



Methodenkonzept Biomonitoring

Zusammenstellung der in den Bundesländern eingesetzten Biomonitoring-Verfahren

2025

IMPRESSUM

Herausgeber Vorsitz	Arbeitskreis Bioindikation/ Wirkungsermittlung der Landesumweltämter Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Fachbereich 31 Immissionswirkungen Leibnizstraße 10 45659 Recklinghausen Recklinghausen (März 2025)
Autorinnen	Dr. Katja Hombrecher (LANUV NRW), Dr. Jutta Köhler (LfU Bayern), Dr. Raphaela Osterauer, Hannah Schäfer (beide LUBW), Irene Ehlert (LAU Sachsen- Anhalt)
Kontakt	katja.hombrecher@lanuv.nrw.de 0201/7995 – 1186

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Auswahl des Verfahrens.....	5
3	Kurzportraits der Verfahren	6
3.1	Verfahren der standardisierten Graskultur/ Richtlinie VDI 3957 Blatt 2	7
3.2	Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl/ Richtlinie VDI 3957 Blatt 3.....	9
3.3	Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl – Bewertung von Schadstoffgehalten in Nahrungspflanzen für den menschlichen Verzehr/ Richtlinie VDI 3957 Blatt 4	11
3.4	Verfahren der standardisierten Exposition von Mangold	13
3.5	Löwenzahnscreening/ Richtlinie VDI 3957 Blatt 7	15
3.6	Fichtenmonitoring/ in Anlehnung an Richtlinie VDI 3957 Blatt 11	16
3.7	Schadstoffmonitoring in Vegetationsproben.....	17
3.8	Vegetationsmonitoring in Wald und Grünland	19
3.9	Schadstoffmonitoring in Wanderfalkeneiern	21
3.10	Schadstoffmonitoring in Regenwürmern	23
3.11	Regenwurmmonitoring (Population).....	25
3.12	Collembolenmonitoring in Wald und Grünland (Population)	27
3.13	Passives Moosmonitoring – Akkumulation von Luftschadstoffen, DIN EN 16414.....	28
3.14	Flechtenmonitoring, Richtlinie VDI 3957 Blatt 13	29
3.15	Klimabiomonitoring mit Flechten, Richtlinie VDI 3957 Blatt 20	30
3.16	Flechtenmonitoring	31
3.17	Stadt-Klimabiomonitoring mit Flechten, Richtlinie VDI 3957 Blatt 22 (derzeit in Vorbereitung).....	32
4	Literatur	33

1 Einleitung

Die Natur stellt aufgrund ihres eigenen Wertes und ihrer grundlegenden Funktion für die Erhaltung der Lebensgrundlage der Menschen ein hohes Schutzgut dar. Durch die umfassenden Einflüsse der Menschen in Form von anthropogenen Schadstoffen bis hin zu den Folgen des Klimawandels ergibt sich eine Verantwortung und ein gesetzlich verankerter Auftrag. So wird im Bundesnaturschutzgesetz von Bund und Ländern eine Beobachtung von Natur und Landschaft zur „gezielten und fortlaufenden Ermittlung, Beschreibung und Bewertung des Zustands von Natur und Landschaft und ihrer Veränderungen einschließlich der Ursachen und Folgen dieser Veränderungen“ gefordert (BNatSchG §6, Absatz 1 und 2). Weiter wird im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) gefordert, dass Menschen, Tiere und Pflanzen vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen sind. Zur Überprüfung dieses Ziels können Methoden des Biomonitorings dienen, wie sie in verschiedenen Bundesländern seit vielen Jahren eingesetzt werden.

Biomonitoring beinhaltet die regelmäßig wiederholte Beobachtung und Messung des Zustandes von Organismen und Pflanzen. So können einerseits Reaktionen von verschiedenen Organismen, wie Pflanzen, Tiere, Pilze und Mikroorganismen, auf Schadstoffe in Form spezifischer Symptome untersucht werden. Andererseits kann die Akkumulation von Schadstoffen in den Organismen untersucht werden. Eine Untersuchung der räumlichen Verteilung ist mittels Biomonitoring ebenso möglich wie die Überwachung eines zeitlichen Verlaufs. Die dabei gewonnenen Daten unterscheiden sich grundsätzlich von physikalisch-chemischen Messdaten, wie z. B. der Konzentration oder Depositionsraten der Luftverunreinigungen, Schadstoffgehalten in Böden und Gewässern oder von Schätzwerten aus Modellierungen (vgl. VDI 3957 Blatt 1). Wirkungsuntersuchungen sind demnach durch technische Messungen und modellhafte Ableitungen nicht zu ersetzen. Nur durch Biomonitoring ist die geforderte Kontrolle möglich, denn biologische Systeme zeigen auch Wechselwirkungen an, das heißt mögliche synergistische und antagonistische Effekte gleichzeitig auftretender Schadstoffbelastungen (VDI 3957 Blatt 1) sowie Auswirkungen des Klimawandels.

Biomonitoring kann sowohl präventiv, z. B. zur Erfassung der Hintergrundbelastung und zur Langzeitbeobachtung, als auch im akuten Schadensfall bzw. in der Überwachung von Anlagen eingesetzt werden.

Die Reaktion von Organismen auf Schadstoffeinträge und die Akkumulation von Stoffen hängen von einer Vielzahl endogener und exogener Faktoren ab, z. B. vom Entwicklungszustand der Organismen, vom Untergrund, von der Jahreszeit und von klimatischen und meteorologischen Faktoren. Um die Anreicherung oder die Schädwirkung an unterschiedlichen Messpunkten vergleichen zu können, wird die Variabilität der endogenen und exogenen Faktoren durch Standardisierung auf ein Minimum reduziert (Nobel et al. 2005).

Dieses Methodenkonzept wurde vom Arbeitskreis Bioindikation/ Wirkungsermittlung erstellt, der bereits im Jahr 1979 durch die damaligen Landesämter/-anstalten gegründet wurde. Seine Aufgabe ist die Methodenentwicklung im Bereich der biologischen Umweltbeobachtung und – überwachung.

Dieses Methodenkonzept stellt die derzeit in den Bundesländern eingesetzten Verfahren jeweils in einem Kurzportrait vor und zeigt die Anwendungsbereiche auf. Das Methodenkonzept soll andere Landesumweltämter dabei unterstützen, bei Bedarf das für ihre Zwecke richtige Verfahren auszuwählen. Anhand von Literaturhinweisen und Links zu Verfahrensbeschreibungen, Richtlinien, Hintergrundgehalten und Untersuchungsberichten können weiterführende Informationen erhalten werden.

2 Auswahl des Verfahrens

Je nach Zielsetzung der Untersuchung können verschiedene Biomonitoring-Verfahren zum Einsatz kommen (s. **Abbildung 1**).

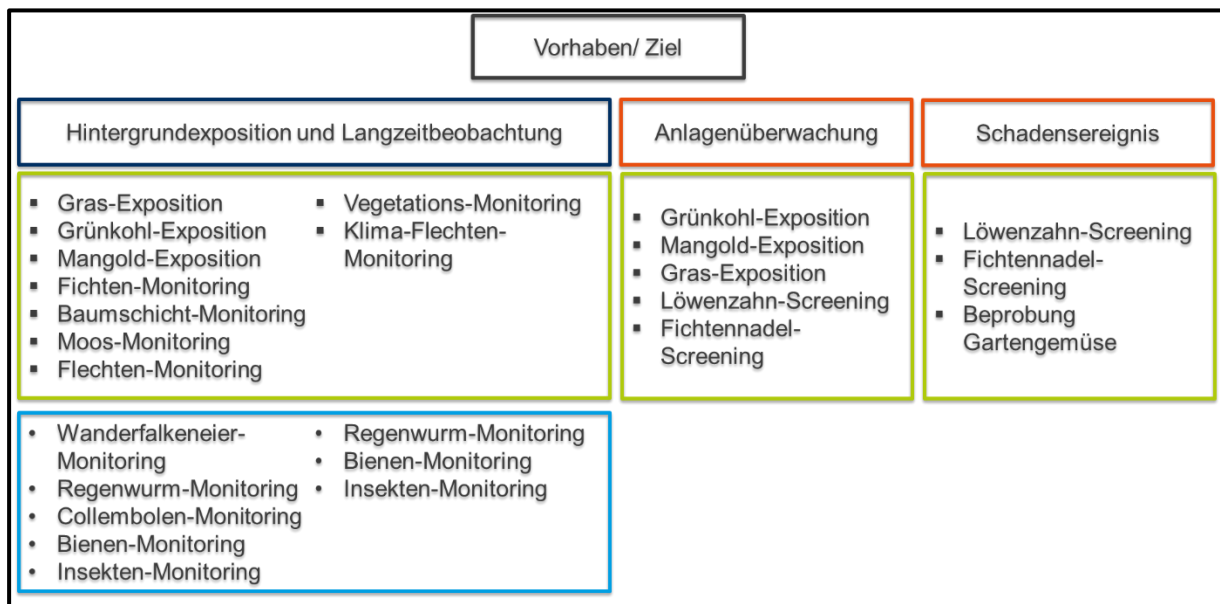


Abbildung 1: Mögliche Verfahren

Für die **Erfassung der Hintergrundbelastung** durch bestimmte Schadstoffe eignen sich zum einen aktive pflanzliche Biomonitoringverfahren, wie die Exposition von Graskulturen, Grünkohl und Mangold. Dabei werden Pflanzen im Gewächshaus vorgezogen und für einen bestimmten Zeitraum vor Ort – in diesem Fall an einem Hintergrundstandort – exponiert. Anschließend werden die Pflanzen geerntet und auf ihre Schadstoffgehalte untersucht.

Es eignen sich aber auch passive Biomonitoringverfahren, wie die Untersuchung von z. B. Moosen oder Flechten an ihrem Wuchsort auf Dauerbeobachtungsflächen.

Auch können Tiere bzw. deren Produkte auf Schadstoffe untersucht werden, wie z. B. Wanderfalkeneier, Regenwürmer, Collembolen, Insekten und Bienenhonig.

Für die **Langzeitbeobachtung** von Flächen, z. B. für das Klimabiomonitoring, können ebenfalls Flechten eingesetzt werden. Auch kann die Vegetation und deren

Zusammensetzung erfasst werden. Die Anzahl und Artenvielfalt verschiedener Insekten oder Regenwürmer kann ebenso langfristig untersucht werden.

In der **Anlagenüberwachung** können zum einen passive Verfahren, wie das Löwenzahn- oder Fichtennadel-Screening eingesetzt werden, um die Reichweite anlagenbezogener Immissionen zu erfassen. Zum anderen können aktive pflanzliche Biomonitoringverfahren eingesetzt werden, wenn das Untersuchungsprogramm etwas längerfristiger angelegt ist oder um z. B. Entwicklungen wie Emissionsminderungsmaßnahmen zu überprüfen.

Bei einem **akuten Schadensereignis**, wie z. B. einem Großbrand oder einem Störfall in einer Anlage, erfolgt eine Reichweitenbestimmung mittels eines passiven Biomonitoringverfahrens, wie z. B. dem Löwenzahn-Screening oder dem Fichtennadel-Screening. Soll eine gesundheitliche Bewertung erfolgen, ist das Löwenzahn-Screening auszuwählen. Es ist auch möglich andere Blattgemüse aus betroffenen Gärten zu beproben.

3 Kurzportraits der Verfahren


Im Folgenden werden die in den Bundesländern erfolgreich eingesetzten Verfahren mittels Kurzportraits vorgestellt. Es erfolgt eine Zuordnung zu den in Kapitel 2 aufgeführten Anwendungsmöglichkeiten, eine kurze Beschreibung des Verfahrens, eine Auflistung des möglichen Stoffspektrums und der Anwendungsbereiche sowie eine umfassende Nennung weiterführender Informationen. Dazu werden Links zu den zugrundeliegenden Richtlinien und/oder Verfahrensbeschreibungen zur Verfügung gestellt. Außerdem gibt es Links zu veröffentlichten Hintergrundgehalten, Veröffentlichungen und Untersuchungsberichten.

3.1 Verfahren der standardisierten Graskultur/ Richtlinie VDI 3957 Blatt 2

<ul style="list-style-type: none"> • Hintergrund • Anlagenüberwachung 	
<p>Verfahren</p>	<p>Das Ziel des Einsatzes der standardisierten Graskultur ist es, den Stoffübergang von der Atmosphäre auf die Vegetation mithilfe eines stoffanreichernden, standardisierten Pflanzenbestands zu erfassen. Die Graskultur steht hierbei stellvertretend für pflanzliche Futtermittelbestände, aber auch für pflanzliche Nahrungsmittel wie Blattgemüse.</p> <p>Standardisierte Graskulturen sind Kulturen von Welschem Weidelgras, die in Pflanztöpfen in einem Untersuchungsgebiet exponiert werden und Stoffe aus der Luft anreichern können. Jede Kultur wird für eine bestimmte Zeitdauer exponiert und anschließend auf immissionsbedingte Stoffanreicherungen untersucht. Während der Vegetationsperiode können an jedem Messpunkt mehrere Graskulturen nacheinander in mehreren Expositionsabschnitten ausgebracht werden, sodass die stofflichen Immissionswirkungen in ihrer zeitlichen Abfolge erfasst werden können.</p>
<p>Stoffspektrum</p>	<ul style="list-style-type: none"> • (Schwer)Metalle • polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) • polychlorierte Biphenyle (PCB) • polybromierte Diphenylether (PBDE) • polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) • Pflanzenschutzmittel • Schwefel • Chlorid • Fluorid • ...
<p>Anwendungsbereiche</p>	<ul style="list-style-type: none"> • immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren und Umweltverträglichkeitsprüfungen • Beweissicherungsverfahren im Immissionsschutz


	<ul style="list-style-type: none"> • Emittentenüberwachung und Erfolgskontrolle • kleinräumige Ermittlung der Ausbreitung von Emissionen • Ursachenklärung, z. B. im Rahmen der Umwelthaftung • Luftreinhaltepläne/-strategien • immissionsökologische Dauerbeobachtung/ökologische Umweltbeobachtung • Ermittlung und Bewertung lokaler, regionaler und landesweiter Immissionswirkungen • Gefährdungsabschätzung für Menschen und/ oder Tiere über die Nahrungskette • Grundlagen der Beurteilung von Stoffgehalten
<p>Weiterführende Links</p>	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • VDI 3957 Blatt 2 <p><u>Hintergrundgehälter:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Wirkungsdauermessprogramm NRW • LANUV-Fachbericht 61 • LANUV-Fachbericht 114 • Metal Content in grass cultures...(1) • Metal Content in grass cultures...(2) • Aktives Monitoring mit Graskulturen und Grünkohl Bayern <p><u>Untersuchungsberichte:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Anreicherung von Metallen in Graskulturen – Hintergrundwerte • Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehälter (OmH) für die Anreicherung von Metallen in standardisierten Graskulturen <p><u>Veröffentlichungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Biomonitoring mit Grünkohl und Graskultur im Umfeld des zukünftigen Flughafens Berlin Brandenburg • Air pollution effects on food plants and forage crops in ambient air in North Rhine-Westphalia • Biomonitoring persistenter Schadstoffe • Dioxine, Furane und PCB, Dauerhaft stabil – nicht immer von Vorteil, 20 Jahre Biomonitoring in Bayern • PAK-Immissionswirkungen in Bayern

3.2 Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl/ Richtlinie VDI 3957 Blatt 3

<ul style="list-style-type: none"> • Hintergrund • Anlagenüberwachung 	
<p>Verfahren</p>	<p>Das Ziel der standardisierten Grünkohlexposition ist es, Anreicherungen von persistenten, organischen Stoffen und anorganischen Elementen in Pflanzen als Immissionswirkung zu erkennen, ihr Ausmaß zu ermitteln und die Ergebnisse als Grundlage zur Bewertung der Gefährdung der Vegetation sowie der Tiere und Menschen zu nutzen. Grünkohl eignet sich aufgrund seines Wuchses, der großen Blattoberfläche und der ausgeprägten Wachsschicht sehr gut als Akkumulationsindikator für Luftschadstoffe.</p> <p>Es werden Pflanzen einer ausgewählten Grünkohlsorte in Gefäßen angezogen, in einem Untersuchungsgebiet für eine vorgegebene Zeitdauer exponiert und schließlich auf Stoffanreicherungen untersucht (aktives Biomonitoring).</p>
<p>Stoffspektrum</p>	<ul style="list-style-type: none"> • (Schwer)Metalle • polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) • polychlorierte Biphenyle (PCB) • polybromierte Diphenylether (PBDE) • polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) • Pflanzenschutzmittel • ...
<p>Anwendungsbereiche</p>	<ul style="list-style-type: none"> • immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren und Umweltverträglichkeitsprüfungen • Beweissicherungsverfahren im Immissionsschutz • Emittentenüberwachung und Erfolgskontrolle • kleinräumige Ermittlung der Ausbreitung von Emissionen • Ursachenklärung, z. B. im Rahmen der Umwelthaftung • Luftreinhaltepläne/-strategien • immissionsökologische Dauerbeobachtung/ökologische Umweltbeobachtung


	<ul style="list-style-type: none">• Ermittlung und Bewertung lokaler, regionaler und landesweiter Immissionswirkungen• Gefährdungsabschätzung für Menschen und/ oder Tiere über die Nahrungskette• Grundlagen der Beurteilung von Stoffgehalten
Weiterführende Links	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• VDI 3957 Blatt 3 <p><u>Hintergrundwerte:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Aktives Monitoring mit Graskulturen und Grünkohl Bayern <p><u>Veröffentlichungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Biomonitoring mit Grünkohl und Graskultur im Umfeld des zukünftigen Flughafens Berlin Brandenburg• Biomonitoring persistenter Schadstoffe• Dioxine, Furane und PCB, Dauerhaft stabil – nicht immer von Vorteil, 20 Jahre Biomonitoring in Bayern• PAK-Immissionswirkungen in Bayern

3.3 Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl – Bewertung von Schadstoffgehalten in Nahrungspflanzen für den menschlichen Verzehr/ Richtlinie VDI 3957 Blatt 4

<ul style="list-style-type: none"> • Hintergrund • Anlagenüberwachung 	
<p>Verfahren</p>	<p>Das Ziel der standardisierten Grünkohlexposition ist es, Anreicherungen von persistenten, organischen Stoffen und anorganischen Elementen in Pflanzen als Immissionswirkung zu erkennen, ihr Ausmaß zu ermitteln und die Ergebnisse als Grundlage zur Bewertung der Gefährdung der Vegetation sowie der Tiere und Menschen zu nutzen.</p> <p>Es werden Pflanzen einer ausgewählten Grünkohlsorte in Gefäßen angezogen, in einem Untersuchungsgebiet für eine vorgegebene Zeitdauer exponiert und schließlich auf Stoffanreicherungen untersucht (aktives Biomonitoring).</p> <p>Im Unterschied zur Richtlinie VDI 3957 Blatt 3 ermöglicht dieses Verfahren unmittelbar eine Bewertung der ermittelten Schadstoffgehalte in Bezug auf den menschlichen Verzehr.</p>
<p>Stoffspektrum</p>	<ul style="list-style-type: none"> • (Schwer)Metalle • polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) • polychlorierte Biphenyle (PCB) • polybromierte Diphenylether (PBDE) • polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) • Pflanzenschutzmittel • ...
<p>Anwendungsbereiche</p>	<ul style="list-style-type: none"> • immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren und Umweltverträglichkeitsprüfungen • Beweissicherungsverfahren im Immissionsschutz • Emittentenüberwachung und Erfolgskontrolle • kleinräumige Ermittlung der Ausbreitung von Emissionen • Ursachenklärung, z. B. im Rahmen der Umwelthaftung • Luftreinhaltepläne/-strategien

	<ul style="list-style-type: none">• immissionsökologische Dauerbeobachtung/ökologische Umweltbeobachtung• Ermittlung und Bewertung lokaler, regionaler und landesweiter Immissionswirkungen• Gefährdungsabschätzung für den menschlichen Verzehr• Grundlagen der Beurteilung von Stoffgehalten
Weiterführende Links	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• VDI 3957 Blatt 4 (in Vorbereitung) <p><u>Hintergrundwerte:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Wirkungsdauermessprogramm NRW• LANUV-Fachbericht 61• LANUV-Fachbericht 114 <p><u>Untersuchungsberichte:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Sonderuntersuchungsprogramme NRW <p><u>Veröffentlichungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Air pollution effects on food plants and forage crops in ambient air in North Rhine-Westphalia• Contamination of food crops...• Significant release of unintentionally produced non-Arochlor PCB...• Polychlorinated biphenyls in the surrounding of an e-waste recycling facility...

3.4 Verfahren der standardisierten Exposition von Mangold


<ul style="list-style-type: none"> • Hintergrund • Anlagenüberwachung 	
<p>Verfahren</p>	<p>Das Ziel der standardisierten Exposition von Mangold ist es, Anreicherungen von persistenten, organischen Stoffen und anorganischen Elementen in Pflanzen als Immissionswirkung zu erkennen, ihr Ausmaß zu ermitteln und die Ergebnisse als Grundlage zur Bewertung der Gefährdung der menschlichen Gesundheit zu nutzen.</p> <p>Es werden Pflanzen einer ausgewählten Mangoldsorte in Gefäßen angezogen, in einem Untersuchungsgebiet für eine vorgegebene Zeitdauer exponiert und schließlich auf Stoffanreicherungen untersucht (aktives Biomonitoring).</p> <p>Die Mangoldpflanzen können mehrfach hintereinander beerntet werden, so dass man über die gesamte Vegetationsperiode bis zu 6 Ernten realisieren kann.</p>
<p>Stoffspektrum</p>	<ul style="list-style-type: none"> • (Schwer)Metalle • polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) • polychlorierte Biphenyle (PCB) • polybromierte Diphenylether (PBDE) • polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) • Pflanzenschutzmittel • ...
<p>Anwendungsbereiche</p>	<ul style="list-style-type: none"> • immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren und Umweltverträglichkeitsprüfungen • Beweissicherungsverfahren im Immissionsschutz • Emittentenüberwachung und Erfolgskontrolle • kleinräumige Ermittlung der Ausbreitung von Emissionen • Ursachenklärung, z. B. im Rahmen der Umwelthaftung • Luftreinhaltepläne/-strategien • immissionsökologische Dauerbeobachtung/ökologische Umweltbeobachtung

	<ul style="list-style-type: none">• Ermittlung und Bewertung lokaler, regionaler und landesweiter Immissionswirkungen• Gefährdungsabschätzung für den menschlichen Verzehr• Grundlagen der Beurteilung von Stoffgehalten
Weiterführende Links	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• LANUV-Fachbericht 114 <p><u>Hintergrundwerte:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• LANUV-Fachbericht 114


3.5 Löwenzahnscreening/ Richtlinie VDI 3957 Blatt 7

<ul style="list-style-type: none"> • Schadensereignis • Anlagenüberwachung 	
Verfahren	<p>Das Löwenzahnscreening ermöglicht eine Probenahme von Nahrungspflanzen in einem Untersuchungsgebiet z. B. nach einem Schadensereignis (passives Biomonitoring). Dabei werden vor Ort wild wachsende Löwenzahnpflanzen beprobt und auf ihre Schadstoffgehalte untersucht.</p>
Stoffspektrum	<ul style="list-style-type: none"> • polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) • polychlorierte Biphenyle (PCB) • polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) • Bedingt auch für (Schwer)Metalle • ...
Anwendungsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • Reichweitenabschätzung nach Schadensereignissen • Reichweitenabschätzung im Anlagenumfeld • Emittentenüberwachung und Erfolgskontrolle • kleinräumige Ermittlung der Ausbreitung von Emissionen • Emissionsquellenabgrenzung • Gefährdungsabschätzung für den menschlichen Verzehr • gebietsbezogenes Monitoring
Weiterführende Links	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • VDI 3957 Blatt 7 (in Vorbereitung) <p><u>Hintergrundwerte:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • LANUV-Fachbericht 114 <p><u>Untersuchungsberichte:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sonderuntersuchungsprogramme NRW <p><u>Veröffentlichungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Contamination of food crops... • Significant release of unintentionally produced non-Aroclor PCB...

3.6 Fichtenmonitoring/ in Anlehnung an Richtlinie VDI 3957 Blatt 11


<ul style="list-style-type: none"> • Schadensereignis • Anlagenüberwachung • Hintergrundexposition 	
Verfahren	<p>Mit dem passiven Fichtenmonitoring von im Untersuchungsgebiet wachsenden Bäumen wird die Anreicherung von Schadstoffen in den Fichtennadeln bewertet. Dazu werden von freistehenden Einzelbäumen oder Baumgruppen frei anströmbare Äste im oberen Kronenbereich entnommen. Die verschiedenen Nadeljahrgänge sind getrennt voneinander zu analysieren, um die Stoffgehalte den jeweiligen Expositionszeiten zuordnen zu können.</p>
Stoffspektrum	<ul style="list-style-type: none"> • polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) • polychlorierte Biphenyle (PCB) • polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) und polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) • bedingt auch für (Schwer)Metalle • ...
Anwendungsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • Reichweitenabschätzung nach Schadensereignissen • Reichweitenabschätzung im Anlagenumfeld • Emittentenüberwachung und Erfolgskontrolle • kleinräumige Ermittlung der Ausbreitung von Emissionen • Emissionsquellenabgrenzung • gebietsbezogenes Monitoring • Trenduntersuchung
Weiterführende Links	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • VDI 3957 Blatt 11 <p><u>Untersuchungsberichte:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sonderuntersuchungsprogramme NRW <p><u>Veröffentlichungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Polychlorinated biphenyls in the surrounding of an e-waste recycling facility... • Dioxine, Furane und PCB, Dauerhaft stabil – nicht immer von Vorteil, 20 Jahre Biomonitoring in Bayern • PAK-Immissionswirkungen in Bayern

3.7 Schadstoffmonitoring in Vegetationsproben

<ul style="list-style-type: none"> • Langzeitbeobachtung 	 <p>(Bilder Sandra Dezenter / LUBW, LUBW)</p>
<p>Verfahren</p>	<p>Das Ziel des Schadstoffmonitorings in der Baum- und Krautschicht ist die Erfassung von Anreicherungen anorganischer Elemente in Pflanzen (passives Biomonitoring). Die Ergebnisse können als Grundlage für die Bewertung von stofflichen Einträgen in Ökosysteme genutzt werden.</p> <p>Auf festgelegten und markierten Walddauerbeobachtungsflächen werden Blatt- und Nadelproben in der Baumkrone von Buchen und Tannen und aus der Krautschicht nach Bonitur entnommen und auf anorganische Elemente untersucht.</p> <p>Auf dauerhaft markierten Grünlanddauerbeobachtungsflächen werden Wiesenaufwuchsproben zur Analytik von anorganischen Elementen entnommen. Dabei werden z.B. die Einzelarten <i>Bromus erectus</i>, <i>Plantago medi</i>, <i>Plantago lanceolata</i>, <i>Achillea millefolium</i> sowie <i>Calluna vulgaris</i> beprobt, sowie eine Mischprobe in standorttypischer Zusammensetzung.</p>
<p>Stoffspektrum</p>	<ul style="list-style-type: none"> • (Schwer)Metalle • Nährstoffe
<p>Anwendungsbereiche</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Medienübergreifende Umweltbeobachtung • Ermittlung und Bewertung von Immissionen • Grundlagen der Beurteilung von Stoffgehalten
<p>Weiterführende Links</p>	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • interne Methode, Details auf Anfrage (LUBW) <p><u>Untersuchungsberichte:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Umweltdaten 2018 • Signale aus der Natur 2013 • Signale aus der Natur 2005 • Vegetationsentwicklung im Wald von 1985 bis 2007 • Vegetationsentwicklung im Grünland von 1985 bis 2006

	<p><u>Veröffentlichungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Twenty years of biological monitoring of element concentrations in permanent forest and grassland plots in Baden-Württemberg (SW Germany)
--	---

3.8 Vegetationsmonitoring in Wald und Grünland

<ul style="list-style-type: none"> • Langzeitbeobachtung 	 <p>(Bild LUBW)</p>
<p>Verfahren</p>	<p>Das Ziel des Vegetationsmonitorings auf Wald- und extensiv genutzten Grünlandstandorten ist die Erfassung möglicher Langzeitveränderungen der Vegetation unter Einflussfaktoren wie Klimawandel, Stoffeinträgen oder Nutzungsänderungen. Bestimmte Zeigerarten (Pflanzenarten) dienen dabei als Indikatoren für z. B. Licht, Eutrophierung, Temperatureinfluss.</p> <p>Das Vegetationsmonitoring im Wald und im Grünland erfolgt auf festgelegten und markierten Dauerbeobachtungsflächen. Die Deckungsgrade der einzelnen Arten werden in Prozent geschätzt. Zunächst wird auf der Fläche eine Gesamtaufnahme des Pflanzenbestandes nach Braun-Blanquet zur Bestimmung des Arteninventars durchgeführt. Im Grünland wird eine Fläche von 10 x 10 m aufgenommen. Für eine detaillierte Mengenermittlung werden im Grünland zusätzlich die Deckungsgrade der einzelnen Arten in 10 Sukzessionsquadraten von je 1 x 1 m aufgenommen, die wiederum in Kleinquadrate unterteilt sind. Im Wald wird eine Fläche von 20 x 24 m getrennt nach Baum-/Strauch-/Krautschicht aufgenommen, hier erfolgt keine Sukzessionsaufnahme. An Waldstandorten werden bei der Aufnahme auch Moose erfasst.</p>
<p>Stoffspektrum</p>	<p>-</p>
<p>Anwendungsbereiche</p>	<ul style="list-style-type: none"> • medienübergreifende Umweltbeobachtung • Ermittlung und Bewertung von Immissionen
<p>Weiterführende Links</p>	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Vegetationserhebung nach Braun-Blanquet in Kombination mit prozentgenauer Aufnahme, Details auf Anfrage (LUBW) <p><u>Untersuchungsberichte:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Signale aus der Natur 2013 • Beobachtung der Vegetation von 1985 bis 2007 • Vegetationsentwicklung im Wald von 1985 bis 2007

	<ul style="list-style-type: none">• Vegetationsentwicklung im Grünland von 1985 bis 2006• Signale aus der Natur 2005
--	---

3.9 Schadstoffmonitoring in Wanderfalkeneiern

<ul style="list-style-type: none"> • Langzeitbeobachtung 	
Verfahren	<p>Das Ziel des Schadstoffmonitorings in Wanderfalkeneiern ist es, Anreicherungen von persistenten, organischen Stoffen und anorganischen Elementen zu erfassen. Die Ergebnisse können als Grundlage zur Bewertung der Gefährdung von Wanderfalken dienen und Trends in der Belastung von Prädatoren mit bestimmten Schadstoffen über lange Zeiträume aufzeigen.</p> <p>Für das Monitoring werden abgestorbene Resteier von autorisierten Personen aus Wanderfalkenhorsten entnommen und der Eiinhalt auf Stoffanreicherungen untersucht (passives Biomonitoring).</p>
Stoffspektrum	<ul style="list-style-type: none"> • (Schwer)Metalle • polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) • polychlorierte Biphenyle (PCB) • polybromierte Diphenylether (PBDE) • per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) • Pflanzenschutzmittel und Biozide • Pharmazeutika • Industriechemikalien...
Anwendungsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • medienübergreifende Umweltbeobachtung • Ermittlung und Bewertung von Immissionen • Gefährdungsabschätzung für Tiere über die Nahrungskette • Grundlagen der Beurteilung von Stoffgehalten in Biota
Weiterführende Links	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • interne Methode, Details auf Anfrage (LUBW) <p><u>Untersuchungsberichte:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Breitbandscreening von Umweltschadstoffen in Eiern verschiedener Greifvogelarten (2023) • Schadstoffanreicherung in Wanderfalkeneiern aus Baden-Württemberg 2020 • Umweltdaten 2018 • Perfluoroverbindungen (PFC) in Eiern von Wanderfalken aus Baden-Württemberg (2016) • Warndienst Wanderfalke (2012) <p><u>Veröffentlichungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Peregrine falcon egg pollutants (2016) • Brominated flame retardants (BFRs) in eggs from birds of prey from Southern Germany, 2014

	<ul style="list-style-type: none">• Langzeit-Untersuchungen zur Belastung des Wanderfalken Falco peregrinus mit Umweltchemikalien in Baden-Württemberg• Organochlorverbindungen in Eiern von Wanderfalken und anderen wild lebenden Vogelarten in Baden-Württemberg• Bioindikation mit Wanderfalken (2007)• Langzeit-Untersuchungen zur Belastung des Wanderfalken Falco peregrinus mit Umweltchemikalien in Baden-Württemberg
--	---

3.10 Schadstoffmonitoring in Regenwürmern

<ul style="list-style-type: none"> • Langzeitbeobachtung 	
Verfahren	<p>Mit dem Schadstoffmonitoring in Regenwürmern soll die Anreicherung anorganischer Elemente in den Bodenorganismen erfasst werden. Da Regenwürmer eine wichtige Nahrungsgrundlage für eine Vielzahl von Tieren darstellen, können die Ergebnisse zur Bewertung des Eintrags von Schwermetallen in die Nahrungskette genutzt werden.</p> <p>Das Schadstoffmonitoring erfolgt auf Walddauerbeobachtungsflächen mittels Handauslese. Nach der Artbestimmung werden Regenwürmer der Art <i>Lumbricus rubellus</i> entkotet, gefriergetrocknet und auf anorganische Elemente untersucht.</p> <p>Darüber hinaus können Regenwürmern auch auf organische Schadstoffe wie PFAS untersucht werden. In einer Pilotstudie auf mit PFAS belasteten Flächen wurde der Transfer von PFAS aus belasteten Böden über Regenwürmer in die Nahrungskette untersucht. Hierfür wurde eine Methodenkombination aus Elektrofang und Handauslese genutzt. (passives Biomonitoring)</p>
Stoffspektrum	<ul style="list-style-type: none"> • (Schwer)Metalle • Organische Verbindungen, z. B. Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS)
Anwendungsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • Medienübergreifende Umweltbeobachtung • Ermittlung und Bewertung von Immissionen • Gefährdungsabschätzung für Tiere über die Nahrungskette • Grundlagen der Beurteilung von Stoffgehalten in Biota
Weiterführende Links	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Handauslese, Details auf Anfrage (LUBW) • Methodenkombination aus Elektrofang [nach Thielemann 1986], Handauslese [Ehrmann & Babel 1991], Details auf Anfrage (LUBW) <p><u>Untersuchungsberichte:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • PFC in Böden und Übertritt in die Nahrungskette (2021) • Signale aus der Natur 2013 • Signale aus der Natur 2005 • Schwermetalle in Regenwürmern Baden-Württembergs (2005)

	<p><u>Veröffentlichungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Schwermetalle in Regenwürmern Baden-Württembergs, Teil 1: Metallgehalte in Regenwürmern von Wald-Dauerbeobachtungsflächen (2006)• Schwermetalle in Regenwürmern Baden-Württembergs, Teil 2: Ökotoxikologische Bewertung des Bodens (2007)
--	--

3.11 Regenwurmmonitoring (Population)


<ul style="list-style-type: none"> • Langzeitbeobachtung 	
Verfahren	<p>Ziel des Regenwurm-Monitorings ist die Erfassung der Biodiversität und der Populationsdichte auf Dauerbeobachtungsflächen im Wald. Regenwürmer nehmen aufgrund ihres Einflusses auf den Nährstoffhaushalt und das Bodengefüge sowie als wichtige Nahrungsgrundlage für andere Tiere eine wichtige Stellung innerhalb des Ökosystems ein. Ihr Vorkommen wird unter anderem durch klimatische Veränderungen beeinflusst.</p> <p>Das Biodiversitätsmonitoring erfolgt in Baden-Württemberg auf Walddauerbeobachtungsflächen mittels einer Methodenkombination aus Elektrofang, Handauslese und bei Vorkommen von anezischen (tiefgrabenden) Arten zusätzlich durch Austreibung mit Allylisothiocyanat (AITC). Es erfolgt eine Lebendbestimmung der Arten sowie der Biomasse nach Entkotung der Würmer (passives Biomonitoring).</p> <p>In Sachsen-Anhalt werden neben Dauerbeobachtungsflächen im Wald, auch Ackerstandorte und Grünlandflächen beprobt. Die Methodik unterscheidet sich darin, dass zum Austreiben eine 0,2 % Formalinlösung immer in Kombination mit Handauslese verwendet wird.</p>
Stoffspektrum	-
Anwendungsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • Medienübergreifende Umweltbeobachtung • Ermittlung und Bewertung von Immissionen
Weiterführende Links	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Methodenkombination aus Elektrofang [nach Thielemann 1986], Handauslese [Ehrmann & Babel 1991] und Austreibung mit AITC [Zaborski 2003], weitere Details auf Anfrage (LUBW) <p><u>Untersuchungsberichte:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • LUBW (2025): Regenwurmpopulationen an Waldstandorten Baden-Württembergs und ihre Veränderungen durch den Klimawandel. In Vorbereitung • Die Verbreitung von Regenwürmern in Waldböden variiert stark (2024)

	<ul style="list-style-type: none">• Auswirkungen des Klimawandels auf die Entwicklung der Regenwurmpopulationen in den Wäldern Baden-Württembergs (2024)• Hohe Temperaturen und Trockenheit hinterlassen ihre Spuren (2021)• Monitoringbericht 2020 zur Anpassungsstrategie an den Klimawandel in Baden-Württemberg
--	---

3.12 Collembolenmonitoring in Wald und Grünland (Population)

<ul style="list-style-type: none"> • Langzeitbeobachtung 	
Verfahren	<p>Ziel des Collembolenmonitorings ist die Erfassung der Artenvielfalt und der Populationsdichte auf Dauerbeobachtungsflächen im Wald und auf Grünland. Collembolen spielen eine wichtige Rolle bei der Humusbildung. Bei der Bestimmung der Biodiversität werden auch Zeigerarten für Temperatur, Säure- und Nährstoffzustand der Böden erfasst.</p> <p>Die Erhebung der Collembolenpopulation erfolgt auf Dauerbeobachtungsflächen im Wald und auf Grünland. Dazu werden Bodenproben entnommen, die Collembolen daraus extrahiert und die Abundanz der Arten bestimmt. (passives Biomonitoring)</p>
Stoffspektrum	-
Anwendungsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • medienübergreifende Umweltbeobachtung • Ermittlung und Bewertung von Immissionen
Weiterführende Links	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • interne Methode, Details auf Anfrage (LUBW) • Extraktion mit der Methode nach A. Mac Fadyen (Improved Funnel - Type Extractors of Soil Arthropods. 1961, - J. Anim. Ecol. 30, 171-184) <p><u>Hintergrundwerte:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Edaphobase <p><u>Untersuchungsberichte:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterwegs mit der LUBW: Kleine Tierchen als Anzeiger für den Zustand der Natur • Signale aus der Natur 2013 • Collembolen an Wald- Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg (2012) • Collembolen an Wald- Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg (2007) • Signale aus der Natur 2005

3.13 Passives Moosmonitoring – Akkumulation von Luftschadstoffen, DIN EN 16414

<ul style="list-style-type: none"> • Langzeitbeobachtung 	
<p>Verfahren</p>	<p>Das Ziel ist es, durch die besonderen Eigenschaften epiphytischer (an Laubbäumen wachsende) Moose, die atmosphärische Schadstoffbelastung ohne störende Bodeneinflüsse zu bewerten. Im Herbst wird der Jahreszuwachs der Moospolster abgeschnitten, im Labor sorgfältig gereinigt und analysiert.</p>
<p>Stoffspektrum</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Metalle • bedingt POPs
<p>Anwendungsbereiche</p>	<ul style="list-style-type: none"> • zeitliche Trenduntersuchungen • regionale bis landesweite Messnetze
<p>Weiterführende Links</p>	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • DIN EN 16414 Biomonitoring mit Moosen – Akkumulation von Luftschadstoffen in Moosen (passives Monitoring): Probenahme und Probenaufbereitung (Dt. Fassung EN 16414:2014) 2014-08 ... <p><u>Veröffentlichungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 35 Jahre Moosmonitoring in Bayern

3.14 Flechtenmonitoring, Richtlinie VDI 3957 Blatt 13

<ul style="list-style-type: none"> • Langzeitbeobachtung 	
Verfahren	<p>Flechten reagieren durch den ungehinderten Austausch mit der Umgebungsluft besonders empfindlich auf Umweltbelastungen. Die Artenvielfalt epiphytischer Flechten an Baumrinden wird als Indikator für die Luftgüte und für die Wirkung eutrophierender Luftschadstoffe herangezogen. Anhand der Häufigkeit der Flechtenarten innerhalb von Messgittern wird ein Flechtendiversitätswert berechnet. Durch Kombination der Diversitätswerte von Eutrophierungszeigern und Referenzarten wird der Luftgüteindex ermittelt.</p>
Stoffspektrum	<ul style="list-style-type: none"> • n. b.
Anwendungsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • zeitliche Trenduntersuchungen • regionaler Vergleich • Immissionsbelastung • Eutrophierungsanzeiger
Weiterführende Links	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • VDI 3957 Blatt 13 <p><u>Untersuchungsberichte:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Flechten als Bioindikatoren der Luftgüte in Bayern, 1996 <p><u>Veröffentlichungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung der Wirkung des Klimawandels auf biotische Systeme in Bayern mittels Flechtenkartierung

3.15 Klimabiomonitoring mit Flechten, Richtlinie VDI 3957 Blatt 20

<ul style="list-style-type: none"> • Langzeitbeobachtung 	
Verfahren	<p>Durch die Erfassung bestimmter epiphytischer Flechtenarten, die als Klimawandelzeiger anerkannt sind, lässt sich die Wirkung des lokalen Klimawandels auf das Artenspektrum bewerten. Dazu sind mindestens zwei Untersuchungen im Abstand mehrerer Jahre nötig. Die Flechtenarten werden sowohl an einem bestimmten Stammabschnitt des gesamten Baums als auch innerhalb eines festgelegten Messgitters bestimmt. Die Daten werden als Klimawandelzeiger-Index und als Flechtendiversitätswert der Klimawandelzeiger ausgewertet.</p>
Stoffspektrum	<ul style="list-style-type: none"> • n. b.
Anwendungsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • langfristige Veränderung des lokalen Klimawandels • Flechten als sensibles Frühwarnsystem im Rahmen einer Klimaanpassungsstrategie •
Weiterführende Links	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • VDI 3957 Blatt 20 <p><u>Veröffentlichungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung der Wirkung des Klimawandels auf biotische Systeme in Bayern mittels Flechtenkartierung

3.16 Flechtenmonitoring

<ul style="list-style-type: none"> • Langzeitbeobachtung 	
Verfahren	<p>Flechten reagieren besonders empfindlich auf Umweltbelastungen und –veränderungen. Die Artenvielfalt epiphytischer Flechten auf Baumrinden kann als Indikator für die Luftqualität, das Vorkommen eutrophierender Luftschadstoffe sowie den Einfluss des lokalen Klimawandels verwendet werden.</p> <p>Dazu werden Flechten an Dauerbeobachtungsstandorten über mehrere Jahre hinweg erfasst und die Artzahlen dokumentiert. Zudem wird die Flechtenfrequenz mit standardisierten Messgittern bestimmt. Die Flechtendiversität kann hinsichtlich des Vorkommens von Eutrophierungszeigern und Referenzarten als Indikator für die Luftgüte genutzt werden. Zudem können die Daten hinsichtlich der Kontinentalitätszahlen der vorkommenden Flechten ausgewertet werden und so über längere Untersuchungszeiträume Hinweise auf die kleinräumige Klimaentwicklung liefern. (passives Biomonitoring)</p>
Stoffspektrum	<p>-</p>
Anwendungsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • zeitliche Trenduntersuchungen • Immissionsbelastung • langfristige Veränderung im Hinblick auf den Klimawandel • medienübergreifende Umweltbeobachtung
Weiterführende Links	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • EU-ForestBIOTA-Methode, Stofer <i>et al.</i> 2003, Details auf Anfrage (LUBW) <p><u>Untersuchungsberichte:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Umweltdaten Bericht 2024: Flechten zeigen es deutlich – das Klima ändert sich • Flechtenmonitoring auf 21 Wald-Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg (2023) • Monitoringbericht 2020 zur Anpassungsstrategie an den Klimawandel in Baden-Württemberg • Flechtenerhebung an Wald-Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg (2011) • Flechtenerhebung an Wald-Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg (2010)

3.17 Stadt-Klimabiomonitoring mit Flechten, Richtlinie VDI 3957 Blatt 22 (derzeit in Vorbereitung)

<ul style="list-style-type: none"> • Langzeitbeobachtung 	
Verfahren	<p>Besondere mikroklimatische Verhältnisse in den Städten, hervorgerufen durch Versiegelung und Wassermangel, haben Einfluss auf die Flechtenpopulation. Urbanotolerante sowie urbanophobe Flechtenarten besiedeln die unterschiedlich geprägten Flächen, die nach dem Grad ihrer Versiegelung, der Verkehrsbelastung und den verfügbaren Grünflächen in verschiedene Kategorien eingeteilt sind. Die epiphytischen Flechtenarten werden innerhalb eines festgelegten Messgitters am Mittelstamm des Baumes erfasst. Dabei wird das Verbreitungsmuster der Flechten als mittlere Frequenz errechnet und anhand der Nutzungskategorien verglichen.</p>
Stoffspektrum	<ul style="list-style-type: none"> • n. b.
Anwendungsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • langfristige Wirkungen des Stadtklimas auf die belebte Umwelt • Ergänzung technischer Klimagutachten • Handlungsempfehlungen für Städte bei der Minderung von Klimafolgen und der Identifizierung von Defiziten der Klimawandelanpassungen
Weiterführende Links	<p><u>Verfahren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • VDI 3957 Blatt 22 (in Entwicklung) <p><u>Veröffentlichungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Projektabschlussbericht

4 Literatur

- BlmSchG (2013): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BlmSchG) vom 17. Mai 2013 (BGBl I, 2013, Nr. 25, S. 1274–1311)
- BNatSchG (2009): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 48 des Gesetzes vom 23. Oktober 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 323) geändert worden ist
- LANUV-Fachbericht 61 (2015): Immissionsbedingte Hintergrundbelastung von Pflanzen in NRW – Schwermetalle und organische Verbindungen, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, Recklinghausen 2015
- LANUV-Fachbericht 114 (2021): Neue Bioindikationsverfahren zum anlagenbezogenen Monitoring, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, Recklinghausen 2021
- Nobel, W.; Beismann, H.; Franzaring, J.; Kostka-Rick, R.; Wagner, G.; Erhardt, W.: Standardisierte biologische Messverfahren zur Ermittlung und Bewertung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation) in Deutschland. Gefahrstoffe – Reinh. d. Luft 65 (2005) 11/12, S. 478–484
- Stofer, S., et al. "Epiphytic lichen monitoring within the EU/ICP forests biodiversity test-phase on level II plots." ICP Forest. ForestBiota. Available in https://www.icp-forests.org/forestbiota/docs/bbb-lichens_june05.pdf. [abgerufen 16.12.2024] (2003).
- VDI 3957 Blatt 1 (2020): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring); Grundlagen und Zielsetzung. Berlin: Beuth Verlag
- VDI 3957 Blatt 2 (2016): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring); Verfahren der standardisierten Graskultur. Berlin: Beuth Verlag
- VDI 3957 Blatt 3 (2024): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation); Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl. Berlin: Beuth Verlag
- VDI 3957 Blatt 4 (2023): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring): Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl Bewertung von Schadstoffgehalten in Nahrungspflanzen für den menschlichen Verzehr. Berlin: Beuth Verlag
- VDI 3957 Blatt 11 (2019): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring); Einsatz von passiven Biomonitoringverfahren mit Blattorganen von frei stehenden Gehölzen. Berlin: Beuth Verlag

Empfehlung der EU-Kommission vom 11.09.2014 zur Änderung des Anhangs der Empfehlung 2013/711/EU zur Reduzierung des Anteils von Dioxinen, Furanen und PCB in Futtermitteln und Lebensmitteln

VDI 3857 Blatt 2 (2020): Beurteilungswerte für immissionsbedingte Stoffanreicherungen in standardisierten Graskulturen: Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehalte ausgewählter anorganischer Luftverunreinigungen, Entwurf, KRdL 2020

VDI 3957 Blatt 4 (2023): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring): Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl Bewertung von Schadstoffgehalten in Nahrungspflanzen für den menschlichen Verzehr, KRdL 2023

VDI 3957 Blatt 20 (2017): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen (Biomonitoring) - Kartierung von Flechten zur Ermittlung der Wirkung von lokalen Klimaveränderungen