



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

Gesamtbericht Grünkohlexposition  
2020

## IMPRESSUM

|                      |  |
|----------------------|--|
| Herausgeber          | Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz<br>Nordrhein-Westfalen (LANUV)<br>Fachbereich 31<br>Immissionswirkungen<br><br>Leibnizstraße 10<br>45659 Recklinghausen<br><br>Recklinghausen (10.03.2021) |
| Autorin              | Dr. Katja Hombrecher<br><a href="mailto:katja.hombrecher@lanuv.nrw.de">katja.hombrecher@lanuv.nrw.de</a><br>0201/7995 – 1186   |
| Mitwirkende          | Dr. Ralf Both, Marcel Buss, Alexandra Müller-Uebachs, Mario Rendina, Jürgen Schmidt (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<br>• <a href="http://www.lanuv.nrw.de">www.lanuv.nrw.de</a><br>Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im<br>• WDR-Videotext     |

## Inhalt

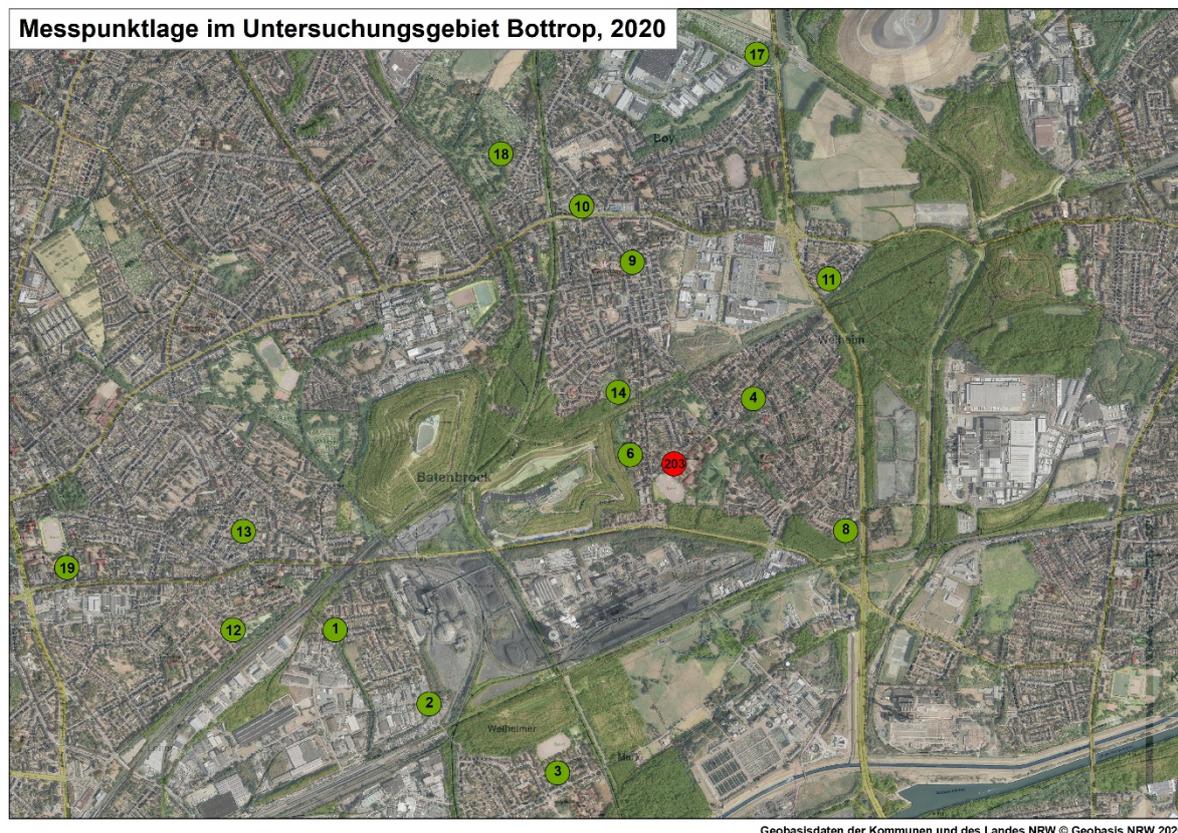
|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Einleitung .....                               | 4  |
| 2   | Methodik .....                                 | 5  |
| 3   | Ergebnisse der Pflanzenuntersuchungen .....    | 5  |
| 3.1 | BaP-Gehalte .....                              | 7  |
| 3.2 | PAK 4-Gehalte .....                            | 8  |
| 3.3 | Räumliche Ausdehnung der Belastung .....       | 9  |
| 3.4 | Vergleich mit den Messungen im Feinstaub ..... | 11 |
| 3.5 | Fazit der Pflanzenuntersuchungen .....         | 12 |
| 4   | Gesundheitliche Bewertung der Ergebnisse ..... | 12 |
| 5   | Zusammenfassung .....                          | 18 |
| 6   | Weiteres Vorgehen .....                        | 20 |
| 7   | Literatur .....                                | 20 |

# 1 Einleitung

Im Umfeld der Kokerei der Fa. ArcelorMittal in Bottrop wurden in den Jahren 2018 und 2019 in Grünkohlpflanzen immissionsbedingte Einträge an PAK ermittelt (s. LANUV-Untersuchungsberichte vom 12.04.2019 und 19.02.2020). 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.

Da im Jahr 2019 die Ausdehnung der Belastung nach Westen und Norden nicht vollständig ermittelt werden konnte, wurden im Jahr 2020 drei neue Messpunkte im Westen und Norden eingerichtet. An diesen sowie an drei bereits im Jahr 2019 untersuchten Messpunkten wurde bereits zwischen Mai und August 2020 die standardisierte Grünkohlexposition durchgeführt (s. LANUV-Untersuchungsbericht vom 22.10.2020) und festgestellt, dass die ermittelten BaP- und PAK 4-Gehalte in Grünkohl deutlich geringer waren als in den Vorjahren und an keinem Messpunkt den Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) für NRW überschritten.

Um die Immissionsbelastung von Nahrungspflanzen in Bottrop weiter zu prüfen, wurde an insgesamt 16 Messpunkten auch zwischen August und November Grünkohl exponiert (s. Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Untersuchungsgebiet mit den Messpunkten der Grünkohlexposition 2020 (neue Messpunkte: 17, 18 und 19)

Im Folgenden werden die Vorgehensweise sowie die Ergebnisse der Untersuchungen zur Immissionsbelastung von Nahrungspflanzen aus dem Jahr 2020 und deren Bewertung detailliert dargestellt.

## 2 Methodik

An 16 Messpunkten wurde vom 11.08. bis zum 17.11.2020 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.

Die Messpunkte 1, 2, 12, 13 und 19 befinden sich im Stadtteil Batenbrock westlich der Kokerei in der Steigerstraße, An der Knippenburg, in der Ludwig-Richter-Straße, in der Menzelstraße und auf dem Gelände des städtischen Jugendamtes an der Prosperstraße ca. 2,7 km westlich der Kokerei. Der Messpunkt 3 befindet sich südlich der Kokerei im Stadtteil Welheimer Mark in der Straße Am langen Damm. Die weiteren Messpunkte befinden sich nördlich bzw. nordöstlich und damit in Hauptwindrichtung zur Kokerei im Stadtteil Welheim bzw. Boy in der Welheimer Straße (MP 4), der Johannesstraße (MP 6 und 9), in der Straße Kleinebrechtshof (MP 8), in der Kraneburgstraße (MP 10), Im Dorbusch (MP 11), in der KGA Johannestal (MP 14), auf dem städtischen Betriebshof des Ostfriedhofes (MP 17) ca. 2,1 km nördlich der Kokerei und in der KGA An der Boye e. V. (MP 18) ca. 3 km nördlich. Zusätzlich dazu wurde der Messpunkt 203 aus dem Wirkungsdauermessprogramm NRW an der Welheimer Straße ca. 750 m nordöstlich der Kokerei untersucht.

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 nach einem Monat wurde die schwächste Pflanze entfernt. Die Pflanzen wurden nach 98 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]fluoranthen (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 2020 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-Fachbericht 61 2015).

Dargestellt wird jeweils der Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) in Grünkohl von 10 verschiedenen Hintergrundstationen aus dem 10-Jahreszeitraum von 2010 bis 2019. 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). Die Gehalte an BaP und der Summenwert PAK 4 in den Grünkohlpflanzen an den einzelnen Messpunkten sind in Tabelle 1 aufgeführt und werden anschließend erläutert.

**Tabelle 1:** Gehalte an BaP und der Summenwert PAK 4 in Grünkohl an den Messpunkten in Bottrop in den Jahren 2018, 2019 (Expositionszeitraum August bis November) und 2020 (1: Expositionszeitraum Mai bis August, 2: August bis November); Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) in NRW [ $\mu\text{g}/\text{kg FM}$ ]

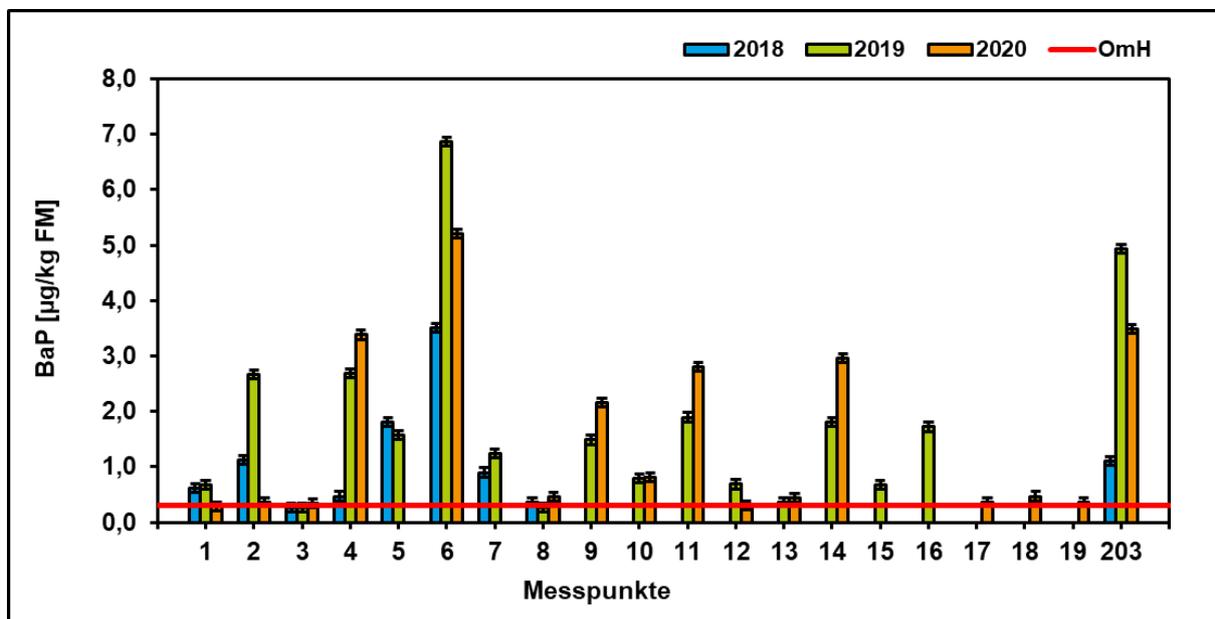
| Messpunkte     | BaP [ $\mu\text{g}/\text{kg FM}$ ] |      |          |          | PAK 4 [ $\mu\text{g}/\text{kg FM}$ ] |      |          |          |
|----------------|------------------------------------|------|----------|----------|--------------------------------------|------|----------|----------|
|                | 2018                               | 2019 | 2020 (1) | 2020 (2) | 2018                                 | 2019 | 2020 (1) | 2020 (2) |
| MP 1           | 0,62                               | 0,67 | -        | 0,28     | 17                                   | 11   | -        | 6,8      |
| MP 2           | 1,1                                | 2,7  | 0,19     | 0,36     | 26                                   | 70   | 4,4      | 8,0      |
| MP 3           | 0,26                               | 0,27 | -        | 0,34     | 8,7                                  | 5,9  |          | 7,4      |
| MP 4           | 0,47                               | 2,7  | -        | 3,4      | 13                                   | 65   | -        | 74       |
| MP 5           | 1,8                                | 1,6  | -        | -        | 57                                   | 40   | -        | -        |
| MP 6           | 3,5                                | 6,9  | -        | 5,2      | 130                                  | 120  | -        | 140      |
| MP 7           | 0,90                               | 1,2  | -        | -        | 18                                   | 34   | -        | -        |
| MP 8           | 0,36                               | 0,27 | -        | 0,46     | 8,2                                  | 6,9  | -        | 8,9      |
| MP 9           | -                                  | 1,5  | 0,021    | 2,2      | -                                    | 41   | 1,4      | 52       |
| MP 10          | -                                  | 0,79 | -        | 0,82     | -                                    | 20   | -        | 18       |
| MP 11          | -                                  | 1,9  | -        | 2,8      | -                                    | 40   | -        | 60       |
| MP 12          | -                                  | 0,68 | -        | 0,31     | -                                    | 9,4  | -        | 5,1      |
| MP 13          | -                                  | 0,36 | -        | 0,44     | -                                    | 7,3  | -        | 6,5      |
| MP 14          | -                                  | 1,8  | -        | 3,0      | -                                    | 52   | -        | 73       |
| MP 15          | -                                  | 0,68 | -        | -        | -                                    | 15   | -        | -        |
| MP 16          | -                                  | 1,7  | -        | -        | -                                    | 34   | -        | -        |
| MP 17          | -                                  | -    | 0,019    | 0,37     | -                                    | -    | 0,76     | 9,7      |
| MP 18          | -                                  | -    | Ausfall  | 0,47     | -                                    | -    | Ausfall  | 11       |
| MP 19          | -                                  | -    | 0,091    | 0,37     | -                                    | -    | 2,6      | 7,9      |
| WDMP 203       | 1,1                                | 4,9  | 0,10     | 3,5      | 36                                   | 55   | 3,4      | 93       |
| <b>OmH NRW</b> | 0,31                               |      |          |          | 6,0                                  |      |          |          |

### 3.1 BaP-Gehalte

Die BaP-Gehalte der zwischen August und November 2020 in Bottrop exponierten Grünkohlpflanzen betragen zwischen 0,28 µg/kg in der Frischmasse (FM) am Messpunkt 1 und 5,2 µg/kg FM am Messpunkt 6 (s. Tabelle 1 und Abbildung 2). Der Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) beträgt für BaP 0,31 µg/kg FM.

Abzüglich der Standardunsicherheit des Verfahrens von 0,080 µg/kg FM liegen die Gehalte an den Messpunkten 1, 2, 3, 12, 17 und 19 unterhalb des OmH. Dabei liegen die Messpunkte 1, 2, 3, 12 und 19 westlich, südwestlich und südlich der Kokerei. Auch der Messpunkt 13 westlich im Stadtteil Batenbrock weist mit 0,44 +/- 0,080 µg/kg FM einen nur leicht gegenüber der Hintergrundbelastung erhöhten Wert auf. Der Messpunkt 17 liegt nordöstlich der Kokerei und ist mit ca. 3 km am weitesten davon entfernt. In diesen Bereichen hat es im Untersuchungszeitraum keine immissionsbedingten Einträge von BaP gegeben, die zu einer Überschreitung des OmH führten.

Dagegen waren in nordwestlicher Richtung deutlich gegenüber dem OmH erhöhte BaP-Gehalte in den Grünkohlpflanzen zu finden. Der erneut am höchsten belastete Messpunkt 6 weist mit 5,2 µg/kg FM einen gegenüber dem OmH 17-fach höheren Wert auf. Auch die Messpunkte 203 und 4 weisen mit 3,5 bzw. 3,4 mg/kg FM sehr hohe BaP-Gehalte auf. Je weiter die Messpunkte von der Kokerei entfernt liegen, umso niedriger sind die ermittelten BaP-Gehalte im Grünkohl.



**Abbildung 2:** BaP-Gehalte in Grünkohl (Exposition von August bis November) an den Messpunkten in Bottrop inkl. Standardunsicherheit in den Jahren 2018 - 2020; Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) in NRW in Grünkohl (2010 – 2019)

Im Vergleich zu den in den Vorjahren zwischen August und November exponierten Grünkohlpflanzen (s. Abbildung 2) wurden an den Messpunkten im Stadtteil Batenbrock westlich der Kokerei (MP 1, 2 und 12) im Jahr 2020 niedrigere Gehalte ermittelt. Dagegen sind

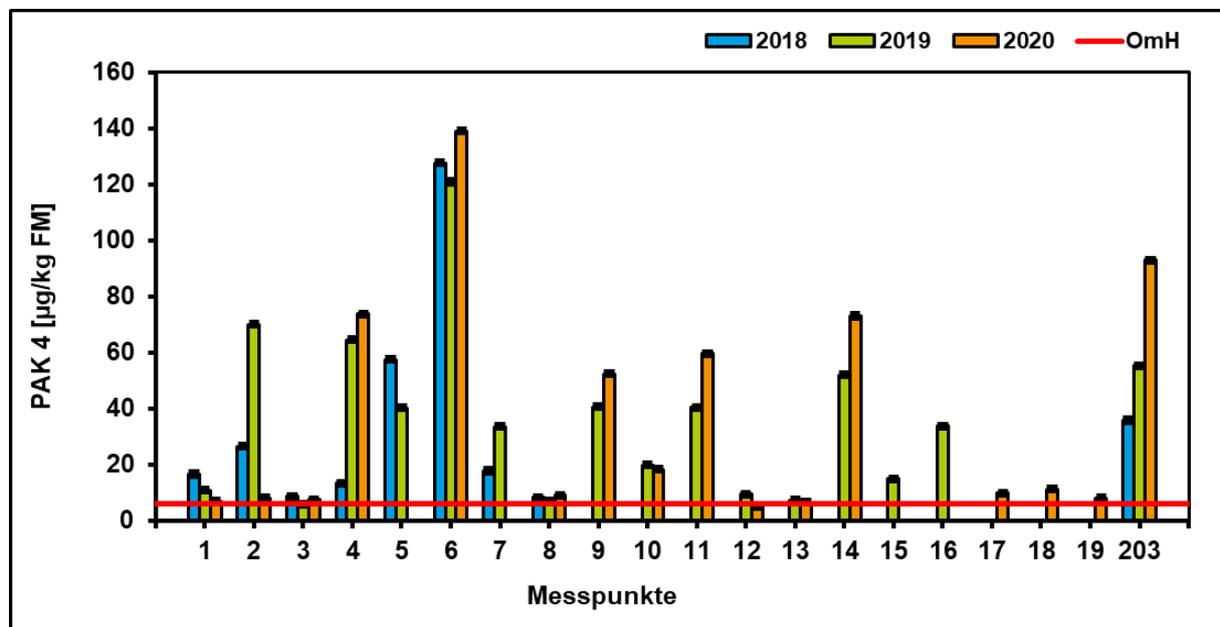
die Gehalte an den Messpunkten nordöstlich (MP 4, 9, 11, 14) zum Teil deutlich höher als in den Vorjahren. An den am höchsten belasteten Messpunkten 6 und 203 sind die BaP-Gehalte im Jahr 2020 niedriger als 2019, aber höher als 2018.

Bei der Exposition von Grünkohl zwischen Mai und August 2020 wurden an allen untersuchten Messpunkten 2, 9, 17, 19 und 203 deutlich niedrigere Gehalte ermittelt als bei der Exposition von August bis November 2020 (s. LANUV-Untersuchungsbericht vom 22.10.2020).

### 3.2 PAK 4-Gehalte

Die PAK 4- Gehalte der Grünkohlpflanzen betragen zwischen 5,1 µg/kg FM am Messpunkt 12 und 140 µg/kg FM am Messpunkt 6 (s. Tabelle 1 und Abbildung 3). Der OmH für NRW beträgt 6,0 µg/kg FM.

Abzüglich der Standardunsicherheit des Verfahrens von 1,0 µg/kg FM liegen nur die Gehalte an den Messpunkten 1, 12 und 13 unterhalb des OmH. Diese Messpunkte befinden sich westlich im Stadtteil Batenbrock. Auch an den dort liegenden Messpunkten 2 und 19 wurden nur leicht gegenüber dem OmH erhöhte Gehalte ermittelt. Dasselbe gilt für den Messpunkt 3 im Stadtteil Welheimer Mark. Im Vergleich zu den in den Vorjahren zwischen August und November exponierten Grünkohlpflanzen (s. Abbildung 3) wurden an den Messpunkten im Stadtteil Batenbrock niedrigere Gehalte ermittelt. In diesen Bereichen hat es im Untersuchungszeitraum keine bzw. nur geringe immissionsbedingte Einträge gegeben, die nur teilweise zu einer leichten Überschreitung des OmH führten.



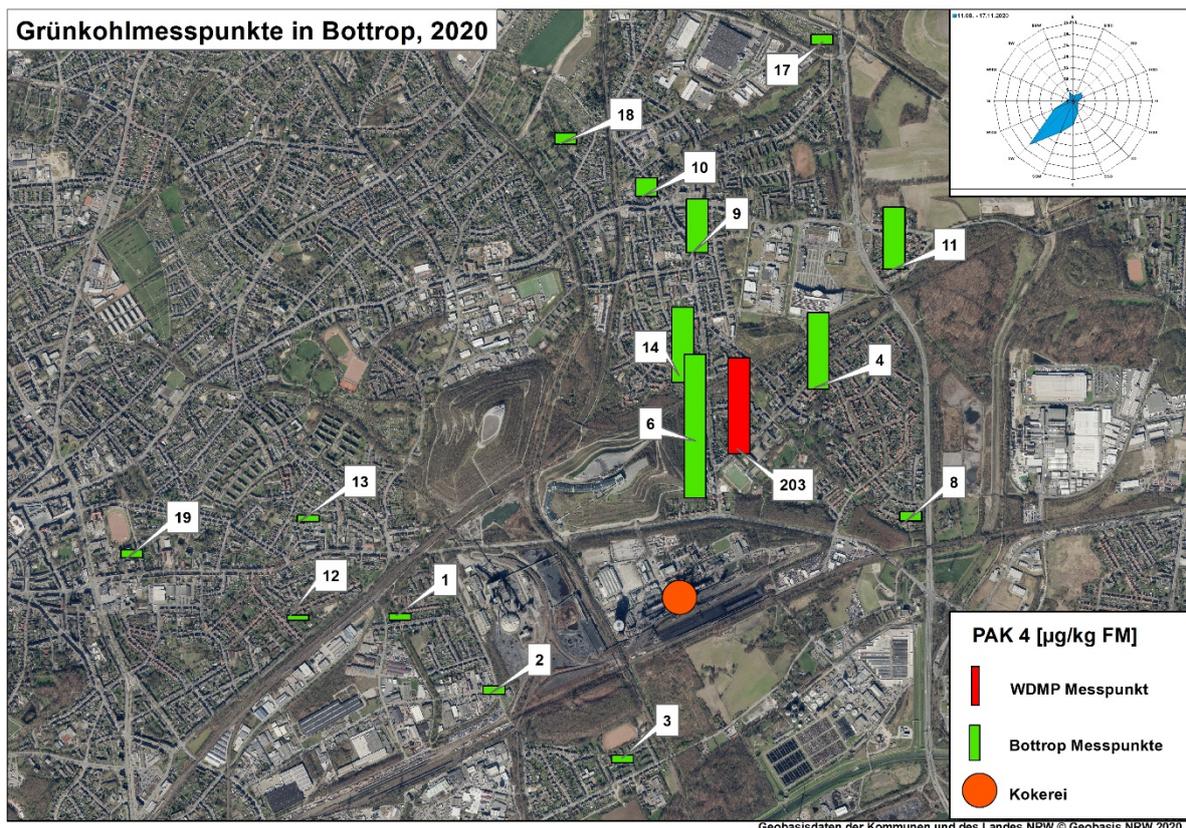
**Abbildung 3:** PAK 4-Gehalte in Grünkohl (Exposition von August bis November) an den Messpunkten in Bottrop inkl. Standardunsicherheit in den Jahren 2018 - 2020; Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) in NRW in Grünkohl (2010 – 2019)

Dagegen waren in nordwestlicher Richtung deutlich gegenüber dem OmH erhöhte PAK 4-Gehalte zu finden. Der erneut am höchsten belastete Messpunkt 6 weist mit 140 µg/kg FM einen gegenüber dem OmH 23-fach höheren Wert auf und ist noch einmal höher als in den beiden Vorjahren. Am Messpunkt 203 wird mit 93 µg/kg FM ebenfalls ein deutlich höherer Wert als in den Vorjahren ermittelt. Auch die Messpunkte 4, 9, 11 und 14, die nordöstlich der Kokerei liegen, weisen gegenüber dem Vorjahr erhöhte PAK 4-Gehalte auf.

Bei der Exposition von Grünkohl zwischen Mai und August 2020 wurden an allen untersuchten Messpunkten 2, 9, 17, 19 und 203 deutlich niedrigere Gehalte an PAK 4 ermittelt als bei der Exposition von August bis November 2020 (s. LANUV-Untersuchungsbericht vom 22.10.2020).

### 3.3 Räumliche Ausdehnung der Belastung

Die räumliche Ausdehnung der Belastung wird exemplarisch am Parameter PAK 4 erläutert. Die Aussagen gelten grundsätzlich auch für BaP.



**Abbildung 4:** PAK 4-Gehalte in Grünkohl an den Messpunkten in Bottrop 2020 [µg/kg FM]

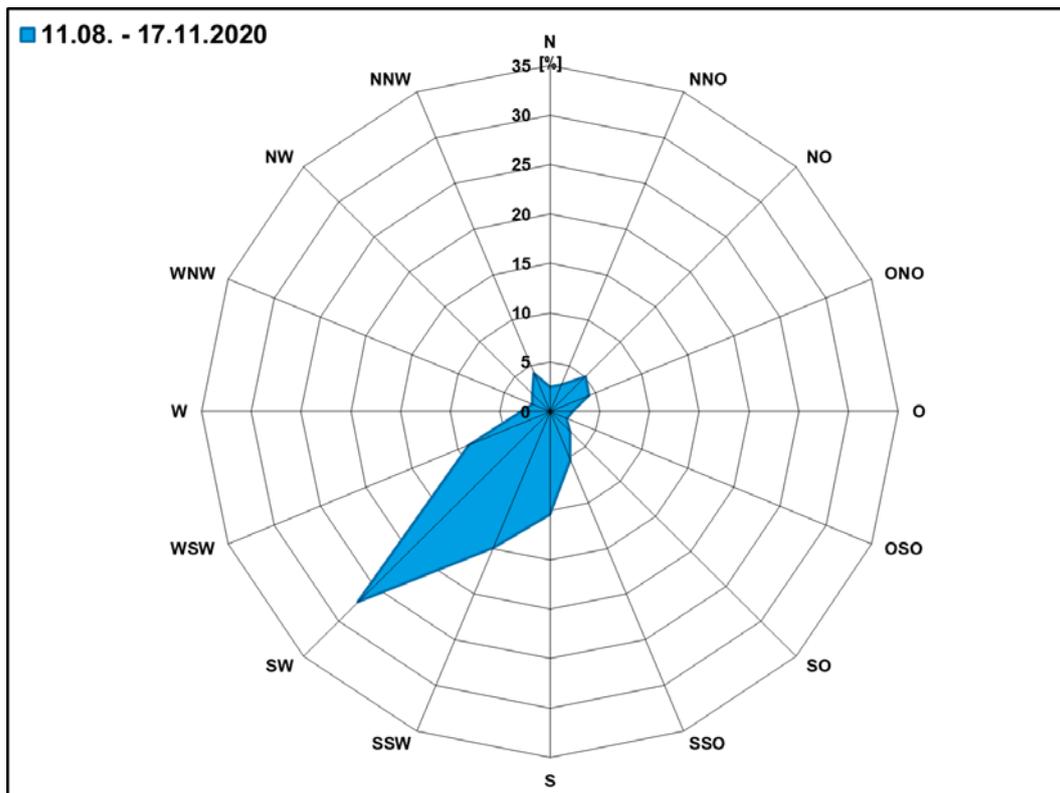
Betrachtet man die PAK 4-Gehalte in den untersuchten Grünkohlpflanzen in ihrer räumlichen Lage (s. Abbildung 4), ist zu erkennen, dass sehr hohe Werte nördlich bzw. nordöstlich (MP 6, 4, 203 und 14) der Kokerei im Stadtteil Welheim ermittelt wurden. Es ist ein Gradient abnehmender Gehalte nach Norden und Nordosten hin zu verzeichnen, wobei auch noch der

PAK 4-Gehalt am nordöstlichsten Messpunkt 17 mit 9,7 µg/kg FM den OmH von 6,0 mg/kg FM übersteigt.

Im Stadtteil Batenbrock westlich bis südwestlich der Kokerei (MP 1, 2, 12, 13 und 19) und im Stadtteil Welheimer Mark südlich der Kokerei (MP 3) wurden an allen Messpunkten vergleichsweise niedrige PAK 4-Gehalte ermittelt.

Die Windrichtungsverteilung während der Expositionszeit der Grünkohlpflanzen (s. Abbildung 5) zeigt als Hauptwindrichtung Südwest an (27 %) mit geringeren Anteilen an Wind aus Südsüdwest (15 %) und Süd (10 %) sowie Westsüdwest (9 %). Alle anderen Windrichtungsanteile waren deutlich geringer.

Die Windrichtungsverteilung zur Expositionszeit stimmt sehr gut mit den in den Grünkohlpflanzen ermittelten PAK 4-Gehalten überein. Aufgrund einer nur sehr geringen Windhäufigkeit aus Nordost und Ost findet man im Westen und Südwesten der Kokerei nur sehr niedrige PAK 4-Gehalte. In der Hauptwindrichtung dagegen, im Nordosten der Kokerei, wurden erneut sehr hohe Gehalte in den Grünkohlpflanzen ermittelt. Dabei zeigt sich, wie in den Vorjahren auch, dass es offensichtlich durch die nördlich angrenzende Halde einen Effekt gibt, der die Windmassen in nördlicher Richtung ablenkt, wodurch der Ort der größten Anreicherung der Messpunkt 6 ist.



**Abbildung 5:** Windrichtungsverteilung in Bottrop während der Grünkohlexposition vom 11.08. – 17.11.2020

Die Windrichtungsverteilung zur Zeit der ersten Grünkohlexposition 2020 (Mai bis August; s. LANUV-Untersuchungsbericht vom 22.10.2020) wies zwar auch die größten Windanteile aus

Südwest (19 %) und Westsüdwest (10 %) auf, zeigte aber auch größere Anteile aus anderen Windrichtungen, wie etwa aus Nordwest und Nordost (jeweils 9%). Das könnte eine Erklärung dafür sein, dass die zwischen Mai und August exponierten Grünkohlpflanzen deutlich geringere PAK 4-Gehalte aufwiesen. Möglicherweise ist es aufgrund der stärker wechselnden Winde in diesem Zeitraum nicht zu einer Konzentration der BaP- und PAK 4-Gehalte in einem Windsektor gekommen, wie das für den zwischen August und November exponierten Grünkohl der Fall war.

Grundsätzlich gilt auch, dass PAK bei niedrigen Temperaturen deutlich stabiler sind und nicht so stark abgebaut werden wie im Sommer. Auch dies kann dazu beitragen, dass die in Grünkohl ermittelten BaP- und PAK 4-Gehalte in den zwischen Mai und August exponierten Grünkohlpflanzen niedriger waren als in den zwischen August und November exponierten.

Inwiefern auch Veränderungen der Emissionssituation der Kokerei zur in 2020 gefundenen PAK-Verteilung beigetragen haben, kann vom LANUV nicht beurteilt werden.

### 3.4 Vergleich mit den Messungen im Feinstaub

Das LANUV misst an der LUQS-Messstation in Bottrop-Welheim nordöstlich der Kokerei auch BaP im Feinstaub. Diese Messstelle entspricht dem Messpunkt 203 aus dem Grünkohl-Untersuchungsprogramm. Die im Feinstaub täglich ermittelten Werte wurden für die Expositionszeiträume der Grünkohlpflanzen 2019 (August bis November), 2020 (Mai – August) und 2020 (August bis November) gemittelt und werden im Folgenden mit den BaP-Gehalten in Grünkohl am Messpunkt 203 verglichen (s. Tabelle 2).

**Tabelle 2:** Vergleich der Gehalte an BaP am Messpunkt 203 in Feinstaub (Mittelwert über den Expositionszeitraum) und in Grünkohl 2019 (Expositionszeitraum August bis November) und 2020 (1: Expositionszeitraum Mai bis August, 2: August bis November);

| Messpunkte | BaP in Grünkohl<br>[µg/kg FM] | BaP in Feinstaub<br>[ng/m <sup>3</sup> ] |
|------------|-------------------------------|--|
| 2019       | 4,9                           | 3,2                                      |
| 2020 - 1   | 0,10                          | 0,20                                     |
| 2020 - 2   | 3,5                           | 1,0                                      |

Der Vergleich der BaP-Gehalte, die im Grünkohl ermittelt wurden, mit den BaP-Gehalten im Feinstaub zeigt, dass in beiden Matrizes zwischen August und November 2019 ein vergleichsweise hoher Wert ermittelt wurde. Im Zeitraum zwischen Mai und August 2020 wurde dagegen am Messpunkt 203 in beiden Matrizes nur ein sehr geringer Gehalt ermittelt. Zwischen August und November 2020 war der Wert in den Grünkohlpflanzen wieder deutlich höher. Im Feinstaub war der Wert jahreszeitlich bedingt wieder erhöht, lag aber im rechtlichen Rahmen.

Die im Sommer 2020 deutlich niedrigeren Werte im Feinstaub zeigten sich also auch im Grünkohl. Es ist allerdings auffällig, dass sich der Rückgang der BaP-Belastung im Feinstaub im Zeitraum zwischen August und November im Vergleich zum Vorjahr nicht in gleichem Maße in den Gehalten im Grünkohl widerspiegelt. Der Zielwert der 39. BImSchV von  $1 \text{ ng/m}^3$  BaP im Feinstaub wurde im Jahr 2020 eingehalten. Offensichtlich akkumulierten die Grünkohlpflanzen höhere Mengen an BaP als dies die niedrigeren Gehalte im Feinstaub hätten erwarten lassen.

Eine mögliche Ursache dafür ist, dass Grünkohlpflanzen organische Schadstoffe aus der Luft sowohl gasförmig als auch Partikelgebunden aufnehmen können. Die Pflanze kann z. B. aus der auf den Blättern aufliegenden Deposition (größere Partikel) lipophile PAK in ihre oberflächliche Wachsschicht aufnehmen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Einhaltung des Zielwertes der 39. BImSchV von  $1 \text{ ng/m}^3$  BaP im Feinstaub nicht zwangsläufig bedeutet, dass Nahrungspflanzen keinen immissionsbedingten Einträgen von BaP ausgesetzt sind. Dementsprechend kann auch bei zukünftiger Einhaltung des Zielwertes in Bottrop nicht davon ausgegangen werden, dass Blattgemüse grundsätzlich bedenkenlos verzehrt werden können.

### **3.5 Fazit der Pflanzenuntersuchungen**

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es im Jahr 2020 (August – November) im Untersuchungsgebiet in Bottrop an 9 von 16 Messpunkten deutliche immissionsbedingte Einträge von BaP und an 13 von 16 Messpunkten deutlich erhöhte Einträge von PAK 4 in die untersuchten Grünkohlpflanzen gegeben hat. Dabei spiegelt die räumliche Verteilung der Gehalte in den Grünkohlpflanzen sehr gut die im Expositionszeitraum vorherrschenden Windrichtungen wider. Im Nordosten der Kokerei in den Stadtteilen Welheim und Boy sind abnehmende Gradienten der Gehalte an den Messpunkten in nördlicher sowie nordöstlicher Richtung zu beobachten. Dagegen sind die BaP- und die PAK 4-Gehalte in den Grünkohlpflanzen in westlicher, südwestlicher und südlicher Richtung, die im Expositionszeitraum nur sehr selten durch Wind aus der Richtung der Kokerei beaufschlagt wurden, sehr niedrig.

Aufgrund der Überschreitung der OmH für NRW wurden die Gehalte an BaP der Messpunkte 4, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14 und 203 und an PAK 4 der Messpunkte 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 14, 17, 18, 19 und 203 gesundheitlich bewertet.

## **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  $BMDL_{10}$ ), abgeleitet aus der Dosis-Wirkungskurve im Tierversuch, im Verhältnis zu der menschlichen Exposition. Ein MOE von 10.000 (hier basierend auf einer  $BMDL_{10}$ ) 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.  $BMDL_{10}$  (= untere Grenze des Vertrauensbereiches für ein zusätzliches Risiko (Extra Risk) von 10 %) berechnet. Diese  $BMDL_{10}$  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  $BMDL_{10}$ :

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

### Berechnung der MOEs

Zur Berechnung des MOE in Bezug auf die BaP- bzw. PAK 4-Konzentrationen in den Grünkohlpflanzen wird im Folgenden die Schadstoff-Exposition ermittelt, die sich bei Verzehr der jeweiligen Grünkohlpflanzen aus Bottrop ergeben würde. Dazu wird zunächst unter Berücksichtigung der oben angegebenen Annahmen (Verzehr von 250 g Grünkohl tagtäglich ein Leben lang und 70 kg Körpergewicht einer Erwachsenen bzw. eines Erwachsenen) die orale Aufnahme an BaP und PAK 4 berechnet, die sich allein über den Verzehr des jeweiligen Grünkohls aus Bottrop ergeben würde. Die tägliche orale Gesamtaufnahme an BaP und PAK 4 wird rechnerisch über die Addition der Aufnahme über den entsprechenden Grünkohl aus Bottrop 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 und PAK 4 in der Frischmasse des Grünkohls festgestellt wurde und welche Gesamtaufnahme an BaP und PAK 4 sich rein rechnerisch bei Verzehr von 250 g des 2020 in Bottrop angebaute 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 PAK 4: 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 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) [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ] |
|-----------|--|---|--|---|
| MP 4      | 3,4  | 3,6   | 12   | 16  |
| MP 6      | 5,2  | 3,6   | 19   | 22  |
| MP 8      | 0,46   | 3,6   | 1,6  | 5,2   |
| MP 9      | 2,2  | 3,6   | 7,9  | 12  |
| MP 10     | 0,82   | 3,6   | 2,9  | 6,5   |
| MP 11     | 2,8  | 3,6   | 10   | 14  |
| MP 13     | 0,44   | 3,6   | 1,6  | 5,2   |
| MP 14     | 3,0  | 3,6   | 11   | 14  |
| WDMP 203  | 3,5  | 3,6   | 13   | 16  |

**Tabelle 4:** PAK 4-Gehalt in den Nahrungspflanzen [ $\mu\text{g}/\text{kg FM}$ ] für die 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 des entsprechenden Grünkohls [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ], 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) [ $\text{ng}/\text{kg KG}/\text{d}$ ] |
|-----------|--|---|--|---|
| MP 2      | 8,0  | 18  | 29   | 47  |
| MP 3      | 7,4  | 18  | 26   | 44  |
| MP 4      | 74   | 18  | 260  | 280   |
| MP 6      | 140  | 18  | 500  | 520   |
| MP 8      | 8,9  | 18  | 32   | 50  |
| MP 9      | 52   | 18  | 190  | 200   |
| MP 10     | 18   | 18  | 64   | 82  |
| MP 11     | 60   | 18  | 210  | 230   |
| MP 14     | 73   | 18  | 260  | 280   |
| MP 17     | 9,7  | 18  | 35   | 53  |
| MP 18     | 11   | 18  | 39   | 57  |
| MP 19     | 7,9  | 18  | 28   | 46  |
| WDMP 203  | 93   | 18  | 330  | 350   |

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 der Konzentration an BaP bzw. PAK 4 in dem jeweiligen Grünkohl die in Tabelle 4 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

| Messpunkt | MOE BaP | MOE PAK 4 |
|-----------|---------|-----------|
| MP 2      |         | 7200      |
| MP 3      |         | 7700      |
| MP 4      | 4400    | 1200      |
| MP 6      | 3200    | 650       |
| MP 8      | 14000   | 6800      |
| MP 9      | 5800    | 1700      |
| MP 10     | 11000   | 4200      |
| MP 11     | 5000    | 1500      |
| MP 13     | 14000   |           |
| MP 14     | 5000    | 1200      |
| MP 17     |         | 6400      |
| MP 18     |         | 6000      |
| MP 19     |         | 7400      |
| WDMP 203  | 4400    | 970       |

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Mit Ausnahme des Messpunktes 13 mit einem MOE in Höhe von 14000, 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 unter einem aus gesundheitlicher Sicht vertretbaren Faktor von 10.000 liegen.

### **Fazit**

Die gesundheitliche Bewertung von PAK in den untersuchten Grünkohlpflanzen aus Bottrop 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 der überwiegenden Zahl der 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, 11, 14 und an dem WDMP-Standort 203 sowie für PAK 4 an allen zur

Bewertung vorgelegten Messpunkten zum Teil erheblich unterschritten (Beispiel: MOE von 1200, 650 und 1200 für PAK 4 an den Messpunkten 4, 6 und 14). 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 des Messpunktes 13 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 der folgenden 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.

**Tabelle 6:** Verzehr-Häufigkeit von je 250 g Grünkohl pro Woche bei einem MOE von 10.000 mit Bezug auf die BaP- bzw. PAK 4-Konzentration im Grünkohl aus Bottrop; \*uneingeschränkt

| Messpunkt | BaP   | PAK 4                                |
|-----------|-------|--------------------------------------|
| MP 2      |       | 3 - 4                                |
| MP 3      |       | 4                                    |
| MP 4      | 2     | 0,42 (1 - 2 Mal/Monat <sup>1</sup> ) |
| MP 6      | 1     | 0,22 (maximal 1 Mal/Monat)           |
| MP 8      | *     | 3 - 4                                |
| MP 9      | 3     | 0,60 (2 Mal/Monat)                   |
| MP 10     | *     | 1 - 2                                |
| MP 11     | 2     | 0,52 (2 Mal/Monat)                   |
| MP 13     | *     |                                      |
| MP 14     | 2     | 0,43 (1 - 2 Mal/Monat)               |
| MP 17     |       | 3                                    |
| MP 18     |       | 2-3                                  |
| MP 19     |       | 4                                    |
| WDMP 203  | 1 - 2 | 0,34 (1 Mal/Monat)                   |

Es wird empfohlen, den Grünkohl der Messpunkte 2, 3, 8, 10, 17, 18 und 19 nicht häufiger pro Woche zu verzehren als in der Tabelle 6 (bezogen auf PAK 4) angegeben.

<sup>1</sup> Ein Monat entspricht hier einem Zeitraum von 4 Wochen.

Der Grünkohl an den Messpunkten 4, 6, 9, 11, 14 sowie 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 monatlich (in einem Zeitraum von 4 Wochen) nicht häufiger zu verzehren als in der Tabelle aufgeführt. Der Grünkohl des Messpunktes 13 darf uneingeschränkt verzehrt werden.

Die Verzehrempfehlungen des LANUV für die untersuchten Stadtteile werden im nächsten Kapitel detailliert erläutert.

## 5 Zusammenfassung

Im Jahr 2020 wurden in der Umgebung der Kokerei in Bottrop an insgesamt 16 Messpunkten Grünkohlpflanzen exponiert und anschließend auf ihre BaP- und PAK 4-Gehalte analysiert.

Es ist festzustellen, dass es im Jahr 2020 (August – November) im Untersuchungsgebiet in Bottrop deutliche immissionsbedingte Einträge von BaP und PAK 4 in die untersuchten Grünkohlpflanzen gegeben hat. Die höchsten Gehalte wurden dabei in Hauptwindrichtung nördlich und nordöstlich der Kokerei im Stadtteil Welheim ermittelt. Diese Gehalte liegen deutlich oberhalb der Hintergrundbelastung in NRW. Es ist ein abnehmender Gradient in Richtung Norden und in Richtung Nordosten feststellbar. Wobei auch die Messpunkte 18 und 17 im Stadtteil Boy, die in 2,1 bis 3,0 km Entfernung zu der Kokerei liegen, gegenüber der Hintergrundbelastung erhöhte Werte aufweisen. Dagegen wurden in westlicher, südwestlicher und südlicher Richtung zur Kokerei in den Stadtteilen Batenbrock und Welheimer Mark nur vergleichsweise geringe PAK-Gehalte in den Grünkohlpflanzen ermittelt. Die Gehalte an den Messpunkten 1 und 12 lagen unterhalb des für NRW geltenden Orientierungswertes für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) und wurden daher nicht gesundheitlich bewertet werden.

Die an den Messpunkten 2, 9, 17, 19 und 203 ermittelten BaP- und PAK 4-Gehalte waren in den zwischen August und November 2020 exponierten Grünkohlpflanzen deutlich höher als in den zwischen Mai und August 2020 exponierten.

Die **gesundheitliche Bewertung** der BaP- und PAK 4-Gehalte an den 14 Messpunkten, die Werte größer des OmH für NRW aufwiesen, ergab unter Berücksichtigung der BaP- bzw. PAK 4-Aufnahme aus dem allgemeinen Warenkorb an allen untersuchten Messpunkten außer dem Messpunkt 13 eine Verzehrempfehlung.

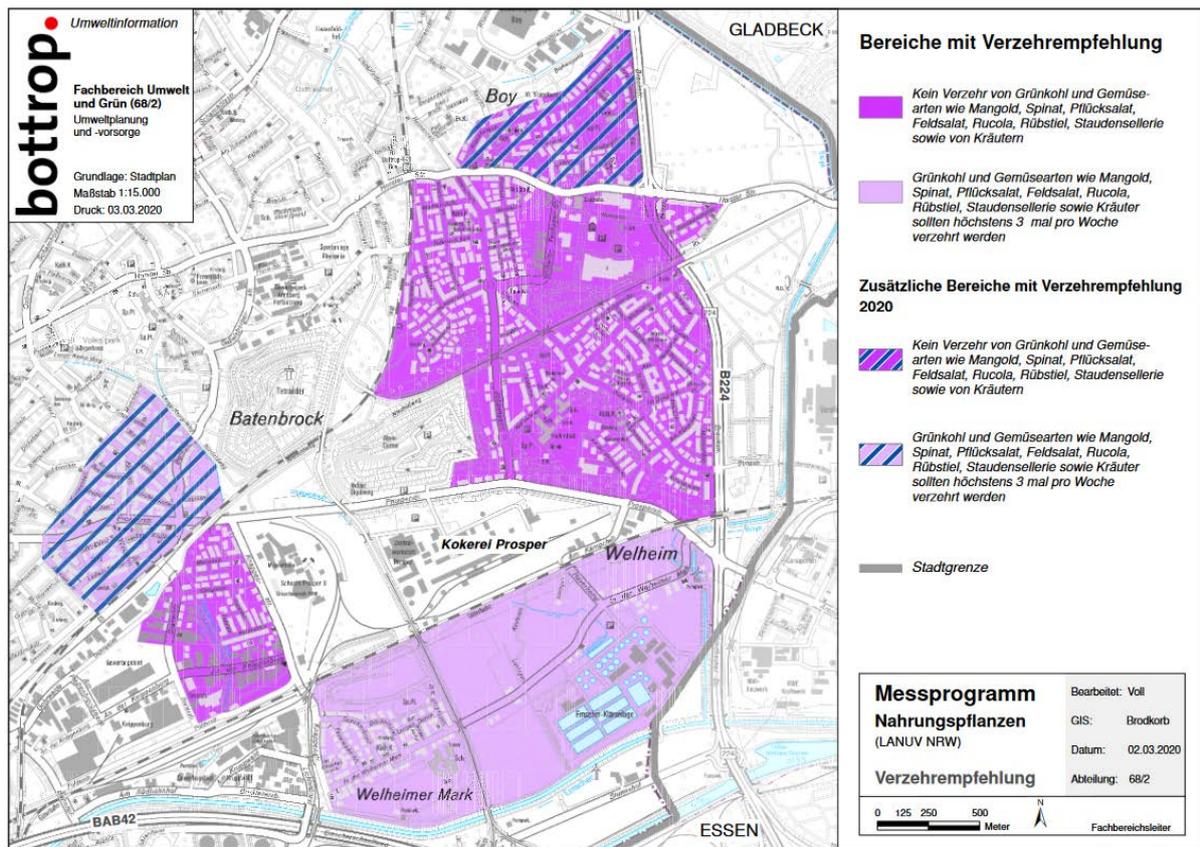
Die Stadt Bottrop hat im letzten Jahr die 2018 festgelegten Gebiete der Verzehrempfehlungen erweitert (s. Abbildung 6).

Aufgrund der Ergebnisse der Grünkohluntersuchungen von August bis November 2020 können aus Sicht des LANUV die bisherigen Verzehrempfehlungen nicht zurückgenommen werden.

Da die Belastung der Grünkohlpflanzen sehr stark davon abhängig ist, ob sie durch Wind von der Kokerei beaufschlagt wurden, ist es trotz der im Jahr 2020 teilweise sehr niedrigen PAK-

Gehalte an den Messpunkten in den **Stadtteilen Batenbrock** und **Welheimer Mark** nicht anzuraten, dort die Verzehrempfehlungen aufzuheben bzw. zu verändern. Bei anderen Windverhältnissen könnte es auch dort erneut zu höheren PAK-Gehalten in den Pflanzen kommen. Der Bereich der bestehenden Verzehrempfehlung im **Stadtteil Batenbrock** (3 x pro Woche) müsste bis zum Messpunkt 19 erweitert werden.

Auch die bereits für die **Stadtteile Welheim und Boy** geltende Verzehrempfehlung müsste bis zu den Messpunkten 17 und 18 nach Norden erweitert werden. Hier könnte überlegt werden, ob es im nördlichen Bereich eine differenzierte Verzehrempfehlung (z. B. 2 - 3 x pro Woche) geben könnte.



**Abbildung 6:** Bisheriges Gebiet der Verzehrempfehlung der Stadt Bottrop (Quelle: Stadt Bottrop)

Es ist nach derzeitigem Kenntnisstand nicht davon auszugehen, dass die Einhaltung des Zielwertes der 39. BImSchV von  $1 \text{ ng/m}^3$  BaP im Feinstaub sicherstellt, dass Nahrungspflanzen keinen immissionsbedingten Einträgen von BaP ausgesetzt sind. Dementsprechend kann auch bei einer zukünftigen Einhaltung des Zielwertes für BaP in Bottrop nicht davon ausgegangen werden, dass Blattgemüse grundsätzlich bedenkenlos verzehrt werden können.

## 6 Weiteres Vorgehen

Das LANUV schlägt vor im Jahr 2021 die Untersuchungen zur Immissionsbelastung von Nahrungspflanzen in Bottrop wie im Jahr 2020 fortzuführen. Für die Exposition des frühen Grünkohls ist zu überlegen, an welchen Messpunkten diese erfolgen sollte. Die genaue Vorgehensweise ist noch abzustimmen.

## 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

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