





HBI Haerter Beratende Ingenieure

Nachhaltigkeit bei der Planung von Tunnellüftungen

Dr. Matthias Wehner

HBI Haerter GmbH
Heidenheim, Deutschland
www.hbi.eu

SIGRIST Tunnelsymposium 15. - 16.10.2025
in Regensburg

Inhalt:

Nachhaltigkeit bei der Planung von Tunnellüftungen



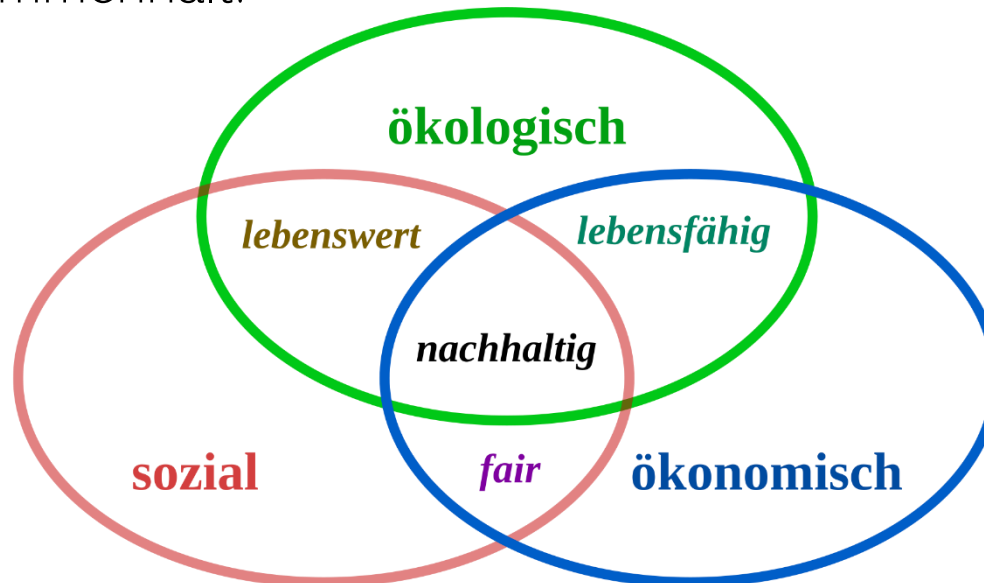
- Definition „Nachhaltigkeit“
- 2011 Tunnel Heslach in Stuttgart: Energieoptimierungen im Normalbetrieb durch Umstellung auf eine dynamische Steuerung der Lüftung
- 2019 Karoline-Luise-Tunnel in Karlsruhe (Kriegstrasse): Einsparung einer Abluftzentrale mit Kamin durch ein alternatives Verfahren zur Reduktion von Luftschadstoff-Immissionen
- 2022 Karoline-Luise-Tunnel: Energiesparende Inbetriebnahme am digitalen Zwilling (Tunnel-Lüftungs-Simulator)
- 2022 Rosensteintunnel in Stuttgart: Energiesparender Betrieb der Abluftventilatoren der Immissionsschutzlüftung durch Einsatz der Strahlventilatoren in der Nordröhre
- Zusammenfassung

Definition von Nachhaltigkeit (Text: KI-generiert)



Nachhaltigkeit bezeichnet ein Prinzip, nach dem Ressourcen so genutzt werden, dass sie auch zukünftigen Generationen in gleicher Qualität und Quantität zur Verfügung stehen. Es umfasst drei Dimensionen:

- Ökologische Nachhaltigkeit: Schutz der Umwelt und natürlichen Ressourcen.
- Ökonomische Nachhaltigkeit: Langfristige wirtschaftliche Stabilität und Effizienz.
- Soziale Nachhaltigkeit: Gerechte Lebensbedingungen und gesellschaftlicher Zusammenhalt.



Venn-Diagramm

https://de.wikipedia.org/wiki/Nachhaltige_Entwicklung

(Abgerufen: 26.09.2025)

Inhalt:

Nachhaltigkeit bei der Planung von Tunnellüftungen



- Definition „Nachhaltigkeit“

- 2011 Tunnel Heslach in Stuttgart: Energieoptimierungen im Normalbetrieb durch Umstellung auf eine dynamische Steuerung der Lüftung

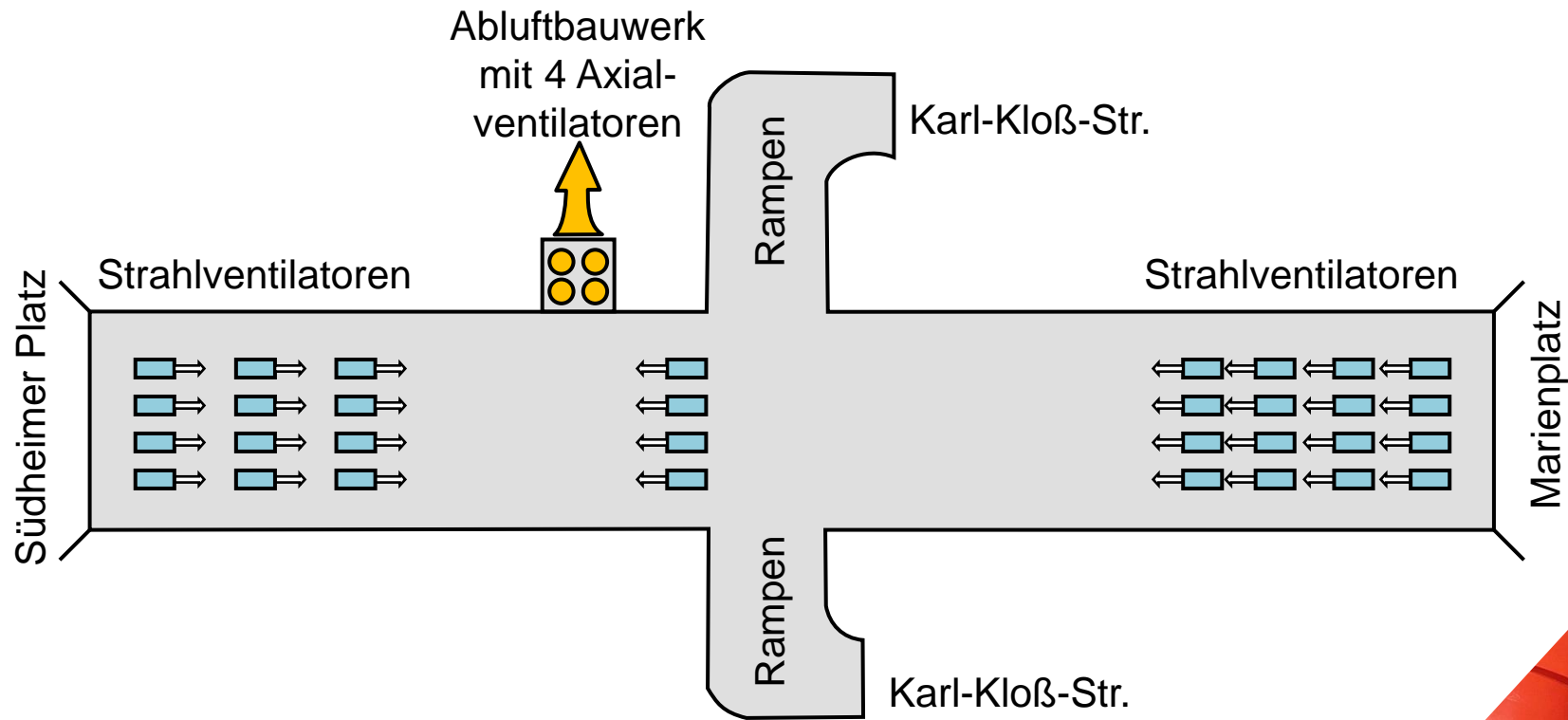
- 2019 Karoline-Luise-Tunnel in Karlsruhe (Kriegstrasse): Einsparung einer Abluftzentrale mit Kamin durch ein alternatives Verfahren zur Reduktion von Luftschadstoff-Immissionen

- 2022 Karoline-Luise-Tunnel: Energiesparende Inbetriebnahme am digitalen Zwilling (Tunnel-Lüftungs-Simulator)

- 2022 Rosensteintunnel in Stuttgart: Energiesparender Betrieb der Abluftventilatoren der Immissionsschutzlüftung durch Einsatz der Strahlventilatoren in der Nordröhre

- Zusammenfassung

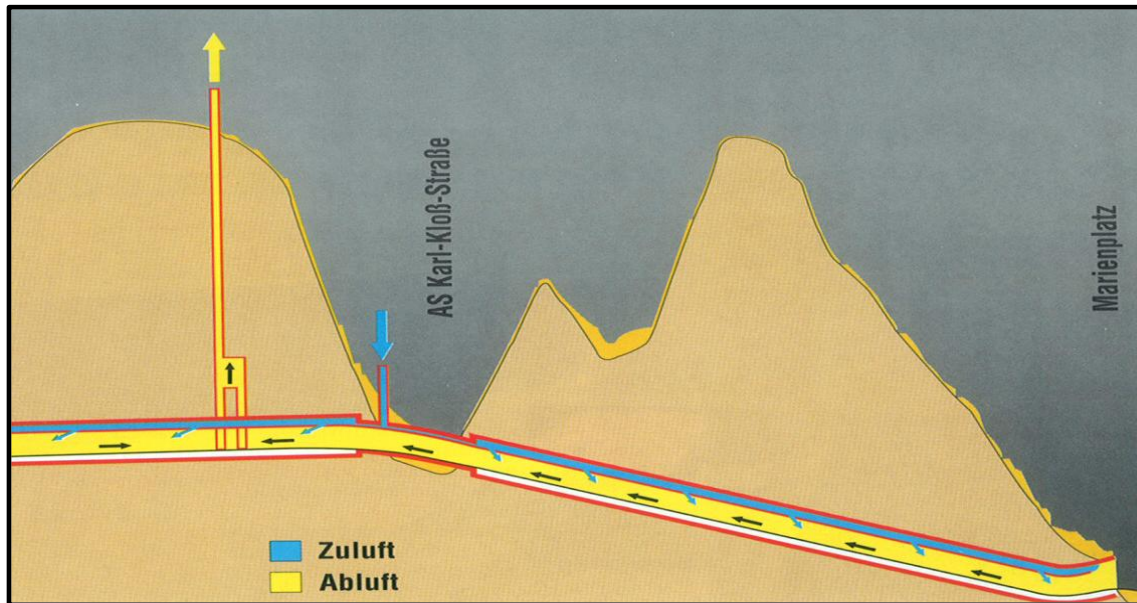
Lüftungssystem im Tunnel Heslach



Umstellung des Lüftungssystems für den Normalbetrieb im August 2011

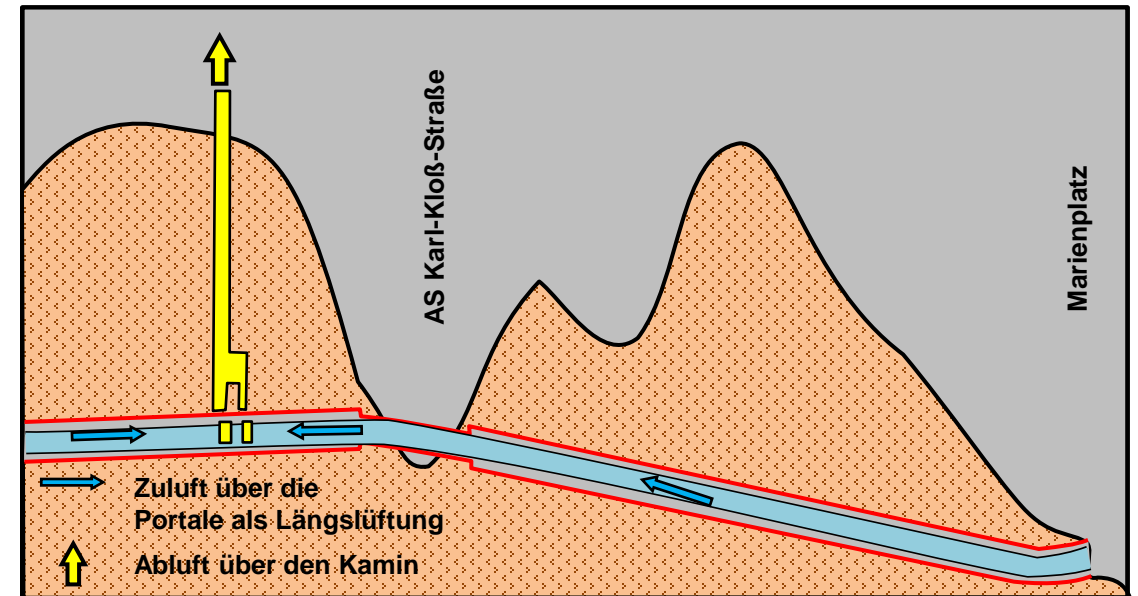
Lüftungssystem aus dem Jahr 1991

- Hohe Fahrzeugemissionen
- Halbquerlüftung mit Zuluft über die Zwischendecke
- Abluft über das Abluftbauwerk
- Keine Regelung der Luftgeschwindigkeiten in den Tunnelästen
- Feste, statische Einstellung der Strahlventilatoren je nach Absaugmenge

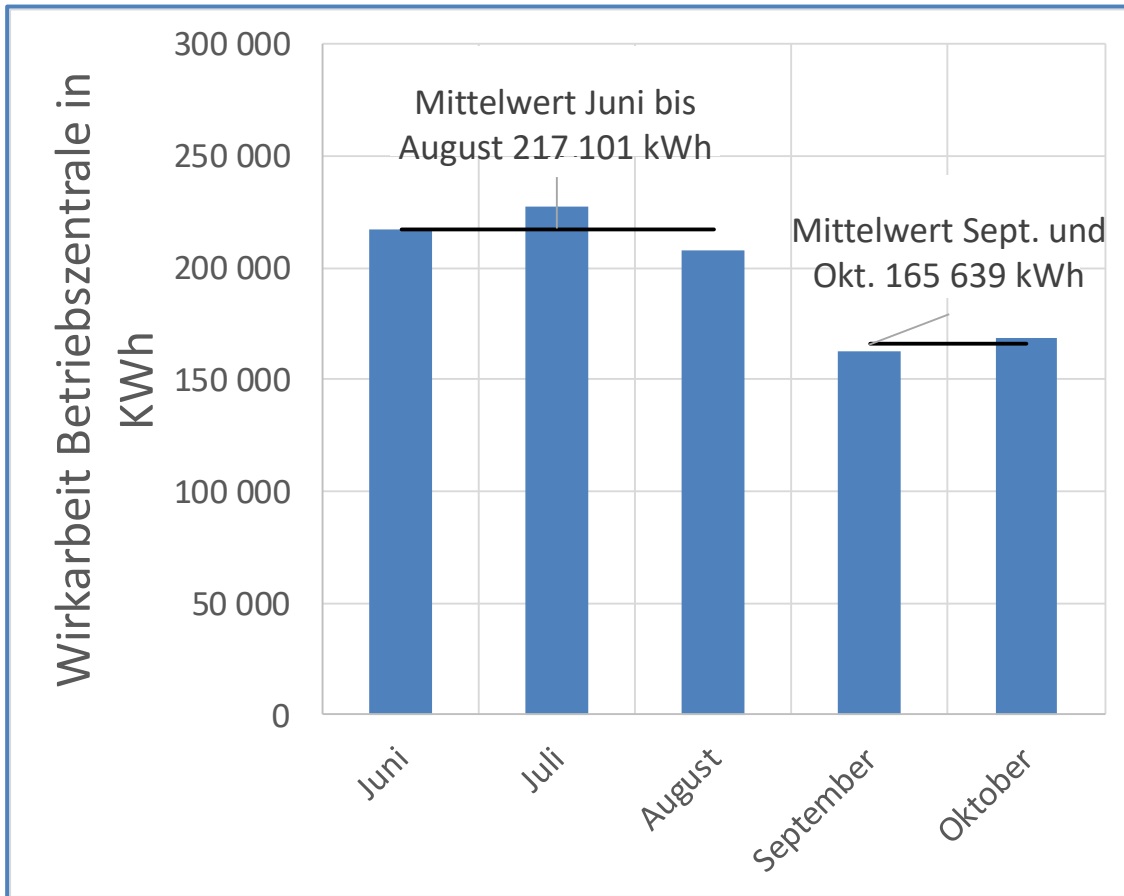


Nach der Umstellung im August 2011

- Niedrigere Fahrzeugemissionen
- Mechanische Längslüftung mit Strahlventilatoren
- Abluft über das Abluftbauwerk
- Sollwerte der Luftgeschwindigkeiten abhängig von der Abluftmenge
- Messung und dynamische Regelung der Luftgeschwindigkeiten in den Tunnelästen



Energieeinsparung bei der Tunnellüftung durch Umstellung auf eine dynamische Steuerung



- Energieeinsparung von 51 463 kWh / Monat nach der Umstellung im August 2011
- Energie- und Kosteneinsparung 24 % bezogen auf den Mittelwert Juni bis August



Inhalt:

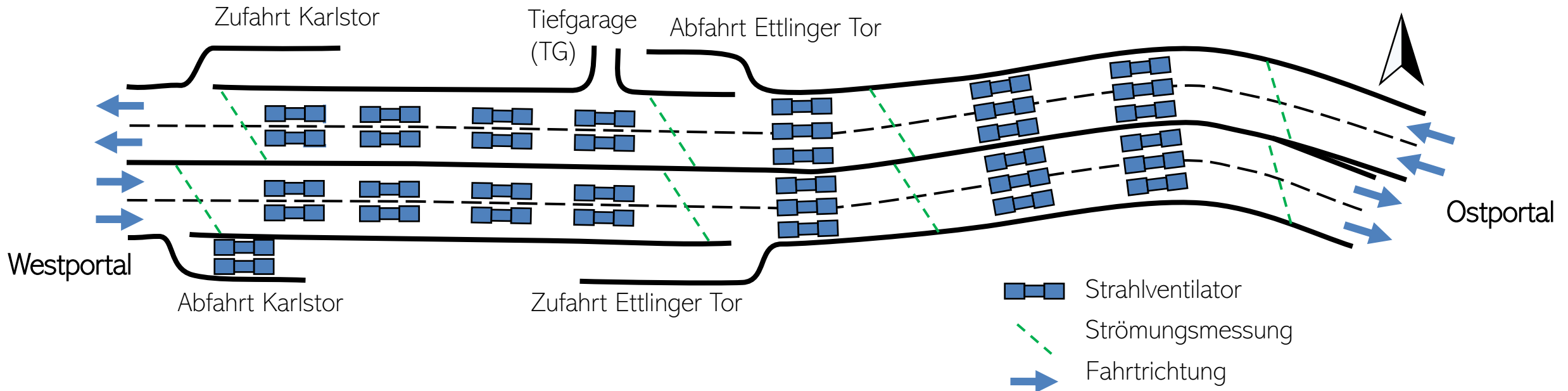
Nachhaltigkeit bei der Planung von Tunnellüftungen



- Definition „Nachhaltigkeit“
- 2011 Tunnel Heslach in Stuttgart: Energieoptimierungen im Normalbetrieb durch Umstellung auf eine dynamische Steuerung der Lüftung
- 2019 Karoline-Luise-Tunnel in Karlsruhe (Kriegstrasse): Einsparung einer Abluftzentrale mit Kamin durch ein alternatives Verfahren zur Reduktion von Luftschadstoff-Immissionen
- 2022 Karoline-Luise-Tunnel: Energiesparende Inbetriebnahme am digitalen Zwilling (Tunnel-Lüftungs-Simulator)
- 2022 Rosensteintunnel in Stuttgart: Energiesparender Betrieb der Abluftventilatoren der Immissionsschutzlüftung durch Einsatz der Strahlventilatoren in der Nordröhre
- Zusammenfassung

Lüftungssystem des Karoline-Luise-Tunnels

- 1,4 km langer Tunnel mit zwei Röhren im Richtungsverkehr
- In Tunnelmitte eine Zu- bzw. Abfahrt in jeder Röhre
- Anschluss Tiefgarage (TG) in der Nordröhre
- Längslüftung mit Strahlventilatoren für Normalbetrieb und Brandfall
- Reduktion der Tunnelabluft am Westportal aus Immissionsschutzgründen



Übliche Maßnahmen zur Reduktion von Luftschadstoff-Immissionen

- Absaugung der Tunnelluft ...
 - ... am Austrittsportal
 - ... im Verlauf der Tunnelröhre
- Einsatz von Strahlventilatoren
- Verteilung der Schadstoffe durch bauliche Maßnahmen
 - ... am Portal auf einer definierten Strecke
 - ... im Verlauf der Tunnelröhre
- Verlängerung des Tunnels
- Abschirmung sensibler Bereiche
- Einbau einer Tunnelluftfilteranlage



Foto: Stadt Stuttgart

Abluftkamin



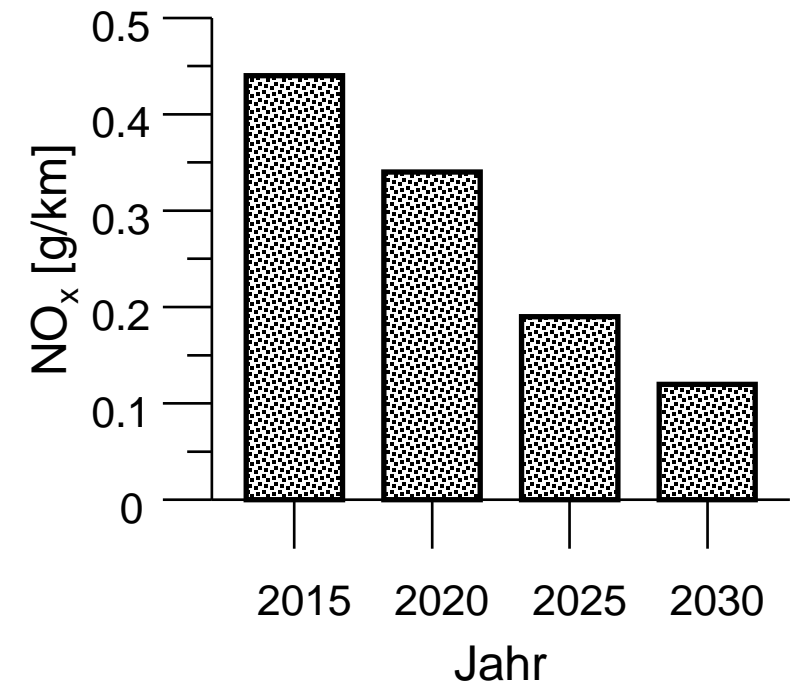
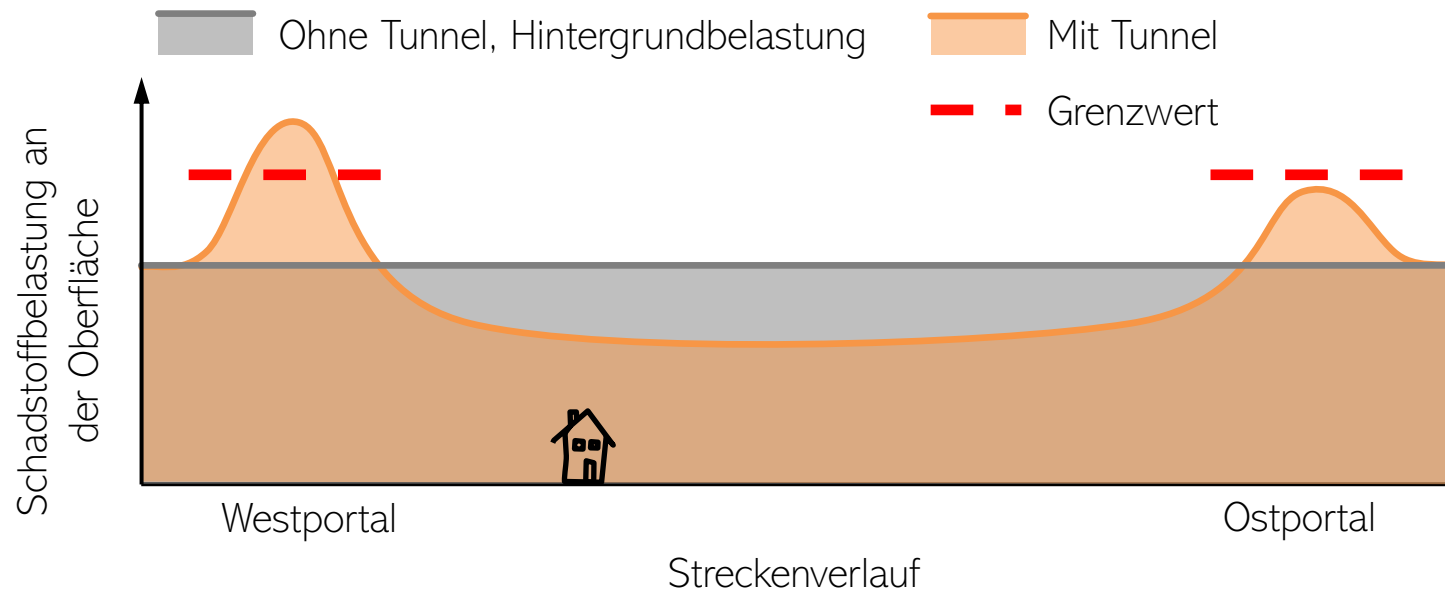
Rasterdecke



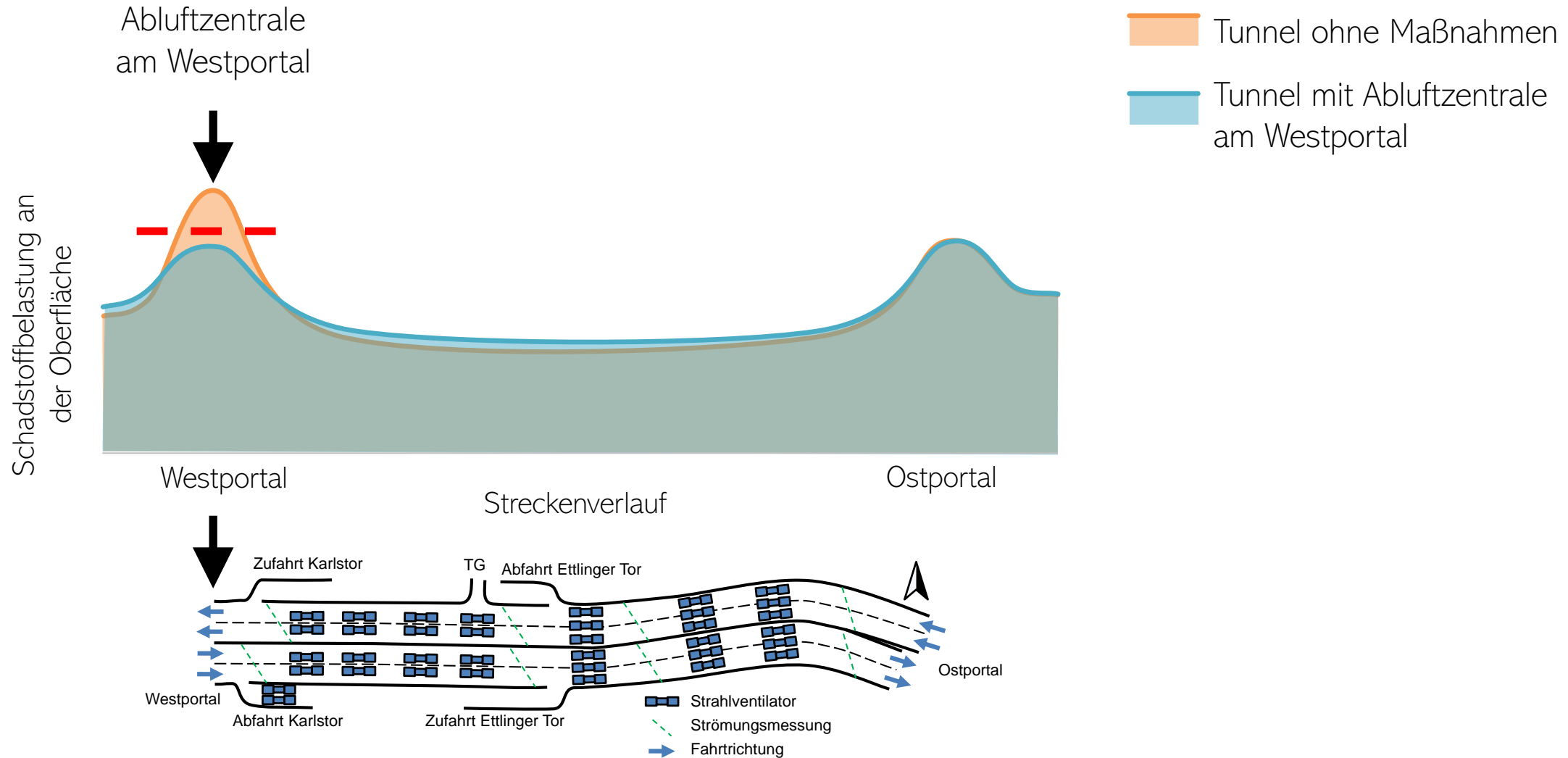
Züblin-Decke

Die Immissionssituation am Karoline-Luise-Tunnel

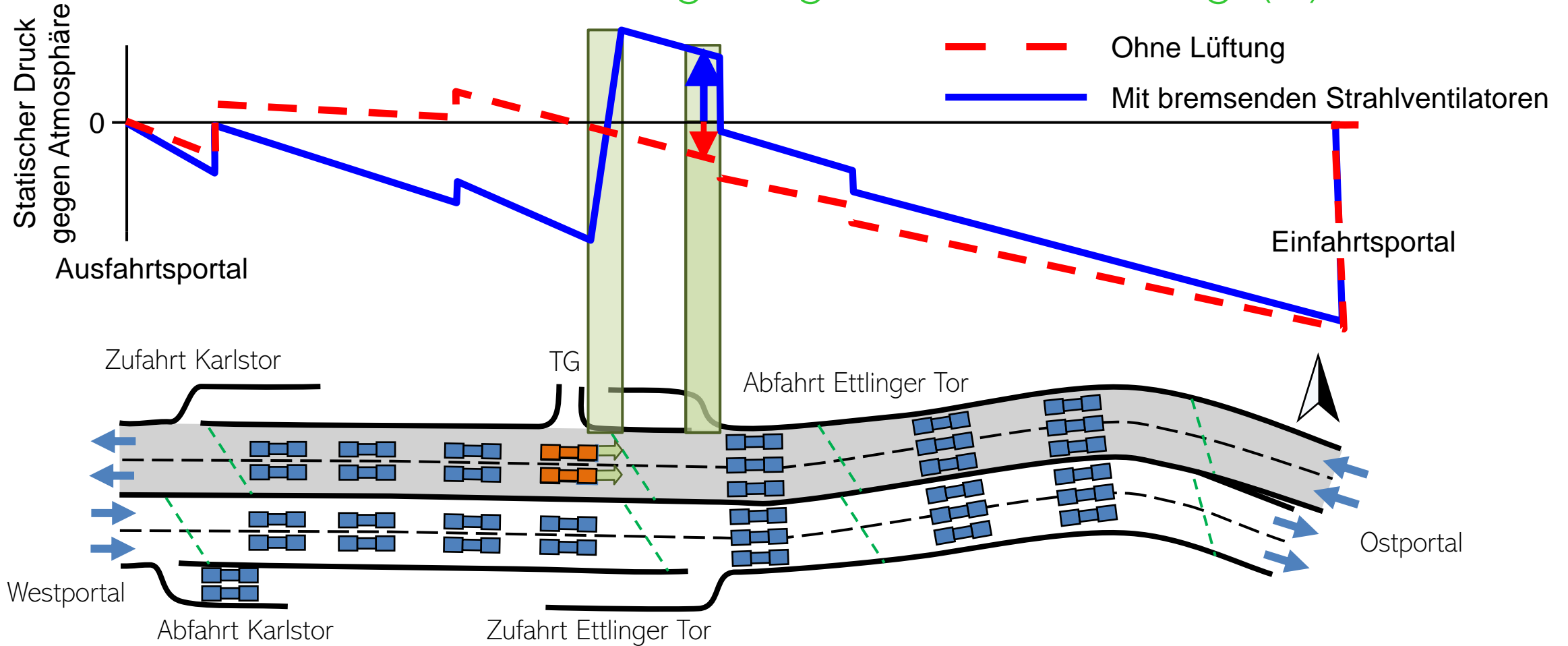
- Tunnel reduziert Schadstoffbelastung an der Oberfläche
- Konzentrationsspitzen an den Portalen
- Einhaltung der Immissionsgrenzwerte bei Reduktion des Schadstoffausstoßes am Westportal um 25%
- Rückläufige Kfz-Emissionen prognostiziert



Immissionsreduktion durch Abluftabsaugung am Westportal

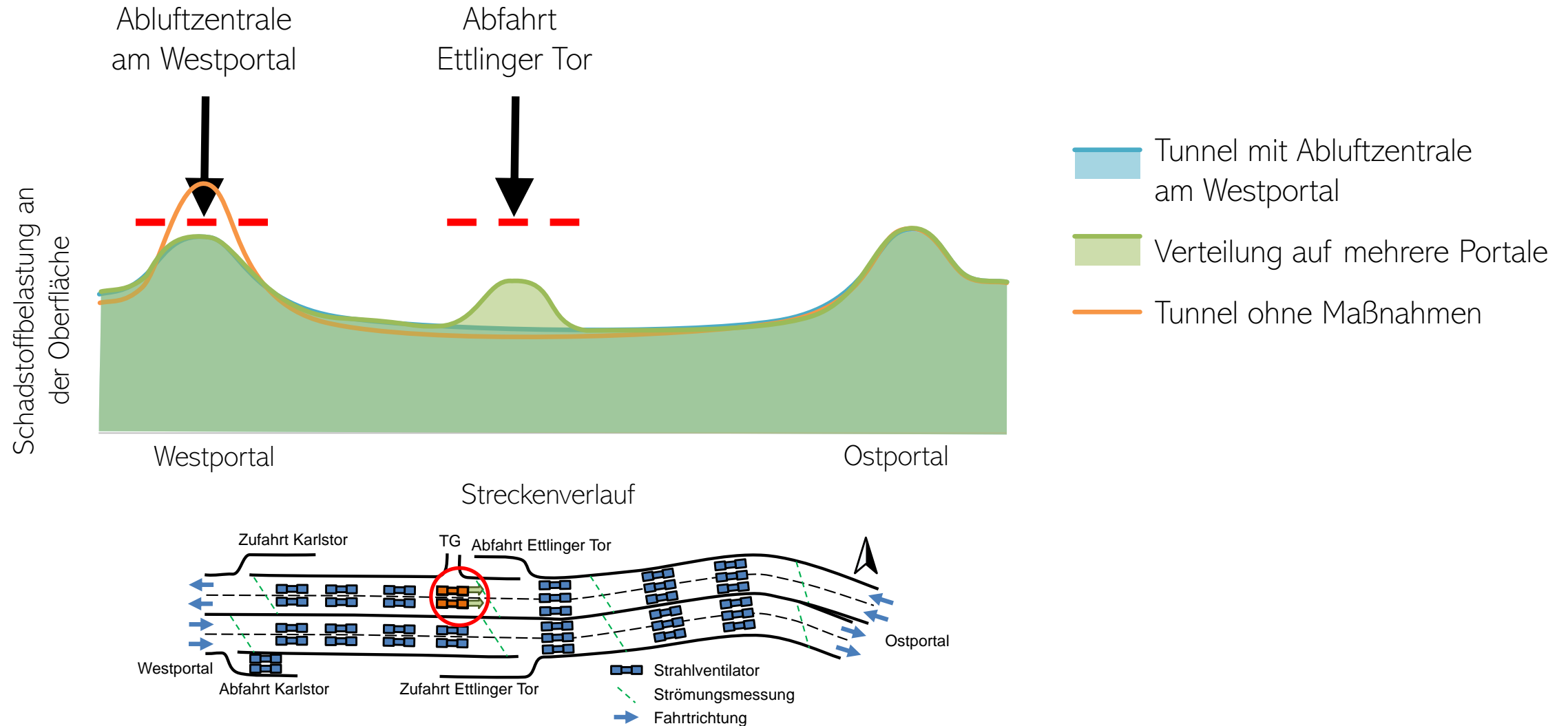


Alternatives Verfahren durch Regelung der Tunnellüftung (1)



- Ohne Lüftung: Schadstoffe treten am Ausfahrtsportal im Westen aus.
- Mit Lüftung: Teilaustragung an Abfahrt Ettliger Tor
- Druckverhältnisse durch Strahlventilatoren einstellen
- Mindestluft-Geschwindigkeit im Tunnel für die Luftqualität

Alternatives Verfahren durch Regelung der Tunnellüftung (3)



Entfall Abluftzentrale und -kamin; Kostenersparnis

Abluftzentrale (2 x 100 kW)

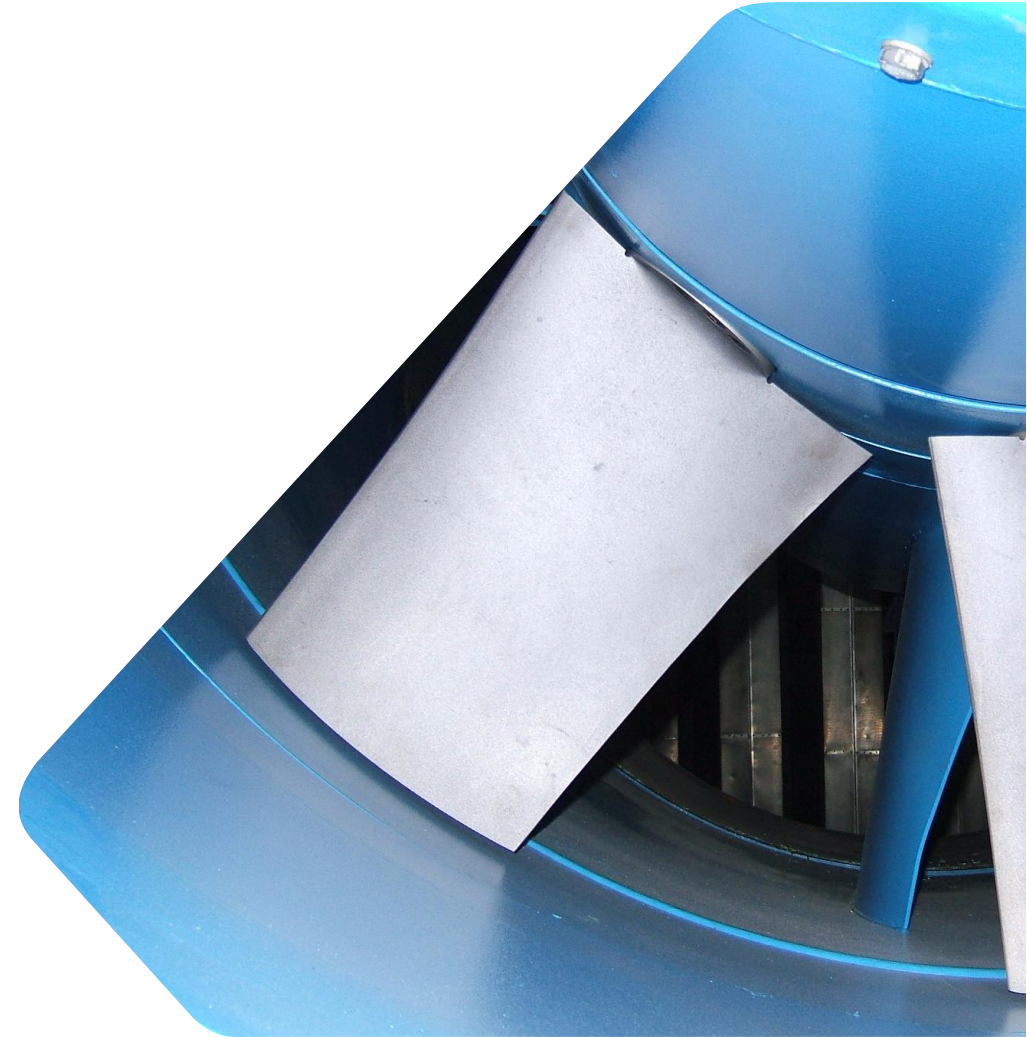
- Herstellungskosten: 3,75 Mio. EUR
- Stromkosten / Jahr: 200.000 EUR

Optimierung (2 x 20 kW)

- Herstellungskosten: keine
- Stromkosten / Jahr: 40.000 EUR

Kostenersparnis

- Herstellungskosten: 3,75 Mio. EUR
- Stromkosten / Jahr: 160.000 EUR



Inhalt:

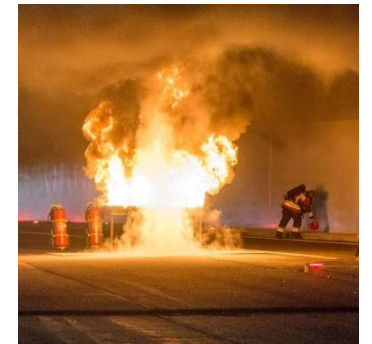
Nachhaltigkeit bei der Planung von Tunnellüftungen



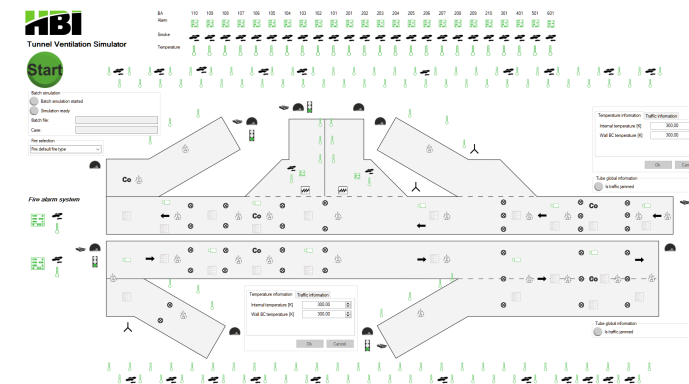
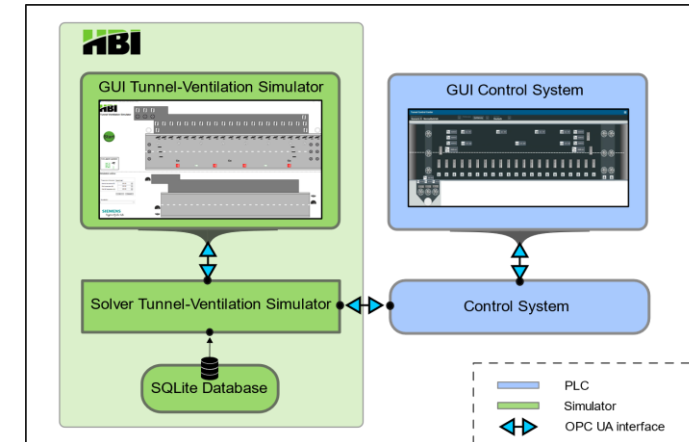
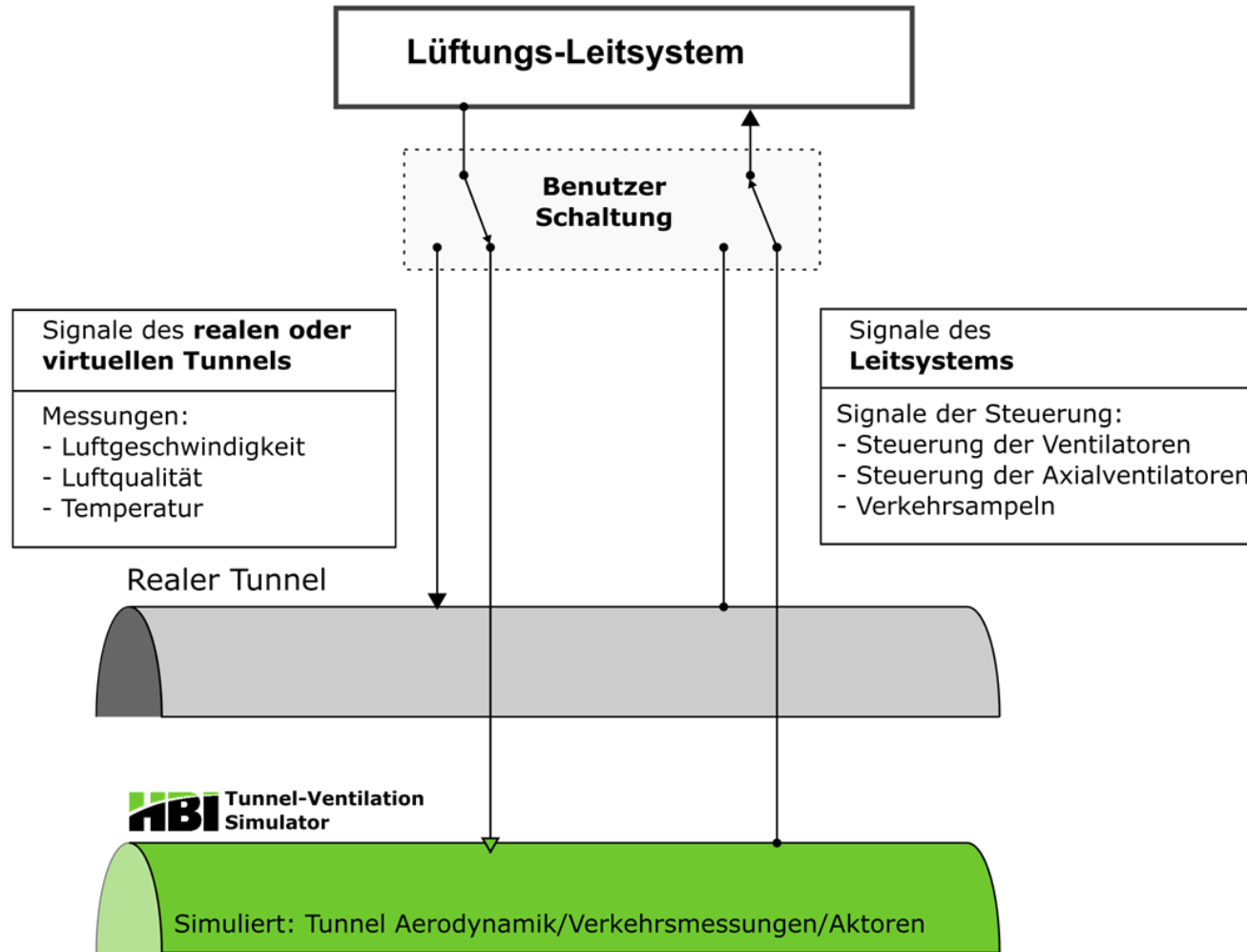
- Definition „Nachhaltigkeit“
- 2011 Tunnel Heschlach in Stuttgart: Energieoptimierungen im Normalbetrieb durch Umstellung auf eine dynamische Steuerung der Lüftung
- 2019 Karoline-Luise-Tunnel in Karlsruhe (Kriegstrasse): Einsparung einer Abluftzentrale mit Kamin durch ein alternatives Verfahren zur Reduktion der Luftschadstoff-Immissionen
- 2022 Karoline-Luise-Tunnel: Energiesparende Inbetriebnahme am digitalen Zwilling (Tunnel-Lüftungs-Simulator)
- 2022 Rosensteintunnel in Stuttgart: Energiesparender Betrieb der Abluftventilatoren der Immissionsschutzlüftung durch Einsatz der Strahlventilatoren in der Nordröhre
- Zusammenfassung

Tunnel-Lüftungs-Simulator

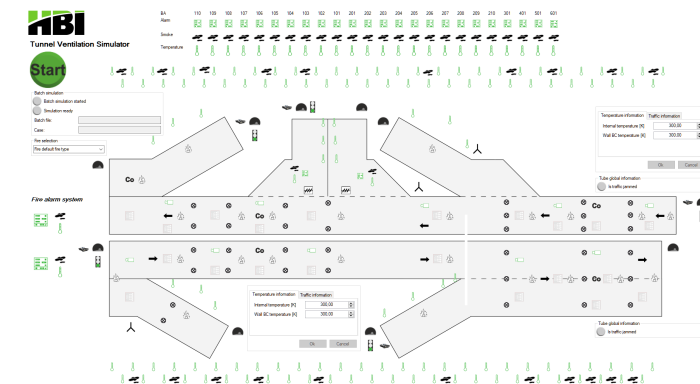
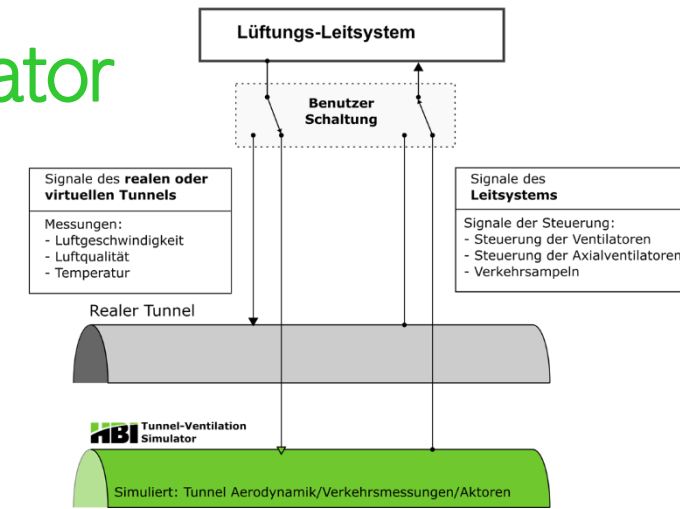
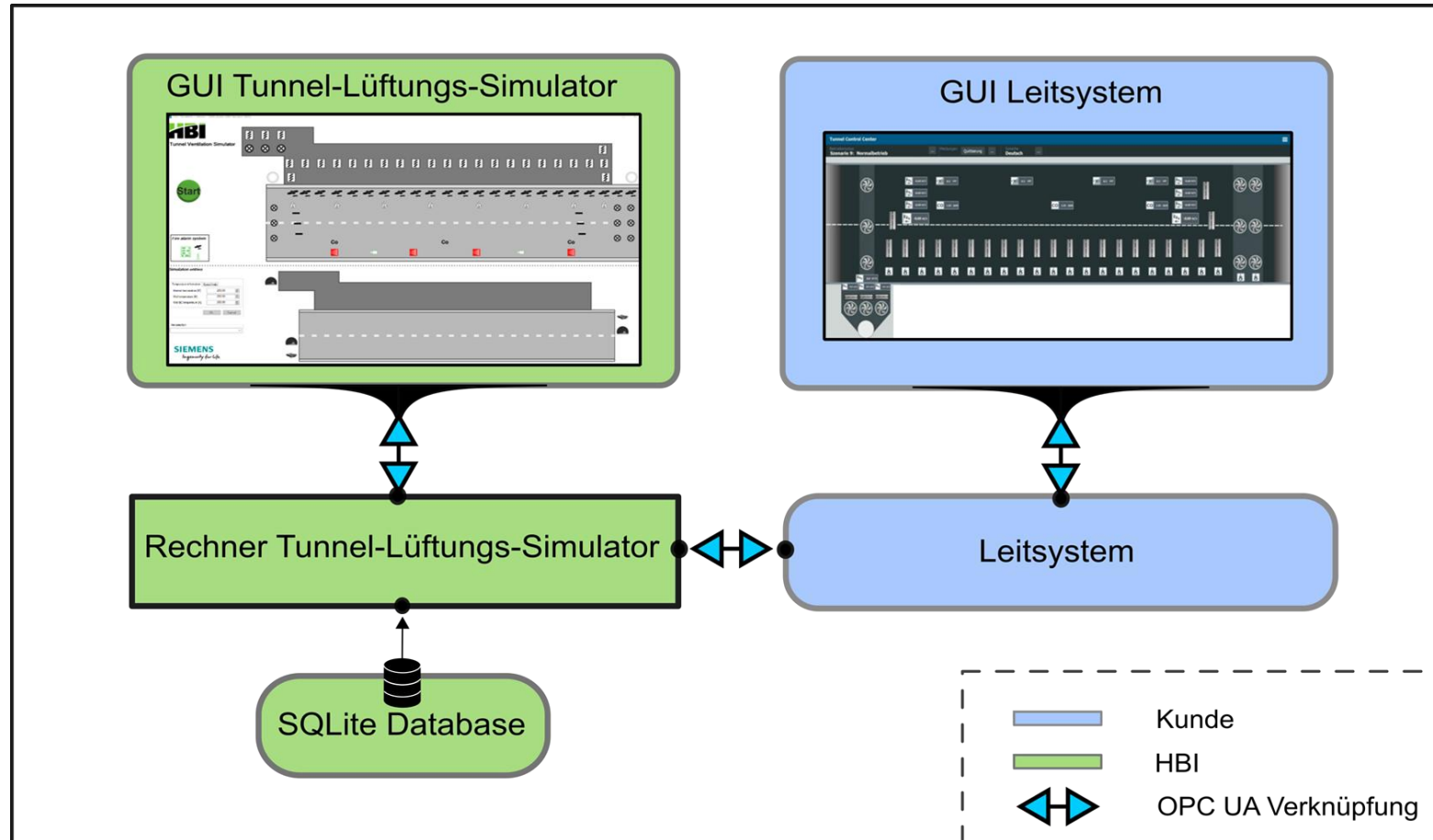
- Simulation der Aero- / Thermodynamik
- Simulation der relevanten Anlagenteile sowie der Einflussfaktoren (z. B. Wind, Verkehr)
- Kommunikation über industrielle Schnittstelle OPC UA
- Virtuelle Inbetriebnahme im Werk
- Automatisierte Prüfscenarien erlauben umfangreiche Tests und effiziente Auswertung
- Graphische Benutzeroberfläche zur Eingabe und Visualisierung



Karoline-Luise-Tunnel: Der Tunnel-Lüftungs-Simulator



Karoline-Luise-Tunnel: Der Tunnel-Lüftungs-Simulator



Karoline-Luise-Tunnel: Der Tunnel-Lüftungs-Simulator

HBI Tunnel Ventilation Simulator

Start

Batch simulation

- Batch simulation started
- Simulation ready

Batch file:

Case:

Fire selection

Fire default fire type:

Fire alarm system

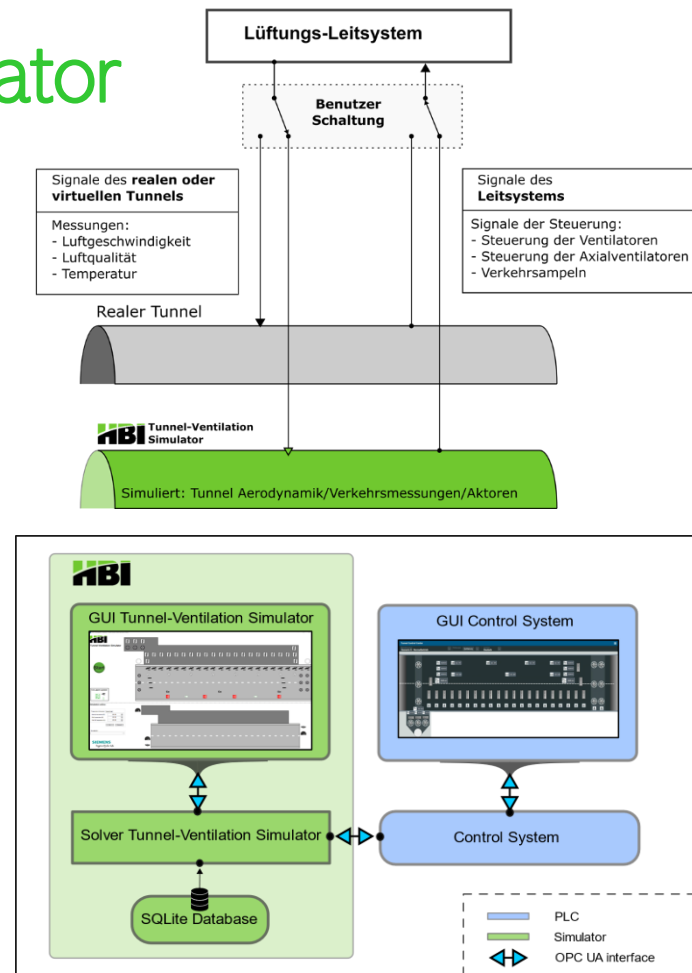
Temperature information

Internal temperature [K]: 300.00

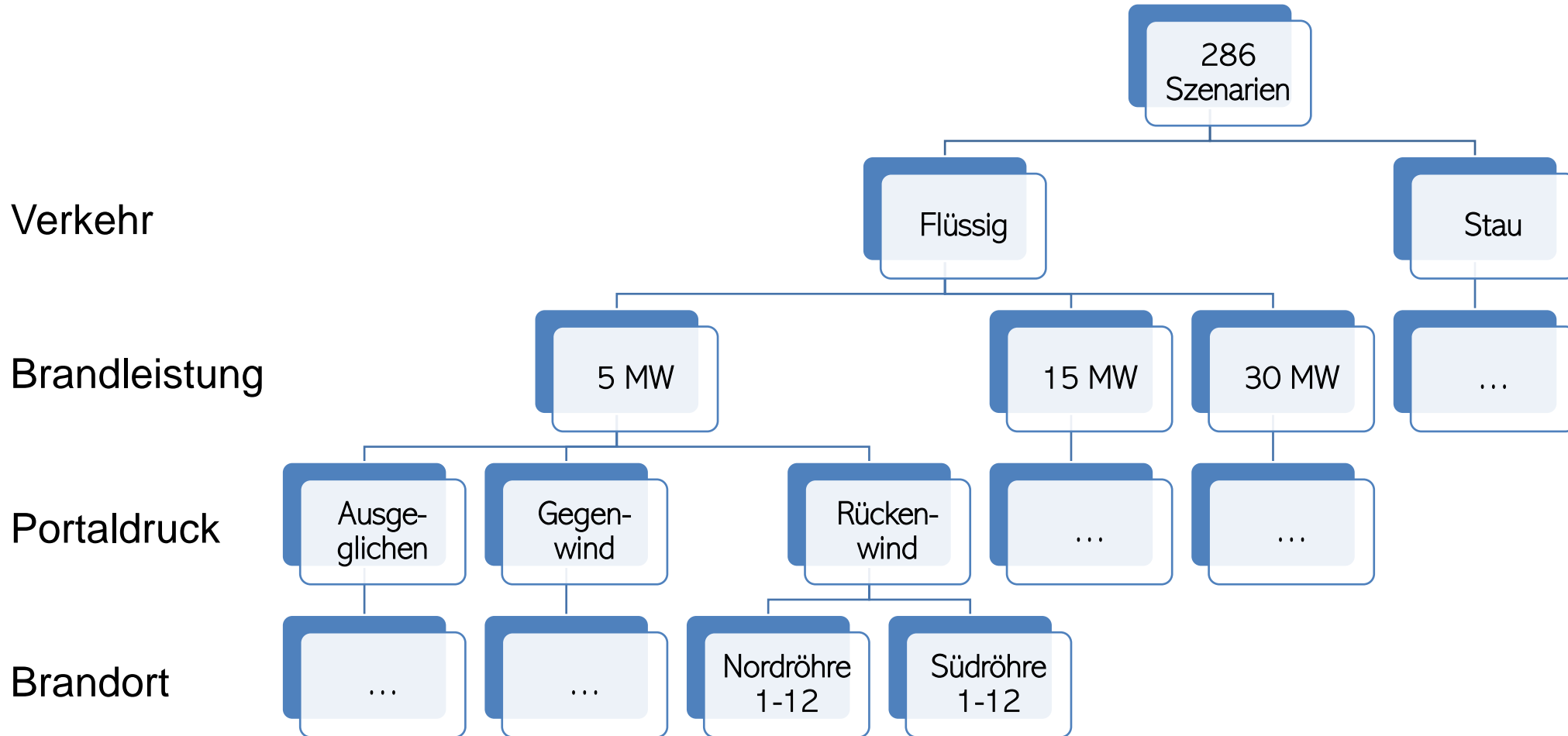
Wall BC temperature [K]: 300.00

Traffic information

Is traffic jammed:



286 Prüfszenarien



Erkenntnisse

- Geschwindigkeitsregler übersteuert teilweise
- Regelung ist teilweise zu langsam
- Zu hohe Schalzhäufigkeit
- Rauch deaktiviert Strahlventilatoren, Ersatzventilatoren werden nicht geschaltet
- Strahlventilatoren im Brandabschnitt nicht immer gesperrt
- Zuordnung von Sichttrübe-Messgerät zu Brandabschnitt korrigiert
- Schaltung der Strahlventilatoren in Gegenröhre angepasst
- Vorzeichendefinition fehlerhaft
- Schalzhäufigkeit zum Immissionsschutz reduziert



Inhalt:

Nachhaltigkeit bei der Planung von Tunnellüftungen



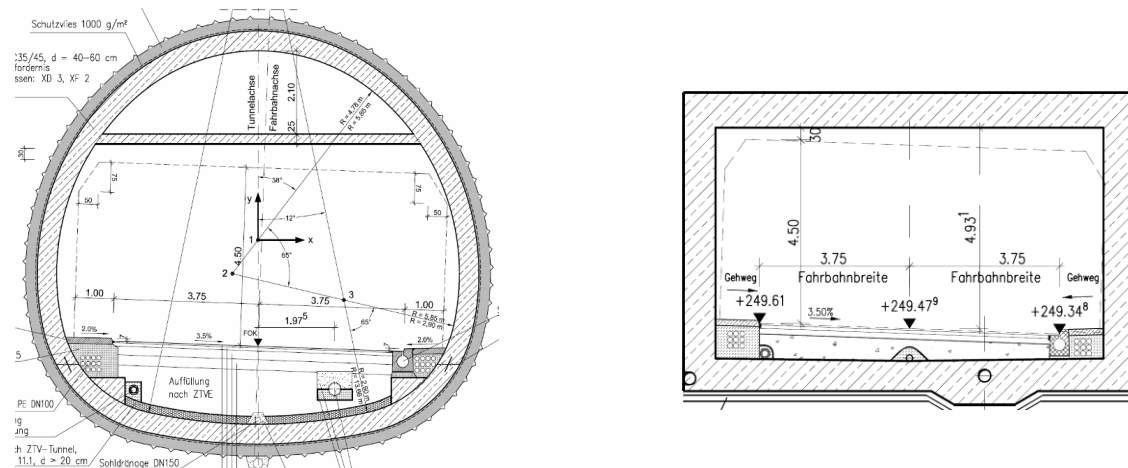
- Definition „Nachhaltigkeit“
- 2011 Tunnel Heslach in Stuttgart: Energieoptimierungen im Normalbetrieb durch Umstellung auf eine dynamische Steuerung der Lüftung
- 2019 Karoline-Luise-Tunnel in Karlsruhe (Kriegstrasse): Einsparung einer Abluftzentrale mit Kamin durch ein alternatives Verfahren zur Reduktion der Luftschadstoff-Immissionen
- 2022 Karoline-Luise-Tunnel: Energiesparende Inbetriebnahme am digitalen Zwilling (Tunnel-Lüftungs-Simulator)
- 2022 Rosensteintunnel in Stuttgart: Energiesparender Betrieb der Abluftventilatoren der Immissionsschutzlüftung durch Einsatz der Strahlventilatoren in der Nordröhre
- Zusammenfassung

Der B10 Rosensteintunnel - Wesentliche Daten



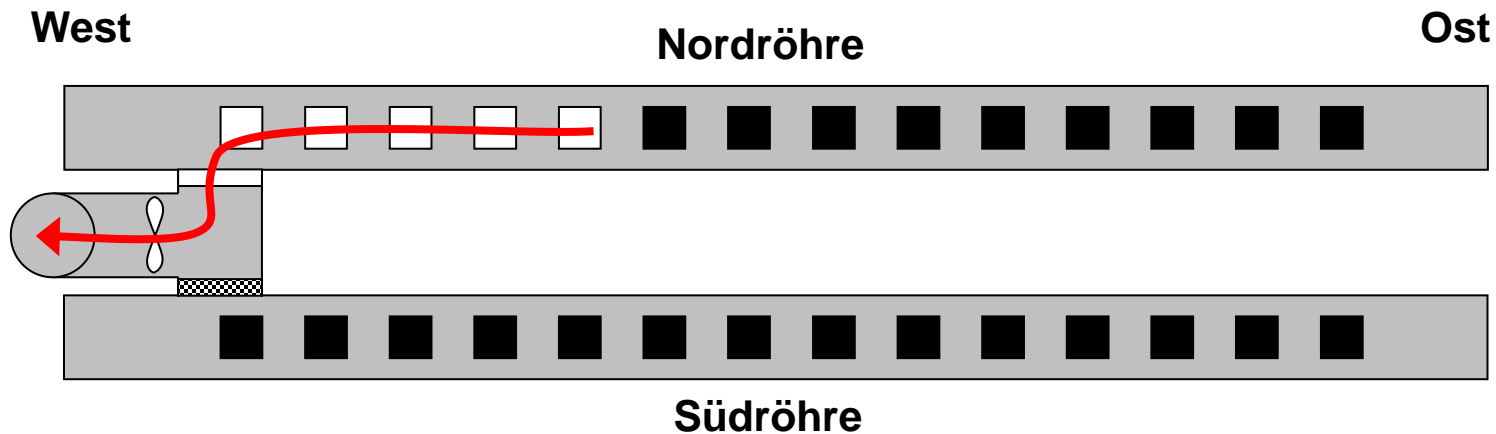
- Nordröhre 985 m Länge
- Südröhre 1059 m Länge
- Richtungsverkehr
- Längsneigung max. 5 %

Fahrraumquerschnitte

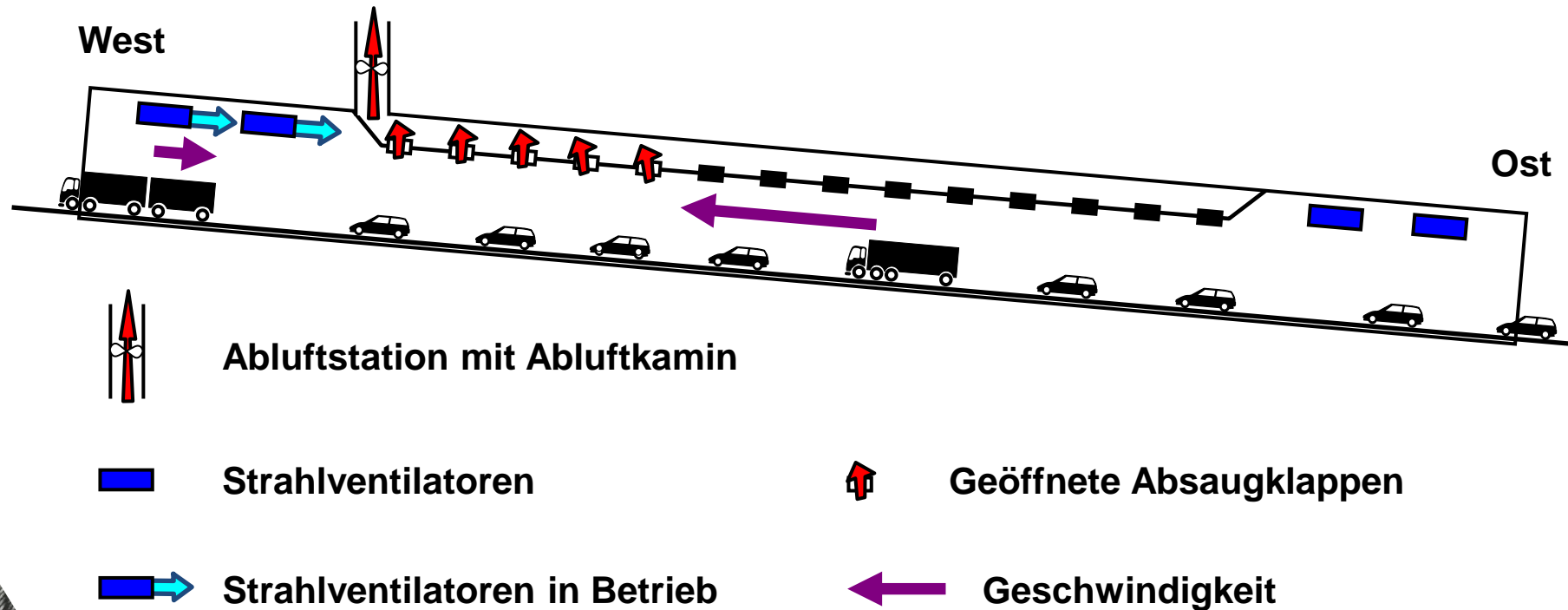
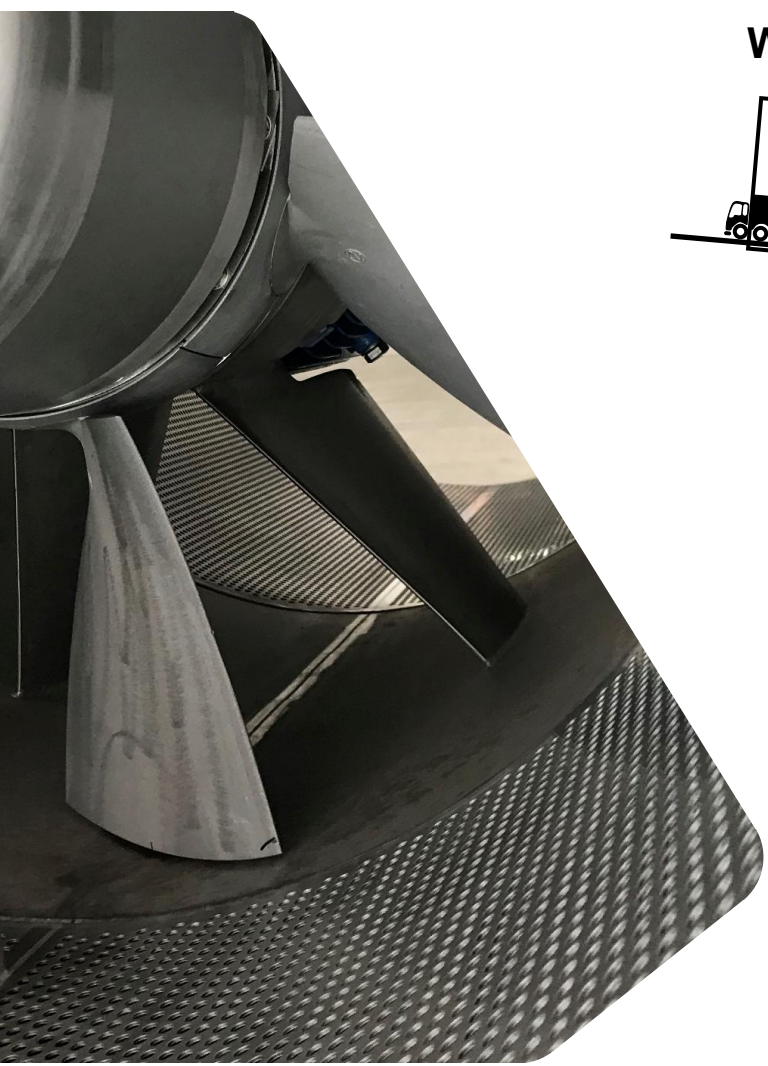


Rosensteintunnel – Lüftungsanlagen

- Drei Axialventilatoren am Westportal:
zur Absaugung der Abluft $3 \times 100 \text{ m}^3/\text{s}$ mit je 475 kW
- 12 Strahlventilatoren in der Nordröhre
- 16 Strahlventilatoren in der Südröhre
- 14 steuerbare Rauchabzugsklappen je Tunnelröhre
- Eine Kanalabsperrrklappe je Tunnelröhre



Rosensteintunnel – Abluftbetrieb in der Nordröhre



Die Strahlventilatoren werden bremsend eingesetzt.

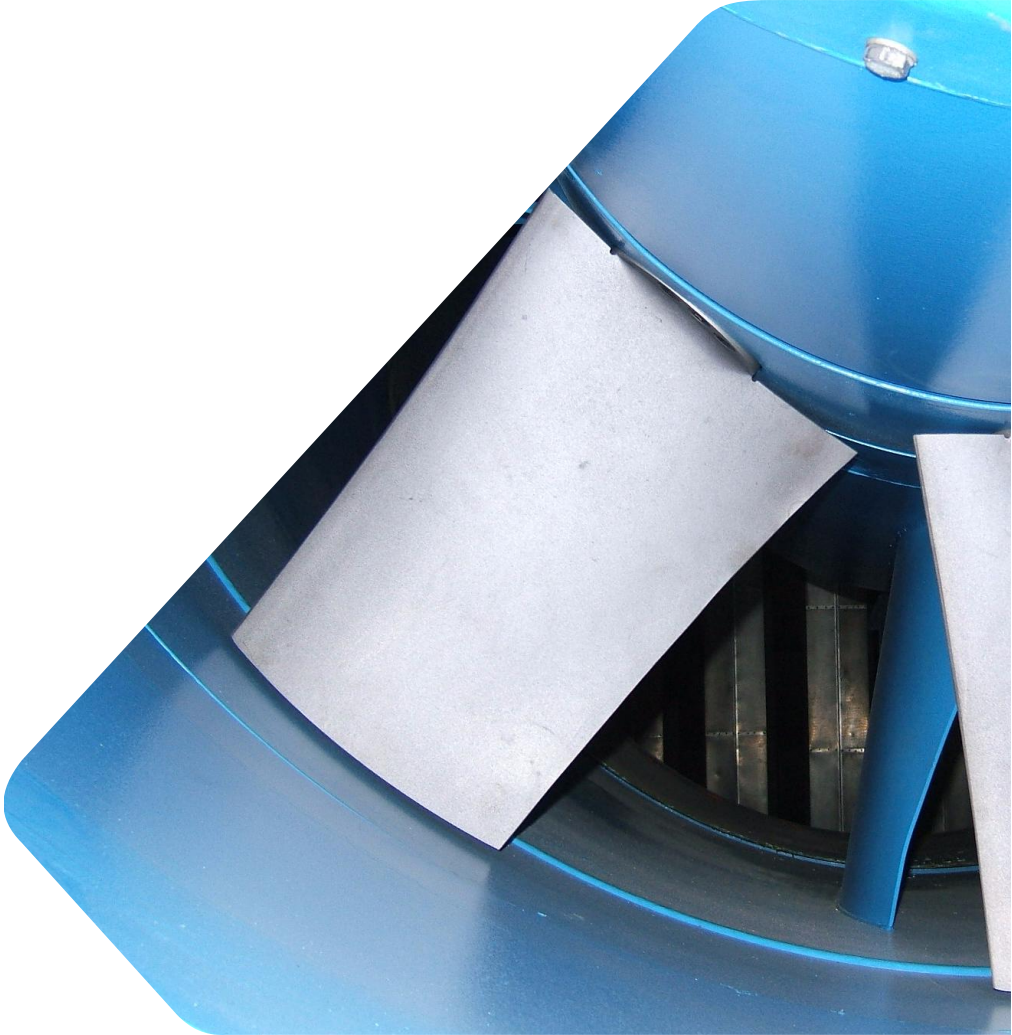
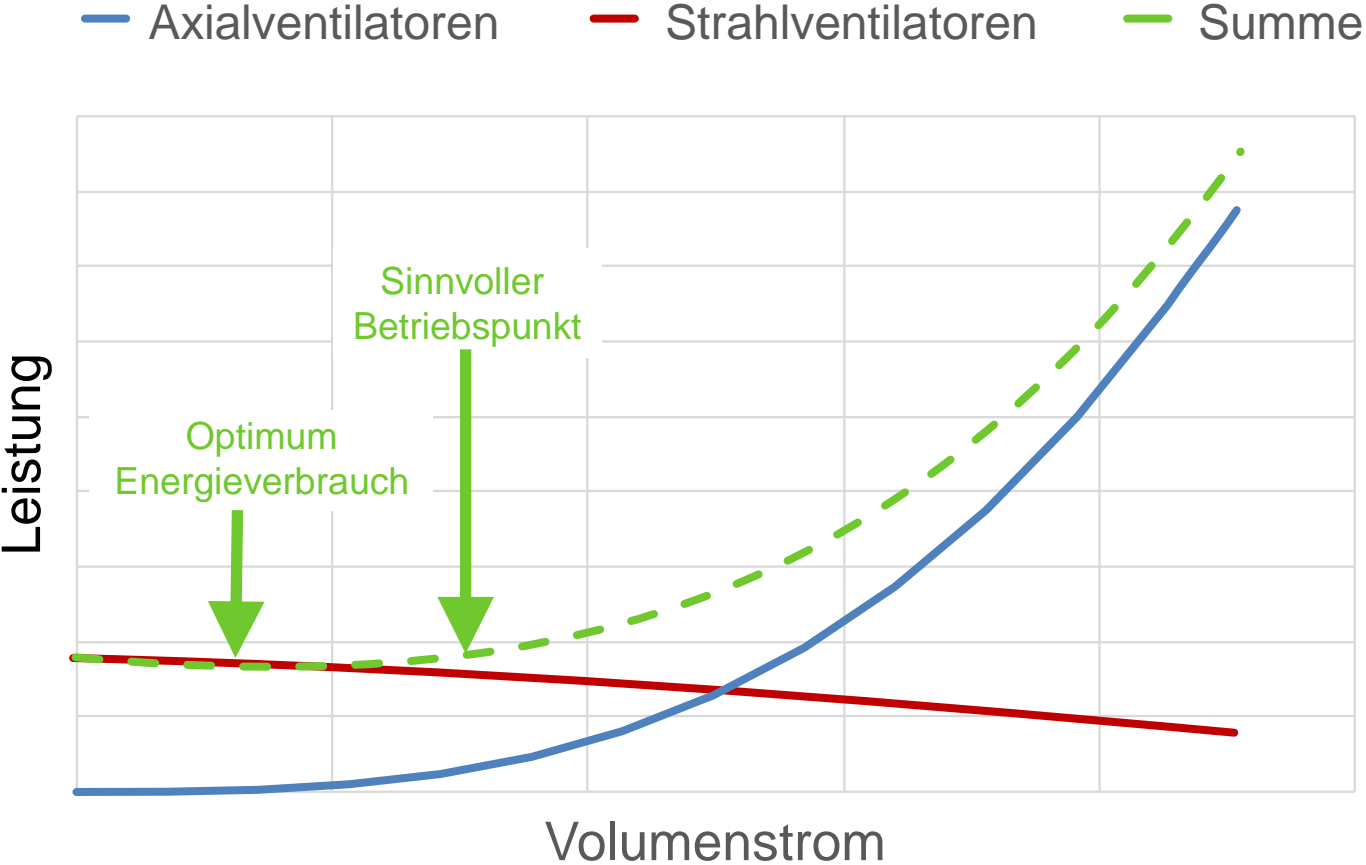
Energiesparender Betrieb der Abluftventilatoren

Immissionsschutzlüftung in der Nordröhre

- Kolbenwirkung der Fahrzeuge bei Richtungsverkehr mit 50 km/h erzeugen eine Luftgeschwindigkeit von ca. 5,2 m/s, Volumenstrom 256 m³/s.
- Leistung der Abluftventilatoren proportional zu Volumenstrom³: $P \sim Q^3$
- Strahlventilatoren bremsend einsetzen, um Volumenstrom zu reduzieren
- „Bremsen“ mit 5 Strahlventilatoren: Luftgeschwindigkeit ca. 1,8 m/s, 91 m³/s
- Leistung sinkt von 475 kW auf $(91/256)^3 \times 475 \text{ kW} = 21 \text{ kW}$
- Optimierung Immissionsschutz, Energie und Luftqualität im Tunnel
- Anwendbar bei allen Tunneln mit einer Abluftzentrale zum Immissionsschutz
- Auch für Tunnel ohne Zu-/Abfahrten



Optimierung des Energieverbrauchs



Zusammenfassung: Nachhaltigkeit bei der Planung von Tunnellüftungen



1. Durch intelligente Planung sind deutliche Einsparungen bei Energie und Kosten möglich.

2. Bei der Steuerung der Tunnellüftungen dynamisch „denken“.



3. Luftschadstoff-Immissionen nehmen in den nächsten Jahren weiter stark ab. Wirtschaftliche Übergangslösungen sind gefragt.



4. Virtuelle (Teil-)Inbetriebnahme mit dem Tunnel-Lüftungs-Simulator spart Energie und erhöht erheblich die Sicherheit.



HBI Haerter Beratende Ingenieure

Nachhaltigkeit bei der Planung von Tunnellüftungen

Dr. Matthias Wehner

HBI Haerter GmbH
Heidenheim, Deutschland
www.hbi.eu

SIGRIST Tunnelsymposium 15. - 16.10.2025
in Regensburg