



# **Untersuchungsbericht zur Immissionsbelastung von Nahrungspflanzen in Bottrop**

Grünkohlexposition von August – November  
2021

## IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Fachbereich 31 Immissionswirkungen  Leibnizstraße 10 45659 Recklinghausen  Recklinghausen (16.03.2022)
Autorin	Dr. Katja Hombrecher <a href="mailto:katja.hombrecher@lanuv.nrw.de">katja.hombrecher@lanuv.nrw.de</a> 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), FB 43 (Analytik)
Informationendienste	Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter • <a href="http://www.lanuv.nrw.de">www.lanuv.nrw.de</a> Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im • WDR-Videotext

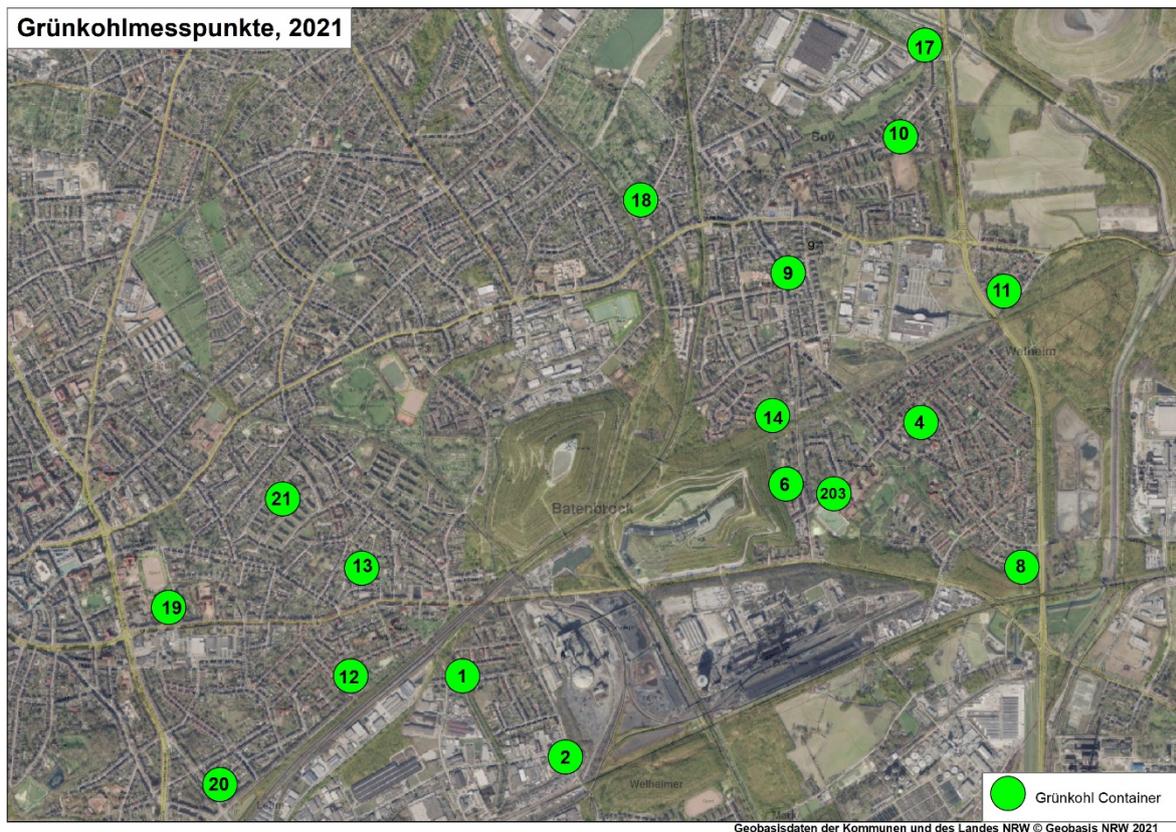
## Inhalt

1	Einleitung .....	4
2	Methodik .....	5
3	Ergebnisse der Pflanzenuntersuchungen .....	6
3.1	BaP-Gehalte .....	6
3.2	PAK 4-Gehalte .....	8
3.3	Räumliche Ausdehnung der Belastung .....	11
3.4	Vergleich mit den Messungen im Feinstaub und in der Deposition .....	13
3.5	Fazit der Pflanzenuntersuchungen .....	14
4	Gesundheitliche Bewertung der Ergebnisse .....	14
5	Zusammenfassung .....	21
6	Weiteres Vorgehen .....	23
7	Literatur .....	23

# 1 Einleitung

Im Umfeld der Kokerei der Fa. ArcelorMittal in Bottrop wurden in den Jahren 2018 bis 2020 in Grünkohlpflanzen immissionsbedingte Einträge an PAK ermittelt (s. LANUV-Untersuchungsberichte vom 12.04.2019, 19.02.2020, 22.10.2020 und 10.03.2021). Es konnte gezeigt werden, dass die Kokerei den Hauptverursacher für die erhöhten Gehalte darstellt. Aufgrund der gesundheitlichen Bewertung der PAK-Gehalte in den Grünkohlpflanzen wurde von Seiten der Stadt Bottrop eine Verzehrempfehlung für weitreichende Gebiete im Umfeld der Kokerei ausgesprochen.

Im Jahr 2021 wurde erneut zwischen Mai und August an sechs Messpunkten eine standardisierte Grünkohlexposition durchgeführt (s. LANUV-Untersuchungsbericht vom 21.12.2021). Dabei wurde an einem der sechs untersuchten Messpunkte (MP 203) eine deutliche Immissionsbelastung durch PAK festgestellt, die zu einer Überschreitung des Orientierungswertes für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) für NRW geführt hat. Zwischen August und November wurden an insgesamt 17 Messpunkten, die auch die bereits zwischen Mai – August beprobten sechs Messpunkte einschließen, Grünkohlpflanzen exponiert (s. Abbildung 1). Die Messpunkte 20 und 21 sind in 2021 neu dazugekommen, um die Belastungssituation im Stadtteil Batenbrock besser abbilden zu können.



**Abbildung 1:** Untersuchungsgebiet mit den Messpunkten der Grünkohlexposition 2021 von August bis November

Im Folgenden werden die Vorgehensweise sowie die Ergebnisse der Untersuchungen zur Immissionsbelastung von Nahrungspflanzen aus dem Jahr 2021 und deren Bewertung detailliert dargestellt.

## 2 Methodik

An 17 Messpunkten wurde vom 09.08. bis zum 16.11.2021 Grünkohl nach Standardverfahren in Containern exponiert. Grünkohl kann aufgrund seiner stark aufgegliederten Blätter und der ausgeprägten Wachsschicht besonders gut fettlösliche (lipophile), organische Schadstoffe, wie PAK, akkumulieren.

Es wurden folgende Messpunkte untersucht:

- Messpunkt 1:** Privatgarten, Steigerstraße, ca. 1400 m westlich der Kokerei
- Messpunkt 2:** Firmengelände, An der Knippenburg, ca. 1000 m westlich der Kokerei
- Messpunkt 4:** Privatgarten, Welheimer Straße, ca. 1300 m nordöstlich der Kokerei
- Messpunkt 6:** Privatgarten, Johannesstraße, ca. 750 m nördlich der Kokerei
- Messpunkt 8:** Privatgarten, Kleinebrechtshof, ca. 1000 m ostnordöstlich der Kokerei
- Messpunkt 9:** Privatgarten Johannesstraße, ca. 1700 m nördlich der Kokerei
- Messpunkt 10:** Privatgarten Kraneburgstraße, ca. 2400 m nordnordöstlich der Kokerei
- Messpunkt 11:** Privatgarten, Im Dorbusch, ca. 1900 m nordöstlich der Kokerei
- Messpunkt 12:** Privatgarten, Ludwig-Richter-Straße, ca. 1600 m westlich der Kokerei
- Messpunkt 13:** Privatgarten, Menzelstraße, ca. 1800 m westnordwestlich der Kokerei
- Messpunkt 14:** KGV Johannestal, ca. 1000 m nördlich der Kokerei
- Messpunkt 17:** KGA An der Boye e. V., ca. 3000 m nordnordöstlich der Kokerei
- Messpunkt 18:** Städtischer Betriebshof des Ostfriedhofes, ca. 2100 m nördlich der Kokerei
- Messpunkt 19:** Gelände des städtischen Jugendamtes, Prosperstraße, ca. 2700 m westnordwestlich der Kokerei
- Messpunkt 20:** Privatgarten, Corinthweg, ca. 2500 m westlich der Kokerei
- Messpunkt 21:** Grundstück der Heilandgemeinde Bottrop, Sonnenschein, ca. 2200 m westnordwestlich der Kokerei
- Messpunkt 203:** Messpunkt aus dem Wirkungsdauermessprogramm NRW, Welheimer Straße ca. 750 m nordöstlich der Kokerei

Pro Messpunkt wurde ein Pflanzcontainer aufgestellt, der mit Einheitserde (ED 73) gefüllt und durch Textildochte mit einer automatischen Wasserversorgung verbunden war, um die immissionsseitig (über die Luft) in die Pflanzen eingetragenen Schadstoffe zu ermitteln. Bei der Grünkohlexposition wurden pro Container 5 Pflanzen ausgebracht und ggf. wurde nach einem Monat die schwächste Pflanze entfernt. Die Pflanzen wurden nach 99 Tagen

Expositionszeit geerntet und in Aluminiumboxen gekühlt zum LANUV-Labor 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 Pflanzenproben im LANUV-Labor auf ihre Gehalte an Benzo[a]pyren (BaP), Chrysen (Chr), Benzo[a]anthracen (BaA) und Benzo[b]fluoranthren (BbF) untersucht und daraus der Summenwert PAK 4 berechnet, welcher für die gesundheitliche Bewertung relevant ist.

### **3 Ergebnisse der Pflanzenuntersuchungen**

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Grünkohlexposition in Pflanzcontainern von August bis November 2021 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, 2015 und 114, 2021). Dargestellt wird jeweils 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 zusätzlich vorliegende quellenbedingte Immissionsbelastung durch die untersuchte Substanz gewertet (vgl. VDI 3857 Blatt 2).

#### **3.1 BaP-Gehalte**

Die in den zwischen August und November exponierten Grünkohlpflanzen ermittelten Gehalte an BaP an den einzelnen Messpunkten sind in Tabelle 1 aufgeführt und werden im Folgenden erläutert.

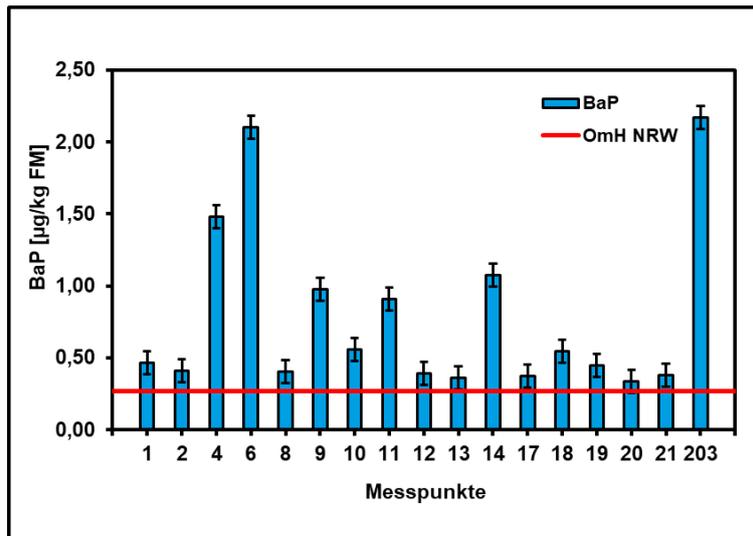
Die BaP-Gehalte der zwischen August und November 2021 in Bottrop exponierten Grünkohlpflanzen betragen zwischen 0,34 µg/kg in der Frischmasse (FM) am Messpunkt 20 und 2,2 µg/kg FM am Messpunkt 203 (s. Tabelle 1 und Abbildung 2). Der Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) beträgt für BaP 0,27 µg/kg FM.

Abzüglich der Standardunsicherheit des Verfahrens von 0,080 µg/kg FM liegen die ermittelten BaP-Gehalte nur am Messpunkt 20 unterhalb des OmH für NRW von 0,27 µg/kg FM. Dieser Messpunkt liegt westlich der Kokerei im Stadtteil Batenbrock. An allen anderen Messpunkten wird der OmH überschritten. Die höchsten BaP-Gehalte wurden an den Messpunkten 203 und 6 unmittelbar nordöstlich der Kokerei ermittelt.

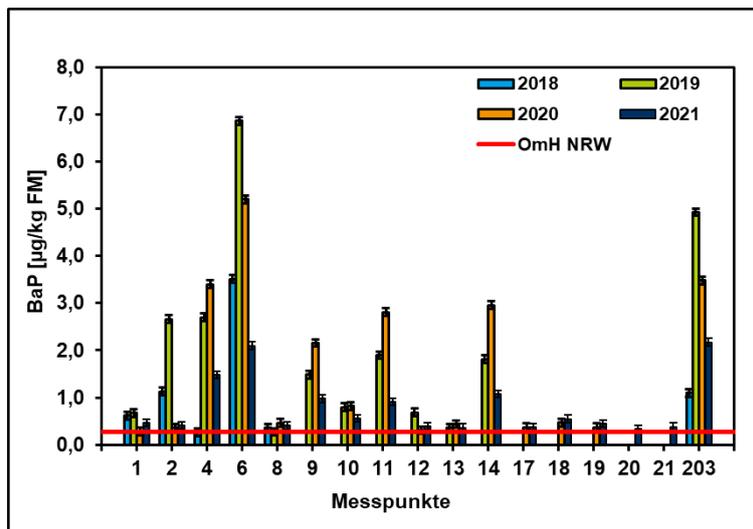
Die in den zwischen August und November exponierten Grünkohlpflanzen ermittelten BaP-Gehalte waren höher als die in den Pflanzen, die zwischen Mai und August 2021 exponiert waren. Die Gehalte an den in Hauptwindrichtung zur Kokerei liegenden und damit stärker durch die Kokerei beeinflussten Messpunkten (MP 203, MP 4, MP 6, MP 9, MP 11, MP 14) waren allerdings niedriger als in den Vorjahren (jeweils späte Exposition, s. Abbildung 3).

**Tabelle 1:** Gehalte an BaP in Grünkohl an den Messpunkten in Bottrop in den Jahren 2018 - 2021 (Exposition „früh“: Mai bis August; Exposition „spät“: August bis November); Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) in NRW [ $\mu\text{g}/\text{kg}$  FM]

Messpunkte	BaP [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FM]					
	2018 spät	2019 spät	2020 früh	2020 spät	2021 früh	2021 spät
MP 1	0,62	0,67	-	0,28	-	0,47
MP 2	1,1	2,7	0,19	0,36	0,15	0,41
MP 3	0,26	0,27	-	0,34	-	-
MP 4	0,47	2,7	-	3,4	-	1,5
MP 5	1,8	1,6	-	-	-	-
MP 6	3,5	6,9	-	5,2	-	2,1
MP 7	0,90	1,2	-	-	-	-
MP 8	0,36	0,27	-	0,46	-	0,40
MP 9	-	1,5	0,021	2,2	0,25	0,98
MP 10	-	0,79	-	0,82	-	0,56
MP 11	-	1,9	-	2,8	-	0,91
MP 12	-	0,68	-	0,31	-	0,39
MP 13	-	0,36	-	0,44	-	0,36
MP 14	-	1,8	-	3,0	-	1,1
MP 15	-	0,68	-	-	-	-
MP 16	-	1,7	-	-	-	-
MP 17	-	-	0,019	0,37	0,14	0,37
MP 18	-	-	Ausfall	0,47	0,045	0,54
MP 19	-	-	0,091	0,37	0,061	0,45
MP 20	-	-	-	-	-	0,34
MP 21	-	-	-	-	-	0,38
WDMP 203	1,1	4,9	0,10	3,5	1,2	2,2
OmH NRW	0,27					



**Abbildung 2:** BaP-Gehalte in Grünkohl (Exposition von August bis November 2021) an den Messpunkten in Bottrop inkl. Standardunsicherheit; Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) in NRW in Grünkohl (2011 – 2020)



**Abbildung 3:** BaP-Gehalte in Grünkohl (Exposition von August bis November 2018 - 2021) an den Messpunkten in Bottrop inkl. Standardunsicherheit; Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) in NRW in Grünkohl (2011 – 2020)

### 3.2 PAK 4-Gehalte

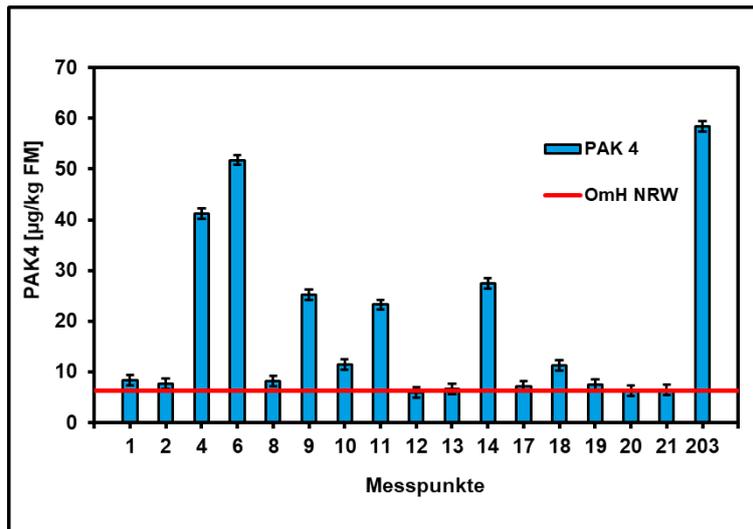
Die in den zwischen August und November exponierten Grünkohlpflanzen ermittelten Gehalte an PAK 4 an den einzelnen Messpunkten sind in Tabelle 1 und 2 aufgeführt und werden im Folgenden erläutert.

Die PAK 4-Gehalte der zwischen August und November exponierten Grünkohlpflanzen betragen zwischen 5,9 µg/kg FM am Messpunkt 12 und 58 µg/kg FM am Messpunkt 203 (s. Tabelle 2 und Abbildung 4). Der OmH für NRW beträgt 5,8 µg/kg FM.

Abzüglich der Standardunsicherheit des Verfahrens von 1,0 µg/kg FM liegen die ermittelten PAK 4-Gehalte an den Messpunkten 12, 13, 20 und 21 im Stadtteil Batenbrock unterhalb des OmH. Die höchsten PAK 4-Gehalte werden an den Messpunkten 203 und 6 ermittelt, die unmittelbar nordöstlich der Kokerei liegen.

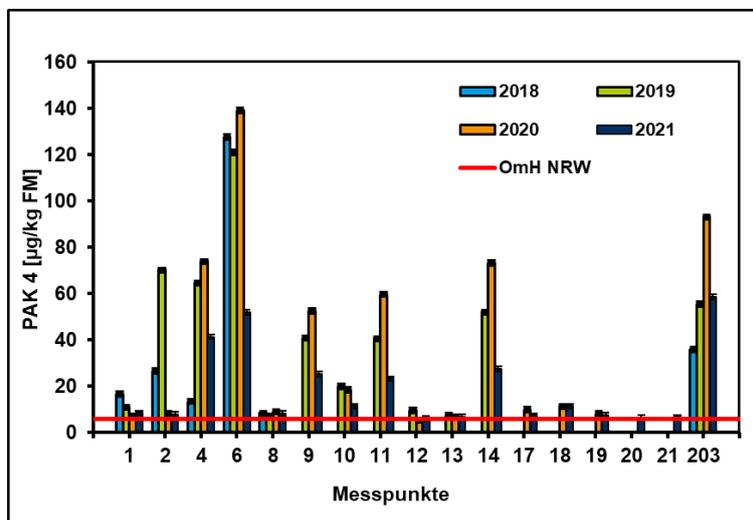
**Tabelle 2:** Gehalte an PAK 4 in Grünkohl an den Messpunkten in Bottrop in den Jahren 2018 - 2021 (Exposition „früh“: Mai bis August; Exposition „spät“: August bis November); Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) in NRW [µg/kg FM]

Messpunkte	PAK 4 [µg/kg FM]					
	2018 spät	2019 spät	2020 früh	2020 spät	2021 früh	2021 spät
MP 1	17	11	-	6,8	-	8,3
MP 2	26	70	4,4	8,0	1,8	7,7
MP 3	8,7	5,9		7,4	-	-
MP 4	13	65	-	74	-	41
MP 5	57	40	-	-	-	-
MP 6	130	120	-	140	-	52
MP 7	18	34	-	-	-	-
MP 8	8,2	6,9	-	8,9	-	8,1
MP 9	-	41	1,4	52	5,8	25
MP 10	-	20	-	18	-	11
MP 11	-	40	-	60	-	23
MP 12	-	9,4	-	5,1	-	5,9
MP 13	-	7,3	-	6,5	-	6,7
MP 14	-	52	-	73	-	27
MP 15	-	15	-	-	-	-
MP 16	-	34	-	-	-	-
MP 17	-	-	0,76	9,7	2,8	7,2
MP 18	-	-	Ausfall	11	1,2	11
MP 19	-	-	2,6	7,9	1,5	7,5
MP 20	-	-	-	-	-	6,2
MP 21	-	-	-	-	-	6,5
WDMP 203	36	55	3,4	93	24	58
OmH NRW	5,8					



**Abbildung 4:** PAK 4-Gehalte in Grünkohl (Exposition von August bis November 2021) an den Messpunkten in Bottrop inkl. Standardunsicherheit; Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) in NRW in Grünkohl (2011 – 2020)

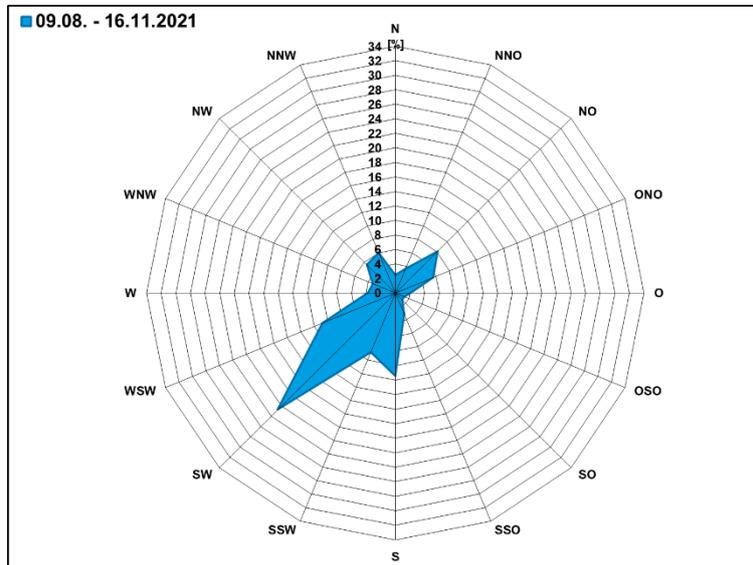
Auch die in den zwischen August und November exponierten Grünkohlpflanzen ermittelten PAK 4-Gehalte waren höher als die in den Pflanzen, die zwischen Mai und August 2021 exponiert waren. Am Messpunkt 6 im Stadtteil Welheim, der bei der Exposition von August bis November in den Vorjahren stets den höchsten Gehalt (130/ 120/ 140 µg/kg FM) aufwies, war der Wert im Jahr 2021 allerdings mit 52 µg/kg FM deutlich niedriger (s. Abbildung 5). Auch an den anderen stärker durch die Kokerei beeinflussten Messpunkten (MP 203, MP 4, MP 9, MP 11, MP 14) waren die PAK 4–Gehalte niedriger als in den Vorjahren



**Abbildung 5:** PAK 4-Gehalte in Grünkohl (Exposition von August bis November 2018 - 2021) an den Messpunkten in Bottrop inkl. Standardunsicherheit; Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) in NRW in Grünkohl (2011 – 2020)

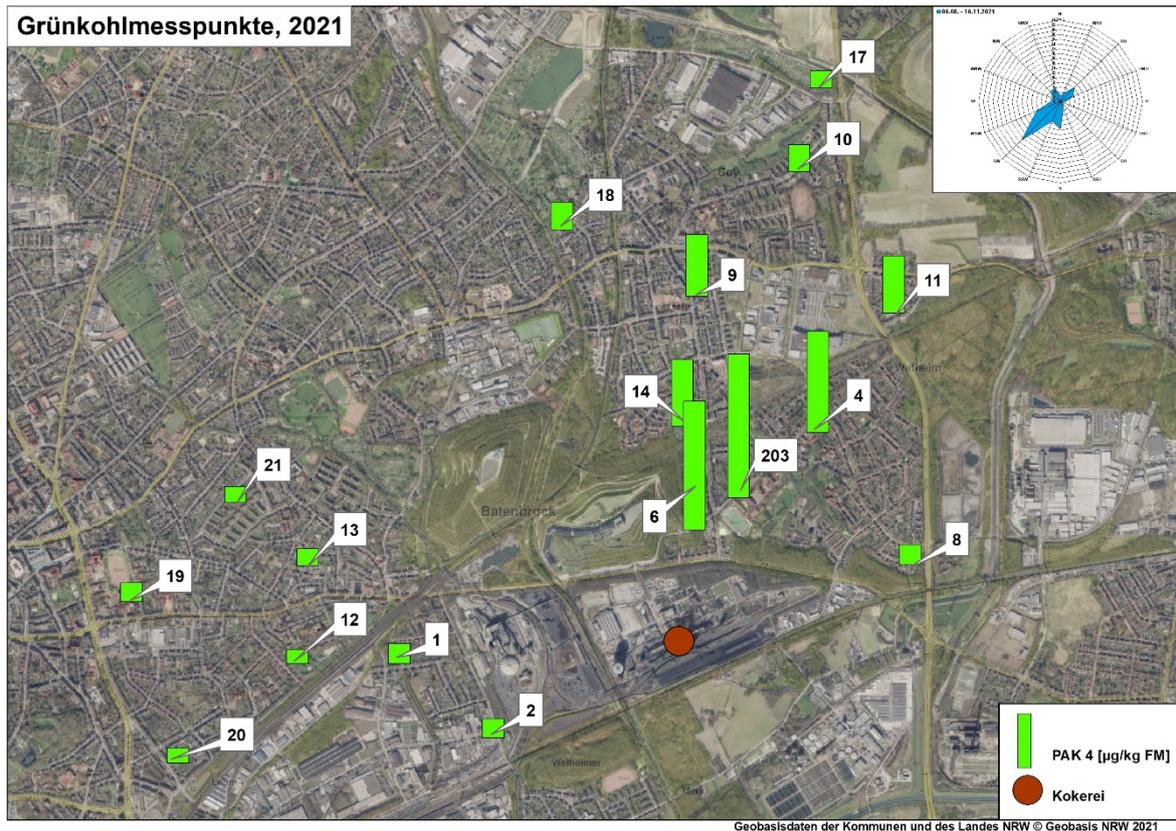
### 3.3 Räumliche Ausdehnung der Belastung

Die Windrichtungsverteilung während der Expositionszeit des Grünkohls vom 09.08 - 16.11.2021 weist als Hauptwindrichtung SW auf (s. Abbildung 6). Es gab in diesem Zeitraum aber auch größere Windanteile aus S und SSW sowie aus NO und NNW.



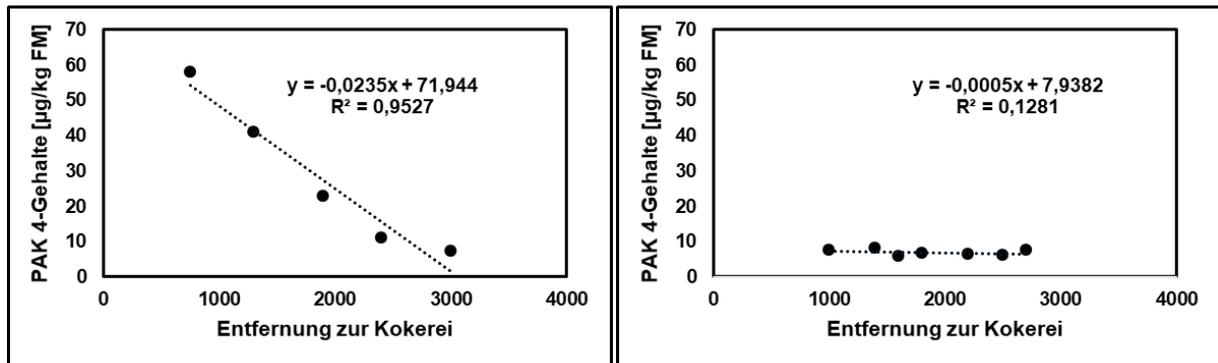
**Abbildung 6:** Windrichtungsverteilung in Bottrop während der Grünkohlexposition vom 09.08. – 16.11.2021

In Abbildung 7 sind die PAK 4-Gehalte an den einzelnen Messpunkten in der Karte eingetragen. Für BaP ergibt sich ein ähnliches Bild, so dass hier auf die Darstellung verzichtet wird.



**Abbildung 7:** Räumliche Verteilung der ermittelten PAK 4-Gehalte an den Messpunkten in Bottrop

Der in Hauptwindrichtung in ca. 750 m Entfernung nordöstlich zur Kokerei liegende Messpunkt 203 weist die höchsten Gehalte PAK 4 ( $58 \mu\text{g}/\text{kg FM}$ ) auf. Betrachtet man die sich in nordöstlicher Richtung anschließenden Messpunkte, ergibt sich ein deutlicher Gradient der Belastung: Am Messpunkt 4 (1300 m Entfernung zur Kokerei) beträgt der PAK 4-Gehalt  $41 \mu\text{g}/\text{kg FM}$ , am Messpunkt 11 (1900 m)  $23 \mu\text{g}/\text{kg FM}$ , am Messpunkt 10 (2400 m)  $11 \mu\text{g}/\text{kg FM}$  und am Messpunkt 17 (3000 m)  $7,2 \mu\text{g}/\text{kg FM}$  (s. Abbildung 8 links). Auch an dem 3000 m von der Kokerei entfernten Messpunkt in der KGA An der Boye wird noch ein PAK 4-Gehalt oberhalb des OmH ermittelt, der gesundheitlich bewertet werden muss. Auch in nördlicher Richtung ergibt sich ein Gradient der Belastung: Am Messpunkt 6 (750 m Entfernung von der Kokerei) beträgt der PAK 4-Gehalt  $52 \mu\text{g}/\text{kg FM}$ , am Messpunkt 14 (1000 m)  $27 \mu\text{g}/\text{kg FM}$ , am Messpunkt 9 (1700 m)  $25 \mu\text{g}/\text{kg FM}$  und am Messpunkt 18 (2100 m)  $11 \mu\text{g}/\text{kg FM}$ . Auch in dieser Richtung wurde im Jahr 2021 an dem am weitesten von der Kokerei entfernten Messpunkt noch ein PAK 4-Gehalt deutlich oberhalb des OmH ermittelt.



**Abbildung 8:** Abhängigkeit der PAK 4-Gehalte in Grünkohl von der Entfernung zur Kokerei in nordöstlicher Richtung (links, Messpunkte 203, 4, 11, 10, 17) und westlicher Richtung (rechts, Messpunkte 2, 1, 12, 13, 21, 20, 19)

Ermittelt man aus der in Abbildung 8 aufgetragenen Regression in nordöstlicher Windrichtung die Entfernung zur Kokerei, in der rein rechnerisch der OmH von  $5,8 \mu\text{g/kg FM}$  eingehalten würde, so ergibt sich eine Entfernung von 2815 m. Bei den BaP-Gehalten, die hier nicht grafisch aufgeführt werden, kommt man durch Einsetzen des OmH von  $0,27 \mu\text{g/kg FM}$  in die Regressionsgleichung zu einer Entfernung von 2967 m von der Quelle. Aufgrund dieser Erkenntnisse ist es nicht notwendig den Untersuchungsbereich auf weiter nördlich liegende Gebiete auszuweiten, da der Messpunkt 17 bereits 3000 m nordöstlich der Kokerei liegt. Allerdings zeigt auch der Messpunkt 17 leicht gegenüber dem OmH erhöhte BaP- und PAK 4-Gehalte.

Die in der entgegengesetzten Windrichtung liegenden Messpunkte waren deutlich geringer belastet. Die der Kokerei in westlicher Richtung am nächsten liegenden Messpunkte 1 und 2 (1400 bzw. 1000 m von der Kokerei entfernt) weisen PAK 4-Gehalte von  $8,3$  bzw.  $7,7 \mu\text{g/kg FM}$  auf. Die im Stadtteil Batenbrock liegenden Messpunkte lassen keinen eindeutigen Gradienten der Belastung mehr erkennen: Messpunkt 12 (1600 m Entfernung)  $5,9 \mu\text{g/kg FM}$ , Messpunkt 13 (1800 m)  $6,7 \mu\text{g/kg FM}$ , Messpunkt 21 (2200 m)  $6,5 \mu\text{g/kg FM}$ , Messpunkt 20 (2500 m)  $6,2 \mu\text{g/kg FM}$  und Messpunkt 19 (2700 m)  $7,5 \mu\text{g/kg FM}$  (s. Abbildung 8 rechts).

### 3.4 Vergleich mit den Messungen im Feinstaub und in der Deposition

Das LANUV misst an der LUQS-Messstation in Bottrop-Welheim nordöstlich der Kokerei auch BaP im Feinstaub und in der Deposition. Diese Messstelle entspricht dem Messpunkt 203 aus dem Grünkohl-Untersuchungsprogramm. Die im Feinstaub täglich ermittelten Werte wurden für die Expositionszeit des Grünkohls gemittelt. Der Mittelwert für den Expositionszeitraum vom 09.08. – 16.11.2021 beträgt  $0,74 \text{ ng/m}^3$  und ist damit im Verhältnis zu dem zwischen Mai und August 2021 gemessenen Wert von  $0,25 \text{ ng/m}^3$  höher, was mit den in den Grünkohlpflanzen ermittelten Werten korreliert. An einigen Tagen im Expositionszeitraum des Grünkohls wurden mit bis zu  $6,9 \text{ ng/m}^3$  auch noch deutlich höhere Werte ermittelt. Auch bei den BaP-Gehalten in der Deposition wurde über den Zeitraum Oktober und November (14.10. – 11.11.2021) kurz vor der Ernte des Grünkohls mit  $0,18 \mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$  ein erhöhter Wert ermittelt.

### 3.5 Fazit der Pflanzenuntersuchungen

Zusammenfassend ist festzustellen, dass entsprechend der Windrichtungsverteilung im Expositionszeitraum hauptsächlich die nordöstlich und nördlich der Kokerei liegenden Bereiche von den Emissionen der Kokerei beaufschlagt wurden und dort in den Grünkohlpflanzen gegenüber der Hintergrundbelastung deutlich erhöhte PAK-Gehalte ermittelt wurden. Allerdings sind die Gehalte in diesen stärker durch die Kokerei beeinflussten Bereichen niedriger als in den Vorjahren.

In den Bereichen westlich der Kokerei konnte dagegen bei den PAK 4-Gehalten kein Zusammenhang zur Kokerei hergestellt werden. Im Stadtteil Batenbrock lagen an vier der fünf untersuchten Messpunkte die in Grünkohl ermittelten PAK 4-Gehalte unterhalb des OmH. Lediglich am Messpunkt 19, der in westlicher Richtung am weitesten von der Kokerei entfernt liegt, wurde, wie auch schon in 2020, ein Wert leicht oberhalb des OmH ermittelt. Da sich an den näher zur Kokerei gelegenen Messpunkten keine Überschreitungen zeigten, ist in diesem Fall nicht davon auszugehen, dass der am Messpunkt 19 erhöhte Gehalt auf die Kokerei zurückzuführen ist.

## 4 Gesundheitliche Bewertung der Ergebnisse

Im vorliegenden Fall werden wie bisher als Konvention bei der Berechnung 250 g Grünkohl pro Tag - stellvertretend für gesamtverzehrtes Gemüse - zu Grunde gelegt. Außerdem wird angenommen, dass das durchschnittliche Körpergewicht (KG) einer Erwachsenen bzw. eines Erwachsenen 70 kg beträgt.

### Erläuterungen zu den Bewertungskriterien

Bei den hier zu bewertenden polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen BaP (Benzo[a]pyren) und PAK 4 (Summe der Konzentrationen von Benzo[a]pyren, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen) handelt es sich um Substanzen, die mit großer Wahrscheinlichkeit für den Menschen genotoxisch und kanzerogen sind und keinen Schwellenwert haben. Für solche Substanzen kann per Definition keine Dosis ohne theoretisches Krebsrisiko abgeleitet werden. Hilfsweise kann zur Abschätzung des potentiellen Risikos von genotoxisch und kanzerogen wirkenden Substanzen nach Ansicht des Wissenschaftlichen Ausschusses der EFSA (Europäische Lebensmittelbehörde) ein „Margin of Exposure“ (MOE) berechnet werden (EFSA 2012). Der MOE ergibt sich dabei aus einer kanzerogenen Effektdosis (hier BMDL<sub>10</sub>), abgeleitet aus der Dosis-Wirkungskurve im Tierversuch, im Verhältnis zu der menschlichen Exposition. Ein MOE von 10.000 (hier basierend auf einer BMDL<sub>10</sub>) oder darüber wird für genotoxische Substanzen als gesundheitlich wenig bedenklich angesehen (EFSA 2012, SCHER/SCCP/SCENIHR 2009).

Für Benzo[a]pyren und PAK 4 hat die Europäische Lebensmittelbehörde auf der Grundlage der kanzerogenen Wirkung jeweils sog. BMDL<sub>10</sub> (= untere Grenze des Vertrauensbereiches für ein zusätzliches Risiko (Extra Risk) von 10 %) berechnet. Diese BMDL<sub>10</sub> entsprechen den niedrigsten statistisch signifikanten Werten jeweils für einen Anstieg der Inzidenz des

relevanten kanzerogenen Effektes. Sie wurden von der EFSA als Referenzpunkte festgesetzt (EFSA 2008).

Laut EFSA (2008) beträgt die BMDL<sub>10</sub>:

- für BaP: 0,07 mg/kg KG/d,
- für PAK 4: 0,34 mg/kg KG/d.

#### Berechnung der MOEs

Der MOE wird durch den Quotienten aus der jeweiligen BMDL<sub>10</sub> und der Gesamtaufnahme (Exposition) der entsprechenden Substanz (BaP) bzw. der Summe der entsprechenden Substanzen (PAK 4) ermittelt.

Dazu wird zunächst unter Berücksichtigung der oben angegebenen Annahmen (Verzehr von 250 g Grünkohl tagtäglich ein Leben lang und 70 kg Körpergewicht einer bzw. eines Erwachsenen) die orale Aufnahme an BaP bzw. PAK 4 berechnet, die sich allein über den Verzehr des Grünkohls vom MP 203 ergeben würde. Die tägliche orale Gesamtaufnahme wird rechnerisch über die Addition der Aufnahme an BaP bzw. PAK 4 über den Grünkohl und der Aufnahme über andere Lebensmittel (dem sogenannten allgemeinen Warenkorb) bestimmt.

In den Tabellen 3 und 4 wird für jeden Messpunkt aufgeführt, welcher Gehalt an BaP bzw. PAK 4 in der Frischmasse des Grünkohls ermittelt wurde und welche Gesamtaufnahme an BaP bzw. PAK 4 sich rein rechnerisch bei Verzehr von 250 g des im Jahr 2021 (August bis November) in Bottrop angebauten Grünkohls für eine 70 kg schwere Person unter Berücksichtigung der Aufnahme über den allgemeinen Warenkorb ergeben würde.

Nach EFSA (2008) beträgt die Aufnahme (durchschnittliche Exposition der Gesamtbevölkerung) über den allgemeinen Warenkorb in Deutschland:

- für BaP: 3,6 ng/kg KG/d (255 ng/d nach EFSA),
- für PAK4: 18 ng/kg KG/d (1258 ng/d nach EFSA).

**Tabelle 3:** BaP-Gehalt in den Nahrungspflanzen [ $\mu\text{g}/\text{kg FM}$ ] für die 16 Messpunkte, bei denen die Konzentration im Grünkohl oberhalb der Konzentration des OmH liegt, tägliche Aufnahme an BaP über den allgemeinen Warenkorb [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ], tägliche Aufnahme an BaP über den Verzehr von 250 g Grünkohl des jeweiligen Messpunktes [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ], tägliche Gesamtaufnahme an BaP bei Verzehr von 250 g Grünkohl des entsprechenden Messpunktes und der Aufnahme an BaP über den allgemeinen Warenkorb [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ] (jeweils Angabe von zwei signifikanten Stellen)

Messpunkt	BaP-Gehalt in der Nahrungspflanze [ $\mu\text{g}/\text{kg FM}$ ]	tägliche Aufnahme an BaP über den allgemeinen Warenkorb [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ]	tägliche Aufnahme an BaP über den Verzehr von 250 g Grünkohl [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ]	tägliche Gesamtaufnahme an BaP (über den Verzehr von 250 g Grünkohl und über den allgemeinen Warenkorb) [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ]
1	0,47	3,6	1,7	5,3
2	0,41	3,6	1,5	5,1
4	1,5	3,6	5,4	9,0
6	2,1	3,6	7,5	11
8	0,40	3,6	1,4	5,0
9	0,98	3,6	3,5	7,1
10	0,56	3,6	2,0	5,6
11	0,91	3,6	3,3	6,9
12	0,39	3,6	1,4	5,0
13	0,36	3,6	1,3	4,9
14	1,1	3,6	3,9	7,5
17	0,37	3,6	1,3	4,9
18	0,54	3,6	1,9	5,5
19	0,45	3,6	1,6	5,2
21	0,38	3,6	1,4	5,0
WDMP 203	2,2	3,6	7,9	12

**Tabelle 4:** PAK 4-Gehalt in den Nahrungspflanzen [ $\mu\text{g}/\text{kg FM}$ ] für die 13 Messpunkte, an denen die Konzentration im Grünkohl oberhalb der Konzentration des OmH liegt, tägliche Aufnahme an PAK 4 über den allgemeinen Warenkorb [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ], tägliche Aufnahme an PAK 4 über den Verzehr von 250 g Grünkohl des jeweiligen Messpunktes [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ], tägliche Gesamtaufnahme an PAK 4 bei Verzehr von 250 g des entsprechenden Grünkohls und der Aufnahme an PAK 4 über den allgemeinen Warenkorb [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ] (jeweils Angabe von zwei signifikanten Stellen)

Messpunkt	PAK 4-Gehalt in der Nahrungspflanze [ $\mu\text{g}/\text{kg FM}$ ]	tägliche Aufnahme an PAK 4 über den allgemeinen Warenkorb [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ]	tägliche Aufnahme an PAK 4 über den Verzehr von 250 g Grünkohl [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ]	tägliche Gesamtaufnahme an PAK 4 (über den Verzehr von 250 g Grünkohl und über den allgemeinen Warenkorb) [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ]
1	8,3	18	30	48
2	7,7	18	28	46
4	41	18	150	160
6	52	18	190	200
8	8,1	18	29	47
9	25	18	89	110
10	11	18	39	57
11	23	18	82	100
14	27	18	96	110
17	7,2	18	26	44
18	11	18	39	57
19	7,5	18	27	45
<b>WDMP 203</b>	58	18	210	230

Durch Bildung des Quotienten aus der jeweiligen  $\text{BMDL}_{10}$  und der Gesamtaufnahme (Exposition) der entsprechenden Substanz (BaP) bzw. der Summe der entsprechenden Substanzen (PAK 4) ergeben sich in Abhängigkeit von der Konzentration an BaP bzw. PAK 4 in dem jeweiligen Grünkohl die in Tabelle 5 aufgeführten MOEs.

**Tabelle 5:** MOEs als Quotient aus der BMDL<sub>10</sub> für BaP bzw. PAK 4 und der täglichen Gesamtaufnahme an BaP bzw. PAK 4 aus Grünkohlverzehr und über den allgemeinen Warenkorb (jeweils Angabe von zwei signifikanten Stellen)

Messpunkt	MOE BaP	MOE PAK 4
1	13.000	7.100
2	14.000	7.500
4	7.800	2.100
6	6.300	1.700
8	14.000	7.200
9	9.900	3.200
10	13.000	5.900
11	10.000	3.400
12	14.000	
13	14.000	
14	9.300	3.000
17	14.000	7.800
18	13.000	6.000
19	13.000	7.600
21	14.000	
<b>WDMP 203</b>	6.100	1.500

#### Zusammenfassung der Ergebnisse

Mit Ausnahme der Messpunkte 12, 13 und 21 mit jeweils einem MOE in Höhe von 14.000 der sich aus der BaP-Konzentration in den entsprechenden Grünkohlpflanzen ergibt, wurden für alle anderen zur Bewertung vorliegenden Messpunkte anhand der BaP- und/ oder der PAK 4-Konzentrationen in den Grünkohlpflanzen MOEs ermittelt, die unterhalb bzw. im Bereich des aus gesundheitlicher Sicht vertretbaren Faktor von 10.000 liegen.

Fazit:

Die gesundheitliche Bewertung von PAK in den untersuchten Grünkohlpflanzen aus Bottrop 2021 (August bis November) erfolgt auf Basis der Belastung mit BaP (Benzo[a]pyren) sowie der Summe der Konzentrationen von Benz[a]pyren, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthene und Chrysen (PAK 4) (EFSA 2008, BfR 2009).

Bei Verzehr von Grünkohl mit Belastungen, wie sie in Bottrop in den exponierten Grünkohlpflanzen ermittelt wurden, würde unter Berücksichtigung der BaP- bzw. PAK 4-Belastung aus dem allgemeinen Warenkorb ein MOE von 10.000 für BaP an den Messpunkten 4, 6, 9, 14 und an dem WDMP-Standort 203 sowie für PAK 4 an allen zur Bewertung vorgelegten Messpunkten zum Teil erheblich unterschritten (Beispiel: MOE von 2.100, 1.700, 3.200, 3.400, 3.000 und 1500 für PAK 4 an den Messpunkten 4, 6, 9, 11, 14 und an dem WDMP-Standort 203). Ergibt sich bei Verbraucherinnen und Verbrauchern mit einer hohen Exposition gegenüber PAKs ein MOE, der im Bereich von 10.000 oder unterhalb liegt, können nach EFSA (2012) gesundheitliche Auswirkungen nicht mehr ausgeschlossen werden. Abgesehen vom Grünkohl der Messpunkte 12, 13 und 21 wird daher von dem **täglichen** Verzehr des Grünkohls aller anderen zur Bewertung vorgelegten Messpunkte in Bottrop abgeraten.

Bei einer Exposition gegenüber genotoxischen Substanzen aus der ein Faktor (MOE) von  $\geq 10.000$  resultiert, geht die EFSA (2012) davon aus, dass die Aufnahme gesundheitlich wenig bedenklich ist. Im vorliegenden Fall ergäbe sich ein MOE von 10.000 bei einer täglichen Aufnahme von 7 ng/kg KG für BaP bzw. von 34 ng/kg KG für PAK 4. In Tabelle 6 wird aufgeführt, wie häufig der Grünkohl der einzelnen Messpunkte unter Berücksichtigung der Belastung aus dem allgemeinen Warenkorb bei einem MOE von 10.000 rein rechnerisch verzehrt werden dürfte.

Hierzu wird von der  $BMDL_{10}$  für BaP in Höhe von 7 ng/kg KG/d der Wert für die durchschnittliche Exposition über den allgemeinen Warenkorb in Höhe von 3,6 ng/kg KG/d subtrahiert, sodass pro Tag 3,4 ng/kg KG/d zugeführt werden könnten. Für PAK 4 wird von der  $BMDL_{10}$  für PAK 4 in Höhe von 34 ng/kg KG/d der Wert für die durchschnittliche Exposition über den allgemeinen Warenkorb in Höhe von 18 ng/kg KG/d subtrahiert, sodass pro Tag 16 ng/kg KG/d zugeführt werden könnten.

**Tabelle 6:** Verzehr-Häufigkeit von je 250 g Grünkohl pro Tag innerhalb einer Woche bei einem MOE von 10.000 mit Bezug auf die BaP- bzw. PAK 4-Gehalte im Grünkohl aus Bottrop

Messpunkt	BaP	PAK 4
1	*	3 - 4
2	*	4
4	4	0,77 (3 Mal/Monat <sup>1</sup> )
6	3	0,60 (2 – 3 Mal/Monat)
8	*	3 - 4
9	6 – 7	1
10	*	2 - 3
11	*	1
12	*	*
13	*	*
14	6	1
17	*	4
18	*	2 - 3
19	*	4
21	*	*
<b>WDMP 203</b>	3	0,54 (2 Mal/Monat)

\* :uneingeschränkt

Es wird empfohlen, den Grünkohl der Messpunkte 1, 2, 8, 9, 10, 11, 14, 17, 18 und 19 nicht häufiger pro Woche zu verzehren als in der Tabelle 6 (bezogen auf PAK 4) angegeben.

Der Grünkohl an den Messpunkten 4, 6 und am WDMP-Messpunkt 203 ist derart hoch belastet, dass ein wöchentlicher Verzehr von 250 g oder mehr aus gesundheitlicher Sicht nicht vertretbar ist. Daher wird empfohlen, den Grünkohl an diesen Messpunkten nicht zu verzehren. Der Grünkohl der Messpunkte 12, 13 und 21 dürfte uneingeschränkt verzehrt werden.

<sup>1</sup> Ein Monat entspricht hier einem Zeitraum von 30 Tagen.

## 5 Zusammenfassung

Im Zeitraum von August bis November 2021 wurden in der Umgebung der Kokerei in Bottrop an insgesamt 17 Messpunkten Grünkohlpflanzen exponiert und anschließend auf ihre BaP- und PAK 4-Gehalte analysiert.

Es ist festzustellen, dass es in diesem Zeitraum im Untersuchungsgebiet in Bottrop an 16 Messpunkten immissionsbedingte Einträge von BaP und an 13 Messpunkten Einträge von PAK 4 in die untersuchten Grünkohlpflanzen gegeben hat, die zu einer Überschreitung des OmH für NRW führten.

Während der Expositionszeit der Grünkohlpflanzen kamen die größten Windanteile aus Südwest, so dass die nordöstlich und nördlich der Kokerei liegenden Bereiche von den Emissionen der Kokerei beaufschlagt wurden und dort in den Grünkohlpflanzen deutlich gegenüber der Hintergrundbelastung erhöhte PAK-Gehalte ermittelt wurden. Allerdings sind die Gehalte in diesen stärker durch die Kokerei beeinflussten Bereichen niedriger als in den Vorjahren.

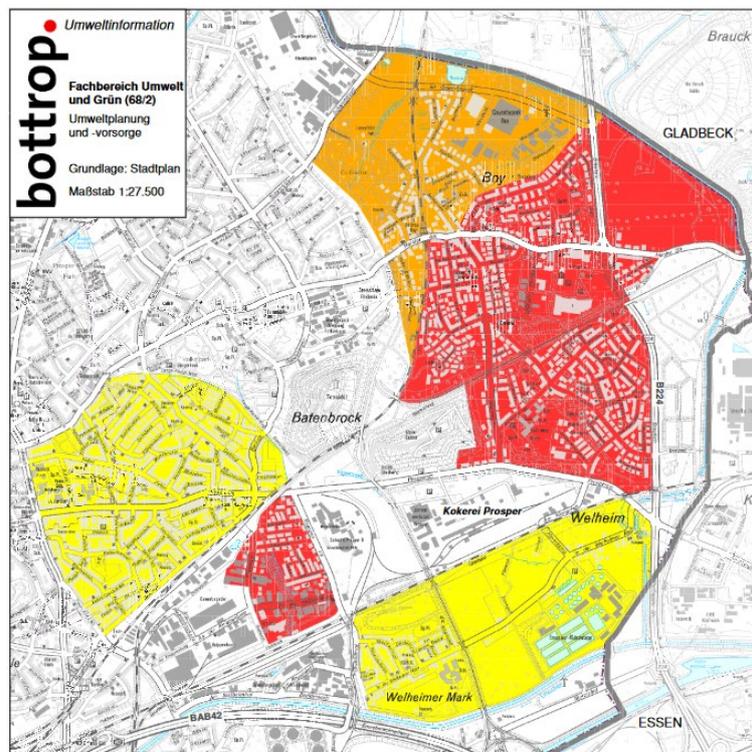
In den Bereichen westlich der Kokerei konnte dagegen bei den PAK 4-Gehalten kein Zusammenhang zur Kokerei hergestellt werden. Im Stadtteil Batenbrock lagen an vier der fünf untersuchten Messpunkte die in Grünkohl ermittelten PAK 4-Gehalte unterhalb des OmH. Lediglich am Messpunkt 19, der in westlicher Richtung am weitesten von der Kokerei entfernt liegt, wurde, wie auch schon in 2020, ein Wert leicht oberhalb des OmH ermittelt. Da sich an den näher zur Kokerei gelegenen Messpunkten keine Überschreitungen zeigten, ist in diesem Fall nicht davon auszugehen, dass der am Messpunkt 19 erhöhte Gehalt auf die Kokerei zurückzuführen ist.

Die gesundheitliche Bewertung der BaP- und PAK 4-Gehalte an den untersuchten Messpunkten ergaben unter Berücksichtigung der BaP- bzw. PAK 4-Aufnahme aus dem allgemeinen Warenkorb differenzierte Verzehrempfehlungen an den unterschiedlichen Messpunkten. Demnach sollten Grünkohl und andere Blattgemüse an den nordöstlich der Kokerei gelegenen Messpunkten 4, 6 und 203 nicht verzehrt werden. Das derzeitige Gebiet der Nichtverzehrempfehlung schließt diese Messpunkte sowie die Messpunkte 9, 11 und 14 bereits mit ein (s. Abbildung 9) und sollte deswegen weiterhin bestehen bleiben.

Grünkohl und Blattgemüse der Messpunkte 10 und 18 nördlich davon sollten nicht häufiger als 3 x wöchentlich, von Messpunkt 17 in der KGA An der Boye nicht häufiger als 4 x wöchentlich verzehrt werden. Die derzeitige Verzehrempfehlung für das gesamte Gebiet lautet Blattgemüse nicht häufiger als 3 x wöchentlich zu verzehren. Aus Sicht des LANUV sollte diese Verzehrempfehlung aufrecht erhalten bleiben.

Der Grünkohl der direkt westlich der Kokerei liegenden Messpunkte 1 und 2 könnte 3 – 4 x wöchentlich verzehrt werden. Da die in anderen Jahren ermittelten PAK-Gehalte aufgrund anderer Windverteilungen im Expositionszeitraum und der Nähe zur Kokerei auch schon deutlich höher waren, sollte auch hier die Nichtverzehrempfehlung weiter bestehen bleiben.

An den Messpunkten im Stadtteil Batenbrock wurde lediglich am Messpunkt 19 eine PAK-Belastung des untersuchten Grünkohls festgestellt, die oberhalb des OmH lag. Die Ursache für diese Belastung konnte nicht geklärt werden, war aber offensichtlich nicht auf die Kokerei zurückzuführen. An allen anderen Messpunkten in diesem Bereich (MP 12, 13, 20, 21) waren die ermittelten PAK-Gehalte im Hintergrundbereich bzw. die Grünkohlpflanzen könnten uneingeschränkt verzehrt werden. Allerdings besteht das Risiko, dass bei entsprechenden Windrichtungen auch diese Bereiche durch Emissionen der Kokerei beaufschlagt werden. Dies war zwar in den letzten zwei Jahren weder in den im Sommer (Mai - August) exponierten noch bei den im Herbst (August – November) exponierten Grünkohlpflanzen der Fall, kann aber nicht ausgeschlossen werden. Da insgesamt die durch die Kokerei bedingten Immissionen zurückgegangen sind, könnte trotz geschilderten Risikos die Verzehrempfehlung für den Bereich Batenbrock aus Sicht des LANUV aufgehoben werden. Gleiches gilt für den Bereich südlich der Kokerei (Welheimer Mark). Einen Sonderfall stellt der Messpunkt 19 dar, an dem Blattgemüse aus eigenem Anbau nicht häufiger als 4 x wöchentlich verzehrt werden sollte, der aber nicht in einem Garten liegt.



**Abbildung 9:** Bisherige Gebiete der differenzierten Verzehrempfehlungen der Stadt Bottrop, roter Bereich: Nichtverzehrempfehlung, oranger Bereich: Verzehr von Blattgemüse höchstens 3 x pro Woche, gelber Bereich: Verzehr von Blattgemüse höchstens 4 x pro Woche (Quelle: Stadt Bottrop)

## 6 Weiteres Vorgehen

Das Messprogramm sollte auch in 2022 fortgeführt werden.

Aus Sicht des LANUV ist es nicht erforderlich zwischen Mai und August Grünkohl zu exponieren, da die Untersuchungen in den vergangenen Jahren gezeigt haben, dass die Bewertung der Immissionssituation und der Verzehrempfehlungen allein auf Grundlage des zwischen August und November exponierten Grünkohls erfolgt.

Es ist aus Sicht des LANUV auch nicht erforderlich in 2022 an allen im letzten Jahr untersuchten Messpunkten Grünkohl zu exponieren. Das LANUV schlägt deshalb vor die Anzahl der Messpunkte im Stadtteil Batenbrock zu reduzieren: Bei Wegfall der Verzehrempfehlung würde es ausreichen nur noch am Messpunkt 12 und zusätzlich dazu an den beiden direkt westlich der Kokerei gelegenen Messpunkten 1 und 2 Grünkohl zu exponieren.

Dagegen sollten die Messpunkte nördlich und nordöstlich der Kokerei auch im Jahr 2022 erneut untersucht werden.

## 7 Literatur

BfR (2009) Stellungnahme Nr. 003/2010 des BfR vom 02. Oktober 2009: Markersubstanzen für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) zur Lebensmittelüberwachung

EFSA (2008): Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food1 Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. The EFSA Journal, Vol 727,1-114,2008

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

Scientific Opinion: Statement on the applicability of the Margin of Exposure approach for the safety assessment of impurities which are both genotoxic and carcinogenic in substances added to food/feed. The EFSA Journal, Vol 10,2578,2012

SCHER/SCCP/SCENIHR (2009) Scientific opinion on risk assessment methodologies and approaches for genotoxic and carcinogenic substances.

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