

Auftraggeber **Straßenbauamt München**

Projektname **B2 Entlastungstunnel Starnberg**

Berichtstitel **Immissionen der Luftschadstoffe**

Verfasser **Dr. Ingo Rieß**

Datum / Version **2005-08-10 / Ver. 2.0**

HBI-Projektnummer **8Z239.1.5**

HBI-Berichtsnummer **89-201-11**

## Impressum

<i>Volltitel</i>	Immissionen der Luftschadstoffe				
<i>Kurztitel</i>	Schadstoffimmissionen				
<i>Auftraggeber</i>	Straßenbauamt München				
<i>Verfasser</i>	Dr. Ingo Rieß				
<i>Projektname</i>	B2 Entlastungstunnel Starnberg				
<i>Projektnummer</i>	8Z239.1.5				
<i>Berichtnummer</i>	89-201-11				
<i>Berichtsdatum</i>	2005-08-10				
<i>Version</i>	Ver. 2.0				
<i>Verteiler</i>					
	<i>Autor</i>	<i>Prüfer</i>	<i>Freigabe</i>	<i>Vers.</i>	<i>Änderungen</i>
<i>Unterschrift oder Kürzel</i>	Ri	RS	-	2.0	Kleine editorische Korrekturen
<i>Name</i>	Rieß	Stosch	-		
<i>Datum</i>	2005-08-10	2005-06-24	-		

## Zusammenfassung

### Ausgangslage

Das Lüftungsgutachten für den 1878 m langen Entlastungstunnel Starnberg sieht eine Längslüftung mit Absaugung in Tunnelmitte vor. Die Abluft wird über einen Kamin ausgestoßen. Bei einem Brand im Tunnel wird der Rauch lokal am Brandort abgesaugt und ebenfalls über den Kamin ausgestoßen.

### Ziel des Berichts

In diesem Bericht sind Berechnungen der Immissionsbelastung in der Umgebung der Tunnelportale und Vergleiche der Ergebnisse mit den Beurteilungswerten dokumentiert. Die Beurteilung basiert auf den Grenzwerten der Verordnung 22 zum Bundes-Immissionsschutzgesetz.

### Vorgehen

Der Bericht beinhaltet eine Zusammenstellung der Berechnungsgrundlagen. Dazu gehören insbesondere die Angaben zu Tunnelgeometrie, Bezugsjahr, Verkehr, Vorbelastung und Meteorologie. Methodik und Genauigkeit der Ausbreitungsrechnung werden beschrieben und die Berechnungsergebnisse textlich zusammengefasst.

### Ergebnisse

Die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Schadstoff NO<sub>2</sub> ist in Bezug auf die Grenzwerte am kritischsten. PM10 ist von geringerer Bedeutung.
- Die Schadstoffbelastung in der Umgebung des Südportals ist nicht kritisch.
- Am Nordportal kann an der Bebauung der Grenzwert der NO<sub>2</sub>-Belastung erreicht werden. An den Gebäuden nahe am Portal bringt der Betrieb der Mittenabsaugung eine Senkung der Schadstoffbelastung unter den Grenzwert.
- Die Belastung an den Gebäuden östlich der Bahnlinie wird nur zu einem geringen Teil durch die Verkehrszunahme nach Tunnelöffnung verursacht.
- Der Tunnel bringt eine Verminderung der Schadstoffbelastung entlang der Ortsdurchfahrt von Starnberg. Insbesondere die NO<sub>2</sub>-Belastung wird gesenkt.
- Zusatzbelastungen aufgrund der Kaminabluft sind sehr gering und messtechnisch kaum nachweisbar.
- Da die Schadstoffbelastung am Nordportal im Bereich des Grenzwerts liegt, wird der Einsatz der Längslüftung mit Absaugung in Tunnelmitte zur Verminderung der Portalabluft empfohlen.

Die Betriebsdauer der Absaugung für den Immissionsschutz sollte nicht bereits im Genehmigungsverfahren festgelegt werden. Hingegen sollte der Betrieb der Lüftung aufgrund von langfristigen Immissionsmessungen in der Umgebung der Tunnelportale angepasst werden.

# Inhaltsverzeichnis

Impressum .....	2
Zusammenfassung .....	3
Inhaltsverzeichnis .....	4
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>10</b>
2.1 Referenzen .....	10
2.2 Geometrie .....	11
2.2.1 Portalsituation .....	11
2.2.2 Tunnelgeometrie .....	12
2.3 Bezugsjahr .....	12
2.4 Verkehr .....	12
2.5 Beurteilungskriterien Immissionen .....	13
2.5.1 Gesetzliche Grundlagen, Beurteilungswerte .....	13
2.5.2 Maßgebliche Beurteilungswerte .....	14
2.5.3 Beurteilungszustände des Vorhabens .....	14
2.6 Vorbelastungen .....	14
2.7 Schadstoffemissionen der Motorfahrzeuge .....	17
2.7.1 Verkehrssituation .....	17
2.7.2 Zusammensetzung des Fahrzeugparks .....	17
2.7.3 Entwicklung der Emissionsfaktoren .....	18
2.8 Ausbreitungsmeteorologie .....	21
2.9 Lüftungskonzept .....	22
<b>3 Numerische Ausbreitungsrechnung mit MISKAM .....</b>	<b>23</b>
3.1 Methodik der Immissionsberechnung .....	23
3.2 Genauigkeit der Immissionberechnung .....	24
3.3 Berechnung der Tagesmittelwerte PM10 .....	24
3.4 Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung .....	25
3.4.1 Stickstoffdioxid NO <sub>2</sub> .....	26
3.4.2 Jahresmittelwerte Feinstaub PM10 .....	27
3.4.3 Tagesmittelwerte Feinstaub PM10 .....	28
<b>4 Schadstoffimmissionen durch Kaminabluft .....</b>	<b>30</b>
4.1 Einleitung .....	30
4.2 Methodik der Immissionsberechnung .....	30
4.3 Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung .....	31
<b>5 Ausbreitungsrechnung mit MLuS-2005 .....</b>	<b>33</b>

5.1	Einleitung .....	33
5.2	Emissionsrechnung .....	33
5.3	Konzentrationsprofile .....	33
5.3.1	Stickstoffdioxid NO <sub>2</sub> .....	33
5.3.2	Feinstaub PM10 .....	35
5.4	Beurteilung .....	36
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Empfehlung .....</b>	<b>37</b>
6.1	Schadstoffbelastung .....	37
6.2	Maßnahmen .....	37
<b>7</b>	<b>Anhang A: Verkehrsdaten .....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Anhang B: Winddaten .....</b>	<b>45</b>
<b>9</b>	<b>Anhang C: Modellierung .....</b>	<b>49</b>
<b>10</b>	<b>Anhang D: Immissionskarten .....</b>	<b>51</b>
<b>11</b>	<b>Anhang E: Zusatzbelastung aus Kaminabluft .....</b>	<b>61</b>
<b>12</b>	<b>Anhang F: Datenblätter MLuS-2005 .....</b>	<b>65</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Geometrische Daten .....	12
Tabelle 2.2:	Verkehrsaufkommen DTV und Lastwagenanteil in der Hauptstraße/ Münchner Straße am Gymnasium und am Tutzinger Hofplatz .....	13
Tabelle 2.3:	Grenz- und Prüfwerte der Luftqualität nach 22. BImSchV .....	14
Tabelle 2.4:	Prüfsubstanzen und deren Beurteilungswerte .....	14
Tabelle 2.5:	PM10-Gesamtbelastung an einigen bayerischen Messstationen [8] .....	15
Tabelle 2.6:	Vorbelastungen für 2012 im Untersuchungsgebiet Starnberg .....	16
Tabelle 2.7:	Verkehrssituationen und mittlere Fahrgeschwindigkeiten in [km/h] .....	17
Tabelle 2.8:	NO <sub>x</sub> -Emissionen für 2012 je Fahrzeug .....	19
Tabelle 2.9:	PM10-Emissionen je Fahrzeug aus Abrieb und Aufwirbelung [2] .....	21
Tabelle 2.10:	PM10-Emissionen für 2015 je Fahrzeug mit Abrieb und Auswirbelung .....	21
Tabelle 4.1:	Grundlagen der Ausbreitungsrechnung .....	31
Tabelle 4.2:	Maximale Zusatzbelastung durch NO <sub>2</sub> und PM10 in Abhängigkeit der Ausblasgeschwindigkeit .....	31
Tabelle 9.1:	Portalemissionen .....	50
Tabelle 9.2:	Rechengitter für die MISKAM-Ausbreitungsrechnungen .....	50
Tabelle 12.1:	MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Tutzinger Hofplatz, Bezugsjahr 2004 .....	66
Tabelle 12.2:	MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Tutzinger Hofplatz, Bezugsjahr 2012 ohne Tunnel .....	67
Tabelle 12.3:	MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Tutzinger Hofplatz, Bezugsjahr 2012 mit Tunnel .....	68
Tabelle 12.4:	MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Gymnasium, Bezugsjahr 2004 .....	69
Tabelle 12.5:	MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Gymnasium, Bezugsjahr 2012 ohne Tunnel .....	70
Tabelle 12.6:	MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Gymnasium, Bezugsjahr 2012 mit Tunnel .....	71

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Situation Nordportal .....	11
Abbildung 2.2:	Situation Südportal .....	12
Abbildung 2.3:	Jahresmittelwerte der Schwebstaub-Konzentration in Deutschland [6].....	16
Abbildung 2.4:	Entwicklung der Vorbelastung nach MLuS-2005 [2], Minderungsfaktoren für eine Mittelstadt .....	16
Abbildung 2.5:	Anteile der Motorgrößen bei den Personenwagen.....	18
Abbildung 2.6:	Zusammensetzung der schweren Nutzfahrzeuge SNF aus Lastwagen, Lastzügen und Sattelzügen.....	18
Abbildung 2.7:	Entwicklung der NO <sub>x</sub> -Emission [5] für ein mittleres Fahrzeug mit 10% SNF .....	19
Abbildung 2.8:	Entwicklung der Feinstaubemissionen in Deutschland [7].....	20
Abbildung 2.9:	Schematische Darstellung des Lüftungskonzepts für den Tunnel Starnberg .....	22
Abbildung 3.1:	Zusammenhang zwischen Jahresmittelwert PM10 und der Anzahl Überschreitungen des Tagesmittelwerts 50 µg/m <sup>3</sup> , Ansatz MLuS-2005 [2], Messdaten 2002 [16], Ansatz des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz [17].....	25
Abbildung 3.2:	Einzelne Ausbreitungssituation bei Wind senkrecht zur Straße .....	26
Abbildung 4.1:	Ausbreitung der Abluft aus dem Kamin bei Ausblasgeschwindigkeit 12 m/s, Windgeschwindigkeit 2.3 m/s, neutrale Bedingungen.....	30
Abbildung 5.1:	Jahresmittelwert NO <sub>2</sub> am Straßenquerschnitt Gymnasium.....	34
Abbildung 5.2:	Jahresmittelwert NO <sub>2</sub> am Straßenquerschnitt Tutzing Hofplatz.....	34
Abbildung 5.3:	Jahresmittelwert NO <sub>2</sub> am Straßenquerschnitt Münchnerstraße zwischen Bahnlinie und Gautinger Straße .....	35
Abbildung 5.4:	Jahresmittelwert PM10 am Straßenquerschnitt Gymnasium .....	35
Abbildung 5.5:	Jahresmittelwert PM10 am Straßenquerschnitt Tutzing Hofplatz.....	36
Abbildung 7.1:	Verkehrsprognose 2020 Südportal.....	40
Abbildung 7.2:	Verkehrsprognose 2020 Nordportal I .....	41
Abbildung 7.3:	Verkehrsprognose 2020 Nordportal II .....	42
Abbildung 7.4:	Verkehrsprognose 2020 Nordportal ohne Entlastungstunnel I .....	43
Abbildung 7.5:	Verkehrsprognose 2020 Nordportal ohne Entlastungstunnel II .....	44
Abbildung 8.1:	Windverteilung Starnberg Münchnerstraße 0 bis 24 Uhr, repräsentativ für das Nordportal .....	46
Abbildung 8.2:	Windverteilung Starnberg Weilheimer Straße 0 bis 24 Uhr, repräsentativ für das Südportal .....	47
Abbildung 8.3:	Windverteilung Starnberg Schlossberg 7 bis 19 Uhr, repräsentativ für die Umgebung des Abluftkamins.....	48
Abbildung 9.1:	Modellierte Quellen MISKAM – Nordportal .....	49
Abbildung 9.2:	Modellierte Quellen MISKAM – Südportal.....	49
Abbildung 10.1:	Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der NO <sub>2</sub> -Belastung, 100% Portalabluft .....	52
Abbildung 10.2:	Südportal – Jahresmittelwert 2012 der NO <sub>2</sub> -Belastung, 100% Portalabluft.....	52
Abbildung 10.3:	Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der NO <sub>2</sub> -Belastung, 20% Portalabluft .....	53
Abbildung 10.4:	Südportal – Jahresmittelwert 2012 der NO <sub>2</sub> -Belastung, 20% Portalabluft.....	53
Abbildung 10.5:	Nordportal – Minderung 2012 der NO <sub>2</sub> -Belastung durch Mittenabsaugung .....	54
Abbildung 10.6:	Südportal – Minderung 2012 der NO <sub>2</sub> -Belastung durch Mittenabsaugung .....	54
Abbildung 10.7:	Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der PM10-Belastung, 100% Portalabluft.....	55
Abbildung 10.8:	Südportal – Jahresmittelwert 2012 der PM10-Belastung, 100% Portalabluft.....	55
Abbildung 10.9:	Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der PM10-Belastung, 20% Portalabluft.....	56
Abbildung 10.10:	Südportal – Jahresmittelwert 2012 der PM10-Belastung, 20% Portalabluft .....	56
Abbildung 10.11:	Nordportal – Minderung 2012 der PM10-Belastung durch Mittenabsaugung.....	57
Abbildung 10.12:	Südportal – Minderung 2012 der PM10-Belastung durch Mittenabsaugung .....	57
Abbildung 10.13:	Nordportal – Anzahl Überschreitungen 2012 des Grenzwertes für den Tagesmittelwert der PM10-Belastung, 100% Portalabluft.....	58
Abbildung 10.14:	Südportal – Anzahl Überschreitungen 2012 des Grenzwertes für den Tagesmittelwert der PM10-Belastung, 100% Portalabluft.....	58
Abbildung 10.15:	Nordportal – Anzahl Überschreitungen 2012 des Grenzwertes für den Tagesmittelwert der PM10-Belastung, 20% Portalabluft.....	59

Abbildung 10.16:	Südportal – Anzahl Überschreitungen 2012 des Grenzwertes für den Tagesmittelwert der PM10-Belastung, 20% Portalabluft.....	59
Abbildung 10.17:	Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der NO <sub>2</sub> -Belastung, 20% Portalabluft, Vorbelastung 22 µg/m <sup>3</sup> .....	60
Abbildung 10.18:	Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der NO <sub>2</sub> -Belastung, 20% Portalabluft, Vorbelastung 20 µg/m <sup>3</sup> .....	60
Abbildung 11.1:	Jahresmittelwert der Zusatzbelastung 2012 durch NO <sub>2</sub> und PM10 in [µg/m <sup>3</sup> ] bei Kaminbetrieb 7 bis 19 Uhr, Ausblasgeschwindigkeit 10 m/s.....	62
Abbildung 11.2:	Jahresmittelwert der Zusatzbelastung 2012 durch NO <sub>2</sub> und PM10 in [µg/m <sup>3</sup> ] bei Kaminbetrieb 7 bis 19 Uhr, Ausblasgeschwindigkeit 12 m/s.....	63
Abbildung 11.3:	Jahresmittelwert der Zusatzbelastung 2012 durch NO <sub>2</sub> und PM10 in [µg/m <sup>3</sup> ] bei Kaminbetrieb 7 bis 19 Uhr, Ausblasgeschwindigkeit 15 m/s.....	64

## Begriffe und Abkürzungen

Advektion	Längsverfrachtung
Ausbreitungsklasse	Maß für die Luftturbulenz aufgrund der Temperaturschichtung der Atmosphäre
BayLfU	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
BImSchG	Bundes-Immissionsschutz-Gesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutz-Verordnung
DTV	Durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen
Emission	Freigesetzte Menge eines Schadstoffes pro Zeiteinheit, bei Fahrzeugen auch pro Wegstrecke
Emissionsperimeter	Fläche, in der die Schadstoffausbreitung berechnet wurde
Episodenwert	Schadstoffkonzentration aufgrund einer einzelnen Ausbreitungssituation (Windgeschwindigkeit, -richtung und Ausbreitungsklasse)
Immission	Konzentration eines Schadstoffes an einem Beobachtungspunkt
Inerter Schadstoff	reagiert bei der Ausbreitung nicht
JMW	Jahresmittelwert, arithmetisches Mittel der Stundenmittelwerte
Kartesische Koord.	Rechtwinkliges Koordinatensystem (ohne Anpassung der Koordinaten an die Geometrie)
k-Modell	Turbulenzmodell mit einer freien Variable
k-ε-Modell	Turbulenzmodell mit zwei freien Variablen
mikroskalig	beschränkt auf ein kleines Gebiet
Navier-Stokes-Gl.	Gleichungssystem zur Beschreibung von Strömungsvorgängen
NO <sub>x</sub>	Stickoxide – Summe aus NO und NO <sub>2</sub> , gerechnet mit der spezifischen Dichte von NO <sub>2</sub>
PM10	Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser unter 10 µm, lungengängiger Feinstaub
Rezeptor	Ort der Immission. Bei Ausbreitungsrechnungen in der Regel 1.5 m über dem Boden
Selbstlüftung	Luftförderung durch den Tunnel, die durch die Kolbenwirkung des Verkehrs angetrieben wird
TMW	Tagesmittelwert, arithmetisches Mittel der Stundenmittelwerte
Turbulenzmodell	Mathematisches Modell zur Beschreibung von kleinräumigen Strömungsvorgängen, die im Rengitter nicht aufgelöst werden können
Validierung	Überprüfung eines Rechenmodells, in der Regel durch einen Vergleich mit Messungen
Vorbelastung	Immissionen aus Quellen, die in der Berechnung nicht explizit berücksichtigt werden (Heizungen, Industrie etc.)



# 1 Einleitung

Im bestehenden Lüftungs- und Immissionsgutachten [1] zum Entlastungstunnel Starnberg wurden die Tunnellüftung und der Einfluss der Tunnelabluft auf die Schadstoffbelastung in der Umgebung des Tunnels eingehend untersucht. Das Gutachten kam zu der Empfehlung, dass der Tunnel Starnberg mit einer Längslüftung mit Absaugung in Tunnelmitte betrieben werden soll. Für den Ereignisfall wird der Tunnel mit einer lokalen Rauchabsaugung über Abluftklappen in der Zwischendecke ausgerüstet. Strahlventilatoren werden eingesetzt, um die Absaugung zu unterstützen. Dieses Lüftungssystem bietet die Möglichkeit, den Einfluss der Portalabluft auf die Umgebung zu vermindern.

Die Änderungen gegenüber dem Gutachten [1] sind:

- Neue Daten zu den motorischen Fahrzeugemissionen aus dem HBEFA des Umweltbundesamtes, veröffentlicht 2004
- Neue Daten zu den PM10-Emissionen aus Reifenabrieb
- Anwendung der neuen Version des Merkblatts über Luftverunreinigungen an Straßen (MLuS-2002, geänderte Fassung 2005)
- Verschiebung der geplanten Tunneleröffnung auf Ende 2011 (Prognosejahr 2012)
- Aktualisierte Verkehrsprognose

In diesem Bericht werden zunächst die Grundlagen der Berechnung zusammengestellt. Die Emissionen werden auf der aktuellen Grundlage bestimmt. Ausbreitungsrechnungen werden mit dem Programm MLuS-2005 für zwei repräsentative Querschnitte in der Stadt Starnberg sowie für einen Querschnitt der Münchnerstraße nach dem Portal durchgeführt. Für die Portalbereiche werden Ausbreitungsrechnungen mit dem Programm MISKAM dokumentiert. Dabei werden Situationen ohne und mit freier Portalabluft verglichen. Der Einfluss der Kaminabluft auf die Umgebung wird berechnet und dargestellt. Der Bericht schließt mit einer Empfehlung zum Einsatz der Absaugung in Tunnelmitte zur Verminderung der Immissionsbelastung.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Referenzen

- [1] I. Rieß, P. Martos, E. Pasqualotto: B2 Entlastungstunnel Starnberg, Immissionen der Luftschadstoffe und Tunnellüftung, Bericht HBI 89-201-08, Juni 2002
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen MLuS-02, Teil: Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung, geänderte Fassung 2005
- [3] NABEL: Luftbelastung 2000, Schriftenreihe Umwelt Nr. 330, Bern, 2001
- [4] M. Karrer, Ch. Monn: Chemische Analyse atembare Staubpartikel (PM10) und Quellenidentifikation, Schlussbericht COST 615 CITAIR, 1998
- [5] Umweltbundesamt: Elektronisches Handbuch Emissionsfaktoren HBEFA V2.1, 2004
- [6] Umweltbundesamt, Statistisches Bundesamt: Umweltdaten Deutschland: Ausgaben 1996, 1998 und 2002
- [7] Umweltbundesamt: Hintergrundpapier zum Thema Staub/Feinstaub (PM), März 2005
- [8] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Lufthygienische Jahresberichte 2000 bis 2002, Kurzfassungen
- [9] E. Romberg et al., NO-NO<sub>2</sub>-Umwendlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase, Reinhaltung der Luft, 215-218, 1996
- [10] I. Düring, W. Baechlin, R. Boesinger, W. Mueller, A. Lohmeyer: Experiences When Modelling Roadside PM10 Concentrations, 9th Int. Conf. In Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Garmisch-Partenkirchen, 1.-4. Juni 2004
- [11] J. Eichhorn: MISKAM – Handbuch zur DOS Version, Oktober 1988
- [12] R. Röckle, C.J. Richter: Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen. Modellrechnungen. Forschungszentrum Karlsruhe, PEF-Projekt "Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung" Forschungsbericht FZKA-PEF 136. Oktober 1995
- [13] G. Schädler, W. Bächlin, A. Lohmeyer, Tr. Van Wees: Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. Forschungszentrum Karlsruhe, PEF-Projekt "Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung" Forschungsbericht FZKA-PEF 138, Januar 1996
- [14] SFI GmbH: WinMISKAM – MISKAM für Windows – Handbuch, Januar 1999
- [15] K. Bigalke: Zur statistischen Auswertung mikroskaliger Immissionsprognosen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, Bd. 58 Nr. 6, Juni 1998
- [16] Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Entwicklung der Luftqualität, Luftqualität 2002, <http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt3/luft/>
- [17] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, TA Luft 2002 – Ausbreitungsrechnung, allgemeine Anforderungen, Fachtagung vom 7. April 2003, Augsburg, Mai 2003

## 4 Schadstoffimmissionen durch Kaminabluft

### 4.1 Einleitung

Der Bau eines Abluftkamins bezweckt, die Abgase aus dem Tunnel in höhere Luftschichten zu verfrachten, was analog zu einem Hochkamin auf geringe Abgaskonzentrationen am Boden führt.

Dank dem Ausstoß dieser Tunnelluft senkrecht nach oben können je nach Windgeschwindigkeit Aufstieghöhen von 50 bis 100 m über der Kaminmündung erreicht werden. Anschließend wird die Tunnelluft durch Wind und atmosphärische Turbulenz allseitig weiter verteilt. In einem größeren Abstand vom Kamin berührt ein Teil des Abgases in sehr verdünntem Maß wieder den Boden. Im Vergleich zu den Immissionen von offenen Straßen und von Tunnelportalen sind die bodennahen Belastungen aus Abluftkaminen sehr gering. Der Grund dazu liegt in der besseren räumlichen Ausbreitung und Verdünnung der Schadstoffe sowie in der meist größeren vertikalen Distanz bis zu den nächsten Immissionsorten. Zusätzlich sind die meteorologischen Ausbreitungsbedingungen in der Höhe günstiger als bei bodennahen Emissionen.

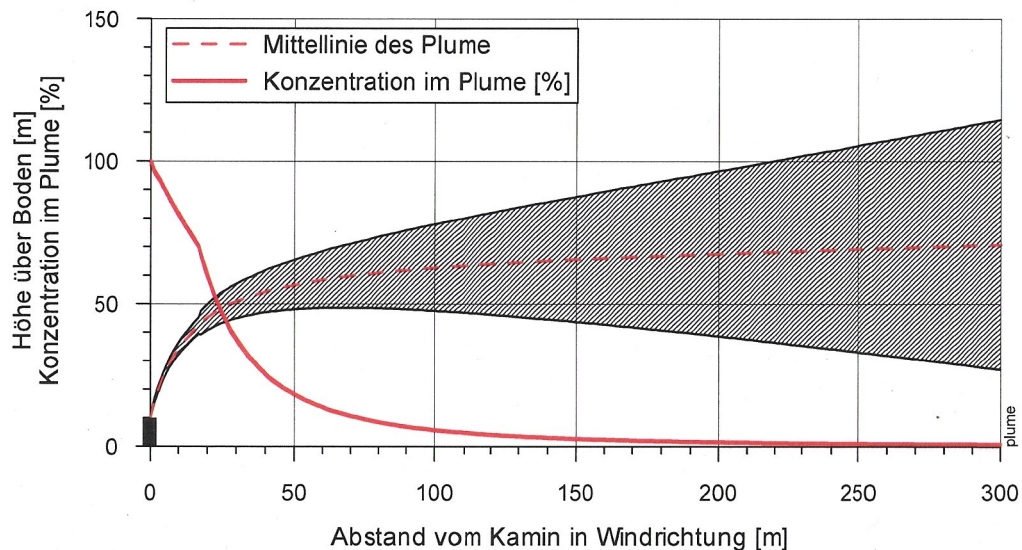


Abbildung 4.1: Ausbreitung der Abluft aus dem Kamin bei Ausblasgeschwindigkeit 12 m/s, Windgeschwindigkeit 2.3 m/s, neutrale Bedingungen

In diesem Kapitel sind die Ausbreitungsrechnungen für die Schadstoffe Stickstoffdioxid  $\text{NO}_2$  und lungengängigen Feinstaub  $\text{PM}_{10}$  dokumentiert. Da die Einzelheiten über den Kaminbetrieb erst während des Betriebs des Tunnels festgelegt werden können, gehen wir grundsätzlich von konservativen Annahmen bezüglich Kaminhöhe und -betriebsdauer, Ausblasgeschwindigkeit und Meteorologie aus. Die tatsächlichen Belastungen werden voraussichtlich deutlich niedriger sein als in den Immissionskarten dargestellt.

### 4.2 Methodik der Immissionsberechnung

Die Berechnung der weiträumigen Immissionen im Langzeitmittel aus Abluftkaminen wird bei HBI meist mit dem US EPA-Programm ISCST (Industrial Source Code Short Term) durchgeführt. Als Ergebnis liegen die Belastungen in einem Horizontalschnitt in einem großen Untersuchungsgebiet vor.

Für die Ausbreitungsrechnung wird die Windstatistik der Messstation Schlossberg verwendet. Die Windrose ist in Abbildung 8.3 im Anhang B: Winddaten dargestellt. Die Aus-

blasgeschwindigkeit aus der Kaminmündung wird zwischen 10 und 15 m/s angenommen. In der RABT Ausgabe 1994 wird empfohlen, einen Abluftkamin mit Ausblasgeschwindigkeiten zwischen 10 und 20 m/s zu betreiben. Bei einer höheren Ausblasgeschwindigkeit ergibt sich eine stärkere Verdünnung bei einem höheren Energieaufwand. Ab etwa 20 m/s Ausblasgeschwindigkeit kann sich eine hörbare Geräusentwicklung durch den Luftstrahl ergeben. In der aktuellen Version der RABT fehlt eine entsprechende Forderung, der physikalische Zusammenhang ist jedoch weiterhin gültig.

Gemäß der Festlegung in der TA Luft für Kaminberechnungen wird von einem pauschalen Mittelwert der Oxidationsrate  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  von 60% ausgegangen. Die Emissionsdaten entsprechen den Angaben in Abschnitt 2.7 dieses Berichts.

Im Weiteren gehen wir für die Berechnung von den Grundlagen aus, die in Tabelle 4.1 zusammengefasst sind.

Kaminhöhe	10	m
Rezeptorhöhe	9	m
Kaminbetrieb	7-19	Uhr
Abluftmenge	230	$\text{m}^3/\text{s}$
Ausblasgeschwindigkeit	10, 12 und 15	m/s
Umwandlungsrate $\text{NO}_2/\text{NO}_x$	60	%
Mittlere $\text{NO}_x$ -Emission 2012, 7-19 Uhr	943.6	g/h
Mittlere $\text{PM}_{10}$ -Emission 2012, 7-19 Uhr	53.9	g/h

Tabelle 4.1: Grundlagen der Ausbreitungsrechnung

Die Rezeptorhöhe gibt die Höhe über dem Boden an, in der die Konzentrationen berechnet werden. Die Konzentrationen am Boden sind nochmals geringer als in dieser Rezeptorhöhe.

### 4.3 Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung

In den Abbildungen im Anhang E: Zusatzbelastung aus Kaminabluft sind die Jahresmittelwerte der Stickstoffdioxid- und  $\text{PM}_{10}$  Zusatzbelastungen aus der Kaminabluft als Immissionskarten dargestellt.

Abbildung 11.1 zeigt die Immissionskarten für eine mittlere Ausblasgeschwindigkeit von 10 m/s. Die prognostizierte maximale Zusatzbelastung beträgt  $0.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Stickstoffdioxid und  $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{PM}_{10}$  im Jahresmittelwert. Dies entspricht etwa 1.0% des Grenzwertes für Stickstoffdioxid und 0.13% des Grenzwertes für  $\text{PM}_{10}$ . Zusatzbelastungen in dieser Größenordnung können bereits aufgrund der Vorbelastung messtechnisch nicht nachgewiesen werden.

Bei einer erhöhten Ausblasgeschwindigkeit von 12 m/s bzw. 15 m/s sinkt die prognostizierte Zusatzbelastung weiter ab. Der Einfluss der Ausblasgeschwindigkeit kann aus Tabelle 4.2 abgelesen werden.

Ausblasgeschwindigkeit	Maximale Zusatzbelastung	
	$\text{NO}_2$	$\text{PM}_{10}$
10 m/s	$0.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$
12 m/s	$0.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$
15 m/s	$0.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabelle 4.2: Maximale Zusatzbelastung durch  $\text{NO}_2$  und  $\text{PM}_{10}$  in Abhängigkeit der Ausblasgeschwindigkeit

Die Immissionsberechnungen zeigen, dass die Tunnelabgase durch einen mit 10 bis 15 m/s austretenden Abluftstrahl enorm verdünnt werden und dass am Boden nicht mehr messbare Zusatzbelastungen auftreten.

Die Ausblasgeschwindigkeit 10 m/s sollte auch im Teillastbetrieb nicht wesentlich unterschritten werden, um eventuelle Geruchsbelastungen in der Umgebung des Kamins zu vermeiden. Um am Kaminaustritt auch bei böigem Wind einen stabilen Luftaustritt zu bewahren, empfiehlt es sich, die 230 m<sup>3</sup>/s Tunnelabluft mit 18 m/s auszustoßen, also 12.7 m<sup>2</sup> Kaminquerschnittsfläche vorzusehen. Auch im Teillastbetrieb bei Absaugung von 115 m<sup>3</sup>/s genügt eine Ausblasgeschwindigkeit von 9 m/s für die Abgasverdünnung.

Da bei Betrieb der Absaugung zur Belüftung des Tunnelinneren eine geringere Luftmenge genügt, sollte eine Unterteilung des Kamins in zwei Züge geprüft werden. In der Ausführungsplanung für den Tunnel ist zu vergleichen, welche der folgenden Varianten vorzuziehen sei:

- Variante A: Auslegung des Kamins auf eine maximale Ausblasgeschwindigkeit von 18 m/s und eine minimale Abluftmenge von 115 m<sup>3</sup>/s.
- Variante B: Auslegung auf eine maximale Ausblasgeschwindigkeit von 15 m/s und eine Unterteilung des Kamins in zwei Züge.

Bei Variante A sind höhere Betriebskosten und bei Variante B höhere Investitionskosten zu erwarten.

## 5 Ausbreitungsrechnung mit MLuS-2005

### 5.1 Einleitung

Gegenstand des Merkblattes für Luftverunreinigungen an Straßen MLuS-2005 (eigentlich: MLuS 02, geänderte Fassung 2005) [2] ist die Abschätzung der Immissionsbelastungen an Straßenabschnitten. Das in dem Merkblatt angegebene Ausbreitungsmodell ist für zwei- und mehrstreifige Straßen entwickelt worden, die keine oder nur aufgelockerte Randbebauung aufweisen. In Erweiterung des MLuS-92 sind zusätzlich Immissionsabschätzungen an Tunnelportalen, Straßenkreuzungen sowie im Einflussbereich von Lärmschirmen möglich. Die Emissionsrechnung erfolgt auf der Basis von MOBILEV mit der damit einhergehenden Detaillierung von Verkehrssituation, Fahrzeugflotte, Straßentyp und Bezugsjahr.

Die Verdünnung der Schadstoffe im Abstand von der Quelle ist von der Emissionsstärke unabhängig. Sie wurde durch Messungen im Einflussbereich von Straßen empirisch bestimmt. Die Zusatzbelastung ist proportional zu den Emissionen und umgekehrt proportional zu der Windgeschwindigkeit.

Die Anwendung der MLuS-2005 für Ausbreitungssituationen in städtischer Umgebung, wie sie teilweise in der Stadt Starnberg gegeben ist, ist etwas problematisch, da Lücken in der Randbebauung weniger als die erforderlichen 50% der Abschnittlänge ausmachen könnten. In diesen Bereichen können Schadstoffkonzentrationen unterschätzt werden. Die Randbedingungen der Ausbreitungsrechnung sind in den Protokollen im Anhang F: Datenblätter MLuS-2005 zusammengefasst.

### 5.2 Emissionsrechnung

Die Emissionsfaktoren der MLuS-2002, geänderte Fassung 2005 basieren auf dem derzeit aktuellen Update des elektronischen Handbuchs Emissionsfaktoren [5]. Die Daten des Handbuchs sind in Abschnitt 2.7 dieses Berichts beschrieben.

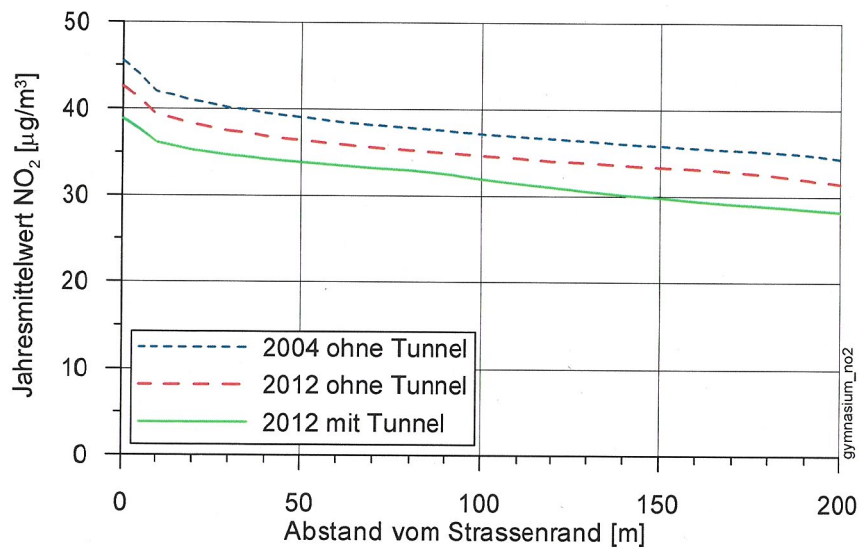
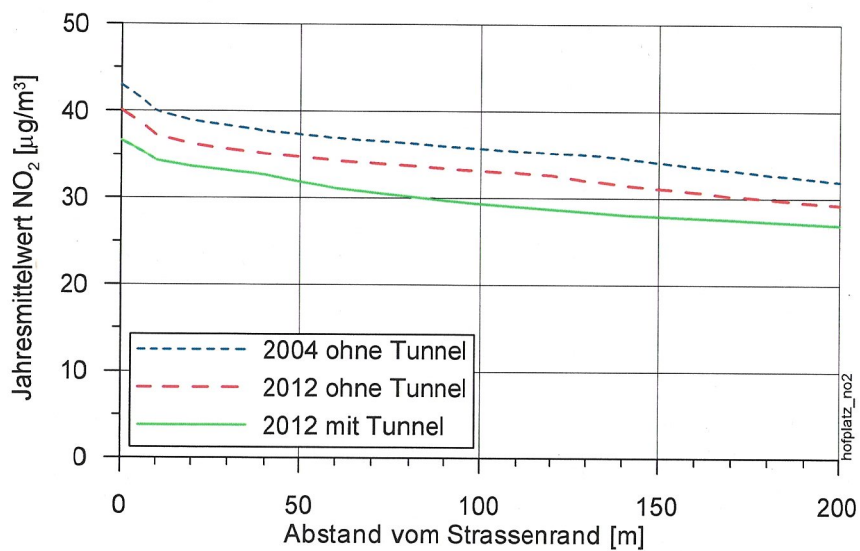
### 5.3 Konzentrationsprofile

#### 5.3.1 Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>

Abbildung 5.1 und Abbildung 5.2 zeigen den Jahresmittelwert der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung als Funktion des Abstandes vom Straßenrand für die Situation im Jahr 2004 sowie im Jahr 2012 mit und ohne Tunnel.

An beiden Querschnitten ist für das Jahr 2004 am Straßenrand mit einer Überschreitung des zukünftigen Grenzwertes der NO<sub>2</sub>-Belastung zu rechnen. Dazu ist anzumerken, dass der Grenzwert 40 µgNO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> für den Jahresmittelwert erst ab dem Jahr 2010 eingehalten werden muss.

Die Senkung der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen zwischen 2004 und 2012 ist zum Teil auf die abnehmende Vorbelastung und zum Teil auf geringere Emissionen der Einzelfahrzeuge zurückzuführen. Auch die Verkehrs- und Schwerverkehrszunahme zwischen 2004 und 2012 ohne Tunnel und die dadurch entstehende zusätzliche Verkehrsbehinderung (zusätzliche Störungen im Verkehrsfluss) werden den Einfluss der abnehmenden Einzelemissionen nicht ausgleichen.

Abbildung 5.1: Jahresmittelwert NO<sub>2</sub> am Straßenquerschnitt GymnasiumAbbildung 5.2: Jahresmittelwert NO<sub>2</sub> am Straßenquerschnitt Tutzing Hofplatz

In der Münchnerstraße zwischen Bahnlinie und Gautinger Straße ist durch den Entlastungstunnel mit einer leichten Erhöhung des täglichen Verkehrsaufkommens zu rechnen. Ein Vergleich des Konzentrationsprofils an der Straße mit und ohne Entlastungstunnel zeigt einen geringen Einfluss der Verkehrszunahme auf die Schadstoffbelastung (Abbildung 5.3). Es ist allerdings festzustellen, dass die Prognose bis zu einem Abstand von 20 m von der Straße eine Überschreitung des Grenzwertes für NO<sub>2</sub> im Jahresmittel ergibt.

Für die Münchnerstrasse wurden nur die Situationen 2012 mit und ohne Tunnel berechnet, da aus dem Jahr 2004 für diesen Straßenquerschnitt keine Verkehrsdaten vorliegen.

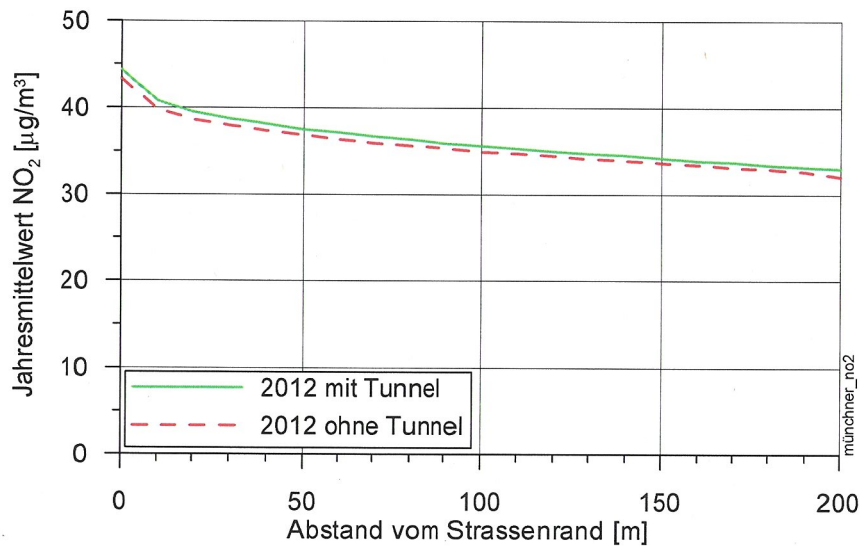


Abbildung 5.3: Jahresmittelwert NO<sub>2</sub> am Straßenquerschnitt Münchnerstraße zwischen Bahnlinie und Gautinger Straße

### 5.3.2 Feinstaub PM10

Abbildung 5.4 und Abbildung 5.5 zeigen den Jahresmittelwert der PM10-Gesamtbelastung als Funktion des Abstandes vom Straßenrand für die Situation im Jahr 2004 sowie im Jahr 2012 mit und ohne Tunnel.

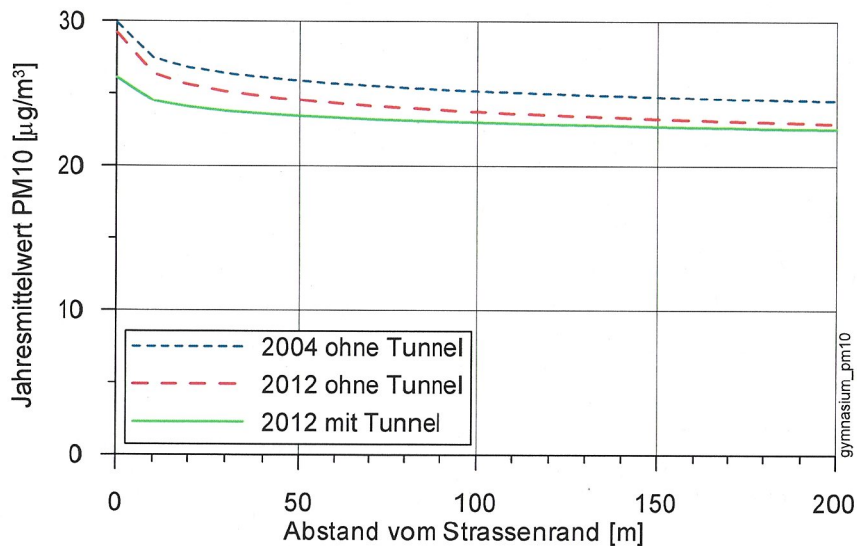


Abbildung 5.4: Jahresmittelwert PM10 am Straßenquerschnitt Gymnasium



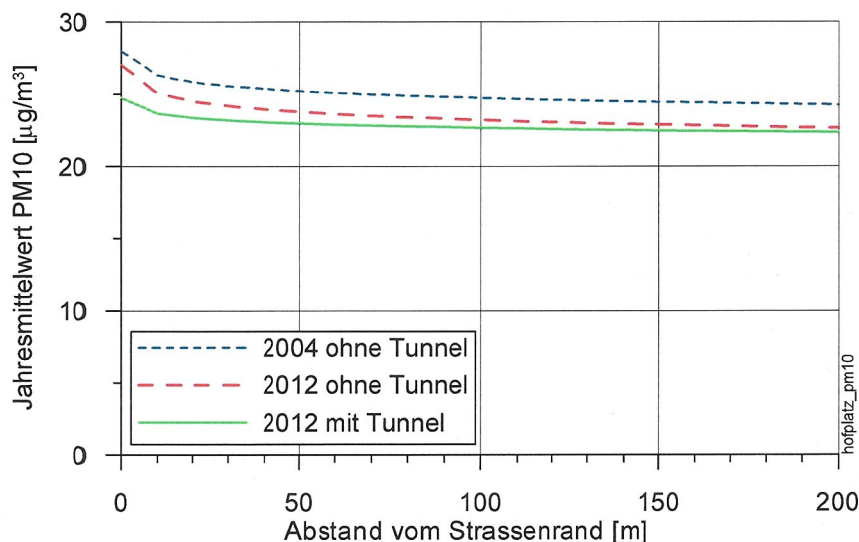


Abbildung 5.5: Jahresmittelwert PM10 am Straßenquerschnitt Tutzinger Hofplatz

Die Ergebnisse der Berechnung zeigen unkritische PM10-Konzentrationen für alle untersuchten Fälle. Die Abnahme der Konzentrationen mit der Zeit wird durch die Abnahme der Vorbelastung bestimmt. Auch die geringe Abnahme der Konzentration mit zunehmendem Abstand vom Straßenrand deutet darauf hin, dass die PM10-belastung wesentlich durch die Vorbelastung bestimmt wird.

## 5.4 Beurteilung

Zwischen 2004 und dem Jahr nach der Tunnelöffnung 2012 ist mit einer leicht abnehmenden Schadstoffbelastung entlang der heutigen Ortsdurchfahrt Starnberg zu rechnen. Die Abnahme der Belastung ist auf eine Abnahme der Vorbelastung und der Emissionen der Einzelfahrzeuge zurückzuführen, die von der Zunahme des Verkehrs- und Schwerverkehrsaufkommens nur zum Teil kompensiert wird.

Der Bau des Tunnels führt in der Innenstadt Starnbergs zu einer zusätzlichen Entlastung, die sich in einer Senkung der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen bemerkbar machen wird. In den untersuchten Querschnitten wird eine Senkung des Verkehrsaufkommens gegenüber dem Szenario ohne Tunnel um etwa 45% erreicht.

Entlang der Münchner Straße zwischen dem Nordportal des Tunnels und der Gautinger Straße führt der Entlastungstunnel zu einer Steigerung des Verkehrsaufkommens. Die Verkehrszunahme führt zu einer Zunahme der Schadstoffbelastung gegenüber der Situation ohne Tunnel. Diese Zunahme ist gering im Vergleich zur Entlastungswirkung in der Innenstadt Starnbergs. Dennoch ist davon auszugehen, dass in Straßennähe – mit und ohne Tunnel – der Grenzwert für das Jahresmittel von NO<sub>2</sub> erreicht oder überschritten wird.

Bei der PM10-Belastung ist die Entlastungswirkung des Tunnels geringer, da die Belastung zum größten Teil durch die Vorbelastung, d.h. durch andere Quellen als den Verkehr auf der Ortsdurchfahrt, bestimmt wird.

## 6 Zusammenfassung und Empfehlung

### 6.1 Schadstoffbelastung

Aus den Ergebnissen der Ausbreitungsrechnung lässt sich schließen, dass beim Entlastungstunnel Starnberg der Schadstoff Stickstoffdioxid  $\text{NO}_2$  in Bezug auf die Grenzwerte am kritischsten ist. Der Schadstoff  $\text{PM}_{10}$  ist von untergeordneter Bedeutung. Nur bei den am höchsten belasteten Stellen bei freier Portalabluft wird die zulässige Anzahl Überschreitungen des Grenzwertes für das Tagesmittel im Straßenbereich erreicht.

In der Umgebung des Nordportals kann im Jahr 2012 der Grenzwert für  $\text{NO}_2$  erreicht oder überschritten werden. Betroffen ist dabei der Einflussbereich der Portalabluft. Aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens und der Bebauung nahe der Strasse können jedoch auch Abschnitte außerhalb des Einflusses des Tunnels mit  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen im Bereich des Grenzwertes belastet sein. Diese kritische Schadstoffbelastung wird dabei nur zu einem sehr geringen Teil durch die Verkehrszunahme nach Tunnelöffnung verursacht.

In der Umgebung des Südportals ist die Schadstoffbelastung weniger kritisch. Dies ist auf das geringere Verkehrsaufkommen auf den offenen Straßen und auf den größeren Abstand der Bebauung von der Strasse zurückzuführen.

Bei Betrieb der Absaugung in Tunnelmitte zur Vermeidung von Portalabluft werden Schadstoffe aus dem Kamin ausgestoßen. Zusatzbelastungen aufgrund der Kaminabluft sind sehr gering und messtechnisch kaum nachweisbar.

Der Tunnel bringt der Ortsdurchfahrt von Starnberg eine Entlastung von Schadstoffen, indem auf der Durchfahrtsstraße das Verkehrsaufkommen annähernd halbiert wird. Eine Abschätzung der Schadstoffbelastung entlang dieser Strecke zeigt, dass vor allem die  $\text{NO}_2$ -Belastung in Straßennähe gesenkt wird, so dass über einen weiten Bereich Grenzwertüberschreitungen vermindert oder vermieden werden können.

In den weiteren Jahren nach Tunnelöffnung wird eine Abnahme der Schadstoffbelastung erwartet. Die Prognose der Emissionen in [5] ergibt in den Jahren 2012 bis 2020 eine Senkung der  $\text{NO}_x$ -Emission eines durchschnittlichen Fahrzeugs um etwa 28% (für einen Schwerverkehrsanteil von 10%). Gleichzeitig ist eine leichte Senkung der Vorbelastung zu erwarten. Auch wenn sich diese Abnahme aufgrund der Reaktion von  $\text{NO}_x$  zu  $\text{NO}_2$  nicht voll auf die Immissionsbelastung durch  $\text{NO}_2$  auswirkt, kann mit einer deutlichen Entlastung der Schadstoffsituation gerechnet werden.

### 6.2 Maßnahmen

Für die Beurteilung, ob eine Absaugung der Portalabluft empfehlenswert ist, sind die Ergebnisse der Immissionsberechnungen zu betrachten. Zusätzlich gehen die Abschätzungen des Energieaufwandes und der Kosten für die Einrichtung und den Betrieb einer solchen Anlage in die Beurteilung ein.

Der Einflussbereich der Portalabluft liegt zwar zum größten Teil im unmittelbaren Straßenbereich. Die Immissionsprognose zeigt jedoch, dass die Schadstoffkonzentrationen an einigen Punkten auch an der Bebauung am oder über dem Beurteilungswert liegen können. Im Hinblick auf die Genauigkeit der Prognose (siehe Abschnitt 3.2) wird daher aus Sicht der Lufthygiene die Ausführung der Variante

#### Längslüftung mit Absaugung in Tunnelmitte

empfohlen. Bei Überschreitungen von Schadstoffgrenzwerten außerhalb des Einflusses der Portalabluft bringt die Absaugung jedoch keinen Nutzen.

Die Betriebsdauer der Absaugung für den Immissionsschutz sollte nicht bereits im Genehmigungsverfahren festgelegt werden. Hingegen sollte der Betrieb der Lüftung aufgrund von Immissionsmessungen in der Umgebung der Tunnelportale angepasst werden. Es ist damit zu rechnen, dass die Betriebsdauer in den Jahren nach Tunneleöffnung entsprechende der Emissionsminderung der Fahrzeuge reduziert werden kann.

## 2.2 Geometrie

### 2.2.1 Portalsituation

Am Nordportal unterfährt der Tunnel die Leutstettner Straße und mündet in einen 100 m langen Einschnitt aus, der sich von anfänglich 7 m Höhe stetig verjüngt. Am Ende der Rampe liegt die Bahnüberführung. In der näheren Umgebung zum Portal finden sich mehrgeschossige Wohnbauten und Schulhausgebäude.

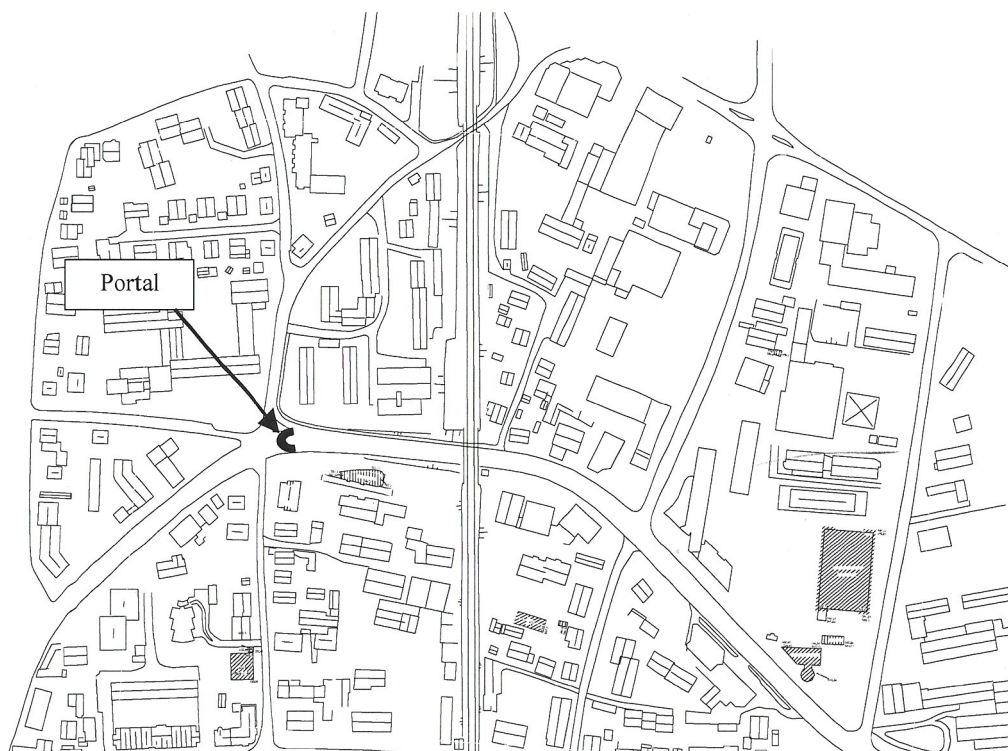


Abbildung 2.1: Situation Nordportal

Das Südportal mündet in das leicht abfallende Terrain des den Sarnberger See begleitenden Hügelzuges. Die Portalausfahrt liegt in einem 100 m langen Einschnitt mit anfänglich 6 m Tiefe. Er ist südseitig flankiert von der Weilheimerstraße. Südseitig zur Portalumgebung besteht eine lockere Wohnbebauung. Nördlich der Straße ist das Terrain noch unbebaut. Um das Portal liegen Gebiete mit hohem Laubwaldbestand.

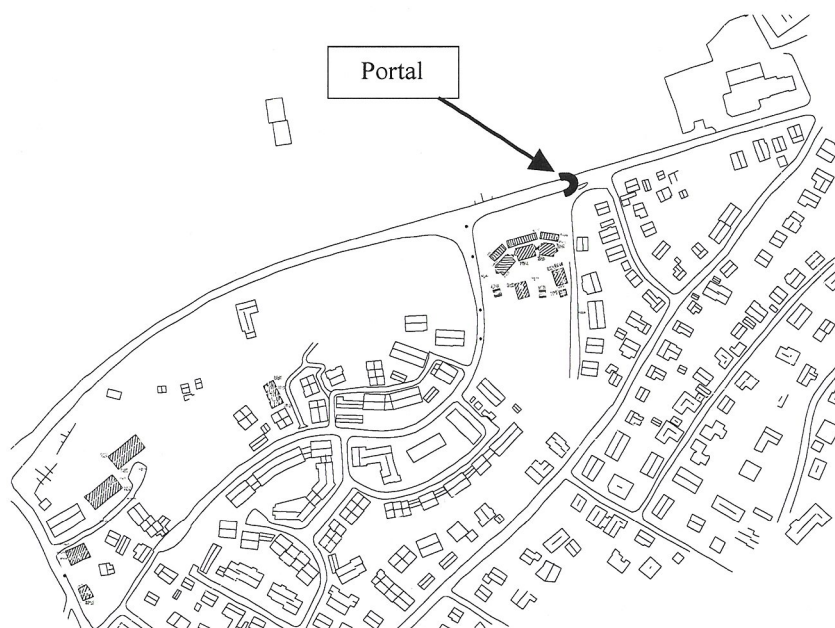


Abbildung 2.2: Situation Südportal

## 2.2.2 Tunnelgeometrie

Tunnel Sarnberg		
Länge	1878 m	
Steigung von Süd nach Nord	-3.5 %	über 1449 m
	3.5 %	über 429 m
Mittlere Steigung	-1.7 %	
Mittlere Steigung für Emissionsrechnung	± 3.5 %	

Tabelle 2.1: Geometrische Daten

Es ist vorgesehen, einen Abluftkamin für die Betriebs- und Brandlüftung im Bereich Schlossgarten vorzusehen.

## 2.3 Bezugsjahr

Nach der heute vorliegenden Terminplanung ist der Baubeginn für den Tunnel Sarnberg im Jahr 2008 vorgesehen. Damit ist mit einer Tunneleröffnung nicht vor Ende 2011 zu rechnen. Die Immissionsprognose wird für das Bezugsjahr 2012 erstellt. Dies ist das erste Jahr nach der Tunneleröffnung.

Für die Prognose werden die Verkehrsdaten aus einer Prognose für das Jahr 2020 verwendet. Da für frühere Bezugsjahre eher mit geringeren Verkehrsdaten in den ersten Jahren nach Tunneleröffnung zu rechnen ist, stellt diese Verkehrsprognose für diese Ausbreitungsrechnung eine konservative Annahme dar.

## 2.4 Verkehr

Die detaillierten Verkehrsdaten sind im Anhang A: Verkehrsdaten dargestellt. Das Verkehrsaufkommen im Tunnel Sarnberg im Jahr 2020 wird wie folgt angenommen:

- Verkehr durch den Tunnel 18'000 Fahrzeuge/24h (DTV)
- Gegenverkehr
- Schwerverkehrsanteil 4% am Tag und 8% in der Nacht

- Signalisierte Fahrgeschwindigkeit 60 km/h

Als kritischer Zustand für die Immissionsbelastung ergibt sich das Jahr nach Tunnelöffnung 2012. Da für das Jahr 2012 keine Verkehrszahlen vorliegen, wird mit der Verkehrsprognose für das Jahr 2020 gerechnet. Dies stellt eine konservative Annahme dar.

Ausgehend vom täglichen Verkehrsaufkommen wird ein Tagesgang angenommen. Zwischen 7 und 19 Uhr fahren etwa 77% des Verkehrs durch den Tunnel. Detaillierte Zählungen zum Tagesgang liegen nicht vor.

Im Tagesmittel gehen wir von einer symmetrischen Aufteilung des Verkehrs aus. Im Stundenmittel kann die Richtungsaufteilung im Verhältnis von 1:1 bis 1:2 variieren. Daraus ergibt sich eine etwa symmetrische Aufteilung der Schadstoffe des Tunnels auf beide Portale.

Für die Untersuchung der Entlastung der offenen Straßen werden die Straßenquerschnitte am Gymnasium und am Tutzinger Hofplatz gesondert untersucht. Das relevante tägliche Verkehrsaufkommen ohne Tunnel wird entsprechend den Verkehrszählungen aus dem Jahr 2000 angenommen. Das Verkehrsaufkommen für den Zustand mit Tunnel entspricht den Angaben in Anhang A: Verkehrsdaten.

	Gymnasium	Tutzinger Hofplatz
Zustand 2004	29'205 Fz/24h, 3.7% Lkw	20'430 Fz/24h, 3.7% Lkw
Zustand 2012 ohne Tunnel	25'100 Fz/24h, 5.5% Lkw	36'000 Fz/24h, 5.5% Lkw
Zustand 2012 mit Tunnel	20'500 Fz/24h, 5.5% Lkw	13'800 Fz/24h, 5.5% Lkw

Tabelle 2.2: Verkehrsaufkommen DTV und Lastwagenanteil in der Hauptstraße/ Münchner Straße am Gymnasium und am Tutzinger Hofplatz

In der Münchnerstraße ist aufgrund des Entlastungstunnels mit einer Steigerung des Verkehrsaufkommens zu rechnen. Diese Verkehrssteigerung kann zu einer Erhöhung der Immissionsbelastung an den anliegenden Gebäuden führen. In der Münchnerstraße zwischen Bahnlinie und Gautingerstraße wird für das Jahr 2020 mit Entlastungstunnel ein Verkehrsaufkommen von 44'800 Fahrzeugen täglich prognostiziert. Für die Situation ohne Entlastungstunnel wird ein Verkehrsaufkommen von 39'300 Fahrzeugen täglich erwartet. Zwischen Gautingerstraße und Moosstraße hat der Entlastungstunnel praktisch keinen Einfluss auf das tägliche Verkehrsaufkommen von etwa 40'000 Fahrzeugen.

## 2.5 Beurteilungskriterien Immissionen

### 2.5.1 Gesetzliche Grundlagen, Beurteilungswerte

Bei der Beurteilung von Straßenbauvorhaben wird die Verordnung 22 zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (22. BImSchV) herangezogen.

Die 22. BImSchV legt Immissionsgrenzwerte fest, die zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen nicht überschritten werden dürfen. Die Immissionswerte der 22. BImSchV dienen dazu, die über ein Jahr tatsächlich an einer Stelle gemessenen Immissionen beurteilen zu können. Die Lage des Messortes wird wie folgt festgelegt: Daten sollen in Gebieten gewonnen werden, in denen die höchsten Konzentrationen auftreten, denen Personen über die Mittelungszeit des betreffenden Grenzwertes wahrscheinlich ausgesetzt sind. In der derzeitigen Genehmigungspraxis betrifft dies bei Jahresmittelwerten Wohn- und Geschäftsbebauung sowie zum Teil Außenwohnbereiche. Die angegebenen Grenzwerte gelten somit nicht für den Straßenbereich und nur bedingt für den Fußgängerbereich.

Stoff	Wert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Statistische Bedeutung
Schwefeldioxid	350	Stundenmittel (24 Überschreitungen zulässig)
	125	Tagesmittel (3 Überschreitungen zulässig)
Stickstoffdioxid	200	Stundenmittel (18 Überschreitungen zulässig)
	40	Jahresmittel
Feinstaub PM10	50	Tagesmittel (35 Überschreitungen zulässig)
	40	Jahresmittel
Blei	0.5	Jahresmittel
Benzol	5	Jahresmittel
Kohlenmonoxid	10'000	8-Stunden-Mittel
	0	

Tabelle 2.3: Grenz- und Prüfwerte der Luftqualität nach 22. BImSchV

### 2.5.2 Maßgebliche Beurteilungswerte

Von den Grenzwerten in Tabelle 2.3 sind für die Luftbelastung in der Umgebung eines Straßentunnels heute die folgenden Grenzwerte maßgebend:

Stoff	Wert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Statistische Bedeutung
Stickstoffdioxid	40	Jahresmittelwert
Feinstaub PM10	40	Jahresmittelwert
Feinstaub PM10	50	Tagesmittelwert (bei 35 zulässigen Überschreitungen)

Tabelle 2.4: Prüfsubstanzen und deren Beurteilungswerte

Werden diese Grenzwerte eingehalten, kann mit hoher Sicherheit geschlossen werden, dass die übrigen Grenzwerte eingehalten werden oder dass ein Überschreiten dieser Grenzwerte von anderen Quellen als dem Straßenverkehr verursacht wird.

### 2.5.3 Beurteilungszustände des Vorhabens

Die Berechnungen beziehen sich auf die Situation im Jahr 2012 mit dem Entlastungstunnel Starnberg. In den Ausbreitungsrechnungen werden jeweils die Zustände mit freier Portalabluft und mit Absaugung von 80% der im Tunnel freigesetzten Emissionen gegenübergestellt.

## 2.6 Vorbelastungen

Die Beurteilungswerte beziehen sich auf Gesamtbelastungen, wie sie mit Messungen direkt erfasst werden. Die berechneten Immissionen gehen von einer bestimmten Emittentengruppe aus, im vorliegenden Fall von einem Teil des motorisierten Straßenverkehrs, und bestimmen dessen Zusatzbelastung. Die Gesamtbelastung jedes Schadstoffes ergibt sich anschließend aus der Überlagerung der modellierten Zusatzbelastung mit der entsprechenden Vorbelastung, welche die Belastung aller anderen Quellen enthält. Die Bestimmung der Vorbelastung erfolgt somit unter Berücksichtigung des modellierten Straßennetzes.

Für Starnberg selbst sind nur wenige Messdaten zu Luftschadstoffen verfügbar. So gibt das Umweltbundesamt für das Jahr 1993 den Jahresmittelwert der  $\text{NO}_2$ -Konzentration mit  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an. Der Jahresmittelwert der Staubbelastung (PM10 ist ein Teil der gesamten

Staubbelastung) betrug in den Jahren 1988 bis 1991 20 bis 27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aus diesen Werten lässt sich ableiten, dass die Messstation, wahrscheinlich außerhalb der Stadt gelegen, eine Vorbelastung ohne Verkehrseinfluss erfasst hat. Für die Situation an den Portalen des Tunnels Starnberg sind diese Daten nicht anwendbar.

Für die Schadstoffe  $\text{NO}_2$  und  $\text{PM}_{10}$  kann die Vorbelastung nicht auf lokalen Messungen abgestützt werden. Im lufthygienischen Jahresbericht des BayLfU 2002 [8] sind Messungen für eine Reihe von Standorten angegeben. Die Messpunkte befinden sich jedoch überwiegend in der Nähe von stark befahrenen Straßen. Um von den Messungen, die eine Gesamtbelastung erfassen, auf eine Vorbelastung zu schließen, stehen nicht genügend Informationen zu den einzelnen Messpunkten zur Verfügung.

Messstation	JMW für $\text{NO}_2$ in [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]				JMW für $\text{PM}_{10}$ in [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]			
	200 0	200 1	200 2	3JMW	200 0	200 1	200 2	3JMW
Burghausen, Marktler Straße	29	-	24	27	24	-	32	28
Ingolstadt, Oberhaunstadt	36	34	34	35	30	30	31	30
Trostberg, Schwimmbadstraße	21	21	20	21	22	25	26	24
Augsburg, Bourges-Platz	36	37	35	36	29	30	32	30
Kempten, Westendstraße	29	29	29	29	21	21	26	23
Lindau, Holdereggstraße	-	-	-	-	26	30	31	29
Neu-Ulm, Gabelsbergerstraße	39	35	33	36	33	31	33	32

Tabelle 2.5:  $\text{PM}_{10}$ -Gesamtbelastung an einigen bayerischen Messstationen [8]

Im Kurzbericht Umweltdaten Deutschland ist die zeitliche Entwicklung der Schwebstaub-Konzentrationen in Deutschland angegeben. Die Messdaten umfassen ebenfalls Gesamtbelastungen. Da das Ziel der Untersuchung eine flächige Beurteilung des Bundesgebiets darstellt, sind diese Daten eher mit einer Vorbelastung zu vergleichen als die Konzentrationen an einem Punkt, der im Einflussbereich einer einzelnen Quelle liegt. Die Kurve in [6] deutet an, dass „typische“ Staubbelastungen im Jahr 1998 in einem Bereich zwischen 12 und 26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  liegen. In den folgenden Jahren wird nicht mit einer deutlichen Abnahme der Staubbelastung gerechnet, da mögliche Maßnahmen zur Verminderung der Emissionen in den 90er Jahren vor allem bei Industriefeuerungen und Kraftwerken weitgehend ausgeschöpft wurden. Auch beim Verkehr sind die Möglichkeiten der Verminderung von  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen bis zum Jahr 2010 weitgehend ausgeschöpft, da die motorischen Emissionen gegenüber dem Reifen- und Straßenabrieb an Bedeutung verlieren.



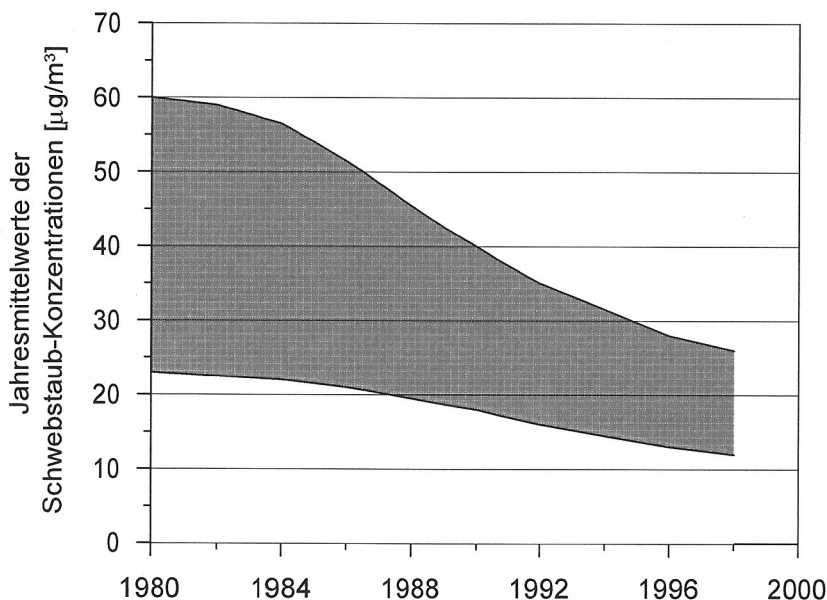


Abbildung 2.3: Jahresmittelwerte der Schwebstaub-Konzentration in Deutschland [6]

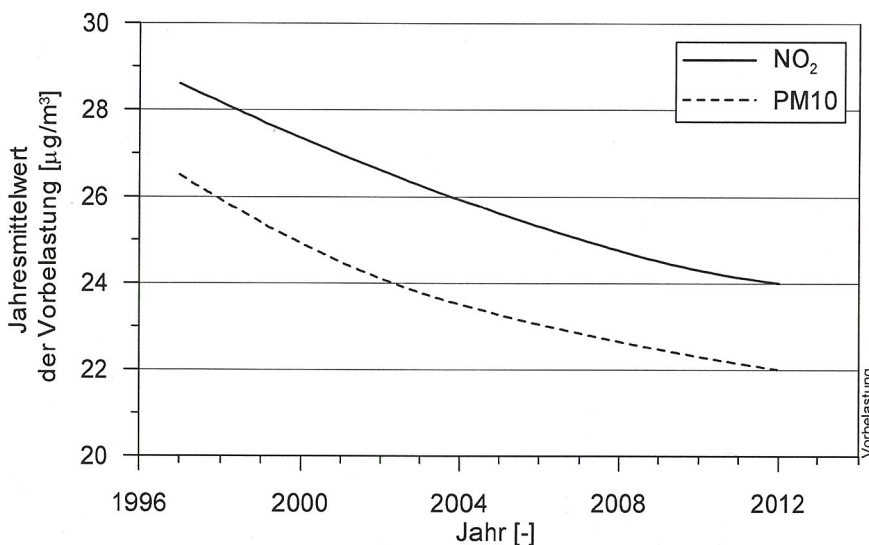


Abbildung 2.4: Entwicklung der Vorbelastung nach MLuS-2005 [2], Minderungsfaktoren für eine Mittelstadt

Mit den Minderungsfaktoren für eine Mittelstadt lässt sich nach der Berechnung der MLuS-2005 die Entwicklung der Vorbelastung in Starnberg gemäß Abbildung 2.4 abschätzen. Als Vorbelastung für das Untersuchungsgebiet Starnberg wurden für das Bezugsjahr 2012 die folgenden Werte bestimmt:

		Prognose 2012
NO <sub>2</sub>	Jahresmittelwert	24 µg/m <sup>3</sup>
PM10	Jahresmittelwert	22 µg/m <sup>3</sup>

Tabelle 2.6: Vorbelastungen für 2012 im Untersuchungsgebiet Starnberg

## 2.7 Schadstoffemissionen der Motorfahrzeuge

### 2.7.1 Verkehrssituation

Ein Fahrmuster steht für ein typisches Fahrverhalten und kann mit Hilfe kinematischer Kenngrößen (Geschwindigkeit, Dynamik) beschrieben werden. Die Emissionsfaktoren wurden ursprünglich für diese Fahrmuster ermittelt. Für die praktische Anwendung interessiert aber, auf welchen Straßenabschnitten welche Fahrmuster vorkommen. Es gilt also, die Fahrmuster den Streckentypen zuzuordnen. Aus Untersuchungen des Fahrverhaltens wurde ermittelt, welche Fahrmuster in welcher Verkehrssituation mit welchem Anteil vorkommen. Das elektronische Handbuch [5] gibt den Benutzern deshalb die Emissionsfaktoren pro Verkehrssituation an.

Die Verkehrssituation und die zugeordneten mittleren Geschwindigkeiten, die der Immissionsberechnung zugrunde liegen, sind:

	Verkehrssituation und Anwendung		Pkw	SNF
IO_HVS 2	Innerorts, vorfahrtberechtigte Hauptverkehrsstraße mit leichten Störungen	0%	46	40
		±4%	46	38
	- Tunnel und Oberflächenverkehr			

Tabelle 2.7: Verkehrssituationen und mittlere Fahrgeschwindigkeiten in [km/h]

Im Tunnel wird gleichmäßiger gefahren als auf dem übrigen Straßennetz. Damit ergeben sich bei den Stickoxiden und bei den motorisch emittierten Partikeln geringere Emissionen als auf der offenen Straße mit einem häufiger gestörten Verkehrsfluss (Kreuzungen, Lichtsignalanlagen, Stockung). Im Fall des Entlastungstunnels Starnberg gehen wir auch im Tunnel von den höheren Emissionen des gestörten Verkehrsflusses aus, da der Tunnel während der Stosszeiten relativ stark belastet ist.

### 2.7.2 Zusammensetzung des Fahrzeugparks

Die Zusammensetzung des Fahrzeugparks für die Prognosejahre ist dem elektronischen Handbuch Emissionsfaktoren V2.1 des Umweltbundesamtes [5] entnommen.

Ausgehend von den gemessenen Emissionsfaktoren der gegenwärtig verkehrenden Fahrzeugtypen werden im Handbuch auch Emissionsfaktoren künftiger Konzepte angegeben. Deren Emissionsniveau wurde in Anlehnung an die absehbare Entwicklung der Abgasvorschriften abgeschätzt.

#### Fahrzeugpark

Der Anteil der Dieselfahrzeuge an den Personenwagen wird im HBEFA V2.1 für das Jahr 2012 mit etwa 40% prognostiziert. Dies entspricht mehr als einer Verdoppelung des Dieselanteils gegenüber dem bestehenden Gutachten. Die Abschätzung geht auf eine Steigerung des Dieselanteils in den vergangenen Jahren zurück. Aktuelle Zulassungszahlen für Dieselfahrzeuge unterliegen jedoch Schwankungen durch politische Entscheidungen, die z.B. die unterschiedliche Besteuerung der Kraftstoffarten betreffen.

Bei der Zusammensetzung der Pkw wird zwischen drei Motorgrößen unterschieden. Die Verteilung der Pkw ist in Abbildung 2.5 dargestellt. Gegenüber der heute aktuellen Verkehrszusammensetzung wird der Trend zu größeren Fahrzeugen mit höherer Motorleistung weitergeführt. Die Zusammensetzung verändert sich jedoch insgesamt nur unwesentlich.

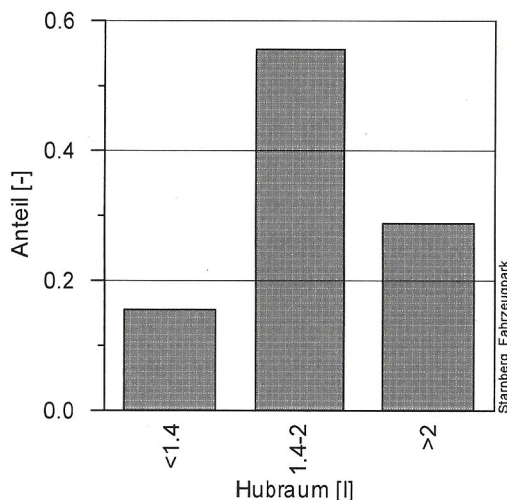


Abbildung 2.5: Anteile der Motorgrößen bei den Personenwagen

Bei den schweren Nutzfahrzeugen stellen die Lastwagen unter 7.5 t zulässigem Gesamtgewicht mit etwas über 35% den größten Anteil. Den zweitgrößten Anteil haben mit etwa 20% Lastzüge und Sattelzüge mit einem zulässigen Gesamtgewicht zwischen 34 und 40 t.

Die Verkehrszusammensetzung variiert je nach der Verkehrssituation, die im Handbuch gewählt wird. Die Diagramme sind für die Situation IO\_HVS2, d.h. eine Verkehrssituation innerhalb einer Ortschaft angegeben, einer vorfahrtsberechtigten Ortsdurchfahrt mit leichten Störungen (Ampelanlage mit grüner Welle bei über 50 km/h). Diese Verkehrssituation wird in der Emissionsrechnung für die Oberflächenstraßen angenommen.

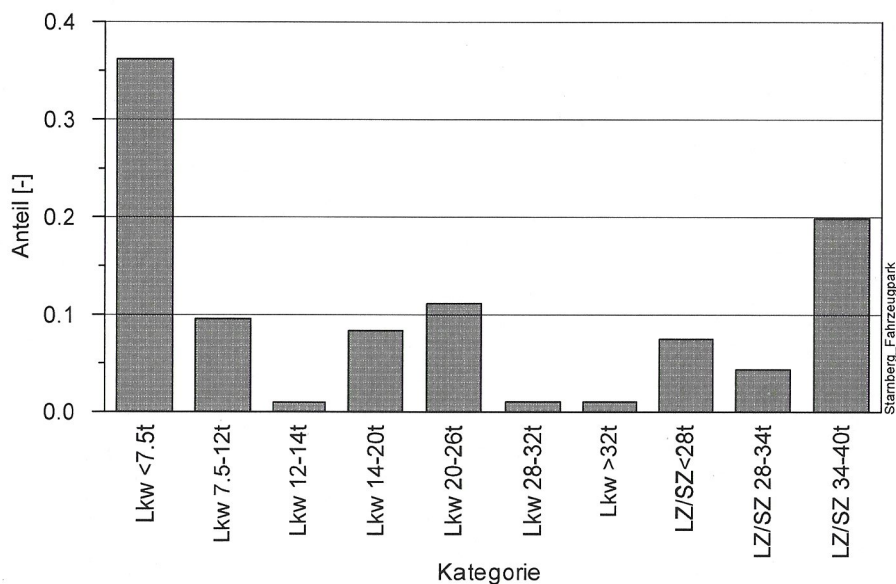


Abbildung 2.6: Zusammensetzung der schweren Nutzfahrzeuge SNF aus Lastwagen, Lastzügen und Sattelzügen

### 2.7.3 Entwicklung der Emissionsfaktoren

Die aus lufthygienischer Sicht wichtigsten Stickstoffverbindungen in der Atmosphäre sind die beiden Verbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>). Die Summe

der beiden Substanzen wird als  $\text{NO}_x$  bezeichnet. Stickoxidemissionen entstehen beim Verbrennen fossiler Brenn- und Treibstoffe, insbesondere bei hohen Verbrennungstemperaturen, aus dem atmosphärischen Stickstoff und Sauerstoff. Die Stickoxide werden zu 90 bis 99% als Stickstoffmonoxid emittiert, welches in der Folge in der Atmosphäre relativ rasch in das giftigere Stickstoffdioxid umgewandelt wird [3].

Das Maximum der Stickoxidemissionen wurde Mitte der 80er Jahre erreicht (Deutschland einschließlich DDR 1986: 3'511'000 t). Seither sind die jährlichen Stickoxidemissionen rückläufig, sie betragen 1999 noch 1'676'000 t [6].

Für die negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt ist insbesondere das Stickstoffdioxid verantwortlich. Es begünstigt zusammen mit anderen Reizgasen Atemwegserkrankungen. Darüber hinaus sind Stickoxide wichtige Vorläufersubstanzen für die Bildung von bodennahem Ozon und von sauren Niederschlägen.

Der Prognosewert für  $\text{NO}_x$ -Fahrzeugemissionen enthält Annahmen über die Zusammensetzung des Fahrzeugkollektivs bezüglich Altersstruktur, tatsächlicher Emission der neuen Fahrzeuge und Alterungseinflüssen, insbesondere der Katalysatoren der Pkw. Die Emissionen steigen mit wachsender Motordrehzahl. Die Entwicklung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen bei einem Anteil der schweren Nutzfahrzeuge von 10% ist in Abbildung 2.7 dargestellt. Der starke Rückgang der Emission zwischen 2000 und 2015 um etwa 60% entsteht vor allem durch die Einführung neuer Emissionsstandards.

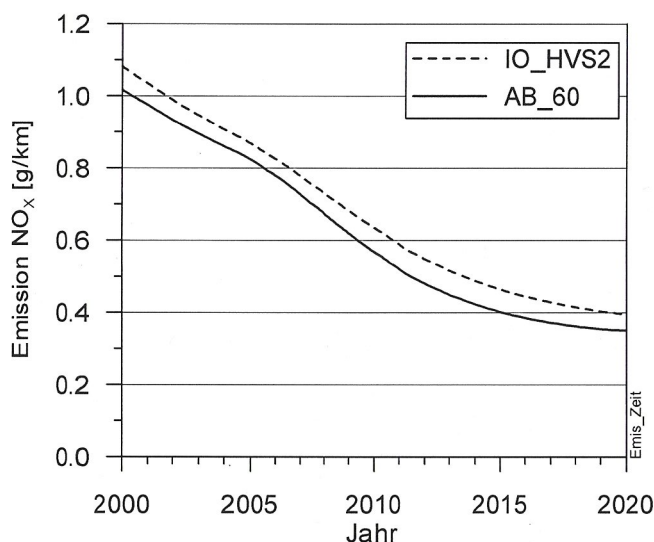


Abbildung 2.7: Entwicklung der  $\text{NO}_x$ -Emission [5] für ein mittleres Fahrzeug mit 10% SNF

Ausgehend von der Fahrsituation IO\_HVS2 (siehe Abschnitt 2.7.1) ergeben sich die Emissionsfaktoren für Stickoxide wie folgt:

		Steigung	Pkw	SNF
Prognose 2012	Tunnel	$\pm 4\%$	0.177 g/km	4.778 g/km
	Oberfläche	0%	0.141 g/km	4.219 g/km

Tabelle 2.8:  $\text{NO}_x$ -Emissionen für 2012 je Fahrzeug

Partikelförmige Schadstoffe in der Atmosphäre kommen in sehr unterschiedlicher Größe vor. Aus lufthygienischer Sicht interessiert insbesondere der lungengängige Feinstaub. Die Zusammensetzung der Stäube ist sehr variabel. Sie können zahlreiche anorganische (z.B. Schwermetalle, Sulfat) und organische Verbindungen (z.B. polyzyklische aromatische

Kohlenwasserstoffe) enthalten. Zu den Stäuben zählen auch Russpartikel, die vorwiegend aus Kohlenstoff bestehen.

Als Ursache für die Staubbelastung in der Atmosphäre kommen sowohl motorisierter Verkehr, Feuerungen und Industrie, als auch natürliche Quellen (z.B. Blütenstaub, vom Boden aufgewirbelter Staub) in Frage. Große Staubpartikel sinken zu Boden und werden als Staubniederschlag wahrgenommen. Feinste Staubpartikel mit geringer Sinkgeschwindigkeit in Luft werden als Schwebstaub wahrgenommen. Werden nur lungengängige Staubpartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 µm betrachtet, so spricht man vom Schadstoff PM10 (particulate matter < 10 µm, thorakale Fraktion des Schwebstaubs).

Die Staubemissionen insgesamt sind in Deutschland in den 90er Jahren um nahezu 1.6 Mio. t zurückgegangen. Dieser Trend ist das Ergebnis der Stilllegung der veralteten Feuerungs- und Industrieanlagen, der Einführung moderner Entstaubungsanlagen in den Kraft- und Fernheizkraftwerken in den neuen Bundesländern sowie der Umstellung von festen auf emissionsärmere flüssige und gasförmige Brennstoffe bei den Kleinf Feuerungsanlagen.

In den Angaben in Abbildung 2.8 sind allerdings die Aufwirbelung und der Abrieb von der Straßenoberfläche durch den Straßenverkehr als auch der Abrieb der Reifen und Bremsen nicht enthalten. Die PM10-Emissionen aus Reifenabrieb werden mit ca. 7000 t/a angegeben, der Bremsabrieb mit 5500 bis 8500 t/a [7]. Bis zum Jahr 2012 wird der Anteil der motorischen PM10-Emissionen an den gesamten PM10-Emissionen des Verkehrs weiter sinken.

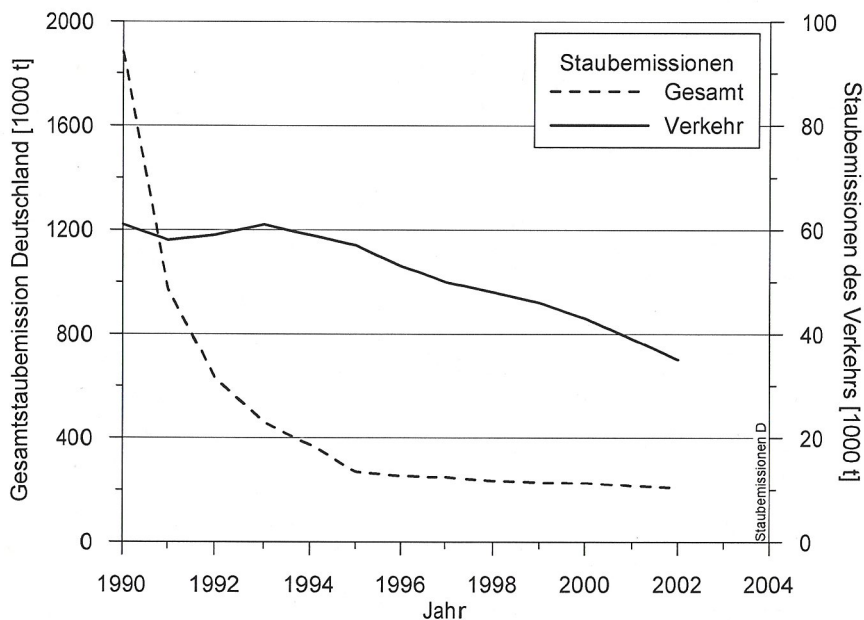


Abbildung 2.8: Entwicklung der Feinstaubemissionen in Deutschland [7]

Der Grenzwert für den Jahresmittelwert von PM10 von 40 µg/m<sup>3</sup> wird heute dennoch noch nicht bundesweit eingehalten. Im Jahresbericht des BayLfU für das Jahr 2002 sind für die Messstation München, Stachus mit 41 µg/m<sup>3</sup> und für die Station Augsburg, Königsplatz mit 44 µg/m<sup>3</sup> die höchsten PM10-Konzentrationen angegeben [8].

Da die Reduktionspotentiale für Staubemission im letzten Jahrzehnt weitgehend ausgeschöpft sind, ist auch zu erwarten, dass die Staubkonzentrationen in der Luft nur noch sehr langsam abnehmen werden. Die Belastung durch Feinstaub wird heute im zuneh-

menden Maße durch die Beiträge des Ferntransports und der natürlichen Emissionen bestimmt [4].

Das Handbuch Emissionsfaktoren [5] gibt für die Fahrzeuge nur die motorischen Partikelemissionen an. Es kann angenommen werden, dass diese motorischen Emissionen vollständig dem lungengängigen Feinstaub PM10 zuzuordnen sind.

Die motorischen Emissionen können auf Prüfständen gemessen werden. Über den Einfluss von Reifen-, Straßen- und Bremsenabrieb auf die PM10-Emissionen liegen bedeutend weniger Messdaten vor. Neue Messdaten [10] deuten darauf hin, dass die Reifenemissionen in den letzten Jahren stark überschätzt wurden. Diese Daten sind in die Neufassung der MLuS von 2005 [2] eingegangen und werden im vorliegenden Gutachten verwendet.

Fahrzeugtyp		PM10-Emissionen
Personenwagen	Oberflächenverkehr	0.022 g/km
	Tunnel	0.010 g/km
Schwere Nutzfahrzeuge	Oberflächenverkehr	0.200 g/km
	Tunnel	0.200 g/km

Tabelle 2.9: PM10-Emissionen je Fahrzeug aus Abrieb und Aufwirbelung [2]

Die verwendeten PM10-Emissionsfaktoren einschließlich Abrieb für den Tunnelabschnitt und den Oberflächenverkehr sind in Tabelle 2.10 angegeben.

		Steigung	Pkw	SNF
Abrieb	IO_HVS2	0%	0.0220 g/km	0.2000 g/km
	Im Tunnel	±4%	0.0100 g/km	0.2000 g/km
Motorische Emission	IO_HVS2	0%	0.0054 g/km	0.1119 g/km
	Im Tunnel	±4%	0.0047 g/km	0.0610 g/km
Summe der PM10-Emissionen	IO_HVS2	0%	0.0274 g/km	0.3119 g/km
	Im Tunnel	±4%	0.0147 g/km	0.2610 g/km

Tabelle 2.10: PM10-Emissionen für 2015 je Fahrzeug mit Abrieb und Auswirbelung

## 2.8 Ausbreitungsmeteorologie

Für die Ausbreitungsrechnungen werden die Winddaten verwendet, die bereits im bestehenden Immissionsgutachten [1] dokumentiert sind. Die Daten wurden aus lokalen Messungen generiert. Für die Immissionsberechnung muss ein Winddatensatz über ein ganzes Jahr vorliegen. Da die Messungen nur während etwas mehr als zwei Monaten durchgeführt wurden, wurden die Winddaten unter Verwendung der vollständigen Messreihe der Station München Riem auf ein ganzes Jahr erweitert. Es wurden pro Standort und Monat die Verhältniszahlen zwischen Starnberger Messungen und Riem-Messungen gebildet und die restlichen Starnberger Messungen aus den monatlichen Verhältniszahlen der Riem-Messungen extrapoliert.

Das Gelände bei den Portalen des Tunnels Starnberg ist geprägt durch die hügelige Umgebung, vor allem westlich des Tunnels. Die Höhenunterschiede zwischen Kamm- und Tallage gehen aber nicht über 40 bis 50 m hinaus. Bei den eher flachen Hangneigungen im Westen ist mit keinen wesentlichen Veränderungen in der Windgeschwindigkeit gegenüber den Messungen am Flughafen Riem zu rechnen. Die ausgeprägte Flanke auf der Ostseite des Hügelzuges führt Winde aus dem Nord-Südsektor stärker.

Die Messungen in Starnberg erfolgten zwischen dem 21.3. und 31.5.1989 an der Münchenstraße (Nordportal) und an der Weilheimerstraße (Südportal). Die Messungen Schlossberg, die ebenfalls in [1] dokumentiert sind, wurden für die Ausbreitungsberechnung der

Kaminabluft verwendet. Da für die Berechnung ein Kaminbetrieb zwischen 7 und 19 Uhr angenommen wurde, ist nur die Tagwindrose maßgebend. Die Winddaten, die der Ausbreitungsrechnung zugrunde liegen, sind in Anhang B: Winddaten dokumentiert.

## 2.9 Lüftungskonzept

Die Beschreibung des Lüftungssystems für den Entlastungstunnel Starnberg ist im Immissions- und Lüftungsgutachten [1] zusammengestellt. Als Alternativen wurden für den Normalbetrieb eine durchgehende Längslüftung und eine Längslüftung mit Absaugung in Tunnelmitte untersucht. Für die Rauchabsaugung bei Brand im Tunnel ist eine lokale Rauchabsaugung mit Abluftkanal und einzeln steuerbaren Abluftklappen notwendig.

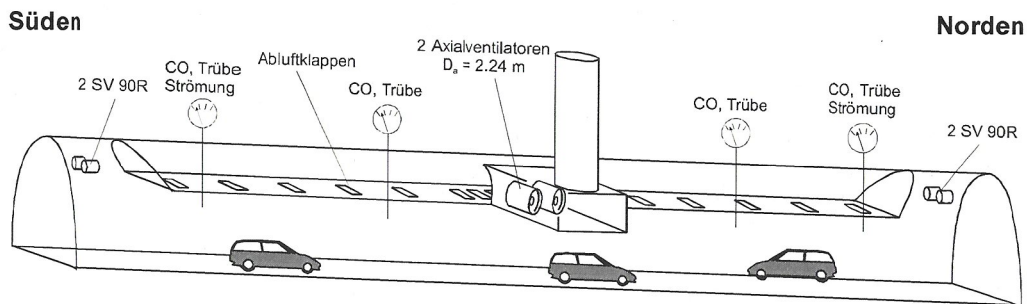


Abbildung 2.9: Schematische Darstellung des Lüftungskonzepts für den Tunnel Starnberg

Die weitere Planung basiert auf dem System der Mittenabsaugung. Dieses Lüftungssystem bietet die Möglichkeit, die an den Portalen austretende Abluftmenge zu minimieren und damit die Portalzonen vor übermäßigen Schadstoffeinträgen zu schützen. Bei der Längslüftung durch Mittenabsaugung wird durch die Tunnelportale Frischluft angesaugt. Die Luft wird längs durch den Tunnel geführt und in Tunnelmitte aus dem Tunnel abgesaugt. Die Abluft wird über einen Kamin in die Atmosphäre ausgestoßen.

Die Abluftmenge beträgt insgesamt  $230 \text{ m}^3/\text{s}$  an zwei parallel angeordneten Abluftventilatoren. Für die Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeit bei einem Brand sind im Verkehrsraum vier reversible Strahlventilatoren angeordnet.

## 3 Numerische Ausbreitungsrechnung mit MISKAM

### 3.1 Methodik der Immissionsberechnung

MISKAM (Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell) ist ein dreidimensionales Strömungs- und Ausbreitungsmodell für die kleinräumige Prognose von Windverteilung und Konzentrationen in städtischen Gebieten. Das Programm wurde von Dr. Eichhorn (Gutenberg Universität Mainz) entwickelt und validiert. Eine ausführliche Programmbeschreibung ist in [11] angegeben.

Die Validierung von MISKAM erfolgte anhand von Messdaten aus Windkanaluntersuchungen und Ergebnisse aus Feldmessungen. Ein Teil der Validierungsarbeit ist in [12] (Vergleich mit Windkanalmessungen und anderen Rechenprogrammen) und [13] (Vergleich mit Windkanalmessungen, Feldversuchen und anderen Rechenprogrammen) dokumentiert.

WinMISKAM [14] ist eine Windows-Applikation, welche eine komfortablere Verwendung von MISKAM auf unter Windows betriebenen Rechnern erlaubt. Der Rechenkern besteht aus der aktuellen MISKAM Version, was die vollständige Kompatibilität mit den Ergebnissen von MISKAM garantiert.

Die Strömungsberechnung basiert auf einer numerischen Lösung der inkompressiblen, dreidimensionalen Navier-Stokes-Gleichungen in einem karthesischen Koordinatensystem. Die Bebauung sowie alle anderen wesentlichen geometrischen Eigenschaften vom Ausbreitungsgebiet müssen im Berechnungsgitter dargestellt werden. Kleine, nicht explizit aufgelöste Einzelheiten können durch eine geeignete Rauigkeitsverteilung erfasst werden.

Zur Berechnung vom turbulenten Austausch sind zwei Turbulenzmodelle implementiert, ein „k-Modell“ und das k- $\epsilon$  (bzw. E- $\epsilon$ ) Modell. Letzteres ist rechnerisch wesentlich anspruchsvoller, gestattet aber eine realistischere Modellierung der komplexen dreidimensionalen Strömungsvorgänge bei komplexer Bebauung. Für die Ausbreitungsrechnungen, die in diesem Bericht dokumentiert sind, wurde nur mit dieser Variante gearbeitet.

Die Berechnung der Schadstoffausbreitung basiert auf den dreidimensionalen Transportgleichungen, welche Advektion und turbulente Diffusion von Schadstoffen berücksichtigen. MISKAM gestattet nur die Ausbreitungsrechnung inerter Schadstoffe. Chemische Reaktionen werden nicht betrachtet. Die Oxidation von NO zu NO<sub>2</sub> muss daher separat berechnet werden. Die Umrechnung erfolgt mit dem Ansatz von Romberg [9]. Straßen und Tunnelportale werden als Linien- bzw. als Volumenquellen modelliert. Die Quellstärke hängt vom Verkehr (Geschwindigkeit, Schwerverkehrsanteil, Verkehrszusammensetzung, Bezugsjahr usw.) und von den spezifischen Fahrzeugemissionen ab.

MISKAM gestattet die Berechnung von Einzelepisoden. Mit Episode bezeichnet man dabei eine vorgegebene Kombination aus Windrichtung, Windstärke und Emission, das dazugehörige Strömungsfeld und die Schadstoffverteilung. Einzelepisoden müssen zur Bestimmung von Jahresmittelwerten und Perzentilen statistisch ausgewertet werden. Für dieses Gutachten wurden die in WinMISKAM implementierten Auswerteroutinen verwendet. Die Auswertung von WinMISKAM erlaubt keine Berücksichtigung der Tagesgänge von Verkehr und Wind.

Die Anzahl Einzelepisoden, welche für eine zuverlässige Immissionsprognose berücksichtigt werden müssen, ist stark von der Konfiguration abhängig. Theoretisch sollten Berechnungen für alle an einem Ort auftretende Kombinationen von Windgeschwindigkeit, Richtung und Stabilitätsklasse durchgeführt werden. Es zeigt sich aber, dass Windgeschwindigkeiten sich in diesem Fall sehr genau skalieren lassen, und dass der Einfluss der atmosphärischen Stabilitätsbedingungen bei kleinräumigen Berechnungen und dichter Bebauung klein ist. Testrechnungen von Bigalke [15] deuten darauf hin, dass die Berücksichtigung von 12 Windrichtungen in städtischen Gebieten schon zu recht guten Ergebnissen



führen kann, und dass für eine grobe Abschätzung von Jahresmittelwerten sogar 4 Richtungen genügen. Um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erreichen wird für die Immissionsprognose für Starnberg mit 36 Windrichtungen gearbeitet.

## 3.2 Genauigkeit der Immissionberechnung

Trotz der hohen Benutzerfreundlichkeit, erfordert die Anwendung von MISKAM Erfahrung, sowohl in der Beurteilung der Schadstoffausbreitung als auch von der numerischen Seite. Ungenügende Sorgfalt im Umgang mit dem Modell kann zu (qualitativ und quantitativ) falschen Aussagen führen. Zu den kritischen Elementen bei der Durchführung einer typischen Immissionsberechnung mit MISKAM gehören die richtige Wahl von Immissions- und Emissionsperimeter, die Qualität des Rechengitters, die Bestimmung der Quellstärke anhand der spezifischen Emissionsfaktoren und des Verkehrs, die Modellierung der Portalquellen, die Qualität der vorhandenen meteorologischen Daten und die statistische Auswertung der Ergebnisse.

Im Rahmen eines Europäischen Forschungsprogramms durchgeführte Validierungsrechnungen [13] geben Hinweise auf die quantitative Genauigkeit. Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass bei Ausbreitungsrechnungen mit MISKAM mit punktuellen Abweichungen von 20 bis 30% zwischen Messung und Berechnung ausgegangen werden muss.

## 3.3 Berechnung der Tagesmittelwerte PM10

Der Grenzwert für den Tagesmittelwert von PM10 beträgt  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Er darf während 35 Tagen im Jahr überschritten werden. Es erscheint daher sinnvoll, die Anzahl der Überschreitungen des Grenzwertes zu prognostizieren. Diese Anzahl kann aus dem Jahresmittelwert berechnet werden, indem eine ähnliche statistische Verteilungsfunktion für typische Ausbreitungssituationen angenommen wird. Dabei kommt z.B. in der MLuS-2005 [2] eine Umrechnungsfunktion zur Anwendung, die in Abbildung 3.1 dargestellt ist. Messungen des Landesamtes für Umweltschutz Baden-Württemberg aus dem Jahr 2002 [16] zeigen, dass an den meisten Orten die Anzahl der Überschreitungen geringer war, als eine Bestimmung mit der Umrechnung nach MLuS-2005 ergeben würde. Die Messpunkte in Abbildung 3.1 liegen unter der Kurve.

Messungen des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz zeigen ebenfalls, dass die Berechnungsfunktion der MLuS-2005 eine zu hohe Anzahl Überschreitungen ergibt. Die in [17] angegebene Berechnungsfunktion zeigt hingegen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Messdaten.

Der Zusammenhang zwischen dem Jahresmittelwert der PM10-Belastung und der Anzahl Überschreitungen des Grenzwertes für das Tagesmittel von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lässt sich ableiten als

$$\text{Anzahl Überschreitungen} = 0.0007 \times \text{Jahresmittelwert}^{3.1523}$$

Diese Formel wird im vorliegenden Gutachten verwendet.

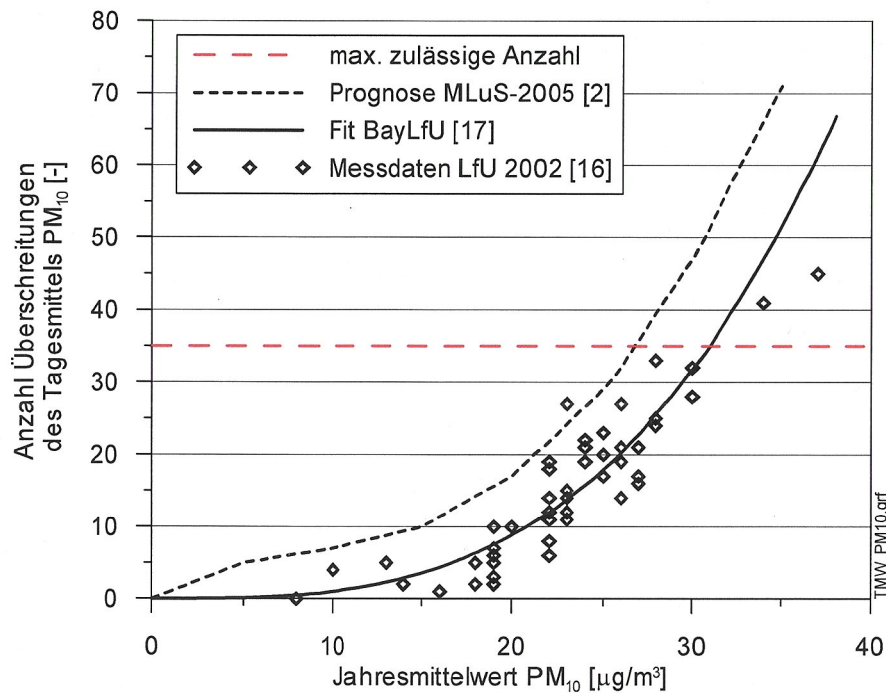


Abbildung 3.1: Zusammenhang zwischen Jahresmittelwert PM<sub>10</sub> und der Anzahl Überschreitungen des Tagesmittels  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Ansatz MLuS-2005 [2], Messdaten 2002 [16], Ansatz des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz [17]

### 3.4 Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung

Die Resultate der Immissionsprognosen sind als Immissionskarten im Anhang D: Immissionskarten enthalten. Seite 51 zeigt im Überblick die berechneten Situationen. Die Abbildungen zeigen die Belastungen in den Portalbereichen. Der dargestellte Bereich ist ein Ausschnitt aus dem Rechengebiet. Das Rechengebiet geht allseitig deutlich über den direkten Einflussbereich der Emissionen aus dem Tunnel hinaus.

Die Immissionskonzentrationen werden für eine Höhe von 1.5 m über Boden dargestellt. Da die Emissionen des Straßenverkehrs dicht über dem Boden freigesetzt werden, nimmt die Schadstoffbelastung mit zunehmendem Abstand vom Boden ab. Für eine einzelne Ausbreitungssituation ist dies in Abbildung 3.2 dargestellt. Das obere Diagramm zeigt die Geschwindigkeitsverteilung bei Seitenwind. Deutlich ist das Strömungsprofil mit geringer Strömung am Boden sichtbar. Stromab des Gebäudes bildet sich ein Lee-Wirbel aus.

Das untere Diagramm zeigt qualitativ die Schadstoffverteilung in dieser Situation. Die Straße verläuft senkrecht zur Bildebene. Die Straßenränder liegen bei  $x = 90 \text{ m}$  und  $x = 110 \text{ m}$ . Unmittelbar auf der Straße ergibt die Berechnung die höchsten Konzentrationen. Bereits in einer Höhe wenigen Metern über der Straße ist die Konzentration bedeutend geringer. Auch am Gebäude nimmt die Konzentration mit der Höhe ab.

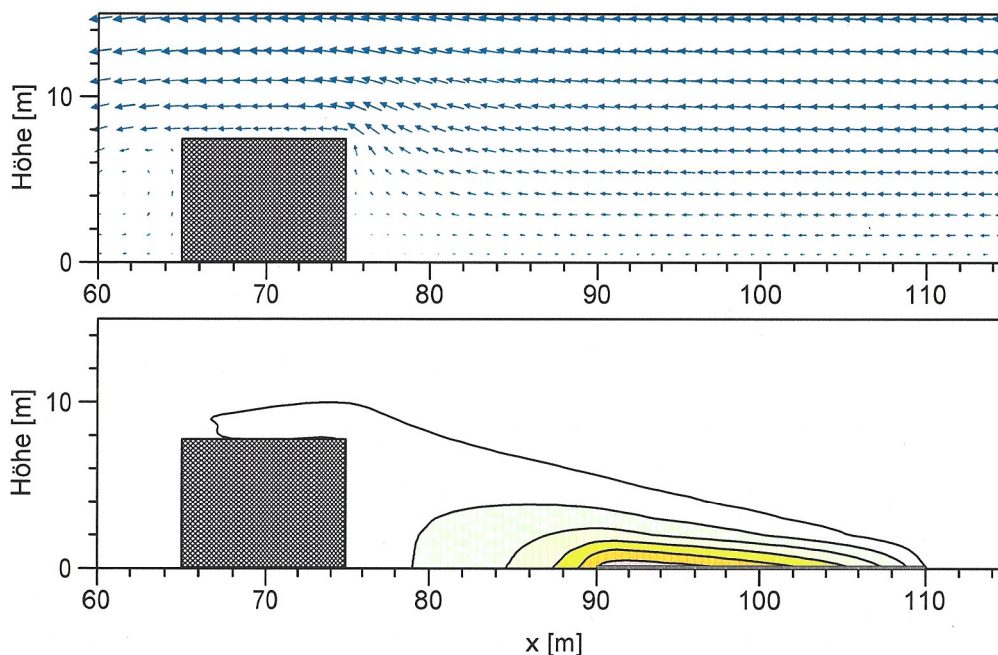


Abbildung 3.2: Einzelne Ausbreitungssituation bei Wind senkrecht zur Straße

### 3.4.1 Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>

Abbildung 10.1 zeigt die Prognose des Jahresmittelwertes der Stickstoffdioxid-Gesamtbelastung in der Umgebung des Nordportals im Jahr 2012. Im Bereich der offenen Straße östlich des Tunnelportals wird an den der Straße zugewandten Fassaden der Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erreicht oder überschritten. Auf der Seite, die von der Straße abgewandt ist, wird der Grenzwert eingehalten. Entlang der Münchner Straße westlich des Tunnelportals ist die Schadstoffkonzentration etwas geringer. An den Fassaden entlang der Straße liegen die berechneten Konzentrationen dennoch bei etwa  $40$  bis  $42 \mu\text{gNO}_2/\text{m}^3$ , bis etwa 5% über dem Beurteilungswert, da die Bebauung an diesem Abschnitt näher an die Straße heranreicht.

Der Einflussbereich der Portalabluft ist lokal begrenzt. Er umfasst den Bereich zwischen der Kreuzung der Münchner Straße und der Leutstettner Straße bis zur Bahnlinie. Für die Beurteilung wirkt sich günstig aus, dass die Bebauung gerade im Einflussbereich der Portalabluft einen relativ großen Abstand von der Straße aufweist.

Abbildung 10.2 zeigt die Prognose des Jahresmittelwertes der Stickstoffdioxid-Gesamtbelastung in der Umgebung des Südportals im Jahr 2012. Entlang der offenen Straße östlich des Einflussbereichs der Portalabluft liegen die Konzentrationen deutlich tiefer als in der Umgebung des Nordportals. Dies ist auf das geringere Verkehrsaufkommen in der Weilheimerstraße zurückzuführen. Am Portal selbst ergibt die Berechnung, dass auf einer Länge von etwa 130 m bis zu einem Straßenabstand von etwa 22 m der Beurteilungswert  $40 \mu\text{gNO}_2/\text{m}^3$  erreicht und überschritten werden kann. Für die umliegende Wohnbebauung ergibt die Prognose keine Überschreitungen der Belastung durch Stickoxide. An zwei Gebäuden am Heimstättenweg wird mit etwa  $37 \mu\text{gNO}_2/\text{m}^3$  der Grenzwert jedoch nur um weniger als 10% unterschritten.

Abbildung 10.3 zeigt die Situation aus Abbildung 10.1, jedoch mit einer Verringerung der Portalquelle um 80%. Der überwiegende Teil der Emissionen wird über die Lüftungszentrale aus dem Tunnel abgesaugt und über den Kamin in die Atmosphäre ausgestoßen. Dies entspricht etwa einem Abluftbetrieb von 12 Stunden täglich. Die Absaugung hat auf die Bebauung entlang der Münchner Straße westlich des Tunnelportals und östlich der

Bahnlinie praktisch keinen Einfluss. Die wesentliche Entlastung bleibt auf den Abschnitt zwischen Leutstettner Straße und Bahnlinie beschränkt. Dort wird der Grenzwert an der Bebauung knapp eingehalten.

Abbildung 10.4 zeigt die Situation aus Abbildung 10.2 mit Betrieb der Portalluftabsaugung. Die Überschreitung des Grenzwerts bleibt auf den unmittelbaren Straßenbereich beschränkt. Die Wirkung der Absaugung bei der Bebauung ist gering, da sich die meisten Gebäude außerhalb des Einflussbereiches der Portalabluft befinden. Lediglich für die beiden portalnahen Gebäude am Heimstättenweg ist eine merkliche Entlastung zu erwarten.

Abbildung 10.5 und Abbildung 10.6 zeigen den Einflussbereich der Portalabluft. Sie stellen die Differenz der Abbildungen 10.3 und 10.1 bzw. 10.4 und 10.2 dar. An beiden Portalen ist die stärkste Verminderung der Schadstoffkonzentrationen im unmittelbaren Straßenbereich und in Straßennähe zu erwarten. Am Nordportal liegen einige Gebäude zwischen Leutstettner Straße und Bahnlinie im Bereich einer Entlastung um 6 bis 15  $\mu\text{gNO}_2/\text{m}^3$  im Jahresmittel. Am Südportal sind an der Bebauung Entlastungen zwischen 3 und 8  $\mu\text{gNO}_2/\text{m}^3$  zu erwarten. Die stärkste Entlastung am Südportal ergibt sich wiederum bei den zwei portalnahen Gebäuden am Heimstättenweg. Die Entlastungswirkung ist für das Bezugsjahr 2012 dargestellt. Mit sinkenden Fahrzeugemissionen ist in späteren Jahren mit einem geringeren Einfluss der Portalluftabsaugung zu rechnen.

Abbildung 10.17 und Abbildung 10.18 zeigen die Situation aus Abbildung 10.3, d.h. die Immission am Nordportal des Tunnels durch  $\text{NO}_2$  im Jahresmittelwert, wobei 80% der Emissionen aus dem Tunnel über den Kamin ausgestoßen werden. Zusätzlich wurde die Vorbelastung in diesen Immissionskarten gegenüber Abbildung 10.3 um 2 und 4  $\mu\text{gNO}_2/\text{m}^3$  auf 22 bzw. 20  $\mu\text{gNO}_2/\text{m}^3$  vermindert angenommen. Die Verringerung der Vorbelastung wirkt sich wegen der Oxidationsreaktion von  $\text{NO}$  zu  $\text{NO}_2$  in der Atmosphäre nicht direkt auf die Gesamtbelastung aus. Sie wirkt stärker bei geringen  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen und abgeschwächt bei hohen Konzentrationen. Die Abbildungen sollen den Einfluss einer günstiger angenommenen Vorbelastung aufzeigen.

Der Vergleich der Immissionskarten zeigt, dass bei geringerer Vorbelastung die Kurve, die eine Konzentration von 28  $\mu\text{gNO}_2/\text{m}^3$  anzeigt, deutlich näher an den Quellen verläuft. Die 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Kurve verschiebt sich hingegen kaum. Dies ist – neben dem Einfluss der Oxidationsrate  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  – auf die starken Konzentrationsgradienten in unmittelbarer Nähe der modellierten Quellen zurückzuführen.

Die Ausbreitungsrechnung ergibt für das Südportal des Tunnels Starnberg im Jahr 2012 keine Überschreitungen des Beurteilungswertes für Stickstoffdioxid. Lediglich an zwei Gebäuden ist eine Schadstoffkonzentration zu erwarten, die bis etwa 8% an den Grenzwert heranreichen kann. Durch eine Verminderung der Portalabluft kann die Konzentration an diesen Gebäuden merklich gesenkt werden. Am Nordportal ist die Konzentration von Stickstoffdioxid durch die offenen Straßen und durch die Vorbelastung bereits am oder etwas über dem Grenzwert. Im lokal begrenzten Einflussbereich der Portalabluft zwischen Leutstettner Straße und Bahnlinie kann die Belastung an der Bebauung durch eine Verringerung der Portalabluft (Betrieb der Mittenabsaugung) merklich gesenkt werden.

### 3.4.2 Jahresmittelwerte Feinstaub PM10

Abbildung 10.7 zeigt die Prognose des Jahresmittelwertes der PM10-Gesamtbelastung in der Umgebung des Nordportals im Jahr 2012. Im Bereich der offenen Straße östlich der Bahnlinie beträgt die Konzentration zwischen 26 und 37  $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ . Die Konzentrationen liegen damit unter dem Grenzwert von 40  $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ . In der Münchner Straße westlich der Leutstettner Straße liegen die Konzentrationen mit 26 bis 30  $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$  ebenfalls deutlich unter dem Grenzwert. Im Einflussbereich der Portalabluft zwischen Leutstettner Straße und Bahnlinie sind die Konzentrationen im Straßenbereich deutlich höher. Bedingt durch den größeren Abstand der Bebauung von der Straße sind allerdings auch in diesem Abschnitt an der Bebauung Konzentrationen nicht über 31  $\mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$  zu erwarten.

Abbildung 10.8 zeigt die Prognose des Jahresmittelwertes der PM10-Gesamtbelastung in der Umgebung des Südportals im Jahr 2012. Entlang der offenen Straße östlich des Einflussbereichs der Portalabluft liegen die Konzentrationen deutlich tiefer als in der Umgebung des Nordportals. Dies ist auf das geringere Verkehrsaufkommen in der Weilheimer Straße zurückzuführen. Am Portal selbst ergibt die Berechnung, dass im unmittelbaren Straßenbereich Konzentrationen von  $33 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$  erreicht werden. An zwei Gebäuden am Heimstättenweg, die dem Portal am nächsten liegen, wird mit etwa  $25 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$  der Grenzwert deutlich unterschritten.

Abbildung 10.9 zeigt die Situation aus Abbildung 10.7, jedoch mit einer Verringerung der Portalquelle um 80%. Der überwiegende Teil der Emissionen wird über die Lüftungszentrale aus dem Tunnel abgesaugt und über den Kamin in die Atmosphäre ausgestoßen. Dies entspricht etwa einem Abluftbetrieb von 12 Stunden täglich. Die Absaugung hat auf die Bebauung entlang der Münchner Straße westlich des Tunnelportals und östlich der Bahnlinie praktisch keinen Einfluss. Die wesentliche Entlastung bleibt auf den Abschnitt zwischen Leutstettner Straße und Bahnlinie beschränkt. Am Straßenrand sind PM10-Konzentrationen bis  $34 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$  zu erwarten. An der Bebauung selbst ist die Entlastung durch den Betrieb der Mittenabsaugung gering.

Abbildung 10.10 zeigt die Situation aus Abbildung 10.8 mit Betrieb der Portalluftabsaugung. Im gesamten Untersuchungsgebiet wird der Grenzwert sicher eingehalten. Die Wirkung der Absaugung ist an der Bebauung jedoch gering, da sich die Gebäude überwiegend außerhalb des Einflussbereiches der Portalabluft befinden.

Abbildung 10.11 und Abbildung 10.12 zeigen den Einflussbereich der Portalabluft. Sie stellen die Differenz der Abbildungen 10.9 und 10.7 bzw. 10.10 und 10.8 dar. An beiden Portalen ist die stärkste Verminderung der Schadstoffkonzentrationen im unmittelbaren Straßenbereich zu erwarten. Am Nordportal liegt ein Gebäude zwischen Leutstettner Straße und Bahnlinie im Bereich einer Entlastung um  $3 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$  im Jahresmittel. Am Südportal ist an der Bebauung kaum eine Entlastung zu erwarten. An den nächstgelegenen Gebäuden am Heimstättenweg ergibt die Prognose eine Entlastung von etwa  $2 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$ , d.h. 5% des Grenzwertes. Die Entlastungswirkung ist für das Bezugsjahr 2012 dargestellt. Mit sinkenden Fahrzeugemissionen ist in späteren Jahren mit einem geringeren Einfluss der Portalluftabsaugung zu rechnen.

Die Ausbreitungsrechnung ergibt für beide Portale des Tunnels Starnberg im Jahr 2012 keine kritische Belastung durch PM10 im Jahresmittel. Mit einem Betrieb der Mittenabsaugung zur Minderung der Portalimmissionen kann an der Bebauung keine deutliche Verringerung erreicht werden.

### 3.4.3 Tagesmittelwerte Feinstaub PM10

Abbildung 10.13 zeigt die Prognose der Anzahl Überschreitungen des Tagesmittelwertes  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  der PM10-Gesamtbelastung in der Umgebung des Nordportals im Jahr 2012. 35 Überschreitungen sind im Kalenderjahr zulässig. Im Bereich der offenen Straße östlich der Bahnlinie ist mit 25 bis über 35 Überschreitungen zu rechnen. An einzelnen Gebäuden liegt die Belastung gerade im Bereich des Grenzwertes. In der Münchner Straße westlich der Leutstettner Straße ist mit 20 bis 30 mit einer zulässigen Anzahl Überschreitungen des Grenzwertes zu rechnen. Im Einflussbereich der Portalabluft zwischen Leutstettner Straße und Bahnlinie sind die Anzahl Überschreitungen vor allem im Straßenbereich deutlich höher. Bedingt durch den größeren Abstand der Bebauung von der Strasse sind allerdings in diesem Abschnitt an der Bebauung nicht mehr als 25 bis 30 Überschreitungen zu erwarten. Die Belastung ist daher im zulässigen Bereich.

Abbildung 10.14 zeigt die Prognose der Anzahl Überschreitungen des Tagesmittelwertes  $50 \mu\text{gPM}_{10}/\text{m}^3$  der PM10-Gesamtbelastung in der Umgebung des Südportals im Jahr 2012. Das Gebiet mit mehr als 25 Überschreitungen des Grenzwertes beschränkt sich auf den unmittelbaren Straßenbereich. An zwei Gebäuden am Heimstättenweg, die dem Por-

tal am nächsten liegen, liegt die Belastung mit etwa 15 bis 20 Überschreitungen sicher im zulässigen Bereich.

Abbildung 10.15 zeigt die Situation aus Abbildung 10.13, jedoch mit einer Verringerung der Portalquelle um 80%. Der überwiegende Teil der Emissionen wird über die Lüftungszentrale aus dem Tunnel abgesaugt und über den Kamin in die Atmosphäre ausgestoßen. Dies entspricht etwa einem Abluftbetrieb von 12 Stunden täglich. Die Absaugung hat auf die Bebauung entlang der Münchner Strasse westlich des Tunnelportals und östlich der Bahnlinie praktisch keinen Einfluss. Die wesentliche Entlastung bleibt auf den Abschnitt zwischen Leutstettner Straße und Bahnlinie beschränkt. An der Bebauung ist mit einer etwas geringeren Anzahl Tage mit Überschreitungen des Grenzwertes für das Tagesmittel zu rechnen.

Abbildung 10.16 zeigt die Situation aus Abbildung 10.14 mit Betrieb der Portalluftabsaugung. Die Wirkung der Absaugung ist an der Bebauung gering, da sich die Gebäude außerhalb des Einflussbereiches der Portalabluft befinden. An zwei Gebäuden am Heimstättenweg, die dem Portal am nächsten liegen, sinkt die Belastung auf 10 bis 15 Überschreitungen des Grenzwertes für das Tagesmittel der PM10-Belastung.

Die Ausbreitungsrechnung ergibt für die Portale des Tunnels Starnberg im Jahr 2012 keine kritische Belastung durch PM10 im Tagesmittel. Mit einem Betrieb der Mittenabsaugung zur Minderung der Portalimmissionen kann an der Bebauung keine maßgebliche Verringerung erreicht werden.

## 7 Anhang A: Verkehrsdaten

Abbildung 7.1: Verkehrsprognose 2020 Südportal

Abbildung 7.2: Verkehrsprognose 2020 Nordportal I

Abbildung 7.3: Verkehrsprognose 2020 Nordportal II

Abbildung 7.4: Verkehrsprognose 2020 Nordportal ohne Entlastungstunnel I

Abbildung 7.5: Verkehrsprognose 2020 Nordportal ohne Entlastungstunnel II

B2 Tunnel Starnberg  
Bereich Süd / Prognose 2020  
Gutachten Prof. Dr.-Ing. Kurzak  
April 2003  
[Lkw/24h] [Lkw Tag/Nacht]

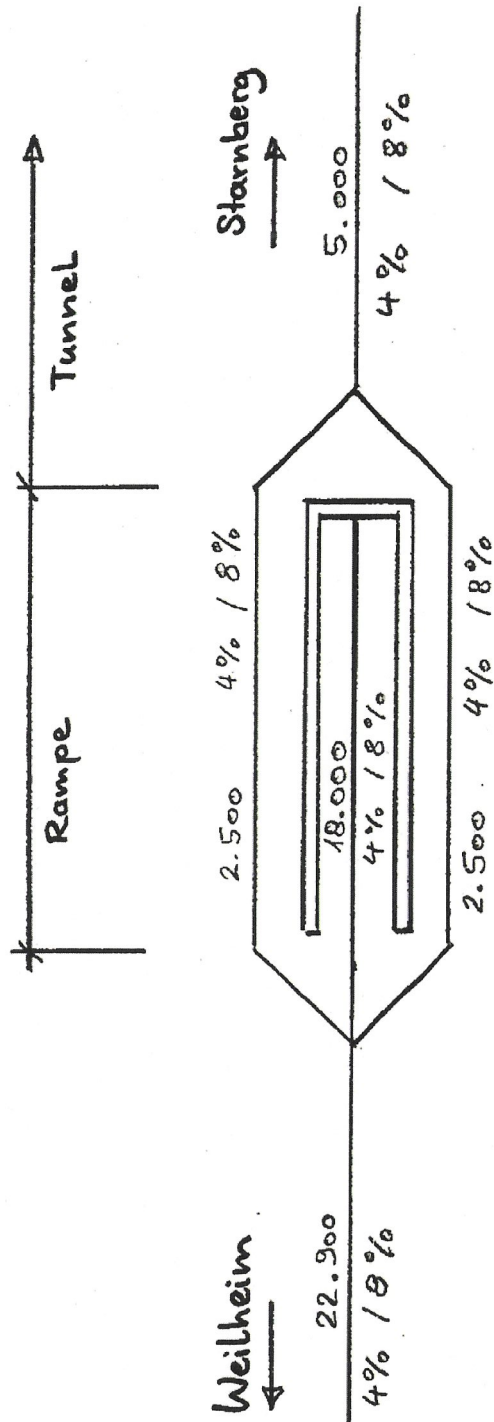


Abbildung 7.1: Verkehrsprognose 2020 Südportal



B2 Tunnel Starnberg  
Bereich Nord / Prognose 2020  
Gutachten Prof. Dr.-Ing. Kureak  
April 2003

[Kfz/24h] [LKW Tag / Nacht]

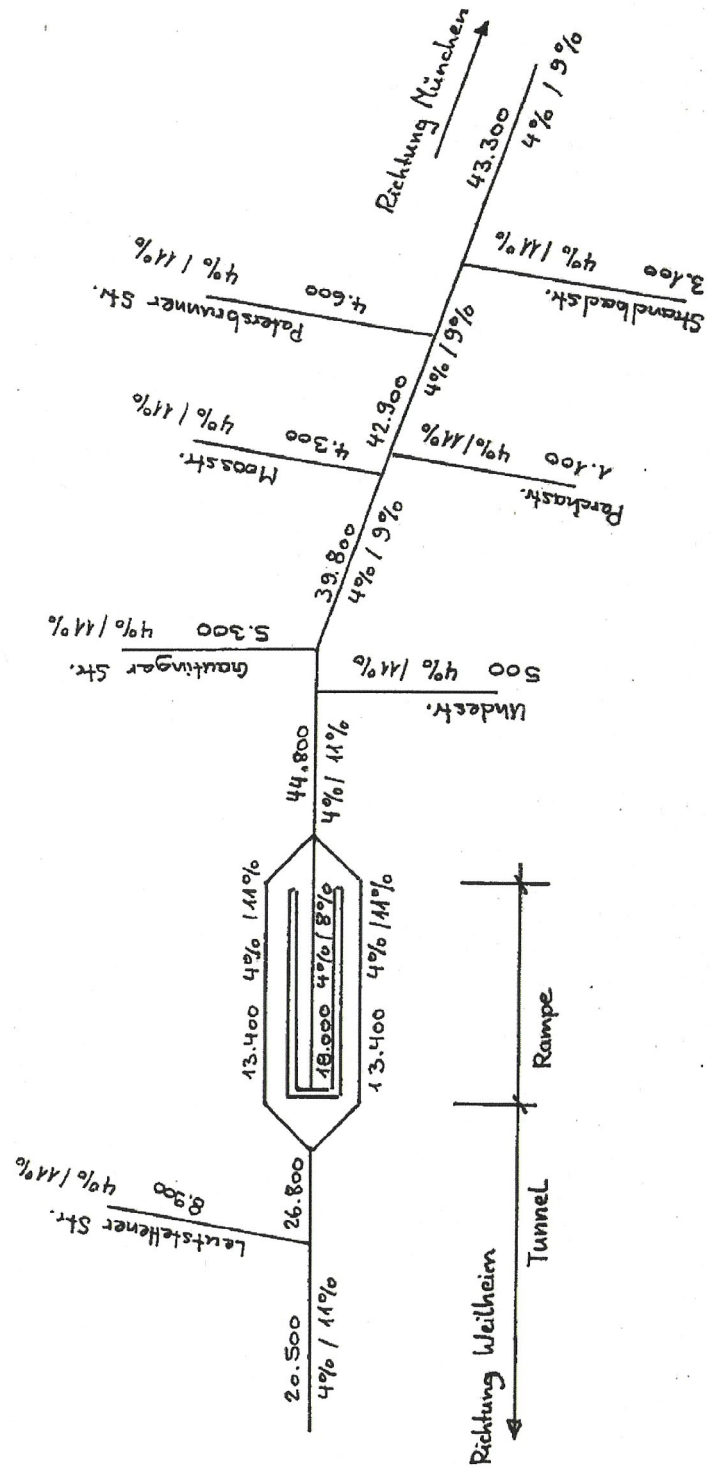


Abbildung 7.2: Verkehrsprognose 2020 Nordportal I

B2 Tunnel Starnberg  
 Bereich Tutzing-Hofplatz  
 Gutachten Prof. Dr.-Ing. Kurzak  
 April 2003  
 [Kfz / 24h] [Lkw Tag / Nacht]  
 Prognose 2020

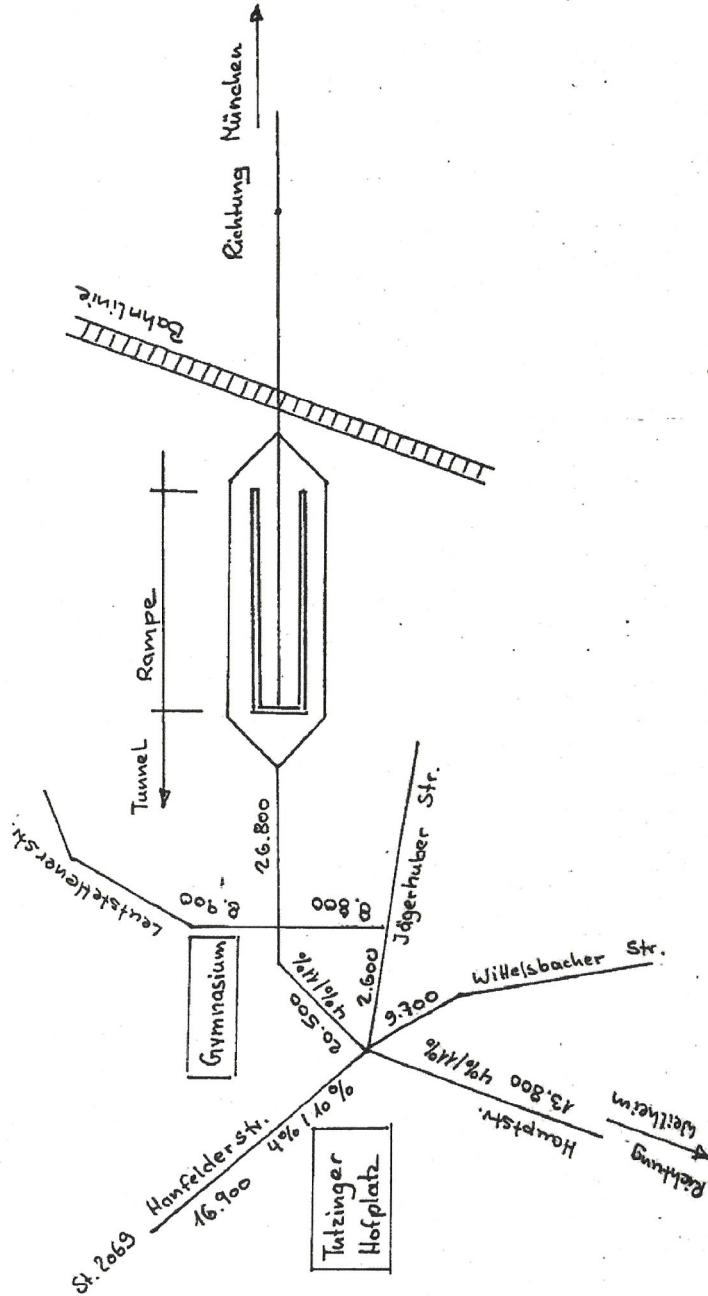


Abbildung 7.3: Verkehrsprognose 2020 Nordportal II

B2 Tunnel Starnberg  
 Bereich Nord / Prognose 2020  
 Gutachten Prof. Dr.-Ing. Kurzak  
 April 2003  
 Prognose - Nullfall  
 [Kfz/24h] [Lkw Tag/Nacht]

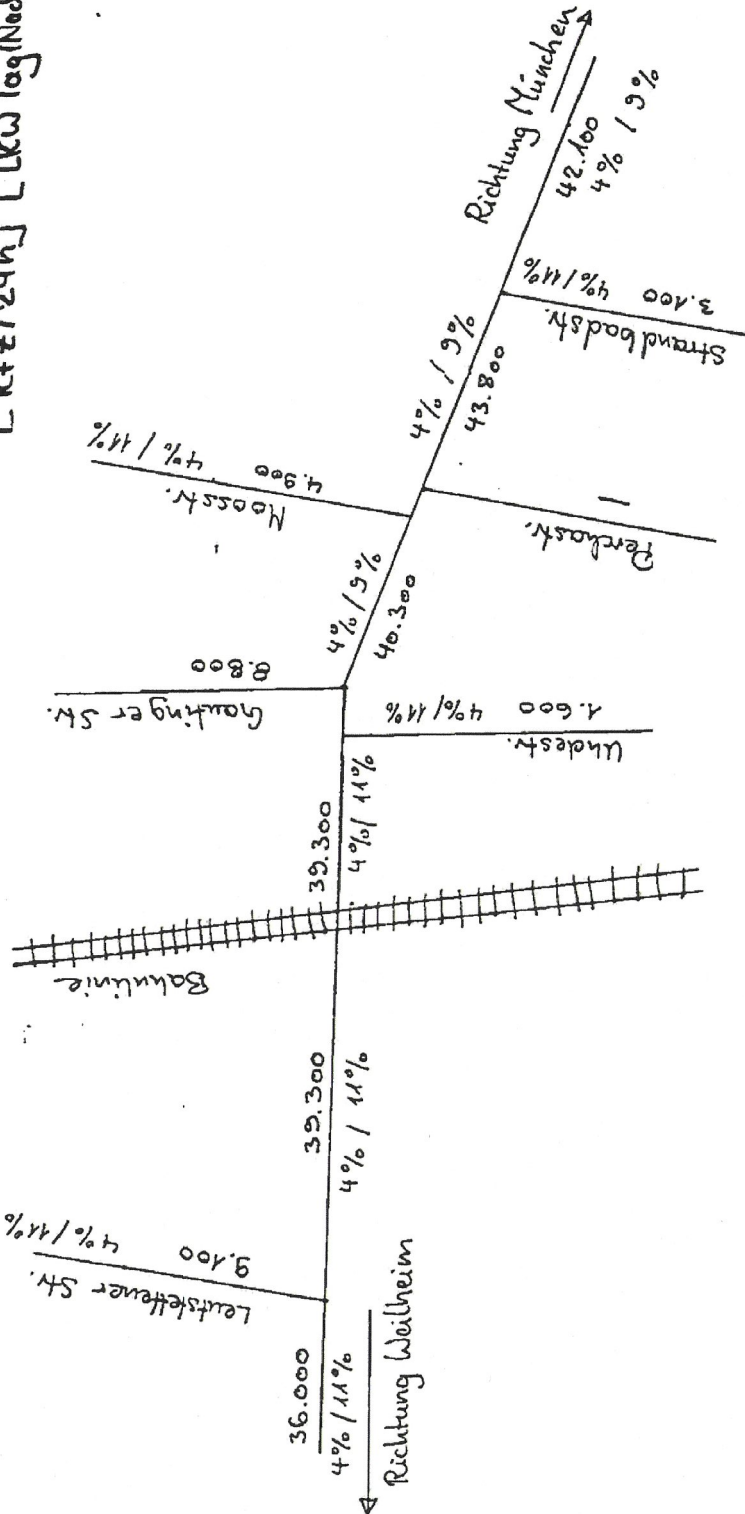


Abbildung 7.4: Verkehrsprognose 2020 Nordportal ohne Entlastungstunnel I

B2 Tunnel Starnberg  
 Bereich Tutzing Hofplatz  
 Prognose 2020  
 Gutachten Prof. Dr.-Ing. Kurzak  
 April 2003  
Prognose - Nullfall  
 [Kfz/24h] [Lkw/Tag/Nacht]

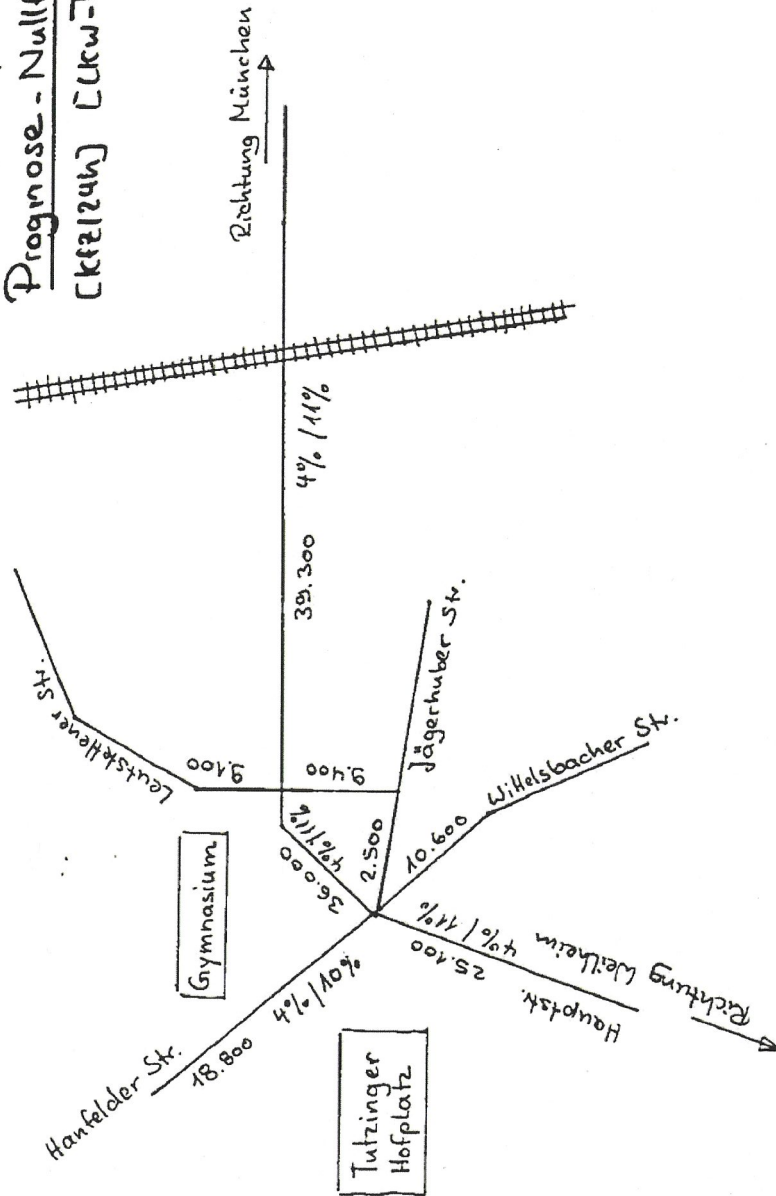


Abbildung 7.5: Verkehrsprognose 2020 Nordportal ohne Entlastungstunnel II

## 8 Anhang B: Winddaten

Abbildung 8.1: Windverteilung Starnberg Münchnerstraße 0 bis 24 Uhr, repräsentativ für das Nordportal

Abbildung 8.2: Windverteilung Starnberg Weilheimer Straße 0 bis 24 Uhr, repräsentativ für das Südportal

Abbildung 8.3: Windverteilung Starnberg Schlossberg 7 bis 19 Uhr, repräsentativ für die Umgebung des Abluftkamins

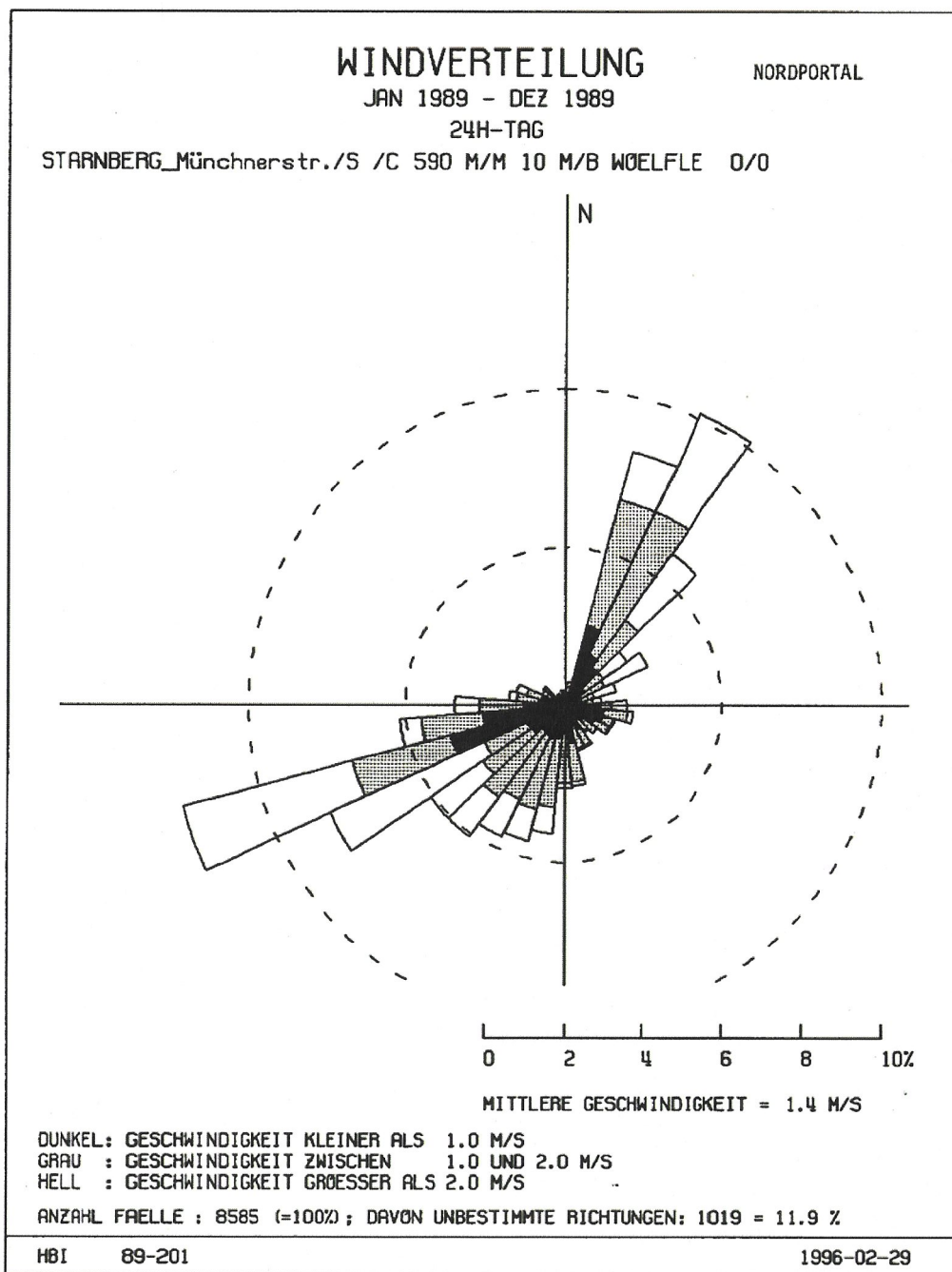


Abbildung 8.1: Windverteilung Starnberg Münchenstraße 0 bis 24 Uhr, repräsentativ für das Nordportal

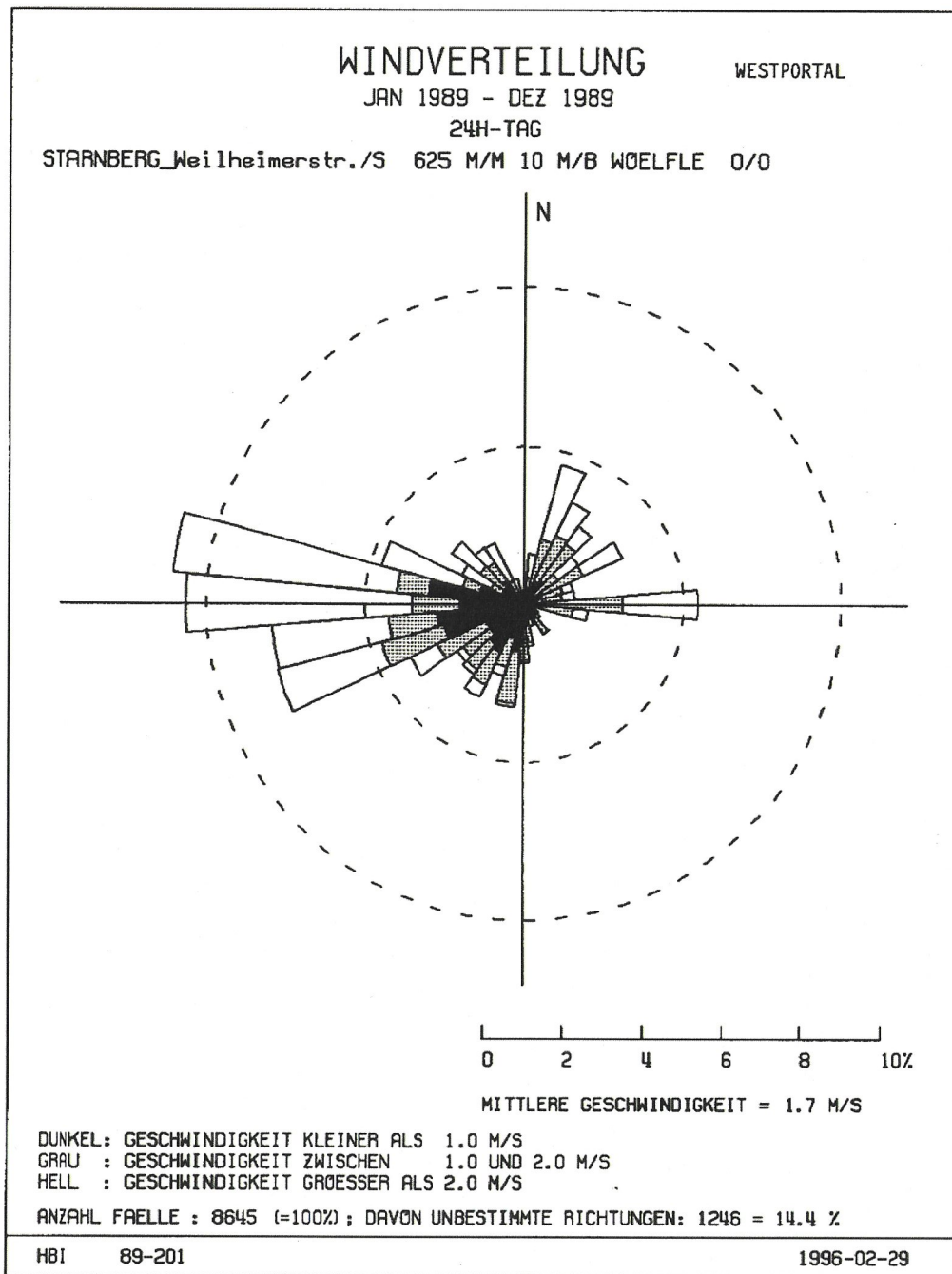


Abbildung 8.2: Windverteilung Starnberg Weilheimer Straße 0 bis 24 Uhr, repräsentativ für das Südportal

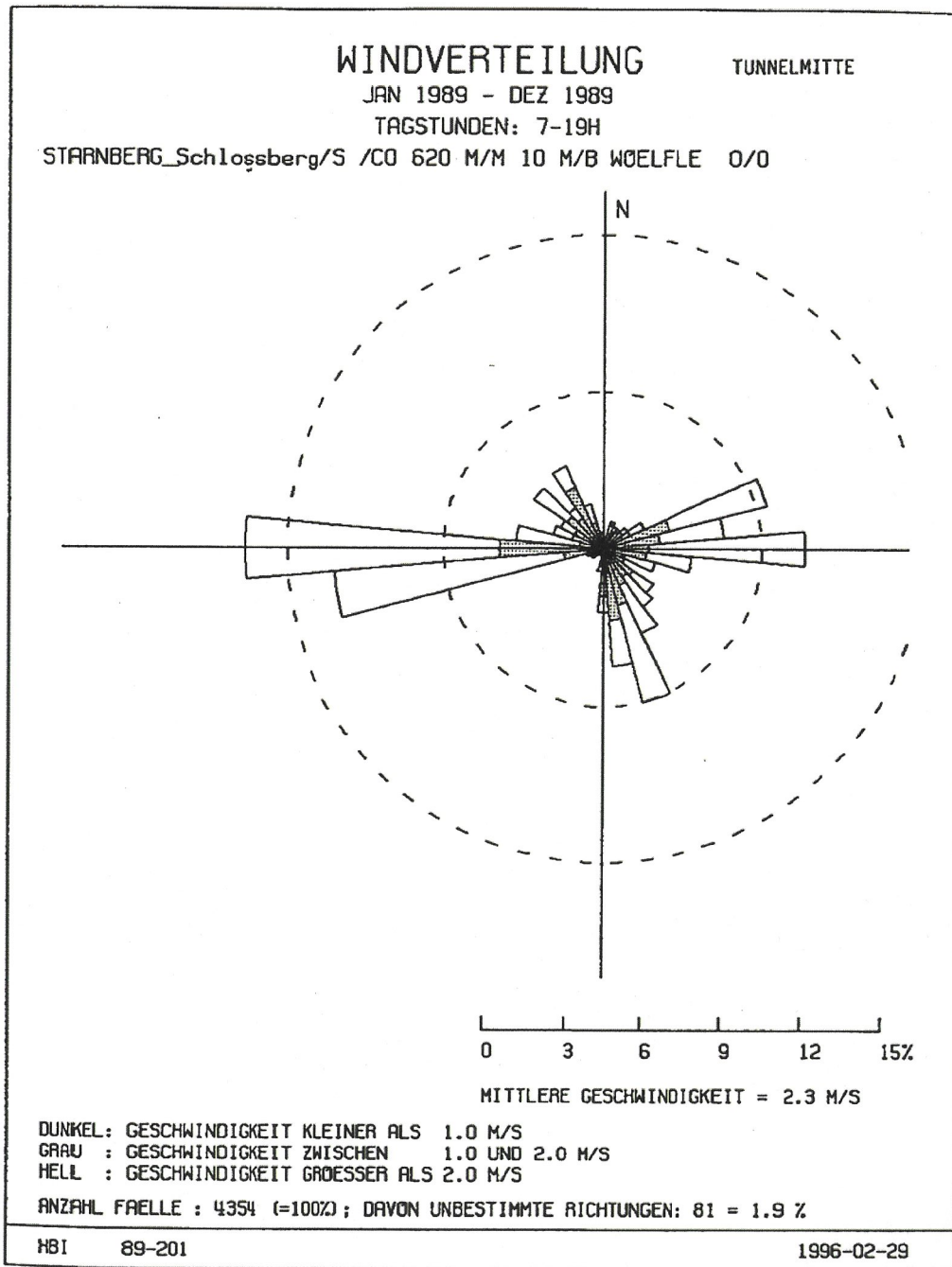


Abbildung 8.3: Windverteilung Starnberg Schlossberg 7 bis 19 Uhr, repräsentativ für die Umgebung des Abluftkamins



## 9 Anhang C: Modellierung

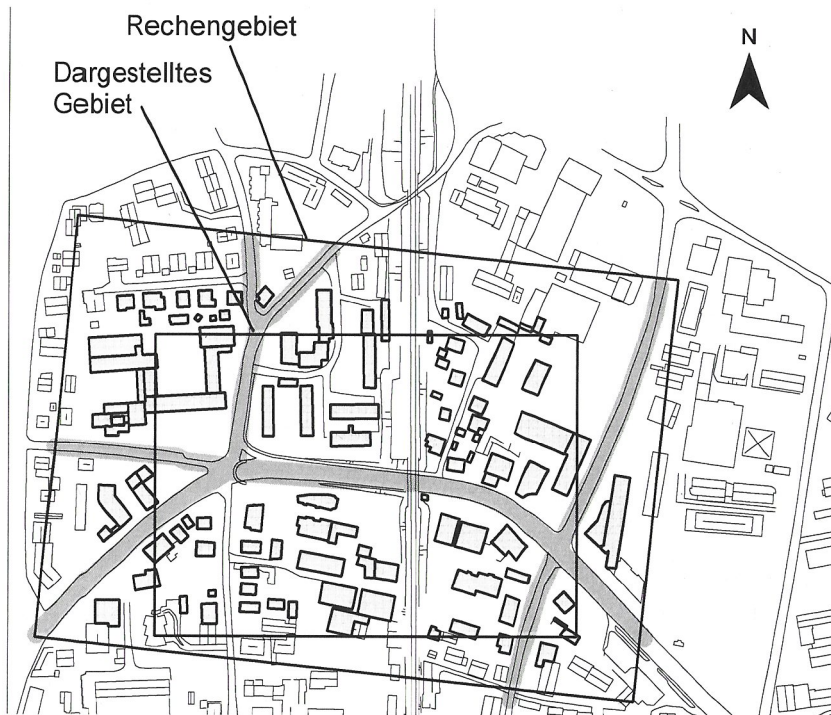


Abbildung 9.1: Modellierte Quellen MISKAM – Nordportal



Abbildung 9.2: Modellierte Quellen MISKAM – Südportal

Portal	Schadstoff	Quellstärke [g/Tag]
Nordportal	NO <sub>x</sub>	6802
	PM10	452
Südportal	NO <sub>x</sub>	6802
	PM10	452

Tabelle 9.1: Portalemissionen

Portalzone	Ausdehnung [m] x [m] x [m]	Anzahl Zellen	Zellen Gesamt
Nordportal	500 x 350 x 84	100 x 70 x 25	175'000
Südportal	400 x 300 x 84	100 x 75 x 25	187'500

Tabelle 9.2: Rechengitter für die MISKAM-Ausbreitungsrechnungen

## 10 Anhang D: Immissionskarten

Abbildung 10.1: Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung, 100% Portalabluft

Abbildung 10.2: Südportal – Jahresmittelwert 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung, 100% Portalabluft

Abbildung 10.3: Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung, 20% Portalabluft

Abbildung 10.4: Südportal – Jahresmittelwert 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung, 20% Portalabluft

Abbildung 10.5: Nordportal – Minderung 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung durch Mittenabsaugung

Abbildung 10.6: Südportal – Minderung 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung durch Mittenabsaugung

Abbildung 10.7: Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der PM10-Belastung, 100% Portalabluft

Abbildung 10.8: Südportal – Jahresmittelwert 2012 der PM10-Belastung, 100% Portalabluft

Abbildung 10.9: Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der PM10-Belastung, 20% Portalabluft

Abbildung 10.10: Südportal – Jahresmittelwert 2012 der PM10-Belastung, 20% Portalabluft

Abbildung 10.11: Nordportal – Minderung 2012 der PM10-Belastung durch Mittenabsaugung

Abbildung 10.12: Südportal – Minderung 2012 der PM10-Belastung durch Mittenabsaugung

Abbildung 10.13: Nordportal – Anzahl Überschreitungen 2012 des Grenzwertes für den Tagesmittelwert der PM10-Belastung, 100% Portalabluft

Abbildung 10.14: Südportal – Anzahl Überschreitungen 2012 des Grenzwertes für den Tagesmittelwert der PM10-Belastung, 100% Portalabluft

Abbildung 10.15: Nordportal – Anzahl Überschreitungen 2012 des Grenzwertes für den Tagesmittelwert der PM10-Belastung, 20% Portalabluft

Abbildung 10.16: Südportal – Anzahl Überschreitungen 2012 des Grenzwertes für den Tagesmittelwert der PM10-Belastung, 20% Portalabluft

Abbildung 10.17: Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung, 20% Portalabluft, Vorbelastung 22 µg/m<sup>3</sup>

Abbildung 10.18: Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung, 20% Portalabluft, Vorbelastung 20 µg/m<sup>3</sup>

Die Kurven konstanter Konzentration werden durch Interpolation über ein sehr dichtes Punktraster gebildet. Die Darstellung erfolgt für die Beurteilung lokaler Belastungen außerhalb des unmittelbaren Straßenbereichs.

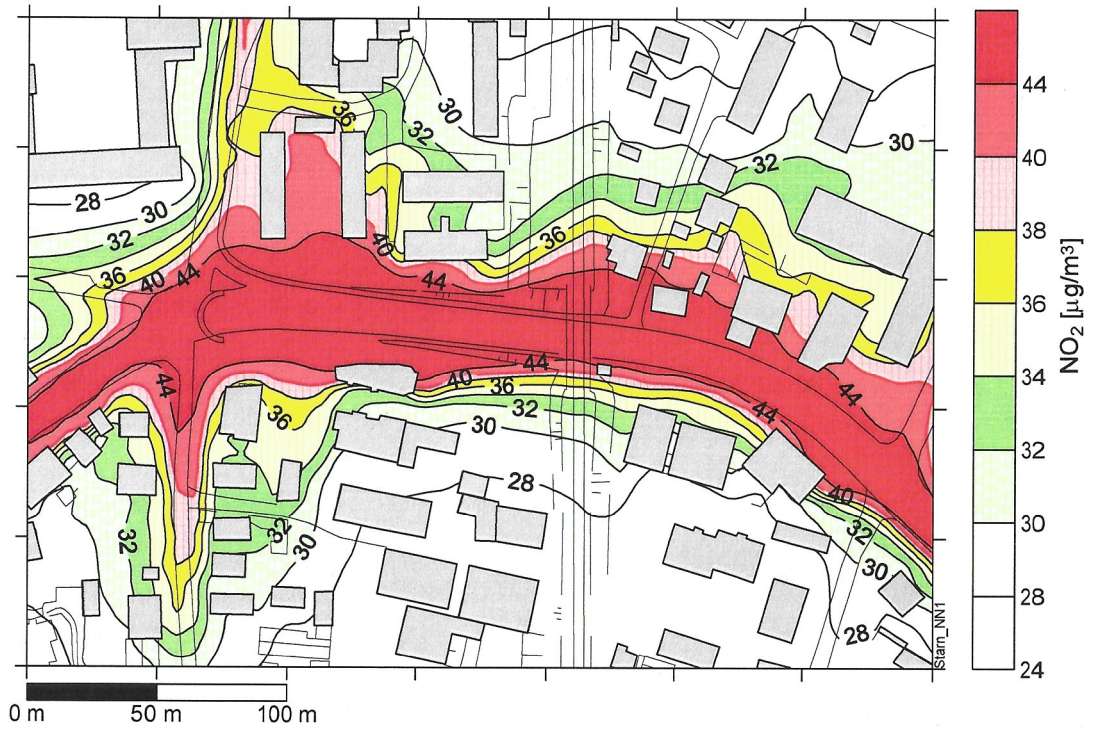


Abbildung 10.1: Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung, 100% Portalabluft

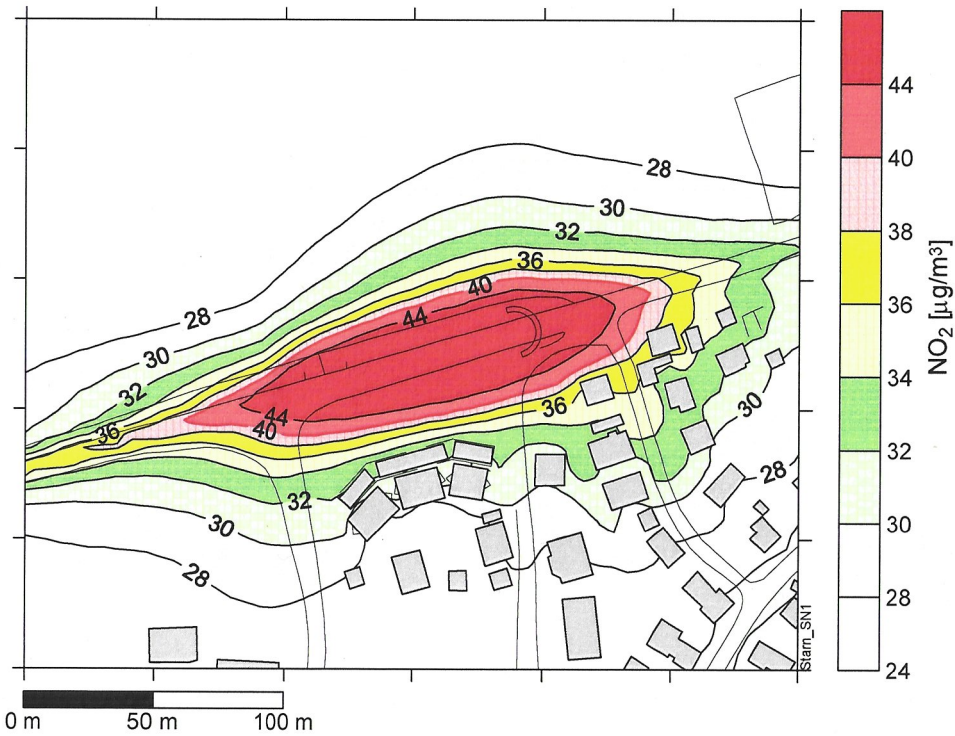


Abbildung 10.2: Südportal – Jahresmittelwert 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung, 100% Portalabluft

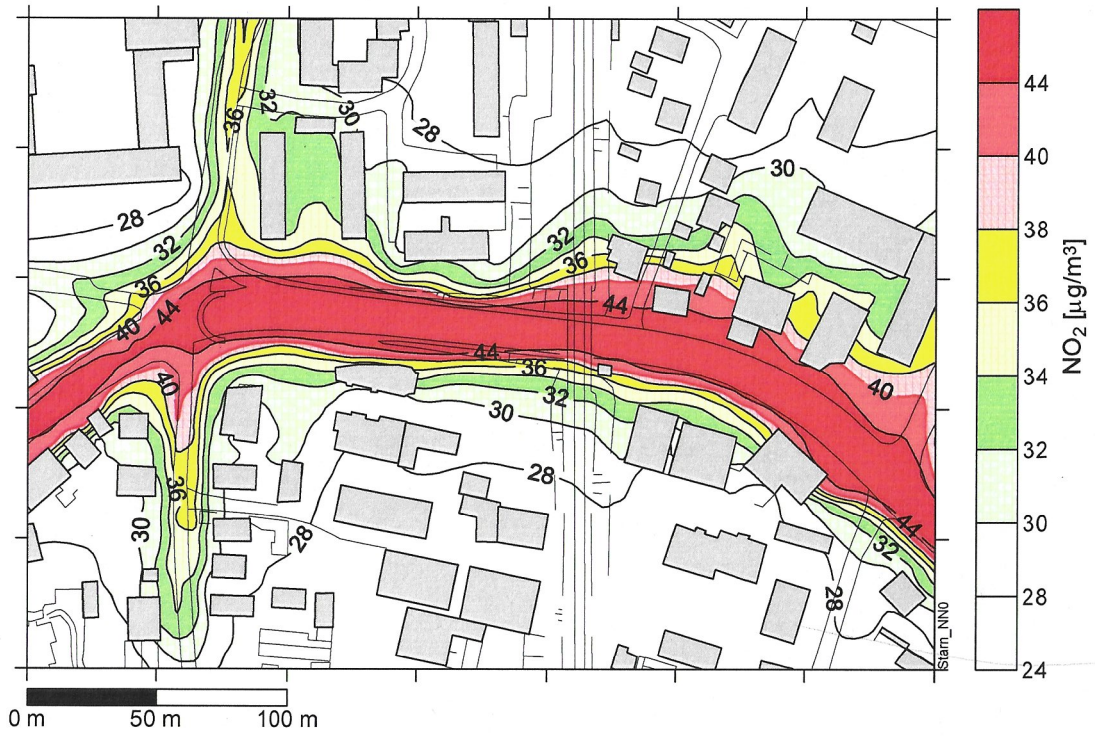


Abbildung 10.3: Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung, 20% Portalabluft



Abbildung 10.4: Südportal – Jahresmittelwert 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung, 20% Portalabluft



Abbildung 10.5: Nordportal – Minderung 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung durch Mittenabsaugung



Abbildung 10.6: Südportal – Minderung 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung durch Mittenabsaugung

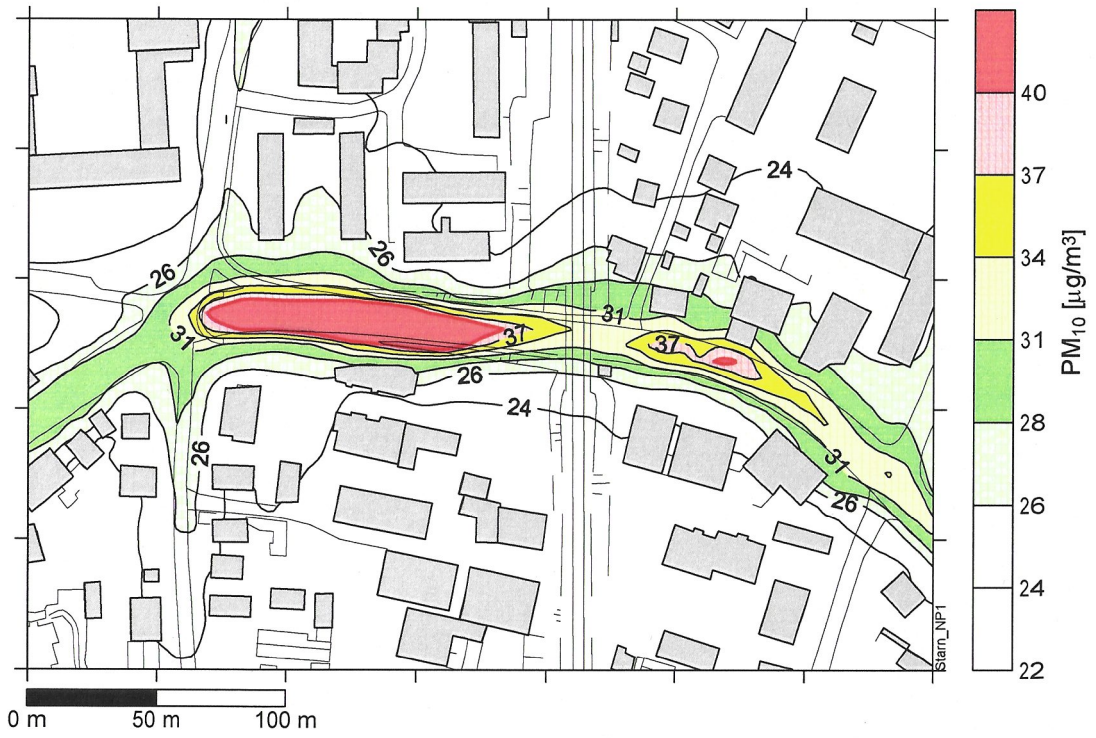


Abbildung 10.7: Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der PM10-Belastung, 100% Portalabluft



Abbildung 10.8: Südportal – Jahresmittelwert 2012 der PM10-Belastung, 100% Portalabluft



Abbildung 10.9: Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der PM10-Belastung, 20% Portalabluft



Abbildung 10.10: Südportal – Jahresmittelwert 2012 der PM10-Belastung, 20% Portalabluft



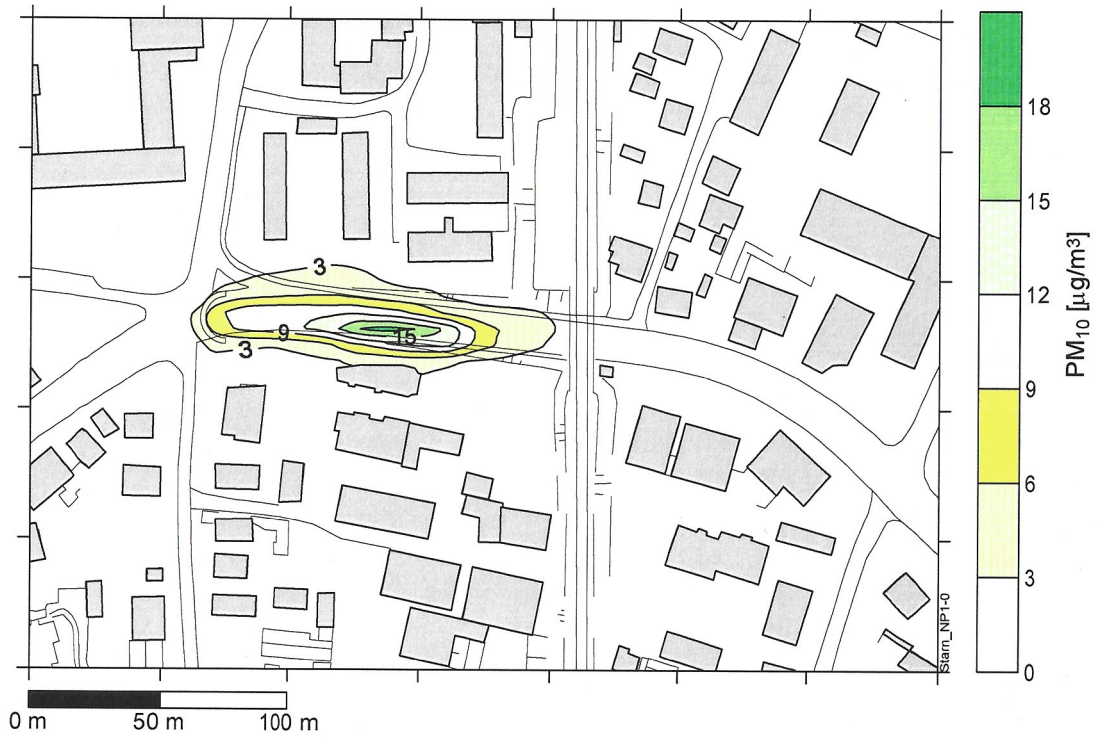


Abbildung 10.11: Nordportal – Minderung 2012 der PM<sub>10</sub>-Belastung durch Mittenabsaugung



Abbildung 10.12: Südportal – Minderung 2012 der PM<sub>10</sub>-Belastung durch Mittenabsaugung



Abbildung 10.13: Nordportal – Anzahl Überschreitungen 2012 des Grenzwertes für den Tagesmittelwert der PM10-Belastung, 100% Portalabluft

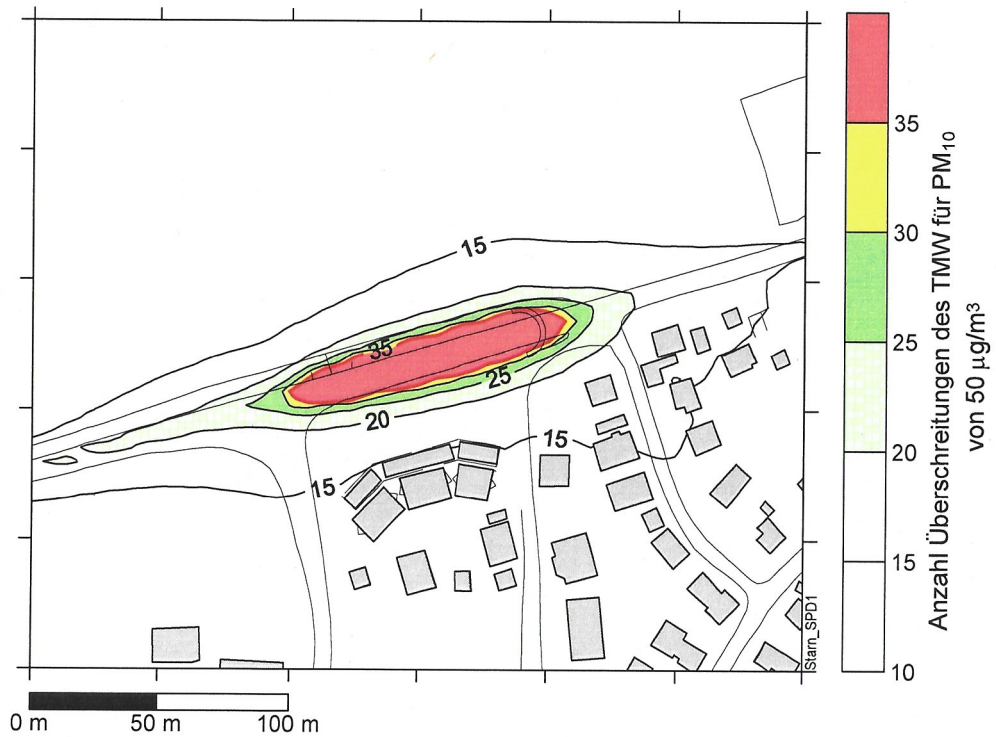


Abbildung 10.14: Südportal – Anzahl Überschreitungen 2012 des Grenzwertes für den Tagesmittelwert der PM10-Belastung, 100% Portalabluft



Abbildung 10.15: Nordportal – Anzahl Überschreitungen 2012 des Grenzwertes für den Tagesmittelwert der PM10-Belastung, 20% Portalabluft

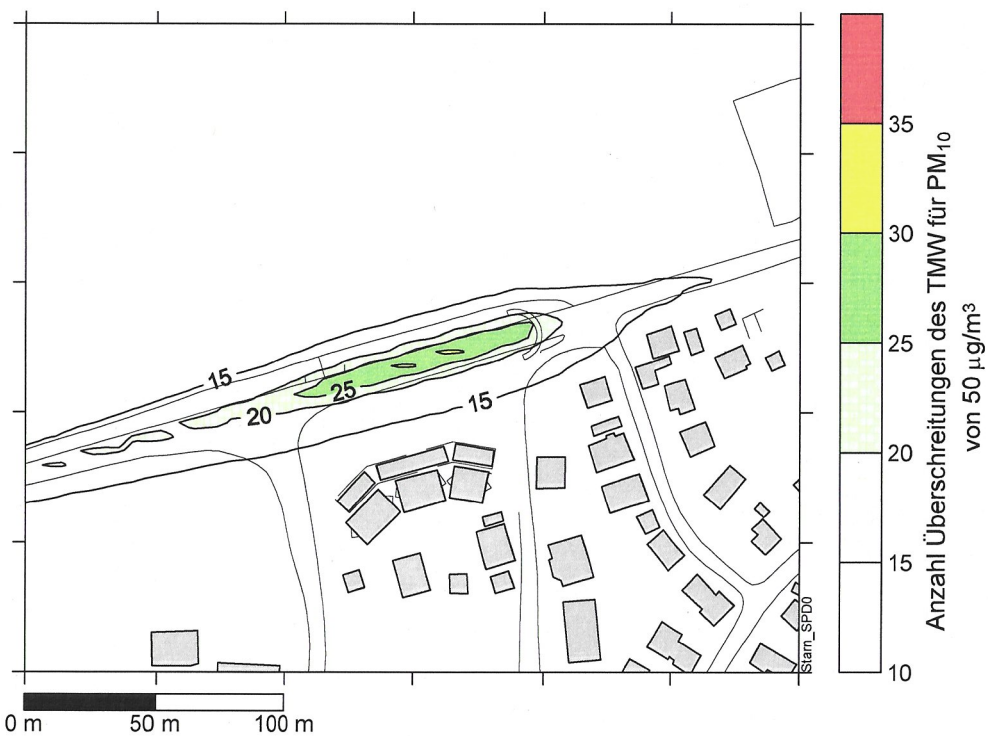


Abbildung 10.16: Südportal – Anzahl Überschreitungen 2012 des Grenzwertes für den Tagesmittelwert der PM10-Belastung, 20% Portalabluft



Abbildung 10.17: Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung, 20% Portalabluft, Vorbelastung 22 µg/m<sup>3</sup>



Abbildung 10.18: Nordportal – Jahresmittelwert 2012 der NO<sub>2</sub>-Belastung, 20% Portalabluft, Vorbelastung 20 µg/m<sup>3</sup>

## 11 Anhang E: Zusatzbelastung aus Kaminabluft

Abbildung 11.1: Jahresmittelwert der Zusatzbelastung 2012 durch NO<sub>2</sub> und PM10 in [µg/m<sup>3</sup>] bei Kaminbetrieb 7 bis 19 Uhr, Ausblasgeschwindigkeit 10 m/s

Abbildung 11.2: Jahresmittelwert der Zusatzbelastung 2012 durch NO<sub>2</sub> und PM10 in [µg/m<sup>3</sup>] bei Kaminbetrieb 7 bis 19 Uhr, Ausblasgeschwindigkeit 12 m/s

Abbildung 11.3: Jahresmittelwert der Zusatzbelastung 2012 durch NO<sub>2</sub> und PM10 in [µg/m<sup>3</sup>] bei Kaminbetrieb 7 bis 19 Uhr, Ausblasgeschwindigkeit 15 m/s

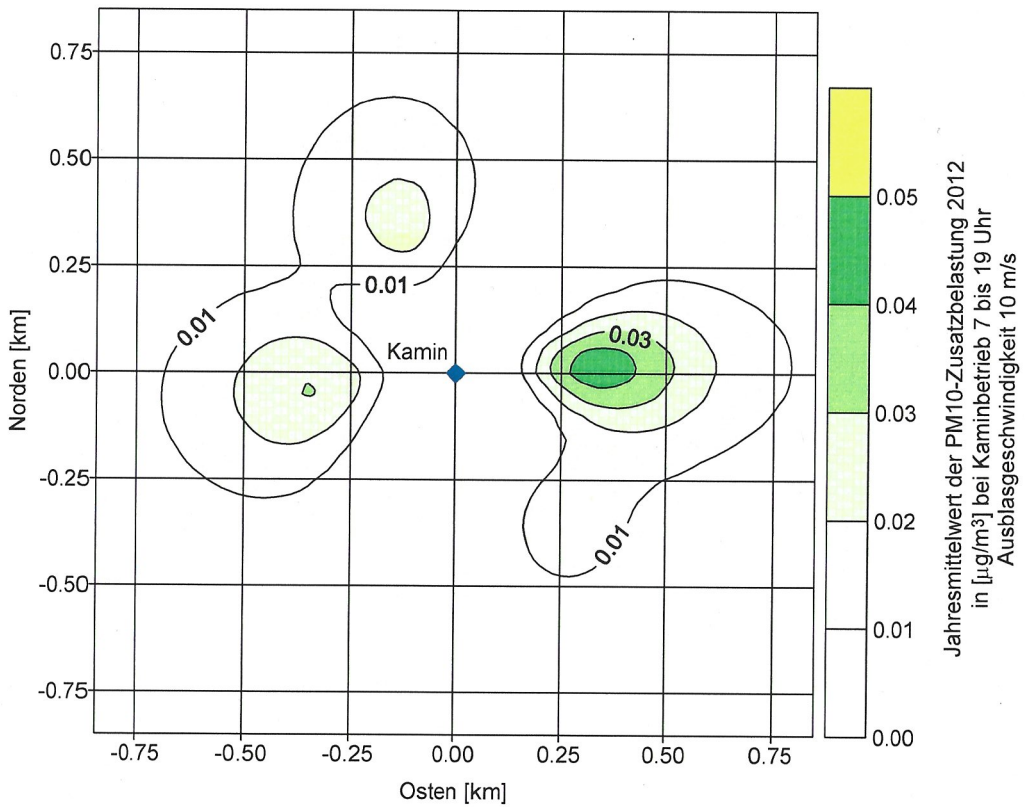
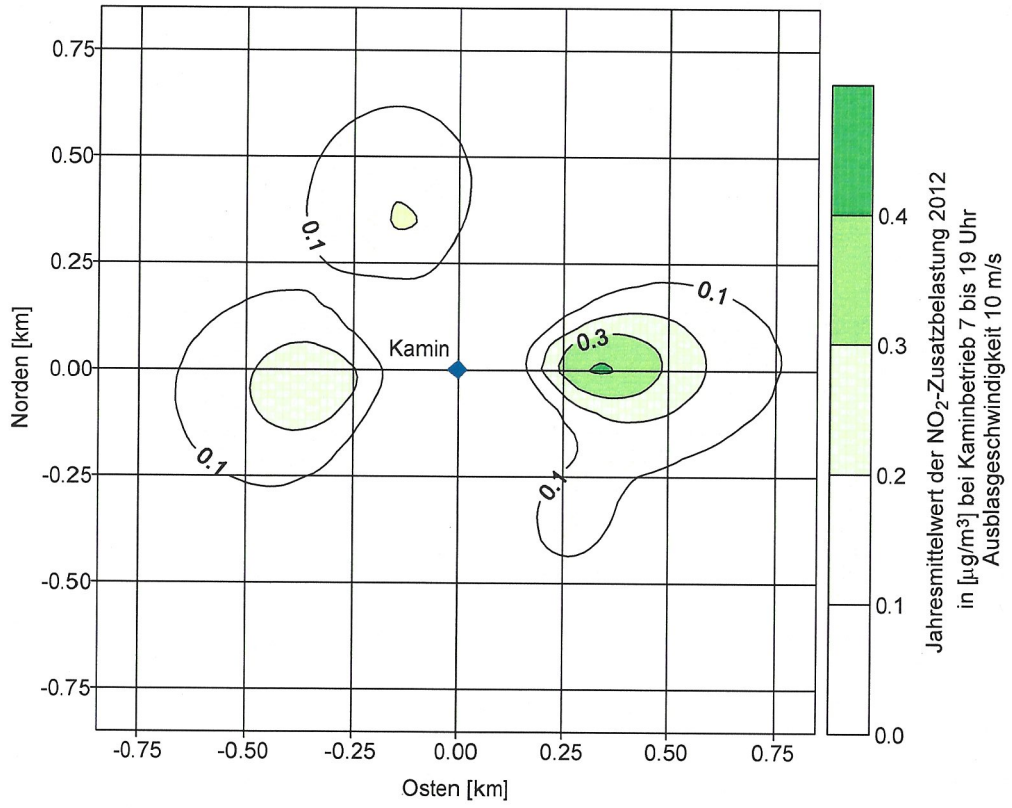


Abbildung 11.1: Jahresmittelwert der Zusatzbelastung 2012 durch NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub> in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bei Kaminbetrieb 7 bis 19 Uhr, Ausblasgeschwindigkeit 10 m/s

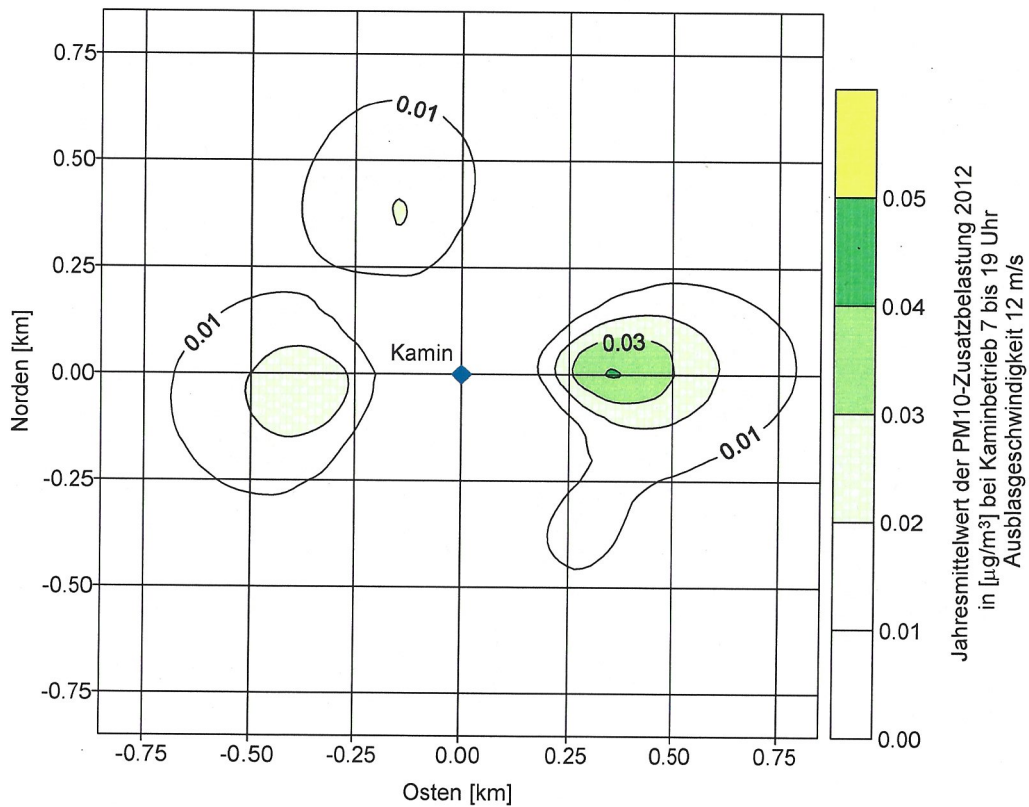
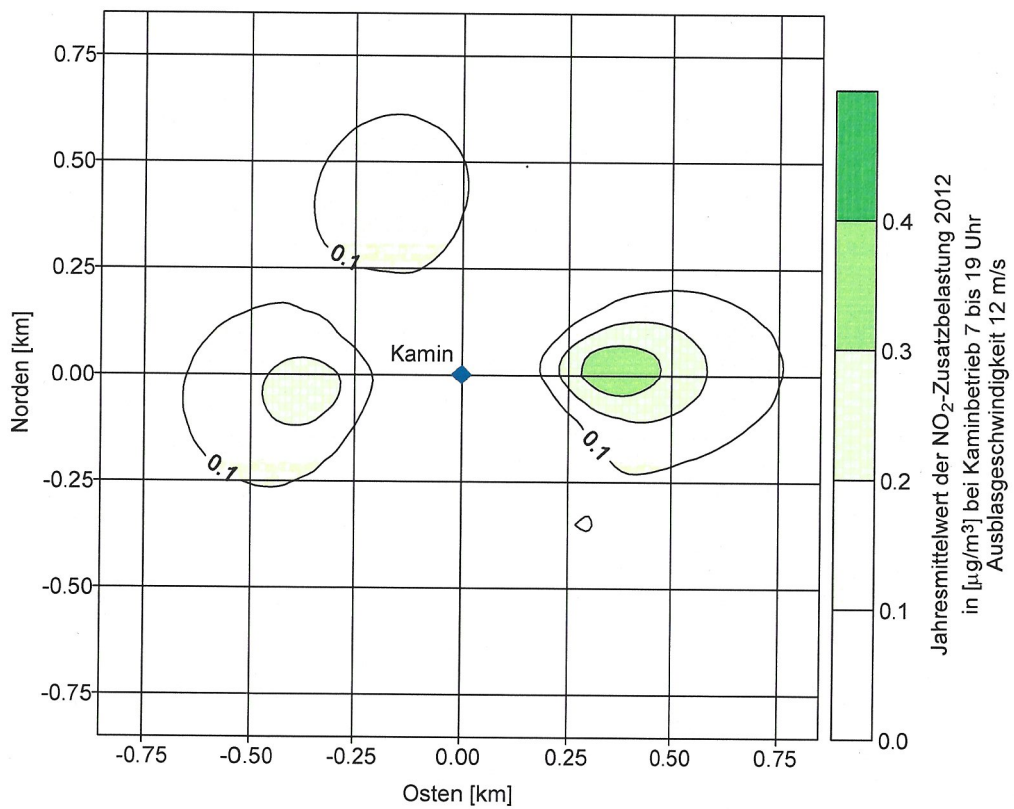


Abbildung 11.2: Jahresmittelwert der Zusatzbelastung 2012 durch NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub> in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bei Kaminbetrieb 7 bis 19 Uhr, Ausblasgeschwindigkeit 12 m/s

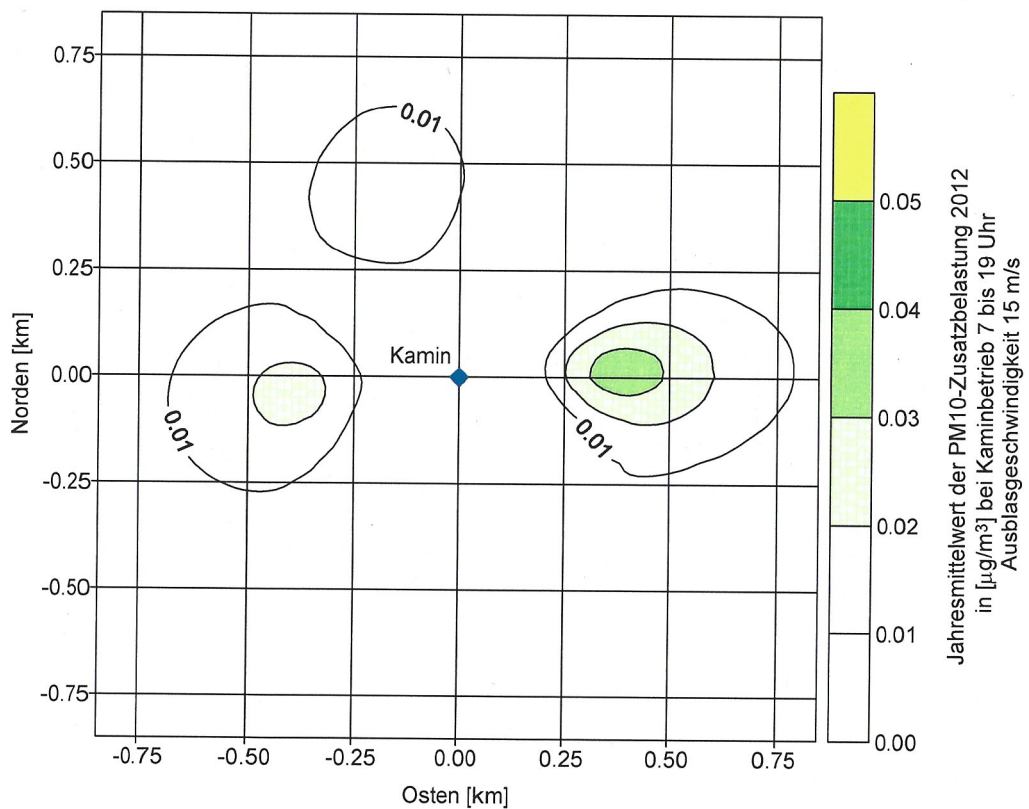
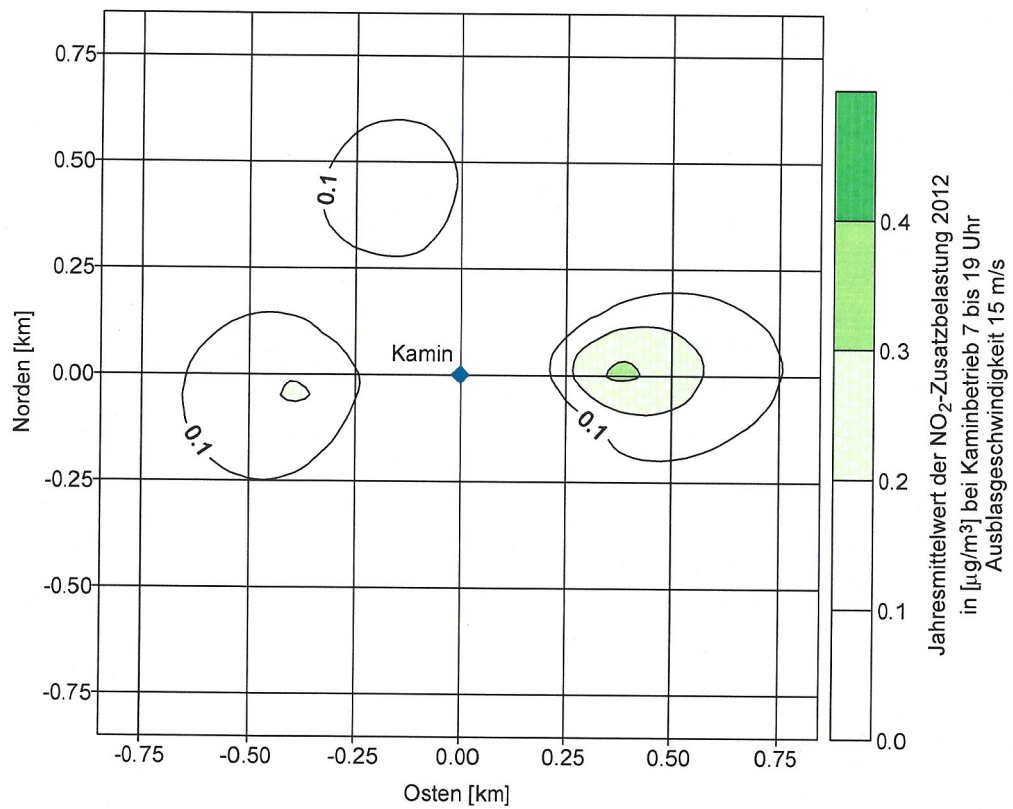


Abbildung 11.3: Jahresmittelwert der Zusatzbelastung 2012 durch NO<sub>2</sub> und PM10 in [µg/m<sup>3</sup>] bei Kaminbetrieb 7 bis 19 Uhr, Ausblasgeschwindigkeit 15 m/s



## 12 Anhang F: Datenblätter MLuS-2005

- Tabelle 12.1: MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Tutzinger Hofplatz, Bezugsjahr 2004
- Tabelle 12.2: MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Tutzinger Hofplatz, Bezugsjahr 2012 ohne Tunnel
- Tabelle 12.3: MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Tutzinger Hofplatz, Bezugsjahr 2012 mit Tunnel
- Tabelle 12.4: MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Gymnasium, Bezugsjahr 2004
- Tabelle 12.5: MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Gymnasium, Bezugsjahr 2012 ohne Tunnel
- Tabelle 12.6: MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Gymnasium, Bezugsjahr 2012 mit Tunnel

PC-Berechnungsverfahren zur Abschätzung von verkehrsbedingten Schadstoffimmissionen nach dem Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen (MLuS 02, geänderte Fassung 2005) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Version 6.0e vom 26.04.2005  
Protokoll erstellt am : 20.06.2005 16:28:03

Vorgang : Tutzing Hofplatz  
Aufpunkt : 20  
Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung

Eingabeparameter:  
Prognosejahr : 2004  
Straßenkategorie : IO, HVS, TL>50 km/h  
Längsneigungsklasse : 0%  
Anzahl Fahrstreifen : 4  
DTV : 20430 Kfz/24h (Jahreswert)  
Lkw-Anteil : 3.7 % (>3,5 t)  
Mittl. Fzgeschw. : 62.9 km/h

Windgeschwindigkeit : 1.4 m/s  
Entfernung : 20.0 m

Ergebnisse Emissionen [g/(km\*h)] (Berechnungsdatum: 20.06.2005 16:28:02):

CO : 1340.398  
NOx : 420.088  
Pb : 0.000  
SO2 : 0.722  
Benzol : 6.257  
PM10 : 38.522

Ergebnisse Immissionen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]:

(JM=Jahresmittelwert, 98P=98-Perzentilwert,  
Vorbelastung mit Reduktionsfaktoren für Groß- und Mittelstadt)

Komponente	Vorbelastung		Zusatzbelastung	
	JM-V	98P-V	JM-Z	98P-Z
CO	306	-	73.0	-
NO	16.8	-	6.73	-
NO2	26.4	54.6	12.55	26.90
NOx	-	-	22.87	-
Pb	0.091	-	0.0000	-
SO2	4.9	-	0.04	-
Benzol	1.33	-	0.341	-
PM10	23.74	-	2.097	-

NO2: Der 1h-Mittelwerte von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird 17 mal überschritten.

(Zulässig sind 18 Überschreitungen)

PM10: Der 24h-Mittelwerte von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird 31 mal überschritten.

(Zulässig sind 35 Überschreitungen)

CO: Der gleitende 8h-CO-Mittelwert beträgt:  $1961 \mu\text{g}/\text{m}^3$

(Bewertung: 20 % vom Beurteilungswert von  $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Komponente	Gesamtbelastung		Beurteilungswerte		Bewertung	
	JM-G	98P-G	JM-B	98P-B	JM-G/ JM-B [%]	98P-G/ 98P-B [%]
CO	379	-	-	-	-	-
NO	23.5	-	-	-	-	-
NO2	38.9	64.0	40.0	200.0	97	32
Pb	0.091	-	0.500	-	18	-
SO2	5.0	-	20.0	-	25	-
Benzol	1.67	-	5.00	-	33	-
PM10	25.84	-	40.00	-	65	-

Tabelle 12.1: MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Tutzing Hofplatz, Bezugsjahr 2004

PC-Berechnungsverfahren zur Abschätzung von verkehrsbedingten Schadstoffimmissionen nach dem Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen (MLuS 02, geänderte Fassung 2005) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Version 6.0e vom 26.04.2005  
Protokoll erstellt am : 20.06.2005 16:29:20

Vorgang : Tutzingener Hofplatz (ohne Tunnel)  
Aufpunkt : 20  
Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung

Eingabeparameter:  
Prognosejahr : 2012  
Straßenkategorie : IO, HVS, TL>50 km/h  
Längsneigungsklasse : 0%  
Anzahl Fahrstreifen : 4  
DTV : 25100 Kfz/24h (Jahreswert)  
Lkw-Anteil : 5.5 % (>3,5 t)  
Mittl. Fzgeschw. : 60.1 km/h

Windgeschwindigkeit : 1.4 m/s  
Entfernung : 20.0 m

Ergebnisse Emissionen [g/(km\*h)] (Berechnungsdatum: 20.06.2005 16:29:19):

CO : 736.366  
NOx : 368.846  
Pb : 0.000  
SO2 : 0.827  
Benzol : 2.590  
PM10 : 45.160

Ergebnisse Immissionen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]:

(JM=Jahresmittelwert, 98P=98-Perzentilwert,  
Vorbelastung mit Reduktionsfaktoren für Groß- und Mittelstadt)

Komponente	Vorbelastung		Zusatzbelastung	
	JM-V	98P-V	JM-Z	98P-Z
CO	279	-	40.1	-
NO	14.7	-	5.32	-
NO2	24.3	50.3	11.92	25.54
NOx	-	-	20.08	-
Pb	0.090	-	0.0000	-
SO2	4.2	-	0.05	-
Benzol	1.16	-	0.141	-
PM10	22.05	-	2.459	-

NO2: Der 1h-Mittelwerte von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird 15 mal überschritten.

(Zulässig sind 18 Überschreitungen)

PM10: Der 24h-Mittelwerte von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird 27 mal überschritten.

(Zulässig sind 35 Überschreitungen)

CO: Der gleitende 8h-CO-Mittelwert beträgt:  $1654 \mu\text{g}/\text{m}^3$

(Bewertung: 17 % vom Beurteilungswert von  $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Komponente	Gesamtbelastung		Beurteilungswerte		Bewertung	
	JM-G	98P-G	JM-B	98P-B	JM-G/ JM-B [%]	98P-G/ 98P-B [%]
CO	319	-	-	-	-	-
NO	20.0	-	-	-	-	-
NO2	36.2	59.3	40.0	200.0	91	30
Pb	0.090	-	0.500	-	18	-
SO2	4.3	-	20.0	-	21	-
Benzol	1.30	-	5.00	-	26	-
PM10	24.51	-	40.00	-	61	-

Tabelle 12.2: MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Tutzingener Hofplatz, Bezugsjahr 2012 ohne Tunnel

PC-Berechnungsverfahren zur Abschätzung von verkehrsbedingten Schadstoffimmissionen nach dem Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen (MLuS 02, geänderte Fassung 2005) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Version 6.0e vom 26.04.2005  
Protokoll erstellt am : 20.06.2005 16:28:46

Vorgang : Tutzing Hofplatz  
Aufpunkt : 20  
Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung

Eingabeparameter:  
Prognosejahr : 2012  
Straßenkategorie : IO, HVS, TL>50 km/h  
Längsneigungsklasse : 0%  
Anzahl Fahrstreifen : 4  
DTV : 13800 Kfz/24h (Jahreswert)  
Lkw-Anteil : 5.5 % (>3,5 t)  
Mittl. Fzgeschw. : 65.6 km/h  
  
Windgeschwindigkeit : 1.4 m/s  
Entfernung : 20.0 m

Ergebnisse Emissionen [g/(km\*h)] (Berechnungsdatum: 20.06.2005 16:28:45):  
CO : 411.483  
NOx : 195.750  
Pb : 0.000  
SO2 : 0.450  
Benzol : 1.409  
PM10 : 24.558

Ergebnisse Immissionen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]:  
(JM=Jahresmittelwert, 98P=98-Perzentilwert,  
Vorbelastung mit Reduktionsfaktoren für Groß- und Mittelstadt)

Komponente	Vorbelastung		Zusatzbelastung	
	JM-V	98P-V	JM-Z	98P-Z
CO	279	-	22.4	-
NO	14.7	-	0.91	-
NO2	24.3	50.3	9.26	19.86
NOx	-	-	10.66	-
Pb	0.090	-	0.0000	-
SO2	4.2	-	0.02	-
Benzol	1.16	-	0.077	-
PM10	22.05	-	1.337	-

NO2: Der 1h-Mittelwerte von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird 13 mal überschritten.  
(Zulässig sind 18 Überschreitungen)  
PM10: Der 24h-Mittelwerte von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird 24 mal überschritten.  
(Zulässig sind 35 Überschreitungen)  
CO: Der gleitende 8h-CO-Mittelwert beträgt:  $1562 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
(Bewertung: 16 % vom Beurteilungswert von  $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Komponente	Gesamtbelastung		Beurteilungswerte		Bewertung	
	JM-G	98P-G	JM-B	98P-B	JM-G/ JM-B [%]	98P-G/ 98P-B [%]
CO	302	-	-	-	-	-
NO	15.6	-	-	-	-	-
NO2	33.6	56.7	40.0	200.0	84	28
Pb	0.090	-	0.500	-	18	-
SO2	4.2	-	20.0	-	21	-
Benzol	1.23	-	5.00	-	25	-
PM10	23.38	-	40.00	-	58	-

Tabelle 12.3: MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Tutzing Hofplatz, Bezugsjahr 2012 mit Tunnel

PC-Berechnungsverfahren zur Abschätzung von verkehrsbedingten Schadstoffimmissionen nach dem Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen (MLuS 02, geänderte Fassung 2005) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Version 6.0e vom 26.04.2005  
Protokoll erstellt am : 20.06.2005 16:23:40

Vorgang : Gymnasium  
Aufpunkt : 20  
Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung

Eingabeparameter:  
Prognosejahr : 2004  
Straßenkategorie : IO, HVS, TL>50 km/h  
Längsneigungsklasse : 0%  
Anzahl Fahrstreifen : 4  
DTV : 29205 Kfz/24h (Jahreswert)  
Lkw-Anteil : 3.7 % (>3,5 t)  
Mittl. Fzggeschw. : 59.8 km/h

Windgeschwindigkeit : 1.4 m/s  
Entfernung : 20.0 m

Ergebnisse Emissionen [g/(km\*h)] (Berechnungsdatum: 20.06.2005 16:23:39):  
CO : 1906.000  
NOx : 602.372  
Pb : 0.000  
SO2 : 1.035  
Benzol : 9.040  
PM10 : 55.726

Ergebnisse Immissionen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]:  
(JM=Jahresmittelwert, 98P=98-Perzentilwert,  
Vorbelastung mit Reduktionsfaktoren für Groß- und Mittelstadt)

Komponente	Vorbelastung		Zusatzbelastung	
	JM-V	98P-V	JM-Z	98P-Z
CO	306	-	103.8	-
NO	16.8	-	11.94	-
NO2	26.4	54.6	14.48	31.01
NOx	-	-	32.79	-
Pb	0.091	-	0.0000	-
SO2	4.9	-	0.06	-
Benzol	1.33	-	0.492	-
PM10	23.74	-	3.034	-

NO2: Der 1h-Mittelwerte von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird 20 mal überschritten.  
(Zulässig sind 18 Überschreitungen)  
PM10: Der 24h-Mittelwerte von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird 34 mal überschritten.  
(Zulässig sind 35 Überschreitungen)  
CO: Der gleitende 8h-CO-Mittelwert beträgt:  $2121 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
(Bewertung: 21 % vom Beurteilungswert von  $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Komponente	Gesamtbelastung		Beurteilungswerte		Bewertung	
	JM-G	98P-G	JM-B	98P-B	JM-G/ JM-B [%]	98P-G/ 98P-B [%]
CO	409	-	-	-	-	-
NO	28.7	-	-	-	-	-
NO2	40.9	66.1	40.0	200.0	102	33
Pb	0.091	-	0.500	-	18	-
SO2	5.0	-	20.0	-	25	-
Benzol	1.82	-	5.00	-	36	-
PM10	26.78	-	40.00	-	67	-

Tabelle 12.4: MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Gymnasium, Bezugsjahr 2004

PC-Berechnungsverfahren zur Abschätzung von verkehrsbedingten Schadstoffimmissionen nach dem Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen (MLuS 02, geänderte Fassung 2005) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Version 6.0e vom 26.04.2005  
Protokoll erstellt am : 20.06.2005 16:29:20

Vorgang : Tutzinger Hofplatz (ohne Tunnel)  
Aufpunkt : 20  
Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung

Eingabeparameter:  
Prognosejahr : 2012  
Straßenkategorie : IO, HVS, TL>50 km/h  
Längsneigungsklasse : 0%  
Anzahl Fahrstreifen : 4  
DTV : 25100 Kfz/24h (Jahreswert)  
Lkw-Anteil : 5.5 % (>3,5 t)  
Mittl. Fzgeschw. : 60.1 km/h  
  
Windgeschwindigkeit : 1.4 m/s  
Entfernung : 20.0 m

Ergebnisse Emissionen [g/(km\*h)] (Berechnungsdatum: 20.06.2005 16:29:19):  
CO : 736.366  
NOx : 368.846  
Pb : 0.000  
SO2 : 0.827  
Benzol : 2.590  
PM10 : 45.160

Ergebnisse Immissionen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]:  
(JM=Jahresmittelwert, 98P=98-Perzentilwert,  
Vorbelastung mit Reduktionsfaktoren für Groß- und Mittelstadt)

Komponente	Vorbelastung		Zusatzbelastung	
	JM-V	98P-V	JM-Z	98P-Z
CO	279	-	40.1	-
NO	14.7	-	5.32	-
NO2	24.3	50.3	11.92	25.54
NOx	-	-	20.08	-
Pb	0.090	-	0.0000	-
SO2	4.2	-	0.05	-
Benzol	1.16	-	0.141	-
PM10	22.05	-	2.459	-

NO2: Der 1h-Mittelwerte von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird 15 mal überschritten.  
(Zulässig sind 18 Überschreitungen)  
PM10: Der 24h-Mittelwerte von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird 27 mal überschritten.  
(Zulässig sind 35 Überschreitungen)  
CO: Der gleitende 8h-CO-Mittelwert beträgt:  $1654 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
(Bewertung: 17 % vom Beurteilungswert von  $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Komponente	Gesamtbelastung		Beurteilungswerte		Bewertung	
	JM-G	98P-G	JM-B	98P-B	JM-G/ JM-B [%]	98P-G/ 98P-B [%]
CO	319	-	-	-	-	-
NO	20.0	-	-	-	-	-
NO2	36.2	59.3	40.0	200.0	91	30
Pb	0.090	-	0.500	-	18	-
SO2	4.3	-	20.0	-	21	-
Benzol	1.30	-	5.00	-	26	-
PM10	24.51	-	40.00	-	61	-

Tabelle 12.5: MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Gymnasium, Bezugsjahr 2012 ohne Tunnel

PC-Berechnungsverfahren zur Abschätzung von verkehrsbedingten Schadstoffimmissionen nach dem Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen (MLuS 02, geänderte Fassung 2005) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Version 6.0e vom 26.04.2005  
Protokoll erstellt am : 20.06.2005 16:26:18

Vorgang : Gymnasium  
Aufpunkt : 20  
Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung

Eingabeparameter:  
Prognosejahr : 2012  
Straßenkategorie : IO, HVS, TL>50 km/h  
Längsneigungsklasse : 0%  
Anzahl Fahrstreifen : 4  
DTV : 20500 Kfz/24h (Jahreswert)  
Lkw-Anteil : 5.5 % (>3,5 t)  
Mittl. Fzggeschw. : 62.5 km/h

Windgeschwindigkeit : 1.4 m/s  
Entfernung : 20.0 m

Ergebnisse Emissionen [g/(km\*h)] (Berechnungsdatum: 20.06.2005 16:26:18):  
CO : 605.288  
NOx : 296.251  
Pb : 0.000  
SO2 : 0.672  
Benzol : 2.104  
PM10 : 36.698

Ergebnisse Immissionen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]:  
(JM=Jahresmittelwert, 98P=98-Perzentilwert,  
Vorbelastung mit Reduktionsfaktoren für Groß- und Mittelstadt)

Komponente	Vorbelastung		Zusatzbelastung	
	JM-V	98P-V	JM-Z	98P-Z
CO	279	-	33.0	-
NO	14.7	-	3.40	-
NO2	24.3	50.3	10.92	23.42
NOx	-	-	16.13	-
Pb	0.090	-	0.0000	-
SO2	4.2	-	0.04	-
Benzol	1.16	-	0.115	-
PM10	22.05	-	1.998	-

NO2: Der 1h-Mittelwerte von 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  wird 14 mal überschritten.  
(Zulässig sind 18 Überschreitungen)  
PM10: Der 24h-Mittelwerte von 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  wird 26 mal überschritten.  
(Zulässig sind 35 Überschreitungen)  
CO: Der gleitende 8h-CO-Mittelwert beträgt: 1617  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
(Bewertung: 16 % vom Beurteilungswert von 10000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Komponente	Gesamtbelastung		Beurteilungswerte		Bewertung	
	JM-G	98P-G	JM-B	98P-B	JM-G/ JM-B [%]	98P-G/ 98P-B [%]
CO	312	-	-	-	-	-
NO	18.1	-	-	-	-	-
NO2	35.2	58.3	40.0	200.0	88	29
Pb	0.090	-	0.500	-	18	-
SO2	4.3	-	20.0	-	21	-
Benzol	1.27	-	5.00	-	25	-
PM10	24.05	-	40.00	-	60	-

Tabelle 12.6: MLuS-2005 Berechnung für den Straßenquerschnitt am Gymnasium, Bezugsjahr 2012 mit Tunnel