



Ultrafeine Partikel (UFP)

Kurzüberblick und erste Messergebnisse aus Baden-Württemberg

Was sind Ultrafeine Partikel (UFP)?

Als Ultrafeine Partikel (UFP) bzw. Ultrafeinstaub werden Staubpartikel mit einem Durchmesser kleiner als 100 Nanometer (nm) bezeichnet. Sie sind Bestandteil der Feinstaubfraktion (PM₁₀, PM_{2,5}), tragen aufgrund ihrer geringen Größe aber nur sehr wenig zur Feinstaubmasse bei. Im Partikelgrößenbereich der UFP befinden sich hingegen die meisten Feinstaubpartikel. Die UFP-Konzentrationen werden deshalb über die Partikelanzahl pro Kubikzentimeter Luft (1/cm³) angegeben.

Woher stammen UFP?

UFP können bei nahezu allen natürlichen oder durch den Menschen verursachten Verbrennungsprozessen entstehen und dabei direkt als Partikel freigesetzt werden oder im Abgas entstehen. Zudem können sich UFP über chemisch-physikalische Prozesse in der Atmosphäre aus gasförmigen Vorläufersubstanzen bilden.

Hohe UFP-Konzentrationen treten vor allem in der Nähe viel befahrener Straßen, industrieller Anlagen oder Flughäfen auf. Zudem werden Ultrafeine Partikel vor allem durch Feuerungsanlagen im Haushalt (Heizen), in der Energiewirtschaft, im Gewerbe oder in der Landwirtschaft freigesetzt.

Wie verhalten sich UFP in der Atmosphäre?

UFP sind so klein, dass sie ähnliche chemisch-physikalische Eigenschaften wie Gase oder Moleküle aufweisen. Sie reagieren meist innerhalb weniger Stunden mit anderen Partikeln in der Atmosphäre oder verbinden sich mit ihnen zu wiederum größeren Partikeln. Die Anzahl an UFP nimmt deshalb im Laufe der Zeit ab. Die kurze Lebensdauer der Ultrafeinen Partikel führt dazu, dass sich die Konzentrationen von Ort zu Ort deutlich voneinander unterscheiden können, anders als die wesentlich langlebigeren Feinstaubpartikel (PM₁₀ und PM_{2,5}).

Sind UFP gefährlich?

Medizinische Studien zeigen, dass kleinste Partikel bis tief in die Lunge und die Lungenbläschen vordringen können, sich ablagern oder in Zellen und womöglich ins Blut übergehen können. Die Auswirkungen von UFP auf die Gesundheit sind jedoch noch nicht ausreichend in epidemiologischen Langzeitstudien untersucht worden, auch deshalb, weil es weltweit noch nicht ausreichend viele Messdaten gibt. Eine Ableitung von Grenzwerten ist damit aktuell nicht möglich. Aufgrund der möglichen Gesundheitsrelevanz wird jedoch in der aktuellen Leitlinie der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zur Luftqualität sowie in der neuen EU-Luftqualitätsrichtlinie von 2024 die Messung von UFP zukünftig explizit gefordert.

Wie werden UFP gemessen?

Im Gegensatz zum Feinstaub (PM_{10} , $PM_{2,5}$), dessen Konzentration als Masse in der Einheit Mikrogramm pro Kubikmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) angegeben wird, werden UFP gezählt. Die übliche Einheit für UFP ist Partikel pro Kubikzentimeter ($1/\text{cm}^3$). Die Zählung der UFP kann über sogenannte Kondensationspartikelzähler (CPC, Condensation Particle Counter) erfolgen. Zudem ist es mithilfe aufwändigerer Messgeräte möglich auch die Größe bzw. die Größenverteilung der Partikel zu messen. Dafür werden Mobilitätsspektrometer verwendet, z. B. in Form von MPSS (Mobility Particle Size Spectrometer).

Die LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg hat neben CPC- und MPSS-Geräten umfangreiche Tests mit den preisgünstigeren Handmessgeräten „Partector 2“ der Firma Naneos Particle Solutions GmbH durchgeführt. Die Tests haben ergeben, dass sich die Partectoren sehr gut für mindestens orientierende UFP-Messungen eignen. Die Messgeräte bieten einen flexiblen Einsatz, benötigen wenig Wartung und weisen einen Messbereich von 10 nm bis 300 nm Partikelgröße auf. Die neue Generation dieser Geräte kann neben der Partikelanzahl auch die Partikelanzahlgrößenverteilung in 8 verschiedenen Größenklassen bestimmen.

Da sich die meisten Partikel vor allem im sehr kleinen Größenbereich befinden, ist es entscheidend, mit welcher unteren Grenze die Geräte die UFP detektieren. Um die Messergebnisse unterschiedlicher Messgeräte besser vergleichen zu können, wurde eine untere Grenze der Partikelgröße von 10 nm festgelegt. Beim Vergleich von UFP-Messergebnissen ist daher immer darauf zu achten, in welchem Partikelgrößenbereich gemessen wurde. Zudem können die UFP-Messgeräte in der Regel auch Partikel außerhalb des ultrafeinen Partikelgrößenbereichs (> 100 nm) erfassen. Die obere Grenze hat jedoch so gut wie keinen Einfluss auf die Gesamtpartikelanzahl, weshalb hierfür kein Wert festgelegt wurde.

Die genannten UFP-Messmethoden bzw. Geräte CPC, MPSS und Partectoren sind nach DIN- bzw. VDI-Normen standardisierte Messverfahren.

Wie hoch ist die UFP-Belastung in Deutschland?

In Deutschland gibt es ein kooperatives Netzwerk für UFP-Messungen, das sogenannte GUAN – German Ultrafine Aerosol Network. Es beinhaltet derzeit 17 über ganz Deutschland verteilte Messstellen. Im Jahr 2019 wurden die bis dahin erfassten Messwerte für verschiedene Stationskategorien veröffentlicht. Die Ergebnisse zeigen, wie stark sich die UFP-Konzentrationen an unterschiedlichen Regionen bzw. Messpunkten voneinander unterscheiden können (Abbildung 1).

Die Werte reichen von unter 1.000 Partikel pro Kubikzentimeter Luft ($1/\text{cm}^3$) im hochalpinen Bereich über 6.000 bis 7.000 cm^{-3} im städtischen Hintergrund bis zu rund 12.000 cm^{-3} an verkehrsnahen Messstellen. In Hessen werden seit mehreren Jahren UFP-Konzentrationen im Umfeld des Frankfurter Flughafens gemessen. Es wurden Werte von im Mittel bis über 30.000 cm^{-3} (N_{10-500}) bestimmt, bei Anströmung aus Richtung des Frankfurter Flughafens zeitweise auch mehr.

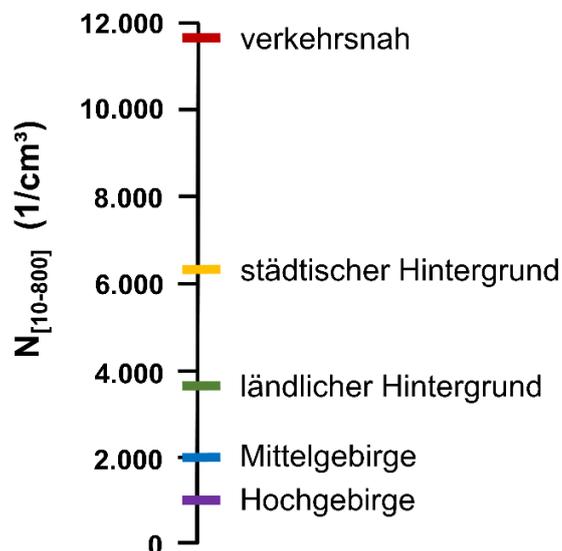


Abbildung 1: Mittlere Partikelanzahlkonzentrationen (N) im Größenbereich von 10 nm bis 800 nm für unterschiedliche Stationskategorien in Deutschland gemessen zwischen 2009 und 2014 an GUAN-Messstellen

UFP-Messungen in Baden-Württemberg

Die LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg startete im Frühjahr 2023 mit den ersten längerfristigen UFP-Messungen an 6 Messstellen im Land (Abbildung 2). An allen Messstellen waren jeweils zwei Partectoren parallel im Einsatz. An den Messstellen Eggenstein und Bernhausen waren zusätzlich zu den Partectoren auch ein CPC und ein MPSS in Betrieb. Die auf der Karte dargestellten UFP-Konzentrationen sind die Mittelwerte aus denen im Jahr 2023 verfügbaren Messwerte (Messzeiträume siehe Tabelle 1). Alle gezeigten Messergebnisse stammen ausschließlich aus den Messungen mit den Partectoren.

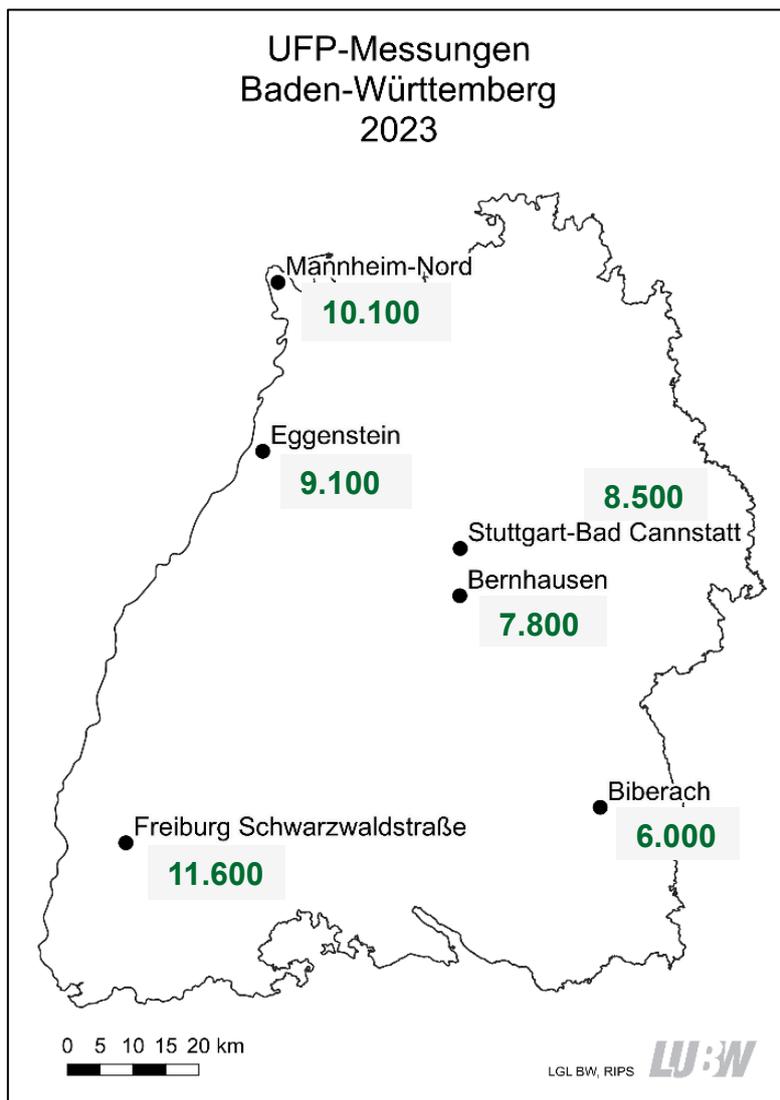


Abbildung 2: Übersicht der UFP-Messstationen und der für die jeweiligen Messzeiträume gemittelten UFP-Konzentrationen (1/cm³) in Baden-Württemberg 2023

UFP-Konzentrationen in Baden-Württemberg 2023

Die höchsten UFP-Konzentrationen traten an der verkehrsnahen Messstelle Freiburg Schwarzwaldstraße auf, gefolgt von den Stationen Mannheim-Nord und Eggenstein mit Industrieeinfluss. Die Stationen Stuttgart-Bad Cannstatt und Bernhausen zeigen vergleichbare UFP-Konzentrationen, während die niedrigsten Werte an der Messstelle Biberach im ländlichen landwirtschaftlich geprägten Umfeld gemessen wurden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht der UFP-Konzentrationen sowie der Konzentrationen von Feinstaub PM_{10} und $PM_{2,5}$ in Baden-Württemberg im Jahr 2023

Messstelle	UFP $N_{[10-300]}$ (1/cm ³)	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Messstellen- Charakteristik	Messzeitraum
Freiburg Schwarzwaldstraße	11.600	11	6	Verkehr	01.03.-31.12.2023
Mannheim Nord	10.100	13	7	städtischer HG*, Industrie	01.03.-31.12.2023
Eggenstein	9.100	12	7	städtischer HG*, Industrie	22.04.-31.12.2023 (mit Datenlücken)
Stuttgart-Bad Cannstatt	8.500	13	8	Innerstädtischer HG*	01.03.-31.12.2023
Bernhausen	7.800	12	7	städtischer HG*, Nähe Flughafen	22.04.-31.07.2023 (mit Datenlücken)
Biberach	6.000	12	7	städtischer HG*, Landwirtschaft	01.03.-31.12.2023

* HG = Hintergrund



Die UFP-Konzentrationen unterscheiden sich zwischen den Messstellen stärker als die Konzentrationen von PM_{10} und $PM_{2,5}$. Zudem wird deutlich, dass ein Rückschluss von den UFP-Konzentrationen auf die Feinstaubkonzentrationen oder umgekehrt nicht möglich ist. An der Messstelle Freiburg Schwarzwaldstraße liegen z. B. die UFP-Konzentrationen deutlich höher als in Biberach, während in Biberach die Feinstaubkonzentrationen in demselben Zeitraum höher sind als in der Freiburger Schwarzwaldstraße (siehe auch Abbildung 4 – Schadstoffrosen Bernhausen).

Die bisher in Baden-Württemberg gemessenen UFP-Konzentrationen befinden sich in ähnlichen Konzentrationsbereichen wie die Mittelwerte aus den GUAN-Messungen. Die Werte sind aber aufgrund der von den Messgeräten unterschiedlichen Messbereichen hinsichtlich der Partikelgröße nicht direkt miteinander vergleichbar.

UFP-Messungen im Umfeld des Stuttgarter Flughafens 2023

Die UFP-Messungen in Bernhausen wurden vor allem im Hinblick auf den Stuttgarter Flughafen eingerichtet. Die UFP-Konzentrationen in Bernhausen lagen im Jahr 2023 mit 7.800 cm^{-3} auf einem vergleichbar niedrigen Niveau in Baden-Württemberg. Im Vergleich zu anderen UFP-Messungen in der Nähe von Flughäfen (z. B. Frankfurt) sind die UFP-Konzentrationen in Bernhausen deutlich niedriger.

Mithilfe der an der Messstelle Bernhausen erfassten Winddaten lässt sich über sogenannte Schadstoffrosen zeigen, wie hoch die durchschnittliche UFP-Konzentration in Abhängigkeit der Windrichtung und Windgeschwindigkeit ist. Es zeigt sich, dass erhöhte UFP-Konzentrationen bei sehr geringen Windgeschwindigkeiten und bei Wind aus allen Himmelsrichtungen auftreten, was auf lokale UFP-Emissionen im direkten Umfeld der Messstelle hindeutet. Zudem zeigen sich erhöhte UFP-Konzentrationen bei Wind aus Richtung des Stuttgarter Flughafens mit unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten (Abbildung 3 und 4). Der Stuttgarter Flughafen trägt also zur UFP-Belastung in Bernhausen bei, allerdings sind die UFP-Konzentrationen dort vergleichsweise niedrig.

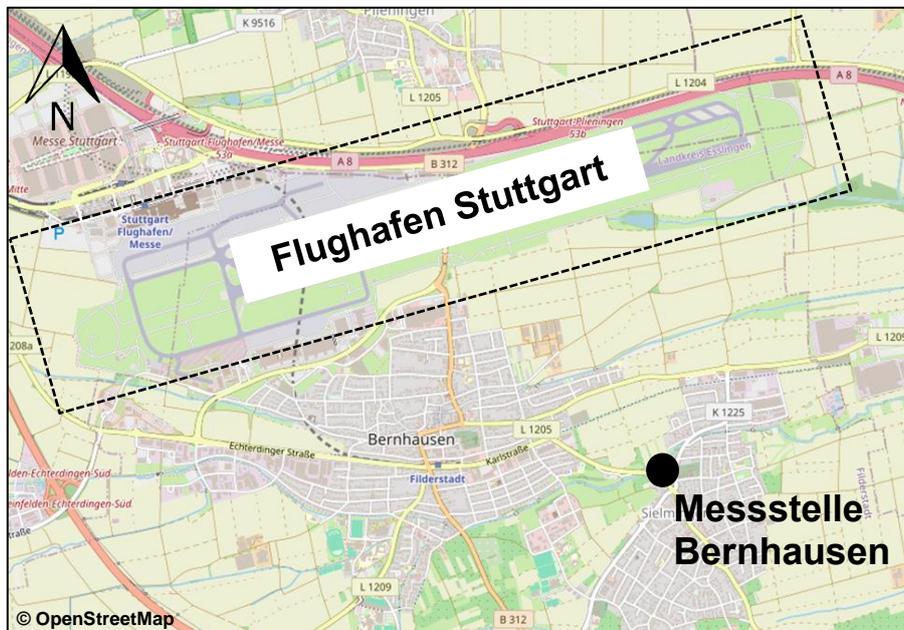


Abbildung 3: Lage der UFP-Messstelle Bernhausen und des Stuttgarter Flughafens

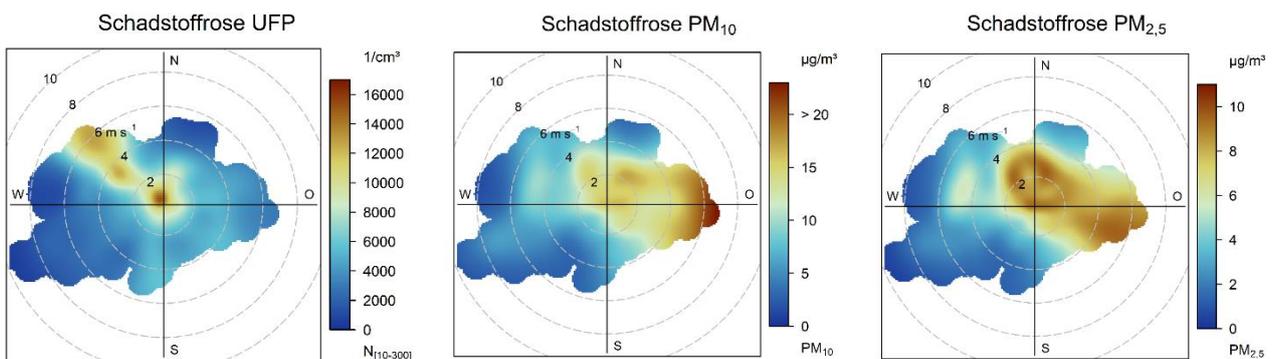


Abbildung 4: Mittlere Konzentrationen von UFP, PM_{10} und $PM_{2.5}$ in Abhängigkeit der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit an der Messstelle Bernhausen im Jahr 2023

Ausblick

Die UFP-Messungen in Baden-Württemberg werden fortgesetzt mit dem Ziel, auch an weiteren Messstellen im Land Erkenntnisse über die UFP-Konzentrationen zu gewinnen.

Die Messgeräte (Partector 2) der Stationen Biberach und Freiburg Schwarzwaldstraße wurden zum Jahr 2024 an die Stationen Mannheim Friedrichsring und Schwäbische Alb verlegt. Die Messungen auf der Schwäbischen Alb sollen Erkenntnisse zur UFP-Konzentration im ländlichen Hintergrund liefern, fernab von städtischem Einfluss. Der Messpunkt Mannheim Friedrichsring ermöglicht zum einen die Erfassung von UFP an einer weiteren verkehrsnahen Messstelle und zum anderen soll er als zusätzlicher Messpunkt in Mannheim weitere Erkenntnisse hinsichtlich der räumlichen Verteilung von UFP-Quellen in Mannheim bringen.

Zukünftig soll ein Teil der Partectoren im jährlichen Wechsel an immer neuen Messstellen eingesetzt werden, um einen Überblick über die UFP-Konzentrationen im Land zu bekommen.

Zusammenfassung

- Für die UFP-Messung gibt es inzwischen standardisierte Messverfahren.
- Derzeit liegen noch nicht ausreichend Studien zur Auswirkung von UFP auf die Gesundheit vor → Im Moment gibt es keine Grenzwerte für UFP.
- Die neue EU-Luftqualitätsrichtlinie von 2024 fordert ab 2030 UFP-Messungen an ausgewählten Messstationen.
- Die LUBW betreibt seit 2023 ein UFP-Messnetz in Baden-Württemberg mit 6 UFP-Messstellen an unterschiedlich beeinflussten Messpunkten (Verkehr, Flughafen, städtischer Hintergrund) → einzelne Messpunkte werden jährlich verschoben, um einen Überblick über die UFP-Konzentrationen in ganz Baden-Württemberg zu bekommen.
- Die mittleren UFP-Konzentrationen im Jahr 2023 liegen in Baden-Württemberg in ähnlichen Konzentrationsbereichen wie die der deutschlandweiten Messungen des GUAN-Netzwerks (Achtung: etwas anderer Partikelgrößenbereich).
- UFP sind bezüglich ihres Verhaltens in der Atmosphäre und teilweise auch bezüglich ihrer Quellen nicht vergleichbar mit Feinstaub PM_{10} oder $PM_{2,5}$.
- Die UFP-Konzentrationen in Bernhausen werden vom Stuttgarter Flughafen mit beeinflusst, liegen aber in einem verhältnismäßig niedrigen Konzentrationsbereich – vor allem im Vergleich zu anderen Messungen in der Nähe von Flughäfen (z. B. Frankfurt).

Weitere Informationen zum Thema UFP

- Flughafen Frankfurt:
 - o Homepage: <https://www.fraport.com/de/nachhaltigkeit/nachbarschaftsdialog/laerm-und-luft/luftqualitaet.html> > UFP
 - o Infoblatt: https://www.fraport.com/content/dam/fraport-company/images/umwelt/klimaschutz/luftqualitaet/C3%A4t/pdfs/luftqualitaet-ufp.pdf/jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/luftqualitaet-ufp.pdf

- Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG):
 - o Homepage: <https://www.hlnug.de/themen/luft/luftqualitaet/sondermessprogramme/ultrafeine-partikel>
 - o Infoblatt: https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/luft/sonstige_berichte/ufp/UFP_Hintergrundinformation_2019.08.09.pdf
 - o UFP-Bericht 2022: <https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/luft/luftqualitaet/sondermessprogramme/ufp/UFP-Bericht-4.pdf>

- Umweltbundesamt (UBA):
 - o Homepage: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe-im-ueberblick/feinstaub/fragen-antworten-ultrafeine-partikel>

- Bayerisches Landesamt für Umwelt:
 - o Homepage: https://www.lfu.bayern.de/luft/ufp_messung/index.htm > UFP

BEARBEITUNG

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
Referat 33 – Luftqualität, Immissionsschutz

STAND

03. Dezember 2024