



HBI Haerter Beratende Ingenieure

Variantenuntersuchung und Entscheidung für das Tunnellüftungssystem im Wanktunnel

Dr. Matthias Wehner, HBI Haerter GmbH, www.hbi.eu

beauftragt durch Staatliches Bauamt Weilheim

Staatliches Bauamt
Weilheim



Donnerstag, 27. April 2023 / 5. Deutscher Tunnelkongress für Betriebs- und
Verkehrstechnik, Sicherheit und Telematik in Garmisch-Partenkirchen

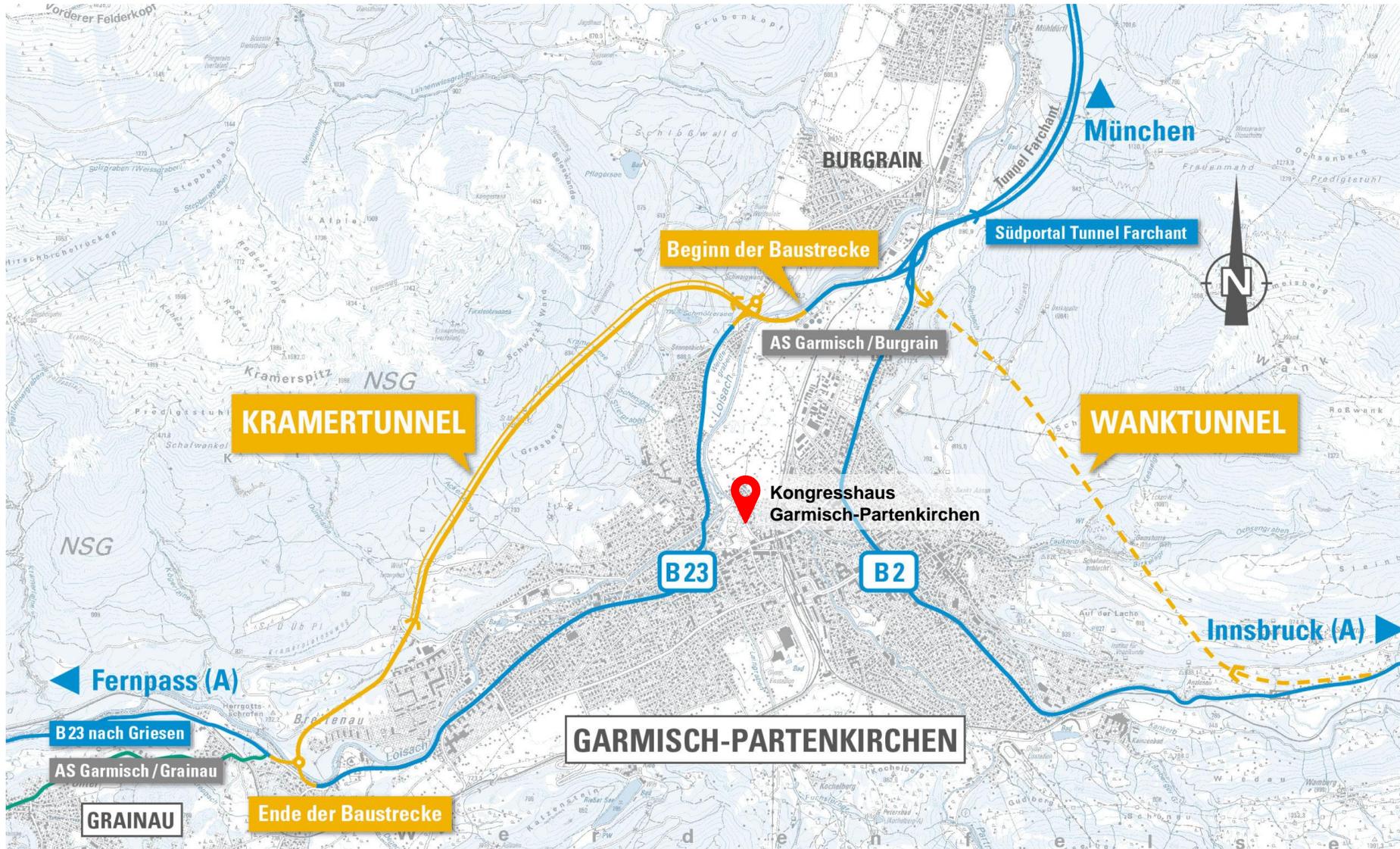
Inhalt: Variantenuntersuchung Tunnellüftungssystem im Wanktunnel



- Lage des Wanktunnels
- Wesentliche Tunneldaten
- Grundlegendes Vorgehen
- Untersuchte bauliche Lüftungsvarianten
- Varianten Tunnelquerschnitt
- Variantenvergleich
- Entscheidung: Vorzugsvariante nach derzeitigem Planungsstand



Lage des Wanktunnels



Wesentliche Tunneldaten

- Tunnellänge 3 519 m
- Eine Tunnelröhre
 - Gegenverkehr auf zwei Fahrstreifen
 - Ausrichtung von Nord nach Süd
 - Längsneigung +3,6 % von Nord nach Süd
 - Im Jahr 2035 Prognose DTV 16 500 Kfz/24 h
 - Schwerverkehr 5,3 %
 - Signalisierte Fahrzeuggeschwindigkeit 80 km/h



Grundlegendes Vorgehen

- Ergebnis Luftschadstoffgutachten: Keine Maßnahmen zur Verminderung der Immissionen an den Portalen und an den unterschiedlichen Kaminstandorten notwendig
- Lüftungssystem Brandfall: Rauchabsaugung über einen Abluftkanal mit Beeinflussung der Strömungsgeschwindigkeit im Fahrraum mittels Strahlventilatoren
- Festlegung von drei baulichen Varianten zum Ort der Lüftungszentrale
- Zwei Varianten zur Größe des Abluftquerschnitts
- Überschlägige Vordimensionierung der Tunnellüftung für die Varianten
- Variantenvergleich



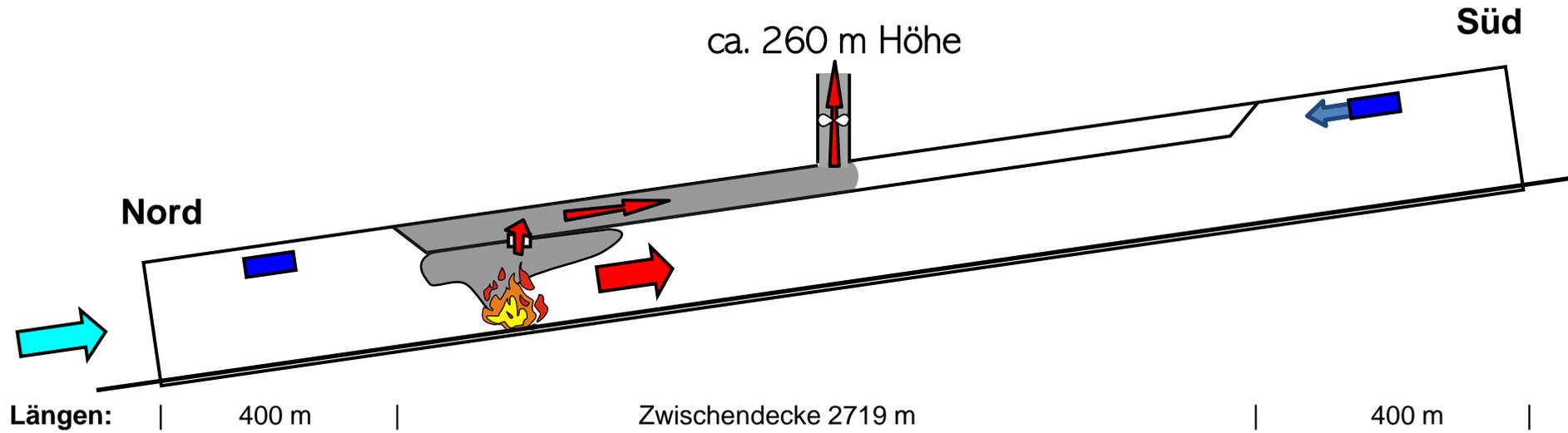
Untersuchte bauliche Lüftungsvarianten

- Lage der Lüftungszentrale(n)
 - Variante 1: Unterirdisch ca. in Tunnelmitte mit einem 260 m hohen Schacht
 - Variante 2: Am Südportal mit Kamin
 - Variante 3: Am Nord- und Südportal jeweils mit Kamin
- Abluftquerschnittsfläche
 - Klein: Bei Variante 1 und 3
 - Groß: Bei Variante 2



Untersuchte bauliche Lüftungsvarianten - Variante 1

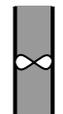
> Lüftungszentrale mit Schacht ca. in Tunnelmitte und kleinem Abluftquerschnitt



 **Geöffnete Rauchabsaugklappen**

 **Strahlventilatoren**

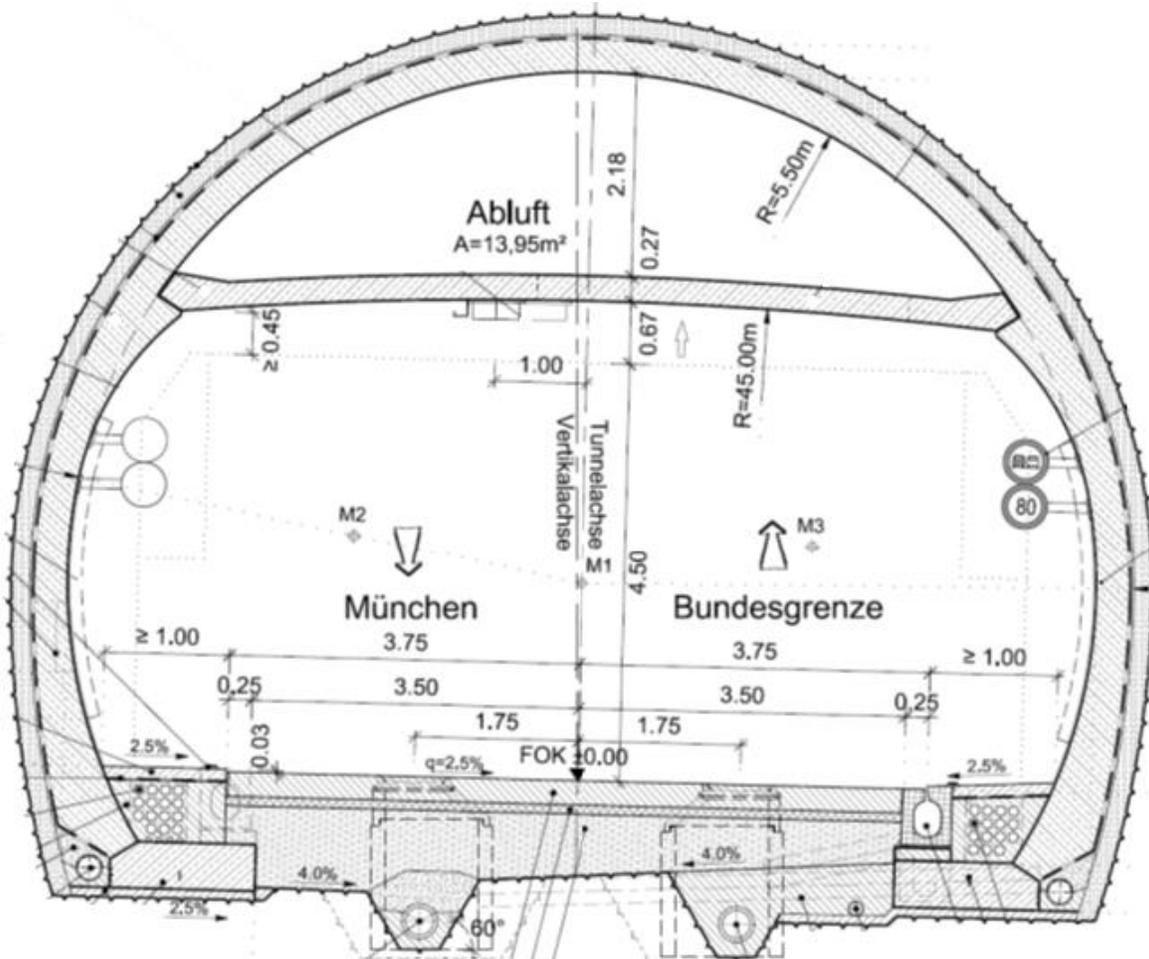
 **Strahlventilatoren in Betrieb**

 **Abluftstation mit Abluftkamin**

 **Kaminwirkung**

 **Wind- und Temperaturwirkung**

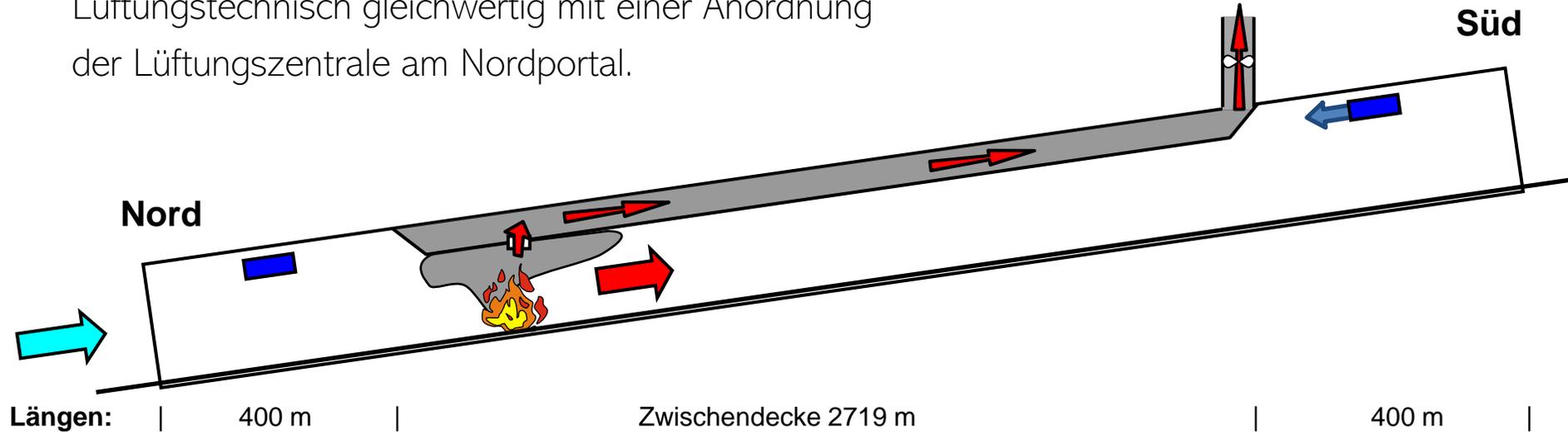
Tunnelquerschnitt: Variante 1: Abluftkanal „QS-klein“

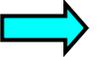


- Breite $B_{\text{Kan}} = 8,90\text{ m}$
- Höhe $H_{\text{Kan}} = 2,18\text{ m}$
- Fläche $A_{\text{Kan}} = 14,0\text{ m}^2$
- Umfang $U_{\text{Kan}} = 19,2\text{ m}$
- Hydraulischer Durchmesser $D_{h,\text{Kan}} = 2,90\text{ m}$

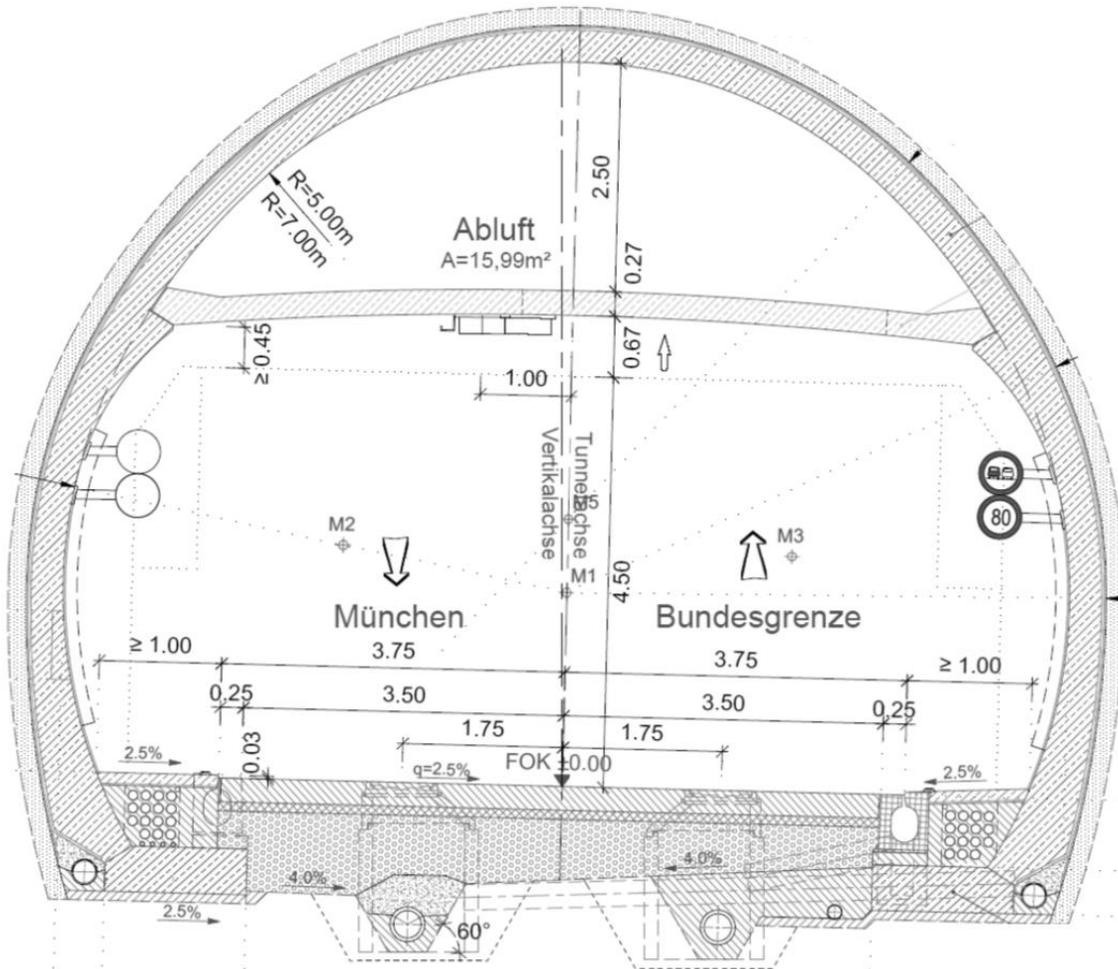
Untersuchte bauliche Lüftungsvarianten - Variante 2

- Lüftungszentrale mit Kamin am Südportal und großem Abluftquerschnitt
Lüftungstechnisch gleichwertig mit einer Anordnung der Lüftungszentrale am Nordportal.



- | | | | |
|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
|  | Geöffnete Rauchabsaugklappen |  | Abluftstation mit Abluftkamin |
|  | Strahlventilatoren |  | Kaminwirkung |
|  | Strahlventilatoren in Betrieb |  | Wind- und Temperaturwirkung |

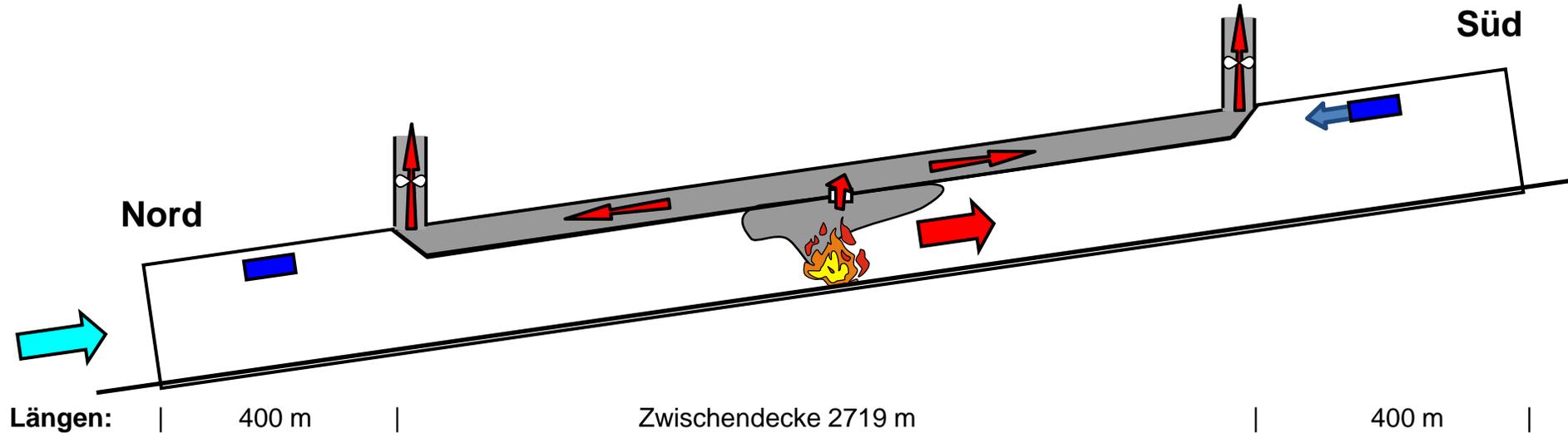
Tunnelquerschnitt: Variante 2: Abluftkanal „QS-groß“



- Breite $B_{\text{Kan}} = 8,90 \text{ m}$
- Höhe $H_{\text{Kan}} = 2,50 \text{ m}$
- Fläche $A_{\text{Kan}} = 16,0 \text{ m}^2$
- Umfang $U_{\text{Kan}} = 19,6 \text{ m}$
- Hydraulischer Durchmesser $D_{h,\text{Kan}} = 3,26 \text{ m}$

Untersuchte bauliche Lüftungsvarianten - Variante 3

> Lüftungszentralen mit Kamin am Nord- und Südportal und kleinem Abluftquerschnitt



- | | | | |
|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
|  | Geöffnete Rauchabsaugklappen |  | Abluftstation mit Abluftkamin |
|  | Strahlventilatoren |  | Kaminwirkung |
|  | Strahlventilatoren in Betrieb |  | Wind- und Temperaturwirkung |

Variantenvergleich

- Maximaler Leistungsbedarf der Abluftventilatoren im Brandfall
- Geschätzter Energiebedarf der Abluftventilatoren im Normalbetrieb
- Anzahl der notwendigen Strahlventilatoren
- Umbauter Raum der Lüftungszentralen → Baukosten
- Kostenvergleich Bau, Elektro und Lüftung
- Umweltaspekte: Anwohner und Naturschutz



Variantenvergleich - Maximaler Leistungsbedarf Abluftventilatoren (1)

- Maximaler Leistungsbedarf der Abluftventilatoren im Brandfall
- Bemessungsbrandleistung 30 MW / Rauchproduktion 80 m³/s
- Abluftmenge im Brandfall



Minimale Abluftmenge am Absaugort bei 30 MW

Rauchgasmenge nach Bemessungsbrand:

$$Q_1 \geq 1,5 \cdot Q_{\text{Rauch}}$$

$$Q_{\text{Rauch}} = 80 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_1 \geq 120 \text{ m}^3/\text{s}$$

Begrenzung der Rauchausbreitung:

$$Q_2 \geq (u_{\text{vor}} + u_{\text{nach}}) \cdot A_T$$

$$u_{\text{vor}} = 1,5 \text{ m/s}$$

$$u_{\text{nach}} = 1,5 \text{ m/s}$$

$$Q_2 \geq 159 \text{ m}^3/\text{s}$$

Notwendige Absaugmenge $Q_{\text{min}} \geq 159 \text{ m}^3/\text{s}$

Variantenvergleich - Maximaler Leistungsbedarf Abluftventilatoren (2)



- Berücksichtigung Leckagen (Bau und Klappen):
 - Absaugmenge an den Klappen: 159 m³/s
 - Leckage Klappen: 10 m³/s
 - Leckage Kanal: 27 m³/s

- Gesamt-Absaugmenge: 196 m³/s

Variantenvergleich - Maximaler Leistungsbedarf Abluftventilatoren (3)



- Kanalberechnung zur Ermittlung der Druckverluste
 - Kanallänge ca. 2 719 m
 - Installation von ca. 40 Klappen
 - Berücksichtigte Druckverluste:
 - Unterdruck im Fahrraum
 - Kanal-Enddruck
 - Reibung im Kanal
 - Hindernisse im Kanal: Wärmeschutzhauben der 40 Stellmotoren
 - Kanalaufweitung und -verengung im Bereich der Pannenbuchten
 - Lüftungszentrale (überschlägige Annahme)
 - Wirkungsgrade Ventilator = 0,75 und Motor = 0,90

Parameter aufgrund von Erfahrungswerten, da Planungsdetails noch nicht festgelegt.

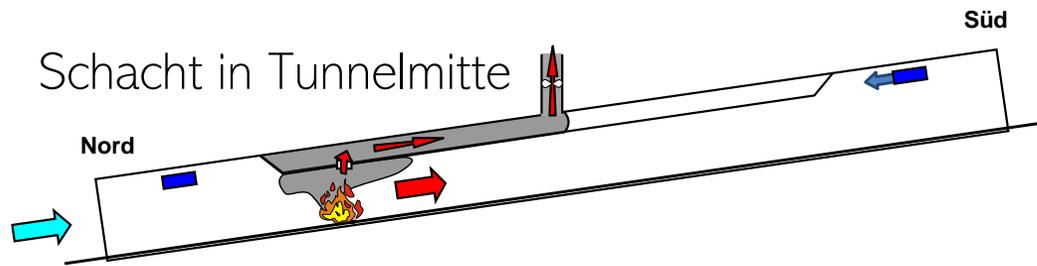
Variantenvergleich - Maximaler Leistungsbedarf Abluftventilatoren (4)

➤ Ergebnis: Maximaler Leistungsbedarf im Brandfall

Variante

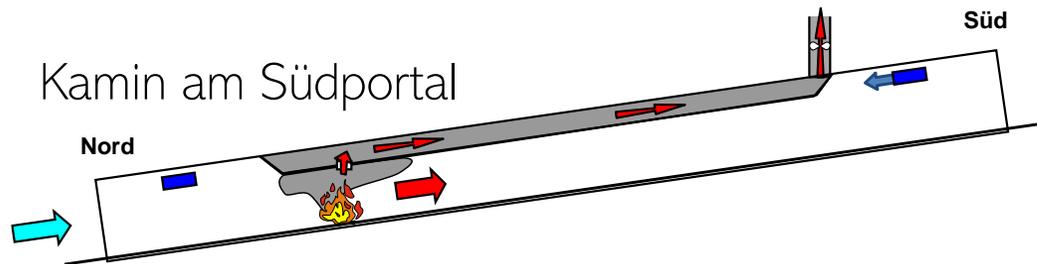
Querschnitt

Elektrische Leistung Gesamt



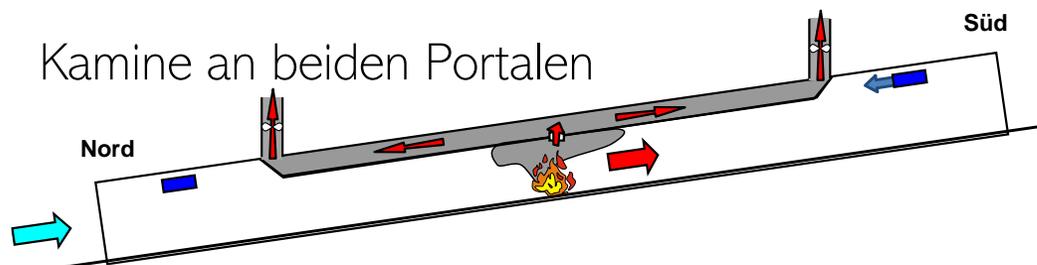
Klein

ca. 710 kW



Groß

ca. 870 kW



Klein

ca. 480 kW

Variantenvergleich - Energiebedarf Abluftventilatoren Normalbetrieb (1)



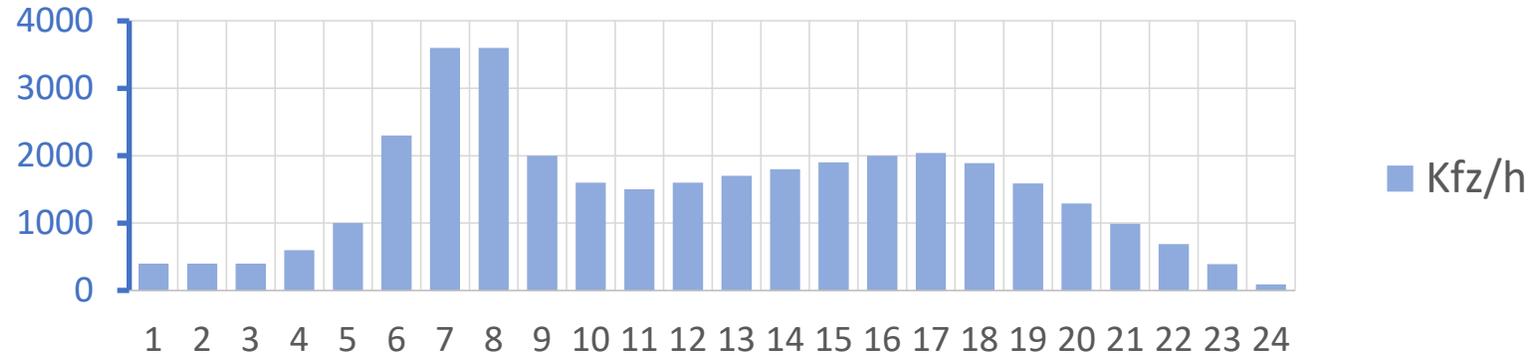
Annahmen / Grundlagen

- Absaugung vorzugsweise in Tunnelmitte
- Bei asymmetrischen Verkehrsaufteilungen Verschiebung des Absaugortes
- Zusätzlich können die Strahlventilatoren eingesetzt werden
- Ansatz Absaugmenge 1,5 m/s im Fahrraum
- Annahme: Vier äquivalente Vollast-Stunden/Tag

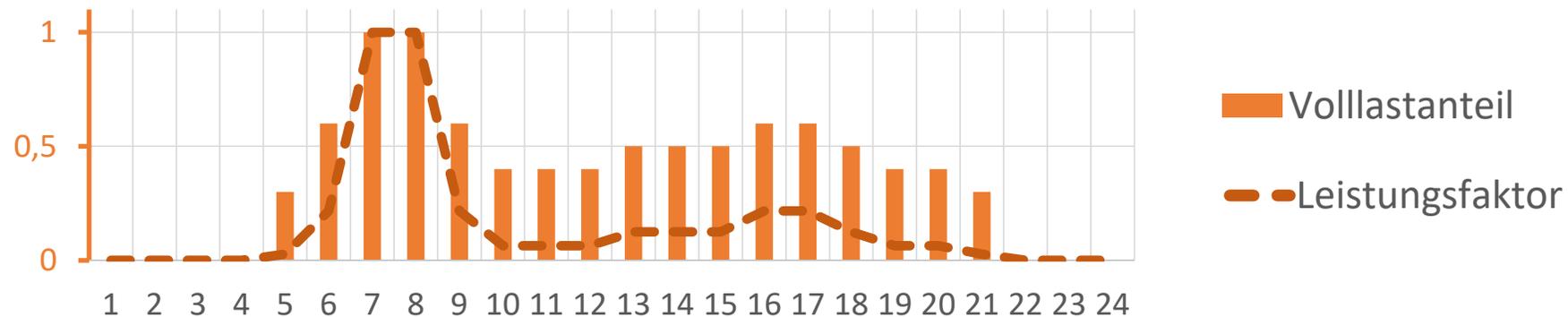
➔ Leistungsbedarf der Abluftventilatoren im Normalbetrieb

Variantenvergleich - Energiebedarf Abluftventilatoren Normalbetrieb (2)

➤ Beispielhafter Verkehrsverlauf



➤ Abgeleiteter Volllastanteil der Tunnellüftung und Leistungsfaktor



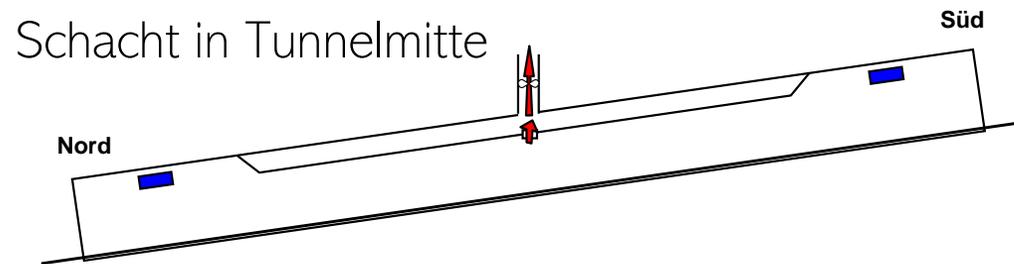
Variantenvergleich - Energiebedarf Abluftventilatoren Normalbetrieb (3)

➤ Ergebnis: Maximaler Leistungsbedarf im Normalbetrieb

Elektrische Leistung /
Energiebedarf 20 Jahre
geschätzt

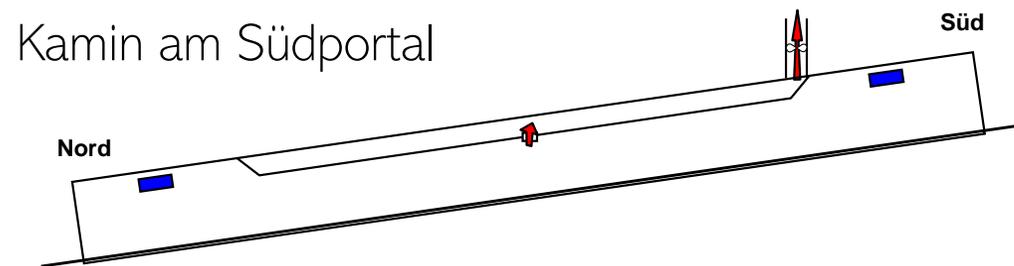
Variante

Querschnitt



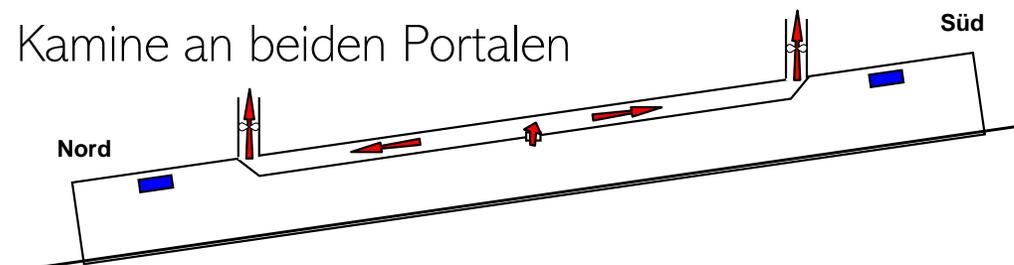
Klein

ca. 260 kW / 7 600 MWh



Groß

ca. 600 kW / 17 500 MWh



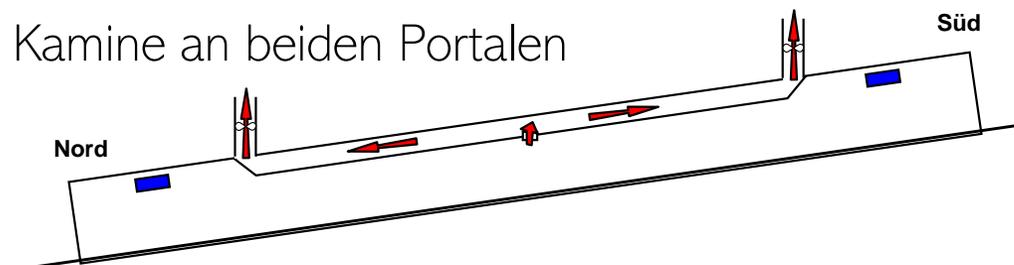
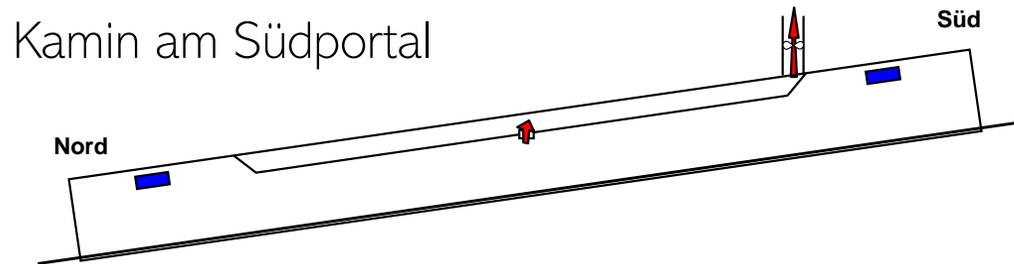
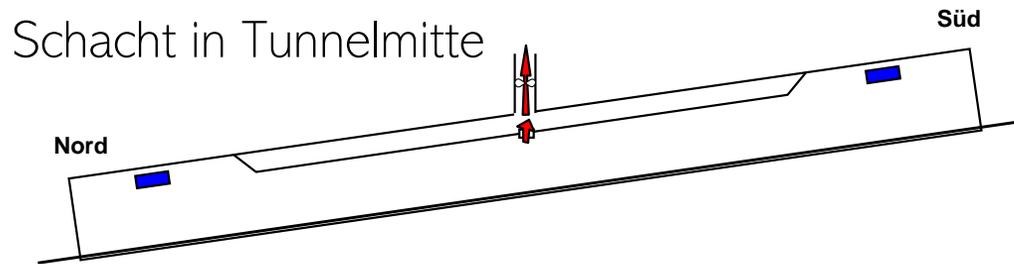
Klein

ca. 480 kW / 14 000 MWh

Variantenvergleich - Anzahl der notwendigen Strahlventilatoren

➤ Ergebnis

Variante



Anordnung am ... Gesamtzahl

Nordportal

Südportal

Strahlventilatoren

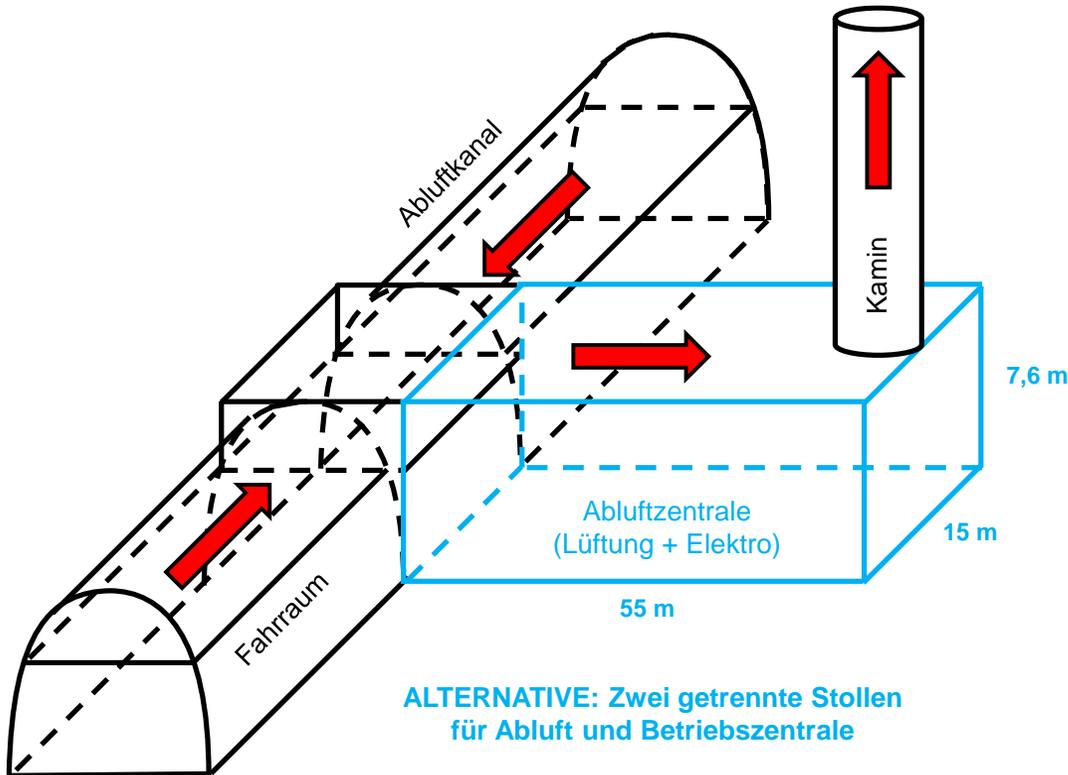
3 Gruppen (6 SV) 4 Gruppen (8 SV) 14 Stück
Anordnung im Gewölbequerschnitt ohne Zwischendecke

3 Gruppen (6 SV) 3 Gruppen (6 SV) 12 Stück
Am Südportal unter der Zwischendecke in Seitennischen
Am Nordportal im Gewölbequerschnitt ohne Zwischendecke

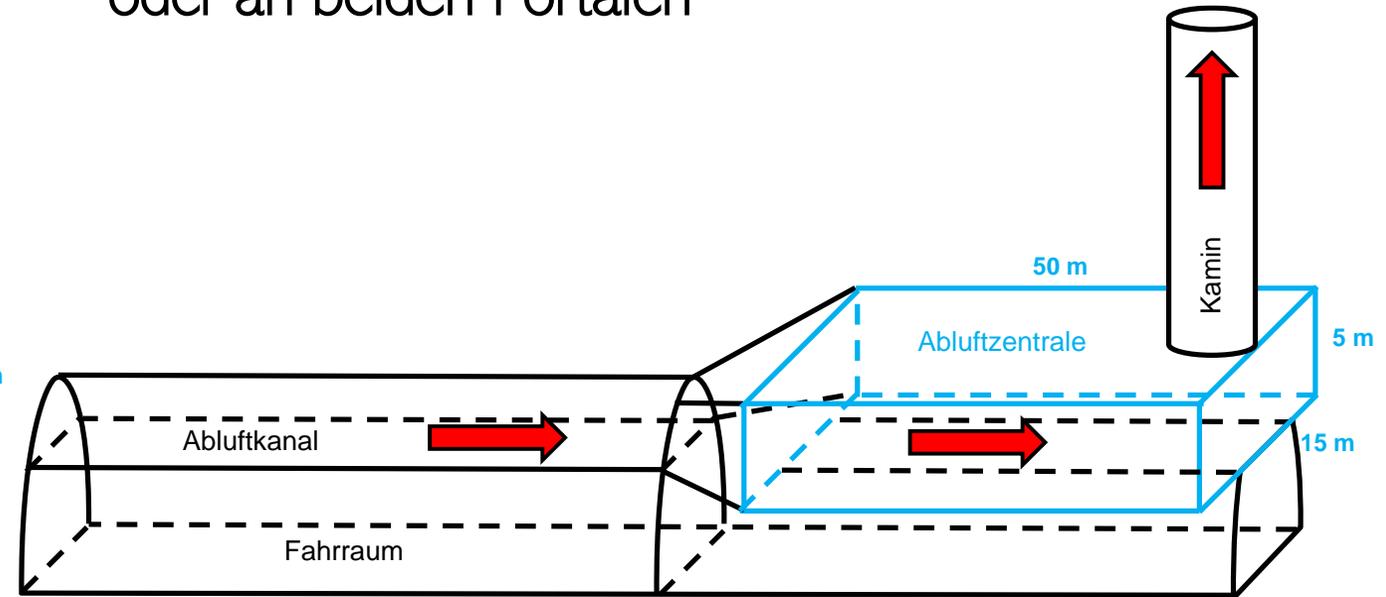
2 Gruppen (4 SV) 3 Gruppen (6 SV) 10 Stück
Anordnung unter der Zwischendecke in Seitennischen

Variantenvergleich - Umbauter Raum der Lüftungszentralen

➤ Variante 1: Schacht in Tunnelmitte

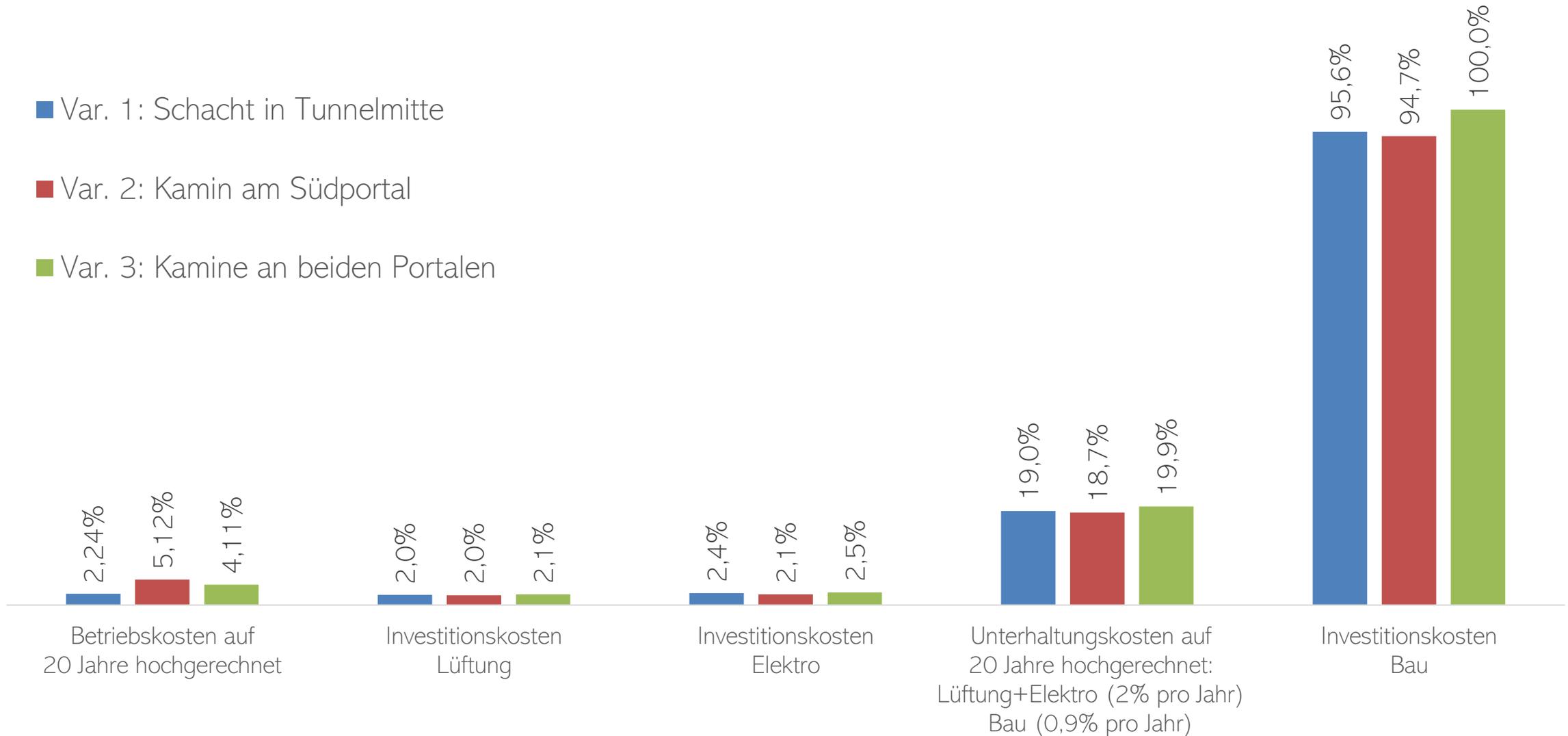


➤ Variante 2 oder 3: Kamin am Südportal oder an beiden Portalen



Variantenvergleich – Kosten (1)

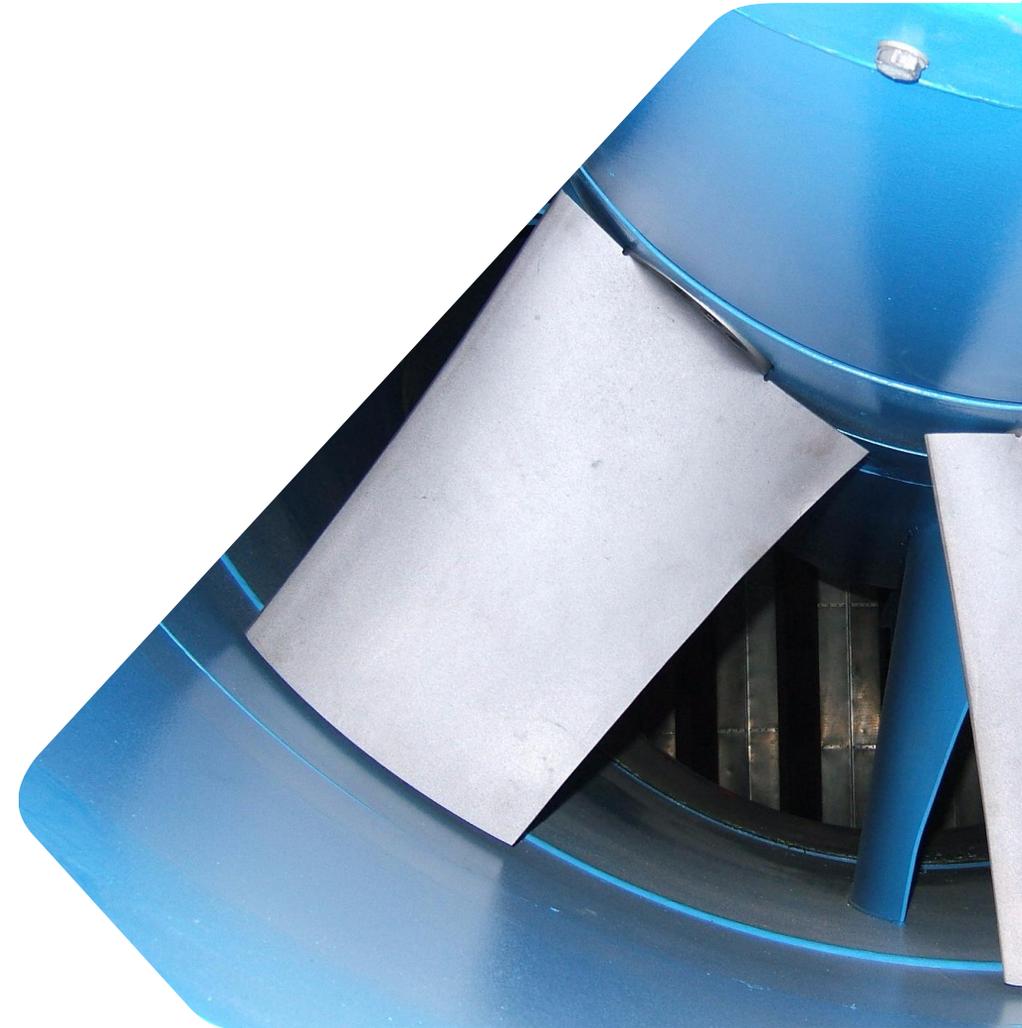
- Var. 1: Schacht in Tunnelmitte
- Var. 2: Kamin am Südportal
- Var. 3: Kamine an beiden Portalen



Variantenvergleich – Kosten (2)

Beurteilung

- Varianten liegen im Kostenvergleich sehr eng zusammen
- Variante 1 (Schacht in Tunnelmitte)
 - Geringste Betriebskosten
 - Gesamtkosten daher nach 20 und 50 Jahren am günstigsten
 - Bei höheren Stromkosten ist Variante 1 früher günstiger als Variante 2
- Variante 2 (Lüftungszentrale am Südportal)
 - Geringste Investitions- und Unterhaltungskosten
 - Höhere Betriebskosten; Diese sinken durch Verringerung der Schadstoffemissionen u.a. durch zunehmenden Anteil an E-Autos
- Variante 3 (Lüftungszentralen an beiden Portalen)
 - Maximale Gesamtkosten: Investition, Betrieb und RE-Investition



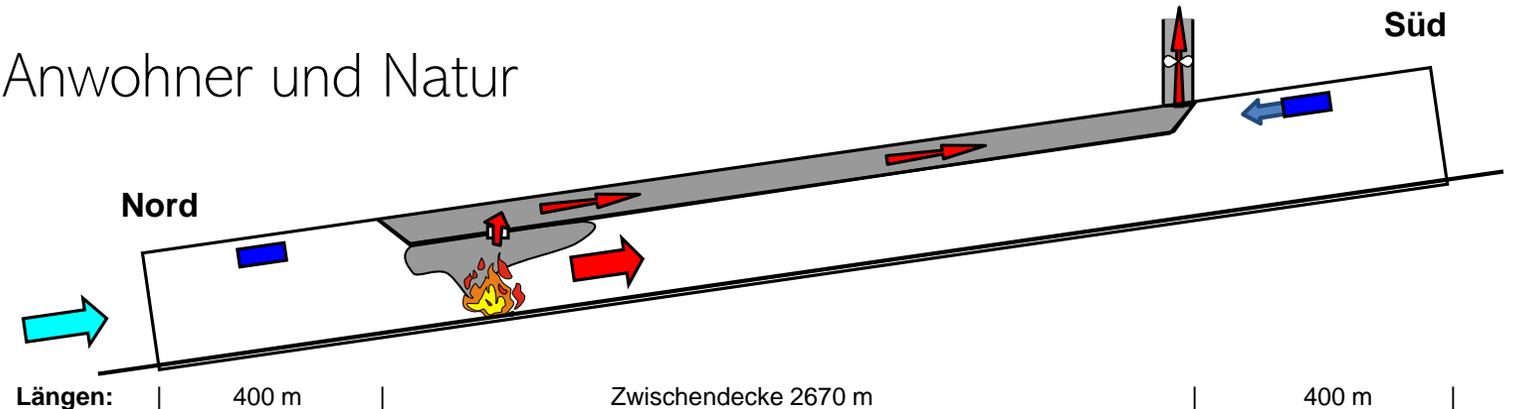
Entscheidung Vorzugsvariante 2: Lüftungszentrale am Südportal

Variante 1

- Schacht mit Kamin am Wankmassiv aus naturschutzfachlicher Sicht ausgeschlossen

Variante 2

- Geringste Beeinträchtigung für Anwohner und Natur
- Kein Eingriff am Wankmassiv

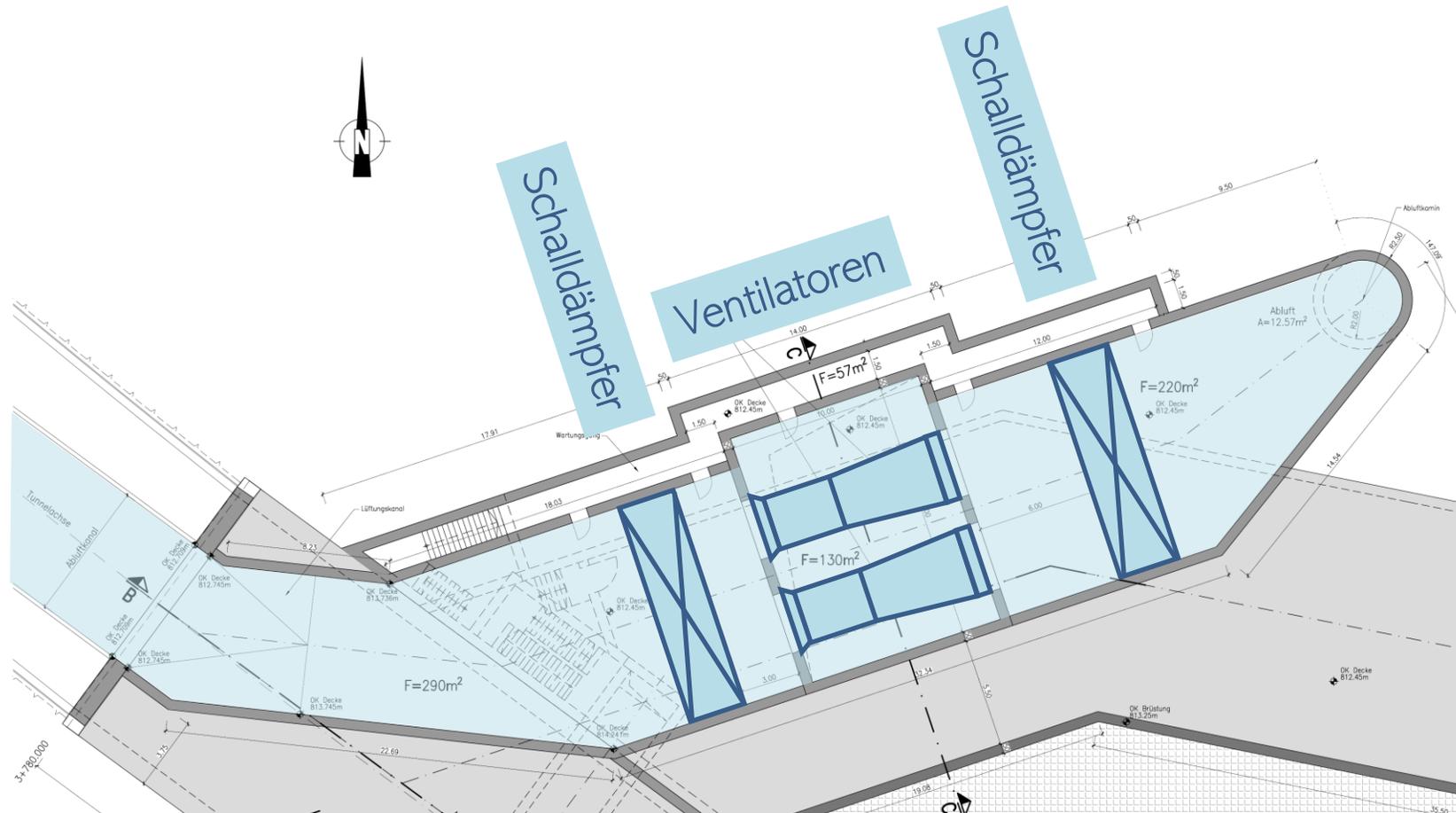


Variante 3

- Doppelte Beeinträchtigung durch zwei Lüftungszentralen

Lüfterzentrale Süd

- Abluftkanal im Süden wird oberhalb des Fahrraums weitergeführt
- Lüftungszentrale wird in offener Bauweise errichtet



Variantenuntersuchung und Entscheidung für das Tunnellüftungssystem im Wanktunnel

Dr. Matthias Wehner, HBI Haerter GmbH, www.hbi.eu

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit