Julius Kühn-Institut
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Bundesrepublik Deutschland

Richtlinie für die Prüfung von Pflanzenschutzgeräten

November 2026 **7-1.9**

Messung der Exposition von Anwohnern und Nebenstehenden bei der Anwendung von Spritzflüssigkeiten im Pflanzenschutz (dreidimensionale Abdriftmessungen)

Datenschutzhinweise einschließlich Informationen zu Ihren Rechten finden Sie hier:
www.bmel.de/datenschutz

Herausgeber:

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Erwin-Baur-Straße 27
06484 Quedlinburg

Ausführendes Institut:

Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz
Messeweg 11/12
38104 Braunschweig

www.julius-kuehn.de

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Richtlinie berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Namen von jedermann benutzt werden dürfen. Es kann sich um gesetzlich geschützte, eingetragene Warenzeichen handeln, auch wenn sie nicht als solche gekennzeichnet sind. Bei fehlerhaftem Text keine Gewähr.

Einleitung

Diese Richtlinie beschreibt ein standardisiertes Vorgehen zur Messung der Exposition von Anwohnern und Nebenstehenden bei der Anwendung von Spritzflüssigkeiten im Pflanzenschutz-. Ziel ist die Erhebung vergleichbarer Expositionsdaten unter praxisnahen Bedingungen. Viele Versuchsparameter sind im Freiland nicht wie auf einem Prüfstand frei wählbar und während der Durchführung von Versuchen nicht konstant. Deshalb sind die Versuchsbedingungen vollständig zu dokumentieren.
Grundlage dieser Richtlinie ist das am Julius Kühn-Institut für Expositions- und Abdriftmessungen angewendete Verfahren, bei dem eine Farbstofflösung als Spritzflüssigkeit und der darin enthaltene Farbstoff als Nachweisstoff verwendet werden. Das allgemeine Vorgehen ist grundsätzlich auch auf andere Nachweisstoffe, einschließlich Pflanzenschutzwirkstoffen, übertragbar.
Des Weiteren werden die am JKI verwendeten Dosimetermaterialien für die dermale und inhalative Expositionsmessung beschrieben. Die Verwendung alternativer Dosimetermaterialien, beispielsweise Baumwollbekleidung oder anderer Overallmaterialien, ist grundsätzlich möglich, sofern ihre Eignung für den vorgesehenen Einsatzzweck vorab nachgewiesen wurde.
Die Richtlinie ist für Anwendungen in Obst- und Weinbau konzipiert und auf unterschiedliche Applikationstechniken (z. B. Raumsprühgerät, Drohne) anwendbar. Bei abweichenden Kulturen oder Applikationstechniken können die Abstände entsprechend angepasst werden.

1. Definition

Während der Anwendung von Spritzflüssigkeiten im Pflanzenschutz kann ein Teil der ausgebrachten Wirkstoffmenge infolge von Luftbewegungen über die zu behandelnde Fläche hinausgetragen werden. Dies wird als Abdrift bezeichnet. Der verfrachtete Anteil der Spritzflüssigkeit kann sich auf Nichtzielflächen ablagern und zu einer Exposition von unbeteiligten Personen (Anwohner, Nebenstehende) gegenüber den in den Pflanzenschutzmitteln enthaltenen Wirkstoffen führen. Die Abdrift wird üblicherweise als Bodensediment (Ablagerung auf horizontalen Sammelflächen) in Prozent der Aufwandmenge in zuvor definierten Entfernungen quantifiziert.
Die nachfolgend beschriebene Durchführung von Versuchen dient der standardisierten und realitätsnahen Messung der Exposition von Anwohnern und Nebenstehenden bei der Anwendung von Spritzflüssigkeiten im Pflanzenschutz.
Der Begriff „Dermale Exposition“ bezeichnet dabei die (infolge von Abdrift) auf die Hautoberfläche einer Person auftreffende bzw. dort abgelagerte Menge an Spritzflüssigkeit. Gemessen wird die dermale Exposition mit Hilfe von Overalls. Schaufensterpuppen dienen als Dosimeterträger. Als „Inhalative Exposition“ wird die Aufnahme potenziell kontaminierter Aerosole über die Atemwege bezeichnet. Für die Messung der inhalativen Exposition werden Aerosolsammelpumpen mit geeigneten Filterköpfen zur Simulation der Atmung eingesetzt.
Ziel ist die Abschätzung und der Vergleich der Exposition von Anwohnern und Nebenstehenden bei Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in verschiedenen Kulturen, bei unterschiedlichen Anwendungsparametern (z. B. Einstellungen zur Abdriftminderung, Wasseraufwand) und unter Einsatz verschiedener Applikationstechniken (z. B. Raumsprühgerät, Drohne).

Eine Versuchsreihe umfasst eine oder mehrere Versuchsvarianten. Eine Versuchsvariante ist eine definierte Kombination aus Kultur, Pflanzenschutzgerät und dessen Einstellungen sowie weiteren Versuchsparametern. Jede Versuchsvariante besteht aus einer oder mehreren Versuchswiederholungen.

2. Versuchsfläche

Die Versuchsfläche besteht aus Behandlungs- und Messfläche. Letztere befindet sich in Hauptwindrichtung direkt neben der Behandlungsfläche. Die Behandlungsfläche muss mindestens 50 m lang und 20 m breit sein, die Messfläche etwa 50 m lang und 12 m breit sein. Die Null-Linie ist die Bezugslinie für die Bestimmung der Abstände zwischen Behandlungs- und Messfläche. Im Obst-, Wein- und Hopfenbau liegt sie einen halben Reihenabstand von der äußersten Reihe entfernt. Im Ackerbau liegt sie einen halben Düsenabstand von der äußersten Düse entfernt. Alle in dieser Richtlinie angegebenen Entfernungen beziehen sich auf die Null-Linie (s. Anlagen 1 und 2).

3. Versuchsanordnung

Bei jeder Versuchswiederholung erfolgt die Anwendung der Spritzflüssigkeit entsprechend den zuvor festgelegten Versuchsparametern auf die Behandlungsfläche.
Im vorliegenden Verfahren wird als Spritzflüssigkeit eine Farbstofflösung verwendet. Die auf der Messfläche aufgestellten Dosimeter erfassen die Ablagerung der aus der Behandlungsfläche abdriftenden Spritzflüssigkeit.
Abhängig von der Versuchsfrage kann die Exposition sowohl an Erwachsenen- und Kinderpuppen als auch ausschließlich an Erwachsenenpuppen untersucht werden.
Um die Abdrift auf neben der Fläche stehende Menschen zu simulieren, werden Schaufensterpuppen (Erwachsenenpuppe, Körpergröße 1,80 m ± 0,05 m, Arme gerade und im Schultergelenk beweglich sowie ggf. Kinderpuppe, Körpergröße 1,10 m ± 0,05 m, Arme gerade und im Schultergelenk beweglich) mit einem Overall bekleidet, der für den verwendeten Nachweisstoff geeignet ist. Das Julius Kühn-Institut verwendet hierfür beispielsweise Tyvek® 500 Xpert (DuPont), einen Schutzanzug der PSA Kategorie III, Typ 5/6.
Standardmäßig werden die Puppen in den Entfernungen 3, 5 und 10 m aufgestellt (s. Anlage 1 und 2). Sie werden (z. B. mit Hülsen) im Boden fest verankert, um auch bei stärkerem Wind sicher zu stehen.
Es werden je Entfernung mindestens drei Puppen(-gruppen) auf dem Feld aufgestellt. Innerhalb einer Puppengruppe beträgt der Abstand der Boden-Halterungen der einzelnen Puppen 1,50 m. Zwischen den Puppen(-gruppen) beträgt der Abstand mindestens 10 m. Zwischen den Puppen(-gruppen) in den unterschiedlichen Reihen muss der Versatz mindestens 30° betragen, um eine Windverschattung zwischen den Reihen auszuschließen. Eine beispielhafte Anordnung ist in Anlage 1 dargestellt. Zusätzlich zu den Puppen sind zwischen den Puppen(-gruppen) je Entfernung 10 Petrischalen auf geeigneten horizontal ausgerichteten Unterlagen zur Erfassung des Bodensediments auszulegen. Für die Vergleichbarkeit von Versuchsergebnissen sollten Messungen

vorzugsweise in den Entfernungen 3, 5 und 10 m durchgeführt werden. Abweichende Messentfernungen oder Messungen in nur einer Entfernung sind zulässig, sofern sie durch die Versuchsfrage begründet und entsprechend dokumentiert werden.

4. Feldwiederfindung und Nullwerte

Mindestens an jedem Versuchstag sind für jedes verwendete Dosimetermaterial kontaminierte Proben zur Bestimmung der Feldwiederfindung vorzusehen. Diese sind außerhalb der Messfläche den Umweltbedingungen der Versuchsumgebung auszusetzen. Die Kontamination der Proben erfolgt mit definierten Mengen des Nachweisstoffs. Es sind mindestens zwei Kontaminationsniveaus zu wählen, die den unteren und oberen Bereich der zu erwartenden Analyseergebnisse abdecken. Die Feldwiederfindung ist für jedes Kontaminationsniveau mindestens dreifach zu bestimmen. Zusätzlich sind für jedes Dosimetermaterial mindestens drei unkontaminierte Proben zur Bestimmung der Nullwerte den Umweltbedingungen der Versuchsumgebung auszusetzen. Die Wiederfindungsproben sind so zu positionieren, dass sie nicht von der Abdrift getroffen werden können. Im Labor werden sie analog zu den Expositionsproben extrahiert und analysiert. Die Wiederfindung wird als prozentualer Anteil bezogen auf die Sollkonzentration bzw. -menge berechnet.

5. Dosimeter der Puppen

5.1. Dermale Exposition

Den Puppen werden Dosimeter (JKI: Overall „Tyvek® 500 Xpert Schutzanzug“) angezogen. Für das Dosimetermaterial ist die Eignung im Hinblick auf Wiederfindung und Messbereich (insbesondere Nachweis- und Bestimmungsgrenze) zu bestimmen.
Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse müssen die Dosimeter so vorbereitet werden, dass die Exposition folgender Auswertungsbereiche getrennt bestimmt werden kann:

- Rumpf (Bereich von T-Shirt und kurzer Hose)
- Arme
- Beine
- Kopf

Die Definition der Auswertungsbereiche ist für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse maßgeblich. Im hier beschriebenen Verfahren umfasst der als „Rumpf“ bezeichnete Bereich den von einem T-Shirt und einer kurzen Hose bedeckten Körperbereich. Er umfasst damit neben dem Torso auch die Oberarme sowie die oberen Bereiche der Beine. Abweichende Definitionen sind zulässig, müssen jedoch dokumentiert werden.
Für den Tyvek® 500 Xpert-Schutzanzug sieht die Vorbereitung z. B. folgendermaßen aus:
Erwachsene, Overall Größe L (s. Anlage 3):

- Ärmel auf T-Shirt-Länge abschneiden, oben mit doppelseitigem Klebeband (innen) versehen

- Markierungslinie für kurze Hose (44 cm unterhalb der Quernaht am Oberkörper vorn und hinten) anzeichnen
- Schritt aufschneiden (gesamte Naht Innenseite Beine abschneiden)
- Beine mit Sicherheitsnadeln befestigen/hochstecken, um Bodenberührung beim Ankleiden der Puppen auf der kontaminierten Versuchsfläche zu vermeiden.

Kinder, Overall Größe S (s. Anlage 4):

- Ärmel auf T-Shirt-Länge abschneiden, auf 35 cm Länge kürzen, oben mit doppelseitigem Klebeband (innen) versehen.
- Beine abschneiden (54 cm unter der Quernaht)
- Markierungslinie für Shorts (11 cm unterhalb der Quernaht vorn und hinten) anzeichnen
- Oberkörperweite verringern (nähen/schweißen).

Die Flächen der einzelnen Auswertungsbereiche sind für beide Puppengrößen in Anlage 5 angegeben.

5.2. Inhalative Exposition

Um die inhalative Exposition zu messen, werden an den Puppen Aerosolsammelpumpen mit geeigneten Filterköpfen auf Halshöhe befestigt und die Ansaugöffnung zur Behandlungsfläche hin ausgerichtet. Die Ansaugleistung wird auf eine definierte Menge pro Minute (z. B. 2 L/min) eingestellt.

6. Durchführung der Expositionsmessungen

Vor einer Versuchsreihe ist das verwendete Pflanzenschutzgerät zu kalibrieren oder es ist auf andere geeignete Weise die auf der Behandlungsfläche ausgebrachte Aufwandmenge in L/ha zu bestimmen. Das Gerät ist mit sachgerechter und praxisüblicher Einstellung zu betreiben, die Einstellungen müssen dokumentiert werden.

Die Anwendung der Spritzflüssigkeit erfolgt entsprechend den festgelegten Versuchsparametern auf der gesamten Behandlungsfläche. Diese Flüssigkeit muss einen geeigneten Nachweisstoff enthalten. Dies kann ein Pflanzenschutzwirkstoff oder ein alternativer Nachweisstoff (z. B. Pyranin 120 % der Fa. Lanxess als fluoreszierender Farbstoff) sein. Die Konzentration des Nachweisstoffs ist so zu wählen, dass unter Berücksichtigung der Einstellungen des Pflanzenschutzgeräts, der Versuchsfrage und der Analysemethodik Messergebnisse oberhalb der Bestimmungsgrenze erzielt werden.

Jede Versuchsvariante ist so oft zu wiederholen, dass mindestens zehn Messwerte je Puppengröße und Entfernung vorliegen.

Werden mehrere Versuchswiederholungen an einem Versuchstag durchgeführt, sollte das Anziehen der Puppen bei 3 m beginnen. Die Overalls werden den Puppen verkehrt herum angezogen, damit die Öffnung für das Gesicht nach hinten zeigt. Die Ärmel werden so angezogen, dass am oberen Ende keine Lücke zwischen Overall und Ärmel entsteht, jedoch auch die Hände bis zu den Fingerknöcheln vom Ärmel bedeckt sind. Um Kreuzkontamination durch unkontrollierten

Kontakt mit kontaminierten Oberflächen zu vermeiden, sind Hände, Füße und Köpfe der Puppen durch geeignete Maßnahmen abzudecken. Beim Kopf z. B. durch 5-L-Tüten, bei den Händen durch Einmalhandschuhe, bei den Füßen durch Einmalfüßlinge.

Das Ausziehen der Puppen beginnt nach dem optischen Antrocknen der Spritzflüssigkeit (je nach Witterung standardmäßig 5 Minuten nach Applikationsende) bei den Puppen beim Abstand von 10 m, um Kreuzkontaminationen zu minimieren. Die Overalls werden mit einer Schere an den markierten Stellen in Beine, Arme, Kopf und Rumpf zerteilt, mit der Außenseite nach außen vorsichtig gefaltet und in vorbereiteten, beschrifteten Transportbehältnissen verpackt (2 Personen für kontaminationsfreie Verpackung empfohlen). Die Lagerung bis zur Analyse erfolgt dunkel und trocken.

Es ist darauf zu achten, dass während einer Versuchsreihe kein Material (z. B. Scheren, Mülltüten, Gefrierbeutel, Dosimeter) direkt auf dem Boden liegt und so in Kontakt mit der bereits ausgebrachten Spritzflüssigkeit kommt.

Mindestens am Anfang und am Ende einer Versuchsreihe an einem Versuchstag sind Tankproben zur Bestimmung der tatsächlichen Konzentration des Nachweisstoffs in der Spritzflüssigkeit zu entnehmen. Vor der Probenahme ist eine homogene Durchmischung der Spritzflüssigkeit sicherzustellen. Die Tankprobe kann mit einer Schöpfhilfe sowohl aus dem Behälter als auch direkt an den Düsen entnommen werden; die Entleerungseinrichtung des Tanks ist hierfür ungeeignet.

7. Wetter

Während jeder Versuchswiederholung sind folgende Wetterdaten zu erfassen:

- Windrichtung (1 Messwert je Sekunde)
- Windgeschwindigkeit (1 Messwert je Sekunde)
- Lufttemperatur (mindestens 1 Messwert je Versuchswiederholung)
- relative Luftfeuchte (mindestens 1 Messwert je Versuchswiederholung)

Die Messungen der Wetterdaten erfolgen auf der Mittelachse hinter der Messfläche 1 m über der Höhe der Kultur aber mindestens in 2 m Höhe.

Zur Beurteilung der meteorologischen Bedingungen werden die Anforderungen der ISO 22866 zugrunde gelegt. Die Lufttemperatur muss während einer Versuchswiederholung mindestens 5 °C und darf höchstens 35 °C betragen. Es wird empfohlen, eine Lufttemperatur von 25 °C nicht zu überschreiten.

Die für jede Versuchswiederholung erfassten Winddaten müssen folgende Bedingungen erfüllen: Die mittlere Windgeschwindigkeit muss mindestens 1 m/s betragen. Der Anteil der Einzelwerte mit Windgeschwindigkeiten unter 1 m/s soll 10 % nicht überschreiten. Es wird empfohlen, dass die mittlere Windgeschwindigkeit 5 m/s nicht überschreitet. Die mittlere Windrichtung darf nicht mehr als 30° von der Senkrechten zur Grenze zwischen Behandlungs- und Messfläche abweichen. Nicht mehr als 30 % der Einzelwerte dürfen eine Abweichung von mehr als 45° aufweisen.

Neben der rechnerischen Prüfung der Winddaten sind beobachtete Windrichtungsänderungen oder Windstille während der Versuchswiederholung zu dokumentieren und bei deren

Gültigkeitsbewertung zu berücksichtigen. Führt eine solche Änderung erkennbar dazu, dass die Messfläche nicht beaufschlagt wird, kann die Versuchswiederholung von der Auswertung ausgeschlossen werden.

8. Analytik und Auswertung bei Verwendung fluoreszierender Nachweisstoffe

Die nachfolgend beschriebene Analytik bezieht sich auf die fluorometrische Bestimmung fluoreszierender Nachweisstoffe. Hierfür ist im Labor eine Stammlösung mit definierter Massenkonzentration herzustellen. Die Stammlösung dient als Referenz für die Kalibrierung des Analysegeräts. Mit ihrer Hilfe wird außerdem die Konzentration des Nachweisstoffs in den Tankproben bestimmt.

Zur quantitativen Bestimmung des Nachweisstoffs sind geeignete Kalibrierreihen zu erstellen. Die Verwendung mehrerer Kalibrierbereiche mit unterschiedlichen Einstellungen des Analysegeräts ist zulässig, sofern für jeden Messbereich eine geeignete Kalibrierfunktion vorliegt. Die Kalibrierreihe sollte aus mindestens fünf geeigneten Kalibrierpunkten bestehen, die den jeweiligen Messbereich abdecken. Die verwendeten Kalibrierbereiche, Geräteeinstellungen und Kalibrierfunktionen sind zu dokumentieren.

Es ist sicherzustellen, dass der Nachweisstoff mit hinreichend hoher Extraktionseffizienz aus den verwendeten Dosimetermaterialien extrahiert werden kann. Die Extraktionseffizienz ist durch geeignete Untersuchungen nachzuweisen.

Für das verwendete Analyseverfahren sind die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen unter Berücksichtigung der jeweiligen Messbedingungen zu ermitteln. Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze werden für die rechnerische Auswertung auf null gesetzt. Messwerte zwischen der Nachweis- und der Bestimmungsgrenze werden für die rechnerische Auswertung auf das arithmetische Mittel dieser beiden Grenzwerte gesetzt. Die ursprünglichen Analyseergebnisse sind als Rohdaten aufzubewahren.

Die Blindwerte der verwendeten Dosimetermaterialien und Lösungsmittel sind zu bestimmen. Liegen diese unterhalb der Nachweisgrenze, erfolgt keine rechnerische Blindwertkorrektur. Bei höheren Blindwerten ist deren Einfluss auf die Messergebnisse zu prüfen und das weitere Vorgehen zu dokumentieren.

Die aus den Dosimetern extrahierten Nachweisstoffmengen werden unter Berücksichtigung der Extraktionsvolumina und gegebenenfalls durchgeführter Verdünnungen bestimmt. Die in den Tankproben ermittelte Konzentration des Nachweisstoffs dient als Bezugsgröße zur Umrechnung in die entsprechende Menge der ausgebrachten Spritzflüssigkeit, ebenso ist die Feldwiederfindung bei der Auswertung zu berücksichtigen.

Die dermale Gesamtexposition wird als Summe der auf den einzelnen Dosimeterteilen einer Puppe ermittelten Spritzflüssigkeitsmengen in µL/Puppe angegeben.

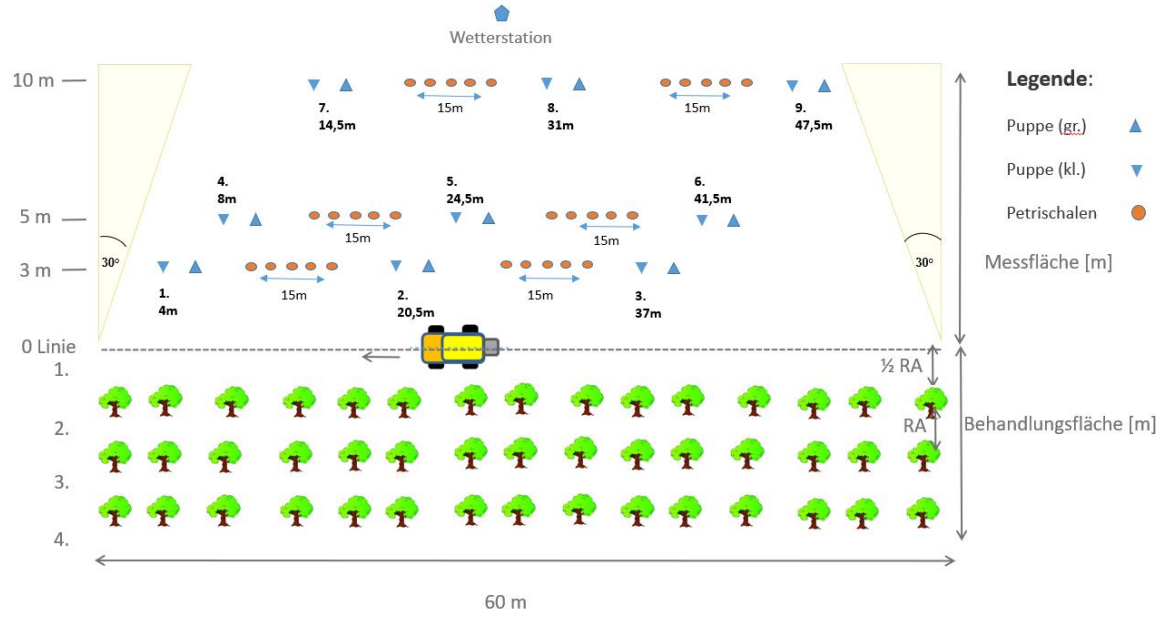
Die Auswertung erfolgt für jede Versuchsvariante, Puppengröße und Messentfernung getrennt. Die einzelnen Puppenwerte werden als Beobachtungen in die Auswertung einbezogen.

9. Dokumentation

Die Analyseergebnisse der Dosimeter und die Wetterdaten sind als Rohdaten zu dokumentieren und aufzubewahren. Zusätzlich sind die Daten zur Anordnung der Mess- und Behandlungsfläche (u. a. Reihenanzahl, Arbeitsbreite), zur Kultur (u. a. Art der Kultur, Begrenzungen/Höhe des Bestandes, BBCH-Stadium), zur Spritzflüssigkeit, zum Pflanzenschutzgerät (u. a. Düsentyp, Druck, Aufwandmenge, Fahrgeschwindigkeit, Anzahl der geöffneten Düsen, Anordnung der Düsen, Zielflächenabstand) sowie zu den speziellen Einstellungen und zur Probenaufarbeitung und Analytik zu erfassen und aufzubewahren.

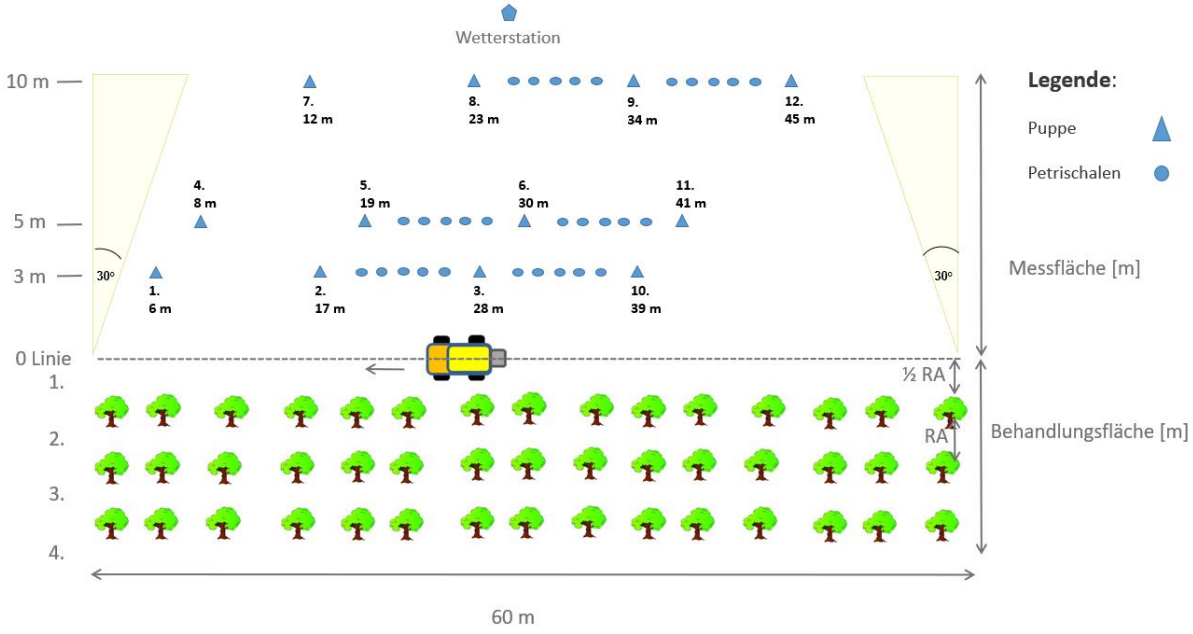
Anlage 1

Beispielhafter Aufbau für Expositionsmessungen mit 9 Erwachsenen- und 9 Kinderpuppen



Anlage 2

Beispielhafter Aufbau für Expositionsmessungen mit 12 Erwachsenenpuppen



Anlage 3

Beispiel eines vorbereiteten Dosimeters (Overall) für Erwachsenenpuppen sowie des für Expositionsmessungen erforderlichen Zubehörs



Anlage 4

Beispiel eines vorbereiteten Dosimeters (Overall) für Kinderpuppen sowie des für Expositionsmessungen erforderlichen Zubehörs



Anlage 5

Flächen der Auswertungsbereiche der Erwachsenen- und Kinderpuppen (cm²), vermessen durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig

	Erwachse-ner	Kind
Kopf	1 390	860
Arm*	1 390	650
Bein*	3 250	1 200
Rumpf	6 380	2 408
Gesamt	17 050	6 968

*Die angegebenen Flächen beziehen sich jeweils auf einen Arm bzw. ein Bein.