

Origine des particules fines dans l'air du Rhin supérieur

Herkunft der Feinstaubpartikel am Oberrhein

Interreg



Kofinanziert von
der Europäischen Union
Cofinancé par
l'Union Européenne

Oberrhein | Rhin Supérieur



Atmo-Rhena PLUS : préservation transfrontalière de l'atmosphère

Co-financé par le programme Interreg VI Rhin Supérieur de l'Union européenne de 2023 à 2026, Atmo-Rhena PLUS a pour mission de fournir des états des lieux et des indicateurs de suivis chiffrés et harmonisés des enjeux air, climat, énergie, afin d'encourager les décideurs politiques du Rhin supérieur à agir de concert dans la lutte contre les dérèglements climatiques et la pollution atmosphérique. Ces informations permettent de développer des plans et actions sur l'amélioration de la qualité de l'air et l'atténuation du changement climatique à l'échelle transfrontalière.

- Si l'on prenait un volume d'air quelque part dans le Rhin supérieur, d'où proviendraient les polluants qu'il contient ? Voici la question à laquelle répond le source apportionment.

Connaître l'origine sectorielle ou géographique de la pollution est essentiel pour cibler correctement les leviers et permettre un plan d'actions efficace. Souvent les états des lieux et les plans actions de qualité de l'air se basent sur les émissions, car disposer d'une attribution des sources en termes de concentrations nécessite une importante expertise technique de l'ensemble de la chaîne émissions et modélisation, ainsi que de coûteux moyens informatiques. Or les conclusions à tirer ne sont pas les mêmes (impact de sources issues d'une autre zone géographique, ou impact de sources primaires sur des composés secondaires).

- Le projet a permis de réaliser ce travail d'ampleur d'identification des sources et de mettre en place les outils et l'expertise nécessaires.

Les particules fines $PM_{2,5}$: Définition en 30 secondes

Les particules $PM_{2,5}$ sont des particules dont le diamètre est inférieur à 2.5 micromètres (millièmes de millimètre). Sur le territoire du Rhin supérieur les sources importantes d'émissions de $PM_{2,5}$ sont le secteur résidentiel et tertiaire et les transports routiers. Selon leur granulométrie (taille), les particules pénètrent plus ou moins profondément dans l'arbre pulmonaire. Les particules les plus fines peuvent, à des concentrations relativement basses, irriter les voies respiratoires inférieures et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes.

Atmo-Rhena PLUS: Grenzüberschreitender Schutz der Atmosphäre

Atmo-Rhena PLUS ist ein von der Europäischen Union kofinanziertes Interreg-VI-Projekt für das Oberrheingebiet, welches von 2023 bis 2026 läuft. Das Ziel des Projekts ist es, eine Bestandsaufnahme vergleichbarer und quantifizierbarer Daten aus dem Bereich Luft, Klima und Energie für das Oberrheingebiet bereitzustellen, um die politischen und gesellschaftlichen Entscheidungsträger am Oberrhein zu ermutigen, gemeinsam beim Einsatz gegen den Klimawandel und die Luftverschmutzung zu handeln. Diese Informationen ermöglichen die Entwicklung von Plänen und Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität und Minderung des Klimawandels auf grenzüberschreitender Ebene.

- Woher stammen die Schadstoffe, die in einer am Oberrhein entnommenen Luftprobe enthalten sind? Genau dieser Frage widmet sich die Ursachenanalyse.

Die Kenntnis der sektoralen oder geografischen Herkunft der Luftschadstoffbelastung ist entscheidend, um gezielt geeignete Maßnahmen abzuleiten. Häufig stützen sich Bestandsaufnahmen und Aktionspläne zur Luftqualität auf Emissionsdaten, da eine Zuordnung der Schadstoffbelastung zu ihren Quellen auf Basis der Konzentrationen ein umfangreiches technisches Fachwissen über die gesamte Emissions- und Modellierungskette sowie kostspielige IT-Ressourcen erfordert. Eine solche Zuordnung ermöglicht jedoch zusätzliche Erkenntnisse, etwa über den Einfluss von Schadstoffquellen aus anderen Regionen oder über den Beitrag sekundärer Schadstoffe, welche meist durch chemische Reaktionen in der Atmosphäre aus Vorläufersubstanzen gebildet werden.

- Das Projekt ermöglichte es, diese umfangreichen Arbeiten zur Identifizierung der Quellen durchzuführen und die entsprechenden Instrumente und das notwendige Fachwissen aufzubauen.

Feinstaub $PM_{2,5}$: Definition in 30 Sekunden

Feinstaub $PM_{2,5}$ -Partikel sind Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 2.5 Mikrometern (Tausendstel Millimeter). Im Oberrheingebiet sind der Haushalt- und Dienstleistungssektor sowie der Straßenverkehr die wichtigsten Emissionsquellen für $PM_{2,5}$. Je nach ihrer Korngröße (Partikelgröße) dringen die Partikel mehr oder weniger tief in die Atemwege ein. Die feinsten Partikel können bereits bei relativ niedrigen Konzentrationen die unteren Atemwege reizen und die gesamte Lungenfunktion beeinträchtigen. Bestimmte Partikel haben zudem mutagene und krebserregende Eigenschaften.

Source apportionnement : accélération des calculs grâce à la combinaison de modélisation déterministe et d'IA

Verursacheranalyse : Beschleunigung Berechnungen durch die Kombination von deterministischer Modellierung und KI

Pour connaître l'origine sectorielle et géographique des PM_{2,5} dans le Rhin supérieur, plusieurs étapes ont été nécessaires à partir de l'inventaire d'émissions puis des modélisations des concentrations issus du projet :

- **Modélisation de plusieurs scénarios d'apprentissage et de validation avec le modèle CHIMERE (voir la brochure « Pollution de l'air : Quelles expositions des populations et écosystèmes ? » du projet)** : CHIMERE permet d'évaluer les niveaux de concentration en polluants de l'échelle régionale jusqu'à l'échelle continentale avec une résolution kilométrique. C'est un modèle de chimie-transport atmosphérique co-développé en France par l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL) et l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS). Il est un composant essentiel de la plateforme de modélisation PREVEST/Atmo~rhenA/ATMO-BW qui permet de réaliser des diagnostics, de la prévision et de la scénarisation sur le Rhin supérieur depuis le projet INTERREG III Atmo~rhenA.
- **Simulation rapide des impacts des émissions sur les concentrations avec l'outil SHERPA** : cet outil (Screening for High Emission Reduction Potential on Air Quality) permet d'estimer rapidement, à partir des données CHIMERE fournies, l'impact de diverses sources d'émissions de pollution sur les concentrations de polluants atmosphériques à un endroit donné et sur une période donnée (voir page 11). C'est un modèle en ligne open source permettant de simuler les politiques de gestion de la qualité de l'air en Europe, développé par le Centre commun de recherche (Joint Research Centre - JRC) de la Commission européenne (Ispra, Italie ; Tyto srl, Trente, Italie ; MetClim, Varèse, Italie), avec le soutien du Laboratoire image ville environnement LIVE, Faculté de géographie et d'aménagement du territoire, Université de Strasbourg.

Découpage sectoriel et géographique

Afin de calculer les différents impacts du Rhin supérieur, les émissions ont été regroupées d'une part en **5 secteurs d'activités** (origines sectorielles) sur le Rhin supérieur :

- Résidentiel-Tertiaire
- Transports routiers
- Agriculture
- Energie-Industrie-Déchets
- Autres activités (incluant les transport non routiers)

D'autre part, le Rhin supérieur est découpé en **9 zones géographiques**, dont les principales agglomérations :

- Alsace hors Strasbourg et Mulhouse,
- Eurométropole de Strasbourg,
- Mulhouse Alsace Agglomération,
- Ouest du Bade-Wurtemberg hors Karlsruhe et Freiburg,
- Karlsruhe,
- Freiburg,
- Bâle-Ville,
- Bâle-Campagne,
- Reste du Rhin supérieur (au Nord, la partie de la Rhénanie Palatinat dans le Rhin supérieur, et au sud les autres Cantons de la Suisse du Nord-Ouest),

La contribution de l'extérieur du Rhin supérieur, tous secteurs confondus se nomme « Extérieur – Tous secteurs ».

Um die sektorale und geografische Herkunft der PM_{2,5}-Partikel am Oberrhein zu ermitteln, waren ausgehend von der Emissionsbilanz und den daraus resultierenden Konzentrationsmodellierungen im Projekt mehrere Schritte erforderlich:

- **Modellierung mehrerer Lern- und Validierungsszenarien mit dem Modell CHIMERE** (siehe die Broschüre des Projekts „Luftverschmutzung: Wie stark sind Bevölkerung und Ökosysteme betroffen?“): CHIMERE ermöglicht die Bewertung der Schadstoffkonzentrationen auf regionaler bis hin zur kontinentalen Ebene mit einer Auflösung im Kilometerbereich. Das ist ein atmosphärisches Chemie-Transport-Modell, das gemeinsam in Frankreich vom Institut Pierre Simon Laplace (IPSL) und vom Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) entwickelt wird. Es ist ein wesentlicher Bestandteil der Modellierungsplattform PREVEST/Atmo~rhenA/ATMO-BW, einem Tool, das im INTERREG-III-Projekt Atmo~rhenA entwickelt wurde und Diagnosen, Vorhersagen und Szenarien für den Oberrhein ermöglicht.
- **Schnelle Simulation der Auswirkungen von Emissionen auf die Schadstoffkonzentrationen mit dem Tool SHERPA** : Dieses Tool (Screening for High Emission Reduction Potential on Air Quality) ermöglicht aufbauend auf dem CHIMERE-Datensatz eine schnelle Abschätzung der Auswirkungen verschiedener Schadstoffquellen auf die Konzentrationen von Luftschadstoffen an einem bestimmten Ort und in einem bestimmten Zeitraum (siehe Seite 11). Es handelt sich um ein Open-Source-Online-Modell zur Simulation von Maßnahmen zur Luftqualitätsverbesserung in Europa, das von der Gemeinsame Forschungsstelle (Joint Research Centre - JRC) der Europäischen Kommission (Ispra, Italien; Tyto srl, Trient, Italien; MetClim, Varese, Italien) mit Unterstützung des Laboratoire image ville environnement LIVE der Fakultät für Geographie und Raumplanung der Universität Straßburg entwickelt wurde.

Sektorale und geografische Aufteilung

Zur Berechnung der verschiedenen Auswirkungen der Oberrhein wurden die Emissionen am Oberrhein in **5 Quellengruppen** unterteilt (sektorale Aufteilung):

- Haushalte und Dienstleistungen
 - Straßenverkehr
 - Landwirtschaft
 - Energie, Industrie und Abfallbehandlung
 - Sonstige Aktivitäten (einschließlich des nicht straßengebundenen Verkehrs)
- Gleichzeitig wurde das Oberrheingebiet in **9 geographische Gebiete** unterteilt, darunter die wichtigsten Ballungsräumen entsprechen:
- Elsass (außer Straßburg und Mulhouse),
 - Eurometropole Straßburg,
 - Mulhouse Alsace Agglomération,
 - Westen von Baden-Württemberg (außer Karlsruhe und Freiburg),
 - Karlsruhe,
 - Freiburg,
 - Basel-Stadt,
 - Basel-Landschaft,
 - Rest des Oberrheingebiets (im Norden der Teil von Rheinland-Pfalz am Oberrhein und im Süden die übrigen Kantone der Nordwestschweiz).

Der Beitrag aus dem Gebiet außerhalb des Oberrheins, alle Branchen zusammengekommen, wird als „Außenbereich – Alle Quellengruppen“ bezeichnet.

État des lieux des PM_{2,5} dans le Rhin supérieur

Bestandsaufnahme der Feinstaub PM_{2,5}-Belastung am Oberrhein

8 kt de PM_{2,5} ont été émises en 2021 dans la région du Rhin supérieur

- Les ménages sont responsables de 61 % des émissions totales de PM_{2,5}. Cela est dû à l'utilisation de l'énergie du bois et souligne le rôle considérable du chauffage domestique, en particulier du chauffage au bois, dans la pollution par les particules fines.
- Le secteur des transports est la deuxième source de PM_{2,5}, avec 21 % de contribution. La majeure partie ne provient pas de la combustion de carburants, mais de l'abrasion des routes, des pneus et des freins, ainsi que de la remise en suspension.
- Le secteur agricole est responsable de 6 % des émissions de PM_{2,5} dans la région du Rhin supérieur. Ces émissions sont dues à l'exploitation des terres arables (travail du sol et récolte) dans la vallée du Rhin.
- Les secteurs de l'industrie, des services et de la gestion des déchets représentent 11 % des émissions de PM_{2,5}.
- Avec seulement 1 % des émissions de PM_{2,5}, le secteur de l'énergie ne représente qu'une faible part des émissions totales.

Emissions de PM_{2,5} par secteur pour le Rhin Supérieur en 2021
PM_{2,5}-Emissionen nach Quellengruppen am Oberrhein in 2021



Concentrations et exposition aux PM_{2,5} dans la région du Rhin supérieur en 2023

Les valeurs limites réglementaires en vigueur pour les PM_{2,5} sont les suivantes pour la moyenne annuelle : Allemagne et France: 25 µg/m³ jusqu'en 2030 et 10 µg/m³ en 2030, Suisse: 20 µg/m³. La ligne directrice de l'OMS est de 5 µg/m³ en moyenne annuelle.

A l'échelle du Rhin supérieur, des dépassements ponctuels de normes réglementaires actuellement en vigueur ou à respecter dans le futur (à compter de 2030) sont modélisés. En revanche 16 880 km² seraient exposés à un dépassement de la ligne directrice de l'OMS fixée à 5 µg/m³ pour la moyenne annuelle, soit 92% du territoire. Tous les habitants de l'Alsace et du Canton de Bâle seraient concernés.

PM_{2,5}-Konzentrationen und -Exposition am Oberrhein im Jahr 2023

Die geltenden gesetzlichen Grenzwerte für den Jahresdurchschnitt an PM_{2,5} sind in Deutschland und Frankreich 25 µg/m³ (ab 2030 10 µg/m³) und in der Schweiz 10 µg/m³. Der von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfohlene Jahresmittelwert beträgt 5 µg/m³.

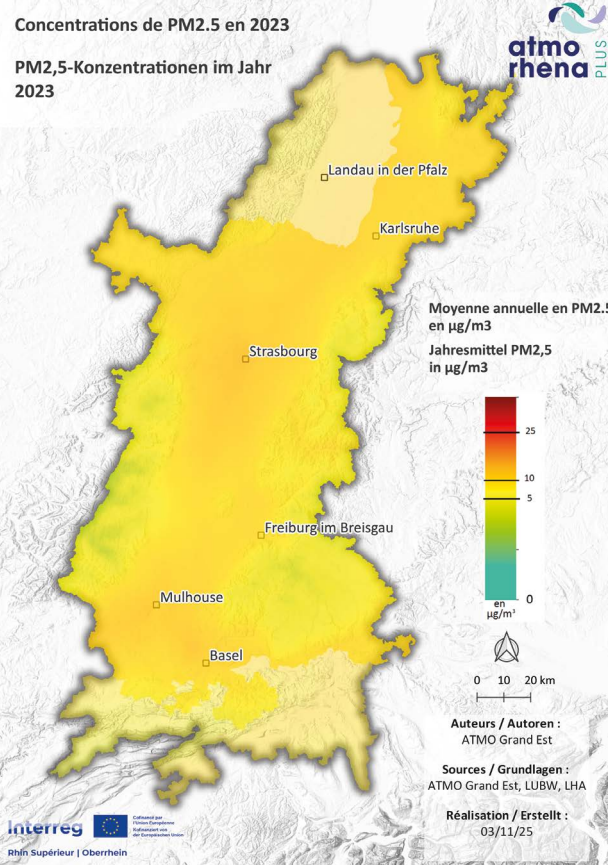
Im Oberrheingebiet werden vereinzelte Überschreitungen der derzeit geltenden oder künftig (ab 2030) einzuhaltenden gesetzlichen Grenzwerte modelliert. Eine Fläche von 16 880 km² ist jedoch von einer Überschreitung der WHO-Empfehlung von 5 µg/m³ betroffen, was 92 % des Oberrheingebiets entspricht. Davon wären im Prinzip alle Einwohner des Elsass und der Kantone Basel betroffen.

8.000 t PM_{2,5} wurden 2021 im Oberrheingebiet emittiert

- Die Haushalte sind für 61 % der gesamten PM_{2,5}-Emissionen verantwortlich. Dies liegt vor allem an der Nutzung von Holzenergie und unterstreicht die erhebliche Bedeutung der Hausheizungen (insbesondere Holzheizungen) an der Feinstaubbelastung.
- Die Quellengruppe Verkehr ist mit 21 % die zweitwichtigste Quelle für PM_{2,5}. Der Großteil stammt nicht aus der Verbrennung von Kraftstoffen (Auspuffemissionen), sondern entsteht durch Straßen-, Reifen- und Bremsabrieb sowie durch Aufwirbelungen.
- Die Quellengruppe Landwirtschaft ist für 6 % der PM_{2,5}-Emissionen am Oberrhein verantwortlich. Diese Emissionen sind auf die Bewirtschaftung von Ackerland (Ackerbearbeitung und Ernte) im Rheintal zurückzuführen.
- Die Quellengruppe Industrie, Dienstleistungen und Abfallbehandlung verursacht 11 % der PM_{2,5}-Emissionen.
- Mit nur jeweils 1 % der PM_{2,5}-Emissionen hat die Energieerzeugungsbranche aufgrund gesetzlicher Abgasvorschriften nur einen geringen Anteil an den Gesamtemissionen.

Concentrations de PM2.5 en 2023

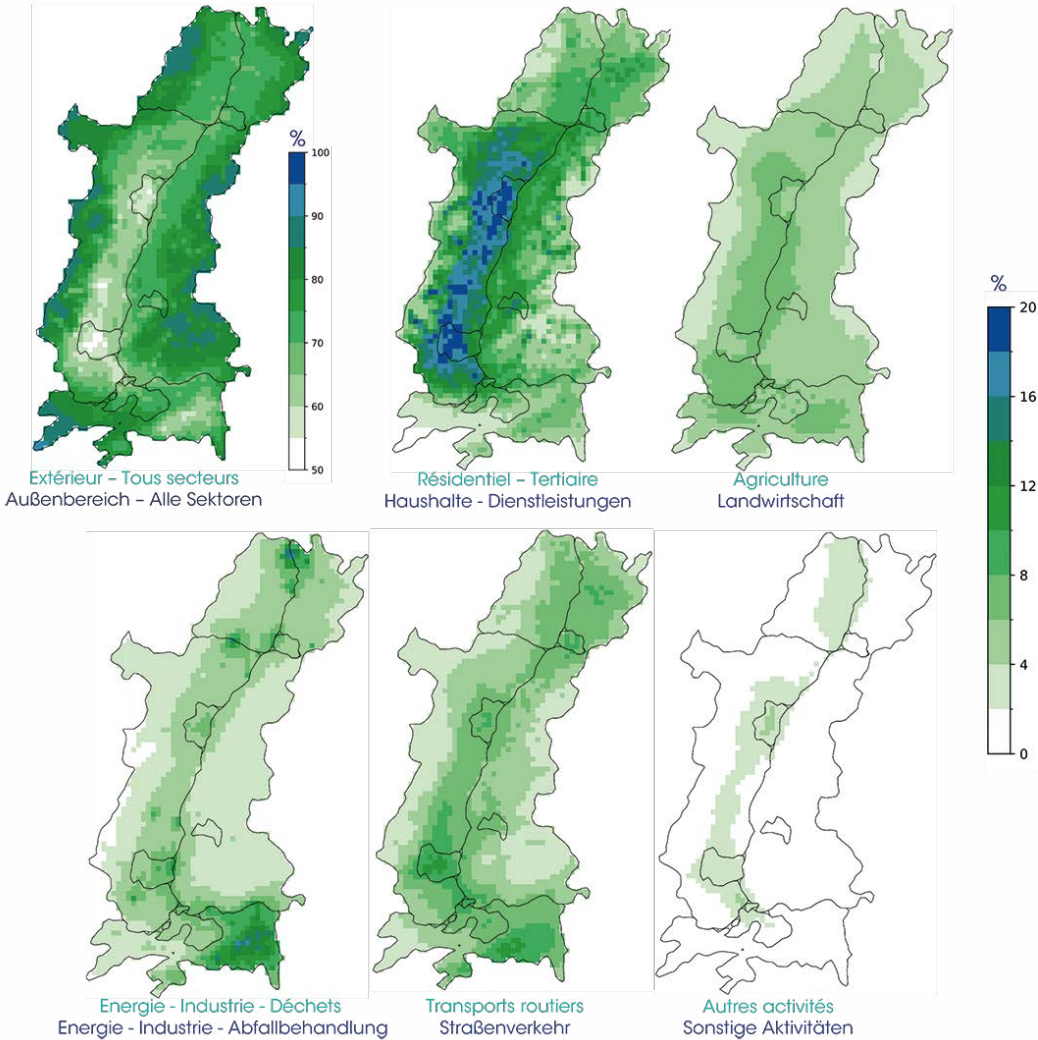
PM2,5-Konzentrationen im Jahr 2023



Contributions de différents secteurs d'activité aux moyennes annuelles de PM_{2.5} dans le Rhin supérieur

Beiträge der verschiedenen Quellengruppen zu den PM_{2.5}-Jahresmittelwerten am Oberrhein

Origine des concentrations de PM_{2.5} (moyennes annuelles 2023) dans le Rhin supérieur : contribution des secteurs d'activités du Rhin supérieur (tous polluants émis confondus)
Herkunft der PM_{2.5}-Konzentrationen (Jahresmittelwerte 2023) am Oberrhein: Beitrag der Quellengruppen am Oberrhein (alle emittierten Schadstoffe zusammengefasst)



La première carte montre la contribution de l'extérieur du Rhin supérieur aux moyennes annuelles de PM_{2.5} dans le Rhin supérieur en 2023, tous secteurs confondus. Logiquement, les concentrations de PM_{2.5} sur le pourtour du Rhin supérieur (notamment sur les reliefs vosgiens et de la Forêt Noire) sont davantage influencées par l'extérieur, avec 80 à 95 % de contribution extérieure. Les concentrations dans la vallée sont plus sensibles aux activités du territoire avec des contributions externes de 50 à 75 % c'est-à-dire des contributions locales de 25 à 50 %.

Les cinq cartes suivantes montrent les contributions de différents secteurs d'activité. Ces contributions concernent tous les polluants émis dans le Rhin supérieur, qu'il s'agisse de particules fines PM_{2.5} directement, ou de précurseurs de particules fines PM_{2.5} tels que des NO_x, du NH₃, du SO₂ ou des COV.

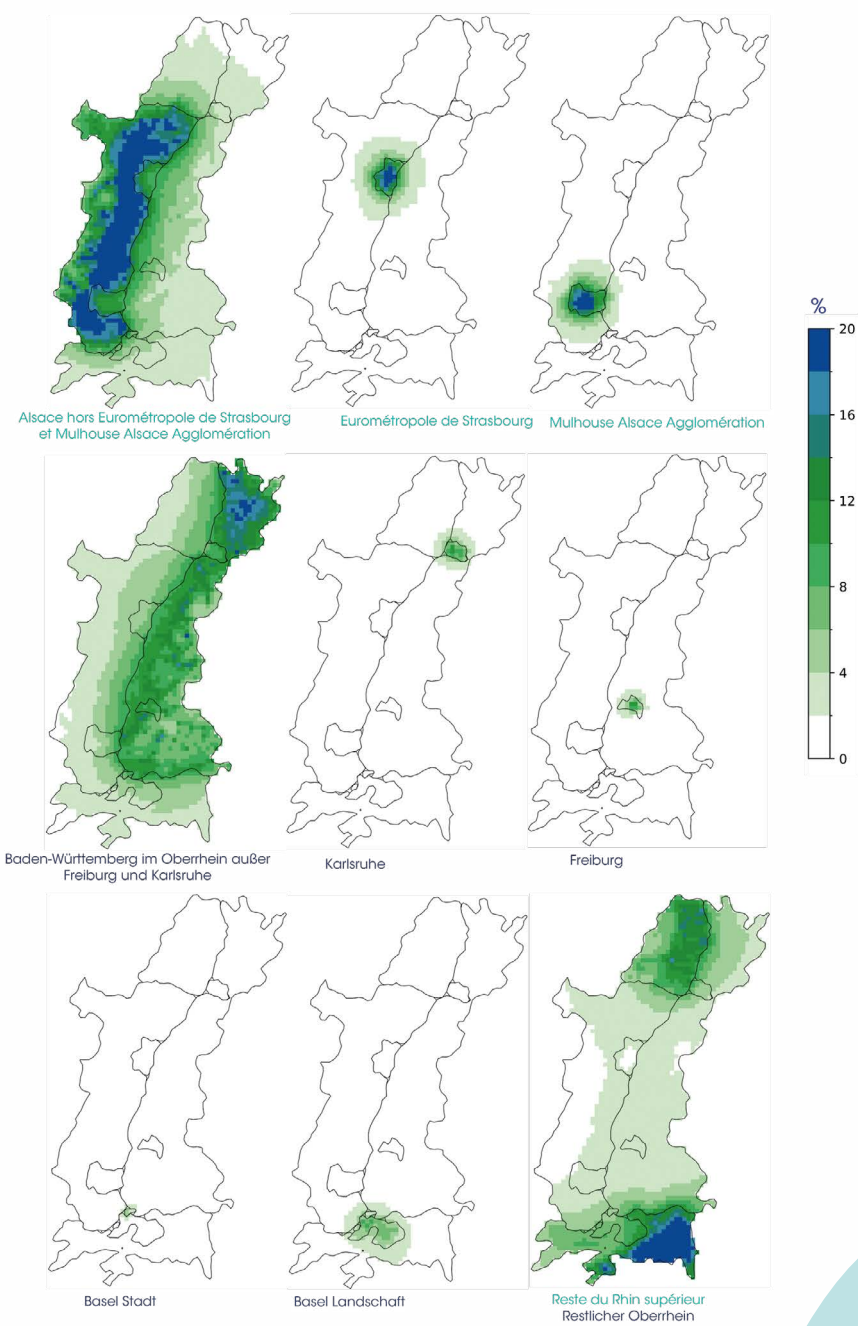
Die erste Karte zeigt den Beitrag der Emissionen aller Quellengruppen von außerhalb des Oberrheingebiets zu den PM_{2.5}-Jahresmittelwerten im Oberrheingebiet im Jahr 2023. Wie zu erwarten, werden die PM_{2.5}-Konzentrationen am Rand des Oberrheins (insbesondere in den Vogesen und im Schwarzwald) stärker von Quellen außerhalb des Gebietes beeinflusst, mit einem Anteil von 80 bis 95 %. In der Rheinebene hingegen überwiegt der Einfluss von Quellen innerhalb des Oberrheingebietes, mit externen Beiträgen von 50 bis 75 %, d. h. lokalen Beiträgen von 25 bis 50 %.

Die folgenden fünf Karten zeigen die Beiträge verschiedener Quellengruppen. Diese Beiträge umfassen sowohl den primären als auch den sekundären PM_{2.5}-Beitrag der jeweiligen Quellengruppe am Oberrhein. Neben den direkten (primären) PM_{2.5}-Emissionen wird also auch das sekundär gebildete PM_{2.5} berücksichtigt, welches aus emittierten Vorläuferstoffen wie NO_x, NH₃, SO₂ und VOC in der Atmosphäre erst entsteht.

Contributions de zones géographiques aux moyennes annuelles des PM_{2.5}

Beiträge verschiedener geographischer Gebiete zu den PM_{2.5}-Jahresmittelwerten

Origine des concentrations de PM_{2.5} (moyennes annuelles 2023) dans le Rhin supérieur : contribution de 9 zones géographiques (tous polluants émis confondus)
Herkunft der PM_{2.5}-Konzentrationen (Jahresmittelwerte 2023) am Oberrhein: Beitrag von 9 geographischen Gebieten (alle emittierten Schadstoffe zusammengefasst)



Les cartes montrent la contribution des 9 zones géographiques définies pour le Rhin supérieur aux moyennes annuelles de PM_{2.5} en 2023, tous polluants et secteurs confondus.

- Dans le bassin d'air rhénan, les régions frontalières influencent les concentrations des régions voisines au-delà du Rhin (2 à 10% en plaine).
- Chaque agglomération, tous secteurs confondus, a un impact sur - et est impactée par - son environnement géographique en plus de sa propre zone géographique. Par exemple, l'Eurométropole de Strasbourg influence - et est influencée par - les régions environnantes en France et en Allemagne.
- Im Oberrheingebiet beeinflussen die Grenzregionen die Konzentrationen in den benachbarten Gebieten jenseits des Rheins mit einem Beitrag von 2 bis 10 % in der Rheinebene.
- Jeder Ballungsraum wirkt über seine eigenen Grenzen hinaus auf die umliegenden Gebiete und wird zugleich von diesen beeinflusst. So beeinflusst beispielsweise die Eurometropole Straßburg die umliegenden Regionen in Frankreich und Deutschland und wird selbst auch von diesen beeinflusst.

- Ceci est à prendre en compte dans les plans d'action de qualité de l'air.
- Dies ist in den Aktionsplänen zur Luftqualität zu berücksichtigen.

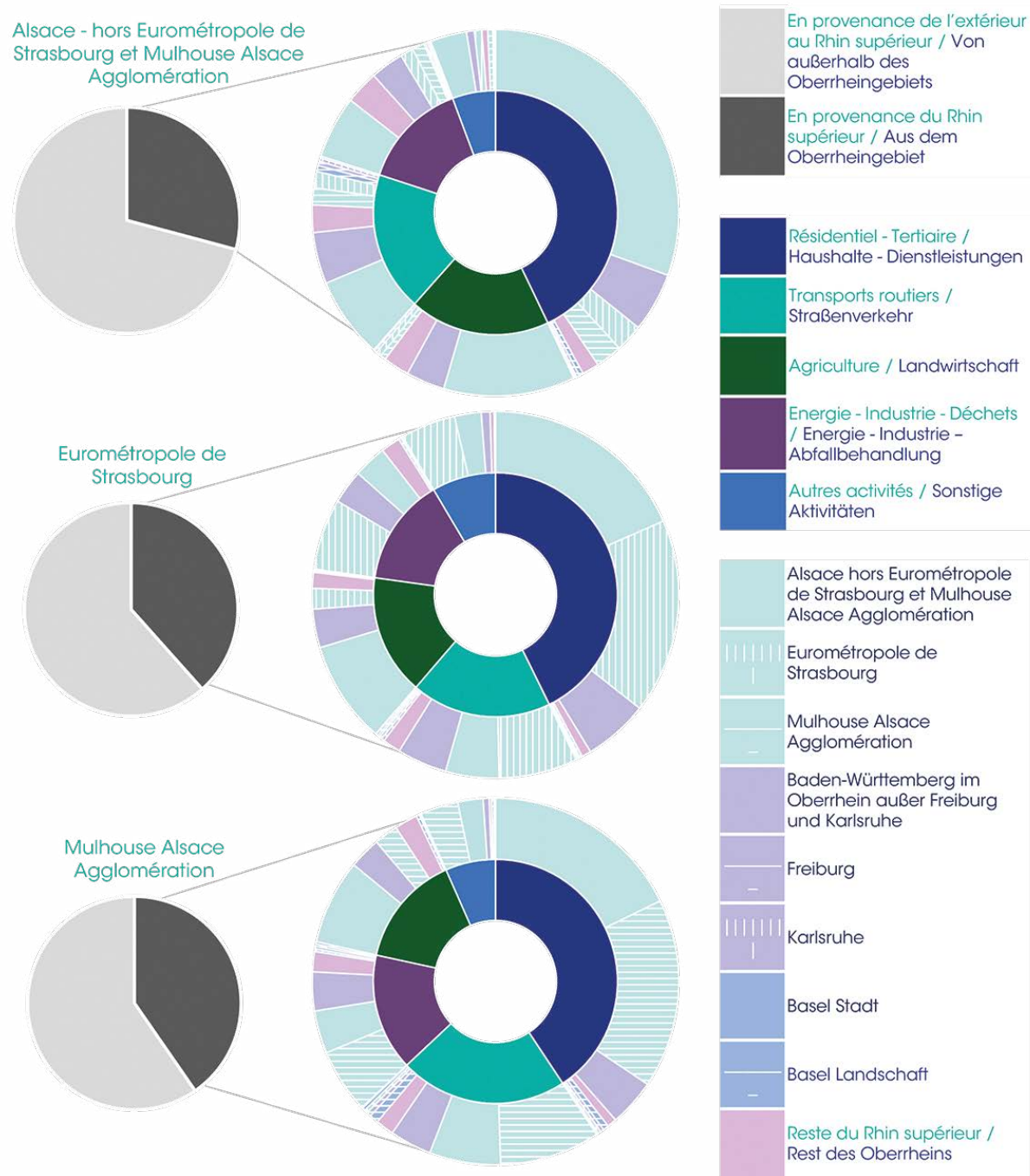
Origine sectorielle et géographiques des PM_{2.5} : exemples alsaciens

Sektorale und geographische Herkunft von PM_{2.5}: Beispiel Elsass

Les figures et conclusions suivantes sont issues des données extraites en moyenne sur la surface des zones.

Die folgenden Abbildungen und Schlussfolgerungen basieren auf den über die Fläche der jeweiligen Gebiete gemittelten Daten

Origine sectorielle et géographique des concentrations en PM_{2.5} (moyennes annuelles 2023)
Sektorale und geografische Herkunft der PM_{2.5}-Konzentrationen (Jahresmittelwerte 2023)



En Alsace (hors Eurométropole de Strasbourg et Mulhouse Alsace Agglomération), 29% des concentrations de PM_{2.5} proviennent du Rhin supérieur et 71% de plus loin. La provenance sectorielle et géographique est répartie comme suit :

- 13% proviennent du secteur résidentiel tertiaire, avec l'Alsace comme principal contributeur, suivie du Bade-Wurtemberg
- 5% de l'agriculture, avec l'Alsace comme principal contributeur, suivie du Bade-Wurtemberg
- 5% des transports routiers, avec l'Alsace comme principal contributeur, suivie du Bade-Wurtemberg
- 4% du secteur énergie-industrie-déchets, avec l'Alsace comme principal contributeur, suivie des autres régions du Rhin supérieur (Rhénanie Palatinat et Suisse du Nord-Ouest)
- 2% des autres activités

Sur l'Eurométropole de Strasbourg (EMS), 38 % des concentrations de PM_{2.5} proviennent du Rhin supérieur et 62% de plus loin. Cette provenance sectorielle et géographique est répartie comme suit :

- 16 % proviennent du secteur résidentiel tertiaire, avec l'Alsace comme premier contributeur, suivie de près de l'EMS elle-même
- 7 % des transports routiers, avec l'Eurométropole comme premier contributeur
- 6 % de l'agriculture, avec l'Alsace comme premier contributeur, suivie de l'Eurométropole elle-même (l'Alsace contribue cinq fois plus que l'Eurométropole)
- 6 % du secteur Energie-Industrie-Déchets, avec l'Eurométropole comme premier contributeur
- 3 % des autres activités, avec l'Eurométropole comme premier contributeur

Sur Mulhouse Alsace Agglomération (M2A), 40 % des concentrations de PM_{2.5} proviennent du Rhin supérieur et 60% de plus loin. Cette provenance sectorielle et géographique est répartie comme suit :

- 16 % proviennent du secteur résidentiel tertiaire, avec l'Alsace comme premier contributeur, suivie de près de la M2A elle-même
- 9 % des transports routiers, avec la M2A comme premier contributeur suivie de l'Alsace,
- 6 % du secteur Energie-Industrie-Déchets, avec la M2A comme premier contributeur suivie de l'Alsace,
- 6 % de l'agriculture, avec l'Alsace comme premier contributeur, suivie de la M2A elle-même
- 3 % des autres activités, avec la M2A comme premier contributeur

Im Elsass (ohne die Eurometropole Straßburg und den Großraum Mulhouse) stammen 29 % der PM_{2.5}-Konzentrationen aus dem Oberrheingebiet und 71 % aus weiter entfernten Gebieten. Die sektorale und geographische Herkunft verteilt sich wie folgt :

- 13 % stammen aus dem Haushalt- und Dienstleistungssektor, wobei der Beitrag aus dem Elsass den größten Anteil ausmacht gefolgt vom Beitrag aus Baden-Württemberg
- 5 % stammen aus der Landwirtschaft, wobei der Beitrag aus dem Elsass den größten Anteil ausmacht, gefolgt vom Beitrag aus Baden-Württemberg
- 5 % stammen aus dem Straßenverkehr, wobei der Beitrag aus dem Elsass den größten Anteil ausmacht, gefolgt vom Beitrag aus Baden-Württemberg
- 4 % stammen aus dem Sektor Energie, Industrie und Abfallwirtschaft, wobei der Beitrag aus dem Elsass den größten Anteil ausmacht, gefolgt vom Beitrag aus dem Gebiet Rest des Oberrheingebiets (Rheinland-Pfalz und Nordwestschweiz).
- 2 % aus sonstigen Aktivitäten.

In der Eurometropole Straßburg (EMS) stammen 38 % der PM_{2.5}-Konzentrationen aus dem Oberrheingebiet und 62 % aus weiter entfernten Gebieten. Die sektorale und geographische Herkunft verteilt sich wie folgt:

- 16 % stammen aus dem Haushalt- und Dienstleistungssektor, wobei der Beitrag aus dem Elsass den größten Anteil hat, dicht gefolgt von dem Beitrag aus der Eurometropole Straßburg selbst
- 7 % stammen aus dem Straßenverkehr, wobei der Beitrag aus der Eurometropole Straßburg den größten Anteil hat
- 6 % stammen aus der Landwirtschaft, wobei der Beitrag aus dem Elsass den größten Anteil hat, gefolgt von dem Beitrag der Eurometropole Straßburg selbst (das Elsass trägt fünfmal so viel bei wie die Eurometropole Straßburg)
- 6 % aus dem Sektor Energie, Industrie und Abfall, wobei die Eurometropole den größten Anteil hat,
- 3 % aus sonstigen Aktivitäten, wobei die Eurometropole den größten Anteil haben

Im Großraum Mulhouse-Elsass (M2A) stammen 40 % der PM_{2.5}-Konzentrationen aus dem Oberrheingebiet und 60 % aus weiter entfernten Gebieten. Die sektorale und geographische Herkunft verteilt sich wie folgt :

- 16 % stammen aus dem Haushalt- und Dienstleistungssektor, wobei der Beitrag aus dem Elsass den größten Anteil ausmacht, dicht gefolgt von dem Beitrag des M2A selbst
- 9 % stammen aus dem Straßenverkehr, wobei der Beitrag aus dem M2A den größten Anteil hat, gefolgt vom Elsass,
- 6 % stammen aus dem Sektor Energie, Industrie und Abfallwirtschaft, wobei der Beitrag aus dem M2A den größten Anteil hat, gefolgt vom Elsass,
- 6 % stammen aus der Landwirtschaft, wobei der Beitrag aus dem Elsass den größten Anteil hat, gefolgt von dem Beitrag des M2A selbst
- 3 % stammen aus sonstigen Aktivitäten, wobei der Beitrag aus dem M2A den größten Anteil hat

Contribution à la moyenne annuelle de PM _{2,5} en % Beiträge zum Jahresmittelwert von PM _{2,5} in %		Sources géographiques et/ou sectorielles Geografische und/oder sektorale Quellengruppen						
		Au-delà du Rhin supérieur Jenseits des Oberrheins	Rhin supérieur Oberrhein	Zone elle-même Gebiet selbst	1ère source majoritaire Erste Hauptquelle		2ème source majoritaire Zweite Hauptquelle	
Zones réceptrices Empfangsgebiete	Alsace hors EMS et M2A	71	29	17	9	Résidentiel-Tertiaire Haushalte und Dienstleistungen Alsace hors EMS et M2A	3	Agriculture Landwirtschaft Alsace hors EMS et M2A
	EMS (Eurométropole de Strasbourg)	62	38	14	7	Résidentiel-Tertiaire Haushalte und Dienstleistungen Alsace hors EMS et M2A	7	Résidentiel-Tertiaire Haushalte und Dienstleistungen EMS
	M2A (Mulhouse Alsace Agglomération)	60	40	15	7	Résidentiel-Tertiaire Haushalte und Dienstleistungen Alsace hors EMS et M2A	7	Résidentiel-Tertiaire Haushalte und wDienstleistungen M2A

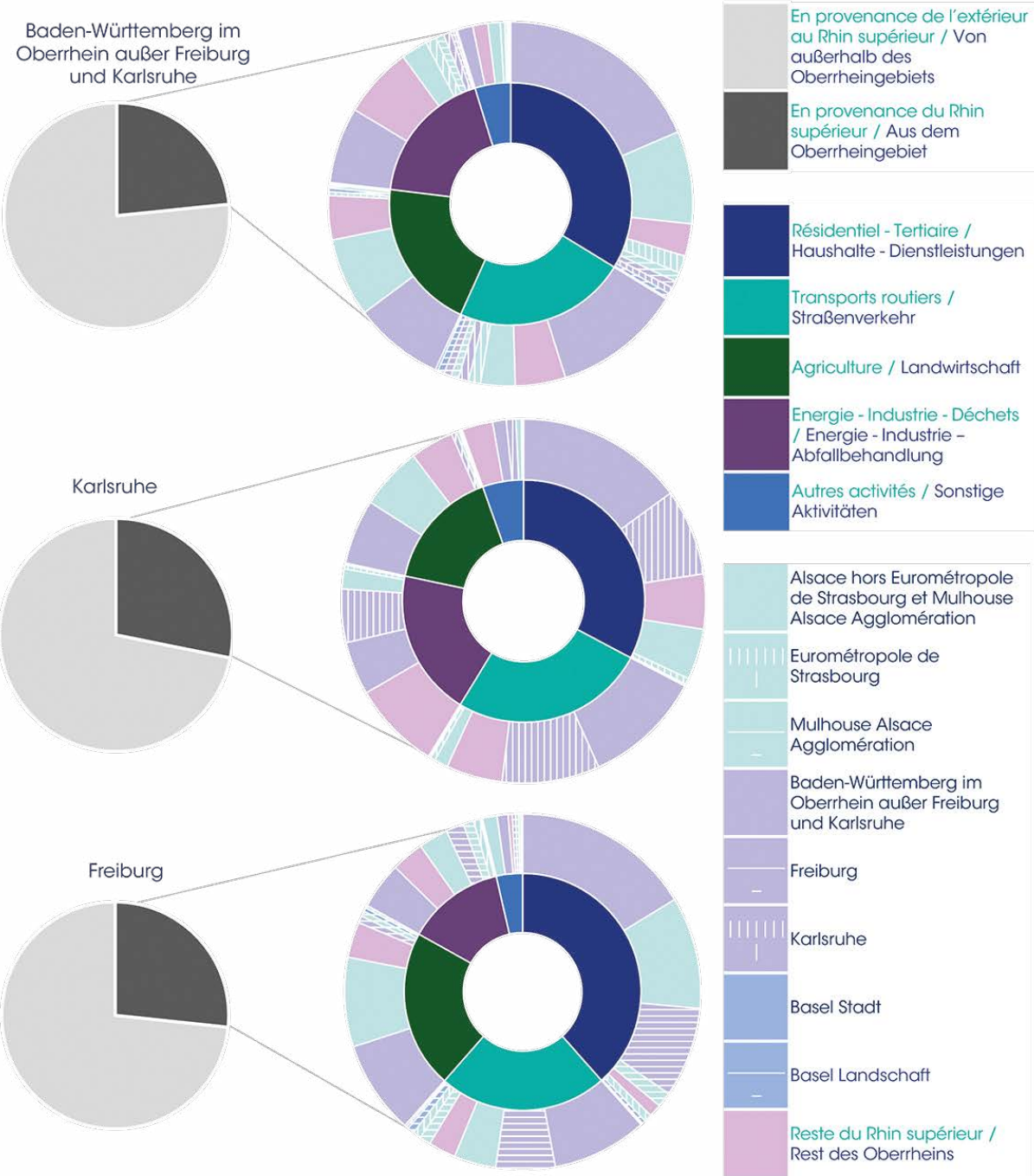
Origine sectorielle et géographiques des PM_{2.5} : exemples badois-wurtembourgeois

Sektorale und geographische Herkunft von PM_{2.5} : Beispiel Baden-Württemberg

Les figures et conclusions suivantes sont issues des données extraites en moyenne sur la surface des zones.

Die folgenden Abbildungen und Schlussfolgerungen basieren auf den über die Fläche der jeweiligen Gebiete gemittelten Daten.

Origine sectorielle et géographique des concentrations en PM_{2.5} (moyennes annuelles 2023)
Sektorale und geografische Herkunft der PM_{2.5}-Konzentrationen (Jahresmittelwerte 2023)



Dans l'Ouest du Bade-Wurtemberg (hors Karlsruhe et Freiburg), 23 % des concentrations de PM_{2.5} proviennent du Rhin supérieur et 77 % de plus loin. Cette provenance sectorielle et géographique est répartie comme suit :

- 8 % proviennent du secteur résidentiel tertiaire, avec le Bade-Wurtemberg comme contributeur le plus important suivi de l'Alsace
- 5 % des transports routiers avec le Bade-Wurtemberg comme contributeur le plus important suivi de la zone « reste du Rhin supérieur »
- 5 % de l'agriculture avec le Bade-Wurtemberg comme contributeur le plus important suivi de l'Alsace
- 4 % du secteur Energie-Industrie-Déchets avec le Bade-Wurtemberg comme contributeur le plus important de la zone « reste du Rhin supérieur »
- 1 % des autres activités

À Karlsruhe, 28 % des concentrations de PM_{2.5} proviennent du Rhin supérieur et 72 % de plus loin. La provenance sectorielle et géographique de ces 28 % est répartie comme suit :

- 9 % proviennent du secteur résidentiel tertiaire, avec le Bade-Wurtemberg comme contributeur principal suivi de Karlsruhe,
- 7 % des transports routiers, avec le Bade-Wurtemberg comme contributeur principal suivi de Karlsruhe,
- 5 % du secteur énergie-industrie-déchets, avec la Rhénanie Palatinat comme contributeur principal suivie du Bade-Wurtemberg,
- 5 % de l'agriculture, avec le Bade-Wurtemberg comme contributeur principal suivi de l'Alsace,
- 2 % des autres activités.

À Fribourg-en-Brisgau, 27 % des concentrations de PM_{2.5} proviennent du Rhin supérieur et 73 % de plus loin. Cette provenance sectorielle et géographique est répartie comme suit :

- 10 % proviennent du secteur résidentiel tertiaire, avec le Bade-Wurtemberg comme contributeur principal suivi de l'Alsace
- 6 % des transports routiers, avec le Bade-Wurtemberg comme contributeur principal suivi de Freiburg
- 6 % de l'agriculture, avec le Bade-Wurtemberg comme contributeur principal suivi de l'Alsace
- 4 % du secteur énergie-industrie-déchets, avec le Bade-Wurtemberg comme contributeur principal
- 1 % des autres activités

Im Westen von Baden-Württemberg (außer Karlsruhe und Freiburg) stammen 23 % der PM_{2.5}-Konzentrationen aus dem Oberrheingebiet und 77 % aus weiter entfernten Gebieten. Die sektorale und geographische Herkunft verteilt sich wie folgt:

- 8 % stammen aus dem Haushalt- und Dienstleistungssektor, wobei der Beitrag aus Baden-Württemberg den größten Anteil hat, gefolgt vom Beitrag aus dem Elsass,
- 5 % stammen aus dem Straßenverkehr, wobei der Beitrag aus Baden-Württemberg den größten Anteil hat, gefolgt vom Beitrag aus dem „Rest des Oberrheingebiets“,
- 5 % stammen aus der Landwirtschaft, wobei der Beitrag aus Baden-Württemberg den größten Anteil hat, gefolgt vom Beitrag aus dem Elsass,
- 4 % stammen aus dem Sektor Energie, Industrie und Abfall, wobei der Beitrag aus Baden-Württemberg den größten Anteil hat, gefolgt vom Beitrag aus dem „Rest des Oberrheingebiets“,
- 1 % aus sonstigen Aktivitäten.

In Karlsruhe stammen 28 % der PM_{2.5}-Konzentrationen aus dem Oberrheingebiet und 72 % aus weiter entfernten Gebieten. Die sektorale und geographische Herkunft dieser 28 % verteilt sich wie folgt :

- 9 % stammen aus dem Haushalt- und Dienstleistungssektor, wobei der Beitrag aus Baden-Württemberg den größten Anteil ausmacht, gefolgt vom Beitrag aus Karlsruhe,
- 7 % stammen aus dem Straßenverkehr, wobei der Beitrag aus Baden-Württemberg den größten Anteil hat, gefolgt vom Beitrag aus Karlsruhe,
- 5 % stammen aus dem Sektor Energie, Industrie und Abfall, wobei der Beitrag aus Rheinland-Pfalz den größten Anteil hat, gefolgt vom Beitrag aus Baden-Württemberg,
- 5 % stammen aus der Landwirtschaft, wobei der Beitrag aus Baden-Württemberg den größten Anteil hat, gefolgt vom Beitrag aus dem Elsass,
- 2 % stammt aus sonstigen Aktivitäten.

In Freiburg im Breisgau stammen 27 % der PM_{2.5}-Konzentrationen aus dem Oberrheingebiet und 73 % aus weiter entfernten Gebieten. Die sektorale und geographische Herkunft verteilt sich wie folgt :

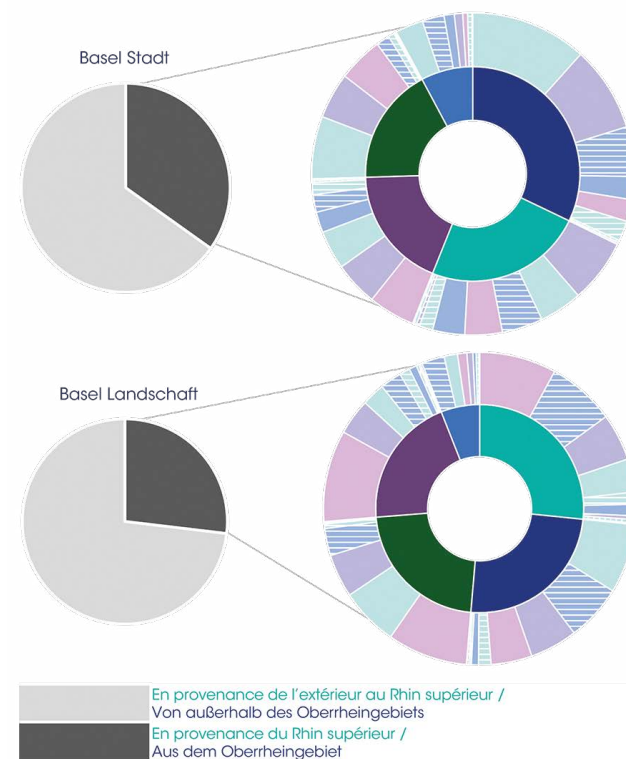
- 10 % stammen aus dem Haushalt- und Dienstleistungssektor, wobei der Beitrag aus Baden-Württemberg den größten Anteil ausmacht, gefolgt vom Elsass,
- 6 % stammen aus dem Straßenverkehr, wobei der Beitrag aus Baden-Württemberg der größte Verursacher ist, gefolgt von Freiburg,
- 6 % stammen aus der Landwirtschaft, wobei der Beitrag aus Baden-Württemberg der größte Verursacher ist, gefolgt vom Elsass,
- 4 % stammen aus dem Sektor Energie, Industrie und Abfall, wobei der Beitrag aus Baden-Württemberg der größte Verursacher ist,
- 1 % aus sonstigen Aktivitäten.

Contribution à la moyenne annuelle de PM _{2.5} en % Beiträge zum Jahresmittelwert von PM _{2.5} in %		Sources géographiques et/ou sectorielles Geografische und/oder sektorale Quellengruppen				
		Au-delà du Rhin supérieur Jenseits des Oberrheins	Rhin supérieur Oberrhein	Zone elle-même Gebiet selbst	1ère source majoritaire Erste Hauptquelle	2ème source majoritaire Zweite Hauptquelle
Zones réceptrices Empfangsgebiete	Westen von Baden-Württemberg außer Karlsruhe und Freiburg	77	23	11	4 Résidentiel-Tertiaire / Haushalte und Dienstleistungen Westen von Baden-Württemberg außer Karlsruhe und Freiburg	3 Transport routier Straßenverkehr Westen von Baden-Württemberg außer Karlsruhe und Freiburg
	Karlsruhe	72	28	6	4 Résidentiel-Tertiaire / Haushalte und Dienstleistungen Westen von Baden-Württemberg außer Karlsruhe und Freiburg	3 Transport routier Straßenverkehr Westen von Baden-Württemberg außer Karlsruhe und Freiburg
	Freiburg	73	27	4	4 Résidentiel-Tertiaire / Haushalte und Dienstleistungen Westen von Baden-Württemberg außer Karlsruhe und Freiburg	3 Résidentiel-Tertiaire Haushalte und Dienstleistungen Alsace hors EMS et M2A

Origine sectorielle et géographiques des PM_{2.5} : exemples balois

Sektorale und geographische Herkunft von PM_{2.5}: Beispiel Basel

Origine sectorielle et géographique des concentrations en PM_{2.5} (moyennes annuelles 2023)
Sektorale und geografische Herkunft der PM_{2.5}-Konzentrationen (Jahresmittelwerte 2023)



Dans le canton de Bâle-Ville, 35 % des concentrations de PM_{2.5} proviennent du Rhin supérieur, avec une provenance sectorielle et géographique répartie comme suit :

- 11 % proviennent du secteur résidentiel-tertiaire du Rhin supérieur, avec l'Alsace, le Bade-Wurtemberg puis Bâle-Campagne comme 1ers contributeurs,
- 8 % des transports routiers, avec le Bade-Wurtemberg, l'Alsace puis Bâle-Campagne comme 1ers contributeurs,
- 7 % du secteur énergie-industrie-déchets, avec les autres cantons suisses comme 1ers contributeurs,
- 6 % de l'agriculture, avec l'Alsace, le Bade-Wurtemberg puis les autres cantons suisses comme 1ers contributeurs,
- 3 % des autres activités.

Les activités sur le territoire de Bâle-Ville influencent peu les concentrations moyennes annuelles de PM_{2.5} sur la zone. Ceci n'exclut pas de possibles contributions plus fortes localement ou ponctuellement.

Dans le canton de Bâle-Campagne, 27 % des concentrations de PM_{2.5} proviennent du Rhin supérieur. La provenance sectorielle et géographique est répartie comme suit :

- 7 % des transports routiers, avec les autres cantons suisses puis Bâle-Campagne comme 1ers contributeurs,
- 7 % proviennent du secteur résidentiel tertiaire, avec l'Alsace puis Bâle-Campagne comme 1ers contributeurs,
- 6 % de l'agriculture avec les autres cantons suisses comme 1ers contributeurs,
- 5 % du secteur énergie-industrie-déchets avec les autres cantons suisses comme 1ers contributeurs,
- 2 % des autres activités.

Résidentiel - Tertiaire / Haushalte - Dienstleistungen
Transports routiers / Straßenverkehr
Agriculture / Landwirtschaft
Energie - Industrie - Déchets / Energie - Industrie - Abfallbehandlung
Autres activités / Sonstige Aktivitäten

Alsace hors Eurométropole de Strasbourg et Mulhouse
Alsace Agglomération
Eurométropole de Strasbourg
Mulhouse Alsace Agglomération
Baden-Württemberg im Oberrhein außer Freiburg und Karlsruhe
Freiburg
Karlsruhe
Basel Stadt
Basel Landschaft
Reste du Rhin supérieur / Rest des Oberrheins

Im Kanton Basel-Stadt stammen 35 % der PM_{2.5}-Konzentrationen aus dem Oberrheingebiet, wobei sich die sektorale und geographische Herkunft wie folgt verteilt :

- 11 % stammen aus dem Haushalt- und Dienstleistungssektor am Oberrhein, wobei das Elsass, Baden-Württemberg und anschließend Basel-Landschaft die größten Verursacher sind,
 - 8 % stammen aus dem Straßenverkehr, wobei Baden-Württemberg, das Elsass und anschließend Basel-Landschaft die größten Verursacher sind,
 - 7 % stammen aus dem Sektor Energie, Industrie und Abfallbehandlung, wobei die anderen Schweizer Kantone die größten Verursacher sind,
 - 6 % stammen aus der Landwirtschaft, wobei das Elsass, Baden-Württemberg und anschließend die anderen Schweizer Kantone die größten Verursacher sind,
 - 3 % aus sonstigen Aktivitäten.

Die Aktivitäten auf dem Gebiet von Basel-Stadt haben nur einen geringen Einfluss auf die jährlichen Durchschnittskonzentrationen von PM_{2.5} in der Region. Dies schließt jedoch mögliche lokal oder punktuell stärkere Beiträge nicht aus.

Im Kanton Basel-Landschaft stammen etwa 27 % der PM_{2.5}-Konzentrationen aus dem Oberrheingebiet. Die sektorale und geographische Herkunft verteilt sich wie folgt :

- 7 % stammen aus dem Straßenverkehr, wobei die anderen Schweizer Kantone und anschließend Basel-Landschaft die größten Verursacher sind,
- 7 % stammen aus dem Haushalt- und Dienstleistungssektor, wobei das Elsass und anschließend Basel-Landschaft die größten Verursacher sind,
 - 6 % stammen aus der Landwirtschaft, wobei die anderen Schweizer Kantone die größten Verursacher sind,
 - 5 % stammen aus dem Sektor Energie, Industrie und Abfall, wobei die anderen Schweizer Kantone die größten Verursacher sind,
 - 2 % aus sonstigen Aktivitäten.

Méthode et limites de l'exercice

Methodik und Grenzen der Ursachenanalyse

En raison des phénomènes physico-chimiques et des transports en jeu dans l'atmosphère, la contribution d'une source en termes de concentrations dans l'air respiré est différente de sa contribution en termes d'émissions (à l'échappement, en sortie de cheminée etc.). Que ce soit par la mesure ou via des outils de modélisation, le source apportement permet d'établir un lien entre les sources d'émissions de polluant, et leur niveau de concentration dans l'air en un endroit donné.

En 2020 dans le projet INTERREG V Atmo-VISION, le modèle déterministe CAMx avait été utilisé pour réaliser un premier source-apportionment. Le modèle utilisé ici est d'une autre nature, il est né dans les années 2010 du projet LIFE OPERA, dans lequel un outil de scénarisation combinait le modèle CHIMERE et des réseaux neuronaux pour effectuer des scénarios rapides. Le CNRS et le Joint Research Centre Ispra de la Commission européenne (JRC) Ispra ont poursuivi le développement de cette chaîne de calcul et l'ont renommé Sherpa.

SHERPA repose sur une relation linéaire entre émissions (NO_x, NH₃, PM_{2.5}, PM₁₀, COV, SO₂) et concentrations (NO₂, NH₃, PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, SO₂). Cette hypothèse fonctionne bien jusqu'à 50% de réduction des émissions.

Comme pour tout outil utilisant des réseaux neuronaux, le fonctionnement de SHERPA repose sur 2 étapes :

- **Etape entraînement-validation** : Le modèle ajuste ses paramètres internes appelés « hyperparamètres » pour apprendre la relation entre les émissions et les concentrations : Il cherche à minimiser l'erreur entre ses prédictions et les résultats du modèle de référence CHIMERE.
- **Etape simulation** : SHERPA calcule les concentrations à partir de modulations libres.

Les limites sont les suivantes, et rappellent qu'il faut interpréter les résultats de SHERPA avec un certain recul :

- Incertitudes liées à la modélisation, aux émissions en entrée, à la résolution spatiale de 3km
- SHERPA effectue son apprentissage sur des simulations de CHIMERE brutes et non des mesures terrain (des scénarios de réduction d'émission ne peuvent pas être corrigés par des mesures)
- Au-delà de 50%, l'hypothèse de linéarité s'estompe et les résultats SHERPA sont de moins en moins fiables
- Les résultats sont représentatifs de 2023, mais il y a des particularités d'une année à l'autre (météo, COVID...).

Aufgrund der physikalisch-chemischen Vorgänge und Transportprozesse in der Atmosphäre unterscheidet sich der Beitrag einer Quelle an den Konzentrationen in der Luft von ihrem Anteil an den Emissionen z.B. aus dem Auspuff (bodennah), oder Schornstein (in größerer Höhe). Ob durch Messungen oder mithilfe von Modellierungswerkzeugen – die Ursachenanalyse ermöglicht es, einen Zusammenhang zwischen den Schadstoffemissionsquellen und deren Konzentrationsniveau in der Luft an einem bestimmten Ort herzustellen.

Im Jahr 2020 wurde im Rahmen des INTERREG-V-Projekts Atmo-VISION das deterministische Modell CAMx verwendet, um eine erste Ursachenanalyse durchzuführen. Das in diesem Projekt verwendete Modell verwendet einen anderen Ansatz. Es wurde in den 2010er Jahren im Rahmen des LIFE-OPERA-Projekts entwickelt. Dabei wurde das CHIMERE-Modell mit neuronalen Netzen kombiniert, um eine schnelle Berechnung von Szenarien zu ermöglichen. Das Nationale Zentrum für Wissenschaftsforschung CNRS (französische Nationales Zentrum für wissenschaftliche Forschung) und die Gemeinsame Forschungsstelle (Joint Research Centre – JRC der EU-Kommission) Ispra haben die Entwicklung dieser Berechnungskette weiterentwickelt und sie in „Sherpa“ umbenannt.

SHERPA basiert auf einer linearen Beziehung zwischen Emissionen (NO_x, NH₃, PM_{2.5}, PM₁₀, VOCs, SO₂) und Konzentrationen (NO₂, NH₃, PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, SO₂). Dieser Ansatz funktioniert gut bis zu einer Reduktion von 50% der Emissionen.

Wie bei jedem auf neuronalen Netzen basierenden Verfahren beruht auch die Funktionsweise von SHERPA auf zwei Schritten:

- **Trainings- und Validierungsphase**: Das Modell passt seine internen Parameter, die sogenannten „Hyperparameter“, an, um den Zusammenhang zwischen Emissionen und Konzentrationen zu erlernen: Es versucht, den Fehler zwischen seinen Vorhersagen und den Ergebnissen des Referenzmodells CHIMERE zu minimieren.
- **Simulationsphase**: SHERPA berechnet die Konzentrationen auf der Grundlage freier Modulationen.

Die folgenden Einschränkungen sind zu berücksichtigen und verdeutlichen, dass die Ergebnisse von SHERPA mit einer gewissen Vorsicht interpretiert werden müssen:

- Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Modellierung, den Eingabeemissionen und der räumlichen Auflösung von 3 km;
 - SHERPA trainiert anhand von unkorrigierten CHIMERE-Simulationen und nicht anhand von Feldmessungen (Szenarien zur Emissionsminderung können nicht durch Messungen korrigiert werden);
 - Ab einer Reduktion der Emissionen von 50 % verliert die Linearitätsannahme an Gültigkeit, und die SHERPA-Ergebnisse werden zunehmend unzuverlässiger;
 - Die Ergebnisse beziehen sich auf das Jahr 2023, es gibt jedoch von Jahr zu Jahr Besonderheiten (Wetter, COVID19-Lockdown ...).

Conclusions

- En plaine du Rhin supérieur, 65 à 85% des concentrations moyennes annuelles de $PM_{2,5}$ proviennent d'activités et polluants émis au-delà du Rhin supérieur.
- Le secteur résidentiel est le plus gros contributeur du Rhin supérieur.
- Les activités des régions impactent les concentrations des régions voisines, y compris de manière transfrontalière.
- Les concentrations au niveau des agglomérations sont en moyenne davantage issues des zones voisines que des activités des agglomérations elles-mêmes. Réciproquement, les agglomérations impactent les concentrations de $PM_{2,5}$ des zones environnantes.

Perspectives

- La présente étude concerne les $PM_{2,5}$: les conclusions seraient différentes pour d'autres polluants, émis par d'autres secteurs d'activités ou ayant des comportements physico-chimiques différents. Le même exercice pourrait donc être fait pour les particules PM_{10} , les oxydes d'azote, ou mieux encore l'ozone, qui est un polluant secondaire à chimie complexe.
- Les calculs ont été faits sur le Rhin supérieur pour les moyennes annuelles et une résolution de 3km : l'étude pourrait être étendue aux régions partenaires, à des mois plus pertinents tels que l'hiver pour les particules ou l'été pour l'ozone, enfin le calcul pourrait se faire à une échelle géographique plus fine.

Atmo-Rhena PLUS met à votre disposition l'intégralité de ses supports sur des thématiques connexes

- Emissions de polluants de l'air
<https://www.atmo-grandest.eu/publications/atmo-rhena-plus-emissions-de-polluants>
- Concentrations et exposition des populations et des écosystèmes dans le Rhin supérieur
<https://www.atmo-grandest.eu/publications/atmo-rhena-plus-concentrations>

Schlussfolgerungen

- In der Oberrhein-Ebene stammen 65 bis 85 % der jährlichen Durchschnittskonzentrationen von $PM_{2,5}$ aus Aktivitäten und Schadstoffemissionen außerhalb des Oberrheingebiets.
- Der Sektor „Haushalte und Dienstleistungen“ ist der größte lokale Verursacher des Oberrheingebiets.
- Die Aktivitäten in den Regionen wirken sich auf die Konzentrationen in benachbarten Regionen aus, auch grenzüberschreitend.
- Die Konzentrationen in den Ballungsräumen stammen im Durchschnitt eher aus angrenzenden Gebieten als aus den Aktivitäten der Ballungsräume selbst. Umgekehrt beeinflussen die Ballungsräume die $PM_{2,5}$ -Konzentrationen in den umliegenden Gebieten.

Perspektiven

- Die vorliegende Studie befasst sich mit $PM_{2,5}$; für andere Schadstoffe, die auch von anderen Quellengruppen ausgestoßen werden oder andere physikalisch-chemische Eigenschaften aufweisen, würden sich andere Schlussfolgerungen ergeben. Die gleiche Untersuchung könnte daher für PM_{10} -Partikel, Stickstoffoxide oder – besser noch – Ozon durchgeführt werden, bei letzterem handelt es sich um einen Sekundärschadstoff mit komplexer Chemie, der sich erst aus Vorläufersubstanzen in der Luft bildet.
- Die Berechnungen wurden für das Oberrheingebiet auf Basis von Jahresdurchschnittswerten und einer Auflösung von 3 km x 3 km durchgeführt: Die Studie könnte auf Partnerregionen ausgeweitet werden, auf relevante Jahreszeiten wie der Winter für Feinstaub oder der Sommer für Ozon, und schließlich könnte die Berechnung auf einer feineren (höher aufgelösten) geographischen Ebene erfolgen.

Atmo-Rhena PLUS stellt weiterführende Materialien zu verwandten Themen zur Verfügung

- Emissionen von Luftschadstoffen
<https://www.atmo-grandest.eu/publications/atmo-rhena-plus-emissions-de-polluants>
- Konzentrationen und Belastung der Bevölkerung und der Ökosysteme am Oberrhein
<https://www.atmo-grandest.eu/publications/atmo-rhena-plus-concentrations>



Interreg



Kofinanziert von
der Europäischen Union
Cofinancé par
l'Union Européenne

Oberrhein | Rhin Supérieur



atmo rhena PLUS

Partenaires techniques et co-financeurs / Technische und kofinanzierende Projektpartner



Luftthygieneamt beider Basel



**Baden-Württemberg
Landesanstalt
für Umwelt**



AGENCE DU CLIMAT
le guichet des solutions
Eurométropole de Strasbourg



**ortenauer
energieagentur.**

Partenaires co-financeurs Kofinanzierende Projektpartner



Kanton Basel-Stadt



**Baden-Württemberg
STATISTISCHES LANDESAMT**



KEA-BW
DIE LANDESENERGIEAGENTUR



Partenaires associés Assoziierte Projektpartner

Parties prenantes Stakeholders