

Objekt- oder Projektname
Object or Project Name
Nom d' Objet ou de Projet

Tunnel Kö-Bogen 2. BA, Düsseldorf

Berichtstitel
Report Titel
Titre de Rapport

Prüfen von Maßnahmen zur Einhaltung der Grenzwerte der 39. BImSchV

Verfasser
Author
Auteur

Jens König, Judith Pöhlmann

Datum / Version
Date / Version
Date / Version

2011-05-10 / Ver. 1.3

HBI-Auftragsnummer
HBI Project Number
HBI Numéro de Projet

30.08202.01.06.06

HBI-Berichtsnummer
HBI Report Number
HBI Numéro de Rapport

08-202-11

HBI Haerter Beratende Ingenieure • HBI Haerter Consulting Engineers • HBI Haerter Ingénieurs Conseils



HBI Haerter AG
Stockerstrasse 12
CH-8002 Zürich
Tel. +41 (0)44 289 39 00
Fax +41 (0)44 289 39 99
info.zh@hbi.ch

HBI Haerter AG
Thunstrasse 32
CH-3005 Bern
Tel. +41 (0)31 357 24 24
Fax +41 (0)31 357 24 25
info.be@hbi.ch

HBI Haerter GmbH
Friedrich-Ebert-Straße 25
D-89522 Heidenheim
Tel. +49 (0)7321 98 23 10
Fax +49 (0)7321 98 23 29
info.hdh@hbi.eu



www.hbi.eu
www.hbi.ch

Impressum

<i>Volltitel</i>	Prüfen von Maßnahmen zur Einhaltung der Grenzwerte der 39. BImSchV
<i>Kurztitel</i>	Prüfung der Grenzwerte
<i>Verfasser</i>	Jens König, Judith Pöhlmann
<i>Projekt- / Objektname</i>	Tunnel Kö-Bogen 2. BA, Düsseldorf
<i>Auftragsnummer</i>	30.08202.01.06.06
<i>Berichtsnummer</i>	08-202-11
<i>Berichtdatum</i>	2011-05-10
<i>Version</i>	Ver. 1.3
<i>Verteiler</i>	1 x Landeshauptstadt Düsseldorf als PDF 1 x HBI GmbH Heidenheim 1 x HBI AG Zürich

HBI Haerter GmbH
Beratende Ingenieure
Friedrich-Ebert-Straße 25
D-89522 Heidenheim

10.5.2011 Judith Pöhlmann

Zusammenfassung

Ausgangslage

Die Stadt Düsseldorf plant derzeit die Errichtung mehrerer Tunnelröhren, den sogenannten "Kö-Bogen" (B-Plan 5477/123 und 5477/125). An den Ausfahrtsportalen der Tunnelröhren ist mit Grenzwertüberschreitungen gemäß 39. BImSchV zu rechnen.

Ziel des Berichts

Maßnahmen zur Vermeidung dieser Grenzwertüberschreitungen sollen geprüft werden.

Abgrenzung

Die Abschätzung der baulichen Machbarkeit und möglicher Akzeptanz der Maßnahmen erfolgt durch den Bauherrn.

Vorgehen

Es erfolgt eine Kurzbeschreibung und Untersuchung von Immissionschutzmaßnahmen hinsichtlich ihrer Machbarkeit in Bezug auf die Frage, ob das Ziel „Vermeidung der Grenzwertüberschreitungen“ am vorliegenden Objekt prinzipiell technisch erreichbar ist. Für die technisch machbaren Maßnahmen sind überschlägig die wesentlichen baulichen Abmessungen und der Aufwand an Investitions- und Betriebskosten zu ermitteln. Für Maßnahmen, die einen Einsatz an elektrischer Energie bedürfen, ist eine CO₂-Emissionsermittlung zu erstellen.

Grundlagen, Annahmen und Erläuterungen

Der Bericht basiert auf Erkenntnissen der Immissionsprognose für den Kö-Bogen [1] und den Ergebnissen des Lüftungsgutachtens [2].

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die **Absaugung der Portalabluft** ist eine Lüftungstechnische Standardlösung der Immissionsproblematik, kann aber nur **bedingt empfohlen** werden. In der betrachteten Variante müssen drei Portale abgesaugt werden. Die notwendige Errichtung von Kaminen stellt eine Beeinträchtigung im Stadtbild dar. Die Investitionskosten für die technische Ausrüstung in der Grundvariante belaufen sich für die drei Portalluftabsaugungen auf netto ca. 2,1 Mill. EUR. Es sind jährliche Kosten aus Betrieb und Wartung in Höhe von ca. 0,315 Mill. EUR zu erwarten. Es werden 572 t bis 679 t CO₂ pro Jahr auf Grund des Elektroenergiebedarfs für den Betrieb der Absauganlage erzeugt.

Empfohlen wird die Fassadengestaltung der betroffenen Bebauung mit separater Fassadenhinterlüftung oder Belüftung der angrenzenden Räume über eine hausinterne Lüftungsanlage. Die Kosten dieser Maßnahme werden gegenüber den anderen Maßnahmen als geringer angesehen, sind jedoch noch zu ermitteln. Nicht empfohlen werden:

- Einsatz der Strahlventilatoren (z.B. Verteilung auf Ein- und Ausfahrtsportal)
- Ausdehnen des Schadstoffaustrags am Portal auf eine definierte Strecke (z.B. Züblendecke, „Schlitz“ in der Tunneldecke)
- Verlängerung des Tunnels (unterirdisch oder Einhausung)
- Abschirmung sensibler Bereiche über Immissionsschutzwand
- Absaugung der Tunnelluft im Verlauf der Tunnelröhre (z.B. Mitte des Tunnels)
- Einbau einer Tunnelluftfilteranlage
- Schadstoffaustrag im Verlauf der Tunnelröhre (z.B. „Schlitz“ in der Tunneldecke in der Mitte des Tunnels)

Weiteres Vorgehen

Die Stadt Düsseldorf entscheidet unter Berücksichtigung der vorliegenden Studie über das weitere Vorgehen.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Zusammenfassung	3
Inhaltsverzeichnis	4
1 Einleitung und Aufgabenstellung	6
2 Vorgehen	7
3 Grundlagen, Annahmen, Erläuterungen	8
4 Kurzbeschreibung und Untersuchung möglicher Maßnahmen	11
4.1 Absaugung der Tunnelluft.....	11
4.1.1 Zusätzliches Lüftungsbauwerk am Austrittsportal	11
4.1.2 Absaugung der Tunnelluft im Verlauf der Tunnelröhre.....	15
4.2 Einsatz der Strahlventilatoren	16
4.3 Verteilung Schadstoffaustrag durch bauliche Maßnahmen	17
4.3.1 Ausdehnen des Schadstoffaustrags am Portal auf einer definierten Strecke	17
4.3.2 Gezielter Schadstoffaustrags im Verlauf der Tunnelröhre.....	19
4.3.3 Verlängerung des Tunnel.....	19
4.3.4 Abschirmung sensibler Bereiche.....	19
4.4 Einbau einer Tunnelluftfilteranlage.....	20
4.4.1 Anordnung in Straßentunneln	20
4.4.2 Reinigungsverfahren.....	21
4.4.3 Dimensionierung der Filteranlage	21
5 Investitions- und Betriebskosten	23
5.1 Zusätzliches Lüftungsbauwerk am Austrittsportal	23
5.1.1 Investitionskosten	23
5.1.2 Stromkosten.....	23
5.1.3 Abschreibung der technischen Einrichtungen Tunnellüftung.....	24
5.1.4 Wartungs- und Ersatzteilkosten Tunnellüftung.....	25
5.1.5 Zusammenfassung jährliche Betriebs- und Wartungskosten	25
5.2 Tunnelluftfilteranlage.....	26
5.2.1 Zusammenfassung Investitionskosten	26
5.2.2 Zusammenfassung jährliche Betriebs- und Wartungskosten	26
6 Emissionsermittlung CO₂	27
6.1 Zusätzliches Lüftungsbauwerk am Austrittsportal	27
6.2 Tunnelabluftfilterung	28
7 Schlussfolgerung und Empfehlung	29
8 Quellenverzeichnis	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1:	Einbauten Absaugung Hofgartenstraße	14
Tabelle 4.2:	Einbauten Absaugung Elberfelder Straße	15
Tabelle 4.3:	Einbauten Absaugung Berliner Straße	15
Tabelle 4.4:	Benötigte Länge für Abluftfilterung.....	22
Tabelle 5.1:	Investitionskosten separate Absaugung Abluft an drei Portalen	23
Tabelle 5.2:	Stromkosten Nordportal.....	24
Tabelle 5.3:	Stromkosten Westportal	24
Tabelle 5.4:	Stromkosten Südportal	24
Tabelle 5.5:	Jährliche Abschreibungskosten der 3 Portalluftabsaugungen.....	25
Tabelle 5.6:	Jährliche Kosten Wartung und Ersatzteile der 3 Portalluftabsaugungen.....	25
Tabelle 5.7:	Jährliche Gesamtkosten der 3 Portalluftabsaugungen	25
Tabelle 5.8:	Investitionskosten Tunnelfilteranlage.....	26
Tabelle 5.9:	Betriebs- und Wartungskosten Tunnelfilteranlage.....	26
Tabelle 6.1:	CO ₂ - Produktion aus Elektronenergieverbrauch für Absaugung Nordportal	27
Tabelle 6.2:	CO ₂ - Produktion aus Elektronenergieverbrauch für Absaugung Westportal.....	27
Tabelle 6.3:	CO ₂ - Produktion aus Elektronenergieverbrauch für Absaugung Südportal.....	27
Tabelle 6.4:	CO ₂ - Produktion aus Elektronenergieverbrauch für Absaugung 3 Portale.....	28
Tabelle 6.5:	CO ₂ - Produktion aus Elektronenergieverbrauch für Filter 3 Portale	28

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Lage der Tunnelröhren der Anbindung Kö-Bogen (westliche Tunneläste z.T. nur die Achsen rot strichliert dargestellt) [3].....	6
Abbildung 3.1:	Tunnelsystem des Kö-Bogens im Endzustand (rot: 1. Bauabschnitt, orange: 2. Bauabschnitt) [4].....	8
Abbildung 3.2:	NO ₂ -Gesamtbelastung (Jahresmittelwert) im Untersuchungsgebiet im Endzustand (entspricht 2. Bauabschnitt, Variante 2 ohne worst case) [1]	9
Abbildung 3.3:	Prognostiziertes Verkehrsaufkommen (DTV) im 2. Bauabschnitt [2]	10
Abbildung 4.1:	Längsschnitt schematische Darstellung der Absaugung über Absaugöffnung	11
Abbildung 4.2:	Bevorzugte Standorte der Portalluftabsaugung, Alternativstandorte	12
Abbildung 4.3:	Schematische Anordnung der Komponenten der Portalluftabsaugung Querschnitt.....	13
Abbildung 4.4:	Schematische Anordnung der Komponenten der Portalluftabsaugung Draufsicht	14
Abbildung 4.5:	Anordnung und Anzahl der Strahlventilatoren [2]	16
Abbildung 4.6:	Rasterdecke [5].....	17
Abbildung 4.7:	Züblin-Decke [5].....	17
Abbildung 4.8:	Schema der Verteilung von Zu – und Abluftströmen bei einer Rasterdecke oder Züblin-Decke [5].....	18
Abbildung 4.9:	Obere Ansicht einer durchgehenden Züblin-Decke im Landschaftsbild [5].....	19
Abbildung 4.10:	Schema Konzentrationsprofil ohne Lärmschutz- bzw. Immissionsschutzwand.....	20
Abbildung 4.11:	Schema Konzentrationsprofil mit Lärmschutz- bzw. Immissionsschutzwand.....	20
Abbildung 4.12:	Horizontale Lage der Abluftfilteranlage.....	22

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Stadt Düsseldorf plant derzeit im Rahmen des Gesamtprojektes „Kö-Bogen“ die Errichtung mehrerer Tunnelröhren.

Mit der Errichtung von drei Tunneln, die miteinander verbunden sind, werden sich wesentliche, heute oberirdisch verlaufende Straßenverbindungen zukünftig unterirdisch erstrecken. Durch die Vernetzung der Tunnelröhren miteinander entsteht ein komplexes Tunnelbauwerk. Alle Röhren sollen ausschließlich im Richtungsverkehr befahren werden. Ferner sind von den Tunnelröhren Anschlüsse an mehrere Tiefgaragen geplant.

Aufgrund von Berechnungen im Rahmen der Luftschadstoffuntersuchungen für den Kö-Bogen (Ingenieurbüro Lohmeyer) ist mit Grenzwertüberschreitungen gemäß 39. BImSchV an Ausfahrtsportalen der Tunnelröhren zu rechnen. Verschiedene Maßnahmen zur Vermeidung dieser Grenzwertüberschreitungen sollen geprüft werden.

Das geplante Bauwerk in der Baustufe 2 mit der Lage im Stadtgebiet ist in Abbildung 1.1 dargestellt.

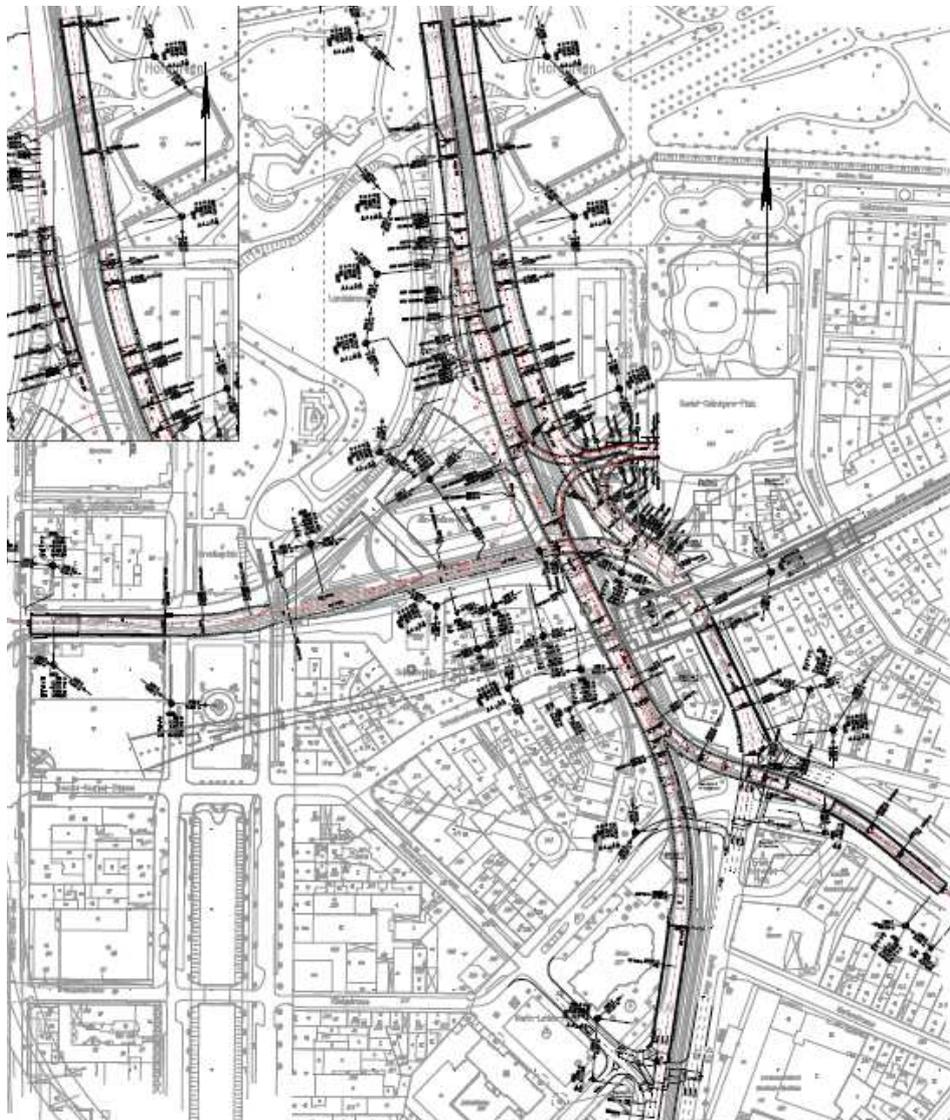


Abbildung 1.1: Lage der Tunnelröhren der Anbindung Kö-Bogen
(westliche Tunneläste z.T. nur die Achsen rot strichliert dargestellt) [3]

2 Vorgehen

Folgende Arbeitsschritte werden im Rahmen der Aufgabenstellung durchgeführt:

- Kurzbeschreibung und Untersuchung der genannten Maßnahmen hinsichtlich ihrer Machbarkeit in Bezug auf die Frage, ob das Ziel „Vermeidung der Grenzwertüberschreitungen“ am hier vorliegenden Objekt prinzipiell technisch erreichbar ist.
- Für die technisch machbaren Maßnahmen sind überschlüssig die wesentlichen baulichen Abmessungen und der Aufwand an Investitions- und Betriebskosten zu ermitteln.
- Für Maßnahmen, die einen Einsatz an elektrischer Energie bedürfen, ist eine CO₂-Emissionsermittlung zu erstellen

Die nachstehend aufgeführten Maßnahmen werden betrachtet:

- Absaugung der Tunnelluft über ein zusätzliches Lüftungsbauwerk am Austrittsportal
- Einsatz der Strahlventilatoren (z.B. Verteilung auf Ein- und Ausfahrtsportal)
- Ausdehnen des Schadstoffaustrags am Portal auf eine definierte Strecke (z.B. Züblindecke, „Schlitz“ in der Tunneldecke)
- Verlängerung des Tunnels (unterirdisch oder Einhausung)
- Abschirmung sensibler Bereiche (Immissionsschutzwand)
- Absaugung der Tunnelluft im Verlauf der Tunnelröhre (z.B. Mitte des Tunnels)
- Einbau einer Tunnelluftfilteranlage
- Gezielter Schadstoffaustrags im Verlauf der Tunnelröhre (z.B. „Schlitz“ in der Tunneldecke in der Mitte des Tunnels)

Die Maßnahmen werden anhand von Ausführungsbeispielen kurz vorgestellt.

Erscheinen die Maßnahmen in der ersten Beurteilung geeignet die Immissionsziele zu erreichen, werden sie eingehender untersucht.

Weiterhin wird auf Alternativen zu o.g. Maßnahmen verwiesen. Das können zusätzliche Maßnahmen oder Kopplungen sein.

3 Grundlagen, Annahmen, Erläuterungen

Es wird die Variante 2 des Endzustandes für den Tunnel Kö-Bogen gemäß nachstehender Abbildung 3.1 zugrunde gelegt.

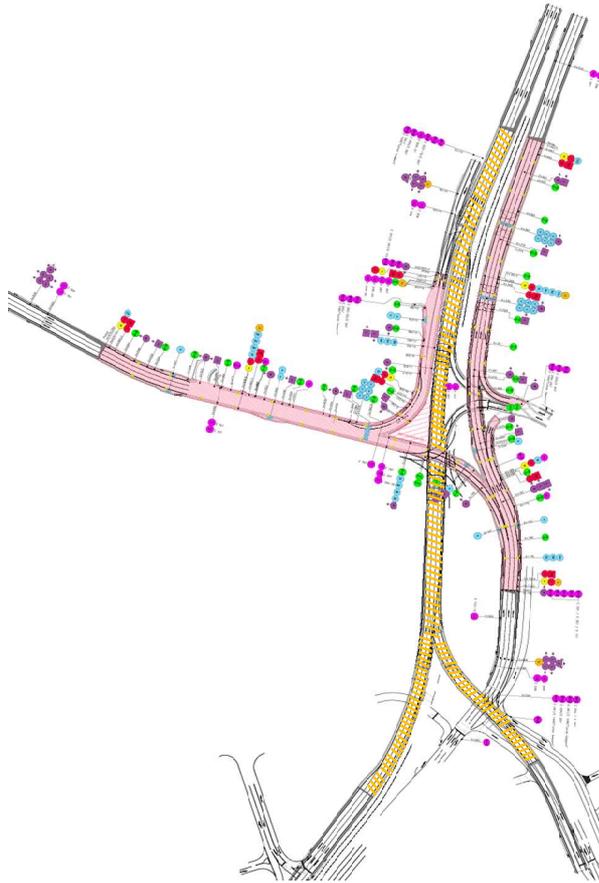


Abbildung 3.1: Tunnelsystem des Kö-Bogens im Endzustand (rot: 1. Bauabschnitt, orange: 2. Bauabschnitt) [4]

Die Immissionsprognose für den Kö-Bogen [1] trifft nachstehende Aussagen, teilweise wörtlich zitiert, zur Ausbaustufe 2, Variante 2. Die maßgebenden Berechnungsergebnisse für NO_2 sind in Abbildung 3.2 grafisch dargestellt.

Am nördlichen und westlichen Tunnelportal werden an der nächstgelegenen Bebauung NO_2 -Immissionen bis $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet.

Entlang der Immermannstraße sind gegenüber dem Prognosenullfall höhere NO_2 -Immissionen berechnet, die an der Randbebauung nicht über $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen.

Entlang der Berliner Allee zwischen Steinstraße und Immermannstraße sind gegenüber dem Prognosenullfall höhere NO_2 -Immissionen prognostiziert, die an der Randbebauung teilweise gering über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ betragen. Das betrifft vor allem die geplante Bebauung entlang der Berliner Allee mit NO_2 -Immissionen bis $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

An den bestehenden Gebäuden an der Westseite der Berliner Allee wie auch an der Johanneskirche werden NO_2 -Immissionen bis $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erwartet.

Der geltende Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird in den Planalternativen mit dem Bauabschnitt 2 an der Randbebauung der Hauptverkehrsstraßen überwiegend nicht überschritten, in der Umgebung des nördlichen, westlichen und südlichen Tunnelportals sind Überschreitungen prognostiziert.

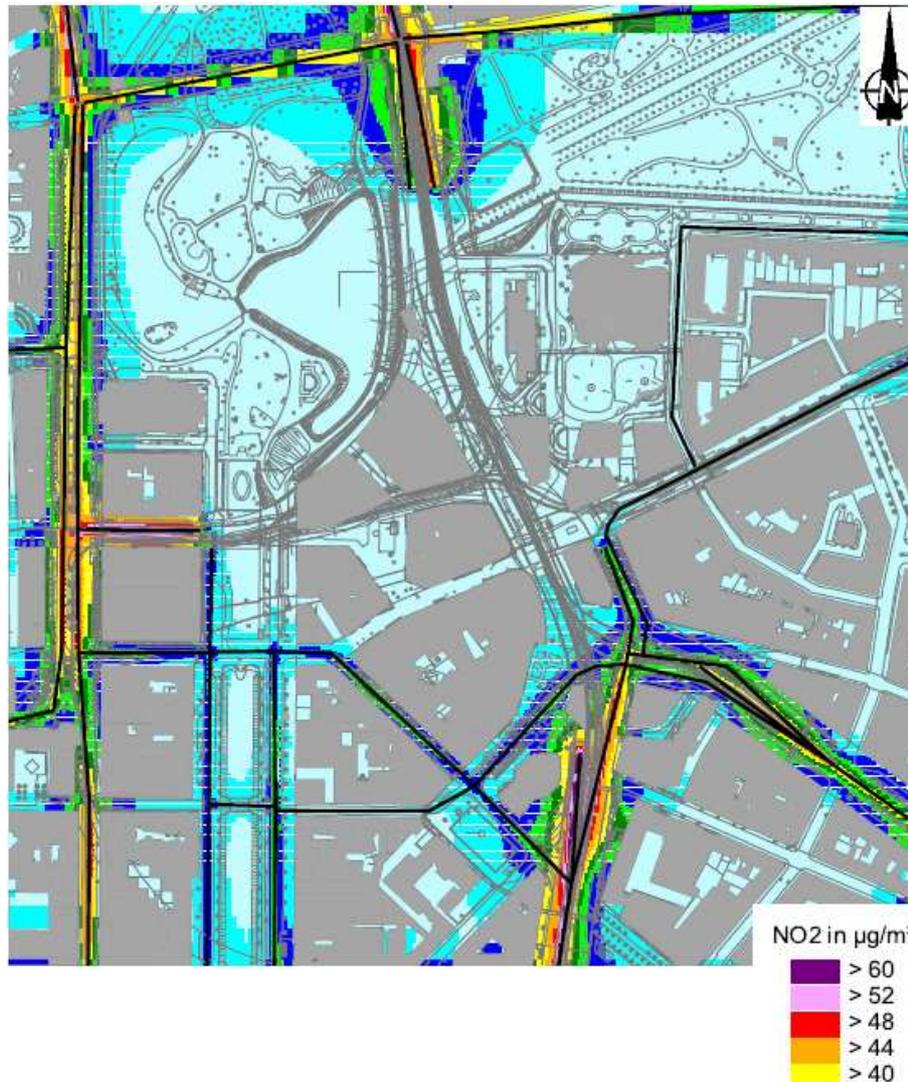


Abbildung 3.2: NO₂-Gesamtbelastung (Jahresmittelwert) im Untersuchungsgebiet im Endzustand (entspricht 2. Bauabschnitt, Variante 2 ohne worst case) [1]

Die Grenzwerte für die PM₁₀-Jahresmittelwerte, PM₁₀-Kurzzeitbelastungswerte (Überschreitungshäufigkeit) und die PM_{2.5}-Jahresmittelwerte werden an der Bebauung im Untersuchungsgebiet nicht erreicht und nicht überschritten.

Das Belüftungskonzept des Tunnels ohne Berücksichtigung der Immissionslage und Standorte und Anzahl der Strahlventilatoren ergibt sich aus dem Lüftungsgutachten [2].

Weiterhin werden die im Lüftungsgutachten genannten Verkehrsdaten hinsichtlich des gegenüber der Immissionsprognose höheren Verkehrsaufkommens und der Geschwindigkeit berücksichtigt. Für das Ausfahrtportal Süd Berliner Allee wird der höhere DTV mit 16.300 Fz/24h aus der Immissionsprognose verwendet.

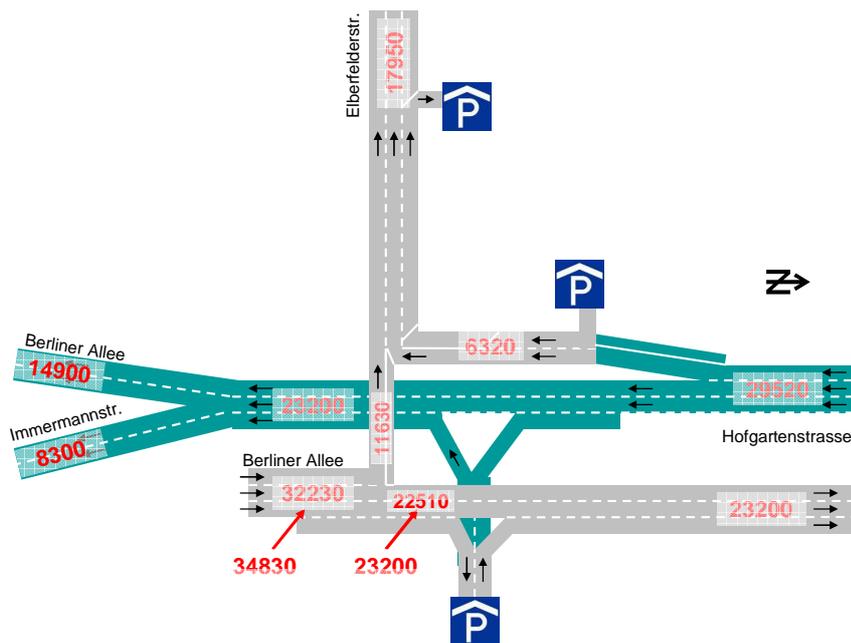


Abbildung 3.3: Prognostiziertes Verkehrsaufkommen (DTV) im 2. Bauabschnitt [2]

In der Sitzung vom 15.11.10 wurde seitens der Ersteller der Immissionsprognose angemerkt, dass eine 30 %-ige Erfassung der Schadstoffe des Tunnels rein rechnerisch zu einer Unterschreitung der Grenzwerte führt.

Unter Berücksichtigung des Beitrages der offenen Strecke hinter den Ausfahrtportalen und eines möglichen Schlupfes bei Immissionsmaßnahmen wird für vorliegende Betrachtung angenommen, dass eine 50 %-ige Erfassung der Schadstoffe zum Unterschreiten der Grenzwerte führen kann.

4 Kurzbeschreibung und Untersuchung möglicher Maßnahmen

4.1 Absaugung der Tunnelluft

4.1.1 Zusätzliches Lüftungsbauwerk am Austrittsportal

Die Absaugung der Luft am Ausfahrtsportal stellt eine effiziente Methode dar, um die aufkonzentrierte Schadstofffracht des Tunnels zu erfassen. Neben CO, CO₂ und Kohlenwasserstoffverbindungen gehören dazu auch die durch Immissionsprognose quantitativ bestimmten Bestandteile NO₂ und Feinstaub in unterschiedlichen Korngrößenfraktionen.

Die Luft wird im Portalbereich des Tunnels über eine Öffnung in der Tunneldecke abgesaugt. Zur Vermeidung von Strömungsverlusten durch lange Abluftkanäle wird das Lüftungsbauwerk vorzugsweise in der Nähe der Absaugstelle angeordnet, s. Abbildung 4.1.

Die Absaugung erfolgt durch leistungsfähige Axialventilatoren. Schalldämpfer vor und hinter den Ventilatoren sorgen für eine Reduzierung der Schallemissionen. Druckseitig wird die Abluft einem Kamin zugeführt und mit hoher Geschwindigkeit ausgeblasen. Der Kamin weist eine Höhe auf, die eine ausreichende Verdünnung der Schadstoffe in der Luft durch Wind zulässt. Die hohe Ausblasgeschwindigkeit unterstützt die Verteilung der Schadstoffe in vertikaler Richtung.

Die tatsächlich auszuführende Kaminhöhe ist durch zusätzliche Berechnungen zur Immissionssituation zu bestimmen. Einflussgrößen sind Geschwindigkeit und Durchmesser des Abluftstrahls, Windfeldverteilung, atmosphärische Schichtungen, umliegende Bebauung und Geländestruktur.

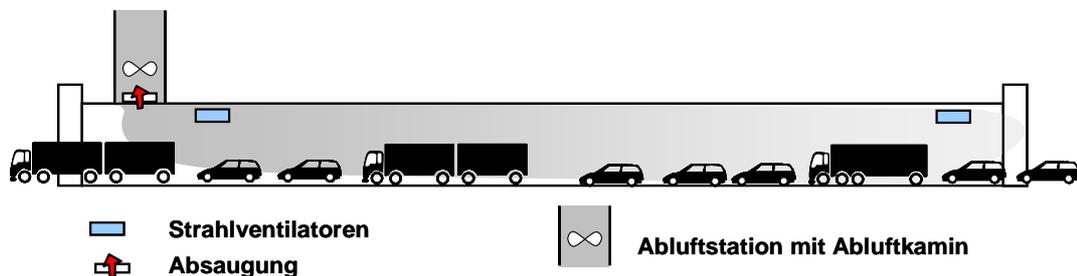


Abbildung 4.1: Längsschnitt schematische Darstellung der Absaugung über Absaugöffnung

Überschreitungen der Grenzwerte sind an drei Portalen zu verzeichnen. Damit wären maximal drei Portale mit Absaugungen zu versehen. Die aus lüftungstechnischer Sicht bevorzugten Standorte können Abbildung 4.2 entnommen werden. Diese Standorte können unter Umständen aufgrund städtebaulicher und weiterer Kriterien als problematisch angesehen werden.

Alternativ wären Standorte zwischen 50 und 100 m vom Ausfahrtsportal tunneleinwärts möglich. Aus Lüftungssicht ist das mit Nachteilen bei der Erfassung der gesamten Schadstofffracht verbunden.

Die Baufreiheit, Bodenstatik und weitere bauliche Belange wären vor weiteren lüftungstechnischen Planungen separat zu untersuchen.

Im Regelfall wird eine Absaugung der Portalabluft auf Grundlage der zu erwartenden Volumenströme im Tunnel dimensioniert. Maßgebend ist hierbei die durch den fließenden Verkehr induzierte Längsströmung. Gemäß Lüftungsgutachten ergeben sich nachstehende Volumenströme.

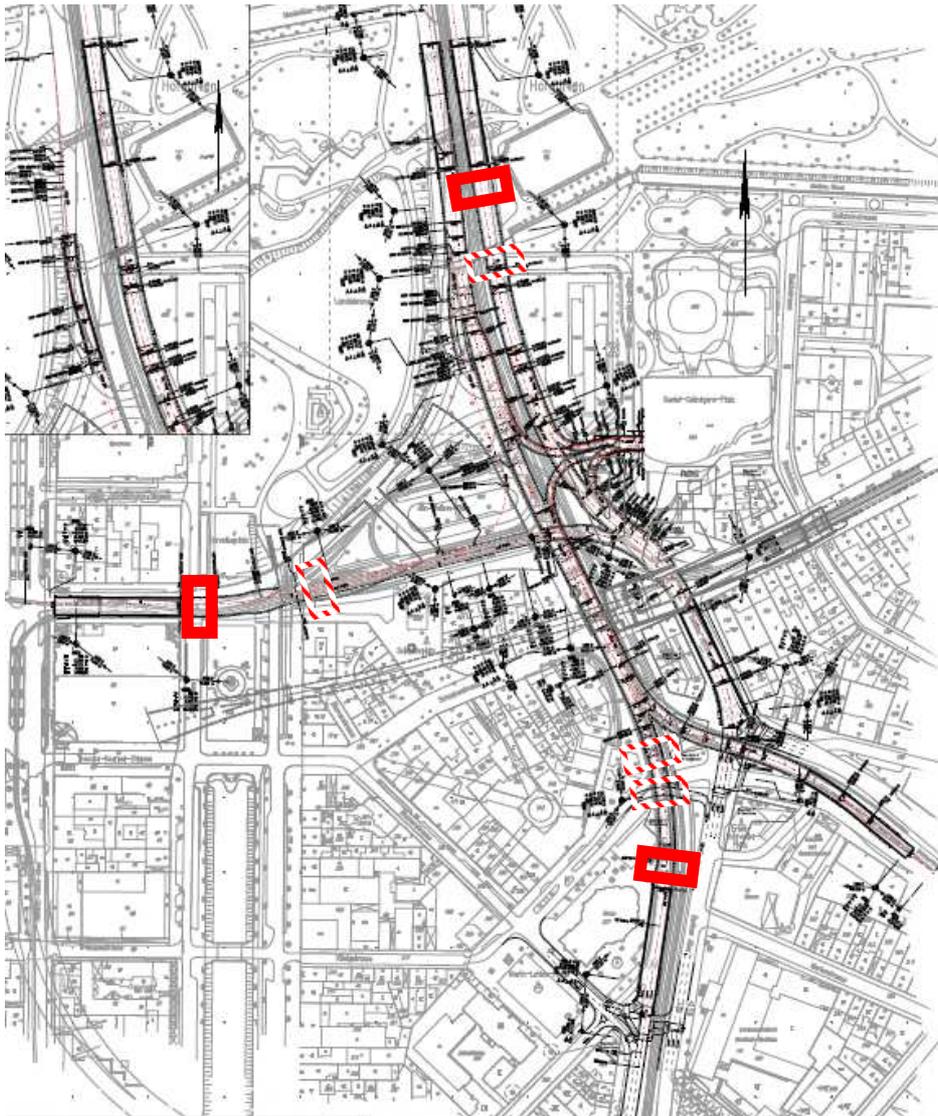


Abbildung 4.2: Bevorzugte Standort für Portalluftabsaugung 
Alternativstandorte 

- | | |
|--|-----------------------|
| 1.) Tunnel Richtung Hofgartenstraße Nordportal: | 185 m ³ /s |
| 2.) Tunnel Richtung Elberfelder Straße Westportal: | 170 m ³ /h |
| 3.) Tunnel Richtung Berliner Straße Südportal: | 155 m ³ /s |

Der Volumenstrom zum Punkt 3 wurde mit einem DTV von 16.300 Fz/h aus den vorhandenen Daten interpoliert und genügt den Anforderungen an die Genauigkeit im Rahmen der Aufgabenstellung.

Die Volumenströme sind damit gleich oder größer, die sich bei Verwendung des DTV aus der Immissionsprognose BA 2 Variante 2 worst case ergeben würden. Damit wird bezüglich der Größe der Volumenströme eine konservative Annahme getroffen.

Zur Erfassung der gesamten Schadstofffracht des Tunnels ist es notwendig, den durch die Kolbenwirkung der maximalen Verkehrsstärke induzierten Volumenstrom permanent abzuführen. Um die Immissionsgrenzwerte zu unterschreiten, könnte der Volumenstrom rechnerisch um die Hälfte reduziert werden. Das ergibt sich aus der oben getroffenen Annahme, dass eine 50%-ige Erfassung der Schadstoffe zum Unterschreiten der Grenzwerte führen kann.

Es wird jedoch der maximale Volumenstrom für die Dimensionierung der Axialventilatoren zugrunde gelegt. Das ergibt sich aus dem Tagesgang der Verkehrsstärke mit Maximum- und Minimumwerten und der Notwendigkeit der Auslegungssicherheit.

Die größten Emissionen treten mit den Verkehrsmaxima und maximalen Volumenströmen auf und sind dementsprechend abzuführen. Während verkehrsarmer Zeiten würde Luft nur zusätzlich angesaugt und umgepumpt werden, da zum einen die Volumenströme durch die Kolbenwirkung geringer und zum anderen mit Schadstoffen weniger belastet sind.

In einer vorläufigen Planung könnte die Luft während verkehrstarker Zeiten 12 Stunden am Tag abgeführt werden. Das entspricht unter zeitlichem Aspekt einer Halbierung der Schadstoffe. Unter Berücksichtigung des Tagesganges des Verkehrs dürfte die Schadstoffabfuhr sogar größer sein. Zur weiteren Optimierung sind Reserven vorhanden.

Die Kaminhöhe wird neben den o.g. Kriterien auch vom Abstand zur Bebauung im Umkreis von 50 m bestimmt. In diesem Fall ist die Traufhöhe der Gebäude maßgebend, die mit einem Zuschlag von wenigstens 3 m versehen wird.

Grobdimensionierung

Da an den Portalenden für die Eilberfelder Straße und die Berliner Straße höhere Gebäude vorhanden sind, wird eine senkrechte Anordnung der Komponenten vorgesehen. Damit ergibt sich systembedingt schon eine Quellhöhe von ca. 22 m. Diese Höhe wird für die erste Auslegung gewählt, ist aber bei weiteren Planungen zu überprüfen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Gebäudehöhen zu prüfen. Eine Prinzipskizze dieses Lösungsvorschlages ist in Abbildung 4.3 und Abbildung 4.4 dargestellt.

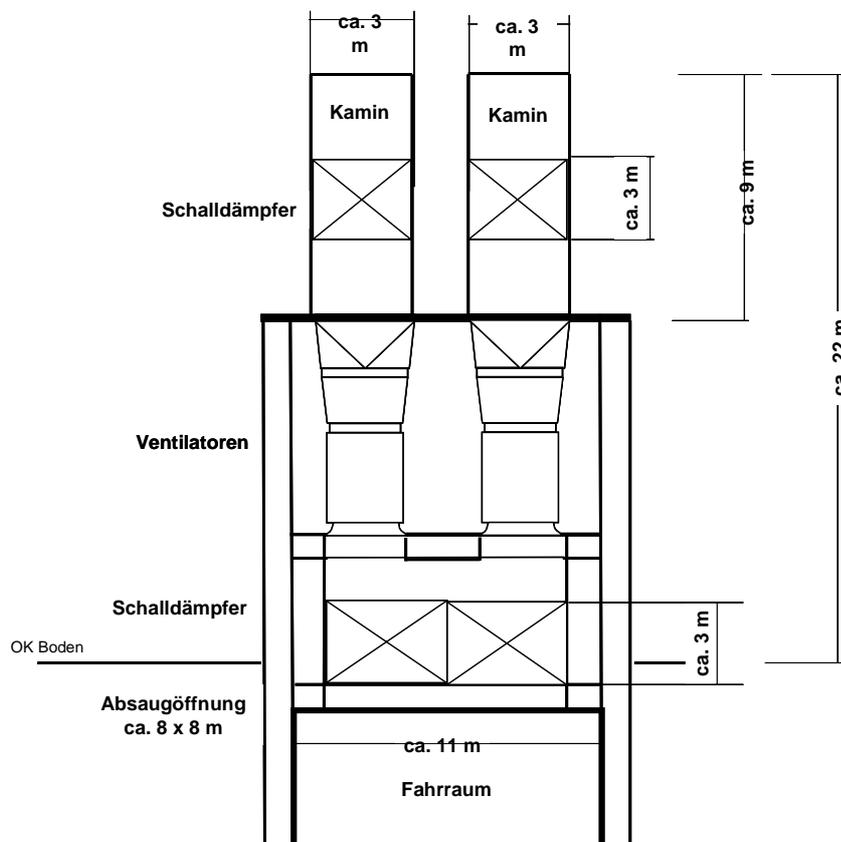


Abbildung 4.3: Schematische Anordnung der Komponenten der Portalluftabsaugung Querschnitt

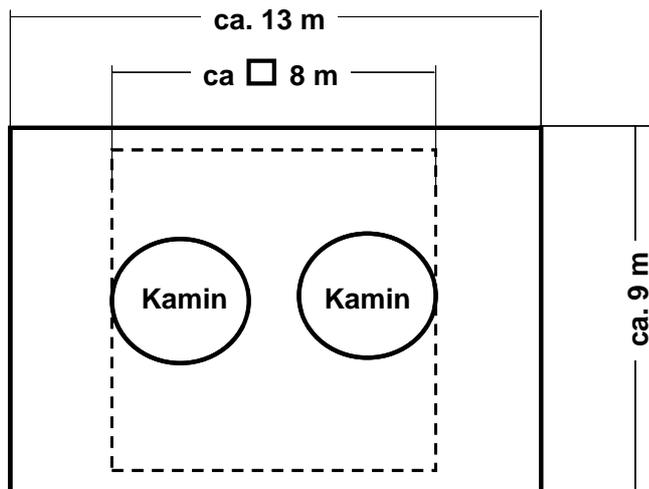


Abbildung 4.4: Schematische Anordnung der Komponenten der Portalluftabsaugung Draufsicht

Im ersten Ansatz wird diese Anordnung auch für die Hofgartenstraße gewählt. Unter Umständen kann dort auch eine liegende Anordnung der Axialventilatoren vorgesehen werden, womit sich die Bauhöhe und damit die Kaminhöhe reduzieren lassen.

Die Kamine stellen in jedem Fall einen massiven Eingriff in das Stadtbild dar. Aus diesem Grund wären nach Abbildung 4.1 alternative Standorte möglich, die jedoch am Rahmen dieses Berichtes nicht ausführlich diskutiert werden. Vorteile ergeben sich für diese Anordnungen aus einer eventuellen architektonischen Anbindung an Gebäude und mögliche reduzierte Quellhöhen.

Eine weitere Möglichkeit wäre die seitliche oder deckenseitige Führung von Abluftkanälen zu andern Kaminstandorten, die einen zusätzlichen Bodenaushub und evtl. Änderungen der Gradienten der Tunnelröhren erfordern würden.

Die vorläufigen groben Auslegungsdaten, die auch als Basis für die Ermittlung der Investitions- und Betriebskosten dienen, können nachstehend Tabelle 4.1, Tabelle 4.2 und Tabelle 4.3 entnommen werden. Die Druckverluste enthalten Reserven für alternative Varianten.

Tabelle 4.1: Einbauten Absaugung Hofgartenstraße

Absaugung Ausfahrtportal Nord Hofgartenstraße	
Ventilator (incl. Klappen, Diffusor, Schutzgitter)	2 Stück
Abluftmenge	2x 95 m ³ /s
Gesamtdruckdifferenz	ca. 1'200 Pa
Lauftraddurchmesser	ca. 2'300 mm
Außendurchmesser	ca. 2'900 mm
Gesamtlänge	ca. 8'000 mm
Elektrische Leistungsaufnahme	ca. 2 x 180 kW
Schalldämpfer (saugseitig)	
Größe gesamt	ca. 8,0 * 8,0 * 3,0 m
Schalldämpfer (Kamin, druckseitig)	
Größe gesamt	ca. D=3,0 m * 3,0 m

Tabelle 4.2: Einbauten Absaugung Elberfelder Straße

Absaugung Ausfahrtportal West Elberfelder Straße	
Ventilator (incl. Klappen, Diffusor, Schutzgitter)	2 Stück
Abluftmenge	2x 85 m ³ /s
Gesamtdruckdifferenz	ca. 1'200 Pa
Lafraddurchmesser	ca. 2'300 mm
Außendurchmesser	ca. 2'900 mm
Gesamtlänge	ca. 8'000 mm
Elektrische Leistungsaufnahme	ca. 2 x 160 kW
Schalldämpfer (saugseitig)	
Größe gesamt	ca. 8,0 * 8,0 * 3,0 m
Schalldämpfer (Kamin, druckseitig)	
Größe gesamt	ca. D=3,0 m * 3,0 m

Tabelle 4.3: Einbauten Absaugung Berliner Straße

Absaugung Ausfahrtportal Süd Berliner Straße	
Ventilator (incl. Klappen, Diffusor, Schutzgitter)	2 Stück
Abluftmenge	2x 80 m ³ /s
Gesamtdruckdifferenz	ca. 1'200 Pa
Lafraddurchmesser	ca. 2'300 mm
Außendurchmesser	ca. 2'900 mm
Gesamtlänge	ca. 8'000 mm
Elektrische Leistungsaufnahme	ca. 2 x 150 kW
Schalldämpfer (saugseitig)	
Größe gesamt	ca. 8,0 * 8,0 * 3,0 m
Schalldämpfer (Kamin, druckseitig)	
Größe gesamt	ca. D=3,0 m * 3,0 m

4.1.2 Absaugung der Tunnelluft im Verlauf der Tunnelröhre

Eine Absaugung der Tunnelluft im Verlauf der Röhren müsste nach Annahme zwischen Ausfahrtportal und Tunnelmitte erfolgen, um mindestens 50% der Schadstofffracht zu erfassen. Die Anlagen müssen jedoch gleich groß dimensioniert werden wie eine Absaugung am Ausfahrtportal.

Die Auswirkungen auf das Stadtbild wären bei dieser Variante ebenfalls massiv. Weiterhin müsste bei Anordnung in der Mitte der einzelnen Röhren (50 % der Tunnellänge) die Anlage 24h/Tag betrieben werden, um rechnerisch 50 % der gesamten Schadstoffe abzuführen. Sollte es z.B. durch erhöhte Verkehrsstärken zum Anstieg der Immissionswerte kommen, bestehen keine Reserven mehr.

Es sind weitere kostenintensive Maßnahmen notwendig, um die Belüftung der anderen Tunnelhälfte zu sichern. Wenn der komplette Abluftstrom in einem Teil der Tunnelröhre abgeführt wird, sinkt die Luftgeschwindigkeit im anderen Teil des Tunnels gegen Null. Das führt zu einer Anreicherung von Schadstoffen und evtl. einer unzulässigen Erhöhung der Sichttrübe. Deshalb müsste der Tunnel hinter der Absaugung über zusätzliche Ventilatoren in einer Ansaugöffnung mit neuer Frischluft beaufschlagt werden.

Eine Zusammenführung der „Mittenabluft“ über Absaugkanäle und eine zentrale Absaugstation wäre denkbar, aber scheint ebenfalls nicht praktikabel.

4.2 Einsatz der Strahlventilatoren

Zur Verringerung der Schadstoffkonzentration am Ausfahrtsportal könnten die Strahlventilatoren zu Strömungsumkehr eingesetzt werden, so dass sich die mit Schadstoff beladene Luft auf das Ein- und Ausfahrtsportal verteilt. In Abbildung 4.5 sind die Positionen der Strahlventilatoren dargestellt.

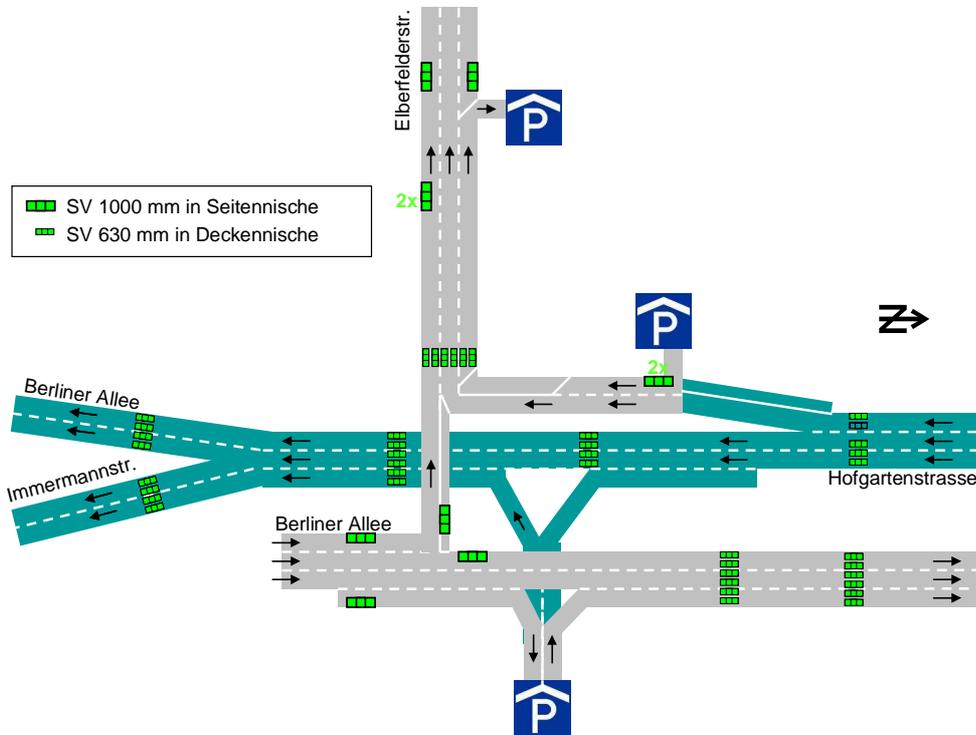


Abbildung 4.5: Anordnung und Anzahl der Strahlventilatoren [2]

Eine Strömungsumkehr ist mit den installierten Strahlventilatoren grundsätzlich möglich.

Da die Tunnelportale der Nord-Süd- und der Süd-Nord-Röhre nebeneinander liegen, ergeben sich dadurch jedoch bei erster gedanklicher Bilanzierung keine Änderungen im Schadstoffausstoß an den Portalseiten. Die Einfahrtsportale werden bei Strömungsumkehr um den Schadstoffbetrag belastet, der am Ausfahrtsportal der gleichen Röhre abgenommen wird. Das geschieht in der anderen Röhre im ersten Ansatz zeitgleich. Es kommt zu einer Umverteilung der Schadstoffe, bei der beispielsweise die Reduktion am Ausfahrtsportal Nord Hofgartenstraße Oströhre durch die Belastung des Einfahrtsportals Nord Hofgartenstraße Weströhre ausgeglichen wird.

Das Westportal könnte insgesamt entlastet werden. Die Schadstofffracht wird dann jedoch zusätzlich auf die Einfahrtsportale der Ost- und Weströhre verteilt.

Die Auswirkungen hinsichtlich der tatsächlichen Schadstoffverteilung wären mit einer zusätzlichen Immissionsprognose zu belegen.

Weiterhin stellt die Strömungsumkehr über Strahlventilatoren in einer Röhre einen erheblichen Eingriff in das durch die Kolbenwirkung der fahrenden Fahrzeuge aufgeprägte Strömungsverhalten dar und wäre eine sehr ungewöhnliche Lösung.

Aus diesen Gründen wird die Variante nicht weiter verfolgt.

4.3 Verteilung Schadstoffaustrag durch bauliche Maßnahmen

4.3.1 Ausdehnen des Schadstoffaustrags am Portal auf einer definierten Strecke

Die Öffnung der Tunneldecke in Portalnähe kann die Schadstoffimmission auf eine größere Strecke verteilen und lokale Spitzenwerte somit reduzieren. Vorstellbar wäre eine Rasterdecke mittels breiter Querträger, ein großes sogenanntes Auge oder eine Folge mehrerer kleiner Augen. Eine weitere Maßnahme wäre der Einbau einer Züblin-Decke, die vorrangig zur Minderung von Lärmimmissionen eingesetzt wird. Die nachstehenden Abbildungen zeigen Ausführungsbeispiele.



Abbildung 4.6: Rasterdecke [5]



Abbildung 4.7: Züblin-Decke [5]

Die Bestimmung einer definierten Strecke, mit der die gewünschte Unterschreitung der Grenzwerte erreicht wird, stellt sich problematisch dar.

Eine „Erfassung“ der Schadstoffe in Höhe von wenigstens 30 % würde mindestens die Öffnung von 30% der Tunnelstrecke erfordern. Damit scheiden Augen in der Tunneldecke aus.

Weiterhin spielt Wind für die horizontale und vertikale Vermischung einer Schadstoffschichtung und der daraus folgenden Reduktion der Konzentration die entscheidende Rolle. Bei einer Öffnung der Tunneldecke streicht ein eventuell vorhandener Wind über eine Schadstoffschichtung im Tunnel hinweg. Ein vertikaler Austausch findet nur in beschränktem Umfang statt. Die Schadstoffe werden hauptsächlich horizontal durch die Grundströmung im Tunnel und Schleppwirkung der Fahrzeuge transportiert. Eine komplette Abfuhr von Schadstoffen setzt eine aktive vertikale Komponente wie bei der Absaugung voraus.

Gemäß der nachstehenden Abbildung 4.8 kann ein vertikaler Austausch stattfinden, ist jedoch nicht im Rahmen dieses Berichtes quantifizierbar. Ein einfaches Modell steht gegenwärtig nicht zur Verfügung.

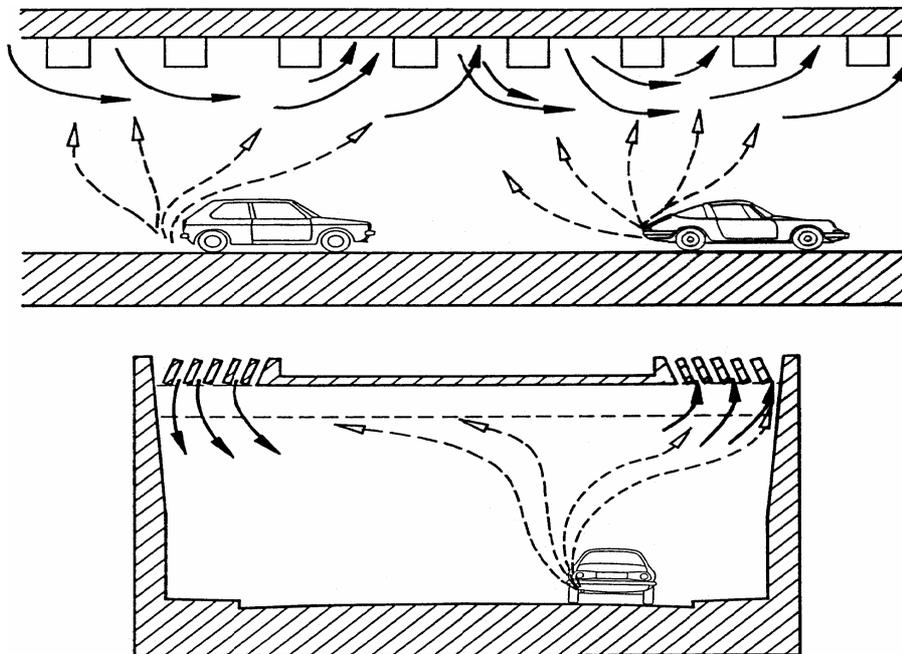


Abbildung 4.8: Schema der Verteilung von Zu- und Abluftströmen bei einer Rasterdecke oder Züblin-Decke [5]

Es wird angenommen, dass mindestens auf einer Strecke von 50% die Tunneldecke geöffnet werden müsste. Jedoch ist auch bei einer Öffnung auf einer Strecke von 100 % unter Verwendung einer Züblin-Decke ein Erfolg fraglich.

Die Abbildung 4.9 vermittelt einen Eindruck von einer durchgehenden Längsöffnung des Tunnels bei Verwendung einer Züblin-Decke.

Aufgrund der Komplexität der Austauschvorgänge und der Notwendigkeit einer langen Öffnung der Tunneldecke wird das Konzept im Rahmen dieses Berichtes nicht weiter verfolgt.



Abbildung 4.9: Obere Ansicht einer durchgehenden Züblin-Decke im Landschaftsbild [5]

4.3.2 Gezielter Schadstoffaustrags im Verlauf der Tunnelröhre

Der passive Schadstoffaustrag im Verlauf der Tunnelröhre ist mit den gleichen Bedingungen behaftet, wie bereits in Kapitel 4.3.1 dargelegt. Der Begriff „gezielt“ bezieht sich auf die Position einer Öffnung, jedoch nicht auf die Quantifizierbarkeit der an die Umgebung abgegebenen Schadstofffracht.

Das Konzept wird aus den bereits genannten Gründen im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter verfolgt.

4.3.3 Verlängerung des Tunnel

Eine Tunnelverlängerung (oder Verkürzung) führt zu einer räumlichen Verlagerung des Gebietes der Spitzenkonzentrationen. Damit kann eine relevante Exposition von Personen im Bereich von Grenzwertüberschreitungen vermieden werden.

Der Erfolg einer Verlängerung ist unwahrscheinlich. Verlängerungen von wenigen Metern bis mehrere 100 m verschieben den Wirkungsbereich an den Portalen wieder in zum Teil dichte Bebauung. Es muss davon ausgegangen werden, dass sich dort Personen am Arbeitsplatz oder in Wohnbebauung aufhalten.

Eine u.U. erfolgversprechende Verlängerung des Tunnels würde zu außergewöhnlichen Kostensteigerungen führen.

4.3.4 Abschirmung sensibler Bereiche

Eine Abschirmung sensibler Bereiche kann durch eine Immissionsschutzwand erfolgen. Das Wirkprinzip ist in Abbildung 4.10 und Abbildung 4.11 dargestellt.

Der Einsatz einer Schutzwand ist in Bereichen mit dichter Bebauung fragwürdig. Der Effekt einer Vertikaldurchmischung am Hindernis durch Windeinwirkung und damit Konzentrationsverminderung wird durch die höhere Bebauung gehemmt.

Für das Portal Süd in der Berliner Allee und das Portal West in der Elberfelder Straße wird aus diesem Grund die Wirkung generell in Frage gestellt. Im Bereich des Portals Nord wäre durch die lockere Bebauung der Einsatz denkbar.

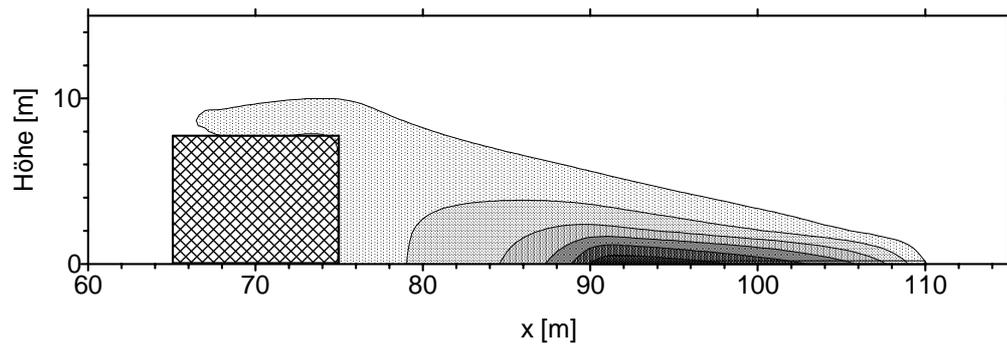


Abbildung 4.10: Schema Konzentrationsprofil ohne Lärmschutz- bzw. Immissionsschutzwand

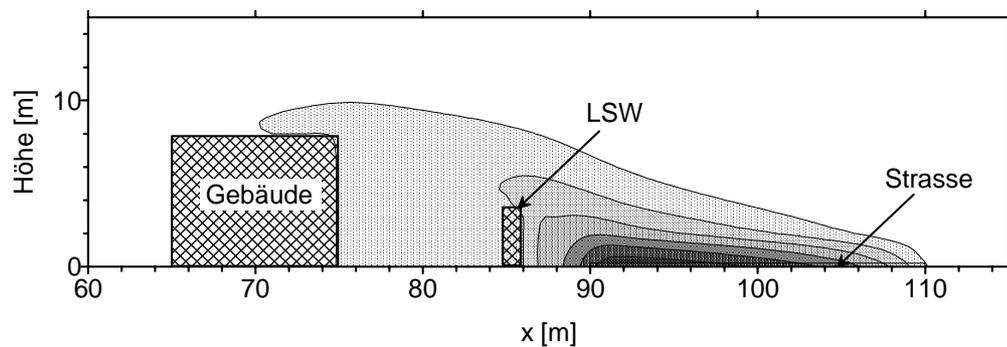


Abbildung 4.11: Schema Konzentrationsprofil mit Lärmschutz- bzw. Immissionsschutzwand

Ein weiteres Kriterium bildet die Höhe einer Schutzwand, die im Bereich mehrerer Meter liegt. Eine massive Wand führt zu einer visuellen Abschirmung und Beeinträchtigung des räumlichen Empfindens im Stadtraum. Auch transparente Wände schränken die städtebauliche Raumqualität ein, zudem bedürfen sie einer intensiveren Pflege. Aus diesen Gründen wird das Konzept Immissionsschutzwand nicht weiterverfolgt.

Als weitere gezielte Abschirmung kommt eine Fassadengestaltung oder eine Steuerung der Belüftung der Gebäude in den betroffenen Bereichen in Frage.

Die Belüftung der Fassade müsste straßenabgewandt erfolgen. Eine Möglichkeit der Umsetzung wäre beispielsweise, eine transparente oder teiltransparente Fassade vorzuhängen. Die Frischluftzufuhr würde in diesem Fall gezielt in den Spalt zwischen vorgehängter Fassade und originaler Gebäudehülle erfolgen. Alternativ könnten die Fassade geschlossen und die Räumlichkeiten intern belüftet werden.

4.4 Einbau einer Tunnelluftfilteranlage

Aufgrund der geringen Erfahrungen beim Betrieb von Gasfiltern zur Reinigung von Stickstoffdioxid, wird diese Variante nicht detailliert.

4.4.1 Anordnung in Straßentunneln

Das Ziel der Tunnelluftfilteranlage ist die Verminderung von Emissionen in der Abluft des Tunnels. Voraussetzung für den Betrieb der Filteranlage ist eine Absauganlage. Tunnelluftfilteranlagen müssen in das vorhandene oder geplante Lüftungssystem integriert werden. Möglichkeiten für die Installation von diesen Anlagen sind:

- Anordnung mit Abfuhr der gefilterten Luft an die Umgebung
- Anordnung mit Rückführung der gefilterten Luft in den Tunnel

In der ersten Installationsvariante wird die Abluft aus dem Tunnel von Ventilatoren durch den Filter angesaugt und anschließend über eine Abluftöffnung in die Umgebung ausgeblasen. Diese Variante könnte einen hohen Kamin ersetzen, da die reduzierte Schadstofffracht des Abluftstromes nicht mehr großflächig verteilt werden müsste.

Die Reinigungsanlage könnte in der zweiten Installationsvariante auch im oder unmittelbar am Fahrraum angeordnet werden. Das Prinzip besteht darin die Luft anzusaugen, zu reinigen und in den Tunnel zurückzuführen. Damit kann nicht nur die Schadstoffbelastung in der Tunnelabluft, sondern auch die Belastung innerhalb des Tunnels reduziert werden.

4.4.2 Reinigungsverfahren

Zur Reinigung der Tunnelluft mittels Filteranlagen muss zwischen Partikelfiltern (Reduktion der Feinstaubemissionen) und Gasfiltern (Reduktion der gasförmigen Emissionen, insbesondere Stickoxide) unterschieden werden.

Die Tunnelabluft enthält u.a. Stoffe wie Partikel PM10, Stickstoffoxid NO, Stickstoffdioxid NO₂, Kohlenmonoxid CO und Kohlenwasserstoffe HC. Der Partikelfilter erbringt einen Abscheidegrad an Staub von 80-90 Massen-%. Durch einen Gasfilter werden zusätzlich die Stoffe NO, NO₂, CO, und HC vermindert.

Da es sich beim Tunnel Kö-Bogen um Überschreitungen der Schadstoffgrenzwerte von NO₂ handelt, ist der Einsatz eines Partikelfilters **und** eines Gasfilters erforderlich.

In der Studie „Reinigung von Abluft aus Straßentunneln - Stand der Technik“ für den Kanton Zürich [6] wird dargelegt, mit welchen geeigneten technischen Vorkehrungen die Luftsituation bei Tunnelportalen und Entlüftungskaminen verbessert werden kann.

Die Reinigung der Tunnelabluft mit Partikelfiltern wird als technisch möglich und erprobt bezeichnet. Sie dient einerseits zur Verbesserung der Lüftung in längeren Tunneln, andererseits aus städtebaulichen Überlegungen zur Vermeidung von hohen Abluftkaminen oder zum Immissionsschutz.

Gasfilter, insbesondere NO₂- oder NO_x-Filter, werden heute auf dem Markt ebenfalls angeboten. Zur Wirkung dieser Anlagen liegen jedoch keine gesicherten Angaben zu deren Wirksamkeit und Langzeitverhalten im Betrieb vor.

Der Einbau von Partikelfilteranlagen ist in stark befahrenen Straßentunnel bei Überschreitung der Immissionsgrenzwerte prüfenswert. Der Einsatz von Gasfiltern ist in der Entwicklung bzw. in der Erprobungsphase und steht mangels genügender Erfahrungen nicht im Vordergrund.

4.4.3 Dimensionierung der Filteranlage

Da die Absaugung der Schadstoffe für den Tunnel Kö-Bogen vorzugsweise an den Ausfahrtsportalen erfolgen sollte, wird der Reinigungsanlage Abluft von dieser Stelle zugeführt.

Der Einbau einer Reinigungsanlage sollte horizontal erfolgen, um die Gesamtbauhöhe zu begrenzen. Der Platzbedarf und nachfolgend die Geometrie der Abluftzentrale bei Installation von zwei Axialventilatoren (LR Ø 2.300 mm) ergeben sich aus Tabelle 4.4.

Die gereinigte Abluft wird in die Umgebung abgeleitet. Eine Höhe der Austrittsöffnung über Boden von ca. 3 m ist anzustreben, um Verschmutzung und Beschädigungen zu vermeiden und die Sicherheit von Personen zu gewährleisten. Zusätzlich ist Platzbedarf für Nebenanlagen zum Erhalt der Filter vorzugsweise in der Breite einzurechnen.

Für die vorgeschlagene horizontale Anordnung ist ein Kanal auf der Tunneldecke oder seitlich vorzusehen. Auch hier wären zusätzlicher Bodenaushub und evtl. Änderungen der Gradiente der Tunnelröhren erforderlich, siehe Abbildung 4.12.

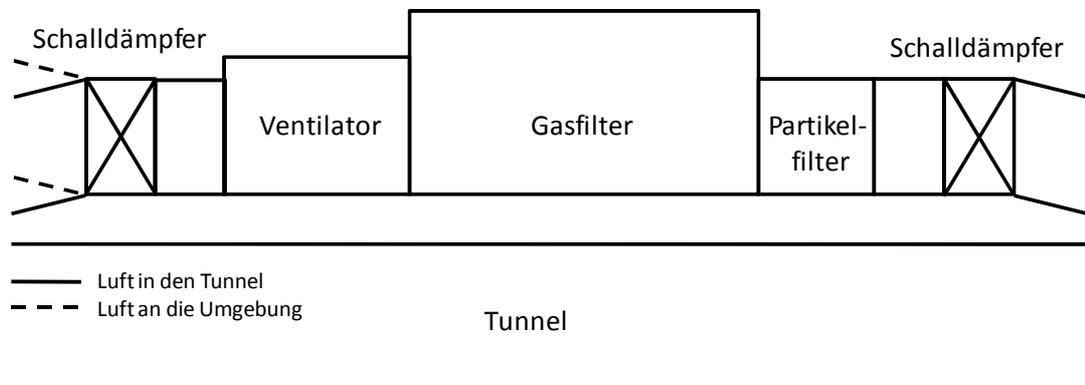


Abbildung 4.12: Horizontale Lage der Abluftfilteranlage

Tabelle 4.4: Benötigte Länge für Abluftfilterung

	Horizontale Längen
2 Schalldämpfer	ca. 6 m
Freiraum Schalldämpfer	ca. 6 m
2 Axialventilator (nebeneinander)	ca. 8 m
Partikelfilter	ca. 5 m
Gasfilter	ca. 15 m
Ausblasumlenkung ^(*)	ca. 5 m
Summe	45 m

^(*) bei der Installation eines Gasfilters kann auf einen Kamin verzichtet werden

5 Investitions- und Betriebskosten

5.1 Zusätzliches Lüftungsbauwerk am Austrittsportal

5.1.1 Investitionskosten

Die Schätzkosten für die Lüftungstechnische Ausrüstung der einzelnen Varianten können den nachstehenden Tabellen entnommen werden. Sie beinhalten die mechanischen Komponenten mit Transport und Montage.

Baukosten, Kosten der Elektrotechnik (außer Antriebsmotoren) und elektrische Arbeiten sind nicht enthalten, ebenso die bürotechnische Bearbeitung, Abnahme / Inbetriebnahme und Wartungskosten mit Ersatzteilen.

Insbesondere sind die Kosten für das Lüftungsbauwerk und Nebenbauten zu beachten. Das Vorhandensein der benötigten Grundfläche wäre bauseits noch zu prüfen.

Abhängig von den stark schwankenden Rohstoffpreisen und dem zu wählenden Hersteller / Monteur können die angegebenen Kosten variieren.

Tabelle 5.1: Investitionskosten separate Absaugung Abluft an drei Portalen

Investitionskosten Absaugung Portalabluft

Pos.	Bezeichnung	Einzelpreis [Euro]	Anz.	Gesamtpreis [Euro]
1	Rauchabsaugung Klappen			
1.1	Abluftventilator m. Motor	250.000	6	1.500.000
1.2	Abschlussklappe	20.000	6	120.000
1.3	Werkabnahme	4.000	1	4.000
1.4	Motorabnahme	5.000	1	5.000
1.5	Schalldämpfer SS	15.000	12	180.000
1.6	Schalldämpfer DS	12.500	6	75.000
1.7	Transport, Montage o.g. Pos. außer 1.3, 1.4		1	187.500
Gesamt netto			Euro	2.071.500,00
19%	MWSt		Euro	393.585,00
Gesamt brutto			Euro	2.465.085,00

KK_Kö-Bogen Maßnahmen Immissionschutz / /2010

5.1.2 Stromkosten

In der Abschätzung der Betriebs- und Wartungskosten werden neben den Stromkosten auch die Kosten der Abschreibung und Kosten für Ersatz- und Verschleißteile eingerechnet.

Die Stromkosten für die Portalabluftabsaugungen sind in Tabelle 5.2 bis Tabelle 5.4 aufgeführt. Der Strompreis ist ein Geschäftskundentarif eines überregionalen Anbieters ohne Mengennachlass. Strahlventilatoren werden vernachlässigt.

Tabelle 5.2: Stromkosten Nordportal

Absaugung Ausfahrtportal Nord Hofgartenstraße	
Bezeichnung	Abluftventilator
Stunden ^{*)} / Jahr	1280
Elektrische Leistung P_{el} [kW]	360
Elektrischer Verbrauch [kWh]	460.800
Strompreis [€ kWh]	0,16
Stromkosten [€ Jahr]	71.424
Stromkosten für beide Röhren [€ Jahr]	71.424

Kosten_E+Wartung_Kö-
Bogen(Betriebskosten) / Kö / 12.2010

Tabelle 5.3: Stromkosten Westportal

Absaugung Ausfahrtportal West Elberfelder Straße	
Bezeichnung	Abluftventilator
Stunden ^{*)} / Jahr	1280
Elektrische Leistung P_{el} [kW]	320
Elektrischer Verbrauch [kWh]	409.600
Strompreis [€ kWh]	0,16
Stromkosten [€ Jahr]	63.488
Stromkosten für beide Röhren [€ Jahr]	63.488

Kosten_E+Wartung_Kö-
Bogen(Betriebskosten) / Kö / 12.2010

Tabelle 5.4: Stromkosten Südportal

Absaugung Ausfahrtportal Süd Berliner Straße	
Bezeichnung	Abluftventilator
Stunden ^{*)} / Jahr	1280
Elektrische Leistung P_{el} [kW]	300
Elektrischer Verbrauch [kWh]	384.000
Strompreis [€ kWh]	0,16
Stromkosten [€ Jahr]	59.520
Stromkosten für beide Röhren [€ Jahr]	59.520

Kosten_E+Wartung_Kö-
Bogen(Betriebskosten) / Kö / 12.2010

*) Annahmen:

- Betrieb von je zwei Axialventilatoren 12 Stunden pro Tag ganzjährig
- Wartung: viermal pro Jahr je 4 Stunden je zwei Axialventilatoren

5.1.3 Abschreibung der technischen Einrichtungen Tunnellüftung

Die technischen Einrichtungen der Tunnellüftung werden üblicherweise auf eine Lebensdauer von 20 Jahren ausgelegt. Wird eine entsprechende Wartung vorausgesetzt, gehen wir dieser Lebensdauer der Abluftventilatoren und Schalldämpfer aus.

Damit ergeben sich bei linearer Abschreibung auf die Lebensdauer gemäß folgender Tabelle 5.5 die Abschreibungskosten.

Tabelle 5.5: Jährliche Abschreibungskosten der 3 Portalluftabsaugungen

		Portalabluft 3 Absaugstellen
6 Axialventilatoren	Investkosten	1.620.000,00 €
	Abschreibung/a	81.000,00 €
18 Schalldämpfer	Investkosten	255.000,00 €
	Abschreibung/a	12.750,00 €
jährliche Abschreibung gesamt		93.800,00 €

Kö-
Bogen(Lebensdauer) / Kö /
12.2010

5.1.4 Wartungs- und Ersatzteilkosten Tunnellüftung

In Tabelle 5.6 sind die Wartungs- und Ersatzteilkosten aufgeführt. Die Wartungskosten wurden überschlägig aus früheren Angaben der Hersteller für ähnliche Maschinen ermittelt und sind mit entsprechender Ungenauigkeit behaftet. Die jährlichen Kosten für die Ersatzteile beziehen sich auf Verschleißteile und kleine Ersatzteile. Der Austausch größerer Teile wie z.B. Motoren oder Laufradschaufeln ist hier nicht berücksichtigt.

Tabelle 5.6: Jährliche Kosten Wartung und Ersatzteile der 3 Portalluftabsaugungen

		Portalabluft 3 Absaugstellen
Jährliche Kosten		
Ersatzteile		1.500,00 €
Wartung		23.000,00 €

Kö-
Bogen(Wartung) / Kö /
12.2010

5.1.5 Zusammenfassung jährliche Betriebs- und Wartungskosten

Die nachstehende Tabelle 5.7 gibt die gerundeten jährlichen Betriebs- und Wartungskosten unter Berücksichtigung der oben genannten Anmerkungen wieder.

Tabelle 5.7: Jährliche Gesamtkosten der 3 Portalluftabsaugungen

Jährliche Kosten	Portalabluft 3 Absaugstellen
Betriebskosten Elektroenergie	194.500,00 €
Wartung	23.000,00 €
(Ersatz- und) Verschleißteile	1.500,00 €
Abschreibung	93.800,00 €
gesamt	312.800,00 €

Kö-
Bogen(Jahreskosten) / Kö / 12.2010

5.2 Tunnelluftfilteranlage

Für den Betrieb der Filteranlage sind in jedem Fall die Komponenten der Abluftabsaugung Voraussetzung. Die gesamten Investitionskosten und Betriebs- und Wartungskosten für eine funktionsfähige Tunnelfilteranlage ergeben sich aus der Absaugung gemäß Kapitel 4.1.1 und den nachstehenden Angaben.

5.2.1 Zusammenfassung Investitionskosten

Die Investitionskosten wurden auf Basis von Angaben der Fa. Ecovac für den Tunnel Schwäbisch Gmünd geschätzt. Die Kosten von einer reinen Tunnelfilteranlage für den Tunnel Kö-Bogen ergeben sich aus Tabelle 5.8. Weiterhin sind die Bauwerkskosten hierin nicht enthalten.

Tabelle 5.8: Investitionskosten Tunnelfilteranlage

Investitionskosten	Berliner Allee	Elberfelderstraße	Hofgartenstraße
Abluftreinigung	5.210.000 €	4.790.000 €	4.360.000 €
MwSt	989.900 €	910.100 €	828.400 €
Gesamt	6.199.900 €	5.700.100 €	5.188.400 €

In der Summe ergeben sich für die drei Standorte Investitionskosten in Höhe von ca. 14,4 Mill. EUR netto zusätzlich zu den Kosten der Absaugung.

5.2.2 Zusammenfassung jährliche Betriebs- und Wartungskosten

Die Betriebskosten einer Abluftfilteranlage ergeben sich hauptsächlich aus dem Betrieb der Abluftventilatoren, die sich aus Tabelle 5.7. ergibt. Der zusätzliche Anteil des Elektrofilters ist in den Betriebs- und Wartungskosten nach Tabelle 5.9 enthalten. Die Wartungs- und Instandhaltungskosten und Abschreibungskosten für die reine Filteranlage sind ebenfalls enthalten. Die Wartungskosten verstehen sich als grober Anhaltswert. Sie stammen von einer kleineren Anlage, von der Schätzkosten bekannt sind.

Tabelle 5.9: Betriebs- und Wartungskosten Tunnelfilteranlage

Betriebskosten	Berliner Allee	Elberfelderstraße	Hofgartenstraße
Energiebedarf des Filters (mit 15kW an 12h/d an 365d/a)	65.700 kWh	65.700 kWh	65.700 kWh
Energiekosten bei 0,16 €/kWh	10.512 €	10.512 €	10.512 €
Abschreibungskosten	309.995 €	285.005 €	259.420 €
Filteraustausch, Entsorgung, Wartungsarbeiten	500.000 €	500.000 €	500.000 €
Gesamt	820.507 €	795.517 €	769.932 €

In der Summe ergeben sich für die drei Standorte jährliche Betriebs- und Wartungskosten in Höhe von ca. 2,39 Mill. EUR. Die B&W-Kosten der Absaugung müssen für den Betrieb der Filteranlage hinzugerechnet werden.

6 Emissionsermittlung CO₂

Emissionsfaktoren erlauben die Errechnung der CO₂-Produktion für verschiedene Maßnahmen unter Elektroenergieverbrauch. Neben der direkten Verbrennung von Primärenergieträgern wird auch der „CO₂-Aufwand“ für Förderung, Transport und Verteilung des Energieträgers eingerechnet.

Der Anteil an der CO₂- Gesamtemission einer Maßnahme kann zu einer Bezugsebene ins Verhältnis gesetzt werden.

Die CO₂- Emissionsfaktoren basieren auf dem Bericht zur CO₂-Bilanz der Stadt Düsseldorf aus dem Jahr 2007. Dabei wird unterschieden, ob der Strom bundesweit oder von den Stadtwerken Düsseldorf bezogen wird. Die Stadtwerke Düsseldorf geben niedrigere Emissionsfaktoren für die Stromerzeugung an als für den elektrischen Strom aus dem bundesweiten Netz.

6.1 Zusätzliches Lüftungsbauwerk am Austrittsportal

Die nachstehenden Tabelle 6.1 bis Tabelle 6.5 geben die CO₂-Erzeugung pro Jahr unter Regelbetrieb für das jeweilige Portal, sowie für die Absaugung und die Filter gesamt wieder. Die CO₂-Produktion aus der Stromerzeugung der Stadtwerke Düsseldorf fällt geringer aus als bei Strombezug aus dem bundesweiten Netz, liegt jedoch noch immer im dreistelligen Bereich.

Tabelle 6.1: CO₂- Produktion aus Elektronenergieverbrauch für Absaugung Nordportal

Absaugung Ausfahrtportal Nord Hofgartenstraße	
Elektrischer Verbrauch [kWh] / Jahr	460.800
Emissionsfaktor CO ₂ [g / kWh] bundesweit	541
CO ₂ [t / Jahr]	249
Emissionsfaktor CO ₂ [g/kWh] SWD AG	456
CO ₂ [t / Jahr]	210

Kosten_Erwartung_Kö-Bogen(CO₂_Emission) / Kö / 12.2010

Tabelle 6.2: CO₂- Produktion aus Elektronenergieverbrauch für Absaugung Westportal

Absaugung Ausfahrtportal West Elberfelder Straße	
Elektrischer Verbrauch [kWh] / Jahr	409.600
Emissionsfaktor CO ₂ [g / kWh] bundesweit	541
CO ₂ [t / Jahr]	222
Emissionsfaktor CO ₂ [g/kWh] SWD AG	456
CO ₂ [t / Jahr]	187

Kosten_Erwartung_Kö-Bogen(CO₂_Emission) / Kö / 12.2010

Tabelle 6.3: CO₂- Produktion aus Elektronenergieverbrauch für Absaugung Südportal

Absaugung Ausfahrtportal Süd Berliner Straße	
Elektrischer Verbrauch [kWh] / Jahr	384.000
Emissionsfaktor CO ₂ [g / kWh] bundesweit	541
CO ₂ [t / Jahr]	208
Emissionsfaktor CO ₂ [g/kWh] SWD AG	456
CO ₂ [t / Jahr]	175

Kosten_Erwartung_Kö-Bogen(CO₂_Emission) / Kö / 12.2010

Tabelle 6.4: CO₂- Produktion aus Elektronenergieverbrauch für Absaugung 3 Portale

Absaugung 3 Portale gesamt	
Elektrischer Verbrauch [kWh] / Jahr	1.254.400
Emissionsfaktor CO ₂ [g / kWh] bundesweit	541
CO ₂ [t / Jahr]	679
Emissionsfaktor CO ₂ [g/kWh] SWD AG	456
CO ₂ [t / Jahr]	572

Kostentragung_Kö-
Bogen(CO₂ Emission) /
Kö / 12.2010

Insgesamt führt die Immissionsminderungsmaßnahme je nach Erzeuger zu einer Mehrbelastung von 679 oder 572 t CO₂ pro Jahr für die Absaugung

6.2 Tunnelabluftfilterung

Die Tunnelabluftfilterung verursacht eine weitere Mehrbelastung von 107 oder 90 t CO₂ pro Jahr in Addition zur Portalabsaugung.

Tabelle 6.5: CO₂- Produktion aus Elektronenergieverbrauch für Filter 3 Portale

Filter 3 Portale gesamt	
Elektrischer Verbrauch [kWh] / Jahr	197.100
Emissionsfaktor CO ₂ [g / kWh] bundesweit	541
CO ₂ [t / Jahr]	107
Emissionsfaktor CO ₂ [g/kWh] SWD AG	456
CO ₂ [t / Jahr]	90

Kostentragung_Kö-
Bogen(CO₂ Emission) /
Kö / 12.2010

7 Schlussfolgerung und Empfehlung

Die Absaugung der Portalabluft und das Abblasen über einen Kamin ist eine lüftungstechnische Standardlösung der Immissionsproblematik und kann bedingt empfohlen werden.

Die Installation von drei Kaminen stellt eine Beeinträchtigung im Stadtbild dar. Die Mindesthöhe richtet sich nach den Traufhöhen der Gebäude in einem Umkreis von 50 m um den Kaminstandort mit einem Zuschlag von 3 m. Eine Ausbreitungsbetrachtung der Schadstoffe ist zusätzlich notwendig. Außerhalb dieses Umkreises sind Ausbreitungsbetrachtungen für die Quellehöhe ausschlaggebend.

Alternative Standorte der Kamine sind unter zusätzlichen Bau- und Ausrüstungskosten möglich. Alternative Absaugorte in der Tunnelmitte werden aus Gründen der verminderten Schadstoffeffassung bei gleicher zu installierender Absaugleistung nicht empfohlen.

Die Investitionskosten für die technische Ausrüstung in der Grundvariante belaufen sich für die drei Portalluftabsaugungen auf netto ca. 2,1 Mill. EUR. Es sind jährliche Kosten aus Betrieb und Wartung in Höhe von ca. 0,315 Mill. EUR zu erwarten, einschließlich linearer Abschreibungskosten auf 20 Jahre verteilt.

Die Absaugung der Portalabluft führt auf Grundlage von Emissionsfaktoren der Stadt Düsseldorf je nach Energieerzeuger zu einer Mehrproduktion von 679 oder 572 t CO₂ pro Jahr aus der Bereitstellung der notwendigen Elektroenergie für den Betrieb der Absauganlage.

Eine Abluftfilteranlage ist nur dann in Erwägung zu ziehen, wenn eine Absaugung vorgesehen wird, ohne dass hohe Kamine möglich sind. Steigerung der Baukosten für Gebäude und flankierende Baumaßnahmen (evtl. neuer Gradientenverlauf) sind vorprogrammiert.

Die Filterung führt zu einer Vervielfachung der Kosten für die technische Ausrüstung. In der Summe ergeben sich für die drei Portale Kosten für die Investition von netto ca. 14,4 Mill. EUR und für Betrieb und Wartung von ca. 2,39 Mill. EUR zusätzlich zur Absaugung.

Die Filterung führt zu einer Produktion von 107 oder 90 t CO₂ pro Jahr aus der Bereitstellung der notwendigen Elektroenergie zusätzlich zum Betrieb der Absauganlage.

Es liegen keine gesicherten Erfahrungswerte für die Funktion eines NO_x-Filters vor. Aus diesen Gründen kann eine Filterung nicht empfohlen werden.

Der Einsatz von Strahlventilatoren zum Rückblasen der Tunnelluft in Fahrtrichtung führt wegen der Tunnelgeometrie zur teilweisen Umverteilung der Schadstoffe im Kreis. Eine mögliche Immissionsminderung am Westportal wird mit einer zusätzlichen Schadstofffracht an den anderen Portalen „erkauft“. Die Auswirkungen hinsichtlich der tatsächlichen Schadstoffverteilung sind unsicher. Es besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass eine zusätzliche Immissionsprognose zu negativen Ergebnissen kommt. Die Variante wird nicht empfohlen.

Teilgeöffnete Tunneldecken können einen Beitrag zur Annäherung an die Grenzwerte liefern. Augen in der Tunneldecke werden als ungeeignet angesehen. Die Auswirkung der Öffnung über Schlitze kann nicht genau quantifiziert werden. Aus Kenntnis des Ausbreitungsverhaltens der Schadstoffe ist jedoch anzunehmen, dass selbst die Öffnung über Schlitze auf voller Länge der Tunnelröhren (Züblin-Decke) keine sichere Unterschreitung der Grenzwerte ermöglicht. Außerdem läuft diese Maßnahme dem Sinn der Gesamtmaßnahme Tunnel Kö-Bogen entgegen.

Teilgeöffnete Tunneldecken werden deshalb im Rahmen dieser Studie nicht empfohlen.

Eine Tunnelverlängerung mit Verschiebung der Portalquellen wird aufgrund der innerstädtischen Lage mit dichter Bebauung nicht als zielführend angesehen und entfällt als Maßnahme. Das betrifft auch die Errichtung von Immissionsschutzwänden.

Eine mögliche Maßnahme ist die Fassadengestaltung der betroffenen Bebauung. Es wird eine separate Fassadenhinterlüftung mit vorgehängter Fassade oder Belüftung der angrenzenden Räume über eine hausinterne Lüftungsanlage bei Verschluss der Außenfassade empfohlen. Die Kosten dieser Maßnahme werden unter Einbezug der Betriebs- und Wartungskosten der anderen Maßnahmen als geringer angesehen, sind jedoch noch zu ermitteln.

Weiterhin sind Kombinationen der betrachteten Varianten denkbar, deren Untersuchung den Rahmen dieser Studie überschreiten würde. Zusätzlich könnte eine Umlenkung der Abluft in eine andere Röhre in Frage kommen. Dabei wäre der Sicherheitsaspekt (Rauchausbreitung) zusätzlich zu berücksichtigen.

Nach dem heutigen Stand der Technik stehen über die o. g. Maßnahmen hinaus keine weiteren Möglichkeiten zur Aufrüstung des Tunnelbauwerks und der Tunnelmünder zur Verfügung, durch die eine spürbare Verbesserung der Luftschadstoffsituation im Umfeld der Tunnelportale erreicht werden könnte.

8 Quellenverzeichnis

- [1] Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co.KG, Fachgutachten Lufthygiene (Luftschadstoffe) zum Bebauungsplan Nr. 5477-Kö-Bogen 2. BA der Landeshauptstadt Düsseldorf, April 2011
- [2] I. Rieß, M. Wehner, J. Pöhlmann, Kö-Bogen Düsseldorf, Gutachten Tunnellüftung 2. BA, HBI Bericht 08-202-05
- [3] Ingenieurgemeinschaft Tunnel Kö-Bogen, Übersichtslageplan Tunnel Kö-Bogen 1. u 2. Bauabschnitt, März 2010
- [4] Gackstatter Beratende Ingenieure, Übersicht Betriebseinrichtungen Tunnel Kö-Bogen 1. Bauabschnitt, Juli 2010
- [5] home.arcor.de/breitfeld/leisea81_bulk/pdf/Zueblin-LS-Decke_Info.pdf
- [6] Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich, Baudirektion des Kantons Zürich, Reinigung von Abluft aus Straßentunneln Stand der Technik, März 2008