



Untersuchungsbericht zur Immissionsbelastung von Nahrungspflanzen in Wuppertal Grünkohlexposition

2021

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Fachbereich 31 Immissionswirkungen Leibnizstraße 10 45659 Recklinghausen Recklinghausen (10.02.2022)
Autorin	Dr. Katja Hombrecher katja.hombrecher@lanuv.nrw.de 0201/7995 – 1186
Mitwirkende	Dr. Ralf Both, Holger Buick, Marcel Buss, Alexandra Müller-Uebachs, Mario Rendina, (alle FB 31), Udo van Hauten (FB 32), FB 33 (Gesundheitliche Bewertung),
Informationendienste	Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter • www.lanuv.nrw.de Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im • WDR-Videotext

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Methodik	5
3	Ergebnisse der Pflanzenuntersuchungen	6
3.1	Gesamtsumme PCB (PCB_{gesamt}).....	7
3.2	Dioxinähnliche PCB (dl-PCB).....	9
3.3	Dioxine und Furane (PCDD/F)	11
3.4	Fazit der Pflanzenuntersuchungen.....	12
4	Bewertung der Ergebnisse	12
5	Zusammenfassung und weiteres Vorgehen.....	12
6	Literatur.....	14

1 Einleitung

In Wuppertal wurden im Jahr 2020 im Umkreis zweier Betriebe der Silikonkautschukverarbeitung, der Fa. Coroplast im Stadtteil Nächstebreck und der Fa. Prysmian im Stadtteil Ronsdorf, orientierende Untersuchungen an Nahrungspflanzen (Löwenzahnscreening) durchgeführt (s. LANUV Untersuchungsbericht vom 03.06.2020). Im Umkreis der Fa. Coroplast wurde eine vorsorgliche Nichtverzehrempfehlung für Blattgemüse ausgesprochen und zwischen August und November 2020 eine weitere Untersuchung mit Grünkohlpflanzen durchgeführt (s. LANUV Untersuchungsbericht vom 22.02.2021). Im Umkreis der Fa. Prysmian wurde lediglich für ein Grundstück eine vorläufige Nichtverzehrempfehlung ausgesprochen. Während die Fa. Coroplast im Jahr 2021 nach eigenen Angaben den chlorhaltigen Vernetzer nicht mehr eingesetzt hat und deshalb nicht mehr von einer Freisetzung der PCB-Kongenerne 47, 51 und 68 auszugehen ist, setzt die Fa. Prysmian diesen noch ein.

Im Jahr 2021 sollte die Immissionssituation im Umkreis der beiden Firmen erneut überprüft werden. Es erfolgte eine standardisierte Grünkohlexposition zwischen August und November an den zwei Messpunkten im Umkreis der Fa. Coroplast, die in 2020 die höchste Belastung zeigten (Messpunkte 1 und 4, s. Abbildung 1). Außerdem wurden Grünkohlpflanzen an zwei Messpunkten im Umkreis der Fa. Prysmian exponiert, die im Jahr 2020 noch nicht untersucht wurden (Messpunkte 9 und 10, s. Abbildung 2).

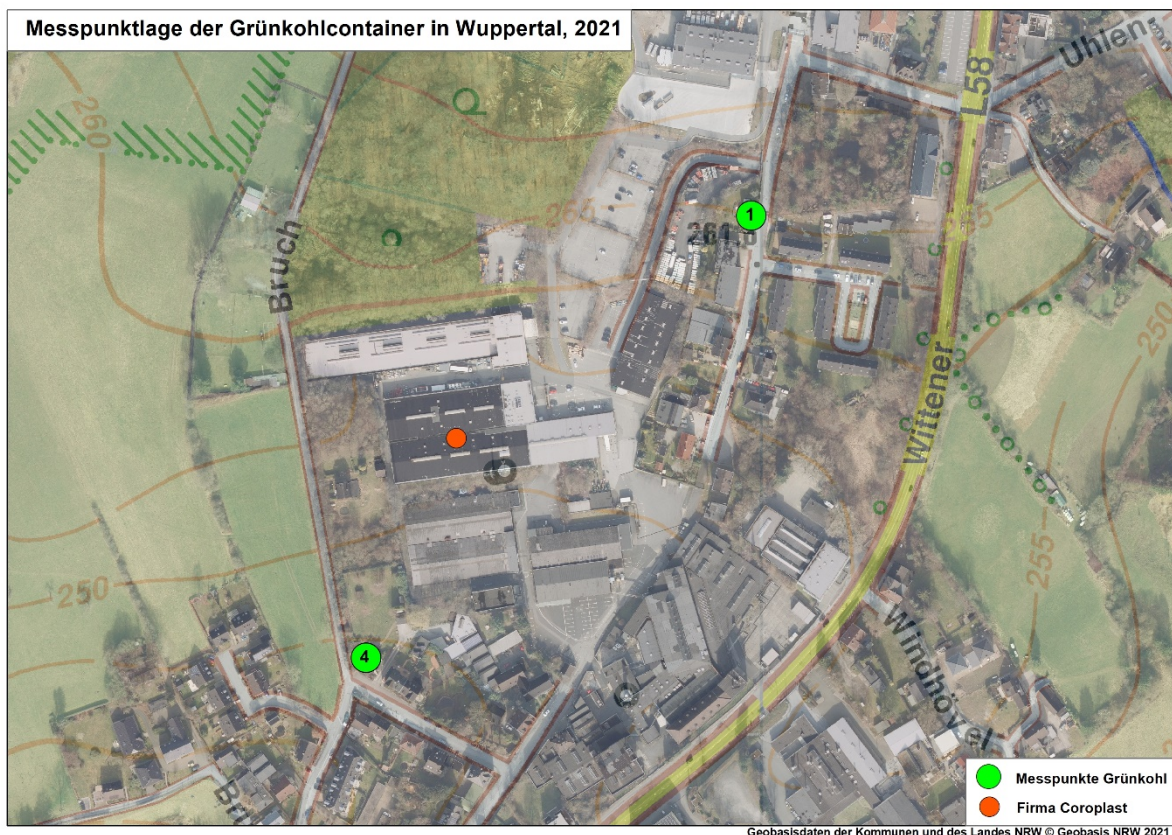


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet mit den Messpunkten der Grünkohlexposition 2021 im Umkreis der Fa. Coroplast

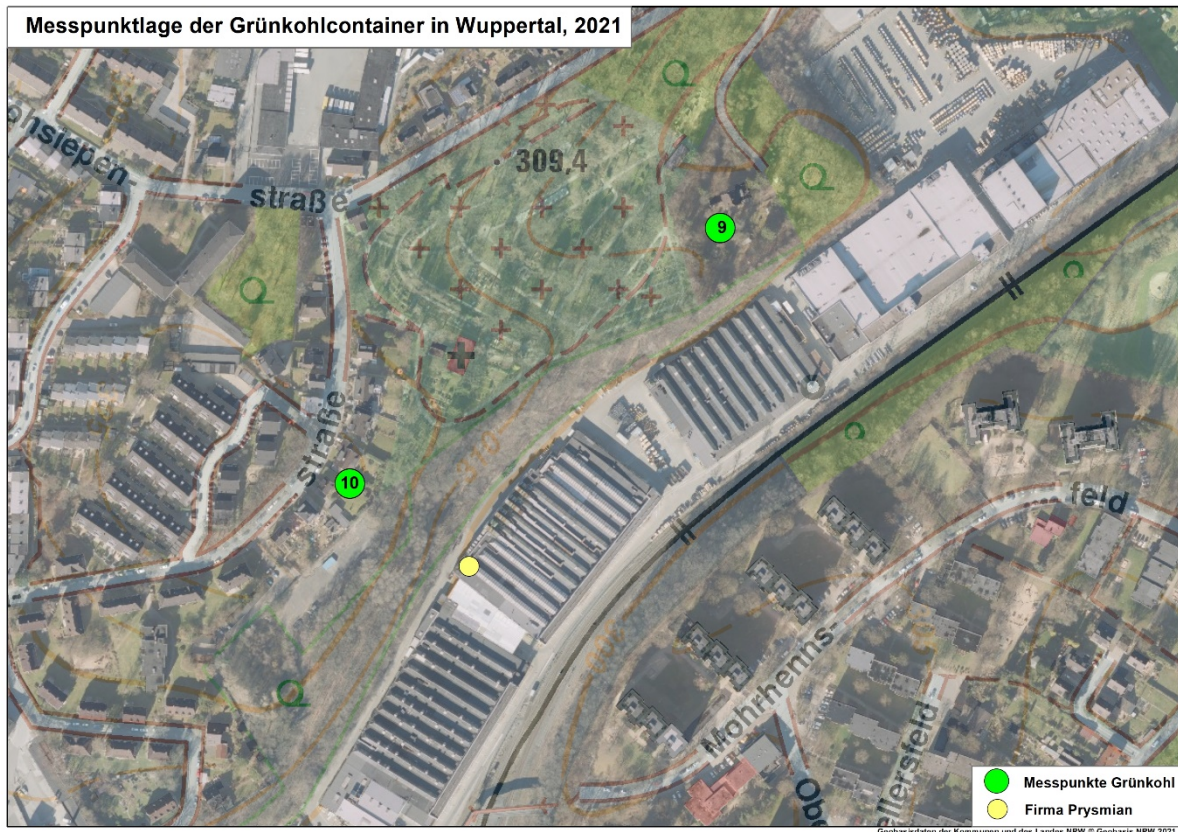


Abbildung 2: Untersuchungsgebiet mit den Messpunkten der Grünkohlexposition 2021 im Umkreis der Fa. Prysmian

Im Folgenden werden die Vorgehensweise sowie die Ergebnisse der Untersuchung in Wuppertal und deren Bewertung aus dem Jahr 2021 detailliert dargestellt.

2 Methodik

An insgesamt vier Messpunkten wurde vom 11.08. bis zum 15.11.2020 Grünkohl nach Standardverfahren in Containern mit Einheitserde exponiert. Die Messpunkte wurden in Abstimmung mit der Stadt Wuppertal ausgewählt.

Folgende Messpunkte wurden untersucht:

- MP 1:** Hausgarten an der Gabelsberger Straße, ca. 250 m nordöstlich der Fa. Coroplast
- MP 4:** Hausgarten im Bruch, ca. 100 m südwestlich der Fa. Coroplast
- MP 9:** Hausgarten an der Lohsiepenstraße, ca. 270 m nordöstlich der Fa. Prysmian
- MP 10:** Hausgarten an der Reinshagenstraße, ca. 100 m westnordwestlich der Fa. Prysmian

Pro Messpunkt wurde ein Container aufgestellt, der mit einem Einheitserde-Sand-Gemisch (ED 73) gefüllt und durch Textildochte mit einer automatischen Wasserversorgung verbunden war (s. Abbildung 3). Bei der Grünkohlexposition wurden pro Container 5 Pflanzen ausgebracht. Die Pflanzen wurden nach 96 Tagen Expositionszeit geerntet und in Aluminiumboxen gekühlt zur Fa. Münster Analytical Solutions (mas) transportiert. Bei der Ernte wurden nur verzehrfähige Blätter entnommen. Im Labor erfolgte die küchenfertige Aufarbeitung der Proben zu einer homogenen Mischprobe je Messpunkt. Das Pflanzenmaterial wurde gründlich gewaschen, schockgefroren und anschließend gefriergetrocknet. Nach dem Vermahlen wurden die Gehalte an PCDD/F, dl-PCB, der 6 Indikator-PCB 28, 52, 101, 138, 153 und 180 sowie der PCB-Kongenere 47, 51 und 68 ermittelt.



Abbildung 3: Grünkohlexpositionsverfahren

3 Ergebnisse der Pflanzenuntersuchungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Grünkohlexposition von August bis November 2021 für jeden der untersuchten Schadstoffe beschrieben und mit der Hintergrundbelastung in NRW verglichen. Die Werte der Hintergrundbelastung für die einzelnen Schadstoffe basieren auf einer Auswertung von Messdaten aus dem Wirkungsdauermessprogramm NRW (LANUV Fachberichte 61 und 114). Dargestellt wird der Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) in Grünkohl von 10 verschiedenen Hintergrundstationen aus dem 10-Jahreszeitraum von 2011 bis 2020. Messwerte, die abzüglich der Standardunsicherheit des Verfahrens den OmH überschreiten, werden als Hinweis auf eine vorliegende Immissionsbelastung durch die untersuchte Substanz gewertet (Richtlinie VDI 3857 Blatt 2).

3.1 Gesamtsumme PCB (PCB_{gesamt})

Die Gesamtsumme der polychlorierten Biphenyle in einer Probe (PCB_{gesamt}) setzt sich aus Einzelkomponenten, den sogenannten Kongeneren, zusammen. Diese sind nach ihrem Chlorierungsgrad durchnummeriert von PCB 1 mit einem gebundenen Chloratom bis PCB 209 mit 10 Chloratomen. Technische PCB-Gemische enthielten ca. 160 der 209 möglichen Kongenere. Die Anwendung dieser technischen Gemische, beispielsweise in Anstrichen und Fugendichtungen, wurde in den späten 80er Jahren weltweit verboten. Noch immer sind jedoch PCB-haltige Produkte in Gebrauch, insbesondere in älteren Gebäudebeständen, aber auch in Elektroaltgeräten.

Da die Bestimmung aller 209 PCB-Kongenere einen unverhältnismäßig hohen Aufwand darstellt, werden nur die 6 PCB-Kongenere 28, 52, 101, 138, 153 und 180 als Indikator-Kongenere bestimmt. Die Gehalte dieser 6 Indikator-PCB werden als Summe mit dem Faktor 5 multipliziert und repräsentieren nach LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall) die PCB_{gesamt} -Gehalte. Die Abschätzung PCB_{gesamt} in einer Probe über diese Berechnung ist nur dann zielführend, wenn die Herkunft der gemessenen PCB überwiegend auf die Anwendung der technischen PCB-Mischungen zurückgeführt werden kann. Ist das der Fall, bildet diese Konvention sehr gut den tatsächlichen Gesamtgehalt aller Kongenere in Nahrungspflanzen ab.

Nach neuen Erkenntnissen waren die Kongenere PCB 47, 51 und 68 auch in den technischen PCB-Gemischen in geringen Anteilen enthalten. Diese Anteile werden im nach LAGA ermittelten PCB_{gesamt} -Gehalt rein rechnerisch miterfasst. Dies gilt auch für Proben von Hintergrundstandorten, weshalb der Orientierungswert für die maximale Hintergrundbelastung (OmH) für PCB_{gesamt} rechnerisch die Kongenere PCB 47, 51 und 68 mitberücksichtigt. Aus diesem Grund kann der so ermittelte OmH auch für die Beurteilung der Proben aus dem Einflussbereich der Silikonkautschukverarbeitung eingesetzt werden und es muss nicht mehr behelfsmäßig, wie in den Vorjahren, auf den OmH der Summe der Tri- bis Decachlorbiphenyle zurückgegriffen werden.

Die potentiell deutlich höheren Gehalte der Kongenere PCB 47, 51 und 68, die durch die Silikonkautschukverarbeitung freigesetzt werden, werden allerdings nicht in den nach LAGA berechneten PCB_{gesamt} -Gehalten miterfasst. Deshalb werden die Gehalte dieser Kongenere in den Proben aus dem Untersuchungsprogramm zusätzlich zu den sechs Indikator-PCB bestimmt und zu der Summe der 6 Indikator-PCB x Faktor 5 addiert, um die gesamte PCB-Belastung abzubilden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Überschreiten die in den Grünkohlpflanzen ermittelten Gehalte abzüglich der Standardunsicherheit des Verfahrens den OmH, werden diese gesundheitlich bewertet und es werden ggf. differenzierte Verzehrempfehlungen abgeleitet.

Tabelle 1: Gehalte an PCB_{gesamt} als Summe der 6 Indikator-PCB x 5 und als Summe der 6 Indikator-PCB x 5 zuzüglich der drei PCB-Kongenere 47, 51, 68 in Grünkohl an den Messpunkten in Wuppertal-Nächstebreck 2020 und 2021 sowie in Wuppertal-Ronsdorf 2021

Messpunkte	PCB _{gesamt} nach LAGA 6 PCB x 5 [µg/kg FM]		PCB _{gesamt} inkl. PCB 47, 51, 68 6 PCB x 5+ PCB 47, 51, 68 [µg/kg FM]	
	2020	2021	2020	2021
W.-Nächstebreck				
MP 1	4,0	3,4	6,2	3,7
MP 2	2,0	-	2,3	-
MP 3	1,7	-	1,9	-
MP 4	3,8	3,0	5,0	3,3
MP 5	2,0	-	2,4	-
MP 6	2,3	-	2,9	-
W.-Ronsdorf				
MP 9	-	1,4	-	1,6
MP 10	-	2,2	-	2,3
OmH NRW	4,1			

Für die zwischen August und November 2021 exponierten Grünkohlpflanzen betragen die nach LAGA berechneten PCB_{gesamt}-Gehalte zwischen 3,4 µg/kg in der Frischmasse (= FM) am Messpunkt 1 und 3,0 µg/kg FM am Messpunkt 4 im Umkreis der Fa. Coroplast in Wuppertal-Nächstebreck. An den Messpunkten im Umkreis der Fa. Prysmian in Wuppertal-Ronsdorf betragen die Gehalte 1,4 µg/kg FM am Messpunkt 9 und 2,2 µg/kg FM am Messpunkt 10. Damit liegen alle ermittelten Gehalte unterhalb des Orientierungswertes für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) für NRW von 4,1 µg/kg FM (s. Tabelle 1 und Abbildung 4).

Berechnet man den PCB_{gesamt}-Gehalt als Summe der 6 Indikator-PCB x 5 zuzüglich PCB 47, 51 und 68, betragen die Gehalte 3,7 µg/kg FM am Messpunkt 1 und 3,3 µg/kg FM am Messpunkt 4 in Wuppertal-Nächstebreck sowie 1,6 µg/kg FM am Messpunkt 9 und 2,3 µg/kg FM am Messpunkt 10 in Wuppertal-Ronsdorf (s. Tabelle 1 und Abbildung 5). In allen untersuchten Proben wurden die PCB-Kongenere 47 und 61 nachgewiesen; der Gehalt an PCB 51 lag nur in einer Probe (MP 9) oberhalb der Bestimmungsgrenze. Die Anteile dieser potentiell bei der Silikonkautschukverarbeitung freigesetzten PCB an der PCB-Gesamtsumme war an allen Messpunkten mit 5 – 11 % sehr gering. Der höchste Anteil wurde mit 11 % am Messpunkt 9 in Hauptwindrichtung zur Fa. Prysmian ermittelt. Der PCB-Gesamtgehalt als Summe der 6 Indikator-PCB x 5 zuzüglich der PCB 47, 51 und 68 lag an allen untersuchten Messpunkten unterhalb des OmH für PCB_{gesamt} von 4,1 µg/kg FM.

Im Jahr 2020 wurde noch am Messpunkt 1 ein Anteil der PCB 47, 51 und 68 von 35 % der Gesamtsumme gemessen. Da sich dieser Anteil deutlich verringert hat, ist davon auszugehen, dass die Immissionen entsprechend zurückgegangen sind. Das würde der Aussage der Fa. Coroplast entsprechen, den chlorhaltigen Vernetzer an diesem Standort nicht mehr einzusetzen. Auch wenn der chlorhaltige Vernetzer, soweit dem LANUV bekannt, bei der Fa. Prysmian noch zur Anwendung kommt, konnten in den zwischen August und November an den Messpunkten 9 und 10 exponierten Grünkohlpflanzen keine erhöhten Einträge der potentiell bei der Silikonkautschukverarbeitung freigesetzten Kongenere festgestellt werden.

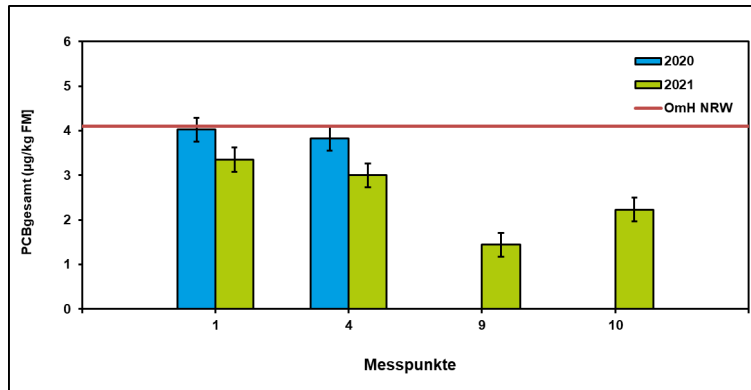


Abbildung 4: PCB_{gesamt}-Gehalte als Summe der 6 Indikator-PCB*5 in Grünkohl an den Messpunkten in Wuppertal 2020 und 2021 inkl. Standardunsicherheit, OmH NRW [µg/kg FM]

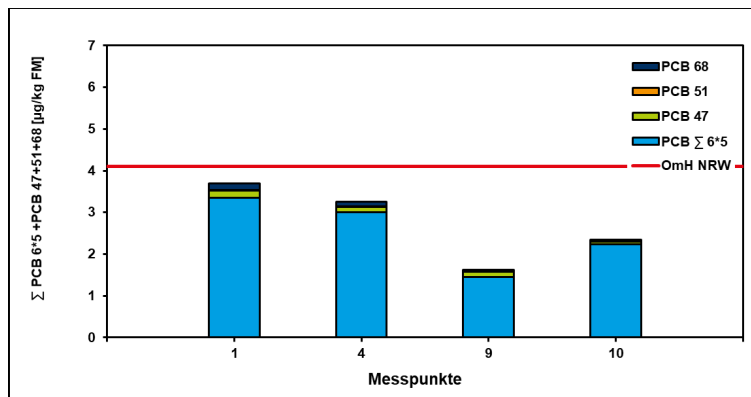


Abbildung 5: PCB_{gesamt}-Gehalte als Summe der 6 Indikator-PCB*5 zuzüglich der Summe der PCB 47, 51, 68 (gestapelte Säulen) in Grünkohl an den Messpunkten in Wuppertal 2021 [µg/kg FM]

3.2 Dioxinähnliche PCB (dl-PCB)

In den Grünkohlpflanzen wurden auch die sogenannten „dioxinähnlichen“ PCB (dl-PCB) erfasst. Dabei handelt es sich um 12 PCB-Kongenere, die aufgrund ihrer Struktur ähnlich wie Dioxine und Furane wirken, weshalb die Weltgesundheitsorganisation (WHO) ihnen ebenfalls Toxizitätsäquivalenz-Faktoren (TEF) zugeordnet hat. Diese 12 dl-PCB werden als Summe in der Einheit ng TEQ_{WHO2005}/kg FM (kurz: ng TEQ/kg FM) angegeben. Für dl-PCB in pflanzlichen Lebensmitteln gibt es einen EU-Auslösewert von 0,10 ng TEQ/kg FM (Empfehlung EU 2014).

Die Gehalte an dl-PCB in den Grünkohlpflanzen betragen 0,10 ng TEQ/kg FM am Messpunkt 1 und 0,069 ng TEQ/kg FM am Messpunkt 4 in Wuppertal-Nächstebreck sowie 0,032 ng TEQ/kg FM am Messpunkt 9 und 0,064 ng TEQ/kg FM am Messpunkt 10 in Wuppertal-Ronsdorf (s. Tabelle 2 und Abbildung 6). Die dl-PCB-Gehalte liegen abzüglich der Standardunsicherheit des Verfahrens von 0,015 ng TEQ/kg FM an allen Messpunkten unterhalb des EU-Auslösewertes von 0,10 ng TEQ/kg FM. Am Messpunkt 1 übersteigt der dl-PCB-Gehalt allerdings wie im Vorjahr den OmH für NRW von 0,067 ng TEQ/kg FM. Es ist also an diesem Messpunkt im Untersuchungszeitraum in 2021 auch zu einem immissionsbedingten Eintrag von dl-PCB gekommen, wie das für diesen Messpunkt auch schon im Grünkohl 2020 gezeigt wurde.

Tabelle 2: Gehalte an dl-PCB in Grünkohl an den Messpunkten in Wuppertal 2020 und 2021

Messpunkte	dl-PCB [ng TEQ/kg FM]	
	2020	2021
W.-Nächstebreck		
MP 1	0,11	0,10
MP 2	0,037	-
MP 3	0,034	-
MP 4	0,057	0,069
MP 5	0,055	-
MP 6	0,058	-
W.-Ronsdorf		
MP 9	-	0,032
MP 10	-	0,064
OmH NRW	0,067	

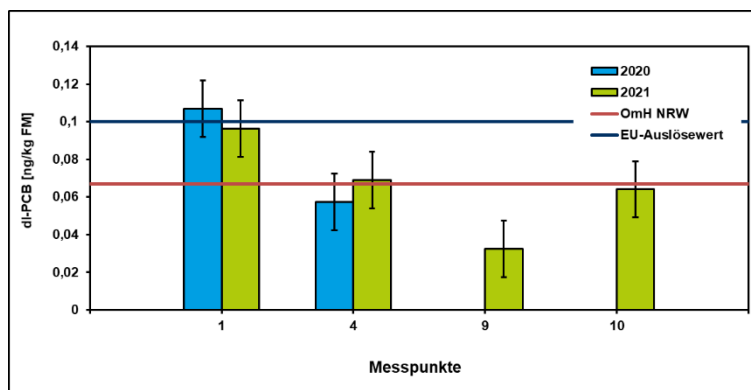


Abbildung 6: dl-PCB-Gehalte in Grünkohl an den Messpunkten in Wuppertal 2020 und 2021 inkl. Standardunsicherheit, OmH NRW, EU-Auslösewert [ng TEQ/kg FM]

3.3 Dioxine und Furane (PCDD/F)

Zusätzlich zu den Untersuchungen auf PCB wurden in den Grünkohlpflanzen auch die Gehalte der Polychlorierten Dibenzo-Dioxine und –Furane (PCDD/F) ermittelt. Für PCDD/F gibt es ebenfalls einen EU-Auslösewert von 0,30 ng TEQ/kg FM (Empfehlung EU 2014).

Die Gehalte an Dioxinen und Furanen betragen 0,034 ng TEQ/kg FM am Messpunkt 1 und 0,035 ng TEQ/kg FM am Messpunkt 4 sowie 0,025 ng TEQ/kg FM am Messpunkt 9 und 0,032 ng TEQ/kg FM am Messpunkt 10. Die Gehalte an allen Messpunkten in Wuppertal liegen damit unterhalb des OmH für NRW von 0,086 ng TEQ/kg FM und deutlich unterhalb des EU-Auslösewertes von 0,30 ng TEQ/kg FM (s. Tabelle 3 und Abbildung 7).

Tabelle 3: Gehalte an PCDD/F in Grünkohl an den Messpunkten in Wuppertal 2020 und 2021

Messpunkte	PCDD/F [ng TEQ/kg FM]	
	2020	2021
W.-Nächstebreck		
MP 1	0,025	0,034
MP 2	0,023	-
MP 3	0,030	-
MP 4	0,028	0,035
MP 5	0,028	-
MP 6	0,060	-
W.-Ronsdorf		
MP 9	-	0,025
MP 10	-	0,032
OmH NRW	0,086	

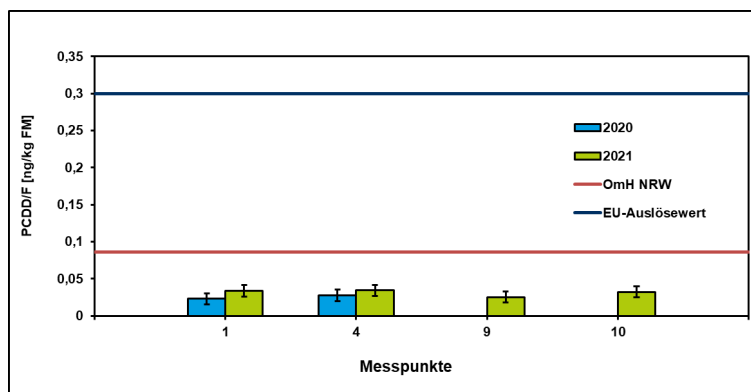


Abbildung 7: PCDD/F-Gehalte in Grünkohl an den Messpunkten in Wuppertal 2020 und 2021 inkl. Standardunsicherheit, OmH NRW, EU-Auslösewert [ng TEQ/kg FM]

3.4 Fazit der Pflanzenuntersuchungen

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass an allen untersuchten Messpunkten nur geringe Gehalte der potentiell bei der Silikonkautschukverarbeitung freiwerdenden PCB-Kongeneren 47, 51 und 68 in den zwischen August und November 2021 exponierten Grünkohlpflanzen nachgewiesen werden konnten. An keinem der untersuchten Messpunkte wurde der OmH für NRW für PCB_{gesamt} überschritten. Durch den Vergleich mit den Vorjahreswerten zeigt sich, dass die Immissionen an PCB 47, 51 und 68 im Umkreis der Fa. Coroplast deutlich zurückgegangen sind. Die im Jahr 2021 ermittelten Anteile der PCB 47, 51 und 68 an der PCB-Gesamtsumme entsprechend weitgehend dem Hintergrundniveau. Das gilt auch für die beiden Messpunkte in Wuppertal-Ronsdorf im Umfeld der Fa. Prysmian.

Am Messpunkt 1 war der in den Grünkohlpflanzen ermittelte dl-PCB-Gehalt wie im Vorjahr etwas gegenüber der Hintergrundbelastung erhöht. Es ist also an diesem Messpunkt im Untersuchungszeitraum erneut zu einem immissionsbedingten Eintrag von dl-PCB gekommen. Dort gibt es offensichtlich noch eine Quelle für dl-PCB.

4 Bewertung der Ergebnisse

Eine gesundheitliche Bewertung der PCB_{gesamt}-Gehalte der in Wuppertal zwischen August und November 2021 exponierten Grünkohlpflanzen ist nicht erforderlich, weil diese inklusive der bei der Silikonproduktion freiwerdenden PCB-Kongeneren 47, 51 und 68 unterhalb des OmH für NRW liegen.

Eine gesundheitliche Bewertung der PCDD/F und dl-PCB-Belastung im Grünkohl am Messpunkt 1 in Wuppertal anhand des von der EFSA 2018 abgeleiteten TWI-Wertes für PCDD/F und dl-PCB in Höhe von 2 ng TEQ_{WHO2005}/kg KG/w ist nach jetzigem Kenntnisstand nicht zielführend, da laut EFSA der TWI alleine über den allgemeinen Warenkorb ausgeschöpft bzw. überschritten wird.

Aus diesem Grund erfolgte die statistische Einordnung auf Basis des Vergleichs mit der Belastungshöhe von lokal angebautem Grünkohl mittels OmH NRW für dl-PCB und PCDD/F, in den Kapiteln 3.2 und 3.3.

5 Zusammenfassung und weiteres Vorgehen

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass an allen untersuchten Messpunkten nur geringe Gehalte der potentiell bei der Silikonkautschukverarbeitung freiwerdenden PCB-Kongeneren 47, 51 und 68 in den zwischen August und November 2021 exponierten Grünkohlpflanzen nachgewiesen werden konnten. An keinem der untersuchten Messpunkte wurde der OmH für NRW für PCB_{gesamt} überschritten.

Die Immissionssituation im Umkreis der Fa. Coroplast hat sich gegenüber 2020 deutlich verändert. Die Gehalte der potentiell durch die Silikonkautschukverarbeitung freigesetzten Kongeneren PCB 47, 51 und 68 waren an den zwei untersuchten Messpunkten in den 2021

exponierten Grünkohlpflanzen deutlich geringer. Die Fa. Coroplast hat nach eigener Aussage die Produktion mit dem chlorhaltigen Vernetzer zu Beginn des Jahres 2021 vollständig eingestellt. Das bestätigen die hier zwischen August und November 2021 ermittelten Werte.

Auch wenn bei der Fa. Prysmian im Untersuchungszeitraum der chlorhaltige Vernetzer noch verwendet wurde, konnten an den beiden Messpunkten in Wuppertal-Ronsdorf in den zwischen August und November 2021 exponierten Grünkohlpflanzen auch keine erhöhten Immissionen der PCB-Kongenere 47, 51 und 68 festgestellt werden, die zu einer Überschreitung des OmH für NRW geführt hätten.

Am Messpunkt 1 war der in den Grünkohlpflanzen ermittelte dl-PCB-Gehalt wie im Vorjahr etwas gegenüber der Hintergrundbelastung erhöht. Es ist also an diesem Messpunkt im Untersuchungszeitraum erneut zu einem immissionsbedingten Eintrag von dl-PCB gekommen. Dort gibt es offensichtlich noch eine Quelle für dl-PCB.

Da die ermittelten PCB_{gesamt}-Gehalte – auch unter Berücksichtigung der Gehalte an PCB 47, 51 und 68 – an allen untersuchten Messpunkten unterhalb der Hintergrundbelastung (OmH) in NRW liegen, ist eine gesundheitliche Bewertung der Gehalte nicht erforderlich.

Eine gesundheitliche Bewertung des gegenüber der Hintergrundbelastung erhöhten dl-PCB-Gehaltes am Messpunkt 1 ist nach jetzigem Kenntnisstand nicht zielführend. Das LANUV sieht eine Aufrechterhaltung der derzeit noch für einen kleinen Bereich im Umkreis des Messpunktes 1 geltenden Verzehrempfehlung nicht als erforderlich an.

Eine Aufrechterhaltung der vorsorglichen Nichtverzehrempfehlung in Wuppertal-Ronsdorf ist aus Sicht des LANUV nicht weiter erforderlich, wenn sich der Einsatz des chlorhaltigen Vernetzers bei der Fa. Prysmian nicht erhöhen sollte.

Das weitere Vorgehen ist noch abzustimmen.

6 Literatur

- EFSA (European Food Safety Authority, 2018): Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food, EFSA Journal 2018; 16(11): 5333
- Empfehlung EU 2014: 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
- 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
- VDI 3857 Blatt 2 (2020): Beurteilungswerte für immissionsbedingte Stoffanreicherungen in standardisierten Graskulturen: Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehalte ausgewählter anorganischer Luftverunreinigungen, Entwurf, KRdL 2020