



LAND  
OBERÖSTERREICH

## Immissionsstudie

Einfluss der Donauschifffahrt auf die  
Stickstoffdioxid- und Feinstaub-  
Konzentrationen in Engelhartzell



Quelle: OÖ Touristik GmbH



US

## Inhaltsverzeichnis

1. Auftraggeber .....	2
2. Sachbearbeiter .....	2
3. Ausgangslage .....	3
4. Erläuterungen von Fachausdrücken.....	4
5. Zusammenfassung - Einfluss der Donauschifffahrt auf die NO <sub>2</sub> - und PM10-Konzentrationen in Engelhartzell .....	5
6. Vorgehensweise bei der Ausbreitungsberechnung.....	5
6.1 Strömungsmodellierung mit GRAMM (Windfeldsimulation).....	5
6.2 Schadstoffausbreitung mit GRAL.....	6
6.3 Eingangsdaten.....	7
6.4 Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen mit GRAL.....	11
7. Literatur.....	17

### 1. Auftraggeber

Marktgemeinde Engelhartzell  
Marktplatz 61  
A-4090 Engelhartzell

### 2. Sachbearbeiter

Mag. Stefan Oitzl (Meteorologe)  
Amt der Oö. Landesregierung  
Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft  
Abteilung Umweltschutz/Luftgüteüberwachung  
4021 Linz • Goethestraße 86

**Tel.:** (+43 732) 77 20-136 19

**Fax:** (+43 732) 77 20-21 36 42

Datum: März 2019

### 3. Ausgangslage

Wegen des regen und zunehmenden Schiffsverkehrs auf der Donau ist die Gemeinde Engelhartzell mit der Bitte an uns herangetreten, eine Immissionsstudie durchzuführen und in weiterer Folge eine Luftgütemessstelle im Bereich der 1. Anlegestelle in Engelhartzell zu errichten.

Derzeit boomt vor allem die Personenschifffahrt, die im Jahr 2017 das vierte Jahr in Folge einen Anstieg verzeichnete. Insgesamt wurden auf dem österreichischen Donauabschnitt rund 1.265.000 Passagierinnen und Passagiere befördert, was einem Plus von 2,8 % im Vergleich zu 2016 entspricht. [1]. Der Güterverkehr auf der österreichischen Donau nahm nach einem Tiefststand im Jahr 2015 in den letzten zwei Jahren wieder zu, wobei im Jahr 2017 etwas mehr als 9,6 Millionen Tonnen Güter befördert wurden (+6% gegenüber dem Jahr 2016). Grundsätzlich entlastet der Transport von Massengütern mit Binnenschiffen die Straßen und auch den Schienenverkehr. Dabei gilt das Binnenschiff als vergleichsweise umweltfreundliches Transportmittel. Doch wegen des zunehmenden Schiffsverkehrs auf der Donau werden auch diese Emissionen zu einem nicht zu vernachlässigenden Problem für die Luftreinhaltung entlang der Donau.

Um den Beitrag der Schiffe zur Luftbelastung in Oberösterreich beurteilen zu können, wurde der Schiffsemissionskataster der Donau für das Jahr 2017 neu berechnet [2]. Zu den grundlegenden Daten gehörte die Schleusenstatistik der Statistik Austria. Daten über die Ausflugsschifffahrt, Hafenaktivitäten, Flusskreuzschiffe sowie über den sonstigen Schiffsverkehr mussten direkt bei den Betreiber erfragt werden.

Für die Beurteilung der Immissionsbelastung, im Speziellen durch Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Feinstaub (PM<sub>10</sub>) wurden Ausbreitungsberechnungen für Engelhartzell durchgeführt, deren Ergebnisse in dieser Studie präsentiert werden. NO<sub>2</sub>- und PM<sub>10</sub>-Messungen aus Engelhartzell liegen derzeit noch nicht vor.



**Abbildung 1: Engelhartzell mit Donau** (Quelle: OÖ Touristik GmbH)

## 4. Erläuterungen von Fachausdrücken

### Emission / Immission

Als Emission bezeichnet man die von einem Fahrzeug oder Schiff ausgestoßene Luftschadstoffmenge in Kilogramm Schadstoff pro Kilometer oder bei anderen Emittenten in Kilogramm pro Stunde. Die in die Atmosphäre emittierten Schadstoffe werden vom Wind verfrachtet und führen im umgebenden Gelände zu Luftschadstoffkonzentrationen, den so genannten Immissionen. Diese Immissionen stellen Luftverunreinigungen dar, die sich auf Menschen, Tiere, Pflanzen und andere Schutzgüter überwiegend nachteilig auswirken. Die Maßeinheit der Immissionen am Untersuchungsraum ist  $\mu\text{g}$  Schadstoff pro  $\text{m}^3$  Luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### Stickoxide (NO<sub>x</sub>) / Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)

Die primären Quellen für Stickoxide (NO<sub>x</sub>) sind Verbrennungsvorgänge in Kraftwerken und Kraftfahrzeugen. Bei einzelnen industriellen Prozessen (z.B. der Herstellung von Salpetersäure bei der Düngerproduktion) werden ebenfalls Stickoxide emittiert. Dem Kraftfahrzeugverkehr kommt wegen der direkten Ableitung der Abgase in den Aufenthaltsbereich des Menschen besondere Bedeutung zu. Stickoxide werden überwiegend zunächst in Form von Stickstoffmonoxid (NO) emittiert und wandeln sich an der Luft zu Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) um. Bei dieser Immissionsstudie erfolgte die Ausbreitungsberechnung mit NO<sub>x</sub>, die Umwandlung von NO<sub>x</sub> zu NO<sub>2</sub> erfolgte im Nachhinein mit einem empirischen Ansatz (Formel 1).

### Feinstaub (PM<sub>10</sub>)

Als Feinstaub bezeichnet man den Anteil des Schwebstaubs, der bis in die Lunge vordringen kann. Dieser Staubanteil, der aus Teilchen mit Durchmessern unter 10 Mikrometer besteht, heißt auch PM<sub>10</sub>. Der noch feinere Teil, mit Durchmessern unter 2,5 Mikrometern, heißt PM<sub>2,5</sub>. Er dringt nicht nur in die Bronchien, sondern auch in die Lungenbläschen vor. Zur Feinstaubfraktion gehören die gefährlichsten Staubarten, wie Dieselruß oder Schwefelsäureaerosol, aber auch Zigarettenrauch.

### Hintergrundbelastung / Zusatzbelastung / Gesamtbelastung

Als Hintergrundbelastung werden die Immissionen bezeichnet, die bereits ohne die Emissionen des Schiffsverkehrs im Untersuchungsgebiet vorliegen. Dazu zählen Emissionen aus dem Straßenverkehr, Hausbrand und aus dem regionalen Hintergrund, der in dieser Studie im gesamten Berechnungsgebiet mit  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>x</sub> angenommen wurde. Die Zusatzbelastung ist diejenige Immission, die ausschließlich auf der Donau hervorgerufen wird. Die Gesamtbelastung ist die Summe aus Hintergrundbelastung und Zusatzbelastung und wird in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  angegeben.

### Grenzwerte für NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>

Schadstoff	Jahresmittelwert nach Immissionsschutzgesetz – Luft (IG-L)	Jahresmittelwert nach der EU-Luftqualitätsrichtlinie
NO <sub>2</sub>	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM <sub>10</sub>	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM <sub>10</sub> -Überschreitungstage (PM <sub>10</sub> -Tagesmittelwert > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	25 Tage	35 Tage

## 5. Zusammenfassung - Einfluss der Donauschifffahrt auf die NO<sub>2</sub>- und PM<sub>10</sub>-Konzentrationen in Engelhartszell

Modellierung: Die Ausbreitungsberechnungen der NO<sub>x</sub>-/NO<sub>2</sub>-/PM<sub>10</sub>-Zusatzbelastungen durch die Donauschifffahrt erfolgte mit dem Programmpaket GRAMM/GRAL. Das Berechnungsgebiet umfasste in etwa den Abschnitt der Donau in der Gemeinde Engelhartszell (Abbildung 3).

NO<sub>x</sub>-/PM<sub>10</sub>-Emissionen: Die fahrenden und anlegenden Schiffe verursachen im Berechnungsgebiet 128 Tonnen an Stickoxid-Emissionen (NO<sub>x</sub>) pro Jahr. Im Vergleich dazu emittiert der rollende Verkehr nur 12 Tonnen, das sind 8 % der gesamten Verkehrsemissionen im Betrachtungsraum (Abbildung 8). Bei PM<sub>10</sub> sind die Emissionsmengen geringer, allerdings ähnlich verteilt wie bei den Stickoxiden. Die Schiffe verursachen 2,8 Tonnen PM<sub>10</sub> und der Straßenverkehr 0,5 Tonnen PM<sub>10</sub> pro Jahr. Allein die Emissionszahlen zeigen, welchen Stellenwert der Schiffsverkehr in Hinblick auf die Luftqualität in Engelhartszell einnimmt. Die Schifffahrt ist mit Abstand der größte Emittent in der Gemeinde.

NO<sub>x</sub>-/NO<sub>2</sub>-Immissionen: Die Immissionsberechnungen zeigen trotz der hohen Emissionen aus der Schifffahrt moderate Stickoxid- und Feinstaubkonzentrationen in Engelhartszell. Die mittlere jährliche Zusatzbelastung durch die Donauschifffahrt entlang der Fahrrinne beträgt ca. 50 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub>. Im Uferbereich sind es nur mehr ca. 10 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub>. Durch die angelegten Schiffe kommen nochmals ca. 10 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> hinzu. Um ein Gesamtbild der Immissionsbelastung zu erhalten, wurden die Beiträge von den wesentlichen Emittenten (Straßenverkehr, Hausbrand, Donauschifffahrt und regionalen Hintergrund) addiert. Dabei ergeben sich im Uferbereich NO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 15 µg/m<sup>3</sup> bis max. 25 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel (Abbildung 13). Der IG-L-Grenzwert von 35 µg/m<sup>3</sup> bzw. EU-Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> werden damit im Uferbereich eingehalten. Im übrigen Betrachtungsgebiet befinden sich die Konzentrationen generell auf sehr niedrigen Niveau.

PM<sub>10</sub>-Immissionen: Bei Feinstaub verhält es sich ähnlich. Die PM<sub>10</sub>-Zusatzbelastung durch die Donauschifffahrt beträgt im Uferbereich zwischen 1 µg/m<sup>3</sup> und max. 4 µg/m<sup>3</sup>. Die Gesamtbelastung beträgt zwischen 14 µg/m<sup>3</sup> und 18 µg/m<sup>3</sup>. Im gesamten Betrachtungsgebiet werden die Grenzwerte für PM<sub>10</sub>, sowohl für den Jahresmittelwert als auch für die PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage eingehalten.

## 6. Vorgehensweise bei der Ausbreitungsberechnung

Für die Ausbreitungsrechnung stand eine gekoppeltes Euler/Lagrange Modell (GRAMM/GRAL) entwickelt von der Technischen Universität Graz, Inst. f. VKM u. THD, zur Verfügung [3].

### 6.1 Strömungsmodellierung mit GRAMM (Windfeldsimulation)

Zur Berechnung der räumlichen Schadstoffausbreitung werden dreidimensionale Strömungsfelder benötigt. Diese wurden hier mit Hilfe des prognostischen Windfeldmodells GRAMM berechnet. Prognostische Windfeldmodelle haben gegenüber diagnostischen Windfeldmodellen den Vorteil, dass neben der Erhaltungsgleichung für Masse auch jene für

Impuls und Enthalpie in einem Euler'schen Gitter gelöst werden. Damit können dynamische Umströmungen von Hindernissen in der Regel besser simuliert werden. Mit GRAMM wurden für ein großes Gebiet (ca. Bezirk Schärding - 30x30km) die Windverhältnisse für das Jahr 2017 simuliert und anschließend mit den Windmessdaten abgeglichen.

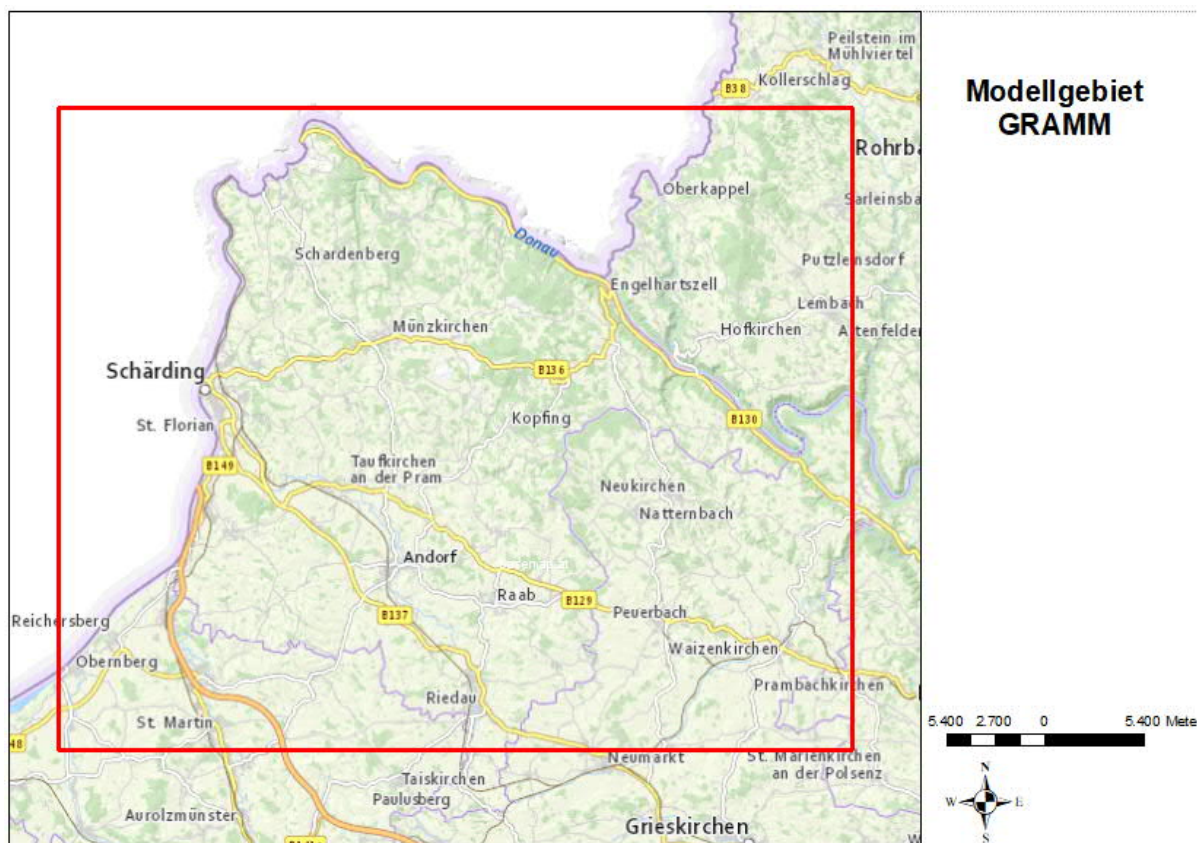
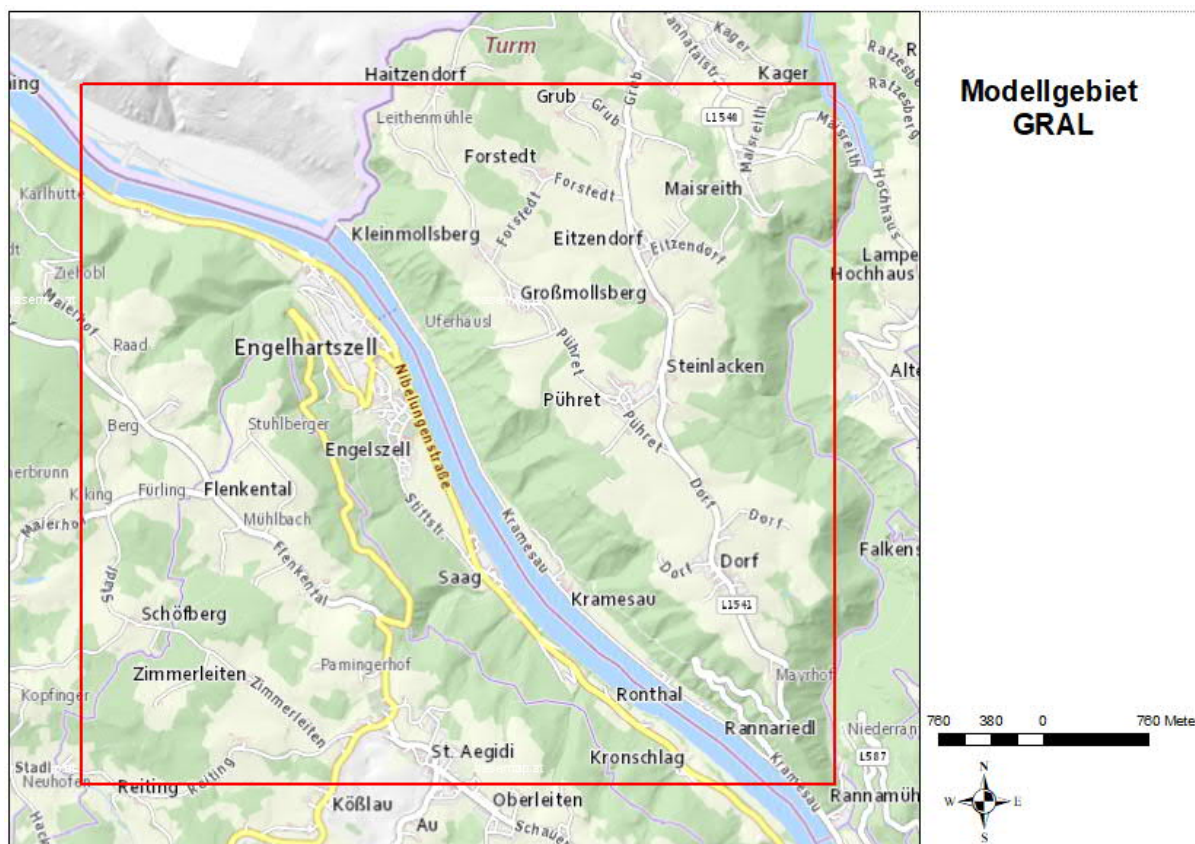


Abbildung 2: Modellgebiet GRAMM (Windsimulation)

## 6.2 Schadstoffausbreitung mit GRAL

Die Ausbreitung von Luftschadstoffen wird durch räumliche Strömungs- und Turbulenzvorgänge bestimmt. Diese sind für bodennahe Quellen neben den allgemeinen meteorologischen Bedingungen auch von der Geländestruktur, von Verbauungen und von unterschiedlichen Bodennutzungen abhängig. Um die Einflüsse möglichst gut zu erfassen, wurde in dieser Untersuchung das Lagrange'sche Partikelmodell GRAL zur Bestimmung der Zusatzbelastung der Immission verwendet.

Für die Bestimmung von Immissionskonzentrationen wurde in einem festgelegten Gitter zu jedem Zeitpunkt die Anzahl an Teilchen in jedem Gittervolumen ermittelt und über die Zeit integriert. Da erfahrungsgemäß die vertikalen Konzentrationsgradienten höher sind als die horizontalen, wurde ein Auszählgitter verwendet, dessen horizontale Abmessung 10 m und in der Vertikale 2 m beträgt. Damit werden die räumlichen Gradienten der Konzentration genügend genau erfasst und statistische Unsicherheiten vermieden. Die Auswertehöhe wurde auf 3 m über Grund gesetzt.



**Abbildung 3: Modellgebiet GRAL (Ausbreitungsberechnungen)**

### 6.3 Eingangsdaten

Folgende Eingangsdaten wurden für die Windfeld- und für die nachfolgenden Ausbreitungsberechnungen mit GRAL eingesetzt:

- Meteorologische Messdaten von den Stationen Schärding, Enzenkirchen, Reichersberg, Waizenkirchen von Jänner 2017 bis Dezember 2017
- GIS-Daten (Quelle Digitales Oberösterreichische Raum-Informationssystem (DORIS):
  - Topographie im Rasterformat (25m x 25m - für GRAMM)
  - Topographie im Rasterformat (10m x 10m - für GRAL)
  - CORINE-Landnutzungsdaten (100m x 100m – für GRAMM)
  - Straßen in "shp-Format" als Linie
  - Gebäudehöhen als „shp-Format“
- Emissionsdaten als Punkt- (Schiffsanlegestellen) und Linienquellen (fahrende Schiffe) aus dem Emissionskataster [2]

### 6.3.1 Meteorologische Datenanalyse in Engelhartzell aufgrund der GRAMM-Windsimulation

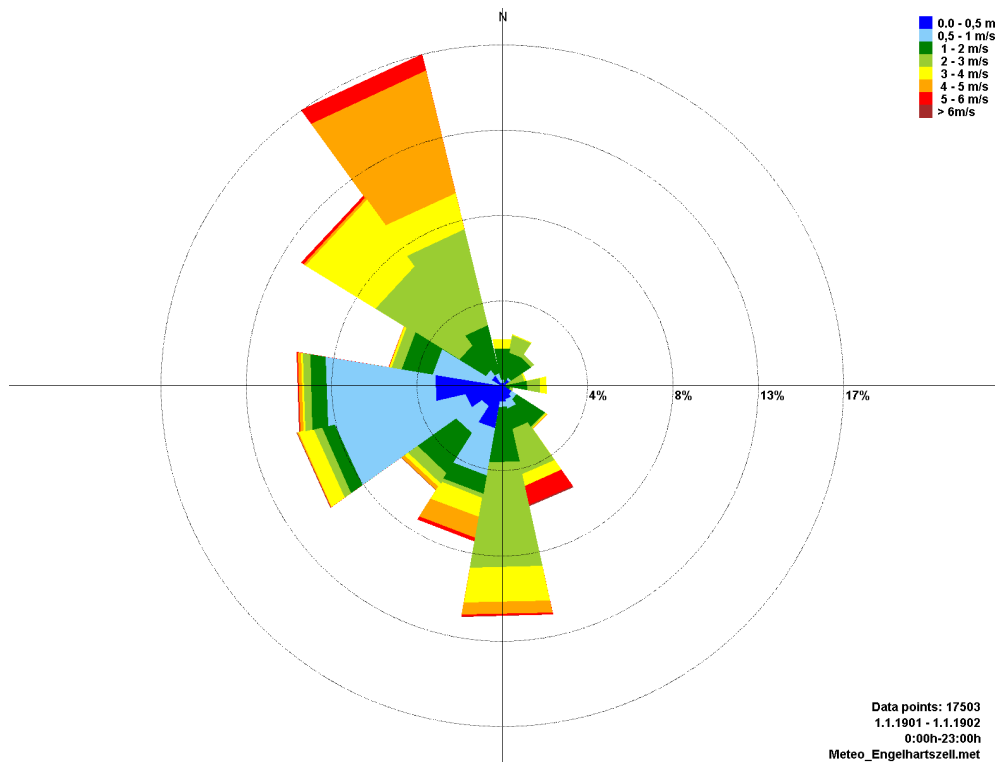


Abbildung 4: Windrichtungsverteilung in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit in Engelhartzell

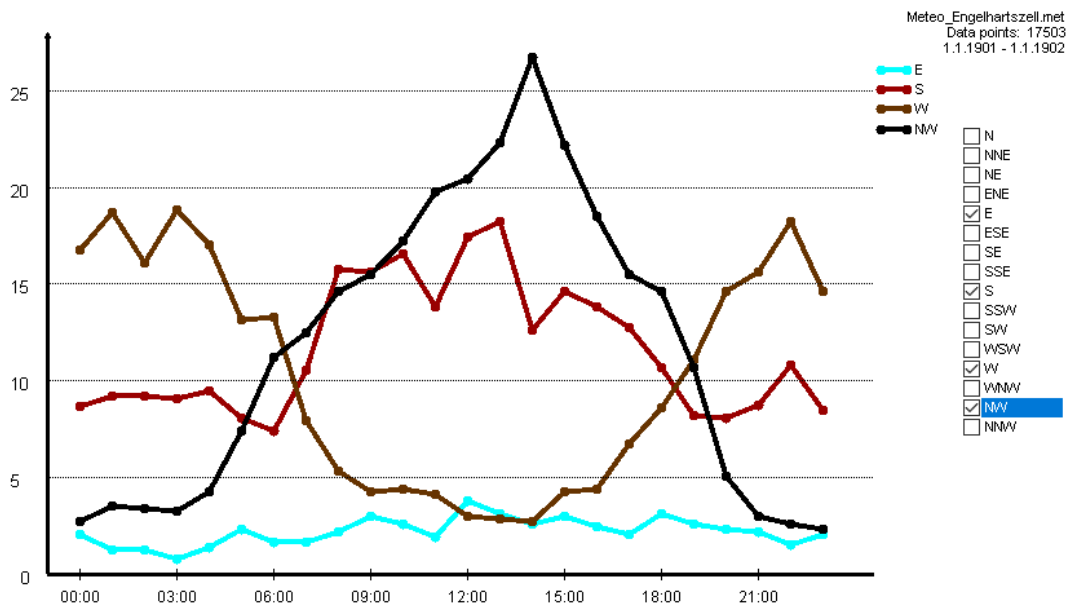


Abbildung 5: Tagesgang ausgesuchter Windrichtungssektoren



### 6.3.2 Emissionsdaten

In Abbildung 6 sind die Emissionen als Linienquellen (fahrender Schiffsverkehr) und in Abbildung 7 als Punktquellen (Schiffsanlegestellen) dargestellt – sie dienen als Eingangsdaten für die Ausbreitungsrechnungen.

Zu den grundlegenden Daten für die Emissionsberechnung gehört die Schleusenstatistik der Statistik Austria (2017). Daten über die Ausflugsschifffahrt, Hafenaktivitäten, Flusskreuzschiffe sowie über den sonstigen Schiffsverkehr mussten direkt bei den Betreibern erfragt werden. In Hinblick der Emissionsfaktoren stellt das Bundesamt für Umwelt, Energieverbrauch und Schadstoffemissionen in Bern seit Jahren die umfangreichste und eine qualitativ hochstehende Sammlung an Offroad-Emissionsfaktoren zur Verfügung. Es sind darin die Bereiche Baumaschinen, Industrie, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Gartenpflege/Hobby, Schiene, Schiffe und Militär betrachtet [2]. Für die Emissionsberechnung wurden konkret die Emissionsfaktoren für das Jahr 2015 herangezogen.

Die nachstehende Karte zeigt durchaus beträchtliche Emissionen entlang der Donau-Schiffsfahrtrinne.

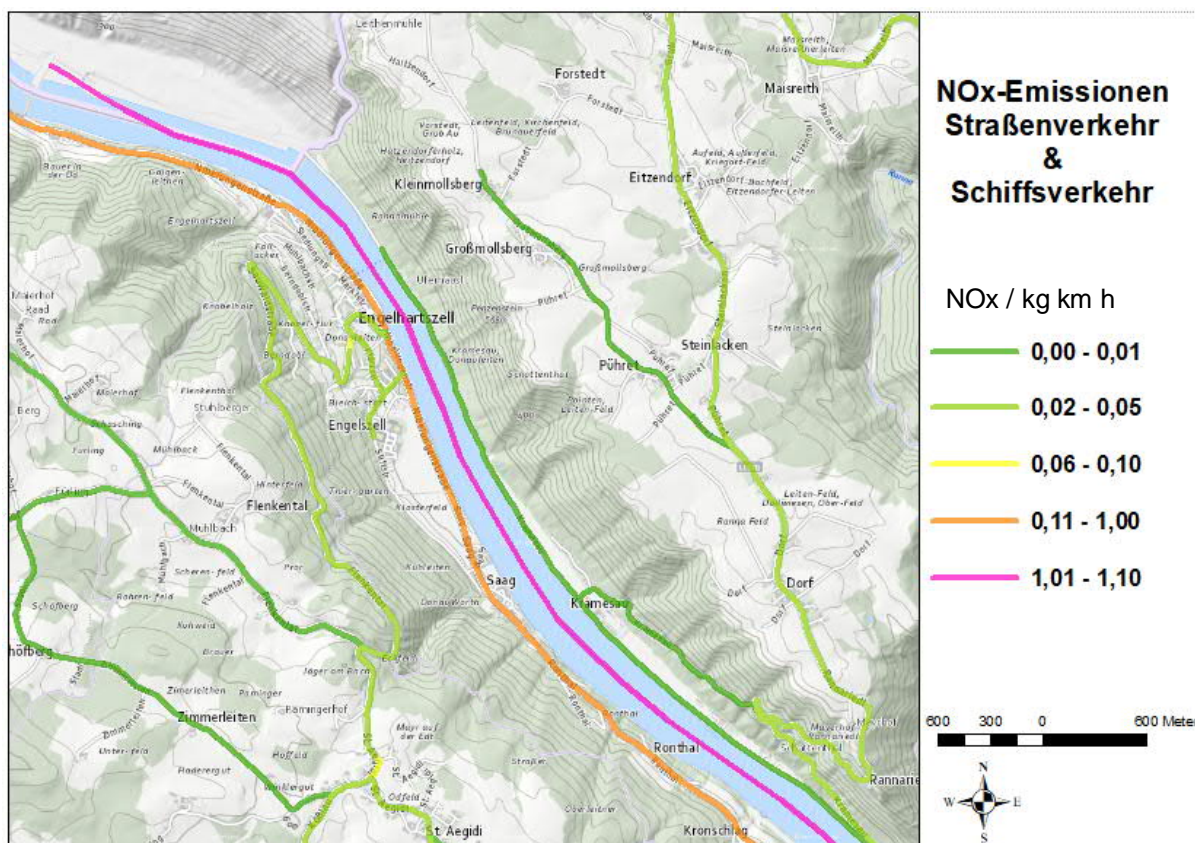


Abbildung 6: NO<sub>x</sub>-Emissionen aufgrund des Straßen- und Schiffsverkehrs

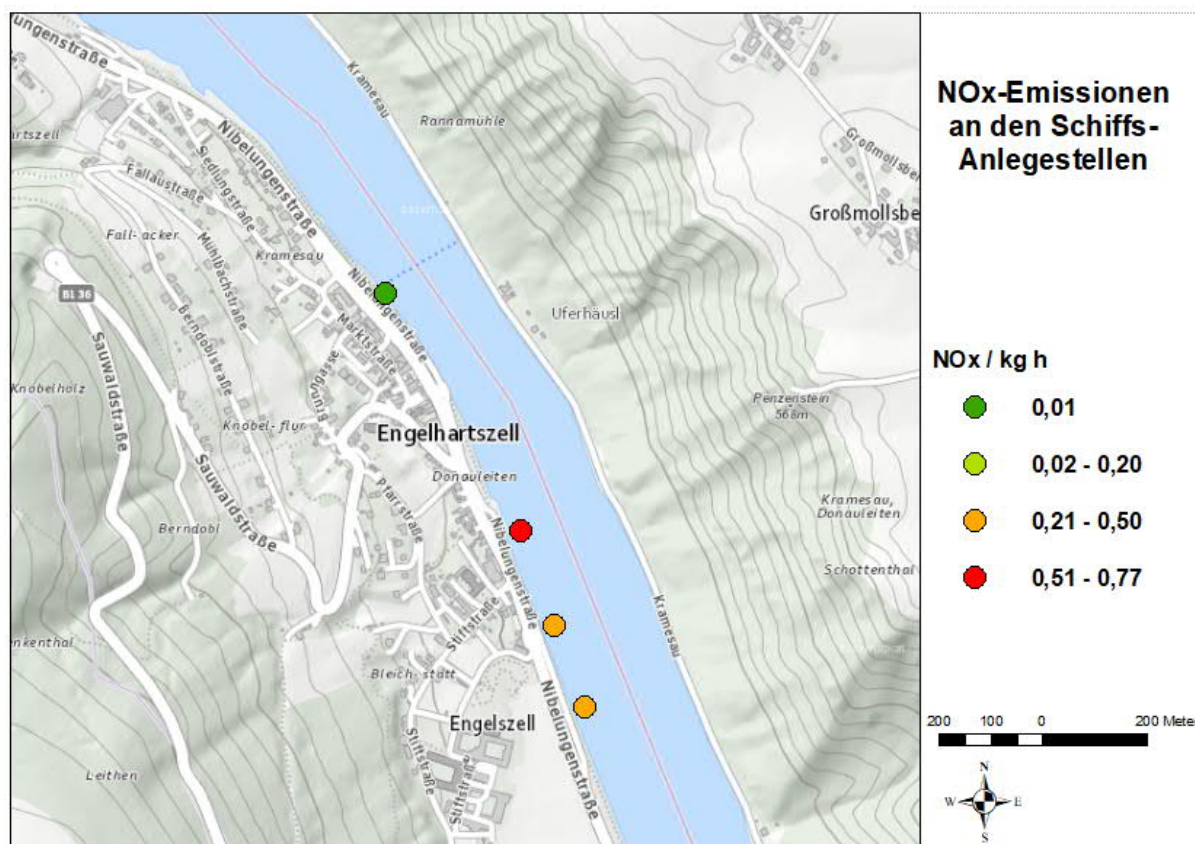


Abbildung 7: NOx-Emissionen an den Anlegestellen

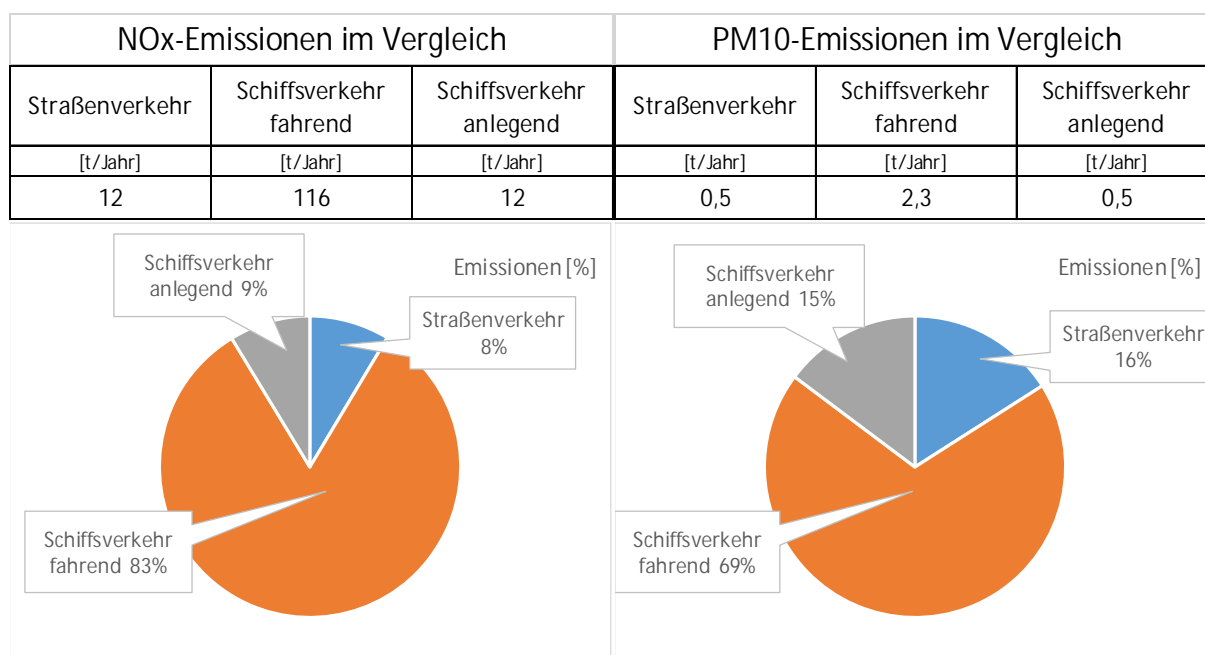


Abbildung 8: NOx- und PM10-Emissionen innerhalb des Modellgebietes

## 6.4 Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen mit GRAL

In den nun folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Ausbreitungsberechnungen mittels GRAL gezeigt.

### 6.4.1 Windsimulation an den Engelhartzeller Anlegestellen

Mit GRAL erfolgte die Simulation in einem Gitterabstand von 10 m. Dazu wurden ein Höhenmodell und die Gebäudehöhen in derselben Auflösung (10 m) unterstützend beigezogen. In Abbildung 9 sieht man das Strömungsmuster bei einem Nordwestwind in 10 m Höhe.

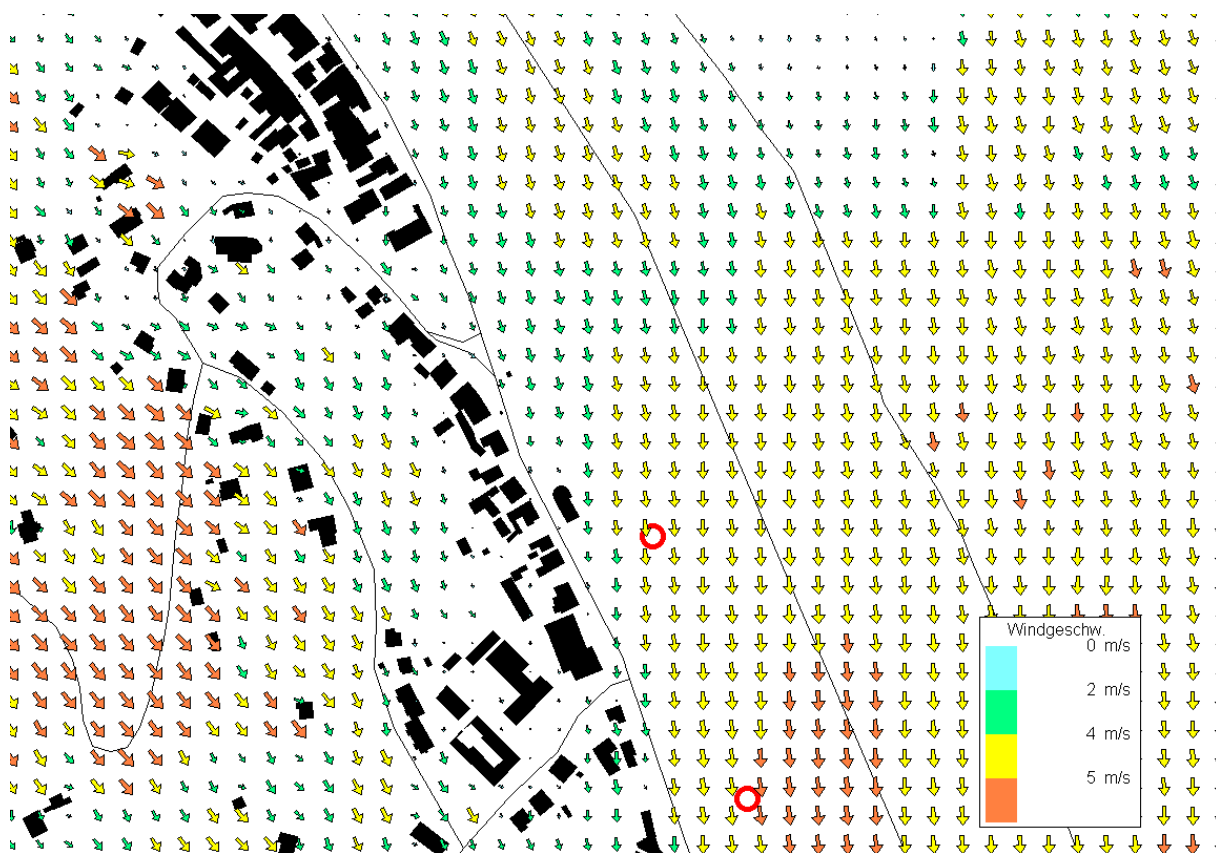


Abbildung 9: Strömungsmuster (Windvektorpeile) bei N-Westwind in 10 m Höhe über Grund

### 6.4.2 Simulierte Konzentrationen für NO<sub>x</sub>

Das Ergebnis der Immissionsberechnung beruht auf gut 1000 Windsituationen, die über das Jahr hinweg in Engelhartzell vorkommen können. Die Emissionen aus der Schifffahrt spiegeln sich auch in den Immissionskarten wieder.

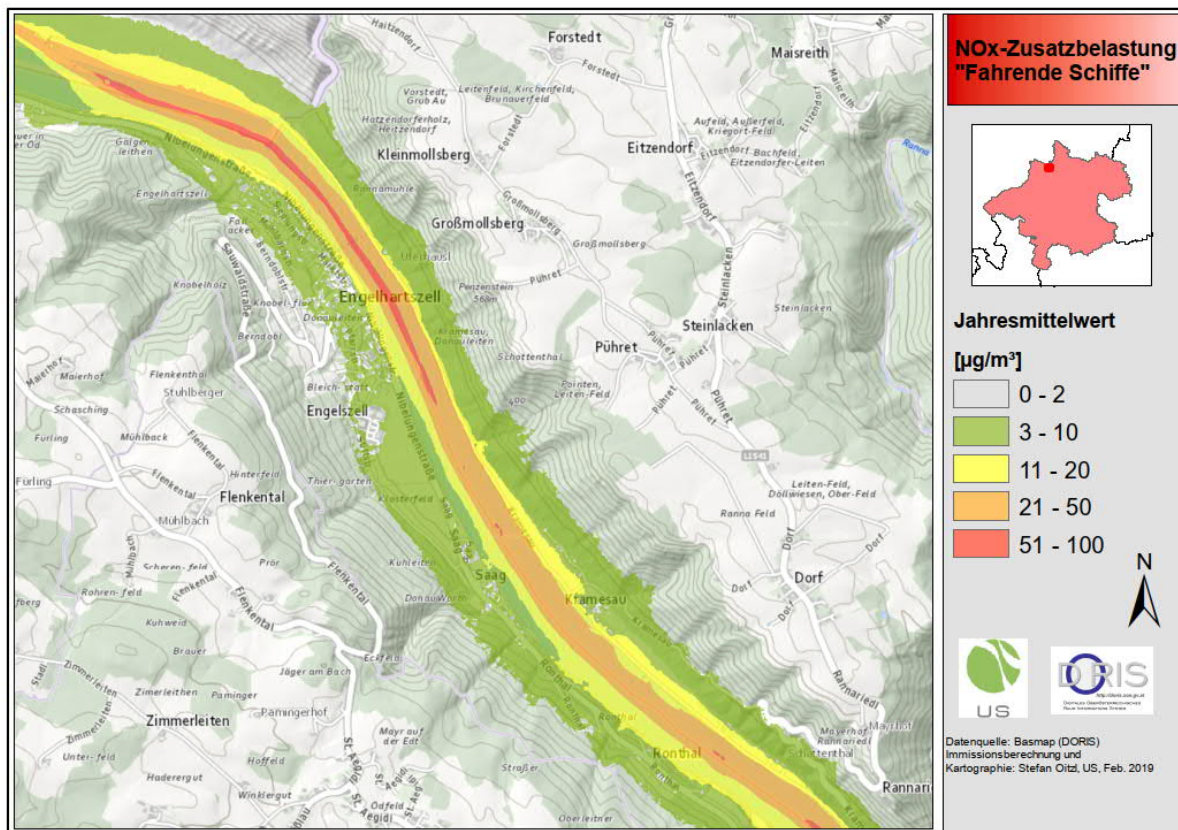


Abbildung 10: Berechnete NO<sub>x</sub>-Immission durch die fahrenden Schiffe

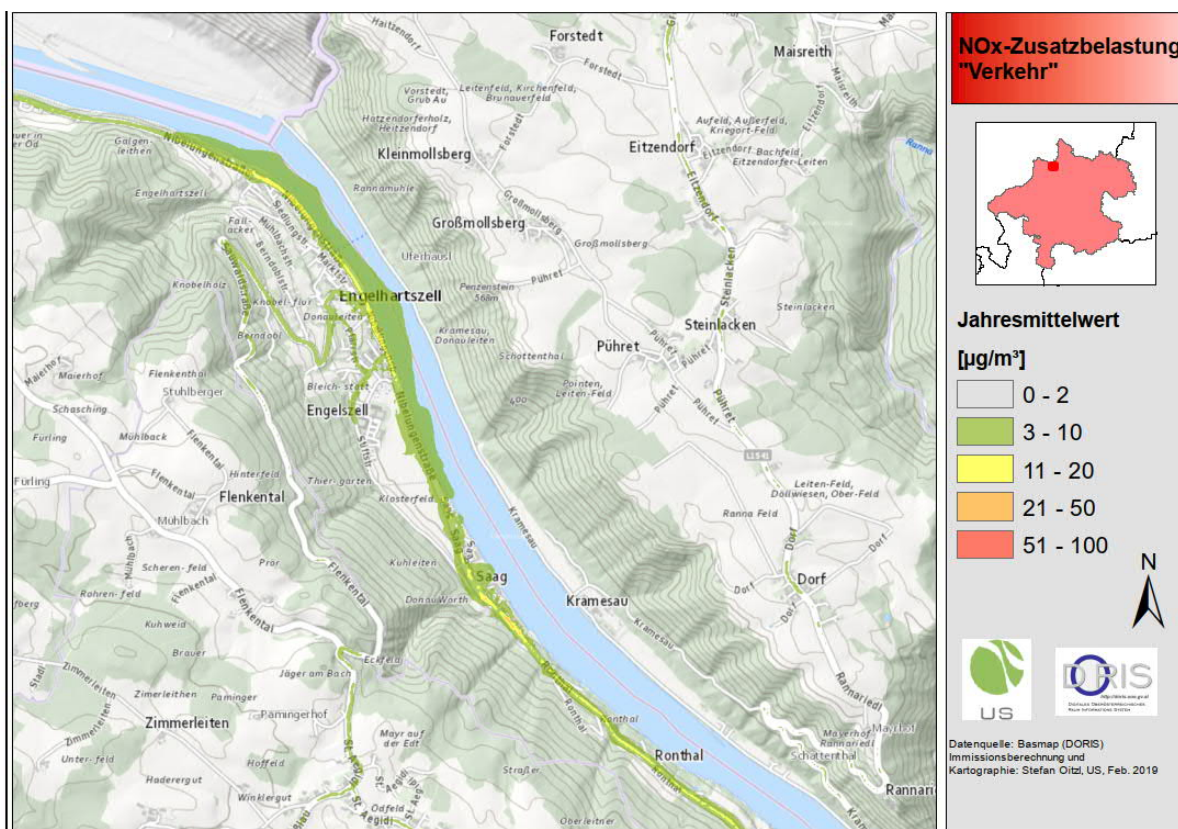
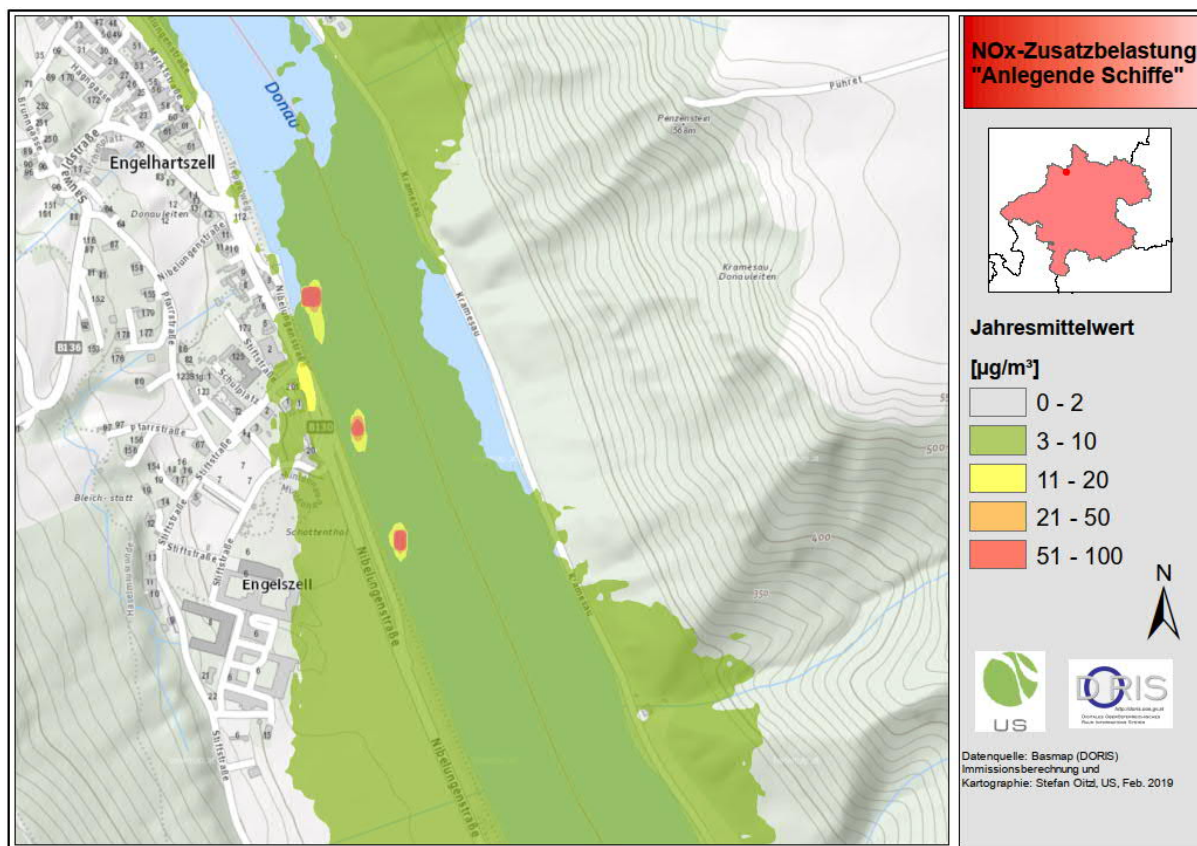


Abbildung 11: Berechnete NO<sub>x</sub>-Immission aufgrund des Straßenverkehrs



**Abbildung 12: Berechnete NO<sub>x</sub>-Immission durch die angelegten Schiffe**

### 6.4.3 Ermittlung der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen

Als einfaches Verfahren zur Ermittlung der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen wurde ein empirischer Ansatz verwendet, der die Zusammenhänge zwischen gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen und gemessenen NO<sub>x</sub>-Konzentrationen für statistische Konzentrationswerte, wie z. B. dem Jahresmittelwert, zeigt.

$$NO_{2,JMW} = NO_{x,JMW} * \left[ \frac{45}{NO_{x,JMW} + 65} + 0,135 \right]$$

**Formel 1:** Empirischer Ansatz für die NO<sub>2</sub>-Umwandlung

Dieser empirische Ansatz ist auch als "Romberg-Ansatz" bekannt, der mit Hilfe von Messwerten aus den Jahren 2017 und 2018 modifiziert wurde. Um die gesamte NO<sub>x</sub>-Konzentration erfassen zu können, wurde die NO<sub>x</sub>-Hintergrundbelastung aus Verkehr, Hausbrand, Donauschifffahrt und regionalen Hintergrund aus dem Immissionskataster entnommen. Die Hintergrundbelastung und berechnete Zusatzbelastung durch die Donauschifffahrt wurden addiert und mit der Umwandlungsfunktion (Formel 1) erhält man die in der folgenden Karte dargestellten NO<sub>2</sub>-Konzentrationen.

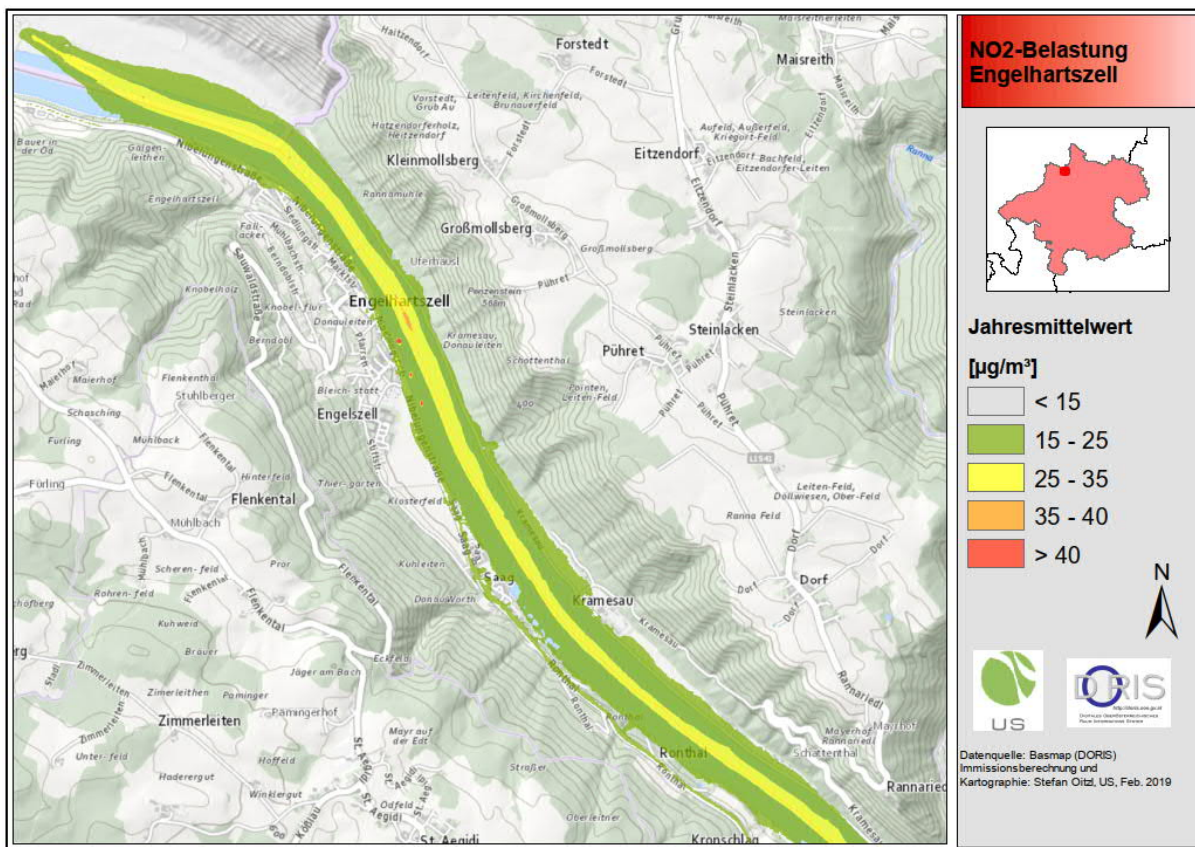


Abbildung 13: Berechnete NO<sub>2</sub>-Immission in 3m über Grund (Gesamt mit Schifffahrt + Hintergrund)

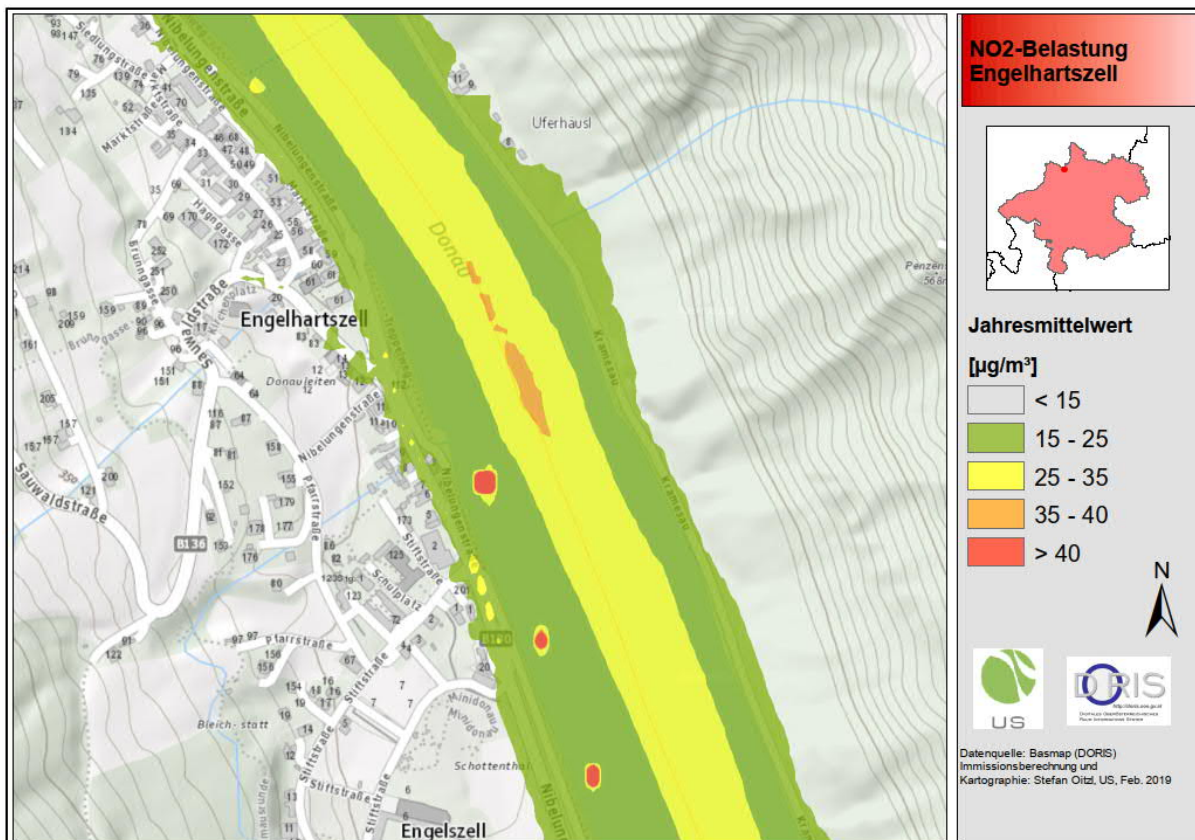


Abbildung 14: Berechnete NO<sub>2</sub>-Immission in 3m über Grund im Umfeld der Anlegestellen

### 6.4.4 Simulierte Konzentrationen für PM10

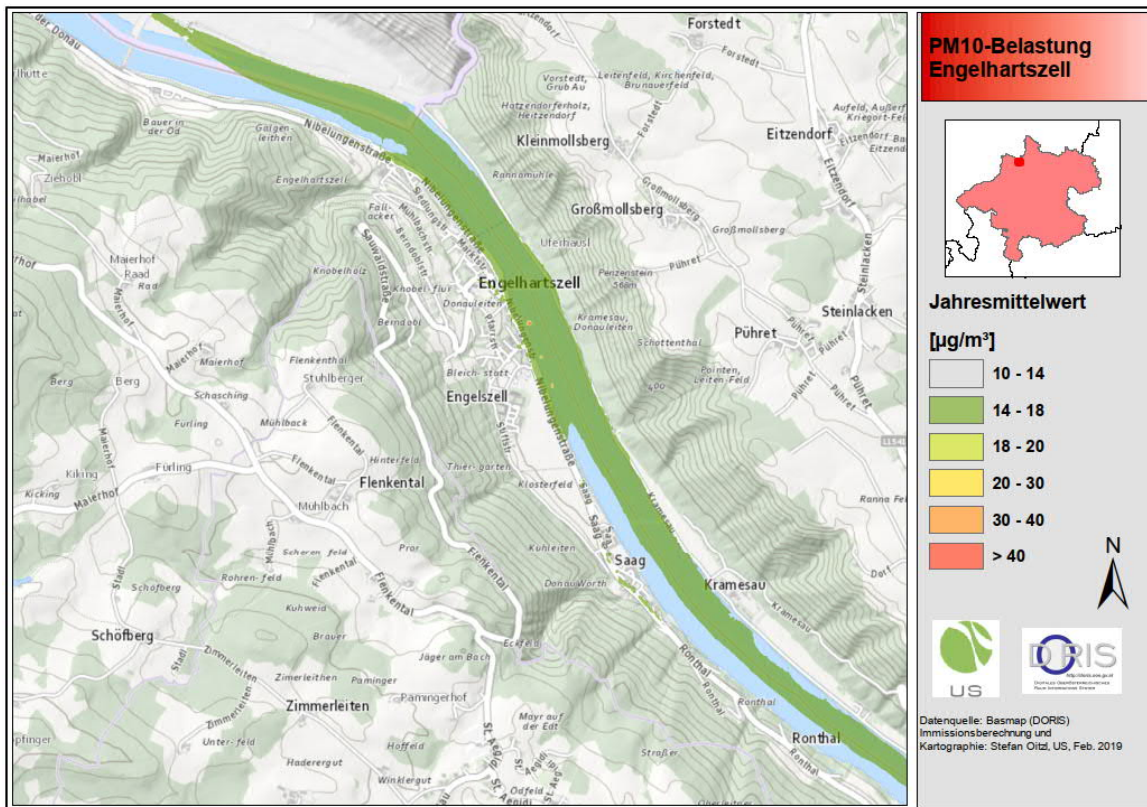


Abbildung 15: Berechnete PM10-Immission in 3m über Grund (Gesamt mit Schifffahrt + Hintergrund)

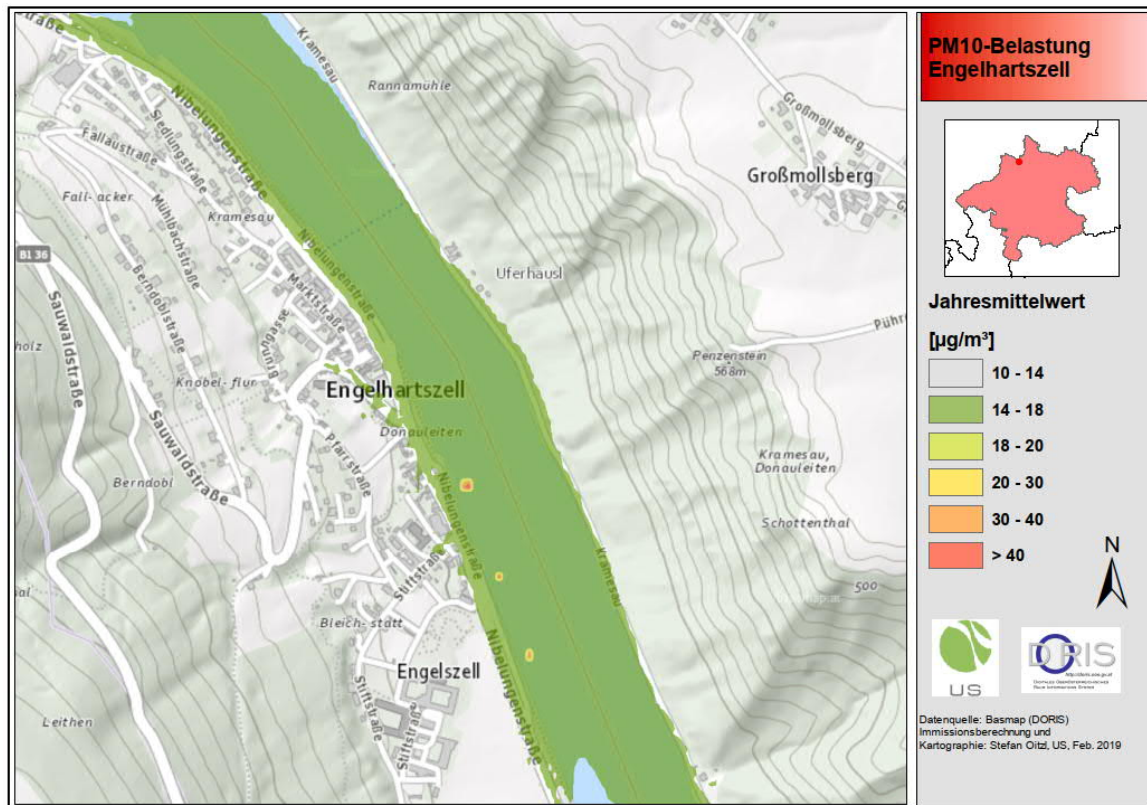


Abbildung 16: Berechnete PM10-Immission in 3m über Grund im Umfeld der Anlegestellen

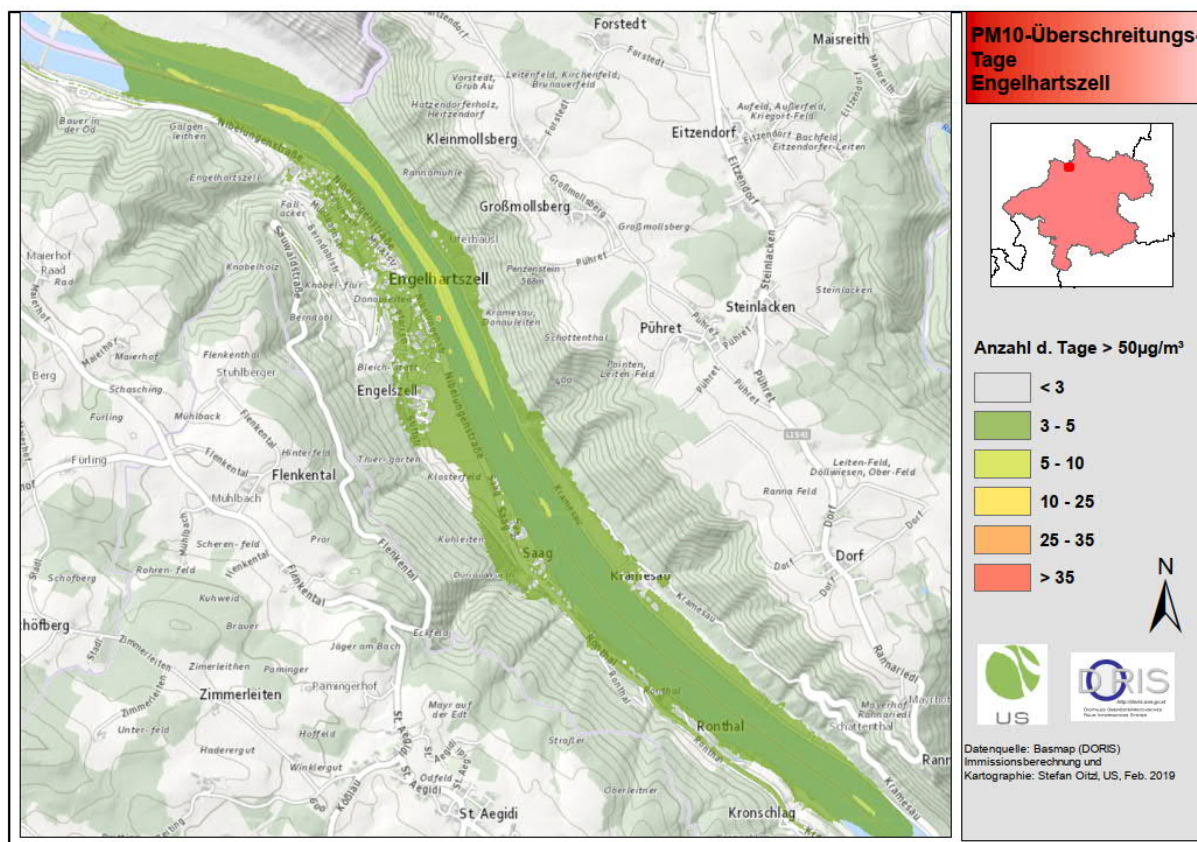


Abbildung 17: Berechnete PM10-Überschreitungstage (Anzahl d. Tage mit einem Tagesmittel > 50µg/m<sup>3</sup>)

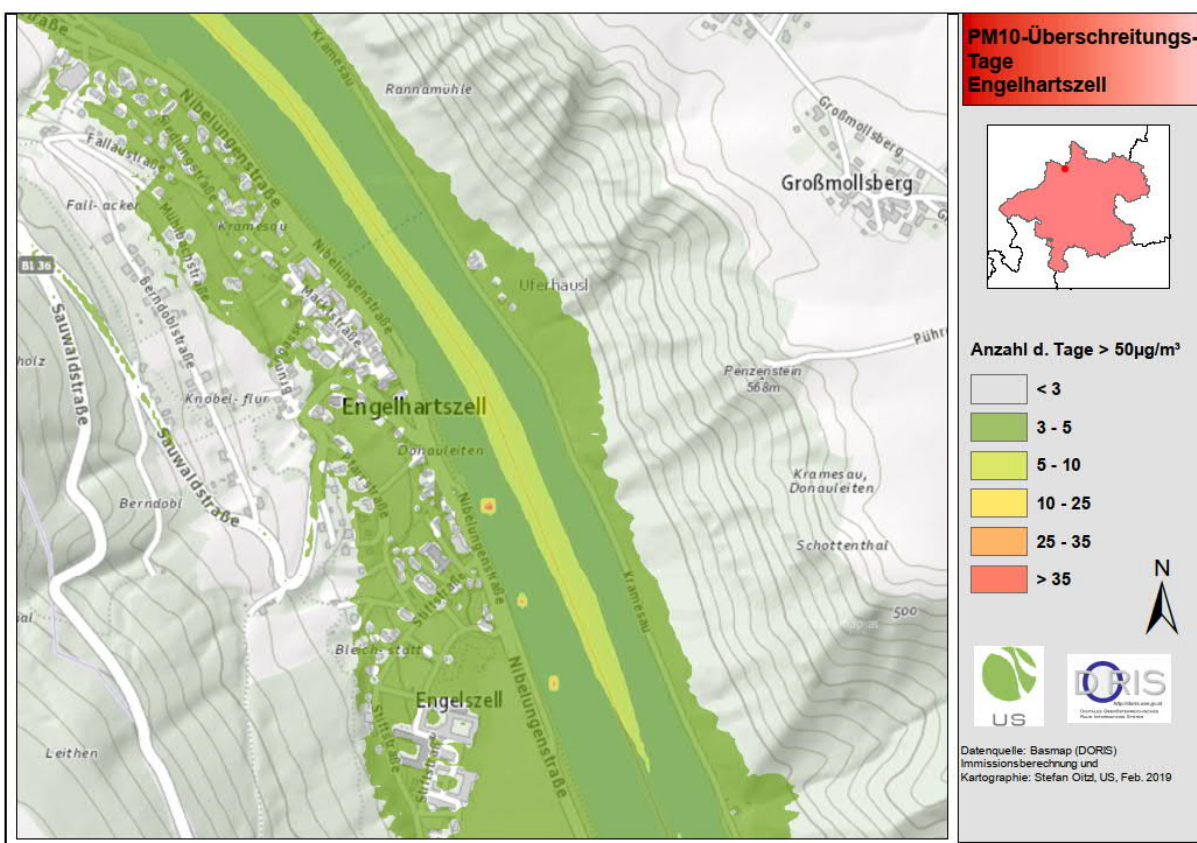


Abbildung 18: Berechnete PM10-Überschreitungstage (Anzahl d. Tage mit einem Tagesmittel > 50µg/m<sup>3</sup>)



## 7. Literatur

[1] Viadonau (2018): Jahresbericht Donauschifffahrt in Österreich

[2] Land OÖ (2018): Berechnung der Schifffahrtsemissionen in Oberösterreich, E-Data  
Technische Chemie GmbH

[3] Land Steiermark (2017): Documentation of the Lagrangian Particle Model GRAL (Graz  
Lagrangian Model) Vs. 17.9;  
<http://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/11023486/19222537/>

