# Flughafeninduzierte Emissionen und Immissionen 2025
# Flughafen Düsseldorf



Flughafen Düsseldorf
Corporate Sustainability

# Inhalt

Inhalt ..... I
1. Emissionen ..... 1
1.1 Flugzeugemissionen ..... 1
1.2 Triebwerksstarts ..... 2
1.3 Probeläufe ..... 3
1.4 Emissionen der APU (auxiliary power unit) und GPU (ground power unit) ..... 4
1.5 Betankungsemissionen ..... 7
1.6 Flugzeug-Enteisung ..... 8
1.7 Emissionen des Vorfeldbereiches ..... 9
1.8 Emissionen durch stationäre Anlagen ..... 10
1.9 Emissionen des landseitigen Kfz-Verkehrs ..... 11
1.10 Parkemissionen des Kfz-Verkehrs ..... 13
1.11 Zusammenfassung Emissionen LASPORT ..... 15
2. Immissionen ..... 16
2.1 Flugverkehr ..... 18
2.2 APU, GPU, Abfertigung, vorfeldseitiger Verkehr ..... 20
2.3 Probeläufe, Enteisung ..... 20
2.4 Tanklager, Tankstelle ..... 20
2.5 BHKW ..... 20
2.6 Ergebnisse ..... 21
2.6.1 Beurteilungswerte ..... 21
2.6.2 Immissionsdarstellung ..... 22
3. Flugverkehrsbedingte Geruchsemissionen und -immissionen am ..... 52
Flughafen Düsseldorf im Jahr 2025 ..... 52
3.1 Einleitung ..... 52
3.2 Kerosin und Geruch ..... 52
3.3 Beurteilung von Gerüchen ..... 53
3.4 Geruchsemissionen ..... 54
3.5 Geruchsimmissionen ..... 55
3.6 Ergebnis: ..... 56

Inhalt

Tabelle 1: Übersicht berücksichtigte Flugzeugemissionen ..... 1
Tabelle 2: Anzahl Flugbewegungen pro LASPORT Gruppe ..... 2
Tabelle 3: Flugzeuggruppen ..... 2
Tabelle 4: Triebwerksstartemissionen ..... 2
Tabelle 5: Verteilung Last-Zeit-Profile ..... 3
Tabelle 6: Emissionsmengen für Idle- und Probeläufe 2025 ..... 4
Tabelle 7: Berücksichtige Laufzeiten ..... 5
Tabelle 8: Treibstoffverbrauch (kg/h) APU ..... 5
Tabelle 9: Stickoxidemissionen (g/kg) APU ..... 5
Tabelle 10: Kohlenwasserstoffemissionen (g/kg) APU ..... 6
Tabelle 11: Kohlenmonoxidemissionen (g/kg) APU ..... 6
Tabelle 12: Feinstaubemissionen (PM10=PM2,5=NVPM (g/kg)) APU ..... 6
Tabelle 13: NVPN-Emissionen (#/kg) APU ..... 6
Tabelle 14: GPU-Laufzeiten im Bereich der Außenpositionen ..... 7
Tabelle 15: In LASPORT hinterlegte GPU-Emissionen ..... 7
Tabelle 16: Berechnete GPU-Emissionsmengen 2025 ..... 7
Tabelle 17: Bei der Betankung angefallene Kohlenwasserstoffe 2025 ..... 8
Tabelle 18: Hinterlegte Enteisungs-Emissionsfaktoren ..... 8
Tabelle 19: Enteisungs-Emissionsmengen 2025 ..... 9
Tabelle 20: abfertigungsabhängige Vorfeldemissionen 2025 ..... 9
Tabelle 21: berücksichtigte vorfeldseitige Straßenszenarien ..... 10
Tabelle 22: Vorfeldverkehrsemissionen 2025 ..... 10
Tabelle 23: Jahresemissionen BHKW 2025 ..... 11
Tabelle 24: landseitig berücksichtigte Straßenszenarien ..... 11
Tabelle 25: Emissionsfaktoren (HBEFA 4.2) non exhaust ..... 12
Tabelle 26: Landseitige Verkehrsemissionen 2025 ..... 12
Tabelle 27: berücksichtige Parkemissionsmengen des KFZ-Verkehrs ..... 14
Tabelle 28: Zusammenfassung der Emissionen nach LASPORT ..... 15
Tabelle 29: Standardwerte der Deposition ..... 17
Tabelle 30: Beurteilungswerte 39. BImSchV ..... 21
Tabelle 31: LAI-Bewertungsmaßstäbe ..... 21
Tabelle 32: Grenzwerte der Geruchsstunden im Jahr ..... 53

Inhalt

Abbildung 1.1: Lage der Flächen der Vorfeldenteisung ..... 9
Abbildung 1.2: Emissionsquellen Vorfeld ..... 11
Abbildung 1.3: Landseitig berücksichtigte Straßen ..... 13
Abbildung 1.4: Lage der Parkplätze (pink) ..... 14
Abbildung 1.5: Übersicht der Emissionen 2025 ..... 15
Abbildung 1.6:Lageplan der Vorfeldpositionen und Rollwege ..... 19
Abbildung 1.7:Hubschrauberrouten ..... 23
Abbildung 1.8:Sichtflugrouten ..... 23
Abbildung 1.9: Abflugrouten ..... 24
Abbildung 1.10:Steigprofile ..... 25
Abbildung 2.1: Jahresmittel 2025 mit Deposition NO2 ..... 26
Abbildung 2.1a: Flugverkehr Jahresmittel 2025 mit Deposition NO2 ..... 27
Abbildung 2.1b:Flughafen Jahresmittel 2025 mit Deposition NO2 ..... 27
Abbildung 2.2: Stundenmittel 2025 mit 18Ü mit Deposition NO2 ..... 28
Abbildung 2.2a: Flugverkehr Std.-Mittel 2025 mit 18Ü mit Deposition NO2 ..... 29
Abbildung 2.2b: Flughafen Sdt-Mittel2025 mit 18 Ü mit Deposition NO2 ..... 29
Abbildung 2.3: Jahresmittel CO 2025 ..... 30
Abbildung 2.3a: Flugverkehr Jahresmittel 2025 CO ..... 31
Abbildung 2.3b: Flughafen Jahresmittel CO 2025 ..... 31
Abbildung 2.4: Jahresmittel HC 2025 ..... 32
Abbildung 2.4a: Flugverkehr Jahresmittel HC 2025 ..... 33
Abbildung 2.4b: Flughafen Jahresmittel HC 2025 ..... 33
Abbildung 2.5: Jahresmittel C6H6 2025 ..... 34
Abbildung 2.5a: Flugverkehr Jahresmittel C6H6 2025 ..... 35
Abbildung 2.5b: Flughafen Jahresmittel C6H6 2025 ..... 35
Abbildung 2.6: Jahresmittel 2025 Deposition SO2 ..... 36
Abbildung 2.6a: Flugverkehr Jahresmittel 2025 mit Deposition SO2 ..... 37
Abbildung 2.6b: Flughafen Jahresmittel2025 mit Deposition SO2 ..... 37
Abbildung 2.7: Tagesmittel 2025 mit 3Ü mit Deposition SO2 ..... 38
Abbildung 2.7a: Flugverkehr Tagesmittel mit 3Ü 2025 mit Deposition SO2 ..... 39
Abbildung 2.7b: Flughafen Tagesmittel 2025 mit 3Ü 2025 mit Deposition SO2 ..... 39
Abbildung 2.8: Std-Mittel mit 24Ü 2025 mit Deposition SO2 ..... 40
Abbildung 2.8a: Flugverkehr Std. Mittel mit 24Ü 2025 mit Deposition SO2 ..... 41
Abbildung 2.8b: Flughafen Std- Mittel mit 24Ü 2025 mit Deposition SO2 ..... 41
Abbildung 2.9: Jahresmittel 2025 mit Deposition PM10 ..... 42
Abbildung 2.9a: Flugverkehr Jahresmittel 2025 mit Deposition PM10/PM2.5 ..... 43
Abbildung 2.9b: Flughafen Jahresmittel 2025 mit Deposition PM 10 ..... 43
Abbildung 2.10: Tagesmittel 2025 mit 35Ü mit Deposition PM10 ..... 44
Abbildung 2.10a: Flugverkehr Tagesmittel mit Ü35 2025 mit Deposition PM10 ..... 45
Abbildung 2.10b: Flughafen Tagesmittel mit 35Ü 2025 mit Deposition PM10 ..... 45
Abbildung 2.11: Jahresmittel 2025 mit Deposition PM2.5 ..... 46
Abbildung 2.11b: Flughafen Jahresmittel 2025 mit Deposition PM2.5 ..... 47
Abbildung 2.12: Jahresmittel 2025 mit Deposition NVPM ..... 48
Abbildung 2.12a: Flugverkehr Jahresmittel 2025 mit Deposition NVPM ..... 49
Abbildung 2.12b: Flughafen Jahresmittel 2025 mit Deposition NVPM ..... 49
Abbildung 2.13: Jahresmittel 2025 mit Deposition NVPN ..... 50
Abbildung 2.13a: Flugverkehr Jahresmittel 2025 mit Deposition NVPN ..... 51
Abbildung 2.13b: Flughafen Jahresmittel 2025 mit Deposition NVPN ..... 51
Abbildung 3.1: HC Emissionen des Flugverkehrs während des LTO-Zyklus ..... 52
Abbildung 4.1: Anteil der berücksichtigten Vorgänge an den Geruchs-Emissionen 2025 ..... 55
Abbildung 4.2: Geruchswahrnehmungshäufigkeit 2025 ..... 57

In diesem Bericht werden die Abgasemissionen und die dadurch verursachten Immissionen der verschiedenen Quellen am Flughafen Düsseldorf für das Jahr 2025 dargestellt und die Berechnungsweise umrissen. Betrachtet werden die Komponenten Stickstoffdioxid (NO2), Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Schwefeldioxid (SO2), Benzol (C6H6), Feinstaub (Partikel mit einem Durchmesser < 10 µm, PM10 bzw. Partikel mit einem Durchmesser < 2,5 µm, PM2,5) und die Masse (NVPM= non-volatile Particulate Matter) und die Anzahlkonzentration (NVPN= non-volatile Particulate Number) der nicht flüchtigen Partikel (ultrafein ≤ 100nm).

Zur Berechnung der Emissionen wurde das Programm LASPORT, in der Version 2.3.14, benutzt.

Folgende Quellen werden am Flughafen Düsseldorf erfasst:

⇒ **Flugzeugemissionen während des LTO (Landing-Take-Off Zyklus) Zyklus**
⇒ **Triebwerksstarts, Triebwerksprobeläufe, Enteisungsvorgänge**
⇒ **der APU-Betrieb (Hilfsgasturbinen), GPU (Ground Power Unit = Bodenstromgerät)-Betrieb**
⇒ **der luftseitige Kfz-Verkehr und die Servicegeräte auf dem Vorfeld (Abfertigung)**
⇒ **die BHKWs und Betankungsvorgänge**
⇒ **der landseitige Kfz-Verkehr durch Beschäftigte, Passagiere, Besucher und Fracht inkl. Kfz-Emissionen auf Parkplätzen und in Parkhäusern**

# 1. Emissionen

## 1.1 Flugzeugemissionen

Aufgrund der hohen Anzahl von Quellen und der damit verbundenen langen Rechenlaufzeit wurden die Immissionen im Szenariomodus berechnet. Dabei werden die Verkehrsdaten vorher statistisch ausgewertet und verschiedene Gruppenmittelungen vorgenommen. Vergleichsrechnungen haben gezeigt, dass der Unterschied zu Monitor-Rechnungen (jede einzelne Flugbewegung wird betrachtet) nur gering ist.

Folgende Flugzeugemissionen wurden berücksichtigt:

*Tabelle 1: Übersicht berücksichtigte Flugzeugemissionen*

| t | NOx | HC | CO | SO2 | PM10/PM2,5 | Benzol | NVPN (#) | NVPM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FLZ (Szenario) | 765,55 | 36,72 | 441,63 | 43,75 | 7,48 | 0,73 | 1,18E+23 | 4,29 |

Die folgende Tabelle enthält die Anzahl der Flugbewegungen pro LASPORT Gruppe.

*Tabelle 2: Anzahl Flugbewegungen pro LASPORT Gruppe*

| Name | Arr (1/a) | Dep (1/a) | Movements (1/a) | Percent (1/a) |
|---|---|---|---|---|
| Large | 477 | 477 | 954 | 0,6 |
| Medium | 2.951 | 2.958 | 5.909 | 3,7 |
| Small | 64.273 | 64.329 | 128.602 | 80,43 |
| Regional | 10.323 | 10.336 | 20.659 | 12,92 |
| Business | 1.043 | 1.048 | 2.091 | 1,31 |
| Turboprop | 598 | 597 | 1.195 | 0,75 |
| Piston | 213 | 214 | 427 | 0,27 |
| HeliLarge | 1 | 1 | 2 | 0,0 |
| HeliSmall | 23 | 24 | 47 | 0,03 |

Darstellung der Flugzeuggruppen:

*Tabelle 3: Flugzeuggruppen*

| Flugzeuggruppe | |
|---|---|
| Large | MTOW* > 300t (A340,B747, DC85,MD11,...) |
| Medium | MTOW > 120t (A310,A330,B760,...) |
| Small | MTOW > 50t (A319,A320,B730,MD81,...) |
| Regional | MTOW < 50t (B731,DC9,E145,...) |
| Turboprop | Turboprops (DHC8,D328,JS31,...) |
| Piston | Propeller (z.B. PA28, C150) |
| HeliLarge | Große Hubschrauber mit einem MTOW≥5 t |
| HeliSmall | Kleine Hubschrauber mit einem MTOW<5 t |

*MTOW: maximales zulässiges Abfluggewicht

Die Beschreibung der Berechnung der Flugzeugemissionen ist im Bericht „Berechnung der Flugverkehrsemissionen am Flughafen Düsseldorf 2025“ enthalten.

### 1.2 Triebwerksstarts

Beim Starten von Triebwerken wird unverbranntes Kerosin freigesetzt. Die entsprechenden Kohlenwasserstoffemissionsfaktoren werden aus der LASPORT Datenbank übernommen.

Folgende Werte sind in der LASPORT Datenbank hinterlegt:

*Tabelle 4: Triebwerksstartemissionen*

| FLZ Gruppe | HC kg/ FLZ Start |
|---|---|
| Large | 0,73 |
| Medium | 0,52 |
| Small | 0,28 |
| Regional | 0,24 |
| Business | 0,17 |

Insgesamt wurden im Jahre 2025 22,3 t Kohlenwasserstoffe durch Triebwerksanlassvorgänge emittiert.

### 1.3 Probeläufe

Die Triebwerksprobeläufe finden hauptsächlich in der Lärmschutzhalle statt. Die Emissionen der Halle werden in 20 m Höhe über die Dachöffnung oberhalb der Prallwand emittiert. Aufgrund der geringen Anzahl werden Probeläufe im Freien nicht berücksichtigt.

Die Betriebszustände während der Probeläufe sind nicht genau bekannt. Gegenüber den Vorjahren wurde die Berechnungsweise verändert. Dies führt zu etwas höheren Emissionen.
Auf Basis der Daten der Jahre 2023 und 2024 zur Anzahl, Art und potentiellen Dauer der Triebwerkstestläufe wurde im Rahmen der Erstellung des Luftqualitätsgutachtens für das Planfeststellungsverfahren folgender Ansatz für die mittlere Verteilung sowie die Last-Zeit-Profile ermittelt:

*Tabelle 5: Verteilung Last-Zeit-Profile*

| | | | | Dauer (min) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Art | Anteil % | Anzahl 2025 | Gesamt dauer (min) | APU | Idle | Teillast gering (30% approach) | Teillast hoch (85% climb out) | Volllast (take-off) |
| APU | 14 | 82 | 40 | 40 | | | | |
| Idle | 20 | 117 | 43 | | 43 | | | |
| Teillast | 48 | 281 | 50 | | 16 | 20 | 14 | |
| Vollast | 18 | 105 | 44 | | 31 | 7 | 6 | 4 |
| | 100 | 585 | | | | | | |

Es wurden 585 Probeläufe im Jahr 2025 berücksichtigt.

Die Triebwerkstestläufe werden der Flugzeuggruppe „small“ zugeordnet, welche den wesentlichen Anteil an den Triebwerkstestläufen ausmacht.

An den verschiedenen Abfertigungspositionen werden hin und wieder auch Idle-Läufe (Systemtests) von max. 5 Minuten Dauer durchgeführt.
Durchschnittlich werden normalerweise pro Tag ca. drei Systemtests in der Nachtzeit (22:00 Uhr bis 6:00 Uhr) und ca. drei Systemtests in der Tagzeit (6:00 Uhr bis 22:00 Uhr) durchgeführt. Dies ergibt 2.190 Idle-Läufe.

Die Emissionen der Idleläufe werden konservativ unter Ansatz der Emissionsfaktoren für die Flugzeuggruppe „medium“ im Betriebszustand „Idle“ ermittelt (auf Basis der statistischen Auswertung der Flugzeug-Emissionsfaktoren aus dem Jahr 2025) und gleichmäßig auf die Vorfeldbereiche West und Ost verteilt.

Die Abschätzung ergibt folgende Emissionsmengen für die Idle- und Probeläufe in 2025:

*Tabelle 6: Emissionsmengen für Idle- und Probeläufe 2025*

| t | Idleläufe | Probeläufe Halle | Summe |
|---|---|---|---|
| HC | 1,6 | 0,33 | 1,93 |
| NOx | 1,46 | 14,84 | 16,3 |
| CO | 6,44 | 4,5 | 10,94 |
| PM10/PM2,5 | 0,02 | 0,15 | 0,17 |
| $SO_2$ | 0,24 | 0,77 | 1,01 |
| Benzol | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| NVPM | 0,003 | 0,09 | 0,093 |
| NVPN (Anzahl) | 2,54E+20 | 2,11E+21 | 2,36E+21 |

### 1.4 Emissionen der APU (auxiliary power unit) und GPU (ground power unit)

Luftfahrzeuge benötigen während der Abfertigung am Boden Energie zum Betrieb ihrer Systeme. So ist zum einen Energie zur Versorgung der elektrischen Systeme des Flugzeuges und zum anderen klimatisierte Luft für das Beheizen bzw. Kühlen der Kabine, des Cockpits und des Frachtraumes erforderlich. Die benötigte Energie kann den Luftfahrzeugen hierbei durch interne und externe Systeme zur Verfügung gestellt werden.

Externe Systeme existieren in Form mobiler Aggregate (GPU) sowie als fest installierte Systeme: Bodenstromversorgungssysteme (Stationary Ground Power: SGP) und stationäre Klimaversorgung (Pre-Conditioned-Air System: PCA).

Während mobile Aggregate die benötigte Energie mit Hilfe von Dieselmotoren erzeugen, beziehen stationäre Systeme diese aus dem Energienetz des Flughafens, welches wiederum durch flughafeneigene Kraftwerke oder durch das öffentliche Netz der Energieversorgungsunternehmen gespeist wird. Am Flughafen Düsseldorf wird keine stationäre Klimaversorgung verwendet.

Der Flughafen Düsseldorf besitzt max. 28 Gate Positionen und max. 68 Außenpositionen (Ramps, ohne GAT), wobei einige Positionen Mehrfachpositionen sind und aufgrund von Bautätigkeiten etc. nicht immer alle Positionen nutzbar sind. Die Gates sind mit einer stationären Bodenstromversorgung (SGP) ausgestattet. Die Außenpositionen können nahezu vollständig mit GPUs bestückt werden. Man kann in der Realität etwa von einer ca. 80 prozentigen GPU Nutzung zur Stromversorgung an den Außenpositionen ausgehen.

Zur Klimaversorgung, sofern diese aufgrund meteorologischer Gegebenheiten erforderlich ist, werden am Flughafen Düsseldorf die APUs benutzt. Teilweise werden aber auch gleichzeitig APU und GPU (bzw. SGP) benutzt. Zum Starten der Triebwerke werden die APUs immer benötigt.

Detaillierte Informationen über die Nutzung der verschiedenen Energie- und Klimasysteme liegen nicht vor. Aus diesem Grund müssen für die Emissionsberechnung Annahmen und z.T. Verallgemeinerungen vorgenommen werden.
Für die Emissionsberechnung wurden folgende Benutzungszeiten pro Abfertigung in Abhängigkeit der Größe des Flugzeuges abgeschätzt:

Bei den APU Emissionen werden entsprechend des ICAO Manuals drei Lastzustände berücksichtigt:
Normal Running:
Start and Stabilisation: 180 (3 min) Sekunden vor dem Start
Triebwerksstart: 140 Sekunden für große Flugzeuge und 35 Sekunden sonst.

Gemäß AzD (Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb) werden als Gesamt APU-Laufzeiten für jede Luftfahrzeugklasse, ausgenommen Luftfahrzeugklassen ohne APU (z.B. Propellermaschinen, Helikopter), verwendet:

- 30 Minuten vor dem Start
- 15 Minuten nach der Landung

So dass folgende Laufzeiten berücksichtigt werden:

*Tabelle 7: Berücksichtige Laufzeiten*

| | | | Large |
|---|---|---|---|
| APU Start u. Stablilisation | Start-up | 180s = 3min | 180s = 3min |
| Flugzeug Vorbereitung | Normal Running | 30 min – 3min - 0,6 min=26,4min | 30min-3min-2,3min=24,7min |
| Triebwerksstart | High load | 35s=0,6min | 140s=2,3min |
| Flugzeugnachbereitung | Normal Running | 15min | 15min |

Dies ist eine worst case Abschätzung, insbesondere da nach der Flughafenbenutzungsordnung des Flughafens Düsseldorf bei ankommenden Luftfahrzeugen die APU unmittelbar nach Erreichen der Parkposition abzuschalten ist.

Im neuen ICAO Airport Air Quality Manual aus dem Jahr 2020 sind APU Emissionsfaktoren für die verschiedenen Flugzeuggruppen enthalten. Diese werden hier angewendet. Benzol wird mit 2% der HC Emissionen angesetzt und SO2 mit 0,08 g/kg Treibstoff.
Wie bei den Haupttriebwerken kann in guter Näherung angenommen werden, dass die Freisetzung von PM10 ausschließlich in Form von nichtflüchtigen Partikeln erfolgt (PM10=PM2,5=NVPM).

APU Emissionsfaktoren:

*Tabelle 8: Treibstoffverbrauch (kg/h) APU*

| Flugzeuge | Start/Stabilisation | Triebwerksstart | Normal Running |
|---|---|---|---|
| Large | 146 | 262 | 238 |
| Medium | 109 | 193 | 166 |
| Small | 77 | 130 | 110 |
| Regional | 68 | 113 | 105 |
| Business | 68 | 110 | 101 |

*Tabelle 9: Stickoxidemissionen (g/kg) APU*

| Flugzeuge | Start/Stabilisation | Triebwerksstart | Normal Running |
|---|---|---|---|
| Large | 7,27 | 12,77 | 12,41 |
| Medium | 8,09 | 9,98 | 9,58 |
| Small | 4,99 | 8,68 | 6,38 |
| Regional | 4,16 | 6,46 | 6,74 |
| Business | 4,03 | 6,49 | 6,93 |

*Tabelle 10: Kohlenwasserstoffemissionen (g/kg) APU*

| Flugzeuge | Start/Stabilisation | Triebwerksstart | Normal Running |
|---|---|---|---|
| Large | 0,64 | 0,11 | 0,13 |
| Medium | 0,99 | 0,11 | 0,11 |
| Small | 9,91 | 0,27 | 0,39 |
| Regional | 12,76 | 0,41 | 0,28 |
| Business | 15,09 | 0,45 | 0,27 |

*Tabelle 11: Kohlenmonoxidemissionen (g/kg) APU*

| Flugzeuge | Start/Stabilisation | Triebwerksstart | Normal Running |
|---|---|---|---|
| Large | 9,26 | 0,66 | 0,64 |
| Medium | 13,28 | 0,88 | 1,38 |
| Small | 38,29 | 4,18 | 3,51 |
| Regional | 44,31 | 5,90 | 6,39 |
| Business | 49,19 | 5,95 | 6,09 |

*Tabelle 12: Feinstaubemissionen (PM10=PM2,5=NVPM (g/kg)) APU*

| Flugzeuge | Start/Stabilisation | Triebwerksstart | Normal running |
|---|---|---|---|
| Large | 0,15 | 0,09 | 0,11 |
| Medium | 0,28 | 0,21 | 0,23 |
| Small | 0,74 | 0,16 | 0,20 |
| Regional | 0,89 | 0,33 | 0,37 |
| Business | 0,93 | 0,33 | 0,35 |

*Tabelle 13: NVPN-Emissionen (#/kg) APU*

| Flugzeuge | Start/Stabilisation | Triebwerksstart | Normal running |
|---|---|---|---|
| Large | 4,00E+14 | 3,22E+14 | 8,62E+14 |
| Medium | 2,58E+15 | 1,71E+15 | 2,09E+15 |
| Small | 4,75E+14 | 8,77E+14 | 8,62E+14 |
| Regional | 3,16E+15 | 3,39E+15 | 3,34E+15 |
| Business | 1,24E+14 | 2,42E+15 | 1,98E+15 |

Als Mittel über alle Außenpositionen wurden folgende GPU-Laufzeiten angesetzt:

*Tabelle 14: GPU-Laufzeiten im Bereich der Außenpositionen*

| Flugzeuggruppe | GPU-Laufzeiten in Minuten im Bereich der Außenpositionen | |
|---|---|---|
| | nach Landung | vor Start |
| Large | 85 | 80 |
| Medium | 45 | 35 |
| Small | 40 | 30 |
| Regional | 30 | 30 |
| Business | 30 | 30 |
| Truboprop | 30 | 30 |

Dies ist eine worst case Abschätzung, da inzwischen immer mehr elektrische GPUs im Einsatz sind.
An den Terminalpositionen erfolgt kein GPU-Einsatz, da hier eine stationäre Stromversorgung vorhanden ist.

*Tabelle 15: In LASPORT hinterlegte GPU-Emissionen*

| Tracer | Unit | LASPORT 2.3 |
|---|---|---|
| Fuel Flow (FF) | kg/h | 6,90 |
| NOX | g/kg | 29,1 |
| HC | g/kg | 2,02 |
| CO | g/kg | 4,04 |
| PM10/PM2,5/ NVPM | g/kg | 0,725 |
| BNZ | g/kg | 0,1 |
| SOX | g/kg | 0,02 |
| NVPN | #/kg | 5,03e+13 |

Folgende Emissionsmengen (t) errechnen sich für 2025:

*Tabelle 16: Berechnete GPU-Emissionsmengen 2025*

| | NOx | HC | CO | $SO_2$ | PM10/PM2,5/ NVPM | Benzol | NVPN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| APU | 41,99 | 8,01 | 44,59 | 5,12 | 1,73 | 0,16 | 7,74E+21 |
| GPU | 6,26 | 0,43 | 0,87 | 0,004 | 0,16 | 0,02 | 1,08E+19 |

### 1.5 Betankungsemissionen

Eine weitere Emissionsquelle bildet die Flugzeugbetankung. Bei der Umfüllung des Treibstoffs kommt es in Abhängigkeit des verwendeten Systems zu Verdampfungsemissionen an Kohlenwasserstoffen (HC). Dies gilt sowohl für die Befüllung der Vorratstanks am Tanklager sowie für die Tanks der Flugzeuge. Die Betankungsemissionen fallen somit mehrmals an. Nach der Anlieferung per LKW wird der Kraftstoff zunächst in konventionelle Vorratstanks beim Tanklager gefüllt. Danach werden Tanklaster gefüllt, die mit dem Treibstoff auf das Vorfeld fahren und dort vor Ort das Flugzeug betanken. Die Betankungsemissionen von Kerosin fallen am Flughafen Düsseldorf somit zweimal am Tanklager an und

einmal beim jeweiligen Flugzeug. Auf Basis von Dampfdruck und Sättigungskonzentration für Kerosin für eine mittlere Temperatur von 15°C ist von einer Kohlenwasserstoff Emission von ca. 0,01 kg pro m3 Verdrängungsluft auszugehen (Müller-BBM GmbH (2020), „Flughafen Düsseldorf Planfeststellungsverfahren zur Kapazitätserweiterung, Luftqualitätsgutachten Prognosejahr 2030 ohne Verlängerung Flugsteig C sowie ohne A44-Anschlussstelle-Ost“).

Aus einer abgeschätzten Betankungsmenge von ca. 3,6 m3 Kerosin pro gewerbl. Bewegung ergeben sich am Tanklager ca. 11,1 t HC Verdampfungsemissionen. Die darin enthaltene Benzolmenge lässt sich auf ca. 0,004 kg Benzol/kgC (9) abschätzen.
Die Emissionen beim Betanken der Flugzeuge werden über die Emissionsansätze für die Flugzeugabfertigung pauschal mit 0,06 kg HC pro Flugzeug (Gruppen Large – Turboprop) berücksichtigt.
Zusätzlich fallen Betankungsemissionen an der Betriebstankstelle auf dem Vorfeld an. Als Emissionsfaktor für die Kohlenwasserstoffe wird ein Faktor von 2,4 g Kohlenwasserstoffe / l Treibstoff und ein Benzolgehalt von 0,004 kg/kg Kohlenwasserstoffe angenommen.

*Tabelle 17: Bei der Betankung angefallene Kohlenwasserstoffe 2025*

| 2025 | HC (t) | Benzol (t) |
|---|---|---|
| Tanklager | 11,1 | 0,04 |
| Tankstelle Vorfeld | 2,6 | 0,01 |

### 1.6 Flugzeug-Enteisung

In den Wintermonaten treten Emissionen im Rahmen der Flugzeugabfertigung während der Enteisungsvorgänge auf. Hierbei entstehen zum einen Emissionen aus der Verwendung der eingesetzten Enteisungsmittel, welche Propylenglykol enthalten, und zum anderen aus dem Betrieb der Enteisungsfahrzeuge sowie den Standzeiten der Flugzeuge während des Enteisungsprozesses. Letztere sind in den Idlezeiten der Flugzeuge enthalten.

In LASPORT werden die monatlichen Enteisungsvorgänge berücksichtigt und die entsprechenden Emissionen durch die Fahrzeuge und das Enteisungsmittel mittels hinterlegter Emissionsfaktoren berechnet. Diese Emissionsfaktoren basieren auf Erhebungen vom Flughafen Zürich. Der Flughafen Düsseldorf hat zwei Enteisungsbereiche mit jeweils 4 Positionen im Westen und im Osten.

*Tabelle 18: Hinterlegte Enteisungs-Emissionsfaktoren*

| Name; | FB; | SOX; | NOX; | CO; | HC; | BNZ; | PM10; PM2,5; NVPM | NVPN; |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Unit; | kg/FLZ | kg/FLZ | kg/FLZ | kg/FLZ | kg/FLZ | kg/FLZ | kg/FLZ | 1/FLZ |
| Large; | 17,24 | 0,00034 | 0,73 | 0,24 | 0,11 | 0,0031 | 0,029 | 1,18E+16 |
| Medium; | 11,76 | 0,00024 | 0,50 | 0,16 | 0,08 | 0,0022 | 0,020 | 8,02E+15 |
| Small; | 7,84 | 0,00016 | 0,33 | 0,11 | 0,05 | 0,0014 | 0,013 | 5,35E+15 |
| Regional; | 7,84 | 0,00016 | 0,33 | 0,11 | 0,05 | 0,0014 | 0,013 | 5,35E+15 |
| Business; | 5,49 | 0,00011 | 0,23 | 0,08 | 0,04 | 0,0010 | 0,009 | 3,74E+15 |
| Turboprop; | 5,49 | 0,00011 | 0,23 | 0,08 | 0,04 | 0,0010 | 0,009 | 3,74E+15 |

Bei den Partikeln werden keine Auf- und Abriebemissionen berücksichtigt.

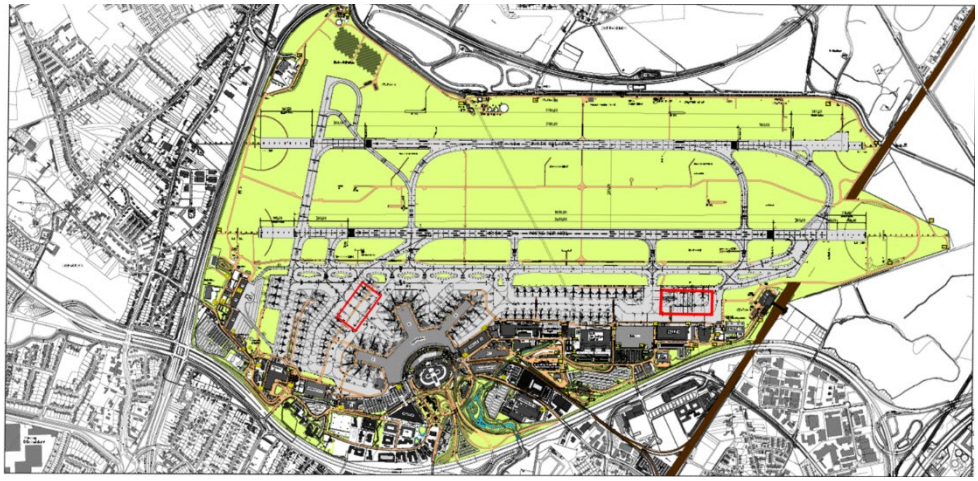


*Abbildung 1.1: Lage der Flächen der Vorfeldenteisung*

Folgende Emissionsmengen (t) errechnen sich für 2025:

*Tabelle 19: Enteisungs-Emissionsmengen 2025*

| | NOx | HC | CO | $SO_2$ | PM10/PM2,5/ NVPM | Benzol | NVPN (#) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Enteisung | 0,55 | 0,08 | 0,18 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 8,86E+18 |

## 1.7 Emissionen des Vorfeldbereiches

Die zur Abwicklung des Flugbetriebes benötigten Fahrzeuge und Geräte auf dem Vorfeld müssen bei der Emissionsbilanzierung ebenfalls berücksichtigt werden. Zum abfertigungsbezogenen Verkehr zählen z.B. die Fahrten und Nutzungsdauern von Crewbussen, Gepäckförderbändern, Lastkarren, Bussen, Hubbühnen etc. Diese Emissionen werden in LAPORT als flugbewegungsabhängige Handling-Emissionen berücksichtigt. Es wird zwischen Terminalpositionen und Außenpositionen unterschieden. Die Emissionsfaktoren pro Flugzeug (kg/FLZ) wurden dem Ausbreitungsmodell LASPORT entnommen und basieren auf Erhebungen des Flughafens Zürich.

Die abfertigungsabhängigen Vorfeldemissionen im Jahr 2025 errechnen sich zu:

*Tabelle 20: abfertigungsabhängige Vorfeldemissionen 2025*

| | NOx (t) | HC (t)* | CO (t) | $SO_2$ (t) | PM10/PM2,5/NVPM (t) | Benzol (t) | NVPN (#) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abfertigung | 20,7 | 6,65 | 10,55 | 0,01 | 1,15 | 0,09 | 4,44E+18 |

*Inkl. der Betankungsemissionen der Flugzeuge (s.o.)

Zusätzlich finden auf den Vorfeldhauptstraßenzügen allgemeine Fahrten statt.
Anhand der Orginärpassagierzahlen und der Ein- und Ausfahrtenzählungen an Tor 1 und Tor 36 wird versucht die Zahlen für den Vorfeldverkehr abzuschätzen. Gegenüber 2024 sanken die Toreinfahrten im Jahr 2025 um ca. 22%. Aus diesem Grund wurde die Anzahl aus dem Jahr 2024 um 22% erniedrigt. Es

wurde unterschieden nach PC (PKW), LNF (leichte Nutzfahrzeuge), HGV (schwere Nutzfahrzeuge) und Bussen (100% Linienbusse).
Dabei wurde folgende Aufteilung berücksichtigt: 30% PC; 35% LNF; 20% HGV und 15% Busse.

Die hinterlegten Emissionsfaktoren mit dem Betrachtungsjahr 2025 basieren auf dem „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA)“ Version 4.2 vom Umweltbundesamt bzw. INFRAS. Dabei werden bei den Partikeln auch die „Nicht-Auspuff-Quellen (non exhaust)“ (z.B. Straße, Reifenverschleiß) berücksichtigt:

- nvPM: entspricht dem Russ BC + BC non exhaust
- nvPN: entspricht dem PN aus dem HBEFA
- PM10: entspricht PM + PM non exhaust
- PM25: PM25 + PM25 non exhaust

Folgende Straßenszenarien können vorfeldseitig berücksichtigt werden (je nach Auswahl unterscheiden sich die Emissionsfaktoren):

*Tabelle 21: berücksichtigte vorfeldseitige Straßenszenarien*

| LASPORT | Beschreibung | HBEFA 4.2 Verkehrssituation |
|---|---|---|
| A1 | Luftseite Vorfeld, Zufahrt zu Positionsflächen | Agglo/Erschließung/30/stop+go |
| A2 | Luftseite Terminalbereich, rückwärtige Terminalzufahrt | Agglo/Erschließung/30/gesättigt |
| A3 | Luftseite Umfahrung, bzw. Betriebsstraße mit T30 | Agglo/Erschließung/30/flüssig |

Die Einfahrtsbereiche an Tor 1 und Tor 36 wurden auch noch der Vorfeldseite zugerechnet (A2). Ebenso wurden pro Tag jeweils 171 Fahrten für die Tankwagen des Tanklagers vom/zum Vorfeld berücksichtigt. Der primäre NO2-Anteil im NOx wird bei den Fahrzeuggruppen durch Berücksichtigung der NO2 Emissionsfaktoren aus der HBEFA Datenbank berücksichtigt.

*Tabelle 22: Vorfeldverkehrsemissionen 2025*

| In t | NOx | HC | CO | $SO_2$ | PM10* | Benzol | PM2,5* | NVPM* | NVPN(#) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Luftseitiger Verkehr | 5,95 | 0,15 | 1,94 | 0,01 | 1,59 | 0,004 | 0,19 | 0,04 | 3,24E+19 |

(* inkl. non exhaust)

## 1.8 Emissionen durch stationäre Anlagen

Der Flughafen wurde 2020 an das zentrale Fernwärmenetz der Stadtwerke Düsseldorf angeschlossen. Damit fallen die Emissionen am Heizwerk 3 weg und nur die Emissionen der beiden Blockheizkraftwerke bleiben übrig. In den letzten Jahren hat sich der Verbrauch von Erdgas deutlich reduziert. Gegenüber dem normalen Betrieb (Annahme Vorjahre: ganzjähriger Betrieb mit 8.500 Stunden) wurden die Emissionen um 11% gesenkt.

*Tabelle 23: Jahresemissionen BHKW 2025*

| | NOx (t) | HC (t) | CO (t) | SO2 (t) | PM10 (t) | PM2,5 (t) | NVPM (t) | NVPN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BHKW 1 u. 2 | 17,25 | - | 3,45 | - | - | - | | |

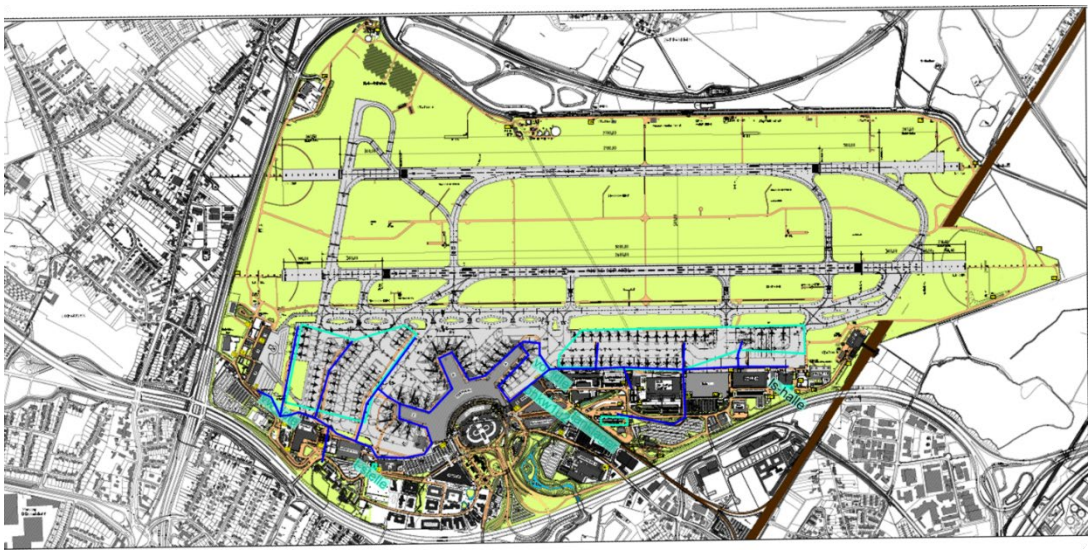


*Abbildung 1.2: Emissionsquellen Vorfeld*

türkis: Bereiche der Idleläufe (s.o.), Tanklager, Lärmschutzhalle, Tankstelle, BHKW  blau: Vorfeldstraßen

## 1.9 Emissionen des landseitigen Kfz-Verkehrs

Die Verkehrsmengen auf den umliegenden Straßen durch den landseitigen flughafeninduzierten Verkehr kann nur sehr grob abgeschätzt werden. Basis bilden die Erhebungen aus dem neuen Gutachten für das Planfeststellungsverfahren zur Kapazitätserweiterung zum landseitigen Verkehr und die entsprechenden Passagierzahlen. Aufgrund dieser neuen Datenbasis reduzieren sich die Emissionen gegenüber den Vorjahren.
Ebenso wie beim luftseitigen Verkehr wurden vier Fahrzeugkategorien berücksichtigt (PC (PKWs), LNF (leichte Nutzfahrzeuge), HGV (schwere Nutzfahrzeuge), Bus (Linienbus)).

Folgende Straßenszenarien wurden landseitig berücksichtigt (je nach Auswahl unterscheiden sich die Emissionsfaktoren):

*Tabelle 24: landseitig berücksichtigte Straßenszenarien*

| LASPORT | Beschreibung | HBEFA 4.2 Verkehrssituation |
|---|---|---|
| L1 | Landseite, Autobahn als Zubringer | Agglo/AB-Nat/100/dicht |
| L2 | Landseite, Hauptstraße/-Fernstraße als Zubringer, T70 | Agglo/FernStr-Nat/70/flüssig |
| L3 | Landseite, Autobahn als Zubringer, T50 | Agglo/HVS/50/flüssig |
| L4 | Landseite, Zufahrt/Anbindung zu Terminal/Parking | Agglo/Erschließung/30/gesättigt |
| L5 | Landseite, innerhalb Parkhaus/-platz | Agglo/Erschließung/30/stop+go |

Auch hier gilt:

- nvPM: entspricht dem Ruß BC + BC non exhaust
- nvPN: entspricht dem PN aus dem HBEFA
- PM10: entspricht PM + PM non exhaust
- PM25: PM25 + PM25 non exhaust

*Tabelle 25: Emissionsfaktoren (HBEFA 4.2) non exhaust*

| PC, | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Unit | Tracer | A1, A2, L4,L5 | A3 | L1 | L2 | L3 |
| g/km | PM (non-exhaust) | 0,0450 | 0,0260 | 0,0300 | 0,0260 | 0,0260 |
| g/km | PM2.5 (non-exhaust) | 0,0150 | 0,0150 | 0,0090 | 0,0120 | 0,0150 |
| g/km | BC (non-exhaust) | 0,0015 | 0,0015 | 0,0009 | 0,0012 | 0,0015 |
| LNF | | A1, A2, L4,L5 | A3 | L1 | L2 | L3 |
| g/km | PM (non-exhaust) | 0,045 | 0,026 | 0,03 | 0,026 | 0,026 |
| g/km | PM2.5 (non-exhaust) | 0,022 | 0,022 | 0,012 | 0,017 | 0,021 |
| g/km | BC (non-exhaust) | 0,0022 | 0,0022 | 0,0012 | 0,0017 | 0,0021 |
| HGV, BUS | | A1, A2, L4,L5 | A3 | L1 | L2 | L3 |
| g/km | PM (non-exhaust) | 1,2000 | 0,2800 | 0,1300 | 0,1000 | 0,1000 |
| g/km | PM2.5 (non-exhaust) | 0,0680 | 0,0680 | 0,0510 | 0,0580 | 0,0680 |
| g/km | BC (non-exhaust) | 0,0068 | 0,0068 | 0,0051 | 0,0058 | 0,0068 |

Bei den Straßenszenarien L4 und L5 wurde außerdem ein Kaltstartanteil von 22% bzw. 50% bei den PKWs und leichten Nutzfahrzeugen berücksichtigt. Auch hier wurde der primäre NO2-Anteil im NOx bei den Fahrzeuggruppen durch Berücksichtigung der NO2 Emissionsfaktoren aus der HBEFA Datenbank einbezogen.

Landseitige Verkehrsemissionen 2025:

*Tabelle 26: Landseitige Verkehrsemissionen 2025*

| | NOx (t) | HC (t) | CO (t) | $SO_2$ (t) | PM10* (t) | Benzol (t) | PM2,5* (t) | NVPM* (t) | NVPN (#) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| landseitiger Verkehr | 31,00 | 4,02 | 51,94 | 0,13 | 6,51 | 0,2 | 2,3 | 0,33 | 2,3E+20 |

(* inkl. non exhaust)

Folgende Straßen (blau) wurden landseitig berücksichtigt:

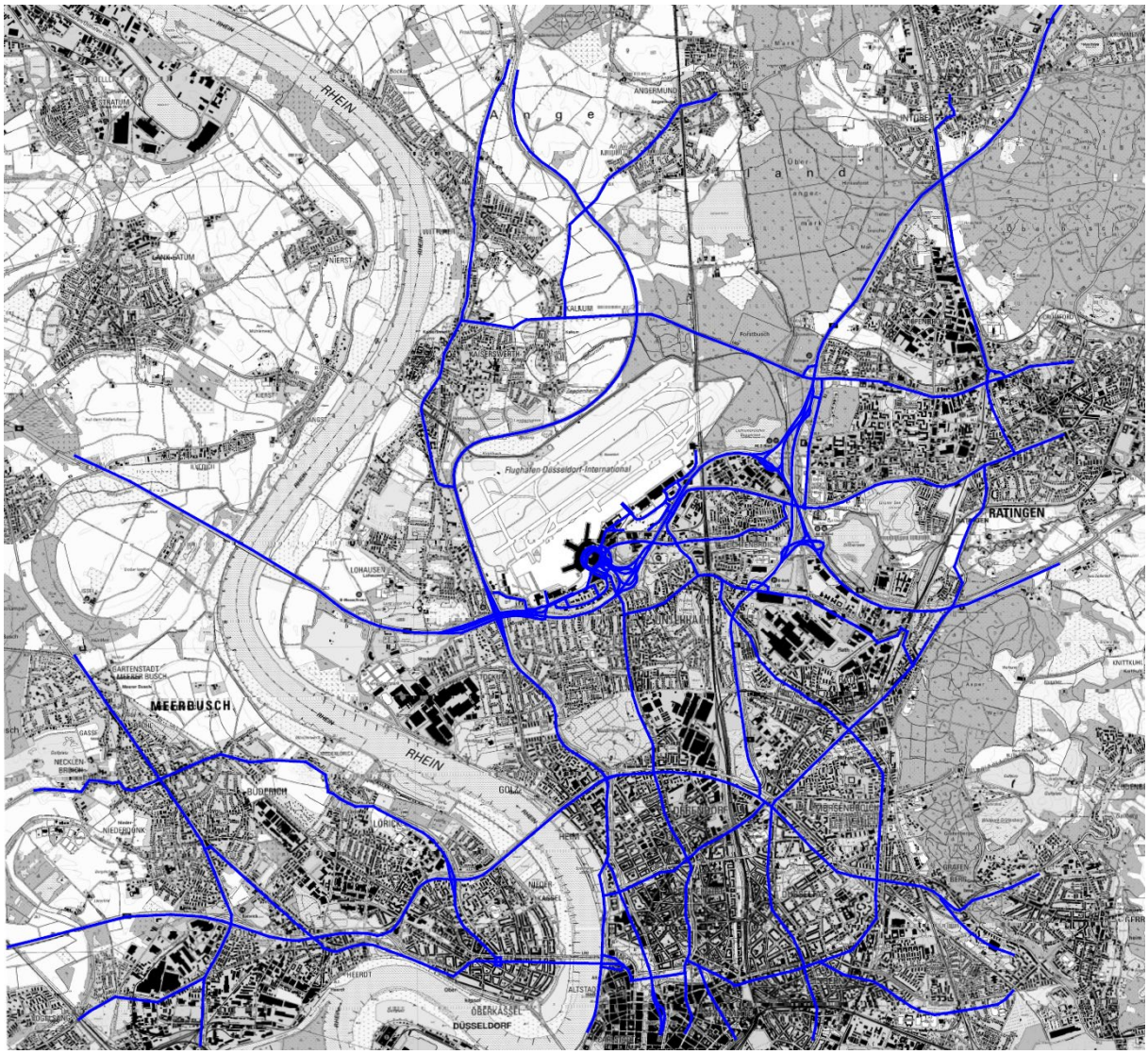



*Abbildung 1.3: Landseitig berücksichtigte Straßen*

## 1.10 Parkemissionen des Kfz-Verkehrs

Zusätzlich wurde einkalkuliert, dass auch die zum Parken abgestellten Fahrzeuge bei der Zufahrt, beim Abstellen und bei der Abfahrt Schadstoffe emittieren.
Als Straßenszenario wurde L5 gewählt (s.o.). Bei den Langzeitparkplätzen wurden die Kohlenwasserstoffemissionen durch Tankatmung mit 0,71 g HC pro Fahrzeug und Tag berücksichtigt. Für Verdampfungsemissionen nach dem Abstellen wurde bei allen Parkvorgängen der Faktor 0,024 g HC pro Stopp gewählt (Basis HBEFA).

Aufgrund der Umstellung des Parkanbieters und auf kontaktloses Ein- und ausfahren lagen statistische Auswertungen der öffentlichen Parkplätze für das Jahr 2025 bei Berichterstellung noch nicht vor. Deswegen wurden sowohl die Parkplatzzahlen aus dem Jahr 2040 aus dem Luftqualitätsgutachten für das Planfesstellungsverfahren als auch die Daten aus 2024 zur Hilfe genommen, um anhand der Orginärpassagiere die Parkplatzbelegung für das Jahr 2025 abzuschätzen.

Folgende Emissionsmengen wurden berücksichtigt:

*Tabelle 27: berücksichtige Parkemissionsmengen des KFZ-Verkehrs*

| (t) | NOX | HC | CO | PM10 | BNZ | SOx | PM25 | NVPM | NVPN (#) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Parken | 1,09 | 1,72 | 6,67 | 0,14 | 0,08 | 0,004 | 0,05 | 0,07 | 7,05E+18 |



*Abbildung 1.4: Lage der Parkplätze (pink)*

## 1.11 Zusammenfassung Emissionen LASPORT

Durch den Betrieb des Flughafens Düsseldorf wurden 2025 im Flughafenumfeld die untenstehenden Emissionsmengen in die Atmosphäre abgegeben:

*Tabelle 28: Zusammenfassung der Emissionen nach LASPORT*

| | NOx (t) | CO (t) | HC (t) | SO2 (t) | PM10 (t) | PM25 (t) | Benzol (t) | NVPM (t) | NVPN (#) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Flugverkehr** | 765,55 | 441,63 | 36,72 | 43,75 | 7,48 | 7,48 | 0,73 | 4,29 | 1,18E+23 |
| **Triebwerksstarts** | | | 22,30 | | | | | | |
| **APU** | 41,99 | 44,59 | 8,01 | 5,12 | 1,73 | 1,73 | 0,16 | 1,70 | 7,74E+21 |
| **Probeläufe** | 16,30 | 10,94 | 1,93 | 1,01 | 0,17 | 0,17 | 0,02 | 0,09 | 2,36E+21 |
| **Enteisung** | 0,55 | 0,18 | 0,08 | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 8,86E+18 |
| **GPU** | 6,26 | 0,87 | 0,43 | 0,00 | 0,16 | 0,16 | 0,02 | 0,16 | 1,08E+19 |
| **Abfertigung** | 20,70 | 10,55 | 6,65 | 0,01 | 1,15 | 1,15 | 0,09 | 1,15 | 4,44E+18 |
| **Tanklager** | | | 11,10 | | | | 0,04 | | |
| **Tankstelle Vorfeld** | | | 2,60 | | | | 0,01 | | |
| **vorfeldseitiger Verkehr** | 5,95 | 1,94 | 0,15 | 0,01 | 1,59 | 0,19 | 0,00 | 0,04 | 3,24E+19 |
| **BHKW** | 17,25 | 3,45 | | | | | | | |
| **Kfz-Verkehr landseitig** | 31,00 | 51,94 | 4,02 | 0,13 | 6,51 | 2,30 | 0,20 | 0,33 | 2,30E+20 |
| **Parken** | 1,09 | 6,67 | 1,72 | 0,00 | 0,14 | 0,05 | 0,08 | 0,07 | 7,05E+18 |
| **Summe** | **906,64** | **572,76** | **95,71** | **50,04** | **18,95** | **13,25** | **1,35** | **7,85** | **1,28E+23** |

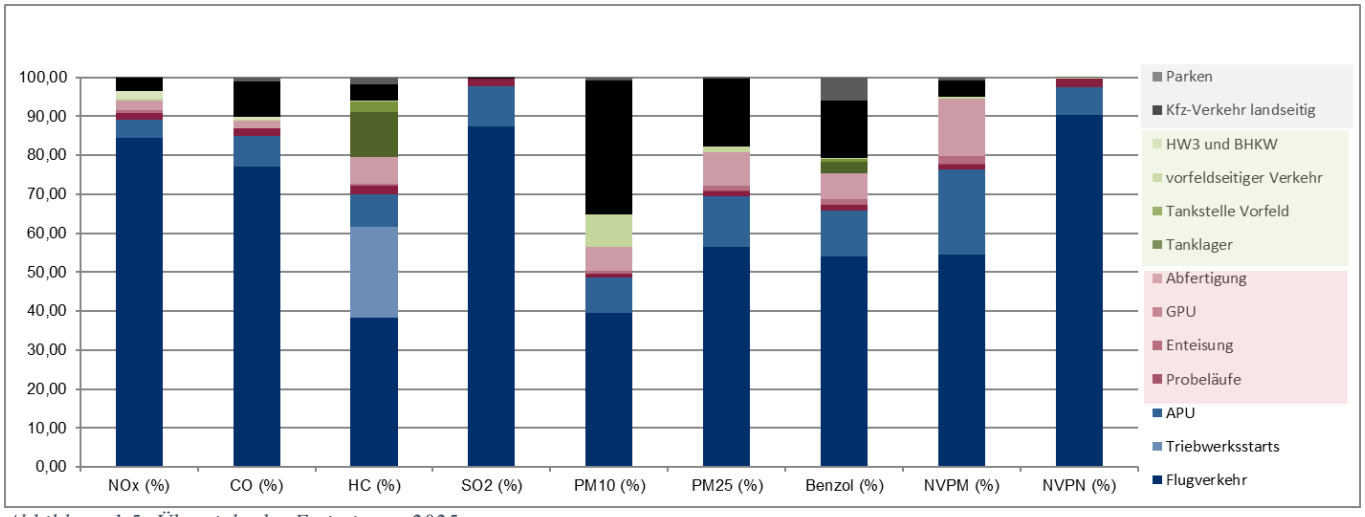



*Abbildung 1.5: Übersicht der Emissionen 2025*

## 2. Immissionen

Die im vorherigen Kapitel berechneten Emissionen der verschiedenen flughafenbedingten Quellen dienen als Grundlage zur Ausbreitungsrechnung, um die dadurch verursachten Spurengaskonzentrationen in der Umgebung des Flughafens Düsseldorf zu untersuchen. Die Immissionsbelastung (Spurengaskonzentration), der Menschen an einem Ort ausgesetzt sind, wird durch verschiedene Quellgruppen (z.B. Verkehr, Heizungen, Industrie etc.) verursacht. Diese sind alleine durch Messungen nicht voneinander abgrenzbar, da die verschiedenen Quellen die gleichen Schadstoffe emittieren. Zur Ermittlung der durch die Abgasemissionen der flughafenbedingten Quellen verursachten Immissionsbelastung am und in der Umgebung des Flughafens Düsseldorf werden deshalb Modellrechnungen durchgeführt. Am Flughafen Düsseldorf wird das Programmsystem LASPORT in der Version 2.3.14 benutzt (1). LASPORT basiert auf dem Ausbreitungsmodell LASAT (Lagrange Simulation von Aerosol Transport, VDI Richtlinie 3745 Blatt 3 „Partikelmodelle“). LASAT ist ein Computermodell zur Berechnung der Ausbreitung von Spurenstoffen in der unteren Atmosphäre im lokalen und regionalen Bereich.

Das Ausbreitungsmodell der neuen TA-Luft “AUSTAL2000“ beruht ebenfalls auf diesem Rechenalgorithmus.

Die Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre wird im Wesentlichen von zwei Mechanismen bestimmt. Zum einen durch den Transport mit dem mittleren Windfeld, auch Advektion genannt, zum anderen durch den Transport aufgrund der Turbulenz der Atmosphäre, auch turbulente Diffusion genannt. Als Turbulenz werden kleinskalige unregelmäßige Schwankungen in der Atmosphäre bezeichnet, die in Abhängigkeit von der Rauhigkeit der Erdoberfläche und der thermischen Schichtung (Stabilität) der Atmosphäre unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Die molekulare Diffusion, d.h. die ungeordnete Eigenbewegung der Moleküle, wird im Rahmen von Ausbreitungsmodellen i.a. wegen ihrer geringen Effektivität bei der Durchmischung der Luft gegenüber der turbulenten Diffusion vernachlässigt.

Das Ausbreitungsmodell LASAT simuliert die turbulente Diffusion mit Hilfe eines Lagrange-Ansatzes. Die Abgaswolke, deren Ausbreitung simuliert werden soll, wird dabei durch eine Gruppe repräsentativer Stoffteilchen dargestellt.
Diese Teilchen werden einmal durch ein vorgegebenes mittleres Windfeld transportiert, vermischen sich aber auch mit der Umgebungsluft, was zu einem Auseinanderlaufen der Abgaswolke führt. Diese „Vermischung“ wird durch einen Zufallsprozess (Markov-Prozess für die Orts- und Geschwindigkeitskomponente des Simulationsteilchens) simuliert.
Das Ziel der Lagrange-Simulation ist es, eine Aussage über die räumliche Verteilung der emittierten Luftverunreinigungen zu erhalten. Einen Schätzwert für die Konzentration an einem bestimmten Aufpunkt erhält man, indem man ein großes Ensemble von Simulationsteilchen verfolgt, um den betrachteten Aufpunkt ein endliches Volumen legt, und überprüft, wie viele Teilchen sich in diesem Volumen aufhalten.

Die Anzahl der Teilchen dividiert durch die Größe des Volumens ergibt die mittlere Teilchendichte in diesem Volumen. Da jedes Teilchen eine bestimmte Stoffmenge repräsentiert, kann man hieraus direkt die Spurengaskonzentration berechnen.

Zur Bestimmung der Wettersituation steht am Flughafen Düsseldorf am westlichen Ende der Südbahn ein Ultraschallanemometer zur Verfügung. Damit lassen sich neben Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Temperatur auch über die Monin-Obukov-Länge die Stabilität der Atmosphäre in 10 m Höhe erfassen. Es werden 10-Minuten-Mittelwerte abgespeichert.

Das Gelände wird als eben und horizontal homogen angesehen. Die vorgegebenen gemessenen zeitabhängigen meteorologischen Größen werden als Eingabeparameter für ein ebenes Grenzschichtmodell benutzt, welches dann die benötigten dreidimensionalen meteorologischen Felder generiert. Die bodennahen Immissionen werden im Höhenbereich von 0 - 3 m berechnet.

Im Programmsystem LASPORT können Emissionsquellen als Punkt-, Linien-, Flächen-, Raster- oder Volumenquellen definiert werden. Die horizontale Auflösung beträgt typischerweise 1 bis 3 % des gesamten Rechengebietes.

Für den bei Teilchensimulationen immer auftretenden Stichprobenfehler (er kann durch Erhöhung der Teilchenzahl beliebig verringert werden, dadurch vergrößert sich aber die Rechenzeit) kann während der Ausbreitungsrechnung ein Schätzwert berechnet werden, der es dem Programm ermöglicht, die Fluktuationen in der berechneten dreidimensionalen Konzentrationsverteilung ohne systematische Verfälschungen zu glätten.

Die non-volatile Partikel (NVPM, NVPN) werden als stabil vorausgesetzt, d.h. es finden weder Neubildung noch Abbau während des Transports statt.

In LASPORT werden Depositionsgeschwindigkeiten (zur Berechnung der trockenen Deposition) vd und Auswaschraten (zur Berechnung der nassen Deposition) $\Lambda = \alpha\,(I/I_0)^a$ (Niederschlagsrate I mit $I_0$ = 1mm/h) auf Grundlage der Richtlinie VDI 3782 Blatt 5 gesetzt bzw. für CO, HC und Benzol konservativ auf 0, d.h. ohne Berücksichtigung der Deposition festgelegt.

Hinterlegte Standardwerte:

*Tabelle 29: Standardwerte der Deposition*

| Stoff | $v_d$ (m/s) | $a$ | $\lambda$ (1/s) |
|---|---|---|---|
| FB[1)] | 0 | 1.0 | 0 |
| CO2[1)] | 0 | 1.0 | 0 |
| SOX | 0.01 | 1.0 | $2 \cdot 10^{-5}$ |
| NOX[2)] | 0.002 | 1.0 | $6 \cdot 10^{-8}$ |
| NO2 | 0.003 | 1.0 | $1 \cdot 10^{-7}$ |
| NO | 0.0005 | 1.0 | 0 |
| CO | 0 | 1.0 | 0 |
| HC | 0 | 1.0 | 0 |
| BNZ | 0 | 1.0 | 0 |
| ODOR[3)] | 0 | 1.0 | 0 |
| PM10[4,5)] | 0.005 | 0.8 | $9 \cdot 10^{-5}$ |
| NVPM[4,6)] | 0.001 | 0.8 | $2 \cdot 10^{-5}$ |
| NVPN[4,6)] | 0.001 | 0.8 | $2 \cdot 10^{-5}$ |

[1)] Stoff nicht in die Ausbreitungsrechnung übernommen.
[2)] Abgeleitet aus 60% $NO_2$ und 40% NO.
[3)] Nach GIRL bzw. der zukünftigen TA Luft.
[4)] Vernachlässigung von Sedimentation entsprechend TA Luft.
[5)] Abgeleitet aus je 50% der Staubklassen 1 und 2 der TA Luft.
[6)] Abgeschätzt aus VDI 3782 Blatt 5.

Nasse Deposition tritt nur bei Niederschlag auf. LASPORT wurde daher so erweitert, dass in der meteorologischen Zeitreihe neben Wind und Schichtungsstabilität auch die Niederschlagsrate vorgegeben werden kann.

Für den Flughafen Düsseldorf wurde nur die trockene Deposition berücksichtigt, da die Niederschlagsreihe nicht vorliegt. Dadurch fallen die Konzentrationswerte in der Umgebung des Flughafens etwas kleiner aus als ohne Deposition, aber höher als bei Berücksichtigung von trockener und nasser Deposition.

## 2.1 Flugverkehr

Die Flugverkehrsdatensätze enthalten u.a. auch Informationen über die Parkposition der Flugzeuge, die Start- und Landebahn, die Start- und Landezeiten, on-Block und off-Block Zeiten, das AzB Steigflugprofil und die Ab- bzw. Anflugroute. Auch die Kleinflugzeuge der „Allgemeinen Luftfahrt (General Aviation)“ und die zivilen Hubschrauber werden berücksichtigt. Die Kleinflugzeuge fliegen auf An- und Abflugstrecken nach Sichtflugregeln (Visual Flight Rules - VFR). Die entsprechenden Abflugrouten werden ebenfalls beachtet.

Als Hubschrauberstart- und -landeplatz wird ein Punkt am Ende (westlich) der Südbahn festgelegt. Es werden für die Hubschrauber drei Abflugrouten definiert (s. Abbildung 1.7).
Sie führen ausgehend vom Start- und Landeplatz in Richtung Norden (NOVEMBER), Südosten (ECHO) und Südwesten (SIERRA). Da keine Angaben über die benutzte Route vorliegen, wird versucht, die Bewegungen gleichmäßig auf die drei Routen zu verteilen. Polizeihubschrauber werden nicht berücksichtigt.

Für die Ausbreitungsrechnung wird ein Gebiet von 12 km x 12 km Größe (s. Abb.2) mit einer Maschenweite von 250 m betrachtet. Es werden die Emissionen der Flugzeuge bis in 915 m Höhe (entsprechend des ICAO LTO-Zyklus) oder bis zum Verlassen des Ausbreitungsgebietes in Abhängigkeit des Flugprofils berücksichtigt. Mittelpunkt ist die dem Flughafenbezugspunkt am nächsten liegende ganze Gauß-Krüger-Koordinate.

Die Emissionen eines Flugzeuges werden über eine Volumenquelle modelliert, deren Position und Stärke in Form einer Zeitreihe festgelegt wird. Die Standardwerte für die Quellbreite (Large, Medium, Small: 50 m und Rest: 25 m) wurde auf Basis typischer Turbinenabstände und der Unsicherheit in der genauen Bestimmung der Rollwege festgelegt.
Mit der Vertikalausdehnung wird ansatzweise die thermische Überhöhung und Verwirbelung der Abgase aufgrund der Flugzeugbewegung berücksichtigt. Die Standardwerte (Large, Medium, Small: 25 m und Rest 12,5 m) wurden anhand von Vergleichsrechnungen mit dem Abgasfahnenmodell PLURIS3 abgeschätzt. Die Quellunterkante wird durch die Steig- und Anflugprofile und den Vertikalversatz festgelegt. Mit dem Vertikalversatz kann die Absenkung der austretenden Abgasfahne aufgrund der Wirbelschleppen hinter dem Flugzeug berücksichtigt werden.

Der Standardwert für die Lastzustände *Approach* und *ClimbOut* wurde auf Basis von Literaturwerten abgeschätzt. Der vertikale Versatz nach unten, zur Berücksichtigung der Abwärtsbewegung der Abgasfahne durch die Wirbelschleppen, beträgt für die Flugzeuggruppen Large, Medium, Small sowohl im Approach- als auch im Climb out - Modus 100 Meter (für die anderen Gruppen 50 Meter) obwohl aufgrund der Klappenstellung der landenden Flugzeuge hier die Wirbelschleppen stärker ausgeprägt sind als beim Starten. Im Climb out - Modus sollen mit dem vertikalen Versatz zusätzlich auch die schräg nach unten gerichteten Triebwerke während des Steigfluges berücksichtigt werden.

Mit der Austrittsgeschwindigkeit und den dreidimensionalen Geschwindigkeitsfluktuationen können Impuls und Eigenturbulenz der austretenden Abgase berücksichtigt werden. Die Standardparameter sind in LASPORT hinterlegt.
Die Anfangsgeschwindigkeit und die Fluktuation sind abhängig vom Betriebszustand und fallen exponentiell mit einer vorgebbaren Zeitkonstanten ab. (Für Hubschrauberbewegungen liegen keine Werte vor).

Beim Anflug wird von einer geradlinigen Flugbahn mit dem vorgegebenen Neigungswinkel von 3° ausgegangen (Hubschrauber 6°). Der Aufsetzpunkt liegt 300 m hinter der Landeschwelle, die sich bei der Nord- und der Südbahn jeweils 300 m vom Bahnende entfernt befindet.

Die Ausrollzeit auf der Landebahn ist die Zeit, die benötigt wird, um mit der halben Anfluggeschwindigkeit vom Aufsetzpunkt bis zum ersten Punkt des Rollweges zu gelangen. Sie wird von den Zeiten der Verkehrsdaten herausgerechnet. Auf den Rollwegen sind die Zeiten durch die mittlere Rollgeschwindigkeit und den räumlichen Abstand der Stützpunkte gegeben.

Die Rollgeschwindigkeit ergibt sich aus der Länge des Rollweges und der benötigten Zeit. Beim Abflug wird die Flugbahn vom Startrollbeginn ausgehend, in Abhängigkeit von der Flugroute (s. Abb. 1.7,1.8, 1.9) berechnet, wobei unterschiedliche Steigflugprofile auf Basis der Steigflugprofile gemäß der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen nach Fluglärmgesetz (AzB) verwendet werden (Abbildung 1.10) (Ausnahme Hubschrauber s.o.).
Die verschiedenen einzelnen Vorfeldpositionen der Flugzeuge wurden zu 20 Positionsbereichen zusammengefasst. Der Rollweg wird entsprechend der Angabe über Parkposition bzw. Vorfeldposition und benutzter Start-/Landebahn herausgesucht.



*Abbildung 1.6:Lageplan der Vorfeldpositionen und Rollwege*

rot: Vorfeldpositionen grün: Rollwege

Die von den Triebwerken emittierten Stickoxide bestehen hauptsächlich aus Stickstoffmonoxid (NO). Standardmäßig werden aber die Emissionen der Stickoxide als NOx (Summe aus NO2 und NO) vorgegeben, wobei angenommen wird, dass der primäre NO2-Anteil im NOx 15% ist. Zur Berechnung der NO und NO2 Immissionen wird die chemische Umsetzung von NO nach NO2 gemäß Richtlinie VDI 3782 Blatt 1 als Umsetzung erster Ordnung mit empirisch ermittelten mittleren Lebensdauern von NO modelliert. Die Lebensdauern wurden aus Kraftwerksfahnen-Messungen bestimmt und hängen von der atmosphärischen Schichtungsstabilität ab.
Die Rauhigkeitslänge bei den Ausbreitungsrechnungen wird mit 0,3 m vorgegeben. In Abhängigkeit der gemessenen Monin-Obukhof-Länge (s.o.) und der Rauhigkeitslänge wird die Mischungsschichthöhe ermittelt.
Da hauptsächlich die Immissionssituation in Bodennähe interessiert, werden standardmäßig nur die Immissionen in der untersten vertikalen Schicht, d.h. von 0 - 3 m Höhe berechnet (s.o.).

### 2.2 APU, GPU, Abfertigung, vorfeldseitiger Verkehr

Die Flugzeug-Hilfsaggregate (auxiliary power units, APU) auf den Standplätzen werden als Volumenquellen mit einer horizontalen Ausdehnung entsprechend den Standflächen und einer vertikalen Ausdehnung von 5 m (von 3 m bis 8 m über Grund) definiert. Die APU Emissionen werden mit einem vertikalen Wärmeauftrieb versehen. Die Abfertigungspositionen sind anhand der Verkehrsdaten vorgegeben, die Laufzeit der APUs in Abhängigkeit der Flugzeuggröße ist oben beschrieben. An den Außenpositionen (Ramps) wird zusätzlich die Nutzung der mobilen GPUs (s.o.) berücksichtigt.
Hierzu addieren sich auf den Vorfeldern die Emissionen, die durch den abfertigungsabhängigen und unabhängigen Geräte- und Kraftfahrzeugverkehr entstehen.

Zum abfertigungsbezogenen Verkehr zählen z.B. die Bewegungen der Lastkarren, Hubbühnen, Busse etc.. Diese Emissionen werden als flugbewegungsabhängige Emissionen behandelt und auf die einzelnen Flugzeuge an den Abfertigungspositionen verteilt. Hier werden auch die Betankungsemissionen der Flugzeuge berücksichtigt (s.o.). Die vertikale Ausdehnung der GPUs und der Abfertigungsemissionen beträgt 0 -5 m.

### 2.3 Probeläufe, Enteisung

Die Emissionen der Probeläufe in der Lärmschutzhalle werden über die Dachöffnung oberhalb der Prallwand emittiert. Deshalb wird die Lärmschutzhalle als Flächenquelle in 20m Höhe berücksichtigt.
Die Emissionen der Idleläufe werden als Volumenquelle gleichmäßig auf die Vorfeldbereiche West und Ost verteilt und besitzen eine vertikale Ausdehnung von 3 – 11 m über Grund. Auch die Enteisungsflächen sind Volumenquellen mit einer vertikalen Ausdehnung von 0 - 5 m.
Enteisungsemissionen fanden 2025 in den Monaten Januar bis April und Oktober bis Dezember statt.

### 2.4 Tanklager, Tankstelle

Die Betankungsemissionen am Tanklager werden entsprechend dem Jahres-, Wochen- und Tagesgang des Flugverkehrs verteilt angenommen. Das Tanklager wird als Flächenquelle mit einer Freisetzungshöhe von 5 m angesetzt.
Die Tankstelle wird als Volumenquelle mit einer vertikalen Ausdehnung von 0 – 1 m angesetzt.

### 2.5 BHKW

Die Emissionen der BHKWs wurden als Punktquelle in 26 m Höhe berücksichtigt. Ein vertikaler Wärmeauftrieb wird berücksichtigt.

## 2.6 Ergebnisse

### 2.6.1 Beurteilungswerte

Bei der Immissionssimulation der flughafenbedingten Quellen am Flughafen Düsseldorf mit dem Programm LASPORT wurden für das Jahr 2025 für die verschiedenen Abgaskomponenten die Jahresmittelwerte und die Kurzzeitwerte, für die Bewertungskriterien vorliegen, berechnet.

*Tabelle 30: Beurteilungswerte 39. BImSchV*

| Komponente | Mittelungszeit | Grenzwert | Zulässige Anzahl von Überschreitungen | Grenzwert einzuhalten ab |
|---|---|---|---|---|
| Schwefeldioxid $SO_2$ | 1h | 350 µg/m³ | 24-mal pro Jahr | 1.1.2005 |
| | 24h | 125 µg/m³ | 3–mal pro Jahr | 1.1.2005 |
| Stickstoffdioxid $NO_2$ | 1h | 200 µg/m³ | 18-mal pro Jahr | 1.1.2010 |
| | 1 Jahr | 40 µg/m³ | | 1.1.2010 |
| Feinstaub PM10 | 24 h | 50 µg/m³ | 35- mal pro Jahr | 1.1.2005 |
| | 1 Jahr | 40 µg/m³ | | 1.1.2005 |
| Feinstaub PM2,5 | 1 Jahr | 25 µg/m³ | | 1.1.2015 |
| Benzol $C_6H_6$ | 1 Jahr | 5 µg/m³ | | 1.1.2005 |

Die TA-Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) enthält für Schwefeldioxid auch einen Jahresimmissionswert von 50 µg/m³. Die Vorgaben der TA-Luft sind nur orientierend anzusetzen, da diese nicht für Flughäfen gelten (s. §2 Abs. 2 BImSchG), sondern nur für genehmigungspflichtige Anlagen. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit beträgt der als höchster Achtstundenmittelwert pro Tag zu ermittelnde Immissionsgrenzwert für Kohlenmonoxid 10 mg/m3. Dieser Wert wird bei Weitem nicht erreicht und spielt immissionsmäßig keine Rolle.

Für krebserregende Stoffe gibt es Bewertungsmaßstäbe vom LAI (Länderausschuss für Immissionsschutz). Diese Zielwerte basieren auf einem Gesamtrisiko durch die Einwirkung dieser Stoffe von 1: 2500 bei 70jähriger Exposition.

*Tabelle 31: LAI-Bewertungsmaßstäbe*

| | | | Bezugszeitraum |
|---|---|---|---|
| Benzol | 2,5 µg/m³ | Zielwert | Jahr |

Die Beurteilungswerte gelten außerhalb des Flughafengeländes zum Schutz der Allgemeinbevölkerung. Auf dem Flughafengelände gelten spezielle Arbeitsplatzgrenzwerte, die bedeutend höher liegen.
Für die betrachtete Masse (NVPM) und die Anzahl (NVPN) der nicht flüchtigen Partikel (Partikel mit einem Durchmesser kleiner als 100 nm) gibt es keinerlei Bewertungskriterien. Sie dienen hier nur der Orientierung.

Am 14.10.2024 haben das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union zudem die überarbeitete Luftqualitätsrichtlinie förmlich angenommen. Die Veröffentlichung der Richtlinie (EU) 2024/2881 erfolgte im Amtsblatt der Europäischen Union am 20.11.2024. Die Grenzwerte der neuen Richtlinie orientieren sich stärker an den 2021 veröffentlichten Richtwerten der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Die Richtlinie (RL 2024/2881) löst die aktuell geltenden Richtlinien 2008/50/EG und 2004/107/EG ab. Aktuell arbeiten Bund und Länder an der Überführung der Richtlinie in

nationales Recht. Bis zum 11. Dezember 2026 muss dies erfolgt sein. Die neuen Grenzwerte sind ab dem Jahr 2030 einzuhalten.

### 2.6.2 Immissionsdarstellung

Die folgenden Abbildungen 2.1 bis 2.13 der Immissionsbelastungen stellen die Konzentrationen, verursacht durch alle oben beschriebenen flughafenbedingten Quellen, dar.

Um die Beiträge der unterschiedlichen Quellen näher zu beleuchten, wurden zusätzlich zu den Abbildungen der Gesamtbelastung auch die Bilder der Immissionen, verursacht nur durch den eigentlichen Flugverkehr während des LTO (Landing-Take-off) Zyklus (jeweils Bild a) und die Belastung verursacht durch die Emissionen des Flughafens (d.h. Flugverkehr, Vorfeldverkehr, APU, Abfertigung, GPU, BHKW etc. aber ohne landseitigen Straßenverkehr) (jeweils Bild b), dargestellt.

Bei Ausbreitungsrechnungen handelt es sich um Abschätzungen. Teilchensimulationen sind immer mit einem Stichprobenfehler behaftet. Die statistische Unsicherheit ist umso größer, je kleiner das zeitliche Mittelungsintervall ist. Tagesmittel haben eine größere Unsicherheit als Jahresmittel, Stundenmittel sind unsicherer als Tagesmittel.

Die höchsten berechneten Konzentrationen außerhalb des Flughafengeländes werden gekennzeichnet und liegen hauptsächlich an der südlichen und südöstlichen Grenze des Flughafenbereiches. Für die Komponenten Stickstoffdioxid (NO2), Kohlenmonoxid (CO) und Feinstaub (PM10/PM2,5) dominieren aufgrund des landseitigen Zubringerverkehrs mit den Autobahnen die Straßenverkehrsemissionen.

Die höchsten Stickstoffdioxidkonzentrationen (NO2) beim Jahresmittel liegen südlich bei ca. 2,6 µg/m$^3$ (Abbildung 2.1). Dieser Maximalwert beträgt ca. 6,5 % des Jahresimmissionswertes von 40 µg/m$^3$ (s.o.). Die höchste Belastung durch den startenden und landen Flugverkehr liegt im nordöstlichen Bereich an der Flughafengrenze bei ca. 1,7 µg/m$^3$.

Das höchste NO2 Stundenmittel mit 18 zulässigen Überschreitungen (Abbildung 2.2) liegt südlich unmittelbar an der Flughafengrenze bei 39,1 µg/m$^3$. Der Kurzzeitbeurteilungswert beträgt 200 µg/m$^3$.

Der maximale Anteil des Flugverkehrs liegt nordöstlich in Verlängerung der Start- und Landebahn bei ca. 23 µg/m$^3$ (Abbildung 2.2a). Auch die sonstigen flughafenbedingten Quellen wie die Abfertigung tragen zu einem größeren Umfang bei (Abbildung 2.2b).

Die höchsten Kohlenmonoxid Jahresmittelwertimmissionen treten östlich und südlich in Flughafengrenznähe auf. Sie liegen im Bereich zwischen 21 und 23 µg/m$^3$ (Abbildung 2.3) und sind niedrig. Die Konzentrationen in östlicher Verlängerung der Bahnen werden hauptsächlich durch den Flugverkehr verursacht (Abbildung 2.3a).

Die Kohlenwasserstoffkonzentrationen sind niedrig, wobei hier die Vorfeldemissionen und die Tanklageremissionen (Abbildung 2.4b) dominieren. Ersteres liegt an den Kohlenwasserstoffemissionen bei den Triebwerksstarts und der APUs. Der höchste Jahresmittelwert außerhalb des Flughafengeländes liegt bei 5 µg/m$^3$ (Abbildung 2.4). Für Gesamtkohlenwasserstoffe existiert kein aktueller Immissionswert, der zur Beurteilung herangezogen werden könnte.
Der maximale Konzentrationswert für Benzol (Jahresmittel) wird zu 0,08 µg/m$^3$ (Abbildung 2.5) errechnet und wird hauptsächlich durch den landseitigen Verkehr verursacht. Dieser Wert unterschreitet den Grenzwert von 5 µg/m$^3$ deutlich.

Auch die Schwefeldioxidkonzentrationen sind sehr gering. Als Jahresmittelwert, bei Betrachtung aller Verursacher, wird ein Immissionswert von höchstens 0,5 µg/m³ errechnet (Abbildung 2.6). In Bezug mit dem Jahresimmissionswert von 50 µg/m³ ist das Konzentrationsniveau unerheblich. Auch die Kurzzeitwerte von 2,1 µg/m³ (24h) (Abbildung 2.7) und 4,7 µg/m³ (1h) (Abbildung 2.8) sind niedrig. Bei SO2 spielt der Kfz-Verkehr kaum eine Rolle.
Der Beurteilungswert für das Tagesmittel mit höchstens 3 Überschreitungen beträgt 125 µg/m³, das Stundenmittel mit höchstens 24 Überschreitungen liegt bei 350 µg/m³.

Das Jahresmittel von PM10 beträgt höchstens 1,3 µg/m³ (Abbildung 2.9) und der Kurzzeitwert 2,2 µg/m³ (Abbildung 2.10). Beim Kfz-Verkehr werden auch Aufwirbelung und Abrieb berücksichtigt (s.o.). Der Jahresgrenzwert wird zu ca. 3,3 % erreicht, beim Kurzzeitgrenzwert sind es 4,4 %. Hauptverursacher ist der Kfz-Verkehr. Der Beitrag des Flugverkehrs ist äußerst gering.

Der PM2,5 Jahresmittelwert liegt bei maximal 0,7 µg/m³ (Abbildung 2.11) und beträgt somit ca. 2,8 % des Jahresmittelgrenzwertes von 25 µg/m³. Bei der Berechnung wurde davon ausgegangen, dass alle PM10 Emissionen des Flugverkehrs auch in die Kategorie PM2,5 fallen (beim Straßenverkehr sind die PM2,5 Emissionen aber geringer als die PM10 Emissionen s.o.).
Die vorliegenden Bewertungskriterien werden somit alle deutlich eingehalten.

Die Masse der nichtflüchtigen Partikeln (NVPM) liegt maximal bei 0,24 µg/m³ an der Flughafengrenze (Abbildung 2.12). Der Flugverkehr an sich hat hier nur einen unbedeutenden Anteil (Abbildung 2.12a). Dies sieht bei der Anzahl der nichtflüchtigen Partikel (NVPN) anders aus. Hier macht der Flugverkehr den höchsten Beitrag aus. Im Jahresmittel liegt das Gesamtniveau bei ca. 700 – 1.700 Partikel pro ccm (Abbildung 2.13a). Dies ist erheblich weniger als man bei UFP-Messungen in Flughafennähe erwarten würde. Der starke Einfluss der flüchtigen, sekundär gebildeten Partikel wird hier nicht berücksichtigt. Eine Bewertung der Anzahlkonzentration ist bisher nicht möglich, da ungeklärt ist, ob und in welchem Maß von einer gesundheitlichen Wirkung ultrafeiner Partikel auszugehen ist, und welche ihrer Eigenschaften dafür maßgeblich ist.

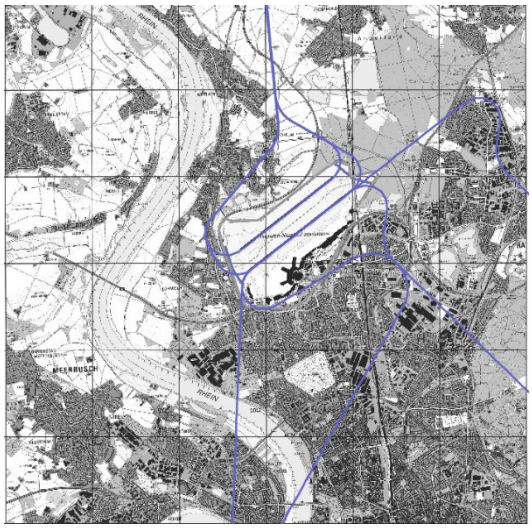


*Abbildung 1.7:Hubschrauberrouten*

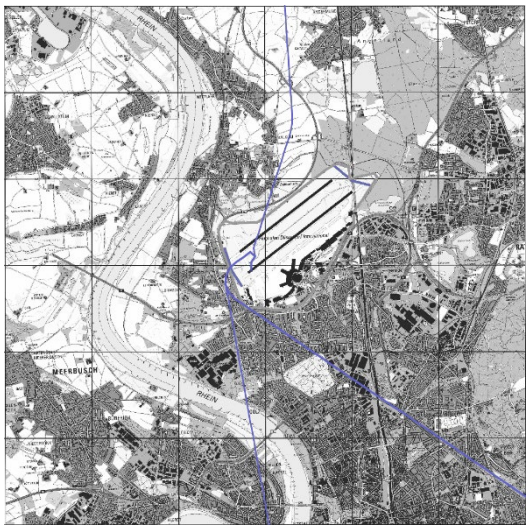


*Abbildung 1.8:Sichtflugrouten*

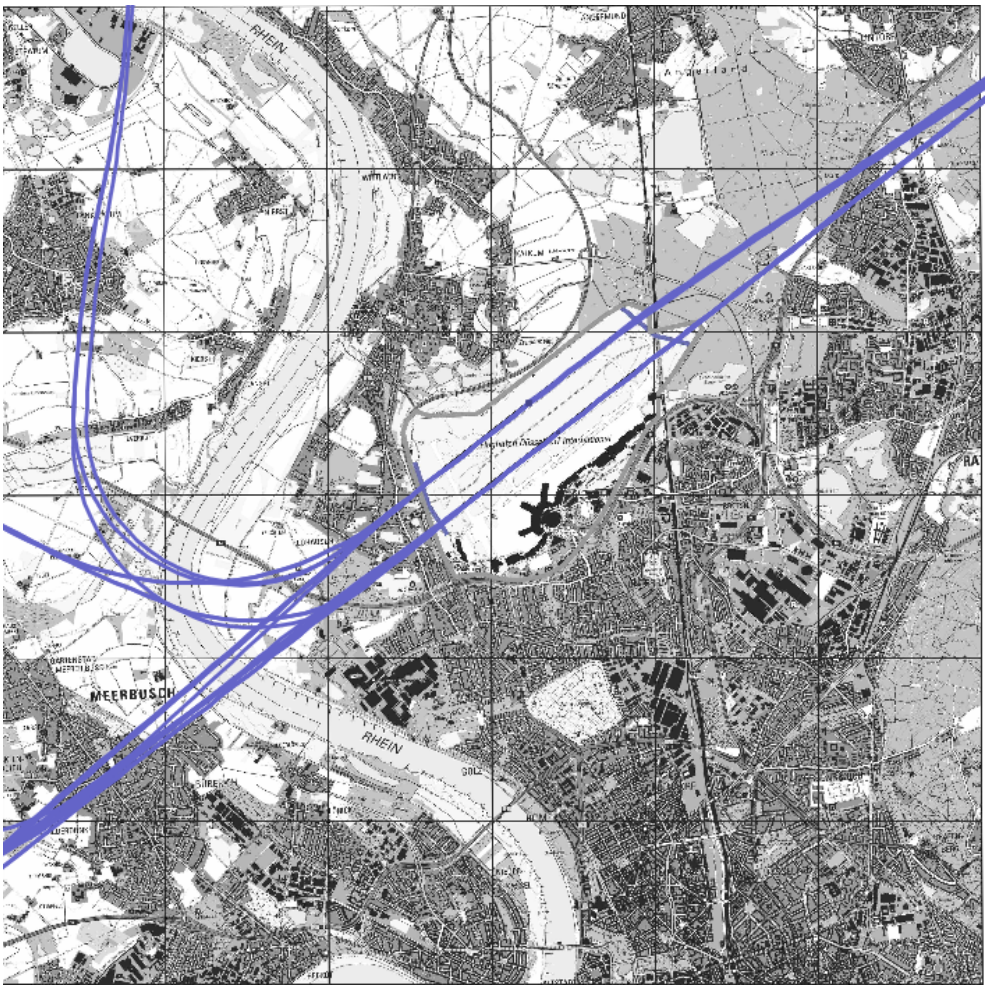



*Abbildung 1.9: Abflugrouten*

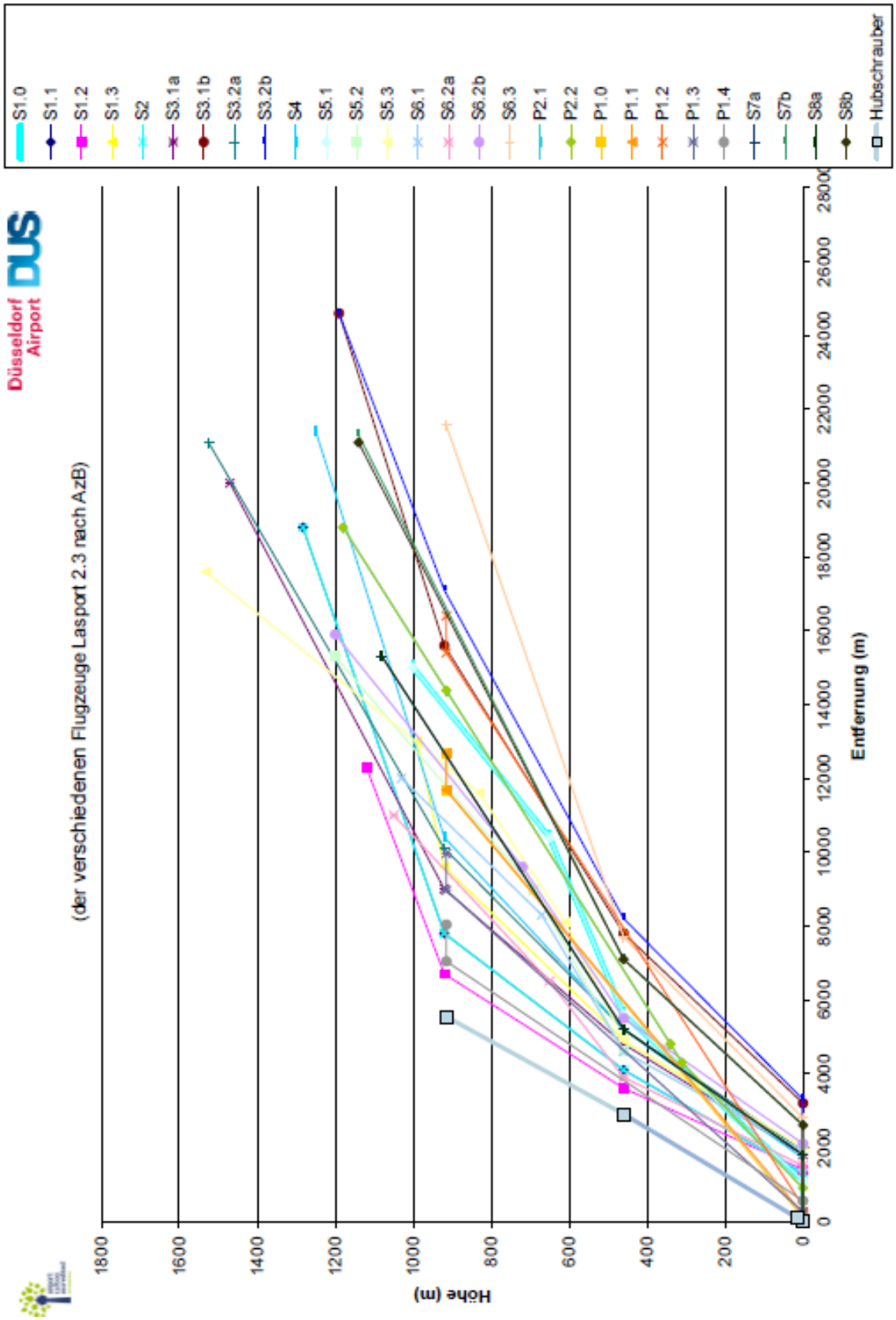



*Abbildung 1.10:Steigprofile*

## Abbildungen

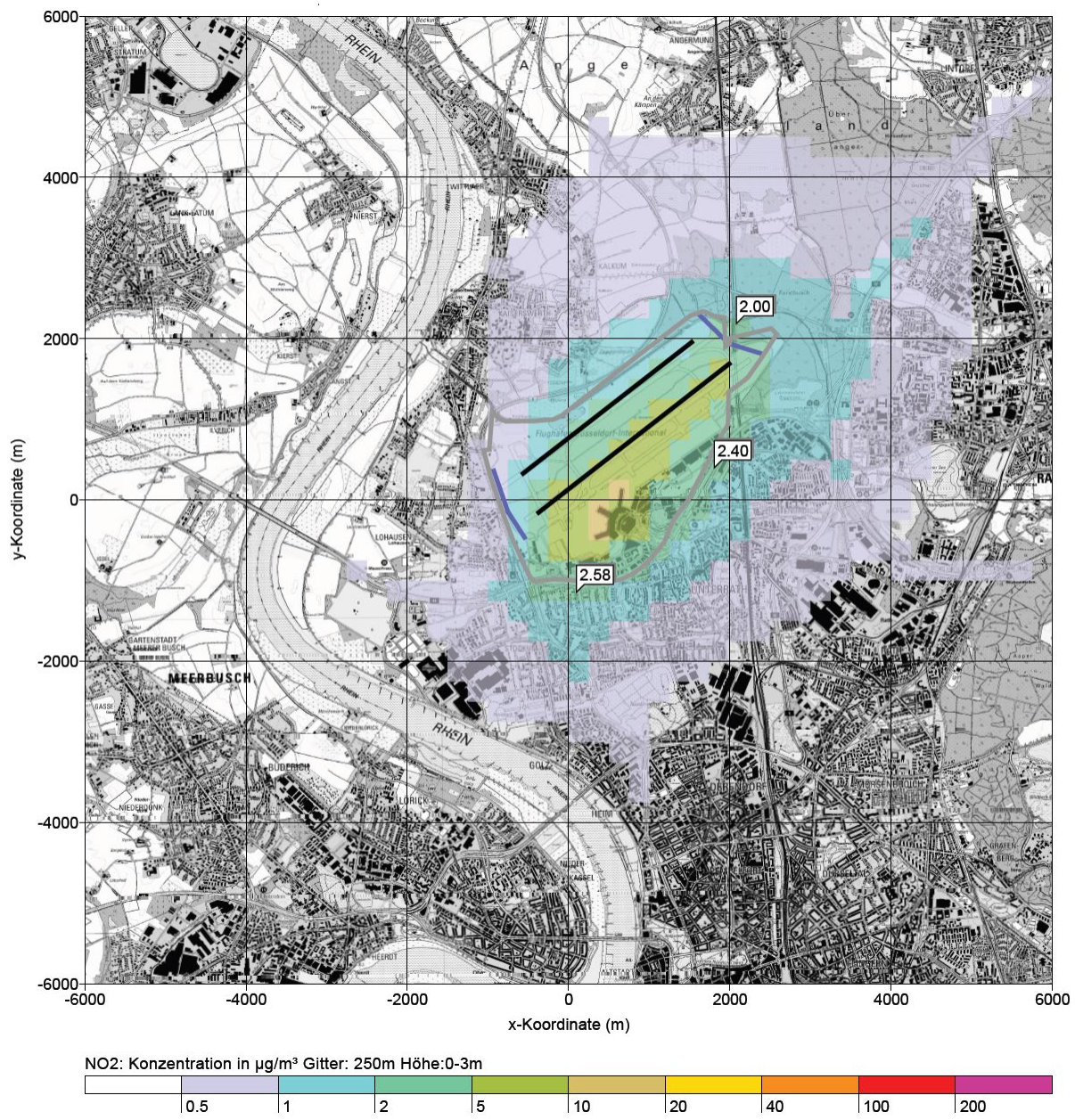



*Abbildung 2.11: Jahresmittel 2025 mit Deposition NO2*

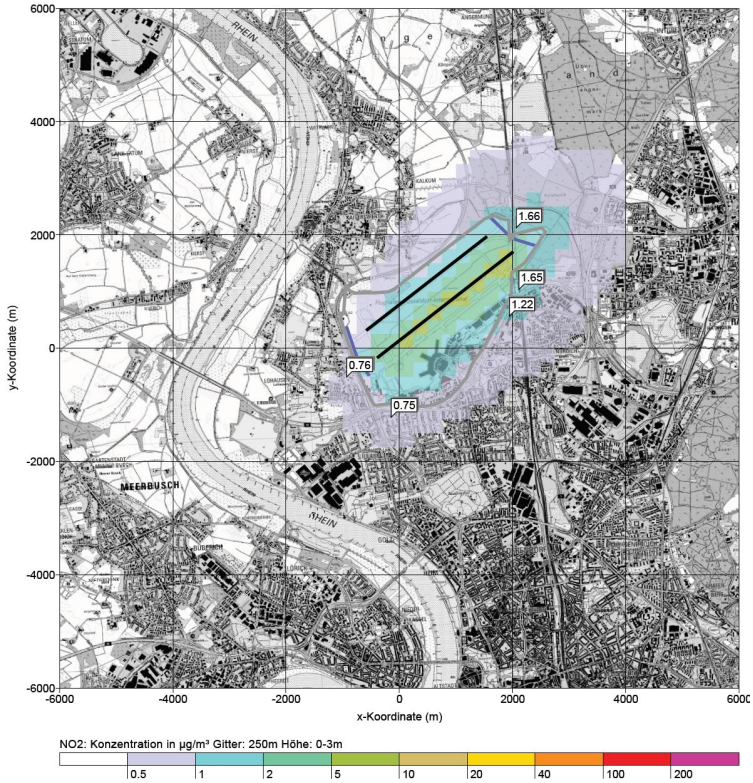



*Abbildung 12.1a: Flugverkehr Jahresmittel 2025 mit Deposition NO2*

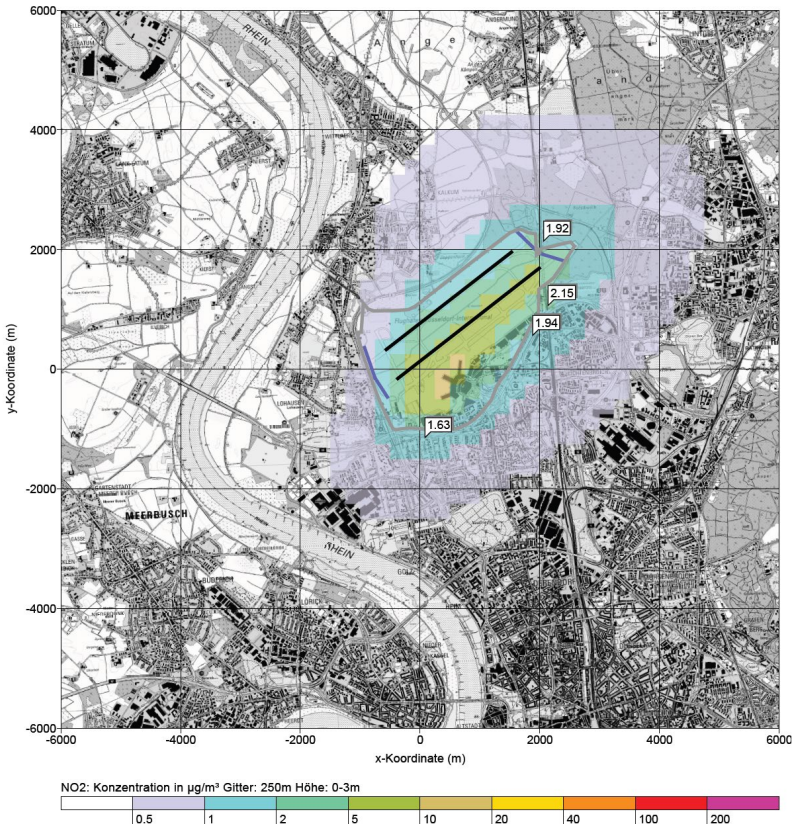



*Abbildung 2.13:Flughafen Jahresmittel 2025 mit Deposition NO2*

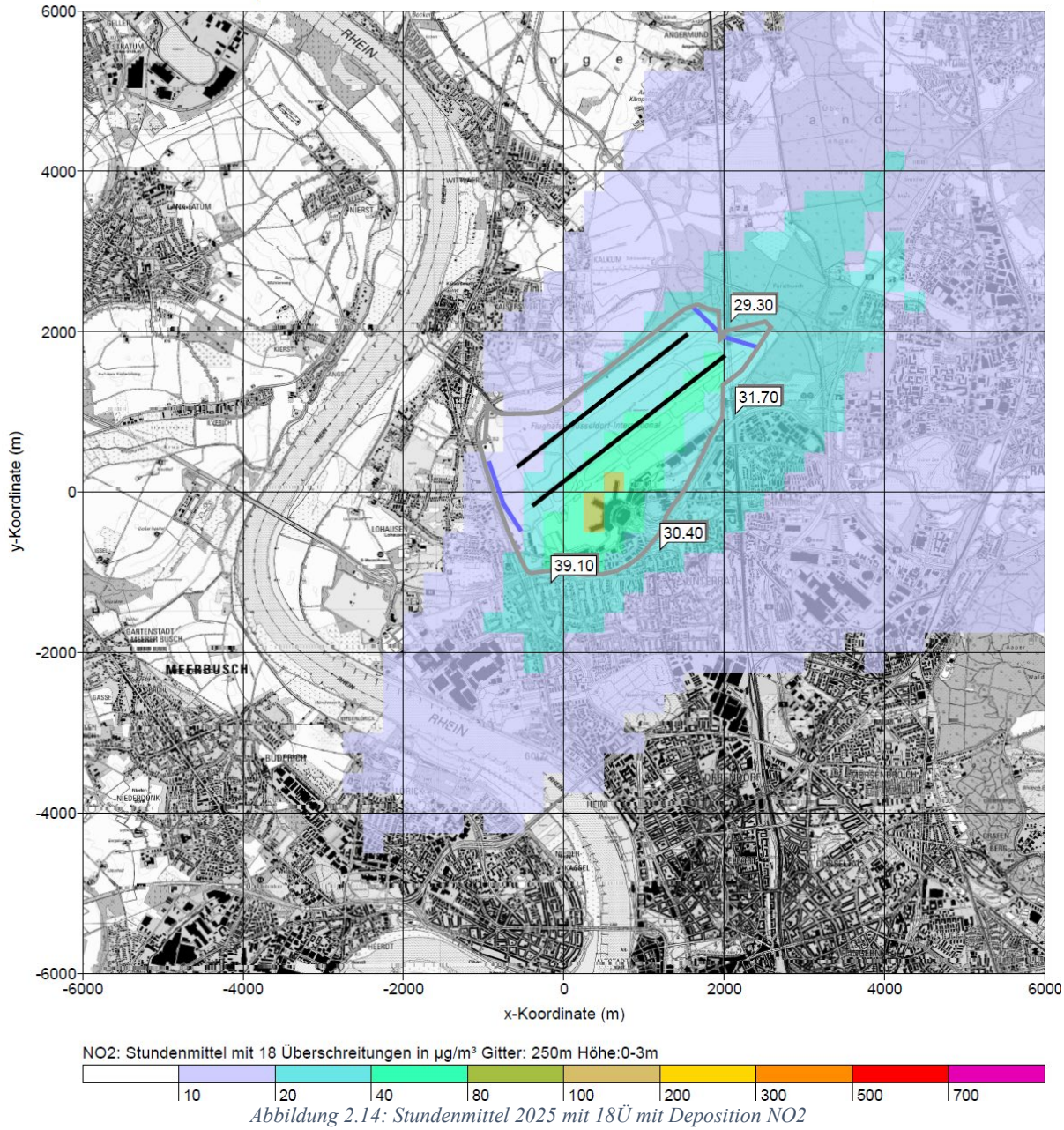



*Abbildung 2.14: Stundenmittel 2025 mit 18Ü mit Deposition NO2*

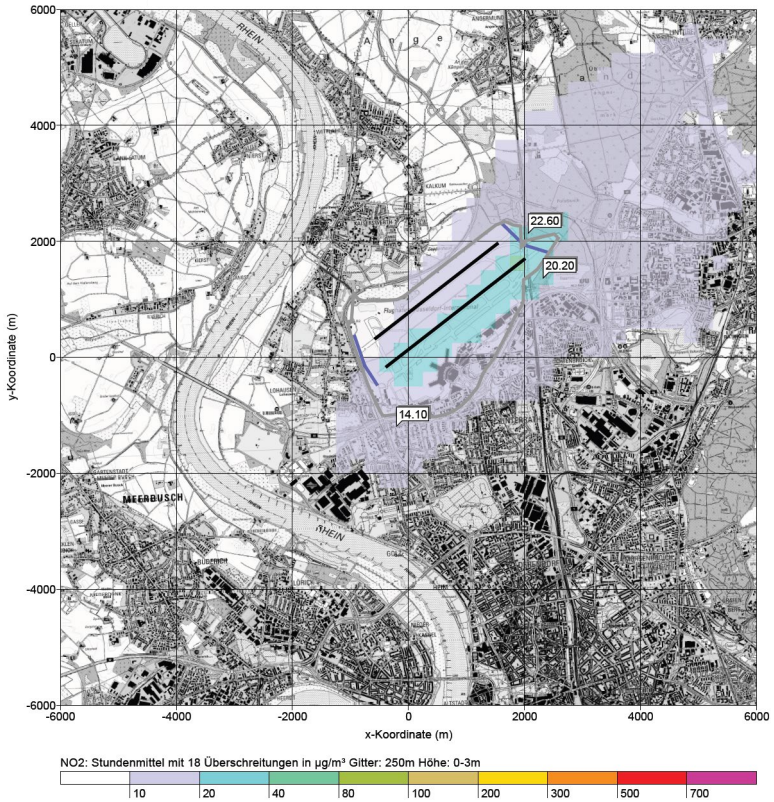



*Abbildung 2.15: Flugverkehr Std.-Mittel 2025 mit 18Ü mit Deposition NO2*

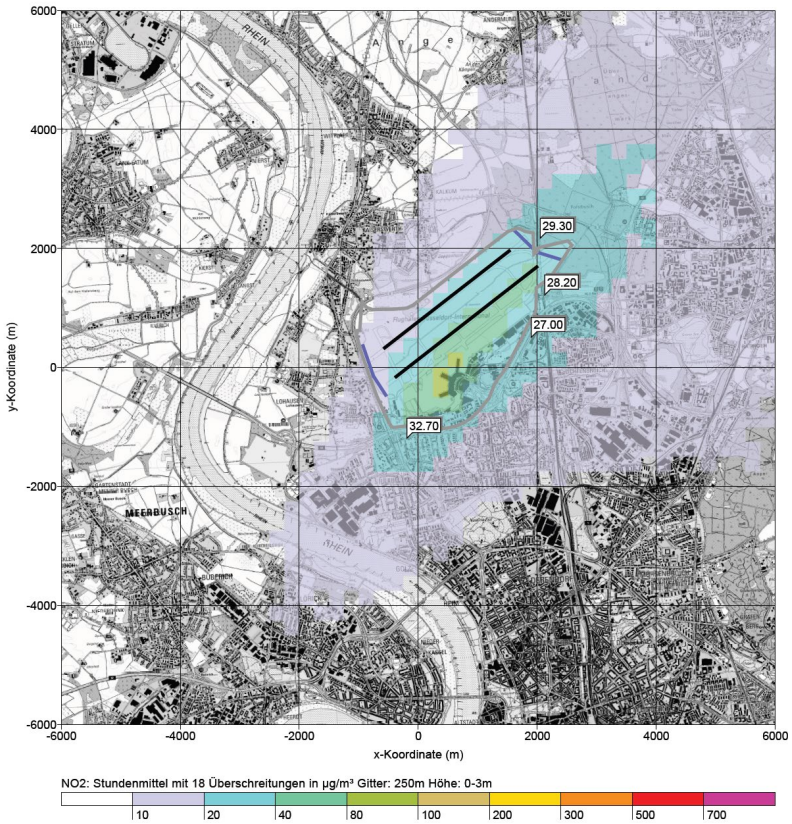



*Abbildung 2.16: Flughafen Sdt-Mittel2025 mit 18 Ü mit Deposition NO2*

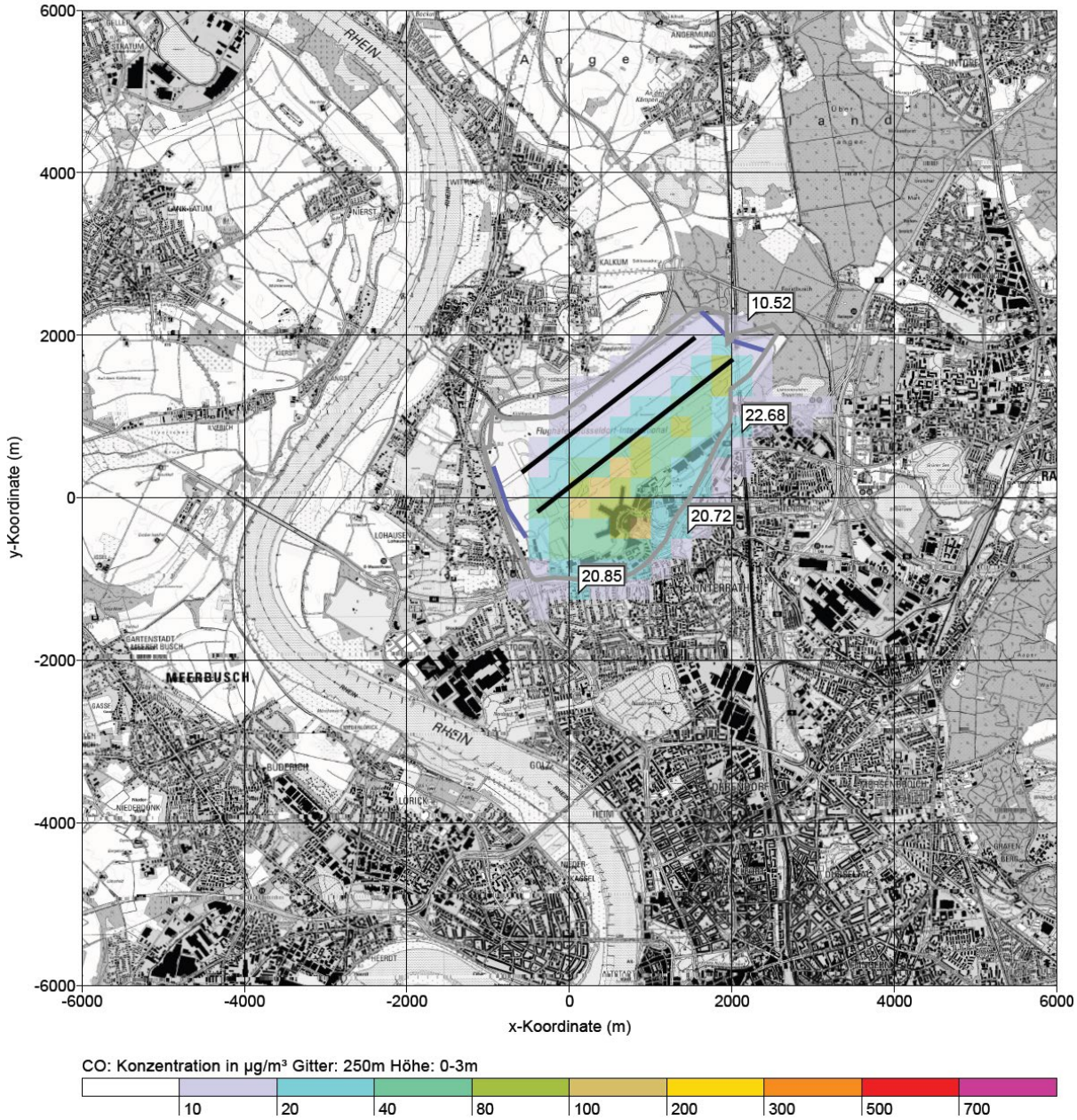



*Abbildung 2.17: Jahresmittel CO 2025*

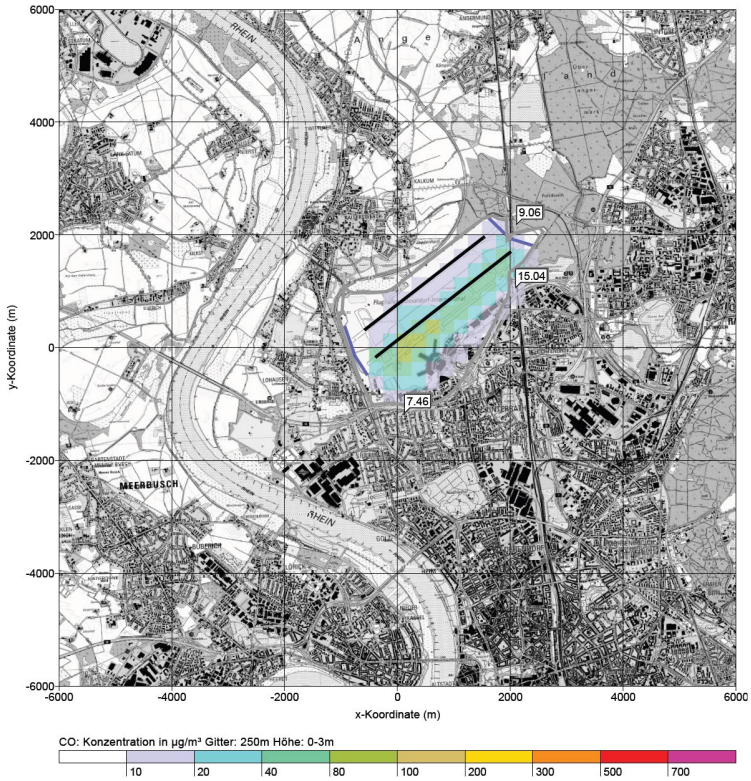



*Abbildung 2.18: Flugverkehr Jahresmittel 2025 CO*

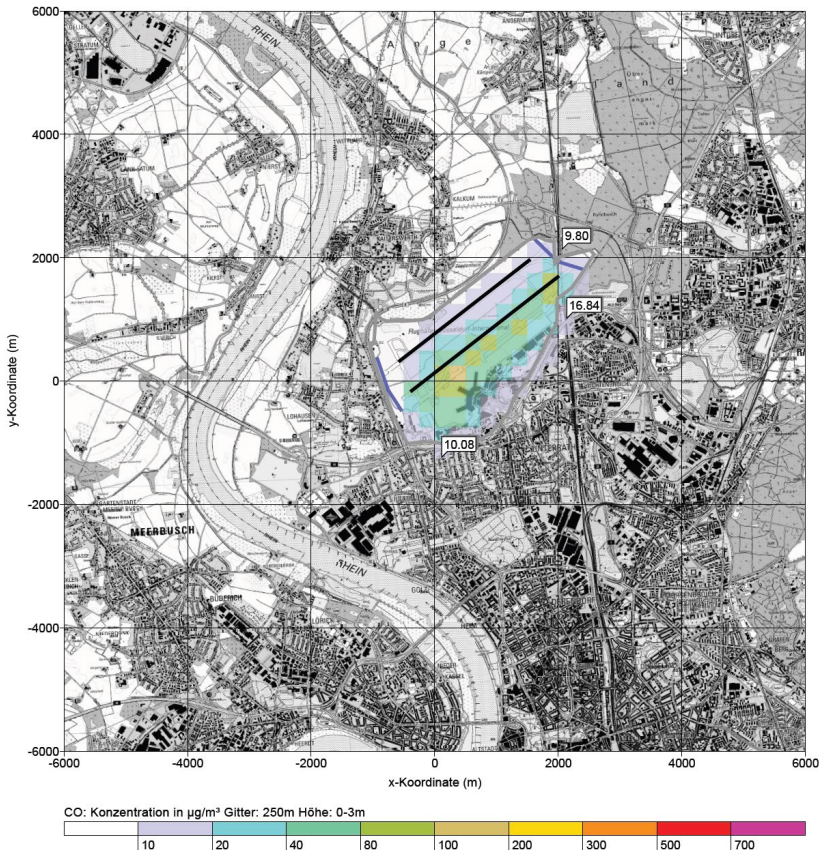



*Abbildung 2.19: Flughafen Jahresmittel CO 2025*

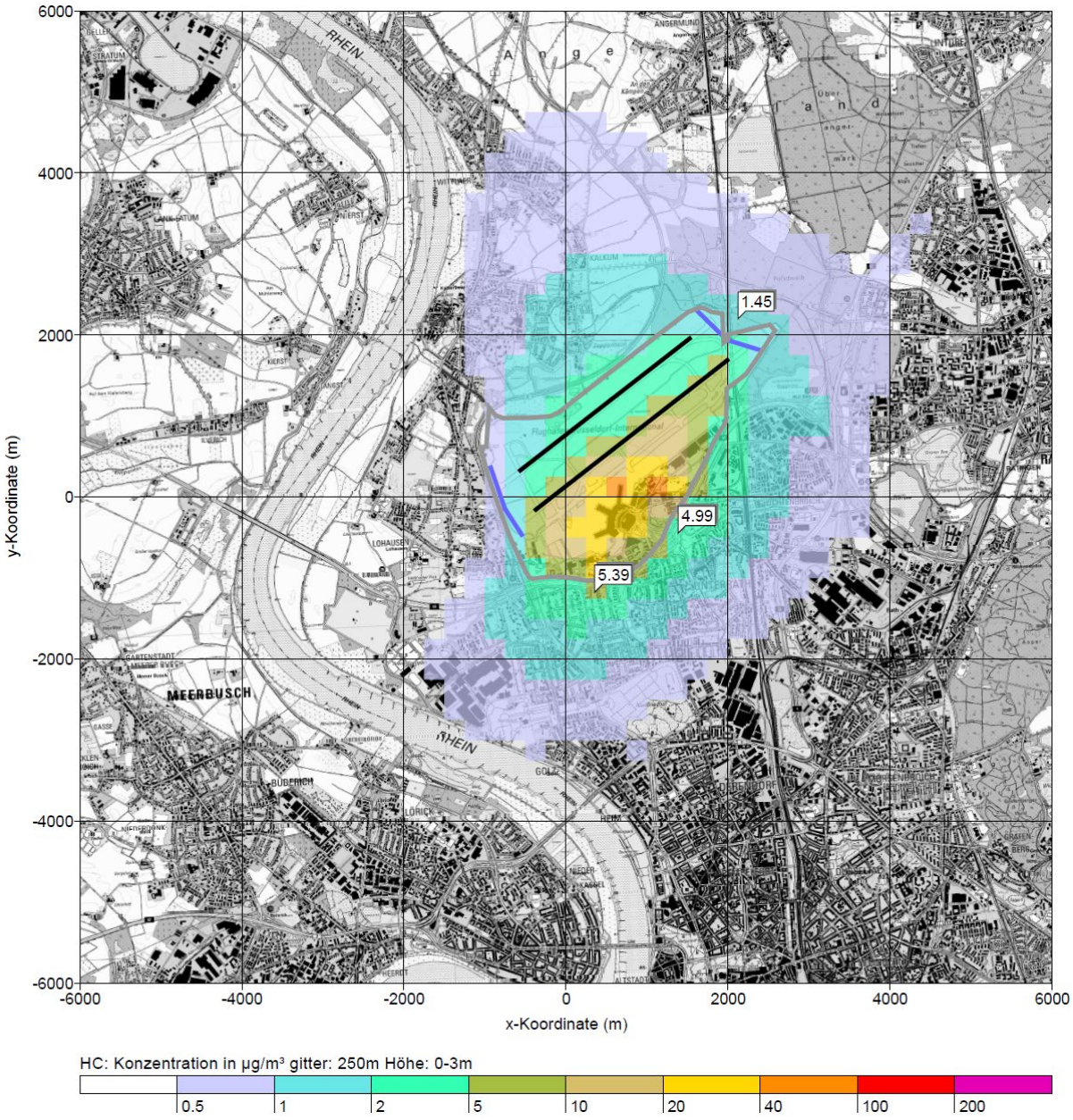



*Abbildung 20: Jahresmittel HC 2025*

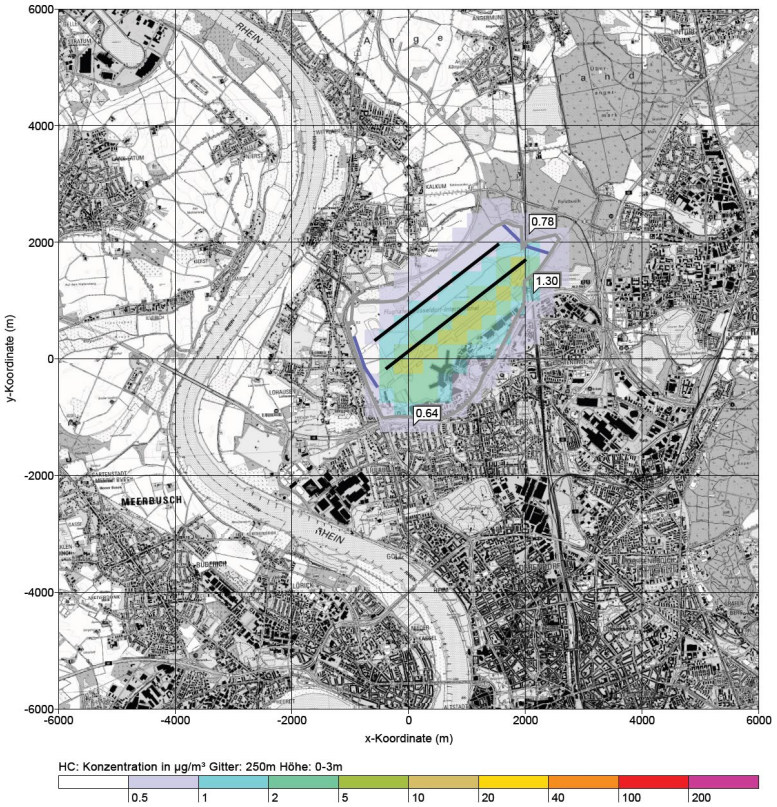



*Abbildung 21: Flugverkehr Jahresmittel HC 2025*

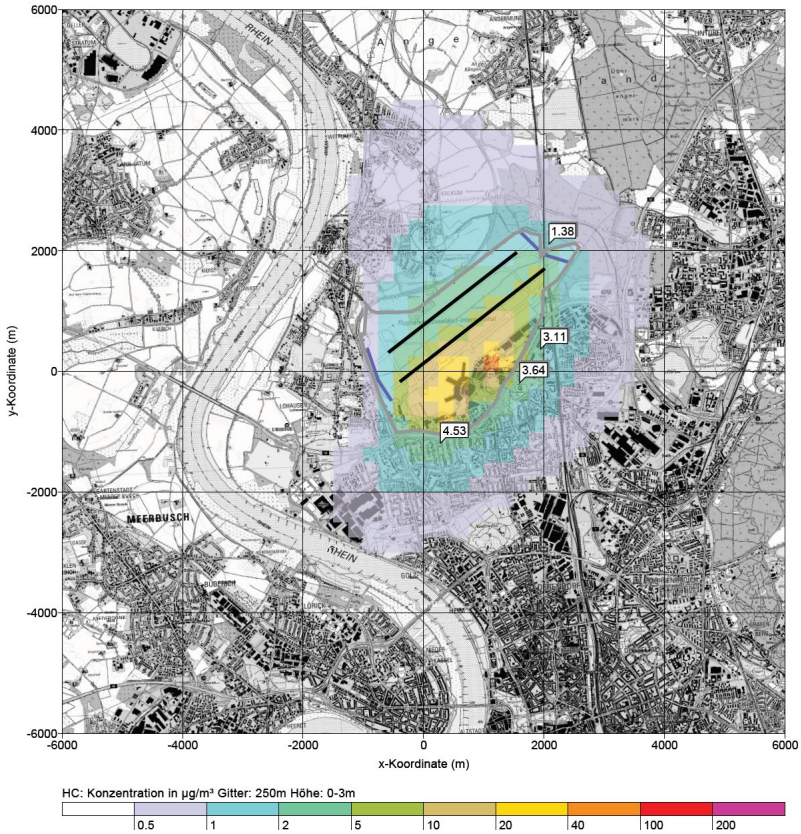



*Abbildung 22: Flughafen Jahresmittel HC 2025*

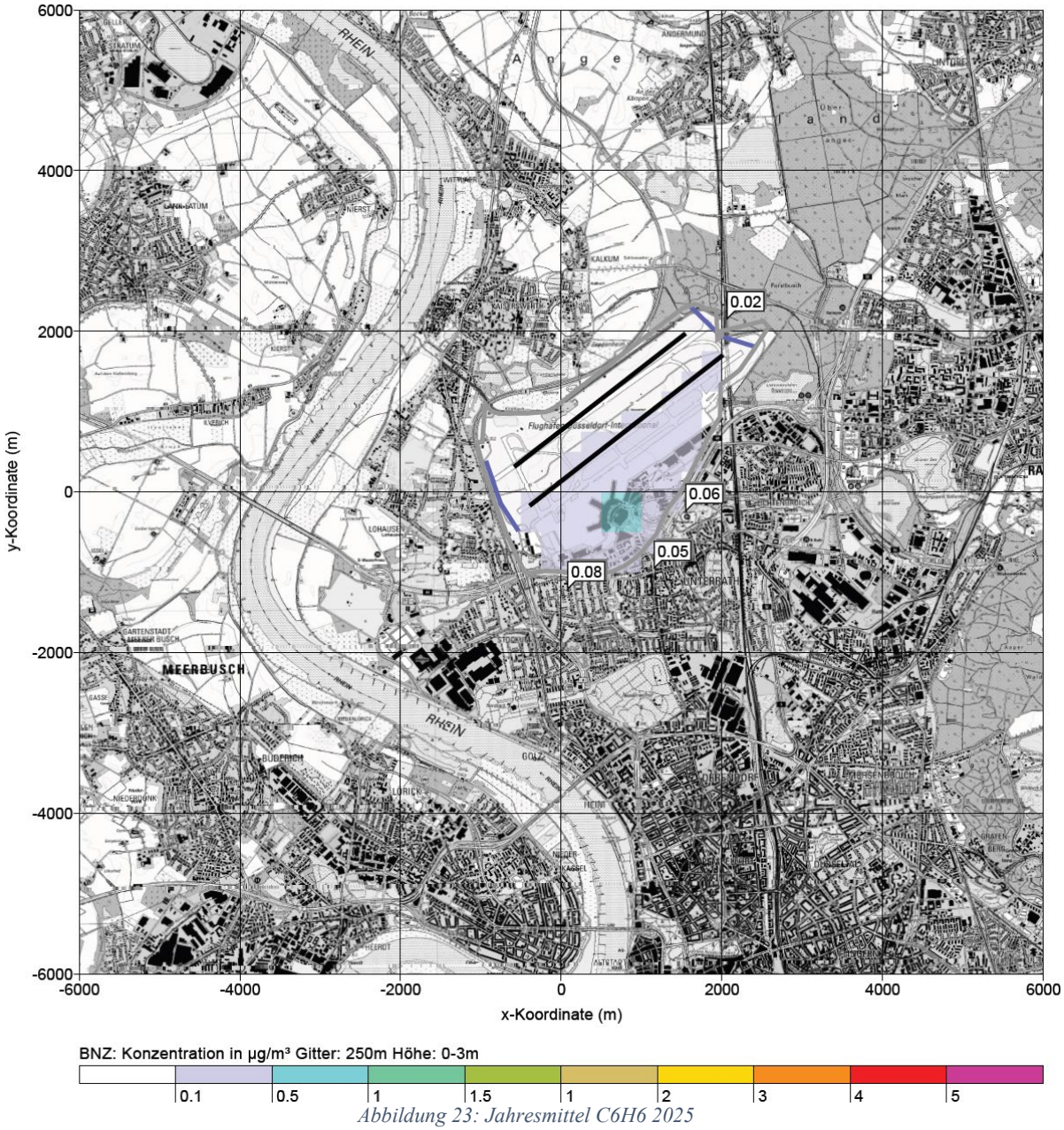



*Abbildung 23: Jahresmittel C6H6 2025*

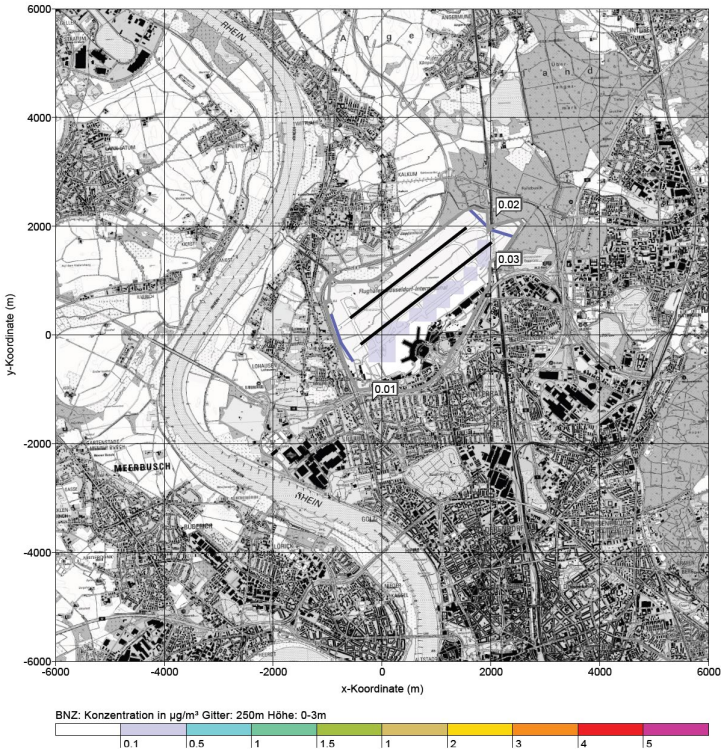



*Abbildung 24: Flugverkehr Jahresmittel C6H6 2025*

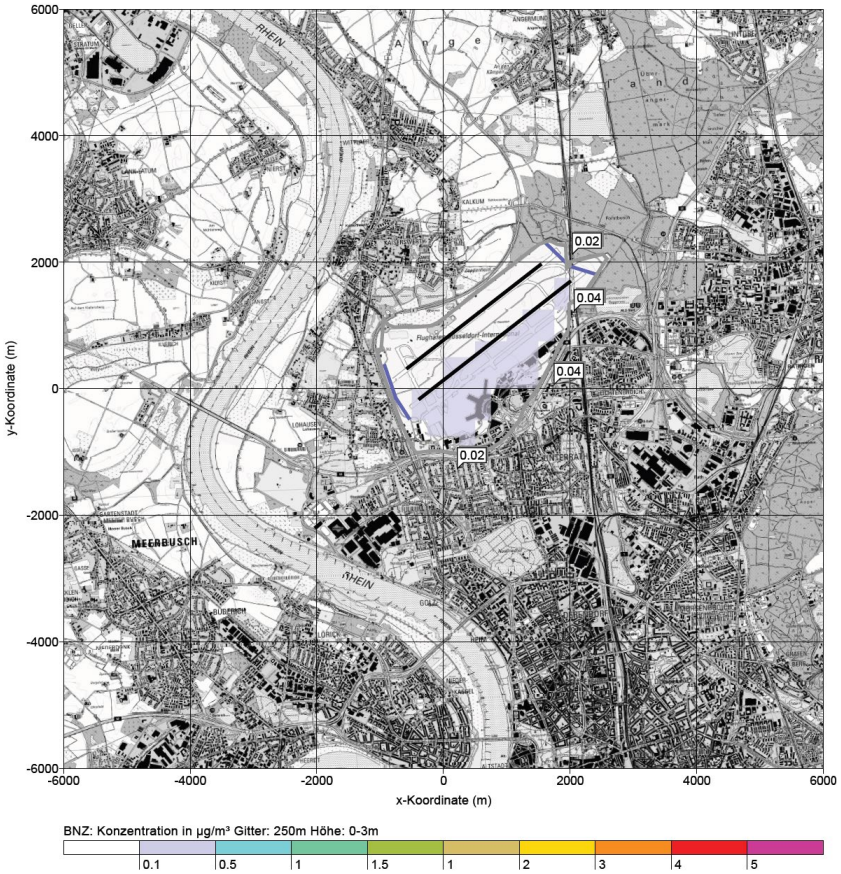



*Abbildung 25: Flughafen Jahresmittel C6H6 2025*

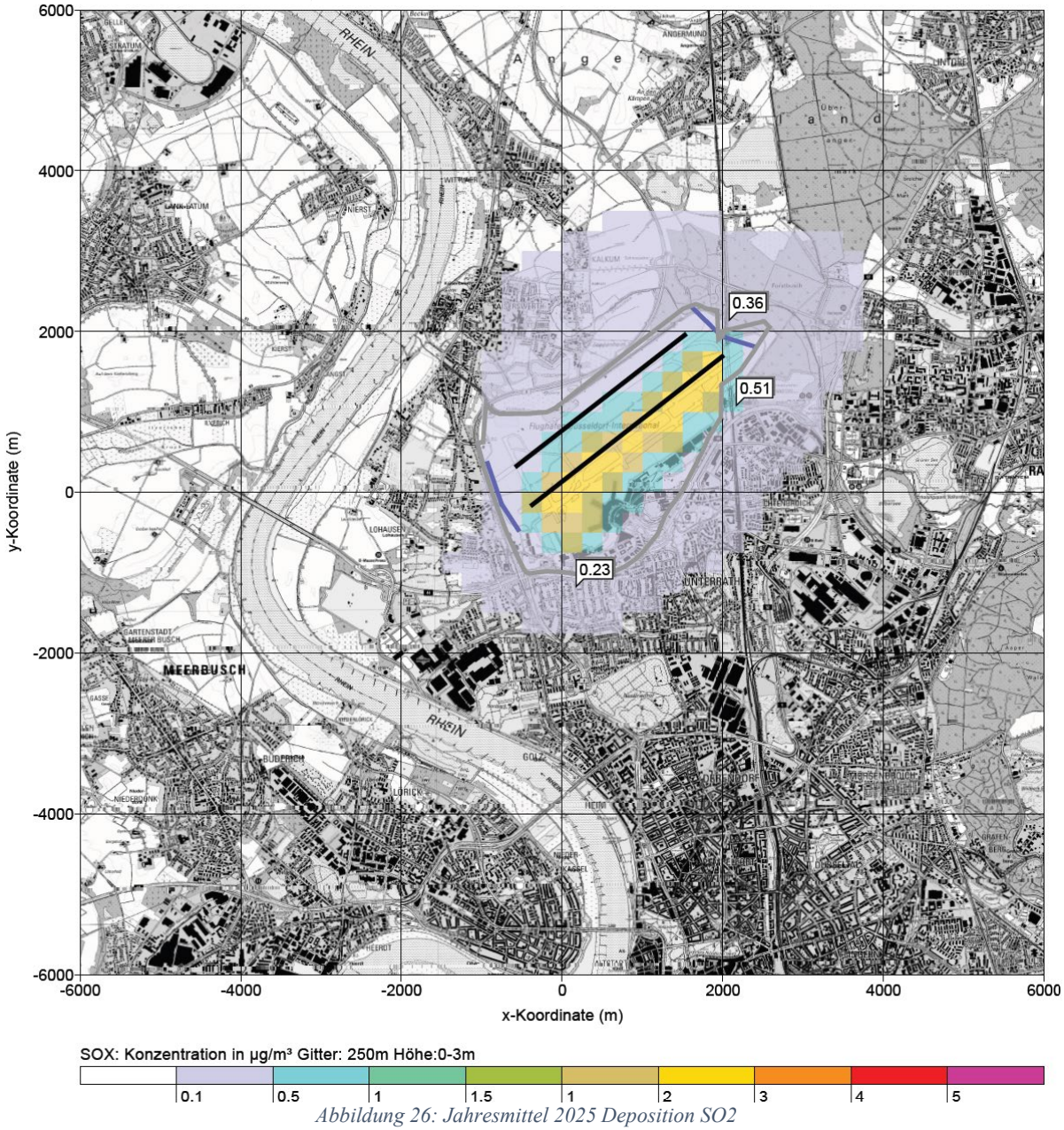



*Abbildung 26: Jahresmittel 2025 Deposition SO2*

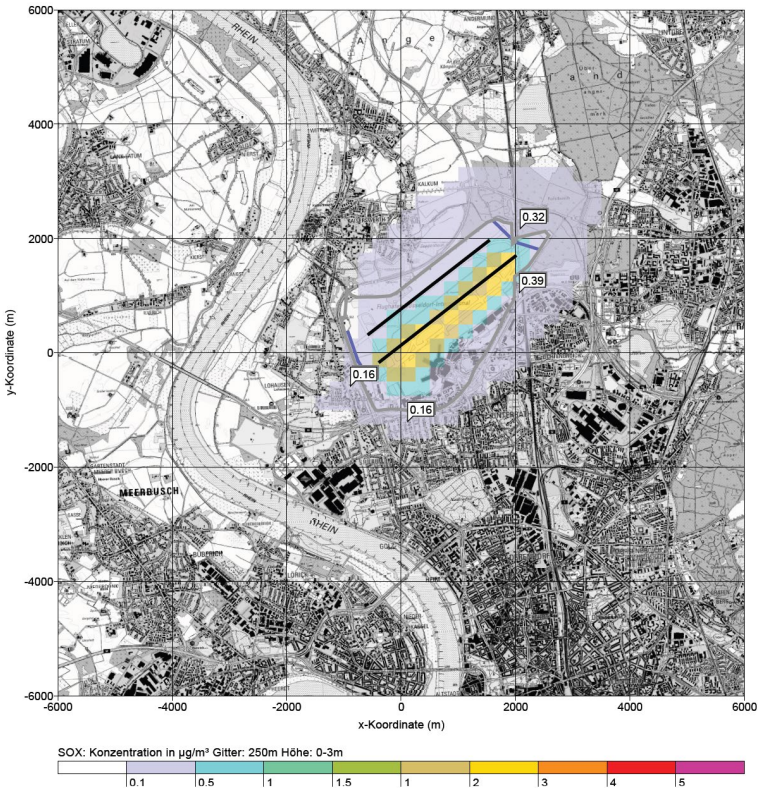



*Abbildung 27: Flugverkehr Jahresmittel 2025 mit Deposition SO2*

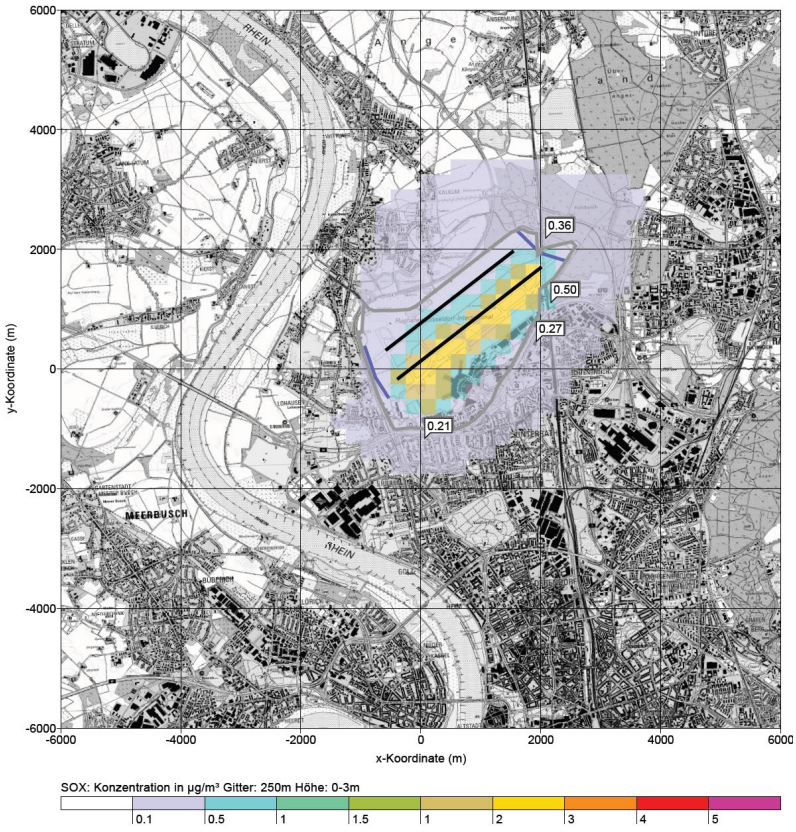



*Abbildung 28: Flughafen Jahresmittel2025 mit Deposition SO2*

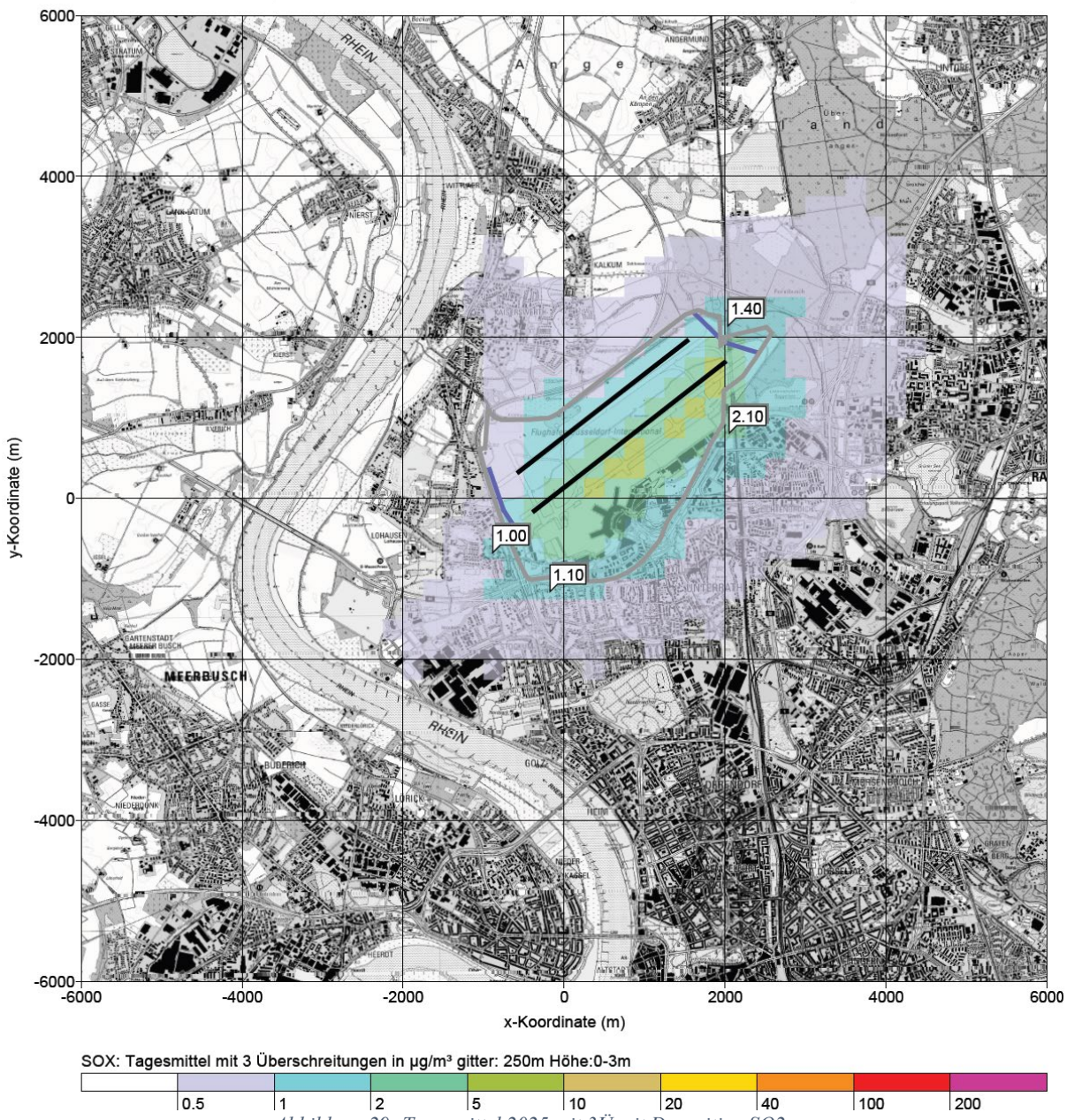



*Abbildung 29: Tagesmittel 2025 mit 3Ü mit Deposition SO2*

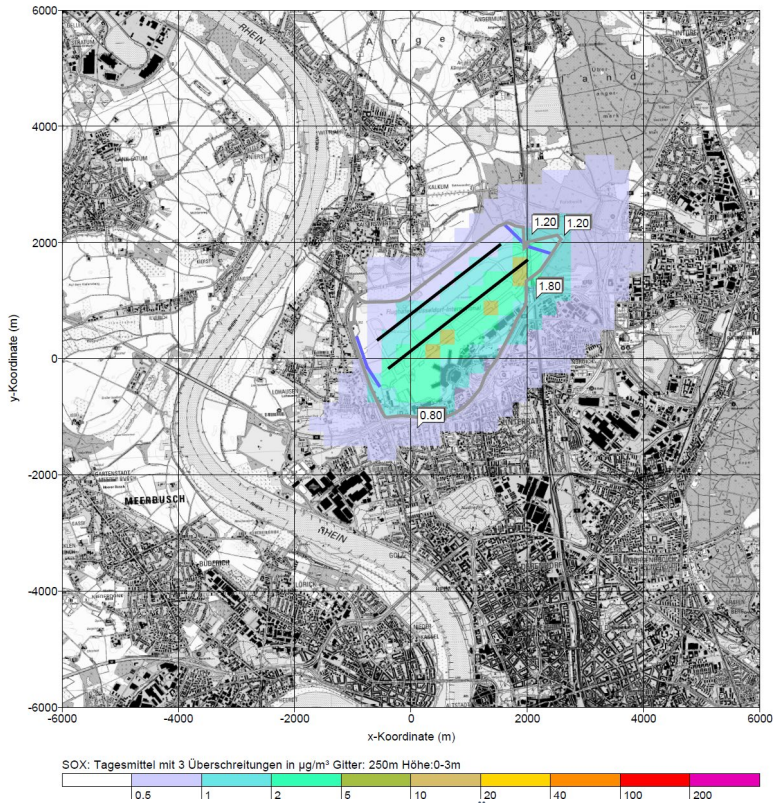



*Abbildung 30: Flugverkehr Tagesmittel mit 3Ü 2025 mit Deposition SO2*

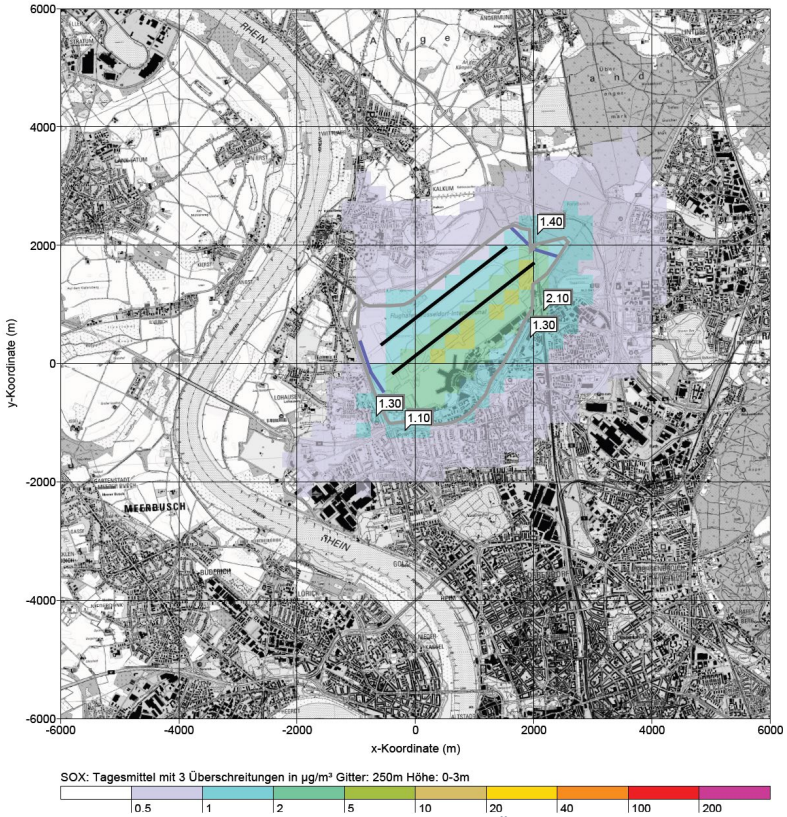



*Abbildung 31: Flughafen Tagesmittel 2025 mit 3Ü 2025 mit Deposition SO2*

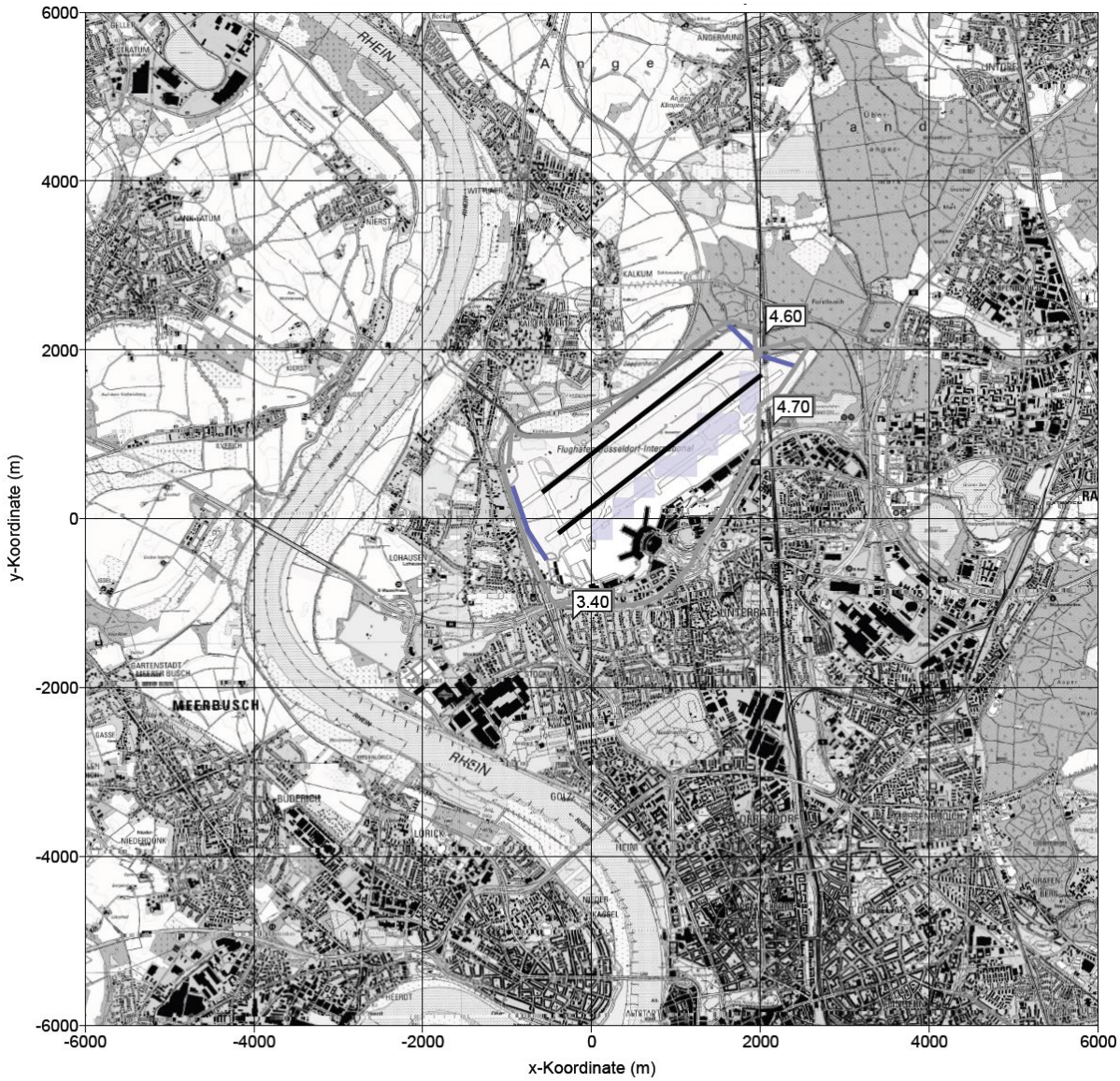



*Abbildung 32: Std-Mittel mit 24Ü 2025 mit Deposition SO2*

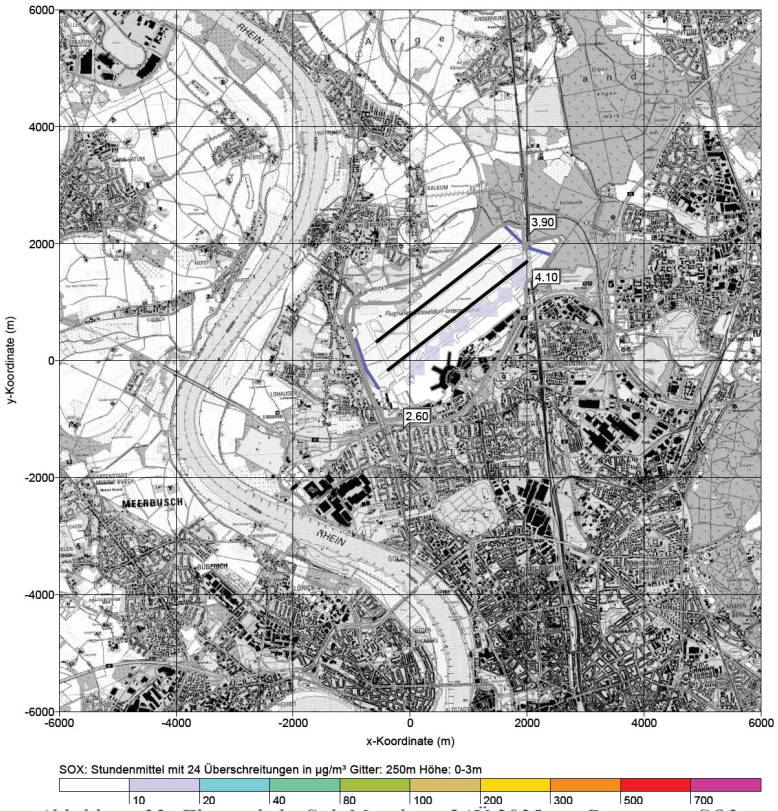



*Abbildung 33: Flugverkehr Std. Mittel mit 24Ü 2025 mit Deposition SO2*

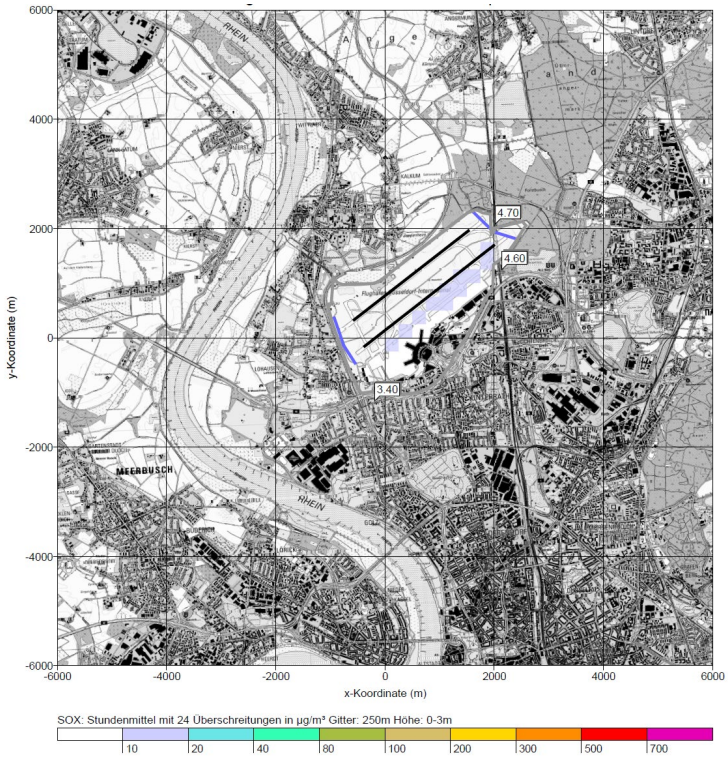



*Abbildung 34: Flughafen Std- Mittel mit 24Ü 2025 mit Deposition SO2*

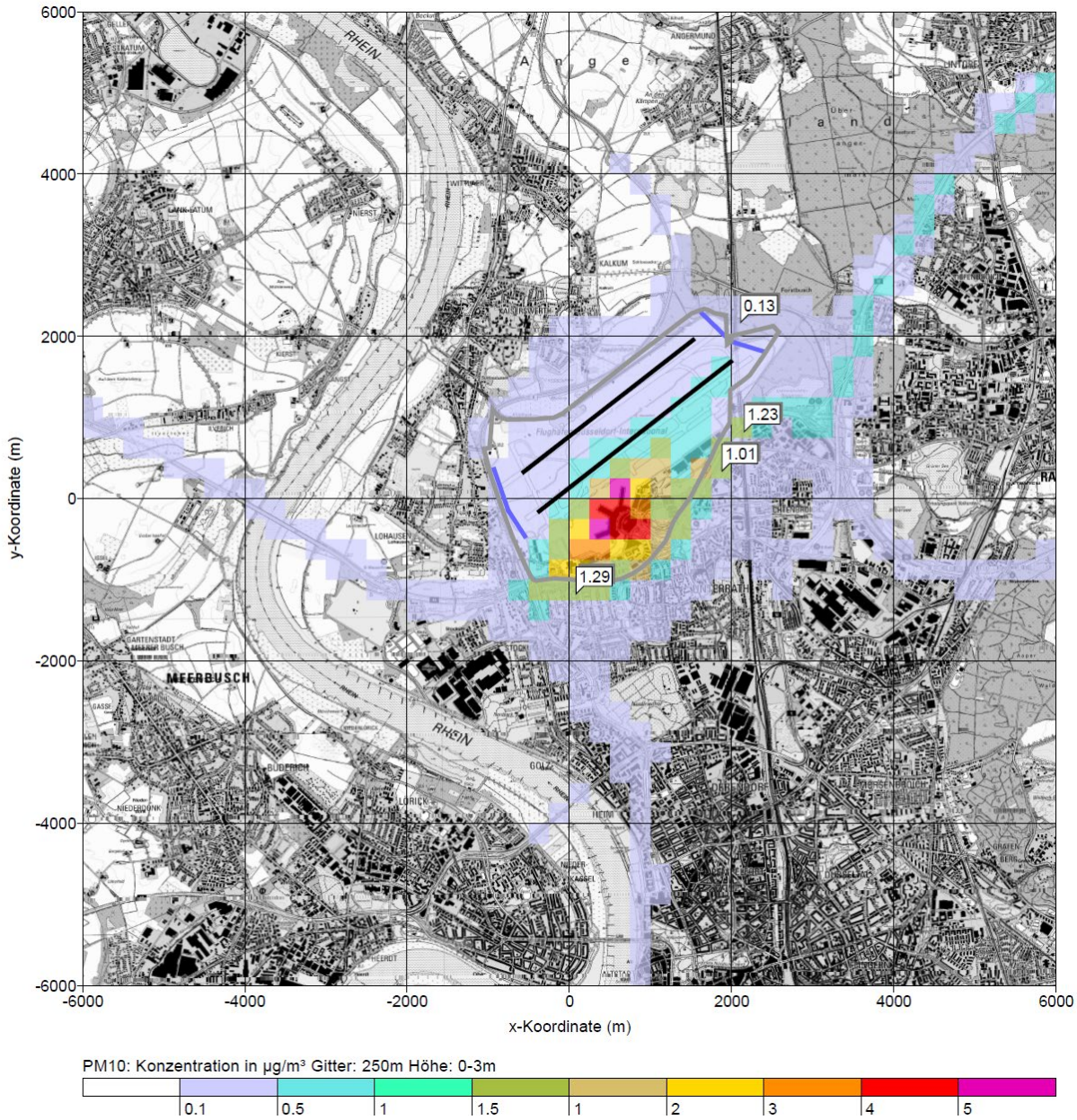



*Abbildung 35: Jahresmittel 2025 mit Deposition PM10*

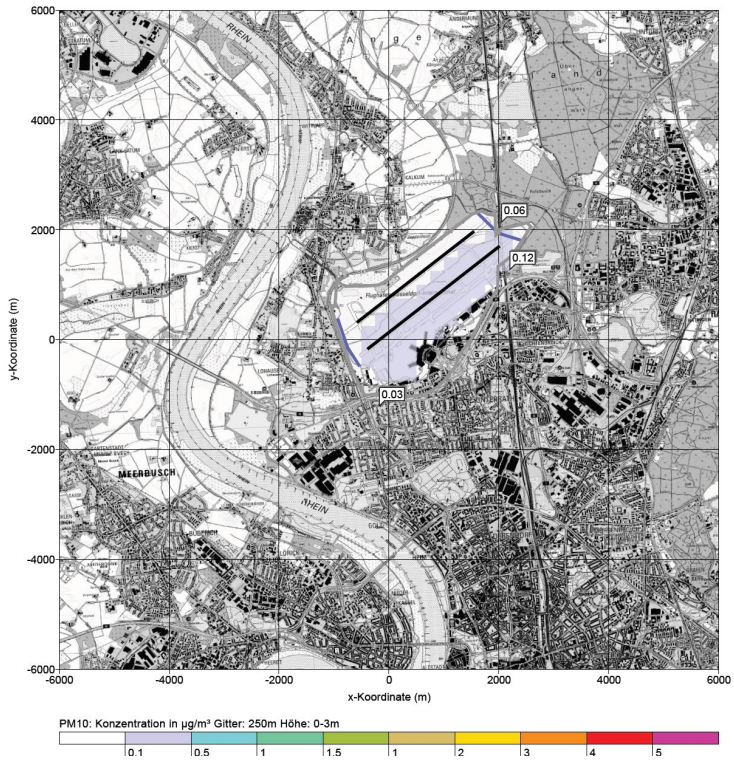



*Abbildung 36: Flugverkehr Jahresmittel 2025 mit Deposition PM10/PM2.5*

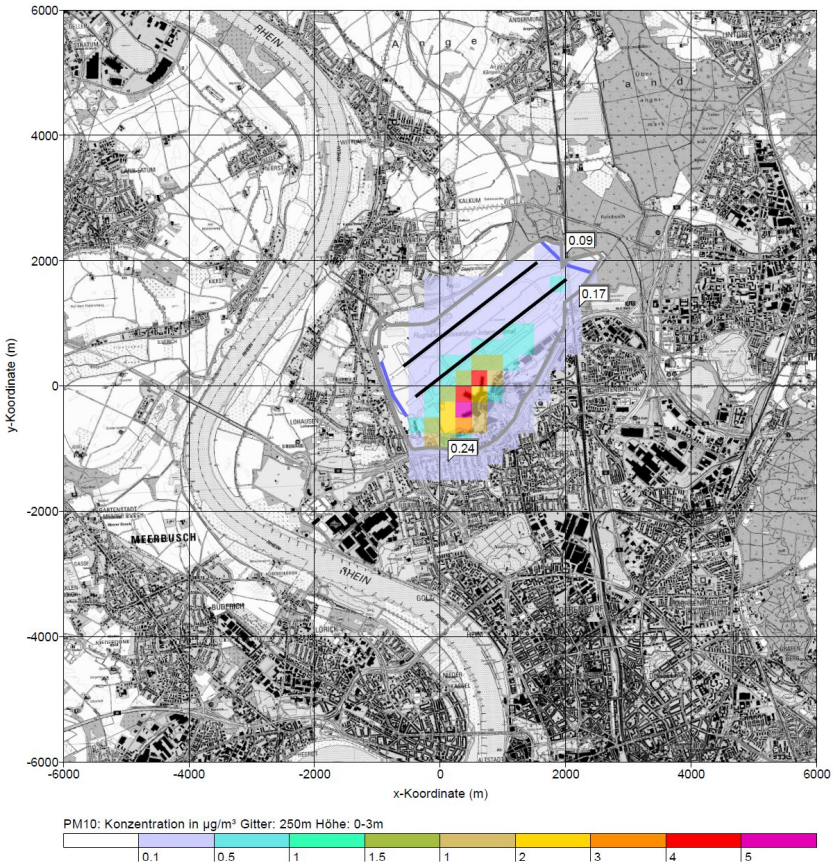



*Abbildung 37: Flughafen Jahresmittel 2025 mit Deposition PM 10*

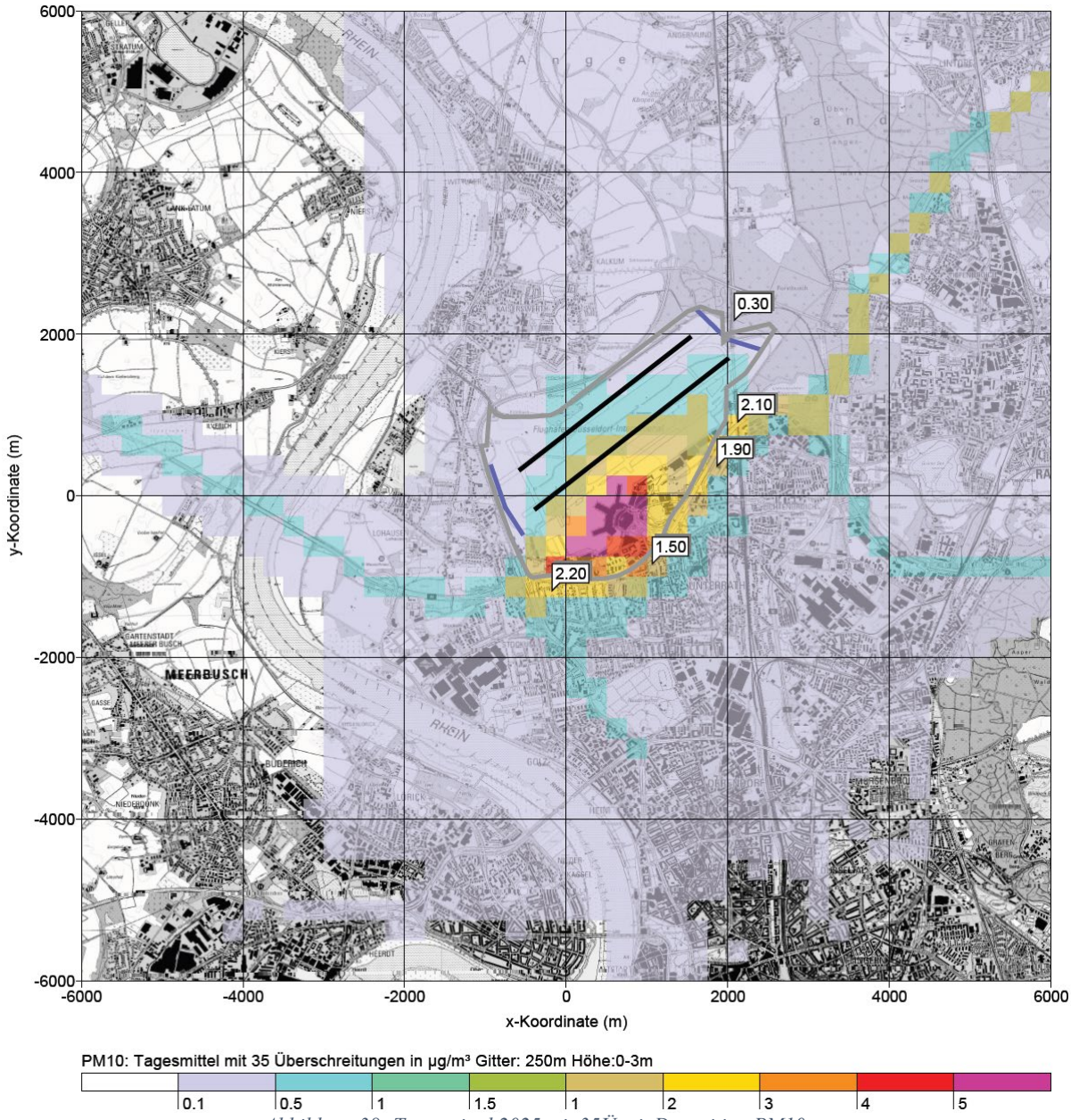



*Abbildung 38: Tagesmittel 2025 mit 35Ü mit Deposition PM10*

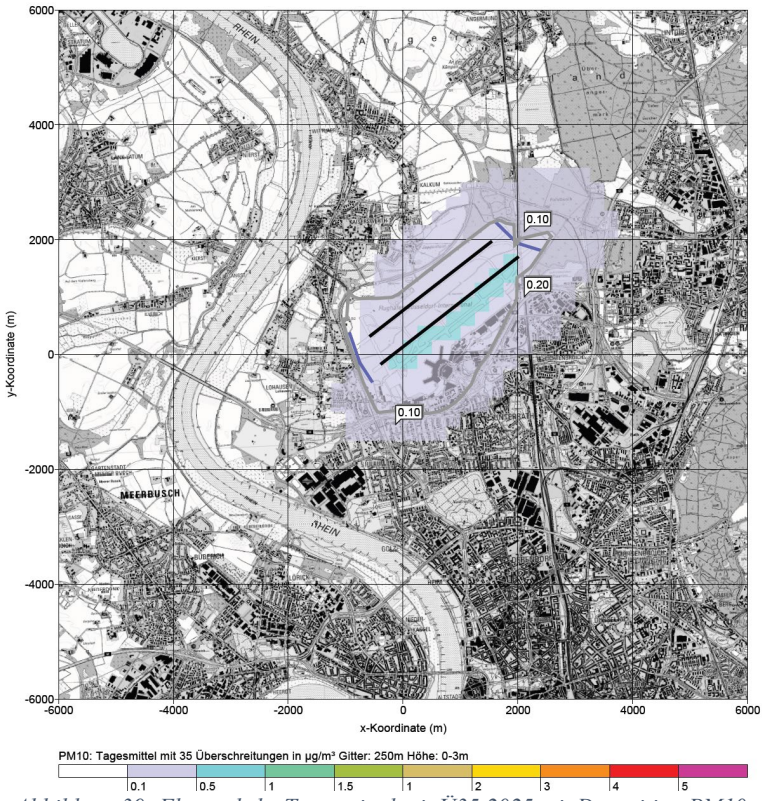



*Abbildung 39: Flugverkehr Tagesmittel mit Ü35 2025 mit Deposition PM10*

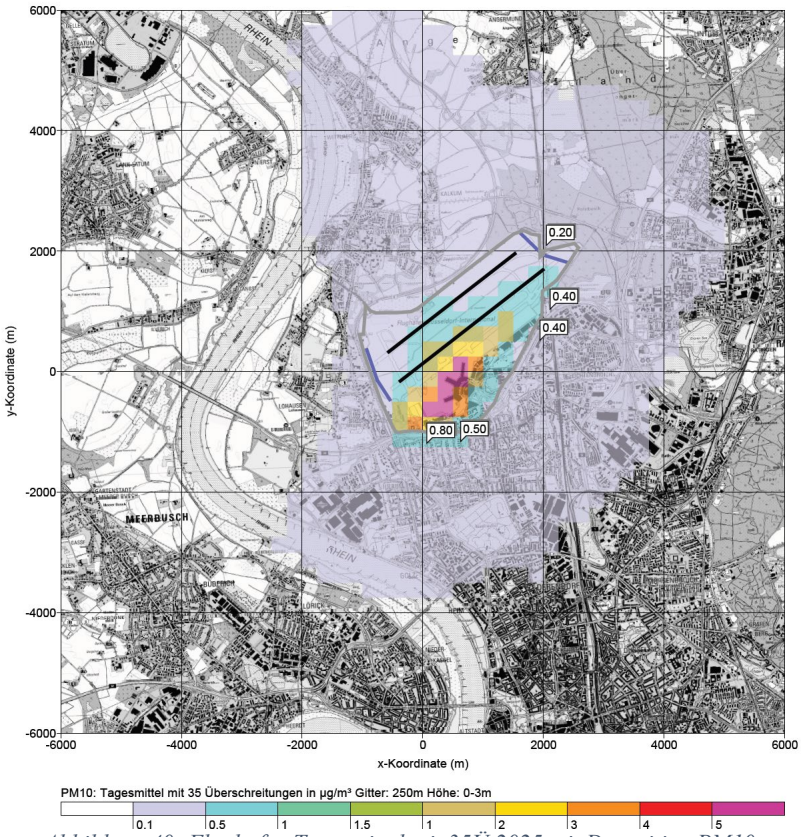



*Abbildung 40: Flughafen Tagesmittel mit 35Ü 2025 mit Deposition PM10*

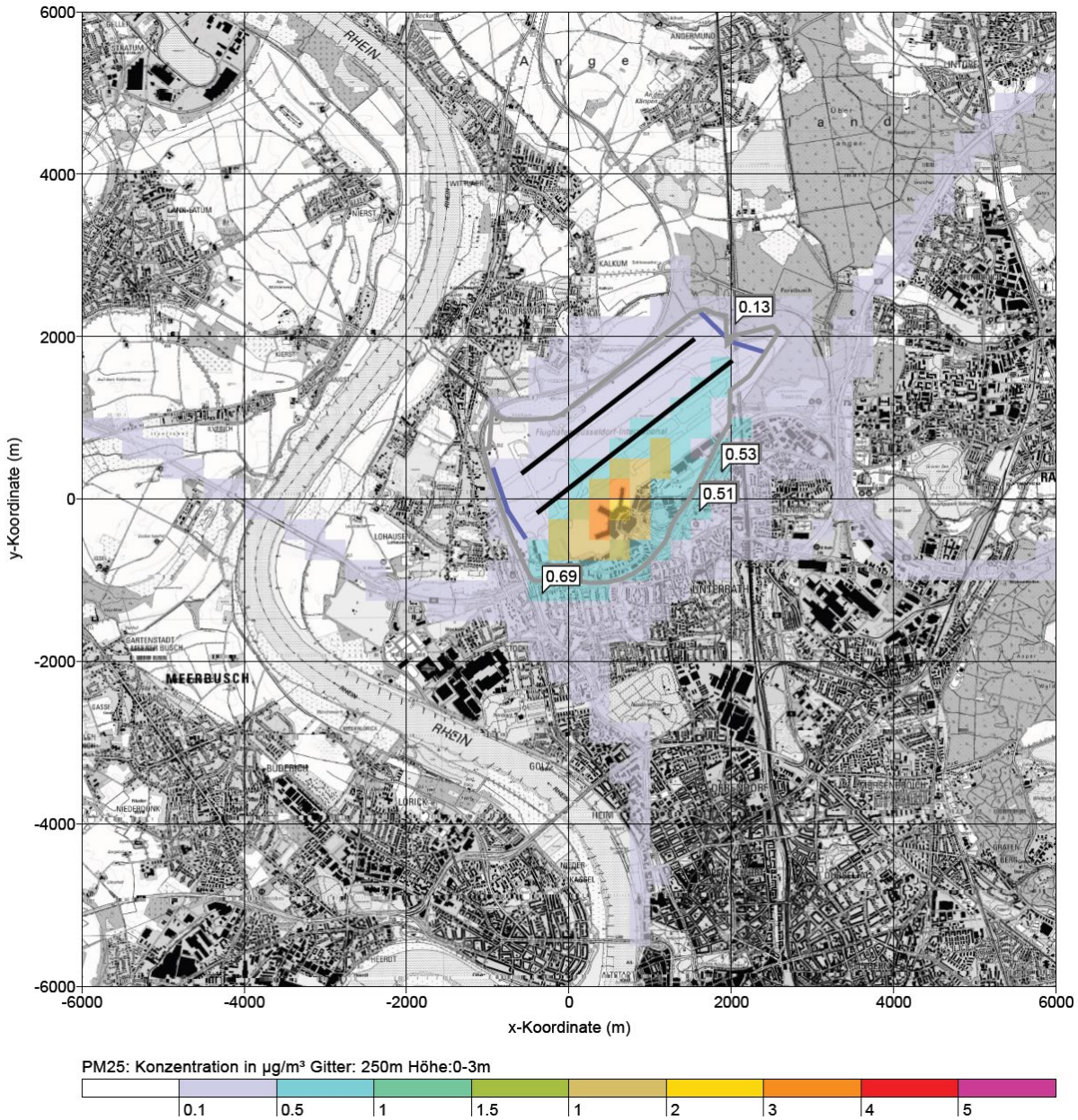



*Abbildung 41: Jahresmittel 2025 mit Deposition PM2.5*

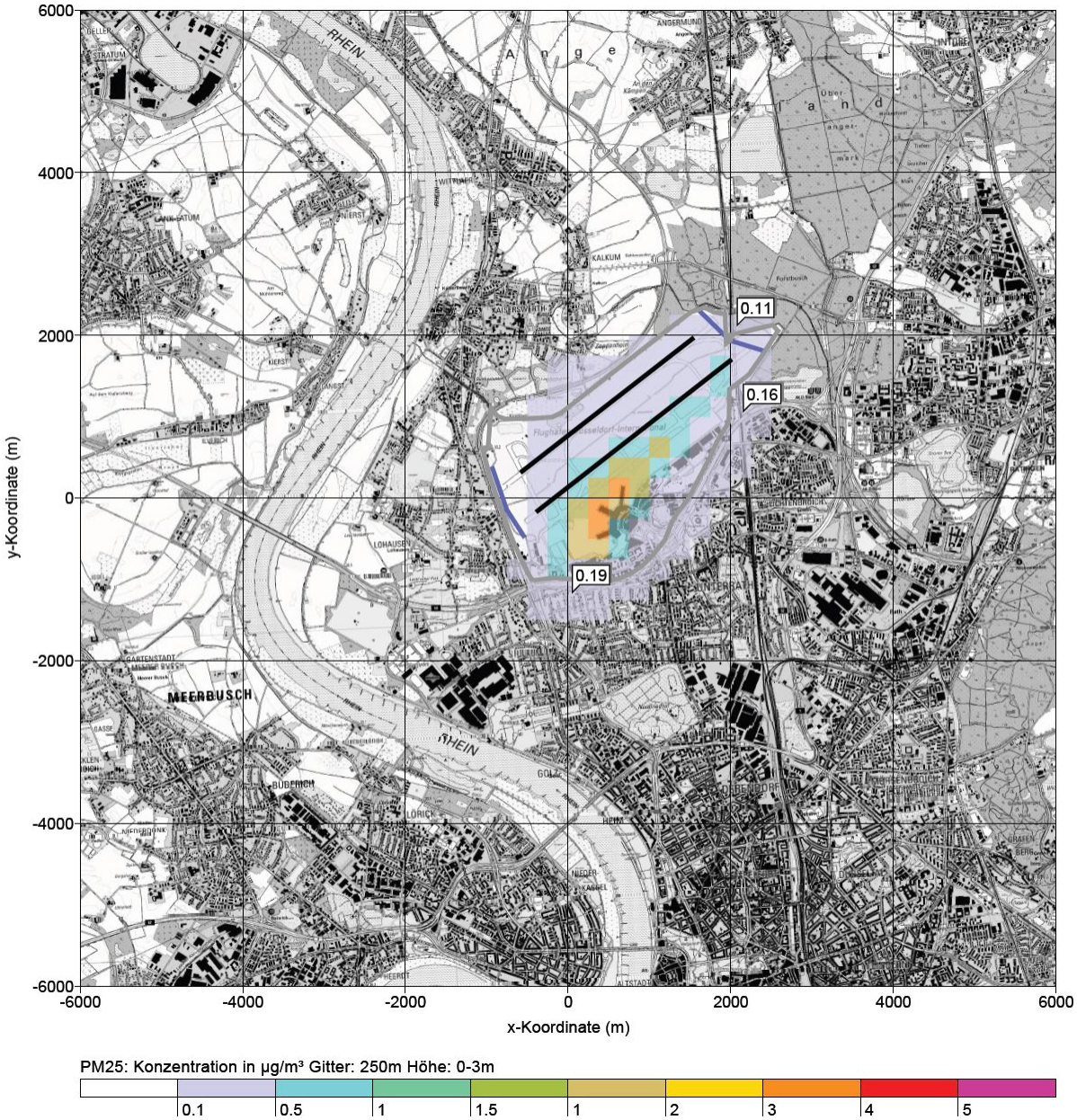



*Abbildung 42: Flughafen Jahresmittel 2025 mit Deposition PM2.5*

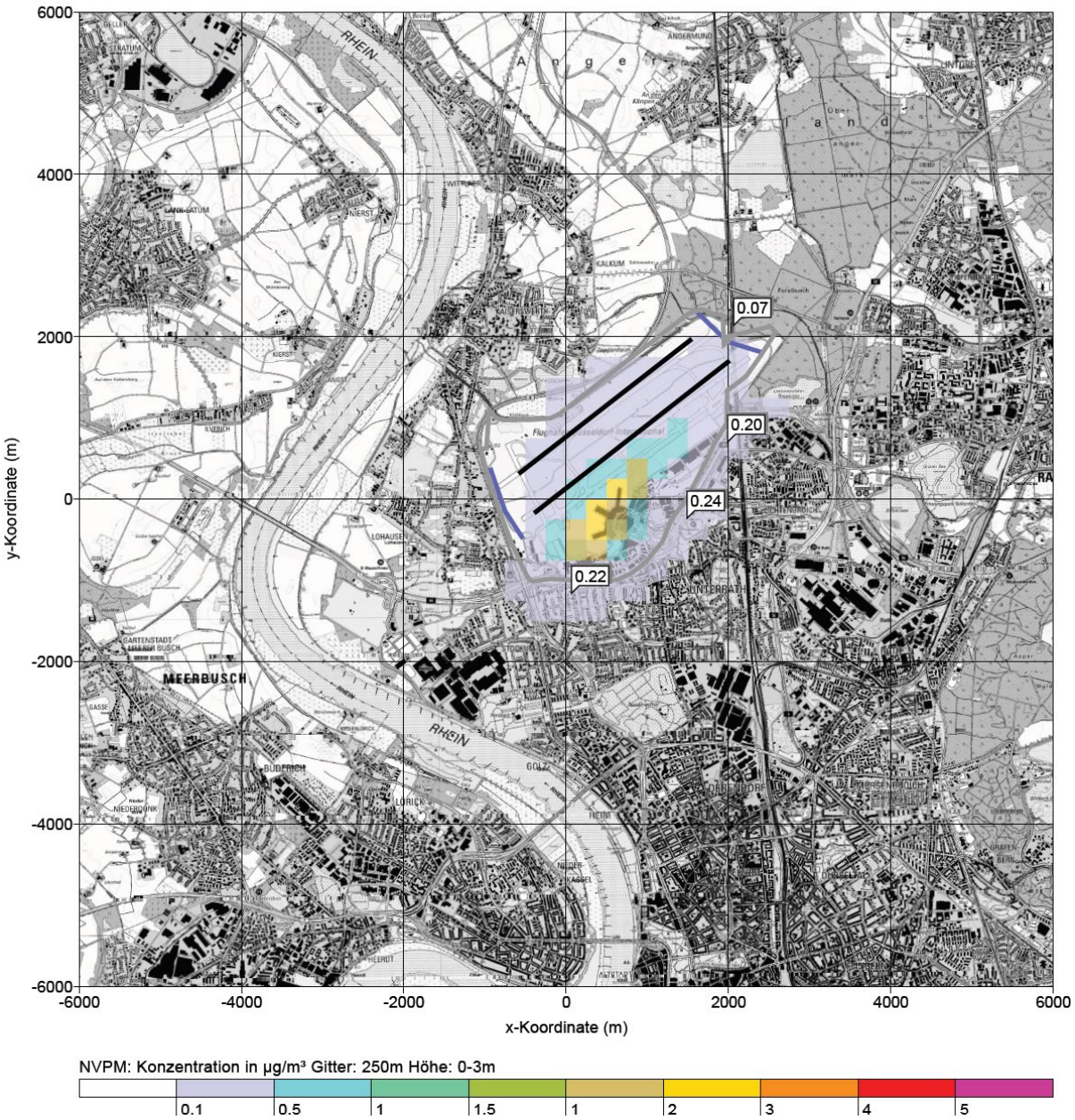



*Abbildung 43: Jahresmittel 2025 mit Deposition NVPM*

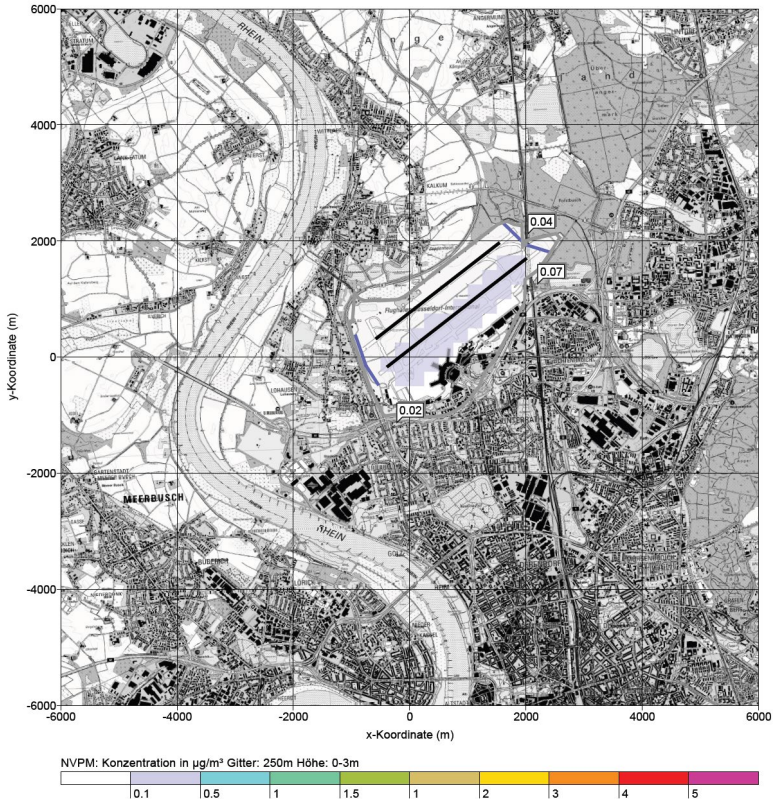



*Abbildung 44: Flugverkehr Jahresmittel 2025 mit Deposition NVPM*

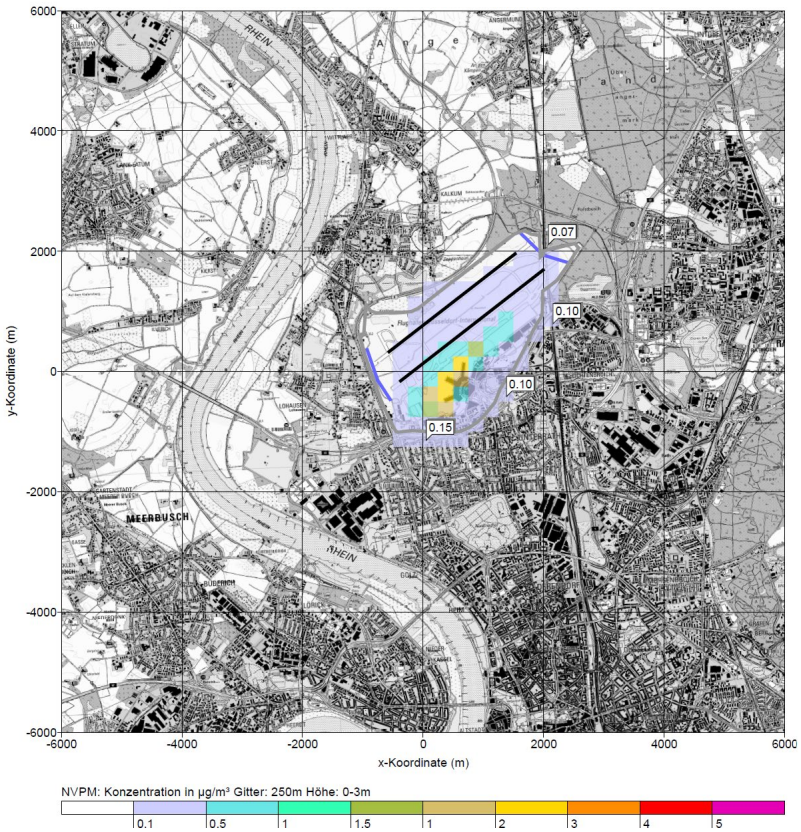



*Abbildung 45: Flughafen Jahresmittel 2025 mit Deposition NVPM*

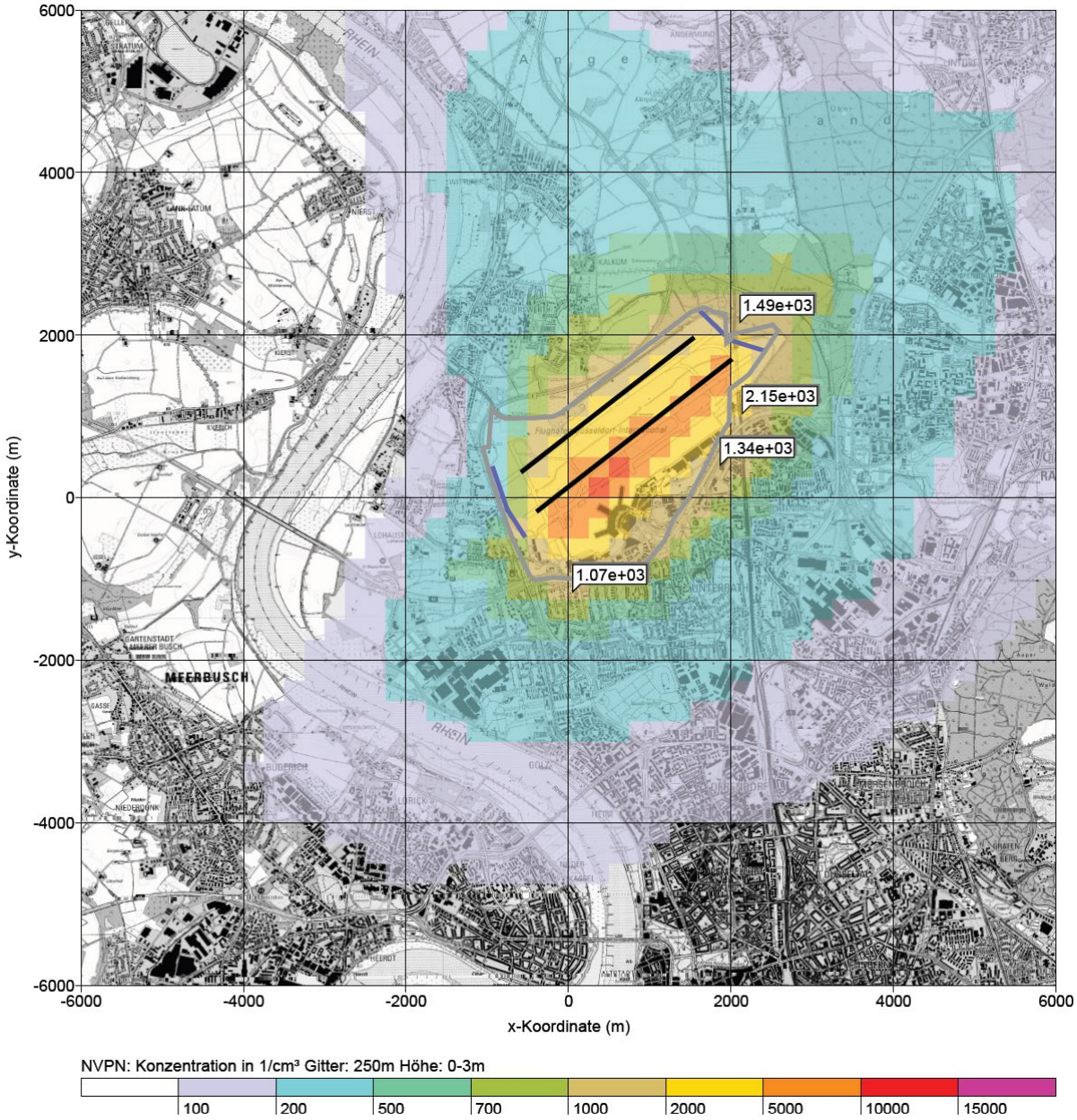



*Abbildung 46: Jahresmittel 2025 mit Deposition NVPN*

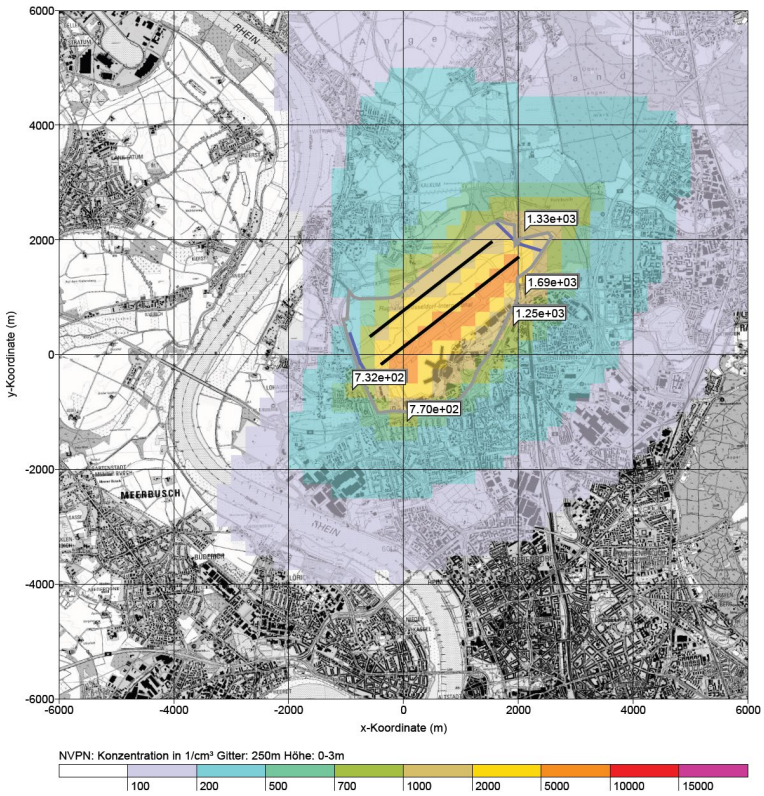



*Abbildung 47: Flugverkehr Jahresmittel 2025 mit Deposition NVPN*

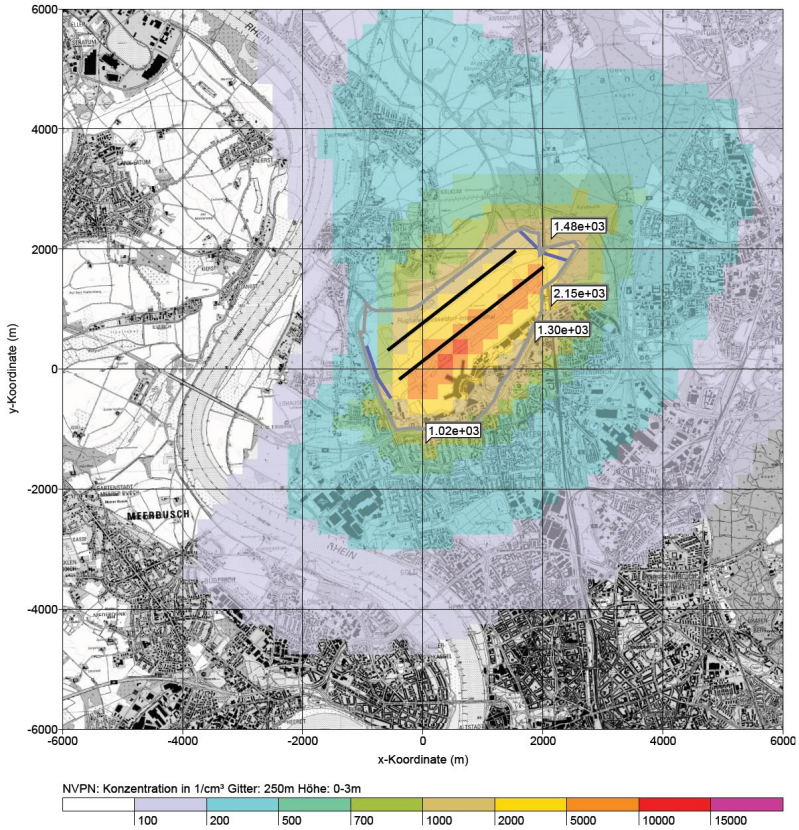



*Abbildung 48: Flughafen Jahresmittel 2025 mit Deposition NVPN*

# 3. Flugverkehrsbedingte Geruchsemissionen und -immissionen am Flughafen Düsseldorf im Jahr 2025

## 3.1 Einleitung

Geruchsstoffe sind chemische Verbindungen, die den Geruchssinn ansprechen und Geruchsempfindungen auslösen. Dazu zählen mehrere tausend Einzelsubstanzen. Gerüche setzen sich aus einer Vielzahl von diesen Komponenten zusammen. In ihrer Wirkung sind sie kaum quantitativ zu beschreiben, da die einzelnen Bestandteile häufig nicht eindeutig chemisch-analytisch identifizierbar sind. Außerdem können sich die Komponenten überlagern oder gegenseitig beeinflussen. In welcher Menge Geruchsstoffe emittiert werden, hängt zudem von der Umgebungstemperatur, von Strömungsgeschwindigkeiten etc. ab. Häufig ruft eine Geruchswahrnehmung toxikologisch nicht begründete Ängste vor einer Schadstoffbelastung hervor. Dagegen wurde bislang keine unmittelbar krankmachende Wirkung von Gerüchen nachgewiesen. Nicht einmal bei toxischen Substanzen sagt eine Geruchswahrnehmung etwas über den Gefährdungsgrad aus. Die meisten geruchserzeugenden Gifte nimmt der Mensch bereits bei Konzentrationen wahr, die noch keine gesundheitsschädliche Wirkung haben. Viele andere toxische Gase sind dagegen geruchlos.

## 3.2 Kerosin und Geruch

Bei der Verbrennung von Kerosin entstehen durch unvollständige Verbrennung u.a. organische Verbindungen (Kohlenwasserstoffe). Die Kohlenwasserstoffe setzen sich aus einer Vielzahl von chemischen Verbindungen zusammen (Hessische Landesanstalt für Umwelt Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz Heft 252 Emissionen organisch-chemischer Verbindungen aus zivilen Flugzeugtriebwerken, Oktober 1998).
Geruchsintensiv sind dabei nach TESS, 1998 ( TESS, 1998: Tesseraux, I.; B. Mach; G. Koss Flugzeugtreibstoffe und Flugzeugemissionen: Eine Risikocharakterisierung für Flughafenanwohner am Beispiel des Hamburger Flughafens; Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin 201. , S .135-161, 1998) die oxidierten Verbindungen wie Aldehyde und Ketone, sowie die Aromaten.
Kohlenwasserstoffe werden überwiegend im niedrigen Lastbereich, d.h. im Leerlauf und während Rollvorgängen emittiert. Mit zunehmendem Schub verläuft die Verbrennung vollständiger und der Anteil der Kohlenwasserstoffe nimmt im Vergleich zu den anderen Komponenten deutlich ab.
Am Flughafen Düsseldorf wurden im Jahr 2025 36,7 t Kohlenwasserstoffe durch den Flugverkehr während des LTO-Zyklus emittiert.

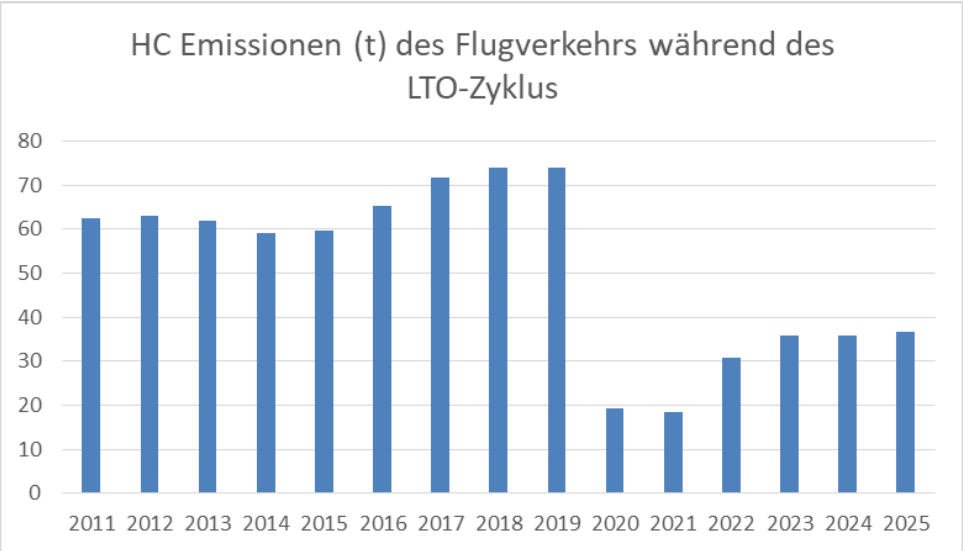



*Abbildung 49: HC Emissionen des Flugverkehrs während des LTO-Zyklus*

Pro LTO-Zyklus wurden im Jahr 2025 0,46 kg Kohlenwasserstoffe emittiert. Im Lauf der Jahre haben die Kohlenwasserstoffemissionen durch den Flugverkehr während des LTO- Zyklus (standardisierter Start-/Landezyklus der internationalen zivilen Luftfahrtbehörde bis in 915 m Höhe) aufgrund verbesserter Triebwerkstechnik stark abgenommen.

Weiterhin wird Kerosin bei Anlassvorgängen von Triebwerken vor der Zündung unter Druck zerstäubt und freigesetzt. Neben diesen Geruchsemissionen werden auch Gerüche durch den APU Betrieb, durch Probeläufe, durch Enteisungsvorgänge im Winter (in Idle-Emissionen enthalten) und durch verdunstetes Kerosin/Treibstoff am Tanklager berücksichtigt.

### 3.3 Beurteilung von Gerüchen

Die Beurteilung von Geruchsimmissionen unterscheidet sich wesentlich von der Beurteilung der Immissionen anderer gasförmiger Luftbeimengungen wie z.B. die Stickoxide.

Zur Beurteilung der Erheblichkeit der Geruchseinwirkung werden im allgemeinen Immissionswerte als Häufigkeit der Jahresstunden mit Geruchswahrnehmungen festgelegt. Die Novelle der „Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft)“ trat am 1. Dezember 2021 in Kraft. Die „TA-Luft 2021“ ersetzt die bisher gültige „TA-Luft 2002“. In die neue TA Luft wurden die Anforderungen zum Schutz vor erheblichen Belästigungen durch Geruchsimmissionen aufgenommen. Dazu wurde die Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL) als Anhang 7 in die TA Luft überführt.

Eine Geruchsimmission ist in der Regel als erhebliche Belästigung zu werten, wenn sie nach ihrer Herkunft aus Anlagen erkennbar, d.h. abgrenzbar ist gegenüber Gerüchen aus dem Kraftfahrzeugverkehr, dem Hausbrandbereich, der Vegetation oder ähnlichem und der Anteil der Geruchsstunden an den Jahresstunden folgende Werte überschreitet:

*Tabelle 32: Grenzwerte der Geruchsstunden im Jahr*

| Wohn-/Mischgebiete | Gewerbe-/Industriegebiete/Dorfgebiete |
|---|---|
| 0,1 (10%) | 0,15 (15%) |

Eine Geruchsstunde liegt vor, wenn es in mindestens 10 % der Zeit der Stunde zu Geruchswahrnehmungen kommt.

Dies bedeutet, dass bei der Berechnung der Gesamthäufigkeit der Geruchsstunden auch Stunden voll zählen, innerhalb denen es nur in 6 Minuten zu Geruchswahrnehmungen kommt. Die Wirkung von geruchsintensiven Luftbeimengungen wird durch die Überschreitungshäufigkeit der Geruchsschwelle (entspricht per Definition 1 GE (Geruchseinheit) pro $m^3$) bestimmt.

Nach TA-Luft soll die Genehmigung für eine Anlage auch bei Überschreitung der Immissionswerte nicht versagt werden, wenn der von der zu beurteilenden Anlage in ihrer Gesamtheit zu erwartende Immissionsbeitrag auf keiner Beurteilungsfläche, auf der sich Personen nicht nur vorübergehend aufhalten den Wert 0,02 (entspricht 2 % der Jahresstunden) überschreitet. Bei Einhaltung dieses Wertes ist davon auszugehen, dass die Anlage die belästigende Wirkung der vorhandenen Belastung nicht relevant erhöht (Irrelevanzkriterium).

### 3.4 Geruchsemissionen

Die Berechnung der Geruchsemissionen erfolgt anhand der Kohlenwasserstoffemissionen.

Der größte Anteil der Emission an Kohlenwasserstoffen stammt aus den bodengebundenen Aktivitäten der Flugzeuge. Bei den Rollvorgängen, hier werden die Triebwerke in relativ niedriger Leistungsstufe nahe dem Leerlauf betrieben (IDLE), werden verstärkt Kohlenwasserstoffe emittiert.

Grundlage der Geruchsemissionsermittlung sind Untersuchungen im Rahmen des Genehmigungsverfahrens zum Ausbau des Flughafens Frankfurt/Main. Dort wurden durch argumet (argumet (2006): Ausbau Flughafen Frankfurt Main C Gutachten G20 Geruchsprognose. Mechernich. Gutachten im Auftrag der Fraport AG, Frankfurt/Main.) messtechnisch eine Vielzahl von Flugzeugen in situ vermessen und eine Korrelation zwischen den Gesamtkohlenwasserstoffemissionen (Gesamt-C) und den Geruchsemissionen für die Triebwerksabgase angegeben.

Die Geruchsemissionen lassen sich näherungsweise anhand des dort olfaktometrisch ermittelten mittleren Geruchsemissionsfaktors von 31 GE/mg C (Gesamt-C) aus den Kohlenwasserstoffemissionen berechnen.
Eine Berücksichtigung von triebwerksspezifischen Geruchsemissionen kann aufgrund der Streuung bei den Messungen nicht erfolgen. Der angegebene Geruchsemissionsfaktor wird auch für die Nutzung der APU angesetzt (bezogen auf die hinterlegten APU LASPORT HC Emissionsfaktoren).

Geruchsschwellenbestimmungen an Kerosin weisen nach, dass die Kohlenwasserstoffe von unverbranntem Kerosin weniger geruchsrelevant sind, als die teil- und verbrannten Kohlenwasserstoffe der Triebwerksabgase. Als Geruchsemissionsfaktor für unverbranntes bzw. zerstäubtes Kerosin wird hier der in (TÜV, 1995: TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH
Gutachten zu flugverkehrsbedingten Geruchsimmissionen in der Umgebung des Rhein-Ruhr Flughafens Düsseldorf) ermittelte Wert von 16 GE/mg C angesetzt.
Relevant ist dies für die Anlassvorgänge, bei denen unverbrannte Kohlenwasserstoffe freigesetzt werden (Triebwerksstarts werden auch bei den Probeläufen berücksichtigt.).
Für die Verdunstungsemissionen am Tanklager wurde konservativ ebenfalls der Faktor von 16 GE/mg C übernommen. Somit können aus den Kohlenwasserstoffemissionen die entsprechenden Geruchsemissionen abgeleitet werden.

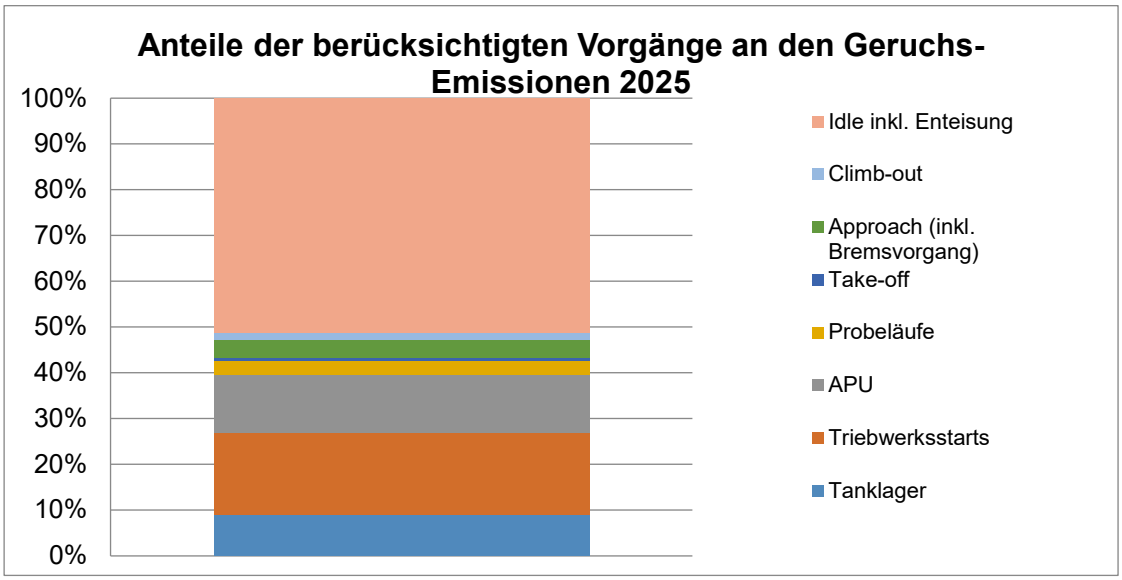



*Abbildung 50: Anteil der berücksichtigten Vorgänge an den Geruchs-Emissionen 2025*

### 3.5 Geruchsimmissionen

Die Berechnung der Geruchsimmissionen erfolgt entsprechend der Vorgehensweise bei der Berechnung der flughafeninduzierten Spurengasimmissionen mit dem Ausbreitungsmodell LASPORT auf Szenariobasis. In LASPORT werden den Flugzeugen 7 Flugzeuggruppen zugeordnet: Large, Medium, Small, Regional, Business, Turpoprop und Propeller. Hinzu kommen noch zwei Gruppen für die Hubschrauber: HeliLarge und HeliSmall. In einer Szenariorechnung werden die Verkehrsdaten des betrachteten Jahres statistisch ausgewertet. Dabei wird in LASPORT das Produkt aus Emissionsrate und der Emissionszeit in dem LTO-Segment, also die Emissionsmenge, gemittelt. Zusätzlich wird für jede Gruppe das (AzB) Steigprofil bestimmt, das am häufigsten vorkommt. Am Schluss wird die mittlere Emissionsmenge durch die Emissionszeit gemäß diesem Profil geteilt und die daraus folgenden Emissionswerte und das Profil werden als Gruppenmittel in der Auswertung benutzt. Somit können leichte Unterschiede zu einer Monitorrechnung auftreten.
Die Flugbewegungen werden je zur Hälfte auf Starts und Landungen aufgeteilt.

Die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung sind zunächst Stundenmittelwerte der Kohlenwasserstoff-immissionen, aus denen mit Hilfe der Geruchsemissionsfaktoren Stundenmittelwerte der Geruchsstoffkonzentration gebildet werden. Aus den 8.760 Stundenmittelwerten eines Jahres wird dann die Häufigkeit des Überschreitens der Geruchsschwelle von 1 GE/m$^3$ ermittelt. Wird für eine Stunde eine mittlere Geruchsstoffkonzentration von weniger als 1 GE/m$^3$ berechnet, so kann diese Stunde aber aufgrund kurzzeitiger Geruchsspitzen dennoch eine sogenannte „Geruchsstunde“ sein, wenn in wenigstens 10 % der Zeit (d.h. 6 Minuten) Geruchswahrnehmungen auftreten (s.o.).
Eine rechnerische Erfassung solcher Geruchsspitzen mit einer zeitlichen Auflösung im Sekundenbereich, wie die menschliche Nase sie besitzt, ist nicht möglich.
Zur Beschreibung dieser Fluktuation werden deshalb die berechneten Stundenmittelwerte mit einem konstanten Spitzen-/Mittelwert-Faktor multipliziert. In der TA-Luft Anhang 7 wird standardmäßig für die Punktquellen ein Faktor 4 verwendet, d.h. die Zählschwelle zur Berücksichtigung von Ausbreitungssituationen mit wahrnehmbaren Geruchszeitanteilen wird mit 0,25 GE/m3 festgelegt.

Für konkrete Anlagen können durch den Vergleich von Begehungen und Ausbreitungsrechnungen davon abweichende Faktoren abgeleitet werden. So ergab die Untersuchung der Geruchsimmissionssituation in der Umgebung des Flughafens Düsseldorf vom TÜV, bei der ebenfalls das Ausbreitungsmodell LASAT

eingesetzt wurde, die beste Übereinstimmung zwischen Messung und Ausbreitungsrechnung mit einem Spitzen-/Mittelwert-Faktor von 1.

Bei anderen Untersuchungen am Flughafen Frankfurt/Main (Vergleich Begehung – Modellrechnung) durch argumet (2006 s.o.) ergab sich, dass für räumlich ausgedehnte Geruchsquellen dieser Faktor bei 1,3 liegt. Diese Untersuchungen basierten aber auf höheren Triebwerksstartemissionen. Inzwischen basieren diese Emissionen auf dem ICAO Document 9889 und fallen deutlich niedriger aus. Neuere Vergleichsuntersuchungen am Flughafen Frankfurt haben einen Faktor von 1,5 ergeben. In diesem Bericht wird ein Faktor von 1,4 verwendet. Die Zählschwelle zur Berücksichtigung von Ausbreitungssituationen mit wahrnehmbaren Geruchszeitanteilen beträgt somit 0,71 GE/m$^3$.

### 3.6 Ergebnis:

Die folgende Abbildung zeigt die Anzahl der Geruchswahrnehmungshäufigkeiten für das Jahr 2025. Die höchsten Werte außerhalb des Flughafengeländes wurden gekennzeichnet. Die Geruchswahrnehmungshäufigkeiten liegen an der süd- bis südöstlichen Grenze des Flughafenbereiches bei maximal 1,6 % der Jahresstunden. Der Immissionswert der TA-Luft von 10 % wird weit unterschritten.

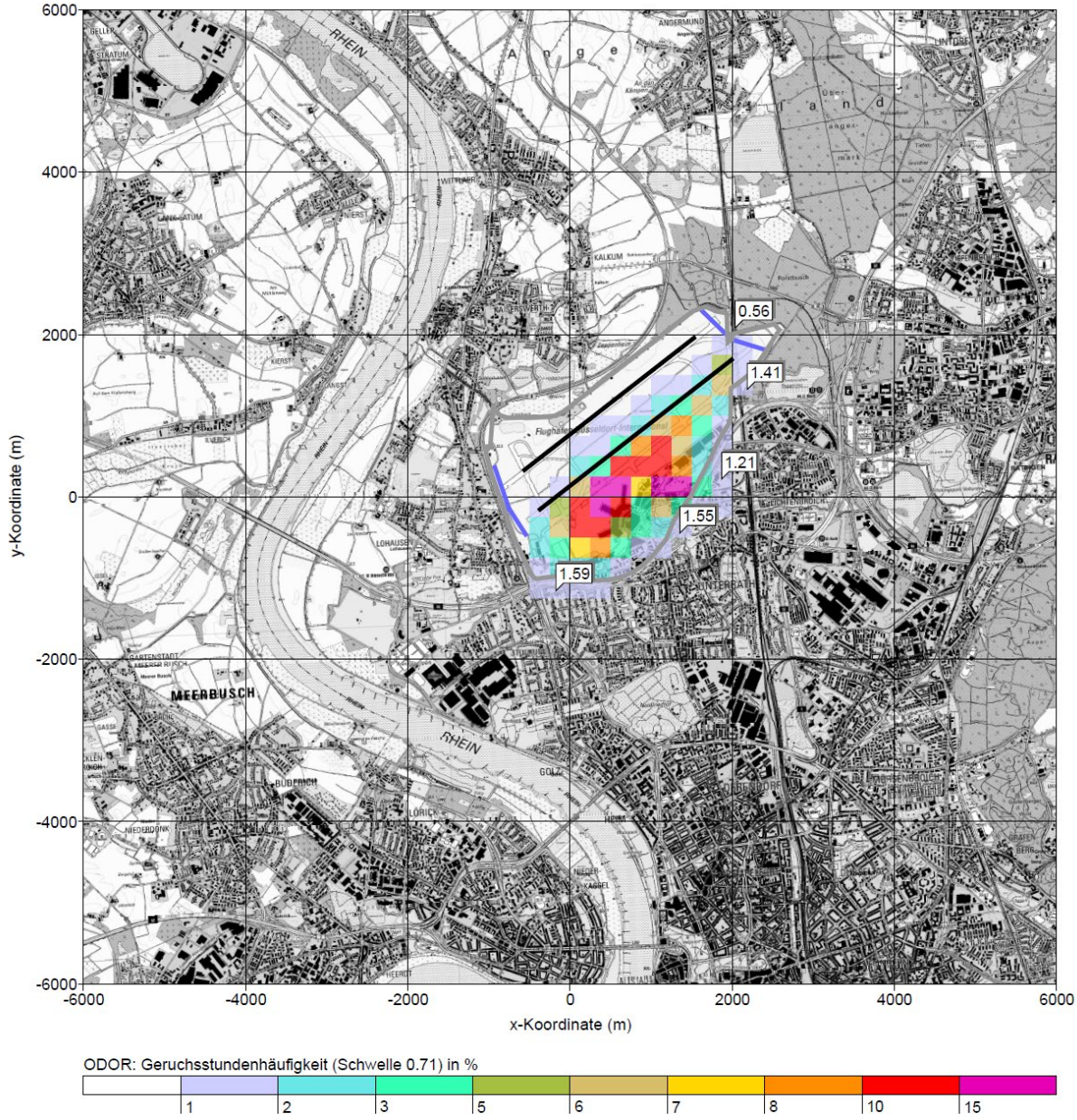



*Abbildung 51: Geruchswahrnehmungshäufigkeit 2025*