

Bienenmonitoring im Umfeld der Flughäfen Schönefeld/BER und Berlin Tegel

Teil 1: Allgemeiner Teil für das Bienenmonitoring 2011 bis 2019
am Flughafen Schönefeld/BER sowie am Referenzstandort Schorfheide
und seit 2017 am Flughafen Berlin Tegel



Titelseite – Bilder: Bienenstöcke am Standort BRS – Imker am Standort TXL – Pollensammeln am Standort BMF – Honigwabe am Standort BMF

Bilder im Uhrzeigersinn von links oben, **Bildnachweis:**

FBB

Tibor Pintér & Florian Hänsch

Jens-Birger Lange

Jens-Birger Lange

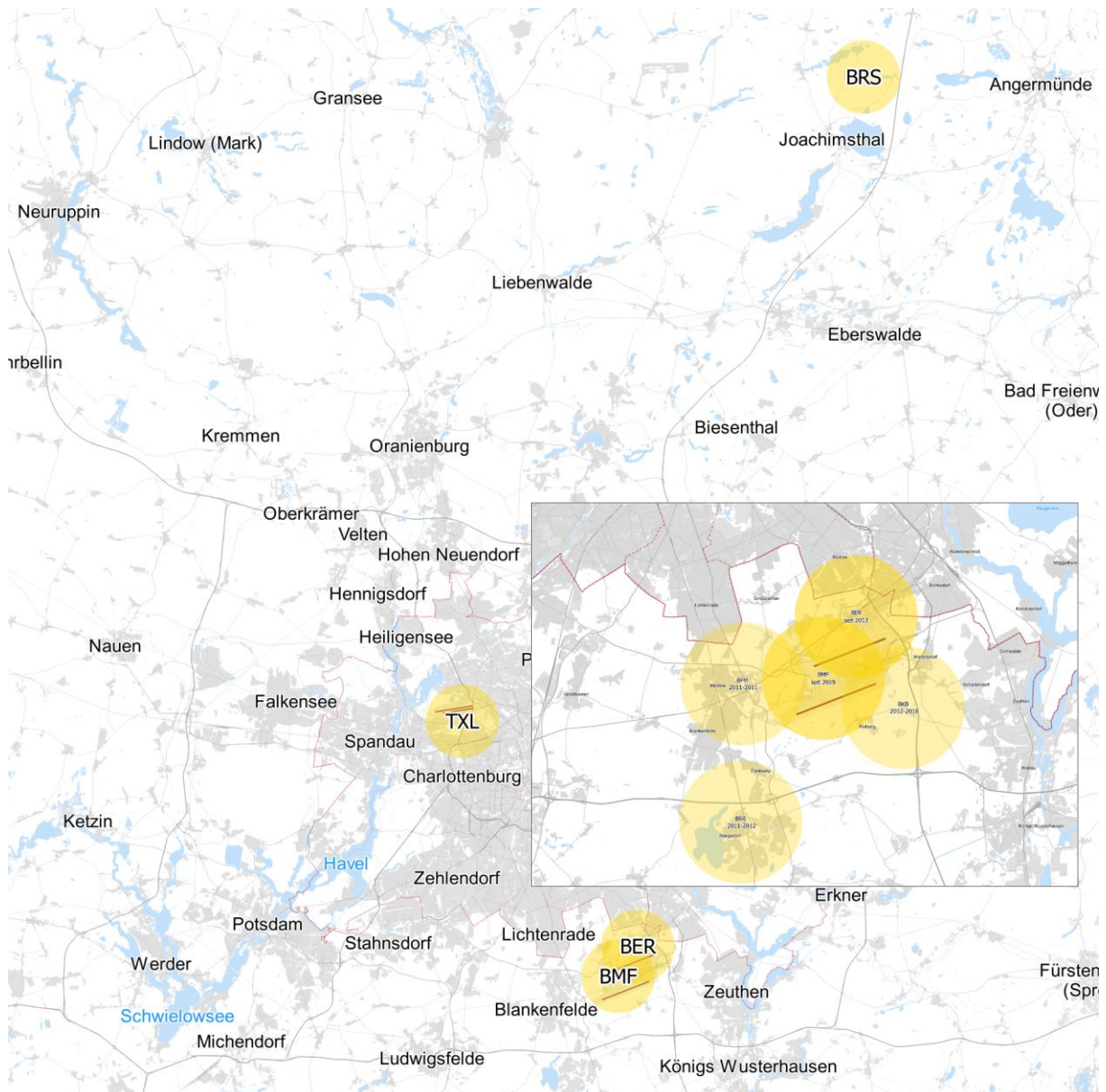


Bild 1.1-1: Übersicht über die Standorte der Bienenvölker mit Referenzstandort BRS (seit 2012) im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin, Standort TXL am Flughafen Tegel (seit 2017) und seit 2019 Standort BMF– Bildausschnitt (eingerahmt): Einzugsgebiet der Bienenvölker im nahen Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld

Legende:

Karten hergestellt durch die FBB aus OpenStreetMap-Daten / Lizenz: Creative Commons BY-SA 2.0; gelborange Kreise: „Flugwolken“ der Bienenvölker, wobei der Flugradius eines Bienenvolkes und damit der Sammelradius für Pollen, Nektar und Honigtau rund 3 km beträgt; blassgelbe Kreise: temporäre Bienenvölker

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
1 Einleitung	7
1.1 Umwelt-Untersuchungsprogramm der Flughafen Berlin Brandenburg GmbH.....	7
1.2 Bienenmonitoring für ein umfassendes Bild über Wirkungen und Rückstände von Luftschadstoffen.....	8
1.2.1 Wie gelangen typische Luftschadstoffe aus dem Flughafenbetrieb in die Umwelt?	8
1.2.2 Wie können Luftschadstoffe in Bienen, Pollen, Wachs und Honig kommen?	9
1.2.3 Bienenmonitoring 2011 bis 2019 - Hintergrund, Konzept, Vorgehen.....	12
1.2.4 Vergleichswerte, Höchstgehalte und zur Orientierung hilfsweise heranzuziehende Beurteilungswerte.....	15
2 Methoden – Bienenvölker, Standorte, Proben, Analysen.....	19
2.1 Standorte der Bienenvölker	19
2.2 Bienen, Pollen-, Wachs- und Honigproben	23
2.3 Untersuchte Stoffe	28
2.4 Analysenverfahren und Messunsicherheit	33
2.4.1 Probenaufbereitungen, Analysen und Bestimmungsgrenzen	33
2.4.2 Messunsicherheit.....	34
3 Abkürzungen.....	36
4 Glossar.....	39
5 Literatur	41
5.1 Gesetzliche Grundlagen	41
5.2 Richtlinien und Fachliteratur	42

Abbildungsverzeichnis

Bild 1.1-1: Übersicht über die Standorte der Bienenvölker mit Referenzstandort BRS (seit 2012) im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin, Standort TXL am Flughafen Tegel (seit 2017) und seit 2019 Standort BMF– Bildausschnitt (eingerahmt): Einzugsgebiet der Bienenvölker im nahen Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld	3
Bild 1.2-1: Schadstoffe gelangen über die Luft in die Umwelt [Copyright Grafik Dr. Monica Wäber]	8
Bild 1.2-2: Sammelgebiet der Bienen am Flughafen [Copyright Foto: G. Wicker, LIGATUR]	9
Bild 1.2-3: Biene sammelt Blütenpollen an Trachtpflanze [Copyright Foto: @iStockphoto.com/alexandrumagurean].....	10
Bild 1.2-4: Naturbauwachs	11
Bild 1.2-5: Honigwabe auf Wachsmittelwand	11
Bild 2.1-1: Bienenvölker am Standort BER [Fotos: FBB und Dirk Trepke]	20
Bild 2.1-2: Bienenvölker am 2019 eingerichteten Standort BMF [Foto: Jens-Birger Lange]	20
Bild 2.1-3: Bienenvölker am Referenzstandort BRS [Foto: W. Hirrle]	20
Bild 2.1-4: Bienenvolk am Standort TXL [Foto links: Tibor Pintér, Foto rechts: FBB]	21
Bild 2.1-5: Übersichtplan des Flughafens Schönefeld (künftig BER) mit den Standorten BMF und BER 2019 (orange Schrift) [Quelle: FBB]	21
Bild 2.2-1: Pollen von BMF 2019 in der Pollenfalle gesammelt (Einzelprobe)	26
Bild 2.2-2: Sommertracht-Pollenproben (3 Einzelproben) von BMF 2019	26
Bild 2.2-3: Frühtracht-Wachsprobe BER 2019	27
Bild 2.2-4: Frühtracht-Wachsprobe BMF 2019	27
Bild 2.2-5: Sommertracht-Wachs TXL 2019	27
Bild 2.2-6: Sommertracht-Wachs BRS 2019	27
Bild 2.2-7: Frühtracht-Honig BER 2019	27
Bild 2.2-8: Sommertracht-Honig TXL 2019	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.2-1: Höchstgehalte für Blei in Honig, Quecksilberverbindungen in Honig und Imkereierzeugnissen und orientierende Beurteilungswerte	16
Tabelle 1.2-2: Aktuelle orientierende Vergleichswerte für Pollen und Honig	18
Tabelle 2.1-1: Standorte der Bienenvölker im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld	19
Tabelle 2.1-2: Vergleichsgebiet - Standorte der Bienenvölker am Flughafen München.....	22
Tabelle 2.2-1: Pollen-, Wachs- und Honigproben 2013 bis 2019 - Teil 1	24
Tabelle 2.2-2: Pollen-, Wachs- und Honigproben 2013 bis 2019 - Teil 2	25
Tabelle 2.2-3: Pollen-, Wachs- und Honigproben 2019 - Teil 3	26
Tabelle 2.3-1: Untersuchte 16 EPA-PAK	32
Tabelle 2.4-1: Analytische Bestimmungsgrenzen für Metalle	33

1 Einleitung

1.1 Umwelt-Untersuchungsprogramm der Flughafen Berlin Brandenburg GmbH

Beim Betrieb eines Flughafens werden Stoffe an die Umgebungsluft abgegeben. Diese **Emissionen** können zusammen mit solchen aus Kraftfahrzeugverkehr, Hausbrand (Betrieb privater Kleinf Feuerungsanlagen zu Heizzwecken), industriellen Tätigkeiten und Staubverwehungen (z. B. bei landwirtschaftlichen Aktivitäten) die Luftqualität beeinflussen. Die Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (FBB) hat im Jahr 2011 ein Umwelt-Untersuchungsprogramm ins Leben gerufen, um die Luftqualität und die Umweltwirkungen des Luftverkehrs langfristig zu beobachten: <https://www.berlin-airport.de/de/unternehmen/umwelt/luft/index.php>.



Mit einer Messstelle analysiert die FBB die Luftgüte auf dem Gelände des Flughafens Berlin Schönefeld auf luftverkehrstypische Schadstoffe. Die Ergebnisse dieser Immissionsmessungen werden durch das Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU) bewertet. Die Messwerte werden täglich auf der Internetseite des Landesumweltamts veröffentlicht: <https://luftdaten.brandenburg.de/home/-/bereich/messstationen/bbi-001>.

Seit März 2018 hat die FBB ihr Luftgütemessprogramm um eine mobile Messstelle in Bohnsdorf erweitert. Hier werden die gleichen Luftgüte-Parameter gemessen wie an der stationären Messstelle. Die FBB veröffentlicht die Ergebnisse jährlich in ihrem Luftgütebericht: <https://www.berlin-airport.de/de/unternehmen/umwelt/luft/luftguete-messstelle/index.php>.

Das **Biomonitoring** ist ein freiwilliger Baustein des Umwelt-Untersuchungsprogramms: Luftschadstoffanreicherungen werden in lebenden Organismen, den **Bioindikatoren**, untersucht und geben über die Verbreitung von Luftschadstoffen durch den Luftverkehr und deren **Immissionswirkungen** auf die Umwelt im Umfeld des Flughafens Schönefeld Aufschluss. Das Biomonitoring wurde bislang in den Jahren 2011 und 2012 mit Grünkohlkulturen - als Vertreter von Lebensmitteln des Menschen - sowie 2012, 2013 und 2015 mit Graskulturen - als Vertreter von Vegetation und Futtermitteln - durchgeführt. Die standardisierten Kulturen wurden in der Flughafenregion für bestimmte Zeit aufgestellt, geerntet und auf Schwer- und Spurenmetalle sowie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) analysiert: <http://www.berlin-airport.de/de/unternehmen/umwelt/luft/biomonitoring/index.php>.

Ein weiterer freiwilliger Baustein des Programms, der sich damit beschäftigt, ob und welche Stoffe in die Umwelt und Lebensmittel gelangen und ob Auswirkungen des Flughafenbetriebs feststellbar sind, ist das Bienenmonitoring. In dessen Rahmen werden Honig, Pollen und Waben aus dem Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld seit 2011 auf Luftschadstoffe untersucht (siehe Kapitel 1.2). Seit dem Jahr 2017 ist der urbane Flughafen Berlin Tegel in das Bienenmonitoring integriert. Bienenvölker auf

dem Dach der Flughafenverwaltung lieferten 2017 und 2018 Honig, Pollen und Waben aus dem städtischen Flughafenumfeld. Im Jahr 2019 gab es einen Standortwechsel (siehe Kapitel 1.2.3).

1.2 Bienenmonitoring für ein umfassendes Bild über Wirkungen und Rückstände von Luftschadstoffen

Das Bienenmonitoring wurde von der Flughafen Berlin Brandenburg GmbH angelegt, um Fragen von Bürgern und Imkern nachzugehen, ob der im Umland produzierte Honig von Luftschadstoffen unbelastet ist, die aus dem Flughafenbetrieb stammen können. Bienenmonitoring kombiniert dazu Umwelt- und Rückstandsuntersuchung, um ein umfassendes Bild über Einträge (Depositionen) und Auswirkungen von Luftschadstoffen zu liefern (siehe Bild 1.2-1): Die gesamte Anreicherungskette – Bienenvitalität, Blütenpollen, Wabenwachs und Bienenhonig – wird betrachtet. Die Untersuchungen seit 2011 im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld stellen die Dokumentation möglicher Veränderungen sicher und werden über die Inbetriebnahme des BER hinaus fortgesetzt. Auch das 2017 gestartete Monitoring am Flughafen Berlin Tegel wird in den nächsten Jahren fortgesetzt.

1.2.1 Wie gelangen typische Luftschadstoffe aus dem Flughafenbetrieb in die Umwelt?

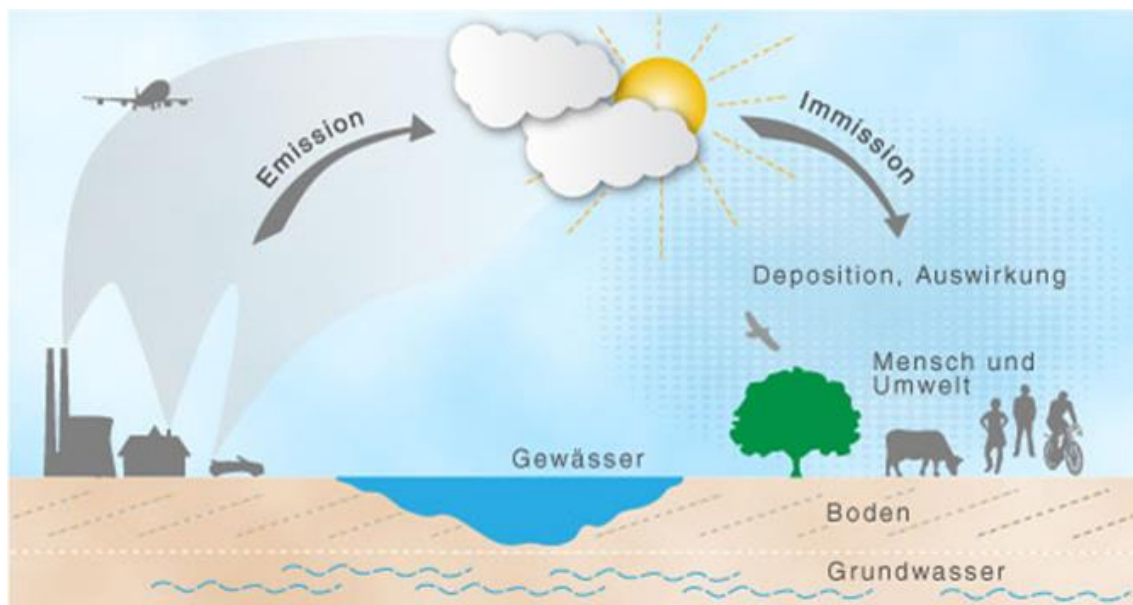


Bild 1.2-1: Schadstoffe gelangen über die Luft in die Umwelt [Copyright Grafik Dr. Monica Wäber]

Beim Betrieb eines Flughafens werden Luftschadstoffe freigesetzt: bei Starts und Landungen, dem Bodenbetrieb und dem Kfz-Zubringerverkehr.

Neben dem Flughafenbetrieb geben viele weitere Quellen (**Emittenten**) unerwünschte Stoffe in die Umgebungsluft ab (**Emissionen**). Die Schadstoffe können in der Luft sehr weiträumig transportiert werden und unterliegen dabei Umwandlungsprozessen (**Transmissionen**). Wo und wie die Luftschadstoffe in die Umwelt eingetragen werden (**Depositionen**) und sich anreichern und wirken (**Immissionswirkungen**), hängt von ihren Eigenschaften, der Witterung, dem Gelände, der Vegetation und weiteren Faktoren ab. Ein Flughafen trägt nur zu geringem Teil¹ zu den sich überlagernden Immissionen in seinem Umfeld bei.

Die **Immissionen** können gasförmig, als feste Partikel trocken oder mit dem Niederschlag in Gewässer, Böden und Organismen gelangen (siehe Bild 1.2-1).

Beim Bienenmonitoring wird der Gehalt von Schwer- und Spurenmetallen sowie polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Honig, Pollen und Wachs untersucht. Die ausgewählten Spuren- und Schwermetalle (kurz: Metalle) gelangen aus vielen Quellen in die Umwelt, z. B. aus industriellen Prozessen, dem Reifen- und Bremsabrieb im Kfz- und Flugverkehr, Staubverwehungen von versiegelten Flächen, oder landwirtschaftlichen Aktivitäten. Die PAK sind eine Stoffgruppe, die in unvollständigen Verbrennungsprozessen entsteht. Sie können aus Verkehrsabgasen, häuslicher Kleinf Feuerung (sogenannter Hausbrand), Industrie und dem Flughafenbetrieb stammen, dort als Rückstände aus dem Kerosin. Von diesen umweltgiftigen (ökotoxischen) Stoffen können gewisse, z. B. PAK und Cadmium, auf den Menschen krebserregend wirken. Einige der untersuchten Metalle sind als Spurenmetalle einerseits lebensnotwendig, z. B. Kupfer und Zink. In höheren Konzentrationen können sie aber ebenfalls ökotoxisch und gesundheitsschädlich wirken.

1.2.2 Wie können Luftschadstoffe in Bienen, Pollen, Wachs und Honig kommen?

Bienen kommen bei ihren Sammelflügen mit Stoffen in Luft, Niederschlag, Wasser und Trachtpflanzen in Kontakt (siehe Bild 1.2-4). Sie reagieren empfindlich auf Schadstoffe und Störungen ihrer Lebensbedingungen. Darum wird beim Bienenmonitoring auch die Vitalität der Bienenvölker untersucht.

Ein Bienenvolk besteht aus 30.000 bis zu 50.000 Bienen. Bei ihren täglichen Flügen fliegen die Sammlerbienen rund 4.000 Blüten in einem Radius von bis zu rund 3 km an, eine Fläche bis zu 30 km² (Bogdanov 2006).



Bild 1.2-2: Sammelgebiet der Bienen am Flughafen [Copyright Foto: G. Wicker, LIGATUR]

¹ Laut Studie der TU Berlin haben große Flughäfen weniger als 10 % Anteil an der regionalen Gesamtbelastung.

Man bezeichnet Bienen daher als flächenbezogene Sammler (VDI 4330/4 2006). Wie aktiv sie sammeln und in welcher räumlichen Ausdehnung, hängt vom Wetter, der Landschaftsnutzung und vor allem vom Nahrungsangebot ab. Die Nahrung der Bienen umfasst den verfügbaren Nektar, Honigtau und Pollen der Trachtpflanzen.

Blütenpollen der Trachtpflanzen (siehe Bild 1.2-3) ist, abhängig von der Pflanzenart, mehr oder weniger direkt Immissionen und Luftschadstoffeinträgen in die Umwelt ausgesetzt. Blütenpollen kann als **Bioindikator** betrachtet werden (VDI 3957/1 2014) weil er als Teil pflanzlicher Organismen **Immissionswirkungen** – als veränderte Stoffgehalte – anzeigt.

Der eiweißreiche Pollen wird von den Bienen durch Speichel fermentiert und in speziellen Wabenbereichen im Bienenstock eingelagert. Dieser Pollen wird als **Bienenbrot** bezeichnet (VDI 4330/4 2006). Er dient als Nahrung für die Brut.

Blütenpollen steht auch auf dem Speisezettel des Menschen und wird gerne als Nahrungsergänzungsmittel verwendet.



Bild 1.2-3: Biene sammelt Blütenpollen an Trachtpflanze [Copyright Foto: @iStockphoto.com/alexandrumagurean]

Wabenwachs stammt nicht wie Pollen aus der Umwelt, sondern wird wie Honig 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. Frische, zunächst weiße Wachsplättchen verfärben sich gelb durch Aufnahme des carotinhaltigen Pollenöls aus dem Blütenpollen. Ursprünglich hellgelbe Waben werden nach einigen Wochen dunkler, durch das Bebrüten braunschwarz.

Wabenwachs wird beim Bienenmonitoring untersucht, weil sich aufgrund der chemischen Eigenschaften darin fettlösliche (lipophile) Stoffe, wie etwa PAK, besonders gut anreichern können und weil im Wachs enthaltene Schadstoffe in darin eingelagerten Pollen und Honig übergehen könnten.

In der Regel bauen die Bienen lediglich die Drohnenwaben für die Aufzucht der männlichen Bienen in **Naturbau** zu 100 Prozent selbst (auch: Wildbau, siehe Bild 1.2-4). Für Brut- und Honigwaben hängen die Imker Wachsmittelwände in den Bienenstock, auf denen ihre Bienenvölker Waben aufbauen und dafür nur etwa die Hälfte Wachs produzieren müssen (siehe Bild 1.2-5). Vorgefertigte

Mittelwände werden aus dem Fachhandel bezogen, oder von den Imkern aus eigenem Wachskreislauf selbst hergestellt, d. h. aus eingeschmolzenen, gereinigten Waben eigener Bienenvölker.

Vom Menschen wird das Wachs zur Herstellung von Bienenkerzen verwendet. Größter Verbraucher ist allerdings die kosmetische und pharmazeutische Industrie: für von Bienen produziertes Wachs als Bestandteil von Kosmetika und Heilmitteln². Außerdem wird Bienenwachs als Lebensmittelzusatzstoff E 901³ als Trenn- und Überzugsmittel z. B. für Gummibärchen genutzt.

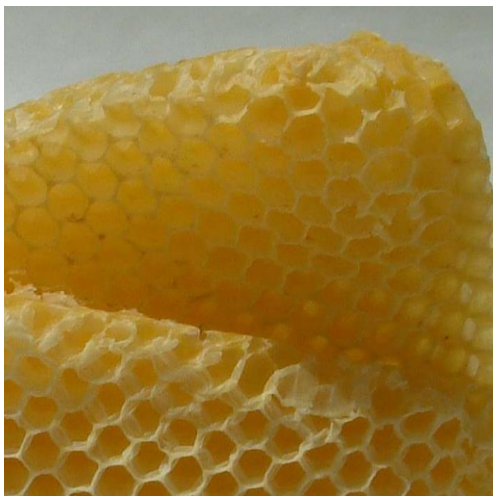


Bild 1.2-4: Naturbauwachs



Bild 1.2-5: Honigwabe auf Wachsmittelwand

Bienenhonig ist ein Produkt der Bienen. Die Bienen sammeln zuckerhaltige Ausscheidungen von Blüten, den Nektar, und zuckerhaltigen Pflanzensaft bzw. Ausscheidungen an Pflanzen saugender Insekten, den Honigtau. Nektar und Honigtau werden im Stock von Biene zu Biene weiter gereicht und zu Honig umgewandelt, der in speziellen Honigwaben einlagert wird (siehe Bild 1.2-5).

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 (auch Nektarhonig) stammt vollständig oder überwiegend aus dem Nektar von Blüten. Er wird von den Bienen als Frühtracht, als ein oder zwei Trachten im Laufe des Sommers und oft als eine Spättracht vor der Einwinterung produziert. Reiner Honigtau-Honig, z. B. Waldhonig, wird von den Bienen nur selten, bei entsprechend günstiger Witterung hergestellt.

Honig steht als vielfältig genutztes Lebensmittel des Menschen im Mittelpunkt des Bienenmonitoring.

² Agroscope - Zentrum für Bienenforschung (Schweiz), Quelle im Internet: <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/nutztiere/bienen/bienenprodukte/Bienenwachs.html>, Stand 22.10.2019

³ Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Quelle im Internet: http://www.bfr.bund.de/de/bewertung_von_tierischen_stoffen__die_in_lebensmitteln_vorkommen-54428.html, Stand 22.10.2019

Stoffe, die mit dem Nektar und Honigtau aufgenommen werden, können aus der Honigblase der Biene in das umliegende Körpergewebe abgeschieden werden. Stoffgehalte können so bei der Honigproduktion in einem gewissen Maß abnehmen, gleichzeitig in den Bienen zunehmen. Mitunter wird eingewendet, im Honig seien keine Stoffrückstände zu erwarten, da die Biene als „Biofilter“ wirke, von Pestiziden und anderen Chemikalien belastete Bienen sogar meist sterben würden, bevor sie diese in den Stock und die Bienenprodukte eintrügen⁴. Um diesem Einwand entgegen zu treten, berücksichtigt das Bienenmonitoring die Vitalität der Bienen und untersucht die Stoffgehalte auch in Pollen und Wachs.

1.2.3 Bienenmonitoring 2011 bis 2019 - Hintergrund, Konzept, Vorgehen

Hintergrund: Die Untersuchung von Honig aus dem Flughafenumfeld auf **Rückstände** von Luftschadstoffen wurde in Deutschland nach Aussage der Flughafen Hamburg GmbH erstmals dort 1999 durchgeführt⁵. Andere deutsche Verkehrsflughäfen – wie u. a. Dresden, Hannover, Köln/Bonn, Nürnberg – hatten sich ab 2003 in Untersuchungen der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen e. V. (ADV) zusammengeschlossen und führen auch aktuell im Verbund des ADV⁶ Luftschadstoff-Rückstandsanalysen von Honig durch (Wäber und Pompe 2017). Aber auch individuell finden an den Flughäfen Düsseldorf⁷, Bremen⁸ und Stuttgart⁹ Honiguntersuchungen statt. Mit Pollen-, Wachs- und Honiguntersuchungen sowie Vitalitätserhebungen, an einer Reihe von Standorten im Flughafenumfeld und solchen in einem flughafenfernen Referenzgebiet, startete der Flughafen München 2008 systematisches Honigmonitoring (Wäber und Hergt 2011). Am Flughafen Frankfurt fanden 2006 bis 2008 ähnliche Pollen-, Honig und Vitalitätsuntersuchungen statt¹⁰. Das Honigmonitoring im Umfeld des Flughafens München wurde kontinuierlich fortgeführt und seine Ergebnisse publiziert¹¹. Sie dienen als aktuelle Vergleichswerte für das hier vorgelegte Bienenmonitoring (siehe Kapitel 1.2.4).

⁴ z. B. in *Details für Interessierte: Rückstandsuntersuchungen*. Langnese Honig GmbH & Co KG (Hrsg.), Bargteheide, Quelle im Internet: <http://www.langnese-honig.de/unser-honigwissen/163/details-fuer-interessierte.html>, Stand 22.09.2018

⁵ Quelle im Internet: https://www.hamburg-airport.de/media/Honig_vom_Airport.pdf, Stand 22.09.2018 und https://www.hamburg-airport.de/de/luft_und_klima.php, Stand 22.10.2019

⁶ Quelle im Internet: <http://www.airliners.de/imker-flughaefen-honig-einsatz-beruf-karriere/34294>, Stand 22.10.2019

⁷ Quelle im <https://www.dus.com/de-de/konzern/nachbarn/umweltauswirkungen/luftqualitaet/bienenprojekt-duesseldorf-airport>, Stand 22.10.2019

⁸ Quelle im Internet: <http://www.bremen-airport.com/umwelt/alles-im-gruenen-bereich/>, Stand 22.10.2019

⁹ Quelle im Internet: <https://www.flughafen-stuttgart.de/fairport-str/klimaschutz-ressourcen>, Stand 22.10.2019

¹⁰ Quelle im Internet: <http://www.fraport.de/content/fraport/de/misc/binaer/nachhaltigkeit/stakeholder-dialog/sonstige-veroeffentlichungen/biomonitoring/jcr:content.file/file.pdf>, Stand 21.10.2015, zitiert in https://www.fraport.de/content/fraport/de/misc/binaer/unternehmen/verantwortung/publikationen/umwelt/umwelterklaerungen/umweltbericht_umwelterklaerung2008/jcr:content.file/umweltbericht_umwelterklaerung_2008.pdf, Stand 22.10.2019

¹¹ Quelle im Internet: <https://www.munich-airport.de/honigmonitoring-88383>, Stand 22.10.2019

Konzept: Das Bienenmonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld wurde 2011 aufgelegt.

Im Jahr 2011 startete das Monitoring zunächst mit Bienenvölkern an zwei Standorten (siehe Karte Umschlaginnenseite und Kapitel 2.1): am flughafennahen, ruralen (ländlichen) Standort BFM bei Mahlow und am flughafenferneren, ruralen Referenzstandort BRR bei Rangsdorf.

Im Jahr 2012 wurde mit BRR fortgefahren und als neue Standorte kamen suburban-flughafennah BER (suburban: vorstädtisch), unmittelbar an der Flughafenverwaltung, und rural-flughafenfern BRS hinzu. BRS als flughafenferner Referenzstandort liegt im Biosphärenreservat Schorfheide, rund 90 km nord-östlich von Schönefeld.

Von 2013 bis 2016 umfasste das Bienenmonitoring drei Standorte: BER, BRS und neu, rural-flughafennah BKB, bei Kiekebusch. Im Frühjahr und Sommer 2015 begleitete es die Sanierung der bislang betriebenen Nordbahn des Flughafens Berlin Schönefeld und zeitgleiche Nutzung der südlichen Start- und Landebahn. Im Jahr 2016 wurde wieder die Nordbahn genutzt.

Seit 2017 schließt das Bienenmonitoring als vierten Standort den urban-flughafennahen Standort TXL ein. Ein Bienenvolk steht seit dem Frühjahr 2017 auf dem Dach der Flughafenverwaltung.

Im Jahr 2019 übergab der Imker, der die Standorte BER und BKB betreute, seine Tätigkeit an Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am Flughafen Schönefeld. Der Standort BER wurde geringfügig verlegt (das Einzugsgebiet der Bienenvölker blieb gleich) und wird nun von zwei FBB-Imkerinnen betreut. Der Standort BKB wurde aufgegeben. Dafür wurde der Standort BMF auf dem Flughafengelände von einem imkernden Sicherheitsmitarbeiter neu eingerichtet und betreut.

Das Bienenmonitoring wird mit den anderen Bausteinen des Umwelt-Untersuchungsprogramms nach Inbetriebnahme des Flughafens Berlin Brandenburg (BER) hinaus fortgeführt werden, um mögliche Umweltwirkungen nach Eröffnung des BER dort und in Berlin am Flughafen Tegel zu dokumentieren.

Die Ergebnisse des Bienenmonitorings beantworten nicht direkt, ob die Luft rein ist, sondern bieten ein umfassendes Bild über die Anreicherungskette aus der Luft in die Umwelt: über Einträge und Auswirkungen der Luftschadstoffe in bzw. auf Bienen und Bienenprodukte. Seit Frühjahr 2011 werden daher Blütenpollen auf **Immissionswirkungen** sowie Wachs der Bienenwaben und das Lebensmittel Honig auf **Rückstände** der Luftschadstoffe analysiert, die auch beim Biomonitoring betrachtet werden: PAK und die Metalle Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Zink, sowie in Honig und seit 2015 in allen Proben zusätzlich Kupfer und Quecksilber. Zudem werden Parameter erhoben, die Aufschluss über die **Vitalität** der Bienenvölker geben. Proben zweier **Trachten**, der Früh- und der Sommertracht von Bienenvölkern in unterschiedlicher Entfernung zum Flughafen werden analysiert und mit denen von dem **Referenzstandort** verglichen, fernab des Flughafens im ländlichen Hintergrundgebiet.

Seit 2016 gilt nach Lebensmittelrecht (VO (EU) Nr. 2015/1003) für Blei in Honig ein Höchstgehalt von 0,1 mg/kg. Dieser strenge Höchstgehalt wurde zum Anlass genommen, die Empfindlichkeit der gesamten Metallanalytik um den Faktor 4 zu erhöhen, um weiterhin Stoffgehalte deutlich unterhalb Höchstgehaltniveau aufspüren zu können. Zudem gelten seit 2016 für PAK in Nahrungsergänzungsmitteln neue Höchstgehalte (VO (EU) Nr. 2015/1933), die auf Pollen angewendet werden können (siehe Kapitel (1.2.4).

Vorgehen: Liegt ein Einfluss des Flughafens auf in dessen Umfeld erzeugten Honig vor? Sind flughafennah höhere Luftschadstoffgehalte in Pollen, Wachs und Honig festzustellen? PAK können z. B. aus Kfz-, Flug- und Bahnverkehr oder aus häuslicher Kleinfeuerung stammen, Chrom und Antimon z. B. aus Reifen- und Bremsabrieb im Kfz-Verkehr und Flughafen-Bodenbetrieb. Im Unterschied zum Bio-monitoring, bei dem man Immissionswirkungen messpunktgenau mit ortsfesten Bioindikatoren – aufgestellten Kulturpflanzen – bestimmt, umfasst Bienenmonitoring ein Gebiet (Wäber et al. 2016). Daher ist der spezifische Nachweis eines **Emittenten** nicht möglich. Immissionswirkungen im Pollen stammen aus dem Gebiet um den Bienenstock, in dem die Bienen den Pollen gesammelt haben: je nach Trachtangebot direkt vom Flughafengelände und den umliegenden Gärten, Äckern, Wiesen, Sträuchern und Bäumen. Nektar und Honigtau als Grundstoffe für den Honig stammen ebenfalls aus dem – je nach Nahrungsangebot – während der Tracht beflogenen Gebiet. Rückstände im Honig können daher von verschiedenen Luftschadstoffquellen im beflogenen Gebiet stammen, dessen Radius rund 3 Kilometer um den Bienenstock beträgt.

UMW Umweltmonitoring Dr. Monica Wäber, München, ist als unabhängige Gutachterin mit der Bewertung des Bienenmonitoring beauftragt. Bienen, Pollen- und Wachsproben sowie seit 2015 die Honige wurden von deren Partnerlaboren analysiert. Die Honige 2011 bis 2014 waren von einem weiteren unabhängigen Labor im Auftrag der FBB untersucht worden.

1.2.4 Vergleichswerte, Höchstgehalte und zur Orientierung hilfsweise heranzuziehende Beurteilungswerte

Der Bewertung, ob ein Flughafeneinfluss¹² und – im Falle des Bienenstandortes Tegel – Einflüsse weiterer, städtischer Quellen erkennbar werden, erfolgt primär durch den Vergleich zwischen Ergebnissen aus den Flughafenumfeldern mit dem **Referenzstandort** (Wäber et al. 2016).

Des Weiteren werden Ergebnisse anderer Untersuchungen, v. a. die des zeitgleich mit den beschriebenen Methoden (siehe Kapitel 2) beim Honigmonitoring im Umfeld des Flughafen München erzielten, als Vergleichswerte herangezogen (Wäber und Pompe 2019 und mündliche Mitteilung Flughafen München GmbH). Die Methoden und Bestimmungsgrenzen stimmen mit denen im Vergleichsgebiet – beim Honigmonitoring am Flughafen München – überein.

Zusätzlich dient der Vergleich mit **Beurteilungswerten** der Risikoabschätzung. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit begrenzen Lebensmittel-**Höchstgehalte** gemäß EU-Verordnungen (VO) den Gehalt unerwünschter Stoffe in Lebensmitteln auf toxikologisch vertretbare Werte. Honig gilt als naturreines Lebensmittel, Pollen wird von Menschen als Nahrungsergänzungsmittel verwendet. Seit 2016 gilt für Blei in Honig ein Höchstgehalt (VO (EU) Nr. 2015/1005). Für Benzo[a]pyren (BaP) und PAK4 – die Summe aus BaP, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen – als Leitsubstanzen der PAK¹³ sind für spezielle Nahrungsergänzungsmittel, unter anderem solche die „Kittharz, Gelée Royale¹⁴ [...] enthalten“, seit 2016 Höchstgehalte festgelegt (VO (EU) Nr. 2015/1933). Sie können auf Pollen angewendet werden.

Für Cadmium und Quecksilber sind in den Verordnungen VO (EG) Nr. 1881/2006 mit VO (EU) Nr. 629/2008 und Nr. 420/2011 sowie Nr. 488/2014 Höchstgehalte für Nahrungsergänzungsmittel festgelegt. Diese Höchstgehalte wurden bislang hilfsweise orientierend auf Pollen (nicht auf Honig) bezogen, da Pollen zwar als Nahrungsergänzungsmittel verwendet wird, aber in den Verordnungen nicht ausdrücklich als solches genannt ist (siehe Tabelle 1.2-1). Für Cadmium gilt dies weiterhin.

¹² Ein punktgenauer Emittentennachweis schließt sich mit den Bienen als flächenbezogenen Sammlern aus (vgl. Kapitel 1.2.2), auch weil die Luftschadstoffe aus weiteren Quellen als dem Flughafenbetrieb stammen können.

¹³ Die Höchstgehalte PAK4 dienen dazu, dass der PAK-Gehalt in Lebensmitteln in einem Rahmen bleibt, der keine Gesundheitsbedenken mit sich bringt, und dass die Menge an PAK auch in Proben kontrolliert werden kann, in denen sich kein Benzo[a]pyren nachweisen lässt, aber andere PAK vorhanden sind.

¹⁴ Kittharz, auch Propolis genannt, ist Baumharz, das die Bienen zum Abdichten in den Stock bringen. Gelée Royale, auch Weisel- oder Königinnenfuttersaft, ist ein Drüsensekret, das eine Bienenlarve zur Königin macht, wenn sie damit in den ersten drei Larvenstadien aufgezogen wird.

Für Quecksilber hat die Europäische Kommission 2018 eine Änderung der Verordnung (EG) Nr. 3696/2005 auf den Weg gebracht und Höchstgehalte an Rückständen von Quecksilberverbindungen u. a. für Honig und sonstige Imkereierzeugnisse festgelegt: 0,01 mg/kg (VO (EU) Nr. 2918/73).

Für Honig hatte der Rat der EU vormals 0,1 mg/kg für Cadmium und 1 mg/kg für Blei als Höchstgehalte vorgeschlagen (Byrne 2000). In Österreich waren **Aktionswerte** zur höchst vorsorglichen Risikominderung für Cadmium von 0,05 mg/kg und für Blei von 0,25 mg/kg in Honig erlassen worden (ÖBMG 2015, zuletzt geändert 2019). Der Aktionswert für Cadmium besteht weiter. Für Blei gilt europaweit der regulatorische Höchstgehalt in Honig (VO (EU) Nr. 2015/1005), der – verglichen mit dem früheren Aktionswert – mit 0,1 mg/kg sehr streng ausfällt.

Tabelle 1.2-1: Höchstgehalte für Blei in Honig, Quecksilberverbindungen in Honig und Imkereierzeugnissen und orientierende Beurteilungswerte

in mg/kg OS	Höchstgehalt für Honig (VO (EU) Nr. 2015/1005)	Aktionswert
Blei	0,1	-
in mg/kg OS	Höchstgehalt für Honig und Imkereierzeugnisse (VO (EU) Nr. 2018/73)	Aktionswert
Quecksilber	0,01	-
Stoff in mg/kg OS	Spannen aktueller Höchstgehalte (VO (EG) Nr. 1881/2006, 629/2008, VO (EU) Nr. 835/2011, 420/2011, 488/2014, 2015/1006, 2015/1933)	Aktionswerte (ÖBMG 2015)
Blei	3,00 - f. Nahrungsergänzungsmittel: orientierend für Pollen	
Cadmium	0,005 - strengster Wert für Säuglingsnahrung auf Kuhmilchbasis bis zu 1,00 - f. Nahrungsergänzungsmittel: orientierend für Pollen 3,00 - f. Nahrungsergänzungsmittel aus Seetang	0,05 für Honig (kein deutsches Recht)
Arsen	0,10 – strengster Wert für Reis zu Herstellung von Säuglingsnahrung bis 0,30 - f. Reiskekse, -waffeln, -kräcker, -kuchen	-
Benzo[a]pyren	0,001 - strengster Wert z. B. für Säuglingsnahrung bis zu 0,006 - Muscheln (geräuchert) und 0,010 - f. Nahrungsergänzungsmittel: für Pollen anwendbar	-
Summe PAK4	0,001 - strengster Wert z. B. für Säuglingsnahrung bis zu 0,035 - Muscheln (geräuchert) und 0,050 - f. Nahrungsergänzungsmittel: für Pollen anwendbar	-
OS: Originalsubstanz; Kleinschrift: nur hilfsweise orientierend, da für andersartige Lebensmittel gültig		

Für andere toxikologisch relevante Stoffe, etwa für BaP und PAK4 in Honig, sind derzeit keine Ableitungen bekannt (Wäber et al. 2016). Hier können Wertespanten der Höchstgehalte, die die EU für

diese Stoffe in andersartigen Lebensmittel vorgibt, hilfsweise orientierend betrachtet werden (siehe Tabelle 1.2-1: Kleinschrift):

- Höchstgehalte für BaP und PAK4 für bestimmte, im Wesentlichen fetthaltige Lebensmittel bis hin zu Nahrungsergänzungsmitteln (VO (EU) Nr. 835/2011, Nr. 420/2011, Nr. 2015/1933).
- Höchstgehalte für Arsen sind seit 2016 festgelegt, allerdings für Reis-Lebensmittel (VO (EU) Nr. 2015/1006).

Folgendes darf dabei nicht außer Acht gelassen werden:

- Erstens besitzen andere Lebensmittel andersartige Eigenschaften.
- Zweitens bedienen sich Lebensmittelprüfungen im Sinne des Lebensmittelrechts teilweise anderer Analyseverfahren als das Bienenmonitoring als Umweltuntersuchung.
- Drittens sind besonders strenge Höchstgehalte für Säuglingsnahrung nicht heranzuziehen, da Säuglinge keinen Honig verzehren sollten.

Immissionswirkungen bzw. Stoffrückstände, die in anderen Umweltproben bzw. Lebensmitteln ermittelt wurden, können eine Orientierung geben, welche Gehalte in anderen Lebensmitteln als „normal“ und welche als „hoch“ gelten. Eine Übersicht über aktuell gültige Höchstgehalte und Aktionswerte als orientierende Beurteilungswerte findet sich in Tabelle 1.2-1 und zusammen mit aktuellen orientierenden Vergleichswerten in Tabelle 1.2-2.

Tabelle 1.2-2: Aktuelle orientierende Vergleichswerte für Pollen und Honig

Stoff in mg/kg	Vergleichswerte lt. EFSA etc.		Beurteilungswerte: Höchstgehalte, Aktionswerte		
	Pollen / NEM pflanzlich	Honig / Zucker (Lebensmittel)	Pollen Nahrungsergänzungsmittel (NEM)	Honig	andere Lebensmittel
Antimon (Sb)	-	-	-	-	-
Arsen (As)	0,372-0,383 ¹⁾ (EFSA 2014)	0,029-0,032 ^{1)*} , 0,013-0,02 ^{1)**} (EFSA 2014)	-	-	0,10-0,30 (VO 2015/1006 für Reis-Lebensmittel)
Blei (Pb)	0,62-0,64 ¹⁾ (EFSA 2010)	0,034-0,06 ¹⁾ (EFSA 2010, andere Zuckerprodukte)	3,0 (VO1881/2006, bis 2015/1005, nicht algenbasierte NEM)	0,1 Höchstgehalt (VO (EU) 2015/1005)	0,01-3,0 (VO 1881/2006 bis 2015/1005)
Cadmium (Cd)	0,073-0,077 ¹⁾ (EFSA 2012)	0,0036-0,014 ¹⁾ (EFSA 2012)	1,0 (VO 488/2014, nicht algen-basierte NEM)	0,05 (ÖBMG 2012, Aktionswert)	0,005-3,0 (VO 1881/2006 bis 488/2014)
Chrom (Cr)	-	(0,0002-0,0003 in Hering & Rind, 0,002-0,003 Tomaten, getrockn. Datteln 0,1 Paranüssen; EUFIC 2015)	0,06 mg/Tag: je NEM-Produkt, 6 mg/kg umgerechnet bei Verzehr von 10 g Pollen/Tag als NEM/ (BgVV 2002)	-	-
Kupfer (Cu)	-	-	1,0 mg/Tag: je NEM-Produkt, 100 mg/kg umgerechn.bei Verzehr v. 10 g Pollen/Tag als NEM (BgVV 2002)	-	1–1,5 mg/Tag als Empfehlung für die gesamte tägliche Zufuhr (DGE 2017) 1,3-1,5 mg/Tag laut EFSA (2015a)
Nickel (Ni)	3,8-3,9 ¹⁾ (EFSA 2014)	0,14-0,16 ¹⁾ (EFSA 2014)	-	-	-
Quecksilber (Hg)	0,50-0,51 ¹⁾ (EFSA 2012a)	0,0005-0,0048 ¹⁾ (EFSA 2012a)	0,01 Höchstgehalt Imkereierzeugnisse VO(EU) Nr. 2018/73	0,01 Höchstgehalt VO(EU) Nr. 2018/73	0,1-1,0 (VO1881/2006, 420/2011, 0,1 NEM-1,0 in best. Fleisch/Fisch)
Zink (Zn)	-	-	5 mg/Tag je NEM-Produkt 500 mg/kg umgerechnet bei Verzehr von 10 g Pollen/Tag als NEM (BgVV'02)	-	7-10 mg/Tag als Empfehlung für die gesamte tägliche Zufuhr (BgVV 2002)
Benzo[a]-pyren / PAK4	-	-	0,010 BaP 0,050 PAK4 Höchstgehalte (VO 2015/1933), Kittharz, Gelee Royale	-	0,001-0,006 BaP 0,001-0,035 PAK4 (VO1881/2006, 835/2011; Säuglingsnahrung bis geräucherte Muscheln)

Verzehrempfehlungen, z.B. 1,0 mg/Tag Kupfer je NEM-Produkt, sind umgerechnet auf den Verzehr von 10 g Pollen/ Tag als NEM (10 g entsprechen ca. 5 Teelöffeln) und lassen im Beispiel maximal 100 mg/kg als Kupfergehalt zu. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Kupfer aber auch über andere Lebensmittel zugeführt wird.

¹⁾: untere (LB: lower bound) und obere Grenze (UB: upper bound) des arithmetischen Mittelwerts (aMW): in LB gehen „Werte“ kleiner Bestimmungsgrenze mit „0“ ein, in UB gehen „Werte“ <BG mit dem Wert der BG ein;

*: Blütenhonige; **: unspezifizierte Honige;

PAK4: Benzo[a]pyren (BaP), Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren, Chrysen;

schwarze Schrift: für Pollen, Honig; kursiv: Aktionswert für Honig, nicht in Deutschland gültig;

grau: für andere Nahrungsergänzungs- und zuckerähnliche Lebensmittel;

graue Kleinschrift: für andersartige Lebensmittel gültig

2 Methoden – Bienenvölker, Standorte, Proben, Analysen

2.1 Standorte der Bienenvölker

Seit 2011 werden Bienenvölker in unterschiedlicher Entfernung zum Flughafen Berlin Schönefeld und seit 2017 ein Bienenvolk am Standort Flughafen Berlin Tegel und deren Proben untersucht und mit denen von einem vom Flughafen entfernten Referenzstandort verglichen.

Tabelle 2.1-1: Standorte der Bienenvölker im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld

Bienenvölkerstandort		Jahr									Beschreibung (grau: aufgelassen)
TXL	urban-flughafennah Flughafen Verwaltung Tegel							2017	2018	2019	Bezirk Reinickendorf, nordöstlicher Stadtrand von Berlin, in Siedlungs-, Verkehrs- und Flugverkehrsnahe; von zwei Nachwuchsimkern betreut
BER	suburban-flughafennah Flughafen Verwaltung Schönefeld		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	unmittelbarer Flughafenstandort, Gmd. Schönefeld, nahe Verwaltungsgebäuden; Bienenvölker befliegen das Flughafengelände; 2019 von FBB-Imkerinnen betreut
BMF	rural-flughafennah Flughafen (künftig BER) Vorfeld									2019	unmittelbarer Flughafenstandort, auf dem Vorfeld am Ostende der Nordbahn mittig zwischen Süd- und Nordbahn; Bienenvölker befliegen das Flughafengelände; von Sicherheitsmitarbeiter-Imker betreut
BFM	rural-flughafennah Mahlow	2011									knapp 3 km westlich des Endes der Start-/Landebahn Nord des Flughafens Berlin Schönefeld in Mahlow
BKB	rural-flughafennah Kiekebusch			2013	2014	2015	2016	2017	2018		westlich Kiekebusch, rund 1,5 km südöstlich des Ostendes der Start-/Landebahn Süd (Mai-Okt. 2015 in Betrieb), rund 3 km vom Standort BER entfernt; bis 2018 vom BER Imker betreut
BRR	rural-flughafenfern Referenz Rangsdorf	2011	2012								6 km südlich des Flughafens in Rangsdorf, von BER Imker betreut
BRS	rural-flughafenfern Referenz Schorfheide		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Referenzstandort im von Wäldern und Landwirtschaft geprägten Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin in der Uckermark, rund 90 km nördlich vom BER; von dortigem Ökoimker betreut

Übersichten über die Standorte für das Bienenmonitoring 2011 bis 2019 geben Tabelle 2.1-1 (oben) sowie Bild 2.1-1 bis Bild 2.1-3.



Bild 2.1-1: Bienenvölker am Standort BER [Fotos: FBB und Dirk Trepke]



Bild 2.1-2: Bienenvölker am 2019 eingerichteten Standort BMF [Foto: Jens-Birger Lange]



Bild 2.1-3:
Bienenvölker
am Referenz-
standort BRS
[Foto: W.
Hirrle]

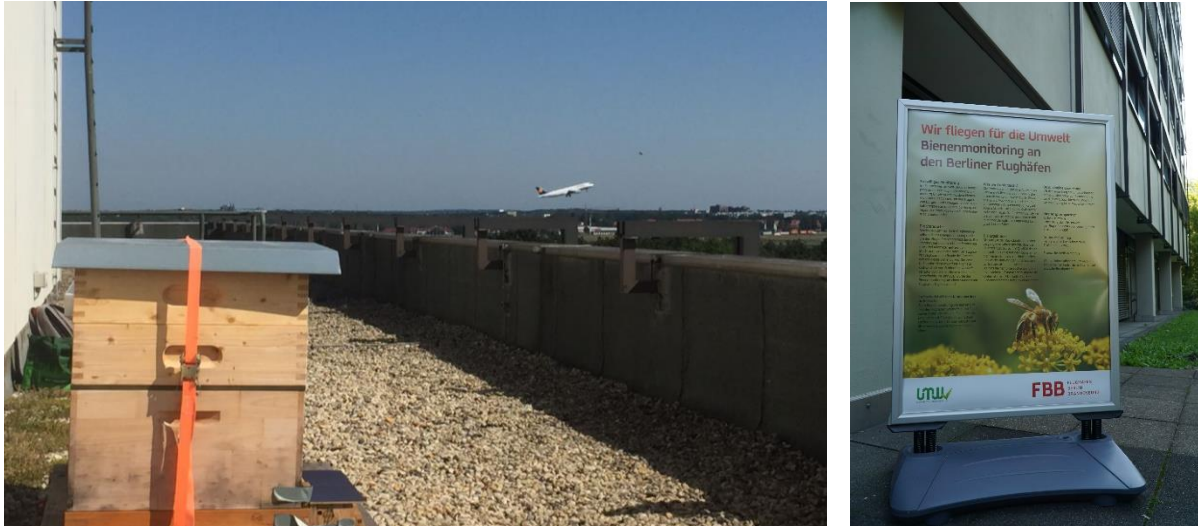


Bild 2.1-4: Bienenvolk am Standort TXL [Foto links: Tibor Pintér, Foto rechts: FBB]

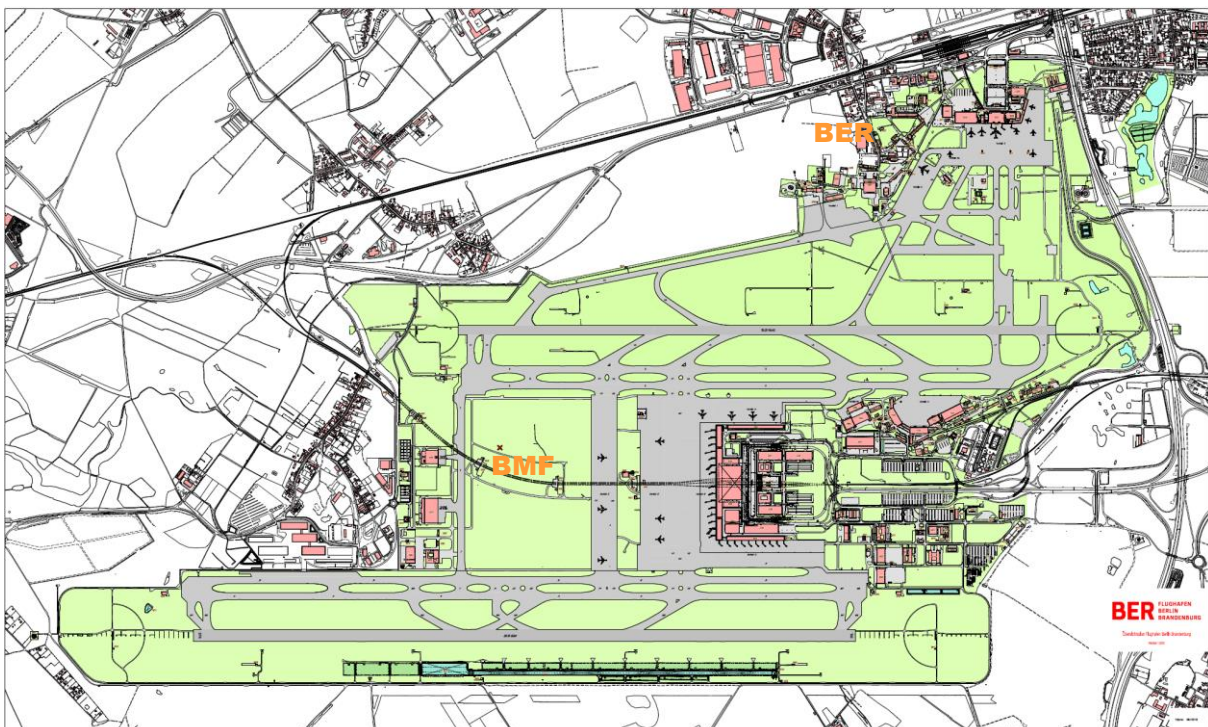


Bild 2.1-5: Übersichtplan des Flughafens Schönefeld (künftig BER) mit den Standorten BMF und BER 2019 (orange Schrift) [Quelle: FBB]

Die Bienenvölker auf dem Dach des Verwaltungsgebäudes des Flughafens Berlin Tegel (ein Wirtschaftsvolk seit 2017, vgl. Bild 2.1-4, und ein Ableger) befliegen die Bäume ringsum (Linde, Robinie, Weide u.a.) und Blüten in Kleingärten und Hausgärten (Obstbäume, Löwenzahn u.a.) sowie das Flughafengelände. Die BER-Bienenvölker nahe den Verwaltungsgebäuden des Flughafens Berlin Schönefeld können das Flughafengelände und die Blüten jenseits der Gebäude, Parkplätze, Straßen Richtung Schönefeld befliegen, die BMF-Bienenvölker auf dem Flughafen-Vorfeld die Blüten auf dem Flughafengelände sowie ringsum, z. B. Richtung Selchow (vgl. Bild 2.1-5).

Als Vergleichsgebiet dient das Umfeld des Flughafens München (Wäber 2014 bis 2018, Wäber und Pompe 2019): Die aktuellen Ergebnisse des „Honigmonitoring am Flughafen München“ der Flughafen München GmbH (FMG) werden primär bei der Bewertung mit herangezogen, da sie mit gleicher Methodik von den gleichen ausführenden Experten¹⁵ erzielt wurden. Das Honigmonitoring am Flughafen München wurde im Vergleichszeitraum an den in Tabelle 2.1-2 beschriebenen Bienenvölker-Standorten durchgeführt:

Tabelle 2.1-2: Vergleichsgebiet - Standorte der Bienenvölker am Flughafen München

Bienenvölkerstandort		Beschreibung der Standorte im Umfeld des Flughafen München
HFF*	Flughafenzaun Südbahn Freising	rural-flughafennaher Standort am Zaun der Start-/Landebahn Süd im Landkreis Freising, Bienen befliegen auch das Flughafengelände
HFT (HF2*)	Flughafen Tankstelle FMG-Verw.	verkehrs- und flughafennaher Standort im Landkreis Freising neben Tankstelle, nahe FMG-Verwaltungsgebäuden u. Südbahn, seit 2016 aufgelassen
MIF	Flughafen zwischen Bahnen	rural-flughafennaher Standort im Landkreis Erding, zwischen beiden Start-/Landebahnen, nahe dem Vorfeld für Kleinflugzeuge, seit 2018 aufgelassen
MEF	Flughafenzaun Nordbahn Erding	seit 2016, rural-flughafennaher Standort am Zaun der Start-/Landebahn Nord im Landkreis Erding, Bienen befliegen auch das Flughafengelände
MFS	Flughafenzaun Südbahn Erding	seit 2018, rural-flughafennaher Standort nahe Zaun der Start-/Landebahn Süd im Landkreis Erding, Bienen befliegen auch das Flughafengelände
AIC ³	Referenzgebiet Aichach	rural-flughafenferne Standorte in ähnlich strukturiertem Referenzgebiet Aichach bei Augsburg, rund 50 km westlich des Münchner Flughafens ohne Flughafeneinfluss
*: HF2, wenn HFF/HFT-Mischproben untersucht wurden; ³ : Mischproben von 3 Standorten (Pollen: v. 1 Standort)		

¹⁵ alle FMG-Analysen seit 2008 von UMW-Partnerlaboren, FBB Honiganalysen bis 2014 von weiterem, unabhängigen Labor im Auftrag der FBB

2.2 Bienen, Pollen-, Wachs- und Honigproben

Luftschadstoffe wurden in Pollen als Umweltprobe und in Wachs und Honig als Bienenprodukte analysiert. Es wurden jeweils Frühtracht- und Sommertrachtproben untersucht, um mit zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Messwiederholungen einen möglichst langen Zeitraum während der Bienenaison und die Spannbreite der Ergebnisse ansatzweise abzubilden (einheitlich ab 2012; s. Tabelle 2.2-1).

Pollen sowie Nektar und Honigtau als Grundstoffe für den Honig stammen aus dem Gebiet, das aufgrund des dortigen Nahrungsangebots während der Tracht befliegen wird. Pollenproben wurden mit Pollenfallen aus Kunststoffgittern am Eingang der Bienenstöcke gewonnen. Bis 2014 wurden Einzel-Pollenstichproben untersucht, die während eines bis weniger Tage während der jeweiligen Tracht gesammelt wurden. Ab 2015 wurden mehrere Pollen-Teilproben gesammelt, um das während der Tracht beflogene Pollensammelgebiet breiter zu erfassen, und dann zu einer Mischprobe pro Standort vereint (siehe Tabelle 2.2-2).

Wachsproben des ersten Untersuchungsjahres 2011 waren Stichproben aus den unterschiedlichen Wabenwachsarten, die in den beiden Imkereien in Mahlow (BFM) und Rangsdorf (BRR) vorkamen: in der Regel Honigwaben mit Mittelwand sowie eine Sonderprobe aus der Sommertracht aus Naturbau (SST2011). Auf Basis der Ergebnisse 2011 wurde die Wachsprobenahme 2012 auf Honigwaben mit Mittelwänden konzentriert. Die Mittelwände waren bei BFM solche aus eigenem Wachskreislauf des Imkers, bei BRR (wie später auch bei BER und BKB) zugekaufte. Die Ergebnisse 2012 zeigten, dass die in den Waben gemessenen, unterschiedlichen Stoffgehalte keinen erkennbaren Einfluss auf die Stoffgehalte im darin eingelagerten Honig hatten. Im Jahr 2013 wurden erstmals ausschließlich Waben aus **Naturbau** analysiert. Die Waben vom Referenzstandort BRS bestanden aus sogenanntem Jungfernwachs, das von den Bienen relativ frisch produziert und wenige Tage alt war, daher noch fast weiß. Die Wachsproben der Standorte BER und BKB waren dunkler und folglich älter (vgl. Kapitel 1.2.2). Ab 2014 wurden etwa gleichzeitig und gleich lang von den Bienenvölkern gebaute Naturbauwaben untersucht. Diese Standardisierung sollte ausschließen, dass unterschiedlich lange Expositionen gegenüber Umwelteinflüssen zu unterschiedlichen Stoffgehalten, insbesondere der PAK, führen könnten. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass im Referenzgebiet Schorfheide aufgrund von Temperaturunterschieden die Bienenaktivität um ein bis zwei Wochen gegenüber der im Untersuchungsgebiet an den Berliner Flughäfen verschoben sein kann. In den Jahren 2014 und 2016 wurden Drohnenwaben analysiert, 2015 und seit 2017 Naturbau-Honigwaben. In beiden Fällen wurden leere Rahmen an eine vorher festgelegte Position im Stock eingehängt, damit die Bienen Waben daran aufbauen – und im Falle der Naturbau-Honigwaben während des gesamten jeweiligen Trachtzeitraums Wabenhonig einlagern.

Die Honigproben der Frühtracht (FT) und der Sommertracht (ST) wurden 2011 bis 2014 und ab 2016 direkt nach dem Abschleudern und Grobfiltern aus Honigwaben (mit Mittelwand) gewonnen. 2015 und

seit 2017 wurde der Wabenhonig aus den im Anschluss analysierten Naturwaben abgeschleudert (BER, BKB und TXL) bzw. herausgepresst (BRS¹⁶). Andres die Honig-Sommertrachtproben 2015 aus der Schorfheide: Honige aus herkömmlicher Honigwabe, die nach dem Abschleudern und Grobfiltern bei ca. 35°C fein gefiltert, aber nicht cremig gerührt wurden (Proben BRS-ST-Honig 2015 und 2016).

Tabelle 2.2-1: Pollen-, Wachs- und Honigproben 2013 bis 2019 - Teil 1

Probenliste Bienenmonitoring 2013 bis 2017					
2013	Standort	Zeitraum	Pollen	Wachs	Honig
BER-FT	Flughafen-Schönefeld	bis 26.06.13	1 Pollenstichprobe aus Pollenfalle	Wabe aus Naturbau, hell bis mittelbeige	Frühtracht (FT), geschleudert
BKB-FT	Flughafen-Kiebusch	bis 26.06.13	1 Pollenstichprobe aus Pollenfalle	Wabe aus Naturbau, hell	Frühtracht (FT), geschleudert
BRS-FT	Referenz-Schorfheide	bis 25.05.13	1 Pollenstichprobe aus Pollenfalle	Jungfernwachs aus Naturbau, wenige Tage alt, sehr hell; gepresst	Frühtracht (FT), geschleudert
BER-ST	Flughafen-Schönefeld	bis 14.07.13	1 Pollenstichprobe aus Pollenfalle	Wabe aus Naturbau, hell bis mittelbeige z. T. mit Honig: Teile ohne Honig analysiert	Sommertracht (ST), geschleudert
BKB-ST	Flughafen-Kiebusch	bis 14.07.13	1 Pollenstichprobe aus Pollenfalle	Wabe aus Naturbau, kleine Abschnitte mit ganz wenig Honig; hell bis mittelbraun	Sommertracht (ST), geschleudert
BRS-ST	Referenz-Schorfheide	bis 10.07.13	1 Pollenstichprobe aus Pollenfalle	Jungfernwachs aus Naturbau, wenige Tage alt, sehr hell; gepresst	Sommertracht (ST), geschleudert
2014	Standort	Zeitraum	Pollen	Wachs	Honig
BER-FT	Flughafen-Schönefeld	15.4.-19.5.14	1 Pollenstichprobe aus Pollenfalle	Naturbau: Drohnwabe nach dem Schlupf 23.4.-7.5. (14 Tage), dunkelbraun	Frühtracht (FT), geschleudert
BKB-FT	Flughafen-Kiebusch	15.4.-19.5.14	1 Pollenstichprobe aus Pollenfalle	Naturbau: Drohnwabe nach dem Schlupf 23.4.-7.5. (14 Tage), mittel- bis dunkelbraun	Frühtracht (FT), geschleudert
BRS-FT	Referenz-Schorfheide	20.4.-20.5.14	1 Pollenstichprobe aus Pollenfalle	Naturbau: Drohnwabe nach dem Schlupf 23.4.-7.5. (14 Tage), dunkelbraun	Frühtracht (FT), geschleudert
BER-ST	Flughafen-Schönefeld	20.5.-5.7.14	1 Pollenstichprobe aus Pollenfalle	Naturbau: Drohnwabe nach dem Schlupf 10.6.-5.7. (25 Tage), sehr dunkelbraun	Sommertracht (ST), geschleudert
BKB-ST	Flughafen-Kiebusch	20.5.-5.7.14	1 Pollenstichprobe aus Pollenfalle	Naturbau: Drohnwabe nach dem Schlupf 10.6.-5.7. (25 Tage), sehr dunkelbraun	Sommertracht (ST), geschleudert
BRS-ST	Referenz-Schorfheide	1.6.-18.7.14	1 Pollenstichprobe aus Pollenfalle	Naturbau: Drohnwabe nach dem Schlupf 10.6.-5.7. (25 Tage), mittel- bis dunkelbraun	Sommertracht (ST), geschleudert
2015	Standort	Zeitraum	Pollen	Wachs	Honig
BER-FT	Flughafen-Schönefeld	10.4.-25.5.15	Mischprobe aus 6 Teilproben 10.4.-25.5.15	Naturbau: Wabenhonig-Wabe 10.4.-25.5. (45 Tage), hellgelb	FT, aus Wabenhonig-Wabe geschleudert
BKB-FT	Flughafen-Kiebusch	10.4.-25.5.15	Mischprobe aus 6 Teilproben 10.4.-25.5.15	Naturbau: Wabenhonig-Wabe, 10.4.-25.5. (45 Tage), gelbbraun	FT, aus Wabenhonig-Wabe geschleudert
BRS-FT	Referenz-Schorfheide	1.5.-30.5.15	Mischprobe aus 3 Teilproben 1.5.-30.5.15	Naturbau: Wabenhonig-Wabe 1.5.-30.5. (30 Tage), sehr hell gelb	FT/ST, aus Wabenhonig-Wabe geschleudert
BER-ST	Flughafen-Schönefeld	27.5.-21.7.15	Mischprobe aus 6 Teilproben 15.6.-27.7.15	Naturbau: Wabenhonig-Wabe 15.6.-27.7. (42 Tage), hellocker-beige	ST, aus Wabenhonig-Wabe geschleudert
BKB-ST	Flughafen-Kiebusch	27.5.-21.7.15	6 Teilproben 15.6.-27.7. für Metall-, davon 3 Teilproben für PAK-Analyse	Naturbau: 8 versch. Wabenhonig-Waben, 15.6.-27.7. (42 Tage), blassbeige bis gelbbraun	ST, aus Wabenhonig-Wabe geschleudert
BRS-ST	Referenz-Schorfheide	25.6.-4.8.15	Mischprobe aus 3 Teilproben 5.7.-1.8.15	Naturbau: Wabenhonig-Waben 22.6.-20.7. (32 Tage), sehr hell gelb	ST, geschleudert und bei 35°C gefiltert

FT: Frühtracht; ST: Sommertracht; BER: suburban-flughafennah, BKB: rural-flughafennah bei Kiebusch - beide: Flughafen Berlin Schönefeld
BRS: rural-flughafennah Referenz Schorfheide; SST: Sonderprobe ST-Naturbau 2011 BFM

¹⁶ Mit BRS-FT/ST2015 ist ein Honig bezeichnet, dessen Produktion abweichend bereits während der Frühtracht begann und in die Sommertracht reichte.

Tabelle 2.2-2: Pollen-, Wachs- und Honigproben 2013 bis 2019 - Teil 2

2016	Standort	Zeitraum	Pollen	Wachs	Honig
BER-FT	Flughafen-Schönefeld	5.5.-23.5.16	Mischprobe aus 6 Teilproben 5.5.-23.5.16	Naturbau: Drohnenwabe 5.5.-22.5. (17 Tage), unbebrütet, gelb	FT, aus Honigwabe geschleudert 22.5.16
BKB-FT	Flughafen-Kieckebusch	5.5.-23.5.16	Mischprobe aus 6 Teilproben 5.5.-23.5.16	Naturbau: Drohnenwabe 5.5.-22.5. (17 Tage), unbebrütet, gelb	FT, aus Honigwabe geschleudert 22.5.16
BRS-FT	Referenz-Schorfheide	5.5.-28.5.16	Mischprobe aus 3 Teilproben 5.5.-28.5.16	Naturbau: Drohnenwabe 5.5.-30.5. (25 Tage), unbebrütet, hell	FT, aus Honigwabe geschleudert 31.5.16
BER-ST	Flughafen-Schönefeld	15.6.-15.7.16	Mischprobe aus 6 Teilproben 25.6.-30.7.16	Naturbau: Drohnenwabe 15.6.-30.7. (45 Tage), unbebrütet, hellgelb	ST, aus Honigwabe geschleudert 15.7.16
BKB-ST	Flughafen-Kieckebusch	15.6.-15.7.16	Mischprobe aus 6 Teilproben 25.6.-30.7.16	Naturbau: Drohnenwabe 15.6.-30.7. (45 Tage), unbebrütet, hellgelb	ST, aus Honigwabe geschleudert 15.7.16
BRS-ST	Referenz-Schorfheide	15.6.-15.7.16	Mischprobe aus 3 Teilproben 18.6.-25.7.16	Naturbau: Drohnenwabe 10.6.-30.7. (50 Tage), unbebrütet, hell	ST, geschleudert 23.7., bei 35°C gefiltert
2017	Standort	Zeitraum	Pollen	Wachs	Honig
TXL-FT	Flughafen-Berlin-Tegel	15.5.-17.6.17	Mischprobe aus 3 Teilproben 17.5.-10.6.17	Naturbau: Wabenhonigwabe 15.5.-10.6. (26 Tage), hellgelb, mit Honigresten	FT, aus Honigwabe geschleudert 10.6.17
BER-FT	Flughafen-Schönefeld	15.5.-10.6.17	Mischprobe aus 6 Teilproben 15.5.-10.6.17	Naturbau: Wabenhonigwaben 15.5.-10.6. (26 Tage), hellbeige, kleine runde honigfreie Waben	FT, aus Honigwabe geschleudert 10.6.17
BKB-FT	Flughafen-Kieckebusch	15.5.-10.6.17	Mischprobe aus 6 Teilproben 15.5.-10.6.17	Naturbau: Wabenhonigwaben 15.5.-10.6. (26 Tage), beige-braune, kl. runde honigfreie Waben	FT, aus Honigwabe geschleudert 10.6.17
BRS-FT	Referenz-Schorfheide	15.5.-10.6.17	Mischprobe aus 3 Teilproben 16.-31.5.17	Naturbau: Wabenhonigwaben 15.5.-10.6. (26 Tage), helle und braune Waben mit Honigresten	FT, aus Honigwabe geschleudert 1.6.17
TXL-ST	Flughafen-Berlin-Tegel	19.6.-4.8.17	Mischprobe aus 3 Teilproben 28.6.-20.7.17	Naturbau: Wabenhonigwaben 19.6.-4.8. (47 Tage), sehr helle Wabenteile mit Honigresten	ST, aus Honigwabe geschleudert 4.8.17
BER-ST	Flughafen-Schönefeld	18.6.-18.7.17	Mischprobe aus 5 Teilproben 18.6.-18.7.17	Naturbau: Wabenhonigwaben 18.6.-18.7. (30 Tage) ca. 10 beigegelbe Waben mit Honigresten	ST, aus Honigwabe geschleudert 18.7.17
BKB-ST	Flughafen-Kieckebusch	18.6.-18.7.17	Mischprobe aus 5 Teilproben 18.6.-18.7.17	Naturbau: Wabenhonigwaben 18.6.-18.7. (30 Tage) 2 hellbeige, 2 goldgelbe Waben, honigfrei	ST, aus Honigwabe geschleudert 18.7.17
BRS-ST	Referenz-Schorfheide	18.6.-18.7.17	Mischprobe aus 3 Teilproben 18.6.-18.7.17	Naturbau: Wabenhonigwaben 10.6.-18.7. (30 Tage) 6 sehr hellbraune Waben mit Honigresten	ST, aus Honigwabe geschleudert 18.7.17
2018	Standort	Zeitraum	Pollen	Wachs	Honig
TXL-FT	Flughafen-Berlin-Tegel	5.5.-2.6.18	Mischprobe aus 3 Teilproben 6.5.-28.5.18	Naturbau: Wabenhonigwabe 5.5.-2.6. (28 Tage), hellbeige, mit Honigresten	FT, aus Honigwabe geschleudert 2.6.18
BER-FT	Flughafen-Schönefeld	5.5.-2.6.18	Mischprobe aus 3 Teilproben 12.5.-2.6.18	Naturbau: Wabenhonigwaben 5.5.-2.6. (28 Tage), hellbeige-hellbraun, honigfreie Wabe	FT, aus Honigwabe geschleudert 2.6.18
BKB-FT	Flughafen-Kieckebusch	5.5.-2.6.18	Mischprobe aus 3 Teilproben 12.5.-2.6.18	Naturbau: Wabenhonigwaben 5.5.-2.6. (28 Tage), beige-braune kl. runde, honigfreie Waben	FT, aus Honigwabe geschleudert 2.6.18
BRS-FT	Referenz-Schorfheide	5.5.-2.6.18	Mischprobe aus 3 Teilproben 5.5.-28.5.18	Naturbau: Wabenhonigwabe 5.5.-2.6. (28 Tage), hellbeige-hellbraune, fast honigfreie Waben	FT, aus Honigwabe geschleudert 2.6.18
TXL-ST	Flughafen-Berlin-Tegel	3.6.-30.6.18	Mischprobe aus 3 Teilproben 11.6.-30.6.18	Naturbau: Wabenhonigwaben 3.6.-30.6. (27 Tage), hellbeige Waben mit Honigresten	ST, aus Honigwabe geschleudert 30.6.18
BER-ST	Flughafen-Schönefeld	3.6.-30.6.18	Mischprobe aus 3 Teilproben 14.6.-30.6.18	Naturbau: Wabenhonigwaben 3.6.-30.6. (27 Tage), hellbeige-hellbraune, honigfreie Wabe	ST, aus Honigwabe geschleudert 30.6.18
BKB-ST	Flughafen-Kieckebusch	3.6.-30.6.18	Mischprobe aus 3 Teilproben 14.6.-30.6.18	Naturbau: Wabenhonigwaben 3.6.-30.6. (27 Tage), hellbeige honigfreie Wabe	ST, aus Honigwabe geschleudert 30.6.18
BRS-ST	Referenz-Schorfheide	3.6.-2.7.18	Mischprobe aus 3 Teilproben 15.6.-2.7.18	Naturbau: Wabenhonigwaben 3.6.-30.6. (27 Tage), hellbraune honigfreie Wabe	ST, aus Honigwabe geschleudert 2.7.18
FT: Frühtracht; ST: Sommertracht; BER: suburban-flughafennah, BKB: rural-flughafennah bei Kieckebusch - beide: Flughafen Berlin Schönefeld BRS: rural-flughafenfern Referenz Schorfheide; TXL: ab 2017 urban-flughafennah Flughafen Berlin Tegel					

Tabelle 2.2-3: Pollen-, Wachs- und Honigproben 2019 - Teil 3

2019	Standort	Zeitraum	Pollen	Wachs	Honig
TXL-FT	Flughafen-Berlin-Tegel	17.5.-12.6.19	Mischprobe aus 3 Teilproben 17.5.-10.6.19	Naturbau: Wabenhonigwabe 17.5.-10.6. (24 Tage), hellbeige, mit Honigresten	FT, aus Honigwabe geschleudert 10.6.19
BER-FT	Flughafen-Schönefeld	17.5.-12.6.19	Mischprobe aus 3 Teilproben 17.5.-4.6.19	Naturbau: Wabenhonigwaben 17.5.-12.6. (26 Tage), hellbeige-hellbraun, mit Honigresten	FT, aus Honigwabe geschleudert 12.6.19
BMF-FT	Flughafen-BER-Vorfeld	15.5.-14.6.19	Mischprobe aus 3 Teilproben 15.5.-14.6.19	Naturbau: Wabenhonigwaben 27.5.-14.6. (18 Tage), helle Wabenstreifen, honigfrei	FT, aus Honigwabe geschleudert 14.6.19
BRS-FT	Referenz-Schorfheide	15.5.-30.5.19	Mischprobe aus 3 Teilproben 19.5.-29.5.19	Naturbau: Wabenhonigwabe 15.5.-30.5. (15 Tage), hellbeige, mit Honigresten	FT, aus Honigwabe geschleudert 29.5.19
TXL-ST	Flughafen-Berlin-Tegel	10.6.-23.7.19	Mischprobe aus 2 Teilproben 18.6.-14.7.19	Naturbau: Wabenhonigwaben 25.6.-14.7. (19 Tage), hellbeige, mit Honigresten	ST, aus Honigwabe geschleudert 23.7.19
BER-ST	Flughafen-Schönefeld	12.6.-25.7.19	Mischprobe aus 3 Teilproben 7.6.-21.6.19	Naturbau: Wabenhonigwaben 25.6.-16.7. (21 Tage), hellbeige-gelb, honigfrei	ST, aus Honigwabe geschleudert 25.7.19
BMF-ST	Flughafen-BER-Vorfeld	14.6.-18.8.19	Mischprobe aus 3 Teilproben 23.6.-16.8.19	Naturbau: Wabenhonigwaben 14.6.-18.8. (63 Tage), hellgelb, honigfrei	ST, aus Honigwabe geschleudert 18.8.19
BRS-ST	Referenz-Schorfheide	5.6.-28.7.19	Mischprobe aus 3 Teilproben 5.6.-10.7.19	Naturbau: Wabenhonigwaben 5.6.-27.7. (52 Tage), gelbe honigfreie Wabe	ST, aus Honigwabe geschleudert 28.7.19

FT: Frühtracht; ST: Sommertracht; BER: suburban-flughafennah, Flughafen Berlin Schönefeld
BRS: rural-flughafenfern Referenz Schorfheide;
TXL: ab 2017 urban-flughafennah Flughafen Berlin Tegel; BMF: ab 2019 rural-flughafennah Flughafen Berlin Schönefeld

Die nachfolgenden Bilder zeigen exemplarisch Proben (Bild 2.2-1 bis Bild 2.2-8).



Bild 2.2-1: Pollen von BMF 2019 in der Pollenfalle gesammelt (Einzelprobe)

Drei Proben von je 3–4 Tagen im Zeitraum 15.5. bis 7.6.2019 bildeten zu gewichtsgleichen Anteilen die Frühtracht-Mischprobe BMF-FT-Pollen.



Bild 2.2-2: Sommertracht-Pollenproben (3 Einzelproben) von BMF 2019

Drei Proben von jeweils 3–4 Tagen im Zeitraum 23.6. bis 16.8.2019 bildeten die Sommertracht-Mischprobe BMF-FT-Pollen (vgl. Bild 2.2-2).

Die Pollen-Einzelproben fallen hinsichtlich Pollenspektrum (Blütenarten, Farbigkeit) und -menge (Blütenangebot) unterschiedlich aus.



Bild 2.2-3: Frühtracht-Wachsprobe BER 2019

Wabenhonigwachs der Frühtracht vom Standort Flughafen Schönefeld (Bild 2.2-3) war vom 17.5.-12.6.2019 im Bienenstock exponiert (26 Tage), etwa gleichzeitig mit Tegel (TXL-FT-Wachs).



Bild 2.2-4: Frühtracht-Wachsprobe BMF 2019

Wabenhonigwachs der Frühtracht vom neuen Standort am Vorfeld (Bild 2.2-4) war kürzer exponiert, vom 27.5.-14.6.2019 (18 Tage); ebenfalls kürzer: BRS-FT-Wachs vom 15.-30.5.2019.



Bild 2.2-5: Sommertracht-Wachs TXL 2019

Wabenhonigwachs der Sommertracht vom Standort Flughafen Tegel (Bild 2.2-5). war vom 25.6.-14.7.2019 im Bienenstock exponiert (19 Tage), etwa gleichzeitig (-2 Tage) mit BER-ST-Wachs.



Bild 2.2-6: Sommertracht-Wachs BRS 2019

Wabenhonigwachs der Sommertracht vom Referenzstandort Schorfheide (Bild 2.2-6) war länger exponiert, vom 5.6.-27.7.2019 (52 Tage); noch länger BMF-ST-Wachs vom 14.6.-18.8. (63 T.).



Bild 2.2-7: Frühtracht-Honig BER 2019

Der Frühtracht-Honig 2019 der Bienenvölker nahe Verwaltungsgebäuden am Flughafen Schönefeld wurde am 12.6.2019 abgeschleudert (Bild 2.2-7).



Bild 2.2-8: Sommertracht-Honig TXL 2019

Der Sommertracht-Honig 2019 vom Standort auf dem Dach des Verwaltungsgebäudes am Flughafen Tegel wurde am 23.7.2019 abgeschleudert (Bild 2.2-8).

Bei der Analyse einer Bienen-Testprobe 2011 BRR-FTR-Bienen (29 Stück: < 10g) handelte es sich um einen erstmaligen Test, der nachträglich in das Untersuchungsprogramm aufgenommen wurde –

anstelle einer vierten Pollenprobe (siehe Anhang im separaten Ergebnisteil) **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

Die Vergleichsproben aus dem „Honigmonitoring aus dem Umfeld des Flughafen München“ (MUC) sind in der Probentabelle im Anhang des separaten Ergebnisteils aufgelistet und beschrieben.

2.3 Untersuchte Stoffe

Die untersuchten Stoffe wurden ausgewählt, weil sie aus dem Flughafenbetrieb stammen können, in der Umwelt angereichert werden können und teilweise umweltgiftig sind. Sie werden auch beim Bio-monitoring betrachtet. Darunter sind Stoffe, die üblicherweise als Rückstände in Lebensmitteln geprüft werden.

Schwermetalle und anorganische Spurenstoffe (kurz: Metalle) wurden untersucht: Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Zink und Quecksilber (Kupfer und Quecksilber seit 2011 in Honig und seit 2015 in allen Probenarten).

Antimon (Sb) wird u. a. aus dem Kfz-Verkehr (Abrieb aus Bremsbelägen und Reifenabrieb) in die Umwelt eingetragen (Dietl et al. 1998, Wäber et al. 1998, Krapp und Peichl 2015). Es wird als krebserregend für den Menschen eingestuft (Savory & Wills 1984; Dietl et al. 1998). Höchstgehalte für Antimon in Lebensmitteln sind nicht festgelegt.

Arsen ist Bestandteil von Flugasche aus der Kohleverbrennung, ebenso wie etwa Blei, Cadmium, Nickel und Quecksilber (Siewers und Herpin 1998, Rentz und Martel, 1998, kann aber auch aus industriellen Produktionsprozessen, Müllverbrennung und Düngieranwendungen stammen (BayLfU 2009). Arsen wird z. B. für elektronische Bauteile verwendet. Regional sind in bestimmten Bodenarten hohe Arsengehalte eine Besonderheit, z. B. im Umfeld des Münchner Flughafens. Geogenes (aus der Erde stammendes) Arsen kann durch Erdbewegungen bei landwirtschaftlicher Aktivität und Bautätigkeit in die Luft gelangen. Arsen besitzt wie Antimon ökotoxikologische Bedeutung, weshalb VO (EU) Nr. 2015/1006 seit 2016 für Reis-Lebensmittel – nicht für Honig – Höchstgehalte von 0,1–0,3 mg/kg festgesetzt hat (vgl. Tabelle 1.2 1). Typische Gehalte von Arsen in Nahrungsergänzungsmitteln auf Pollenbasis liegen laut Europäischer Behörde für Lebensmittelsicherheit EFSA (2014) im Mittel bei 0,38 mg/kg OS und in Blütenhonig bei 0,03 mg/kg OS (vgl. Tabelle 1.2-2).

Blei (Pb) wird heute wird unter anderem für die Herstellung von Akkumulatoren gebraucht. Es gelangt, neben der Kohleverbrennung (Rentz und Martel 1998) vornehmlich aus früheren Einträgen wieder in die Umwelt. Die Verbrennung bleihaltigen Kraftstoffs im Kfz-Verkehr war bis etwa 1995 eine wichtige

Quelle. Bleiverbindungen liegen in der Außenluft überwiegend an Partikel gebunden vor und werden aus der Luft durch trockene und nasse Deposition in die Umweltmedien eingetragen. Blei kann bei der Bodenbearbeitung wieder in die Umwelt gelangen, aber auch beispielsweise aus Mineraldüngern oder Klärschlamm stammen (UBA 2014a). Die wichtigste Aufnahmequelle für den Menschen ist die Nahrung. Weil sich Blei über die Nahrungskette anreichert, versucht man den Bleigehalt in der Umwelt zu reduzieren (Umweltatlas Hessen 2005). Aufgrund der ökotoxikologischen Bedeutung von Blei gelten Höchstgehalte für diverse Lebensmittel – und für Nahrungsergänzungsmittel gilt als Höchstgehalt 3 mg/kg (VO (EG) Nr. 1881/2006 mit Nr. 629/2008). Für Honig hatte der Rat der EU vormals einen Höchstgehalt von 1 mg/kg für Honig vorgeschlagen (Byrne 2000) und das Österreichische Bundesministerium für Gesundheit hat einen vorsorglichen Aktionswert von 0,25 mg/kg OS erlassen (ÖBMG 2015). Seit 2016 gilt europaweit für Blei in Honig der Höchstgehalt 0,1 mg/kg (VO (EU) Nr. 2015/1005; vgl. Tabelle 1.2-1).

Cadmium (Cd) kann, neben der Steinkohleverbrennung (Rentz und Martel 1998), vornehmlich durch den Kfz-Verkehr, die Zinkverhüttung und den Kunstdüngereinsatz in die Umwelt gelangen (z. B. Merian 1984). Aufgrund der ökotoxikologischen Bedeutung – Cadmium ist als krebserregend eingestuft – nennt die EU-Höchstmengenverordnung Höchstgehalte für Lebensmittel. Für Nahrungsergänzungsmittel pflanzlichen Ursprungs gilt demnach 1 mg/kg OS (VO (EG) Nr. 1881/2006 mit Nr. 629/2008 und VO (EU) Nr. 488/2014; vgl. Kapitel 1.2.4). Der Rat der EU hatte vormals einen Wert von 0,1 mg/kg für Cadmium in Honig vorgeschlagen (Byrne 2000) und der strenge österreichische Aktionswert für Honig beträgt 0,05 mg/kg OS (ÖBMG 2015; vgl. Tabelle 1.2-1 und Tabelle 1.2-2).

Chrom (Cr) gelangt unter anderem durch den Kfz-Verkehr (z. B. aus Bremsbelägen) und aus industriellen Anwendungen (Stahlherstellung) in die Umwelt (Merian 1984, Peichl et al. 1994). Als Spurenelement ist Chrom lebensnotwendig. „Für die toxischen Eigenschaften sind die sechswertigen Chromverbindungen verantwortlich. Sie wirken ätzend auf Haut und Schleimhaut, können u. a. Leber- und Nierenschäden verursachen und haben karzinogene (krebserregende) Wirkung“ (Umweltatlas Hessen 2005). Laut Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV, 2002) wird eine Zufuhr von 0,06 mg als Tagesration je Nahrungsergänzungsmittel-Produkt empfohlen. Das entspräche umgerechnet einem Gehalt von ca. 6 mg/kg OS bei einem angenommenen Verzehr von 10 g Nahrungsergänzungsmittel pro Tag (10 g Pollen entsprechen ca. 5 Teelöffeln). Dabei ist zu berücksichtigen, dass Chrom auch über andere Lebensmittel zugeführt wird. Typische Gehalte von Chrom reichen von im Mittel 0,0002 mg/kg OS in Rindfleisch bis 0,1 mg/kg OS in Paranüssen (vgl. Tabelle 1.2-2).

Kupfer (Cu) wurde in Honig und seit 2015 in allen Probenarten analysiert. Es stammt, neben industriellen Prozessen, vornehmlich aus dem Kfz-Verkehr: aus Bremsbelag- und Reifenabrieb (Peichl et al. 1994, Falkensteiner 1997, Dietl et al. 1998). Einerseits ist Kupfer als Spurenelement lebensnotwendig, andererseits hat es ökotoxische Eigenschaften. Das BgVV (2002) empfiehlt eine Zufuhr von 1,0 mg als Tagesration je Nahrungsergänzungsmittel-Produkt. Das entspräche umgerechnet einem Gehalt

von ca. 100 mg/kg OS bei einem angenommenen Verzehr von 10 g Pollen als Nahrungsergänzungsmittel pro Tag. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE 2017) und EFSA (2015a) empfehlen rund 1,5 mg/Tag für die gesamte tägliche Kupferzufuhr über die Nahrung. Laut Bundesinstitut für Risikobewertung ist der Höchstgehalt¹⁷ von Kupfer in Honig bei 0,01 mg/kg OS anzusetzen (BfR 2013; vgl. Tabelle 1.2-2).

Nickel (Ni) stammt aus industriellen Prozessen, Bergbau und Kfz-Verkehr (Abrieb aus Bremsbelägen) neben Steinkohleverbrennung (Rentz und Martel, 1998, Merian 1984, Schinner 1989). Nickel kommt im menschlichen Organismus als Spurenelement vor. In höheren Konzentrationen kann es allergische Hautreaktionen und die Reizung der Atemwege bewirken. Nickel sowie manche seiner Verbindungen sind als karzinogen eingestuft. Typische Gehalte von Nickel liegen im Mittel in pflanzlichen Nahrungsergänzungsmitteln um 3,8 bis 3,9 mg/kg und in Honig um 0,14 bis 0,16 mg/kg (EFSA 2014 in Tabelle 1.2-2).

Quecksilber (Hg, in partikel- und gasförmiger Form) wurde in Honig und seit 2015 in allen Probenarten analysiert. Es kann aus Müllverbrennungsanlagen und der Verbrennung fossiler Brennstoffe allgemein stammen (Greenwood und Von Burg in Merian 1984, Wäber 1996, Wäber und Peichl 1996, Rentz und Martel 1998, UBA 2014). Es besitzt wie z. B. Blei ökotoxische Bedeutung, weshalb VO (EG) Nr. 1881/2006 ff. für andere Lebensmittel Höchstgehalte von 0,1 mg/kg OS und für Nahrungsergänzungsmittel bis zu 1 mg/kg OS festlegt hatte. Seit 2018 gilt für Honig und sonstige Imkereierzeugnisse ein Höchstgehalt an Rückständen von Quecksilberverbindungen von 0,01 mg/kg (VO (EU) Nr. 2018/73; vgl. Tabelle 1.2-1). Typische Gehalte von Quecksilber liegen laut EFSA (2012a; vgl. Tabelle 1.2-2) im Mittel in pflanzlichen Nahrungsergänzungsmitteln bei 0,5 mg/kg und in Honig bei 0,0005 bis 0,0048 mg/kg.

Zink (Zn) gilt als Indikator für den geogenen wie anthropogenen Staubeintrag. Anthropogene Quellen für den Eintrag in die Umwelt können Korrosionsschutz, Reifen und Bremsen, Straßenbelag und Düngemiteleintrag in der Landwirtschaft sein (Hüffmeyer 2007). Für den Menschen ist Zink einerseits ein wichtiges Spurenelement. In hohen Konzentrationen kann es jedoch negativ auf Gewässer und Ökosysteme wirken (Hüffmeyer 2007). Das BgVV empfiehlt eine Zufuhr von 7 bis 10 mg Zink pro Tag gemäß Deutscher, Österreichischer und Schweizer Gesellschaften für Ernährung (2002) und typische Schwellengehalte für die Hintergrundbelastung mit Zink in Grünkohl als Blattgemüse lagen in den letzten 10 Jahren in Nordrhein-Westfalen bei 4,4 mg/kg OS (Hombrecher et al. 2015; vgl. Tabelle 1.2-2).

¹⁷ laut Artikel 18b in Verordnung Nr. 396/2005

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

PAK stellen eine chemische Verbindungsgruppe dar, die zu den schwer abbaubaren organischen Schadstoffen POPs (persistent organic pollutants) zählt. Die etwa 10.000 PAK-Verbindungen bestehen aus zwei bis sieben Ringen von Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen. Sie entstehen bei unvollständiger Verbrennung von organischem Material wie Holz, Kohle oder Ölprodukten. Laut Umweltbundesamt werden in Deutschland aktuell 80 Prozent von Kleinf Feuerungsanlagen in Haushalten (sog. nannter Hausbrand) freigesetzt, jeweils rund 6 Prozent von kleinen und mittleren Feuerungsanlagen im Gewerbe sowie aus Industrieprozessen, nur 2 Prozent aus dem Verkehr, der Rest aus Energiewirtschaft, verarbeitendem Gewerbe und weiteren Quellen (UBA 2016). PAK sind persistent, bioakkumulierend und zudem toxisch für den Menschen und andere Organismen (sogenannte PBT-Stoffe; UBA 2016) und einige gelten als stark krebserregend. Sie sind in Fetten und Ölen gut löslich (= lipophil) und reichern sich – je mehr Ringe die PAK-Verbindung aufweist, desto besser – im Fettgewebe von Organismen an (UBA 2016). 16 Verbindungen wurden aufgrund ihrer Häufigkeit und Umweltrelevanz als „prioritäre Schadstoffe“ („Priority Pollutants“ laut US Umweltbehörde EPA) definiert. Diese Auswahl der 16 EPA-PAK (EPA610) wird bei Umweltuntersuchungen wie beim Biomonitoring entsprechend der VDI-Richtlinien (z. B. VDI 3957/3 2008) in der Regel berücksichtigt. Oft wird auch die Summe der 12 schwerer flüchtigen PAK als Teilsumme betrachtet: Sie besteht aus den stabileren PAK-Einzelverbindungen mit drei und mehr Ringen. Die leichter flüchtigen vier der 16 PAK nach EPA bestehen demgegenüber aus zwei oder drei Ringen und verdampfen bei niedrigeren Temperaturen: das am leichtesten flüchtige Naphthalin bereits bei 218 °C (UBA 2016). Für PAK in Honig definiert die EU keine Höchstgehalte. Höchstgehalte für Benzo[a]pyren (BaP) und die Summe der vier PAK Benzo[a]pyren, Benz[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthen und Chrysen (PAK4) sind in VO (EU) Nr. 835/2011 im Wesentlichen für fetthaltige Nahrungsmittel definiert, sowie für Nahrungsergänzungsmittel. Die seit 2016 für die Nahrungsergänzungsmittel Kittharz und Gelée Royale festgelegten Höchstgehalte können auf Pollen bezogen werden (VO (EU) Nr. 2015/1933; vgl. Kapitel 1.2.4: Tabelle 1.2-1 und Tabelle 1.2-2).

- 10 µg/kg BaP (1 µg/kg entspricht 1 Millionstel Gramm pro Kilogramm) und analog
- 50 µg/kg PAK4.

Tabelle 2.3-1: Untersuchte 16 EPA-PAK

leichter flüchtige PAK	schwerer flüchtige PAK	PAK4 (VO (EU) Nr. 835/2011)
Naphthalin (NAP) Acenaphtylen (ACY) Acenaphthen (ACE) Fluoren (FLE)	Phenanthren (PHE) Pyren (PYR) Anthracen (ANT) Dibenzo[a,h]anthracen (DBahA) Fluoranthren (FLU) Benzo[k]fluoranthren (BkF) Indeno[1,2,3,cd]pyren (INP) Benzo[g,h,i]perylene (BghiP) Benzo[a]pyren (BaP) Benz[a]anthracen (BaA) Benzo[b]fluoranthren (hier mit Benzo[j]); (BbjF) Chrysen (mit Triphenylen analysiert: CHR+TRI)	 Benzo[a]pyren (BaP) Benz[a]anthracen (BaA) Benzo[b]fluoranthren Chrysen (CHR)

2.4 Analysenverfahren und Messunsicherheit

2.4.1 Probenaufbereitungen, Analysen und Bestimmungsgrenzen

Probenaufbereitungen und Analysen von Bienen, Pollen und Wachs und seit 2015 von Honig wurden von den Partnerlaboren von UMW durchgeführt, die langjährige Erfahrung und hohe Qualität bei diesem Monitoring vorweisen. Sie sind nachfolgend beschrieben. Die Honiganalysen bis 2014 führte ein externes Labor im Auftrag der FBB durch¹⁸.

Für die **Spuren- und Schwermetall-Bestimmungen** wurden die homogenisierten Proben unter Hochdruck mit konzentrierter Salpetersäure zur vollständigen Mineralisierung aufgeschlossen. Bestimmungen aus der Aufschlusslösung nach DIN EN 15763 mit ICP-MS (Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma) erfolgten gegen externe Kalibrierung mit Matrix angepassten Standards. Die Empfindlichkeit der Metallanalytik wurde 2016 um den Faktor 4 erhöht, um weiterhin Stoffgehalte deutlich unterhalb des bisherigen Beurteilungswertniveaus aufspüren zu können (vgl. Kapitel 1.2.3). Folgende Bestimmungsgrenzen (BG) in mg/kg OS (Originalsubstanz) wurden eingehalten:

Tabelle 2.4-1: Analytische Bestimmungsgrenzen für Metalle

Bestimmungsgrenzen in mg/kg OS	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
Pollen, Wachs und Honig von UMW-Partnerlabor seit 2016	0,013	0,0025	0,025	0,025	0,013	0,025	0,025	0,013	0,1
Bienen, Pollen, Wachs und Honig von UMW-Partnerlabor bis 2015	0,05	0,01	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,05	0,1
Honig 2011-2014 von FBB beauftragtes Labor	0,1	0,01	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	-	0,1

Die 16 EPA-PAK-Bestimmungen erfolgten nach Extraktion der homogenisierten Proben am Soxhlet. Die Proben wurden mittels Kieselgelsäule und GPC (Gelpermeationschromatographie) 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 analytischen Bestimmungsgrenzen betragen:

¹⁸ Die Honiganalysen auf Spuren- und Schwermetalle 2011 bis 2014 erfolgten laut nachrichtlicher Übermittlung vom externen Labor nach Mikrowellenaufschluss (Salpetersäure / Wasserstoffperoxid) gemäß DIN EN ISO 17294 (ICP-MS) bzw. DIN EN 1483 für Quecksilber. Nachrichtlich übermittelte die FBB folgendes Verfahren für PAK-Analysen von Honigproben bis 2014: DIN 38407-F 39 mittels GC/MS (Gaschromatographie / Massenspektrometrie) der in Wasser gelösten Proben; die Bestimmungsgrenze je PAK-Einzelkomponente betrug 0,1 µg/kg OS.

- 2011 für Bienen 1 µg/kg OS je PAK– aufgrund der geringen Probenmenge;
- 2011 für Pollen und Wachs 0,3 µg/kg OS je PAK,
- 2012 für Pollen und Wachs 0,5 µg/kg OS,
- seit 2013 für Pollen, Wachs und Honig 0,1 µg/kg OS.

2.4.2 Messunsicherheit

Im separaten Ergebnisteil (Teil 2 des Bienenmonitoring-Berichts) 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 Schätzung für den wahren Wert. Die Messunsicherheit gibt an, in welchem Wertebereich der Messwert um diesen wahren Wert streut (VDI 4280/1 2014 zu DIN V ENV 13005).

Die Ursachen für die Abweichung des Messwertes vom wahren Wert sind bei allen technischen und biologischen Messungen vielfältig, teilweise schwer bestimmbar und können in zufälligen und systematischen Fehlern liegen. Obwohl bei der Verfahrensdurchführung größter Wert auf die Qualität gelegt wird, lassen sich nicht alle Einflussfaktoren auf die Messunsicherheit eliminieren oder eingrenzen. 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 oder beim Biomonitoring zu entnehmen wären. Standards für ähnliche Untersuchungen können hilfsweise herangezogen werden, um abzuschätzen, in welchen Bereichen die Messunsicherheiten für die untersuchten Stoffe beim Bienenmonitoring angesetzt werden können.

Für PAK kann aufgrund der weitgehenden Übereinstimmung bei der Analytik 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 Bienen- und Biomonitoring-Proben für die Messunsicherheit an: etwa $\pm 30\%$ für die PAK-Summen und Leitparameter.

Für die Abschätzung der Messunsicherheiten für Metalle kann die Richtlinie VDI 3957/2 (2016) für Biomonitoring mit standardisierten Graskulturen zur Orientierung dienen. Diese Richtlinie listet im Abschnitt über die verfahrensbedingte Gesamtunsicherheit als „wichtige Komponente der verfahrensbedingten Gesamtunsicherheit [Anmerkung: = Messunsicherheit] die gehaltsbezogene Spannweite der Stoffgehalte in Graskulturen [...] wie sie in parallel exponierten und getrennt aufgearbeiteten und analysierten Graskulturen ermittelt wurde“ (VDI 3957/2 2016). Diese gehaltsbezogenen Spannweiten der

Stoffgehalte wurden dort aus Reihen von Paralleluntersuchungen abgeleitet. Sie können als Anhaltspunkte für die Abschätzung der Messunsicherheiten dienen und betragen dort durchschnittlich¹⁹:

- für Kupfer, Nickel und Zink rund $\pm 10 \%$,
- für Arsen, Blei und Cadmium, rund $\pm 15 \%$,
- für Antimon, Chrom und Quecksilber rund $\pm 30 \%$.

Schwankungen der Messergebnisse entstehen beim Bienenmonitoring weiterhin durch die natürliche Variabilität der untersuchten Proben (aufgrund Trachtangebot, Wetter sowie weiterer Einflüsse auf die Bienenprodukte) sowie in der gesamten Kette der Verfahrensschritte von der Probenahme bis hin zur analytischen Bestimmung der Stoffe. Die Messunsicherheiten für Honig dürften etwas niedriger liegen, die für Pollen und Wachs sind aufgrund der Proben-Inhomogenität hingegen eher als Mindestwerte zu betrachten.

Aufgrund der allgemeinen Messunsicherheit darf ein Messergebnis streng genommen nicht als exakter Zahlenwert interpretiert werden. Vielmehr definiert die aus der stoffspezifischen Messunsicherheit resultierende Spannweite einen Wertebereich, in dem der wahre Messwert liegt (BayLfU 2017).

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

Das muss beachtet werden, wenn Ergebnisse beurteilt und Standorte verglichen werden.

¹⁹ Mittelwerte aus zwei unterschiedlichen Untersuchungsreihen, hier jeweils der höhere Mittelwert berücksichtigt.

3 Abkürzungen

ACE	Acenaphthen
ACY	Acenaphtylen
ADV	Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen e. V.
aMW	arithmetischer Mittelwert
ANT	Anthracen
As	Arsen
BaA	Benzo[a]anthracen
BaP	Benzo[a]pyren
BayLfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
BbjF+BkF	Benzo(b,j+k)fluoranthren
BER	Flughafen Berlin Brandenburg International
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BG	analytische Bestimmungsgrenze
BghiP	Benzo[g,h,i]perylen
BgVV	Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin
Cd	Cadmium
CHR (+TRI)	Chrysen(+Triphenylen)
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
DbahA	Dibenzo(a,h)anthracen
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
DIN	Deutsches Institut für Normung
EFSA	Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (European Food Safety Authority)
EPA	US Environmental Protection Agency (US Umweltbehörde)
EU	Europäische Union (vormals E(W)G: Europäische (Wirtschafts-)Gemeinschaft)
EUFIC	Europäisches Informationszentrum für Lebensmittel (European Food Information Council)
FBB	Flughafen Berlin Brandenburg GmbH

FLE	Fluoren
FLU	Fluoranthren
FMG	Flughafen München GmbH
FraPort	Fraport AG Frankfurt Airport Services Worldwide
Hg	Quecksilber
HRGC	hochauflösende Gaschromatographie
ICP-MS	Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma
IND	Indeno(1,2,3-c,d)pyren
KmV	Verordnung zur Begrenzung von Kontaminanten in Lebensmitteln
L	Liter
LB	Lower Bound: arithmetischer Mittelwert inklusive Werten „<BG“ als „0“
LRGC	niederauflösende Gaschromatographie
LUGV	Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg
MS	Massenspektrometrie
MSD	massenselektive Detektion
MW	arithmetischer Mittelwert
MUC	Flughafen München
NAP	Naphthalin
NEM	Nahrungsergänzungsmittel
Ni	Nickel
ÖBMG	Bundesministerium für Gesundheit, Österreich
OS	Originalsubstanz
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PAK4	Summe der vier PAK BaP, BaA, Benzo[b]fluoranthren, CHR (VO (EU) Nr. 835/2011)
Pb	Blei
PBT-Stoffe	persistente, bioakkumulierende und toxisch wirkende Stoffe
PHE	Phenanthren
POP	persistent organic pollutants (schwer abbaubare organische Schadstoffe)
PYR	Pyren
RHmV	Rückstands-Höchstmengenverordnung

RL	Richtlinie
Sb	Antimon
STABW	Standardabweichung vom MW
SXF	Flughafen Berlin Schönefeld
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
UB	Upper Bound: arithmetischer Mittelwert inklusive Werten „<BG“ als „=BG“
UBA	Umweltbundesamt
UMW	kurz für Dr. Monica Wäber - UMW Umweltmonitoring
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
VO (oder V)	Verordnung
Zn	Zink

4 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

Bienenbrot:

durch Bienenspeichel fermentierter und in speziellen Wabenbereichen im Bienenstock eingelagerter Pollen (VDI 4330/4 2006)

Bioindikatoren:

Organismen, die Umweltbedingungen und deren Veränderungen anzeigen können; als Überbegriff für Akkumulationsindikator, Reaktionsindikator und Zeigerorganismus (VDI 3957/1 2014)

Biomonitoring:

Nutzung biologischer Systeme (Organismen oder Organismengemeinschaften) zur räumlichen und zeitlichen Überwachung von Umweltveränderungen (VDI 3957/1 2014)

Emittenten

Luftschadstoffquellen (Verkehr, industrielle Prozesse, Landwirtschaft, Hausfeuerungsanlagen etc.)

-> Emissionen:

Unerwünschte Stoffe werden in die Umgebungsluft abgegeben.

-> Transmissionen:

Unerwünschte Stoffe werden z. T. weiträumig transportiert und unterliegen Umwandlungsprozessen in der Luft.

-> Immissionen:

Einwirkung unerwünschter Stoffe 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 2014)

-> Depositionen:

Stoffe werden in die Umwelt eingetragen (gasförmig, als feste Partikel trocken oder mit dem Niederschlag in Gewässer, Böden und Organismen), wo sie sich anreichern und wirken können.

Höchstgehalte:

Nach §6 VO (EG) Nr. 1881/2006 ff.: „Um einen wirksamen Schutz der öffentlichen Gesundheit sicherzustellen, sollten Erzeugnisse mit einem Gehalt an Kontaminanten, der über dem zulässigen Höchstgehalt liegt, weder als solche noch nach Vermischung mit anderen Lebensmitteln oder als Lebensmittelzutat in den Verkehr gebracht 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.

- für Honig: **Höchstgehalt** 0,1 mg/kg für Blei (VO (EU) Nr. 2015/1005);
- für Pollen: Höchstgehalt 0,01 mg/kg für Benzo[a]pyren und 0,05 mg/kg für PAK4, gilt für ähnliche Nahrungsergänzungsmittel (VO (EU) Nr. 2015/1933)

Naturbau:

Waben aus Wachs, die die Bienen zu 100 Prozent selbst aufbauen (auch: Wildbau, ohne vorgefertigte Mittelwand, z. B. Drohnenwaben für die Aufzucht der männlichen Bienen oder Wabenhonigwaben)

Originalsubstanz - OS:

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

Beurteilungswerte:

-> Aktionswerte und -> Höchstgehalte – ermöglichen eine Gefährdungsbeurteilung;

- für Honig: Aktionswert für Cadmium (gilt nicht in Deutschland; ÖBMG 2015);
- für Pollen orientierend: Höchstgehalte von Kontaminanten in Nahrungsergänzungsmitteln, nach Schadstoffhöchstmengenverordnung (EG) Nr. 1881/2006 mit VO (EU) Nr. 629/2008, Nr. 835/2011, Nr. 420/2011 und Nr. 488/2014, für Blei, Cadmium und Quecksilber

Referenzstandort:

Standort außerhalb des -> *Emittentenumfelds*, der z. B. die typische Hintergrundsituation repräsentiert

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, den, der während der Sommermonate zusammengetragen wird.

Vitalität:

Weil Bienen empfindlich auf Beeinträchtigungen ihrer Umwelt reagieren, werden beim Bienenmonitoring Vitalitätsparameter erhoben: die Überlebensrate nach der Überwinterung, die Stärke und Entwicklung der Bienenvölker und ihrer Brut, die produzierte Honigmenge und das Blütenpollenspektrum.

5 Literatur

5.1 Gesetzliche Grundlagen

HonigRL (2001): Richtlinie 2001/110/EG DES RATES vom 20. Dezember 2001 über Honig – Honig-Richtlinie. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L10 (12.1.2002), S. 47-52

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 – mit

Richtlinie zur Änderung der HonigV (2014): Richtlinie 2014/63/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Änderung der Richtlinie 2001/110/EG des Rates über Honig (Amtsblatt der Europäischen Union L164 (3.6.2014), S. 1-5

KmV (2010): Verordnung zur Begrenzung von Kontaminanten in Lebensmitteln (Kontaminanten-Verordnung - KmV) vom 19. März 2010 (BGBl. I S. 286, 287), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 24. November 2016 (BGBl. I S. 2656) geändert worden ist

LMHV (2016): Verordnung über Anforderungen an die Hygiene beim Herstellen, Behandeln und Inverkehrbringen von Lebensmitteln (Lebensmittelhygiene-Verordnung) vom 8. August 2007 (BGBl. I S. 1816, 1817) in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. Juni 2016 (BGBl. I S. 1469), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 3. Januar 2018 (BGBl. I S. 99)

RHmV (1999): Verordnung über die Höchstmengen an Rückständen von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln, Düngemitteln und sonstigen Mitteln in oder auf Lebensmitteln und Tabakerzeugnissen – Rückstands-Höchstmengenverordnung in der Neufassung vom 21. Oktober 1999 (BGBl. I S. 2082) zuletzt geändert durch

Verordnung zur Begrenzung von Kontaminanten in Lebensmitteln und zur Änderung oder Aufhebung anderer lebensmittelrechtlicher Vorschriften vom 19. März 2010 (BGBl. I S. 286)

TrinkwV (2016): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung) in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 3. Januar 2018 (BGBl. I S. 99) geändert worden ist

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

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) 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) 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) 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) Nr. 2015/1005 DER KOMMISSION 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) Nr. 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) NR. 2015/1933: Verordnung (EU) 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) NR. 2018/73: Verordnung (EU) 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

5.2 Richtlinien und Fachliteratur

Alef, K., Fiedler, H., Hutzinger, O. (1994): Umweltmonitoring und Bioindikation – Ecoinforma'94. Umweltbundesamt Wien, ISBN 3 85457 183 6; darin z. B.: Peichl, L., Dietl, C., Reifenhäuser, W., Wäber, M.: Zusammenhang zwischen Metallanreicherung in der standardisierten Graskultur und dem Metalleintrag ermittelt nach Bergerhoff. S. 85-98

Antonescu, C., Mateescu, C. (2001): Environmental Pollution and its Effects on Honey Quality. Institute for Beekeeping Research and Development, Bucharest, Romania

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

BayLfU (2009): 30 Jahre Immissionsökologie am Bayerischen Landesamt für Umwelt. UmweltSpezial, Augsburg, 67 S.

BfR (2013): Bewertung der Ergebnisse des Nationalen Rückstandskontrollplanes 2011 und des Einfuhrüberwachungsplanes 2011. Stellungnahme Nr. 016/2013 des Bundesinstituts für Risikobewertung vom 26. Januar 2013, Berlin 28 S.

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

Bogdanov, S., Imdorf, A., Charriere, J.-D., Fluri, P., Kilchenmann, V. (2003): Qualität der Bienenprodukte und die Verschmutzungsquellen. Schweizerisches Zentrum für Bienenforschung (Hrsg.)

Bogdanov, S. und Kilchenmann V. (2005): Die Qualität des Bienenwachses: Rückstände. Schweizerisches Zentrum für Bienenforschung (Hrsg.)

Bogdanov, S. und Kilchenmann V. (2009): Die Qualität des Bienenwachses: Rückstände. Schweizerisches Zentrum für Bienenforschung, Bern (CH) 2009, im Internet

BVL (2008): Berichte zur Lebensmittelsicherheit 2007 - Lebensmittel-Monitoring. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (Hrsg.), Berlin

Byrne, D. (2000): EC Commission Decision (draft) Amending Annex II to Council directive 92/118/EEC

DGE (2017): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (Hrsg.), Quelle im Internet: <https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/kupfer-mangan-chrom-molybdaen/>, Stand 30.10.2019

Dietl, C., T. Faus-Keßler, M. Wegenke, L. Peichl (1998): Verkehrsbezogene Immissionen und Immissionswirkungen von Antimon und anderen Metallen, Schriftenreihe 153 Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg

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 ISO 12884 (2000): Außenluft – Bestimmung der Summe gasförmiger und partikelgebundener polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe – Probenahme auf Filtern mit nachgeschalteten Sorbentien 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

Dobrinasa, S.; Birghilaa, S.; Coatub V. (2008): Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in honey and propolis produced from various flowering trees and plants in Romania. *Journal of Food Composition and Analysis* 21 (1), 71-77

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 Italien, 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.

- 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 Italien, 68 S.
- EFSA (2012): Cadmium dietary exposure in the European Population. Scientific Report of EFSA, European Food Safety Authority EFSA (Hrsg.), EFSA Journal 10(1):2551, Parma Italien, 37 S.
- EFSA (2012a): Scientific Opinion on the risk for public health related to presence of mercury and methylmercury in food. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. EFSA (Hrsg.), EFSA Journal 10(12):2985, Parma Italien, 241 S.
- EFSA (2010): Scientific Opinion on Lead in Food. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. EFSA (Hrsg.), EFSA Journal 8(4):1570, Parma Italien, 151 S.
- Erbilir, F.; Erdogru, Ö. (2005) Determination of Heavy Metals in Honey in Kahramanmaraş City, Turkey Environmental Monitoring and Assessment 109, 181-187
- EUFIC (2015): Nahrungsquellen für Chrom. European Food Information Council (Hrsg.), Quelle im Internet: <http://www.eufic.org/article/de/page/FTARCHIVE/artid/Chrom-in-der-Nahrung/>, Stand 17.09.2017
- Fakhimzadeh, K. und Lodenius, M. (2000): Honey, Pollen and Bees as Indicator of Metal Pollution. Acta Universitatis Carolinae - Environmentalica 14, 13-20
- Falkensteiner, A. (1997): Vergleichende Untersuchung zur Erfassung der Schwermetallimmissionen im Großraum der Stadt Salzburg mit Hilfe von verschiedenen Methoden des aktiven Biomonitoring. Dissertation, Salzburg
- Fraport (2009): Biomonitoring am Flughafen Frankfurt – Bienen überwachen Standortqualität. Fraport (Hrsg.) Spektrum Umwelt 8/2009, Frankfurt/Main 12 S. im Internet: <http://www.fraport.de/content/fraport/de/misc/binaer/nachhaltigkeit/stakeholder-dialog/sonstige-veroeffentlichungen/biomonitoring/jcr:content.file/file.pdf>, Stand 21.10.2015, zitiert in https://www.fraport.de/content/fraport/de/misc/binaer/unternehmen/verantwortung/publikationen/umwelt/umwelterklaerungen/umweltbericht_umwelterklaerung2008/jcr:content.file/umweltbericht_umwelterklaerung_2008.pdf (22.09.2018)
- Hüffmeyer, N. (2007): Modellierung von Zink in der Ruhr - Emissionspfade und Belastungsanalyse. Matthies, M. (Hrsg.) Beiträge des Instituts für Umweltsystemforschung der Universität Osnabrück Nr. 42, 80 S.
- Hombrecher, K., Both, R., Müller-Uebachs, A., Schmidt, J., Radermacher, L. (2015): Immissionsbedingte Hintergrundbelastung von Pflanzen in NRW – Schwermetalle und organische Verbindungen. LANUV-Fachbericht 61, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Recklinghausen, 68 S.
- Krahnstöver, M., Polaczek, B. (2017): Geht es den Bienen in Städten beziehungsweise stadtnahen Gebieten besser als auf dem Land? Literaturstudie zum Thema Bienengesundheit im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90/ Die Grünen, Berlin, 42 S.

- Krapp, M., L. Peichl (2015): Antimony deposition and accumulation in biomonitoring plants at a traffic affected site compared to rural sites in Bavaria / Germany. 3rd International Workshop on Antimony in the Environment, 6.-9.10.2015, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig
- Lambert, O., Veyrand, B., Durand, S., Marchand, P., Le Bizec, B., Piroux, M., Puyo, S., Thorin, C., Delbac, F., Pouliquen H. (2012): Polycyclic aromatic hydrocarbons: Bees, honey and pollen as sentinels for environmental chemical contaminants. *Chemosphere* 86 (1), S. 98-104
- Levsen, K., S. Behnert, B. Priess, M. Svoboda, H.D. Winkeler, J. Zietlow (1990): Organic compounds in precipitation. *Chemosphere* 21, S. 1037-1061
- Meek, M.E., P.K.L. Chan, S. Bartlett (1994): Polycyclic aromatic hydrocarbons: Evaluation of risks to health from environmental exposure in Canada. *Environ. Carcinogen. & Ecotox. Rev. C12* (2), 443-452
- Merian, E. (1984): *Metalle in der Umwelt*. Verlag Chemie, Weinheim: Greenwood et al., Meek et al.
- Peichl L., M. Wäber, W. Reifenhäuser (1994): Schwermetallmonitoring mit der standardisierten Graskultur im Untersuchungsgebiet München – Kfz-Verkehr als Antimonquelle? *UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox.* 6 (2), S. 63-69
- 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 BMASGK-75210/0006-IX/B/13/2019 vom 5.7.2019
- Perugini, M.; Di Serafino, G.; Giacomelli, A.; Medrzycki, P.; Sabatini, A.G.; Oddo, L.P.; Marinelli, E.; Amorena, M. (2009): Monitoring of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Bees (*Apis mellifera*) and Honey in Urban Areas and Wildlife Reserves. *J. Agric. Food Chem.* 57 (16), pp 7440–7444
- Rentz, O., C. Martel (1998): Analyse der Schwermetallströme in Steinkohlefeuerungen – Einfluss der Kohlesorte und des Lastzustandes. *Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung und Universität Karlsruhe (Hrsg.)*, Karlsruhe, 254 S.
- Savory, J., R. Wills (1984): Arsen. *Metalle in der Umwelt* (E. Merian, Hrsg.), Verlag Chemie, Weinheim, 319-334
- Schinner, M. (1989): Blei-, Cadmium-, Zink- und Kupfer-Gehalte der Vegetation im Bereich der Großglockner Hochalpenstraße zwischen Heiligenblut und dem Hohtor. Struktur und Funktion von Grünlandökosystemen im Nationalpark Hohe Tauern. Zitiert in Hackner und Zecha (1997, unveröffentlicht). Landesregierung Salzburg
- Schwind, K.H., J. Hosseinpour, H. Fiedler, C. Lau, O. Hutzinger (1994): Bestimmung und Bewertung der Emissionen von PCDD/F, PAK und kurzkettigen Aldehyden in den Brandgasen von Kerzen. *UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.* 6, 243-246
- Streit, B. (1991): *Lexikon Ökotoxikologie*. VCH Weinheim

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

UBA (2014): Wie kommt Quecksilber in die Umwelt? Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau, Quelle im Internet: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wie-kommt-quecksilber-in-die-umwelt>, Stand 30.10.2019

UBA (2014a): Umweltbelastungen der Landwirtschaft: Düngemittel. Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau, Quelle im Internet: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/duengemittel#textpart-1>, Stand 30.10.2019

Umweltatlas Hessen (2005). Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.)

Van der Steen, J.J.M., de Kraker, J., Grotenhuis, T. (2012): Spatial and temporal variation of metal concentrations in adult honeybees (*Apis mellifera* L.). *Environ Monit Assess.* 2012 Jul; 184 (7), 4119-4126

VDI 3957 Blatt 1:2014-09: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring); Grundlagen und Zielsetzung. Beuth, Berlin

VDI 3957 Blatt 2:2016-03: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring) – Verfahren der Standardisierten Graskultur. Beuth, Berlin

VDI 3957 Blatt 3:2008-12: VDI Richtlinie 3957 Blatt 3 Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation) - Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl. Beuth, Berlin

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. Beuth, Berlin

Wäber, M. (2019): Honigmonitoring am Flughafen München 2018. Flughafen München GmbH (Hrsg.), im Internet: https://www.munich-airport.de/_b/0000000000000007280527bb5d68cfe3/FMG_Honigmonitoring2018-Bericht.pdf, Stand: 30.10.2019

Wäber, M. (2017): Honigmonitoring am Flughafen München 2017. Flughafen München GmbH (Hrsg.), im Internet: https://www.munich-airport.de/_b/0000000000000003370544bb5a3bb8d6/Honigmonitoring-2017.pdf, Stand: 30.10.2019

Wäber, M. (2017): Honigmonitoring am Flughafen München 2016. Flughafen München GmbH (Hrsg.), im Internet: https://www.munich-airport.de/_b/0000000000000002025460bb5948c6e6/honigmonitoring-2016.pdf, Stand: 30.10.2019

Wäber, M. (2016): Bienenmonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld 2011 bis 2016. Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (Hrsg.), im Internet: http://www.berlin-airport.de/de/_dokumente/unternehmen/umwelt/FBB2016_Bienenmonitoring-Bericht.pdf, Stand: 30.10.2019

Wäber, M. (2016): Honigmonitoring am Flughafen München 2015. Flughafen München GmbH (Hrsg.), im Internet: https://www.munich-airport.de/_b/0000000000000000390107bb583c192c/honigmonitoring2015.pdf, Stand: 30.10.2019

Wäber, M. (2015): Honigmonitoring am Flughafen München 2014. Flughafen München GmbH (Hrsg.), im Internet: https://www.munich-airport.de/_b/0000000000000000390136bb583c1930/honigmonitoring2014.pdf, Stand: 30.10.2019

Wäber, M. (2014): Honigmonitoring am Flughafen München 2013. Flughafen München GmbH (Hrsg.), im Internet: https://www.munich-airport.de/_b/0000000000000000390166bb583c1937/honigmonitoring2013.pdf, Stand: 30.10.2019

Wäber, M. (1996): Aktives Biomonitoring von Immissionswirkungen – Bewertung ausgewählter Methoden. Forstliche Forschungsberichte 155, Weihenstephan

Wäber, M., Pompe, F. (2018): Biomonitoring von Luftverunreinigungen an Flughäfen im deutschsprachigen Raum. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 4 (2018), S. 166-170

Wäber, M. und Pompe, F. (2018): Bienenmonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld 2011 bis 2018. Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (Hrsg.), im Internet: https://www.berlin-airport.de/de/_dokumente/unternehmen/umwelt/FBB2018_BienenBericht_UMW20181119.pdf, Stand: 30.10.2019

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

Wäber, M., S. Aust, K. Johannsen, F. Pompe, J. Heimberg: Biomonitoring mit Grünkohl und Graskultur im Umfeld des zukünftigen Flughafens Berlin Brandenburg – Langfristige Untersuchung möglicher Umweltwirkungen von Luftverkehr und Flughafenbetrieb. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 4 (2015), S. 137-142

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

Wäber, M., C. Dietl, J. Köhler, L. Peichl (1998): Bioakkumulation und Deposition von Antimon, Blei und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoff-Immissionen. UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. 10 (5), 276-280

Wäber, M., Peichl L. (1996): Quecksilber – Erfassung von Immissionswirkungen – Biomonitoring mit der Standardisierten Graskultur: Eignungstest. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 8, Nr. 6, S. 307-311

Yazgan, S., Horn, H., Isengard, H.-D. (2006): Honey as bio indicator by screening the heavy metal content of the environment. Deutsche Lebensmittel-Rundschau Nr.102/5, Behr's Verlag Hamburg, S. 192-194

erstellt im Auftrag der Flughafen Berlin Brandenburg GmbH

von

Dr. Monica Wäber (Projektleitung) und

Frank Pompe

UMW Umweltmonitoring

Wallbergstraße 13

82054 Sauerlach

www.umweltmonitoring.com

Sauerlach, im Dezember 2019



Dr. Monica Wäber