

Ozone troposphérique : situation actuelle et défis dans le Rhin supérieur

Bodennahes Ozon: Aktuelle Situation und Herausforderungen 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.

Pourquoi l'ozone est-il toujours un sujet d'actualité ?

L'ozone ne respecte actuellement dans le Rhin supérieur ni les valeurs de protection de la santé humaine, ni les valeurs de protection de la végétation et des forêts. Par ailleurs il a tendance à être de plus en plus présent en raison du changement climatique.

Comme il a une durée de vie de plusieurs jours, une fois généré il a le temps de traverser plusieurs régions avant de disparaître. Une large partie de l'ozone dans le Rhin ainsi supérieur est indépendante des émissions des activités locales. De plus l'ozone est en partie généré à partir de composés naturels issus des forêts et de la végétation.

Au final, bien que l'ozone soit problématique, les marges de manœuvre locales sont restreintes et peuvent parfois être contre-productives en raison de la chimie complexe de ce composé : **comment bien faire dans le Rhin supérieur pour limiter les niveaux d'ozone ?** Ce document présente les enjeux et propose des pistes d'action.

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.

Warum ist Ozon immer noch ein aktuelles Thema?

Derzeit werden am Oberrhein weder die Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit noch die Zielwerte zum Schutz der Vegetation und der Wälder eingehalten. Zudem nimmt die Ozonkonzentration aufgrund des Klimawandels tendenziell zu.

Da Ozon eine Lebensdauer von mehreren Tagen hat, hat es nach seiner Entstehung Zeit, sich großflächig zu verteilen, bevor es wieder abgebaut wird. Ein großer Teil des Ozons am Oberrhein ist unabhängig von den Emissionen lokaler Aktivitäten. Zudem entsteht Ozon zum Teil aus natürlichen Verbindungen, die aus Wäldern und der Vegetation stammen. Letztendlich ist Ozon als Schadstoff problematisch, der lokale Handlungsspielraum ist jedoch begrenzt und kann aufgrund der komplexen chemischen Eigenschaften dieser Verbindung manchmal sogar kontraproduktiv sein: **Wie können am Oberrhein die Ozonwerte wirksam begrenzt werden?** Dieses Dokument stellt die Herausforderungen dar und schlägt Handlungsansätze vor.



Ozone et santé Situation actuelle

Ozon und die Gesundheit Aktueller Stand

L'ozone : définition en 30 secondes

L'ozone (O₃) est un gaz incolore et un composant naturel de l'air présent en concentrations moindres dans l'atmosphère, que l'on désigne étant à l'état de trace. Cette brochure fait référence à l'ozone troposphérique, présent à hauteur d'hommes, et ne concerne pas la « couche d'ozone » située à haute altitude.

Impact sur la santé

À des concentrations élevées, l'O₃ altère la fonction pulmonaire et produit des réactions inflammatoires (bronchite), ce qui peut entraîner des problèmes respiratoires (par exemple favoriser le déclenchement de l'asthme). Le tissu pulmonaire risque alors être endommagé de manière permanente. Ces symptômes sont susceptibles de s'aggraver en cas d'effort physique. Les enfants, les personnes âgées et les personnes souffrant de maladies pulmonaires ou cardiovasculaires sont particulièrement vulnérables. D'autres symptômes déclenchés par des concentrations élevées d'O₃ sont les maux de tête, la fatigue et l'irritation des yeux.

Valeurs cibles pour l'ozone afin de protéger la santé humaine

L'exposition à l'O₃ pour l'être humain est déterminée entre autres à l'aide d'indicateurs long terme visant à protéger la santé humaine :

- **Organisation Mondiale de la Santé (OMS)** : la ligne directrice 2021 demande de ne pas avoir plus de 3 jours par an avec une moyenne glissante sur 8h supérieure à 100 µg/m³ (calcul sur 1 an).
- **Directive européenne sur l'air ambiant** : le nombre de jours pour lesquels une moyenne glissante sur 8h a dépassé 120 µg/m³ est utilisé comme indicateur. La valeur cible pour la protection de la santé humaine est actuellement de ne pas dépasser 25 jours en moyenne sur trois ans, et à l'horizon 2030 pas plus de 18 jours.
- **Réglementation suisse** : Concept d'information sur le smog estival de la Conférence suisse des directeurs des travaux publics, de l'aménagement du territoire et de l'environnement (DTAP).

Des valeurs seuils à court terme pour préserver la santé sont présentées en page 5. Des valeurs seuils de protection de la végétation sont présentées en page 7.

Ozon: Definition in 30 Sekunden

Ozon (O₃) ist ein farbloses Gas und ein natürlicher Bestandteil der Luft, der in geringen Konzentrationen vorkommt und daher zu den Spurengasen zählt. Diese Broschüre bezieht sich ausschließlich auf das bodennah vorhandene Ozon und nicht auf die „Ozonschicht“ in großer Höhe.

Auswirkung auf die Gesundheit

Bei hohen Konzentrationen hat O₃ gesundheitliche Auswirkung auf die Atemwege. Es kann die Lungenfunktion beeinträchtigen und entzündliche Reaktionen der Schleimhäute in den Atemwegen hervorrufen (Bronchitis), wodurch es zu Atemwegsbeschwerden kommen kann (z.B. Asthmaanfälle begünstigen). Das Lungengewebe kann dadurch dauerhaft geschädigt werden. Bei körperlicher Anstrengung können sich diese Symptome verstärken. Besonders Kinder, ältere Menschen und Menschen mit Lungen- oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind gefährdet. Weitere Symptome, die durch hohe O₃-Konzentrationen ausgelöst werden können, sind Kopfschmerzen, Müdigkeit und Reizungen der Augen.

Zielwerte für Ozon zum Schutz der menschlichen Gesundheit

Die O₃-Belastung für den Menschen wird u. a. anhand von langzeitigen Indikatoren, zum Schutz der menschlichen Gesundheit, bestimmt:

- **Weltgesundheitsorganisation (WHO)**: Leitlinie 2021: An nicht mehr als 3 Tagen pro Jahr, darf ein gleitender 8-Stunden-Mittelwert 100 µg/m³ überschreiten (Berechnung für 1 Jahr).
- **Europäische Richtlinie zur Luftqualität**: Die Anzahl der Tage, an denen ein gleitender 8-Stunden-Mittelwert 120 µg/m³ überschritten hat wird als Indikator verwendet. Der Zielwert liegt derzeit bei höchstens 25 Tagen, gemittelt jeweils über 3 Jahre und ab dem Jahr 2030 bei höchstens 18 Tagen.
- **Schweizer Vorschriften**: Informationskonzept zum Sommersmog von der Schweizerischen Bau-, Planungs- und Umweltdirektoren-Konferenz BPUK.

Kurzfristige Grenzwerte zum Schutz der Gesundheit sind auf Seite 5 dargestellt. Grenzwerte zum Schutz der Vegetation sind auf Seite 7 dargestellt.

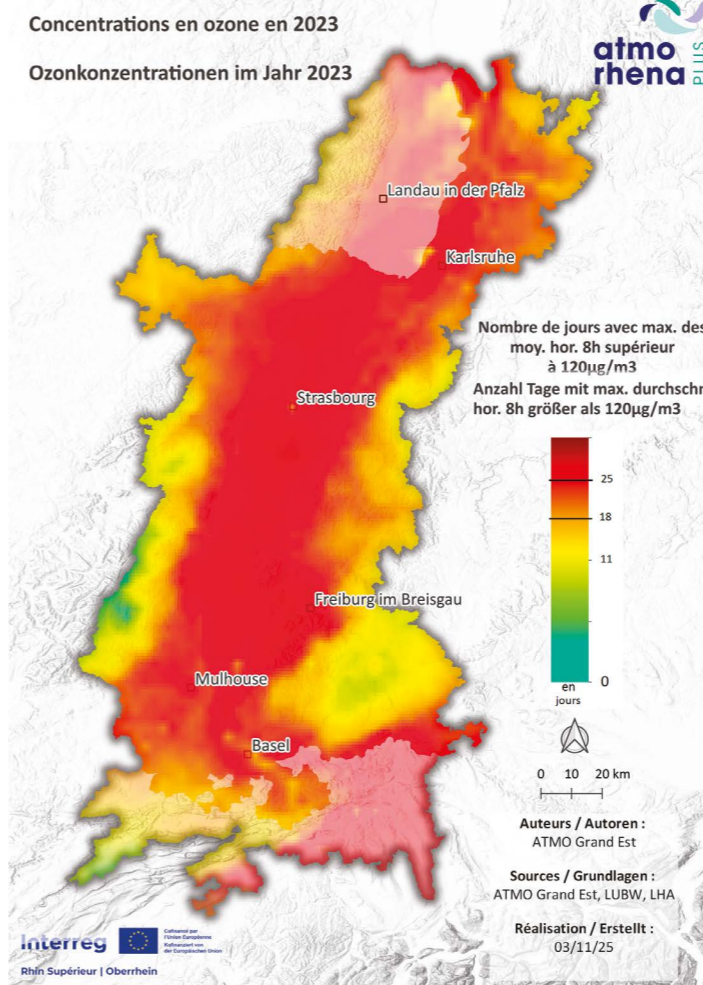
Etat de l'ozone dans le Rhin supérieur

La concentration d'ozone dans le Rhin supérieur peut varier considérablement d'un site à l'autre. Cela s'explique par le fait qu'elle dépend de différents facteurs. Outre l'intensité et la répartition locale des précurseurs tels que les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV), qui contribuent à la formation et à la dégradation de l'O₃, la concentration d'ozone dépend également fortement des conditions météorologiques en raison des processus de formation et de dégradation dans l'air.

Dans la majeure partie du Rhin supérieur (voir carte), la valeur cible de protection de la santé humaine, calculée pour l'année 2023 (1 année uniquement dans le cadre du projet), est dépassée pour l'O₃ afin de protéger la santé humaine. Seules les zones très éloignées des agglomérations respectent cette valeur cible.

- 25% du territoire se situe au-dessus du seuil de 120 µg/m³ en moyenne sur 8 heures à ne pas dépasser plus de 25 jours par an (73% pour 18 jours à l'horizon 2030).
- Cela concerne 51% de la population alsacienne et 4% des habitants du Canton de Bâle.

La situation s'est améliorée depuis 2018 (voir carte issue du projet Interreg V Rhin Supérieur Atmo-VISION).



Remarque concernant les zones légèrement plus claires : selon la Conférence du Rhin supérieur, ces zones font officiellement partie du territoire du Rhin supérieur, mais ne sont pas partenaires du projet Interreg et/ou n'ont pas pu fournir de données détaillées pour le calcul du modèle.

Ozonbelastung am Oberrhein

Die Ozonkonzentration am Oberrhein kann je nach Standort sehr unterschiedlich ausfallen. Dies liegt daran, dass sie von verschiedenen Einflussfaktoren abhängt. Neben der Konzentration und der lokalen Verteilung von Vorläufersubstanzen wie Stickstoffoxide (NO_x) und flüchtige organische Verbindungen (VOC), welche zur Bildung und zum Abbau von O₃ beitragen, ist die Ozonkonzentration durch die Bildungs- und Abbauprozesse in der Luft auch stark witterungsabhängig.

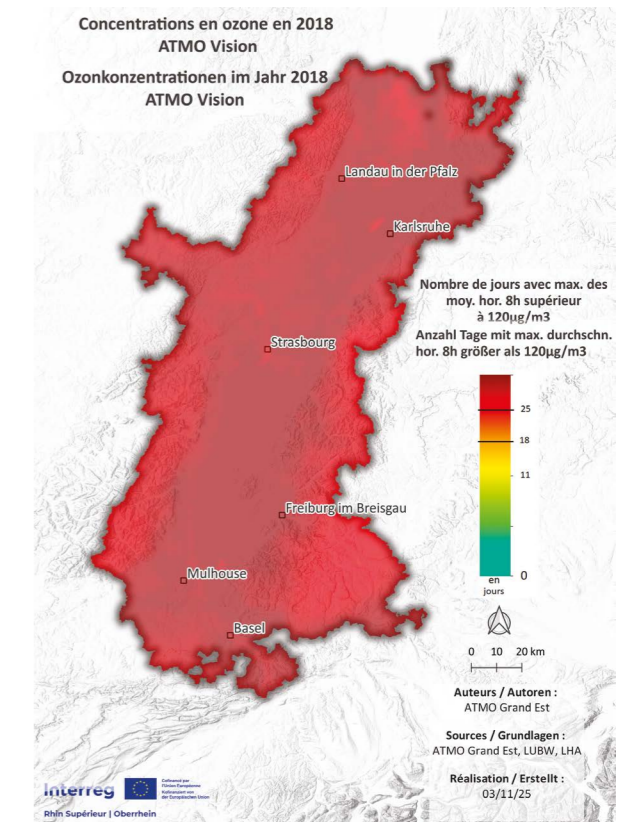
Im größten Teil des Oberrheins (siehe Karte) wird der EU-Zielwert von O₃ zum Schutz der menschlichen Gesundheit, berechnet für das Jahr 2023 (einzelnes Jahr im Rahmen des Projekts), überschritten. Nur Gebiete, die weit abseits von Ballungsräumen liegen, halten den Zielwert ein.

- 25 % des Gebiets liegen über dem Zielwert von 120 µg/m³ im 8-Stunden-Mittel, der an höchstens 25 Tagen im Jahr überschritten werden darf (73% für 18 Tage ab dem Jahr 2030).
- Dies betrifft 51 % der elsässischen Bevölkerung und 4 % der Einwohner des Kantons Basel.

Die Situation hat sich allerdings seit 2018 verbessert (siehe Karte aus dem Interreg-V-Projekt „Oberrhein Atmo-VISION“).

Nombre de jours où la moyenne mobile sur 8 heures a dépassé 120 µg/m³ en 2018 et 2023

Anzahl Tage mit max. gleitendem 8h-Mittelwert größer als 120 µg/m³ im Jahr 2018 und Jahr 2023



Bemerkung zu den leicht hellroten Gebieten: Diese Gebiete gehören offiziell gemäß Oberrhein-Konferenz zu dem Gebiet des Oberrheins, sind aber nicht Projektpartner dieses Interreg-Projekts und/oder konnten keine detaillierten Daten für die Modellierung liefern.



Evolution de la concentration d'ozone dans la région du Rhin supérieur depuis les années 2000

Entwicklung der Ozonkonzentration im Oberrheingebiet seit den 2000er Jahren

La section suivante décrit l'évolution de la concentration d'ozone dans la région du Rhin supérieur depuis les années 2000 à partir des valeurs mesurées par les stations de mesure françaises, allemandes ou suisses implantées dans cette région, en distinguant selon l'emplacement des stations les zones proches du trafic routier, les zones urbaines/périurbaines et les zones rurales.

D'une année à l'autre, la pollution par l'O₃ peut varier considérablement en fonction des conditions météorologiques. Lorsqu'il fait chaud et sec en été, la production d'O₃ est importante, tandis que lors d'un été frais et pluvieux, la pollution par l'O₃ est moindre.

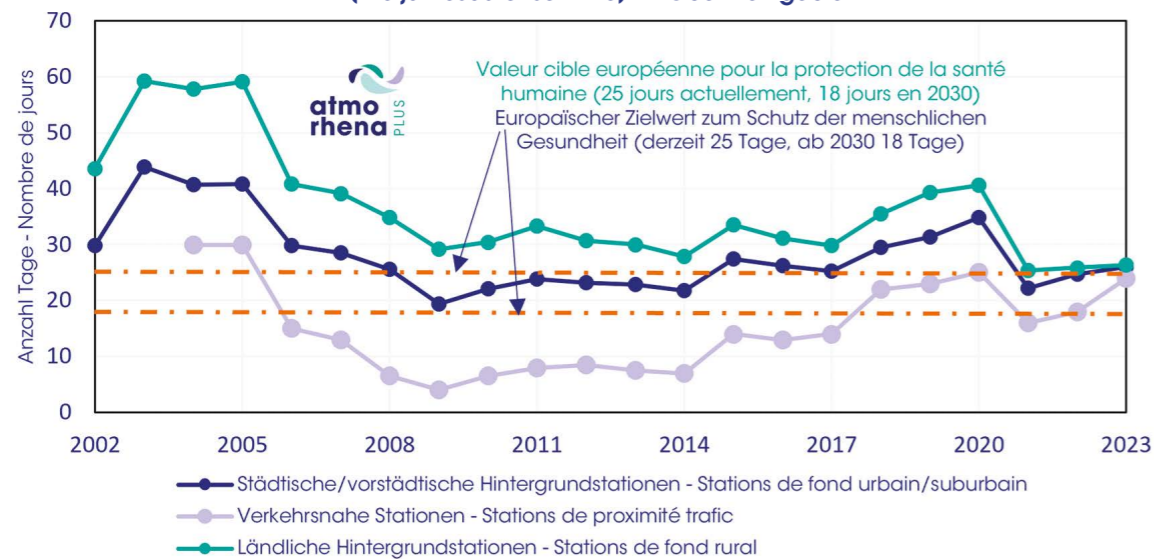
Au cours des dernières décennies, on constate globalement une amélioration (baisse) de l'indicateur de santé à l'exception des sites situés à proximité des axes routiers. Par ailleurs, la situation tend à devenir similaire selon la typologie de station, en lien avec la diminution des émissions des véhicules (amélioration des moteurs).

Im Folgenden wird die Entwicklung der Ozonkonzentration im Oberrheingebiet seit den 2000er Jahren anhand der Messwerte der französischen, deutschen oder schweizerischen Messstationen im Oberrheingebiet beschrieben, wobei je nach Messstandort die Stationen in verkehrsnah, städtischer/vorstädtischer Hintergrund und ländlicher Hintergrund unterschieden werden.

Von Jahr zu Jahr kann sich die O₃-Belastung abhängig von der Witterung stark verändern. Bei heißer und trockener Witterung im Sommer wird viel O₃ produziert. Während eines kühlen und regnerischen Sommers ist die O₃-Belastung dagegen geringer.

In den letzten Jahrzehnten kann allgemein eine Verbesserung (Senkung) des Gesundheitsindikators festgestellt werden, mit Ausnahme an verkehrsnahen Standorten. Im Übrigen zeichnet sich je nach Messstationstyp eine ähnliche Entwicklung ab, was mit dem Rückgang der Fahrzeugemissionen (bessere Motoren) zusammenhängt.

Nombre de jours où la moyenne mobile d'ozone sur 8 heures a dépassé 120 µg/m³ (moyennes sur 3 ans) dans le Rhin supérieur (moyenne des stations)
Anzahl Tage mit max. gleitendem 8h-Ozon-Mittelwert größer als 120 µg/m³ (Dreijahresdurchschnitte) im Oberrheingebiet



Aux stations de mesure situées à proximité des axes routiers, la pollution par l'O₃ est moins importante qu'aux autres stations du Rhin supérieur. Les concentrations les plus élevées sont enregistrées dans les zones rurales, qui se trouvent toutefois dans le panache des agglomérations. Cela s'explique par le fait que l'O₃ formé à proximité des agglomérations peut ensuite être transporté vers les zones rurales à partir des précurseurs (voir page 8). Dans les stations de mesure situées à proximité des axes routiers, l'O₃ est décomposé au cours de la nuit à l'aide du monoxyde d'azote (NO). Ce processus n'a pas lieu dans les zones rurales.

La valeur cible pour la protection de la santé humaine ne peut généralement être respectée que dans les stations situées à proximité des axes routiers et dans les stations urbaines ou périurbaines.

An verkehrsnahen Messstandorten ist die O₃-Belastung geringer als an den anderen Standorten am Oberrhein. Die höchsten Konzentrationen werden in ländlichen Gebieten gemessen, die im Bereich von Ballungsräumen liegen. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass das in Ballungsräumen gebildete O₃ anschließend auch in ländliche Gebiete transportiert werden kann aus den Vorläufersubstanzen (siehe Seite 8). Andererseits fehlt in ländlichen Gebieten der wiederum an verkehrsnahen Messstandorten stattfindende nächtliche Prozess des Ozonabbaus mittels Stickstoffmonoxid (NO).

Der Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit kann in der Regel nur an verkehrsnahen, sowie städtisch oder vorstädtischen Stationen eingehalten werden.

Pics de pollution - seuils d'information - recommandation et d'alerte

Schadstoffspitzen Informations- und Empfehlungsschwellenwerte

Valeurs seuils à court terme

La directive européenne sur l'air ambiant (2008/50/CE) établit les notions de seuil d'information, de recommandation et d'alerte. Transposée en Allemagne et en France, cette directive inspire le concept suisse.

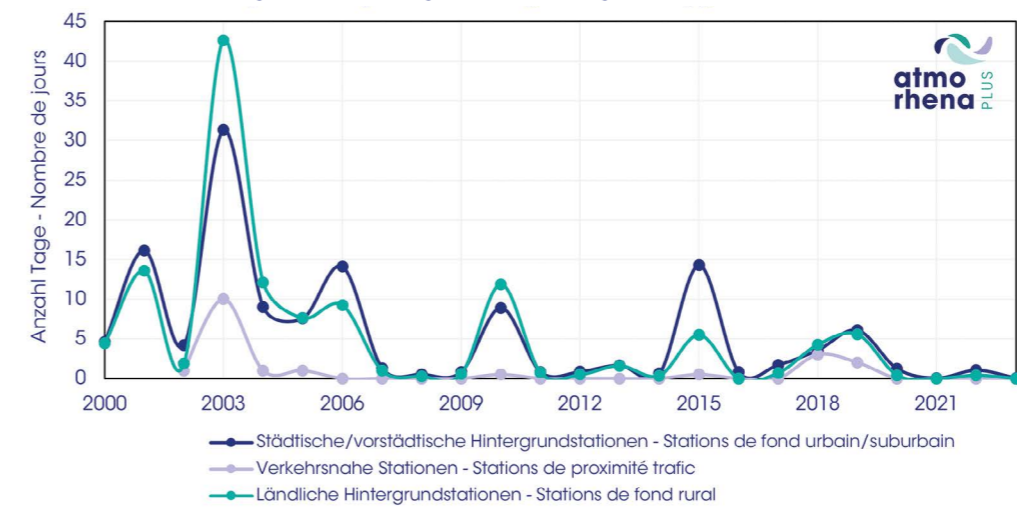
- **France** : l'Article R221-1 du Code de l'Environnement transpose la notion de seuil d'information et de recommandation et de seuil d'alerte existants au niveau européen.
- **Allemagne** : le seuil d'information et d'alerte (valable dans toute l'Allemagne) est repris par la 39e BImSchV: « Le seuil d'information de 180 microgrammes par mètre cube (µg/m³), en moyenne sur une heure, sert à protéger la santé des groupes de population particulièrement sensibles. En cas de dépassement du seuil d'alerte de 240 µg/m³, en moyenne sur une heure, il existe un risque pour la santé de l'ensemble de la population ».
- **Suisse** : Le concept s'appuie fondamentalement sur la directive européenne et s'applique à l'ensemble du territoire suisse :
 - Niveau I « seuil d'information » en cas de dépassement de 180 µg/m³ dans au moins 3 stations de mesure de la qualité de l'air,
 - niveau II : 240 µg/m³.

Kurzfristige Grenzwerte

Die EU-Richtlinie über die Luftqualität (2008/50/EG) definiert die Begriffe Informations-, Empfehlungs- und Warnschwelle. Diese Richtlinie, die in Deutschland und Frankreich umgesetzt wurde, dient als Vorlage für das Schweizer Konzept.

- **Frankreich** : Der Artikel R221-1 des Umweltgesetzbuchs setzt den Informations- und Empfehlungsschwellenwert und Alarmschwellenwert der Europäischen Richtlinie um.
- **Deutschland** : Die Informations- und Alarmschwellen werden bundesweit von der 39. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) umgesetzt: "Der Informationsschwellenwert von 180 (µg/m³), gemittelt über eine Stunde, dient dem Schutz der Gesundheit besonders empfindlicher Bevölkerungsgruppen. Bei der Überschreitung des Alarmschwellenwertes von 240 µg/m³, gemittelt über eine Stunde, besteht ein Gesundheitsrisiko für die Gesamtbevölkerung."
- **Schweiz** : Das Konzept lehnt sich grundsätzlich an die EU-Direktive an und ist schweizweit gültig.
 - Stufe I "Informationsschwelle" bei Überschreitung von 180 µg/m³ bei mindestens 3 Luftmessstationen,
 - Stufe II: 240 µg/m³.

Nombre de jours par an avec pics d'ozone dans le Rhin supérieur (maxima horaires journaliers supérieurs à 180 µg/m³, moyenne des stations)
Anzahl Tage pro Jahr mit Ozon-Spitzenbelastung im Oberrheingebiet (stündl. Tageshöchstwert größer als 180 µg/m³, Mittelwerte der Stationen)



Au cours des dernières décennies, on a généralement constaté une baisse des pics de pollution à l'O₃ (à l'exception des sites proches du trafic routier). Les jours où des valeurs supérieures à 180 µg/m³ ont été mesurées sont désormais rares, comme l'indique le graphique ci-contre. Au cours des dernières années, les valeurs horaires maximales annuelles se situaient entre 160 µg/m³ et 180 µg/m³.

In den letzten Jahrzehnten war allgemein ein Rückgang der O₃-Spitzenwerte zu beobachten (mit Ausnahme von verkehrsnahen Standorten). Tage, an denen Werte über 180 µg/m³ gemessen wurden, sind mittlerweile selten, wie aus der Abbildung links hervorgeht. In den letzten Jahren lagen die maximalen jährlichen Stundenwerte zwischen 160 µg/m³ und 180 µg/m³.

Gestion des pics de pollution

- **France** : Arrêté interministériel du 7 avril 2016 et l'arrêté inter-préfectoral du 24 mai 2017 : gestion des épisodes de pollution atmosphérique et le déclenchement des procédures d'information-recommandation et d'alerte à la population. Une astreinte 7j/7 et 24h/24 est mise en place au sein de l'Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) de la Région Grand Est.
- **Suisse** : Le concept s'appuie fondamentalement sur la directive européenne et s'applique à l'ensemble du territoire suisse.
 - Niveau I « seuil d'information » en cas de dépassement de 180 µg/m³ dans au moins 3 stations de mesure de la qualité de l'air en Suisse : un communiqué de presse est publié dans les régions concernées.
 - Niveau II : 240 µg/m³ : des mesures immédiates sont prises.
- **Allemagne** : pas d'actions court terme.

Les pics de pollution à l'ozone sont plus fréquents lors des périodes de canicule, amplifiant les impacts sanitaires liés à la chaleur.

Umgang mit Schadstoffspitzen

- **Frankreich** : Interministerieller Erlass vom 7. April 2016 und interpräfektoraler Erlass vom 24. Mai 2017: Verwaltung von Luftverschmutzungsepisoden und Auslösung der Informations-Empfehlungs- und Warnverfahren. Ein Bereitschaftsdienst 7 Tage pro Woche und 24 Stunden pro Tag wird bei der Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) der Region Grand Est eingerichtet.
- **Schweiz** : Das Konzept lehnt sich grundlegend an die EU-Direktive an und ist schweizweit gültig.
 - Stufe I "Informationsschwelle" bei Überschreitung von 180µg/m³ bei mindestens 3 Luftmessstationen in der Schweiz: Es erfolgt in den betroffenen Gebieten eine Medienmitteilung.
 - Stufe II: 240 µg/m³: Es werden sofortige Maßnahmen ergriffen
- **Deutschland** : eine kurzfristigen Maßnahmen

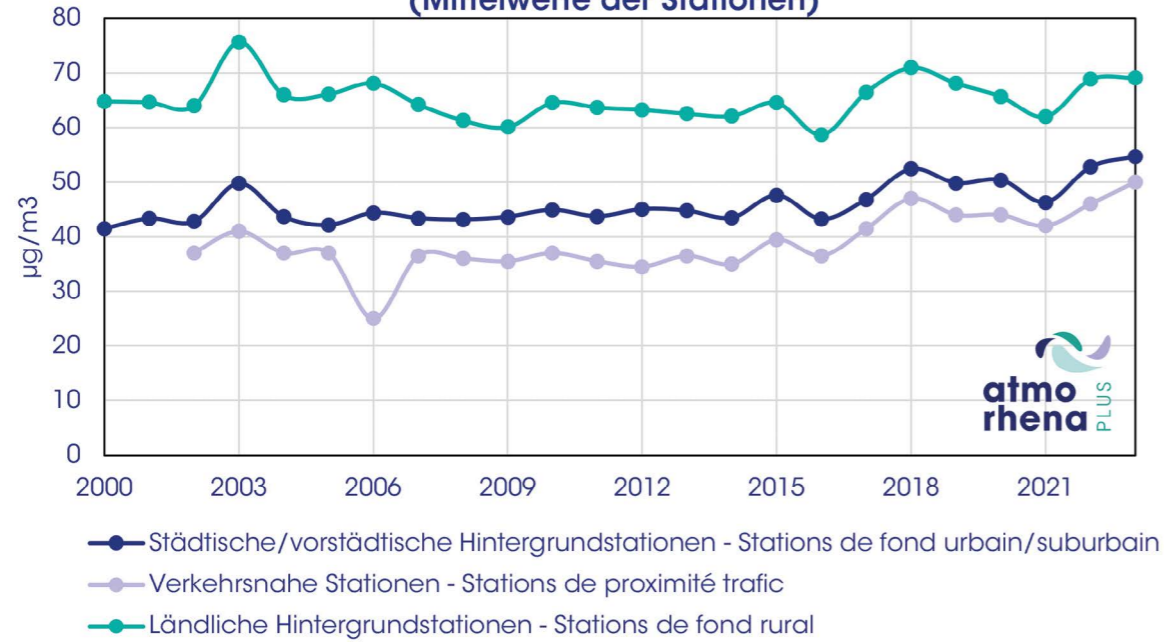
Ozonspitzen treten häufiger während Hitzewellen auf und verstärken die durch die Hitze verursachten gesundheitlichen Auswirkungen.

Alors que les pics de concentration d'O₃ ont tendance à diminuer dans la région du Rhin supérieur, aucune baisse n'est en revanche observable au niveau de la moyenne annuelle. Ce phénomène peut être observé sur tous les types de sites.

Während die Spitzenbelastungen von O₃ im Oberrheingebiet tendenziell abnehmen, ist beim Jahresmittelwert kein Rückgang zu erkennen. Dies lässt sich an allen Standorttypen beobachten.

Evolution des moyennes annuelles d'ozone dans le Rhin supérieur (moyenne des stations)

Entwicklung der Ozon-Jahresmittelwerte im Oberrheingebiet (Mittelwerte der Stationen)



Pour aller plus loin / Weiterführende Informationen:

Informations sur l'ozone / Informationen zu Ozon:

- France : <https://www.atmo-grandest.eu/cycle-de-lair-et-suivi-des-polluants>

- Suisse : <https://ozon-info.ch/>

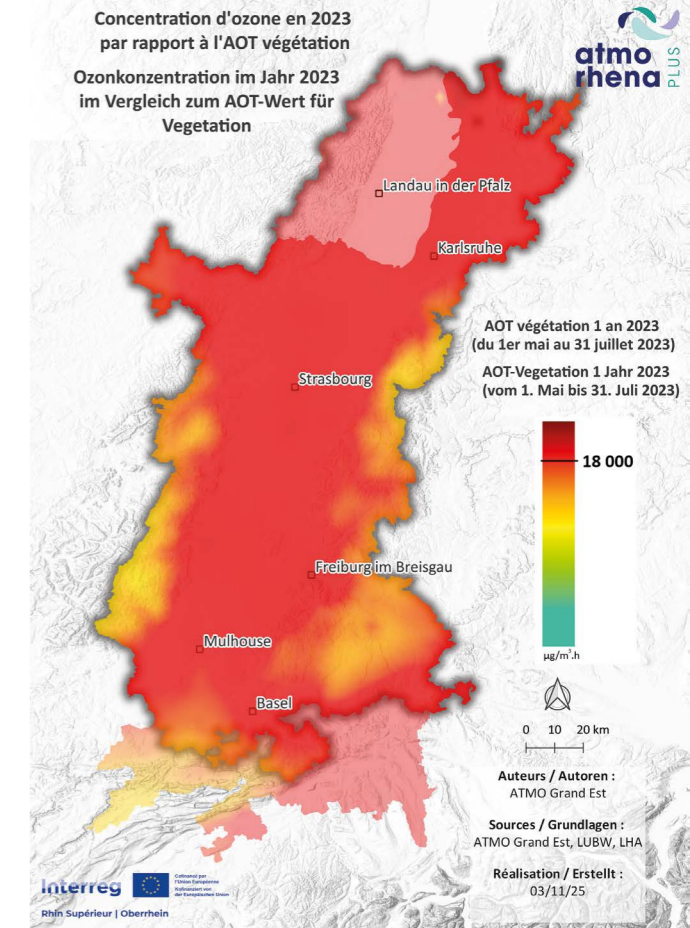
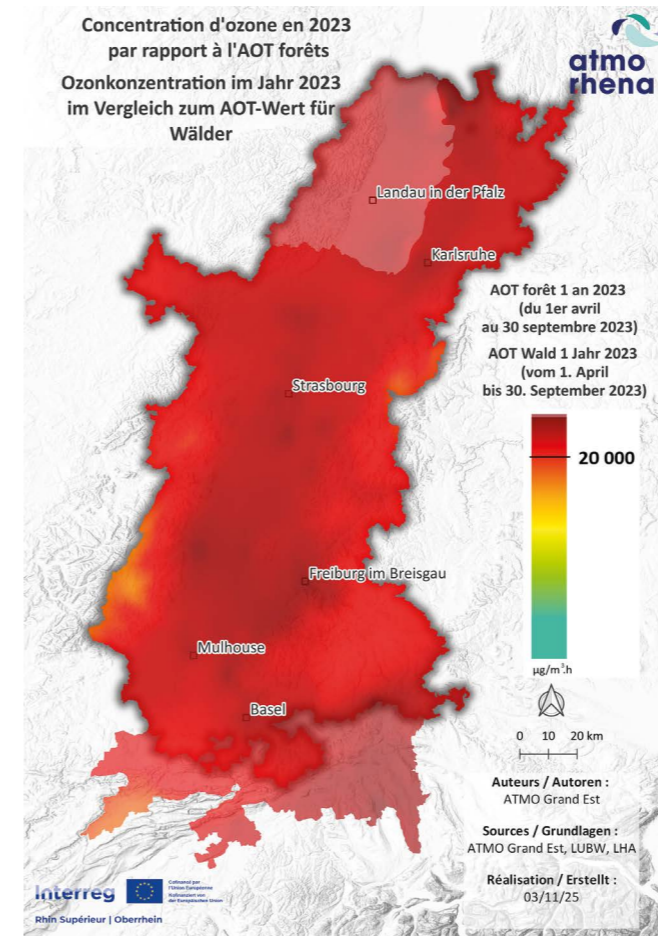
- Allemagne : Ozon-Belastung | Umweltbundesamt <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/ozon-belastung>

L'impact de l'ozone sur la végétation est mesuré à l'aide d'un indicateur, commun à toute l'Europe : l'**AOT40 (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40ppb)**. Il permet de quantifier l'exposition cumulée du végétal aux concentrations d'ozone supérieures à 40 parties par milliard, soit 80 µg/m³. Ce paramètre résulte d'un calcul à partir des teneurs en ozone pendant la période de croissance des végétaux :

- entre mai et juillet de 8 heures à 20 heures pour l'**AOT40 végétation** : le seuil de protection de la végétation, défini par l'Union européenne dans la directive relative à l'ozone dans l'air ambiant (2002/3/CE) est de **18 000 µg/m³.h**,
- entre avril et septembre pour l'**AOT40 forêt** : le seuil de protection des forêts, défini par l'Union européenne dans la directive relative à l'ozone dans l'air ambiant (2002/3/CE) est de **20 000 µg/m³.h**.

Die Auswirkungen von Ozon auf die Vegetation werden anhand eines europaweit einheitlichen Indikators gemessen: dem **AOT40 (Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40ppb)**. Damit lässt sich die **kumulative Belastung der Pflanzen durch Ozonkonzentrationen** von über 40 ppb, also 80 µg/m³, quantifizieren. Dieser Parameter ergibt sich aus einer Berechnung auf der Grundlage der Ozonkonzentrationen während der Wachstumsperiode der Pflanzen:

- zwischen Mai und Juli von 8 bis 20 Uhr für den **AOT40-Wert zum Schutz der Vegetation**: Der Vegetationsschutzwert, der von der Europäischen Union in ihrer Richtlinie über Ozongehalt in der Luft (2002/3/EG) festgelegt wurde, ist **18 000 µg/m³.h**,
- zwischen April und September für den **AOT40-Wert zum Schutz der Wälder**: Der Vegetationsschutzwert, der von der Europäischen Union in ihrer Richtlinie über Ozongehalt in der Luft (2002/3/EG) festgelegt wurde, ist **20 000 µg/m³.h**.



En 2023, l'AOT végétation était supérieur à 18 000 µg/m³.h sur 60% de la superficie d'écosystème du Rhin supérieur (carte de gauche) et l'AOT forêt était supérieur à 20 000 µg/m³.h sur la majorité du territoire du Rhin supérieur (carte de droite).

Im Jahr 2023 lag der AOT40-Wert für Vegetation auf 60% der Ökosystemfläche des Oberrheins über 18 000 µg/m³.h. (Abbildung links). Im selben Jahr lag der AOT-Wert für Wälder auf dem Großteil des Oberrheingebiets über 20 000 µg/m³.h. (Abbildung rechts).

Il existe en outre un indicateur nommé **PODy (Phytotoxic Ozone Dose above a threshold of Y)** permettant **d'obtenir les pertes de rendement et économiques dues à la pollution à l'ozone sur la productivité agricole et sylvicole à l'échelle d'un territoire**.

Darüber hinaus gibt es den **PODy Indikator (Phytotoxic Ozone Dose above a threshold of Y)**, mit welchem sich die **Ertrags- und wirtschaftlichen Verluste aufgrund der Ozonbelastung für die land- und forstwirtschaftliche Produktivität auf regionaler Ebene ermitteln lassen**.

La brochure « Biodiversité et Forêts du Rhin supérieur : Interactions avec l'air et le climat » traite de manière plus détaillée l'AOT Forêt et l'indicateur **PODy**.

Die Broschüre „Biodiversität und Wälder am Oberrhein: Wechselwirkungen mit Luft und Klima“ befasst sich ausführlicher mit dem AOT-Wert für Wälder und dem **PODy**-Indikator.

Ozon und die Auswirkung auf Ökosysteme

Ozone et impact sur les milieux

L'ozone est nocif pour les écosystèmes et les cultures, dans la mesure où il a tendance à endommager les organes foliaires, qui absorbent l'ozone par leurs stomates. Une diminution de la croissance des plantes est possible si la concentration d'ozone reste élevée pendant une période prolongée, ce qui est susceptible d'entraîner une baisse des récoltes et de la qualité dans l'agriculture et la sylviculture.

O₃ kann für die Ökosysteme und Nutzpflanzen schädlich sein, da die Blattorgane O₃ durch ihre Spaltöffnungen aufnehmen und dies zur Zerstörung von Zellstrukturen führen kann. Falls die O₃-Konzentration längere Zeit hoch bleibt, kann es zu einer Verminderung des Pflanzenwachstums kommen und dadurch zu Ernte- und Qualitätseinbußen in der Land- und Forstwirtschaft führen.

Le rôle des précurseurs d'ozone : oxydes d'azote et composés organiques volatiles

Die Rolle der Vorläufersubstanzen: Stickstoffoxide und flüchtige organische Verbindungen

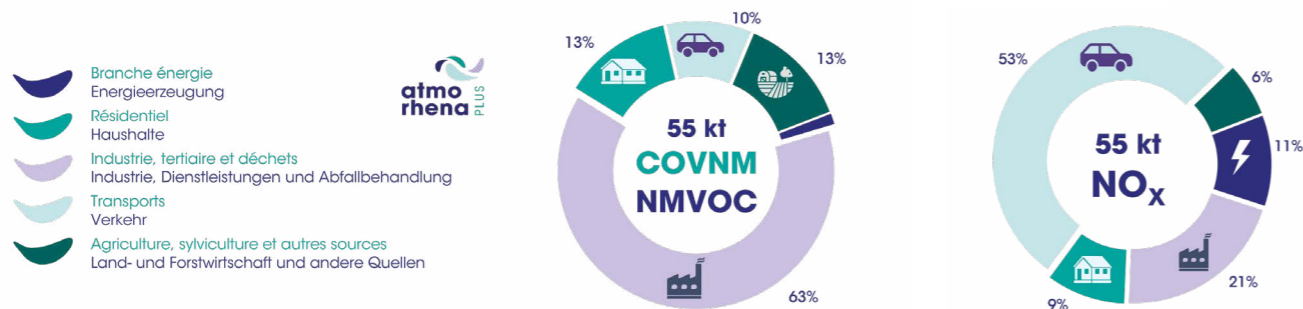
L'ozone n'est pas directement émis, il se forme dans l'air en cas de fort rayonnement solaire mais aussi de températures élevées à partir des polluants que sont les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV). C'est pourquoi l'ozone est considéré comme un polluant atmosphérique « secondaire », et pourquoi les plus fortes concentrations d' O_3 sont observées généralement l'après-midi, de mai à septembre. Inversement, l' O_3 ne se forme plus lorsque le rayonnement solaire et ou des précurseurs, moteurs de son accumulation, font défaut. Enfin, en présence prédominante de NO_x , l'ozone peut globalement voir sa concentration diminuer.

- Oxydes d'azote (NO_x) est un terme générique désignant différents composés gazeux constitués d'atomes d'azote et d'oxygène (NO , NO_2 etc.). Les émissions de NO_x proviennent de l'utilisation de combustibles de tous types (essence, gazole, charbons, gaz naturel, fiouls, biomasse...).
- Les COV sont un groupe de substances organiques volatiles qui sont principalement émises lors de l'utilisation de solvants (les COV sont souvent transformés en solvants tels que les peintures, les vernis, les colles et les détergents) et de la combustion de carburant (les COV sont des composants naturels de l'essence et du diesel). En outre, les COV proviennent de composés naturellement présents ou produits (par exemple, les terpènes des forêts).

Bodennahes O_3 wird nicht direkt emittiert, sondern entsteht in der Luft aus Schadstoffen wie Stickstoffoxide (NO_x) und flüchtige organische Verbindungen (VOCs) in Kombination mit starker Sonneneinstrahlung ("photochemische Reaktion") und hohen Temperaturen. Daher wird O_3 als sekundärer Luftschadstoff bezeichnet und die höchsten O_3 -Konzentrationen treten in der Regel in den Nachmittagsstunden von Mai bis September auf. Umgekehrt bildet sich O_3 nicht mehr, wenn die Sonneneinstrahlung und/oder die Vorläufersubstanzen, die für seine Anreicherung verantwortlich sind, fehlen. Schließlich kann die Ozonkonzentration insgesamt sinken, wenn NO_x vorherrscht.

- Stickstoffoxide (NO_x) ist ein Sammelbegriff für verschiedene gasförmige Verbindungen, die aus Stickstoff- und Sauerstoffatomen bestehen (NO , NO_2 usw.). NO_x -Emissionen entstehen bei der Verbrennung unterschiedlicher Brennstoffe (Benzin, Diesel, Kohle, Erdgas, Heizöl, Biomasse, usw.).
- VOC bezeichnet eine Stoffgruppe von unterschiedlichen flüchtigen organischen Verbindungen, die vorwiegend beim Einsatz von Lösungsmittel emittiert werden (VOC werden oft zu Lösungsmitteln in z.B. Farben, Lacken, Klebstoffen und Reinigungsmitteln weiterverarbeitet) und bei der Verbrennung von Kraftstoffen (VOC sind natürliche Bestandteile von Benzin und Diesel). Darüber hinaus können VOCs auch natürlichen Ursprungs sein (sogenannte biogene VOCs aus Wäldern).

Emissions de COVNM par secteur pour le Rhin Supérieur en 2021
NMVOC-Emissionen nach Quellengruppen am Oberrhein in 2021



Le **secteur routier** est le principal émetteur d'oxydes d'azote dans le Rhin supérieur, suivi du secteur **industrie-tertiaire-déchets**. Le secteur industrie-tertiaire-déchets est quant à lui le principal émetteur de composés organiques volatils anthropiques dans le Rhin supérieur. C'est donc dans ces secteurs-ci que les actions sont à rechercher. Mais attention, les oxydes d'azotes détruisant également l'ozone dans certaines conditions, les réduire peut s'avérer contreproductif. C'est le cas dans les agglomérations ou le long des axes routiers, où les oxydes d'azote sont particulièrement présents. En revanche, diminuer les COVNM ne peut être que bénéfique sur les niveaux d' O_3 .

Der **Straßenverkehr** ist der größte Emittent von Stickstoffoxiden am Oberrhein, gefolgt vom **Sektor Industrie, Dienstleistungen und Abfallbehandlung**. Die größte Quelle von anthropogenen NMVOCs (flüchtige organische Verbindungen ohne Methan) am Oberrhein ist der Sektor Industrie, Dienstleistungen und Abfallbehandlung. Daher sind Maßnahmen in diesen Sektoren besonders wichtig. Allerdings ist zu beachten, dass Stickstoffoxide unter bestimmten Bedingungen auch Ozon abbauen, sodass sich eine alleinige Reduzierung der Stickstoffoxide als kontraproduktiv erweisen kann. Dies ist in Ballungsräumen oder entlang von Straßen der Fall, wo Stickstoffoxide besonders häufig vorkommen. Eine Verringerung der NMVOC hingegen kann sich nur positiv auf die O_3 -Konzentrationen auswirken.

Remarque

Les composés organiques volatils sont également en partie d'origine biotique. Sur ces émissions, qui engendrent une part de l'ozone présent de manière générale, il n'y a pas d'actions d'amélioration à envisager, ce qui limite les possibilités d'agir sur l'ozone.

Anmerkung

VOCs sind zu einem Teil auch biogenen Ursprungs. Bei diesen Emissionen, die auch zur Ozonbildung beitragen, sind keine Verbesserungsmaßnahmen zu erwarten, was die Möglichkeiten zur Beeinflussung der Ozonbildung einschränkt.

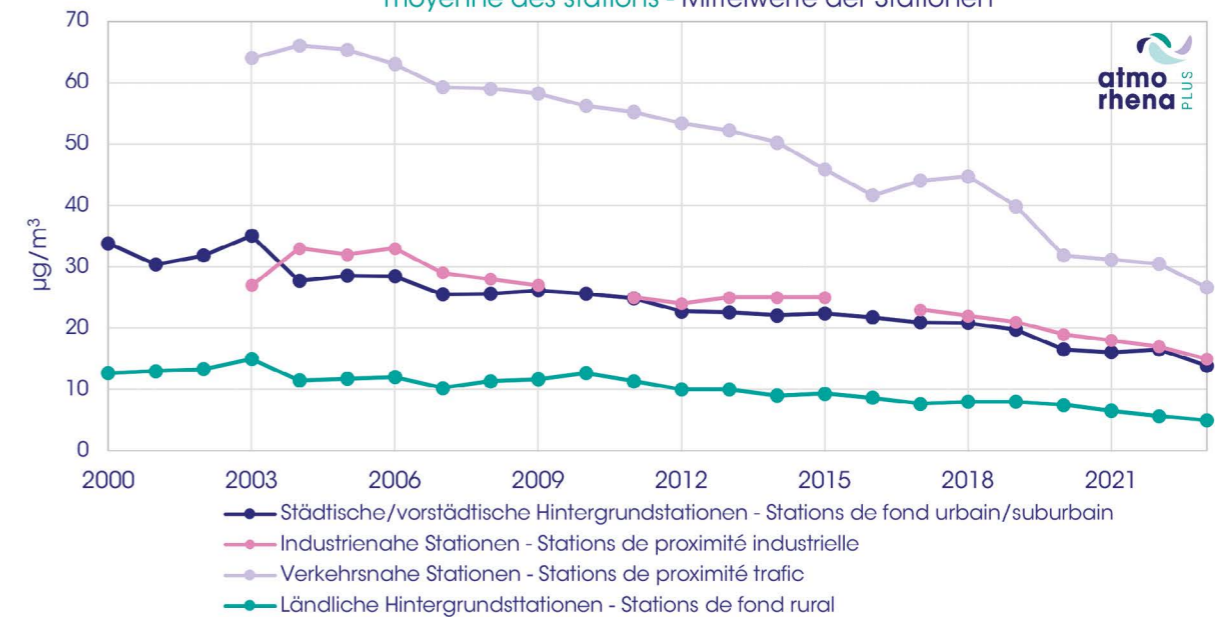
Réduction des précurseurs

Les mesures des concentrations de NO_2 et de COV (impliqués dans la chimie de l'ozone) sur différents sites montrent une diminution constante. Il existe 10 substances COV contribuant à la formation d'ozone (notamment le toluène et les xylènes) et qui sont mesurées aussi bien en France qu'en Suisse dans le Rhin supérieur et peuvent donc faire l'objet d'une comparaison transfrontalière. Les substances significatives pouvant avoir une incidence sur l'ozone sont celles qui sont présentes en concentration élevée dans l'air ou qui ont un potentiel élevé de formation d'ozone. Le paramètre total (somme des concentrations de substances individuelles favorisant l'ozone, comme par exemple le toluène et le xylène) a particulièrement diminué sur les sites exposés au trafic, ce qui est dû au renforcement des valeurs limites des gaz d'échappement.

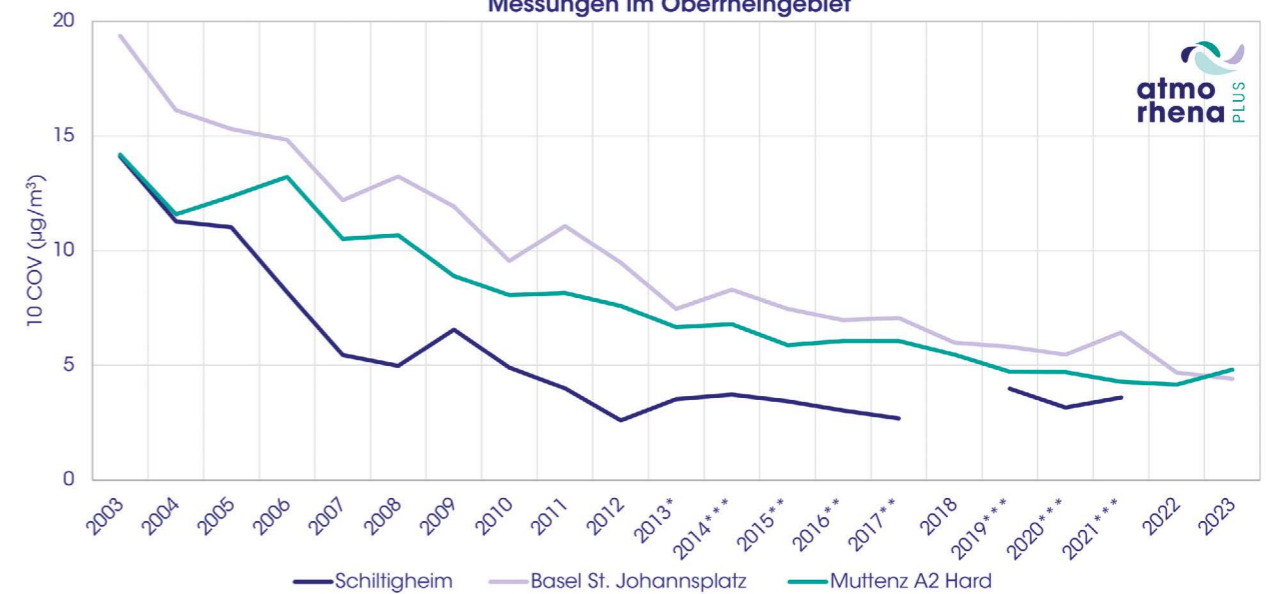
Reduktion von Vorläufersubstanzen

Die Messungen der Konzentrationen von NO_2 und der VOC (die für die Ozonbildung relevant sind) an unterschiedlichen Standorten zeigen eine stetige Abnahme. Es gibt 10 ozonfördernde VOC-Komponenten (u.a. Toluol und Xylole), die sowohl in Frankreich als auch in der Schweiz im Oberrheingebiet gemessen werden und somit länderübergreifend verglichen werden können. Ozonrelevant können VOC-Komponenten sein, die entweder in erhöhter Konzentration in der Luft vorkommen oder ein erhöhtes Potential zur Ozonbildung haben. Der Gesamtparameter (Summe der Konzentrationen einzelner ozonbildender Stoffe wie beispielsweise Toluol und Xylole) hat insbesondere an verkehrsexponierten Standorten abgenommen, was primär auf die verschärften Abgasvorschriften zurückzuführen ist.

Evolution des moyennes annuelles de NO_2 dans le Rhin supérieur
Entwicklung der NO_2 -Jahresmittelwerte im Oberrheingebiet
moyenne des stations - Mittelwerte der Stationen



Evolution des moyennes annuelles de 10 COV précurseurs d'ozone (somme)
Mesures dans le Rhin supérieur
Entwicklung der Jahresmittelwerte von 10 ozonfördernden VOC-Substanzen (Summe)
Messungen im Oberrheingebiet



* entre 75 et 85% des données sur l'année / zwischen 75 und 85 % der Daten des Jahres
** entre 50 et 75% des données sur l'année / zwischen 50 und 75 % der Daten des Jahres
*** entre 30 et 50% des données sur l'année / zwischen 30 und 50 % der Daten des Jahres

Quel précurseur cibler pour réduire l'ozone ?

Auf welchen Vorläuferstoff sollte man sich bei der Ozonreduktion konzentrieren?

La chimie de l'ozone étant non linéaire il n'est pas évident de savoir sur quel précurseur agir en chaque endroit du territoire pour réussir à avoir un impact sur l'ozone. Des modélisations réalisées dans le cadre du projet apportent des réponses à cette question.

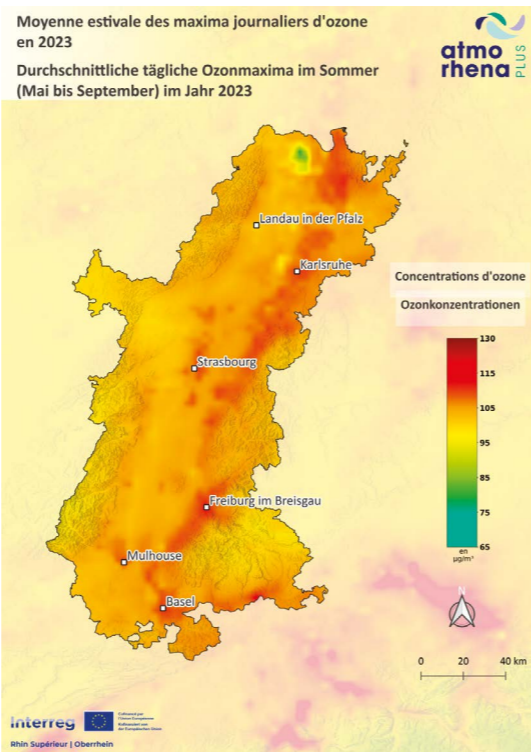
Da die Bildung von Ozon nichtlinear verläuft ist, ist es nicht einfach zu bestimmen, auf welchen Vorläuferstoff an den einzelnen Standorten eingewirkt werden muss, um eine Wirkung auf die Ozonkonzentrationen zu erzielen. Modellierungen, die im Rahmen des Projekts durchgeführt wurden, liefern Antworten auf diese Frage.

L'ozone est en partie importé de régions voisines, en partie piloté par des réactions chimiques à partir des COV et NO_x précurseurs émis dans la région.

La carte ci-contre montre la moyenne estivale (mai à septembre) des maxima journaliers d'ozone en 2023 : elle oscille autour de 100 µg/m³ selon les zones géographiques, avec des valeurs légèrement inférieures sur les reliefs, et supérieures (de l'ordre de 105 µg/m³) en plaine et autour des agglomérations.

Ozone wird zu einem Teil aus benachbarten Regionen eingetragen, zum anderen Teil entsteht es durch chemische Reaktionen aus den in der Region emittierten Vorläuferstoffen VOC und NO_x.

Die nebenstehende Karte zeigt den sommerlichen (Monate Mai bis September) Durchschnitt der täglichen Ozonhöchstwerte im Jahr 2023. Er schwankt je nach geografischem Gebiet um 100 µg/m³, wobei die Werte in den Gebirgsregionen etwas niedriger und in den Ebenen sowie in der Umgebung von Ballungsräumen höher (in der Größenordnung von 105 µg/m³) ausfallen.

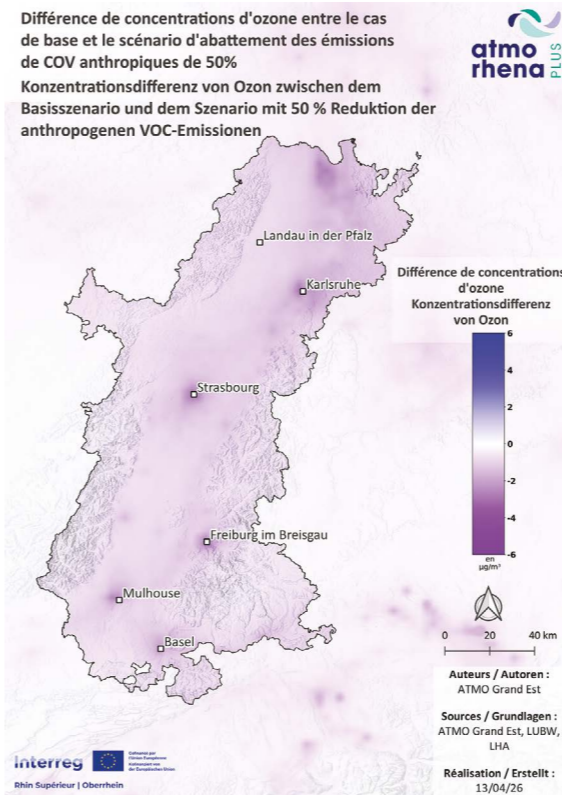
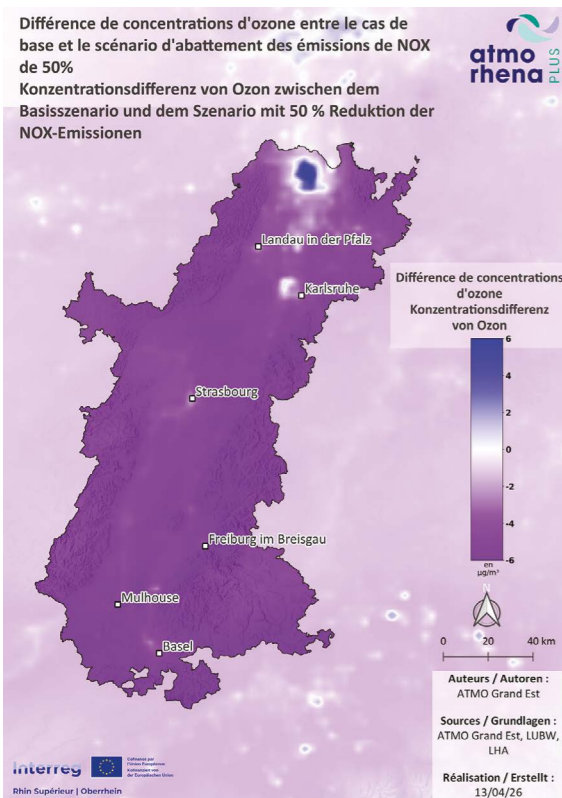


La carte suivante montre la variation de cette moyenne estivale d'ozone lorsque les émissions anthropiques de NO_x du Rhin supérieur et au-delà, tous secteurs confondus, sont réduites de 50% :

- Globalement la moyenne estivale d'ozone diminue jusqu'à - 6µg/m³, notamment hors agglomérations.
- Elle diminue beaucoup moins dans la plupart des agglomérations (comme Strasbourg, Colmar, Mulhouse, Karlsruhe ou Bâle).
- Elle peut augmenter jusqu'à + 6µg/m³ dans des agglomérations comme celle de Mannheim.

Die folgende Karte links zeigt die Veränderung des sommerlichen Ozonmittelwertes, wenn die anthropogenen NO_x-Emissionen am Oberrhein und darüber hinaus - alle Sektoren zusammengenommen - um 50 % reduziert werden:

- Insgesamt sinkt der sommerliche Ozon-Durchschnittswert um bis zu - 6 µg/m³, insbesondere außerhalb von Ballungsräumen.
- In den meisten Ballungsräumen (wie Straßburg, Colmar, Mulhouse, Karlsruhe oder Basel) sinkt er deutlich weniger.
- In Ballungsräumen wie Mannheim kann er um bis zu + 6 µg/m³ ansteigen.



La carte suivante montre la variation de la moyenne estivale d'ozone lorsque les émissions de COV anthropiques du Rhin supérieur et au-delà, tous secteurs confondus, sont réduites de 50% :

- Ces baisses d'émissions de COV ont toujours pour conséquence une diminution de l'ozone,
- De l'ordre de quelques µg/m³ dans les agglomérations,
- Plus faible en dehors des agglomérations.

Die folgende Karte links zeigt die Veränderung des sommerlichen Ozonmittelwertes, wenn die anthropogenen VOC-Emissionen am Oberrhein und darüber hinaus - alle Sektoren zusammengenommen - um 50 % reduziert werden:

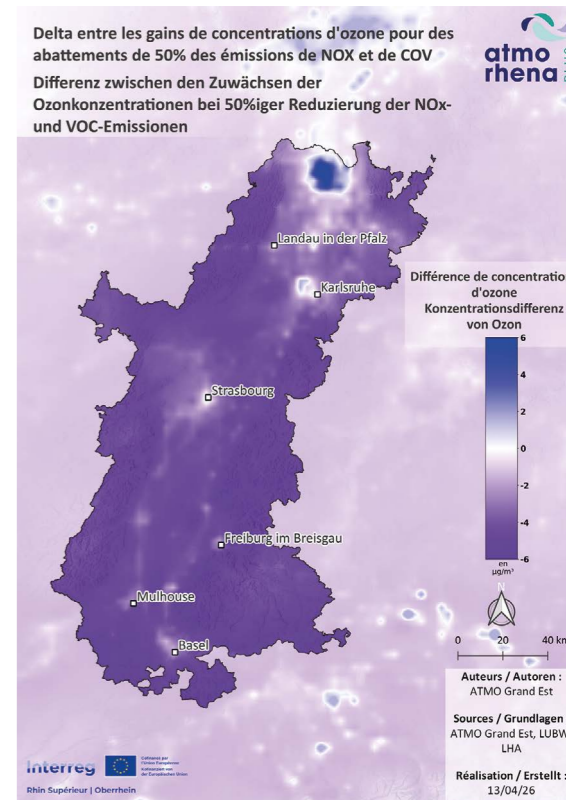
- Diese Rückgänge der VOC-Emissionen führen stets zu einer Verringerung der Ozonkonzentrationen,
- In Ballungsräumen gehen die Ozonkonzentrationen in der Größenordnung von einigen µg/m³ zurück,
- Außerhalb von Ballungsräumen ist die Abnahme nur gering.

La carte suivante montre, par différence, les zones où la réduction de NO_x permet davantage de baisser l'ozone (en violet) que la réduction de COV (en bleu). Les zones où les impacts sont équivalents apparaissent en blanc.

- En dehors des agglomérations, la diminution des NO_x conduit à de plus grandes baisses d'ozone que des diminutions de COV. Les principaux secteurs émetteurs de NO_x peuvent être ciblés pour réduire l'ozone, comme le transport routier. Des réductions d'émissions de COV anthropiques n'apporteront que peu de gains.
- En agglomération (sauf exception de Mannheim), les diminutions de NO_x et de COV ont des impacts similaires et faibles pour réduire l'ozone. Les principaux secteurs émetteurs de NO_x et de COV peuvent être ciblés, comme le transport routier, l'industrie, le tertiaire et le traitement des déchets.

Die Karte rechts zeigt durch Subtraktion die Gebiete, in denen eine Verringerung der NO_x-Emissionen zu einer stärkeren Senkung des Ozongehalts führt (violett) als eine Verringerung der VOC-Emissionen (blau). Gebiete, in denen die Auswirkungen gleichwertig sind, sind weiß dargestellt.

- Außerhalb von Ballungsräumen führt eine Verringerung der NO_x-Emissionen zu einer stärkeren Senkung des Ozongehalts als eine Verringerung der VOC-Emissionen. Die wichtigsten NO_x-emittierenden Sektoren, wie beispielsweise der Straßenverkehr, können gezielt zur Reduzierung des Ozongehalts angegangen werden. Eine Verringerung der anthropogenen VOC-Emissionen wird hingegen nur geringe Vorteile bringen.
- In Ballungsräumen (mit Ausnahme von Mannheim) haben die Reduzierungen von NO_x und VOCs einen ähnlichen und geringen Einfluss auf die Verringerung des Ozongehalts. Die wichtigsten Sektoren, aus denen NO_x und VOC freigesetzt werden, können gezielt angegangen werden, wie beispielsweise der Straßenverkehr, die Industrie, der Dienstleistungen und die Abfallbehandlung.



Conclusion

Comment agir pour réduire les émissions de précurseurs de l'ozone ?

- Éviter les machines et les appareils avec réservoirs d'essence dans les jardins ou pour l'entretien des espaces verts pour éviter l'évaporation (remplacement par des outils électriques),
- Utiliser des peintures, vernis, décapants, etc. sans ou avec peu de solvants pour l'usage domestique et dans les petites entreprises.
- Encourager le covoiturage, l'utilisation des transports en commun ou du vélo,
- Lors de l'achat d'un véhicule, privilégier les classes d'émissions EURO supérieures (voitures électriques, Euro 6 ou Euro 5),
- Réduire la demande d'électricité afin de diminuer les émissions des centrales électriques (par ex. NO_x).

● Les pics d'ozone sont moins fréquents et les indicateurs de valeurs hautes ont tendance à diminuer. Cela correspond aux tendances observées pour les concentrations des précurseurs. À l'exception de certaines régions, les mesures visant à réduire les émissions de NO_x et de COV entraînent également une diminution des pics d'ozone.

● Puisque l'ozone a un caractère interrégional, il nécessite des actions conjointes de lutte contre les émissions de précurseurs à grande échelle géographique.

● On observe toutefois une augmentation des moyennes annuelles d'ozone, potentiellement liée au changement climatique.

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

- Emissions de polluants de l'air
- Biodiversité et forêts du Rhin supérieur : Interaction avec l'air et le climat
- Air et climat : défis pour l'agriculture dans le Rhin supérieur
- Cartes de concentration (2023) dans le Rhin supérieur
- Valeurs actuelles, prévisions et cartes annuelles

Fazit

Was kann man selber tun um die Emission von Ozon-Vorläuferstoffen zu verringern?

- Vermeidung von Maschinen und Geräten mit Benzintanks im Garten oder für die Pflege von Grünflächen, um eine Verdunstung von VOCs zu vermeiden (Ersatz durch Elektrowerkzeuge),
 - Verwendung von lösemittelfreien oder -armen Farben, Lacken, Abbeizmitteln usw. im Haushalt und im Kleingewerbe,
- Bevorzugung der Bildung von Fahrgemeinschaften, Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel oder Nutzung des Fahrrads,
 - Bevorzugung von Fahrzeugen höherer EURO-Abgasstufen (E-Auto, Euro 6 oder Euro 5),
 - Verringerung des Strombedarfs, um Kraftwerksemissionen (z.B. NO_x) zu senken.

● Ozonspitzen treten seltener auf, und die Werte für hohe Ozonkonzentrationen sind tendenziell rückläufig. Dies entspricht den Trends bei den Konzentrationen der Vorläufersubstanzen. Mit Ausnahme bestimmter Gebiete, Maßnahmen zur Reduzierung von NO_x- und VOC-Emissionen führen auch zur Reduktion von Ozonspitzen.

● Da Ozon grenzüberschreitenden Charakter hat, erfordert es gemeinsame Maßnahmen zur Bekämpfung der Vorläufersubstanzen über große geografische Gebiete hinweg.

● Jedoch ist ein Anstieg der jährlichen Ozon-Durchschnittswerte zu beobachten. Dies steht möglicherweise im Zusammenhang mit dem Klimawandel.

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

- Emissionen von Luftschadstoffen
- Biodiversität und Wälder am Oberrhein: Wechselwirkungen mit Luft und Klima
- Luft und Klima: Herausforderungen für die Landwirtschaft am Oberrhein
 - Konzentrationskarten (2023) am Oberrhein
 - Aktuelle Werte, Prognosen sowie Jahreskarten



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



Lufthygieneamt beider Basel



Baden-Württemberg
Landesanstalt
für Umwelt



ortenauer
energieagentur.

Partenaires co-financeurs Kofinanzierende Projektpartner



Kanton Basel-Stadt

