

Untersuchungen möglicher Boden- und Pflanzenbelastung im Umfeld von Strommasten

Ergebnisbericht



boden



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Untersuchungen möglicher Boden- und Pflanzenbelastung im Umfeld von Strommasten

Ergebnisbericht

Impressum

Untersuchungen möglicher Boden- und Pflanzenbelastung im Umfeld von Strommasten

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
Fax.: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung:

LfL, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, AG Bodenschadstoffe, Christa Müller
LfU, Ref. 108, Dr. Bernd Schilling, Petra Wölfel, Sandra Gommer

Redaktion:

LfU, Ref. 108, Petra Wölfel

Bildnachweis:

LfU: Titelbild

Stand:

November 2011

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Broschüre auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	3
2	Veranlassung	5
3	Einleitung und Zielsetzung	6
4	Probenahmekonzepte und Untersuchungsumfang	8
4.1	Beprobung und Untersuchung durch die Betreiber	8
4.2	Beprobung und Untersuchung durch LfU und LfL	11
4.3	Vergleichende Untersuchung	13
5	Ergebnisse und Bewertung	14
5.1	Statistische Methoden	14
5.2	Ergebnisse der Bodenproben (Netzbetreiber + LfU)	17
5.2.1	Bleigehalte der Teilflächen A/P1 im Königswasserextrakt (KW)	17
5.2.1.1	Prüfwert- und Maßnahmenwertüberschreitungen für Blei (KW)	18
5.2.1.2	Vorsorgewertüberschreitungen für Blei (KW)	19
5.2.1.3	Mastalter und Bleigehalte (KW) im Boden	20
5.2.1.4	Mastanstrich und Bleigehalte (KW) im Boden	21
5.2.1.5	Trassen und Bleigehalte (KW) im Boden	23
5.2.2	Zinkgehalte der Teilflächen A/P1 im Königswasserextrakt (KW)	25
5.2.2.1	Vorsorgewertüberschreitungen für Zink (KW)	25
5.2.2.2	Mastanstrich und Zinkgehalte (KW) im Boden	26
5.2.2.3	Vergleich der Zink- und Bleigehalte im Königswasserextrakt (KW).	28
5.2.3	Blei- und Zinkgehalte (KW) der Teilflächen B und R	28
5.2.3.1	Prüfwertüberschreitungen (Blei) auf der Teilfläche B	29
5.2.3.2	Vorsorgewertüberschreitungen (Blei/Zink) auf der Teilfläche B	29
5.2.3.3	Vergleich der Teilflächen A, B und R (Blei- und Zinkgehalte (KW))	31
5.2.4	Blei- und Zinkgehalte im Ammoniumnitratextrakt (NH ₄ NO ₃)	34
5.2.4.1	Prüfwertüberschreitungen für Blei und Zink (NH ₄ NO ₃)	34
5.2.4.2	Einfluss des pH-Werts auf die Blei-/Zinkgehalte (NH ₄ NO ₃)	36
5.2.5	Vergleich der Blei- und Zinkgehalte im KW- und NH ₄ NO ₃ -Extrakt	38
5.2.6	Sonstige Schwermetalle	40
5.3	Ergebnisse der erweiterten Untersuchung (Boden und Pflanzen) durch LfU & LfL	40
5.3.1	Schwermetallgehalte auf den Kinderspielflächen	41
5.3.2	Schwermetallgehalte auf den Acker- und Nutzgartenflächen	43
5.3.2.1	Blei	43
5.3.2.2	Zink	46
5.3.2.3	Sonstige Schwermetalle	48

5.3.3	Schwermetallgehalte auf den Grünlandflächen	48
5.3.3.1	Blei	48
5.3.3.2	Zink	50
5.3.3.3	Sonstige Schwermetalle	51
5.3.4	Gehalte an organischen Schadstoffen	51
5.3.4.1	PAK ₁₆ , Benzo(a)pyren	51
5.3.4.2	PCB ₆	55
6	Zusammenfassung	56
7	Literatur	61

2 Veranlassung

Bis Anfang der 70er-Jahre des letzten Jahrhunderts wurden die meisten Stahlkonstruktionen in Deutschland mit einer bleihaltigen Korrosionsschutzfarbe gestrichen (Bleimennige). Danach wurden die Stahlkonstruktionen i. d. R. verzinkt, d. h. meist keine bleihaltigen Farbanstriche mehr vorgenommen.

Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen (RWE 2008) und der Schweiz (2001) haben bereits gezeigt, dass die Schwermetalle aus der Mastbeschichtung mit der Zeit in den darunter liegenden Boden eingetragen werden können.

Der Energieversorger RWE beauftragte in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2008 Bodenuntersuchungen unterhalb von Stahlgittermasten, die mit dem lange Zeit verwendeten Korrosionsschutzmittel „Bleimennige“ behandelt worden waren. Die Ergebnisse der Untersuchungen erhärteten den Verdacht, dass es unterhalb solcher Masten zu einer Anreicherung von Blei im Boden kommen kann. Grundlage für die Abschätzung des Gefährdungspotenzials bildeten die Grenzwerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) für Schwermetalle in Böden.

Das Bekanntwerden der RWE-Untersuchungsergebnisse im Juni 2008 veranlasste das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) zu einer näheren Betrachtung der Belastungssituation unterhalb von Strommasten in Bayern. Es wurden umgehend Gespräche mit den in Bayern agierenden Stromnetzbetreibern (DB, E.on, RWE, LEW, N-ERGIE, VKW, SWM und AÜW) geführt, um ein gemeinsames Vorgehen zur Klärung des Gefährdungspotenzials vor allem für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze zu erarbeiten. Als Ergebnis der Zusammenarbeit wurde beschlossen, stichprobenartige Bodenuntersuchungen unter Strommasten durchzuführen. Bevorzugt beprobt werden sollten dabei Maststandorte, die sich auf sensiblen Nutzungen wie Kinderspielflächen und Wohngebieten (Wirkungspfad Boden-Mensch) sowie Ackerflächen, Grünland und Nutzgärten (Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze) befinden. Der Pfad Boden-Grundwasser wurde zunächst nicht betrachtet. Alle Netzbetreiber mit Ausnahme der Deutschen Bahn AG erklärten sich im Rahmen der Gespräche dazu bereit ca. 0,5 bis 1 % ihrer Masten nach einem abgestimmten Konzept zu untersuchen.

3 Einleitung und Zielsetzung

Der Schwermetalleintrag in den Boden kann sowohl beim Auftragen des Korrosionsschutzes, durch den Abrieb bei Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen als auch durch mögliche Lösungsprozesse (z. B. bei Niederschlägen) geschehen.

Von Seiten der Netzbetreiber wurden für Bayern knapp 39.000 Stahlgittermasten ($\geq 110\text{kV}$ -Leitungen) an das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) gemeldet. Die meisten Standorte, auf denen diese Masten stehen, können einer bestimmten Nutzung zugeordnet werden. In der Regel wird für jeden Masten auch die Art der Beschichtung angegeben (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Maststandorte in Bayern und ihre Verteilung auf die verschiedenen Nutzungen ($\geq 110\text{kV}$)

Nutzung	Beschichtung					Gesamt
	Bleifreie Beschichtung	Bleihaltige Beschichtung	erst bleihaltige, dann bleifreie Beschichtung	keine Angaben	keine eindeutige Zuordnung möglich	
Ackerfläche	13032	8968	7	44	0	22051
Grünland	2987	2867	32	20	0	5906
Industriegebiet	220	137	0	20	0	377
Kinderspielfläche	2	10	0	2	0	14
Nutzgarten	189	175	0	9	0	373
Park-/Freizeitanlage	64	33	0	1	0	98
Wald	1157	778	5	26	0	1966
Wohngebiet	163	372	0	4	13	552
Sonstige	288	271	1	7	0	567
keine Angabe	3889	2660	0	0	339	6888
Gesamt	21991	16274	45	132	352	38794

Im Rahmen einer stichpunktartigen Untersuchung erarbeiteten die Netzbetreiber zusammen mit dem LfU und der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) eine Übersicht der Belastungssituation an Hoch- und Höchstspannungsmasten ($\geq 110\text{kV}$) in Bayern, die als Entscheidungsgrundlage für das weitere Vorgehen dienen sollte. An ausgewählten Maststandorten wurden dafür Bodenproben entnommen und auf eine mögliche Belastung mit Schwermetallen untersucht. Darüber hinaus wurden vom LfU im Rahmen eines erweiterten Probenahme- und Untersuchungskonzepts die Bodenproben einiger Standorte auch auf organische Schadstoffgruppen (Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe als Summenparameter (PAK₁₆), Benzo(a)pyren, Polychlorierte Biphenyle (PCB₆)) untersucht. Für solche Belastungen können zum Beispiel teeröhlhaltige Anstriche, die früher teilweise zum Schutz der Mastfüße verwendet wurden, verantwortlich sein. Die LfL untersuchte zusätzlich zu den Bodenproben an Acker-, Nutzgarten- und Grünlandstandorten Pflanzenproben.

Der vorliegende Bericht stellt die Gesamtergebnisse sämtlicher in Bayern untersuchter Maststandorte, die von den einzelnen Betreibern sowie vom LfU und der LfL betrachtet wurden, zusammenfassend dar.

4 Probenahmekonzepte und Untersuchungsumfang

Um eine erste Einschätzung zur Belastungssituation des Bodens unter Strommasten zu bekommen, wurden vom Großteil der betroffenen Netzbetreiber ca. 0,5 bis 1 % der Masten ≥ 110 kV untersucht. Die Deutsche Bahn AG hat sich an den Untersuchungen nicht beteiligt. Von den Betreibern wurden so insgesamt 206 Maststandorte beprobt. Sensible Standorte (Kinderspielflächen sowie Haus- und Nutzgärten) wurden bevorzugt betrachtet.

Ergänzend zu den Bodenuntersuchungen der Betreiber wurden in einer gemeinsamen Studie von LfU und LfL an 12 Standorten verschiedener Nutzungen (Kinderspielplätze, Nutzgarten, Acker, Grünland) weitere Erkenntnisse über die horizontale und vertikale Verteilung von möglichen Bodenbelastungen im Umfeld von Strommasten durch ein detaillierteres Untersuchungskonzept gewonnen. Einer dieser 12 Standorte wurde als Vergleich der beiden angewandten Untersuchungskonzepte auch vom Betreiber beprobt. An den Standorten mit pflanzenbaulicher Nutzung (Acker, Grünland und Nutzgarten) wurden dabei durch die LfL Pflanzenproben entnommen und ebenfalls auf Schwermetalle analysiert.

Tab. 2: Übersicht über Nutzung und Beschichtung an den insgesamt untersuchten Standorten

	Beschichtung				Gesamt	
	Bleimennige / bleihaltige Farbe	Feuerverzinkt, bleifreie Beschichtung	Feuerverzinkt, bleihaltige Beschichtung	Schwarzstahl m. bleihalt. Beschichtung		
Nutzung	Ackerfläche	3	6	3	17	29
	Grünland	11	3	3	6	23
	Industriefläche	1	1	1	0	3
	Kinderspielfläche	7	2	2	1	12
	Nutzgarten	17	10	2	29	58
	Park-/Freizeitanlage	3	0	0	3	6
	Wald	0	0	1	0	1
	Wohngebiet	64	4	2	15	85
	Gesamt	107	26	14	71	217

Bisher wurden 12 der 14 bekannten Maststandorte auf Kinderspielflächen untersucht (s. Tab. 2), neun von Seiten der Netzbetreiber, zwei vom LfU und zusätzlich ein Standort, der sowohl vom zuständigen Betreiber als auch vom LfU untersucht wurde. Zwei weitere Standorte auf Kinderspielflächen werden derzeit ausgewertet.

4.1 Beprobung und Untersuchung durch die Betreiber

Die Probenahme der Betreiber basiert auf dem bundesweit abgestimmten Konzept der AG „Strommasten“ der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) vom 03.04.2009. Die grundsätzliche Überlegung war, dass bei einer Untersuchung im Umfeld von Strommasten zwi-

schen einem als „hot-spot“ definierten Bereich (A-Fläche) im unmittelbaren Umfeld des Mastes und einem weiteren Beeinflussungsbereich unter der Traversenspannweite unterschieden werden kann. Die Probenahmeflächen sind schematisch in Abb. 1 dargestellt. Der hot-spot-Bereich ergibt sich aus der doppelten Mastgrundfläche F , beträgt jedoch mindestens 20 m^2 . Die Probenahmefläche für den weiteren Beeinflussungsbereich setzt sich aus der B1- und der B2-Fläche zusammen. Die Seitenlänge dieses Bereichs (l_2) beträgt $\sqrt{6F}$, mindestens jedoch $7,75 \text{ m}$ ($=\sqrt{60\text{m}^2}$). Als zweiter Flächenfaktor geht die Traversenspannweite (l_3) in die Berechnung ein. Die B-Fläche errechnet sich somit aus dem Produkt der Seitenlänge (l_2) und der Traversenlänge (l_3) abzüglich der A-Fläche.

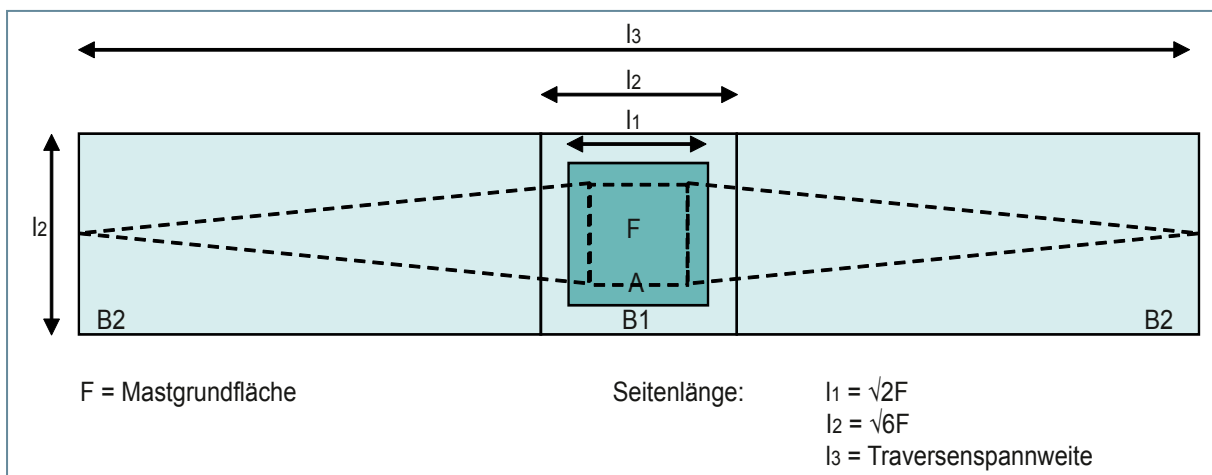


Abb. 1: Schematische Darstellung der Probenahme der Netzbetreiber.

Innerhalb der Beprobungsflächen wurde jeweils eine Mischprobe aus mindestens 20 Einstichen aus den in Tab. 3 dargestellten nutzungsabhängigen Tiefenstufen entnommen. Die Mischproben wurden entsprechend BBodSchV im Königswasser- bzw. Ammoniumnitratextrakt auf Schwermetalle (Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink) untersucht.

Tab. 3: Beprobungstiefe und Schwermetall-Analytik der Beprobung der Netzbetreiber

Nutzung	Beprobungstiefe	Schwermetall-Analytik
Kinderspielfläche	0–10 cm	Königswasser-Extrakt (Pfad Boden-Mensch)
Wohngebiet (ohne Nutzgarten)		
Park-, Freizeitanlage		
Industrie-, Gewerbegebiet		
Ackerfläche / Erwerbsgartenbau	Bearbeitungshorizont (i. d. R. 0–30 cm)	Königswasser-Extrakt Ammonium-Nitrat-Extrakt (Pfad Boden-Pflanze)
Nutzgarten		
Grünland	Hauptwurzelschicht (i. d. R. 0–10 cm)	
Wald, sonstige Nutzung	Of- und Oh-Horizont (falls vorhanden) und oberster Mineralbodenhorizont	Königswasser-Extrakt

Von den 206 untersuchten Strommasten der Netzbetreiber sind 182 bis 1970 gebaut worden, bei 181 (87,9 %) handelt es sich um Masten mit bleihaltiger Beschichtung (vgl. Tab. 4 & Tab. 5).

Tab. 4: Baujahre der untersuchten Masten

Baujahr	Häufigkeit absolut	Häufigkeit [%]
keine Angabe	1	0,5
1920-1930	48	23,3
1931-1940	9	4,4
1941-1950	27	13,1
1951-1960	56	27,2
1961-1970	42	20,4
1971-1980	6	2,9
1981-1990	10	4,9
1991-2000	4	1,9
>2000	3	1,5
Gesamt	206	100,0

Tab. 5: Verteilung der verschiedenen Mastbeschichtungen

Beschichtung	Häufigkeit	Prozent
Bleihaltige Beschichtung	167	81,1
Feuerverzinkt, bleifreie Beschichtung	26	12,6
Feuerverzinkt, bleihaltige Beschichtung	13	6,3
Gesamt	206	100,0

4.2 Beprobung und Untersuchung durch LfU und LfL

Bei der erweiterten Untersuchung durch das LfU und die LfL wurde an zwölf Maststandorten unterschiedlicher Nutzung der Boden sowie, bei den landwirtschaftlichen Flächen und dem Nutzgarten, der Pflanzenbewuchs beprobt. Um Erkenntnisse über die horizontale Verteilung in der Fläche zu bekommen, wurde die Beprobungsfläche in vier Teilflächen im Umfeld des Mastes (P1–P4) sowie einer Referenzfläche (P5) unterteilt (Abb. 2). In den einzelnen Teilflächen wurden mehrere, nutzungsabhängige Tiefenstufen beprobt, die in Tab. 6 aufgeführt sind. Der höhere Detaillierungsgrad im Vergleich zu den Betreiberuntersuchungen wurde gewählt, um eine weitere, v. a. räumliche Differenzierung zu ermöglichen und um den Einfluss der Traverse zu überprüfen. Ab einer Mastgrundfläche (F) von 20 m² entspricht die Fläche P1 der A-Fläche der Betreiberuntersuchungen.

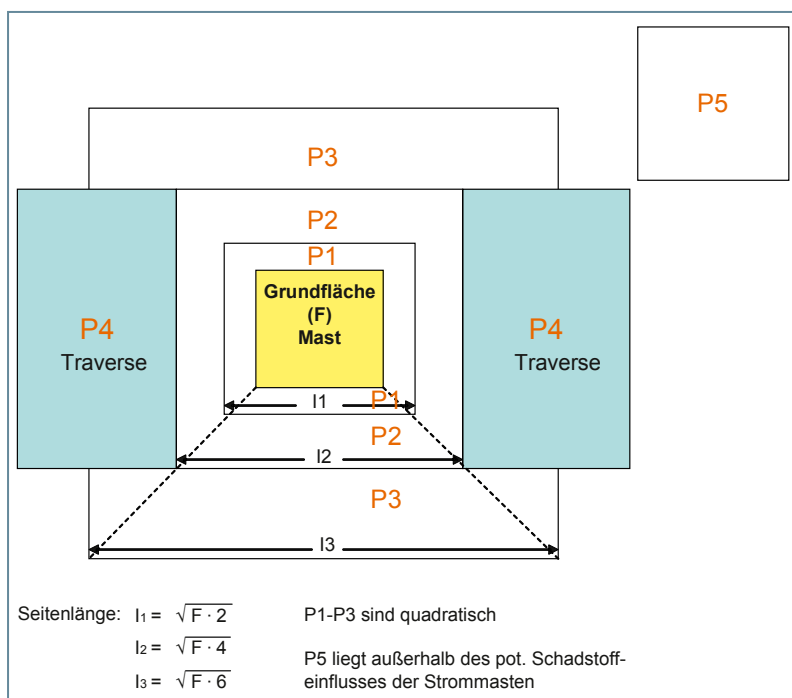


Abb. 2: Schematische Darstellung der Probenahme bei der erweiterten Untersuchung von LfU & LfL.

Tab. 6: Nutzungsabhängige Beprobungstiefen

Nutzung	Beprobungstiefe
Kinderspielfläche	0–10 cm
	10–30 cm
	30–60 cm
Nutzgarten	0–30 cm
	30–60 cm
Ackerfläche	0–30 cm
	30–60 cm
Grünland	0–10 cm
	10–30 cm
	30–60 cm

Bodenuntersuchungen

Die entnommenen Bodenproben wurden im Königswasser-Aufschluss und im Ammoniumnitrat-extrakt auf Schwermetalle sowie auch auf einige andere anorganische Schadstoffe untersucht. Zusätzlich wurden Analysen hinsichtlich der organischen Schadstoffgruppen PAK und PCB durchgeführt.

Anorganik (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sn, V, Zn):

Die Proben wurden entsprechend Anhang 2 BBodSchV nach DIN ISO 11466 mit Königswasser sowie nach DIN 19730 mit Ammoniumnitrat extrahiert. Die Extrakte wurden mit der ICP-OES und mit der ICP-MS nach DIN/EN ISO 11885 bzw. DIN 38406-29 vermessen. Die theoretische Messunsicherheit beträgt nach UBA (2008) ca. 20 %, die Präzision der eigentlichen Messung ca. 5 %, die Präzision aus Aufschluss und Messung ca. 10 %.

Ebenfalls gemäß Anhang 2 BBodSchV wurden die anorganischen Schadstoffgehalte nach DIN 19730 ermittelt.

Organik (PAK₁₆, Benzo(a)pyren und PCB₆):

Die feldfrische Probe wurde gesiebt und die Fraktion < 2 mm gemäß BBodSchV nach VDLUFA Methodenhandbuch Band VII auf PAK und PCB untersucht. An einem Aliquot der Probe wurde eine Bestimmung der Trockensubstanz mittels IR-Waage durchgeführt. Die Gehalte wurden auf die Trockensubstanz aufgerechnet.

Weitere Bodenparameter:

Es wurde der Trockensubstanzanteil sowie der Skelettanteil der Proben bestimmt (DIN ISO 11465). Außerdem wurde der organische Kohlenstoffgehalt gemessen und der Humusanteil daraus berechnet (DIN ISO 10694). Zur Abschätzung möglicher Verlagerungsprozesse von Stoffen in Böden wurden zudem pH-Wert Messungen durchgeführt.

Pflanzenuntersuchungen

Auf den landwirtschaftlichen Flächen wurden analog zur Bodenprobennahme auf den Teilflächen P1 bis P4 und der Referenzfläche P5 Pflanzenproben als Mischproben (Winterweizen (Körner) und Gras) entnommen. Die Winterweizen-Proben wurden nach Druckaufschluss (mikrowellenbeheizt) mittels ICP-MS auf die o. g. Schwermetalle hin untersucht. Die Grasproben wurden nach der Fußnoten-Methode der Futtermittelverordnung mit verdünnter Salpetersäure aufgeschlossen und ebenfalls am ICP-MS gemessen.

4.3 Vergleichende Untersuchung

An einem Maststandort wurden sowohl vom zuständigen Netzbetreiber als auch vom LfU Proben entnommen, damit wird ein direkter Vergleich der beiden Probenahmekonzepte (s. Kap. 4.1 und 4.2) möglich.

Untersucht wurde ein Standort auf einer Kinderspielfläche. Der Mast stammt aus dem Jahr 1962 und trägt eine bleihaltige Beschichtung. Die Beprobungstiefe lag nach BBodSchV bei 0 bis 10 cm (vom LfU wurden zusätzlich noch weitere Tiefenstufen untersucht (vgl. Kap. 5.3). Folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Schwermetallanalytik für die beiden Teilflächen A (Betreiber) und P1 (LfU) im Vergleich (Mastgrundfläche F = 25m²).

Tab. 7: Schwermetallgehalte der Teilflächen A (Betreiber) und P1 (LfU)

	Mastnr.	Teilfläche	Pb [mg/kg TS]	Cd [mg/kg TS]	Cr [mg/kg TS]	Ni [mg/kg TS]	Zn [mg/kg TS]
Betreiber	64	A	270	0,5	34	22	490
LfU	64	P1	340	0,55	42	28	370

Mit beiden Untersuchungskonzepten konnte im Hauptbelastungsbereich für den Pfad Boden-Mensch (Kinderspielfläche) eine Prüfwertüberschreitung für Blei nach BBodSchV nachgewiesen werden. Die Abweichungen bei den Analysenwerten liegen zwischen 10 und 25 % und sind für die Metalle Blei und Zink am höchsten. Die Tatsache, dass nur ein einziger Standort zum Vergleich der beiden Beprobungsmethoden herangezogen wurde sowie im Hinblick auf weitere Fehlerquellen (unterschiedliche Probenehmer, analytischer Schwankungsbereich, keine Wiederholungsproben etc.) lässt an dieser Stelle keine gesicherte Aussage zu, aber weist zumindest auf eine akzeptable Vergleichbarkeit der Methoden hin.

5 Ergebnisse und Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Boden- und der Pflanzenproben der Netzbetreiber und des LfU bzw. der LfL als Gesamtdatenbasis für eine zusammenfassende Ergebnisdarstellung verwendet. Mögliche Korrelationen zwischen den ermittelten Schwermetallgehalten im Boden und äußeren Faktoren wie Mastalter, Art der Beschichtung oder pH-Wert im Boden werden durch statistische Verfahren abgeprüft.

Die Analysenergebnisse der Bodenproben wurden nach den Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV für die Pfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze bewertet, die Ergebnisse zu Getreide und Gemüse nach der EU-Kontaminantenverordnung und die von Gras nach der Futtermittelverordnung.

Kapitel 5.2 stellt die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen von Netzbetreibern und LfU zusammenfassend dar. Da die untersuchten Teilflächen bei Netzbetreibern und LfU unterschiedlich sind, wurde nur der hot-spot-Bereich, die Teilflächen A (Betreiber) bzw. P1 (LfU), gemeinsam ausgewertet. Die Größe dieser Teilflächen variiert je nach Standort / Mastgrundfläche. Hauptunterschied zwischen den beiden Untersuchungskonzepten ist die Festlegung einer Mindestfläche von 20 m² für die Teilfläche A beim LABO-Konzept (Betreiberuntersuchungen), nicht jedoch im LfU-Konzept. Die beiden Teilflächen A und P1 schließen aber in jedem Fall die zu erwartende Hauptbelastungszone direkt unterhalb des Mastes ein (vgl. Kap 4.1 und 4.2). In Kapitel 5.3 werden die Ergebnisse der LfU/LfL-Untersuchungen aufgrund der stärkeren Differenzierung der Teilflächen und Tiefenstufen gesondert betrachtet.

5.1 Statistische Methoden

Angaben zum Probenahmestandort (z. B. Nutzung, beprobte Teilfläche) zum Mast selber (z. B. Baujahr, Beschichtung) sowie die dazugehörigen Analysenergebnisse wurden in einer MS Access-Datenbank zusammengefasst. Im Rahmen einer deskriptiven Statistik wurden mit Hilfe des Programms PASW Statistics 18 Häufigkeitsverteilungen und Kreuztabellen sowie zur anschaulichen Darstellung Streu- und Boxplotdiagramme verwendet.

Mögliche Zusammenhänge zwischen den gemessenen Schadstoffgehalten (Blei und Zink) und anderen Einflussfaktoren (Variablen) wurden sowohl visuell über Streudiagramme als auch mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten nach SPEARMAN abgeprüft. Der Korrelationskoeffizient nach SPEARMAN wurde verwendet, weil die Schadstoffgehalte als abhängige Variable nicht normalverteilt sind. Als Test für die Normalverteilung der Daten wurden Histogramme und Q-Q-Diagramme erstellt und die Signifikanztests nach KOLMOGOROV-SMIRNOV und SHAPIRO-WILK angewendet.

Beispielhaft werden die Diagramme und statistischen Tests zur Normalverteilung im Folgenden für die Bleigehalte auf den A- und P1-Flächen für eine Beprobungstiefe von 0 bis 30 cm dargestellt:

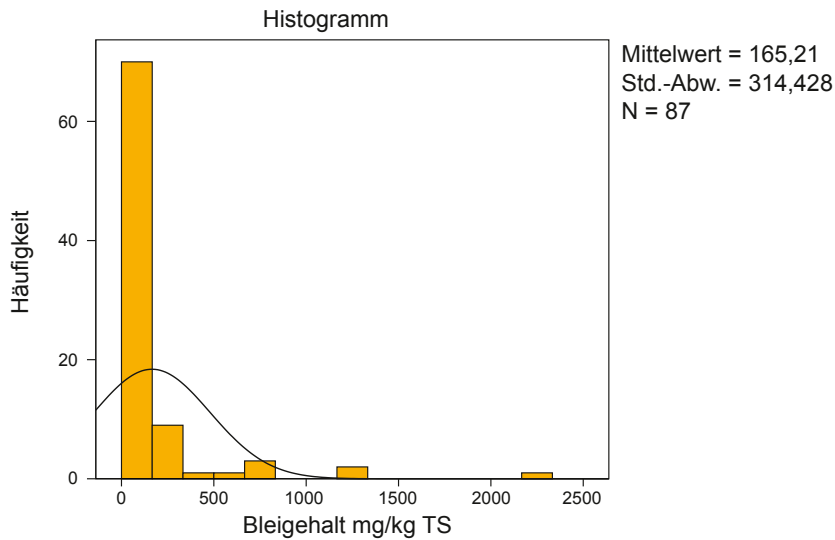


Abb. 3: Histogramm der Bleigehalte Teilflächen A/P1, Beprobungstiefe 0–30 cm.

Es besteht eine starke Häufung der Werte im Bereich der niedrigen Bleigehalte. Die Kurtosis wird mit 22,17 angegeben. Die reale Verteilung ist also deutlich steiler als die Normalverteilung. Der Wert für die Schiefe beträgt 4,28; die Verteilung ist linkssteil.

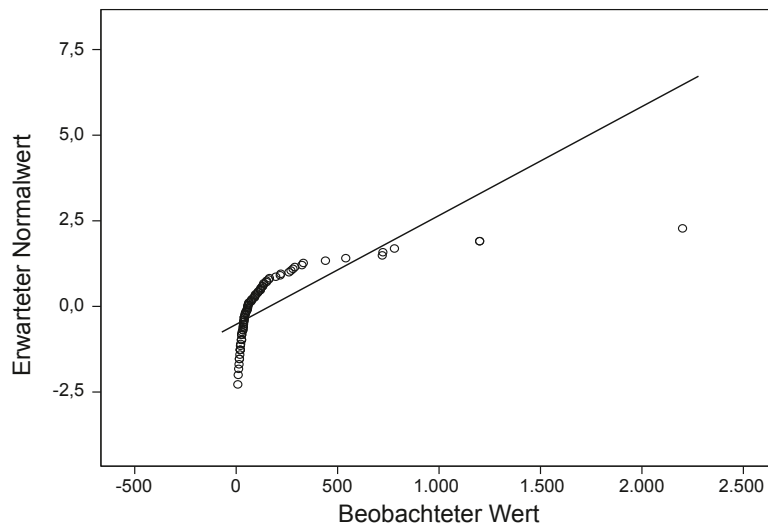


Abb. 4: Q-Q-Diagramm der Bleigehalte Teilflächen A/P1, Beprobungstiefe 0–30 cm.

Das Q-Q-Diagramm trägt die (standardisierten) beobachteten Werte gegen die theoretischen Werte einer Normalverteilung auf (BROSIOUS 2008). Die beobachteten Werte bilden eine Kurve und weichen deutlich von denen der Normalverteilungsgerade ab.

Tab. 8: Normalverteilungstests für die Bleigehalte der Teilflächen A/P1, Beprobungstiefe 0–30 cm

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Blei	0,309	87	0,000	0,480	87	0,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Hier wird die Nullhypothese (H₀) getestet. Sie lautet: Die Werte der untersuchten Variable sind in der Grundgesamtheit normalverteilt. Die Signifikanzwerte liegen mit beiden Testverfahren bei 0,000. Da die geschätzten Irrtumswahrscheinlichkeiten der Nullhypothese zurückgewiesen werden müssen, wird die H₁-Hypothese angenommen, d. h. die Daten sind nicht normalverteilt (BROSIOUS 2008).

Für die Interpretation des Korrelationskoeffizienten nach SPEARMAN wurde folgende Tabelle aus BROSIOUS (2008) zu Grunde gelegt:

Tab. 9: Richtwerte für die Interpretation des Korrelationskoeffizienten (BROSIOUS 2008)

Betrag des Korrelationskoeffizienten	Mögliche Interpretation
0	Keine Korrelation
über 0 bis 0,2	Sehr schwache Korrelation
über 0,2 bis 0,4	Schwache Korrelation
über 0,4 bis 0,6	Mittlere Korrelation
über 0,6 bis 0,8	Starke Korrelation
über 0,8 bis unter 1	Sehr starke Korrelation
1	Perfekte Korrelation

Die Extremwerte werden jeweils in den Boxplot-Diagrammen mit dargestellt. Auf eine Ausreißer-identifizierung wurde verzichtet, da bei der vorliegenden Untersuchung vor allem die Maximalwerte an Schadstoffen (Ermittlung von Prüfwertüberschreitungen) von Interesse sind.

Im Folgenden wird beispielhaft das Boxplotdiagramm der Bleigehalte auf allen A- und P1-Flächen auf Wohngebietsstandorten dargestellt.

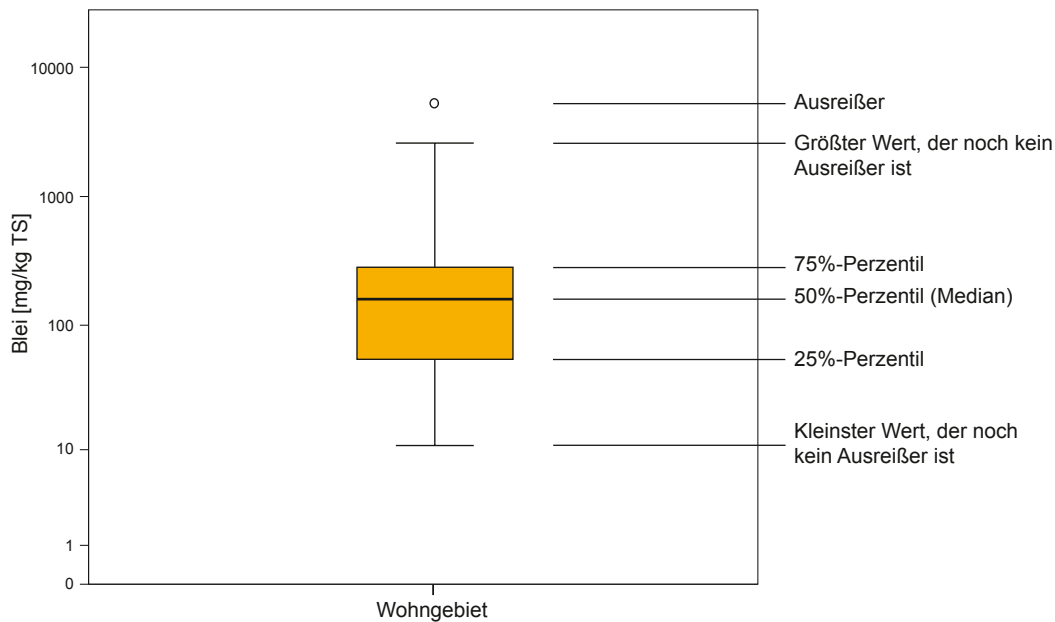


Abb. 5: Bleigehalte der A/P1-Flächen dargestellt als Boxplot.

5.2 Ergebnisse der Bodenproben (Netzbetreiber + LfU)

Insgesamt wurden an 217 Strommasten (205 Betreiber + 11 LfU+ 1 Betreiber & LfU) unterschiedlicher Netzbetreiber Bodenproben entnommen und untersucht.

Die Kapitel 5.2.1 und 5.2.2 beschäftigen sich mit den Blei- und Zinkgehalten (Königswasserextrakt) im Hauptbelastungsbereich unmittelbar unterhalb des Mastes (Teilfl. A – Betreiber, Teilfl. P1 – LfU/LfL). Im Kapitel 5.2.3 werden die Blei- und Zinkgehalten (KW-Extrakt) auf den B-Flächen und den Referenzflächen R betrachtet. Die Metallgehalten im Ammoniumnitratextrakt (Pflanzenverfügbarkeit) sind in Kapitel 5.2.4 beschrieben. In Kapitel 5.2.5 werden die Blei- und Zinkgehalten im Königswasserextrakt direkt mit den entsprechenden Gehalten im Ammoniumnitratextrakt verglichen.

5.2.1 Bleigehalte der Teilflächen A/P1 im Königswasserextrakt (KW)

Die auf den Teilflächen A/P1 gefundenen Bleigehalte nach Nutzungen sind in Tab. 10 enthalten. Dargestellt sind alle Nutzungen, die mit $n > 10$ vertreten sind.

Tab. 10: Aufteilung der Bleigehalte (KW) nach Nutzungen in mg/kg TS (A/P1-Flächen)

Nutzung (Anzahl)	Maximalwert	Median	Minimalwert	Beprobungstiefe [cm]
Ackerfläche (29)	540	44	8	0–30
Nutzgarten (58)	2200	68	16	0–30
Grünland (23)	1100	60	11	0–10
Kinderspielfläche (12)	960	250	19	0–10
Wohngebiet (85)	5500	156	11	0–10
Industrie (3)	85	41	35	0–10
Parkanlagen (6)	470	104	60	0–10
Waldfläche (1)	30	-	-	0–5
Gesamt (217)	5500	90	8	

Der Maximalwert für Blei im Königswasseraufschluss liegt bei den untersuchten Masten bei 5500 mg/kg TS in einem Wohngebiet, der Minimalwert bei 8 mg/kg TS auf einer Ackerfläche (s. Tab. 10). Bei diesen Werten ist aber zu beachten, dass bei Ackerflächen die Beprobungstiefe nach BBodSchV bei 0–30 cm liegt, während in Wohngebieten nur 0–10 cm beprobt wurden (s. Tab. 3, Verdünnungseffekt bei ackerbaulicher Nutzung).

5.2.1.1 Prüfwert- und Maßnahmenwertüberschreitungen für Blei (KW)

Prüfwerte für Blei im Königswasserextrakt existieren nur für den Pfad Boden-Mensch. Von den 217 untersuchten Strommasten stehen 106 auf einer entsprechenden Nutzung (Kinderspielfläche, Wohngebiet, Park- und Freizeitanlage bzw. Industriegebiet). Insgesamt ist bei 23 Maststandorten ein Prüfwert der BBodSchV überschritten, siebenmal auf Kinderspielflächen (200 mg/kg TS) und 16-mal auf Wohngebietsflächen (400 mg/kg TS). Bezogen auf diejenigen der untersuchten Masten, die auf einer für den Wirkungspfad Boden – Mensch relevanten Nutzung stehen, bedeutet dies, dass an 21,7 % der Standorte der Prüfwert für Blei nach BBodSchV für den Wirkungspfad Boden-Mensch überschritten ist (s. Tab. 11).

Tab. 11: Prüfwertüberschreitungen (PWÜ) Blei (KW) Wirkungspfad Boden – Mensch

Nutzung (Anzahl)	Anzahl PWÜ	Anteil PWÜ* [%]
Kinderspielfläche (12)	7	6,6
Wohngebiet (85)	16	15,1
Park- und Freizeitanlagen (6)	-	-
Industriegebiete (3)	-	-
Gesamt (106)	23	21,7

* bezogen auf die Gesamtstandorte

Auf keiner Grünlandfläche wurde der Maßnahmenwert der BBodSchV von 1200 mg/kg TS erreicht. Der Maximalwert lag bei 1100 mg/kg TS.

5.2.1.2 Vorsorgewertüberschreitungen für Blei (KW)

Die BBodSchV gibt neben den Prüfwerten für den Wirkungspfad Boden – Mensch auch Vorsorgewerte für (Schwer-)Metalle im Boden an. Die Vorsorgewerte richten sich nach der jeweiligen Hauptbodenart und im Nachgang auch nach dem vorhandenen pH-Wert im Boden.

Vorsorgewerte für Blei im Königswasseraufschluss:

- Hauptbodenart Sand (S): 40 mg/kg TS
- Hauptbodenart Lehm/Schluff (L/U): 70 mg/kg TS
- Hauptbodenart Ton (T): 100 mg/kg TS
- Bei einem Boden-pH kleiner 5 gelten für die Bodenart Lehm/Schluff die Vorsorgewerte für Sand und für die Bodenart Ton die Vorsorgewerte für Lehm/Schluff, da man hier von einer erhöhten Mobilität von Blei im Boden ausgehen kann.

Bei den untersuchten Maststandorten liegt am häufigsten die Bodenart Lehm/Schluff mit pH-Werten über 5,0 vor.

Es ergeben sich im Hauptbelastungsbereich der Teilflächen A bzw. P1 insgesamt 137 Vorsorgewertüberschreitungen für den Parameter Blei wie Tab. 12 und Tab. 13 zu entnehmen ist.

Tab. 12: Vorsorgewertüberschreitungen (VWÜ) Blei (KW), pH \geq 5,0 (A/P1-Flächen)

pH \geq 5,0					
Hauptbodenart (Vorsorgewert)	VWÜ		keine VWÜ		Gesamt
	Häufigkeit absolut	Häufigkeit* [%]	Häufigkeit absolut	Häufigkeit* [%]	
S (40 mg/kg TS)	44	20,7	10	4,7	54
L/U (70 mg/kg TS)	86	40,4	70	32,9	156
T (100 mg/kg TS)	3	1,4	0	0	3
Gesamt	133	62,4	80	37,6	213

* bezogen auf die Gesamtstandorte

Tab. 13: Vorsorgewertüberschreitungen (VWÜ) Blei (KW), pH < 5,0 (A/P1-Flächen)

pH < 5,0				
Hauptbodenart (Vorsorgewert)	VWÜ		keine VWÜ	Gesamt
	Häufigkeit absolut			
S (40 mg/kg TS)	1		0	1
L/U (40 mg/kg TS)	3		0	3
T (70 mg/kg TS)	0		0	0
Gesamt	4		0	4

5.2.1.3 Mastalter und Bleigehalte (KW) im Boden

Bei Schadstoffbelastungen im Boden unter den Strommasten wäre zu erwarten, dass die Belastung umso höher ausfällt, je älter der Mast ist, da mit der Zeit mehr Farbpartikel durch Verwitterung bzw. Erneuerung des Korrosionsschutzes in den Boden gelangen und sich so die Schadstoffe anreichern konnten. Deshalb wurden die Ergebnisse für Blei der mastnahen A- bzw. P1-Flächen auf einen möglichen Zusammenhang zum Baujahr hin überprüft. Wegen der unterschiedlichen Beprobungstiefen werden die Nutzungen Ackerfläche/Nutzgarten (0–30 cm) sowie Kinderspielflächen/Wohngebiete/Parkanlagen/Industriegebiete/Grünland (0–10 cm) getrennt betrachtet.

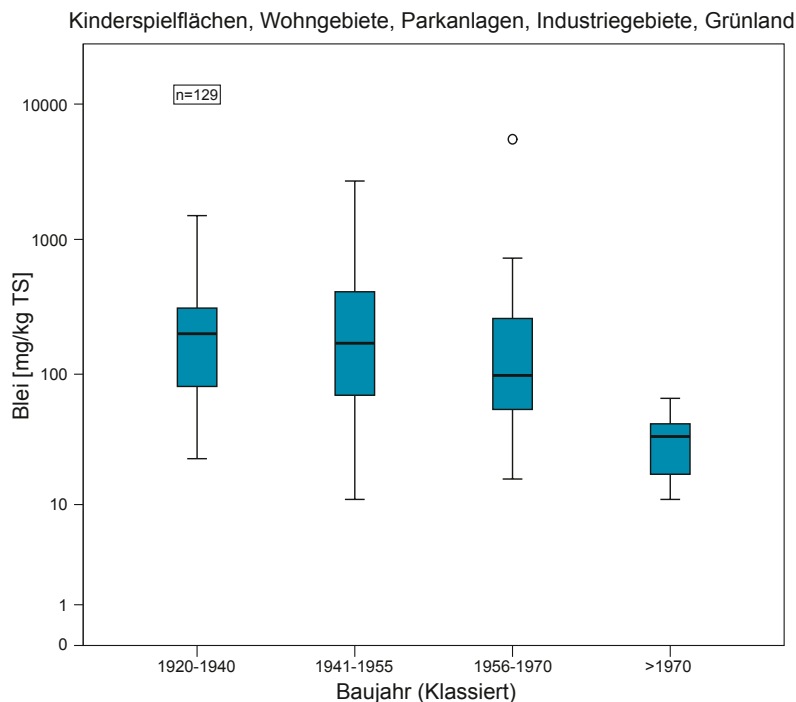


Abb. 6: Bleigehalte (KW) bez. auf das Mastbaujahr (A/P1-Flächen), Beprobungstiefe 0–10 cm.

Sowohl in Abb. 6 als auch in Abb. 7 erkennt man erwartungsgemäß eine tendenzielle Abnahme der Bleibelastung bei den jüngeren Masten. Bei der Beprobungstiefe 0–30 cm ist der Boxplot der Masten mit einem Baujahr > 1970 nur eingeschränkt zu bewerten, da die untersuchte Mastanzahl ($n = 5$) zu klein ist.

Die Korrelationswerte (SPEARMAN) liegen für Ackerflächen und Nutzgärten bei $r = 0,57$ und für die übrigen Nutzungen bei $r = 0,34$ (Signifikanzniveau 0,01), d. h. 32 bzw. 12 % des Zusammenhangs ist durch das Mastalter erklärbar.

Die Gründe für den nur geringen Zusammenhang zwischen Mastalter und Bleibelastung liegen zum einen in den natürlichen Bleigehalten des Bodens, zum anderen spielen neben dem Mastalter auch standortbezogene Faktoren wie Lage des Masten, Witterung (Niederschläge, Nebel, Frost, Hitze etc.) sowie Art und Umfang ggf. durchgeführter Korrosionsschutzmaßnahmen eine Rolle beim möglichen Eintrag von Beschichtungsbestandteilen in den Boden.

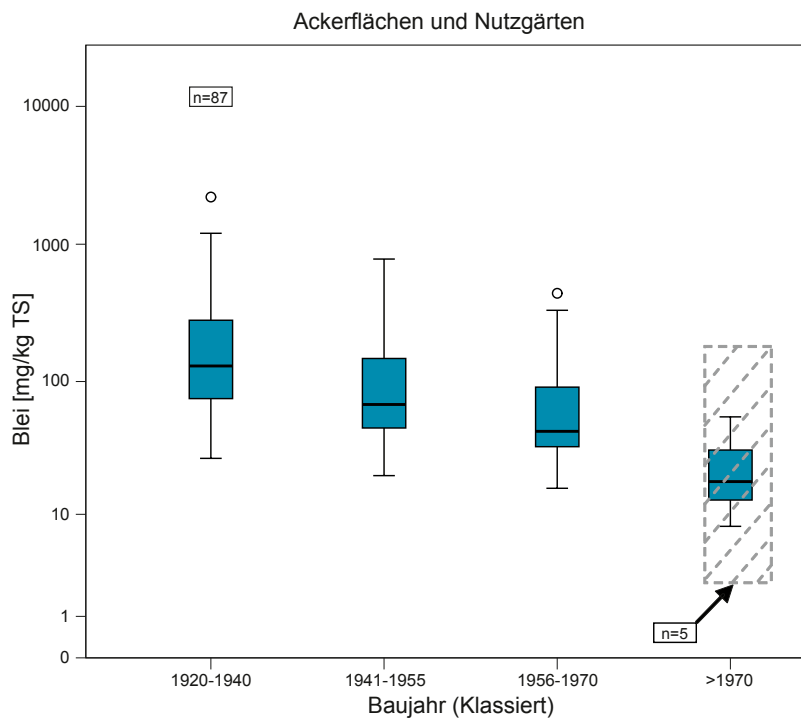


Abb. 7: Bleigehalte (KW) bez. auf das Mastbaujahr (A/P1-Flächen), Beprobungstiefe 0–30 cm.

5.2.1.4 Mastanstrich und Bleigehalte (KW) im Boden

Die untersuchten Strommasten sind mit unterschiedlichen Korrosionsschutzmitteln behandelt worden. Die Verteilung ist in Tab. 5 (Kap. 4.1) dargestellt. Die meisten der untersuchten Masten (87,4 %) sind demnach mit bleihaltiger Beschichtung versehen. Wie zu erwarten, sind die Bleigehalte im Boden i. d. R. an Maststandorten mit bleihaltigen Anstrichen höher als an Masten mit bleifreien Beschichtungen (Abb. 8, Abb. 9). Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Für Ackerflächen und Nutzgärten ergibt sich eine mittlere Korrelation ($r = 0,49$ (Signifikanzniveau 0,01)), für Kinderspielflächen, Wohngebiete, Parkanlagen, Industriegebiete und Grünland mit $r = 0,37$ nur eine schwache Korrelation.

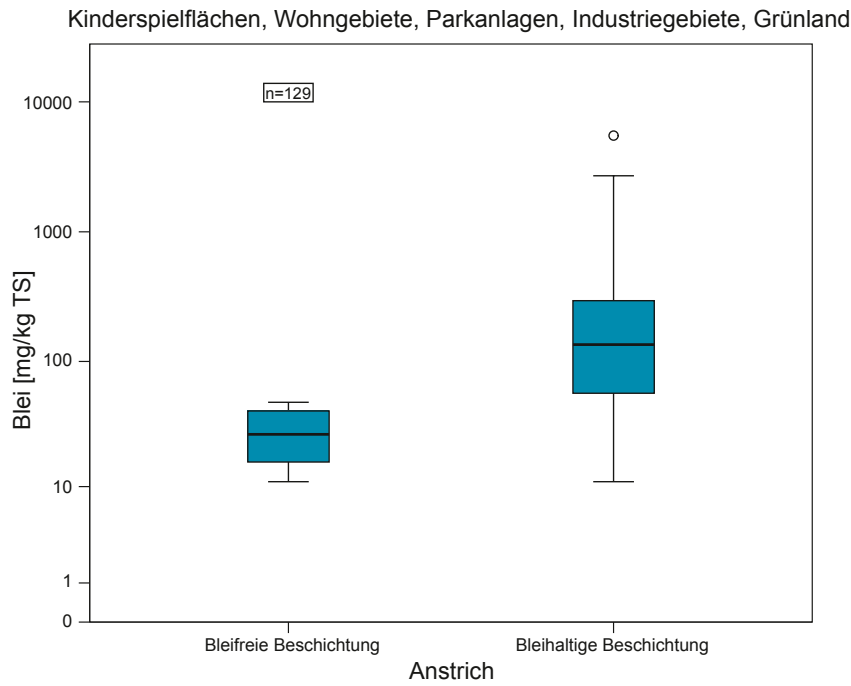


Abb. 8: Bleigehalte (KW) der untersuchten Masten (A-/P1-Flächen) bez. auf die unterschiedlichen Anstriche; Beprobungstiefe 0–10 cm.

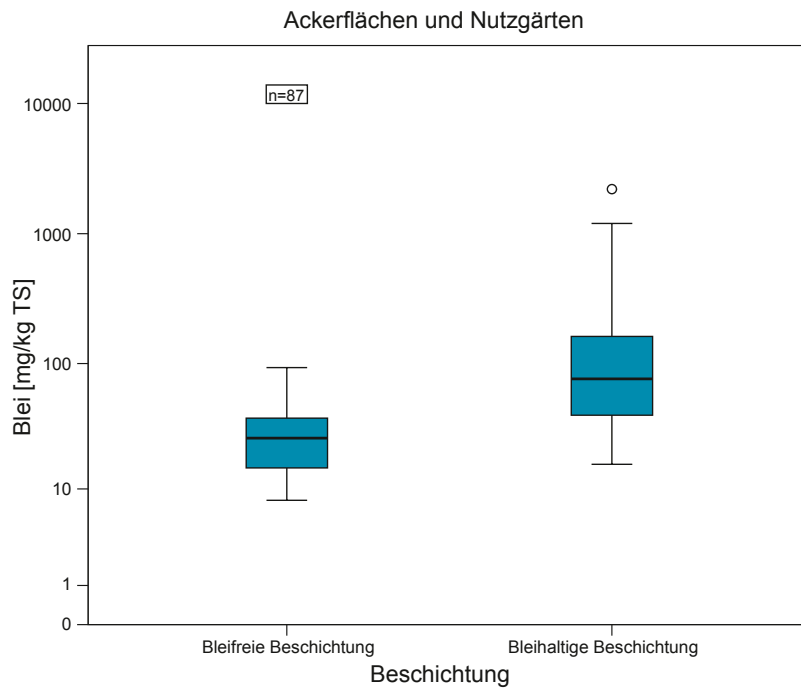


Abb. 9 : Bleigehalte (KW) der untersuchten Masten (A/P1-Fläche) bez. auf die unterschiedlichen Anstriche; Beprobungstiefe 0–30 cm.

5.2.1.5 Trassen und Bleigehalte (KW) im Boden

Neben dem Zusammenhang zwischen Bleigehalt im Boden und dem Baujahr des Strommastes wurde eine mögliche Beziehung zwischen dem Bleigehalt und der Trasse überprüft. Grundlage war hier die Überlegung, dass die Masten einzelner Trassen mit dem gleichen Korrosionsschutz gestrichen und in gleichem Umfang bzw. nach den gleichen Methoden im Laufe der Zeit saniert wurden, so dass eine ähnliche Belastung bei den einzelnen Masten zu erwarten ist. In Abb. 10 sind die Boxplots von Trassen dargestellt, bei denen die Anzahl der untersuchten Masten ≥ 5 ist.

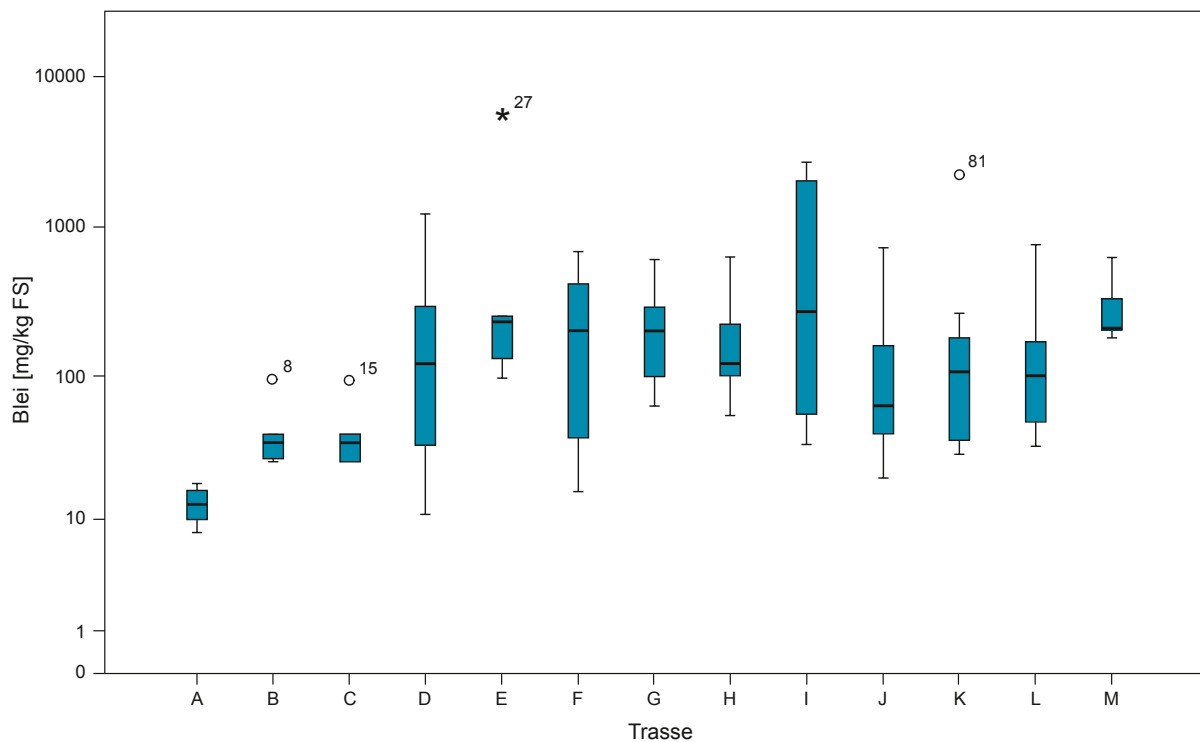


Abb. 10: Bleigehalte (KW) für einzelne Trassen (A/P1-Flächen).

Bei einigen Trassen liegen die Blei-Werte der A-Flächen sehr eng beisammen, die meisten Trassen zeigen jedoch eine starke Streuung (logarithmische Skalierung der Y-Achse!).

Betrachtet man einzelne Trassen, an denen mehrere Masten untersucht wurden, erkennt man, dass eine erhöhte Blei-Belastung oft nur einzelne Masten betrifft und nicht zwangsläufig die ganze Trasse. Als Beispiel zeigt Abb. 11 die Bleiwerte der Teilfläche A aller auf einer Beispieltrasse 1 untersuchten Masten. Erhöhte Bleigehalte wurden hier an drei von neun Masten (Mast 10, 129 und 629) ermittelt. Die drei Masten liegen dabei nicht in direkter Nachbarschaft zueinander.

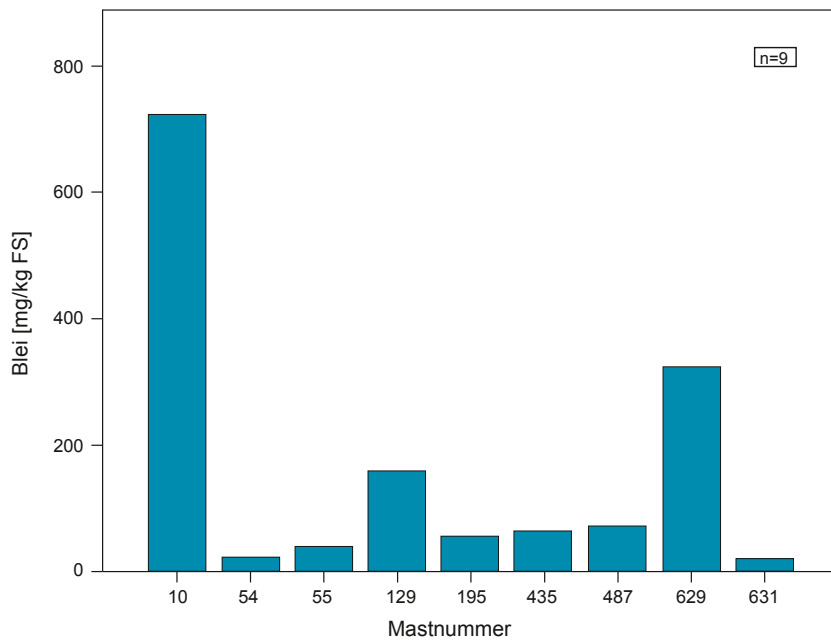


Abb. 11: Bleigehalte (KW) in den A-Proben der Beispieltrasse 1.

Gelegentlich finden sich erhöhte Bleigehalte an direkt benachbarten Masten wieder, was auf ähnliche Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen schließen lässt. Auf Beispieltrasse 2 (Abb. 12) weisen die Masten mit der Nummer 55, 56 und 62, 63, 64 erhöhte Bleigehalte auf. Ein Rückschluss auf die gesamte Trasse kann dadurch allerdings nicht erfolgen.

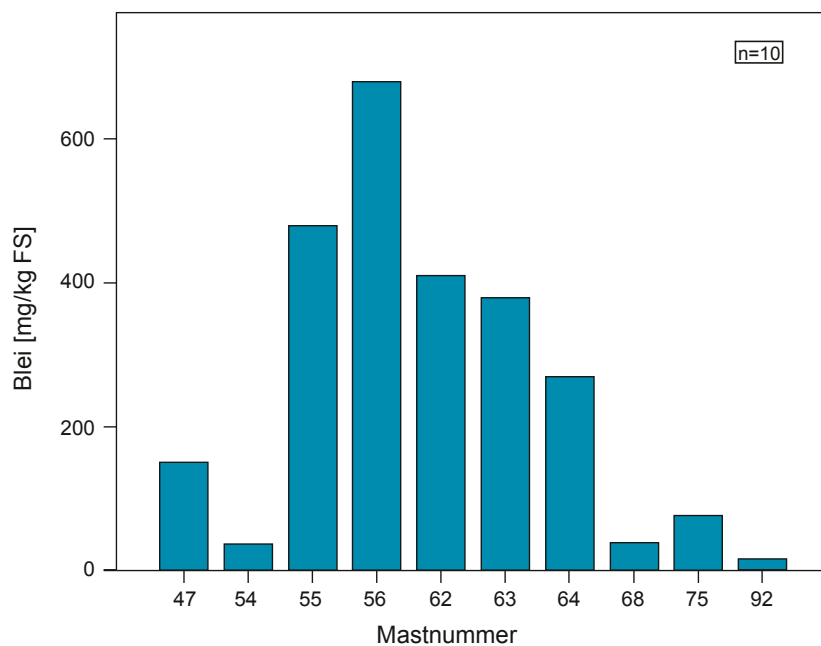


Abb. 12: Bleigehalte (KW) in den A-Proben der Beispieltrasse 2.

5.2.2 Zinkgehalte der Teilflächen A/P1 im Königswasserextrakt (KW)

Zink ist Bestandteil der meisten Korrosionsschutzmittel. Außerdem kommt dieses Metall wie Blei immer auch geogen bedingt im Boden vor. Insofern wurde Zink in allen Bodenproben nachgewiesen.

Einen Überblick über die ermittelten Maximal- und Minimalwerte gibt Tab. 14. Zu beachten sind hierbei die unterschiedlichen Beprobungstiefen.

Tab. 14: Aufteilung der ermittelten Zinkgehalte (KW) in Bodenproben auf die verschiedenen Nutzungen (Teilfläche A bzw. P1) in mg/kg TS

Nutzungen (Anzahl)	Maximalwert	Median	Minimalwert	Beprobungstiefe [cm]
Ackerfläche (29)	300	98	53	0–30
Nutzgarten (58)	3400	195,5	45	0–30
Kinderspielfläche (12)	1500	410	66	0–10
Grünland (23)	1600	201	43	0–10
Wohngebiet (85)	2500	170	37	0–10
Gesamt (217)	3400	170	37	

Anm.: Hier nicht aufgeführte Nutzungen: Wald (1), Industriegebiet (3), Parkanlagen (6)

5.2.2.1 Vorsorgewertüberschreitungen für Zink (KW)

Für Zink existiert nach BBodSchV kein Prüfwert im Königswasserextrakt. Die Vorsorgewerte richten sich nach der jeweiligen Bodenart sowie dem vorhandenen Boden-pH-Wert.

Vorsorgewerte für Zink im Königswasseraufschluss:

- Hauptbodenart Sand: 60 mg/kg TS
- Hauptbodenart Lehm/Schluff: 150 mg/kg TS
- Hauptbodenart Ton: 200 mg/kg TS
- Bei einem Boden-pH kleiner 6 gelten für die Bodenart Lehm/Schluff die Vorsorgewerte für Sand und für die Bodenart Ton die Vorsorgewerte für Lehm/Schluff.

Bei den untersuchten Maststandorten ist die Bodenart Lehm/Schluff mit pH-Werten über 6,0 am häufigsten.

Es ergeben sich im Hauptbelastungsbereich der Teilflächen A bzw. P1 insgesamt 155 Vorsorgewertüberschreitungen für den Parameter Zink, wie den Tab. 15 und Tab. 16 zu entnehmen ist:

Tab. 15: Vorsorgewertüberschreitungen (VWÜ) Zink (KW), pH \geq 6,0 (A/P1-Flächen)

pH \geq 6,0					
Hauptbodenart/ Vorsorgewert	VWÜ		keine VWÜ		Gesamt
	Häufigkeit absolut	Häufigkeit* [%]	Häufigkeit absolut	Häufigkeit* [%]	
S (60 mg/kg TS)	35	18,1	4	2,1	39
L/U (150 mg/kg TS)	97	50,3	55	28,5	152
T (200 mg/kg TS)	1	0,5	1	0,5	2
Gesamt	133	68,9	60	31,1	193

* bezogen auf die Gesamtstandorte

Tab. 16: Vorsorgewertüberschreitungen (VWÜ) Zink, pH < 6,0 (A/P1-Flächen)

pH < 6,0					
Hauptbodenart/ Vorsorgewert	VWÜ		keine VWÜ		Gesamt
	Häufigkeit absolut	Häufigkeit* [%]	Häufigkeit absolut	Häufigkeit* [%]	
S (60 mg/kg TS)	15	62,4	0	0	15
L/U (60 mg/kg TS)	6	25	1	4,2	7
T (150 mg/kg TS)	1	4,2	1	4,2	2
Gesamt	22	91,6	2	8,4	24

* bezogen auf die Gesamtstandorte

5.2.2.2 Mastanstrich und Zinkgehalte (KW) im Boden

Da zinkhaltige Korrosionsschutzmittel bis heute verwendet werden, lässt sich zwischen dem Mastalter und einem erhöhten Zinkgehalt im Boden kein Zusammenhang ablesen. Wegen der häufigen Verwendung von Zink in den verschiedensten Anstrichen ergibt sich ebenfalls kein signifikanter Zusammenhang zwischen der gewählten Mastbeschichtung und den Zinkwerten im darunter liegenden Boden. Die Abb. 13 und Abb. 14 zeigen z. B., dass feuerverzinkte Masten nicht automatisch höhere Zinkgehalte im Boden verursachen als nicht feuerverzinkte.

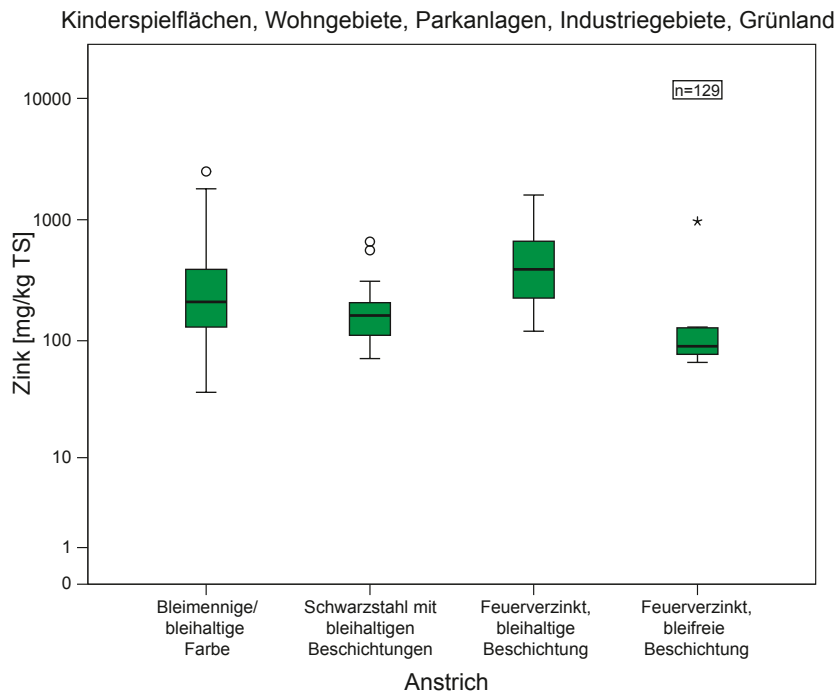


Abb. 13: Zinkgehalte (KW) der untersuchten Masten (A-/P1-Flächen) bez. auf die unterschiedlichen Anstriche; Beprobungstiefe 0–10 cm.

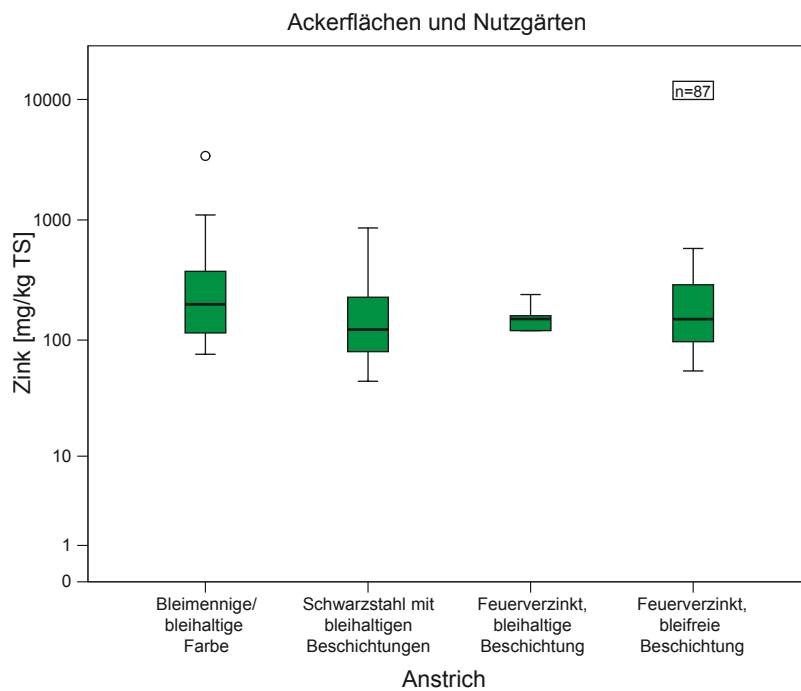


Abb. 14: Zinkgehalte (KW) der untersuchten Masten (A/P1-Flächen) bez. auf die unterschiedlichen Anstriche; Beprobungstiefe 0–30 cm.

5.2.2.3 Vergleich der Zink- und Bleigehalte im Königswasserextrakt (KW).

Es stellt sich die Frage, ob bei einem erhöhten Bleigehalt im Boden automatisch auch ein erhöhter Zinkgehalt auftritt. Dafür wurden die Zink- und Bleigehalte mittels eines Streudiagramms gegeneinander aufgetragen (s. Abb. 15) und der Korrelationskoeffizient nach SPEARMAN berechnet.

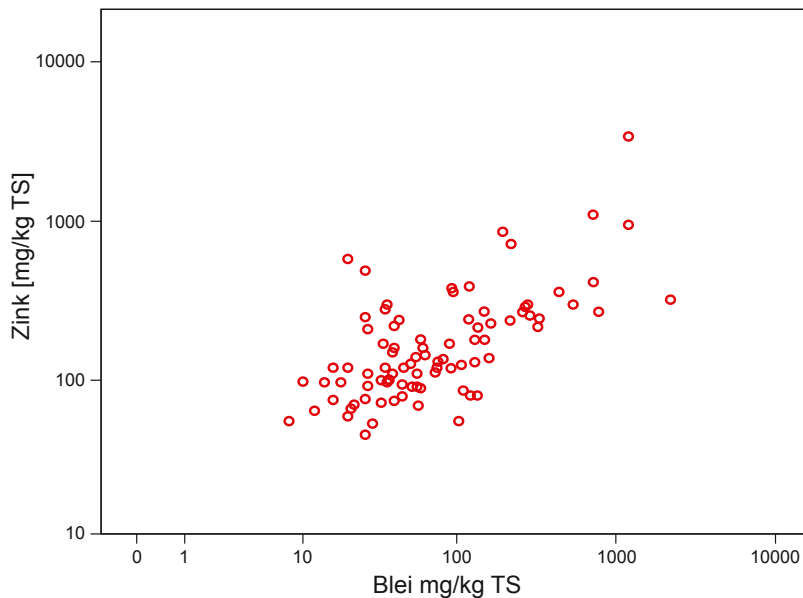


Abb. 15: Zusammenhang zwischen Blei- und Zinkgehalten (KW) der untersuchten Masten (A-/P1-Flächen).

Obwohl die Werte eine deutliche Streuung aufweisen, lässt sich dennoch eine mittlere Korrelation zwischen den Zink- und Bleigehalten in den untersuchten Bodenproben erkennen (Korrelationskoeffizient nach SPEARMAN $r = 0,59$ (Signifikanzniveau 0,01)). Dies liegt zum einen daran, dass beide Metalle natürlicherweise in Böden zu finden sind. Zum anderen kann bei höheren Gehalten die Korrelation zusätzlich durch das Vorhandensein beider Metalle in vielen Korrosionsschutzanstrichen begründet sein.

5.2.3 Blei- und Zinkgehalte (KW) der Teilflächen B und R

Dieses Kapitel enthält den Vergleich der Teilflächen A und B sowie der Referenzflächen R für die Betreiberuntersuchungen. Die Ergebnisse der erweiterten Untersuchung von LfU und LfL mit den entsprechenden Teilflächen P1 bis P5 werden in Kap. 5.2 dargestellt.

Von den Netzbetreibern wurden an den Maststandorten je zwei Teilflächen untersucht, der sogenannte „hot-spot“-Bereich direkt unterhalb des Mastes (Teilfläche A) und der direkt anschließende potentiell schadstoffbeeinflusste Bereich unter der Traversenspannweite (Teilfläche B). Die Größe der Teilflächen richtet sich dabei nach der Grundfläche des Mastes (vgl. Kap. 4.1).

5.2.3.1 Prüfwertüberschreitungen (Blei) auf der Teilfläche B

Die Prüfwerte für Blei nach BBodSchV wurden an drei Standorten auf der Teilfläche B überschritten. Die Standorte liegen in Wohngebieten, der Prüfwert liegt bei 400 mg/kg TS. An zwei Masten wurde dabei auch auf der dazugehörigen A-Fläche eine Prüfwertüberschreitung nachgewiesen. Am dritten Standort ergab sich für die B-Fläche ein Bleigehalt von 720 mg/kg TS, allerdings konnte hier auf der A-Fläche mit 260 mg/kg TS keine Prüfwertüberschreitung festgestellt werden. Da an diesem Mast auch ein höherer Zinkwert auf der B-Fläche ermittelt wurde als auf der A-Fläche, ist es fraglich, ob der entsprechende Mast Verursacher der Belastung ist. Hier sind zur Klärung des Sachverhaltes weitere Untersuchungen notwendig.

5.2.3.2 Vorsorgewertüberschreitungen (Blei/Zink) auf der Teilfläche B

Bei den Proben der B-Flächen der Betreiber ergeben sich 62 Vorsorgewertüberschreitungen für Blei bei den entsprechenden Bodenarten (s. Tab. 17 und Tab. 18) gegenüber 137 Vorsorgewertüberschreitungen auf den A-Flächen (s. Kap.5.2.1.2). Dies unterstützt die Annahme, dass der Hauptbelastungsbereich im direkten Mastfußbereich liegt, und die Bleigehalte im Boden mit der Entfernung zum Mast abnehmen (vgl. Kap. 5.2.1.2).

Tab. 17: Vorsorgewertüberschreitungen (VWÜ) Blei (KW), pH \geq 5,0 (B-Flächen)

Hauptbodenart/Vorsorgewert	pH \geq 5,0				Gesamt
	VWÜ		keine VWÜ		
	Häufigkeit absolut	Häufigkeit* [%]	Häufigkeit absolut	Häufigkeit* [%]	
S (40 mg/kg TS)	23	10,8	27	12,7	50
L/U (70 mg/kg TS)	34	16	130	61	164
T (100 mg/kg TS)	1	0,5	3	0	4
Gesamt	58	27,3	160	75,7	218

* bezogen auf die Gesamtstandorte

Tab. 18: Vorsorgewertüberschreitungen (VWÜ) Blei (KW), pH < 5,0 (B-Flächen)

Hauptbodenart/Vorsorgewert	pH < 5,0		Gesamt
	VWÜ	keine VWÜ	
	Häufigkeit absolut	Häufigkeit absolut	
S (40 mg/kg TS)	1	0	1
L/U (40 mg/kg TS)	3	1	4
T (70 mg/kg TS)	0	0	0
Gesamt	4	1	5

(Anmerkung: Auf den B-Flächen ergaben sich gelegentlich unterschiedliche Nutzungen, solche Flächen wurden dann i. d. R. zweimal (je nach Nutzung und dazugehöriger Beprobungstiefe) beprobt. Deshalb ergeben sich für die 206 untersuchten Standorte 223 Ergebnisse für B-Flächen im Vergleich zu 206 bei den A-Flächen.)

Auf den von den Betreibern untersuchten B-Flächen ergeben sich 113 Vorsorgewertüberschreitungen für Zink bei den entsprechenden Bodenarten (s. Tab. 19 und Tab. 20) gegenüber 155 Vorsorgewertüberschreitungen auf den A-Flächen (s. Kap. 5.2.2.1). Wie schon bei den Bleigehalten lässt sich erkennen, dass die Hauptbelastungszone oft im direkten Mastfußbereich liegt. Auf den B-Flächen (also mit größerer Entfernung zum Mast) nimmt die Zahl der Vorsorgewertüberschreitungen ab (vgl. Kap. 5.2.2.1).

Tab. 19: Vorsorgewertüberschreitungen (VWÜ) Zink (KW), pH ≥ 6,0 (B-Flächen)

pH ≥ 6,0					
Hauptbodenart/Vorsorgewert	VWÜ		keine VWÜ		Gesamt
	Häufigkeit absolut	Häufigkeit* [%]	Häufigkeit absolut	Häufigkeit* [%]	
S (60 mg/kg TS)	30	15,5	7	3,6	37
L/U (150 mg/kg TS)	60	30,9	95	49,0	155
T (200 mg/kg TS)	0	0	2	1,0	2
Gesamt	90	46,4	104	53,6	194

* bezogen auf die Gesamtstandorte

Tab. 20: Vorsorgewertüberschreitungen (VWÜ) Zink, pH < 6,0 (B-Flächen)

pH < 6,0					
Hauptbodenart/Vorsorgewert	VWÜ		keine VWÜ		Gesamt
	Häufigkeit absolut	Häufigkeit* [%]	Häufigkeit absolut	Häufigkeit* [%]	
S (60 mg/kg TS)	12	41,4	2	6,9	14
L/U (60 mg/kg TS)	10	34,5	3	10,4	13
T (150 mg/kg TS)	1	3,4	1	3,4	2
Gesamt	23	79,3	6	20,7	29

* bezogen auf die Gesamtstandorte

(Anmerkung: Auf den B-Flächen ergaben sich gelegentlich unterschiedliche Nutzungen, solche Flächen wurden dann i. d. R. zweimal (je nach Nutzung und dazugehöriger Beprobungstiefe) beprobt. Deshalb ergeben sich für die 206 untersuchten Standorte 223 Ergebnisse für B-Flächen im Vergleich zu 206 bei den A-Flächen.)

5.2.3.3 Vergleich der Teilflächen A, B und R (Blei- und Zinkgehalte (KW))

Neben den Teilflächen A und B wurden von einigen Betreibern auch Referenzflächen (R) beprobt. Diese Referenzflächen liegen in ausreichendem Abstand zum jeweiligen beprobten Maststandort, um eine Einflussnahme des Mastes auszuschließen. Sinn und Zweck der Beprobung von Referenzflächen ist es, eine Aussage über die Hintergrundgehalte am Standort zu bekommen. Sind z. B. die Schwermetallgehalte auf der Referenzfläche ähnlich hoch wie auf der Teilfläche A und B, kann nicht mehr eindeutig vom Strommast als Verursacher der Belastung ausgegangen werden.

Insgesamt wurden von den Betreibern 206 A-Flächen und 223 B-Flächen untersucht, allerdings wurden nur an 59 Standorten auch Referenzflächen beprobt. Die Differenzen bei den A- und B-Flächen ergeben sich aus Nutzungsunterschieden. Da die B-Flächen größer sind als die A-Flächen, sind die Nutzungen hier teilweise unterschiedlich. So kann zum Beispiel ein Teil der B-Fläche auf Acker und ein anderer auf Grünland liegen. Je nach Betreiber, Nutzung und vorgeschriebener Beprobungstiefe wurden solche Flächen in der Regel doppelt (je Nutzung) beprobt und untersucht.

Vergleicht man an den 59 Standorten, bei denen alle drei Teilflächen untersucht wurden, die ermittelten Bleiwerte der Teilflächen A, B und R miteinander, wird deutlich, dass die Bleigehalte der Referenzflächen sich signifikant von denen der Teilflächen A und B unterscheiden (Abb. 16 und Abb. 17). Der Korrelationskoeffizient nach SPEARMAN beträgt $r = 0,54$ (0–10 cm) bzw. $r = 0,58$ (0–30 cm) bei einem Signifikanzniveau von 0,01, d. h. der Masteinfluss auf die Höhe der Bleigehalte ist statistisch absicherbar.

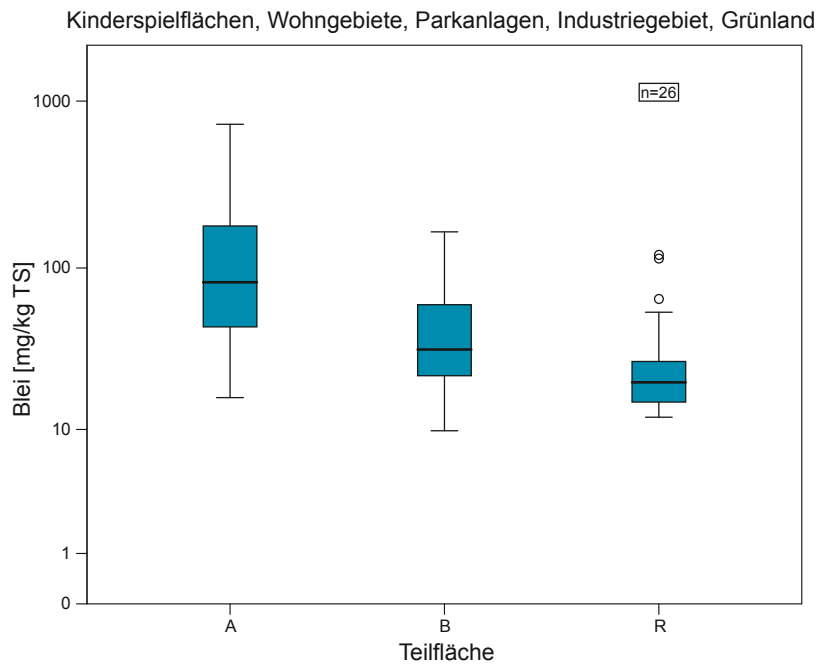


Abb. 16: Bleigehalte (KW) auf den Teilflächen A, B und R, Beprobungstiefe 0–10 cm.

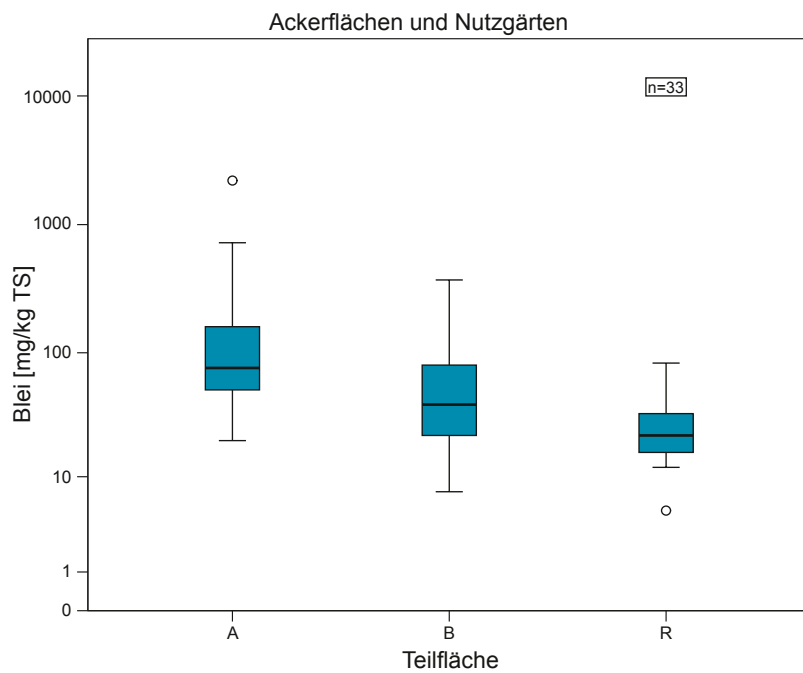


Abb. 17: Bleigehalte (KW) auf den Teilflächen A, B und R, Beprobungstiefe 0–30 cm.

Für Zink ergibt sich bei Vergleich der Teilflächen A, B und R ein ähnliches Bild, wie Abb. 18 und Abb. 19 zeigen.

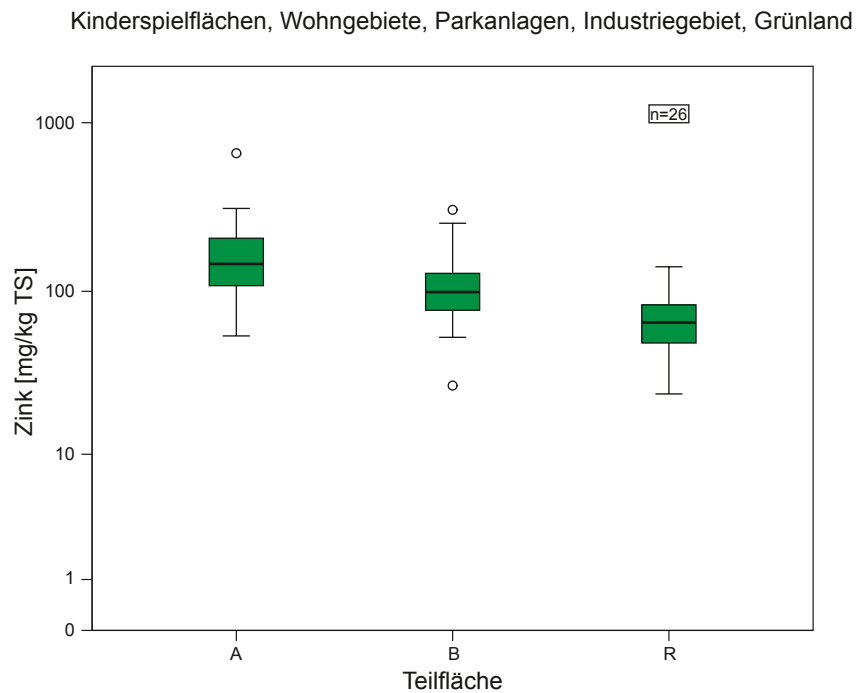


Abb. 18: Zinkgehalte (KW) auf den Teilflächen A, B und R, Beprobungstiefe 0–10cm.

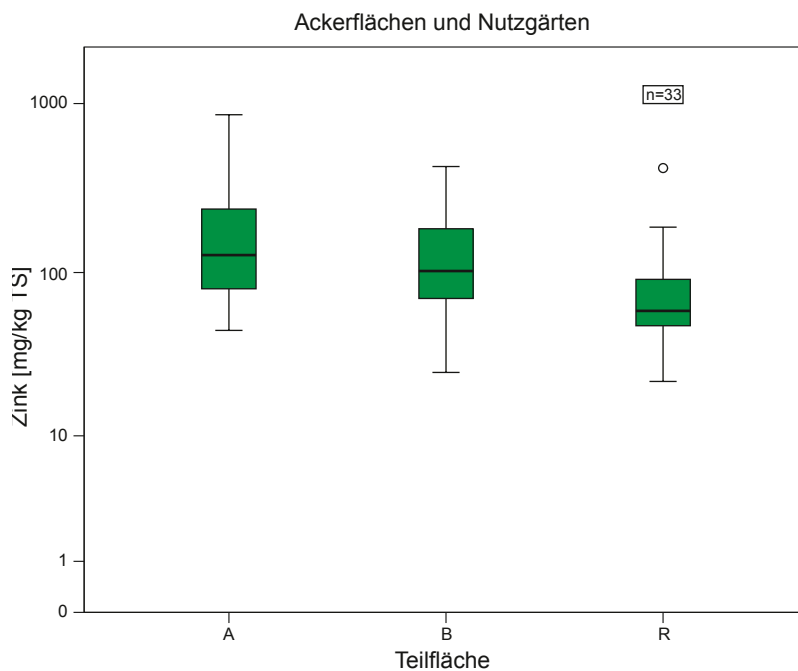


Abb. 19: Zinkgehalte (KW) auf den Teilflächen A, B und R, Beprobungstiefe 0–30 cm.

Für alle Nutzungen ergibt sich hier mit einem Korrelationskoeffizient (SPEARMAN) von $r = 0,58$ (Signifikanzniveau 0,01) ein mittlerer Zusammenhang zwischen den Bleigehalten im Boden und der Entfernung zum Mast. Der Masteinfluss ist auch bei Zink statistisch absicherbar.

Die Auswertung der Blei- und Zinkwerte auf den verschiedenen beprobten Teilflächen zeigt, dass im direkten Umfeld von Strommasten immer mit erhöhten Metallgehalten zu rechnen ist. Dieses Erkenntnis sagt jedoch nichts über die Stärke einer Erhöhung oder eine Gefährdung im Sinne einer Prüfwertüberschreitung aus.

5.2.4 Blei- und Zinkgehalte im Ammoniumnitratextrakt (NH_4NO_3)

5.2.4.1 Prüfwertüberschreitungen für Blei und Zink (NH_4NO_3)

An 69 Maststandorten der Netzbetreiber sowie an den 12 vom LfU untersuchten Masten wurden neben den Feststoffgehalten im Königswasseraufschluss zusätzlich die Schwermetallgehalte im Ammoniumnitratextrakt bestimmt. An 14 Standorten der Netzbetreiber wurden keine Feststoffgehalte (KW), sondern ausschließlich die Gehalte im Ammoniumnitratextrakt analysiert. Damit liegen für 95 Maststandorte Ammoniumnitratwerte vor. Sie geben Hinweise auf die Pflanzenverfügbarkeit der Schwermetalle und damit auf eine mögliche Aufnahme durch Nutzpflanzen.

Prüfwert für Blei (NH_4NO_3): 0,1 mg/kg TS (im Hinblick auf Pflanzenqualität für **Acker, Nutzgarten**)

Prüfwert für Zink (NH_4NO_3): 2,0 mg/kg TS (im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen für **Acker**)

Von den 95 untersuchten Standorten liegen 33 auf Ackerflächen und 30 in Nutzgärten (*Anm. die Nutzung auf Teilfläche A/P1 ist hier maßgebend*).

Prüfwertüberschreitungen im Hauptbelastungsbereich (Teilfläche A bzw. P1):

Im Hauptbelastungsbereich direkt am Mastfuß (Teilfläche A bzw. P1) wird an neun Standorten der Prüfwert für Blei erreicht bzw. überschritten. Vier davon liegen auf Ackerland und fünf in Nutzgärten (Tab. 21), was 14,3% der 63 untersuchten Acker- bzw. Nutzgarten-Standorte entspricht (bzw. ca. 4% bezogen auf alle 217 untersuchten Standorte).

Tab. 21: Prüfwertüberschreitungen (PWÜ) Blei für den Wirkungspfad Boden-Pflanze (A- und P1-Flächen)

	Gesamt		Acker		Nutzgarten	
Betrachtete Standorte	63		33		30	
Standorte mit PWÜ Blei	9	14,29 %	4	6,35 %*	5	7,94 %*

* bezogen auf die Gesamtstandorte

Der Prüfwert für Zink (im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen) von 2 mg/kg TS wird auf den A/P1-Flächen auf 6 von 33 untersuchten Acker-Standorten überschritten, dies entspricht ca. 18 %.

In fünfzehn Fällen besteht bei den untersuchten Acker- und Nutzgartenstandorten damit auf der Fläche A der hinreichende Verdacht für eine schädliche Bodenveränderung.

Prüfwertüberschreitungen im Mastumfeld (Teilfläche B):

Von allen untersuchten B-Flächen der Betreiber werden 71 der Nutzung Acker oder Nutzgarten zugeordnet. Die Abweichung zu den A-Flächen rührt daher, dass vor allem bei Masten mit großer Grundfläche die Nutzung auf den untersuchten Flächen nicht immer einheitlich ist. Auf acht der 71 untersuchten B-Flächen wurden Bleiwerte von $\geq 0,1$ mg/kg TS ermittelt, der Prüfwert also erreicht bzw. überschritten (Tab. 22).

Tab. 22 Prüfwertüberschreitungen (PWÜ) Blei für den Wirkungspfad Boden-Pflanze (B-Flächen)

	Gesamt		Acker		Nutzgarten	
B-Flächen	71		30		41	
B-Flächen mit PWÜ Blei	8	11,26 %	5	7,0 %*	3	4,23 %*

* bezogen auf die Gesamtstandorte

Bei zwei dieser acht Masten waren auch schon auf den A-Flächen die Prüfwerte überschritten. Bei einem Mast liegt kein Wert für die dazugehörige A-Fläche vor, zwei Masten weisen bei Fläche A und B ähnliche Werte auf und bei den restlichen drei Masten wurden für die A-Flächen geringfügig niedrigere Werte als für die B-Flächen ermittelt.

Der Prüfwert für Zink (im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen) von 2 mg/kg TS wird auf den untersuchten B-Flächen auf 4 von 30 Acker-Standorten überschritten, dies entspricht ca. 13 %. An drei Standorten lag auch eine Prüfwertüberschreitung auf der A-Fläche vor.

Prüfwertüberschreitungen auf Referenzflächen

Von den Betreibern wurden an 17 Acker-Standorten auch Proben aus Referenzflächen auf ihren Blei- und Zinkgehalt im Ammoniumnitratextrakt untersucht.

Die Prüfwerte für Blei werden an drei der 17 Standorte erreicht (1x) oder überschritten (2x). Die Überschreitungen liegen in beiden Fällen nahe am Prüfwert (0,11 bzw. 0,13 mg/kg TS). An einem Standort wurde keine Prüfwertüberschreitung auf der dazugehörigen A- und B-Fläche festgestellt, am anderen Standort besteht eine ebenfalls knappe Überschreitung auf der B-Fläche.

Für Zink wurden keine Prüfwertüberschreitungen festgestellt.

5.2.4.2 Einfluss des pH-Werts auf die Blei-/Zinkgehalte (NH_4NO_3)

Zunächst wird angenommen, dass der Bleigehalt im Ammoniumnitratextrakt umso höher ist, je niedriger der pH-Wert und je höher der Gesamtgehalt (KW) ist.

Setzt man alle Bleigehalte und pH-Werte auf den A- bzw. P1-Flächen der untersuchten Äcker und Nutzgärten zueinander in Beziehung, ergibt sich folgendes Bild (s. Abb. 20):

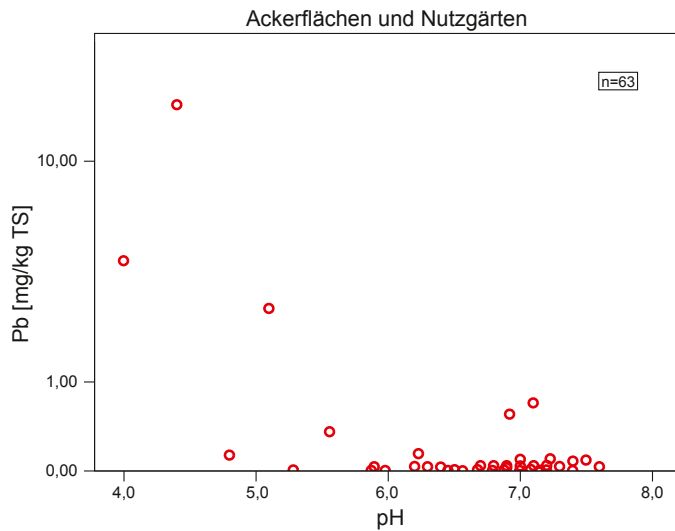


Abb. 20: Bleigehalte im NH_4NO_3 -Extrakt und pH-Werte der A/P1-Flächen, Beprobungstiefe 0–30cm.

Auf den meisten Flächen liegen die pH-Werte im Oberboden im neutralen Bereich zwischen 6,5 bis 7,5. In diesem pH-Bereich ist Blei praktisch nicht pflanzenverfügbar. Die BBodSchV geht von einer erhöhten Mobilität von Blei ab einem pH-Wert von 5,0 aus. Wegen der schwerpunktmäßigen Verteilung der Standorte im neutralen Bereich, fallen die Standorte mit pH-Werten < 5,0 und damit die dort festgestellten Prüfwertüberschreitungen statistisch nicht ins Gewicht. Nach SPEARMAN ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,02$. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Bleigehalt im Ammoniumnitratextrakt und dem vorliegenden Boden-pH kann demnach aus den vorliegenden Gesamtdaten nicht abgeleitet werden.

Setzt man in einem zweiten Schritt nur die Standorte mit den ermittelten Prüfwertüberschreitungen ($n=9$) in Beziehung zum pH-Wert, (s. Abb. 21), erkennt man, dass die drei höchsten Bleigehalte bei pH-Werten zwischen 4,0 und 5,5 auftreten.

Der Korrelationskoeffizienten von $r = 0,58$ (SPEARMAN) zeigt für diesen Fall einen mittleren signifikanten Zusammenhang zwischen dem Bleigehalt (Ammoniumnitratextrakt) und dem pH-Wert des Bodens.

Für den Parameter Zink gilt der Prüfwert nach BBodSchV nur für Ackerflächen im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen für Kulturpflanzen. Trägt man die Zinkgehalte (Ammoniumnitratextrakt) der untersuchten Ackerflächen (A/P1-Flächen) gegen die pH-Werte auf, liegt der Korrelationskoeffizient nach SPEARMAN bei $r = 0,52$ (Signifikanzniveau 0,01). Dagegen ergibt sich bei ausschließlicher Betrachtung von Zinkgehalten ≥ 2 mg/kg TS im Ammoniumnitratextrakt

(Prüfwert nach BBodSchV) ein deutlich engerer Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizient nach SPEARMAN von $r = 0,73$ (Signifikanzniveau 0,01) (Abb. 22).

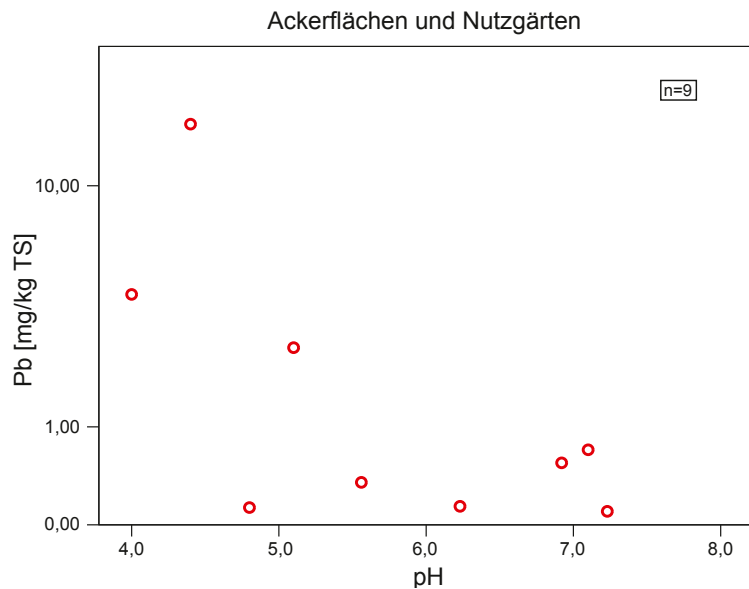


Abb 21: Bleigehalte im NH_4NO_3 -Extrakt und pH-Werte der A/P1-Flächen bez. auf die Prüfwertüberschreitungen; Beprobungstiefe 0–30 cm.

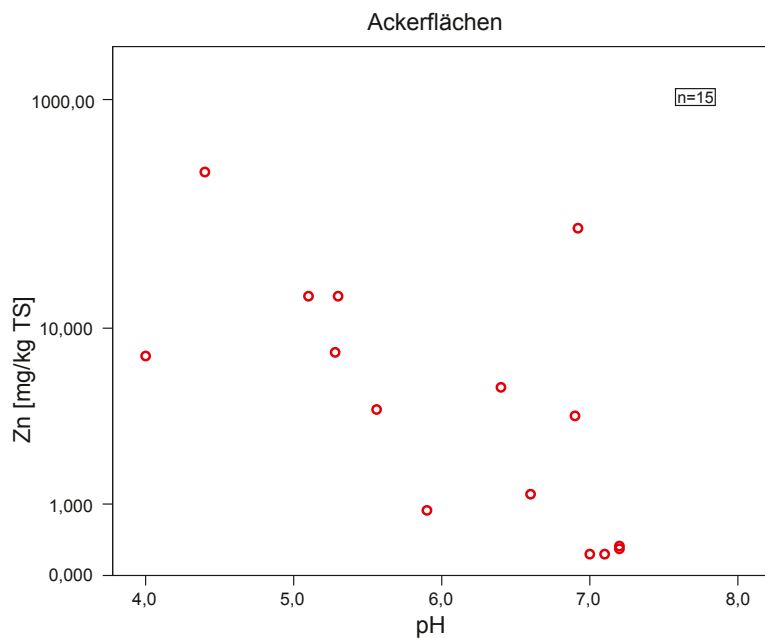


Abb. 22: Zinkgehalte im NH_4NO_3 -Extrakt und pH-Werte der A/P1-Flächen bez. auf die Prüfwertüberschreitungen; Beprobungstiefe 0–30 cm.

Strommasten auf Standorten mit niedrigen pH-Werten stellen demnach sowohl für den Parameter Blei als auch den Parameter Zink ein deutlich höheres Gefährdungspotenzial für den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze dar als solche auf neutralen Standorten.

5.2.5 Vergleich der Blei- und Zinkgehalte im KW- und NH_4NO_3 -Extrakt

Um abzuklären, ob ab einem bestimmten im Königwasserextrakt ermittelten Blei- und/oder Zinkgehalt von einer Gefährdung für den Wirkungspfad Boden-Pflanze ausgegangen werden kann, wurden die Ergebnisse der Untersuchungen im Königwasser-(KW) und Ammoniumnitratextrakt (NH_4NO_3) gegenübergestellt.

Für die Bleigehalte der A- bzw. P1-Flächen auf den betrachteten Acker- und Nutzgartenstandorten ergibt sich für die Gehalte im KW- und NH_4NO_3 - Extrakt keine Korrelation ($r = 0,032$) (s. Abb. 23).

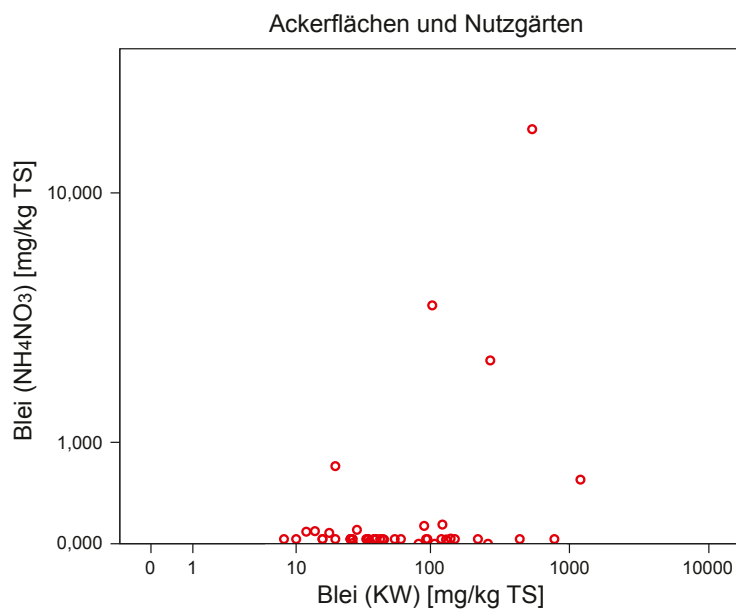


Abb. 23: Bleigehalte im KW- und NH_4NO_3 -Extrakt der A/P1-Flächen, Beprobungstiefe 0–30 cm.

Blei weist ab etwa $\text{pH} = 5$ eine erhöhte Mobilität auf. Betrachtet man nun nur solche Proben, bei denen der pH -Wert im Boden $\leq 5,5$ liegt, wird deutlich, dass hier hohe Gehalte im Königwasserextrakt oft auch erhöhte Gehalte im NH_4NO_3 - Extrakt bedingen (Abb. 24). Statistisch absichern lässt sich das aufgrund der geringen Anzahl von 4 Standorten mit $\text{pH} \leq 5,5$ jedoch nicht.

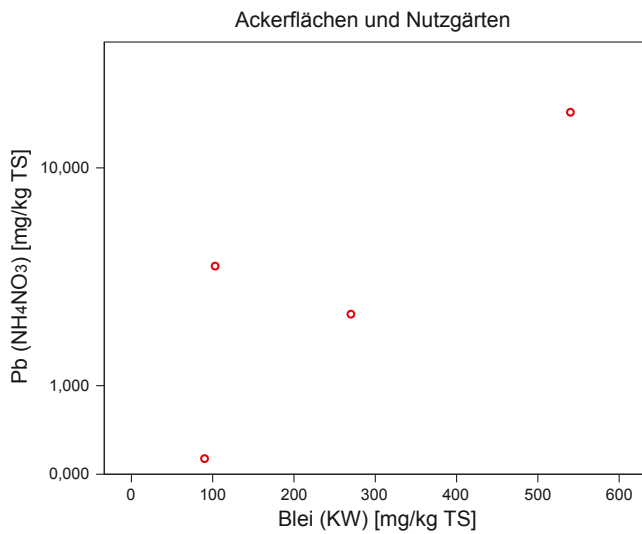


Abb. 24: Bleigehalte im KW- und NH_4NO_3 -Extrakt bei $\text{pH} \leq 5,5$ A-/P1-Flächen, Beprobungstiefe 0–30 cm.

Für Zink zeigen die Gehalte im Königswasser- und NH_4NO_3 -Extrakt der A- und P1-Flächen einen schwachen, aber signifikanten Zusammenhang (Korrelationskoeffizient nach SPEARMAN von $r = 0,35$ (Signifikanzniveau 0,01)) (s. Abb. 25). Zink weist im Gegensatz zu Blei bereits ab einem $\text{pH} \leq 6,5$ eine erhöhte Mobilisierbarkeit auf. Auch bei ausschließlicher Betrachtung der Zinkwerte für diesen pH-Bereich ergibt sich jedoch kein stärkerer Zusammenhang zwischen Gesamt- und NH_4NO_3 -Gehalten.

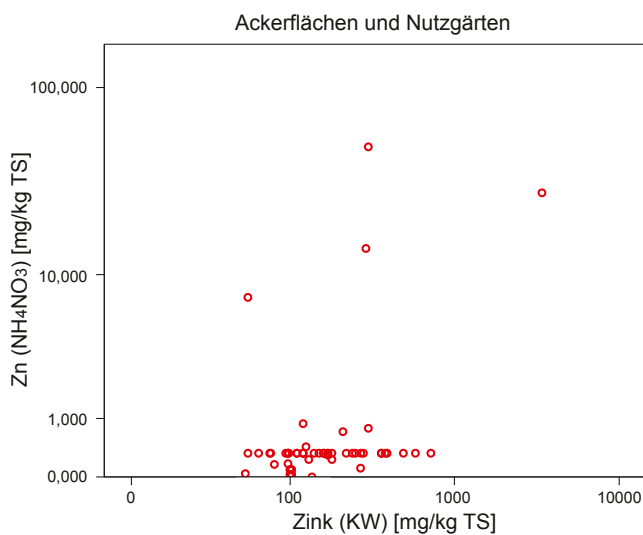


Abb. 25: Zinkgehalte im KW- und NH_4NO_3 -Extrakt der A-/P1-Flächen, Beprobungstiefe 0–30 cm.

Ein direkter Rückschluss von den Bleigehalten im Königswasserextrakt auf die Gehalte im NH_4NO_3 -Extrakt kann nicht gezogen werden. An Standorten mit pH-Werten $\leq 5,5$ weisen hohe KW-Werte jedoch auf ein erhöhtes Gefährdungspotenzial für den Wirkungspfad Boden-Pflanze hin.

Bei hohen Zinkgehalten im Königswasser-aufschluss sind auch erhöhte Gehalte im NH_4NO_3 -Extrakt zu erwarten. Ab einem pH-Wert von 6,5 sollten die verfügbaren Gehalte mit abgeprüft werden.

5.2.6 Sonstige Schwermetalle

Keine Prüf- oder Maßnahmenwertüberschreitungen konnten durch die von den Netzbetreibern durchgeführten Untersuchungen für die Schwermetalle Kupfer, Chrom und Nickel nachgewiesen werden. Für Cadmium war in einem Fall auf einer Ackerfläche und in einem Nutzgarten der strengere Maßnahmenwert für Brotweizenanbau und Anbau stark anreichernder Gemüsearten überschritten (bei Cadmium kein Hinweis auf Masteinfluss).

5.3 Ergebnisse der erweiterten Untersuchung (Boden und Pflanzen) durch LfU & LfL

Mit der erweiterten Untersuchung durch LfU & LfL wurde die horizontale und vertikale Schadstoffverteilung im Boden unter 12 exemplarisch ausgewählten Strommasten unterschiedlicher Nutzung genauer untersucht. Tab. 23 gibt einen Überblick über die 12 betrachteten Standorte.

Tab. 23: Maststandorte der LfU/LfL-Untersuchung

Standort	Bodentyp	Hauptbodenart	Nutzung
Uffing a. Staffelsee	Braunerde	U	Grünland
Krün	Humusreiche Auenpararendzina	L	Grünland
Neufahrn 1	Ackerbraunerde	U	Acker – Winterweizen (WW)
Neufahrn 2	Ackerbraunerde	U	Acker - Winterweizen (WW)
Landshut	Braunerde	T	Acker - Winterweizen (WW)
Deggendorf	Braunerde	S	Nutzgarten – Zuckermais (ZM)
Weiden	Vega-Gley	L	Acker - Winterweizen (WW)
Schnaittach	Pseudogley	S	Grünland
Stockstadt	Gley	S	Grünland
Germering	Pararendzina	S	Kinderspielfläche
Pforzen	n. b.	L	Kinderspielfläche
Stadtbergen	n. b.	S	Kinderspielfläche

Die Probenahme verteilt sich auf fünf Teilflächen (P1 bis P5) und jeweils zwei bis drei Tiefenstufen (vgl. Kap. 4.2). Der Maximalwert für Blei im Königswasseraufschluss liegt bei den untersuchten Masten bei 1100 mg/kg TS auf einer Ackerfläche, der Minimalwert bei 5 mg/kg TS auf einer Kinderspielfläche. Bei diesen Werten ist aber zu beachten, dass bei Ackerflächen die Beprobungstiefe nach BBodSchV bei 0–30 cm liegt, während in Wohngebieten nur 0–10 cm beprobt wurden (s. Tab. 3), wodurch von einem Verdünnungseffekt bei ackerbaulicher Nutzung in den Pflughorizonten auszugehen ist.

Die Ergebnisse der erweiterten Untersuchung von LfU/LfL werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt. Sie bilden eine Ergänzung zu der Gesamtbewertung aller Ergebnisse in Kapitel 5.2.

5.3.1 Schwermetallgehalte auf den Kinderspielflächen

Es wurden drei Kinderspielflächen untersucht. Sie befinden sich in den Gemeinden Stadtbergen, Pforzen und Germering.

Bei den Bleigehalten in Stadtbergen ist eine Prüfwertüberschreitung in der obersten Tiefenstufe der P1-Fläche festzustellen. Die Werte nehmen wie erwartet mit zunehmender Entfernung zur Grundfläche und zunehmender Bodentiefe ab (s. Abb. 26).

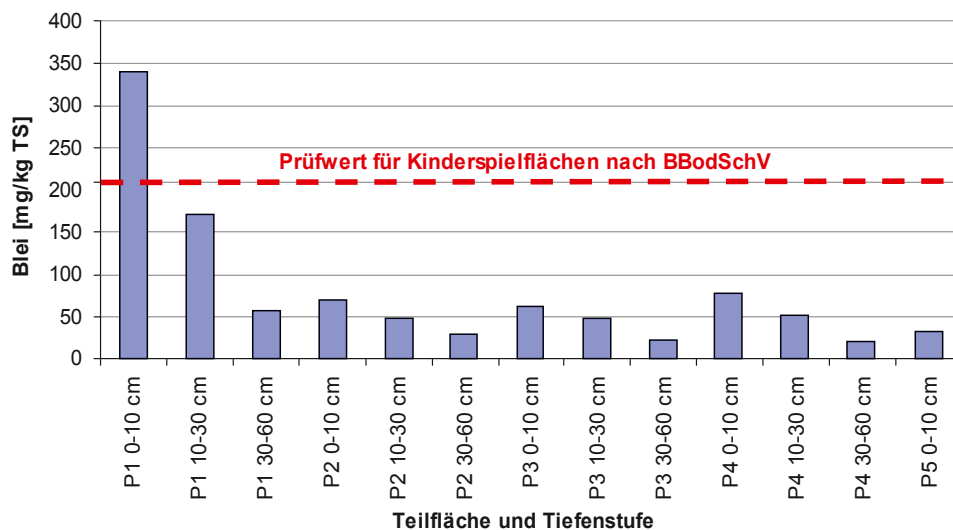


Abb. 26: Standort Stadtbergen – Bleigehalte im Königswasserextrakt (KW).

Auf den untersuchten Flächen in Pforzen und Germering wurde bei keiner Teilfläche (P1-P5) eine Überschreitung der Prüfwerte für Blei festgestellt. Auch hier nehmen die Bleikonzentrationen mit zunehmender Tiefe ab, bleiben jedoch mit zunehmender Entfernung auf geringem Niveau (s. Abb. 27 & Abb. 28).

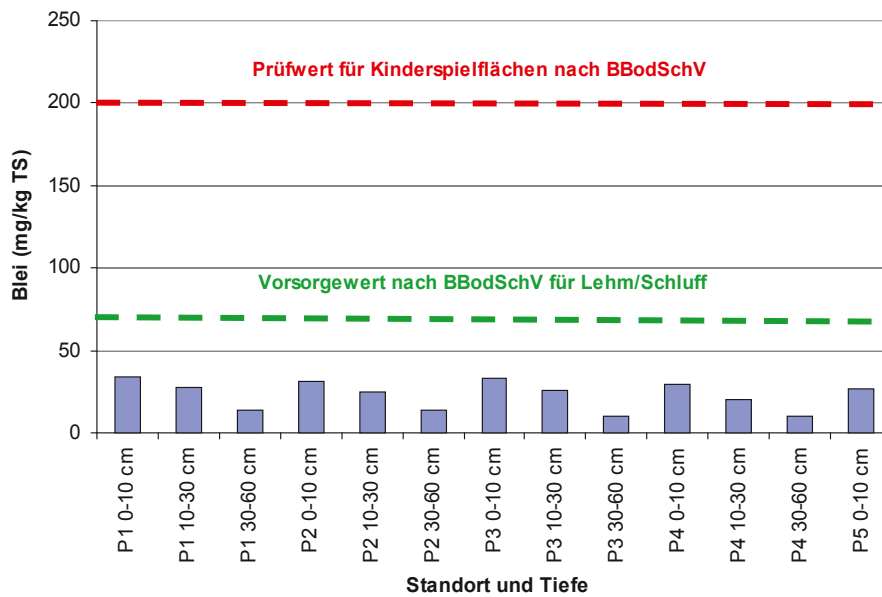


Abb. 27: Standort Pforzen – Bleigehalte im Königswasserextrakt (KW).

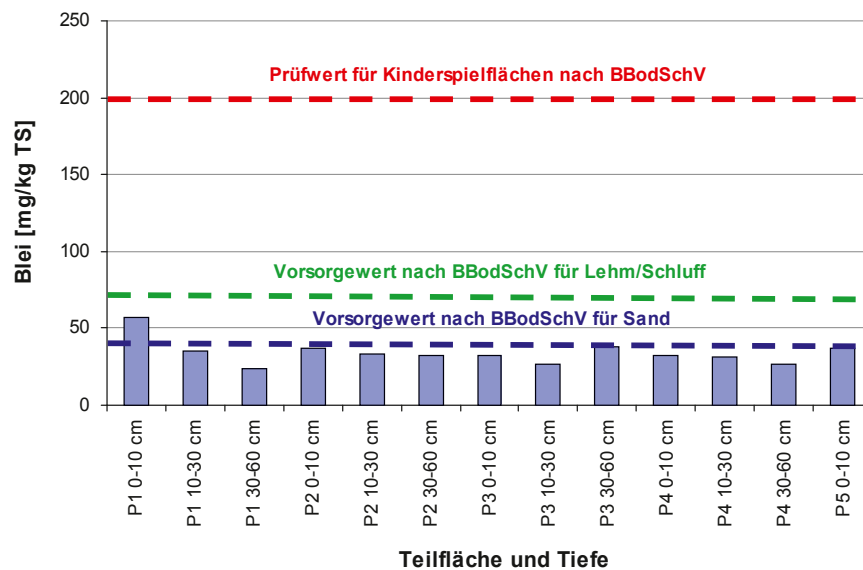


Abb. 28: Standort Germering – Bleigehalte im Königswasserextrakt (KW).

Durch die horizontale und vertikale Abnahme der Bleigehalte vom Mast weg ist davon auszugehen, dass die Belastung vom Strommast verursacht wird.

Die Zinkgehalte zeigen eine ähnliche Verteilung wie die Bleigehalte. Sie sind auf der mastnahen P1-Fläche am höchsten und nehmen nach unten und mit zunehmender Entfernung tendenziell ab. Für den Pfad Boden-Mensch liegt kein Prüfwert für Zink vor. Ein Vergleich mit den Vorsorgewerten zeigt in den meisten Fällen eine Überschreitung auf den P1-Flächen und im Oberboden der übrigen Teilflächen wie beispielhaft am Standort Germering aufgezeigt (Abb. 29). Die Verteilung der

Zinkgehalte deutet auch bei diesem Schadstoff wie erwartet auf die Strommasten als Hauptquelle der Belastung hin.

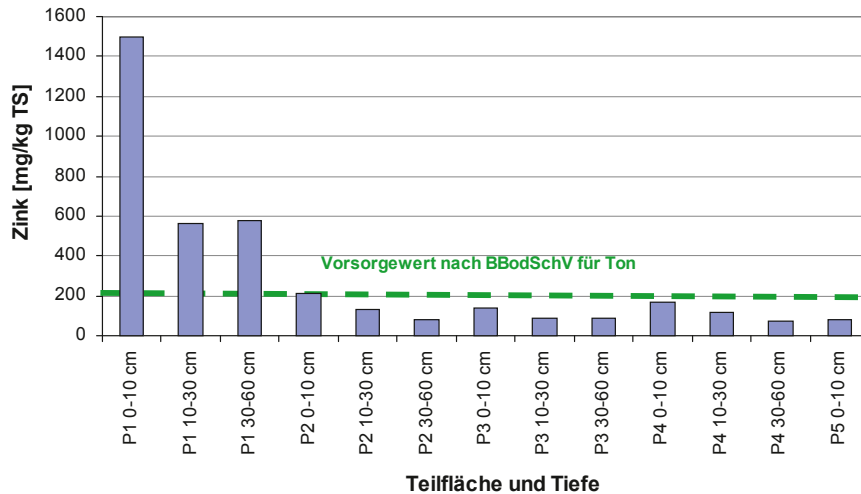


Abb. 29: Standort Germering – Zinkgehalte im Königswasserextrakt (KW).

Die Gehalte der übrigen untersuchten Schwermetalle zeigen keine Konzentrationsabnahme mit zunehmender Bodentiefe und zunehmender Entfernung vom Mast. Die Konzentrationen liegen in den meisten Fällen deutlich unter allen Prüf- und Vorsorgewerten der BBodSchV. Ein Zusammenhang zu den Strommasten ist nicht zu erkennen.

5.3.2 Schwermetallgehalte auf den Acker- und Nutzgartenflächen

Im Rahmen der erweiterten Untersuchung wurden von LfU & LfL vier Acker- und eine Nutzgartenfläche untersucht. Die Prüfwerte der BBodSchV für Ackerflächen und Nutzgärten (Blei = 0,1 mg/kg TS und Zink = 2 mg/kg TS (*Anm.: Zink nur gültig für Ackerflächen*)) beziehen sich auf den Gehalt im Ammoniumnitratextrakt.

5.3.2.1 Blei

Während auf den zwei Ackerflächen in Neufahrn und der Ackerfläche in Landshut keinerlei Prüfwertüberschreitungen festgestellt werden konnten, ergaben sich für die Flächen in Weiden (Acker) und Deggendorf (Nutzgarten) auf mehreren untersuchten Teilflächen erhöhte Bleigehalte. Eine Übersicht über die ermittelten Gehalte gibt Abb. 30.

Am Standort Weiden liegt der Blei-Wert auf allen Teilflächen außer auf der Referenzfläche P5 um ein Vielfaches über dem Prüfwert, in unmittelbarer Mastnähe (P1) mit 16 mg/kg um das 160fache darüber. Mit zunehmender Entfernung nehmen die Gehalte stark ab, in der P2-Fläche bereits auf 1,4 mg/kg.

Auch auf der Nutzgarten-Fläche (Deggendorf) ist der Prüfwert für Blei auf den Teilflächen P1 und P2 deutlich überschritten (P1 um das 25fache).

Ein Blick auf die Verteilung der Blei-Gesamtgehalte (Abb. 31) im Königswasserextrakt zeigt erwartungsgemäß die höchsten Blei-Werte auf den P1 Flächen und das gegenüber den anderen Ackerflächen insgesamt deutlich höhere Wertenniveau am Standort Weiden (auch Referenzfläche 300 mg/kg TS). An diesem Standort sind auf den Teilflächen P1 und P2 die Blei-Gehalte auch in der Tiefe 30–60 cm fast so hoch wie im Oberboden (nicht dargestellt). Hier muss außer der Beeinflussung durch den Strommast noch eine andere Belastungsursache vorliegen.

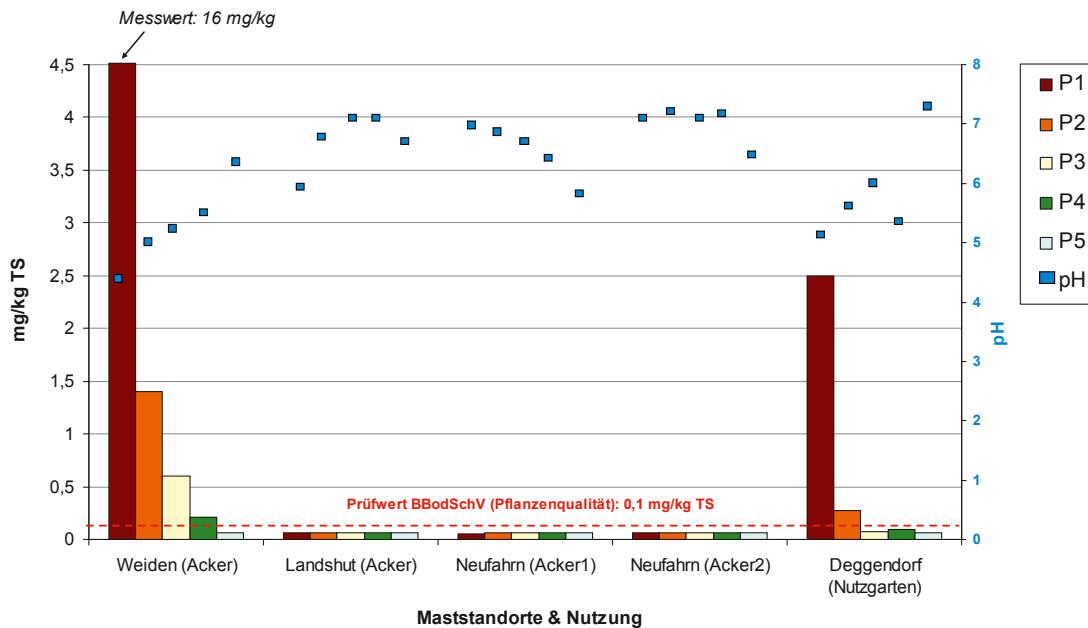


Abb. 30: Bleigehalte im Boden (NH₄NO₃-Extrakt) - Acker + Nutzgarten Beprobungstiefe: 0–30 cm.

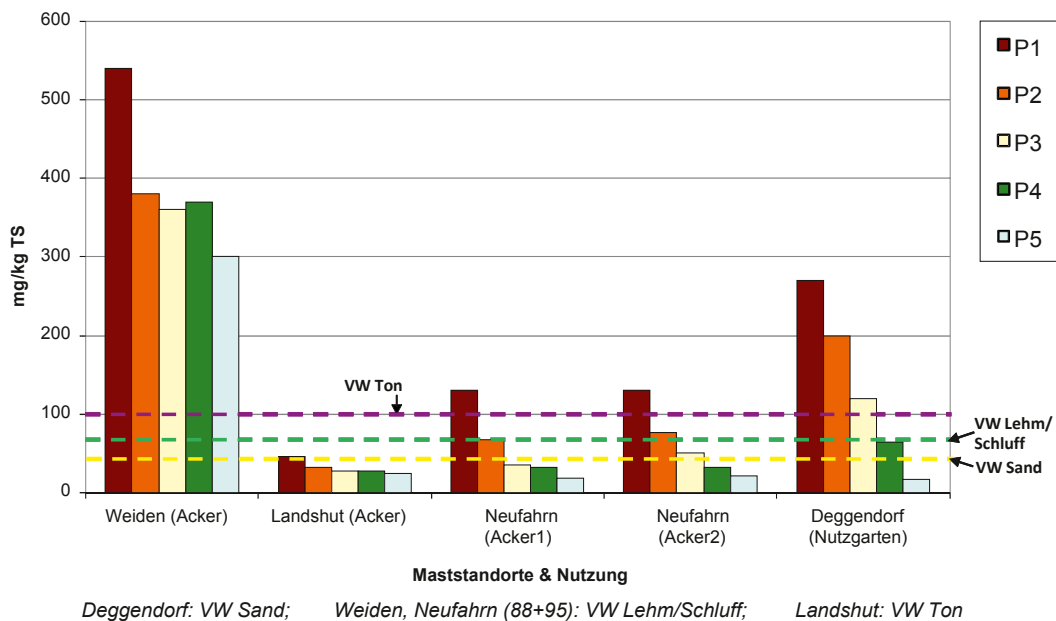


Abb. 31: Bleigehalte im Boden (KW-Extrakt) - Acker + Nutzgarten Beprobungstiefe: 0–30 cm.

Ein wesentlicher Grund für den extrem hohen Blei-Wert im NH_4NO_3 -Extrakt auf P1 am Standort Weiden ist sicher der mit 4,4 für Ackerflächen sehr niedrige pH-Wert (auch auf P2 – P4 nur pH-Werte zwischen 5,0 und 5,5), während auf den übrigen Ackerflächen die mastnahen Flächen im schwach sauren bis neutralen Bereich liegen. Auch auf der Nutzgartenfläche dürfte der hohe Bleiwert der Teilfläche P1 wesentlich durch den niedrigen pH-Wert (5,1) bedingt sein (s. Abb. 30).

Trotz zum Teil erheblicher Prüfwert-Überschreitungen im Boden lagen alle Winterweizen(WW)-Proben (Körner) weit unter dem Höchstgehalt der EU-Kontaminanten-VO (Blei 0,2 mg/kg FS). Die höchsten Werte wurden entsprechend der Bodenbelastung am Standort Weiden gemessen. Eine Abnahme der Blei-Gehalte in den Körnern mit zunehmender Entfernung vom Mast ist außer am Standort Weiden nicht erkennbar (Abb. 32).

Auch die Bleigehalte der Zuckermais(ZM)-Proben lagen weit unter dem Höchstgehalt der EU-Kontaminanten-VO (0,1 mg/kg FS Gemüse).

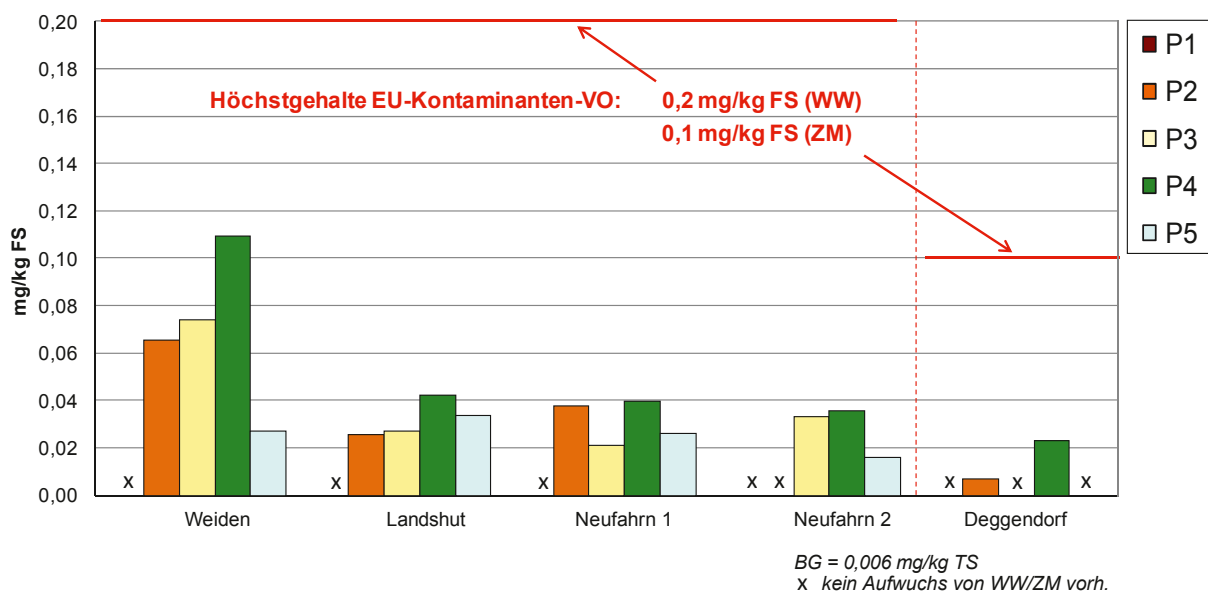


Abb. 32: Bleigehalte in Winter-Weizen(WW) (Körner) von Ackerflächen (Deggendorf Nutzgarten: Zuckermais).

Im Hinblick auf eine Gefährdungsabschätzung ist von Bedeutung, dass auf den Teilflächen P1 der beprobten Acker-Standorte nie Winter-Weizen wuchs. Aufgrund der heute im Ackerbau üblichen Maschinengröße ist eine Weizenbestockung unmittelbar am und unter dem Mastfuß kaum zu erwarten. In Neufahrn (Acker 2) stand auch auf der P2 Teilfläche kein Weizen. Auch sonst dürfte der Aufwuchs auf der Teilfläche P2 mengenmäßig zu vernachlässigen sein.

Im Falle der Nutzgärten war es sehr schwierig, überhaupt welche unter oder im unmittelbaren Einflussbereich von Strommasten zu finden. Auf den meisten der in den Listen der Betreiber als „Nutzgarten“ ausgewiesenen Flächen standen Bäume, Büsche oder es handelte sich um Rasenflächen. Als Gemüse konnte nur Zuckermais in einem Nutzgarten beprobt werden (wuchs nur auf den Teilflächen P2 und P4).

Bei dem Ackerstandort in Weiden und dem Nutzgarten in Deggendorf überschätzt der NH_4NO_3 -Extrakt aufgrund des sehr niedrigen pH-Wertes die pflanzenverfügbaren Bleigehalte erheblich; er eignet sich daher nicht für die Abschätzung der Mengen, die durch Pflanzen aufgenommen werden.

5.3.2.2 Zink

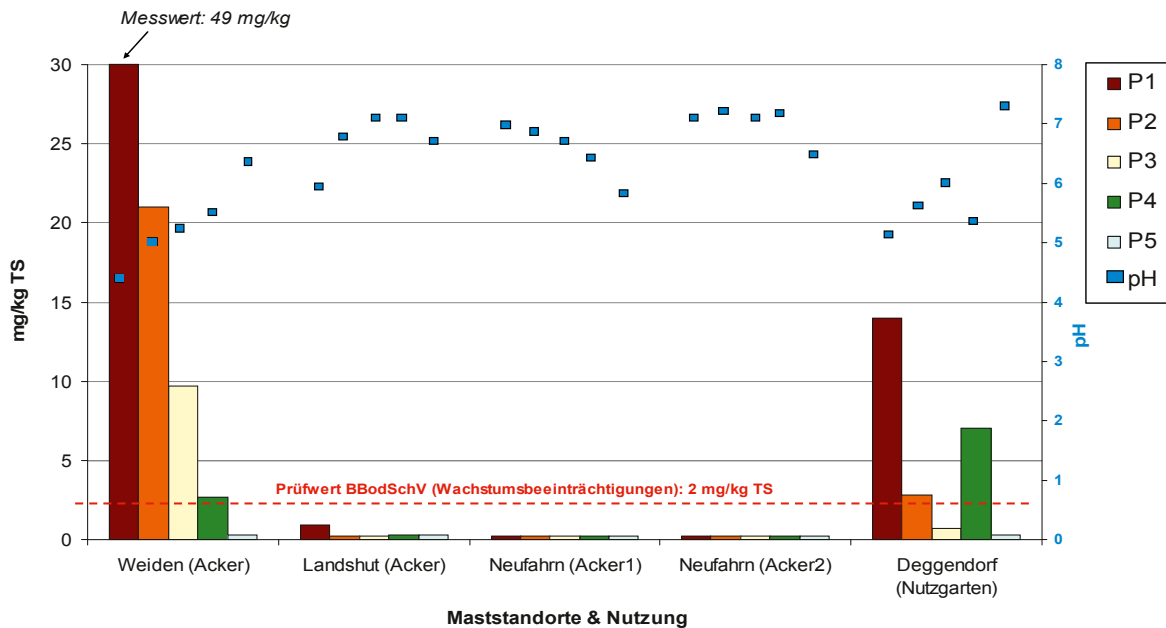


Abb. 33: Zinkgehalte im Boden (NH_4NO_3 -Extrakt) - Acker + Nutzgarten Beprobungstiefe: 0–30.

Am Standort Weiden wird auch der Prüfwert für Zink im Hinblick auf Wachstumsbeeinträchtigungen nach BBodSchV (2 mg/kg TS im NH_4NO_3 -Extrakt) auf allen Teilflächen außer P5 erheblich überschritten; auf P1 etwa um das 25fache, auf P2 noch um das 10fache, während alle anderen Ackerflächen durchwegs weit darunter liegen. Nur am Standort Weiden ist eindeutig der Einfluss des Mastes durch eine Abnahme der Zink-Gehalte mit zunehmender Entfernung vom Mast erkennbar, während die Zink-Gehalte bei den anderen Ackerflächen einheitlich auf einem sehr niedrigen Niveau liegen.

Auf der Nutzgarten-Fläche ist der Zink-Wert auf der P1-Fläche ebenfalls mit 14 mg/kg deutlich erhöht, hier anders als bei Blei auch auf der P4-Teilfläche (Abb. 33).

Die Zink-Gesamtgehalte im KW-Extrakt sind außer beim Maststandort Neufahrn (Acker 1) auf den P1 Flächen am höchsten mit meist deutlicher Abnahme mit zunehmender Entfernung zum Masten (s. Abb. 34). Demgegenüber ist der Zinkgehalt am Standort Weiden auch auf den übrigen Teilflächen und der Referenzfläche vergleichsweise hoch (Hinweis auch bei Zink auf noch andere Belastungsursache außer Strommast).

Die Zink-Werte der Winterweizen-Körner schwanken im Bereich der Durchschnittswerte, die im Rahmen der Besonderen Ernteterminierung bundesweit auf Winterweizen-Schlägen ermittelt wer-

den. Nur am Standort Weiden liegen die Zink-Gehalte von Winterweizen an der oberen Grenze des Schwankungsbereiches (Abb. 35).

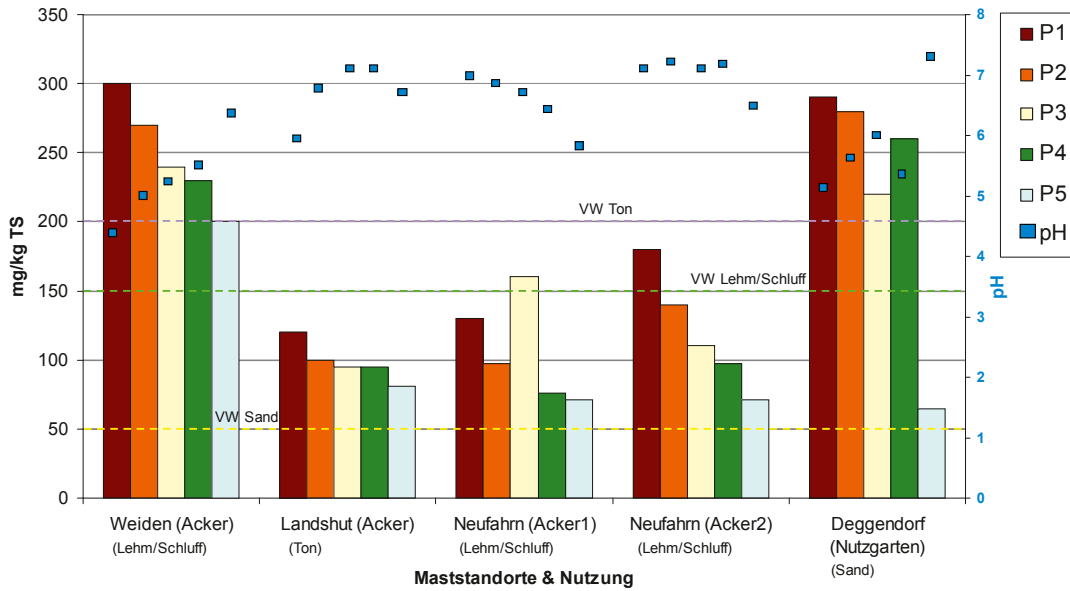


Abb. 34: Zinkgehalte im Boden (KW-Extrakt) - Acker + Nutzgarten Beprobungstiefe: 0–30 cm.

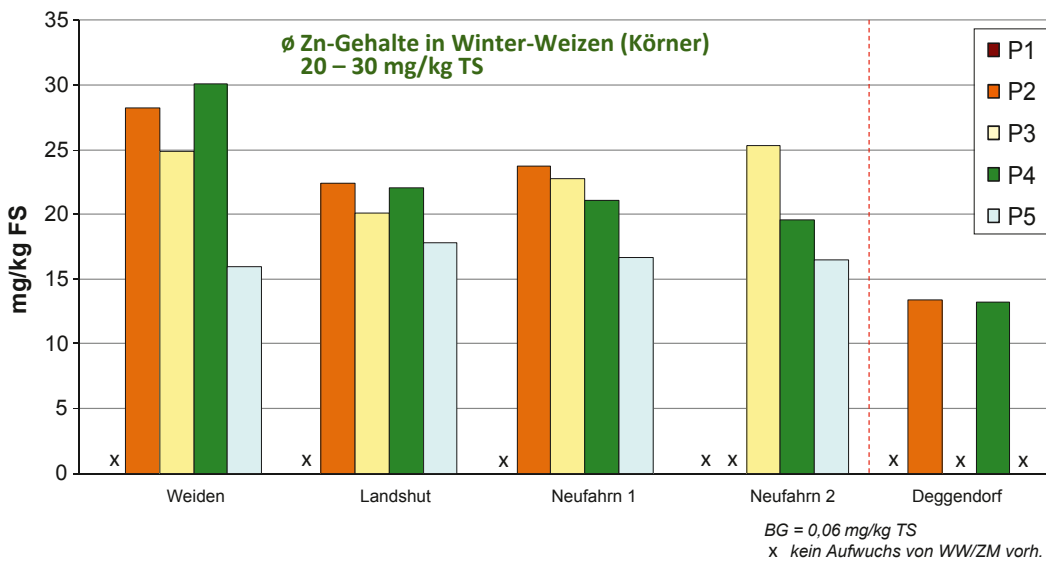


Abb. 35: Zinkgehalte in Winter-Weizen (Körner) von Ackerflächen (Deggendorf Nutzgarten: Zuckermais).

Auch bei Zink überschätzt der im NH_4NO_3 -Extrakt gemessene Wert auf den Standorten Weiden und Deggendorf den pflanzenverfügbaren Gehalt durch den niedrigen pH-Wert erheblich und ist für eine Voraussage der Pflanzengehalte nicht zielführend.

5.3.2.3 Sonstige Schwermetalle

Auf dem Ackerstandort in Weiden wurden außer Blei und Zink auch erhöhte Cadmiumgehalte nachgewiesen. Auf der P1-Fläche wird hier der Maßnahmenwert der BBodSchV im Hinblick auf Pflanzenqualität überschritten (auch in der Tiefe 30–60 cm), auf der P2- und P3-Fläche noch der schärfere Maßnahmenwert für Brotweizenanbau (0,04 mg/kg TS). Für andere Schwermetalle (Kupfer, Nickel) konnten auf keiner der untersuchten Flächen Prüfwertüberschreitungen festgestellt werden.

5.3.3 Schwermetallgehalte auf den Grünlandflächen

5.3.3.1 Blei

Auf den vier untersuchten Grünlandstandorten ergab sich keine Maßnahmenwertüberschreitung für Blei (1200 mg/kg TS, s. Abb. 36). Vorsorgewertüberschreitungen wurden auf allen P1-Flächen und an drei Standorten zusätzlich auf den Teilflächen P2 bis P4 nachgewiesen. Die abnehmenden Gehalte mit der Entfernung vom Mast sprechen für die Strommasten als Belastungsursache. Am deutlichsten ist der Einfluss am Standort Stockstadt sichtbar, wo der Maßnahmenwert nach BBodSchV im Hinblick auf Pflanzenqualität direkt am Mastfuß (P1-Fläche) im Oberboden nur knapp unterschritten wird (Abb. 36).

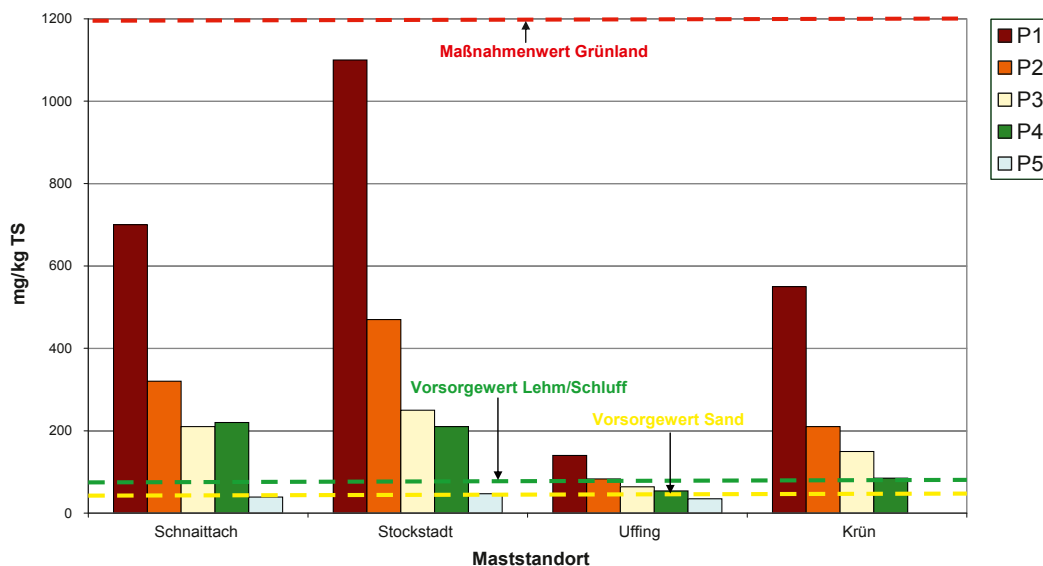


Abb. 36: Bleigehalte im Boden (KW-Extrakt) - Grünland Beprobungstiefe: 0–10 cm.

Bezüglich der untersuchten Tiefenstufen ergab sich eine deutlich Abnahme der Bleigehalte mit zunehmender Beprobungstiefe. Abb. 37 zeigt beispielhaft die Verteilung der gemessenen Bleiwerte am Standort Stockstadt.

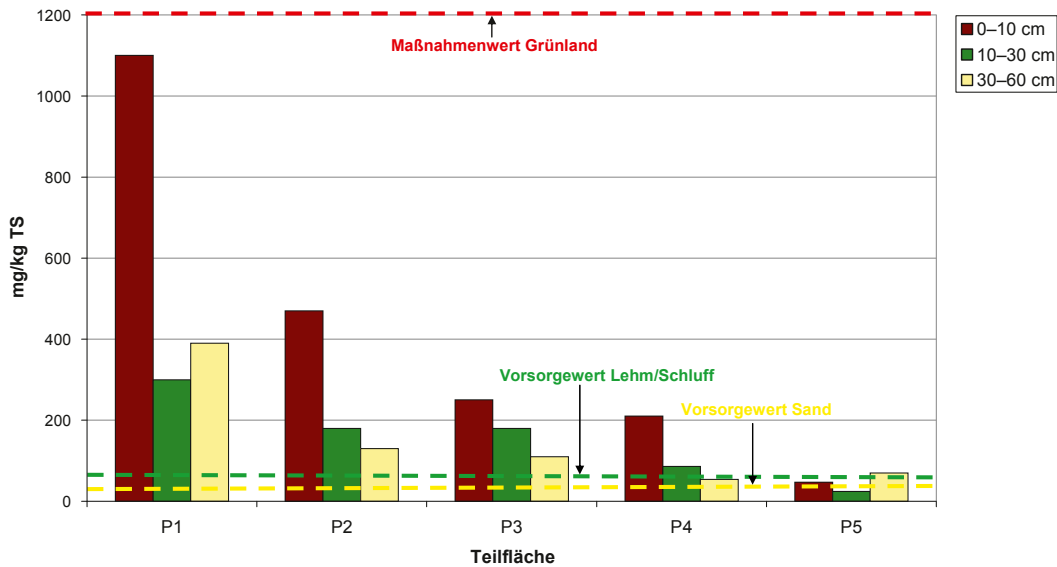


Abb. 37: Bleigehalte im KW-Extrakt am Standort Stockstadt – Beprobungstiefe 0–10 cm.

Alle Gras-Proben liegen weit unter dem Höchstgehalt der Futtermittelverordnung (30 mg/kg bez. auf 88 % TS), auch auf der Fläche mit 1100 mg Pb-Gesamtgehalt (s. Abb. 38). Am Standort Schnaittach wurde der Probenzieher leider vom Landwirt zu spät über die Mahd verständigt, so dass keine Grasproben gezogen werden konnten.

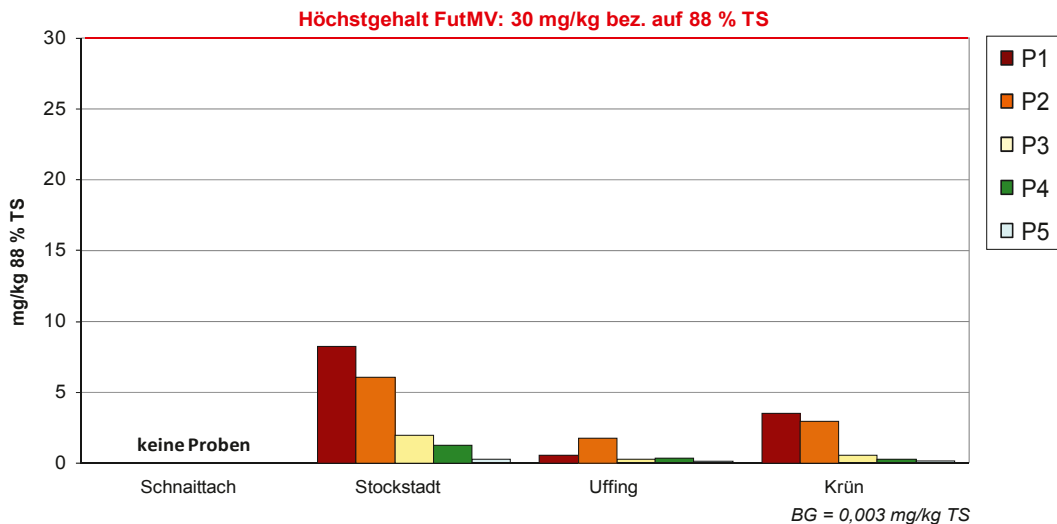


Abb. 38: Blei-Gehalte in Gras.

Die von der LfL ermittelten Bleiwerte von Gras decken sich mit Ergebnissen von E.on (Untersuchung von 20 Grasproben in NRW im Hinblick auf Einhaltung der Futtermittelverordnung). Der Maximalwert auf der A(=P1)-Fläche lag bei diesen Untersuchungen unter 6 mg/kg (bez. auf 88 % TS).

Von den durch RWE in NRW untersuchten 30 Grünlandstandorten (Auswahlkriterium aus 210 Maststandorten hoher Bleigehalt (KW-, NH_4NO_3 -Extrakt) und niedriger pH-Wert)) überschritten innerhalb der A-Fläche 4 Grasproben den Höchstgehalt der Futtermittelverordnung z. T. erheblich. Aufgrund der Kleinflächigkeit der Belastung und des Probenahmezeitpunktes (Mitte Oktober bis Anfang Dezember) handelt es sich dabei um Einzelfälle, die nicht als repräsentativ für eine praxisübliche Futtergewinnung zu bewerten sind (geringe Aufwuchsmenge, dadurch auch höherer Einfluss anhaftender Partikel von kontaminiertem Boden). Bei der Probenahme im Frühjahr und Sommer lagen die Bleiwerte der Grasproben auch bei diesen worst-case Standorten unter oder nur knapp über dem Höchstgehalt der Futtermittelverordnung (Maximalwert A-Fläche 46 mg/kg 88 % TS).

5.3.3.2 Zink

Analog zu Blei sind an den Standorten Stockstadt und Krün auch die Zinkgehalte im Boden deutlich erhöht. Die abnehmenden Gehalte mit der Entfernung vom Mast sprechen hier für die Strommasten als Belastungsursache, während bei den anderen Standorten nur ein schwacher Masteinfluss zu sehen ist.

Die Vorsorgewerte der BBodSchV werden auf den sandigen Standorten (Schnaittach und Stockstadt) durchwegs überschritten (auch auf der Referenzfläche), auf den schluffig/lehmigen Standorten überschreiten nur die P1-P3 Flächen in Krün die Vorsorgewerte.

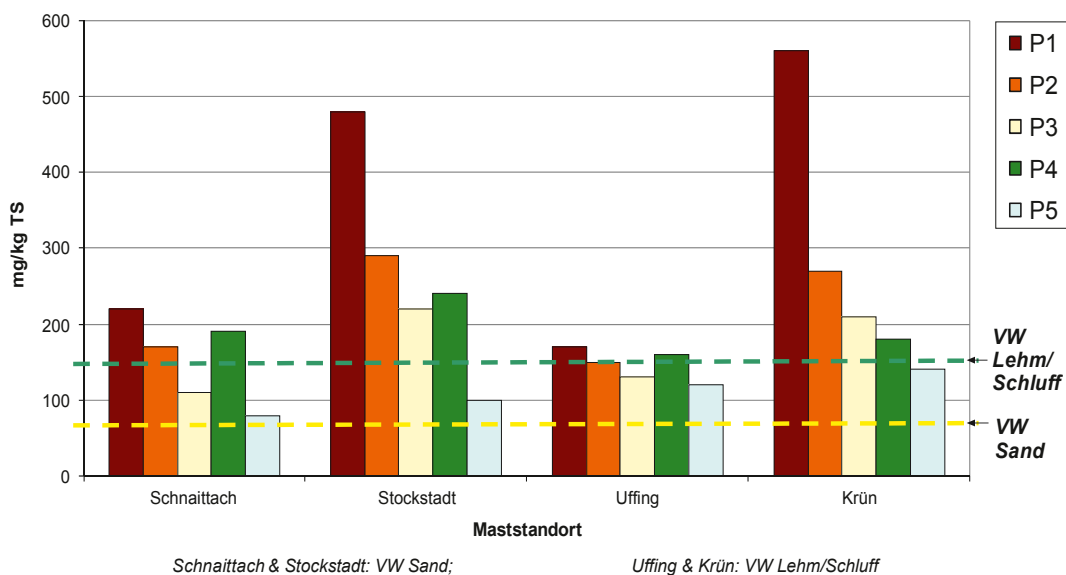


Abb. 39: Zinkgehalte im Boden (KW-Extrakt) – Grünland Beprobungstiefe: 0–10 cm.

Abb. 40 zeigt die im Gras gemessenen Zinkgehalte. Für Zink gibt es in der Futtermittelverordnung keine Höchstgehalte; daher werden zur Einstufung die bayerischen Durchschnittsgehalte von Gras herangezogen. Am Standort Stockstadt mit hohen Zinkgehalten im Boden sind die Zinkgehalte im Gras in der P1- und P2-Fläche deutlich erhöht, auf den anderen Teilflächen (auch auf der Referenzfläche) liegen sie im oberen Bereich der Durchschnittswerte. Auf den anderen Grünlandstandorten bewegen sie sich im für Gras üblichen Schwankungsbereich. Auch auf der P1

Fläche in Krün wirkt sich der hohe Zink-Gehalt des Bodens nicht auf die Graswerte aus. Neben der Bodenart Lehm ist hierfür sicher der im neutralen Bereich liegende pH-Wert verantwortlich.

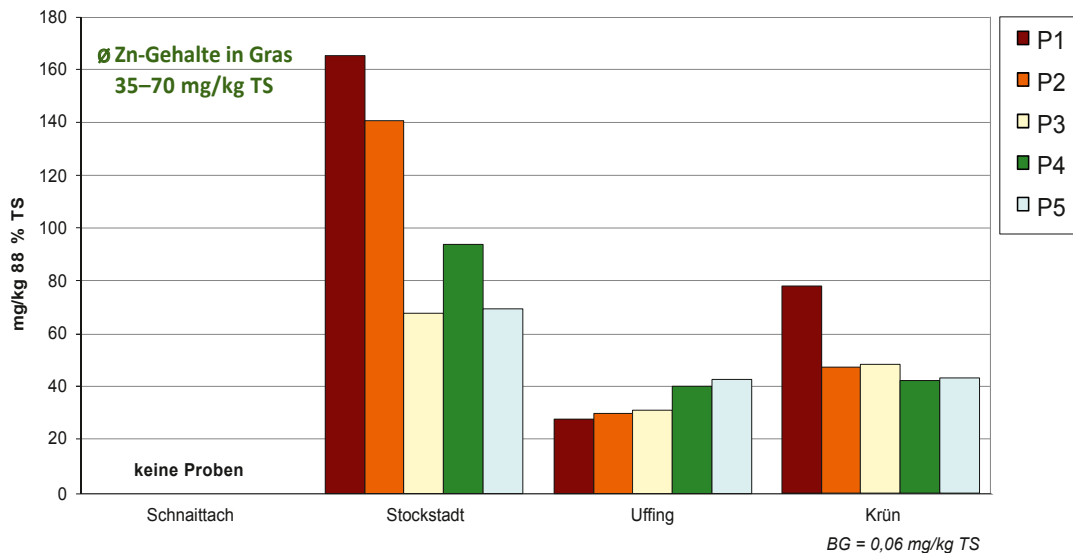


Abb. 40: Zinkgehalte in Gras.

5.3.3.3 Sonstige Schwermetalle

Bei den anderen Schwermetallen (Cadmium, Kupfer, Nickel) traten keine Maßnahmenwert-überschreitungen auf.

5.3.4 Gehalte an organischen Schadstoffen

5.3.4.1 PAK₁₆, Benzo(a)pyren

Bei den organischen Schadstoffen wurde an sieben der untersuchten zwölf Maststandorte der Vorsorgewert für den Summenparameter PAK₁₆ teilweise um ein Vielfaches überschritten. Der Vorsorgewert liegt bei 3 mg/kg TS bei einem Humusgehalt von ≤ 8 % bzw. bei 10 mg/kg TS bei einem Humusgehalt > 8 %. Ein Prüfwert liegt für diesen Parameter nicht vor. Die Belastung befindet sich hauptsächlich an den mastnahen Teilflächen und wird mit zunehmender Entfernung geringer. Eine generelle Abnahme in die Tiefe ist nicht festzustellen, da an manchen Standorten die unteren Tiefenstufen stärker belastet sind als die oberen.

Für Benzo(a)pyren als Leitparameter der PAKs gibt es in der BBodSchV Prüfwerte für den Pfad Boden-Mensch (2 mg/kg TS bei Kinderspielflächen) und für den Pfad Boden-Pflanze bei Ackerflächen bzw. Nutzgärten (1 mg/kg TS). Von den acht Standorten mit entsprechender Nutzung ist unter drei Strommasten der Prüfwert überschritten, jeweils einer mit der Nutzung Kinderspielfläche, Ackerfläche und Nutzgarten.

In Abb. 41 bis Abb. 43 ist die Verteilung der Belastung auf den drei Kinderspielflächen in Stadtbergen, Germering und Pforzen dargestellt. In Stadtbergen und Germering ist die Belastung im mastnahen Bereich höher und nimmt mit zunehmender Entfernung hin ab, so dass davon auszugehen ist, dass die Belastung vom Strommast verursacht wird. In Stadtbergen ist die Belastung insgesamt gering. In Germering wird dagegen in der obersten Tiefenstufe der P1-Fläche der Prüfwert für Benzo(a)pyren auf Kinderspielflächen überschritten. Die Belastung dürfte durch Bindemittel im Korrosionsschutz (z. B. Epoxid-Teer, Teerpech; MARTI & STETTER, 2001) oder durch teerölhaltige Anstriche des Betonssockels verursacht worden sein.

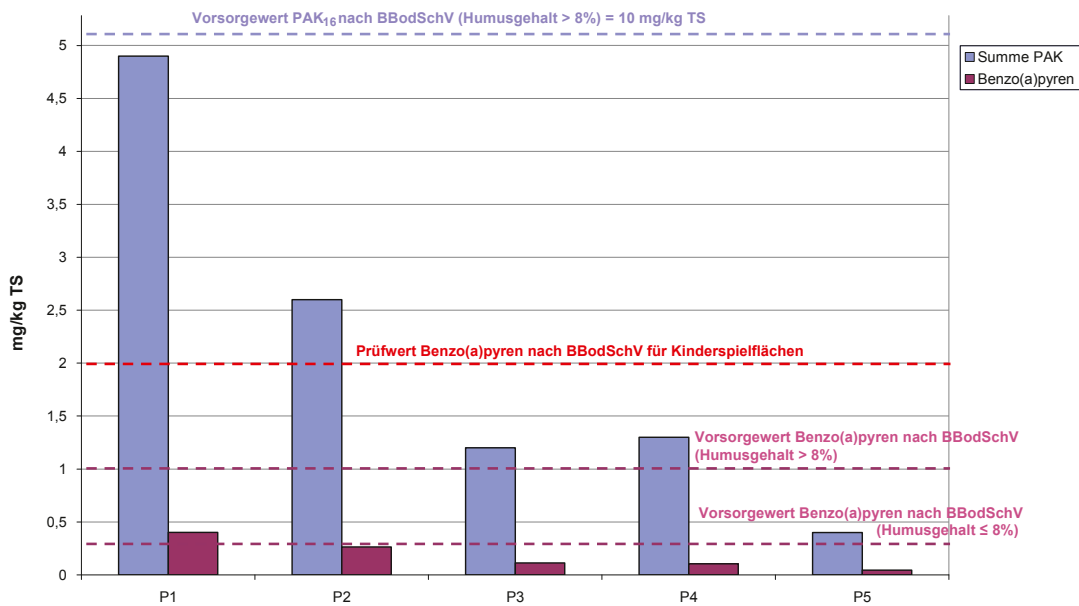


Abb. 41: Standort Stadtbergen (Kinderspielfläche) – PAK-/Benzo(a)pyrengelalte; 0–10 cm.

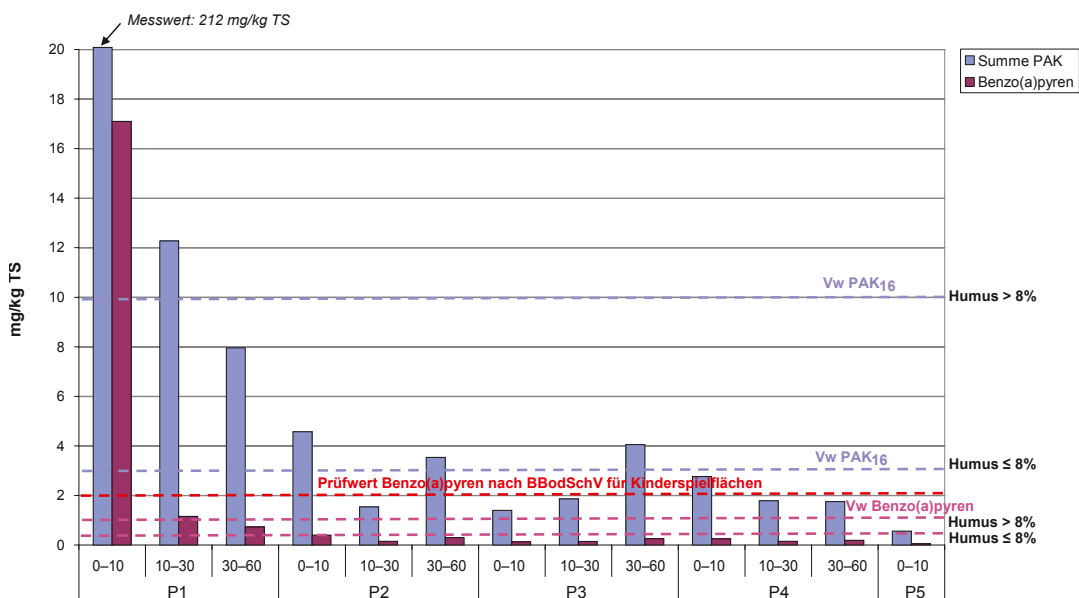


Abb. 42: Standort Germering (Kinderspielfläche) – PAK-/Benzo(a)pyrengelalte; 0-10 cm

Auch in Pforzen ist die Belastung insgesamt gering und liegt weit unter dem Prüfwert. In der obersten Tiefenstufe der P4-Fläche sind die Gehalte am höchsten, so dass nicht unbedingt von einer Verursachung durch den Mast auszugehen ist.

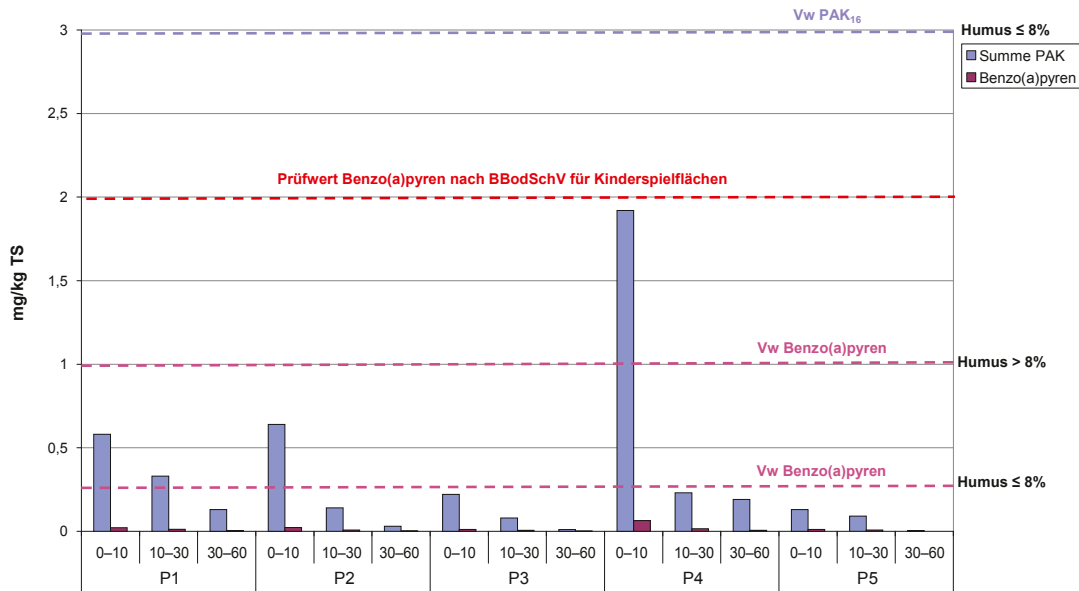


Abb. 43: Standort Pforzen (Kinderspielfläche) – PAK-/Benzo(a)pyrengelhalte; 0-10 cm

Abb. 48 und 49 zeigen die auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen gemessenen Benzo(a)pyren-Gehalte auf den mastnahen Teilflächen P1 und P2. Für P1 sind in der Graphik auch die Werte in der 2. Tiefe (Acker 30–60 cm und Grünland 10–30 cm, z. T. auch 30–60 cm) dargestellt.

Der Prüfwert für Benzo(a)pyren wurde auf einer Ackerfläche und der Nutzgartenfläche auf der P1-Fläche im Oberboden überschritten, am stärksten am Standort Weiden (Oberboden um das 2fache, hier auch im Unterboden um das 4fache). Hier muss überprüft werden, ob es außer dem Strommast noch eine andere Belastungsursache gibt.

Auf Grünland wurden nur an den Maststandorten in Stockstadt und v. a. in Krün auf der P1- und P2- Fläche deutlich erhöhte B(a)P-Werte gemessen. An beiden Standorten stehen Masten mit Blockfundament. Teeröhlhaltige Anstriche des Betonsockels dürften daher die Ursache für die erhöhten B(a)p-Gehalte auch in tieferen Schichten sein.

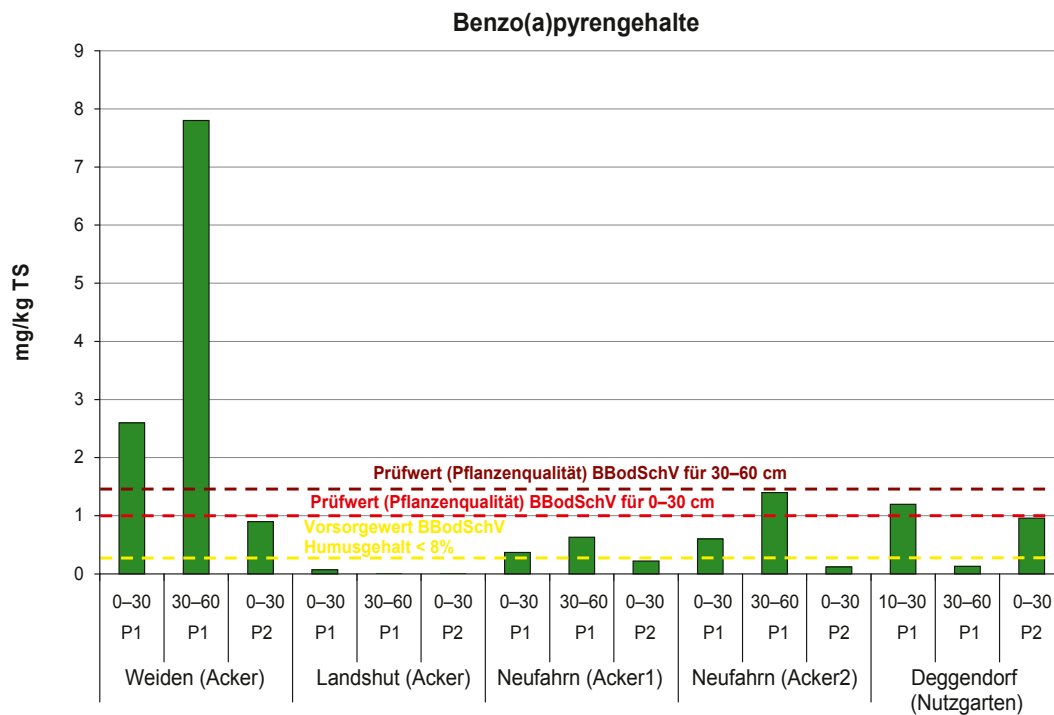


Abb. 44: Benzo(a)pyrengelhalte – Gehalte Boden – Acker/Nutzgarten, P1- und P2-Flächen.

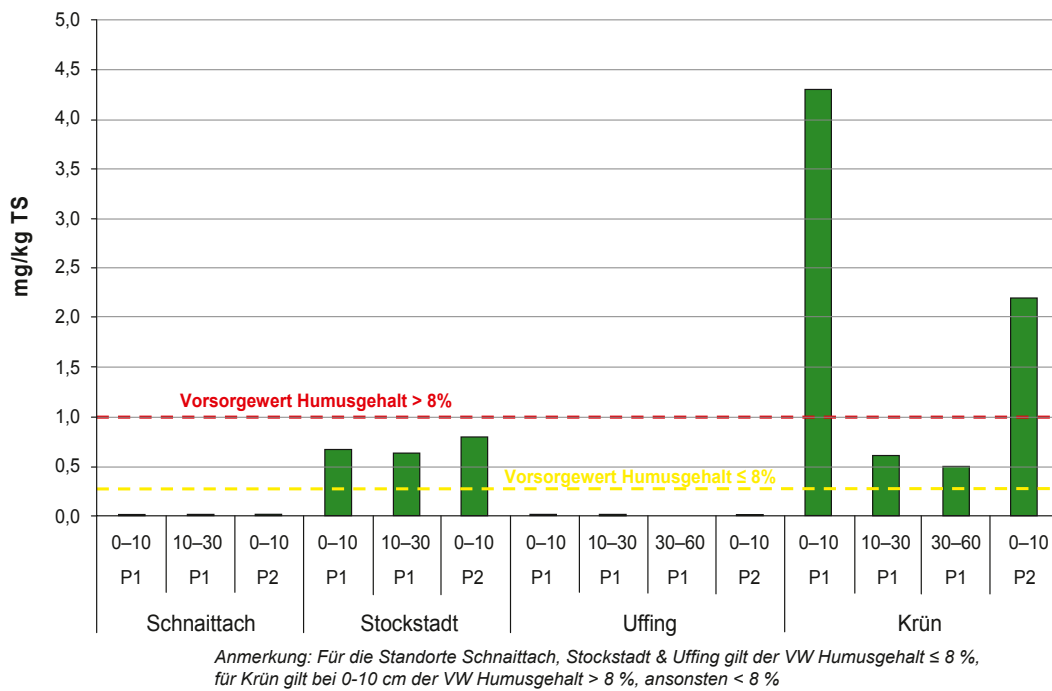


Abb. 45: Benzo(a)pyrengelhalte – Gehalte Boden – Grünland P1- und P2-Flächen.

5.3.4.2 PCB₆

Die bisherigen Untersuchungen auf PCB₆-Gehalte haben auf den Kinderspielflächen und Acker- und Nutzgartenflächen unauffällige Werte ergeben, die unter den Vorsorgewerten der BBodSchV liegen.

Bei den Grünlandflächen wurde jedoch an den Standorten Schnaittach und Stockstadt auf der P1-Fläche in der obersten Tiefenstufe der Maßnahmenwert für Grünland nach BBodSchV überschritten (s. Abb. 50) (*Anm. für Grünland weist die BBodSchV nur Maßnahmenwerte aus, keine Prüfwerte*). Diese Belastung könnte von den Bindemitteln im Korrosionsschutz der jeweiligen Strommasten verursacht worden sein (MARTI 2001).

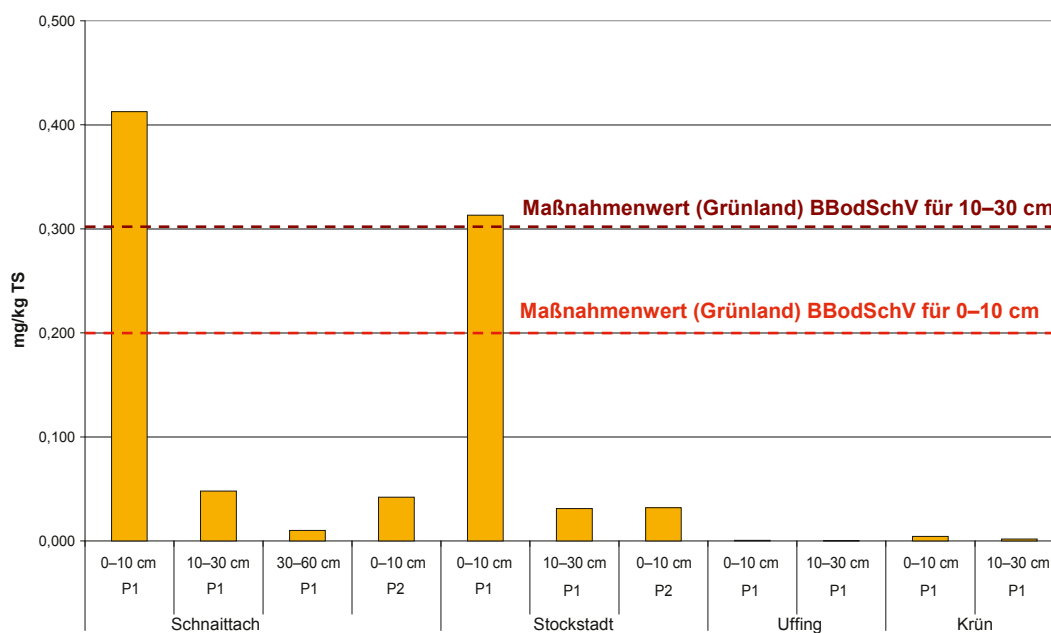


Abb. 46: PCB₆-Gehalte Boden – Grünland P1-Flächen

6 Zusammenfassung

Anlass der Untersuchungen

Bis Anfang der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts wurden Stahlgitterstrommasten von Überlandleitungen üblicherweise mit bleihaltigem Korrosionsschutz behandelt (Bleimennige). Aktuelle Untersuchungen (z. B. aus NRW 2008) haben gezeigt, dass Blei und auch Zink aus der Mastbeschichtung durch Abrieb oder Abblättern des Anstrichs in den darunter liegenden Boden eingetragen werden können.

Um die Belastungssituation unterhalb der Strommasten in Bayern zu klären, wurden unter Federführung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit (StMUG) und in Kooperation mit den in Bayern agierenden Stromnetzbetreibern stichprobenartige Bodenuntersuchungen unterhalb von Strommasten durchgeführt. Als zuständige Landesfachbehörden wurden das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) und die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) mit einbezogen.

Untersuchungsumfang

Von den Netzbetreibern wurden an insgesamt 206 Maststandorten Proben aus der obersten Bodenschicht entnommen und auf Schwermetalle untersucht. Grundlage für die Probenahme bildete das bundesweit abgestimmte Untersuchungskonzept der LABO AG „Bodenbelastungen bei Hochspannungsmasten und Stahlbrücken“ (LABO 2009). Beprobte wurden nach diesem Konzept der Hauptbelastungsbereich unmittelbar unterhalb der Masten (A-Fläche) sowie der potentiell schadstoffbeeinflusste Bereich unter der Traversenspannweite (B-Fläche).

Das LfU und die LfL entnahmen nach einem gemeinsam entwickelten, detaillierteren Untersuchungskonzept an zwölf Standorten (Kinderspielflächen, Nutzgarten, Acker-, Grünlandflächen) Boden- und Pflanzenproben (an 8 Standorten). Beprobte wurden mehrere Tiefenstufen (Bodenproben) sowie verschiedene Teilflächen (P1-P5) in unterschiedlicher Entfernung zum Mast (Boden- und Pflanzenproben). Dabei entspricht die Teilfläche P1 der A-Fläche der Betreiberuntersuchung.

Bei den Schwermetallen wurden die Gesamtgehalte (Königswasserextrakt) und die Gehalte im Ammoniumnitrat-Extrakt bestimmt, die Hinweise auf die Pflanzenverfügbarkeit geben sollen. Neben den Schwermetallen wurden auch die organischen Schadstoffgruppen PAK und PCB (Bodenproben) untersucht.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen von Netzbetreibern und LfU/LfL wurden nach den Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerten der BBodSchV (Bodenproben) sowie den Grenzwerten der Futtermittelverordnung und EU-Kontaminantenverordnung (Pflanzenproben) bewertet. Zum anderen wurde mit statistischen Methoden versucht, Zusammenhänge zwischen den Blei- und Zinkgehalten und äußeren Faktoren (wie z. B. Mastalter, Art der Beschichtung) herauszuarbeiten.

Boden – Schwermetalle (Betreiberuntersuchungen + Detailuntersuchung LfU/LfL)

- An knapp 22 % der Standorte, konnte im unmittelbaren Mastbereich (A-/P1-Fläche) für den Pfad Boden-Mensch (Kinderspielflächen, Wohngebiete, Park- und Freizeitanlagen, Industriegebiete) eine Prüfwertüberschreitung für Blei nachgewiesen werden. An zwei Standorten davon wurde auch eine Prüfwertüberschreitung im Mastumfeld (B-Fläche) festgestellt.
- Bei 9 (~14 %) der 63 Acker- und Nutzgartenflächen, die auf Bleigehalte im Ammoniumnitratextrakt untersucht wurden, wird der Prüfwert der BBodSchV für den Pfad Boden-Nutzpflanze im unmittelbaren Mastbereich (A-Flächen) überschritten. Auf 9 % der untersuchten Ackerflächen (33) wird der Prüfwert für Zink (Wachstumsbeeinträchtigungen) überschritten.
- Auf den B-Flächen der Betreiber ergeben sich bei 11 % der relevanten Standorte Prüfwertüberschreitungen für Blei in Bezug auf den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze. An vier Ackerstandorten wird der Prüfwert für Zink überschritten.
- Der Maßnahmenwert für Blei auf Grünlandflächen wurde auf keinem der untersuchten Grünlandstandorte überschritten (Maximalwert 1100 mg/kg TS).
- Bei 12 % der von den Netzbetreibern untersuchten Flächen konnten unter der Traversenspannweite (B-Fläche) höhere Bleigehalte als im unmittelbaren Mastbereich (A-Fläche) bestimmt werden.
- Die Bleigehalte auf den untersuchten Referenzflächen R unterscheiden sich signifikant von den Bleigehalten auf den A- und B-Flächen ($r = 0,54$ bzw. $0,58$, Signifikanzniveau $0,01$).
- Die von LfU/LfL durchgeführte Detailuntersuchung zeigt, dass die Bleigehalte sowohl mit zunehmender Entfernung zum Mast (verschiedenen Teilflächen) als auch mit zunehmender Tiefe abnehmen.
- Die Metalle Cadmium, Kupfer, Chrom und Nickel weisen keine erhöhten Gehalte im Boden auf mit Ausnahme eines Standortes nahe der Stadt Weiden, bei der eine Maßnahmenwertüberschreitung von Cadmium für den Pfad Boden-Pflanze durch das LfU festgestellt wurde (bei Cadmium kein Hinweis auf Masteinfluss).
- Zwischen Mastalter und Bleigehalten im Boden ist im unmittelbaren Mastbereich bei Ackerflächen und Nutzgärten ein mittlerer Zusammenhang (SPEARMAN $r = 0,57$), für die übrigen Nutzungen nur ein geringer Zusammenhang (SPEARMAN $r = 0,34$) feststellbar.
- Zwischen der Art der Beschichtung eines Mastes (bleihaltig/bleifrei) und den ermittelten Bleigehalten im Boden besteht kein statistischer Zusammenhang. Hier ist allerdings anzumerken, dass die Anzahl der Masten mit bleihaltiger Beschichtung (88, 5 %) gegenüber denen mit bleifreiem Anstrich (11,5 %) in dieser Untersuchung deutlich höher war.
- Von erhöhten Bleigehalten unterhalb eines Mastes können keine Rückschlüsse auf die Bleigehalte unter anderen Masten derselben Trasse gezogen werden.
- Zwischen den Zink- und den Bleigehalten im Oberboden besteht auf den mastnahen Flächen (A/P1-Fläche) eine mittlere Korrelation (SPEARMAN $r = 0,58$, Signifikanzniveau $0,01$) (Grund: geogen/pedogenes Vorkommen beider Metalle im Boden und in der Regel auch Bestandteil von Korrosionsschutzanstrichen).

- Die pH-Werte liegen auf den mastnahen Flächen (A-/P1-Flächen) im Oberboden überwiegend im neutralen Bereich (pH-Werte von 6,5–7,5). In diesem pH-Bereich ist Blei praktisch nicht pflanzenverfügbar.
- Auf Grundlage der Ergebnisse aller untersuchten Proben auf den Teilflächen A/P1 ist der Zusammenhang zwischen Säuregehalt des Bodens (pH-Wert) und Höhe der Bleikonzentration im Ammoniumnitrat-Extrakt nicht signifikant. 5 der 9 Prüfwertüberschreitungen wurden zwar bei pH-Werten < 5,5 gemessen, statistisch fallen sie allerdings nicht ins Gewicht.
- Für Zink besteht bei Gehalten über dem Prüfwert für Wachstumsbeeinträchtigungen (2 mg/kg TS im Ammoniumnitrat-Extrakt) ein enger Zusammenhang zwischen Zinkgehalt und pH-Wert (SPEARMAN $r = 0,73$, Signifikanzniveau 0,01).

Boden – Organische Schadstoffe (Detailuntersuchung LfU/LfL)

- An drei von acht Standorten wurden die Prüfwerte für Benzo(a)pyren nach BBodSchV auf mehreren Teilflächen überschritten (für Grünland kein Prüfwert). Auf den P1-Flächen sind die Belastungen bis in alle untersuchten Tiefenstufen nachweisbar.
- Die PAK16-Untersuchungsergebnisse zeigen bei 7 der 12 Standorte zum Teil sehr starke Vorsorgewertüberschreitungen an. Auch dieser Parameter ist auf den P1-Flächen bis in alle untersuchten Tiefenstufen nachweisbar. Teilweise sind die Konzentrationen in 10–30 cm Tiefe höher als in der darüber liegenden Bodenschicht. Ursache hierfür dürften teeröhlhaltige Schutzanstriche der Mastfüße sein.
- An zwei von vier Grünlandstandorten ergaben die Untersuchungen eine Maßnahmenwertüberschreitung von PCB6 auf der P1-Fläche. Die Kinderspielflächen sowie Acker- und Nutzgartenstandorte waren insgesamt unauffällig hinsichtlich PCB6, der Vorsorgewert wurde hier nicht überschritten.

Pflanzen (Detailuntersuchung LfU/LfL+ Betreiberuntersuchungen)

- Trotz z. T. erheblicher Prüfwert-Überschreitungen (Boden) für den Pfad Boden- Nutzpflanze liegen an den 4 untersuchten Acker-Standorten die Blei-Gehalte aller Winterweizen-Proben (Körner) weit unter dem Höchstgehalt der EU-Kontaminanten-VO. Dies gilt auch für die untersuchte Zuckermaisprobe aus dem Nutzgarten. Die Zink-Werte schwanken im Bereich der Durchschnittswerte, die im Rahmen der Besonderen Ernteterminierung bundesweit auf Winterweizen-Schlägen ermittelt werden.
- Die Teilflächen direkt am Mastfuß bzw. unter dem Mast (P1) waren an keinem der beprobten Acker-Standorte mit Winter-Weizen bestockt (beschränkend ist hier Größe der landwirtschaftlichen Fahrzeuge!), auch auf P2 war der Aufwuchs meist nur gering.
- Im Ammoniumnitratextrakt wird durch den bei pH < 5 gemessenen Wert der pflanzenverfügbare Gehalt an Blei und Zink erheblich überschätzt und ist für eine Voraussage der Pflanzengehalte nicht zielführend.
- Die Gras-Proben der 3 untersuchten Standorte liegen durchwegs weit unter dem Höchstgehalt für Blei der Futtermittelverordnung auch auf der Fläche mit 1100 mg Gesamtgehalt (= knapp unter Maßnahmenwert der BBodSchV). Die Zink-Gehalte liegen meist im für Gras üblichen

Schwankungsbereich, auf der Grünland-Fläche mit den höheren Blei- und Zinkwerten im Boden sind die Zink-Gehalte im Gras auf den mastnahen Flächen erhöht.

- Die von der LfL ermittelten Bleiwerte im Gras decken sich mit Ergebnissen von E.on (Untersuchung von 20 Grasproben in NRW im Hinblick auf Einhaltung der Futtermittelverordnung). Der Maximalwert auf der A-Fläche lag < 6 mg/kg, 88 % TS).
- Von den durch RWE in NRW untersuchten 30 Grünlandstandorten (Auswahlkriterium aus 210 Maststandorten hoher Bleigehalt (Gesamt, NH_4NO_3) und niedriger pH-Wert überschritten innerhalb der A-Fläche 4 Grasproben den Höchstgehalt der Futtermittelverordnung z. T. erheblich. Aufgrund der Kleinflächigkeit der Belastung und des Probenahmezeitpunktes (Mitte Oktober bis Anfang Dezember) handelt es sich dabei um Einzelfälle, die nicht als repräsentativ für eine praxisübliche Futtergewinnung zu bewerten sind (geringe Aufwuchsmenge, dadurch auch höherer Einfluss anhaftender Partikel von kontaminiertem Boden). Bei der Wiederholungsbe-
probung im Frühjahr und Sommer lagen die Bleiwerte der Grasproben auch bei diesen worst-
case Standorten unter oder nur knapp über dem Höchstgehalt der Futtermittelverordnung (Maximalwert A-Fläche 46 mg/kg 88 % TS).

Schlussfolgerung

Die Untersuchungen von Netzbetreibern, LfU und LfL machen deutlich, dass unterhalb von Stahlgitterstrommasten des Hoch- und Höchstspannungsnetzes kleinflächig durchaus die Gefahr einer schädlichen Bodenveränderung aufgrund von Schwermetalleinträgen aus dem Korrosionsschutz bestehen kann. Dies betrifft vor allem Masten mit älterem Baujahr (vor 1980) und Masten mit bleihaltigen Anstrichen. Da allerdings nicht alle untersuchten Standorte mit diesen Kriterien erhöhte Schwermetallgehalte im Boden aufwiesen, können keine Rückschlüsse auf die Gesamtheit der bisher nicht untersuchten Masten in Bayern (ca. 38.500) gezogen werden.

Wirkungspfadbezogen ergeben sich aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen folgende Schlussfolgerungen und Vorgehensweisen:

Bei Masten unter denen eine Prüfwertüberschreitung nach BBodSchV für den [Wirkungspfad Boden – Mensch](#) festgestellt wurde, werden die zuständigen KVB darauf hingewiesen, dass im Falle von Untersuchungen zur weiteren Gefährdungsabschätzung (Detailuntersuchungen) auch Resorptionsverfügbarkeitsuntersuchungen durchgeführt werden sollten. Das LfU soll über die Ergebnisse solcher Untersuchungen informiert werden und leitet diese auch an das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) weiter.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurden bereits alle bekannten Maststandorte auf Kinderspielplätzen untersucht. Sollten der zuständigen Behörde vor Ort (KVB) weitere Standorte bekannt werden (z. B. „inoffizielle“ Spielflächen in Wohngebieten oder Privatgärten), ist das LfU darüber zu informieren.

Die im Rahmen der Untersuchung zum [Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze](#) von der LfL entnommenen Pflanzenproben (Gras, Winterweizen) wiesen auch bei Überschreitung von Prüf- bzw. Maßnahmenwerten der BBodSchV im Boden keine Überschreitungen der Höchstgehalte nach

Futtermittelverordnung und EU-Kontaminantenverordnung auf. Auf 13 risikoorientiert ausgewählten Grünland-Standorten wurden mittlerweile durch das LGL weitere Futtermittelproben untersucht. Auch hier lagen alle Werte für Schwermetalle deutlich unter den Höchstgehalten der Futtermittelverordnung. Für weitere Bodenuntersuchungen im Umfeld von Strommasten auf Schwermetalle besteht deshalb auf Acker- und Grünlandflächen nach derzeitiger Erkenntnis kein Handlungsbedarf. Bei sensiblen Standorten (private Nutzgärten) könnte ggf. eine Einzelfallprüfung erforderlich sein (Entscheidung der Vollzugsbehörde).

Zur abschließenden Gefährdungsabschätzung und wegen der bisher geringen Probenanzahl für Lebensmittel werden durch das LGL im laufenden Jahr noch verschiedene Ackerfrüchte und Gemüse aus dem Erwerbsgartenbau (risikoorientiert) untersucht.

Die bisherigen Untersuchungen lassen keine Aussagen über eine mögliche Gefährdung für den Wirkungspfad Boden-Gewässer zu. Da aber an einigen vom LfU untersuchten Standorten erhöhte Schwermetallgehalte (i. d. R. Blei und/oder Zink) auch in tieferen Bodenschichten (30–60 cm) festgestellt wurden, haben sich zumindest Hinweise auf eine mögliche Tiefenverlagerung von beschichtungsbürtigen Schwermetallen ergeben. Zum weiteren Erkenntnisgewinn strebt das LfU deshalb für den [Wirkungspfad Boden – Gewässer](#) weitere Untersuchungen in Zusammenarbeit mit den Netzbetreibern an.

7 Literatur

- [1] AMT FÜR UMWELTSCHUTZ GLARUS (2001), Schweiz: „Sanierung korrosionsgeschützter Bauten – gewusst wie“, Veröffentlichungsreihe UmweltPraxis, Nr. 26 / April 2001
- [2] BROSIUS, F. (2008): SPSS 16 – Fundierte Einführung in SPSS und die Statistik.- 949 S., Heidelberg (Redline).
- [3] IFUA (2008): Fachinformation, „Auswirkungen des Korrosionsschutzes an Freileitungsmasten – Analyse im Höchstspannungsnetz des RWE Transportnetz Strom“, IFUA - Projekt – GmbH, Bielefeld. unveröff.
- [4] LABO (2009): „Empfehlungen für Bodenuntersuchungen im Umfeld von Strommasten“, LABO Arbeitsgruppe „Bodenbelastungen bei Hochspannungsmasten und Stahlbrücken“
- [5] LANUV NRW (2009): „Handlungsempfehlungen Stromleitungsmasten“ . 2. Version unveröff.
- [6] MARTI & STETTER (2001): „Korrosionsschutz und Umwelt – Erfahrungen aus der Schweiz“, Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung, Heft 13 / Nr. 3
- [7] UBA (2008): „Verfahren und Methoden für Bodenuntersuchungen. - Angabe der Messunsicherheit bei chemischen Bodenuntersuchungen für den Vollzug der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung“. - FBU Arbeitsgruppe „Qualitätssicherung und Ergebnisunsicherheit für Bodenuntersuchungsverfahren“ Umweltbundesamt Dessau-Roßlau. <http://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2008/6614/pdf/3511.pdf>.

