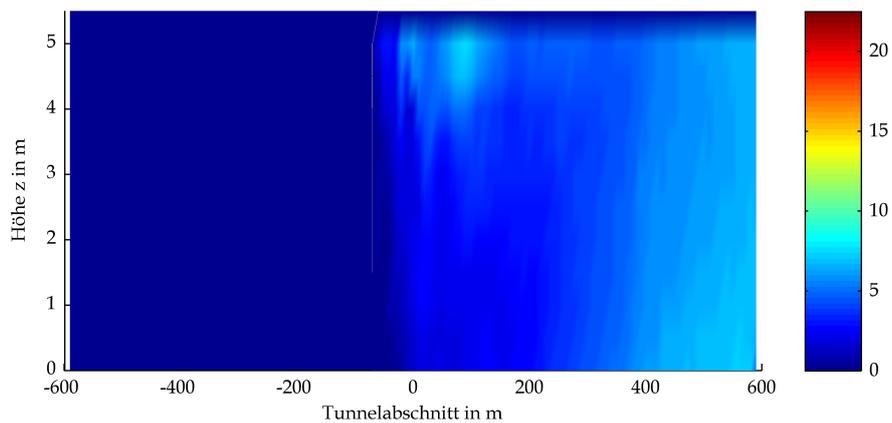


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

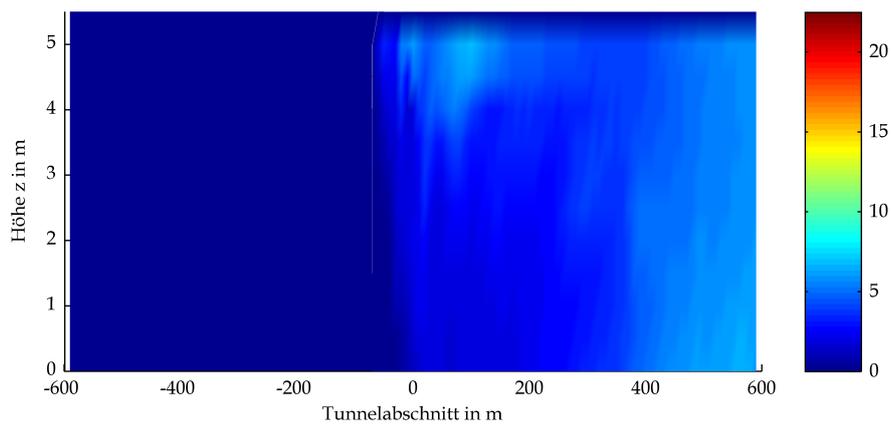
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=900s



BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=1200s

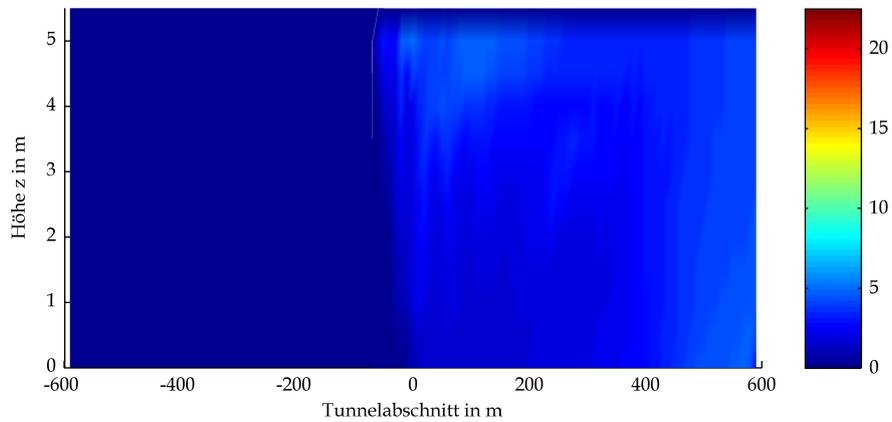


BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=1500s

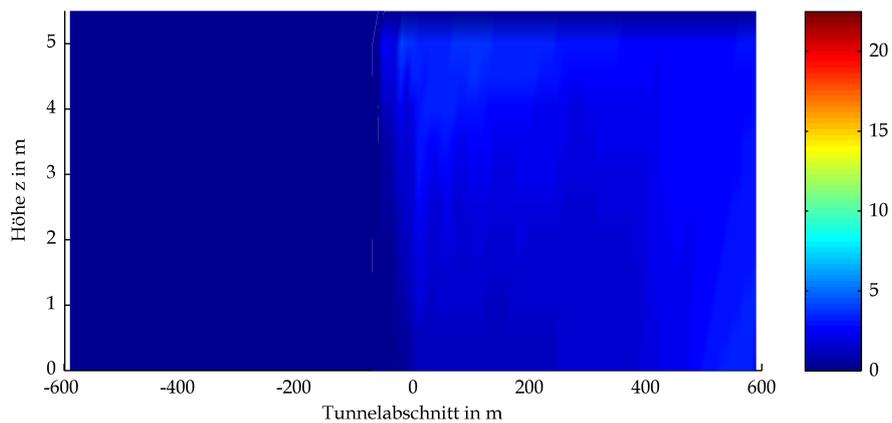


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

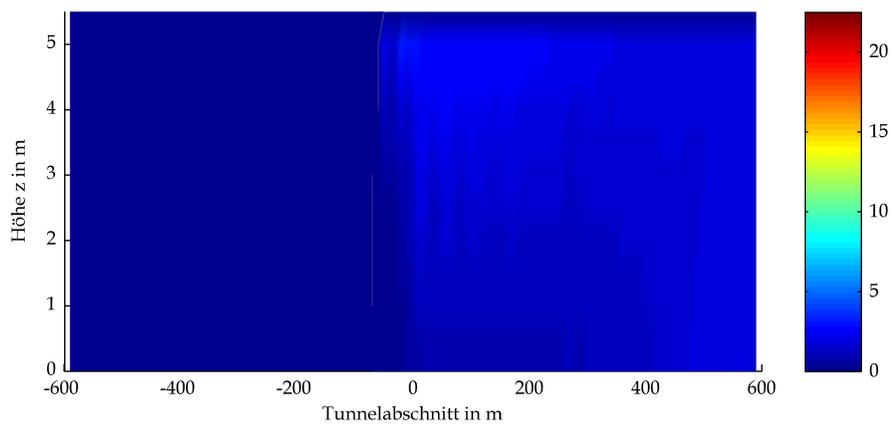
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=1800s



BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=2100s

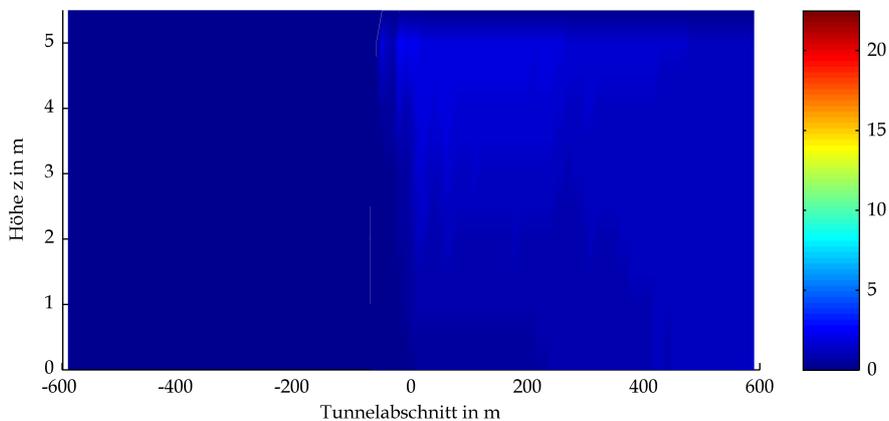


BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=2400s

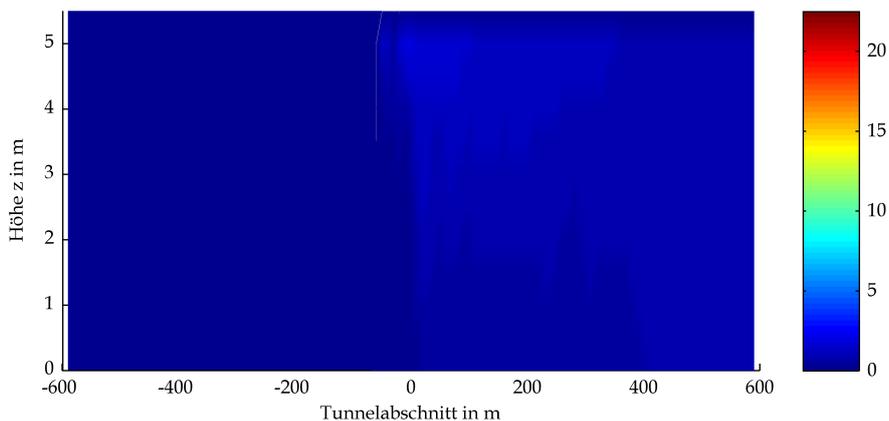


Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

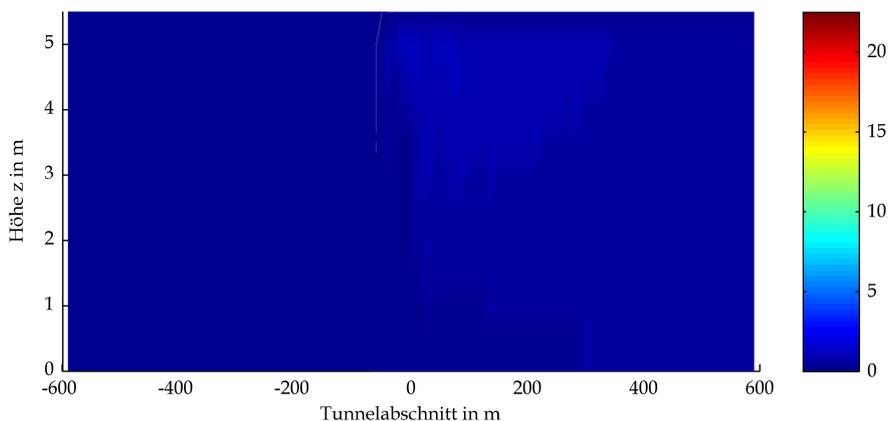
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=2700s



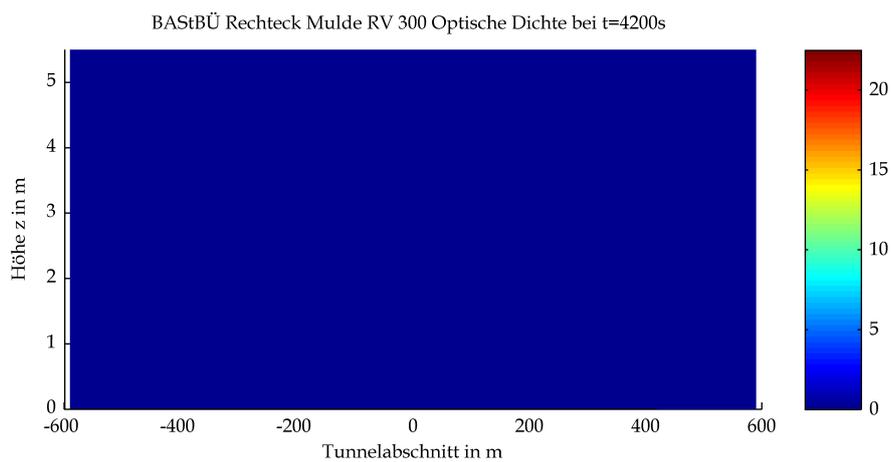
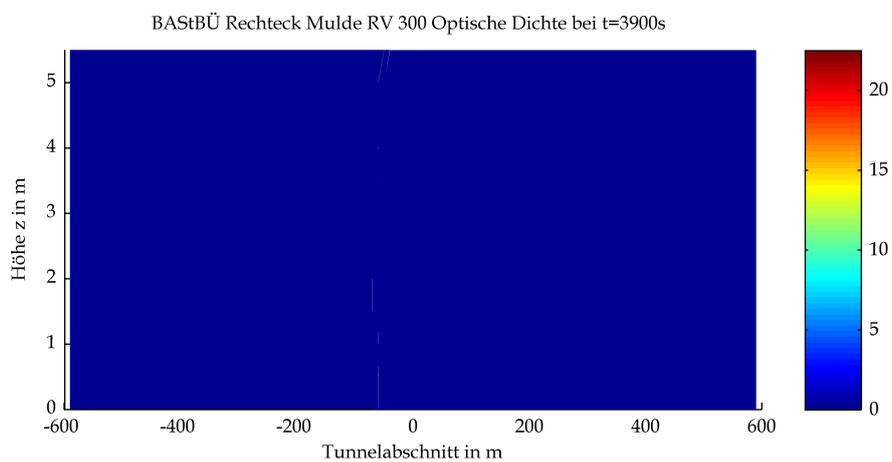
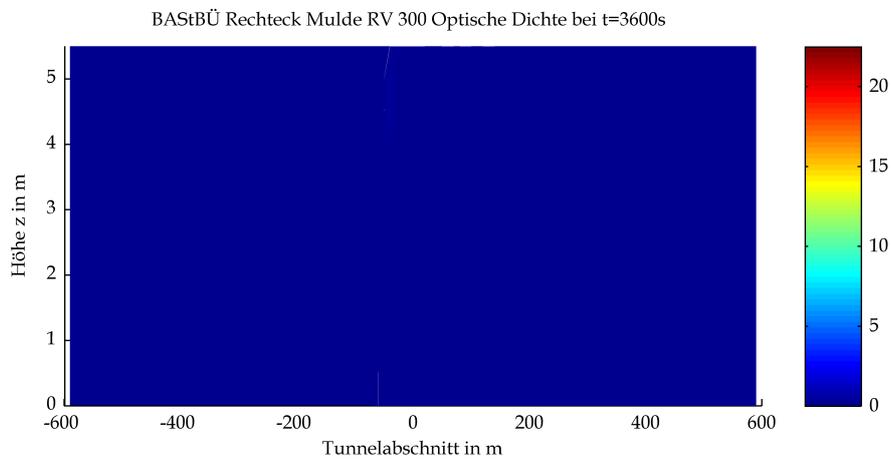
BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=3000s



BAStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Optische Dichte bei t=3300s



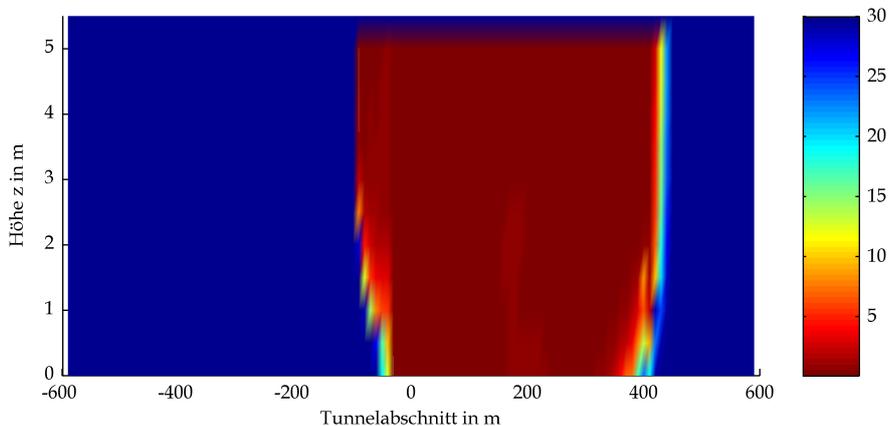
Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten



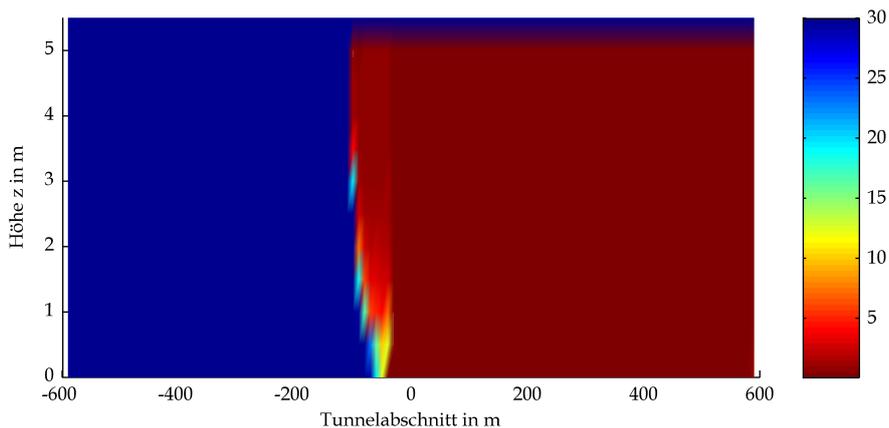
Mittels CFD-Berechnung ermittelte optische Dichten

9 Sichtweiten

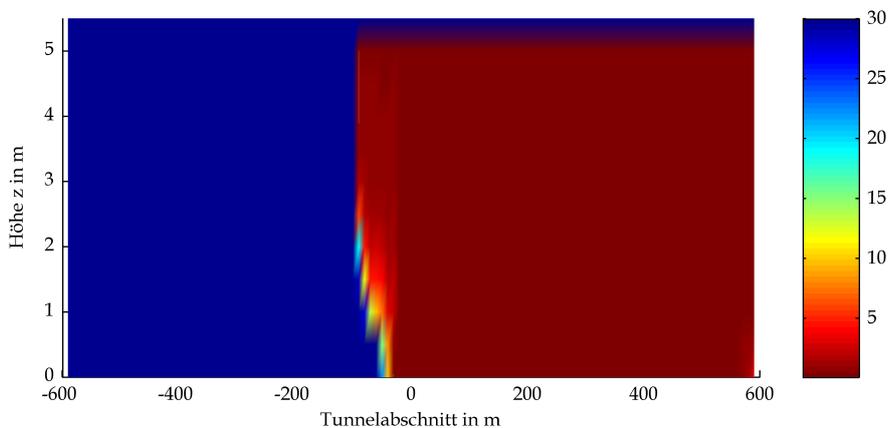
BASStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Sichtbarkeit in m bei t=60s



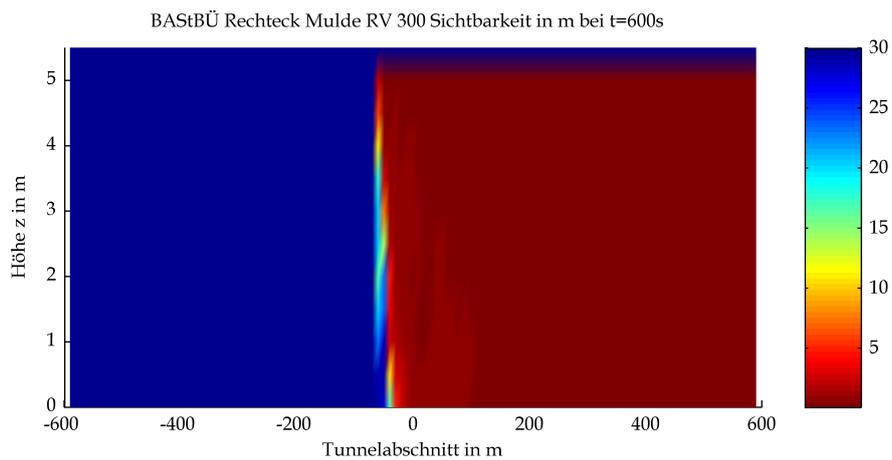
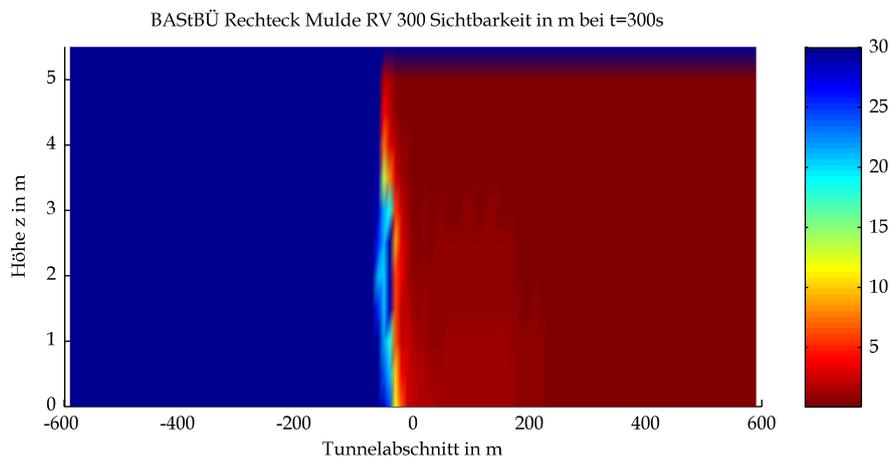
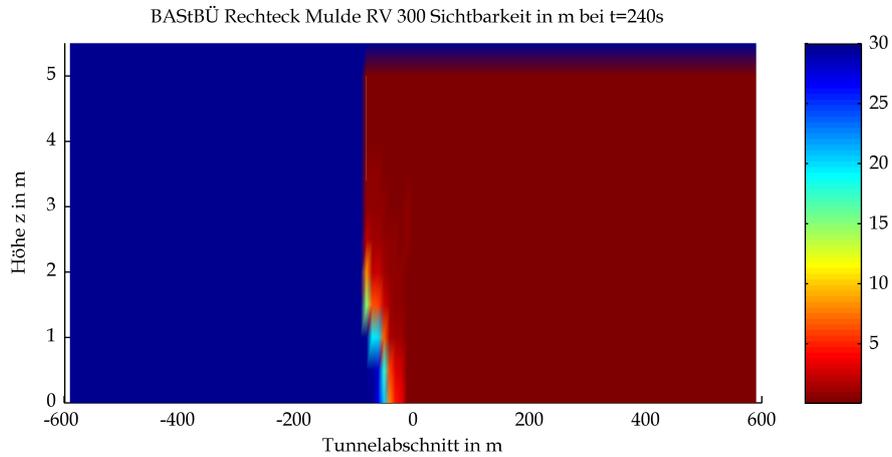
BASStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Sichtbarkeit in m bei t=120s



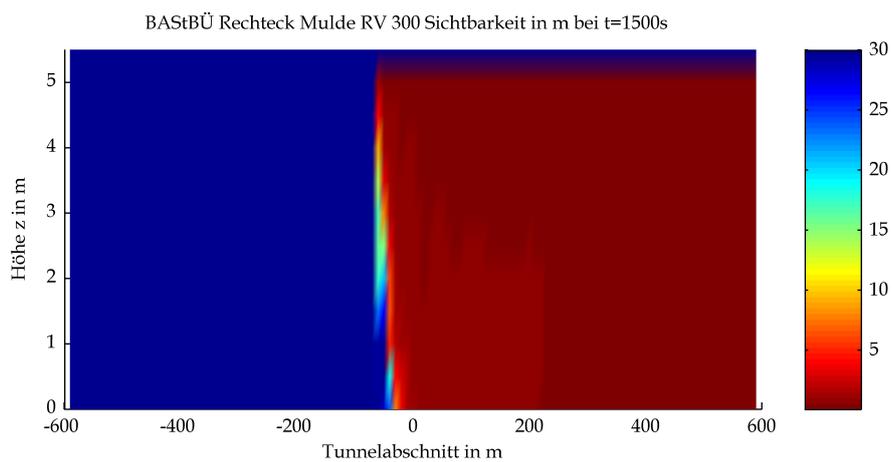
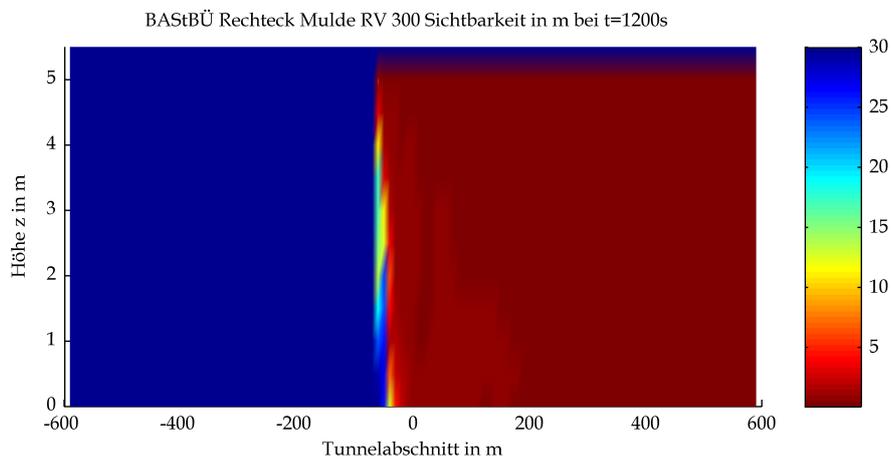
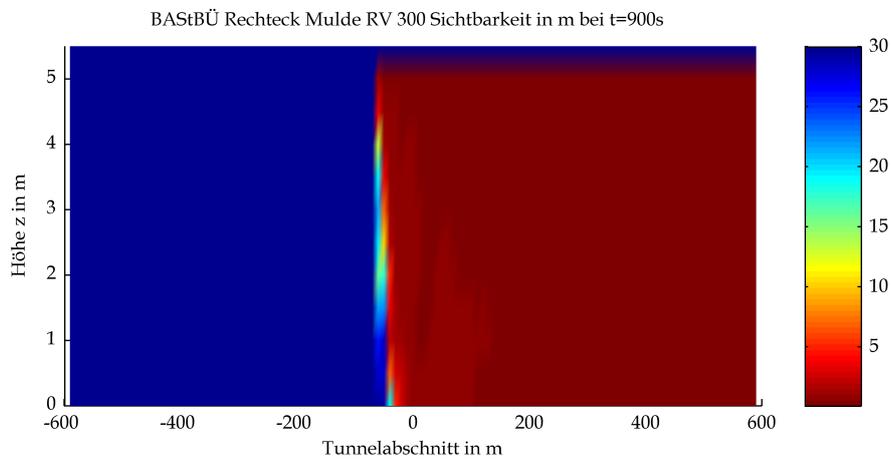
BASStBÜ Rechteck Mulde RV 300 Sichtbarkeit in m bei t=180s



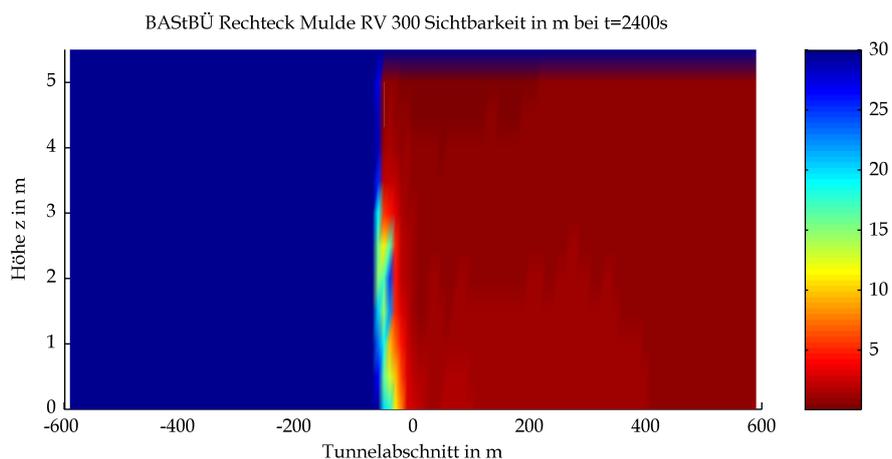
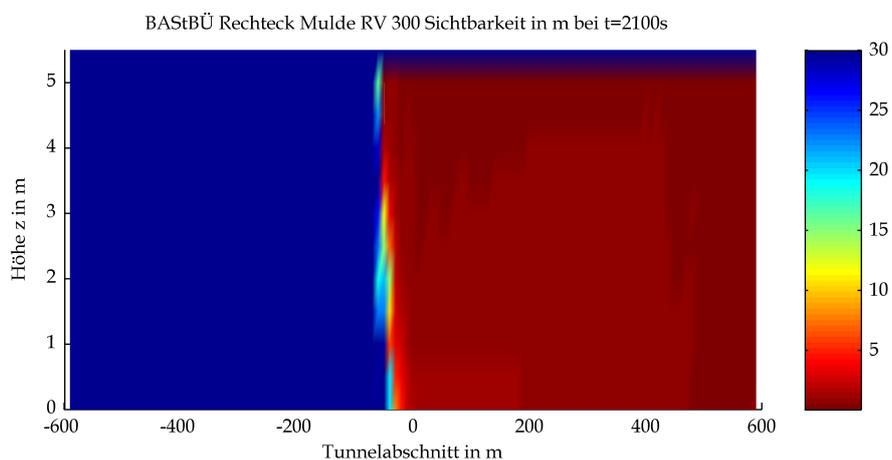
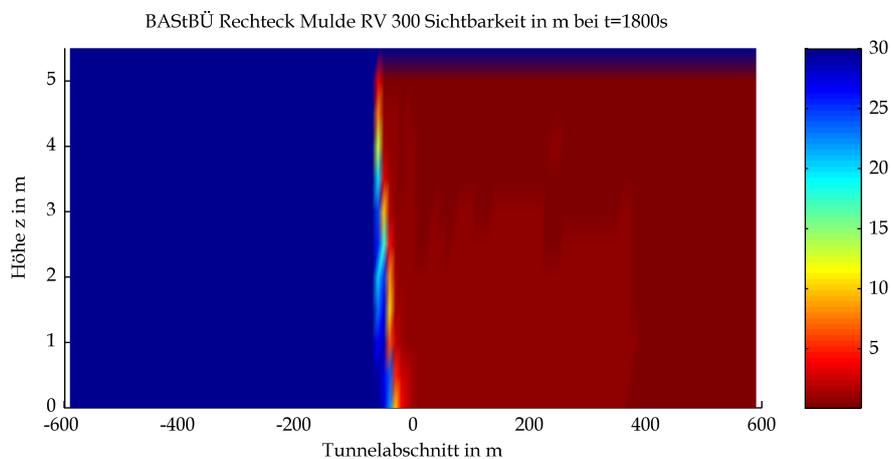
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



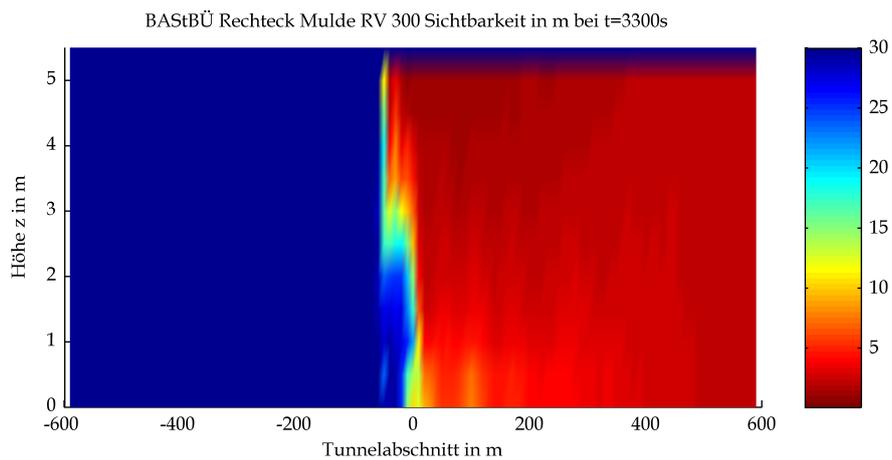
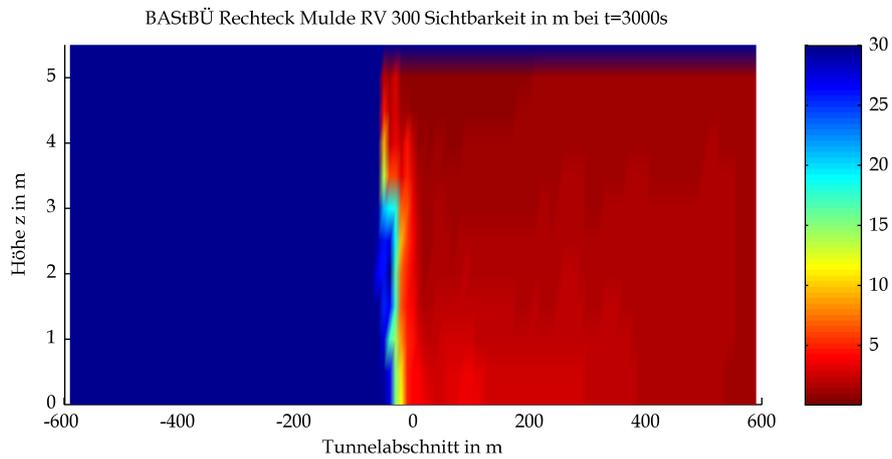
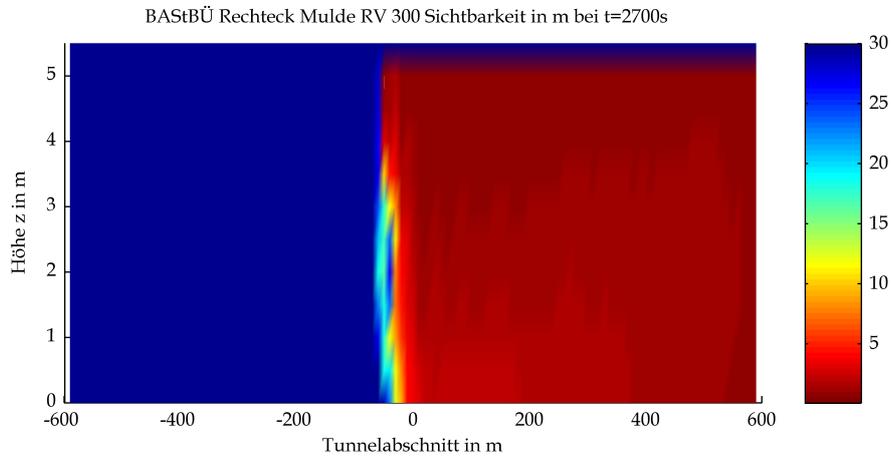
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



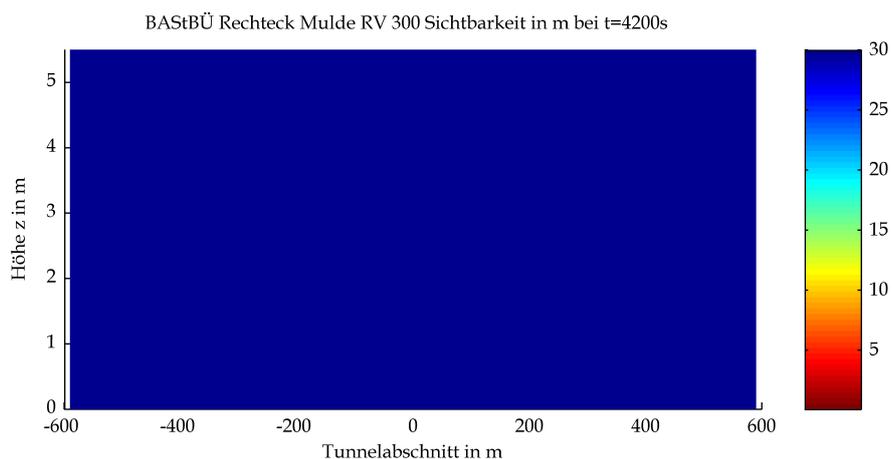
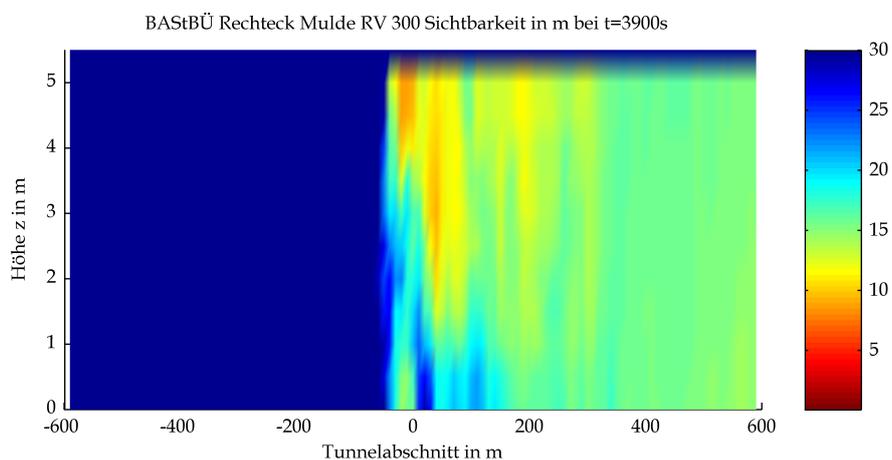
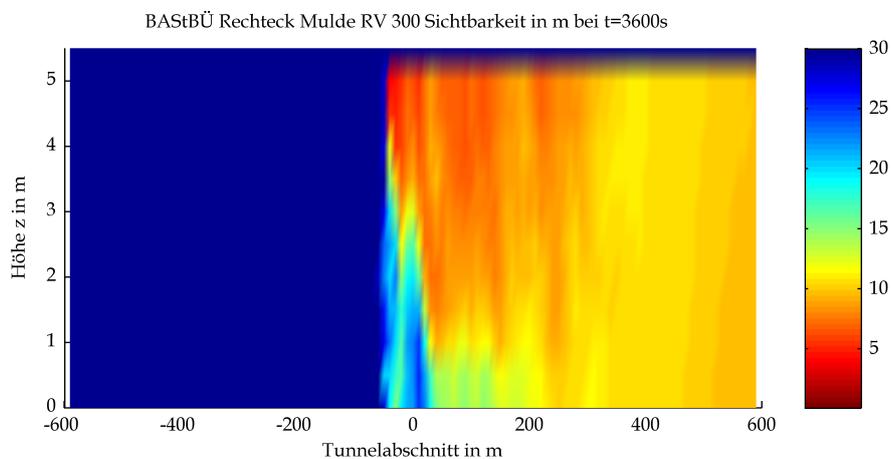
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

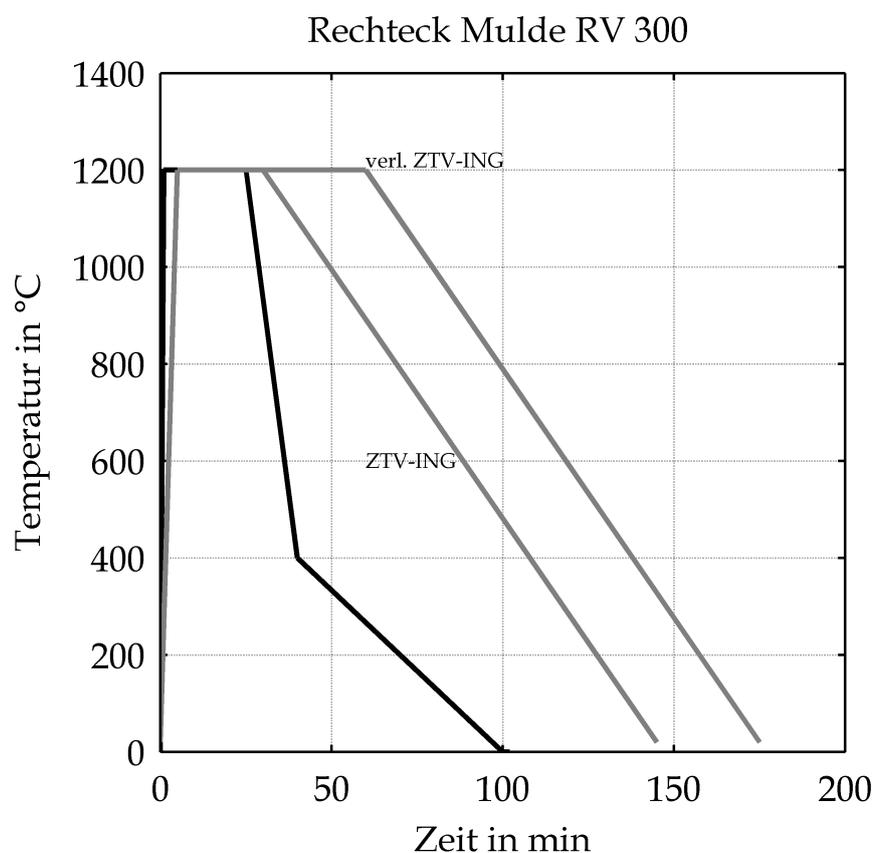


Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten



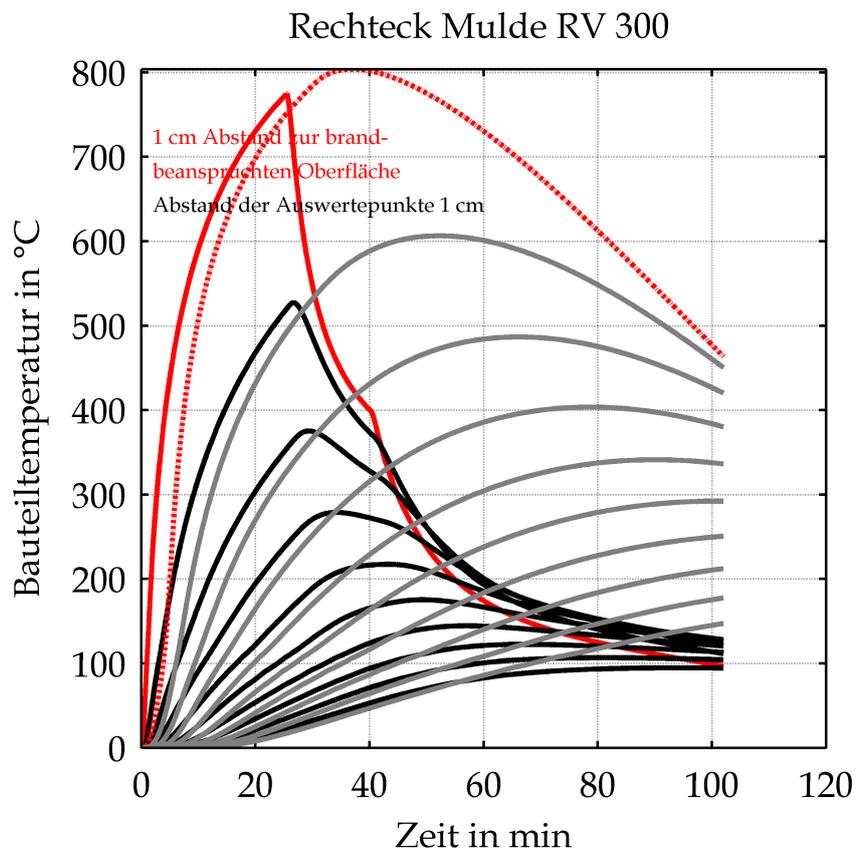
Mittels CFD-Berechnung ermittelte Sichtweiten

IV Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf



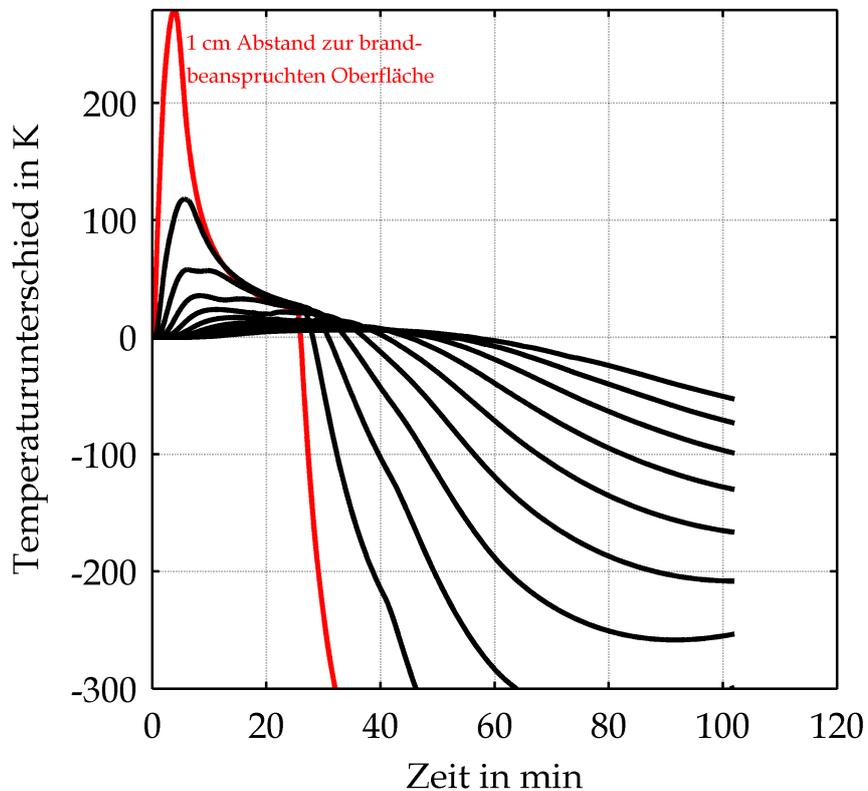
Bewerteter Temperatur-Zeit-Verlauf unter Berücksichtigung der Ventilationsbedingungen bzw. der Sauerstoffversorgung (schwarz) sowie Temperatur-Zeit-Verlauf nach ZTV-ING und RWS-Kurve (beide grau)

V Durchwärmungsverhalten



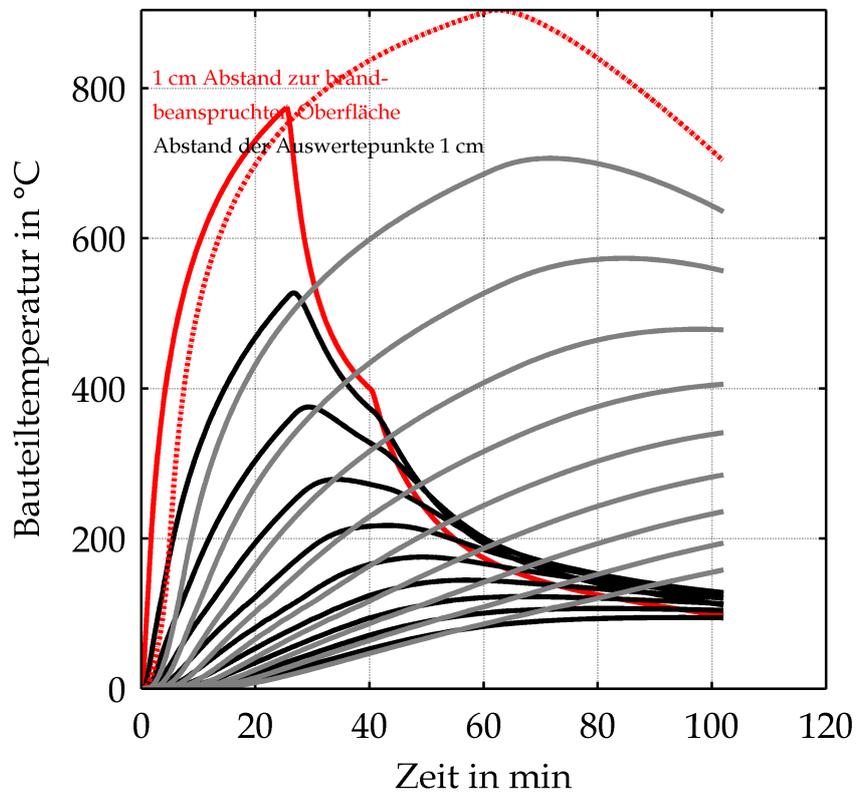
Bauteiltemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche für den bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf (rot und schwarz) und infolge ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve (rot gestrichelt, grau)

Rechteck Mulde RV 300



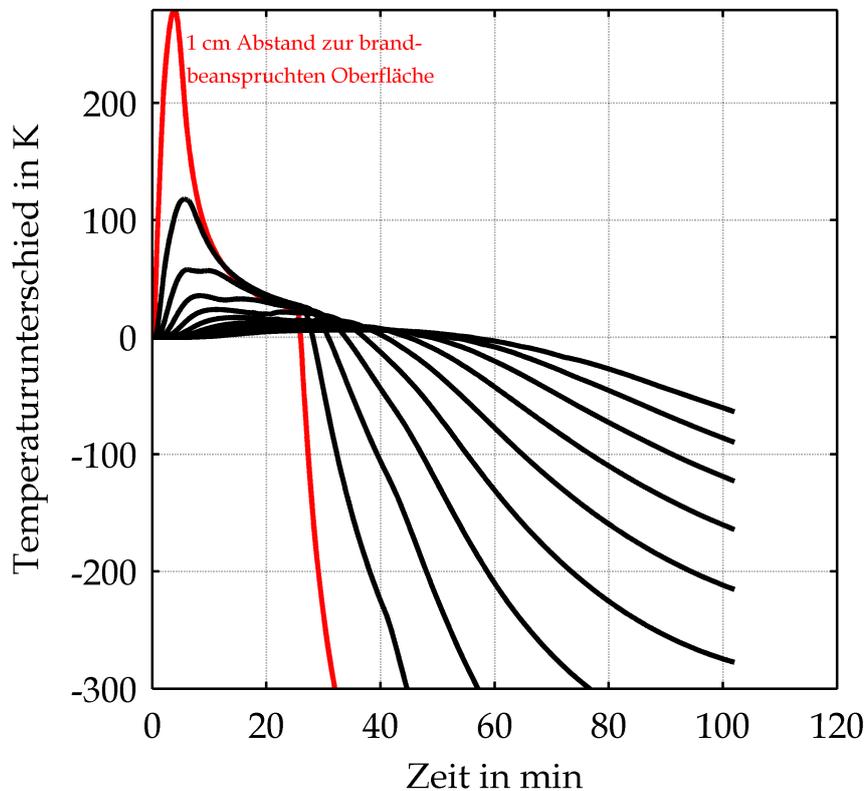
Temperaturdifferenz in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche zwischen den Bauteiltemperaturen infolge des bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf und der ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve

Rechteck Mulde RV 300



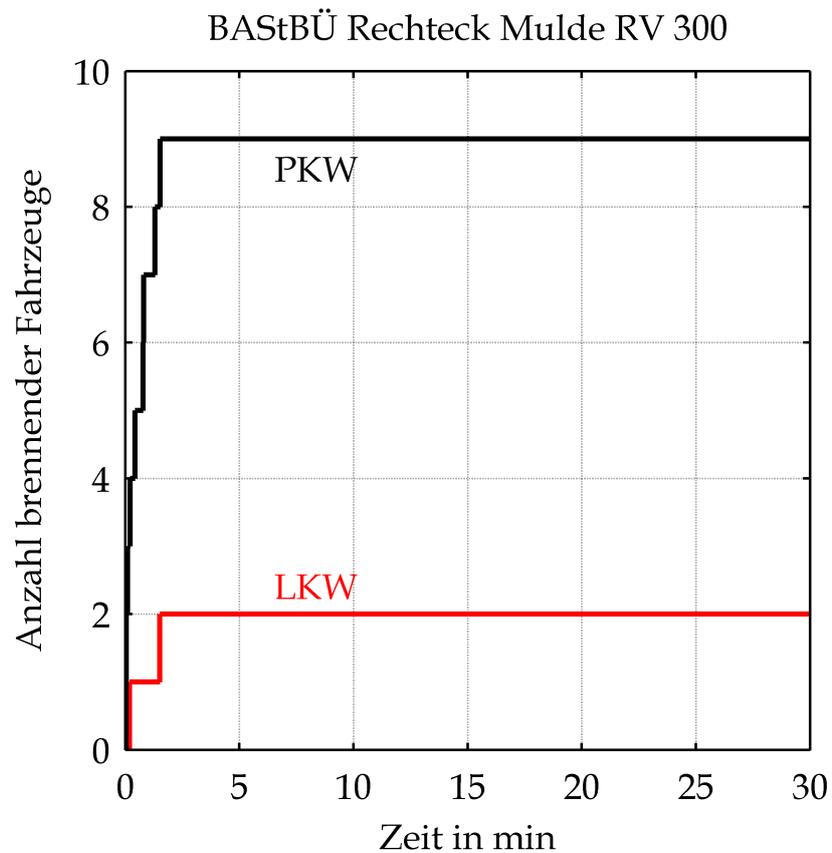
Bauteiltemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit und dem Abstand zur Bauteiloberfläche für den bewerteten Temperatur-Zeit-Verlauf (rot und schwarz) und infolge verlängerter ZTV-ING-Temperatur-Zeit-Kurve (rot gestrichelt, grau)

Rechteck Mulde 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)