

Bienenmonitoring am Flughafen Leipzig/Halle

2009–2023



Auftraggeber

Flughafen Leipzig/Halle GmbH

Terminalring 11

04435 Flughafen Leipzig/Halle

Projekt 4570053079

Bearbeitung

Dr. Monica Wäber

Dipl.-Ing. Univ. (TUM) Frank Pompe

UMW Umweltmonitoring

Wallbergstr. 13

82054 Sauerlach

Telefon +49 8104 2541 406

Email waeber@umweltmonitoring.com

Internet www.umweltmonitoring.com

Ust-Id.Nr.: DE1831168827

Stand

25.03.2024

Karten- und Bildnachweis:

Übersichtskarte und -Kartenausschnitt:

FLHG - Flughafen Leipzig/Halle GmbH

Fotos:

FLHG - Flughafen Leipzig/Halle GmbH

iStock Foto ©azur13

Monica Wäber, Frank Pompe, UMW Umweltmonitoring

Hinweis: Die Bilder dürfen nicht anderweitig verwendet werden.

Titelseite (von oben nach unten): Bienenvölker-Standorte Papitz, Röglitz, Döllnitz 2023

Zusammenfassung Bienenmonitoring 2009-2023

Bienenmonitoring von Luftverunreinigungen

Bienen reagieren sensibel auf Umwelteinflüsse. Bei ihren Flügen kommen sie mit Schadstoffen in Kontakt, die sich in Luft, Wasser und an Pflanzen befinden können. Diese Schadstoffe können als Rückstände in Pollen, Wabenwachs und im Honig verbleiben. Honig ist ein reines Naturprodukt und ein beliebtes Nahrungsmittel, das gerne aus regionaler Herkunft bezogen wird. Die Bürger aus der Region des Flughafens Leipzig/Halle haben daher ein großes Interesse daran zu erfahren, ob der von den Bienen im Flughafenumland produzierte Honig von Schadstoffen unbelastet ist. Aus diesem Grund wurde das Bienenmonitoring von der Flughafen Leipzig/Halle GmbH ins Leben gerufen.

Bienenmonitoring des Flughafens Leipzig/Halle

Das Bienenmonitoring ist ein freiwilliger Umweltservice:

- Bienenvölker an aktuell 3 Standorten
- sammeln von den Blüten auf dem Flughafengelände und im Umkreis Nektar und Pollen.
- Die Imker betreuen die Bienen und füllen den Flughafenhonig ab.
- Proben der Honige von insgesamt 6 Standorten wurden seit 2009 analysiert:
- auf ausgewählte Metalle und organische Schadstoffgruppen (PAK, BTEX).
- Die Analysen wurden von unabhängigen Laboren durchgeführt.
- Im Jahr 2019 kam die Untersuchung der Vitalität der Bienen hinzu und
- im Jahr 2021 die Analysen von Bienenwachs, die konsequent fortgeführt werden.
- Die Ergebnisse werden hier von einer unabhängigen Gutachterin anhand Referenzwerten abseits Flughäfen und anhand Beurteilungswerten für Lebensmittel beurteilt.

Bienenvölker am Flughafen Leipzig/Halle

Das Bienenmonitoring am Flughafen Leipzig/Halle wurde 2009 mit Bienenvölkern an zwei Standorten gestartet. Auf ihren Sammelflügen über die blütenreichen Flächen rings um den Flughafen finden die Bienen reichlich Blütenpollen und -nektar. Je nach Blütenangebot können die Bienen eines Bienenvolkes ein Gebiet von bis zu drei Kilometer Radius überfliegen. Mit dem Blütenpollen ernähren sie ihre Brut. Aus dem Nektar produzieren sie Honig. Im Jahr 2020 waren es 60 Kilogramm Flughafenhonig der Sommertracht vom Standort Papitz (Titelbild). Auch im witterungsbedingt „schlechten Bienenjahr“ 2021 produzierten die 6 Bienenvölker dort 80 Kilogramm Flughafenhonig der Sommertracht und die 2 Bienenvölker vom Standort Röglitz 32 Kilogramm Sommertrachthonig. Im Jahr 2022 waren es, trotz Hitze und Trockenheit, 60 kg der sechs Flughafen-Bienenvölker und 23 kg der beiden Röglitzer Bienenvölker. Im aktuellen Berichtsjahr produzierten die beiden Röglitzer Bienenvölker 25 kg Frühtrachthonig, die sechs Bienenvölker in Papitz je 70 Kilogramm Flughafenhonig der Frühtracht und der Sommertracht.

Beurteilungsmaßstäbe

Die Bewertung, ob Einflüsse des Flughafens Leipzig/Halle oder weiterer Quellen von Luftverunreinigungen erkennbar werden, erfolgt primär anhand des Vergleichs von abseits von Flughafenbetrieb gelegenen Referenzstandorten:

- den Referenzstandorten Hohenweiden LHR und Döllnitz LDR des Flughafens Leipzig/Halle sowie
- dem Referenzstandort BRS aus dem Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin aus dem Bienenmonitoring im Umfeld der Berliner Flughäfen im Betrachtungszeitraum 2014–2023,

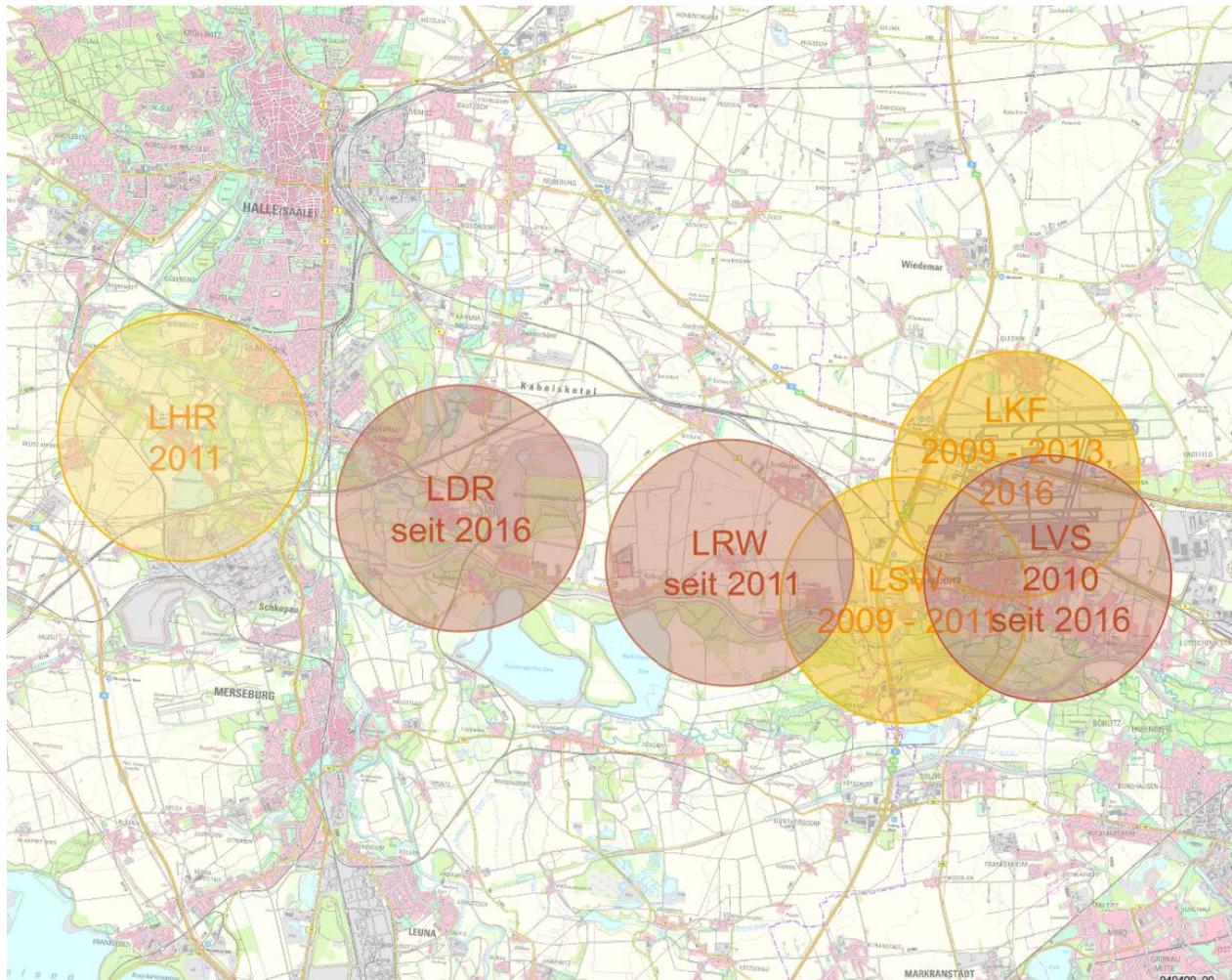
- dem Referenzgebiet AIC aus dem Honigmonitoring am Flughafen München 2018–2022 und
- dem aktuellen Referenzstandort Großdobritz DGR des Flughafens Dresden (seit 2018 untersucht).

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit begrenzen Lebensmittel-Höchstgehalte gemäß EU-Verordnungen den Gehalt unerwünschter Stoffe in Lebensmitteln auf toxikologisch vertretbare Werte. Für Honig sind Höchstgehalte für Blei und Quecksilber anwendbar. Beurteilungswerte für weitere untersuchte Stoffe sind für andersartige Lebensmittel festgelegt und können hilfsweise orientierend herangezogen werden.

Fazit: Flughafen-Honig seit 2009 einwandfrei und unbedenklich

Die Gehalte der untersuchten Luftverunreinigungen in den Honigproben aller Standorte am Flughafen, in seinem Umfeld und abseits des Flughafenbetriebs lagen – soweit auffindbar – in niedrigen und für Nahrungsmittel typischen Bereichen. Ein relevanter Einfluss des Flughafenbetriebs auf Honig aus dem Umfeld ist nicht feststellbar. Auch die Wachsproben wiesen unauffällige niedrige Stoffgehalte auf.

Der Honig der Flughafenbienen Leipzig/Halle kann ohne Bedenken genossen werden.



Flughafen Leipzig/Halle mit den Standorten und Flugwolken der Bienenvölker

Leipzig/Halle (rechte Bildhälfte Mitte) mit den Standorten der Bienenvölker (gelbe Kreise: frühere Standorte, orangerote Kreise: aktuelle Standorte) und Flugwolken der Bienen (mit theoretisch bis zu 3 km Radius: farbige Kreisflächen) [Karte: FLHG – Flughafen Leipzig/Halle GmbH]

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung Bienenmonitoring 2009-2023	3
Inhaltsverzeichnis	5
Danksagung	7
1 Einführung.....	8
1.1 Luftverunreinigungen und freiwillige Untersuchungsprogramme	8
1.2 Hintergrund – Bienen, Wachs und Honig	10
1.3 Bienenmonitoring am Flughafen Leipzig/Halle – Ziel und Umfang	12
2 Untersuchungskonzept und -methoden.....	13
2.1 Standorte	14
2.2 Honigproben, Wachsproben und Bienenvitalität	16
2.3 Stoffe	19
2.3.1 Metalle	19
2.3.2 PAK.....	20
2.3.3 BTEX	21
2.4 Analysenverfahren und Bestimmungsgrenzen.....	21
2.5 Maßstäbe zur Ergebnisbeurteilung	23
2.6 Messunsicherheit.....	26
3 Ergebnisse	27
3.1 Vitalitätserhebung	27
3.2 Antimon in Honig	30
3.3 Arsen in Honig	31
3.4 Blei in Honig.....	32
3.5 Cadmium in Honig	33
3.6 Chrom in Honig.....	34
3.7 Kupfer in Honig.....	35
3.8 Nickel in Honig.....	37
3.9 Quecksilber in Honig	38
3.10 Zink in Honig.....	39
3.11 Metalle in Wachs	41
3.12 PAK in Honig	45
3.13 PAK in Wachs.....	50

3.14	BTEX in Honig	54
4	Zusammenfassende Bewertung	55
5	Abkürzungen	58
6	Glossar	60
7	Literatur	62
7.1	Gesetzliche Grundlagen	62
7.2	Normen, Richtlinien, Vorschriften	63
7.3	Literatur	64
7.4	Quellen im Internet	65
8	Abbildungsverzeichnis	67
9	Tabellenverzeichnis	68
10	Anhang	69
10.1	Einzelergebnisse der Analysen auf Metalle in Wachs	69
10.2	Einzelergebnisse der Analysen auf PAK in Honig	71
10.3	Einzelergebnisse der Analysen auf PAK in Wachs	81

Danksagung

Unser herzlicher Dank geht an:

die betreuenden Imker und deren Bienenvölker an den Standorten am Flughafen Leipzig/Halle und im Umfeld sowie

der Abteilung *Umweltschutz* der Mitteldeutschen Flughafen AG für die Flughafen Leipzig/Halle GmbH (FLHG) für zur Verfügung gestellte Daten von Honiguntersuchungen vor 2019, für Bildmaterial und Hintergrundinformationen.

1 Einführung

1.1 Luftverunreinigungen und freiwillige Untersuchungsprogramme

Luftverunreinigungen werden beim Betrieb eines Flughafens an die Umgebungsluft abgegeben: durch Abrieb- und Verbrennungsprozesse im Boden und im Flugbetrieb. Diese Emissionen können – zusammen mit solchen aus Straßenverkehr, Gewerbe und Industrie, Staubverwehungen z. B. bei landwirtschaftlichen Aktivitäten und saisonalem Hausbrand (Betrieb privater Kleinfeuerungsanlagen zu Heizzwecken) – die Luftqualität beeinflussen. Dort, wo die Emissionen auf die Umwelt wirken, z. B. in der Umgebungsluft, werden sie als Immissionen bezeichnet. Der Eintrag von Immissionen in der Umwelt heißt Deposition (Bild 1.1-1). Die von Emissionsquellen in die Luft freigesetzten Luftverunreinigungen sinken partikelförmig allmählich als Deposition zu Boden, oder verbleiben aufgrund geringer Größe und Gewicht als Gas oder Schwebstaub in der Luft.

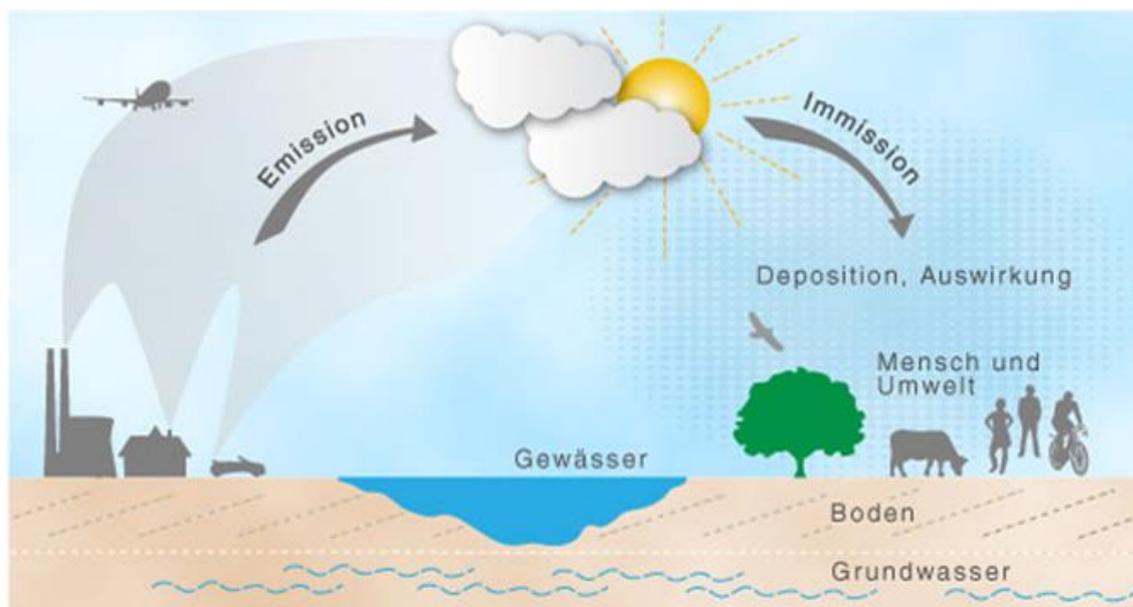


Bild 1.1-1: Wie gelangen Luftverunreinigungen in die Umwelt
[Copyright Grafik Dr. Monica Wäber]

Immissionswirkungen – dieser Begriff beschreibt, wie Immissionen sich in Pflanzen und Tieren anreichern und wie sie sich auf Organismen auswirken (VDI 3957/1 2020). Beispielsweise Blütenpflanzen können die Depositionen und Schwebeteilchen aus der Luft aufnehmen und anreichern. Auf diese Weise gelangen die Luftverunreinigungen in die Nahrungskette, etwa wenn Bienen Blütennektar sammeln, um Honig zu produzieren. Von Menschen in zu hohen Mengen aufgenommen, können Luftschadstoffe schädliche Wirkungen hervorrufen.

Untersuchungen der Luftqualität betreibt der Flughafen Leipzig/Halle im Umfeld des Airports kontinuierlich: „Im Fokus der Untersuchungen stehen dabei etwaige Belastungen der Luft durch den Flug- und Vorfeldbetrieb. Mit diesen freiwilligen Untersuchungen wird die etwaige aktuelle Schadstoffbelastung am Airport und im Umland erfasst und für die Bevölkerung transparent gemacht“ (Quelle im Internet: <https://www.mdf-ag.com/unternehmen/umwelt/flughafen-leipzig/halle-gmbh/biomonitoring/>, Stand 01.12.2023).

Biomonitoring ist ein Baustein des Untersuchungsprogramms: Anreicherungen von Luftverunreinigungen werden in lebenden Organismen, den Bioindikatoren, analysiert. Sie geben über die Verbreitung der Stoffe durch den Flughafenbetrieb und deren Immissionswirkungen auf die Umwelt Aufschluss. Das Biomonitoring wurde bislang in den Jahren 2008 mit Grünkohlkulturen – als Vertreter von Lebensmitteln des Menschen – sowie 2020 und 2022 mit Graskulturen – als Vertreter von Vegetation und Futtermitteln – durchgeführt (Quelle im Internet: https://www.mdf-ag.com/media/user_upload/Leipzig_Halle/Bilder/Umwelt/FLH2022_Biomon-Bericht_UMW20230411.pdf, Stand 01.12.2023).

Bienenmonitoring wurde 2009 als Honiguntersuchung im Zusammenschluss mit anderen deutschen Verkehrsflughäfen eingeführt. Bienenvölker sind nun seit 15 Jahren an mehreren Standorten um den Flughafen Leipzig/Halle angesiedelt.

1.2 Hintergrund – Bienen, Wachs und Honig

Wie können Luftverunreinigungen in Bienenhonig gelangen?

Bienen kommen bei ihren Sammelflügen mit Stoffen in Luft, Niederschlag, Wasser und Trachtpflanzen in Kontakt. Sie reagieren empfindlich auf Schadstoffe und Störungen ihrer Lebensbedingungen.



Bild 1.2-1: Biene sammelt Blütennektar und Blütenpollen
[Foto: iStock © azur13]

Ein Bienenvolk besteht aus 30.000 bis 50.000 Bienen. Bei ihren täglichen Flügen fliegen die Sammlerbienen rund 4.000 Blüten an – in einem Radius von bis zu rund 3 km, eine Fläche von bis zu 30 km² (Bogdanov 2006). Man bezeichnet die Bienen daher als flächenbezogene Sammler (VDI 4330/4 2006). Wie aktiv sie sammeln und in welcher räumlichen Ausdehnung, hängt von der Witterung, der Landschaftsnutzung und vor allem vom Nahrungsangebot ab. Die Nahrung der Bienen umfasst den verfügbaren Blütennektar, Honigtau und Blütenpollen der Trachtpflanzen.

Der eiweißreiche Blütenpollen (Bild 1.2-1) wird von den Bienen durch Speichel fermentiert und in speziellen Wabenbereichen im Bienenstock eingelagert. Er dient als Nahrung für die Brut.

Wachs stammt nicht wie Pollen aus der Umwelt, sondern wird von den Bienen hergestellt: Junge Honigbienen sondern es aus ihren Wachsdrüsen ab und bauen damit im Bienenstock die Waben. Darin lagern sie Pollen und Honig ein. Das Bienenwachs besteht zu etwa 65 Gewichtsprozenten aus Myricin, einem Gemisch von Estern langkettiger Alkohole und Säuren. In der Regel bauen die Bienen nur die Drohnenwaben für die Aufzucht der männlichen Bienen in Naturbau (auch Wildbau genannt) selbst.

Für Brut- und Honigwaben hingegen spannt der Imker vorgefertigte Wachsmittelwände mit Drähten in Rahmen und hängt diese in den Bienenstock. Darauf bauen die Bienen die Honigwaben auf (Bild 1.2-2) und müssen so nur etwa die Hälfte dieses Wachses selbst produzieren.



Bild 1.2-2: Honigwabe in Holzrahmen vom Standort Röglitz nach der Sommertracht 2021

Vorgefertigte Mittelwände werden aus dem Fachhandel bezogen, oder vom Imker aus eigenem Wachskreislauf selbst hergestellt, d. h. aus eingeschmolzenen, gereinigten Waben eigener Bienenvölker. Wabenwachs wird beim Bienenmonitoring untersucht, weil sich aufgrund der chemischen Eigenschaften darin fettlösliche (lipophile) organische Schadstoffe besonders gut anreichern können und weil in Wachs enthaltene Schadstoffe in darin eingelagerten Pollen und Honig übergehen könnten.

Honig ist wie Bienenwachs ein von den Bienen hergestelltes Produkt. Die Bienen sammeln zuckerhaltige Ausscheidungen von Blüten, den Nektar, und zuckerhaltigen Pflanzensaft bzw. Ausscheidungen an Pflanzen saugender Insekten, den Honigtau. Die Bienen setzen dem Nektar und Honigtau Enzyme und andere Wirkstoffe zu und entziehen dem Umwandlungsprodukt Wasser, bis es schließlich in den Waben als Honig eingelagert wird. Honig besteht im Wesentlichen aus den Zuckerarten Fructose und Glucose. Weitere Bestandteile sind organische Säuren, Enzyme und beim Nektarsammeln aufgenommene feste Partikel (HonigV 2004).

Blütenhonig wird als Frühtracht im Frühjahr, als eine Tracht im Laufe des Sommers und manchmal als Spättracht vor der Einwinterung produziert: pro Bienenvolk bis rund 20 bis 30 Kilogramm Honig pro Jahr.

Stoffe, die die Bienen mit dem Nektar und Honigtau aufnehmen, können aus ihren Honigblasen in das umliegende Körpergewebe abgeschieden werden. Wenn Nektar und Honigtau im Stock von Biene zu Biene weitergereicht werden, können so die Stoffgehalte im Honig bei dessen Produktion in einem gewissen Maß abnehmen, und gleichzeitig in den Bienen zunehmen.

1.3 Bienenmonitoring am Flughafen Leipzig/Halle – Ziel und Umfang

Honig als Naturprodukt ist Umwelteinflüssen im Sammelgebiet der Bienen ausgesetzt. Ist der Honig, den die Bienen im Umland produzieren mit Schadstoffen aus dem Flughafenbetrieb belastet?

Bienenmonitoring wurde im Jahr 2009 als freiwillige Umweltuntersuchung eingeführt, um diese Frage zu beantworten. Es ist auch ein Brückenschlag, um etwaigen Bedenken von Bürgern und Produzenten zu begegnen, landwirtschaftliche Produkte aus der Nachbarschaft des Flughafens – und ein solches ist der Honig – könnten durch Luftverunreinigungen beeinträchtigt sein.



Bild 1.3-1: Flughafenhonig
[Flughafen Leipzig/Halle GmbH]

Das Bienenmonitoring hat sich als valide Untersuchung eines im Umfeld produzierten Lebensmittels etabliert (Bild 1.3-1: Flughafenhonig). Es zeichnet sich zudem durch seine große Multiplikatorwirkung aus und bietet Anknüpfungspunkte zu Naturschutz- und Luftreinhaltungsaktivitäten des Flughafens Leipzig/Halle.

Im Jahr 2019 und nochmals 2021 wurde das Bienenmonitoring auf eine breitere Basis gestellt und als Umweltservice für die Region entsprechend erweitert: Um eventuellen Anreicherungen weiter nachzugehen, wurde die Produktionskette von der Vitalität der Bienen über nun auch die Schadstoffgehalte in Bienenwachs bis zum Honig untersucht. In den Jahren 2022 und 2023 wurde dieses Konzept konsequent fortgeführt.

Untersuchungsumfang des Bienenmonitorings 2009–2023:

- Im Jahr 2009 an zwei Standorten und seitdem an bis zu vier Standorten – Flughafen- und Referenzstandorten – sind Bienenvölker angesiedelt.
- Sie sammeln von den Blütenpflanzen im Umkreis Nektar und produzieren daraus Honig.
- Die Imker betreuen die Bienen und füllen den Flughafenhonig ab.
- Honige der Früh- und Sommertrachten werden analysiert:
- auf ausgewählte Metalle und
- auf die organischen Schadstoffgruppe PAK (sowie zeitweise BTEX).
- Seit dem Jahr 2019 wird auch die Vitalität der Bienen betrachtet und hier beurteilt.
- Seit 2021 werden zusätzlich Bienenwachsproben auf Metalle und PAK untersucht.
- Die Ergebnisse der Untersuchungen werden im Rahmen des hier vorgelegten Berichts mit Bienenmonitorings abseits von Flughäfen verglichen, sowie
- mit verfügbaren Beurteilungswerten.

Die detaillierte Beschreibung von Untersuchungskonzept und -methoden sowie Bewertungsgrundlagen findet sich in Kap. 2, die Ergebnisse 2009–2023 in Kap. 3.

2 Untersuchungskonzept und -methoden

Das Bienenmonitoring des Flughafens Leipzig/Halle startete 2009 im Rahmen des „Biomonitoring mit Bienen“ der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV). In diesem Projekt ließen verschiedene Flughäfen Honigproben, zum Teil auch Pollen- und Wachsproben, zentral auf Rückstände von Luftverunreinigungen untersuchen.

Das Bienenmonitoring wird **seit 2009 kontinuierlich** durchgeführt – nur 2015 pausierte es.

Die Bienenvölker-**Standorte** im Flughafen-Umland wechselten. Das Bienenmonitoring umfasste zumeist mindestens zwei Standorte – einen flughafennahen Standort und einen flughafenferneren, der als Referenz dient – bis hin zu vier Standorten pro Jahr (Kap. 2.1).

Das untersuchte **Stoffspektrum** bildet Luftverunreinigungen ab, die durch den Betrieb des Flughafens emittiert werden können (Kap. 2.3).

Ab dem Jahr 2019 wurde das Bienenmonitoring Leipzig/Halle neu konzipiert, um umfassendere Fragestellungen beantworten zu können:

- Da Bienen empfindlich auf Beeinträchtigungen ihrer Umwelt reagieren, wurde zusätzlich die Vitalität der Airport-Bienen betrachtet.
- Die Stoffgruppe der BTEX wurde nicht mehr untersucht, da sie aufgrund ihrer Flüchtigkeit auch beim Biomonitoring nicht untersucht wird (Kap. 2.3).
- Die Stoffpalette von Bienenmonitoring (Honig, Wachs) und Biomonitoring 2020¹ wurde angeglichen. Antimon (Sb) wurde erstmals untersucht, Kupfer in Honig und Wachs zusätzlich analysiert.
- Seit 2021 werden neben Honigen auch Bienenwachsproben untersucht:
im Jahr 2021 Drohnenwabenwachs aus Wildbau (Naturbau) nach der Früh- und Sommertracht (Standort LVS siehe Kap. 2.1; mit Drohnenbrut und Honigeinlagerungen) sowie Honigwabenwachs nach der Sommertracht mit Mittelwand aus eigenem Wachskreislauf (Standort LRW: Bild 1.2-2);
im Jahr 2022 einheitlich Drohnenwabenwachs nach der Früh- und Sommertracht (teilweise mit Drohnenbrut und Honigeinlagerungen); im Berichtsjahr 2023 erneut Wachs aus Wildbau.
- Die Empfindlichkeit der Quecksilberanalytik ist seit 2021 nochmals um den Faktor 2 gesteigert.
- Die Ergebnisse seit 2009 werden im Rahmen dieses Berichts einer fundierten **Einordnung** zugeführt. Dazu wird ein Vergleich mit flughafenfernen Referenzstandorten vorgenommen (Wäber et al. 2016) und über Beurteilungswerte soweit möglich der Bezug zum Schutzgut Mensch hergestellt – und zur Kernfrage: **Kann der Honig der Flughafen-Bienen ohne Bedenken genossen werden?**

Betraut mit der Berichterstattung, gutachterlichen Bewertung und Neukonzeption der Untersuchungen wurde Dr. Monica Wäber – UMW Umweltmonitoring in Sauerlach. Folgende Labore führten die Spurenanalytik durch:

- 2009–2010 Orga Lab GmbH, 2011–2018 als Müller-BBM GmbH, Niederlassung Nürnberg Zirndorf,
- ab 2019 Eurofins Food Testing Süd GmbH Tübingen (Metalle) und Eurofins Ökometric GmbH Bayreuth (PAK) (bisher unter Berghof Analytik + Umweltengineering GmbH und ÖKOMETRIC GmbH – Bayreuther Institut für Umweltforschung firmierend, beide langjährige UMW Partnerlabore.

¹ Biomonitoring von Luftverunreinigungen mit standardisierten Graskulturen im Umland des Flughafens Leipzig/Halle2020–2022“, Quelle im Internet: https://www.mdf-ag.com/media/user_upload/Leipzig_Halle/Bilder/Umwelt/FLH2020_Biomon-Bericht_UMW20201116.pdf, Stand 01.12.2023

2.1 Standorte

Das Untersuchungsgebiet ist der Flughafen Leipzig/Halle mit seinem Umland.

Die Bienenvölker-Standorte, die seit 2009 einbezogen waren, zeigt Tabelle 2.1-1. Eine Übersicht über die Lage der Bienenvölker-Standorte geben nachfolgende Karten (Bild 2.1-1) des Flughafens Leipzig/Halle mit den Standorten und den theoretischen Flugwolken der Bienenvölker mit Radius 3 km.

Tabelle 2.1-1: Übersicht über die Bienenvölker-Standorte (gereiht nach Flughafennähe und Zeitraum)

Standort und Zeitraum	Kürzel	Standortname -> Standort-Lage	Standort-Beschreibung
Kursdorf 2009–2013 und 2016	LKF	L für Leipzig/Halle Airport K für Kursdorf-Schkeuditz F für Flughafen, zwischen den Bahnen	in Kursdorf unmittelbar am Flughafen zwischen der Nord- und Südbahn, von Grünflächen des Flughafens umgeben
Schkeuditz West 2009–2011	LSW	L für Leipzig/Halle Airport S für Siedlung Schkeuditz West W ca. 2 km südwestlich des Flughafens	flughafennah in Siedlung Schkeuditz West, 2009–2010 an Grundschule, 2011 verlegt an Merseburger Straße
Papitz (Schkeuditz) 2010 und seit 2016	LVS	L für Leipzig/Halle Airport V für Kfz-verkehrsnah S für südlich des Airports, flughafennah	flughafennah bei Stadt Schkeuditz Papitz, südlich Zubringerverkehr zum Flughafen und DHL-Gebäuden in knapp 1 km, nahe Ausgleichsflächen des Flughafens (nahe Messpunkt SKO des Biomonitorings mit Pflanzen 2020 und 2022)
Röglitz (Schkopau) seit 2011	LRW	L für Leipzig/Halle Airport R für Ortsteil Röglitz-Schkopau W für westlich des Airports	Siedlungsrand von Röglitz, rund 5 km west-südwestlich der Südbahn, umgeben von Gärten, Hecken, Feldern (benachbart zu Messpunkt RÖG des Biomonitorings mit Pflanzen 2020 und 2022)
Hohenweiden (Schkopau) 2011	LHR	L für Leipzig/Halle Airport D für Ortsteil Hohenweiden-Schkopau R für Referenzstandort	in der Siedlung von Hohenweiden, rund 18 km westlich des Flughafens, umgeben von Gärten, naturnahen Flächen, Feldern
Döllnitz (Schkopau) seit 2016	LDR	L für Leipzig/Halle Airport D für Ortsteil Döllnitz-Schkopau R für Referenzstandort	in der Siedlung von Döllnitz, rund 12 km westlich der Südbahn, umgeben von Gärten, naturnahen Flächen, Feldern

Standorte in den Abbildungen von West nach Ost dargestellt: LHR, LDR, LRW, LSW, LKF, LVS.



Bild 2.1-1: Lagepläne der Standorte der Bienenvölker am Flughafen Leipzig/Halle und im Umfeld
 Bild oben: Flughafen Leipzig/Halle (rechte Bildhälfte Mitte) mit den Standorten der Bienenvölker (gelbe Kreise: frühere Standorte, orangerote Kreise: aktuelle Standorte) und Flugwolken der Bienen (mit theoretisch bis zu 3 km Radius: farbige Kreisflächen) [Karte: FLHG – Flughafen Leipzig/Halle GmbH];
 Bild unten: Flughafen Leipzig/Halle (blassgrün in rechter Bildhälfte) mit den aktuellen Standorten der Bienenvölker bei Döllnitz (LDR), Röglitz (LRW) und Papitz (LVS) [Karte: FLHG – Flughafen Leipzig/Halle]

2.2 Honigproben, Wachsproben und Bienenvitalität

Tabelle 2.2-1: Honigproben seit 2009

Jahr	Bienenvölker (Kürzel und Standort)	Honigproben (Trachten)
2009	LKF – Kursdorf LSW – Schkeuditz West	Frühtracht (FT) Frühtracht
2010	LKF – Kursdorf LVS – Papitz LSW – Schkeuditz West LSW – Schkeuditz West	nicht bekannt („FT“ benannt) nicht bekannt („FT“ benannt) Frühtracht Sommertracht (ST)
2011	LKF – Kursdorf LSW – Schkeuditz West LRW – Röglitz LHR – Referenz Hohenweiden	Frühtracht und Sommertracht Frühtracht Frühtracht Frühtracht und Sommertracht
2012	LKF – Kursdorf	Sommertracht
2013	LKF – Kursdorf LRW – Röglitz	Frühtracht und Sommertracht Frühtracht und Sommertracht
2014	LRW – Röglitz	Frühtracht
2015	-	-
2016	LKF – Kursdorf LRW – Röglitz	Sommertracht Sommertracht
2017	LVS – Papitz LDR – Referenz Döllnitz	Sommertracht Sommertracht
2018	LVS – Papitz LDR – Referenz Döllnitz	Sommertracht Frühtracht, Sommertracht und Spätsommertracht (SST)
2019	LVS – Papitz LRW – Röglitz LDR – Referenz Döllnitz	Frühtracht Frühtracht Frühtracht
2020	LVS – Papitz LRW – Röglitz LDR – Referenz Döllnitz	Sommertracht Frühtracht Frühtracht und Sommertracht
2021	LVS – Papitz LRW – Röglitz LDR – Referenz Döllnitz	Sommertracht Sommertracht Sommertracht
2022	LVS – Papitz LRW – Röglitz LDR – Referenz Döllnitz	Sommertracht Frühtracht und Sommertracht Frühtracht und Sommertracht
2023	LVS – Papitz LRW – Röglitz LDR – Referenz Döllnitz	Frühtracht und Sommertracht Frühtracht Früh-, Sommer- und Spättracht

Tabelle 2.2-2: Wachsproben seit 2021

Jahr	Bienenvölker (Kürzel und Standort)	Wachsproben (Trachten)
2021	LVS – Papitz LRW – Röglitz	Drohnenwabenwachs (Wildbau) Früh- und Sommertracht Honigwabenwachs mit Mittelwand nach Sommertracht
2022	LVS – Papitz LRW – Röglitz LDR – Referenz Döllnitz	Früh- u. Sommertracht (Wildbau) Früh- u. Sommertracht (Wildbau) Früh- u. Sommertracht (Wildbau)
2023	LVS – Papitz LRW – Röglitz LDR – Referenz Döllnitz	Früh- bis Sommertracht (FST): Gesamttracht (Wildbau) Frühtracht (Wildbau) Früh-, Sommer- und Spättracht (Wildbau)

Honigproben wurden nach dem Abschleudern und Grobfiltern aus Honigwaben gewonnen (Bild 2.2-1). Ob ein sanftes Erhitzen (in der Regel nicht über 40°C) und Cremig-Rühren von Honigen vor dem Abfüllen stattgefunden hat, ist nicht bekannt. Honig als Bienenprodukt wurde auf Luftverunreinigungen analysiert. Es wurden Frühtracht- (FT) und Sommertrachtproben (ST) sowie vereinzelt Spätsommertrachtproben (SST) untersucht, die nach den jeweiligen Trachtperioden abgeschleudert wurden. Im Jahr 2022 konnte am Standort LVS nur Sommertrachthonig gewonnen werden und im Jahr 2023 am Standort LRW nur Frühtrachthonig (Tabelle 2.2-1).



Bild 2.2-1: Früh-, Sommer- und Spättrachthonige vom Standort LDR 2023
(von links nach rechts) unterscheiden sich in Aussehen und Geschmack, je nach Blütenangebot.

Wachsproben 2021 (Tabelle 2.2-2) wiesen einige Besonderheiten auf: Die Frühtracht- und Sommertracht-Wachsproben (Wildbau) vom Standort LVS enthielten Drohnenbrut und Honigreste. Beides wurde vor Analyse weitestmöglich entfernt. Zudem gelangten diese beiden Proben nicht unverzüglich in die Labore, sondern hatten einen längeren Zwischenaufenthalt beim Versandunternehmen hinter sich. Dies muss bei der Bewertung der Analyseergebnisse Berücksichtigung finden, wenn auffällige Werte auftreten. Bei der Sommertracht-Wachsprobe 2021 vom Standort LRW (Bild 1.2-2) handelte es sich um eine honigfreie Honigwabe im Holzrahmen, die die Bienen auf eine Mittelwand aus eigenem Wachsreislauf des Imkers aufbauten. Die Wachsproben 2022 stammten einheitlich aus Wildbau: Die Wachsproben der

Früh- und Sommertracht vom Standort LDR waren honigfrei und hell (vor Drogenbrut). Die Wachsproben vom Standort LVS waren ebenfalls hell, die der Sommertracht enthielt Honigreste. Die Wachsproben der Früh- und Sommertracht vom Standort LRW waren voll Honig und dunkel (nach Drogenschlupf; Bild 2.2-2).



Bild 2.2-2: Wildwachsproben-Beispiele 2022, hell vor Drogenbrut, dunkel nach Drogenschlupf von links nach rechts: LDR-Frühtracht (honigfrei), LVS- und LRW-Sommertracht (mit Honigresten)

Die Wachsproben 2023 stammten ebenfalls aus Wildbau: Die Drogenwabe vom Standort LVS war allerdings während der gesamten Früh- und Sommertracht im Bienenstock verblieben und entsprechend länger exponiert als die Wildwachsproben der anderen beiden Standorte. Die Frühtracht-Wildbauwabe LRW war dunkel und mit Honig und Brut gefüllt. Die Frühtracht-Wildbauwabe vom Standort LDR war honigfrei und hell, die Sommertrachtwabe war teilweise etwas dunkler und enthielt etwas Honig und eine der beiden honigfreien Spättrachtwaben von dort war hell, die andere goldgelb (sie wurden zur Mischprobe vereint).

Die **Vitalität** der Bienenvölker dokumentierten die Imker ab 2019 anhand eines Erhebungsbogens.

2.3 Stoffe

Folgende Stoffe wurden im Honig analysiert:

Metalle

- Antimon (Sb, 2019 erstmals untersucht), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr.), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg), Zink (Zn)

PAK – 16 polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe („Priority Pollutants“ nach US Umweltbehörde EPA)

- einschließlich Betrachtung der Summe PAK4, der vier Leit-PAK Benzo[a]pyren (BaP), Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen, die als kanzerogen (krebserzeugend) eingestuft werden und der Risikobewertung dienen (Verordnung VO (EU) 2023/915)

BTEX – aromatische Kohlenwasserstoffe

- 11 dieser flüchtigen organischen Substanzen wurden bis 2018 untersucht und
- ab 2019 nicht mehr analysiert, da auch beim Biomonitoring mit Pflanzen (Richtlinienreihe VDI 3957) flüchtige Stoffe wie BTEX aufgrund der mangelnden Anreicherungsfähigkeit (Persistenz) in der Umwelt nicht zur Untersuchung empfohlen werden.

2.3.1 Metalle

Die Metalle gelangen aus vielen Quellen in die Umwelt, z. B. aus Quellen im Verkehr, Staubverwehungen von versiegelten Flächen, landwirtschaftlichen Aktivitäten, industriellen Prozessen. Für folgende Metalle können Verkehr und Flughafenbetrieb Quellen sein:

- Bremsabrieb als Quelle von Chrom (Cr), Blei (Pb), Antimon (Sb) und Zink (Zn) und
- Abgase als Quelle von Cr, Nickel (Ni), Pb (BayLfU 2019).

Für Arsen (As), Cadmium (Cd) und Quecksilber (Hg) stellen Verkehr und Flughafenbetrieb keine direkten Quellen dar. Sie wurden untersucht, weil sie ökotoxisch (umweltgiftig) wirken können.

Antimon (Sb) wird wie Arsen als krebserregend eingestuft (Savory und Wills, 1984). Der Kfz-Verkehr, insbesondere Stopp-And-Go-Verkehr (Abrieb aus Bremsbelägen und Reifenabrieb), ist als Quelle seit langem bekannt (Peichl et al. 1994, Wäber et al. 1998, Krapp und Peichl 2015, BayLfU 2019). Höchstgehalte für Antimon in Lebensmitteln sind nicht festgelegt.

Arsen (As) ist Bestandteil von Flugasche aus der Kohleverbrennung, ebenso wie Blei, Cadmium, Nickel und Quecksilber (Siewers und Herpin 1998, Rentz und Martel 1998). Arsen kann auch aus industriellen Produktionsprozessen, Müllverbrennung und Düngieranwendungen stammen (BayLfU 2019). Arsen besitzt wie Antimon ökotoxikologische Bedeutung. Typische Gehalte von Arsen in Blütenhonig liegen laut Europäischer Behörde für Lebensmittelsicherheit EFSA (2014) im Mittel bei 0,03 mg/kg OS (Originalsubstanz).

Blei (Pb) gelangt aus Kohleverbrennung und vornehmlich bei der Bodenbearbeitung aus früheren Einträgen wieder in die Umwelt. Zudem kann es aus Mineräldüngern oder Klärschlamm stammen (Rentz und Martel 1998, UBA 2014) und laut Recherche des Bayerischen Landesamts für Umwelt (BayLfU 2019) auch aus Bremsabrieb und Motorverschleiß. An manchen Flughäfen wird bleihaltiger Kraftstoff getankt (in Kleinflugzeuge; mündliche Mitteilung SWAH Krüger) – nicht am Flughafen Leipzig/Halle (mündliche Mitteilung, Stabsstelle Umwelt FLHG). Aufgrund der ökotoxischen Bedeutung und Anreicherung über

die Nahrungskette (Umweltatlas Hessen 2005) legt Verordnung (EU) 2023/915 Höchstgehalte in Lebensmitteln und spezifisch in Honig fest (Kap. 2.5; sie löst VO (EG) 1881/2006 und ihre Fortschreibungen ab).

Cadmium (Cd) stammt vornehmlich aus der Steinkohleverbrennung (Rentz und Martel, 1998), Zinkverhüttung, Phosphatdüngung und Müllverbrennung – und früher aus dem Kfz-Verkehr (z. B. Merian 1984). Aufgrund der ökotologischen Bedeutung – Cadmium ist als krebserregend eingestuft – hat die EU mit VO (EU) 2023/915 Höchstgehalte in Lebensmitteln festgelegt, allerdings nicht für Honig.

Chrom (Cr) gelangt, neben industriellen Prozessen, überwiegend aus dem Verkehr in die Umwelt (UBA 2023): vor allem aus Straßenverkehr – wie Antimon aus Bremsbelägen (Peichl et al. 1994). Chrom ist einerseits als Spurenelement lebensnotwendig. Für die toxischen Eigenschaften „sind die sechswertigen Chromverbindungen verantwortlich. Sie wirken ätzend auf Haut und Schleimhaut, können unter anderem Leber- und Nierenschäden verursachen und haben karzinogene (krebserregende) Wirkung“ (Umweltatlas Hessen 2005). Analysiert wird Chrom-gesamt.

Kupfer (Cu) stammt, neben industriellen Prozessen, vornehmlich aus dem Kfz-Verkehr: aus Bremsbelag- und Reifenabrieb (BayLfU 2019). Einerseits ist Kupfer als Spurenelement lebensnotwendig, andererseits hat es ökotoxische Eigenschaften.

Nickel (Ni) kann aus Steinkohleverbrennung (Rentz und Martel, 1998) sowie z. B. aus Bergbau, industriellen Prozessen und Kfz-Verkehr stammen – laut Umweltbundesamt etwa zur Hälfte aus Energiegewinnung und zu rund einem Drittel vom Straßenverkehr (UBA 2023), aus Katalysatoren und Motorverschleiß (BayLfU 2019). Im menschlichen Organismus kommt Nickel als Spurenelement vor, kann allerdings in höheren Konzentrationen allergische Hautreaktionen und die Reizung der Atemwege bewirken und wird mit manchen seiner Verbindungen als karzinogen eingestuft. Typische Gehalte von Nickel liegen im Mittel in Honig um 0,14–0,16 mg/kg (EFSA 2014).

Quecksilber (Hg) stammt in partikel- und gasförmiger Form hauptsächlich aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Öl und Gas zur Energie- und Wärme Gewinnung (UBA 2023). Aufgrund der Toxizität legt VO (EU) 2018/73 einen Höchstgehalt für Quecksilberverbindungen in Bienenprodukten fest (Kap. 2.5).

Zink (Zn) gilt als Indikator für den allgemeinen Staubeintrag. Anthropogene Quellen können Korrosionsschutz, Reifen, Bremsen und Motoröl, Straßenbelag und Düngemittel in der Landwirtschaft sein (Hüffmeyer 2007, BayLfU 2019). Laut Umweltbundesamt sind Zinkemissionen ganz überwiegend verkehrsbedingt (UBA 2023). Für den Menschen ist Zink einerseits ein wichtiges Spurenelement, in hohen Konzentrationen kann es andererseits negativ auf Gewässer und Ökosysteme wirken (Hüffmeyer 2007).

2.3.2 PAK

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen bei unvollständiger Verbrennung organischer Materialien wie Holz, Kohle oder Ölprodukte. Sie stammen zu mehr als 80 % aus häuslichen Kleinf Feuerungsanlagen (Hausbrand), zudem aus Feuerungsanlagen im Gewerbe, aus Industrieprozessen sowie zu 2 % aus dem Verkehr (UBA 2016). Verkehrsabgase und der Flughafenbetrieb (Rückstände aus dem Kerosin) stellen kontinuierliche PAK-Quellen dar, während die Hauptquelle – Hausbrand – saisonal relevant hervortritt.

Die etwa 10.000 PAK-Verbindungen bestehen aus zwei bis sieben Ringen von Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen – je mehr Ringe vorhanden sind, desto stabiler sind sie und desto besser reichern sie sich im Fettgewebe von Organismen an (UBA 2016).

16 PAK werden aufgrund ihrer Häufigkeit und Umwelrelevanz in der Regel stellvertretend untersucht, die von der US Umweltbehörde EPA (Environmental Protection Agency) als „prioritäre Schadstoffe“² klassifiziert wurden (VDI 3957/2).

Als stark krebserregend gelten z. B. Benzo[a]pyren, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren und Indeno[123-cd]pyren (Streit 1991, Meek et al. 1994).

PAK4, die Summe der vier Verbindungen Benzo[a]pyren, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen, bewertet Kontaminanten (unerwünschte Stoffe) in Lebensmitteln (VO (EU) 2023/915).

Benzo[a]pyren (BaP) als eine der PAK4-Verbindungen gilt als Leitsubstanz der PAK, weil sie besonders stark krebserregend ist.

2.3.3 BTEX

Aus der Gruppe der aromatischen Kohlenwasserstoffe wurden 11 Einzelsubstanzen untersucht: Benzol, Toluol, Ethylbenzol, o-Xylol, m-/p-Xylol, Cumol (Isopropylbenzol), Styrol, 3-/4-Ethyltoluole, Mesitylen (1,3,5-Trimethylbenzol), n-Propylbenzol, Pseudocumol (1,2,4,-Trimethylbenzol) – BTEX.

Das 2009 untersuchende Labor Orga Lab GmbH stellte diese flüchtige Stoffgruppe im Analysenbericht wie folgt dar: *„Die Gruppe der aromatischen Kohlenwasserstoffe findet häufig in der chemischen Industrie Anwendung. Der Prototyp der Aromaten, das Benzol, wird häufig als Beimischung von Motorkraftstoffen (kloppfreie Verbrennung) und als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Benzol-Derivaten (z.B. Anilin, Nitrobenzol, Styrol, Nylon, Synthesekautschuk, Kunststoffe, Insektizide, Farbstoffe etc.) eingesetzt.“*

Beurteilungswerte für BTEX in Lebensmitteln liegen nicht vor.

2.4 Analysenverfahren und Bestimmungsgrenzen

Für die **Metall-Bestimmungen** 2009–2018 gab die Müller-BBM GmbH (2009 als Orga Lab GmbH) als Methoden an: *„DIN EN ISO 17294 (ICP-MS) bzw. DIN EN 1483 für Quecksilber nach Mikrowellenaufschluss (Salpetersäure/Wasserstoffperoxid)“.*

Ab 2019 wurden die homogenisierten Honigproben von der Eurofins Food Testing Süd GmbH Tübingen (bisher unter Berghof Analytik + Umweltengineering GmbH firmierend) unter Hochdruck mit konzentrierter Salpetersäure zur vollständigen Mineralisierung aufgeschlossen. Bestimmungen aus der Aufschluslösung nach DIN EN 15763 mit Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) erfolgten gegen externe Kalibrierung mit Matrix angepassten Standards.

Die analytischen Bestimmungsgrenzen (BG) in mg/kg OS (Originalsubstanz als Bezugsgröße für die Konzentration) sind in Tabelle 2.4-1 gelistet.

Die **PAK-Bestimmungen** erfolgten 2009–2010 nach Angabe von Orga Lab GmbH mittels *„Hochdruckflüssigkeitschromatographie mit Fluoreszenzdetektor (HPLC)“.* In den Jahren 2011–2018 wurde mittels Gaschromatographie mit Massenspektrometer (GC-MS) nach DIN 38407-39 analysiert (Methode F-39, Müller-BBM GmbH).

² Aufgrund seiner Flüchtigkeit ist Naphthalin (NAP) als eine der 16 PAK-Verbindungen nur mit eingeschränkter Zuverlässigkeit bestimmbar. In den insgesamt sehr niedrigen Bereichen von PAK-Gehalten in Honig ist ein gewisser NAP-Hintergrundwert kaum vermeidbar und sollte bei der Betrachtung der Summenwerte 16 PAK berücksichtigt werden.

Ab 2019 wurden die Honigproben von der Eurofins Ökometric GmbH Bayreuth (bisher unter ÖKOMETRIC GmbH – Bayreuther Institut für Umweltforschung firmierend) nach Extraktion der homogenisierten Proben am Soxhlet untersucht. Die Proben wurden mittels Kieselgelsäule und Gelpermeationschromatographie (GPC) aufgereinigt. Die PAK-Bestimmung wurde in Anlehnung an DIN ISO 12884 (2000) mittels hochauflösender Gaschromatographie (HRGC), massenselektiver Detektion (MSD, niederauflösende Massenspektrometrie) sowie unter Verwendung der Isotopenverdünnungsmethode durchgeführt. Zur Extraktion wurden deuterierte (mit Deuterium-Isotopen markierte) Standards eingesetzt. Die Kontrolle der Wiederfindungen erfolgte gegen d10-Pyren als Surrogat-Standard.

Die analytische Bestimmungsgrenze betrug seit 2011 für jede PAK-Verbindung 0,10 µg/kg OS. Ein Mikrogramm pro Kilogramm entspricht einem Tausendstel Milligramm pro Kilogramm (1 µg/kg = 0,001 mg/kg). Bis 2010 lag die BG mit 0,10 mg/kg OS (bzw. 500 µg/kg OS für Acenaphthylen) zu unempfindlich.

Tabelle 2.4-1: Analytische Bestimmungsgrenzen (BG) der untersuchten Stoffe

Metall-Bestimmung	BG [mg/kg OS] (Originalsubstanz) 2009–2018		BG [mg/kg OS] ab 2019
Antimon (Sb)	-		0,013
Arsen (As)	0,100		0,013
Blei (Pb)	0,100		0,025
Cadmium (Cd)	0,0100		0,0025
Chrom-gesamt (Cr)	0,100		0,025
Kupfer (Cu)	0,100		0,025
Nickel (Ni)	0,100		0,025
Quecksilber (Hg)	0,050		0,013, ab 2021: 0,0050
Zink (Zn)	0,10		0,10
PAK-Bestimmung	BG [µg/kg OS] 2009–2010	BG [µg/kg OS] 2011–2018	BG [µg/kg OS] ab 2019
je PAK-Verbindung	100-500	0,10	0,10
BTEX-Bestimmung	BG [µg/kg OS] 2009–2018		
je Einzelverbindung	10		-

Die **BTEX-Bestimmung** erfolgte nach Angabe von Orga Lab GmbH mittels Gaschromatographie in Kopplung mit einem Quadrupol-Massenspektrometer (GC-MS) nach „Methode: DIN 38407-F 9“ (zurückgezogen) mit Bestimmungsgrenze 10 µg/kg OS je Einzelkomponente (Müller-BBM GmbH, 2011–2018).

Werte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze:

Damit Messwerte unterhalb BG in die Darstellungen und Summenberechnungen einbezogen werden können, wird für sie in der Regel die Hälfte der Bestimmungsgrenze als Zahlenwert eingesetzt (z. B. Richtlinienreihe 3957 für Biomonitoring). In den Darstellungen sind die BG benannt und Werte kleiner BG in den Ergebnistabellen mit *kursiver Schrift* gekennzeichnet.

2.5 Maßstäbe zur Ergebnisbeurteilung

Referenzstandorte:

Die Bewertung, ob Einflüsse des Flughafenbetriebs erkennbar werden, erfolgt primär anhand Referenzstandorten (Wäber et al. 2016) – abseits des Flughafens. Hierzu werden die Ergebnisse am Flughafenstandort LKF Kursdorf und den flughafennahen Standorten LVS Papitz, LSW Schkeuditz West und LRW Röglitz mit den projektinternen Referenzstandorten LHR Hohenweiden und LDR Döllnitz abseits des Flughafens in Bezug gesetzt.

Vergleichswerte:

Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink, sowie die 16 PAK mit PAK4 und BaP werden auch in anderen Bienenmonitorings routinemäßig untersucht, so dass aktuelle Vergleichswerte zur vergleichenden Bewertung herangezogen werden können.

Aktuelle Ergebnisse von Referenzstandorten langjähriger Bienenmonitorings an Flughäfen können vergleichend herangezogen werden. Das ist möglich, da die Honige verfahrensgleich und von denselben Laboren wie die des Bienenmonitorings am Flughafen Leipzig/Halle seit 2019 analysiert wurden:

- Der Referenzstandort BRS des *Bienenmonitorings im Umfeld der Flughäfen Schönefeld/BER und Berlin Tegel seit 2011* ist im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin im Norden Brandenburgs gelegen (Wäber und Pompe 2022, 2022a). Von BRS werden Vergleichswerte aus dem aktuellen 10-Jahres-Zeitraum 2014–2023 herangezogen³ (Wäber und Pompe 2023 in Publikation).
- Das Referenzgebiet AIC des *Honigmonitorings am Flughafen München* seit 2008, mit drei Referenzstandorten naturnah, landwirtschaftlich und siedlungsnah bei Aichach, befindet sich rund 50 km westlich des Münchner Airports (Wäber und Hergt 2011, Wäber und Pompe 2020 bis 2023). Von AIC werden Vergleichswerte aus dem aktuell publizierten 5-Jahres-Zeitraum 2018–2022 herangezogen (Wäber und Pompe 2023).
- Der Referenzstandort Großdobritz DGR des *Bienenmonitorings am Flughafen Dresden 2004–2021* und 2022 ist als ländlich geprägter Siedlungsstandort rund 16 km nordwestlich des Flughafens gelegen. Er wurde seit 2018 untersucht (Bericht *Bienenmonitoring am Flughafen Dresden 2004–2021* und *Kurzbericht 2022*: Wäber und Pompe 2022c und 2023a). DGR wird, soweit möglich, ebenfalls für Vergleich herangezogen.

BTEX werden aufgrund ihrer Flüchtigkeit in anderen aktuellen Monitorings nicht untersucht (Wäber et al. 2016). Literaturwerte zur vergleichenden Einordnung liegen nicht vor. In früheren Honiguntersuchungen im Zusammenschluss deutscher Verkehrsflughäfen wurden sie mit BG 10 µg/kg nicht gefunden.

Höchstgehalte:

Zusätzlich dient der Vergleich mit Beurteilungswerten der Risikoabschätzung. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit begrenzen Lebensmittel-Höchstgehalte gemäß EU-Verordnungen den Gehalt unerwünschter Stoffe in Lebensmitteln auf toxikologisch vertretbare Werte. Honig gilt als naturreines Lebensmittel. Folgende Höchstgehalte können als Beurteilungswerte direkt darauf angewendet werden:

- Für **Blei in Honig** gilt seit 2016 ein Höchstgehalt von 0,10 mg/kg (VO (EU) 2015/1005 und 2021/1317, abgelöst durch VO (EU) 2023/915).

³ Honige von BRS wurden 2012–2014 vom Labor Müller-BBM analysiert und ab 2015 von den Laboren, die seit 2019 für den Flughafen Leipzig/Halle analysierten.

- Für **Quecksilber**verbindungen in **Honig** und in sonstigen Imkereierzeugnissen gilt seit 2018 ein Höchstgehalt von 0,010 mg/kg (VO (EU) 2018/73; Tabelle 2.5-1).

Zur Orientierung hilfsweise heranzuziehende Beurteilungswerte:

Für weitere toxikologisch relevante Stoffe als die im vorangegangenen Abschnitt genannten liegen derzeit keine Höchstgehalte für Honig vor. Hier können Wertespanssen der Höchstgehalte, die die EU für diese Stoffe in andersartigen Lebensmitteln vorgibt, hilfsweise orientierend betrachtet werden (Tabelle 2.5-1):

Tabelle 2.5-1: Höchstgehalte und orientierende Beurteilungswerte

Stoff	Höchstgehalt für Honig und Imkereierzeugnisse in mg/kg OS (VO (EU) 2023/915 und 2018/73)	
Blei	0,10 (seit 2016)	-
Quecksilber	0,010 (seit 2018)	-
Stoff	Spannen aktueller Höchstgehalte in mg/kg OS (VO (EU) 2023/915)	Aktionswerte (ÖBMG 2015)
Arsen	0,010 – strengster Wert für Reis zur Herstellung von Säuglingsnahrung bis 0,30 – für Reiskekse, -waffeln, -kräcker,-kuchen	-
Cadmium	0,005 – strengster Wert für Säuglingsnahrung auf Kuhmilchbasis bis zu 1,00 – für Nahrungsergänzungsmittel 3,00 – für Nahrungsergänzungsmittel aus Seetang	0,050 für Honig (kein deutsches Recht)
Verbindung/ Stoffgruppe	Spannen aktueller Höchstgehalte in µg/kg OS (VO (EU) 2023/915)	
Benzo[a]pyren	1 – strengster Wert z. B. für Säuglingsnahrung bis zu 6 – für Muscheln (geräuchert) und 10 – für Nahrungsergänzungsmittel u. a. Propolis und Gelee Royale als Bienenprodukte	-
Summe PAK4	1 – strengster Wert z. B. für Säuglingsnahrung bis zu 35 – für Muscheln (geräuchert) und 50 – für Nahrungsergänzungsmittel	-
Stoff	Empfehlungswerte für andere Lebensmittel in mg/kg OS	
Chrom	0,03–0,1 mg geschätzte angemessene Zufuhr pro Tag (DGE 2020) entspr. 3–10 mg/kg umgerechnet bei Verzehr von 10 g Honig/Tag	
Kupfer	1–1,5 mg geschätzte angemessene Zufuhr pro Tag (DGE 2020) entspricht 100–150 mg/kg umgerechnet bei Verzehr von 10 g Honig/Tag	
Zink	7–10 mg/Tag Empfehlung für die tägliche Zufuhr (BgVV 2002 / BfR 2004) ergibt 700–1.000 mg/kg umgerechnet bei Verzehr von 10 g Honig/Tag	
<small>OS: Originalsubstanz; Kleinschrift: nur hilfsweise orientierend, da für andersartige Lebensmittel gültig; µg: Mikrogramm, ein Mikrogramm pro Kilogramm entspricht einem Tausendstel Milligramm pro Kilogramm; Empfehlungswerte: hier ist zu berücksichtigen, dass die Stoffe auch über andere Lebensmittel zugeführt werden; Höchstgehalte für Säuglingsnahrung sind nicht heranzuziehen, da Säuglinge keinen Honig verzehren sollten</small>		

Für **Arsen** sind seit 2016 Lebensmittel-Höchstgehalte festgelegt, nicht für Honig, sondern für Reis-Lebensmittel (VO (EU) 2015/1006, abgelöst von VO (EU) 2023/915).

Für **Cadmium** sind mit VO 2023/915 Höchstgehalte in Lebensmitteln und Nahrungsergänzungsmittel festgeschrieben. Für Honig ist in Österreich ein **Aktionswert** zur höchst vorsorglichen Risikominderung für Cadmium von 0,050 mg/kg erlassen (ÖBMG 2015).

Für **Chrom** empfiehlt die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE 2020) 0,03–0,1 mg als Schätzwerte für eine angemessene gesamte tägliche Zufuhr über die Nahrung für Jugendliche und Erwachsene. Das

entspräche umgerechnet einem Gehalt von 3–10 mg/kg OS bei einem angenommenen Verzehr von 10 g Honig pro Tag. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Chrom auch über andere Lebensmittel zugeführt wird.

Für **Kupfer** empfehlen die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE 2020) und EFSA (2015a) rund 1,5 mg für die gesamte tägliche Zufuhr über die Nahrung.

Für **Zink** empfiehlt das BfR eine Zufuhr von 7–10 mg pro Tag gemäß Deutscher, Österreichischer und Schweizer Gesellschaften für Ernährung (BgVV 2002 / BfR 2004).

Für **BaP** und **PAK4** sind Höchstgehalte für bestimmte, im Wesentlichen fetthaltige Lebensmittel bis hin zu speziellen Nahrungsergänzungsmitteln, unter anderem für Bienenprodukte, die „Propolis, Gelée Royale [...] enthalten“, festgelegt (VO (EU) 2023/915): 0,010 mg/kg bzw. 0,050 mg/kg. Sie können hilfsweise für Honig herangezogen werden.

Die vorangegangene Tabelle 2.5-1 gibt den Überblick über aktuell gültige Höchstgehalte, Aktionswerte und orientierende Beurteilungswerte. Folgendes darf dabei nicht außer Acht gelassen werden:

- Andere Lebensmittel als Honig besitzen andersartige Eigenschaften und
- unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Verzehrsmengen.
- Lebensmittelprüfungen im Sinne des Lebensmittelrechts bedienen sich teilweise anderer Analyseverfahren als das Bienenmonitoring als Umweltuntersuchung.
- Besonders strenge Höchstgehalte für Säuglingsnahrung sind nicht heranzuziehen, da Säuglinge keinen Honig verzehren sollten.

In den Ergebniskapiteln werden für den jeweils untersuchten Stoff gelistet:

- Vergleichswerte von den Referenzstandorten der anderen aktuellen Bienenmonitorings,
- Beurteilungswerte.

2.6 Messunsicherheit

Im Ergebnisteil (Kap. 3) sind die Messergebnisse als Zahlenwerte (bzw. Balkenhöhen in den Abbildungen) dargestellt. Jedes Messverfahren ist aber mit einer Messunsicherheit behaftet. Der Wert der betrachteten Messgröße kann nicht beliebig exakt bestimmt werden. Das Ergebnis einer Messung ist vielmehr stets eine Lageschätzung für den wahren Wert. Die Messunsicherheit – Standardunsicherheit u – gibt an, in welchem Wertebereich der Messwert um diesen wahren Wert streut (VDI 4280/1 2014 zu DIN V ENV 13005). Ein Messergebnis darf aufgrund dessen nicht als exakter Zahlenwert interpretiert werden. Vielmehr definiert die aus der verfahrensspezifischen Standardunsicherheit u resultierende Spannweite für den Messwert einen Wertebereich {Messwert $\pm u$ } in dem der wahre Messwert liegt (BayLfU 2017). Die Messunsicherheit ist spezifisch für den jeweiligen untersuchten Stoff, schon aufgrund seiner typischen Eintragsformen in die Umwelt.

Weder das Deutsche Institut für Normung (DIN) noch der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) haben bisher Normen oder Richtlinien veröffentlicht, denen Angaben zu Genauigkeit und Messunsicherheit speziell beim Bienenmonitoring zu entnehmen wären (DIN EN ISO 20988). Standards und Erfahrungswerte für ähnliche Untersuchungen können hilfsweise herangezogen werden, um abzuschätzen, in welchen Bereichen die Messunsicherheiten für die untersuchten Stoffe beim Bienenmonitoring angesetzt werden können.

Für die Abschätzung der Messunsicherheiten werden die Standardunsicherheiten u nach DIN EN ISO 20988 aus dem Biomonitoring mit Pflanzen (standardisierte Graskultur gemäß Richtlinie VDI 3957 Blatt 2 für Metalle, standardisierte Exposition von Grünkohl gemäß VDI 3957 Blatt 3 für PAK) als Anhaltspunkte beim Bienenmonitoring herangezogen (ganze Zahlen gerundet auf 5):

- für Kupfer und Quecksilber rund $\pm 10 \%$,
- für Arsen, Blei, Nickel und Zink rund $\pm 15 \%$,
- für Cadmium und Chrom, Benzo[a]pyren und 16 PAK rund $\pm 20 \%$,
- für Antimon und PAK4 $\pm 35 \%$.

Für PAK kann aufgrund der weitgehenden Übereinstimmung bei der Analytik auch die DIN ISO 12884: 2000-12 vergleichend zu Rate gezogen werden. Diese Norm gibt die Genauigkeit und Messunsicherheit bei der Bestimmung der Summe gasförmiger und partikelgebundener PAK in der Außenluft unter normalen Bedingungen mit $\pm 35 \%$ bis $\pm 50 \%$ an. Einen im Vergleich zur Norm ähnlichen Erfahrungswert gibt das Partnerlabor von UMW auf Basis langjähriger Erfahrung bei PAK-Analytik von Bienenmonitoring-Proben für die Messunsicherheit an: etwa $\pm 30 \%$ für die PAK-Summen und Leitparameter. Letzterer wird hier angesetzt.

Beispiel: Bei einer Messunsicherheit von $\pm 30 \%$ beträgt für einen Messwert von 10 mg/kg OS die Spannweite des Messwertes 7 bis 13 mg/kg OS.

Die Messunsicherheit muss beachtet werden, wenn Ergebnisse beurteilt werden.

3 Ergebnisse

Bienenmonitoring beantwortet nicht direkt, ob die Luft rein ist.

Es beantwortet, ob der Honig, den die Bienen im Umland produzieren, unbelastet von Luftverunreinigungen ist, die auch beim Betrieb eines Flughafens freigesetzt werden können.

Die Vitalität der Bienenvölker am Flughafen Leipzig/Halle wurde ab 2019 untersucht (Kap. 3.1). Das Lebensmittel Honig wurde seit 2009 auf Rückstände von Luftverunreinigungen analysiert (Kap. 3.2 ff.). Kombiniert mit den Wachsuntersuchungen seit 2021 (Kap. 3.11 und 3.13) bietet das Bienenmonitoring ein noch umfassenderes Bild über Einträge und Auswirkungen der Luftverunreinigungen auf Bienen und Bienenprodukte. Die Ergebnisse werden mit flughafenfernen Referenzstandorten verglichen, mit weiteren Vergleichswerten sowie mit Beurteilungswerten für Lebensmittel.

3.1 Vitalitätserhebung

Bienen reagieren empfindlich auf Beeinträchtigungen ihrer Umwelt. Daher wurden ab 2019 Parameter bei den Imkern der flughafennahen Bienenvölker Papitz (LVS) und Röglitz (LRW) abgefragt, die Aufschluss über die Vitalität der Bienenvölker während der Frühtrachtperiode (FT) 2019, der Früh- und Sommertrachtperioden 2020, 2022 und 2023 sowie der Sommertrachtperiode 2021 gaben (Tabelle 3.1-1).

- die Stärke und Entwicklung der Bienenvölker,
- die Entwicklung der Brut,
- die Honigmenge.
- Das Blütenspektrum, aus dem der Airporthonig stammt, wurde von den Imkern ebenfalls genannt.

Bei der Vitalitätserhebung handelt es sich um eine sondierende Erhebung, da die Vitalität von vielfältigen Faktoren, z. B. Witterung, Kontakt mit Pestiziden, Befall mit Varroa-Milben etc., abhängt.

Die Airportbienen vom Flughafen und Kfz-verkehrsnahen Standort LVS verzeichneten 2023 mit 66 % deutliche Verluste über den Winter 2022/2023 (Tabelle 3.1-1), im Winter 2021/2022 mit 25% mäßige Verluste. Die LVS-Airportbienen hatten im Winter 2022/2021 mit 2 von 6 Völkern ebenfalls mäßige Verluste zu beklagen, während im Winter 2019/2020, mit 6 von 8 Völkern sehr hohe Verluste zu beklagen waren. Die beiden Bienenvölker vom Standort LRW, südwestlich des Flughafens bei Röglitz, kamen ohne Verluste durch die Winter 2022/2023 und 2021/2022. Die LRW-Bienenvölker erlitten aber in den Wintern davor Verluste von 1 von 2 Völkern.

Starke Verluste traten auch in anderen, auch flughafenfernen Referenzgebieten im Winter 2019/2020 auf, während im Winter 2020/2021 am Referenzstandort des Flughafens Dresden DGR alle 4 Völker überlebten, ebenso wie alle Völker im Referenzgebiet Aichach des Honigmonitorings am Münchner Flughafen, oder 85 % der Völker am Referenzstandort der Berliner Flughäfen BRS im Winter 2021/2022.

Die Honig Erntemenge am Standort LVS war 2023 mit ca. 15 kg pro Wirtschaftsvolk noch etwas besser als 2022 mit 7-12 kg pro Volk. Auch im witterungsbedingt schwierigen Jahr 2021 hatten die Bienen dort gute 10-15 kg pro Volk produziert. Im Jahr 2020 war die Erntemenge, wie schon 2019, mit 20-40 kg pro Volk sehr gut gewesen. Mit 12,5 kg pro Volk 2023, rund 11 kg pro Volk 2022 und 16 kg pro Volk 2021 flogen die Bienen am zweiten Flughafenstandort LRW einen vergleichbaren Honigertrag ein wie an LVS. Rund 10 kg pro Volk waren es an LRW 2020 gewesen, somit weniger Honigertrag als an LVS. Die Honigmenge an LRW war 2023 vergleichbar mit der am Referenzstandort BRS im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin aus dem Bienenmonitoring der Berliner Flughäfen der Frühtrachtperioden 2019 und 2022. Dort lag sie aber 2023 höher, bei 23 kg Frühtracht- und 30 kg Sommertrachthonig pro Volk.

Tabelle 3.1-1: Ergebnisse der Vitalitätserhebungen an Bienenvölkern am Flughafen Leipzig/Halle

Vitalitätserhebung	Standort LVS (Papitz)	Standort LRW (Röglitz)
Überlebensrate nach Überwinterung 2023	6 Völker 4 Völker Verlust im Winter 2022/23	2 Völker 0 Volk Verlust im Winter 2022/23
Überlebensrate nach Überwinterung 2022	6 Völker 2 Völker Verlust im Winter 2021/22	2 Völker 0 Volk Verlust im Winter 2021/22
Überlebensrate nach der Überwinterung 2021	6 Völker 2 Völker Verlust im Winter 2020/21	2 Völker 1 Volk Verlust im Winter 2020/21
Überlebensrate nach der Überwinterung 2020	8 Völker 6 Völker Verlust im Winter 2019/20	2 Völker 1 Volk Verlust im Winter 2019/20
Überlebensrate nach der Überwinterung 2019	6 Völker 1 Volk Verlust im Winter 2018/19	2 Völker 1 Volk Verlust im Winter 2018/19
Trachtperiode 2023	Frühtracht FT, Sommertracht ST	Frühtracht FT (Sommertrachthonig fiel aus)
Trachtperiode 2022	Sommertracht (Frühtrachthonig fiel aus)	Frühtracht FT, Sommertracht ST
Trachtperiode 2021	Sommertracht	Sommertr. (lt. Imker v.a. „Frühjahrestracht“)
Trachtperiode 2020	Sommertracht	Frühtracht
Trachtperiode 2019	Frühtracht	Frühtracht
Honigmenge 2023	je 70 kg (ca.15 kg pro Volk) FT,ST	25 kg (12,5 kg pro Volk) FT
Honigmenge Trachten'22	60 kg (7-12 kg pro Volk) ST	23 kg (11 kg pro Volk) FT
Honigmenge Trachten'21	80 kg (10-15 kg pro Volk)	32 kg (16 kg pro Volk)
Honigmenge Trachten'20	60 kg (20 kg pro Volk v. 3 Völkern)	16 kg (8 kg pro Volk)
Honigmenge Trachten'19	100 kg (ca. 20-40 kg pro Volk)	22 kg (11 kg pro Volk)
Blütenarten 2023 f. Airporthonig (lt. Imkern)	Linde, Sommerblüher der Region	Obstblüte in landwirtschaftl.Gebiet
Blütenarten 2022	Linde, Sommerblüher der Region	Obstblüte in landwirtschaftl.Gebiet
Blütenarten 2021, 2020, 2019	Linde, Sommerblüher der Region; 2019 auch Linde, Akazie	in stark landwirtschaftlich genutztem Gebiet: Obstblüten, Robinie, Linde
Entwicklung u. Stärke der Völker 2023	schwache Völker mit sehr guter Entwicklung bis Juni	mittlere Völker mit sehr guter Entwicklung
Entwicklung u. Stärke der Völker 2022	schwache Völker mit sehr guter Entwicklung bis Juni	gute Völker mit guter Entwicklung bis Ende Juni
Entwicklung und Stärke der Völker 2021	durchschn. Völker mit sehr guter Entwicklung bis Trachtende im Juni	gute Völker mit guter Entwicklung bis Trachtende Juni
Entwicklung und Stärke der Völker 2020	durchschn. Völker mit guter Entwicklung bis Trachtende schon im Juni	schwache Völker mit durchschnittlicher Entwicklung bis Trachtende
Entwicklung und Stärke der Völker 2019	durchschnittlich starke Völker zu Beginn 1. Mai, gute Entwicklung	eher schwache Völker, durchschnittliche Entwicklung bis Juni
Entwicklung der Brut 2023 (Brutwaben/Volk)	normale Entwicklung mit starker Zunahme: Start mit 2-3 -> 7-8	sehr gute Entwicklung: Start mit 2 -> 7 Brutwaben/Volk bei Ernte
Entwicklung der Brut 2022 (Brutwaben/Volk)	normale Entwicklung mit starker Zunahme: Start mit 1-2 -> 6-8	gute Entwicklung: Start mit 4 -> 9 Brutwaben/Volk bei Honigernte
Entwicklung der Brut 2021 (Brutwaben/Volk)	starke Entwicklung und Zunahme: Start mit 1-2 -> 8-12 bei Honigernte	gute Entwicklung: Start mit 3 Brutwaben/Volk -> 8 Brutwaben bei Ernte
Entwicklung der Brut 2020 (Brutwaben/Volk)	durchschnittliche bis starke Entwicklung, Start mit 2-3 -> 6-10	mittelmäßige Entwicklung, Start mit 3 Brutwaben pro Volk -> 6 bei Ernte
Entwicklung der Brut 2019 (Brutwaben/Volk)	mittelmäßige Entwicklung, Start mit 2-3 -> 6-8 Brutwaben bei Ernte	mittelmäßige Entwicklung, Start mit 3 Waben pro Volk -> 7 Volk bei Ernte

Im Referenzgebiet Aichach des Honigmonitorings am Flughafen München war die Honigmenge der Frühtracht 2019 nur bei 5–8 kg pro Volk, aber die der Sommertracht 2019 bei 20–29 kg pro Volk gelegen. Die Honigmenge am Standort LVS war 2021 mit 16 kg pro Volk vergleichsweise sehr gut gewesen. Auch am Referenzstandort DGR waren sehr gute 17 kg Sommertrachthonig pro Volk 2021 eingebracht worden, im Referenzgebiet Aichach hingegen nur 5–10 kg pro Volk Sommertracht 2021. Grundsätzlich kann die Honigmenge recht unterschiedlich ausfallen, denn sie stellt ein Ergebnis aus Volksstärke, Sammelaktivität und Blütenangebot dar. Das Blütenspektrum an den beiden Standorten LVS und LRW unterschied sich (Tabelle 3.1-1).

Die Zunahme besetzter Waben pro Volk war 2023 am Standort LVS mit 6 auf 30 sehr hoch. Am Standort LRW war die Zunahme 2023 mit 7 auf 9 schwächer als in den Vorjahren. Die Brutwaben-Anzahlen verdreifachten sich an beiden Standorten gleichermaßen in 2023, ähnlich zu 2022. Die Zunahme besetzter Waben pro Volk war 2022 am Standort LVS mit 14 auf 16 normal gewesen, am Standort LRW mit 6 auf 11 hingegen wie in den Vorjahren deutlich. Die Verdopplung bis Verdreifachung der Brutwaben-Anzahlen ist vergleichbar mit Frühtrachtperioden bei anderen Referenzbienenvölkern: z. B. BRS 2023 und 2019, oder mit DGR 2019 während Früh- und Sommertracht. Im Referenzgebiet Aichach AIC verlief die Entwicklung während der Frühtracht 2019 schlecht, mit in etwa konstanten Zahlen: 6 auf 7 Brutwaben und 16 auf 22, die Wabenzahlen nahmen 2021 sogar deutlich ab. Der Vergleich mit den Ergebnissen externer Vergleichs- und Referenzstandorte kann also je nach Standort und Trachtangebot unterschiedlich ausfallen. Der Vergleich mit den Ergebnissen externer Referenzstandorte, bestätigt die hier dargestellte Wertung der Imker für die flughafennahen Standorte:

- Die Stärke und Entwicklung der Bienenvölker und die Honigmenge am Standort LVS waren 2019 durchschnittlich bis gut, 2020 und 2021 durchschnittlich bis stark. In den Jahren 2022 und 2023 entwickelten sich die zunächst schwachen Airport-Bienenvölker sehr gut.
- Die Stärke und Entwicklung der Bienenvölker und die Honigmenge am Standort LRW waren 2019 eher schlecht, 2020 schwach bis durchschnittlich, seit 2021 gut.

3.2 Antimon in Honig

Antimon (Sb) wurde 2019 erstmals beim Bienenmonitoring des Flughafens Leipzig/Halle untersucht.

Die Gehalte lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG): <0,013 mg/kg OS (Originalsubstanz). Sie sind gemäß Konvention (Richtlinienreihe VDI 3957) mit dem Wert der halben BG angegeben (Bild 3.2-1).

Auch an den Referenzstandorten BRS des Bienenmonitorings im Umfeld der Berliner Flughäfen und AIC des Honigmonitorings am Flughafen München (Kap. 2.5) lag Antimon in Honig unterhalb BG. Die BG betrug bis 2015 (BRS) 0,050 mg/kg OS und ab 2016 (BRS und AIC) 0,013 mg/kg OS. Am Referenzstandort Großdobritz DGR des Flughafens Dresden lag Antimon ebenfalls unterhalb BG (BG: 0,013 mg/kg OS; Datenvergleich 2018–2022, Kap. 2.5).

Beurteilungswerte für Antimon, wie z. B. Höchstgehalte, liegen nicht vor (Kap. 2.5).

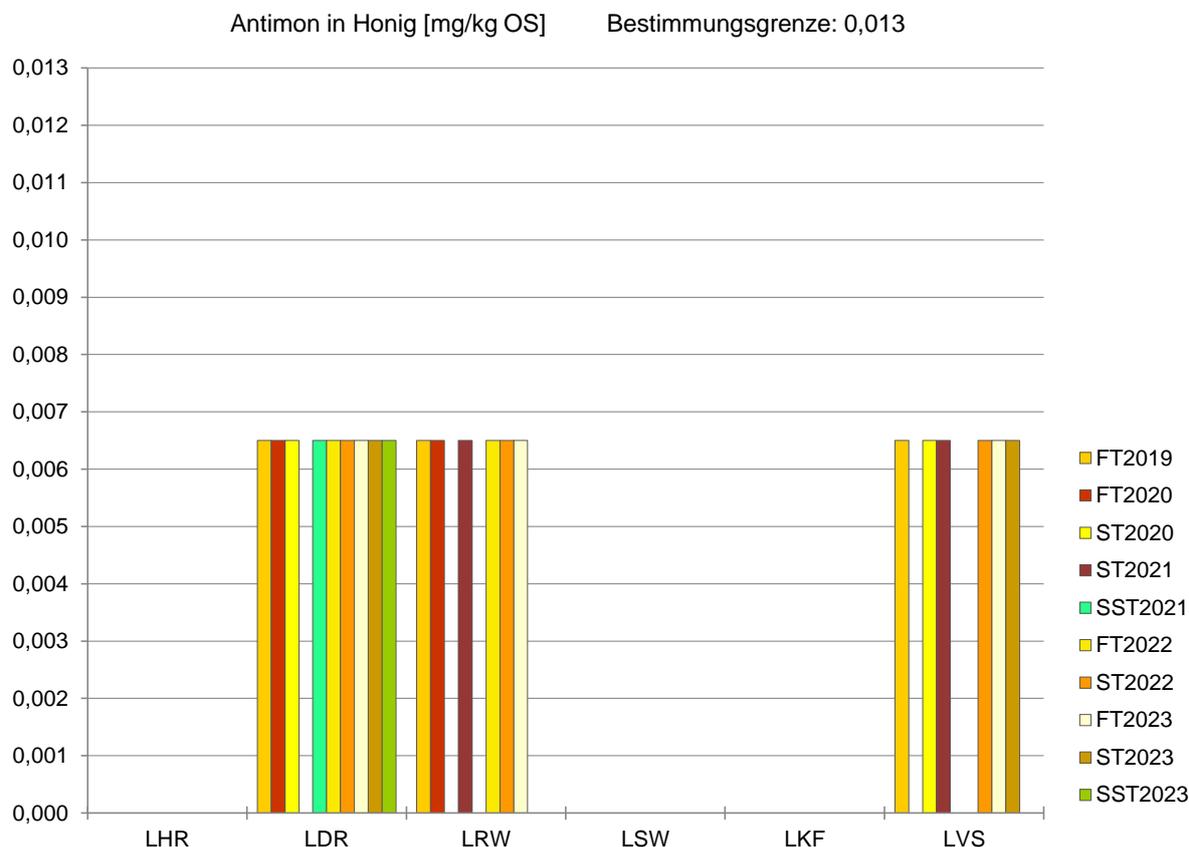


Bild 3.2-1: Antimon in Honig

Die Antimongehalte lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze und sind entsprechend mit 50 % der BG von 0,013 mg/kg OS (seit 2019) dargestellt.

FT: Frühtrachthonig, ST: Sommertrachthonig, SST Spätrachthonig (nach der Sommertracht)

3.3 Arsen in Honig

Arsen (As) wurde seit 2009, dem Start des Bienenmonitorings des Flughafens Leipzig/Halle untersucht.

Die Gehalte lagen unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Die BG 2009–2018 lag bei 0,10 mg/kg OS und ab 2019 rund 8fach empfindlicher bei 0,013 mg/kg OS. Die Arsenergebnisse sind in Bild 3.3-1 mit den Werten der halben BG angegeben.

Auch an den Referenzstandorten BRS des Bienenmonitorings im Umfeld der Berliner Flughäfen und AIC des Münchner Flughafens lag Arsen unterhalb BG: bis 2015 <0,050 mg/kg OS, ab 2016 <0,013 mg/kg OS. Ebenfalls unterhalb BG lag Arsen in Honig am Dresdener Referenzstandort DGR (ab 2018 untersucht): <0,013 mg/kg OS.

Die Arsengehalte in Honig unterschritten die orientierenden Beurteilungswerte (VO (EU) 2015/1006): für andersartige Lebensmittel geltende Höchstgehalte von 0,010⁴–0,30 mg/kg OS (vgl. Tabelle 2.5-1).

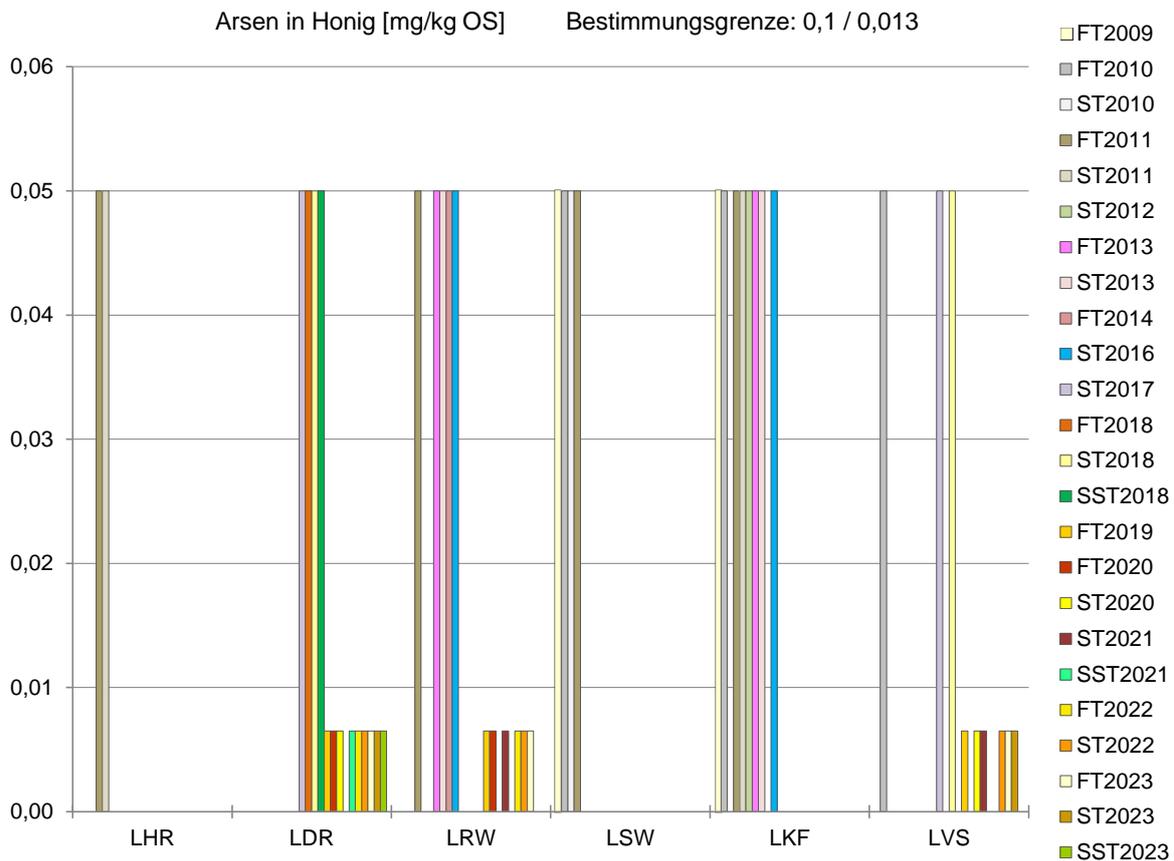


Bild 3.3-1: Arsen in Honig

Die Arsengehalte lagen unterhalb der Bestimmungsgrenzen und sind entsprechend mit 50 % der BG von 0,10 mg/kg OS (bis 2018) bzw. von 0,013 mg/kg OS (ab 2019) dargestellt.

⁴ 0,010 mg/kg als strengster Höchstgehalt für Säuglingsnahrung auf Reisbasis ist nicht heranzuziehen.

3.4 Blei in Honig

Die Gehalte von Blei (Pb) in Honigen der Standorte am Flughafen Leipzig/Halle und in dessen Umfeld lagen – mit drei Ausnahmen – unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Die BG 2009–2018 lag die BG bei 0,10 mg/kg OS und ab 2019 4fach empfindlicher bei 0,025 mg/kg OS. Die Ausnahmen waren (Bild 3.4-1):

- am Standort LWS Schkeuditz West im Jahr 2009: 0,12 mg/kg OS,
- am Standort LRW Röglitz im Jahr 2020: 0,028 mg/kg OS und
- am Standort LRW im Jahr 2022: 0,034 mg/kg OS, somit beide an der Bestimmungsgrenze.

Zum Vergleich: Am Referenzstandort BRS lag Blei in Honig unter den Bestimmungsgrenzen, bis 2015 <0,10 mg/kg OS, ab 2016 <0,025 mg/kg OS. Beim Honigmonitoring am Münchner Flughafen lagen die Bleigehalte in der Regel unterhalb BG – im Referenzgebiet AIC mit einer Ausnahme: 0,042 mg/kg OS. Am Referenzstandort DGR des Bienenmonitorings am Flughafen Dresden, der seit 2018 untersucht wurde, lag Blei stets <0,025 mg/kg OS.

Der Höchstgehalt für Blei in Honig von 0,10 mg/kg OS gilt seit 2016 (VO (EU) 2023/915). Die Bleiergebnisse im Untersuchungsgebiet unterschritten seitdem den Höchstgehalt.

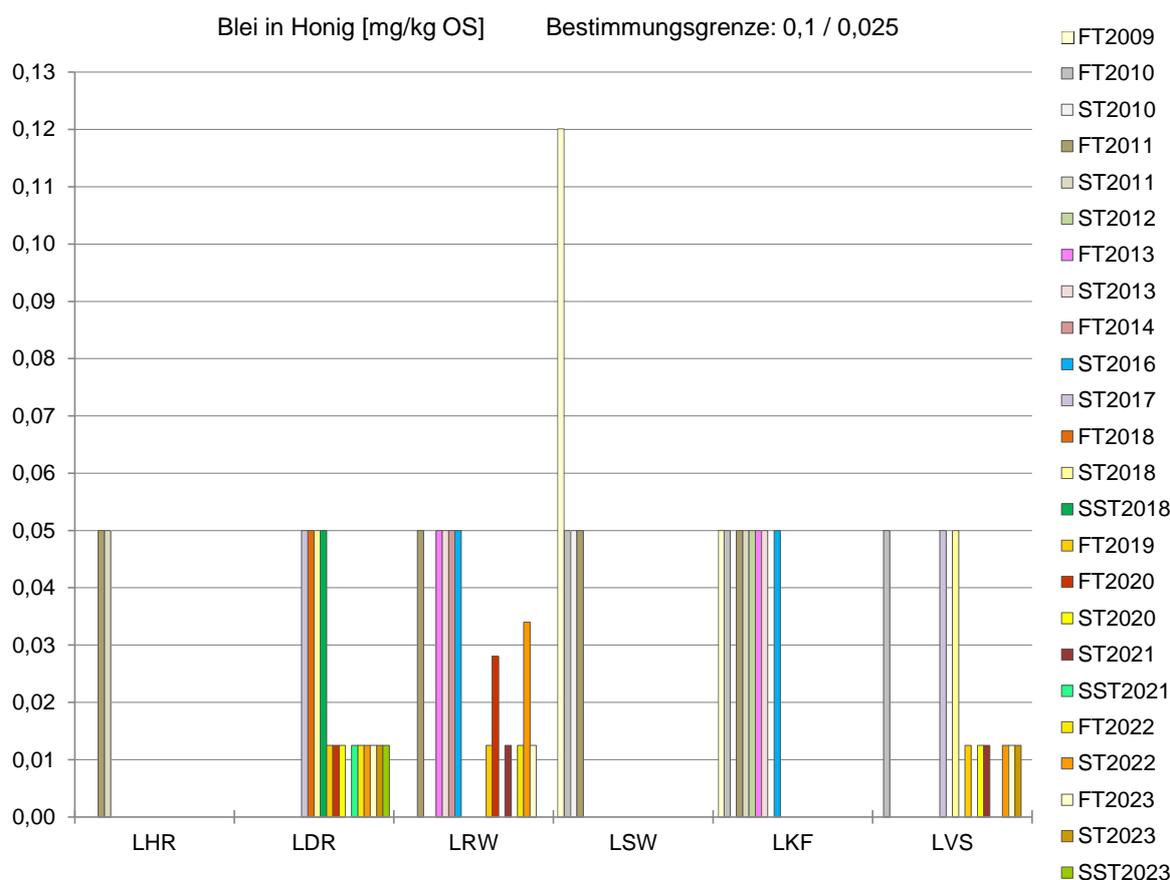


Bild 3.4-1: Blei in Honig

Die Bleigehalte lagen mit 3 Ausnahmen (LSW-FT2009, LRW-FT2020, LRW-FT2022) unterhalb der Bestimmungsgrenzen und sind mit 50 % der BG 0,1 mg/kg OS (bis 2018) bzw. 0,025 mg/kg OS (ab 2019) dargestellt.

3.5 Cadmium in Honig

Die Gehalte von Cadmium (Cd) in Honigen der Standorte im Untersuchungsgebiet Flughafen Leipzig/Halle lagen – mit zwei Ausnahmen – unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Bis 2018 betrug die BG 0,010 mg/kg OS, ab 2019 4fach empfindlicher 0,0025 mg/kg OS. Diese Cadmiumergebnisse sind in Bild 3.5-1 mit den Werten der halben BG angegeben. Die Ausnahmen stellen die Cadmiumgehalte in

- Spättrachthonig vom Referenzstandort LDR in Döllnitz 2021 mit 0,020 mg/kg OS und
- Sommertrachthonig 2022 ebenfalls von LDR 2021 mit 0,030 mg/kg OS dar.

Am Referenzstandort BRS lag Cadmium unter den Bestimmungsgrenzen (bis 2015: 0,010 mg/kg OS, ab 2016: 0,0025 mg/kg OS). Im Referenzgebiet Aichach reichten die Cadmiumgehalte von <0,0025 mg/kg OS bis maximal 0,0069 mg/kg OS. Am Referenzstandort DGR (seit 2018 untersucht) des Flughafens Dresden war Cadmium mit <0,0025 mg/kg OS analytisch nicht auffindbar.

Alle Ergebnisse, auch die Cadmiumgehalte LDR-SST2021 mit 0,020 mg/kg OS und LDR-ST2022 mit 0,030 mg/kg OS, unterschritten den vorsorglichen Aktionswert für Cadmium von 0,050 mg/kg OS, der in Österreich gilt (ÖBMG 2015; vgl. Tabelle 2.5-1).

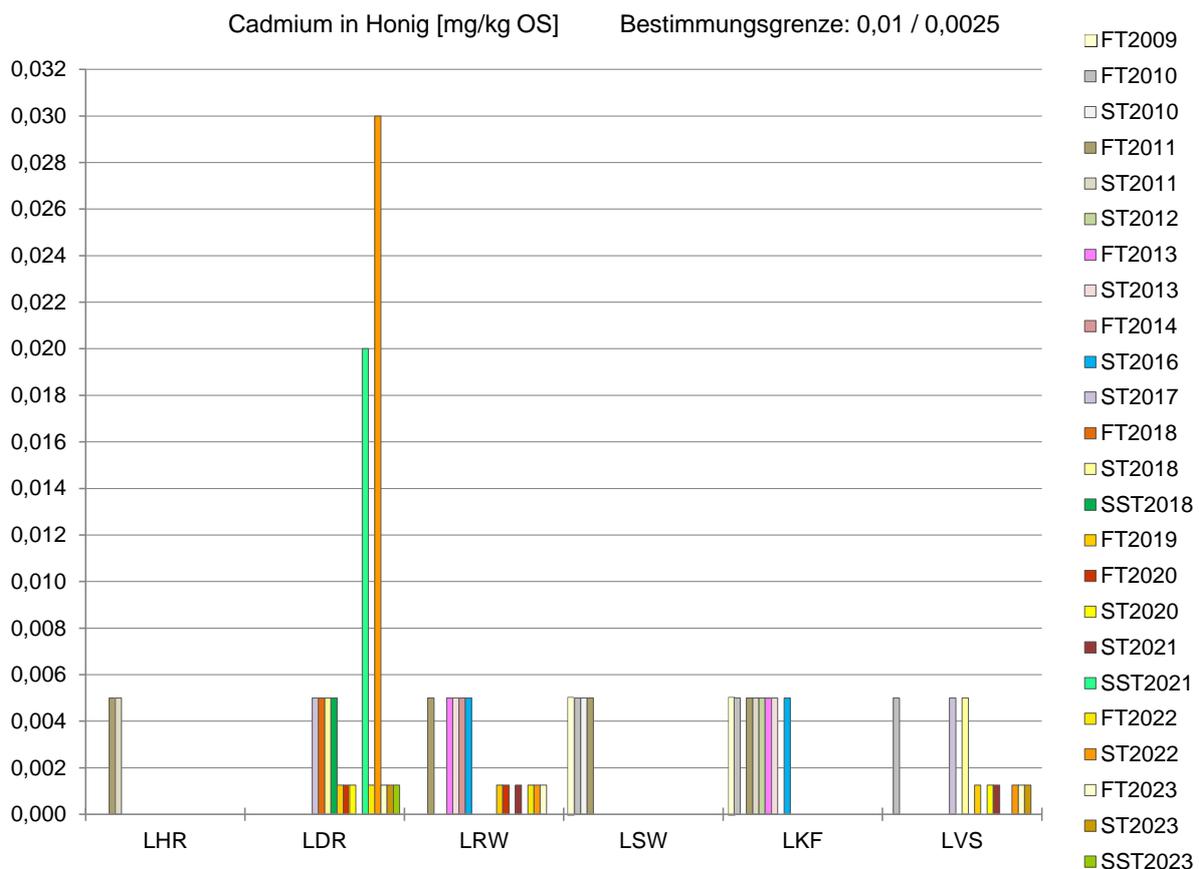


Bild 3.5-1: Cadmium in Honig

Die Cadmiumgehalte lagen mit 2 Ausnahmen (LDR-SST2021, LDR-ST2022) unterhalb der Bestimmungsgrenzen und sind entsprechend mit 50 % der BG 0,010 mg/kg OS (bis 2018) bzw. 0,0025 mg/kg OS (ab 2019) dargestellt.

3.6 Chrom in Honig

Die Gehalte von Chrom (Cr) in Honig aus dem Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle lagen 2009 mit wenigen Ausnahmen unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Die BG 2009–2018 betrug 0,10 mg/kg OS, die BG ab 2019 4fach empfindlicher 0,025 mg/kg OS. Lediglich 2010 wurde in den Honigen vom Standort LSW Schkeuditz West Chrom oberhalb BG gefunden: 0,15 mg/kg OS (FT) und 0,12 mg/kg OS (ST), zudem aktuell am Referenzstandort LDR in FT2022, FT2023 und SST2023 mit 0,023-0,037 mg/kg OS und am Standort LVS in ST2023 mit 0,034 mg/kg OS – nahe der BG. Die übrigen Ergebnisse sind in Bild 3.6-1 mit den Werten der halben BG dargestellt.

Die Ergebnisse lagen im Bereich der Wertespanssen von Referenzstandorten anderer Bienenmonitorings: BRS <0,025–0,13 mg/kg OS, AIC <0,025–0,20 mg/kg OS, DGR <0,025 mg/kg OS.

Verglichen mit hilfsweise herangezogenen Beurteilungswerten sind die Chromgehalte in Honig der Bienenmonitoring-Standorte als unauffällig niedrig zu werten: Ein Verzehr von 100 g (!) Honig mit dem höchsten Chromgehalt von 0,20 mg/kg OS vom Standort AIC entspricht umgerechnet 0,02 mg. Das sind zwischen ein Fünftel und zwei Drittel der geschätzten angemessenen Gesamtzufuhr von 0,03–0,10 mg/Tag für Jugendliche und Erwachsene (DGE 2020; vgl. Tabelle 2.5-1).

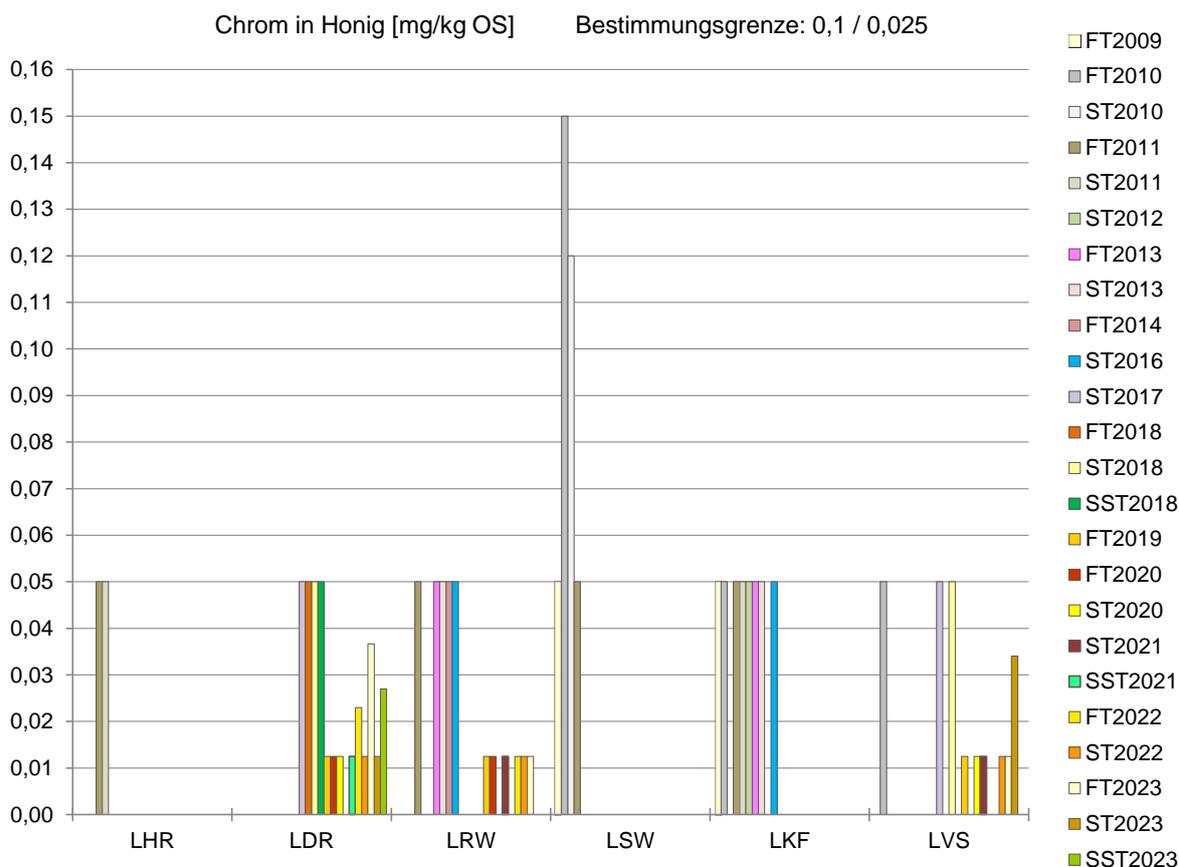


Bild 3.6-1: Chrom in Honig

Die Chromgehalte lagen mit 2 früheren Ausnahmen (LSW-FT2010, LSW-ST2010) und vier aktuellen Ausnahmen (LDR-FT2022, LDR-FT2023, LDR-SST2023 und LVS-ST2023) unterhalb der Bestimmungsgrenzen und sind entsprechend mit 50 % der BG 0,10 mg/kg OS (bis 2018) bzw. 0,025 mg/kg OS (ab 2019) dargestellt.

3.7 Kupfer in Honig

Die Gehalte von Kupfer (Cu) in Honig aus dem Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle lagen 2009–2018 teilweise unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,01 mg/kg OS. In diesen Fällen sind sie in Bild 3.7-1 mit dem Wert der halben BG angegeben. Die BG ab 2019 lag 4fach empfindlicher bei 0,025 mg/kg OS.

Die Kupfergehalte zeigten seit 2017 eine tendenzielle Standortabstufung: niedrigere Werte (Mediane / arithmetische Mittelwerte \pm Standardabweichung) am Referenzstandort LDR (0,12 / 0,16 \pm 0,09 mg/kg OS) und – deutlicher – an LRW in Röglitz (0,09 / 0,10 \pm 0,04 mg/kg OS) als an LVS bei Papitz (0,20 / 0,21 \pm 0,07 mg/kg OS). Dies gilt es weiter zu beobachten.

Die Kupfergehalte zeigten eine zeitliche Abstufung, deren Ursache nicht bekannt ist:

- Die Kupfergehalte 2009–2010 lagen zwischen 0,32 mg/kg OS und 2,0 mg/kg OS.
- Seit 2011 nahmen die Gehalte einen engeren, niedrigeren Bereich von 0,09–0,34 mg/kg OS ein.

Mit Ausnahme der Kupfergehalte der Honige 2010 vom Standort LSW Schkeuditz West (LWS Früh- und Sommertracht: graue Balken gekürzt und beschriftet in Bild 3.7-1) lagen sie sämtlich im Rahmen der Wertespannen der Referenzstandorte:

- BRS <0,025–0,22 mg/kg OS und AIC 0,05–0,95 mg/kg OS, DGR 0,11–0,22 mg/kg OS (seit 2018).

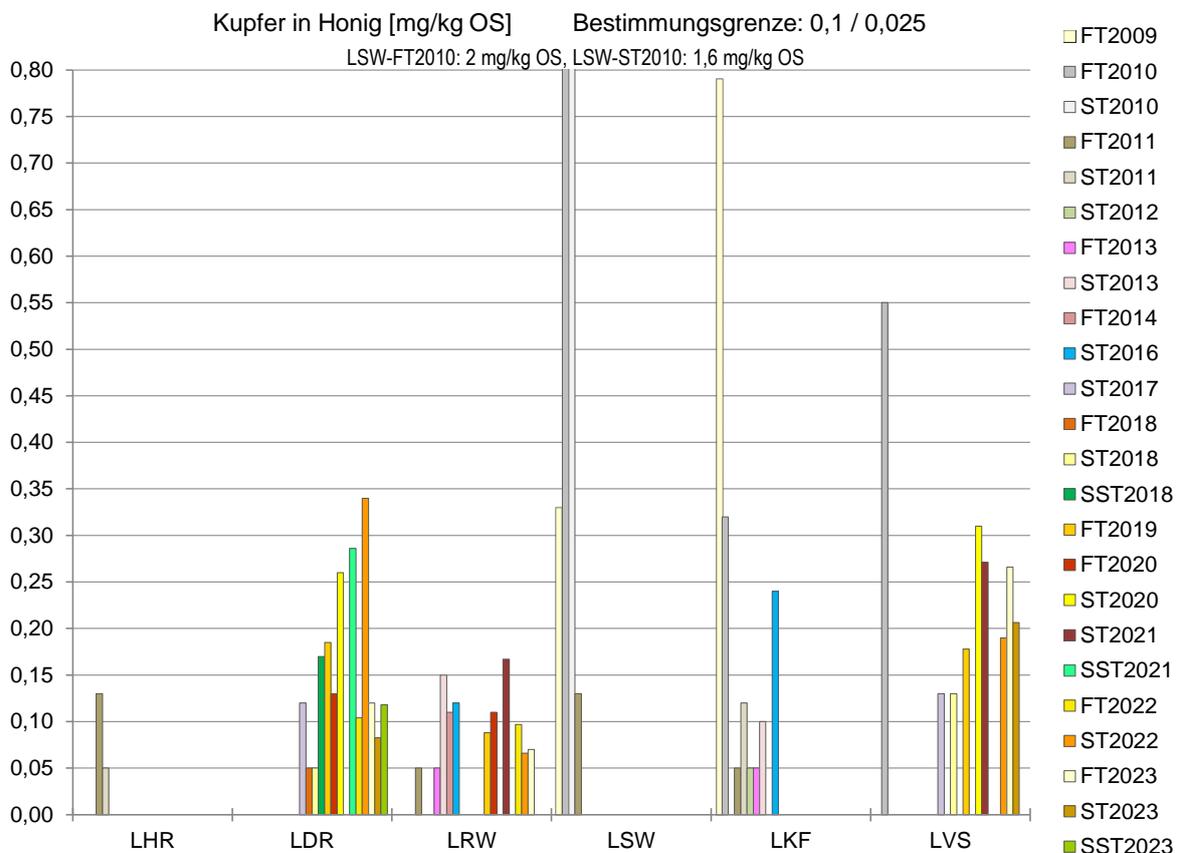


Bild 3.7-1: Kupfer in Honig

Die Kupfergehalte lagen 2009–2018 teilweise unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,10 mg/kg OS und sind dann entsprechend mit 50% der BG dargestellt. Ab 2019 betrug die BG 0,025 mg/kg OS.

Verglichen mit der zur Beurteilung hilfsweise herangezogenen, geschätzten angemessenen Gesamtzufuhr pro Tag (vgl. Tabelle 2.5-1) sind die Kupferergebnisse als unauffällig niedrig zu werten: Ein Verzehr von 100 g (!) Honig von den Flughafen- und den Referenzstandorten aus den letzten 10 Jahren entspricht mit gerundet 0,01 – 0,1 mg nur rund 1 % bis 10 % der Beurteilungswerte-Spanne 1–1,5 mg als geschätzte angemessene Zufuhr pro Tag (DGE 2020). Selbst die Kupfergehalte der Honige vom Standort LSW 2010 hätte mit umgerechnet 0,16 mg bzw. 0,2 mg nur bis 20 % der Beurteilungswerte-Spanne ausgeschöpft.

3.8 Nickel in Honig

Die Gehalte von Nickel (Ni) in Honigen der Standorte am Flughafen Leipzig/Halle und in dessen Umfeld lagen 2009–2010 zwischen 0,15 mg/kg OS und 0,35 mg/kg OS (Bild 3.8-1: LSW, LKF, LVS). Ab 2011 lagen sie – mit sechs Ausnahmen – unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Die BG 2009–2018 betrug 0,10 mg/kg OS, die BG ab 2019 4fach empfindlicher 0,025 mg/kg OS. Die Ausnahmen sind:

- LDR SST2021 mit 0,050 mg/kg OS, ST2022 mit 0,069 mg/kg OS und FT2023 mit 0,024 mg/kg OS,
- LRW FT2023 mit 0,028 mg/kg OS und
- LVS FT2019 mit 0,041 mg/kg OS und ST2023 mit 0,088 mg/kg OS.

Die Ergebnisse liegen sämtlich innerhalb der Wertespannen der Referenzstandorte:

- BRS <0,10 / <0,025 mg/kg OS, AIC <0,025–0,92 mg/kg OS, DGR <0,025 mg/kg OS (seit 2018).

Beurteilungswerte aus dem Lebensmittelrecht liegen nicht vor – dafür europäische Vergleichswerte: In Blütenhonigen und in nicht spezifizierten Honigen wurden laut EFSA (2014) durchschnittlich 0,14–0,16 mg/kg OS Nickel gefunden. Die Ergebnisse der Flughafen- und Referenzstandorte sind als unauffällig und aktuell niedrig zu werten.

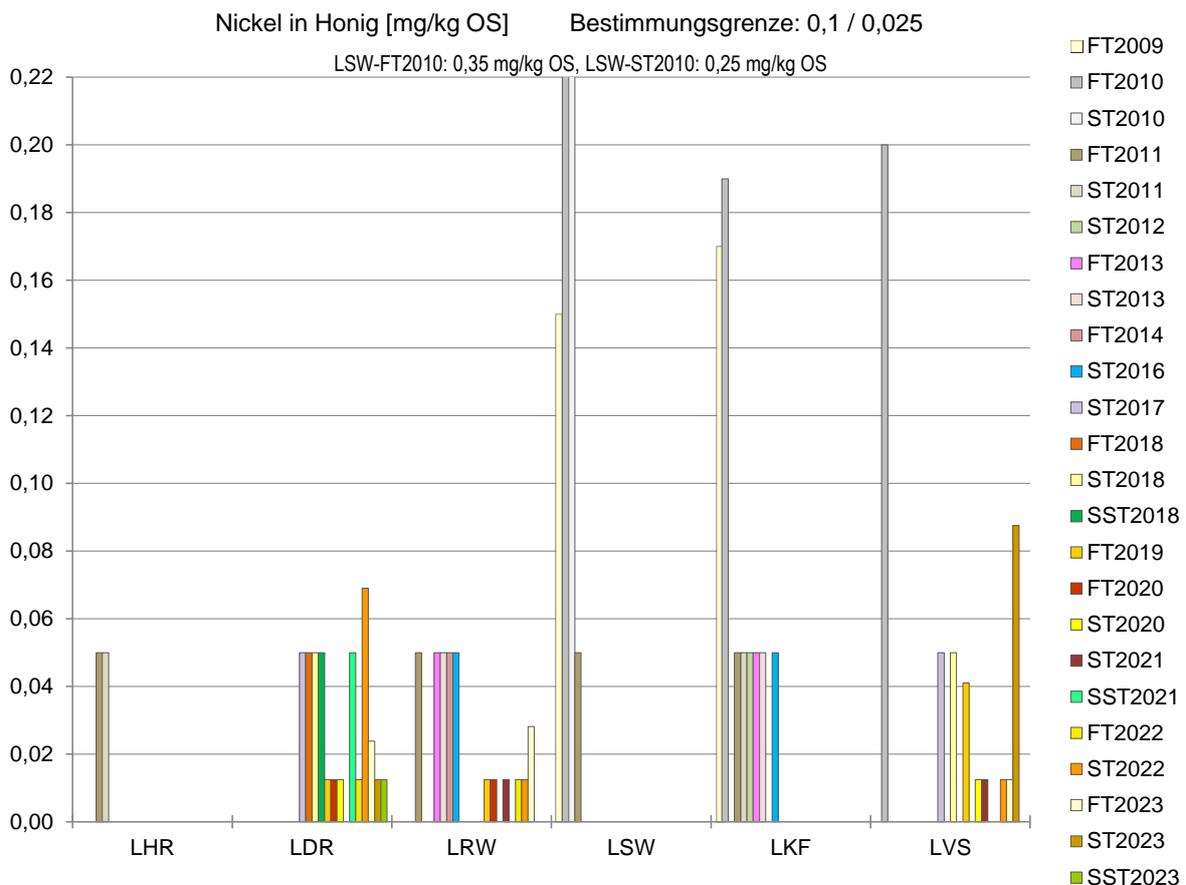


Bild 3.8-1: Nickel in Honig

Ab 2011 lagen die Nickelgehalte mit 6 Ausnahmen (LVS-FT2019, LDR-SST2021, LDR-ST2022, LDR-FT2023, LRW-FT2023 und LVS-ST2023) unterhalb der BG und sind mit 50 % der BG 0,10 mg/kg OS (bis 2018) bzw. 0,025 mg/kg OS (ab 2019) dargestellt.

3.9 Quecksilber in Honig

Die Gehalte von Quecksilber (Hg) in Honig lagen beim Bienenmonitoring des Flughafens Leipzig/Halle stets unterhalb der Bestimmungsgrenzen: 0,050 mg/kg OS 2009 und 2011 bis 2018, 0,10 mg/kg OS 2010, 0,013 mg/kg OS 2019–2020 und nochmals abgesenkt auf 0,0050 mg/kg OS ab 2021. So ergeben sich die abgestuften Ergebnisse, die in Bild 3.9-1 mit dem Wert der halben BG dargestellt sind.

Auch an den Referenzstandorten BRS des Bienenmonitorings im Umfeld der Berliner Flughäfen und AIC des Honigmonitorings am Flughafen München sowie DGR des Bienenmonitorings am Flughafen Dresden (ab 2018) lag Quecksilber unterhalb BG: bis 2015 <0,050 mg/kg OS, ab 2016 bis 2020 <0,013 mg/kg OS und ab 2021 <0,0050 mg/kg OS.

Der seit 2018 gültige Höchstgehalt für Quecksilberverbindungen in Honig und Imkereierzeugnissen von 0,010 mg/kg OS (VO (EU) 2018/73; Tabelle 2.5-1) wird somit von den aktuellen Quecksilbergehalten – auf die er bezogen werden kann – unterschritten.

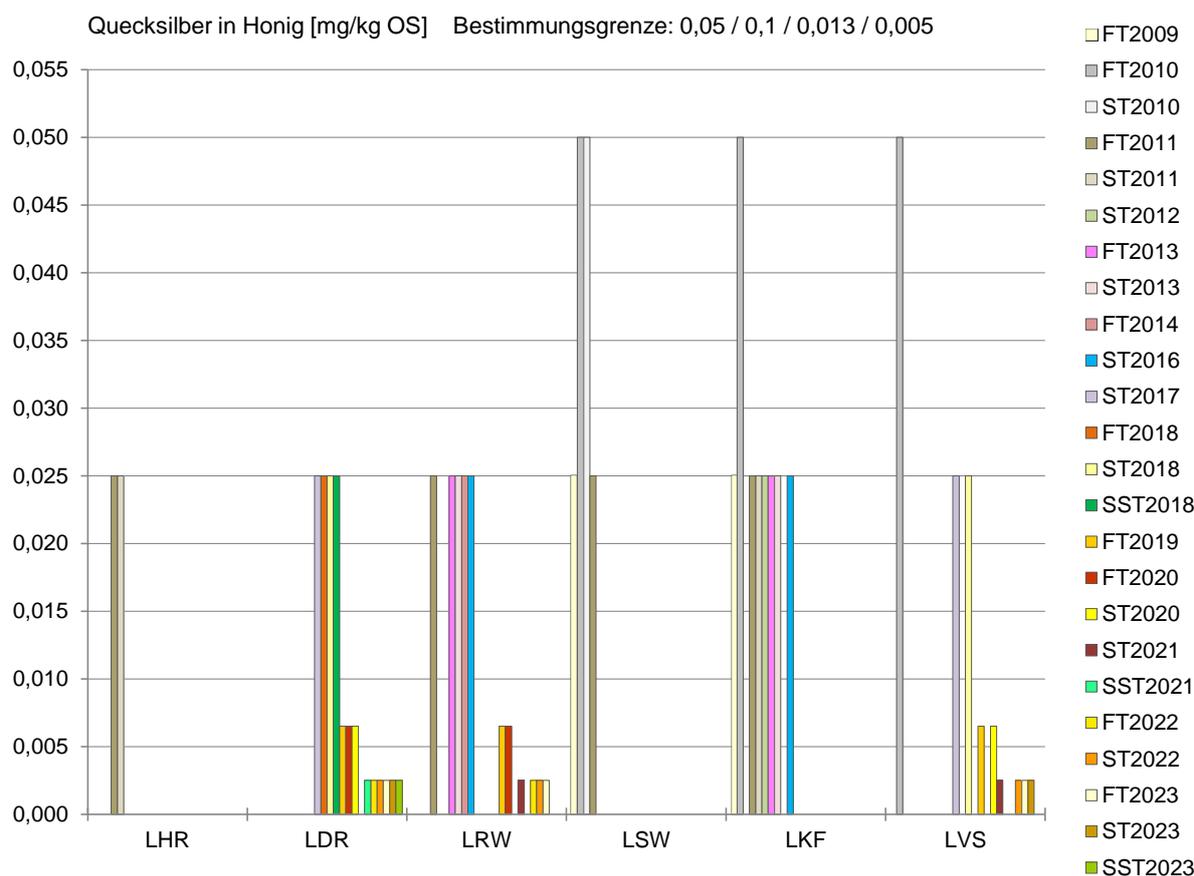


Bild 3.9-1: Quecksilber in Honig

Die Quecksilbergehalte lagen unterhalb der Bestimmungsgrenzen und sind entsprechend mit 50 % der BG 0,050 mg/kg OS (2009 und 2011–2018), 0,10 mg/kg OS (2010), 0,013 mg/kg OS (2019–2020), 0,0050 mg/kg OS (ab 2021) dargestellt.

3.10 Zink in Honig

Die Gehalte von Zink (Zn) in Honig aus dem Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle lagen sämtlich oberhalb der Bestimmungsgrenzen, in einem Wertebereich von 0,14–3,4 mg/kg OS (Bild 3.10-1).

Vergleichsweise höchste Werte wurden in den ersten Jahren des Bienenmonitorings 2009–2011 an den Standorten LSW und LKF gemessen. Der Flughafenstandort LKF wies 2009–2016 die größte Spannweite der Zinkgehalte auf: von 0,14–2,6 mg/kg OS. Die Ursache dafür ist nicht bekannt. Im Zeitraum ab 2013 nahmen die Zinkgehalte an den aktuellen Standorten LDR, LRW und LVS einen engeren Wertebereich von 0,23–1,1 mg/kg OS ein.

Unter Einbezug der anzusetzenden Messunsicherheit von 15 % (vgl. Kap. 2.6) unterscheiden sich die Standorte nur tendenziell: niedrigere Werte (Mediane / arithmetische Mittelwerte \pm Standardabweichung) an LRW in Röglitz (0,24 / 0,28 \pm 0,09 mg/kg OS) als am Referenzstandort LDR (0,35 / 0,46 \pm 0,24 mg/kg OS) und als an LVS bei Papitz (0,36 / 0,40 \pm 0,09 mg/kg OS). Dies gilt es weiter zu beobachten

Die Wertebereiche aller Standorte liegen in den Spannen der Referenzstandorte des Bienenmonitorings der Berliner Flughäfen, des Honigmonitorings des Münchner Flughafens und des Bienenmonitorings des Flughafens Dresden (der Referenzstandort DGR wird seit 2018 untersucht):

- BRS <0,10–0,13 mg/kg OS, AIC 0,34–2,5 mg/kg OS, DGR 0,33–1,3 mg/kg OS.

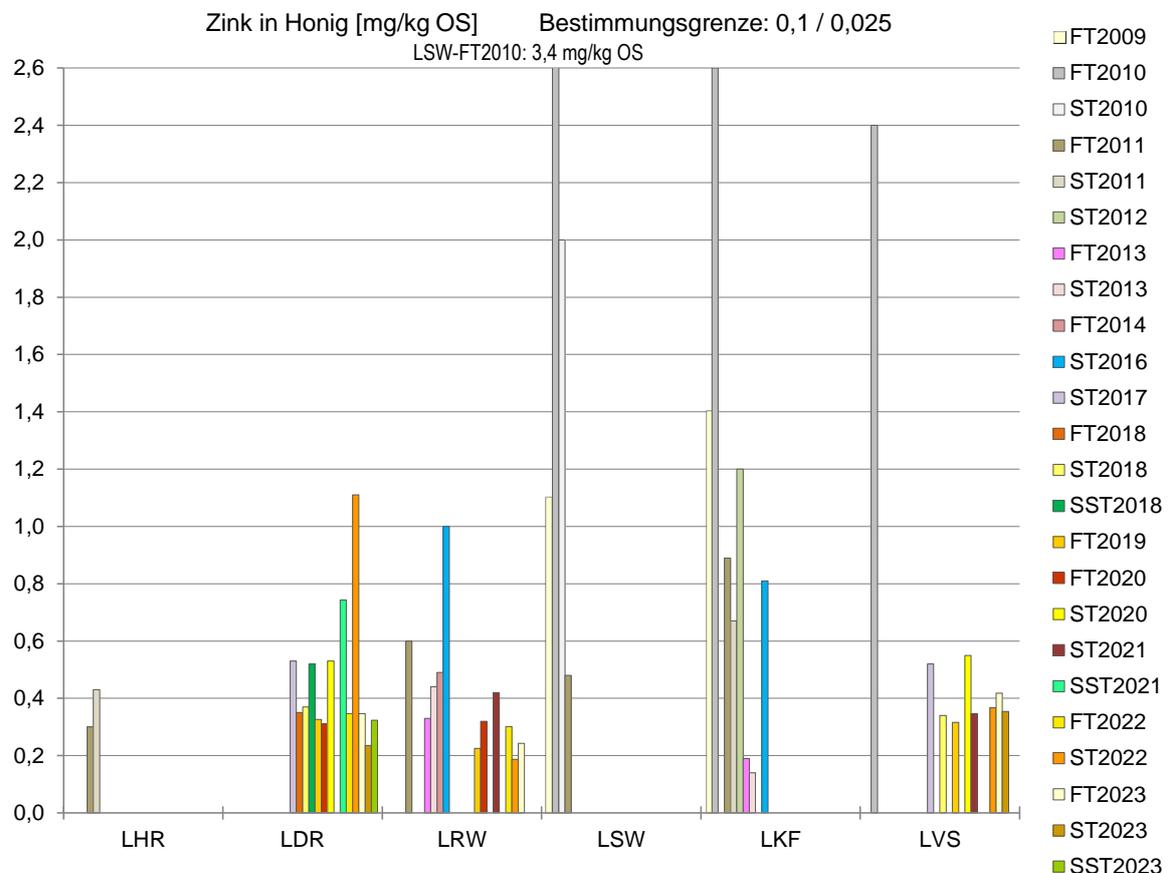


Bild 3.10-1: Zink in Honig

Verglichen mit der zur Beurteilung hilfsweise herangezogenen Empfehlung des Bundesinstituts für Risikobewertung (BgVV 2002/ BfR 2004) sind die Zinkgehalte in den Honigen als sehr niedrig zu werten: Selbst ein Verzehr von 100 g (!) Honig mit maximal rund 3 mg/kg von den Standorten LSW, LKF oder AIC entspricht mit umgerechnet 0,3 mg nur rund 5 % der empfohlenen Zufuhr pro Tag (vgl. Tabelle 2.5-1).

3.11 Metalle in Wachs

Die Metall-Ergebnisse in Wachs sind nachfolgend dargestellt. Bei der Wachsprobe LRW-ST2021 handelt es sich um Honigwabenwachs (auf Mittelwand aus eigenem Imker-Wachskreislauf von den Bienen aufgebaut, bei den Wachsproben LVS-FT und LVS-ST2021 um Drohnenwabenwachs aus Wildbau (Naturbau mit Drohnenbrut und Honigeinlagerungen; vgl. Kap. 2.2). In den Jahren 2022 und 2023 stammten die Wachsproben aus Wildwachs. Von LVS lag 2023 eine Gesamtprobe der Früh- bis Sommertracht vor.

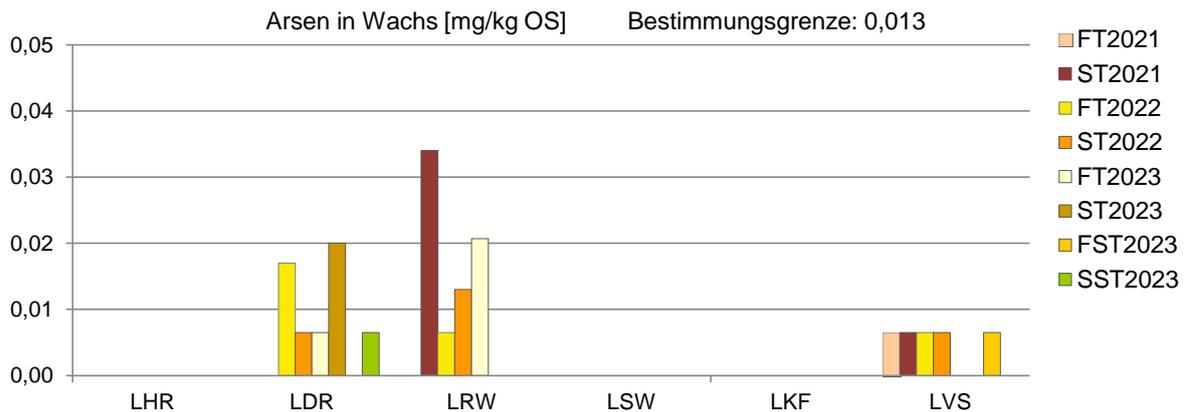


Bild 3.11-1: Arsen in Wachs

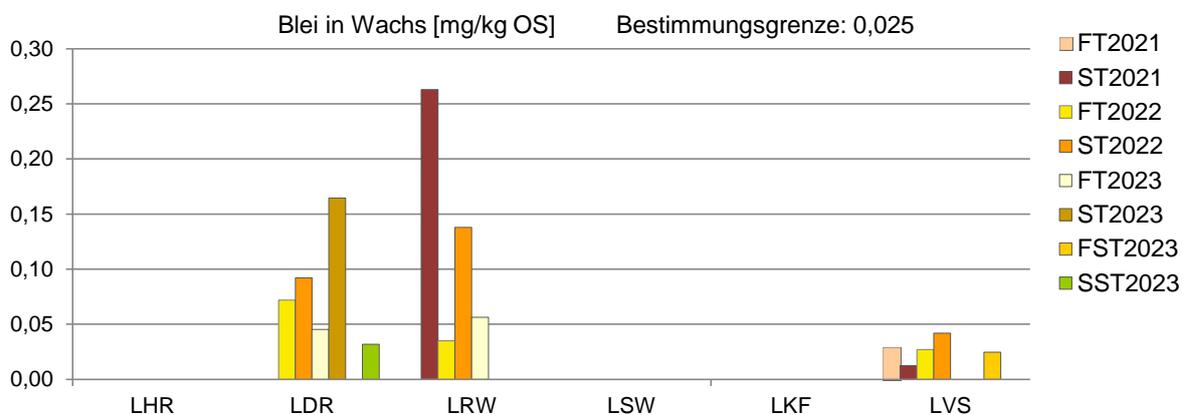


Bild 3.11-2: Blei in Wachs

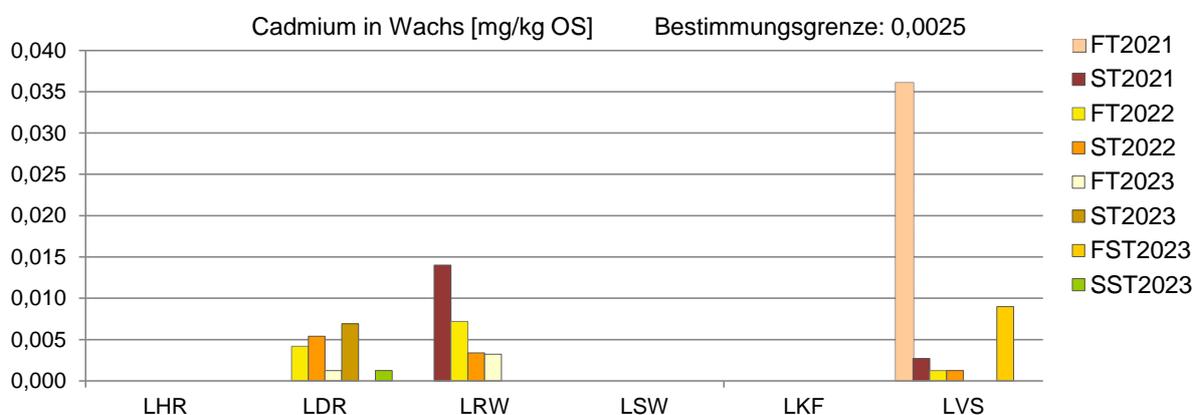


Bild 3.11-3: Cadmium in Wachs

Arsengehalte (oben), Bleigehalte (Mitte) und Cadmiumgehalte (unten) lagen teilweise unterhalb der Bestimmungsgrenzen und sind dann mit 50 % der BG dargestellt.

Die Metalle Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink waren in den Wachsproben bestimmbar (Bild 3.11-1 bis Bild 3.11-7), während Antimon und Quecksilber unterhalb Bestimmungsgrenzen lagen (Tabelle 10.1-1, ohne grafische Darstellung).

Antimongehalte in den Wachsproben lagen beim Bienenmonitoring am Flughafen Leipzig/Halle seit 2021 unterhalb Bestimmungsgrenze wie am Referenzstandort BRS der Berliner Flughäfen. Im Referenzgebiet AIC des Flughafens München wurden maximal 0,015 mg/kg OS gefunden, nahe der BG. Da dort seit 2013 nicht mehr Honigwaben, sondern Drohnenwaben aus Wildwachs untersucht wurden, schließt der Vergleich Stoffgehalte in Honigwaben-Wachsproben aus dem Referenzgebiet Aichach von 2012 ein (Tabelle 10.1-1). In der Honigwaben- und in der Wildwachsprobe des Dresdener Referenzstandorts DGR, die 2021 und 2022 analysiert wurden, lag Antimon ebenfalls unterhalb BG.

Arsengehalte lagen in den Wildwachsproben niedriger als in der Honigwaben-Wachsprobe LRW-ST2021: darin 0,034 mg/kg OS. An LVS lag Arsen seit 2021 unterhalb der Bestimmungsgrenze, an LRW <0,013 bis 0,021 mg/kg OS und an LDR < 0,013 bis 0,020 mg/kg OS (Bild 3.11-1). Arsen lag im Referenzgebiet Aichach in Honigwaben bei <0,05 mg/kg OS und in Wildwachsproben bei <0,013–0,020 mg/kg OS und am Referenzstandort des Bienenmonitorings der Berliner Flughäfen BRS lagen die Arsengehalte <0,05 / <0,013 mg/kg OS (Tabelle 10.1-1 im Anhang). Am Referenzstandort des Bienenmonitorings des Flughafens Dresden DGR lagen die Arsengehalte 2021 und 2022 <0,013 mg/kg OS (Wäber und Pompe 2023a).

Bleigehalte lagen in den Wildwachsproben niedriger als in der Honigwaben-Wachsprobe LRW-ST2021: darin 0,26 mg/kg OS. In den Drohnenwaben-Wachsproben 2021 und den Wildwachsen seit 2022 reichten sie von <0,025 mg/kg OS in LVS-FT2021 bis 0,16 mg/kg OS in LDR-ST2023 (Bild 3.11-2). In Referenz-Wachsproben vom Berliner Referenzstandort BRS 2014–2023 wie auch dem Referenzgebiet Aichach 2018–2022 lag Blei unabhängig von der Wachsart in vergleichbaren Bereichen zwischen <0,025 mg/kg OS und 0,11 mg/kg OS (Tabelle 10.1-1).

Cadmiumgehalte nahmen in den Wachsproben aus dem Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle einen Bereich von <0,0025 mg/kg OS über 0,014 mg/kg OS in der Honigwabenprobe LRW-ST 2021 bis 0,036 mg/kg OS in LVS-FT 2021 Wildwachs ein (Bild 3.11-3). Die Cadmiumgehalte lagen – abgesehen von letzterem Wert – im Bereich der Werte am Referenzstandort DGR, am Berliner Referenzstandort BRS und im Referenzgebiet Aichach: <0,0025 mg/kg OS bis 0,051 mg/kg OS (Tabelle 10.1-1).

Chromgehalte nahmen in den Wachsproben aus dem Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle einen Bereich von <0,025 mg/kg OS (LVS-ST2021) bis 0,23 mg/kg OS (LRW-ST2022) ein – mit anderer Verteilung als für Arsen und Blei oder für Cadmium (Bild 3.11-4). Das Maximum in LRW-ST2022 Wildwachs war mit 0,50 mg/kg OS mehr als 2fach höher als die restlichen Chromgehalte. Diese lagen die in einem vergleichbaren Bereich wie die Referenz-Wachsproben: <0,025 bis 0,17 mg/kg OS (Tabelle 10.1-1).

Kupfergehalte reichten in den Wachsproben aus dem Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle von 0,13 mg/kg OS (LVS-ST2022 Wildwachs) über 2,6 mg/kg OS (LRW-ST2021 Honigwabe) bis 3,0 mg/kg OS und 3,4 mg/kg OS (Wildwachse LVS-FT2021 und LRW-FT2023; Bild 3.11-5). Kupfer lag in den Proben aus dem Referenzgebiet Aichach teilweise höher: 4,4 mg/kg OS in der Honigwaben 2012 und bis 7,0 mg/kg OS 2018–2022 in Wildwachsen (Tabelle 10.1-1). Am Referenzstandort des Bienenmonitorings der Berliner Flughäfen BRS lag Kupfer im Wachs 2014–2023 bei 0,091–0,49 mg/kg OS relativ niedrig. Am Referenzstandort DGR lag Kupfer im Wachs 2021 und 2022 bei 0,27 mg/kg OS und 1,2 mg/kg OS. Insgesamt nahmen die Kupfergehalte in Wachs einen eher weiten, aber unauffälligen Bereich ein.

Nickelgehalte in den Wachsproben reichten von <0,025 mg/kg OS (LVS-ST2022 Wildwachs) über 0,16 mg/kg OS (LRW-ST2021 Honigwabe) und 0,20 mg/kg OS (LVS-FT2021 Drohnenwabe; Bild 3.11-6).

Die relativ weiten Wertebereiche der Metalle in Wachs zeigten sich auch für Nickel als nicht „standorttypisch“. Die Nickelgehalte waren niedrig, wie der Vergleich bestätigt: Am Referenzstandort des Berliner Bienenmonitorings BRS lag Nickel im Wachs 2014–2023 mit <math><0,025\text{--}0,39\text{ mg/kg OS}</math> in ähnlich niedrigem Bereich. Am Referenzstandort DGR lag Nickel 2021 und 2022 bei 0,096 und 0,11 mg/kg OS, im Referenzgebiet Aichach 2018–2022 bei 0,095 bis 1,9 mg/kg OS und damit teilweise deutlich höher als im Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle (Tabelle 10.1-1).

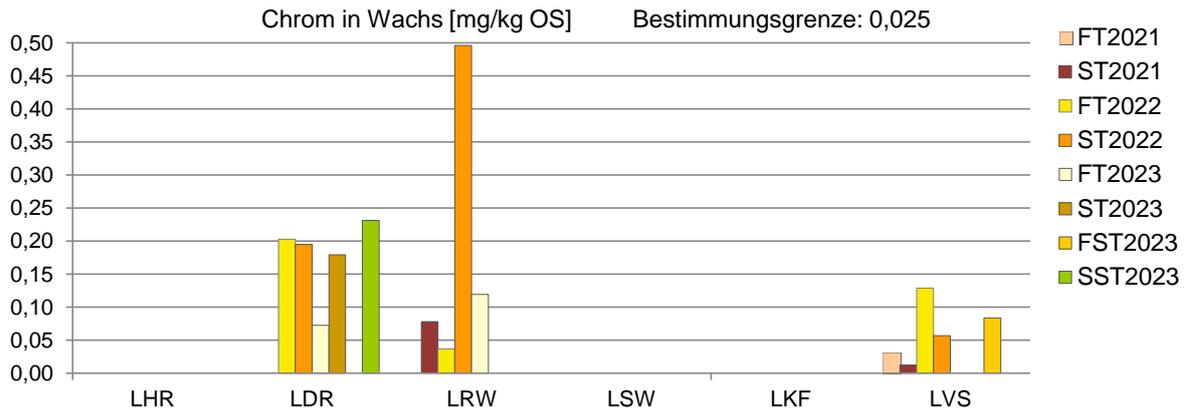


Bild 3.11-4: Chrom in Wachs

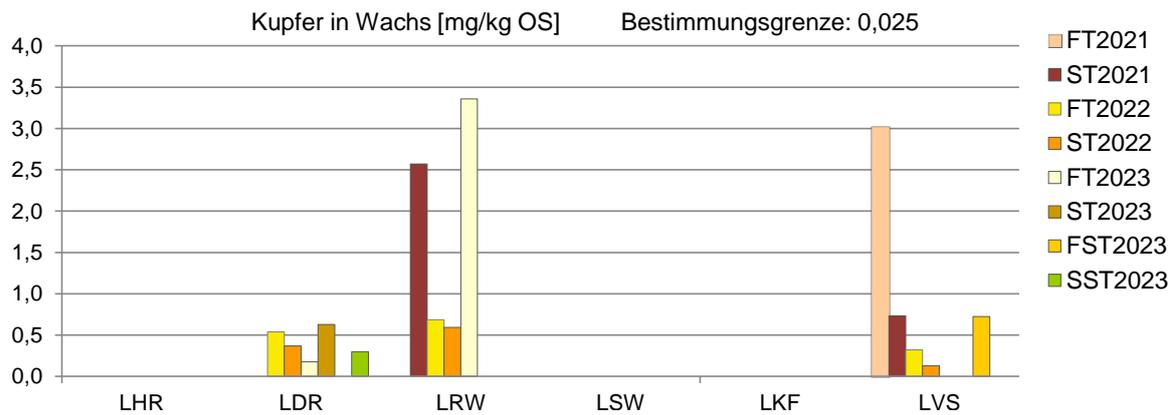


Bild 3.11-5: Kupfer in Wachs

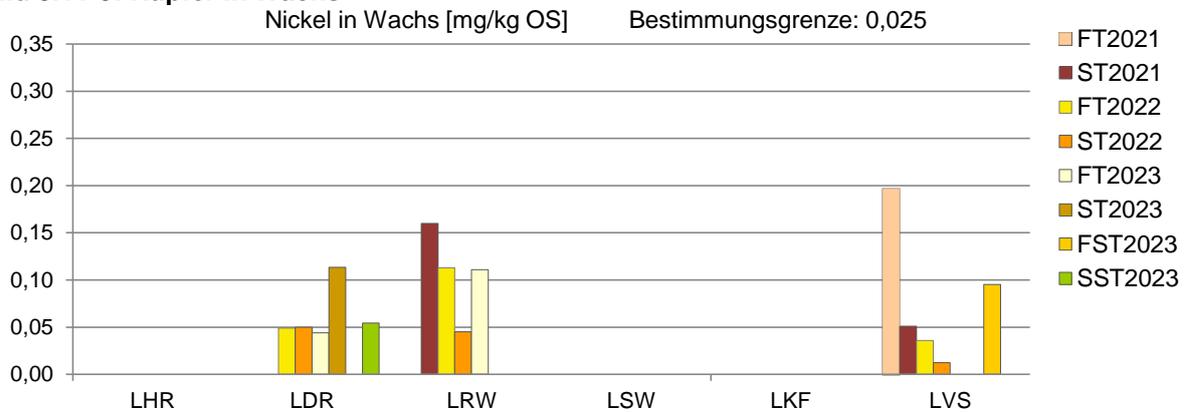


Bild 3.11-6: Nickel in Wachs

Chromgehalte (oben) und Nickelgehalte (unten) lagen teilweise unterhalb der Bestimmungsgrenzen und sind dann mit 50 % der BG dargestellt.

Quecksilbergehalte lagen wie Antimon in allen Wachsproben unterhalb BG (Tabelle 10.1-1).

Zinkgehalte lagen in den Wachsproben aus dem Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle in einem weiten Bereich von 0,45 mg/kg OS (LVS-ST2022 Wildbauwachs) über 17 mg/kg OS (LRW-ST2021 Honigwabe) bis 32 mg/kg OS (LVS-FT2021 Drohnenwabe; Bild 3.11-7). Die Abstufung der Gehalte war ähnlich zu Cadmium, Kupfer und Nickel, aufgrund der Maxima u.a. in LVS-FT2021 Wachs. Der Wertebereich lag innerhalb der Spanne der Zinkgehalte an den Referenzstandorten: In Honigwabens- und Wildbauwachsen an DGR aus dem Umfeld des Flughafens Dresden wurden 2021 und 2022 5,5 mg/kg OS und 43 mg/kg OS gemessen, in der Honigwabens-Wachsprobe 2012 aus Aichach 18 mg/kg OS und in den Wildwachsen 2018-2022 26–80 mg/kg OS sowie am Referenzstandort des Berliner Bienenmonitorings BRS 2014–2023 mit 3,8–52 mg/kg OS (Tabelle 10.1-1).

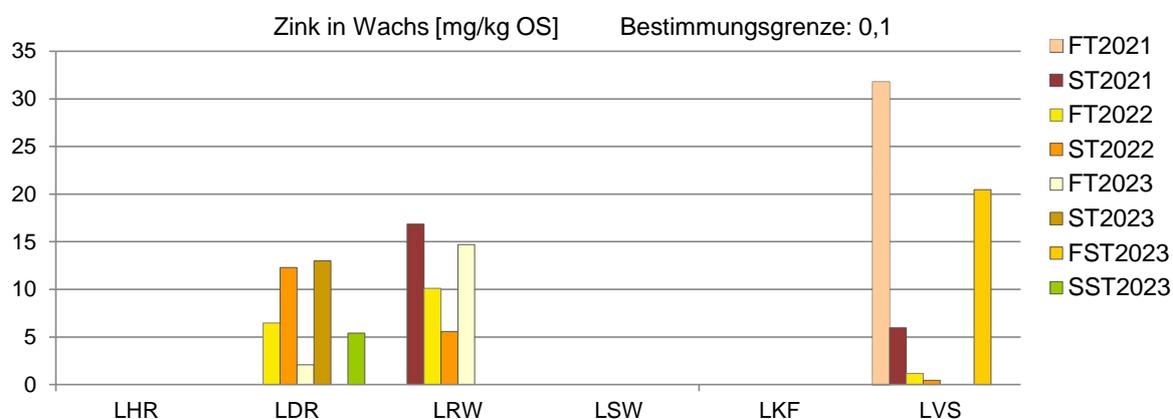


Bild 3.11-7: Zink in Wachs

3.12 PAK in Honig

Die Analysenergebnisse der als wichtigste Schadstoffe („Priority Pollutants“ nach US Umweltbehörde EPA) untersuchten 16 polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffverbindungen sind im Anhang (Kap. 10.1) tabellarisch dargestellt. Nachfolgend sind die Honigergebnisse der PAK-Leitparameter Benzo[a]pyren und PAK4 ab dem Jahr 2011 abgebildet, sowie die Summe 16 PAK ab 2019⁵.

Benzo[a]pyren in Honigen aller Standorte seit 2011 lag unterhalb Bestimmungsgrenze (Bild 3.12-1): <0,10 µg/kg OS (0,10 µg: ein Zehntel Mikrogramm entspricht einem Zehntausendstel Milligramm).

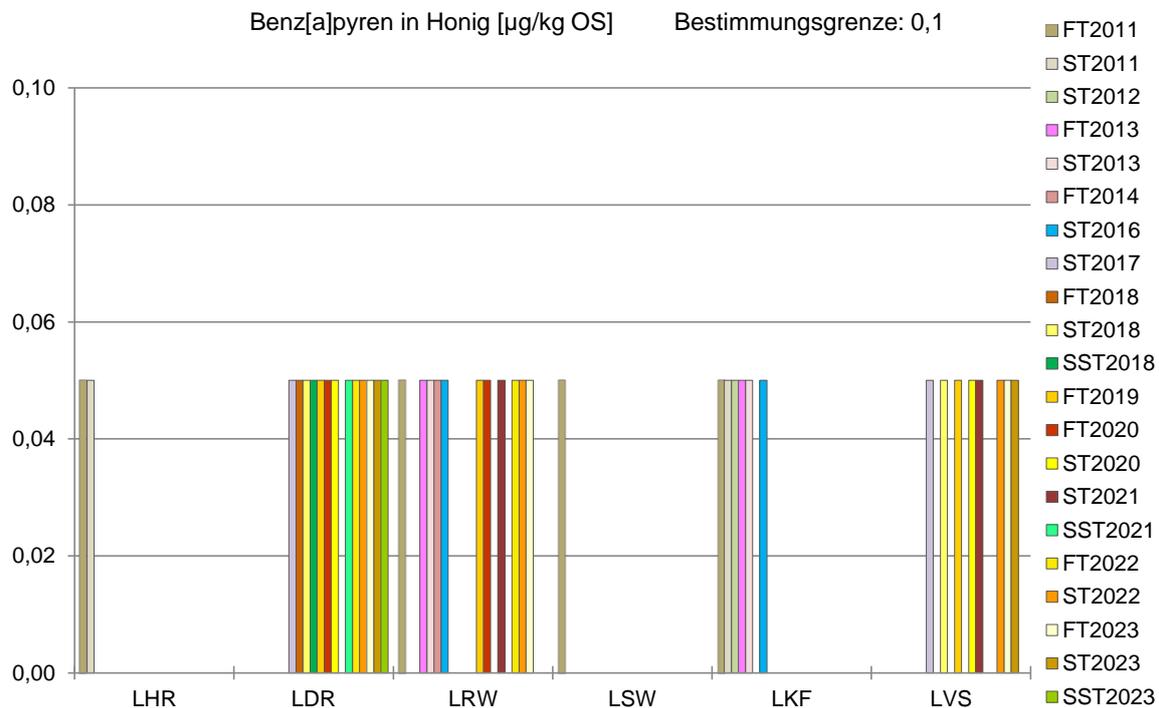


Bild 3.12-1: Benzo[a]pyren in Honig

Für Benzo[a]pyren lag die Bestimmungsgrenze ab 2011 bei 0,10 µg/kg OS, wie für alle PAK-Einzelverbindungen. Alle BaP-Werte lagen unterhalb und sind im Bild oben mit dem halben Wert der BG dargestellt.

⁵ Hintergrund: In den Jahren 2004–2010 war die Bestimmungsgrenze zu unempfindlich (vgl. Kap. 2.4). Ab 2011 wurde mit einer BG von 0,10 µg/kg OS gemessen. In den Jahren 2011 bis 2018 teilte das damals betraute Labor abschnittsweise auffällig niedrige (2012) bzw. hohe Werte (2011 und 2013–2018) für leichter flüchtige PAK-Verbindungen (v.a. für Naphthalin und Fluoren) mit. Aufgrund der Datenlage insgesamt und aufgrund von Vergleichswerten kann ausgeschlossen werden, dass es sich dabei um temporäre PAK-Belastungen im Honig handelt. Die Extremwerte deuten vielmehr auf analytische Faktoren hin. Ähnliches trat 2011–2013 beim Bienenmonitoring der Berliner Flughäfen bei den Analysen von PAK in Honig auf, die damals vom gleichen Labor durchgeführt wurden. Da somit von analytisch bedingten Ausreißern auszugehen ist (im Anhang Kap. 10.1, in den Tabellen mit *blasser Schrift* gekennzeichnet), wurden bis 2018 keine Summen der 16 PAK gebildet.

Das Benzo[a]pyren-Ergebnis entspricht den Ergebnissen an Referenzstandorten des Bienenmonitorings der Berliner Flughäfen (BRS), des Bienenmonitorings im Umfeld des Flughafens Dresden (DGR, seit 2018) und des Referenzgebiets für das Honigmonitoring des Münchner Flughafens (AIC).

Zum orientierenden Vergleich: Der Höchstgehalt für Nahrungsergänzungsmittel aus den Bienenprodukten Propolis und Gelée Royale für Benzo[a]pyren liegt bei 10 µg/kg OS (vgl. Tabelle 2.5-1). Er würde weit unterschritten.

PAK4, die Summen der 4 Verbindungen Benzo[a]pyren, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen, lagen in Honigen aus dem Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle – bis auf eine Ausnahme – unterhalb BG. Sie werden nach VO (EU) 2023/915 mit dem Wert Null in die Summe integriert (exklusive BG). Bei der Ausnahme handelt es sich um Einzelwerte an der Bestimmungsgrenze: Benzo[a]anthracen und Chrysen lagen in der Honigprobe LDR-ST 2018 beide bei 0,11 µg/kg OS (Bild 3.12-2).

Das PAK4-Ergebnis entspricht dem an quellenfernen Referenzstandorten der Vergleichsuntersuchungen an den Berliner Flughäfen (Datenvergleich 2014–2023) und den Flughäfen Dresden (DGR seit 2018) und München (AIC 2018-2022):

- BRS 0 µg/kg OS, DGR 0 µg/kg OS, AIC 0 µg/kg OS.

Der orientierende Vergleich mit dem PAK4-Höchstgehalt 50 µg/kg OS für Nahrungsergänzungsmittel aus den Bienenprodukten Propolis und Gelée Royale zeigt, dass auch der 2018 gemessene Wert sehr niedrig ist (vgl. Tabelle 2.5-1).

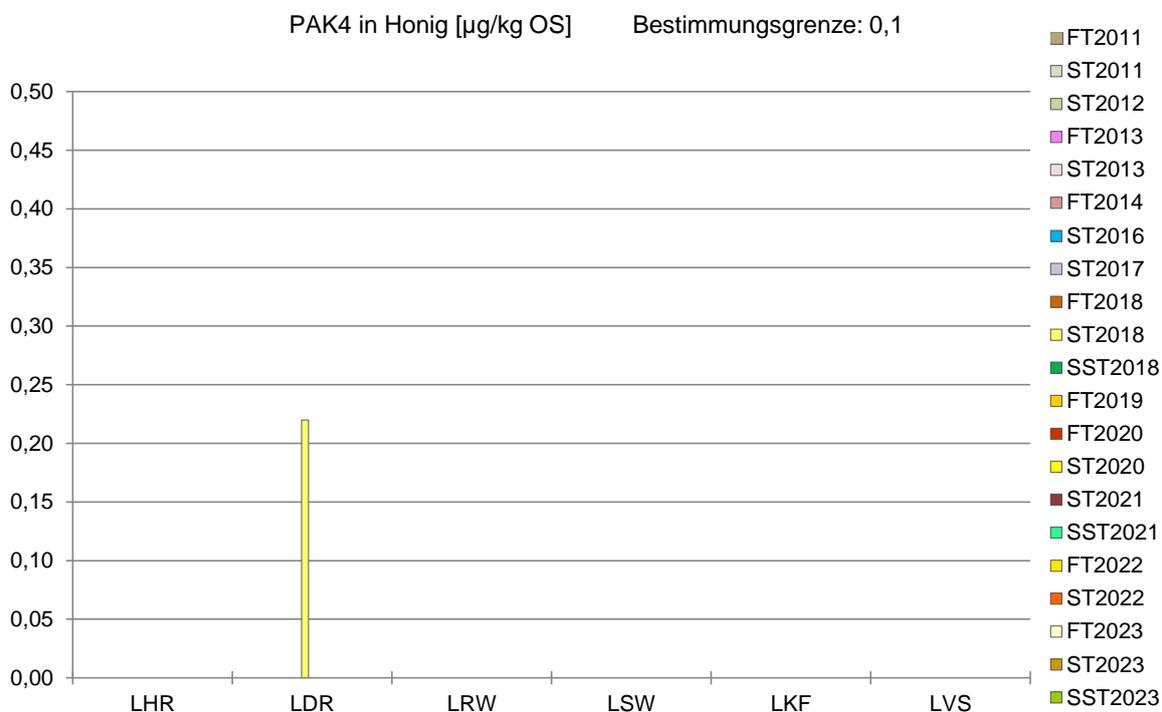


Bild 3.12-2: Summe PAK4 in Honig

Die PAK4 lagen ab 2011 pro Verbindung <0,10 µg/kg OS. Werte unterhalb BG sind in diesem Fall in die Summen PAK4 mit Null integriert (exklusive BG; VO (EU) Nr. 835/2011). Einzige Ausnahme: Benzo[a]anthracen und Chrysen lagen in der Honigprobe LDR-ST 2018 beide bei 0,11 µg/kg OS, ergibt einzigen PAK4-Wert >0.

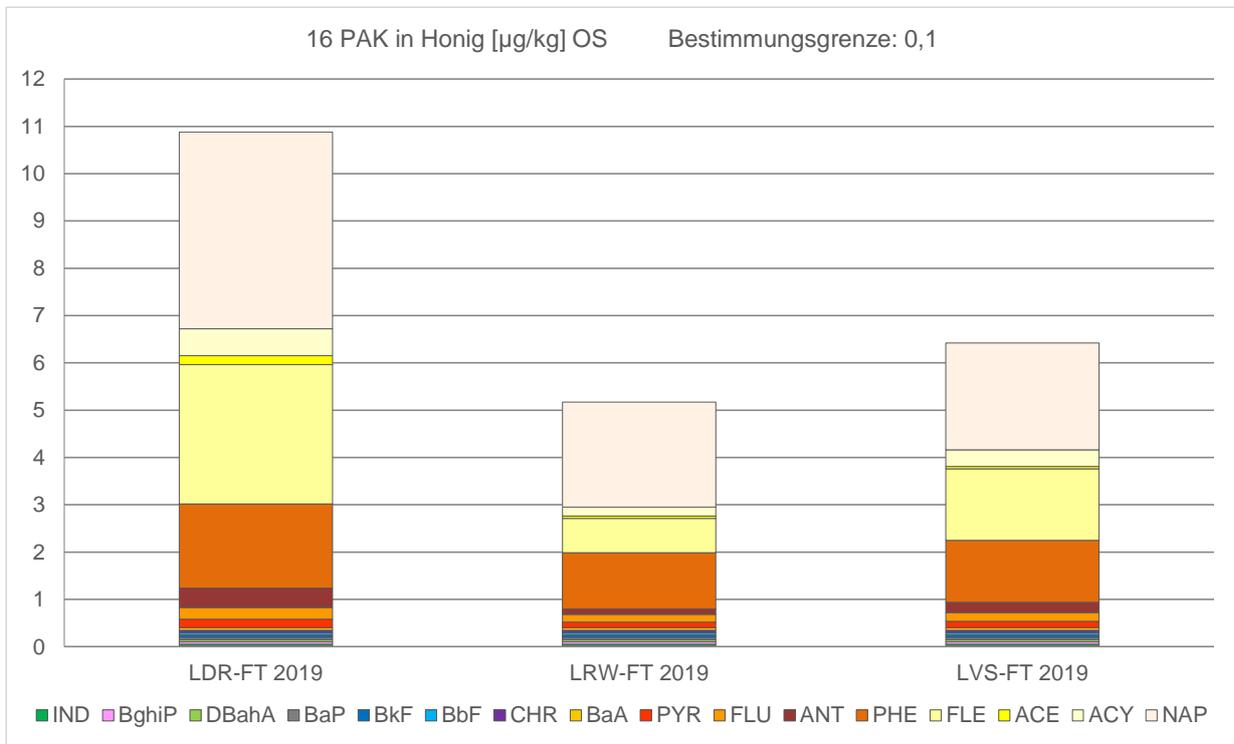


Bild 3.12-3: Summe 16 PAK in Honig 2019

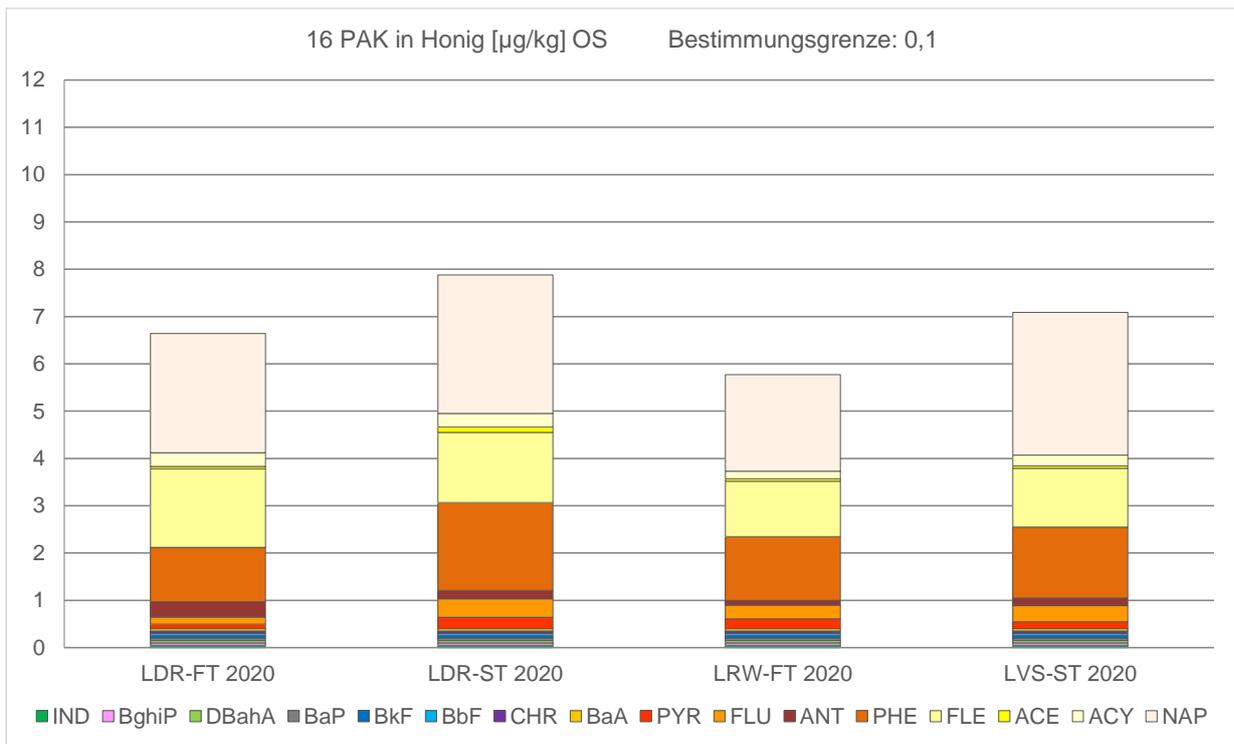


Bild 3.12-4: Summe 16 PAK in Honig 2020

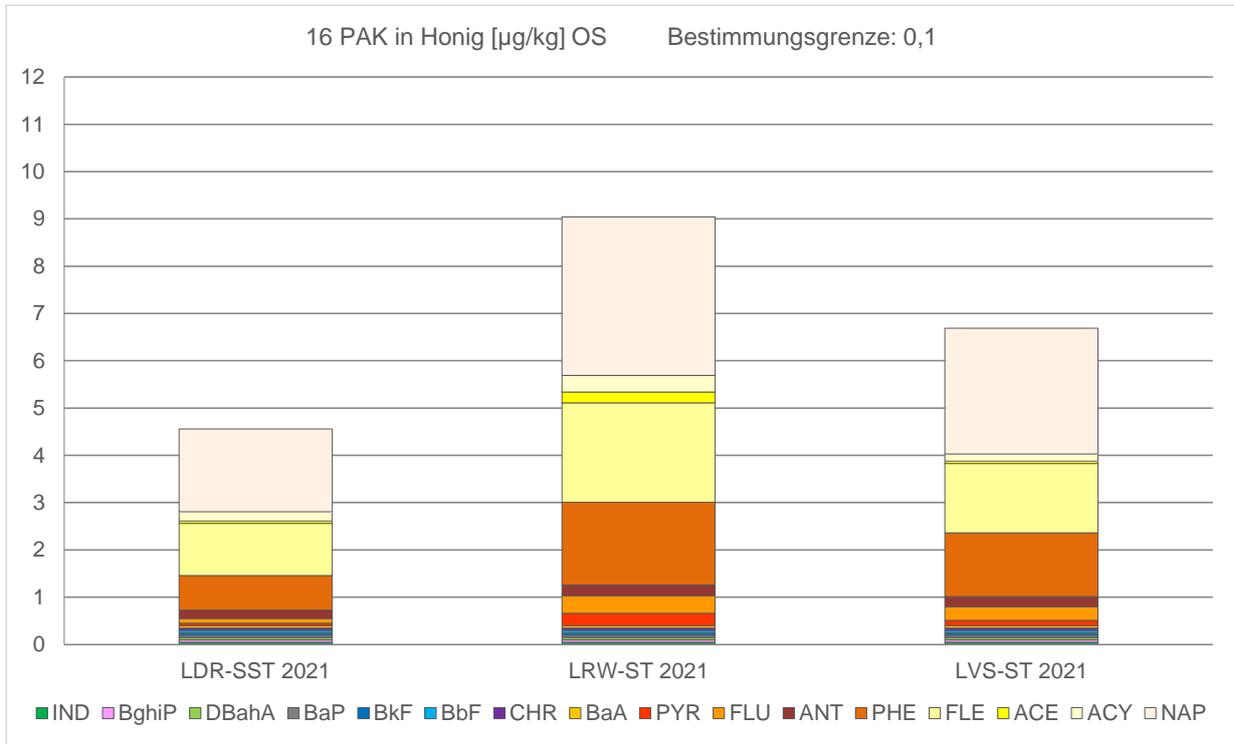


Bild 3.12-5: Summe 16 PAK in Honig 2021

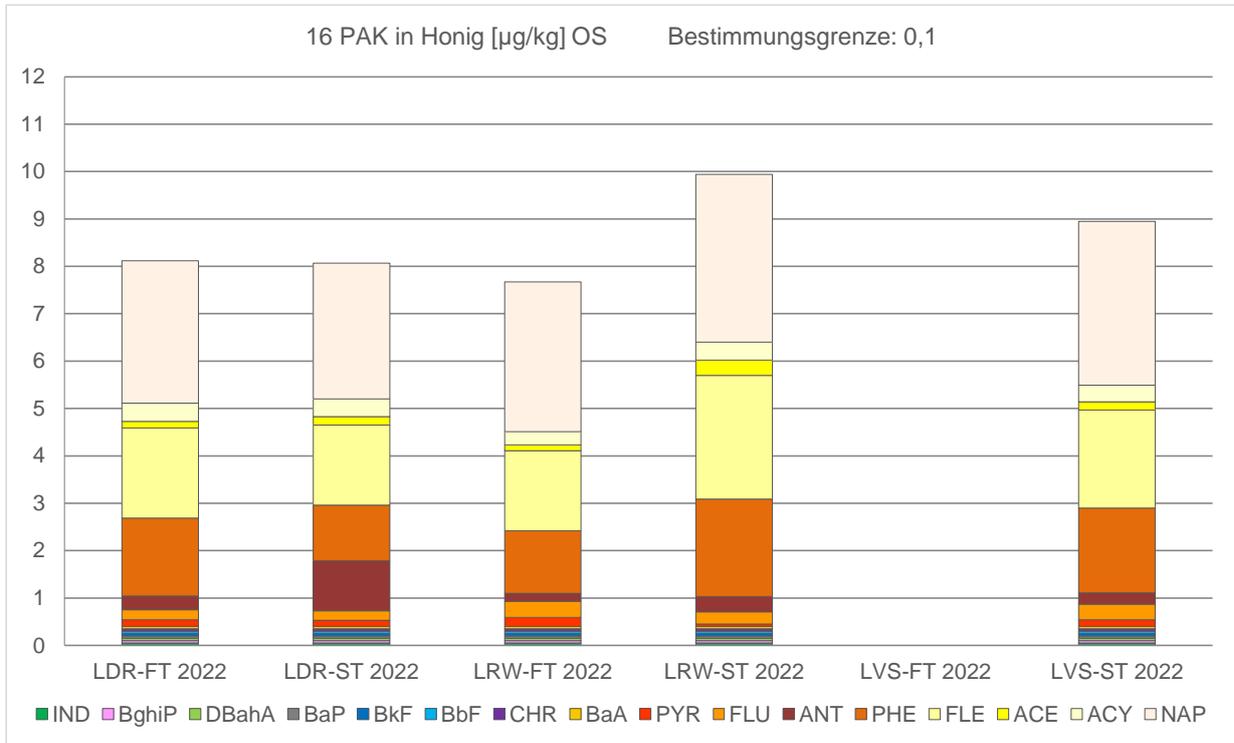


Bild 3.12-6: Summe 16 PAK in Honig 2022

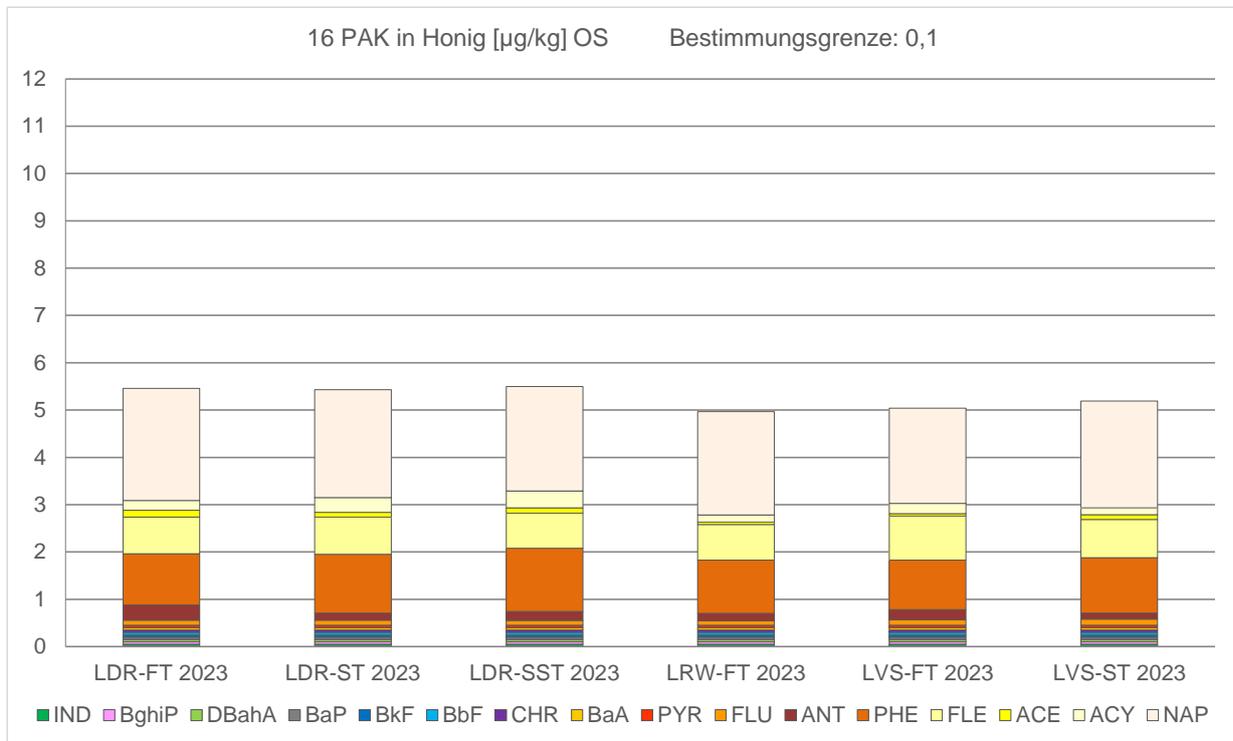


Bild 3.12-7: Summe 16 PAK in Honig 2023

Die Bildung der Summen der 12 schwerer flüchtigen PAK ist nicht möglich, da nur 4 dieser 12 Einzelverbindungen (Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren) oberhalb BG lagen. Die Werte von 8 der 12 der schwerer flüchtigen PAK-Verbindungen lagen sämtlich unterhalb BG (Benzo[a]anthracen, Chrysen, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren Benzo[a]pyren, Indeno[123-cd]pyren, Benzo[ghi]perylen und Dibenzo[ah]anthracen, Anhang Kap. 10.1). Im Jahr 2023 lag auch Pyren als 9. PAK-Verbindung in den Honigen unterhalb BG. Sie gehen mit 50 % der BG in die Summen 16 PAK ein. Die vorangegangenen Grafiken stellen die Gehalte der Einzelverbindungen (Kurzbezeichnungen der 16 PAK IND ... NAP) in Honig aufsummiert zu 16 PAK seit 2019 dar (Bild 3.12-3 bis Bild 3.12-7). Das vergleichsweise leicht flüchtige Naphthalin (NAP) hat einen Anteil von rund 40 % an der Summe 16 PAK. In so niedrigen Bereichen ist ein gewisser Hintergrundwert an NAP kaum vermeidbar. Das sollte berücksichtigt und diese Summenwerte auch ohne NAP verglichen werden. Aber auch dann wird ein systematischer Unterschied zwischen den PAK-Gehalten in den Honigen nicht erkennbar:

Die **Summen der 16 PAK** in den Jahren **2019–2023** lagen in Honigen aus dem Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle zwischen $4,6 \mu\text{g}/\text{kg}$ OS und $10,8 \mu\text{g}/\text{kg}$ OS. Mit $10,8 \mu\text{g}/\text{kg}$ OS wurde das Maximum 2019 am Referenzstandort LDR gemessen und mit $4,6 \mu\text{g}/\text{kg}$ OS das bisherige Minimum auch an diesem Standort in Spättrachthonig 2021. Das dortige Maximum ist eher niedrig, wie der Vergleich mit aktuellen Ergebnissen der Referenzstandorte aus den Vergleichsgebieten zeigt:

- BRS $7,2\text{--}33 \mu\text{g}/\text{kg}$ OS, DGR (seit 2018) $5,3\text{--}8,0 \mu\text{g}/\text{kg}$ OS, AIC $3,8\text{--}14 \mu\text{g}/\text{kg}$ OS (2018-2022).

Beurteilungswerte für die Summe der 16 PAK sind nicht festgelegt.

3.13 PAK in Wachs

Nachfolgend sind die Wachsergebnisse der PAK-Leitparameter Benzo[a]pyren und PAK4 sowie die Summe 16 PAK grafisch dargestellt und die Einzelergebnisse tabellarisch im Anhang (Kap. 10.2):

- von den aus dem Jahr 2021 vorliegenden Wachsproben von Honigwaben der Sommertracht vom Standort LRW und von Drohnenwaben der Früh- und Sommertracht vom Standort LVS,
- von Wildbau-Wachsproben der Früh- und Sommertracht aller drei aktuellen Standorte LDR, LRW und LVS aus dem Jahr 2022,
- von Wildbau-Wachsproben der Früh-, Sommer- und Spättracht an LDR, Frühtracht an LRW sowie Gesamttracht (FST) an LVS aus 2023.

Benzo[a]pyren (BaP) lag in den unterschiedlichen Wachsproben vom Standort LVS wie in denen vom Referenzstandort LDR bei rund 0,2 µg/kg OS – nur LDR-ST2023 höher mit 0,45 µg/kg OS OS (Bild 3.13-1). Am Standort LRW zeigten sich hingegen sehr inhomogene BaP-Gehalte in den Wachsproben: in der Honigwabenprobe 2021 und Wildwachs 2022 die beiden Maxima mit 0,84 und 0,66 µg/kg OS, in Wildwachs der Frühtracht 2023 das Minimum mit 0,10 µg/kg OS.

Auch die beiden im Standortvergleich höheren Werte liegen im Bereich quellenferner Referenzstandorte anderer Bienenmonitorings⁶: <0,10–0,88 µg/kg OS an BRS der Berliner Flughäfen (2014–2023) und <0,10–0,15 µg/kg OS an AIC des Flughafens München (2018–2022).

Der Höchstgehalt für Nahrungsergänzungsmittel aus den Bienenprodukten Propolis und Gelée Royale für Benzo[a]pyren, der orientierend herangezogen werden kann, würde deutlich unterschritten: 10 µg/kg OS (Verordnung (EU) 2023/915; vgl. Tabelle 2.5-1).

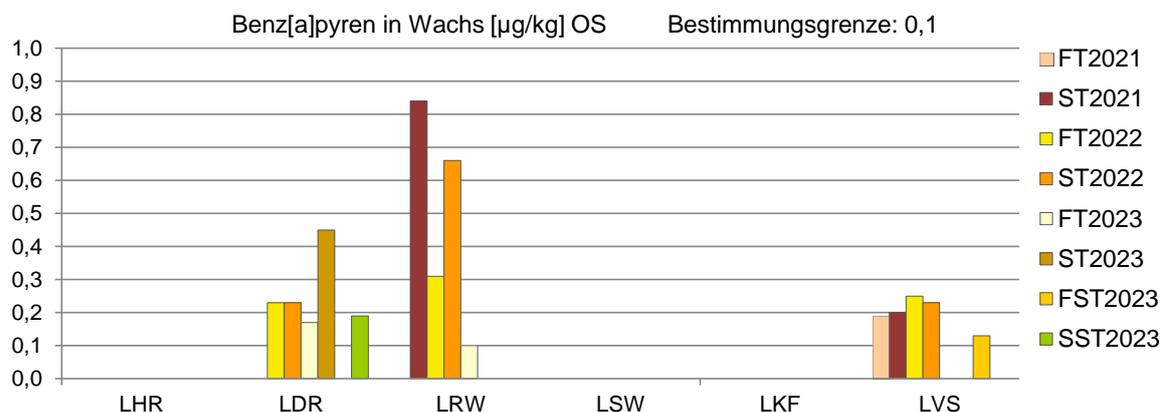


Bild 3.13-1: Benzo[a]pyren in Wachs

PAK4, die Summen von Benzo[a]pyren, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen, lagen in den Wachsproben vom Standort LVS in einem sehr engen Bereich von 1,2–2,1 µg/kg OS und in den Wachsproben vom Referenzstandort LDR ebenfalls in einem engen Bereich von 1,5–3,4 µg/kg OS (Bild 3.13-2). Am Standort LRW lagen die PAK4 in den beiden Frühtrachtproben 2022 und 2023 ähnlich niedrig

⁶ Der Referenzstandort DGR des Flughafens Dresden wird für den Vergleich der PAK-Gehalte in Wachsproben nicht herangezogen, da die Wachsproben aufgrund besonderer Expositionsbedingungen höhere PAK-Gehalte aufwiesen.

bei 2,8 µg/kg OS und 1,2 µg/kg OS, aber in den beiden Sommertrachtproben 2021 und 2022 mit 6,4 µg/kg OS und 5,1 µg/kg OS höher.

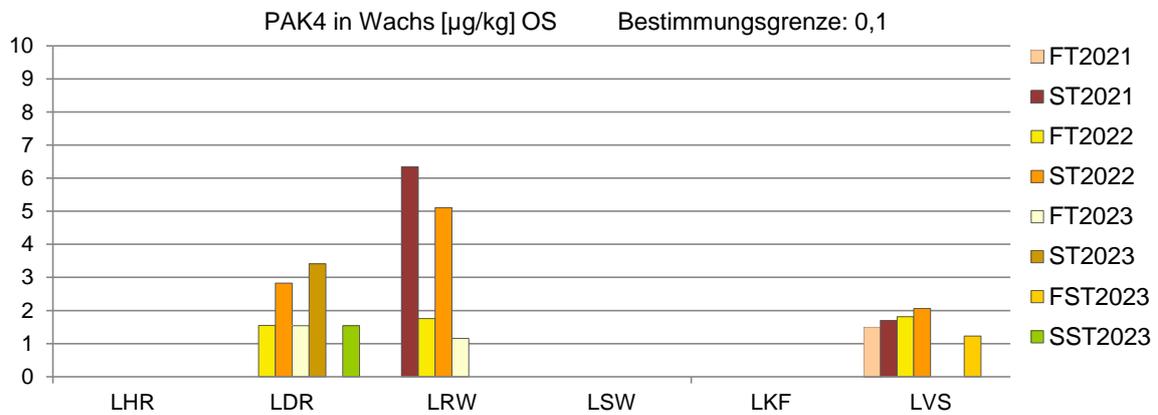


Bild 3.13-2: Summe PAK4 in Wachs

Die PAK4-Ergebnisse in Wachsproben aus dem Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle liegen im Bereich der Referenzstandorte BRS der Berliner Flughäfen mit 1,0–4,4 µg/kg OS und AIC des Flughafens München mit 0,44–1,7 µg/kg OS.

Der orientierende Vergleich mit dem PAK4-Höchstgehalt 50 µg/kg OS für Nahrungsergänzungsmittel aus den Bienenprodukten Kittharz und Gelée Royale zeigt, dass alle gemessenen Werte niedrig sind (vgl. Tabelle 2.5-1).

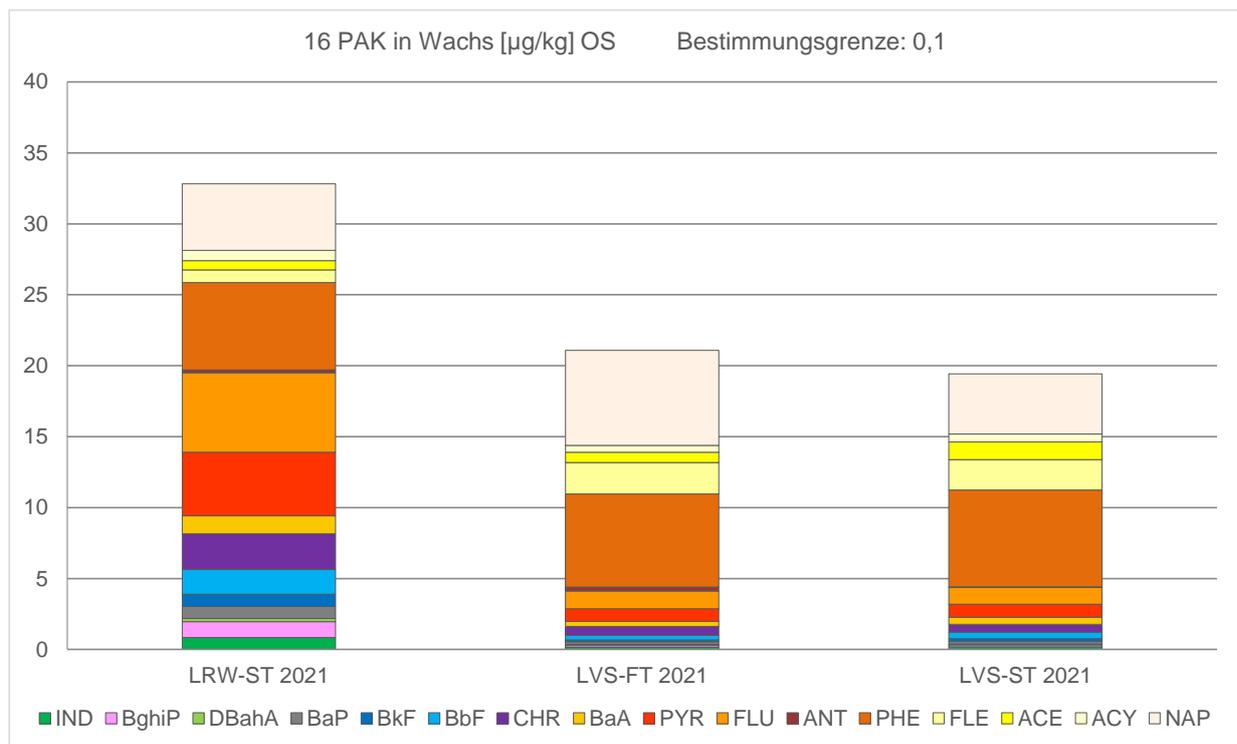


Bild 3.13-3: Summe 16 PAK in Wachs 2021

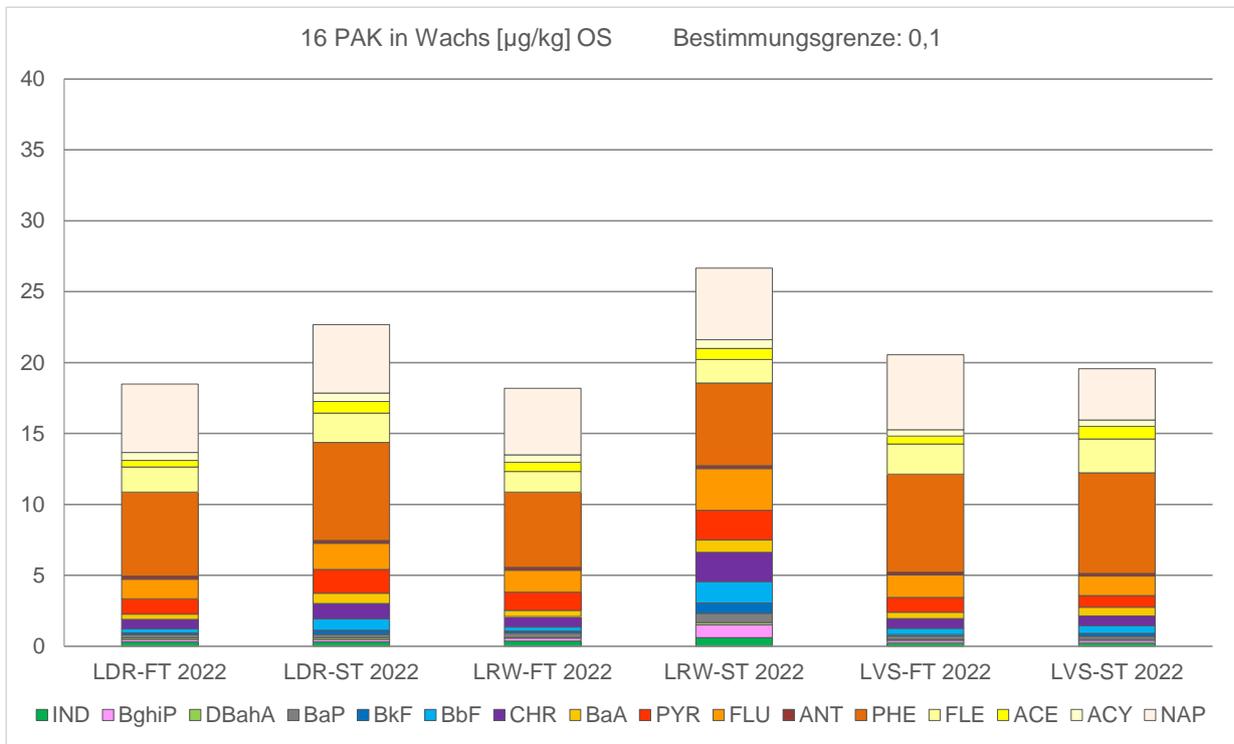


Bild 3.13-4: Summe 16 PAK in Wachs 2022

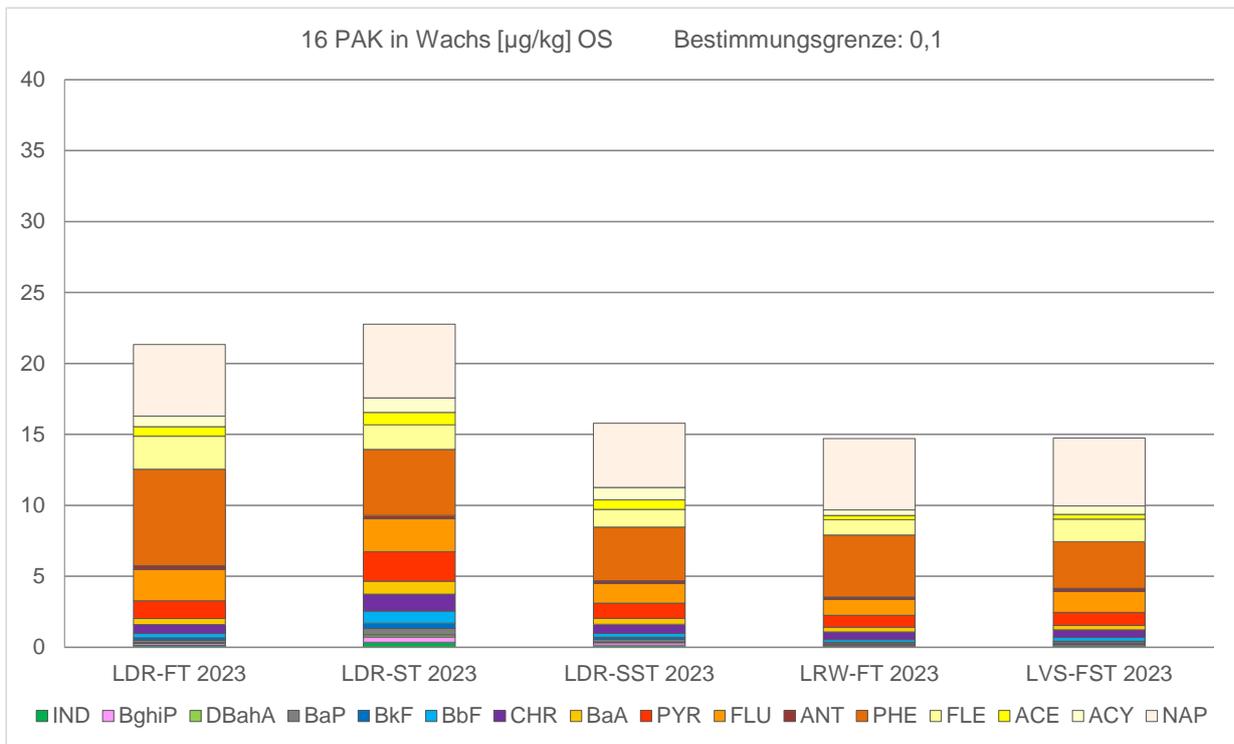


Bild 3.13-5: Summe 16 PAK in Wachs 2023

Die **Summen der 16 PAK**⁷ in den Sommertracht-Wachsproben des Standorts LRW 2021 und 2022 mit 33 und 27 µg/kg OS unterscheiden sich nicht so deutlich von der dortigen Frühtrachtprobe 2022 und den Wachsproben der Standorte LDR und LVS, wie dies für BaP und für PAK4 der Fall ist (Bild 3.13-3 bis Bild 3.13-5 auf den vorangegangenen Seiten). Am Referenzstandort LDR des Flughafens Leipzig/Halle betragen die Summen der 16 PAK seit 2021 in den Wachsproben 16-23 µg/kg OS, gut übereinstimmend mit denen des Standorts LVS mit 15–21 µg/kg OS. Unter Berücksichtigung der anzusetzenden Messunsicherheit u von 20 % für 16 PAK unterscheiden sich die Ergebnisse vom Standort LRW davon nicht: 15-33 µg/kg OS.

Die PAK-Muster in den Wachsproben zeigen keine relevanten Unterschiede (Bild 3.13-3 bis Bild 3.13-5).

Der Vergleich von Honigwaben-Wachsproben, die an Referenzstandorten analysiert wurden, zeigt, dass diese PAK-Summenwerte teilweise einen relativ weiten Bereich einnehmen, in deren unteren Bereich die 16-PAK-Gehalte in den Wachsproben aus dem Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle seit 2021 liegen:

- BRS (2014–2023) 23–116 µg/kg OS,
- AIC (2018–2022) 15–20 µg/kg OS.

⁷ Das vergleichsweise leicht flüchtige Naphthalin (NAP) nimmt in den Wachsproben einen Anteil von rund 25 % an der Summe 16 PAK ein.

3.14 BTEX in Honig

Die BTEX, 11 flüchtige aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen, wurden bis 2018 untersucht.

Die BTEX-Werte in Honig lagen 2009–2018 unterhalb der Bestimmungsgrenze von 10 µg/kg OS.

Benzol wird wie die anderen zehn flüchtigen Verbindungen dieser Stoffgruppe vor allem über die Atemluft aufgenommen. In aktuellen Bienenmonitorings werden diese Stoffe aufgrund ihrer mangelnden Anreicherungsfähigkeit nicht mehr untersucht (vgl. Kap. 2.3.3 bis 2.5). Das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) hat in „Berichte zur Lebensmittelsicherheit 2011“ (BVL 2013; aktuell: BVL 2023) Untersuchungen zu Benzol als Leitparameter der BTEX in Getränken veröffentlicht. Der „Umweltschadstoff [Benzol wirkt krebserregend] kann aber auch als Verunreinigung in Trinkwasser und Lebensmitteln vorkommen“, so das BVL. Dabei kann Benzol aus dem Konservierungsstoff Benzoesäure z. B. in Getränken freigesetzt werden, sich also darin neu bilden (im Gegensatz zu einer Anreicherung über die Nahrungskette). Aus den vom BVL untersuchten 165 Karottensäften für Säuglinge und Kleinkinder wurde ein mittlerer Benzolgehalt von 1,8 µg/L ermittelt und 7,0 µg/L als höchster Wert (BVL 2013). Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) für Benzol beträgt 1 µg/L (entspricht 1 µg/kg). Dabei handelt es sich um Getränke, nicht Lebensmittel, die in anderen Mengen und auf unterschiedliche Weise vom Menschen aufgenommen werden, als z. B. das Lebensmittel Honig.

Vor diesem Hintergrund lag – erwartungsgemäß – keine Belastung des Honigs mit den 11 BTEX vor.

4 Zusammenfassende Bewertung

Vitale Bienenvölker

Die sondierenden Vitalitätsuntersuchungen seit 2019 zeigten teilweise unterschiedliche Ergebnisse für die beiden flughafennahen Standorte LVS und LRW: Während die Stärke und Entwicklung der Bienenvölker und die Honigmenge am Standort LVS Papitz durchschnittlich bis sehr gut waren, fielen diese Parameter am Standort LRW Röglitz 2019 und 2020 durchschnittlich bis eher schlecht aus, seit 2021 aber gut. Größere Unterschiede zwischen Standorten hinsichtlich Volksstärken und Honigmengen wurden auch in anderen Bienenmonitorings beobachtet, werden u.a. vom Trachtangebot beeinflusst und traten unabhängig von der Nähe zu Flughäfen auf (Wäber und Pompe 2023, 2023a und 2023 in Publikation).

Metalle in Honig im niedrigen Bereich von Standorten abseits Flughäfen

Antimon (Sb) seit 2019 sowie Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg), und Zink (Zn) seit 2009 wurden untersucht.

Nur Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink waren analytisch auffindbar. Cadmium, Blei und Chrom lagen nur in wenigen Fällen oberhalb der Bestimmungsgrenzen. Kupfer und Nickel zeigten 2009 bis 2010 höhere Werte. Ab 2011 lag Nickel unterhalb oder nahe der Bestimmungsgrenze. Die Gehalte des Spurenelements Zink lagen in einem Bereich von 0,14–3,4 mg/kg OS.

Unterschiede im Verlauf der Jahre waren stärker ausgeprägt als etwaige Standortunterschiede. Die Ursachen für höhere Metallergebnisse bis 2010 sind unbekannt.

Die Rückstände der Metalle in Honig waren insgesamt niedrig. Auch die vergleichsweise höheren Werte 2009–2010 sind als sehr niedrig zu werten (vgl. Kap. 3.10). Sie lagen im Bereich der Ergebnisse der Referenzstandorte abseits Flughäfen und unterschritten gültige Höchstgehalte und Beurteilungswerte.

Standortabstufungen ergaben sich nicht.

Metalle in Wachs ebenfalls niedrig

In Honigwabenwachs der Sommertracht vom Standort LRW (LRW-ST) und in Drohnenwaben-Naturwachs der Früh- und Sommertracht vom Standort LVS (LVS-FT und LVS-ST) wurden im Jahr 2021 ebenfalls die neun Metalle untersucht. Ab 2022 wurden die Untersuchungen von Wildwachsproben der Früh- und Sommertracht der drei Standorte LDR, LRW und LVS auf die Metalle fortgesetzt.

Die Gehalte von Antimon und Quecksilber in den Wachsproben der Flughafenstandorte Leipzig/Halle mit Referenzstandort LDR lagen unterhalb der aktuell sehr empfindlichen Bestimmungsgrenzen, genauso wie an Referenzstandorten anderer Bienenmonitorings. Arsen lag nur in 5 von 14 Fällen oberhalb der Bestimmungsgrenze, nahe an dieser. Im Standortvergleich tendenziell oder deutlich höhere Arsen-, Blei-, Cadmium-, Kupfer-, Nickel- und Zinkgehalte in LRW-Honigwabenwachs der Sommertracht 2021 könnten mit der enthaltenen Mittelwand und deren Befestigung mittels Drähten (Nickel, Kupfer, Zink) in Zusammenhang stehen. Die Honigwabe wird, anders als Wildwachs, von den Bienen nur zu 50 % selbst aufgebaut, auf eine Mittelwand aus eigenem, recycelten Wachskreislauf des Imkers. Im Standortvergleich maximale – wenn auch in der Höhe insgesamt unauffällige – Cadmium-, Nickel- und Zinkgehalte in LVS-Drohnenwabenwachs der Frühtracht 2021 könnten von Einlagerungen beeinflusst sein (vgl. Kap. 2.2: die Drohnenwabe der Frühtracht enthielt wie der dortigen Sommertracht 2021 Drohnenbrut und Honigreste, die so weit möglich vor Analyse entfernt wurden). In der Drohnenwaben-Wachsprobe LVS der Sommertracht 2021 lagen allerdings die Gehalte von Arsen, Blei und Chrom unterhalb der Bestimmungsgrenzen.

Wie auch in anderen Bienenmonitorings variierten die Gehalte der Metalle in den Wachsproben relativ stark. Die Ursachen für im Standortvergleich relativ höhere Einzelwerte sind unbekannt.

Insgesamt sind alle Metallgehalte in den Wachsproben als niedrig zu werten.

Honig von organischen Stoffgruppen unbelastet wie an Standorten abseits Flughäfen

Von den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen wurden die Leitparameter Benzo[a]pyren und PAK4, für die Lebensmittel-Beurteilungswerte orientierend herangezogen werden können, analytikbedingt ab 2011 bewertet und die Summen aller 16 untersuchten PAK ab 2019 (vgl. Kap. 3.12):

Die analytische Bestimmungsgrenze betrug 0,10 µg/kg – 0,10 Mikrogramm entspricht einem Zehntausendstel Milligramm. In den Honigen waren vorwiegend die leichter flüchtigen PAK-Verbindungen auffindbar, PAK4 – bis auf eine Ausnahme an der Bestimmungsgrenze – und Benzo[a]pyren überhaupt nicht. Benzo[a]pyren und PAK4 lagen damit weit unter Beurteilungswerten.

Standortabstufungen ergaben sich bei den niedrigen Gehalten der 16 PAK in Honig – 4,6 µg/kg OS bis 11 µg/kg OS – nicht (vgl. Kap. 3.12):

Fazit: Die PAK lagen auf niedrigem Hintergrundniveau von Referenzstandorten.

Die bis 2018 untersuchten 11 flüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffe BTEX lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 10 µg/kg OS. Von einer Belastung des Honigs ist nicht auszugehen.

PAK in Wachs weit unter orientierendem Beurteilungswert

In den Wachsproben waren, mit wenigen Ausnahmen, alle 16 PAK-Verbindungen auffindbar. Unterhalb Bestimmungsgrenze 0,10 µg/kg OS lagen nur Anthracen in LVS-ST 2021, Benzo[k]fluoranthren in LRW-FT2023 und LVS-FST2023, Indeno[123-cd]pyren in LRW-FT2023 sowie Dibenzo[ah]anthracen in LRW-FT2022, LVS-FT2022, LVS-ST2022 und allen Wachsproben 2023 außer LDR-ST2023.

Benzo[a]pyren (BaP) lag in den Sommertracht-Wachsproben vom Standort LRW mit 0,66–0,84 µg/kg OS höher als in den übrigen Wachsproben dieses Bienenmonitorings – 0,10–0,25 µg/kg OS, nur LDR-ST2023: 0,45 µg/kg OS (Kap. 3.13). Die PAK4 zeigten eine ähnliche Abstufung und lagen bei 1,2 µg/kg OS bis rund 6 µg/kg OS. Sie lagen damit innerhalb der Wertespanne der Berliner und Münchner Bienenmonitorings.

Die Summen der 16 PAK lagen bei 15–23 µg/kg OS und in den Sommertrachtproben vom Standort LRW 2021 bei 33 µg/kg OS (Honigwabe) und 2022 bei 27 µg/kg OS (Honigwabe). Auch das liegt eher im unteren Bereich der Wertespannen der Referenzstandorte anderer Bienenmonitorings.

Insgesamt lagen alle BaP- und PAK4-Werte – vom Flughafen Leipzig/Halle und den Referenzstandorten in anderen betrachteten Monitorings – weit unter den orientierend herangezogenen Beurteilungswerten.

Keine deutlichen Unterschiede durch das pandemiebedingt geänderte Flugaufkommen

Als Auswirkung der Corona-Pandemie war das Flugverkehrsaufkommen am Flughafen Leipzig/Halle im Mai, Juni und Juli 2020 im Vergleich zum Vorjahr zurückgegangen: im Mai und Juni um rund ein Drittel, im Juli um ein Viertel. Dieser Rückgang war aufgrund des hohen Frachtverkehrsanteils am Flughafen Leipzig/Halle weit geringer als an anderen deutschen Verkehrsflughäfen. Im Gesamtjahr 2021 wurde fast wieder das Flugverkehrsaufkommen des Vor-Coronajahres 2019 erreicht (-4 %), im Gesamtjahr 2022 und 2023 leicht übertroffen (rund +2 %; Datenquelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH).

Unterschiedliche Stoffgehalte in Honigen 2020 wurden gegenüber 2019 und ab 2022 nicht deutlich: Die Metall-Gehalte in Airport-Honigen waren mit der Spannweite des Vorjahres und der Jahre ab 2021 vergleichbar. Die Schwankungen der PAK-Gehalte zwischen den Standorten und zwischen den Jahren 2019 und 2020 lagen in der Größenordnung der typischen Messunsicherheit, die etwa $\pm 20\%$ bis $\pm 35\%$ beträgt. Zum Vergleich: Am Flughafen Bremen zeigte das dortige Honigmonitoring 2020 ebenfalls keine auffälligen Veränderungen zum Vorjahr (Wäber 2020), ebenso verhält es sich an den Flughäfen München (Wäber und Pompe 2023) und Dresden (Wäber und Pompe 2022c und 2023a) – trotz dort z. T. drastischer Rückgänge des Flugverkehrsaufkommens. Mit dem Anstieg des jährlichen Flugverkehrsaufkommens am Flughafen Leipzig/Halle von 2020 mit rund 64.500 Flugbewegungen bis 2022 auf rund 80.900 wurde kein Anstieg der Metall- und PAK-Gehalte in den Bienenprodukten Honig und Wachs erkennbar.

Damit bestätigt sich die Aussage, dass ein relevanter Einfluss des Flughafenbetriebs auf Honig aus dem Umfeld des Flughafens nicht feststellbar ist. Andernfalls wären aus den Veränderungen des Flugverkehrsaufkommens resultierend, entsprechende Änderungen der Stoffgehalte zu erwarten gewesen.

Fazit und Ausblick

Das Bienenmonitoring des Flughafens Leipzig/Halle wird seit 2009 durchgeführt und das Konzept fortlaufend optimiert. Der von den Flughafenbienen produzierte Honig (vgl. Titelbild) ist von Schadstoffen aus dem Flughafenbetrieb unbelastet. Das Bienenmonitoring hat sich als valide Untersuchung eines im Umfeld produzierten Lebensmittels etabliert. Es zeichnet sich zudem durch seine große Multiplikatorwirkung aus und bietet Anknüpfungspunkte zu Naturschutz- und Luftreinhaltungsaktivitäten des Flughafens (Quelle im Internet: <https://www.mdf-ag.com/unternehmen/umwelt/naturschutz/>):

- Schaffung ökologischer Ausgleichflächen für die Biodiversität;
- Pflege der Grünflächen auf dem Betriebsgelände ohne Dünger und Pestizide;
- Biomonitoring mit Pflanzen, um Quellen von Luftverunreinigungen und deren Reichweite zu differenzieren und Gefährdungen von Schutzgütern auszuschließen:
-> Biomonitoring mit Weidelgras -> Auswertung "Biomonitoring von Luftverunreinigungen mit standardisierten Graskulturen im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 und 2022" (Quelle im Internet: https://www.mdf-ag.com/media/user_upload/Leipzig_Halle/Bilder/Umwelt/FLH2022_Bio-mon-Bericht_UMW20230411.pdf).

Das Bienenmonitoring als seit 2009 bestehende Rückstandsuntersuchung des Lebensmittels Honig wird auch im Jahr 2024 fortgeführt werden: Um lückenlos eventuelle Anreicherungen aufspüren zu können, soll die Produktionskette von der Vitalität der Bienen über Schadstoffgehalte von Blütenpollen und Bienenwachs aus Wildbau (Naturbau) bis hin zum Honig untersucht werden.

5 Abkürzungen

ACE	Acenaphthen
ACY	Acenaphtylen
ADV	Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen
AIC	Bienenvölker-Referenzstandorte Aichach, Bienenmonitoring Flughafen München
aMW	arithmetischer Mittelwert (auch: MW)
ANT	Anthracen
As	Arsen
BaA	Benzo[a]anthracen
BaP	Benzo[a]pyren
BbF	Benzo[b]fluoranthen
BkF	Benzo[k]fluoranthen
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung (ehemals BgVV)
BG	analytische Bestimmungsgrenze
BghiP	Benzo[ghi]perylen
BgVV	Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin
BRS	Bienenvölker-Referenzstandort Schorfheide, Bienenmonitoring Berliner Flughäfen
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
Cd	Cadmium
CHR	Chrysen
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
DbahA	Dibenzo[ah]anthracen
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
DGR	Bienenvölker-Referenzstandort, Bienenmonitoring Flughafen Dresden
DIN	Deutsches Institut für Normung
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority)
EPA	US Umweltbehörde (US Environmental Protection Agency)
EU	Europäische Union (vormals E(W)G: Europäische (Wirtschafts-)Gemeinschaft)
FBB	Flughafen Berlin Brandenburg GmbH
FLE	Fluoren
FLHG	Flughafen Leipzig/Halle GmbH
FLU	Fluoranthen
FMG	Flughafen München GmbH
GC-MS	Gaschromatographie mit Massenspektrometer
GPC	Gelpermeationschromatographie
Hg	Quecksilber

HPLC	Hochdruckflüssigkeitschromatographie mit Fluoreszenzdetektor
HRGC	hochauflösende Gaschromatographie
HRMS	hochauflösende Massenspektrometrie
ICP-MS	Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma
IND	Indeno[123-cd]pyren
L	Liter
LB	Lower Bound: arithmetischer Mittelwert exklusive Werten <BG (<BG als „0“)
LDR	Flughafen Leipzig/Halle Bienenstandort Referenz Döllnitz
LHR	Flughafen Leipzig/Halle Bienenstandort Referenz Hohenweiden
LKF	Flughafen Leipzig/Halle Bienenstandort Kursdorf
LRW	Flughafen Leipzig/Halle Bienenstandort Röglitz
LSW	Flughafen Leipzig/Halle Bienenstandort Schkeuditz West
LVS	Flughafen Leipzig/Halle Bienenstandort Papitz (Schkeuditz)
MS	Massenspektrometrie
MSD	massenselektive Detektion
MUC	Flughafen München
NAP	Naphthalin
Ni	Nickel
ÖBMG	Bundesministerium für Gesundheit, Österreich
OS	Originalsubstanz
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PAK4	Summe der vier PAK BaP, BaA, BbF, CHR (VO (EU) Nr. 835/2011)
Pb	Blei
PHE	Phenanthren
PYR	Pyren
Sb	Antimon
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
UB	Upper Bound: arithmetischer Mittelwert inklusive Werten „<BG“ als „=BG“
UBA	Umweltbundesamt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
VO (oder V)	Verordnung
Zn	Zink
µg	Mikrogramm (ein Tausendstel Milligramm mg)

6 Glossar

Aktionswerte:

nach österreichischem Recht erlassene, höchst vorsorgliche Werte, bei deren Überschreitung die Ursachen zu prüfen und Maßnahmen zur Einhaltung durchzuführen sind (ÖBMG 2015); die Aktionswerte für Honig gelten nicht in Deutschland

Ausreißer:

Messwert aus einer Grundgesamtheit, der sich deutlich (signifikant) von der Verteilung der übrigen Messwerte unterscheidet (potenziell verursacht durch z. B. singuläre, nicht repräsentative Immissionseinflüsse, Artefakte oder Übertragungsfehler)

Beurteilungswerte:

Bewertungsmaßstäbe, die zur Beurteilung der Stoffgehalte herangezogen werden, z. B. -> Höchstgehalte

Biomonitoring:

Nutzung biologischer Systeme (Organismen oder Organismengemeinschaften) zur räumlichen und zeitlichen Überwachung von Umweltveränderungen (VDI 3957/1 2020)

Depositionen:

Luftverunreinigungen werden in die Umwelt eingetragen, wo sie sich anreichern und wirken können.

Emittenten:

Quellen von Luftverunreinigungen (industrielle Anlagen, Verkehr, Landwirtschaft, Hausfeuerungsanlagen etc.)

Emissionen:

Luftverunreinigungen werden von -> Emittenten in die Umgebungsluft abgegeben.

Höchstgehalte:

Nach VO (EU) 2023/915: „Lebensmittel, die Kontaminanten in einer über die Höchstgehalte hinausgehenden Menge enthalten, sollten für einen wirksamen Schutz der öffentlichen Gesundheit nicht nur nicht in Verkehr gebracht werden, sondern auch nicht als Zutat in Lebensmitteln verwendet oder mit anderen Lebensmitteln vermischt werden“. Als Kontaminant gilt dabei jeder Stoff, der dem Lebensmittel nicht absichtlich hinzugefügt wird, aber als Rückstand z. B. der Gewinnung, Fertigung oder als Verunreinigung durch die Umwelt im Lebensmittel vorhanden ist.

Immissionen:

Einwirkung von Stoffen – hier Luftverunreinigungen – auf die Umwelt

Immissionswirkungen:

Durch luftgetragene Stoffe verursachte Wirkungen, d. h. Reaktionen von Organismen, Teilen von Organismen oder von Organismengemeinschaften (Biozönosen) auf stoffliche und physikalische Umwelteinflüsse sowie deren Veränderung in ihrer chemischen Zusammensetzung (Akkumulation) (VDI 3957/1 2020)

Kontaminant:

jeder Stoff, der einem Futter- oder Lebensmittel unbeabsichtigt hinzugefügt wird, aber als Rückstand z. B. bei der Gewinnung, Fertigung, oder als Verunreinigung durch die Umwelt darin vorhanden ist.

Originalsubstanz - OS:

Bezugsgröße für Konzentrationsangaben von Stoffgehalten, z. B. in Honig als Lebensmittel

Referenzstandorte:

Vergleichsstandorte außerhalb des -> Emittenteneinflusses, die z. B. die typische Hintergrundsituation repräsentieren

Rückstände in Lebensmitteln:

Gehalte von Stoffen, die aus der Umwelt in Lebensmittel gelangen

Trachten:

Trachtpflanzen sind die Pflanzen, die als Nahrungsquellen – Quellen von Nektar, Honigtau und / oder Pollen – für die Bienen dienen (VDI 4330/4 2006). Imker bezeichnen den Honig als

- Frühtracht, wenn er im Frühjahr von den Bienen von Blüten gesammelt wird und als
- Sommertracht, wenn die Bienen während der Sommermonate an den Trachtpflanzen sammeln;
- Spät(sommer)tracht, wenn eine zweite Sommertracht vor der Einwinterung zustande kommt.

Varroa (Varroose):

Befall von Bienenvölkern mit Varroa-Milben, der vielfach für Bienenvölkerverluste verantwortlich ist und z. B. mittels Ameisensäure- oder Oxalsäurebehandlung der Bienenvölker bekämpft wird.

Vitalität:

Weil Bienen empfindlich auf Beeinträchtigungen ihrer Umwelt reagieren, werden beim Bienenmonitoring Vitalitätsparameter erhoben: die Überlebensrate nach der Überwinterung (sofern die Bienenvölker seit mindestens dem Vorjahr am Standort angesiedelt sind), die Stärke und Entwicklung der Bienenvölker und ihrer Brut, die produzierte Honigmenge und das Blütenpollenspektrum.

7 Literatur

7.1 Gesetzliche Grundlagen

HonigV (2004): Honigverordnung vom 16. Januar 2004 (BGBl. I S. 92), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L10 (12.1.2002), S. 47-52, die zuletzt durch Artikel 10 der Verordnung vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2272) geändert worden ist.

TrinkwV (2023): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV). Trinkwasserverordnung vom 20. Juni 2023 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 22. September 2021 (BGBl. 2023 I Nr. 159)

VO (EG) Nr. 396 (2005): Verordnung Nr. 396/2005 des EUROPÄISCHEN PARLAMENTS und des RATES vom 23. Februar 2005 über Höchstgehalte an Pestizidrückständen in oder auf Lebens- und Futtermitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs und zur Änderung der Richtlinie 91/414/EWG des Rates (ABl. L 70, S. 1)

VO (EG) Nr. 1881/2006 (2006): Verordnung zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln vom 19. Dezember 2006, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 364, S.5 vom 20.12.2006, aufgehoben am 25. Mai 2023 mit Inkrafttreten von VO (EU) 2023/915:

VO (EG) Nr. 629/2008 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln vom 2. Juli 2008, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 173, S. 6 vom 3.7.2008

VO (EU) Nr. 420/2011: VERORDNUNG (EU) Nr. 420/2011 DER KOMMISSION vom 29. April 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 bezüglich der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 111, S. 3-6 vom 30.4.2011

VO (EU) Nr. 835/2011: Verordnung (EU) Nr. 835/2011 DER KOMMISSION vom 19. August 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 im Hinblick auf Höchstgehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Lebensmitteln, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 215, S. 4-8 vom 20.8.2011

VO (EU) Nr. 488/2014 Verordnung (EU) Nr. 488/2014 DER KOMMISSION vom 12. Mai 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 bezüglich der Höchstgehalte für Cadmium in Lebensmitteln, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 138, S. 75-79 vom 13.5.2014

VO (EU) 2015/1005: VERORDNUNG (EU) Nr. 2015/1005 DER KOMMISSION 2015/1005 vom 25. Juni 2015 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 bezüglich der Höchstgehalte für Blei in bestimmten Lebensmitteln, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 161, S. 9 vom 25.6.2015

VO (EU) 2015/1006: VERORDNUNG (EU) 2015/1006 DER KOMMISSION vom 25. Juni 2015 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte für anorganisches Arsen in Lebensmitteln, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 161, S. 14 vom 25.6.2015

VO (EU) 2015/1933: VERORDNUNG (EU) 2015/1933 DER KOMMISSION vom 27. Oktober 2015 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Kakaofasern, Bananenchips, Nahrungsergänzungsmitteln, getrockneten Kräutern und getrockneten Gewürzen, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 282, S. 11 vom 27.10.2015

VO (EU) 2018/73: VERORDNUNG (EU) 2018/73 DER KOMMISSION vom 16. Januar 2018 zur Änderung der Anhänge II und III der Verordnung (EG) Nr. 396/2005 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf Höchstgehalte an Rückständen von Quecksilberverbindungen in oder auf bestimmten Erzeugnissen, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 13 S. 8-20 vom 16.1.2018

VO (EU) 2021/1317: VERORDNUNG (EU) 2021/1317 DER KOMMISSION vom 9. August 2021 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte an Blei in bestimmten Lebensmitteln, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 286, S. 1–4 vom 10.8.2021,

VO (EU) 2021/1323: VERORDNUNG (EU) 2021/1323 DER KOMMISSION vom 10. August 2021 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte für Cadmium in bestimmten Lebensmitteln, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 288, S. 13–18 vom 11.8.2021

VO (EU) 2023/915: VERORDNUNG (EU) 2023/915 DER KOMMISSION vom 25. April 2023 über Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006. Amtsblatt der Europäischen Union L119, S. 103-157

7.2 Normen, Richtlinien, Vorschriften

DIN 38407-9:1991-05: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammmuntersuchung; Gemeinsam erfaßbare Stoffgruppen (Gruppe F); Bestimmung von Benzol und einigen Derivaten mittels Gaschromatographie (F 9) Beuth, Berlin (zurückgezogen)

DIN 38407-39:2011-09: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammmuntersuchung - Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) - Teil 39: Bestimmung ausgewählter polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) - Verfahren mittels Gaschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (GC-MS) (F 39) Beuth, Berlin

DIN EN 1483:2007-07: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von Quecksilber - Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie. Beuth, Berlin (zurückgezogen)

DIN EN 15763: 2010-04: Lebensmittel - Bestimmung von Elementspuren - Bestimmung von Arsen, Cadmium, Quecksilber und Blei in Lebensmitteln mit induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) nach Druckaufschluss; Deutsche Fassung EN 15763:2009, Beuth, Berlin

DIN EN ISO/ EC 17025:2018-03 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2017); Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17025:2017

DIN EN ISO 20988:2007-09 Luftbeschaffenheit; Leitlinien zur Schätzung der Messunsicherheit (ISO 20988:2007); Deutsche Fassung EN ISO 20988:2007

DIN ISO 12884: 2000: Außenluft – Bestimmung der Summe gasförmiger und partikelgebundener polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe – Probenahme auf Filtern mit nachgeschalteten Sorbenzien und anschließender gaschromatographischer / massenspektrometrischer Analyse

DIN V ENV 13005: 1999-04: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheiten beim Messen: Deutsche Fassung ENV 13005:1999. Berlin, Beuth

VDI 3857 Blatt 2:2021-07: Beurteilungswerte für immissionsbedingte Stoffanreicherungen in standardisierten Graskulturen; Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehalte ausgewählter anorganischer Luftverunreinigungen. Berlin: Beuth

VDI 3957 Blatt 1:2020-02: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring); Grundlagen und Zielsetzung. Berlin: Beuth

VDI 3957 Blatt 2:2020-08: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring); Verfahren der standardisierten Graskultur. Berlin: Beuth

VDI 3957 Blatt 3:2023-12: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring); Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl. Berlin: Beuth

VDI 3957 Blatt 4:2023-12: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring); Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl; Bewertung von Schadstoffgehalten in Nahrungspflanzen für den menschlichen Verzehr. Berlin: Beuth

VDI 4280 Blatt 1: 2014-10: Planung von Immissionsmessungen; Allgemeine Regeln für Untersuchungen der Luftbeschaffenheit. Berlin: Beuth

VDI 4330 Blatt 4:2006-10: Monitoring der Wirkungen von gentechnisch veränderten Organismen (GVO); Pollenmonitoring; Biologische Pollensammlung mit Bienenvölkern. Berlin: Beuth

7.3 Literatur

BayLfU (2017): PAK-Immissionswirkungen in Bayern – Langzeituntersuchung polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe mit Biomonitoring-Verfahren. UmweltSpezial, Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Augsburg, 86 S.

BayLfU (2019): Biomonitoring persistenter Schadstoffe. Abschlussbericht. Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Augsburg, 138 S.

BgVV (2002): Toxikologische und ernährungsphysiologische Aspekte der Verwendung von Mineralstoffen und Vitaminen in Lebensmitteln - Teil I: Mineralstoffe (einschließlich Spurenelemente). Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin, Berlin, 40 S.

Bogdanov, S. (2006): Contaminants of bee products. *Apidologie* 37 (2006) 1–18

BVL (2023): Berichte zur Lebensmittelsicherheit 2021 - Monitoring. BVL-Report 17.2. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (Hrsg.), Braunschweig, 132 S.

EFSA (2014): Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population. SCIENTIFIC REPORT OF EFSA, *EFSA Journal* 2014, 12 (3): 3597, European Food Safety Authority (Hrsg.), Parma (I), 68 S.

EFSA (2015): Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of nickel in food and drinking water. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), *EFSA Journal* 2015, 13 (2): 4002, European Food Safety Authority (Hrsg.), Parma (I), 2002 S.

EFSA (2015a): Public consultation on the draft scientific opinion on dietary reference values for copper. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) *EFSA Journal* 2015, 20, 52 S.

ÖBMG (2015): Aktionswerte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. Österreichisches Bundesministerium für Gesundheit, Erlass BMG-75210/0013-II/B/13/2015 vom 18.5.2015, zuletzt geändert durch BMSGPK–2021-0.008.809–III/B/13 vom 15.1.2021 bis 2022-0.835.705 vom 16.12.2022

UBA (2016): Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe – Umweltschädlich! Giftig! Unvermeidbar? Umweltbundesamt UBA-Hintergrund, Dessau-Roßlau, 26 S.

Wäber, M., Hergt, V. (2011): Bienen spüren Folgen des Luftverkehrs nach. UmweltMagazin 30/04 2011, S. 50-52

Wäber, M., Pompe, F.; Steinbrecher, W.; Rottler, H. (2016): Bienenmonitoring – Verfahren zur Untersuchung von Luftschadstoffen in Pollen, Wachs und Honig von Bienen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 4 (2016), S. 115-121

7.4 Quellen im Internet

DGE (2020): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (Hrsg.), <https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/kupfer-mangan-chrom-molybdaen/> – zuletzt überarbeitet 2000 (Stand: 02.12.2023)

UBA (2014): Wie kommt Quecksilber in die Umwelt? Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau, <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wie-kommt-quecksilber-in-die-umwelt> (Stand: 02.12.2023)

UBA (2023): Emissionsentwicklung 1990 – 2022 für Schwermetalle. Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen, Umweltbundesamt (Hrsg.), <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen> (Stand: 02.12.2023)

Wäber, M. (2020): Honigmonitoring am Bremen Airport – Untersuchungsergebnisse 2019 und 2020. Kurzbericht, Flughafen Bremen GmbH (Hrsg.), https://www.bremen-airport.com/fileadmin/user_upload/Umwelt/Lebensraum_Flughafen/BRE2019-2020_Honigmon_Kurzbericht_UMW20201127.pdf (Stand: 02.12.2023)

Wäber, M., Pompe, F. (2020): Honigmonitoring am Flughafen München 2019. Flughafen München GmbH (Hrsg.), https://www.munich-airport.de/_b/0000000000000008513306bb5e4ce51a/honigmonitoring2019.pdf (Stand: 02.12.2023)

Wäber, M., Pompe, F. (2021): Honigmonitoring am Flughafen München 2020 – Kurzbericht. Flughafen München GmbH (Hrsg.), https://www.munich-airport.de/_b/00000000000000010566786bb601a5a95/20210128-honigmonitoring2020-kurzbericht.pdf (Stand: 02.12.2023)

Wäber, M., Pompe, F. (2022): Bienenmonitoring im Umfeld der Flughäfen Schönefeld/BER und Berlin Tegel – Teil 1: Allgemeiner Teil für das Bienenmonitoring 2011 bis 2022. Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (Hrsg.), <https://corporate.berlin-airport.de/content/dam/corporate/de/umwelt/luft/Bienenmonitoring%20-%20-%20Allgemeiner%20Teil.pdf> (Stand: 02.12.2023)

Wäber, M., Pompe, F. (2022a): Bienenmonitoring im Umfeld der Flughäfen Schönefeld/BER und Berlin Tegel – Teil 2: Ergebnisteil seit 2013. Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (Hrsg.), <https://corporate.berlin-airport.de/content/dam/corporate/de/umwelt/luft/Bienenmonitoring%20-%20-%20Ergebnisse%202011-2022.pdf> (Stand: 02.12.2023)

Wäber, M., Pompe, F. (2022b): Honigmonitoring am Flughafen München 2021. Flughafen München GmbH (Hrsg.), https://www.munich-airport.de/_b/00000000000000013325332bb625fdaa6/honigmonitoring-2021-fmg.pdf (Stand: 02.12.2023)

Wäber, M., Pompe, F. (2022c): Bienenmonitoring am Flughafen Dresden 2004–2021. Flughafen Dresden (Hrsg.), https://www.mdf-ag.com/media/user_upload/Dresden/Bilder/Unternehmen/Umwelt/DRS2021_Bericht_Biomonitoring_Honig.pdf (Stand: 02.12.2023)

Wäber, M., Pompe, F. (2023): Honigmonitoring am Flughafen München 2022; Ergebnisse 2018–2022, Flughafen München GmbH (Hrsg.), https://www.munich-airport.de/_b/000000000000016672487bb640881ed/honigmonitoring-2022-bericht.pdf (Stand: 02.12.2023)

Wäber, M., Pompe, F. (2023a): Bienenmonitoring am Flughafen Dresden – Ergebnisse 2022. Flughafen Dresden (Hrsg.), https://www.mdf-ag.com/media/user_upload/Dresden/Bilder/Unternehmen/Umwelt/DRS2022_Bienenmon-Kurzbericht_UMW20230217.pdf (Stand: 02.12.2023)

Wäber, M., Pompe, F. (2023 in Publikation): Bienenmonitoring im Umfeld der Flughäfen Schönefeld/BER und Berlin Tegel – Teil 2: Ergebnisteil. Gutachterliche Bewertung der Untersuchungsjahre seit 2011. Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (Hrsg.), <https://corporate.berlin-airport.de/de/umwelt/luft/biomonitoring-bienenmonitoring.html> (Stand: 02.12.2023)

8 Abbildungsverzeichnis

Bilder Titelseite – Bienenvölker-Standorte Papitz, Röglitz, Döllnitz 2023 des Flughafens Leipzig/Halle	
Bild Zusammenfassung: Flughafen Leipzig/Halle mit den Standorten und Flugwolken der Bienenvölker...	4
Bild 1.1-1: Wie gelangen Luftverunreinigungen in die Umwelt.....	8
Bild 1.2-1: Biene sammelt Blütennektar und Blütenpollen	10
Bild 1.2-2: Honigwabe in Holzrahmen vom Standort Röglitz nach der Sommertracht 2021	11
Bild 1.3-1: Flughafenhonig.....	12
Bild 2.1-1: Lagepläne der Standorte der Bienenvölker am Flughafen Leipzig/Halle und im Umfeld	15
Bild 2.2-1: Früh-, Sommer- und Spätrachthonige vom Standort LDR 2023.....	17
Bild 2.2-2: Wildwachsproben-Beispiele 2022, hell vor Drohnenbrut, dunkel nach Drohnenschlupf	18
Bild 3.2-1: Antimon in Honig	30
Bild 3.3-1: Arsen in Honig.....	31
Bild 3.4-1: Blei in Honig	32
Bild 3.5-1: Cadmium in Honig.....	33
Bild 3.6-1: Chrom in Honig	34
Bild 3.7-1: Kupfer in Honig.....	35
Bild 3.8-1: Nickel in Honig	37
Bild 3.9-1: Quecksilber in Honig	38
Bild 3.10-1: Zink in Honig	39
Bild 3.11-1: Arsen in Wachs	41
Bild 3.11-2: Blei in Wachs.....	41
Bild 3.11-3: Cadmium in Wachs	41
Bild 3.11-4: Chrom in Wachs.....	43
Bild 3.11-5: Kupfer in Wachs	43
Bild 3.11-6: Nickel in Wachs.....	43
Bild 3.11-7: Zink in Wachs.....	44
Bild 3.12-1: Benzo[a]pyren in Honig.....	45
Bild 3.12-2: Summe PAK4 in Honig	46
Bild 3.12-3: Summe 16 PAK in Honig 2019	47
Bild 3.12-4: Summe 16 PAK in Honig 2020	47
Bild 3.12-5: Summe 16 PAK in Honig 2021	48
Bild 3.12-6: Summe 16 PAK in Honig 2022	48

Bild 3.12-7: Summe 16 PAK in Honig 2023	49
Bild 3.13-1: Benzo[a]pyren in Wachs	50
Bild 3.13-2: Summe PAK4 in Wachs	51
Bild 3.13-3: Summe 16 PAK in Wachs 2021	51
Bild 3.13-4: Summe 16 PAK in Wachs 2022	52
Bild 3.13-5: Summe 16 PAK in Wachs 2023	52

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1-1: Übersicht über die Bienenvölker-Standorte (gereiht nach Flughafennähe und Zeitraum) .	14
Tabelle 2.2-1: Honigproben seit 2009	16
Tabelle 2.2-2: Wachsproben seit 2021	17
Tabelle 2.4-1: Analytische Bestimmungsgrenzen (BG) der untersuchten Stoffe	22
Tabelle 2.5-1: Höchstgehalte und orientierende Beurteilungswerte	24
Tabelle 3.1-1: Ergebnisse der Vitalitätserhebungen an Bienenvölkern am Flughafen Leipzig/Halle	28
Tabelle 10.1-1: Metalle in Wachs 2021 und Vergleichswerte	69
Tabelle 10.1-2: Metalle in Wachs 2022	70
Tabelle 10.1-3: Metalle in Wachs 2023	70
Tabelle 10.2-1: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2011	72
Tabelle 10.2-2: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2012 bis 2014	73
Tabelle 10.2-3: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2016 bis 2017	74
Tabelle 10.2-4: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2018	75
Tabelle 10.2-5: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2019	76
Tabelle 10.2-6: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2020	77
Tabelle 10.2-7: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2021	78
Tabelle 10.2-8: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2022	79
Tabelle 10.2-9: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2023	80
Tabelle 10.3-1: PAK-Gehalte in Wachs im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2021	81
Tabelle 10.3-2: PAK-Gehalte in Wachs im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2022	82
Tabelle 10.3-3: PAK-Gehalte in Wachs im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2023	83

10 Anhang

Nachfolgend finden sich die tabellarischen Einzeldarstellungen der Analysen von Metallen in Wachs 2011–2023 (Kap. 10.1) und von PAK 2011–2023 in Honigproben (Kap. 10.2) sowie in Wachs 2021–2023 (Kap. 10.3) der Standorte im Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle.

10.1 Einzelergebnisse der Analysen auf Metalle in Wachs

Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenzen sind mit „<“ und *kursiver Schrift* gekennzeichnet.

Um an diesen Stellen die Einordnung zu erleichtern, sind aktuelle Vergleichswerte zu den Ergebnissen 2021, 2022 und 2023 in die Tabelle 10.1-1 integriert. Die Bewertung der Ergebnisse der Analysen auf Metalle in Wachs findet sich in Kapitel 3.11.

Tabelle 10.1-1: Metalle in Wachs 2021 und Vergleichswerte

Bienenmonitoring Flughafen Leipzig/Halle 2021: Metalle in Wachs				Referenzstandort Berliner Flughäfen	Referenzgebiet Aichach Flughafen München AIC	
Stoff [mg/kg OS]	Röglitz LRW ST 2021 Honigwaben	Papitz LVS FT 2021 Drohnen- waben	Papitz LVS ST 2021 Drohnen- waben	BRS 2014–2023 Wildwachse	AIC FT+ST 2018–2022 Drohnen- waben	AIC-ST 2012 Ho- nigwaben bis max.
Antimon (Sb)	<0,013	<0,013	<0,013	<0,050 / <0,013	<0,013–0,015	<0,050
Arsen (As)	0,034	<0,013	<0,013	<0,050 / <0,013	<0,013–0,023	<0,05
Blei (Pb)	0,263	0,029	<0,025	<0,025–0,11	0,044–0,11	<0,10
Cadmium (Cd)	0,014	0,036	0,0027	<0,0025–0,015	0,0035–0,051	<0,010
Chrom (Cr)	0,078	0,031	<0,025	<0,025–0,13	0,054–0,17	<0,10
Kupfer (Cu)	2,57	3,02	0,73	0,091–0,49	1,2–7,0	4,4
Nickel (Ni)	0,16	0,20	0,05	<0,025–0,39	0,095–1,9	0,60
Quecksilber (Hg)	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,013
Zink (Zn)	16,9	31,7	6,0	3,8–52	26–80	18

OS: Originalsubstanz; FT: Frühtracht, ST: Sommertracht, FT+ST: Mischprobe aus Früh- und Sommertracht;
Honigwaben: Wachs aus Honigwaben mit Mittelwand aus eigenem Wachskreislauf; Drohnenwaben: aus Wildwachs

Tabelle 10.1-2: Metalle in Wachs 2022

Bienenmonitoring Flughafen Leipzig/Halle 2022: Metalle in Wachs (Drohnenwaben Wildwachs)						
Stoff [mg/kg OS]	Döllnitz LDR FT 2022	Döllnitz LDR ST 2022	Röglitz LRW FT 2022	Röglitz LRW FT 2022	Papitz LVS FT 2022	Papitz LVS ST 2022
Antimon (Sb)	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,0013
Arsen (As)	0,017	<0,013	<0,013	0,013	<0,013	<0,0013
Blei (Pb)	0,072	0,092	0,035	0,14	0,027	0,042
Cadmium (Cd)	0,0042	0,0054	0,0072	0,0034	<0,0025	<0,0025
Chrom (Cr)	0,20	0,20	0,037	0,50	0,13	0,057
Kupfer (Cu)	0,54	0,37	0,69	0,59	0,32	0,13
Nickel (Ni)	0,049	0,050	0,11	0,045	0,036	<0,025
Quecksilber (Hg)	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050
Zink (Zn)	6,5	12,3	10,1	5,6	1,2	0,45

OS: Originalsubstanz; FT: Frühtracht, ST: Sommertracht

Tabelle 10.1-3: Metalle in Wachs 2023

Bienenmonitoring Flughafen Leipzig/Halle 2023: Metalle in Wildwachs						
Stoff [mg/kg OS]	Döllnitz LDR FT 2023	Döllnitz LDR ST 2023	Döllnitz LDR SST 2023	Röglitz LRW FT 2023	Papitz LVS FT 2023	Papitz LVS FST 2023
Antimon (Sb)	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013		<0,0013
Arsen (As)	<0,013	0,020	<0,013	0,021		<0,0013
Blei (Pb)	0,045	0,16	0,032	0,56		0,025
Cadmium (Cd)	<0,0025	0,0069	<0,0025	0,0032		0,0090
Chrom (Cr)	0,073	0,18	0,023	0,12		0,084
Kupfer (Cu)	0,18	0,63	0,30	3,4		0,72
Nickel (Ni)	0,044	0,11	0,054	0,11		0,095
Quecksilber (Hg)	<0,0050	<0,0050	<0,0050	<0,0050		<0,0050
Zink (Zn)	2,1	13,0	5,4	14,7		20,5

OS: Originalsubstanz; FT: Frühtracht, ST: Sommertracht, FST: Gesamtprobe, die von der Früh bis einschließlich Sommertracht exponiert war

10.2 Einzelergebnisse der Analysen auf PAK in Honig

Messwerte unterhalb Bestimmungsgrenze (0,10 µg/kg OS) sind mit der Hälfte der BG in die Summen der 16 PAK nach EPA einbezogen. In den nachfolgenden Tabellen sind die Werte <BG mit *kursiver Schrift* gekennzeichnet.

Die auffällig niedrigen (2012) bzw. hohen Werte (2011 und 2013–2018) leichter flüchtiger PAK-Einzelverbindungen (v.a. von Naphthalin- und Fluoren) deuten auf Ausreißer aufgrund analytischer Faktoren hin. Sie sind in grauer Schrift gekennzeichnet. Bis 2018 wurden daher keine Summen der 16 PAK gebildet (Ausnahme 2017 mit plausiblen Einzelwerten). Aufgrund seiner Flüchtigkeit ist Naphthalin (NAP) als eine der leichter flüchtigen PAK-Verbindungen nur mit eingeschränkter Zuverlässigkeit bestimmbar. In den insgesamt sehr niedrigen Bereichen von PAK-Gehalten in Honig ist ein gewisser NAP-Hintergrundwert kaum vermeidbar und sollte bei der vergleichenden Betrachtung der Summenwerte 16 PAK berücksichtigt werden.

Die Bildung der Summen der 12 schwerer flüchtigen PAK in Honig ist nicht möglich, da von diesen 12 nur wenige Einzelverbindungen (zumeist Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren) oberhalb BG lagen.

Die 4 Verbindungen Benzo[a]pyren, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen, die in den Summenparameter PAK4 eingehen, lagen – bis auf zwei Ausnahmen – unterhalb BG. In diesen Fällen sind sie mit dem Wert Null integriert (VO (EU) Nr. 2023/915).

Tabelle 10.2-1: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2011

Flughafen Leipzig/Halle 2011: PAK in Honigen der Frühtracht (FT) und Sommertracht (ST)							
PAK in µg/kg OS	Standorte	LHR (Hohenw.)	LHR (Hohenw.)	LRW (Röglitz)	LSW (Schkeu.)	LKF (Kursdorf)	LKF (Kursdorf)
Bestimmungsgrenze je PAK: 0,1		LHR-FT 2011	LHR-ST 2011	LRW-FT 2011	LSW-FT 2011	LKF-FT 2011	LKF-ST 2011
Naphthalin	NAP	190	130	62	140	58	41
Acenaphtylen	ACY	3,30	2,50	2,30	4,40	1,70	0,81
Acenaphthen	ACE	1,30	2,70	0,82	1,50	0,39	1,10
Fluoren	FLE	8,80	5,40	8,50	13,0	5,40	2,20
Phenanthren	PHE	1,60	2,30	1,40	2,00	1,20	1,10
Anthracen	ANT	0,36	1,20	0,25	0,46	0,23	0,59
Fluoranthen	FLU	0,05	0,27	0,05	0,05	0,05	0,11
Pyren	PYR	0,05	0,26	0,05	0,05	0,05	0,12
Benzo[a]anthracen	BaA	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Chrysen	CHR	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[b]fluoranthen	BbF	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[k]fluoranthen	BkF	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[a]pyren	BaP	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Dibenzo[ah]anthracen	DBahA	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[ghi]perylen	BghiP	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Indeno[123-cd]pyren	IND	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Summe 4 PAK (grau unterlegt)	PAK4*	0	0	0	0	0	0
Su. schwerer fl. 12 EPA-PAK	n.s.: nicht sum.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<u>Summe 16 EPA-PAK</u>		wegen auffälliger leichter flüchtiger PAK (v.a. Naphthalin NAP) keine Summe 16 EPA-PAK					

PAK Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/kg OS; *Kursiv: <BG mit "halbem Wert" angegeben*

*Summe PAK4 nach Verordnung (EU) 835/2011 (grau unterlegt): Werte kleiner BG gehen mit Wert "0" ein

Su. schwerer flüchtige 12 PAK nach EPA: fett, n.s. nicht summierbar da mehrheitlich <BG

Tabelle 10.2-2: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2012 bis 2014

Flughafen Leipzig/Halle 2012, 2013 und 2014: PAK in Honigen der Frühtracht (FT) und Sommertracht (ST)							
PAK in µg/kg OS	Standorte	LKF (Kursdorf)	LRW (Röglitz)	LRW (Röglitz)	LKF (Kursdorf)	LKF (Kursdorf)	LRW (Röglitz)
Bestimmungsgrenze je PAK: 0,1		LKF-ST 2012	LRW-FT 2013	LRW-ST 2013	LKF-FT 2013	LKF-ST 2013	LRW-FT 2014
Naphthalin	NAP	3,1	52	22	54	17	18
Acenaphthylen	ACY	<i>0,05</i>	2,90	2,50	3,50	1,70	3,90
Acenaphthen	ACE	<i>0,05</i>	0,53	0,31	0,60	0,25	0,74
Fluoren	FLE	<i>0,05</i>	11,0	10,0	12,0	8,6	17
Phenanthren	PHE	0,23	3,80	3,00	3,70	2,10	4,70
Anthracen	ANT	0,05	1,64	1,60	1,70	1,10	1,40
Fluoranthen	FLU	0,05	0,18	0,23	0,18	0,12	0,26
Pyren	PYR	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,13
Benzo[a]anthracen	BaA	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Chrysen	CHR	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[b]fluoranthen	BbF	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[k]fluoranthen	BkF	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[a]pyren	BaP	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Dibenzo[ah]anthracen	DBahA	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[ghi]perylen	BghiP	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Indeno[123-cd]pyren	IND	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Summe 4 PAK (grau unterlegt)	PAK4*	0	0	0	0	0	0
Su. schwerer fl. 12 EPA-PAK	n.s.: nicht sum.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<u>Summe 16 EPA-PAK</u>		wegen auffälliger leichter flüchtiger PAK (v.a. NAP, FLE) keine Summe 16 EPA-PAK					

PAK Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/kg OS; *Kursiv: <BG mit "halbem Wert" angegeben*

*Summe PAK4 nach Verordnung (EU) 835/2011 (grau unterlegt): Werte kleiner BG gehen mit Wert "0" ein

Su. schwerer flüchtige 12 PAK nach EPA: fett, n.s. nicht summierbar da mehrheitlich <BG

Tabelle 10.2-3: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2016 bis 2017

Flughafen Leipzig/Halle 2016 und 2017: PAK in Honigen der Sommertracht (ST)					
PAK in µg/kg OS	Standorte	LRW (Röglitz)	LKF (Kursdorf)	LDR (Döllnitz)	LVS (Papitz)
Bestimmungsgrenze je PAK: 0,1		LRW-ST 2016	LKF-ST 2016	LDR-ST 2017	LVS-ST 2017
Naphthalin	NAP	29	21	8,6	13,0
Acenaphtylen	ACY	4,60	4,20	1,40	2,90
Acenaphthen	ACE	0,70	0,65	0,13	0,14
Fluoren	FLE	16	13	6,2	6,5
Phenanthren	PHE	5,40	3,70	1,30	0,33
Anthracen	ANT	2,70	1,80	2,40	1,10
Fluoranthen	FLU	0,52	0,27	0,12	0,14
Pyren	PYR	0,25	0,14	0,05	0,05
Benzo[a]anthracen	BaA	0,05	0,05	0,05	0,05
Chrysen	CHR	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[b]fluoranthen	BbF	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[k]fluoranthen	BkF	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[a]pyren	BaP	0,05	0,05	0,05	0,05
Dibenzo[ah]anthracen	DBahA	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[ghi]perylen	BghiP	0,05	0,05	0,05	0,05
Indeno[123-cd]pyren	IND	0,05	0,05	0,05	0,05
Summe 4 PAK (grau unterlegt)	PAK4*	0	0	0	0
Su. schwerer fl. 12 EPA-PAK	n.s.: nicht sum.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<u>Summe 16 EPA-PAK</u>	wg. auffälliger leichter flücht. PAK keine Summe			20,6	24,6

PAK Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/kg OS; *Kursiv: <BG mit "halbem Wert" angegeben*

*Summe PAK4 nach Verordnung (EU) 835/2011 (grau unterlegt): Werte kleiner BG gehen mit Wert "0" ein

Su. schwerer flüchtige 12 PAK nach EPA: fett, n.s. nicht summierbar da mehrheitlich <BG

Tabelle 10.2-4: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2018

Flughafen Leipzig/Halle 2018: PAK in Honigen der Früh- (FT) u. Spät-/Sommertracht (S/ST)					
PAK in µg/kg OS	Standorte	LDR (Döllnitz)	LDR (Döllnitz)	LDR (Döllnitz)	LVS (Papitz)
Bestimmungsgrenze je PAK: 0,1		LDR-FT 2018	LDR-ST 2018	LDR-SST 2018	LVS-ST 2018
Naphthalin	NAP	24	29	12,0	8,4
Acenaphtylen	ACY	3,60	3,20	1,40	0,78
Acenaphthen	ACE	0,46	0,48	0,42	0,24
Fluoren	FLE	15	16	8,9	5,8
Phenanthren	PHE	4,10	5,10	2,90	1,60
Anthracen	ANT	2,50	3,00	1,60	0,74
Fluoranthen	FLU	0,32	0,42	0,21	0,11
Pyren	PYR	0,19	0,26	0,15	0,05
Benzo[a]anthracen	BaA	0,05	0,11	0,05	0,05
Chrysen	CHR	0,05	0,11	0,05	0,05
Benzo[b]fluoranthen	BbF	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[k]fluoranthen	BkF	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[a]pyren	BaP	0,05	0,05	0,05	0,05
Dibenzo[ah]anthracen	DBahA	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[ghi]perylen	BghiP	0,05	0,05	0,05	0,05
Indeno[123-cd]pyren	IND	0,05	0,05	0,05	0,05
Summe 4 PAK (grau unterlegt)	PAK4*	0	0,22	0	0
Su. schwerer fl. 12 EPA-PAK	n.s.: nicht sum.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<u>Summe 16 EPA-PAK</u>	wegen auffälliger leichter flüchtiger PAK (v.a. NAP, FLE) keine Summe 16 EPA-PAK				
PAK Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/kg OS; <i>Kursiv: <BG mit "halbem Wert" angegeben</i>					
*Summe PAK4 nach Verordnung (EU) 835/2011 (grau unterlegt): Werte kleiner BG gehen mit Wert "0" ein					
Su. schwerer flüchtige 12 PAK nach EPA: fett, n.s. nicht summierbar da mehrheitlich <BG					

Tabelle 10.2-5: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2019

Flughafen Leipzig/Halle 2019: PAK in Honigen der Frühtracht (FT)				
PAK in µg/kg OS	Standorte	LDR (Döllnitz)	LRW (Röglitz)	LVS (Papitz)
Bestimmungsgrenze je PAK: 0,1		LDR-FT 2019	LRW-FT 2019	LVS-FT 2019
Naphthalin	NAP	4,16	2,22	2,26
Acenaphylen	ACY	0,57	0,19	0,35
Acenaphthen	ACE	0,19	0,05	0,05
Fluoren	FLE	2,94	0,72	1,51
Phenanthren	PHE	1,78	1,19	1,31
Anthracen	ANT	0,41	0,12	0,22
Fluoranthen	FLU	0,25	0,16	0,18
Pyren	PYR	0,18	0,12	0,14
Benz[a]anthracen	BaA	0,05	0,05	0,05
Chrysen	CHR	0,05	0,05	0,05
Benzo[b]fluoranthen	BbF	0,05	0,05	0,05
Benzo[k]fluoranthen	BkF	0,05	0,05	0,05
Benz[a]pyren	BaP	0,05	0,05	0,05
Dibenz[ah]anthracen	DBahA	0,05	0,05	0,05
Benzo[ghi]perylen	BghiP	0,05	0,05	0,05
Indeno[123-cd]pyren	IND	0,05	0,05	0,05
Summe 4 PAK (grau unterlegt)	PAK4*	0	0	0
Su. schwerer fl. 12 EPA-PAK	n.s.: nicht summierbar	n.s.	n.s.	n.s.
Summe 16 EPA-PAK		10,9	5,2	6,4

Tabelle 10.2-6: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2020

Flughafen Leipzig/Halle 2020: PAK in Honigen der Frühtracht (FT) und Sommertracht (ST)					
PAK in µg/kg OS	Standorte	LDR (Döllnitz)	LDR (Döllnitz)	LRW (Röglitz)	LVS (Papitz)
Bestimmungsgrenze je PAK: 0,1		LDR-FT 2020	LDR-ST 2020	LRW-FT 2020	LVS-ST 2020
Naphthalin	NAP	2,52	2,93	2,04	3,02
Acenaphtylen	ACY	0,29	0,28	0,16	0,23
Acenaphthen	ACE	0,05	0,12	0,05	0,05
Fluoren	FLE	1,66	1,48	1,17	1,24
Phenanthren	PHE	1,15	1,86	1,35	1,50
Anthracen	ANT	0,32	0,18	0,10	0,16
Fluoranthen	FLU	0,15	0,39	0,29	0,34
Pyren	PYR	0,10	0,24	0,21	0,15
Benzo[a]anthracen	BaA	0,05	0,05	0,05	0,05
Chrysen	CHR	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[b]fluoranthen	BbF	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[k]fluoranthen	BkF	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[a]pyren	BaP	0,05	0,05	0,05	0,05
Dibenzo[ah]anthracen	DBahA	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[ghi]perylen	BghiP	0,05	0,05	0,05	0,05
Indeno[123-cd]pyren	IND	0,05	0,05	0,05	0,05
Summe 4 PAK (grau unterlegt)	PAK4*	0	0	0	0
Su. schwerer fl. 12 EPA-PAK	n.s.: nicht	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Summe 16 EPA-PAK	summierbar	6,6	7,9	5,8	7,1

PAK Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/kg OS; *Kursiv: <BG mit "halbem Wert" angegeben*
 *Summe PAK4 nach Verordnung (EU) 835/2011 (grau unterlegt): Werte kleiner BG gehen mit Wert "0" ein
 Su. schwerer flüchtige 12 PAK nach EPA: fett, n.s. nicht summierbar da mehrheitlich <BG
 Summe 16 EPA-PAK: Werte <BG gehen mit "1/2 BG" in Summe 16 EPA-PAK ein

Tabelle 10.2-7: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2021

Flughafen Leipzig/Halle 2021: PAK in Honigen der Spät-/Sommertracht (SST/ST)				
PAK in µg/kg OS	Standorte	LDR (Döllnitz)	LRW (Röglitz)	LVS (Papitz)
Bestimmungsgrenze je PAK: 0,1		LDR-SST 2021	LRW-ST 2021	LVS-ST 2021
Naphthalin	NAP	1,75	3,35	2,66
Acenaphtylen	ACY	0,20	0,35	0,15
Acenaphthen	ACE	0,05	0,23	0,05
Fluoren	FLE	1,10	2,10	1,47
Phenanthren	PHE	0,73	1,75	1,35
Anthracen	ANT	0,18	0,23	0,21
Fluoranthen	FLU	0,10	0,37	0,29
Pyren	PYR	0,05	0,26	0,11
Benzo[a]anthracen	BaA	0,05	0,05	0,05
Chrysen	CHR	0,05	0,05	0,05
Benzo[b]fluoranthren	BbF	0,05	0,05	0,05
Benzo[k]fluoranthren	BkF	0,05	0,05	0,05
Benzo[a]pyren	BaP	0,05	0,05	0,05
Dibenzo[ah]anthracen	DBahA	0,05	0,05	0,05
Benzo[ghi]perylen	BghiP	0,05	0,05	0,05
Indeno[123-cd]pyren	IND	0,05	0,05	0,05
Summe 4 PAK (grau unterlegt)	PAK4*	0	0	0
Su. schwerer fl. 12 EPA-PAK	n.s.: nicht	n.s.	n.s.	n.s.
Summe 16 EPA-PAK	summierbar	4,6	9,0	6,7

PAK Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/kg OS; *Kursiv: <BG mit "halbem Wert" angegeben*
 *Summe PAK4 nach VO (EU) 835/2011 (grau unterlegt): Werte kleiner BG gehen mit Wert "0" ein
 Su. schwerer flüchtige 12 PAK nach EPA: fett, n.s. nicht summierbar da mehrheitlich <BG
 Summe 16 EPA-PAK: Werte <BG gehen mit "1/2 BG" in Summe 16 EPA-PAK ein

Tabelle 10.2-8: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2022

Flughafen Leipzig/Halle 2022: PAK in Honigen der Früh- und Sommertracht (FT/ST)							
PAK in µg/kg OS	Standorte	LDR (Döllnitz)	LDR (Döllnitz)	LRW (Röglitz)	LRW (Röglitz)	LVS (Papitz)	LVS (Papitz)
Bestimmungsgrenze je PAK: 0,10		LDR-FT 2022	LDR-ST 2022	LRW-FT 2022	LRW-ST 2022	LVS-FT 2022	LVS-ST 2022
Naphthalin	NAP	3,01	2,87	3,16	3,54		3,46
Acenaphtylen	ACY	0,38	0,37	0,28	0,38		0,35
Acenaphthen	ACE	0,14	0,18	0,12	0,32		0,17
Fluoren	FLE	1,90	1,69	1,69	2,61		2,07
Phenanthren	PHE	1,65	1,17	1,32	2,06		1,79
Anthracen	ANT	0,29	1,06	0,17	0,32		0,24
Fluoranthen	FLU	0,21	0,20	0,34	0,26		0,33
Pyren	PYR	0,14	0,13	0,19	0,05		0,14
Benzo[a]anthracen	BaA	0,05	0,05	0,05	0,05		0,05
Chrysen	CHR	0,05	0,05	0,05	0,05		0,05
Benzo[b]k]fluoranthen	BbF	0,05	0,05	0,05	0,05		0,05
Benzo[k]fluoranthen	BkF	0,05	0,05	0,05	0,05		0,05
Benzo[a]pyren	BaP	0,05	0,05	0,05	0,05		0,05
Dibenzo[ah]anthracen	DBahA	0,05	0,05	0,05	0,05		0,05
Benzo[ghi]perylen	BghiP	0,05	0,05	0,05	0,05		0,05
Indeno[123-cd]pyren	IND	0,05	0,05	0,05	0,05		0,05
Summe 4 PAK (grau unterlegt)	PAK4*	0	0	0	0		0
Su. schwerer fl. 12 EPA-PAK	n.s.: nicht summierbar	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
Summe 16 EPA-PAK		8,1	8,1	7,7	9,9		9,0

PAK Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/kg OS; *Kursiv: <BG mit "halbem Wert" angegeben*

*Summe PAK4 nach VO (EU) 835/2011 (grau unterlegt): Werte kleiner BG gehen mit Wert "0" ein

Su. schwerer flüchtige 12 PAK nach EPA: fett, n.s. nicht summierbar da mehrheitlich <BG

Summe 16 EPA-PAK: Werte <BG gehen mit "1/2 BG" in Summe 16 EPA-PAK ein

Tabelle 10.2-9: PAK-Gehalte in Honig im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2023

Flughafen Leipzig/Halle 2023: PAK in Honigen der Früh- und Sommertracht (FT/ST) sowie Spätsommertracht (SST)							
PAK in µg/kg OS	Standorte	LDR (Döllnitz)	LDR (Döllnitz)	LDR (Döllnitz)	LRW (Röglitz)	LVS (Papitz)	LVS (Papitz)
Bestimmungsgrenze je PAK: 0,10		LDR-FT 2023	LDR-ST 2023	LDR-SST 2023	LRW-FT 2023	LVS-FT 2023	LVS-ST 2023
Naphthalin	NAP	2,4	2,3	2,2	2,2	2,0	2,3
Acenaphthylen	ACY	0,21	0,31	0,36	0,15	0,22	0,14
Acenaphthen	ACE	0,14	0,10	0,11	0,05	0,05	0,10
Fluoren	FLE	0,78	0,79	0,74	0,75	0,93	0,81
Phenanthren	PHE	1,1	1,2	1,3	1,1	1,1	1,2
Anthracen	ANT	0,32	0,15	0,19	0,15	0,21	0,13
Fluoranthen	FLU	0,11	0,11	0,10	0,10	0,12	0,13
Pyren	PYR	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[a]anthracen	BaA	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Chrysen	CHR	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[b]k]fluoranthen	BbF	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[k]fluoranthen	BkF	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[a]pyren	BaP	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Dibenzo[ah]anthracen	DBahA	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Benzo[ghi]perylen	BghiP	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Indeno[123-cd]pyren	IND	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Summe 4 PAK (grau unterlegt)	PAK4*	0	0	0	0	0	0
Su. schwerer fl. 12 EPA-PAK	n.s.: nicht summierbar	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
Summe 16 EPA-PAK		5,5	5,4	5,5	5,0	5,0	5,2

PAK Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/kg OS; *Kursiv: <BG mit "halbem Wert" angegeben*

*Summe PAK4 nach VO (EU) 2023/915 (grau unterlegt): Werte kleiner BG gehen mit Wert "0" ein

Su. schwerer flüchtige 12 PAK nach EPA: fett, n.s. nicht summierbar da mehrheitlich <BG

Summe 16 EPA-PAK: Werte <BG gehen mit "1/2 BG" in Summe 16 EPA-PAK ein

10.3 Einzelergebnisse der Analysen auf PAK in Wachs

Messwerte unterhalb Bestimmungsgrenze (0,10 µg/kg OS) sind mit der Hälfte der BG in die Summen der 16 PAK nach EPA einbezogen und mit *kursiver Schrift* gekennzeichnet.

Tabelle 10.3-1: PAK-Gehalte in Wachs im Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle 2021

Flughafen Leipzig/Halle 2021: PAK in Wachs der Früh- und Sommertracht (FT/ST)				
PAK in µg/kg OS	Standorte	LRW (Röglitz)	LVS (Papitz)	LVS (Papitz)
		Honigwaben	Drohnenwaben	Drohnenwaben
Bestimmungsgrenze je PAK: 0,1		LRW-ST 2021	LVS-FT 2021	LVS-ST 2021
Naphthalin	NAP	4,7	6,7	4,3
Acenaphtylen	ACY	0,73	0,49	0,55
Acenaphthen	ACE	0,66	0,72	1,25
Fluoren	FLE	0,9	2,2	2,1
Phenanthren	PHE	6,2	6,6	6,8
Anthracen	ANT	0,20	0,28	0,05
Fluoranthen	FLU	5,6	1,2	1,2
Pyren	PYR	4,50	0,90	0,92
Benzo[a]anthracen	BaA	1,25	0,35	0,49
Chrysen	CHR	2,51	0,62	0,56
Benzo[b]fluoranthen	BbF	1,75	0,32	0,45
Benzo[k]fluoranthen	BkF	0,87	0,13	0,20
Benzo[a]pyren	BaP	0,84	0,19	0,20
Dibenzo[ah]anthracen	DBahA	0,23	0,05	0,05
Benzo[ghi]perylen	BghiP	1,12	0,13	0,12
Indeno[123-cd]pyren	IND	0,84	0,18	0,20
Summe 4 PAK (grau unterlegt)	PAK4*	6,4	1,5	1,7
Su. schwerer fl. 12 EPA-PAK	12 PAK	25	11	11
Summe 16 EPA-PAK	16 PAK	33	21	19

PAK Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/kg OS
 *Summe PAK4 nach VO (EU) 835/2011 (grau unterlegt): Werte kleiner BG gehen mit Wert "0" ein
 Su. schwerer flüchtige 12 PAK nach EPA: fett
 Summe 16 EPA-PAK: Werte <BG gehen mit "1/2 BG" in Summe 16 EPA-PAK ein

Tabelle 10.3-2: PAK-Gehalte in Wachs im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2022

Flughafen Leipzig/Halle 2022: PAK in Wildwaben der Früh- und Sommertracht (FT/ST)							
PAK in µg/kg OS	Standorte	LDR (Döllnitz)	LDR (Döllnitz)	LRW (Röglitz)	LRW (Röglitz)	LVS (Papitz)	LVS (Papitz)
Bestimmungsgrenze je PAK: 0,10		LDR-FT 2022	LDR-ST 2022	LRW-FT 2022	LRW-ST 2022	LVS-FT 2022	LVS-ST 2022
Naphthalin	NAP	4,81	4,81	4,70	5,06	5,29	3,61
Acenaphtylen	ACY	0,56	0,61	0,52	0,61	0,46	0,45
Acenaphthen	ACE	0,48	0,82	0,65	0,78	0,55	0,89
Fluoren	FLE	1,76	2,05	1,46	1,65	2,12	2,40
Phenanthren	PHE	5,93	6,92	5,29	5,83	6,92	7,08
Anthracen	ANT	0,21	0,21	0,22	0,21	0,20	0,19
Fluoranthen	FLU	1,38	1,83	1,54	2,94	1,59	1,39
Pyren	PYR	1,09	1,69	1,29	2,09	1,04	0,82
Benzo[a]anthracen	BaA	0,36	0,73	0,43	0,87	0,45	0,60
Chrysen	CHR	0,66	1,06	0,74	2,08	0,68	0,70
Benzo[b]k]fluoranthen	BbF	0,30	0,81	0,28	1,50	0,43	0,53
Benzo[k]fluoranthen	BkF	0,12	0,30	0,15	0,73	0,11	0,21
Benzo[a]pyren	BaP	0,23	0,23	0,31	0,66	0,25	0,23
Dibenzo[ah]anthracen	DBahA	0,12	0,12	0,05	0,16	0,05	0,05
Benzo[ghi]perylen	BghiP	0,17	0,17	0,20	0,89	0,17	0,16
Indeno[123-cd]pyren	IND	0,30	0,31	0,36	0,61	0,25	0,26
Summe 4 PAK (grau unterlegt)	PAK4*	1,6	2,8	1,8	5,1	1,8	2,1
Su. schwerer fl. 12 EPA-PAK	n.s.: nicht	10,9	14,4	10,9	18,6	12,1	12,2
Summe 16 EPA-PAK	summierbar	18,5	22,7	18,2	26,7	20,6	19,6

PAK Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/kg OS; *Kursiv: <BG mit "halbem Wert" angegeben*
 *Summe PAK4 nach VO (EU) 835/2011 (grau unterlegt): Werte kleiner BG gehen mit Wert "0" ein
 Su. schwerer flüchtige 12 PAK nach EPA: fett, n.s. nicht summierbar da mehrheitlich <BG
 Summe 16 EPA-PAK: Werte <BG gehen mit "1/2 BG" in Summe 16 EPA-PAK ein

Tabelle 10.3-3: PAK-Gehalte in Wachs im Umfeld des Flughafen Leipzig/Halle 2023

Flughafen Leipzig/Halle 2023: PAK in Wildwaben der Früh-, Sommer-, Spättracht (FT, ST, SST) und Früh- bis Sommertracht (FST)							
PAK in µg/kg OS	Standorte	LDR (Döllnitz)	LDR (Döllnitz)	LDR (Döllnitz)	LRW (Röglitz)	LVS (Papitz)	LVS (Papitz)
Bestimmungsgrenze je PAK: 0,10		LDR-FT 2023	LDR-ST 2023	LDR-SST 2023	LRW-FT 2023	LVS-FT 2023	LVS-FST 2023
Naphthalin	NAP	5,1	5,2	4,5	5,0		4,8
Acenaphthylen	ACY	0,75	1,01	0,89	0,38		0,59
Acenaphthen	ACE	0,66	0,88	0,66	0,30		0,35
Fluoren	FLE	2,34	1,73	1,26	1,09		1,58
Phenanthren	PHE	6,8	4,7	3,8	4,4		3,3
Anthracen	ANT	0,28	0,23	0,19	0,16		0,23
Fluoranthen	FLU	2,2	2,3	1,4	1,1		1,5
Pyren	PYR	1,2	2,1	1,1	0,83		0,92
Benzo[a]anthracen	BaA	0,43	0,91	0,44	0,34		0,30
Chrysen	CHR	0,64	1,19	0,63	0,54		0,54
Benzo[b]k]fluoranthen	BbF	0,30	0,86	0,28	0,18		0,26
Benzo[k]fluoranthen	BkF	0,17	0,38	0,15	0,05		0,05
Benzo[a]pyren	BaP	0,17	0,45	0,19	0,10		0,13
Dibenzo[ah]anthracen	DBahA	0,05	0,14	0,05	0,05		0,05
Benzo[ghi]perylene	BghiP	0,13	0,37	0,16	0,10		0,10
Indeno[123-cd]pyren	IND	0,14	0,35	0,15	0,05		0,10
Summe 4 PAK (grau unterlegt)	PAK4*	1,5	3,4	1,5	1,2		1,2
Su. schwerer fl. 12 EPA-PAK		12,5	14,0	8,5	7,9		7,4
Summe 16 EPA-PAK		21,3	22,8	15,8	14,7		14,8

PAK Bestimmungsgrenze: 0,1 µg/kg OS; *Kursiv: <BG mit "halbem Wert" angegeben*

*Summe PAK4 nach VO (EU) 2023/915 (grau unterlegt): Werte kleiner BG gehen mit Wert "0" ein

Su. schwerer flüchtige 12 PAK nach EPA: fett, n.s. nicht summierbar da mehrheitlich <BG

Summe 16 EPA-PAK: Werte <BG gehen mit "1/2 BG" in Summe 16 EPA-PAK ein