

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Institut für Hygiene
-Direktor: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Helge Karch-

**Schwermetallbelastung und pH-Werte in Böden
des südlichen Teils der Stadt Münster**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae

der Medizinischen Fakultät

der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von
Barth, Georg Maria
aus Ennigerloh
2008

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan:

Univ.-Prof. Dr. med. Volker Arolt

1. Berichterstatter:

Prof. Dr. rer. nat. Werner Mathys

2. Berichterstatter:

Prof. Dr. med. Wolfgang Fegeler

Tag der Promotion:

19.11.2008

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Institut für Hygiene
-Direktor: Univ. Prof. Dr. rer. nat. Helge Karch-
Referent: Prof. Dr. rer. nat. Werner Mathys
Koreferent: Prof. Dr. med. Wolfgang Fegeler

Zusammenfassung

Barth, Georg Maria

SCHWERMETALLBELASTUNG UND PH-WERTE IN BÖDEN DES SÜDLICHEN TEILS DER STADT MÜNSTER

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Erhebung der Schwermetallbelastung und der pH Werte der Böden der Stadt Münster. Da zum Untersuchungszeitpunkt nur wenige Daten über die Schwermetallbelastung der Stadt vorlagen, wurde die Erhebung des Status quo erforderlich, um einen horizontalen und auch einen späteren vertikalen (zeitlicher Verlauf) Vergleich durchführen zu können.

Im südlichen Teil Münsters wurden von Mai 1986 bis Mai 1987 327 Bodenproben aus 167 Rastern von jeweils 1 km² Fläche entnommen. Es wurde unterschieden zwischen den Nutzungsarten Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Wohngebiet und Industriegebiet. Analysiert wurden die pH-Werte und die Schwermetalle Kobalt, Nickel, Chrom, Kupfer, Zink, Blei und Cadmium nach Königwasseraufschluss.

Die Betrachtung der pH-Werte zeigt eine deutliche Versauerung der Waldgebiete unterhalb von pH 3,5. Schwermetallbelastungen traten nur bei Zink und Blei punktuell auf. Sie wurden in Wohngebieten wie an der Meppener-, Scheiben- und Ottostraße, sowie in oberflächlichen Horizonten einiger Waldgebiete ermittelt. Keine Probleme bestanden für andere Flächen, auch in Hinsicht auf die oben genannten untersuchten Schwermetalle.

Im Vergleich mit anderen Gebieten lag die Schwermetallbelastung der Böden Südmünsters in den Jahren 1986/1987 unterhalb der empfohlenen Bodenrichtwerte. Punktuelle Belastungen waren vorhanden. Es erscheint sinnvoll, dass in enger zeitlicher Abfolge weitere vergleichbare Untersuchungen durchgeführt werden, um rechtzeitig Veränderungen im Immissionsgeschehen entdecken zu können.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1.0 Einleitung	1
1.1 Allgemeine Struktur und Funktion von Böden.....	1
1.2. Schwermetalle und ihr Wirkungszusammenhang mit der Umwelt	5
1.2.1. Kobalt	6
1.2.2. Nickel	6
1.2.3. Kupfer.....	7
1.2.4. Chrom	7
1.2.5. Zink	8
1.2.6. Blei	8
1.2.7. Cadmium	9
1.3. Zielsetzung.....	10
1.4. Material und Methoden.....	11
1.4.1. Böden der Stadt Münster.....	11
1.4.2. Erstellung eines Rastersystems und Auswahl der Entnahmestellen	11
1.4.3. Struktur der untersuchten Flächen.....	12
1.4.4. Probenentnahme	13
1.4.5. Untersuchte Parameter.....	13
1.4.6. Untersuchungstechnik und Verfahren.....	14
1.4.6.1. Schwermetallmessungen	14
1.4.6.2. Messung des pH-Wertes	14
1.4.7. Statistische Auswertung	14
2.0 Ergebnisteil	16
2.1 pH-Werte.....	16
2.1.1. pH-Werte der Gesamtproben.....	16
2.1.2. pH-Werte der Proben aus landwirtschaftlich genutzten Flächen	17
2.1.3. pH-Werte der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Flächen	18
2.1.4. pH-Werte der Proben aus Wohngebieten	19
2.1.5. pH-Werte der Proben aus industriell genutzten Flächen	20
2.2. Kobalt.....	21
2.3 Nickel.....	24
2.4 Kupfer	27
2.5. Chrom	30
2.6 Zink.....	33
2.7 Blei.....	36
2.8 Cadmium.....	39
3.0 Diskussion.....	43
3.1 pH-Werte.....	43
3.2 Kobalt.....	47
3.3 Nickel	48
3.4 Kupfer	50
3.5 Chrom	52
3.6 Zink	55
3.7 Blei.....	58
3.8 Cadmium.....	61
4.0 Vergleich der Untersuchungsergebnisse mit anderen Untersuchungen	63
5.0 Literatur.....	66
6.0 Danksagung.....	72
7.0 Lebenslauf (in Druckversion).....	73
8.0 Lageplan südlicher Teil der Stadt Münster mit Probeentnahmestellen	I
9.0 Tabellarischer Anhang	II - VIII

1.0 Einleitung

Als Schwermetalle werden alle Metalle mit einer Dichte von mehr als 5g/cm^3 bezeichnet. Sie können in unterschiedlichen Formen auftreten und verschiedene chemische Reaktionen eingehen. In dieser Arbeit soll ein Status quo der Schwermetallbelastung von Böden im Stadtgebiet der Stadt Münster erhoben werden, um in vergleichenden Untersuchungen Veränderungen darstellen zu können und um rechtzeitig Änderungen im Immissionsgeschehen und mögliche negativen Folgen für Pflanze, Tier und Mensch abwenden zu können.

Als eine wichtige Maßnahme, um die u. a. durch Schwermetalleinträge verursachte Bodenbelastung einschränken zu können, wurde am 25.02.1982 die Klärschlammverordnung erlassen (Klärschlammverordnung 1982). In ihr wird die in der Landwirtschaft weit verbreitete Aufbringung von Klärschlämmen geregelt, bzw. die regelmäßige Kontrolle der Böden, sowie Grenzwerte für Schwermetalle in den Böden festgelegt, auf die Klärschlämme aufgebracht werden sollen. Der Geltungsbereich bezieht sich auf landwirtschaftliche, forstwirtschaftliche und gärtnerisch genutzte Flächen. Die Grenzwerte in der Klärschlammverordnung werden aber auch allgemein auf anders genutzte Böden angewendet, wie z.B. die der Wohn- und Industriegebiete. Hier stellen sie jedoch wegen der zum Untersuchungszeitpunkt noch fehlenden gesetzlichen Regelung lediglich Richtwerte dar, an Hand derer die Belastungssituation abgeschätzt und verglichen werden konnte (Kloke, 1985),(Bachmann 1999).

1.1 Allgemeine Struktur und Funktion von Böden

Der Boden besteht aus den verschiedensten Komponenten wie Mineralien, organischen Bodenbestandteilen, Bodenluft und –wasser, sowie aus unterschiedlichen Gasen und Salzen. Die organischen Bodenkomponenten wirken u. a. bei der Entstehung von Tonmineralien und Oxiden mit. Die Mineralien machen den anorganischen Teil der Bodenkomponenten aus. Diese unterscheiden sich in ihrer Korngröße welche von Ton über Sand bis zum Kies zunimmt. Das Bodenwasser wird in Poren verschiedener Größe in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Bodenpartikel und der Menge an bereits vorhandenem Bodenwasser unterschiedlich stark gehalten. Es kann einige organische Komponenten und Salze lösen und diese so für die Aufnahme in Pflanzen verfügbar machen (Brümmer 1978).

In Abhängigkeit von den Bodenhorizonten variiert der Gehalt der jeweiligen Komponenten. Im Vergleich besitzen die oberflächennahen Böden höhere Gehalte an organi-

schen Substanzen und Luft, die tieferen Bodenschichten haben höhere Mineralgehalte und mehr Bodenwasser (Paul und Huang 1980). Stoffeinträge aus Luft und Wasser, sowie verschiedenartige Bodennutzungsformen können zu einer grundlegenden Strukturänderung des Bodens führen. Die wichtigsten Funktionen des Bodens beschreibt Keller (1986): Boden dient als

- Basis der Ökosysteme
- Erholungsraum
- Filter- und Puffersystem

zur

- Nahrungssicherung
- Grundwasserneubildung und -reinhaltung
- Rohstoffgewinnung
- Lagerung von Abfällen.

Diesen Funktionen stehen vielfältigen Gefährdungen des Bodens gegenüber, zum Beispiel Überweidung und Rodung, Verbrauch von Land und Schadstoffeinträge über verschiedene Medien (von Lersner 1982). Die einzelnen Bodenhorizonte schichten sich in unterschiedlicher Mächtigkeit unterhalb der Oberfläche mit verschiedener Zusammensetzung im Profil auf. Dabei unterscheidet Schachtschabel zwischen Unterwasserhorizonten und organischen, sowie mineralischen Lagen (Scheffer und Schachtschabel 2002). Die physikalischen, chemischen und biologischen Abläufe in Böden lassen sich in Anlehnung an Keller wie folgt beschreiben (Keller 1986):

- a) als Filterwirkung der Böden. Die Porosität des Filtermediums ist hierbei wesentlich.
- b) Pufferwirkungen, die definiert werden können als Fähigkeit des Bodens, Stoffe durch Adsorption oder chemische Fällung zu binden und so aus dem Stoffkreislauf zu entfernen.
- c) Belastbarkeit mit Schadstoffen. Sie nimmt u. a. mit dem Gehalt an organischen Substanzen, Ton, Eisen- und Aluminiumoxiden und Karbonaten zu. Die Löslichkeit der Schwermetalle Blei, Kupfer, Cadmium und Zink z.B. steigt mit abnehmendem pH-Wert der Bodenlösung (Herms und Brümmer 1978a).
- d) Ionenaustausch. Insbesondere Tonminerale und organische Substanzen als Bestandteile des porösen Mediums können der wässri-

gen Phase Ionen wie z.B. Schwermetalle entziehen und im Tausch gegen diese, andere Ionen in die Lösung abgeben.

- e) Adsorption, welche besonders für die Schwermetalle als ionische Schadstoffe einen entscheidenden Regelmechanismus darstellt.
- f) Biotische Akkumulation. Sie kann später zur Freisetzung von akkumulierten Stoffen führen.

Der pH-Wert wird als Maß für die Konzentration der Wasserstoffionen im Boden, bzw. in der Bodensuspension angegeben. Die H^+ -Ionen-Produktion erfolgt im Boden auf vielfältige Weise. Durch die Atmung der Bodenorganismen und Pflanzen entsteht CO_2 , welches unter Bildung von Wasserstoffionen mit H_2O reagieren kann.

In Naturböden steigt der pH-Wert von oben nach unten, weil die Auswaschung in Nähe der Oberfläche stärker ist als in unteren Horizonten, während in Kulturböden infolge Zufuhr von alkalischen Düngemitteln der pH-Wert in Oberböden oft höher liegt als in Unterböden.

Für die verschiedenen Puffersysteme der Böden besteht ebenfalls eine Abhängigkeit vom pH-Wert. Diese Puffersysteme werden nach Ulrich in sechs Pufferbereiche aufgliedert, durch die bestimmte Böden charakterisiert werden(Ulrich 1981, Ulrich et al. 1984):

Pufferbereiche des Bodens	pH-Wert	
Eisenpuffer	2,8-3,2	Säuren werden durch Auflösung von Eisenoxiden gepuffert
Al-/Fe Pufferbereich	3,2-3,8	Übergangspufferbereich
Al-Pufferbereich	3,8-4,2	Säuren werden durch Freisetzung von Al-Ionen aus Tonmineralien abgepuffert
Austauscherpufferbereich	4,2-5,0	Wie Al-Pufferbereich. Kapazität für Kationenaustausch geht zurück
Silikatpufferbereich	5,0-6,2	Verwitterung von Silikaten geht mit Freisetzung von Kationenbasen u. -säuren einher
Carbonatpufferbereich	6,2-8,3	Säuren werden durch Auflösung von Calcium-carbonat gepuffert

Tab. 1: Pufferbereiche und pH-Werte in Böden

1.2. Schwermetalle und ihr Wirkungszusammenhang mit der Umwelt

Um eine leichtere Einordnung der Umweltrelevanz der untersuchten Schwermetalle zu ermöglichen erfolgt eine Beschreibung der untersuchten Elemente und ihres Wirkungszusammenhanges in der Umwelt.

Chem. Bezeichnung	Co	Ni	Cu	Cr	Zn	Pb	Cd
Atomgewicht	58,9	58,7 1	63,5	52,0	65,4	207,1 9	112, 4
Oxid. stufen	+2+3	0+1 +2	+1+2	+2+3 +6	0+2 +4	0+2+4 +6	+2
Mittlerer Gehalt d. Erdkruste [mg/kg]	20	40	47	70	40	16	0,13
Normalgehalt der Böden [mg/kg]	10-15	5-50	4-40	5-100	10-80	2-60	<0,5
Grenzwert lt. KLSVO [mg/kg]	50	50	100	100	300	100	3
<u>Emissionen aus:</u>							
natürlichen Quellen	-	26 $\times 10^6$	18,5 $\times 10^6$	-	43,5 $\times 10^6$	24,5 $\times 10^6$	0,83 $\times 10^6$
anthropogene Quellen [mg/kg]	-	47 $\times 10^6$	56 $\times 10^6$	-	314 $\times 10^6$	449 $\times 10^6$	7,3 $\times 10^6$

Tab. 2:

Kobalt: (Elinder und Friberg 1979), (Scheffer und Schachtschabel 2002), (Klärschlammverordnung 1982), (Kloke 1980), Nickel: (Norseth und Piscator 1979), (BMI 1985), (Scheffer und Schachtschabel 1982), (Klärschlammverordnung 1982), (Nriagu 1979), Kupfer: (Piscator 1979), (BMI 1985), (Scheffer und Schachtschabel 1982), (Klärschlammverordnung 1982), (Nriagu 1979), Chrom: (Langard und Norseth 1979), (Scheffer und Schachtschabel 1982), (Klärschlammverordnung 1982), Zink: (Elinder und Piscator 1979), (Wedepohl 1972), (Scheffer und Schachtschabel 1982), (Klärschlammverordnung 1982), (Nriagu 1979), Blei: (Tsuchia 1979), (BMI 1985), (Scheffer und Schachtschabel 1982), (Klärschlammverordnung 1982), (Nriagu 1979), Cadmium: (Friberg und Kjellström 1979), (BMI 1985), (Scheffer und Schachtschabel 1982), (Klärschlammverordnung 1982), (Nriagu 1979).

1.2.1. Kobalt

Das Schwermetall Kobalt wird im Boden vor allem an Mangan- und Eisenoxide gebunden und kommt weiterhin als Begleitelement anderer Bodenminerale vor. Aufgrund seiner Bindung im Boden steht das Kobalt auch nur in geringem Maße für die Aufnahme in Pflanzen zur Verfügung. Seine Löslichkeit ist wie die anderer Schwermetalle abhängig vom pH-Wert des Bodens. Es kann im sauren Milieu eine vermehrte Auswaschung des Kobalts mit dem Grundwasser erfolgen (Scheffer und Schachtschabel 1982), (Ulrich 1981). Als wichtiger Bestandteil des Vitamin B ist Kobalt für Menschen und Tiere ein essentielles Spurenelement. Ein vollständiger Mangel bewirkt u. a. eine perniziöse Anämie und kann die Nukleinsäuresynthese verhindern (Kieffer 1984). Das Spurenelement reichert sich im menschlichen Körper vor allem in Leber und Nieren an. Als Folge einer beruflichen Exposition können Pneumokoniosen, Allergien und Lungenfibrosen auftreten. Systemisch kann Kobalt wegen seines erythropoetischen Effektes zur Polyzythämie führen (Elinder und Friberg 1979). In Form atembare Stäube und Aerosole gilt das Kobalt als Krebs erzeugend (TA-Luft 1986).

1.2.2. Nickel

Im Boden wird Nickel an Tonminerale, Eisen-, Mangan- und Aluminiumoxide gebunden (Scheffer und Schachtschabel 1982). Tonminerale haben eine besonders starke Affinität zu einigen Schwermetallen im Boden. Daraus resultiert auch die Immobilität des Nickels in Böden. (Förstner und Wittmann 1979). Die Löslichkeit des Elementes ist deutlich abhängig von Bodenreaktionen. Sie steigt mit abnehmendem pH-Wert des Bodens (Herms und Brümmer 1980). Bereits bei einer Konzentration im Pflanzenmaterial von nur 50 ppm konnte eine Wachstumsbeeinflussung festgestellt werden (El Bassam 1982). Eine Akkumulation im Menschen erfolgt hauptsächlich in Niere, Leber und Lunge. Toxische Effekte des Nickels auf das respiratorische System können u.a. Asthma, Pneumokoniosen und Nasenscheidewanddefekte hervorrufen, während es auf die Haut sensibilisierend wirken und zu atopischer Dermatitis und Allergien führen kann (Norseth und Piscator 1979). Durch seine extrem karzinogene Potenz kann das Nickel nach Inhalation der Abgase von Dieselmotoren zum Krebs des Respirationstraktes führen (Costa et al. 1984).

1.2.3. Kupfer

In der Umwelt kommt Kupfer in vielen Medien vor. Von den Gesteinen sind die Basalte besonders kupferreich, während Kalk- und Sandsteine, sowie Granit oft nur sehr geringe Mengen enthalten (Müller 1980). Im Boden wird Kupfer stark an Tonminerale und organische Substanzen, sowie teilweise silikatisch gebunden (Scheffer und Schachtschabel 1982). Es ist dort meist nur schwer beweglich und wird daher kaum verlagert oder ausgewaschen (Müller 1980),(Tayler 1989). Essentiell ist das Kupfer für Pflanze, Tier und auch für den Menschen. Kupferablagerungen kann man vor allem in Leber, Herz, Gehirn, Nieren und Muskeln finden (Piscator 1979). Die Funktionen des Kupfers im Stoffwechsel des Menschen sind vielfältig, z.B. als Bestandteil der Cytochrom-Oxidase, des Coeruloplasmins, der Uricase und anderer Enzyme. Demzufolge resultieren aus einem Mangel an Kupfer diverse Störungen (Kieffer 1984).

1.2.4. Chrom

In Abhängigkeit vom pH-Wert des Bodens kann Chrom hier in drei- oder vierwertiger Form vorliegen. Es zeigt sich jedoch, dass seine Löslichkeit nur sehr gering ist und somit seine Verlagerbarkeit und Verfügbarkeit ebenfalls. Mit sinkendem pH-Wert des Bodens steigt die Löslichkeit von Chrom und umgekehrt (Scheffer und Schachtschabel 1982). In einer Untersuchung Knabes zeigt sich, dass Chrom als schwerlösliches Element an der Oberfläche liegen bleibt und in der Humusschicht und dem obersten Mineralbodenhorizont akkumuliert. (Knabe 1985). Es besitzt wie viele andere Spurenelemente ein hohes toxisches Potential für akute Baumkrankheiten, ist aber für Mensch und Tier essentiell (Smith 1981). Das dreiwertige Chrom ist wichtig zur Förderung der Insulinwirkung. Weiterhin spielt es im Lipid- und Proteinmetabolismus eine Rolle (Costa et al. 1984). Es kann bei einem vollständigen Chrommangel z.B. zum Diabetes kommen (Kieffer 1984). Toxische Konzentrationen können klinisch in Erscheinung treten mit Hautulcera, Dermatitisen, aber auch mit Bronchialasthma und Lungenkarzinomen (Langard und Norseth 1979). Akute Vergiftungen machen sich als Diarrhöe, gastrointestinale Blutung, Krämpfe, sowie als Leber- und Nierenschäden bemerkbar (Ganghofer 1984).

1.2.5. Zink

Im Boden wird dieses Schwermetall an Tonminerale gebunden, bildet Komplexe mit der organischen Bodensubstanz und wird an verschiedene Oxide adsorbiert (Scheffer und Schachtschabel 1982). Die niedrigsten Zinkgehalte von Böden sind bei neutralen pH-Werten zu erwarten. Die Löslichkeit des Elementes nimmt unterhalb pH 6 deutlich zu. Damit einher geht die erhöhte Verfügbarkeit für Pflanzen und auch für Mikroorganismen (Adams, Sanders, 1984). Weiterhin steigt die Löslichkeit mit zunehmendem Gesamtgehalt an Zink im Boden. Sie sinkt jedoch in Gegenwart von organischen Substanzen im pH-Bereich von 4-6 ab (Herms und Brümmer 1980). Zink ist ein essentielles Spurenelement. Als Bestandteil verschiedener Enzyme, wie der alkalischen Phosphatase, der Alkoholdehydrogenase und anderen, ist es unentbehrlich (Buddeke 1989). Ein Mangel kann zu Anhäufung von Stoffwechselmetaboliten, Alkoholvergiftung und Proteinmangel führen (Kieffer 1984). Besonders für Wachstum und Entwicklung, sowie für die Fortpflanzung ist Zink unentbehrlich. Ein relativ häufiges Symptom eines chronischen Zinkmangels ist der Verlust des Geschmack- und Geruchssinnes. (Henkin 1984). Da das Zink häufig in Kombination mit Cadmium auftritt, ist bei Vergiftungen auch immer mit erhöhten Cadmiumwerten im Körper zu rechnen (Elinder und Piscator 1979), (Henkin (1984).

1.2.6. Blei

Blei ist im Boden sehr mobil. Es wird durch Adsorption an Eisen-, Aluminium- und Manganoxide gebunden, sowie durch Bildung unlöslicher metallorganischer Komplexe mit der organischen Bodensubstanz in den ersten zwanzig Zentimetern des obersten Bodenhorizontes festgelegt (Scheffer und Schachtschabel 1982, Brümmer, Zeien, 1994). Organische Substanz wirkt oberhalb pH 6, bzw. 5 senkend auf die Löslichkeit von Blei, unterhalb dessen wirkt sie jedoch steigend (Herms und Brümmer 1978b). Durch die erhöhte Löslichkeit auch in den sehr niedrigen pH-Bereichen nehmen die Verlagerbarkeit und Verfügbarkeit des Bleis zu. Bei niedrigen pH-Werten des Bodens kann das Blei somit auch von Pflanzen leichter aufgenommen werden. Hohe Bleigehalte können bereits bei Pflanzen Wachstumsschäden hervorrufen und zusätzlich die Tätigkeit der Mikroorganismen im Boden hemmen (Merkel und Köster 1981). Die Aufnahme von Blei durch Inhalation ist deutlich höher als die enterale Resorption. Kinder besitzen hierbei einen wesentlich höheren Resorptionsfaktor als Erwachsene. Ablagerungen finden sich hauptsächlich im Skelettsystem, wo das Blei in enge chemische

Wechselwirkung mit dem Calcium des Knochens tritt (Lehnert und Szadkowski 1983). Die Erythrozyten sind ein weiterer Ort für Ablagerungen des Bleis im Körper. Das Blutblei wird zu 90% an sie gebunden. Klinische Anzeichen einer akuten Bleivergiftung sind Anorexie, Dyspepsie, Koliken des Gastrointestinaltraktes, sowie besonders bei Kindern häufiger zu beobachtende Enzephalopathien (Di Farrante, 1979). Chronische Bleivergiftungen äußern sich in Anämien. Das Blei greift in die Synthesekette des Hämoglobins ein. Auch kann es zu peripheren Neuropathien führen (Silbergeld, 1985). Der Primärweg einer Exposition der Allgemeinbevölkerung mit Blei führt über die Nahrungsmittel. Weitere Quellen sind bleihaltige Farben, Böden und Stäube.

1.2.7. Cadmium

Für Lebewesen ist das Schwermetall Cadmium nicht essentiell und wirkt bereits in geringen Mengen toxisch. Es kommt in der Natur fast immer mit Zink vergesellschaftet vor. Verschiedene Parameter können das Verhalten des Cadmiums im Boden mitbestimmen. Seine geringste Löslichkeit zeigt es bei Boden- pH-Werten von 7 und 8. Unterhalb dessen nimmt sie dann stark zu. Bereits bei einem pH-Wert von 6 im Boden besteht für Cadmium eine 8-15fach höhere Löslichkeit als beim pH-Wert von 7 (Hermes und Brümmer 1980). Weiterhin besteht für die Löslichkeit eine Abhängigkeit vom Gesamtgehalt im Boden, von Ad- und Desorptionsprozessen, von Redoxbedingungen und dem Gehalt an organischer Substanz im Boden. Das gelöste Cadmium wird für die Pflanzen verfügbar und übt bereits in geringen Mengen eine schädliche Wirkung auf sie und auf Mikroorganismen aus (Scheffer und Schachtschabel 1982). In Pilzen reichert sich das Schwermetall besonders stark an (Forth et al. 1987). Ingestion und Inhalation stellen bei Menschen die wichtigsten Aufnahmemechanismen für Cadmium dar. Ablagerungsorte sind vor allem Leber und Nieren. Die Ausscheidung erfolgt nur sehr langsam. Die biologische Halbwertszeit von ungefähr 20 Jahren bedingt eine Akkumulation des Cadmiums mit zunehmendem Alter. Inhalation toxischer Mengen cadmiumhaltiger Stäube führt zu Kurzatmigkeit, Schwäche und Fieber, sowie zur respiratorischen Insuffizienz bis hin zum Tod. Nach Ingestion toxischer Mengen zeigen sich Übelkeit, Erbrechen, abdominelle Krämpfe, Diarrhöen und Schock. Chronische Vergiftungen erfolgen besonders durch Exposition an Arbeitsplätzen. Unter den vielen Auswirkungen auf den menschlichen Körper ist hier vor allem der renale tubuläre Schaden zu beachten, welcher mit Proteinurie, Hochdruck, Anämie und Knochenaufbaustörungen einhergeht (Friberg et al. 1979).

1.3. Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit war es, die Schwermetallbelastung und pH-Werte der Böden im südlichen Teil der Stadt Münster auf dem Stand der Jahre 1986/87 zu untersuchen und darzustellen, um einen Status quo bei zunehmender Umweltbelastung zu erheben. Des weiteren wurden in einigen Waldböden Schwermetallgehalte und pH-Werte in Abhängigkeit von der Bodentiefe untersucht. Hierfür wurden in größeren zusammenhängenden Waldgebieten Süd-Münsters zusätzlich Proben aus einem 30 cm tiefen Bodenhorizont (A_h-Horizont) analysiert.

1.4. Material und Methoden

1.4.1. Böden der Stadt Münster

Die Stadt Münster liegt in der nach ihr benannten dreieckig geformten Münsterländer Bucht, innerhalb der westfälischen Tieflandebene. Der Untergrund dieser Ebene besteht aus mergeligen, sandigen und kalkigen Absätzen der oberen Kreidezeit. Den eigentlichen Boden bilden Anhäufungen des Eiszeitalters. Über einer zentralen Kreidetafel liegt eine dünne Decke von Geschiebelehm, die gerade bei Münster von sandigen Wällen der sog. Münsterländischen Endmoräne unterbrochen wird. Das münstersche Heidesandgebiet erstreckt sich von hier bis zum Teutoburger Wald als eine mächtige Hülle fluvoglazialer Sande (Schrepfer 1935),(Glässer 1973). Eine schmale Kiessandzone durchzieht das Stadtgebiet Münsters von Nord nach Süd und biegt danach in Richtung Hohe Ward ab. Der Boden des Stadtzentrums wird hauptsächlich durch Geschiebemergel gebildet.

Westlich des Stadtkerns schließt sich mit kurzer Unterbrechung durch eine Schicht Geschiebemergel bei Roxel, eine große Fläche mit Sand- und Lößboden an, welcher im Südwesten bis zur Stadtgrenze wiederum eine Schicht Geschiebemergel folgt. Östlich hiervon folgt, unterbrochen von dem bereits oben erwähnten Kiessandzug, eine Schicht älterer Gesteine. Im Osten grenzen an den Stadtkern Böden aus Terrassensanden, Decksanden und Löß (Baecker-Baumeister 1983). Zu ähnlichen Aussagen kommen Müller-Wille und Bertelsmeier (1955). Danach reicht die sog. Wolbecker Sandebene bis zur östlichen und südlichen Stadtgrenze. Diese Ebene, zusammen mit dem Uppenberger Geestrücken als einem Kiessandzug, der Holtruper Lehmebene mit der Geschiebemergelschicht im Südwesten und dem Roxeler Riedel als Sand- und Lößschicht im Westen, bilden die Böden des südlichen Gebietes der Stadt Münster.

1.4.2. Erstellung eines Rastersystems und Auswahl der Entnahmestellen

Ausgehend vom amtlichen Stadtplan der Stadt Münster in der Fassung von 1980 im Maßstab 1:20000 wurde ein Raster mit jeweils 1 km² betragender Größe der Abschnitte angelegt (Stadt Münster 1980). Insgesamt wurden in dieser Untersuchung 160 km² im südlichen Teil Münsters bearbeitet. Jeder Quadratkilometer wurde mit einer eigenen Nummer gekennzeichnet, (siehe auch anhängende Karte der Stadt Münster im Maßstab 1 : 75.000 (Stadt Münster 1977). Weiterhin sollten die vorhandenen Nutzungsarten der landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Nutzflächen, sowie der Wohngebiete und Industriegebiete berücksichtigt werden. Dafür wurde aus jedem Quadratkilometer

von den im Stadtplan ausgewiesenen Bodennutzungsarten jeweils eine Mischprobe nach Vorschrift entnommen. Die Entnahmepunkte sollten sich jeweils möglichst in der Mitte eines Quadratkilometers befinden.

1.4.3. Struktur der untersuchten Flächen

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche macht laut Flächennutzungsplan der Stadt Münster mehr als die Hälfte des Stadtgebietes aus (Der Oberstadtdirektor der Stadt Münster 1983). Die Landwirtschaftsflächen im Untersuchungsbereich befinden sich hauptsächlich im östlichen und südöstlichen Stadtgebiet (Stadt Münster 1980). Die Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen wechselt von Getreide-, Gemüse- und Futtermittelanbau über Viehhaltung bis zum brachliegenden Feld oder Acker. Die größten forstwirtschaftlich genutzten Flächen des untersuchten Bereiches liegen an der südöstlichen und südlichen Grenze des Stadtgebietes. Hier sind hauptsächlich der Tiergarten Wolbeck, die Hohe Ward, der Staatsforst Münster und die Davert zu nennen. Weiterhin befindet sich südlich Mecklenbecks am Autobahnkreuz Münster Süd ein größeres Waldgebiet. Zusätzlich dazu können hier noch die Grossen Lodden zwischen Gremmendorf und Hiltrup als größeres Waldstück angegeben werden. Verstreut über das ganze Untersuchungsgebiet liegen kleinere forstwirtschaftlich genutzte Flächen, die hier nicht im Einzelnen aufgelistet werden können (Stadt Münster 1980).

Die für die vorliegende Untersuchung relevanten größeren Wohngebiete liegen in dem Gebiet zwischen Mecklenbecker und Hammer Straße, sowie in den einzelnen Stadtteilen außerhalb des Zentrums. Letztere sind teilweise noch durch Landwirtschaft mitgeprägt und heben sich bereits durch das geringere Verkehrsaufkommen von den zentrumsnahen Wohnbereichen ab (Der Oberstadtdirektor der Stadt Münster 1983).

Die Industriegebiete werden im FNP gemeinsam mit den gewerblich genutzten Flächen aufgeführt. Industrie ist hauptsächlich östlich der Hammer Straße am Kanal bis zum Albersloher Weg angesiedelt. In Richtung Zentrum reiht sich ein weiteres Gebiet um den Stadthafen an. Südöstlich vom Ortsteil Mecklenbeck liegen entlang der Weseler Straße weitere Industriegebiete. Im FNP werden noch einige kleinere Industrie- und Gewerbegebiete in den Ortsteilen Roxel, Albachten, Amelsbüren, Hiltrup, Gremmendorf und Wolbeck aufgezeigt.

1.4.4. Probenentnahme

In allen Nutzflächen betrug die Einstichtiefe in den Boden 10 cm nach Entfernung des Oberflächenbewuchses. In den größeren Waldgebieten Münsters, wie Tiergarten Wolbeck, Hohe Ward, Staatsforst Münster und Davert, wurden zusätzliche Proben aus einem 30 cm tiefen Bodenhorizont entnommen. Die Bodenhorizonte werden unterteilt in organische- und mineralische Horizonte. Der organische Horizont, O-Horizont, liegt dem Mineralboden auf und enthält über 30% organische Substanz. Der A-Horizont ist der Mineralhorizont im Oberboden. Er enthält weniger als 30% organische Substanz. Das zusätzlich zur Lage angegebene Horizontmerkmal h bedeutet huminstoffakkumuliert (Scheffer und Schachtschabel 1982). Die Kennzeichnung der Entnahmestellen, bzw. Proben erfolgte durch fortlaufende Nummerierung, wobei die Stelle hinter dem Komma die jeweilige Bodennutzungsart angibt.

Landwirtschaft (a)	=	,1
Forstwirtschaft (b)	=	,2 (A, - Horizont = ,2,3)
Wohngebiet (c)	=	,3
Industriegebiet (d)	=	,4

(Zu den Messergebnissen siehe auch Anhang)

1.4.5. Untersuchte Parameter

Die Gesamtmenge der untersuchten Bodenproben beträgt 327. Insgesamt wurden 303 Proben des O-Horizontes (0-10 cm) untersucht. Davon stammen 127 Proben (41,9 %) aus landwirtschaftlich genutzten Flächen, 103 Proben (34,0 %) aus forstwirtschaftlich genutzten Flächen, 52 Proben (17,2 %) aus Wohngebieten und 21 Proben (6,9 %) aus Industriegebieten. Zusätzlich wurden in den forstwirtschaftlich genutzten Flächen Tiergarten Wolbeck, Hohe Ward, Staatsforst Münster und Davert 24 Proben aus dem A_h-Horizont (humoser Oberboden) untersucht. Die untersuchten Parameter lauten:

1. Wasserstoffionenkonzentration (pH<H₂O> und pH<KCL>),
2. Gehalt der Schwermetalle Cobalt, Nickel, Kupfer, Chrom, Zink, Blei und Cadmium in mg/kg Trockengewicht der Proben.

Es wird eine Unterteilung in die einzelnen Bodennutzungsarten vorgenommen. Die Darstellung der Schwermetallkonzentration erfolgt als prozentuale Häufigkeit der Pro-

ben in Werteklassen. Die 24 zusätzlich ausgewerteten Proben des A_h-Horizontes werden dargestellt, um die unterschiedliche Verteilung der Metalle in Abhängigkeit der pH-Werte in den verschiedenen Horizonten zu veranschaulichen.

1.4.6. Untersuchungstechnik und Verfahren

Die entnommenen Bodenproben wurden im Trockenschrank bei 100°C über mindestens zwei Tage getrocknet. Danach wurden sie auf eine Korngröße von < 2mm gesiebt.

1.4.6.1. Schwermetallmessungen

Jeweils 5g der Trockensubstanz wurden mit Königswasser aufgeschlossen. Dazu wurde die Probe in einen Rundkolben gefüllt, mit 50 ml Königswasser, HCL + HNO₃ im Verhältnis 3:1 versetzt und unter dem Rückflusskühler 1 Stunde gekocht. Nach Abkühlen und Durchspülen des Rückflusskühlers mit Aqua bidest. wurde der Kolbeninhalt durch Papierfilter in geeichte 100 ml Messkolben abfiltriert. Dann erfolgte die Auffüllung des Messkolbens bis auf 100 ml mit Aqua bidest. Die so aufgeschlossenen Proben wurden in der Acetylen-Flamme am AAS gemessen.

1.4.6.2. Messung des pH-Wertes

Zur Messung des pH-Wertes wurden die Proben mit Aqua bidest., bzw. mit 1 molarer KCL-Lösung versetzt. Nach 24 Stunden wurde der pH(H₂O) und der pH(KCL) dann mit einer Glaselektrode und dem pH-Meter gemessen.

Der pH(H₂O) gibt die Konzentration der im Boden befindlichen wasserlöslichen Säuren an. Der pH(KCL) misst zusätzlich die durch Austausch frei werdenden Kationsäuren, wie z.B. Aluminiumionen. Durch die pH(KCL) Werte ist erkennbar, welche Säurestärke bei vorangegangener Säurebelastung des Bodens mindestens erreicht worden war. Der gemessene pH(H₂O) Wert gibt zusätzlich den Pufferbereich des geprüften Bodenhorizontes zur Zeit der Probenentnahme an.

1.4.7 Statistische Auswertung

Alle Analysendaten wurden mit dem relationalen Datenbankprogramm Paradox 3.5 (Borland, München) archiviert und für statistische und graphische Auswertungen exportiert. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm Statgraphics,

Version 5.5 plus und 6.0 plus (Statistical Graphics Corporation, Rockville, USA). Mediane und Interquartilbereiche wurden graphisch mit Hilfe der „(Notched) Box und Whiskerplots“ dargestellt. Diese Plots stellen dar: den Median, oberes und unteres Quartil („Box“), Vertrauensbereich des Medians („Notch“), 1,25x Quartilbereich („Whisker“).

Für die Varianzanalyse fanden Anwendung: 1. die Einweg Varianzanalyse von Mittelwerten (ANOVA), 2. der nicht parametrische Test nach Kruskal-Wallis (Kruskal-Wallis Einweg Ranganalyse). Konfidenzintervalle der Mittelwerte wurden nach der LSD-Methode (Fisher's least significant difference) berechnet und ausgewertet.

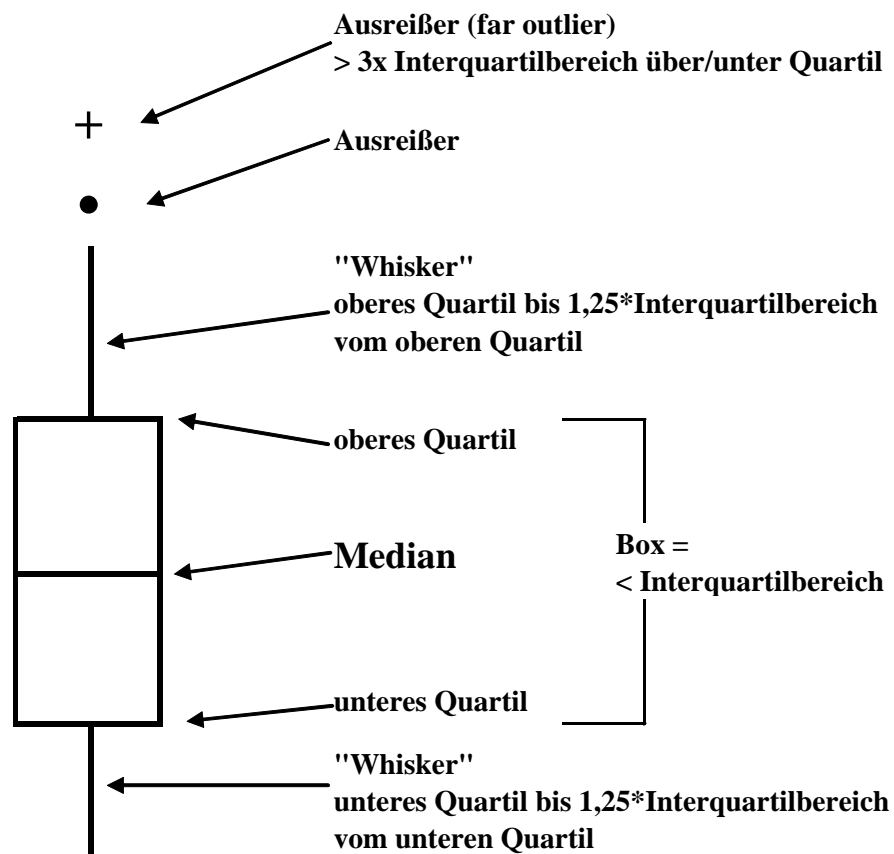


Abb. 1: Box u. Whisker Plot

2.0 Ergebnisteil

2.1 pH-Werte

2.1.1. pH-Werte der Gesamtproben

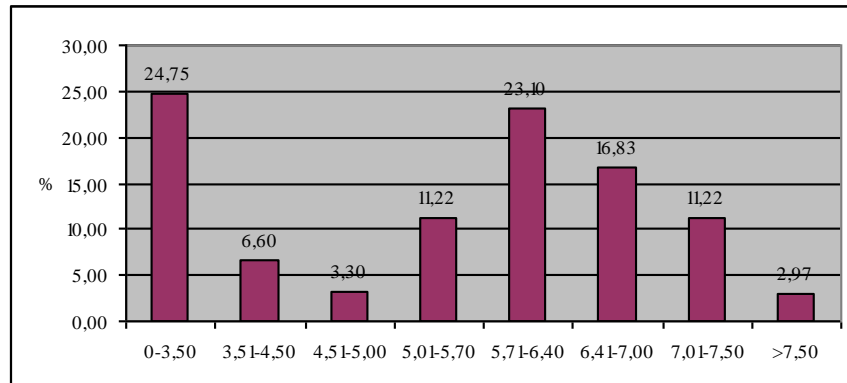


Abb. 2: Prozentuale Häufigkeitsverteilung des pH(H₂O) in der Gesamtmenge der Proben aus den Böden der Stadt Münster

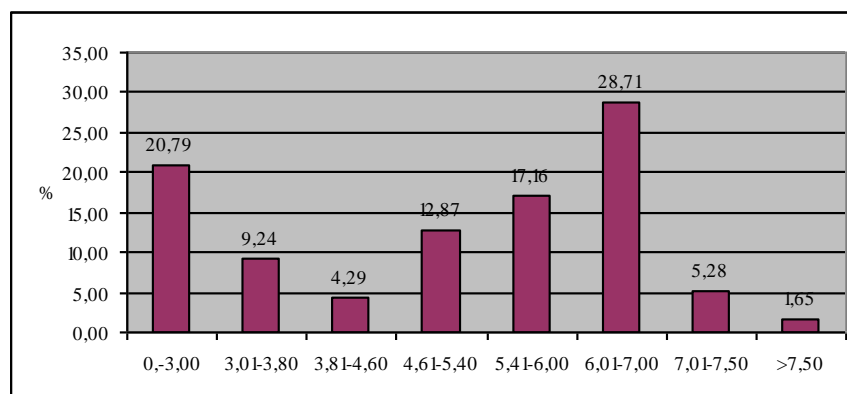


Abb. 3: Prozentuale Häufigkeitsverteilung des pH(KCL) in der Gesamtmenge der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Im Vergleich zeigen die Darstellungen des pH(H₂O) und des pH(KCL) der Gesamtproben eine ähnliche Verteilung. In beiden Diagrammen erkennt man eine deutliche Häufung der Verteilung im pH-Bereich unter 3,5, sowie im Bereich pH 5 bis 7.

2.1.2. pH-Werte der Proben aus landwirtschaftlich genutzten Flächen

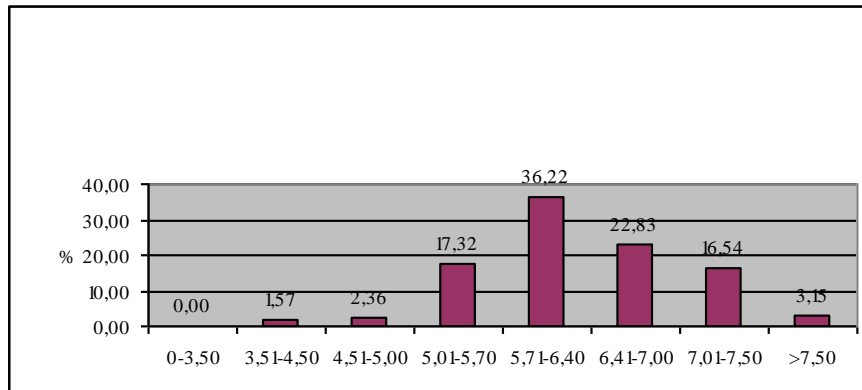


Abb. 4: Prozentuale Häufigkeitsverteilung des pH(H₂O) der Proben aus landwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

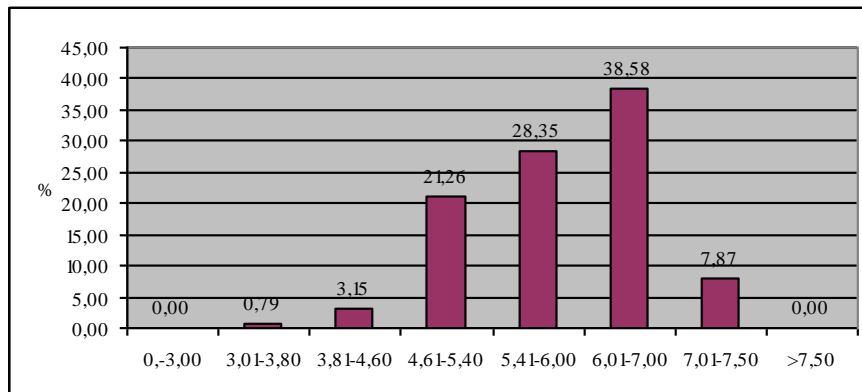


Abb. 5: Prozentuale Verteilung des pH(KCL) der Proben aus landwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Die pH-Werte der landwirtschaftlichen Proben zeigen typische Werte im Bereich um pH 6. Deutlich wird dieses auch durch die jeweiligen Mediane von 6,3 bei pH(H₂O) und 5,9 bei pH(KCL).

2.1.3. pH-Werte der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten

Flächen

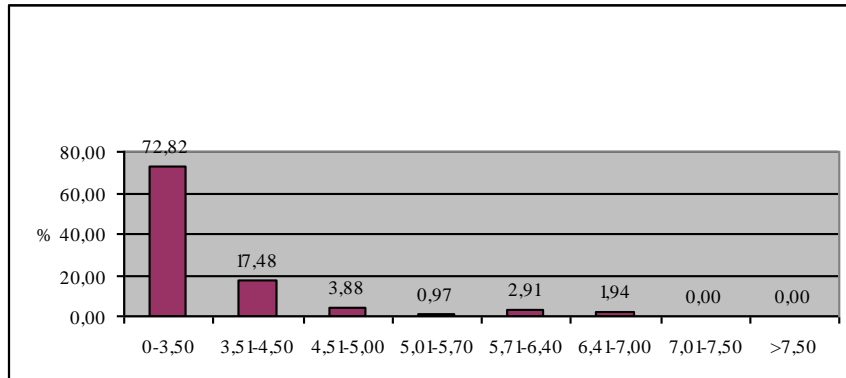


Abb. 6: Prozentuale Verteilung des pH(H₂O) der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

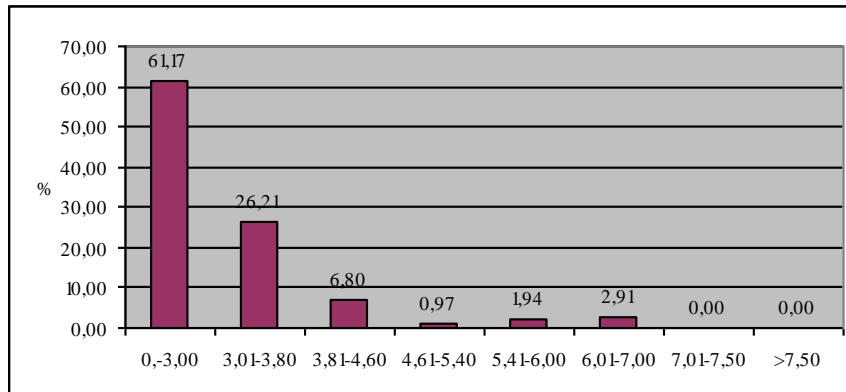


Abb. 7: Prozentuale Verteilung des pH(KCL) der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

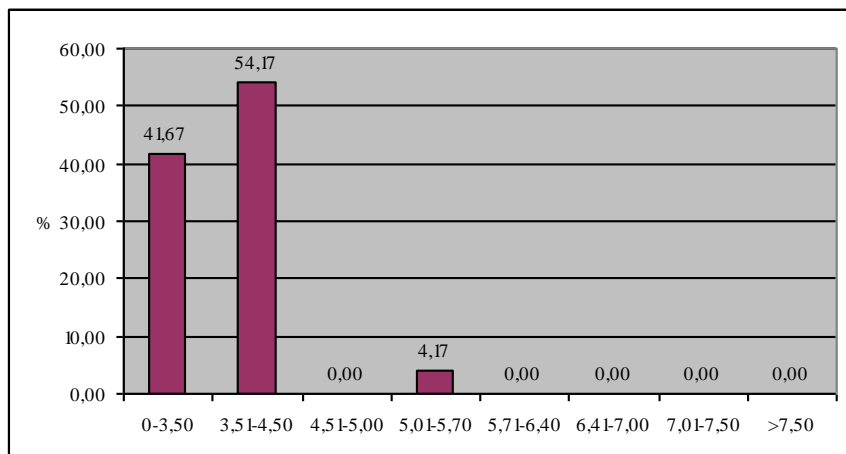


Abb. 8: Prozentuale Verteilung des pH(H₂O) im A_h-Horizont der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

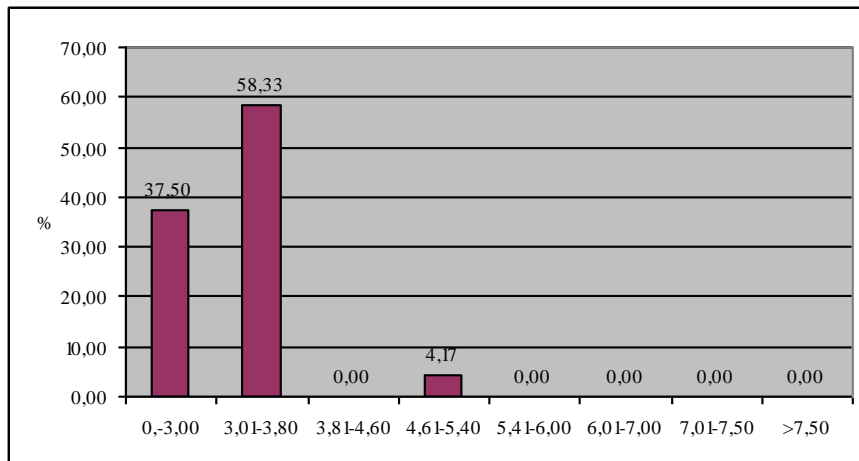


Abb. 9: Prozentuale Verteilung des pH(KCL) im A_n-Horizont der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Die Diagramme der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Flächen zeigen deutlich, dass der größte Teil sowohl der pH(H₂O)- als auch der pH(KCL)-Werte der untersuchten Proben im stark sauren Bereich unter pH 3,5 angesiedelt ist. Lediglich die Proben der A_n-Horizonte liegen mit gut 40 % noch im pH-Bereich zwischen 3,5 und 4,0.

2.1.4. pH-Werte der Proben aus Wohngebieten

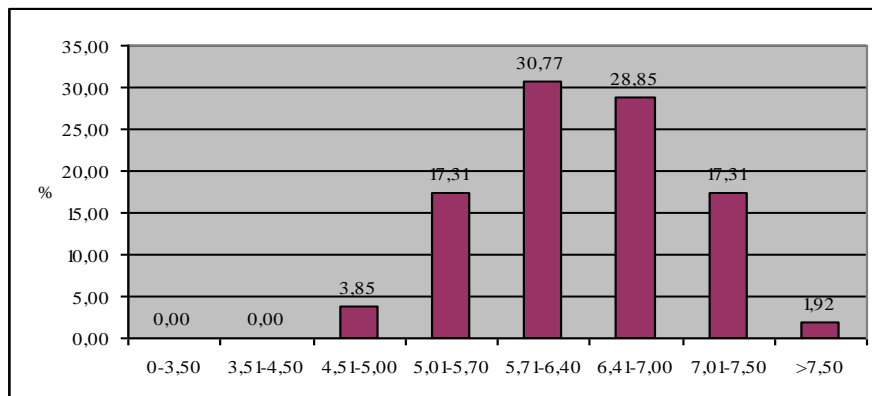


Abb. 10: Prozentuale Verteilung des pH(H₂O) der Proben aus Böden der Wohngebiete der Stadt Münster

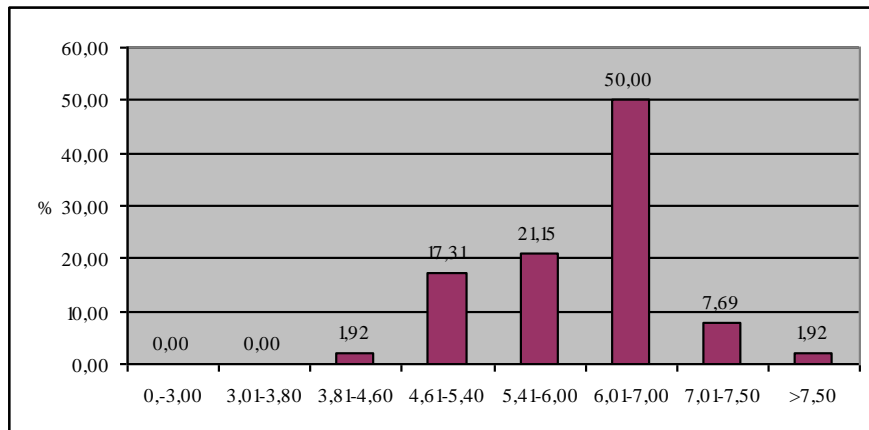


Abb. 11: Prozentuale Verteilung des pH(KCL) der Proben aus Böden der Wohngebiete der Stadt Münster

Die Untersuchungsergebnisse verteilen sich in beiden Darstellungen um den pH 6,5. Maximalwerte für pH(H₂O) und pH(KCL) betragen 8,3 bzw. 7,79. Die niedrigsten Werte betragen 4,79 bzw. 4,56.

2.1.5. pH-Werte der Proben aus industriell genutzten Flächen

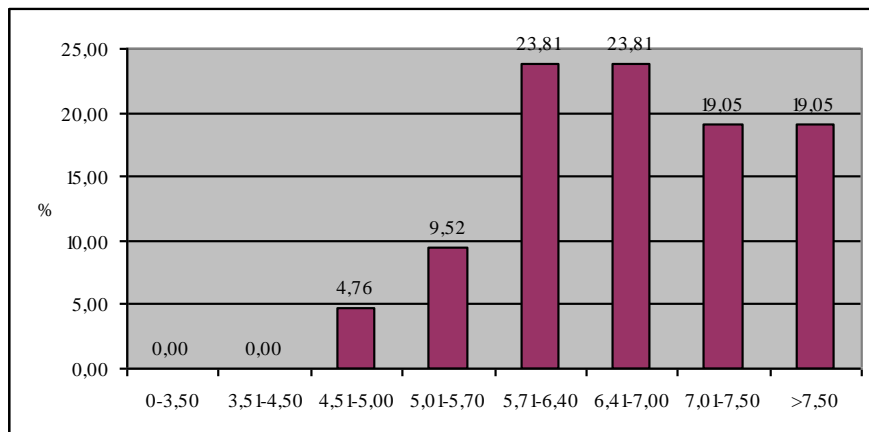


Abb. 12: Prozentuale Verteilung des pH(H₂O) der Proben aus industriell genutzten Böden der Stadt Münster

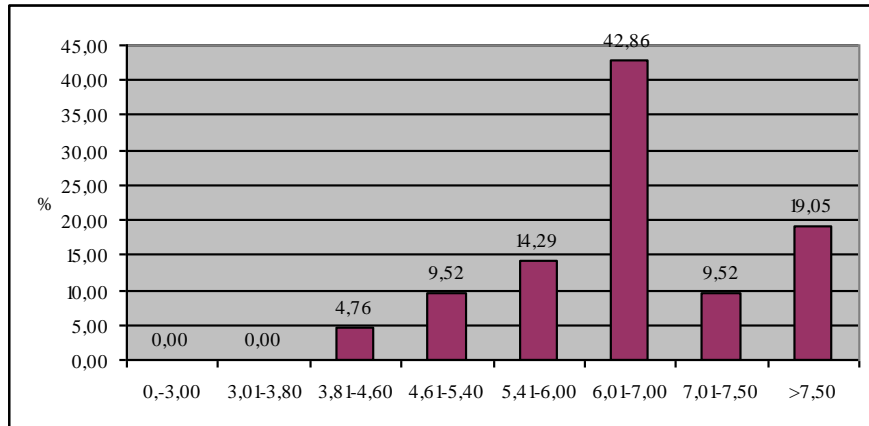


Abb. 13: Prozentuale Verteilung des pH(KCL) der Proben aus industriell genutzten Böden der Stadt Münster

Wie bei den Häufigkeiten der Proben aus Wohngebieten verteilen sich die typischen pH-Werte der Proben aus Industriegebieten um pH 6,5. Es kann lediglich eine etwas breitere Streuung beobachtet werden.

2.2. Kobalt

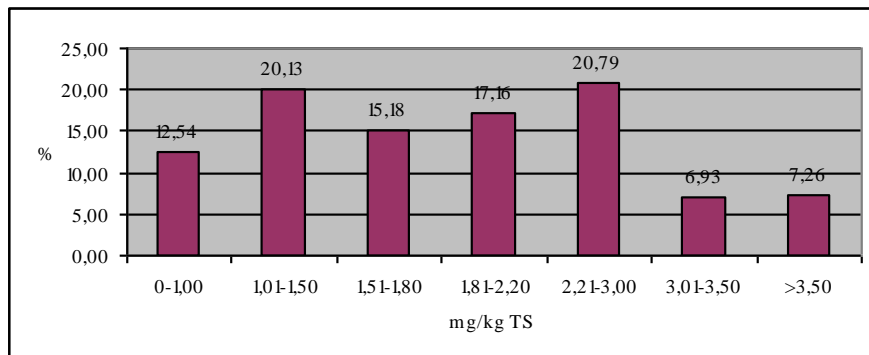


Abb. 14: Prozentuale Verteilung des Kobaltgehaltes in der Gesamtmenge der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Mehr als 45 % der Proben hat einen Kobaltgehalt unter 1,8 mg/kg. Eine ähnlich große Menge der Proben weist einen Gehalt zwischen 1,8 und 3,5 mg Kobalt pro kg Trockengewicht auf. Nur 7,3 % der Proben haben einen höheren Kobaltgehalt als 3,5 mg/kg.

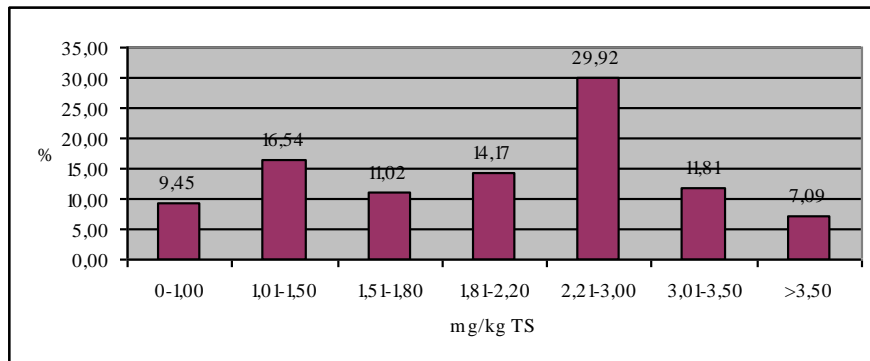


Abb. 15: Prozentuale Verteilung des Kobaltgehaltes der Proben aus landwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Von den landwirtschaftlichen Bodenproben enthalten über 35 % weniger als 1,8 mg Kobalt. Über 55% enthalten zwischen 1,8 mg und 3,6 mg. 1 % der Proben enthalten über 3,5 mg Kobalt pro kg Trockengewicht.

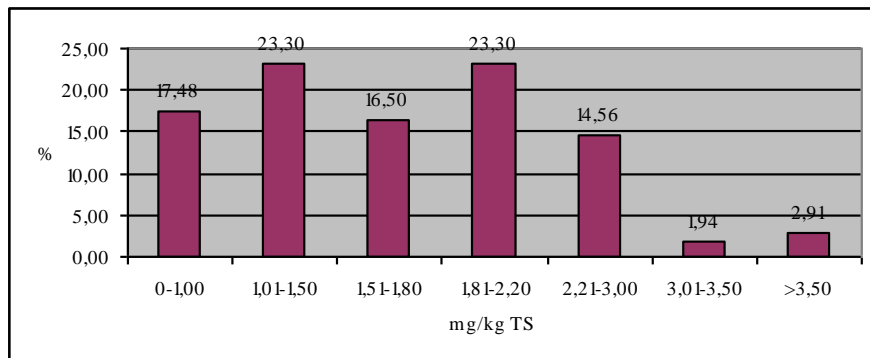


Abb. 16: Prozentuale Verteilung des Kobaltgehaltes der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

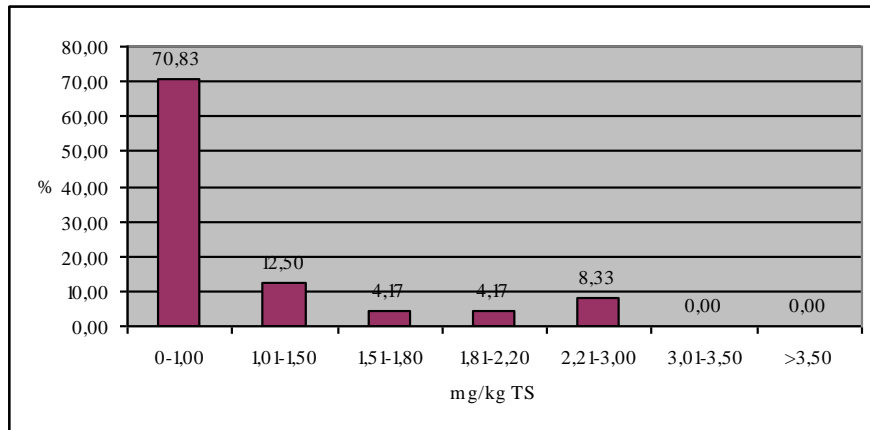


Abb. 17: Prozentuale Verteilung des Kobaltgehaltes im A_h-Horizont der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Von den Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Flächen enthalten über 90 % der Proben des O-Horizontes weniger als 3,0 mg Kobalt pro kg TS, womit gleichzeitig auch der Schwerpunkt der Verteilung klar wird. Knapp 6% liegen oberhalb einer Konzentration von 3,0 mg. 75 % der Proben aus dem A_h-Horizont haben einen Kobaltgehalt von unter 1,1 mg/kg. 12,5 % liegen zwischen Gehalten von 1,0 mg und 1,6 mg, während die restlichen Proben Gehalte zwischen 1,5 mg/kg und 3,1 mg/kg aufweisen. mehr als 3,0 mg Kobalt pro kg TS wurde in keiner Probe gemessen.

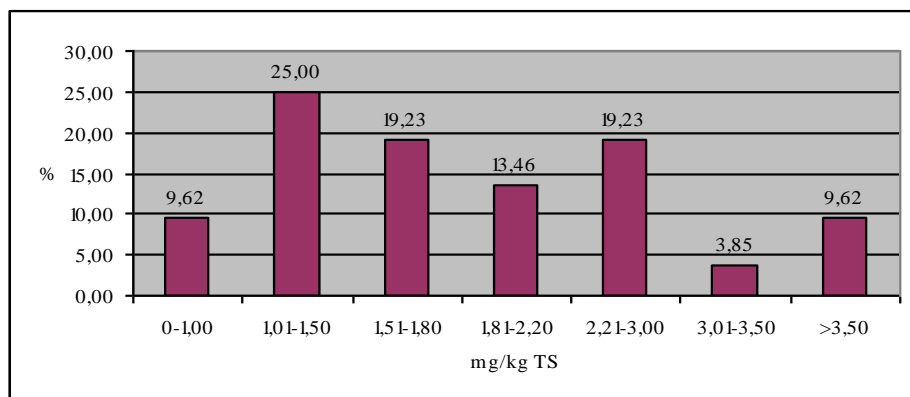


Abb. 18: Prozentuale Verteilung des Kobaltgehaltes der Proben aus Böden der Wohngebiete der Stadt Münster

Bei über 85 % der untersuchten Bodenproben aus Wohngebieten beträgt der Kobaltgehalt weniger als 3,0 mg/kg.

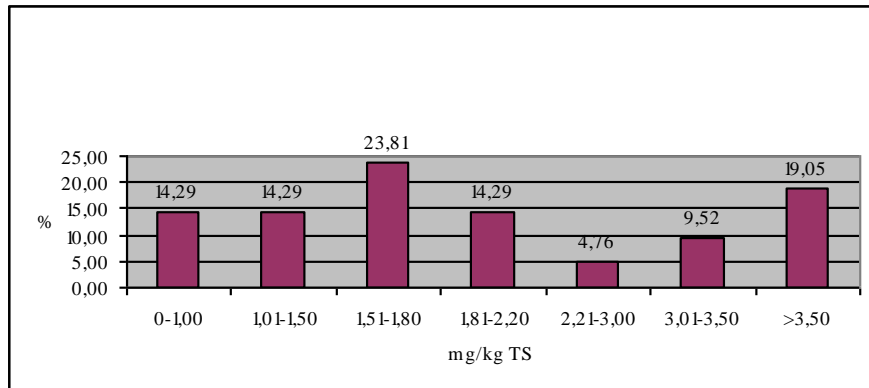


Abb. 19: Prozentuale Verteilung des Kobaltgehaltes der Proben aus Böden der Industriegebiete der Stadt Münster

Über 70% der Proben aus Industriegebieten haben einen Kobaltgehalt der unter 3,0 mg/kg liegt. 28,5 % liegen darüber, wobei in 19 % der Proben der Kobaltgehalt über 3,5 mg/kg beträgt. Es zeichnen sich zwei Schwerpunkte der Verteilung ab. Zum einen im niedrigen Konzentrationsbereich unter 2,2 mg/kg, zum anderen bei Gehalten über 3,5 mg Kobalt pro kg TS.

2.3 Nickel

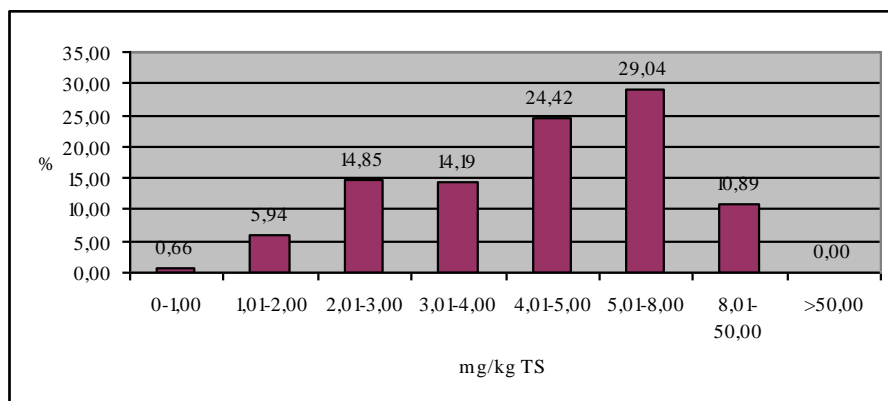


Abb. 20: Prozentuale Verteilung des Nickelgehaltes in der Gesamtmenge der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Von den 303 untersuchten Proben enthalten 22,1 % weniger als 3,0 mg Nickel pro kg Trockengewicht. Über 65 % der Proben enthalten zwischen 8,0 und 50 mg Nickel. Keine der untersuchten Proben enthält über 50 mg Nickel pro kg TS. Der Median der Gesamtmenge der Proben liegt bei 4,60 mg/kg.

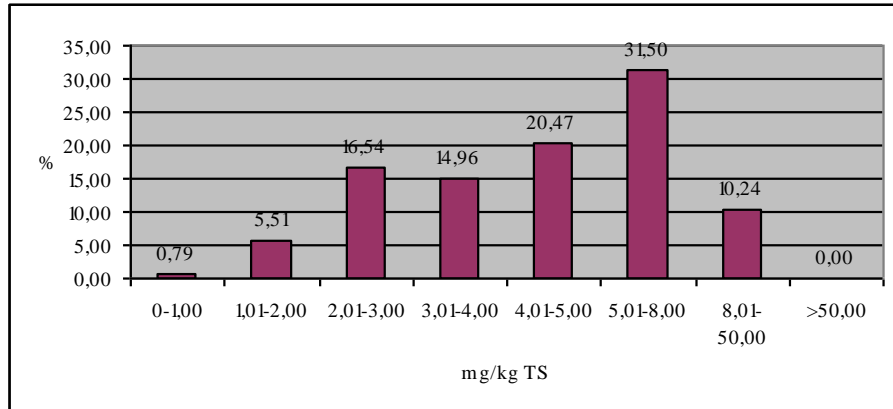


Abb. 21: Prozentuale Verteilung des Nickelgehaltes der Proben aus landwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Von den landwirtschaftlichen Proben enthalten 24,4 % weniger als 3,0 mg Nickel, während über 65 % der Proben zwischen 3,0 und 8,1 mg Nickel enthalten. 10,2 % enthalten zwischen 8 mg und 50 mg Nickel.

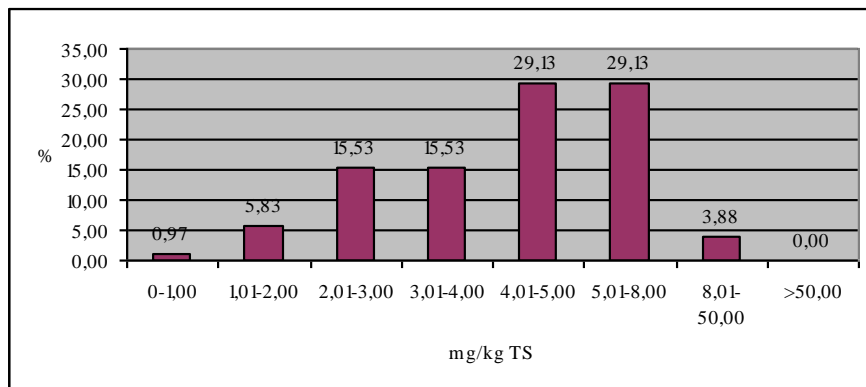


Abb. 22: Prozentuale Verteilung des Nickelgehaltes der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

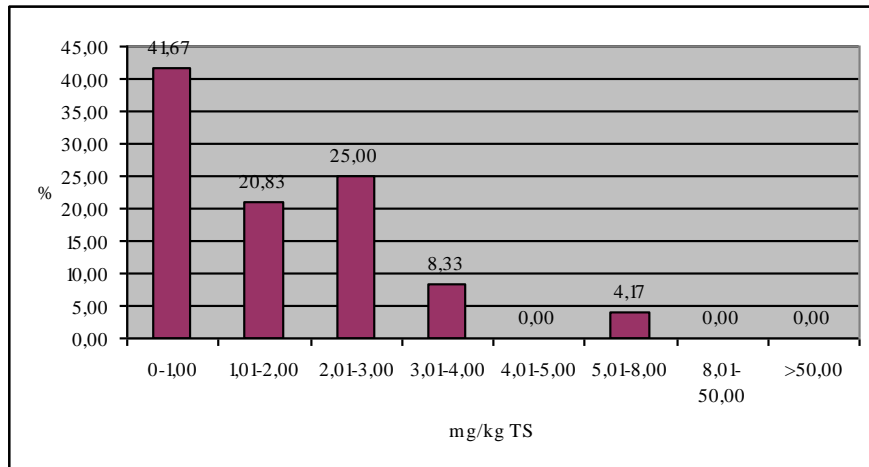


Abb. 23: Prozentuale Verteilung des Nickelgehaltes im A_h-Horizont der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

In den forstwirtschaftlich genutzten Flächen enthalten 22,3 % der untersuchten Proben aus dem oberen Bodenhorizont weniger als 3,0 mg Nickel pro kg TS. Über 75 % enthalten 3,0 bis 8,0 mg Nickel. Darüber liegend bis 50 mg enthalten noch 3,9 % der Proben.

Aus dem A_h-Horizont enthalten 87,5 % der Proben unter 3,0 mg Nickel. Die restlichen 12,5 % der Proben enthalten zwischen 3,0 und 8,0 mg Nickel. Keine der Proben enthält mehr als 8,0 mg/kg TS. Hier liegt der Schwerpunkt im niedrigen Konzentrationsbereich von unter 4 mg/kg.

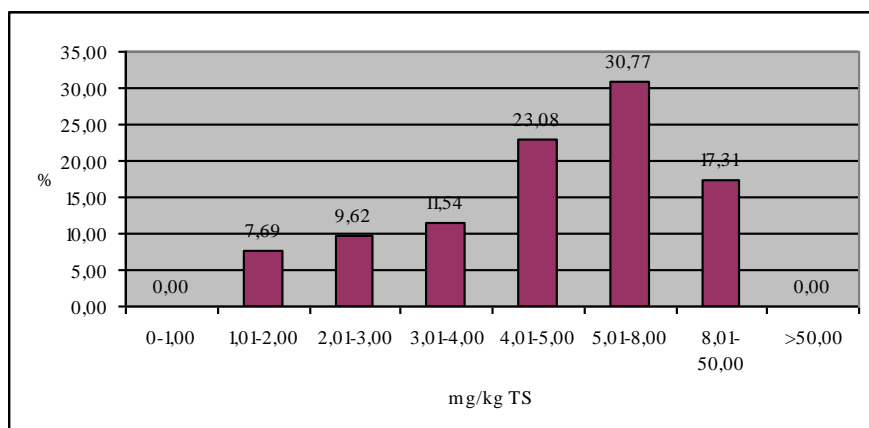


Abb. 24: Prozentuale Verteilung des Nickelgehaltes der Proben aus Böden der Wohngebiete der Stadt Münster

In den Wohngebieten enthalten 17,3 % der Proben unter 3,0 mg Nickel. 65 % liegen zwischen 3,0 mg und 8,1 mg. 17,3 % der Proben enthalten zwischen 8,0 mg und 50,0 mg Nickel pro kg TS.

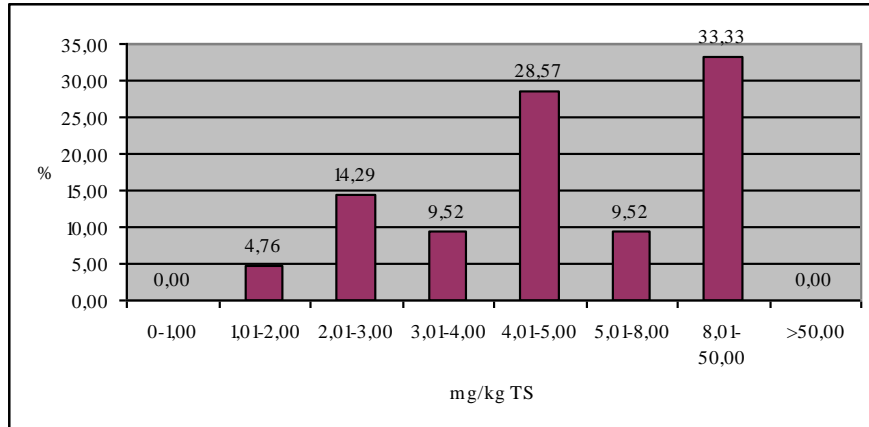


Abb. 25: Prozentuale Verteilung des Nickelgehaltes der Proben aus Böden der Industriegebiete der Stadt Münster

Die Bodenproben aus den Industriegebieten enthalten zu 19,1 % unter 3,0 mg Nickel. 47,6 % der Proben enthalten 3,0 mg bis 8,1 mg Nickel. 33,3 % beträgt der Anteil der Proben mit einem Nickelgehalt zwischen 8 mg und 50 mg. Der Trend der Verteilung geht deutlich in Richtung auf höhere Konzentrationen an Nickel in den Industriegebieten.

2.4 Kupfer

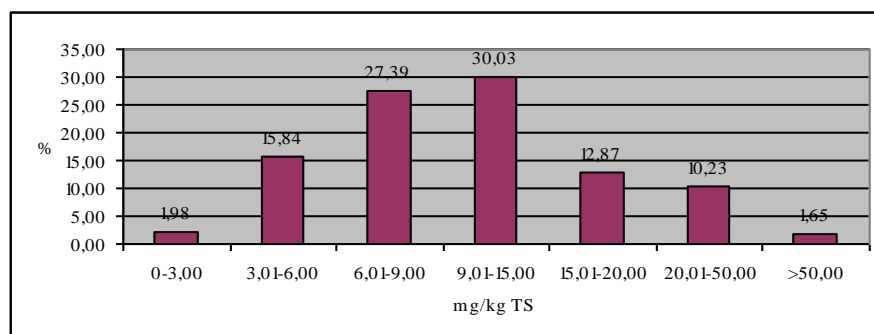


Abb. 26: Prozentuale Verteilung des Kupfergehaltes in der Gesamtmenge der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Von den 303 Proben des Untersuchungsgebietes enthalten 45,5 % weniger als 9 mg Kupfer pro kg TS. 52,8 % liegen im Bereich zwischen 9 und 50 mg. 1,7 % der gesamten Proben enthalten mehr als 50 mg Kupfer pro kg Trockengewicht. Der Median liegt für die Gesamtmenge der Proben bei einem Wert von 9,3 mg/kg.

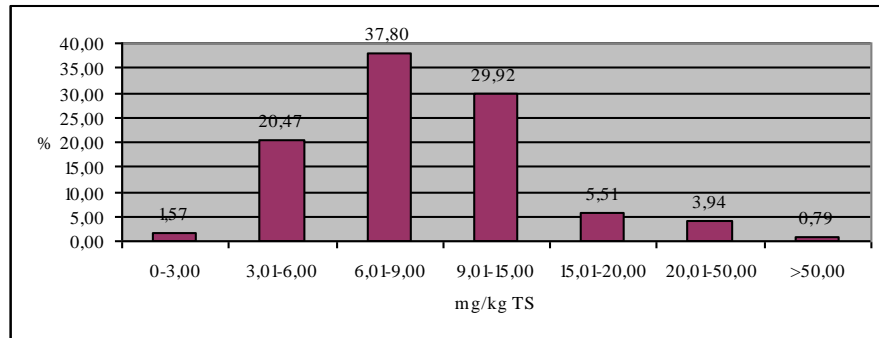


Abb. 27: Prozentuale Verteilung des Kupfergehaltes der Proben aus landwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Von den Proben der landwirtschaftlichen Flächen enthalten 62,3 % unter 9 mg Kupfer pro mg TS. Die restlichen 37,7 % der Proben enthalten zwischen 9 mg und 50 mg Kupfer. Keine der untersuchten Proben aus dem landwirtschaftlichen Bereich enthält über 50 mg Kupfer. Als Schwerpunkt der Verteilung ist hier der Konzentrationsbereich zwischen 3 und 15 mg Kupfer anzugeben.

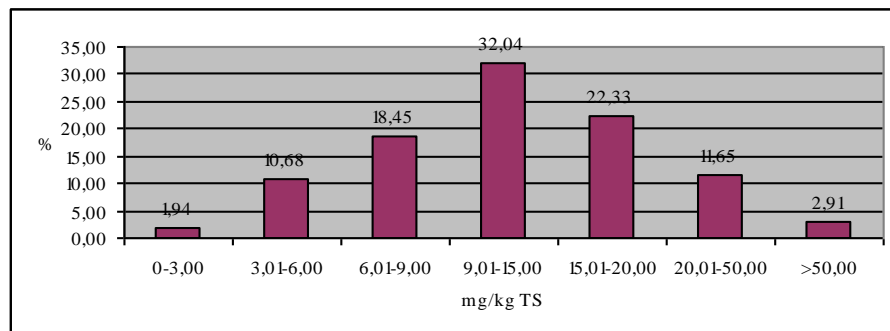


Abb. 28: Prozentuale Verteilung des Kupfergehaltes der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

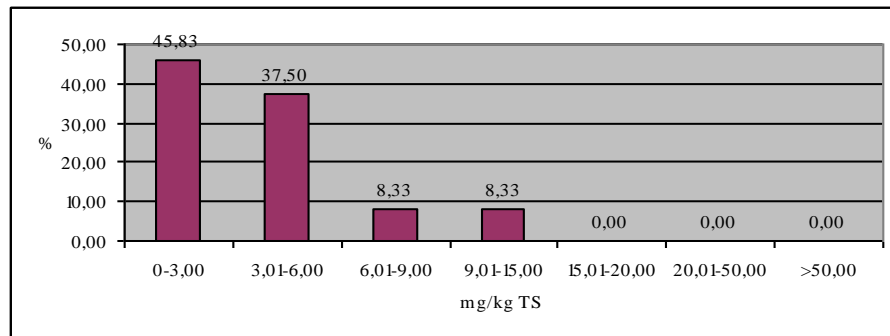


Abb. 29: Prozentuale Verteilung des Kupfergehaltes im A_h-Horizont der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Im forstwirtschaftlichen Bereich haben 28,1 % der untersuchten Proben aus dem oberen Horizont einen Kupfergehalt unter 9 mg/kg TS. Über 67 % liegen im Intervall zwischen 9 und 50 mg Kupfer. 3,9 % der Proben enthalten mehr als 50 mg/kg TS. Schwerpunkt der Verteilung im O-Horizont ist der Konzentrationsbereich von 6-20 mg Kupfer. 91,6 % aller forstwirtschaftlichen Proben aus dem A_h-Horizont enthalten unter 9 mg Kupfer, wobei 45,8 % sogar weniger als 3 mg enthalten. 8,1 % der Proben liegen im Intervall zwischen 9 mg und 15 mg. Proben mit mehr als 15 mg Kupfer pro kg TK wurden nicht ermittelt.

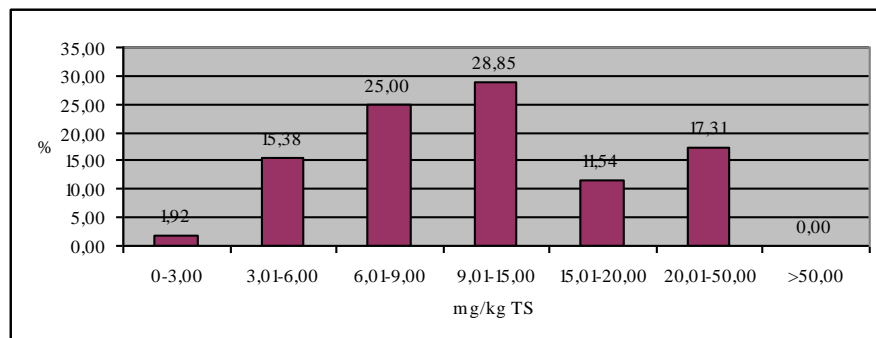


Abb. 30: Prozentuale Verteilung des Kupfergehaltes der Proben aus Böden der Wohngebiete der Stadt Münster

In den Proben der Wohngebiete sieht die Verteilung des Kupfers wie folgt aus: 44,2 % der Proben enthalten weniger als 9 mg Kupfer. Die restlichen 55,8 % enthalten zwischen 9 und 50 mg Kupfer pro kg TS. Keine Probe enthält über 50 mg/kg. Der Schwerpunkt der oben dargestellten Häufigkeiten liegt bei Konzentrationen unter 15 mg Kupfer.

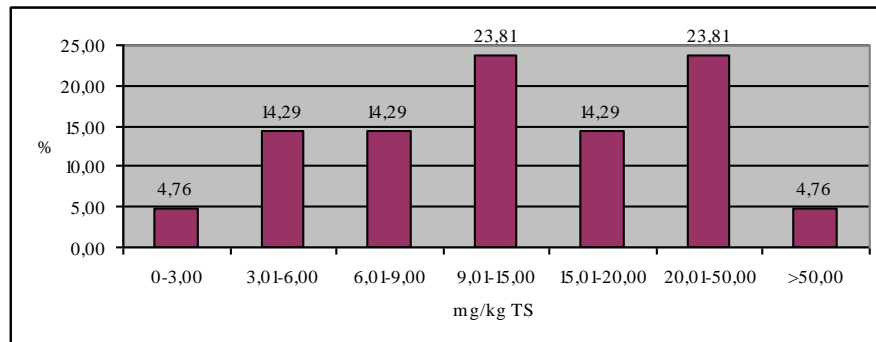


Abb. 31: Prozentuale Verteilung des Kupfergehaltes der Proben aus Böden der Industriegebiete der Stadt Münster

Die Bodenproben aus Industriegebieten enthalten zu 33,4 % unter 9 mg Kupfer. Bei 61,9 % beträgt der Gehalt an Kupfer 9 bis 50 mg. 4,8 % der Proben enthalten über 50 mg Kupfer pro kg TS. Ein besonderer Trend der Verteilung ist in den Industriegebieten nicht sicher zu ermitteln.

2.5. Chrom

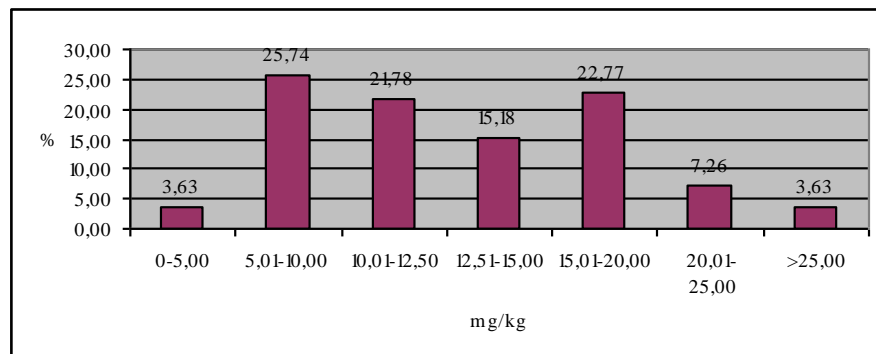


Abb. 32: Prozentuale Verteilung des Chromgehaltes in der Gesamtmenge der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Über 50 % aller untersuchten Bodenproben enthalten weniger als 12,5 mg Chrom pro kg Trockengewicht. Der Anteil der Proben die zwischen 12,5 mg und 25,1 mg Chrom enthalten beträgt über 45 %. 3,6 % der Gesamtzahl der Proben enthalten über 25 mg/kg. Als den Trend der Verteilung kann man hier den Bereich von 5 bis 20 mg Chrom ansehen obwohl kein eindeutiger Schwerpunkt zu ermitteln ist.

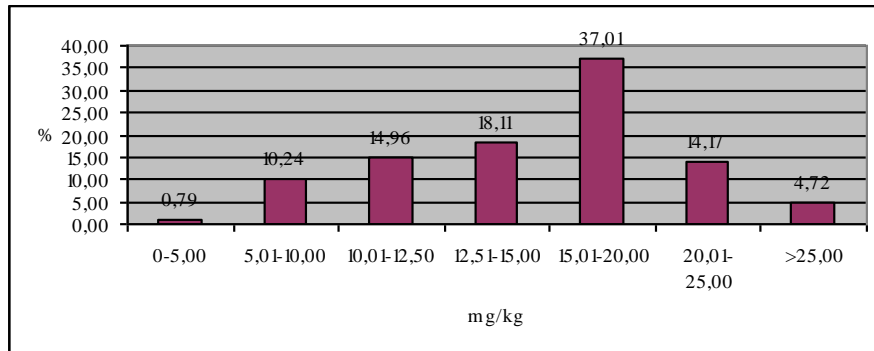


Abb. 33: Prozentuale Verteilung des Chromgehaltes der Proben aus landwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

In der obigen Graphik wird der Trend der Verteilung von Chrom in den Proben aus der Landwirtschaft zwischen 15 und 20 mg deutlich. Von diesen Proben enthalten 26,2 % weniger als 12,5 mg Chrom, während über 68 % im Intervall zwischen 12,5 mg und 25 mg Chrom liegen. 4,7 % der Proben enthalten über 25 mg/kg TS.

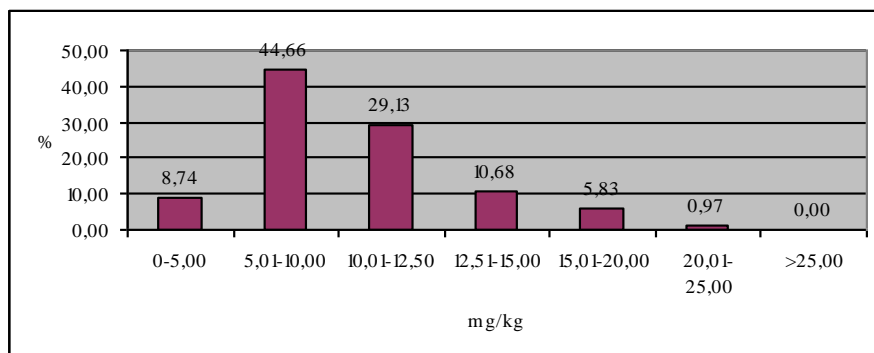


Abb. 34: Prozentuale Verteilung des Chromgehaltes der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

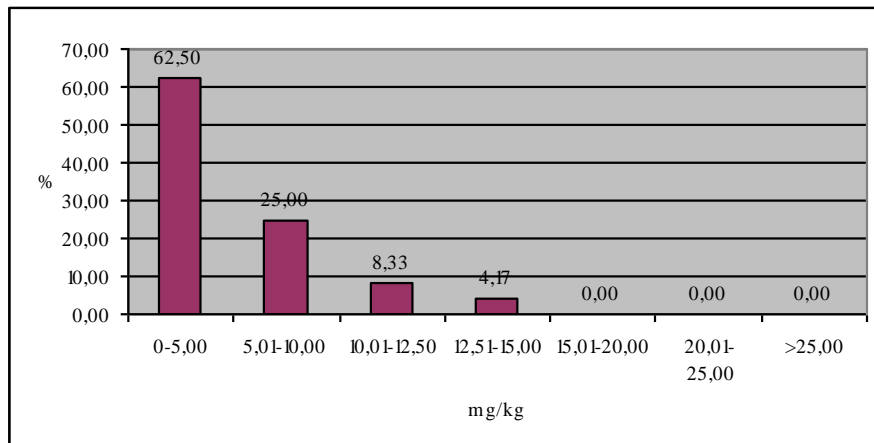


Abb. 35: Prozentuale Verteilung des Chromgehaltes im A_h-Horizont der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Im O-Horizont liegt der Schwerpunkt der Konzentration im Wertebereich zwischen 5 und 12,5 mg. Im A_h-Horizont befindet er sich deutlich unter 10 mg Chrom. 82,5 % der forstwirtschaftlichen Proben aus dem O-Horizont enthalten unter 12,5 mg Chrom pro kg TS. Zwischen 12,5 mg und 25 mg liegen die restlichen 17,5 % der Proben. Keine der Proben enthält über 25 mg/kg. 95,8 % der Proben aus dem A_h-Horizont enthalten unter 12,5 mg Chrom. Nur 4,2 % enthalten zwischen 12,5 und 15 mg Chrom.

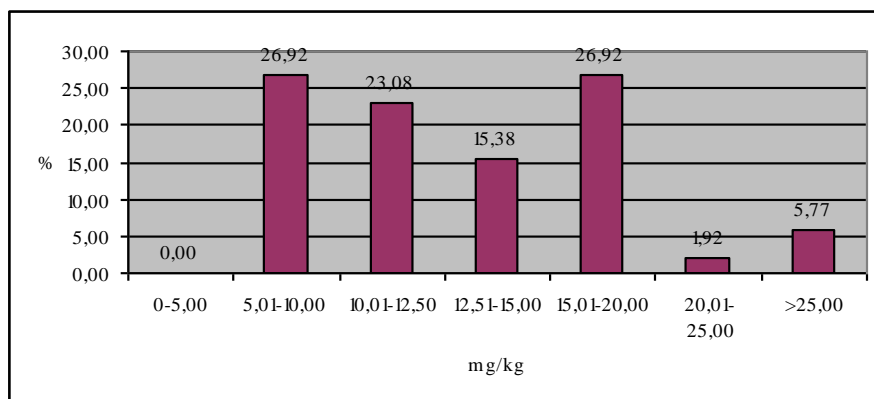


Abb. 36: Prozentuale Verteilung des Chromgehaltes der Proben aus Böden der Wohngebiete der Stadt Münster

Von den Proben der Wohngebiete enthalten genau 50 % unter 12,5 mg Chrom. Darüber liegende Chromgehalte bis einschließlich 25 mg/kg sind in 44,2 % der Proben nachzuweisen. 5,8 % enthalten mehr als 25 mg Chrom pro kg Trockengewicht.

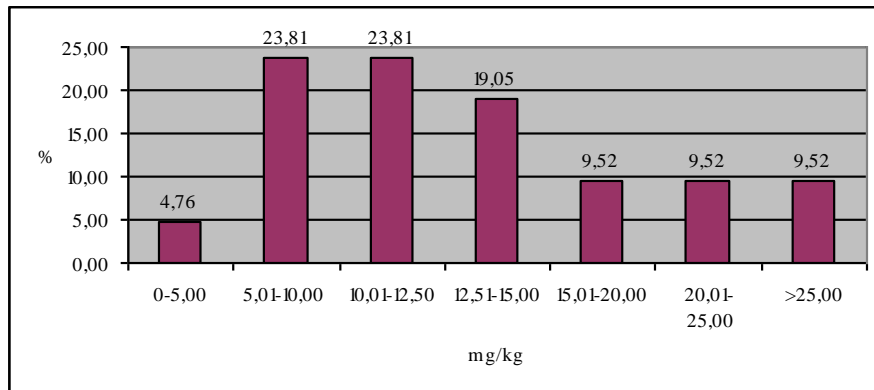


Abb. 37: Prozentuale Verteilung des Chromgehaltes der Proben aus Böden der Industriegebiete der Stadt Münster

In den Proben aus Industriegebieten ist bei 52,4 % unter 12,5 mg Chrom vorhanden. 38,1 % der Proben enthalten 12,5 bis 25 mg/kg. 9,5 % enthalten mehr als 25 mg Chrom pro kg TS. Der Trend dieser Verteilung geht in Richtung auf Werte zwischen 5 und 15 mg Chrom.

2.6 Zink

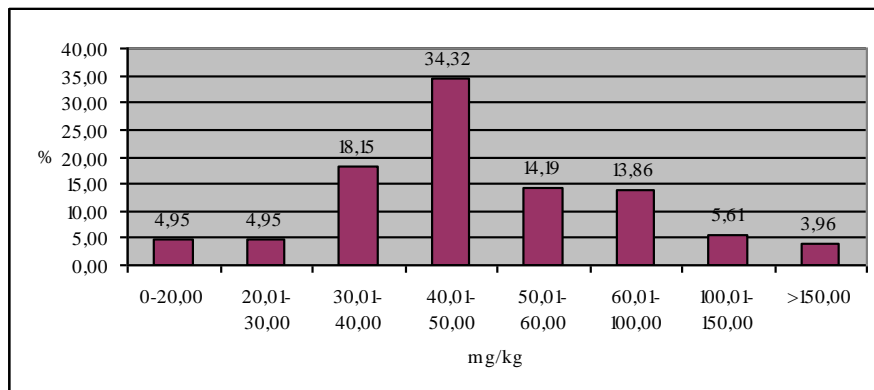


Abb. 38: Prozentuale Verteilung des Zinkgehaltes in der Gesamtmenge der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Die Gesamtmenge der untersuchten Proben enthält 10 % unter 30 mg Zink pro kg Trockengewicht. 80,5 % Proben enthalten 30 bis 100 mg. 9,5 % aller Proben besitzen einen Zinkgehalt welcher über 100 mg/kg TS liegt. Der Median lautet für diese Gesamt-

menge von 303 untersuchten Proben 46,6 mg/kg. Der Schwerpunkt der Zinkgehalte in den Bodenproben ist bei 30 bis 60 mg Zink angesiedelt.

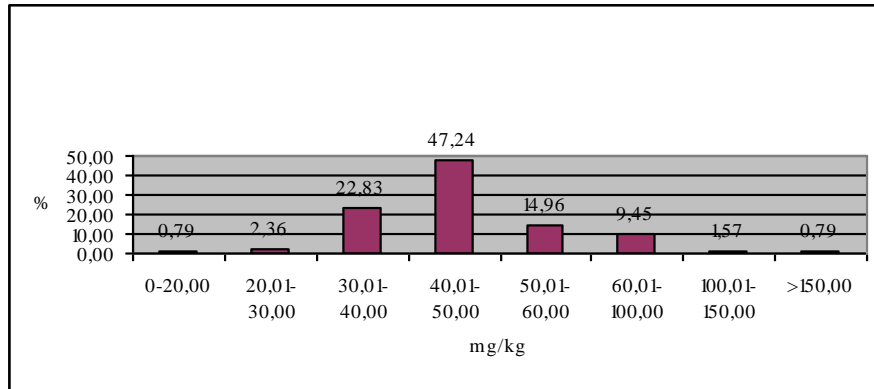


Abb. 39: Prozentuale Verteilung des Zinkgehaltes der Proben aus landwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Von den Proben der landwirtschaftlich genutzten Flächen enthalten 3,2 % unter 30 mg Zink pro kg TS. 94,4 % der Proben liegen bei einem Zinkgehalt zwischen 30 mg und 100 mg. 2,4 % enthalten mehr als dieses. Auch hier liegt der größte Teil der Zinkgehalte zwischen 30 bis 60 mg/kg.

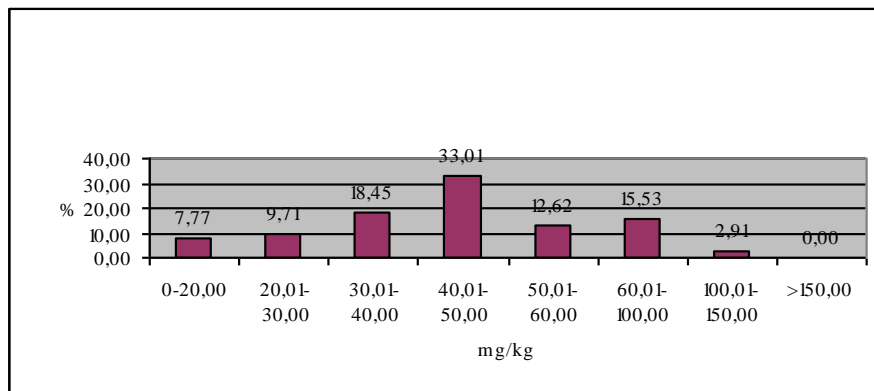


Abb. 40: Prozentuale Verteilung des Zinkgehaltes der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

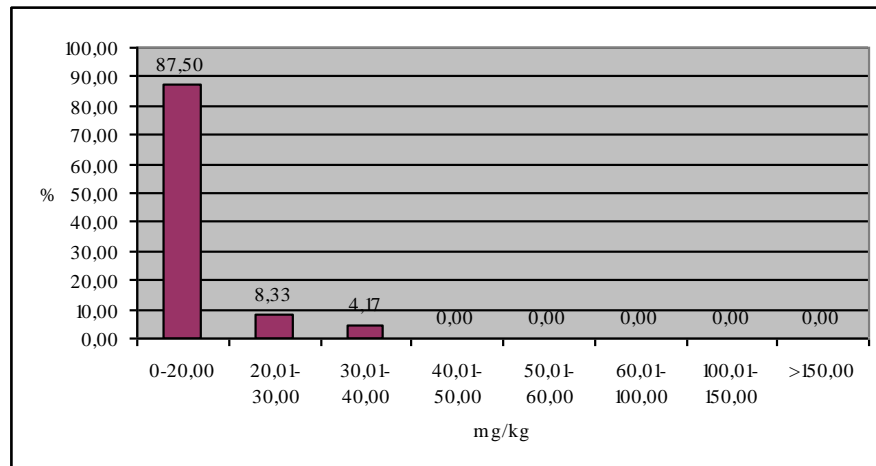


Abb. 41: Prozentuale Verteilung des Zinkgehaltes im A_h-Horizont der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Im O-Horizont ist der Schwerpunkt der Verteilung wiederum bei Zinkgehalten zwischen 30 und 100 mg angesiedelt. Im A_h-Horizont liegt er jedoch unter 20 mg/kg. Von den forstwirtschaftlichen Proben enthalten 17,5 % unter 30 mg/kg Zink. Über 78 % der Proben des O-Horizontes enthalten zwischen 30 mg und 100 mg Zink. 2,9 % liegen darüber. In den Proben aus dem A_h-Horizont sind bei 87,5 % weniger als 20 mg Zink enthalten. 8,3 % enthalten zwischen 20 mg und 30 mg. Zwischen 30 mg und 40 mg Zink enthalten 4,2 % dieser Proben.

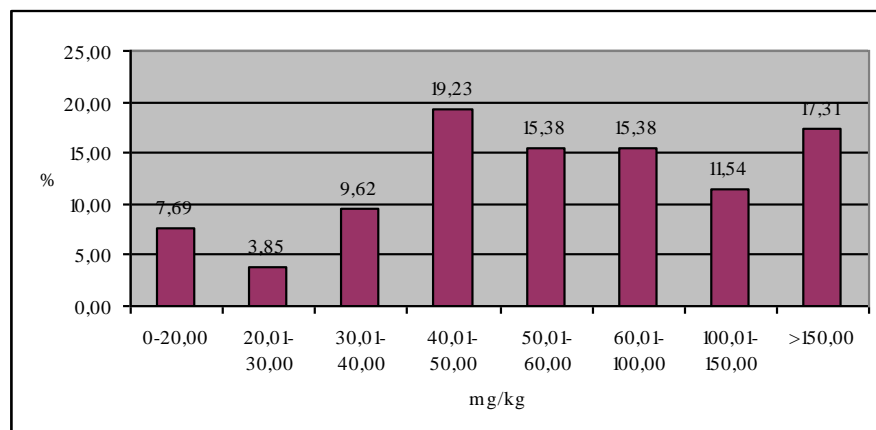


Abb. 42: Prozentuale Verteilung des Zinkgehaltes der Proben aus Böden der Wohngebiete der Stadt Münster

In Wohngebieten enthalten 11,6 % der untersuchten Proben unter 30 mg Zink pro kg TS. 59,6 % haben einen Zinkgehalt der zwischen 30 mg und 100 mg angesiedelt ist. Über 28 % der Proben haben einen darüber liegenden Gehalt

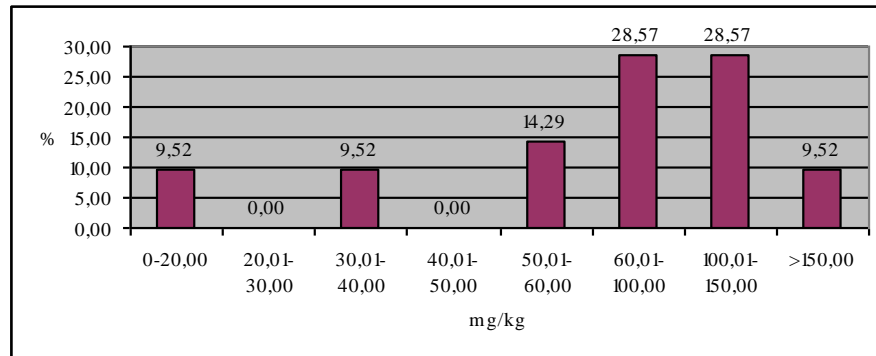


Abb. 43: Prozentuale Verteilung des Zinkgehaltes der Proben aus Böden der Industriegebiete der Stadt Münster

Bei den Proben aus Industriegebieten ist in 9,5 % weniger als 20 mg Zink enthalten. Zwischen 20 mg und 100 mg Zink enthalten 52,4 % der Proben. Über 100 mg Zink pro kg TS beinhalten 38,1 % aller aus Industriegebieten stammenden Proben.

2.7 Blei

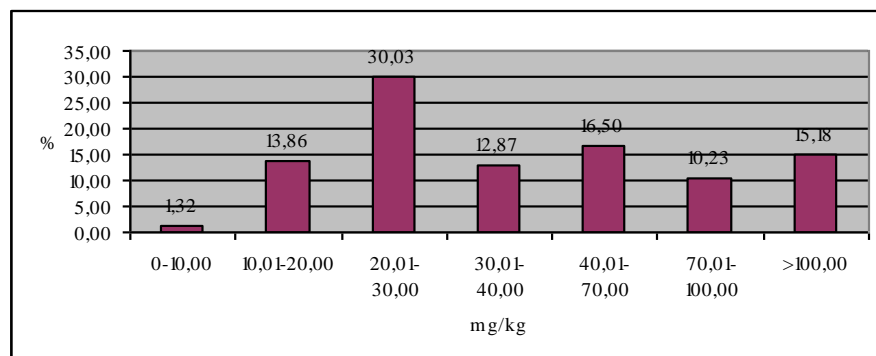


Abb. 44: Prozentuale Verteilung des Bleigehaltes in der Gesamtmenge der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Bei den insgesamt 303 auf das Schwermetall Blei untersuchten Bodenproben enthalten in über 55 % weniger als 40 mg Blei pro kg TS. 39,2 % enthalten zwischen 40 mg und 100 mg Blei. 15,5% aller untersuchten Proben haben einen Bleigehalt der über

100 mg/kg liegt. Der Median ist bei 33,2 mg/kg gelegen. In der Häufigkeitsverteilung lässt sich jedoch kein eindeutiger Trend beschreiben. Ein Schwerpunkt ist lediglich bei Konzentrationen unter 30 mg Blei zu beobachten.

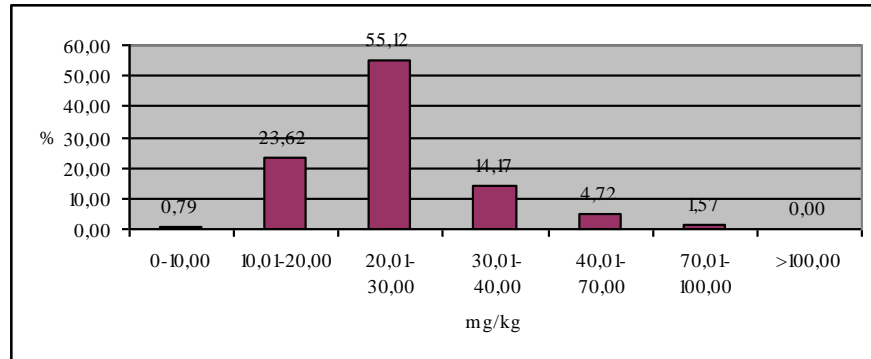


Abb. 45: Prozentuale Verteilung des Bleigehaltes der Proben aus landwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Von den landwirtschaftlichen Proben enthalten über 90 % nicht mehr als 40 mg Blei pro kg TS. Der Schwerpunkt der Verteilung liegt unter 30 mg/kg. Die restlichen Proben enthalten weniger als 100 mg/kg. Keine Probe aus der Landwirtschaft liegt also mit ihrem Bleigehalt über 100 mg/kg TS.

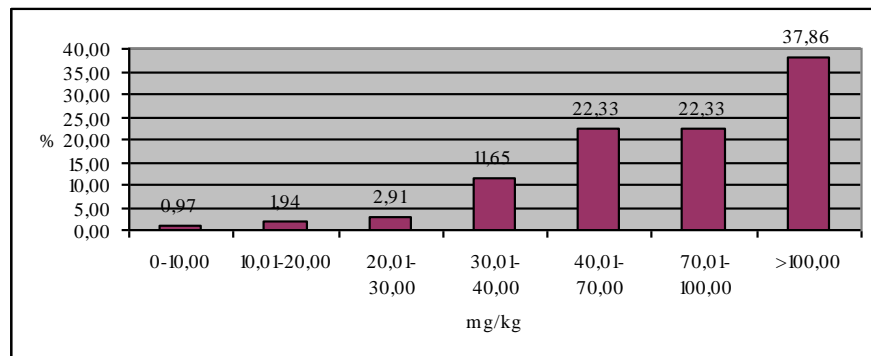


Abb. 46: Prozentuale Verteilung des Bleigehaltes der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

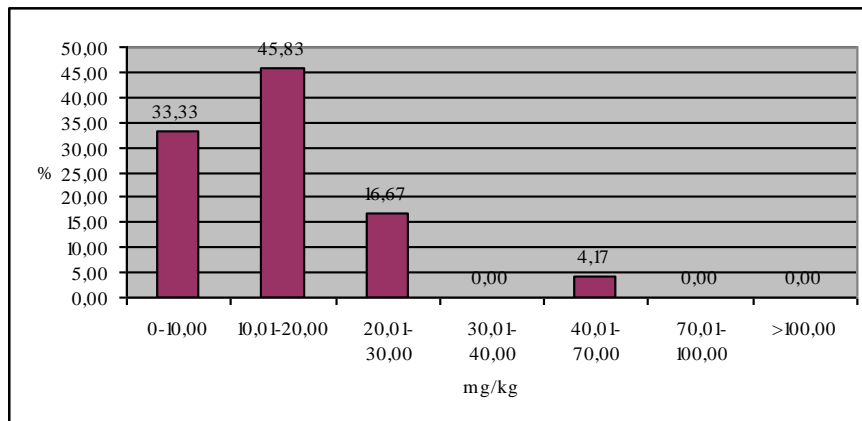


Abb. 47: Prozentuale Verteilung des Bleigehaltes im A_h -Horizont der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Es lassen sich in den beiden Horizonten unterschiedliche Trends in der Verteilung der Bleigehalte feststellen. Zum einen tendieren die Bleigehalte des O-Horizontes zu höheren Konzentrationen von etwa 70 bis 100 mg/kg, zum anderen ist im A_h -Horizont deutlich der Schwerpunkt im Konzentrationsbereich unterhalb 30 mg/kg zu erkennen. Von den forstwirtschaftlichen Flächen enthalten 15,6 % der Proben aus dem O-Horizont weniger als 40 mg/kg Blei. 44,6 % der Proben haben einen Bleigehalt, welcher zwischen 40 mg und 100 mg liegt. 39,8 % enthalten über 100 mg Blei pro kg TS. Aus dem A_h -Horizont enthalten 95,8 % der Bodenproben bis zu 30 mg Blei pro kg TS. 4,2 % der Proben weisen Werte zwischen 40 mg und 70 mg Blei auf. Keine der Proben aus diesem Horizont enthält mehr als 70 mg Blei pro kg TS.

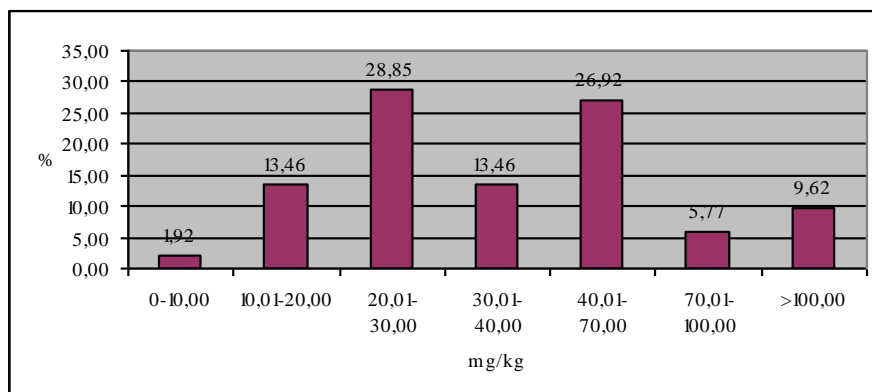


Abb. 48: Prozentuale Verteilung des Bleigehaltes der Proben aus Böden der Wohngebiete der Stadt Münster

In Wohngebieten enthalten über 58 % der Proben unter 40 mg Blei pro kg TS. Mehr als 30 % enthalten zwischen 40 und 100 mg Blei. 7,7 % der untersuchten Proben weisen einen Bleigehalt von über 100 mg/kg TS auf. Schwerpunkte der Verteilung liegen bei Konzentrationen unter 30 mg und unter 70 mg Blei.

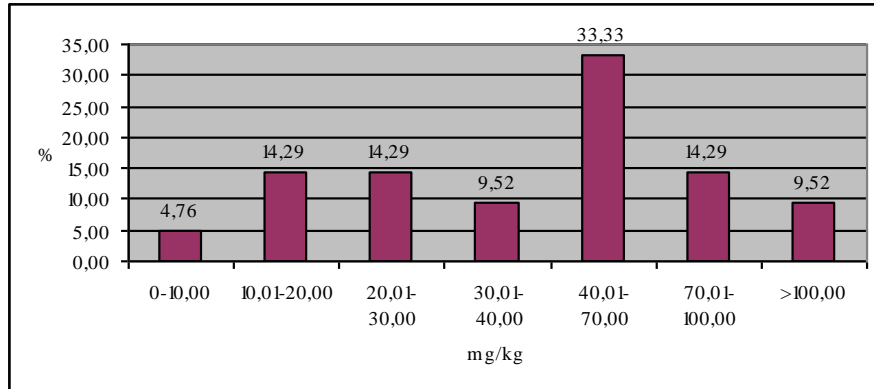


Abb. 49: Prozentuale Verteilung des Bleigehaltes der Proben aus Böden der Industriegebiete der Stadt Münster

Der Schwerpunkt der Verteilung liegt bei Bleikonzentrationen von 40 mg bis 70 mg. Der Bleigehalt liegt in über 40 % der Proben unterhalb 40 mg/kg TS. Mehr als 45 % der Proben enthalten zwischen 40 mg und 100 mg Blei. 9,5 % der Proben weisen einen Bleigehalt über 100 mg/kg auf.

2.8 Cadmium

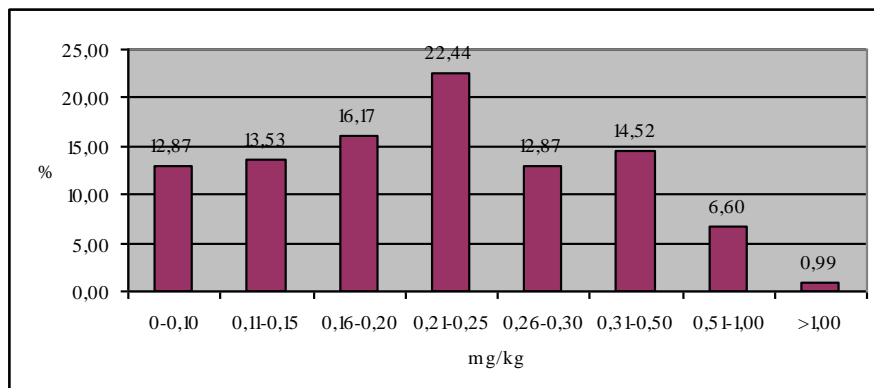


Abb. 50: Prozentuale Verteilung des Cadmiumgehaltes in der Gesamtmenge der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Ein eindeutiger Schwerpunkt lässt sich nicht angeben. Über 60 % aller Proben enthalten weniger als 0,25 mg Cadmium pro kg TS. 34 % haben einen Gehalt an Cadmium zwischen 0,23 mg und 1,00 mg. 1 % der gesamten Proben enthalten mehr als 1,00 mg Cadmium pro kg TS. Der Median liegt bei 0,22 mg/kg TS.

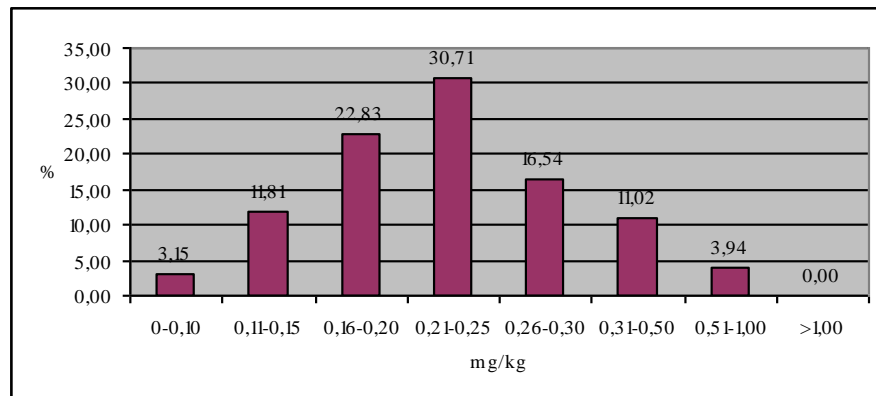


Abb. 51: Prozentuale Verteilung des Cadmiumgehaltes der Proben aus landwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Bei den Proben aus der Landwirtschaft sind in über 68 % nicht mehr als 0,25 mg Cadmium pro kg TS enthalten. 31,4 % der Proben enthalten 0,25 bis 1,00 mg Cadmium. Keine der Proben hat einen höheren Gehalt an Cadmium als 1,00 mg/kg TS.

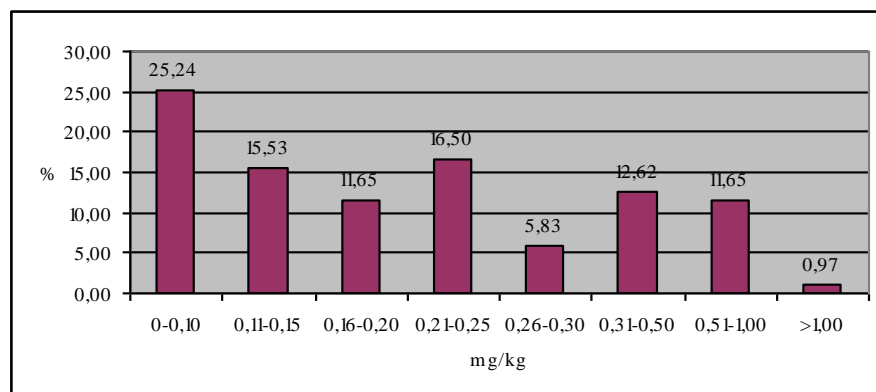


Abb. 52: Prozentuale Verteilung des Cadmiumgehaltes der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

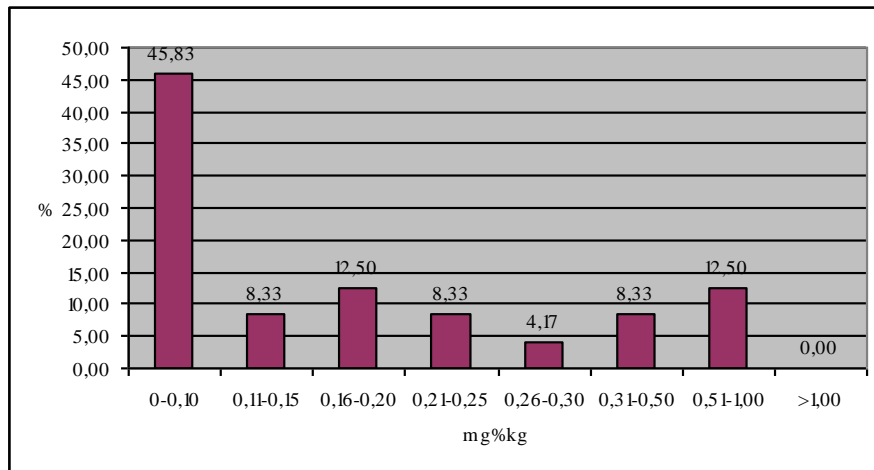


Abb. 53: Prozentuale Verteilung des Cadmiumgehaltes im A_h-Horizont der Proben aus forstwirtschaftlich genutzten Böden der Stadt Münster

Über 65 % der forstwirtschaftlichen Proben aus dem oberen Bodenhorizont enthalten unter 0,25 mg Cadmium. 30 % haben einen Cadmiumgehalt der zwischen 0,25 und 1,00 mg liegt. 0,9 % der Proben beinhalten mehr als 1,00 mg/kg TS. In Proben des A_h-Horizontes sind bei 79,1 % weniger als 0,25 mg Cadmium gemessen worden. Die Konzentrationen der restlichen Proben liegen zwischen 0,25 mg und 1,00 mg Cadmium. In keiner der Proben dieses Horizontes konnten mehr als 1,00 mg/kg TS nachgewiesen werden.

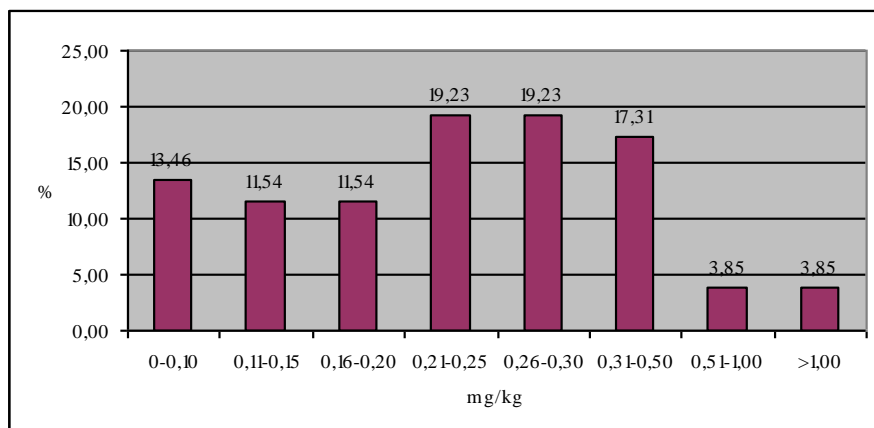


Abb. 54: Prozentuale Verteilung des Cadmiumgehaltes der Proben aus Böden der Wohngebiete der Stadt Münster

In den Wohngebieten haben über 55 % der untersuchten Proben einen Cadmiumgehalt der unter 0,25 mg/kg TS beträgt. Bei 40,4 % der Proben liegt der Cadmiumgehalt zwischen 0,25 mg und 1,00 mg. Nur 3,9 % der Proben aus Wohngebieten enthalten mehr als 1,00 mg Cadmium pro kg TS.

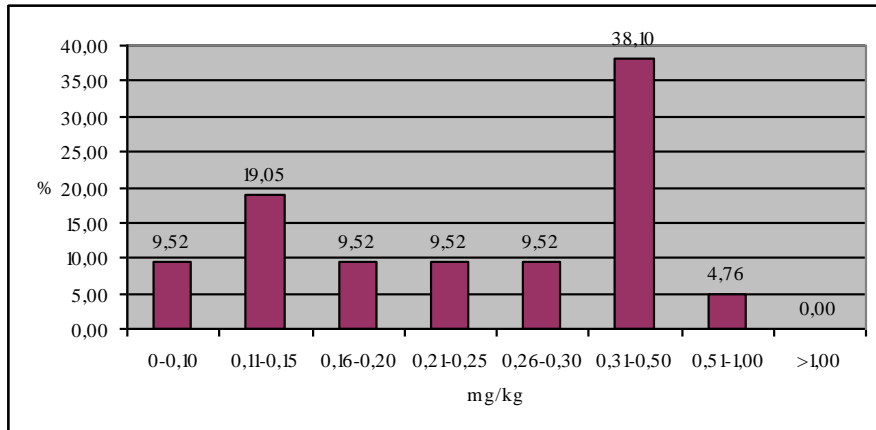


Abb. 55: Prozentuale Verteilung des Cadmiumgehaltes der Proben aus Böden der Industriegebiete der Stadt Münster

In den Industriegebieten enthalten 47,6 % der Proben unter 0,25 mg Cadmium pro kg TS. Die restlichen Proben haben einen Gehalt der zwischen 0,25 und 1,00 mg/kg liegt. Keine der Proben aus den Industriegebieten enthält mehr als 1,00 mg Cadmium pro kg TS.

3.0 Diskussion

3.1 pH-Werte

In landwirtschaftlichen Proben sind annähernd 20 % alkalische pH-Werte und zu 5 % stark saure Werte ($\text{pH} < 5$) gemessen worden. Typische Werte liegen bei pH 6 (Median wässrig 6,3 bzw. KCL 5,9). Der Optimalbereich des pH für landwirtschaftliche Flächen wird mit pH 5 bis 7 angegeben. Als wesentliche Erklärung für die häufig angetroffenen basischen Böden bietet sich eine erfolgte Kalkaufbringung auf die bearbeiteten Böden an.

Nutzungsart	Anzahl der Proben	Mittelwert	Varianz	Standardabweichung
LW	127	6,26614	0,556506	0,7455994
FW	103	3,57437	0,609429	0,780659
FW-A _h	24	3,62417	0,228704	0,47823
WG	52	6,34319	0,525367	0,724822
IG	21	6,66143	0,764913	0,874593

Tab. 3: Gesamtstatistik der $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Werte der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Nutzungsart	Statistischer Unterschied
LW - FW	2,69177
LW - FW-A _h	2,64198
LW - IG	-0,395287
FW - WG	-2,77082
FW - IG	-3,08706
FW-A _h - WG	-2,72103
FW-A _h - IG	-3,03726

Tab. 4: Statistisch signifikante Unterschiede für $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ zwischen den einzelnen Bodennutzungsarten der Böden der Stadt Münster

Box-and-Whisker Plot

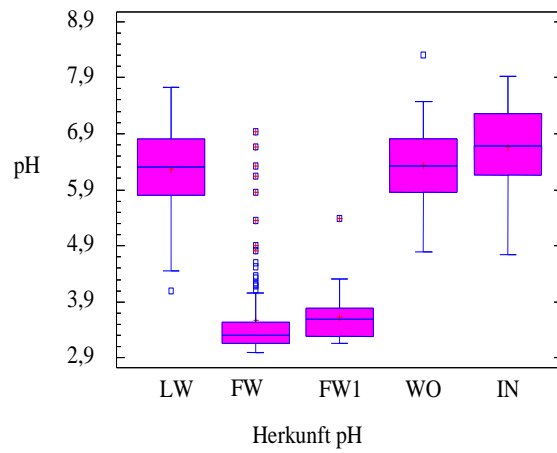


Abb. 56: Box und Whiskerplots der pH(H₂O)-Werte differenziert nach Bodennutzungsarten.

Nutzungsart	Anzahl der Proben	Mittelwert	Varianz	Standardabweichung
LW	127	5,91291	0,5896	0,767854
FW	103	3,22427	0,645268	0,803286
FW-A _h	24	3,215	0,258	0,507937
WG	52	6,07115	0,518579	0,720124
IG	21	6,5281	1,0403	1,02422

Tab. 5: Gesamtstatistik der pH(KCL)-Werte der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Nutzungsart	Statistischer Unterschied
LW - FW	2,68864
LW – FW-A _n	2,69791
LW – IG	-0,615182
FW – WG	-2,84688
FW – IG	-3,30382
FW-A _n – WG	-2,85615
FW-A _n – IG	-3,3131
WG - IG	-0,456941

Tab 6: Statistisch signifikante Unterschiede für pH(KCL) zwischen den einzelnen Bodennutzungsarten der Böden der Stadt Münster

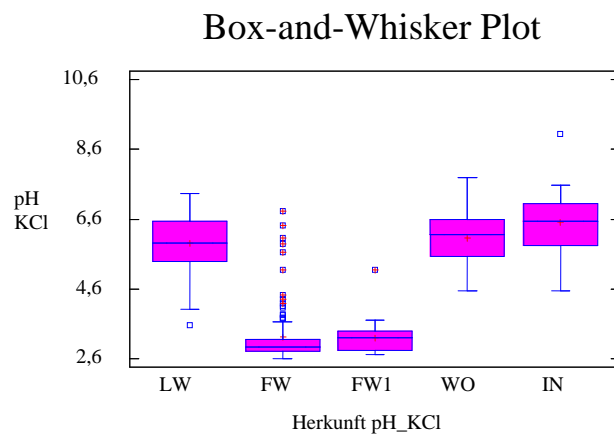


Abb. 57: Box und Whiskerplots der pH(KCL)-Werte differenziert nach Bodennutzungsarten

Zwischen forstwirtschaftlichen und anders genutzten Flächen ergibt die ANOVA (Varianzanalyse) statistisch gesicherte Unterschiede der pH-Mittelwerte sowohl für pH(H₂O) als auch für pH(KCL). Dieses wurde auch durch den Multiple Range Test bestätigt. Ein Maximalwert von 7,72 für pH(H₂O), sowie von 7,34 für pH(KCL) wurde in Proben eines abgeernteten Feldes bei Albachten, am Getterbach, gemessen. Niedrigste Werte wurden mit pH(H₂O) 4,1 und pH(KCL) 3,57 von einer Wiese in der Bauernschaft Sudhoff bei Amelsbüren ermittelt. Es zeigt sich insgesamt eine deutliche

Abhängigkeit der pH-Werte von der Flächennutzungsart. Typische Werte der landwirtschaftlichen Flächen liegen bei pH 6. Auf den forstwirtschaftlich genutzten Flächen ist das Verhältnis von sauren zu basischen Böden genau umgekehrt wie auf landwirtschaftlichen Flächen. In den Proben aus dem O-Horizont der Waldgebiete liegt bei fast 90 % der $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ unter 5,0. Bei mehr als 70% liegt er sogar noch unterhalb pH 3,5. Der geringste pH-Wert beträgt hier 2,99. Er stammt aus einem Laubwald am Nottulner Landweg. Niedrigste $\text{pH}(\text{KCL})$ -Werte wurden in den Wäldern der Davert und Hohen Ward mit pH 2,6 gemessen. Ein deutlicher Trend der pH-Werte in beiden Bodenschichten geht in den stark sauren Bereich. Eine Erklärung für diese niedrigen Werte bieten die meist im oberflächlichen Horizont akkumulierenden Säuren, die mittels Trocken- und Feuchtdeposition in den Boden eingetragen werden. Weiterhin wird der pH-Wert durch Abbauprozesse im O-Horizont herabgesetzt, wie sie bereits oben beschrieben wurden.

Die Proben aus den A_h -Horizonten zeigen eine ähnliche Verteilung der pH-Werte wie die der O-Horizonte. Hier enthalten sogar über 95 % der Proben einen $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ von nicht mehr als 4,5. Die in dieser Bodenschicht erwartete Abnahme des pH-Wertes kann hier also bestätigt werden. Die relativ starke Durchwurzelung des A_h -Horizontes und eine starke Humusschicht führen in diesem Bereich zu einer erhöhten H^+ -Ionenproduktion. Zusätzlich spielen noch die Säureeinträge aus der Umwelt eine Rolle für die pH-Absenkung dieses Horizontes.

Die starke Versauerung bedeutet eine deutliche Gefahr für unsere Wälder, da das Feinwurzelwerk durch eine Veränderung des Ca/Al-Verhältnisses im Boden beeinträchtigt wird. Ulrich et. al. (1984) Eine Gegenmaßnahme hierbei ist z.B. das Aufbringen von Kalk auf übersäuerte Böden zur Alkalisierung, bzw. Neutralisierung.

In den Proben der Wohn- und Industriegebiete geht der Trend der $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ -Werte wiederum wie in den landwirtschaftlichen Untersuchungsgebieten eher in Richtung auf alkalische pH-Werte. Durch die laufende Bearbeitung dieser Böden in Vorgärten und auf Kleinanbauflächen werden die eingetragenen Säuren in tiefere Horizonte verlagert oder mit dem Bodenwasser ausgewaschen. In den untersuchten Industriegebieten lagen die pH-Werte wie die der Wohngebiete deutlich im alkalischen Bereich. Typisch sind hier pH-Werte von 6,5 (Median ebenfalls 6,5). Die höchsten ermittelten Werte von pH 7,9 und 7,58 stammen aus einem Industriegebiet in Hilstrup. Als niedrigster pH-Wert fand sich ein Wert von 4,47, bzw. 4,56 aus Mecklenbeck (Weselerstraße).

3.2 Kobalt

Der Orientierungswert für Kobalt in Böden lag zum Analysezeitpunkt laut Kloke bei 50 mg/kg TS (Kloke 1980). Dieser Wert wurde in keiner der Proben erreicht. Der Median der Gesamtproben liegt bei nur 1,86 mg/kg. Typische Gehalte der Untersuchungsfläche liegen um 2 mg/kg TS. Den höchsten Kobaltanteil enthielten Proben vom Nottulner Landweg, Waldweg in Mecklenbeck (Nähe A 43) und Alverskirchener Str. in Wolbeck, jeweils aus landwirtschaftlichen Flächen gewonnen.

Nutzungsart	Anzahl der Proben	Mittelwert	Varianz	Standardabweichung
LW	126	2,19725	0,831089	0,911641
FW	104	1,72462	0,539058	0,734206
FW-A _h	24	1,00625	0,312737	0,559229
WG	52	1,97615	0,803448	0,896352
IG	21	2,14667	1,16351	1,07866

Tab. 7: Gesamtstatistik der Cobaltwerte der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Nutzungsart	Statistischer Unterschied
LW – FW	0,472631
LW – FW-A _h	1,191
FW – FW-A _h	0,718365
FW – IG	-0,422051
FW-A _h – WG	0,969904
FW-A _h – IG	-1,14042

Tab 8: Statistisch signifikante Unterschiede für Cobalt zwischen den einzelnen Bodennutzungsarten der Böden der Stadt Münster

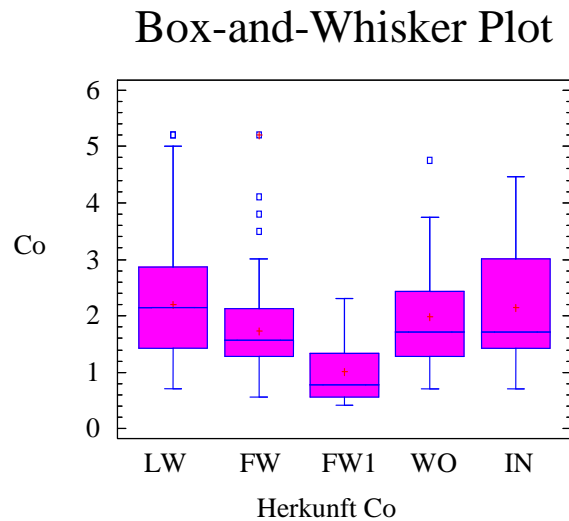


Abb.58: Box- und Whiskerplots der Kobaltwerte differenziert nach Bodennutzungsart.

In der ANOVA wurde mittels F-Test ein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten einzelner Herkunftsarten festgestellt. Der hierauf durchgeführte Multiple Range Test zeigt einen signifikanten Unterschied der Mittelwerte der Kobaltgehalte aus den forstwirtschaftlichen Flächen gegenüber denen aus anderen Bodennutzungsarten. Er liegt deutlich niedriger. Ein eindeutiger Zusammenhang mit Emittenten lässt sich nicht erkennen. Kobalt wird industriell in vielerlei Hinsicht genutzt. Es ist u. a. Bestandteil harter Legierungen, Pigmente und Glasuren (Schrauzer 1984). Zum Analysezeitpunkt lagen keine Industrien, die diese Verfahren anwenden im Einzugsbereich der untersuchten Flächen.

3.3 Nickel

Das Element Nickel findet heute vor allem in der Stahl-, Galvanik- und Elektronikindustrie Verwendung. Durch deren Abwässer und Klärschlämme, sowie über Abgase bei Verbrennung von Kohle und Erdöl und durch den Kraftfahrzeugverkehr kann Nickel in das aquatische und terrestrische Ökosystem eindringen.

Nutzungsart	Anzahl der Proben	Mittelwert	Varianz	Standardabweichung
LW	127	4,97929	5,58764	2,36382
FW	105	4,57867	4,21244	2,05242
FW-A _h	24	1,64208	1,63358	1,27812
WG	52	5,78923	12,4773	3,53232
IG	21	6,45048	16,4437	4,05508

Tab. 9: Gesamtstatistik der Nickelwerte der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Nutzungsart	Statistischer Unterschied
LW – FW-A _h	3,33721
LW – IG	-1,47118
FW – FW-A _h	2,936658
FW – WG	-1,21056
FW – IG	-1,87181
FW-A _h – WG	-4,14715
FW-A _h – IG	-4,80839

Tab 10: Statistisch signifikante Unterschiede für Nickel zwischen den einzelnen Bodennutzungsarten der Böden der Stadt Münster

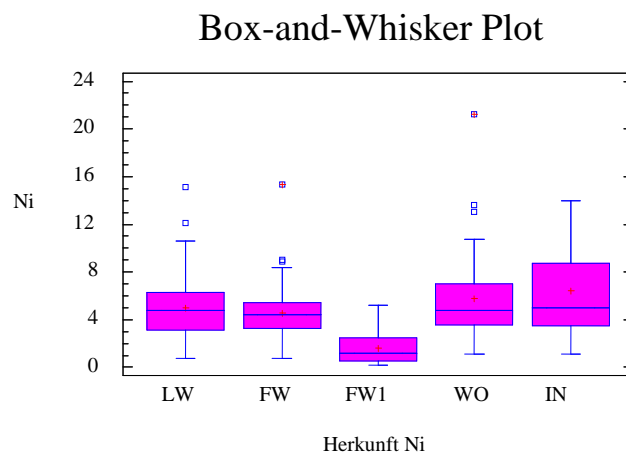


Abb. 59: Box- und Whiskerplots der Nickelwerte differenziert nach Bodennutzungsarten.

Die durchgeführte ANOVA zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied der Mittelwerte zwischen den einzelnen Bodennutzungsarten. Hier darstellbar im A_h-Horizont gegenüber den Anderen. Im durchgeführten Multiple Range Test bestätigt sich dieses. Der LSD-Test differenziert hier bestätigend noch weiter. Typische Werte des in Münster untersuchten Nickelgehaltes liegen zwischen 5 und 8 mg/kg. Bei einem zum Untersuchungszeitpunkt nach der Klärschlammverordnung (1982) bei 50 mg/kg TS liegenden Grenzwert, befinden sich die ermittelten Werte also im erlaubten Bereich. Keine der Proben überschreitet diesen Grenzwert. Der Maximalwert beträgt im Untersuchungsgebiet 21,26 mg Nickel. Er stammt aus einem Wohngebiet an der Scheibenstraße, liegt aber immer noch 50% unter dem Grenzwert. In Wohngebieten zeigt sich zum Untersuchungszeitpunkt ein höherer Nickelgehalt der Proben als in den 3 anderen Nutzungsarten. Es wurden hier Maximalwerte von 14mg bis 15,3 mg ermittelt. In Industrie- und Gewerbegebieten ging der Trend auch zu etwas höheren Nickelgehalten als sie in landwirtschaftlichen- und besonders in forstwirtschaftlichen Flächen zu messen waren. Diese Feststellung entspricht auch den möglichen oben genannten Haupteintragsquellen von Nickel in die Böden. Nickel stellt zum Untersuchungszeitpunkt kein Problem für die hier untersuchten Böden dar.

3.4 Kupfer

Das Element Kupfer findet von außen durch Industrieemissionen Zugang in den Boden. Es wird zur Herstellung von Elektroartikeln, Farben und Legierungen verwendet. Weitere Anwendungsbereiche sind die Herstellung von Wasserleitungen, Dachbedeckungen und Überlandleitungen. Mit dem Einsatz von kupferhaltigen Futterzusätzen und Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft und mit Abwässern, Klärschlämmen, Flusssedimenten und den oben genannten Industrieemissionen gelangt das Kupfer in den Boden (Scheinberg 1984).

Keine der hier untersuchten Bodenproben der Stadt Münster liegt zum Untersuchungszeitpunkt mit ihrem Kupfergehalt über dem Grenzwert der Klärschlammverordnung (1982) von 100 mg/kg TS.

Nutzungsart	Anzahl der Proben	Mittelwert	Varianz	Standardabweichung
LW	127	9,88583	62,0652	7,87815
FW	103	14,3068	129,996	11,4016
FW-A _h	24	4,09583	11,1535	3,33968
WG	52	12,3692	57,139	7,55904
IG	21	16,3667	172,782	13,1447

Tab. 11: Gesamtstatistik der Kupferwerte der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Nutzungsart	Statistischer Unterschied
LW – FW	-4,42097
LW – FW-A _h	5,78999
LW – IG	-6,48084
FW – FW-A _h	10,211
FW-A _h – WG	-8,2734
FW-A _h – IG	-12,2708

Tab 12: Statistisch signifikante Unterschiede für Kupfer zwischen den einzelnen Bodennutzungsarten der Böden der Stadt Münster

Box-and-Whisker Plot

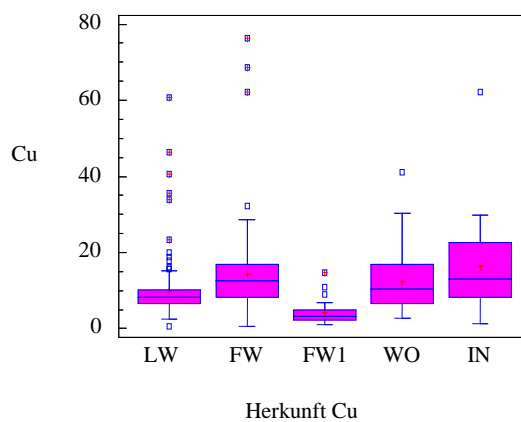


Abb. 60: Box- und Whiskerplots der Kupferwerte, differenziert nach der Bodennutzungsart.

In der durchgeführten ANOVA zeigen sich statistisch signifikante Unterschiede (F-Test unter 0,05) zwischen den Mittelwerten im 95%-Konfidenzintervall bezogen auf Kupferkonzentrationen der Böden. Differenziert im Multiple Range Test und dem nachfolgenden LSD Test zeigen lediglich Mittelwerte der Proben aus dem A_n-Horizont statistisch signifikante Unterschiede. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen liegt der ermittelte Median bei 8,2 mg Kupfer. Maximal 46,3 mg Kupfer wurden hier gemessen. Diese waren auf einem abgeernteten Getreidefeld am Nottulner Landweg eingeholt worden. Sehr geringe Kupfergehalte waren in Proben vom Westhuesweg in Hilstrup und bei Lütke Twenhöven nahe Wolbeck gemessen worden. Bei den Kupfergehalten in der Landwirtschaft muss jedoch die bei den hier bestehenden niedrigen pH-Werten verstärkte Löslichkeit des Elementes berücksichtigt werden, die zu einer schnelleren und besseren Auswaschung des Kupfers in tiefere Bodenschichten führt.

Im forstwirtschaftlichen Bereich liegt der ermittelte Median im O-Horizont bei 13,1mg/kg, bei 3,3 mg/kg im A_n-Horizont. Maximal 76,4 mg Kupfer wurden in Proben des Holzbrookbusch bei Mecklenbeck ermittelt.

In den untersuchten Wohngebieten wurde der Median bei 10,3 mg/kg errechnet. Bei dem Verteilungsschwerpunkt, welcher bei Konzentrationen unter 15 mg liegt, wird der auch hier nur geringe Kupfergehalt der oberflächlichen Böden deutlich. Der höchste hier ermittelte Wert beträgt 41,1 mg Kupfer. In den untersuchten Industriegebieten lag keiner der ermittelten Kupfergehalte über den zulässigen Höchstwerten von 100 mg/kg (Klärschlammverordnung 1982). Ein Maximalwert von 62,1 mg in Probe 219 aus Mecklenbeck erscheint nicht besorgniserregend. In den anderen Gebieten wurden mit 1,9 mg/kg ebenfalls sehr niedrige Konzentrationen gemessen (Median 13,0). Es fand sich keine Probe, in der eine die zulässige Grenzkonzentration von 100 mg/kg überschreitende Kupfermenge enthalten war.

3.5 Chrom

Chrom findet heute immer noch in vielen Bereichen Anwendung. Speziell in der Industrie, für Legierungen, als Bestandteil von Stahl, in der Galvanik, in Farbstoffen und Holzimprägnierungen, sowie besonders in der Gerbindustrie wird das Schwermetall verwendet (Ganglhofer 1984). Der in der Landwirtschaft benutzte Phosphatdünger enthält ebenfalls viel Chrom. Er stellt damit eine besonders wichtige Eintragsquelle von Chrom in Böden dar (Langard et al. 1979).

Durch diese Mechanismen, durch Abfälle und auf landwirtschaftlich genutzte Böden aufgebrauchte Klärschlämme gelangt das Chrom in den Boden, in das Bodenwasser und somit letztlich auch in die Nahrungsmittel. Nach der Klärschlammverordnung (1982) lag zum Untersuchungszeitpunkt der Grenzwert für Chrom in Böden bei 100 mg/kg TS.

Nutzungsart	Anzahl der Proben	Mittelwert	Varianz	Standardabweichung
LW	127	16,0425	30,269	5,50172
FW	103	9,79903	12,9246	3,59508
FW-A _h	24	5,17917	10,9043	3,30217
WG	52	13,7519	43,0112	6,55829
IG	21	14,5	70,735	6,55829

Tab. 13: Gesamtstatistik der Chromwerte der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Nutzungsart	Statistischer Unterschied
LW - FW	6,24349
LW – FW-A _h	10,8634
LW - WG	2,2906
FW – FW-A _h	4,61986
FW – WG	-3,95289
FW – IG	-4,70097
FW-A _h – WG	-8,57276
FW-A _h – IG	-9,32083

Tab 14: Statistisch signifikante Unterschiede für Chrom zwischen den einzelnen Bodennutzungsarten der Böden der Stadt Münster

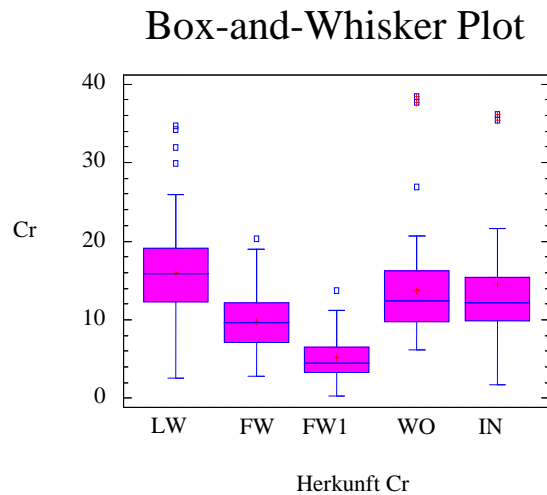


Abb. 61: Box- und Whiskerplots der Chromwerte, differenziert nach der Bodennutzungsart.

Die durchgeführte ANOVA Varianzanalyse bestätigt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten der Chromwerte je nach Bodennutzungsart. Der dann angewandte Multiple Range Test zeigt 8 Paare, die eine im 95 % Konfidenzintervall liegende statistische signifikante Unterscheidung zeigen. Der 95% LSD Test zeigt daraufhin bei den Mittelwerten der forstwirtschaftlichen Proben einen statistisch signifikanten Unterschied zu den anderen Mittelwerten. In den hier untersuchten Böden liegt der Median der Verteilung bei 12,3 mg/kg. Typische Werte der Gesamtverteilung liegen bei Konzentrationen zwischen 5 mg und 20 mg Chrom.

In den Proben aus landwirtschaftlichen Flächen ist der Median etwas höher angesiedelt, nämlich bei 16 mg/kg. Insgesamt ist hier die Chromkonzentration mit einem Maximalwert von 34,7 mg in Amelsbüren noch relativ gering. Ein Minimalwert von nur 2,6 mg wurde in Gremmendorf ermittelt.

Im forstwirtschaftlichen Bereich gilt prinzipiell das bereits für die Landwirtschaftsflächen Gesagte. Hier wird jedoch die Abhängigkeit der Chromlöslichkeit von dem Boden-pH noch deutlicher. Da hier oft sehr niedrige pH-Werte ermittelt wurden, konnte auch mit sehr geringen Chromgehalten gerechnet werden. Das Ergebnis bestätigt die Erwartungen. Ein Maximalwert von 20,3 mg Chrom im O-Horizont wurde in Hilstrup an der Meesenstiege gemessen. Im A_h-Horizont lag dieser bei nur 13,7 mg. In den jeweiligen Horizonten lagen die Minimalwerte bei 2,8 mg, bzw. bei 0,3 mg Chrom.

Letztendlich kann nicht entschieden werden, ob diese niedrigen Konzentrationen durch Verlagerung in tiefere Bodenschichten bei niedrigen Boden-pH-Werten zustande kommen, oder ob es sich tatsächlich um eine sehr geringe Belastung der Böden mit Chrom handelt.

In den untersuchten Böden aus Wohngebieten liegt der ermittelte Median der Messwerte bei 12,45 mg/kg. Maximal wurden 38,4 mg Chrom in Gremmendorf gemessen, was ja weit unter der zum Untersuchungszeitpunkt gelegenen Höchstgrenze gelegen ist. Wenig Chrombelastung in Böden der Wohngebiete.

Bei 36.1 mg Chrom liegt der Maximalwert der Böden der Industriegebiete aus Probe 207, welche an den Loddenbüschen nahe einer Reifenfirma entnommen wurde. Ein Minimalwert ist mit 1,7 mg Chrom in Probe 291 Im Mühlenfeld bei Amelsbüren ermittelt worden.

Entsprechend oben gemachter Ausführungen ist die Belastungssituation der hier untersuchten Böden Münsters zum Untersuchungszeitpunkt in Hinsicht auf das Schwermetall Chrom als gering einzustufen.

3.6 Zink

Das Schwermetall Zink findet weltweit in den verschiedenen Industriezweigen Anwendung. besonders für die Verzinkung in der Eisen- und Stahlindustrie, für Legierungen, als Korrosionsschutz (Scheffer und Schachtschabel 1982), in der Gummiindustrie und als Zusatz zu Motorölen wird es verwendet (Elinder und Piscator 1979). Einleitungen von vornehmlich aus diesen Industriezweigen stammenden Abwässern in die Flüsse und Ausbringung von zinkhaltigen Klärschlämmen und Komposten auf landwirtschaftliche Flächen können zu Zinkanreicherungen im Boden führen. Der Grenzwert für Zinkgehalte des Bodens beträgt laut Klärschlammverordnung(1982) 300 mg/kg TS.

Nutzungsart	Anzahl der Proben	Mittelwert	Varianz	Standardabweichung
LW	127	47,8643	306,013	17,4932
FW	103	46,3225	435,322	20,8644
FW-A _h	24	13,9588	53,8017	7,33496
WG	52	104,642	17.489,8	132,249
IG	21	91,4067	3.194,2	56,5172

Tab. 15: Gesamtstatistik der Zinkwerte der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Nutzungsart	Statistischer Unterschied
LW – FW-A _h	33,9056
LW - WG	-56,7772
LW – IG	-43,5423
FW – FW-A _h	32,3638
FW – WG	-58,318
FW – IG	-45,0841
FW-A _h – WG	-90,6828
FW-A _h – IG	-77,4479

Tab 16: Statistisch signifikante Unterschiede für Zink zwischen den einzelnen Bodennutzungsarten der Böden der Stadt Münster

Box-and-Whisker Plot

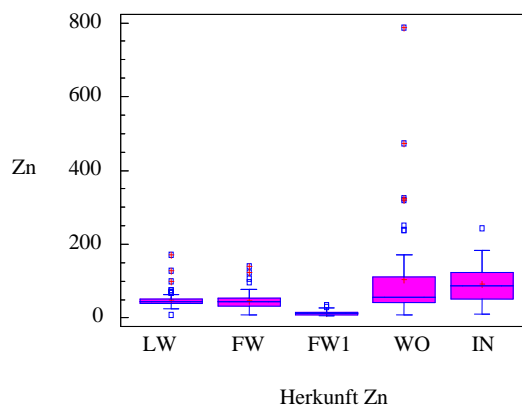


Abb. 62: Box- und Whiskerplots der Zinkwerte differenziert nach Bodennutzungsart.

Die ANOVA zeigt für Zink einen eindeutig statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten der Verteilung der einzelnen Bodennutzungsarten. Der Multiple Range Test weist nach, dass Industrie- und Wohngebiete statistisch gesichert höher belastet sind als Land- und Forstwirtschaft.

Zinkgehalte über 100 mg/kg TS wurden in dieser Untersuchung bei 9,5 % der Proben ermittelt. Dabei wird deutlich, dass Konzentrationen über 300 mg Zink nur in Wohngebieten gemessen wurden. In der Landwirtschaft macht der ermittelte Median von 44,93 schon deutlich, wie gering die Zinkkonzentrationen hier sind. Die oben genannten Klärschlämme, als mögliche Eintragsquelle des Zinks in den Boden, dürften bis zum Untersuchungszeitpunkt also eher eine untergeordnete Rolle spielen. Es wurde ein Maximalwert von 171,8 mg Zink von einem Feld am Nottulner Landweg nahe Roxel ermittelt.

In den untersuchten Forstgebieten verhält sich die Zinkbelastung ähnlich wie in der Landwirtschaft. Im O-Horizont lag der gemessene Maximalwert bei 141,2 mg Zink, Median 45,21. Im A_n-Horizont Median 12,59.

In den Wohngebieten wurden jedoch mehrere Proben mit Zinkgehalten oberhalb der zulässigen Konzentration von 300 mg/kg ermittelt. Der Median der Verteilung liegt mit 57,35 schon höher als in den anderen Flächen. Ein deutlicher Schwerpunkt zeichnet sich in der Verteilung allerdings nicht ab, doch wird ein Trend in Richtung höherer Konzentrationen deutlich. Als Maximalwerte wurden Konzentrationen von 320,5 mg bis 787 mg Zink gemessen. Probe 188 von der Scheibenstraße enthielt 320,5 mg, Probe 171 von der Ottostraße wurde aus Vorgärten entnommen und enthielt 324,3 mg Zink. Aus einer Parkanlage am Brunnenplatz stammt Probe 222, welche 472,7 mg Zink aufwies. Der Spitzenwert von 787 mg Zink wurde in Probe 170 aus Vorgärten an der Meppener Straße ermittelt. Diese ist in der Nähe des Bahnhofs gelegen und könnte von daher auch belastet sein. Da alle erhöhten Proben aus dem Innenstadtbereich stammen, lässt sich vermuten, dass die teilweise doch deutlichen Verunreinigungen mit Zink aus den oben erwähnten Zinkzusätzen zu Gummireifen, sowie Motorölen stammt. Im Innenstadtbereich ist die Verkehrsdichte, und damit die Konzentration von Motorabgasen und Verbrennungsrückständen am höchsten.

Auch in den untersuchten Industriegebieten liegt der Median der Zinkverteilung mit 87,13 deutlich höher als in Land- und Forstwirtschaft. Es wurde jedoch kein Wert über der Grenzmarke der Klärschlammverordnung (1982) ermittelt. Der Schwerpunkt der Verteilung ist bei 100mg/kg gelagert. Maximal wurden 243,3 mg Zink in Probe 281 von

der Bergiusstraße in Hilstrup gemessen. Hier ist auch eine bekannte Farben- und Lackindustrie angesiedelt, sowie eine Eisenbahnlinie in direkter Nachbarschaft vorhanden. Als mögliche Eintragsquellen für Zink kommen diese sicherlich in Betracht.

Die Belastungssituation der untersuchten Flächen mit Zink ist bis auf die Ausnahme der Wohngebiete sicherlich nicht als bedenklich einzustufen. In den Industriegebieten sollten jedoch regelmäßige Kontrollen durchgeführt werden, um eine etwaige Überschreitung der zulässigen Höchstmenge rechtzeitig zu erkennen oder sogar noch abwenden zu können. Über die Folgen einer Umweltbelastung durch Zink wurde ja bereits oben berichtet. Die Belastungssituation in den Wohngebieten ist bedenklich und sollte überwacht werden.

3.7 Blei

Die hier untersuchten Flächen sind zum Untersuchungszeitpunkt teilweise schon erheblich mit Blei belastet. Dabei stellt sich die Frage nach den Eintragsquellen des Bleis in Böden. Außer natürliche Quellen kommen als Hauptbelastungsursachen 1. Kraftfahrzeugverkehr mit bleihaltigen Antiklopfmitteln (ca. 1990 deutlicher Rückgang durch bleifreies Benzin), 2. Kohleverbrennung durch Hausbrand, Kraftwerke und andere, sowie 3. Eisen- und Stahlerzeugung, bzw. Verhüttung und Verarbeitung von Blei und Bleierzen in Betracht. Außerdem werden nicht unerhebliche Mengen an Blei durch Aufbringen schwermetallhaltiger Klärschlämme und Komposte speziell in der Landwirtschaft in den Boden eingebracht (Ewers und Schlipköter 1984). Die Klärschlammverordnung (1982) gibt einen Grenzwert von 100 mg/kg TS zur Eindämmung einer möglichen Belastung vor.

Untersuchungen über den Bleigehalt des Bodens in verschiedenen Abständen vom Straßenrand zeigen, dass die Bleibelastung mit zunehmender Entfernung von der Straße abnimmt, was den Kraftfahrzeugverkehr als Emittenten deutlich erkennen lässt (Muskett 1981). Als die wichtigste Art des Eintrags in die Umwelt kommt die Feuchtdosition bleihaltiger Aerosole in Betracht (Rohbock et al. 1981).

Nutzungsart	Anzahl der Proben	Mittelwert	Varianz	Standardabweichung
LW	127	25,6496	97,7284	9,88577
FW	103	88,2718	2.384,65	48,8329
FW-A _h	24	14,8542	81,6791	9,03765
WG	52	49,85	2.900,13	53,8529
IG	21	49,5238	893,245	29,8872

Tab. 17: Gesamtstatistik der Bleiwerte der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Nutzungsart	Statistischer Unterschied
LW - FW	-62,6222
LW - WG	-24,2004
LW - IG	-23,8742
FW - FW-A _h	-73,4177
FW - WG	38,4218
FW - IG	38,748
FW-A _h - WG	-34,9958
FW-A _h - IG	-34,6696

Tab 18: Statistisch signifikante Unterschiede für Blei zwischen den einzelnen Bodennutzungsarten der Böden der Stadt Münster

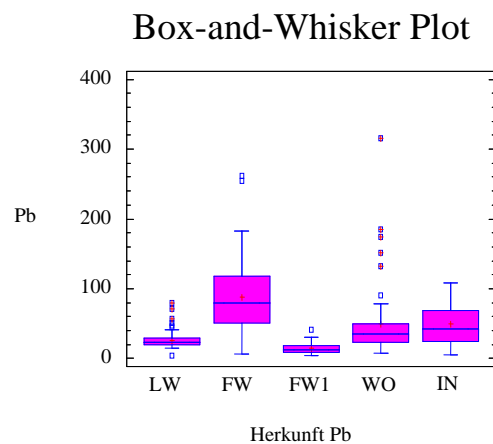


Abb. 63: Box-und Whiskerplots der Bleiwerte differenziert nach Bodennutzungsart.

Die durchgeführte ANOVA zeigt, dass die untersuchten landwirtschaftlichen Flächen statistisch gesichert am geringsten mit Blei belastet sind. Die Forstwirtschaftflächen (O-Horizonte) am meisten. Bestätigung findet diese Aussage im durchgeführten Multiple Range Test. Keine statistischen Unterschiede der Mittelwerte bestehen zwischen Landwirtschaft und A_n-Horizont der Forstwirtschaft, sowie zwischen Wohn- und Industriegebieten.

Bodenproben aus der Landwirtschaft weisen in dieser Untersuchung relativ geringe Bleikonzentrationen auf. Der Median der Verteilung liegt bei 23. Es wurden maximal 79,6 mg Blei in einer Probe ermittelt, was den Grenzwert noch deutlich unterschreitet. Hier ist die Belastungssituation mit Blei noch relativ gering. Ganz anders verhält sich die Situation in den Waldgebieten. Hier lassen sich deutliche Unterschiede in der Bleibelastung der beiden untersuchten Horizonte ausmachen. Im O-Horizont ist der Median der Verteilung bei 80 angesiedelt, während der des A_n-Horizontes bei nur 12 liegt. Noch deutlicher wird der Unterschied in der Bleikonzentration der verschiedenen Horizonte bei Betrachtung der prozentualen Verteilung, bei der 39,5% der Proben des O-Horizontes Bleigehalte über 100 mg/kg enthalten. Im A_n-Horizont wurde keine erhöhte Bleikonzentration gemessen. Dieser krasse Unterschied kommt dadurch zustande, dass das Blei in der obersten Bodenschicht einerseits durch Adsorption gebunden, und andererseits durch Bildung unlöslicher metallorganischer Komplexe mit den organischen Bestandteilen des oberen Bodenhorizontes festgelegt ist. Die Löslichkeit des Bleis wird zudem noch bei niedrigem Boden-pH, wie er ja in dieser Untersuchung besonders in Waldgebieten gemessen wurde, durch die organischen Substanzen weiter herabgesetzt. Maximale Bleikonzentrationen fanden sich im O-Horizont in den Proben 326 mit 261,9 mg und 199 mit 254,3 mg Blei. Erstgenannte Probe stammt aus der Davert nahe Hof Inkmann. Die Zweite aus einem Mischwald bei Albachten. Als Eintragsquelle erscheint hier die Feuchtd deposition als nächstliegend.

Wohngebiete weisen eine sehr heterogene Bleibelastung auf. Der Median der Verteilung liegt bei 33,45. Insgesamt enthalten 7,7% der Proben aus Wohngebieten zu hohe Bleikonzentrationen entsprechend der Klärschlammverordnung.

Der höchste gemessene Wert stammt aus dem Innenstadtbereich von der Meppener Straße mit einer Konzentration von 315 mg/kg (Probe 170). Die hieran anschließenden Proben 171 und 172 lagen mit 151 mg von der Ottostraße und 185,5 mg Blei vom Lærer Landweg ebenfalls weit über der zulässigen Grenze. In Probe 188 von der Scheibenstraße wurde eine Konzentration von 174,5 mg ermittelt. Alle 4 Proben mit erhöhten Bleigehalten liegen im südöstlichen Stadtbezirk Münsters. Hier sind, unter ande-

rem auch abhängig von der vorherrschenden Windrichtung, die Bleieinträge in die Böden mit den Autoabgasen erklärbar, die bei dem hohen Verkehrsaufkommen in der Innenstadt entstehen. Zur Zeit der Untersuchung waren die Abgase noch durch bleihaltiges Benzin entsprechend belastet. Dazu kommen aber auch Emissionen aus angrenzenden Industriegebieten.

In den Industriegebieten ist die Belastungssituation nicht so deutlich wie in den Forst- und Wohngebieten. Lediglich Proben 170 und 171 enthalten mit 108,5 mg und 105 mg Blei erhöhte Werte und kennzeichnen gleichzeitig die Belastungssituation am Mittelhafen und in der Schillerstraße. Der Median der Bleiverteilung in den Industriegebieten liegt bei 42,6. Wie in den oben besprochenen Wohngebieten entstammen die Proben mit erhöhten Bleiwerten wiederum dem Südosten Münsters. Eintragsquellen auch hier wiederum Kraftfahrzeugabgase und industrielle Emissionen.

3.8 Cadmium

Das für Lebewesen hochtoxische Schwermetall Cadmium wird in der Industrie beispielsweise als Korrosionsschutzüberzug, als Stabilisator in Kunststoffen und bei der Herstellung von Batterien und Pigmenten verwendet (Stoeppler 1984). Cadmium kann als Bestandteil von Dieselmotoren, Reifen und Schmierstoffen zu einer merklichen Erhöhung seiner Konzentration in straßennah gelegenen Böden führen (Ellenberg et al. 1981). Weiterhin führen cadmiumhaltige Industrieabgase, Klärschlämme und die Phosphatdüngung in der Landwirtschaft zur Erhöhung der Cadmiumbelastung des Bodens (BMI 1985). Als Grenzwert für die Bodenbelastung mit Cadmium gibt die Klärschlammverordnung (1982) einen Gehalt von 3 mg/kg TS an.

Nutzungsart	Anzahl der Proben	Mittelwert	Varianz	Standardabweichung
LW	127	0,244488	0,0138249	0,117579
FW	103	0,255049	0,0508801	0,225566
FW-A _n	24	0,190417	0,0380216	0,194991
WG	52	0,283462	0,0561603	0,236982
IG	21	0,301905	0,0334562	0,18291

Tab. 19: Gesamtstatistik der Cadmiumwerte der Proben aus den Böden der Stadt Münster

Nutzungsart	Statistischer Unterschied
FW-A _n – WG	-0,0930449
FW-A _n – IG	-0,111488

Tab 20: Statistisch signifikante Unterschiede für Cadmium zwischen den einzelnen Bodennutzungsarten der Böden der Stadt Münster

Box-and-Whisker Plot

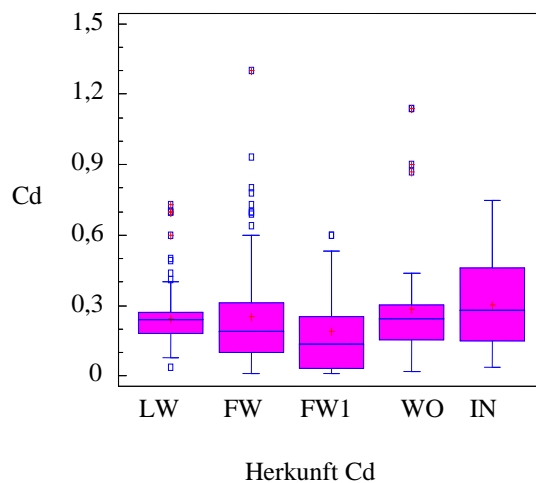


Abb. 64: Box- und Whiskerplots der Cadmiumwerte differenziert nach Bodennutzungsart.

Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Cadmiumverteilung konnten lediglich zwischen A_n-Horizont und Wohn-, bzw. Industriegebieten festgestellt werden. Im landwirtschaftlichen Bereich liegen die ermittelten Cadmiumkonzentrationen der Flächen sämtlich unter 1,0 mg/kg. Damit sind sie weit unter dem oben angeführten Grenzwert von 3,0 mg angesiedelt und als unbedenklich einzustufen. Der Median der Verteilung liegt bei 0,24.

In der Forstwirtschaft ist die höchste Cadmiumkonzentration mit 1,3 mg/kg in Probe 270 aus dem O-Horizont des Laubwaldes im Tiergarten Wolbeck gemessen worden. Cadmiumkonzentrationen in den untersuchten Wohngebieten sind ebenfalls nicht besorgniserregend erhöht.

In den Proben 188 von der Scheibenstraße und 222 vom Brunnenplatz wurden Gehalte von 1,14 mg Cadmium als Maximalwerte ermittelt.

In den Industriegebieten liegt der ermittelte Median der Verteilung bei 0,28. Insgesamt sind in den hier untersuchten Flächen keinerlei erhöhte Cadmiumkonzentrationen gemessen worden. Es werden jedoch zum Untersuchungszeitpunkt von offizieller Seite Überlegungen angestellt, aufgrund der hohen Toxizität dieses Schwermetalls, den Grenzwert für Böden auf 1 mg/kg zu reduzieren. Damit fielen einige der Proben dann als erhöht ins Gewicht, beispielsweise 2 Proben aus Wohngebieten.

4.0 Vergleich der Untersuchungsergebnisse mit anderen Untersuchungen

Da ein Vergleich von Untersuchungsergebnissen sich wegen unterschiedlicher Untersuchungsmethoden und -techniken, sowie wegen häufig noch fehlender Unterteilung der Bodennutzungsarten als schwierig erweist, können hier lediglich vergleichbare Ergebnisse aus landwirtschaftlichen Flächen dargestellt werden. Die Werte sind jeweils als arithmetisches Mittel in mg/kg TS angegeben.

Standort	Co	Ni	Cu	Cr	Zn	Pb	Cd
Münster	2,2	5,0	9,3	16,1	48,3	25,5	0,2
Münsterland ¹	12	9	8	13	60	< 50	0,6
Erlangen ² Acker	-	-	13	25	47	23,4	< 0,25
Kreis Lippe ³	-	17	13	26	70	31	0,4
Kreis Unna ⁴	-	7	11	17	72	31	0,4
NRW ²	13	12	10	17	75	50	0,8
Hessen ⁵	-	5,2	7,0	4,7	16,0	20,0	0,21
B.-Württemb. ⁶	-	35,4	21,7	37,0	101,3	39,7	0,78
Niederlande ⁷	-	< 34	< 29	< 79	< 118	< 72	< 1,0
Schweiz ⁸	-	27,4	18,7	-	56,1	22,9	< 0,5

Tab.21:

¹ = (Kick et al. 1980), ²=(Sühs 1986), ³ = (Kreis Lippe 1987),

⁴ = (Kreis Unna 1986), ⁵ = (Brüne und Ellinghaus 1982),

⁶ = (Hoffmann et al. 1982), ⁷ = (van Driel und Smilde 1982),

⁸ = (Häni et al. 1982)

Festzustellen ist die im Durchschnitt deutlich geringere Schwermetallkonzentration der münsterschen landwirtschaftlich genutzten Böden. Insgesamt liegt in keiner der Untersuchungen eine wesentliche Schwermetallbelastung vor. Damit wird also deutlich, dass sich die Belastungssituation des Bodens der Stadt Münster sowohl in Relation zu anderen untersuchten Flächen als auch absolut gesehen in normalen Verhältnissen bewegt.

Die hiermit durchgeführte Untersuchung stellt nur eine Momentaufnahme der Belastungssituation Münsters in Hinsicht auf die Schwermetallgehalte der Böden dar. Es zeigt sich jedoch, dass zum Untersuchungszeitpunkt keine wesentliche Belastung mit Schwermetallen vorhanden war. Lediglich punktuell gab es im Stadtgebiet Überschreitungen der Grenzwerte, insbesondere bei Blei, Zink und Cadmium. Wie auch in anderen Gebieten sind auch in Münster Anreicherungen mit luftgetragenen Schadstoffen vorhanden. Beispielsweise zeigt sich eine Bodenversauerung in den Waldböden mit Akkumulation von Blei in den Oberböden. Zugrunde liegt eine Verringerung der pH-Werte mit erhöhter Mobilität von Schwermetallen. Wesentlich jedoch im Hinblick auf weiter steigende Umweltbelastungen, und hier speziell die der Schwermetalleinträge in

den Boden, sowie der Versauerung der Böden, sind zukünftig anzustellende Messungen und weitere Vergleiche mit dieser und weiteren Voruntersuchungen. Es ist anzustreben, eine flächendeckende, katasterähnliche Untersuchungsperiodik einzuführen unter Erstellung eines Rasters und Berücksichtigung der unterschiedlichen Bodennutzungsarten. Insbesondere in Bereichen mit schon bestehenden Belastungen oder Versauerungen muss eine zeitlich engmaschige Kontrolluntersuchung erfolgen, um rechtzeitig wesentliche Gefährdungen für Mensch und Natur zu vermeiden.

5.0 Literatur

- Adams, McM. T.,
Sanders, J. R. The effect of pH, soil type and incubation on the release to solution of Zinc, Copper and Nickel from 3 soils treated with metal-loaded sewage sludges, Environmental contamination, Int. Conf. London, 237 – 242, Juli 1984
- Bachmann, G. Fachliche Eckpunkte zur Ableitung von Bodenwerten, Integrative Medicine 2, 1999
- Baecker-Baumeister, M. Beiträge zur Genese der Münsterländer Kiessandzone und (sich daraus ergebende) angewandt-geologische Aspekte, Inaugural Dissertation Universität Münster, 1983
- Brümmer, G. Funktion des Bodens im Stoffhaushalt der Ökosphäre in: Natur- und Umweltschutz in der Bundesrepublik Deutschland, Hrsg.: Olschowy. G., Parey-Verlag Hamburg, 1978
- Brümmer, G.,
Zeien, H.
Hiller, D. A.
Hornburg, V. Bindungsformen und Mobilität von Cadmium und Blei in Böden, Beurteilung von Schwermetallen in Böden von Ballungsgebieten: Arsen, Blei und Cadmium, Frankfurt a. M., 1994, DECHEMA, 197 – 218, 1994
- Brüne, H.,
Ellinghaus, R. Schwermetallgehalte in landwirtschaftlich genutzten Ackerböden Hessens
Landwirtsch. Forschg.38, 338-349, 1982
- Buddecke, E. Grundriss der Biochemie
de Gruyter Verlag, Berlin New York 1985
- Costa, M.,
Kraker, A. J.,
Patierno, S. R. Toxicity and Carcinogenicity of Essential and Non-essential Metals
Progress in Clinical Biochemistry and Medicine 1, 1-45, 1984
- Di Farrante, E. Lead: Exposure and health effects
Trace metals: exposure and health effects, published for Commission of the European Communities, 1979
- El Bassam, N. Kontamination von Pflanzen, Böden und Grundwasser durch Schwermetalle aus Industrie- und Siedlungsabfällen
gwf-wasser/abwasser 123, H. 11, 539-549, 1982
- Elinder, C.-G.,
Friberg, L. Cobalt, Handbook on the Toxicology of Metals, 23, 399-410, ed. by Friberg, L., Nordberg, G. F., Vouk, V. B., Elsevier/North Holland, Biomedical Press 1979
- Elinder, C.-G.,
Piscator, M. Zinc, Handbook on the Toxicology of Metals, 42, 675-685, ed. by Friberg, L., Nordberg, G. F., Vouk, V. B. Elsevier/North Holland, Biomedical Press, 1979
- Ellenberg, H. Straßen-Ökologie, Ökologie und Straße, Broschürenreihe der

- Müller, K.,
Stottele, T.
Ewers, U.,
Schlipkötter, H.-W. Deutschen Straßenliga, Ag. 3, 29-37, Bonn, 1981
- Förstner, U.,
Wittmann, G. T. W. Blei, Merian, E., Metalle in der Umwelt, 351-373, Springer Verlag 1984
- Förstner, U.,
Wittmann, G. T. W. Metal Pollution in the Aquatic Environment, Springer Verlag 1983
- Forth, W.,
Henschler, D. Allg. u. Spez. Pharmakologie, Merian, Ernest (Hrsg.), 763-776, 1987
- Friberg, L.,
Kjellström, T.,
Nordberg, G.,
Piscator, M. Cadmium, Handbook on the Toxicology of metals, 21, 355-381, ed. by Friberg, L., Nordberg, G. F., Vouk, V. B., Elsevier/North Holland, Biomedical Press, 1979
- Ganglhofer, J. Chrom: Merian, E., Metalle in der Umwelt, , 409-424, Verlag Chemie, Weinheim, 1984
- Glässer, E. West- und Kernmünsterland, Verlag Aschendorf, Münster 1973
- Häni, H.,
Gupta, S.,
Siegenthaler, A. Schwermetallgehalte einiger wenig belasteter typischer Böden der Schweiz: Landwirtsch. Forsch., 35, 314-323, Sonderheft 38, 1982
- Henkin, R. I. Zink: Merian, E., Metalle in der Umwelt, 597-629, Verlag Chemie, Weinheim, 1984
- Herms, U.,
Brümmer, G. Löslichkeit von Schwermetallen in Siedlungsabfällen und Böden in Abhängigkeit von pH-Wert, Redoxbedingungen und Stoffbestand, Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Ges., 27, 23-34, 1978a
- Herms, U.,
Brümmer, G. Einfluss organischer Substanzen auf die Löslichkeit von Schwermetallen, Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Ges., 27, 181 - 192, 1978b
- Herms, U.,
Brümmer, G. Einfluss der Bodenreaktion auf Löslichkeit und tolerierbare Gesamtgehalte an Nickel, Kupfer, Zink, Cadmium und Blei in Böden und kompostierten Siedlungsabfällen, Landwirtsch. Forsch., 33, 408 – 422, 1980
- Hoffmann, GG.
Schweiger, P.
Scholl, W.
Schmid, R. Grundbelastung der Böden von Baden-Württemberg mit Schwermetallen, Landwirtsch.Forschg.35, 324-337, Sonderheft 38, 1982
- Keller, R. Bodenbelastungen durch die Abfallbeseitigung? – Aufgaben des Gesundheitsamtes? Öff. Gesundh.-Wes., 48, 289 - 296, 1986

- Kick, H.,
Bürger, H.,
Sommer, K. Gesamtgehalte an Pb, Zn, Sn, As, Cd, Hg, Cu, Ni, Cr und Co in landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden Nordrhein-Westfalens, *Landwirtsch. Forsch.*, 33, 12 – 20, 1980
- Kieffer, F. Die lebensnotwendigen Spurenelemente, Merian, E., *Metalle in der Umwelt*, 117 – 123, Verlag Chemie, Weinheim 1984
- Kloke, A. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden, *Mitteilungen des VDLUFA*, 1 – 3, 9 – 12, 1980
- Kloke, A. Richt- und Grenzwerte zum Schutz des Bodens vor Überlastungen mit Schwermetallen, *Boden - das dritte Umweltmedium, Beiträge zum Bodenschutz - Forschungen zur Raumentwicklung*, Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn 13 – 24, 1985
- Knabe, W. Das Waldsterben aus immissionsökologischer Sicht, *Geographische Rundschau* 37, 249 – 256, H. 5, 1985
- Langard, S.,
Norseth, T. Chromium, *Handbook on the Toxicology of Metals*, 22, 382 – 397, ed. by Friberg, L. Nordberg, G. F., Vouk, V. B., Elsevier/North Holland, Biomedical Press, 1979
- Lehnert, G.,
Szadkowski, D. Die Bleibelastung des Menschen 5 – 29, Verlag Chemie, Weinheim 1983
- Lersner, Frh. V. H. Das dritte Medium, *Natur und Recht*, 6, 201 – 205, 1982
- Mathys, W.
Junge, E. Möglichkeiten und Grenzen der Analyse von Schwermetallimmissionen durch flächendeckend rastermäßige Boden- und Sedimentuntersuchungen, *Forum Städtehygiene* 40, 341 – 346, 1989
- Merkel, D.,
Köster, W. *Landwirtsch. Forsch.* 37, 556,
Verlag Sauerländer, Frankfurt am Main, 1981
- Müller, G. Pflanzennährstoffe im Boden, *drs., Bodenkunde*, 172 – 184, 1980
- Müller-Wille, W.,
Bertelsmeier, E. Der Stadtkreis Münster 1820 bis 1955, Reihe Siedlung und Landschaft in Westfalen, *Landeskundliche Karten und Hefte der Geographischen Kommission für Westfalen*, 9 – 10, 1955
- Muskett, C. J. The influence of some motor vehicle derived heavy metals on terrestrial ecosystems, *Heavy metals in the Environment*, 259 – 262, *Proceedings of the Int. Conference on heavy metals*, Amsterdam 1981
- Norseth, T.,
Piscator, M. Nickel, *Handbook on the Toxicology of Metals*, Chapt. 32, 541 – 553, ed. By Friberg, L., Nordberg, G. F., Vouk, V. B., Elsevier/North Holland Biomedical Press, 1979

- Nriagu, J.O. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere, *Nature*, 279, 409-411, 1979
- Paul, E. A.,
Huang, P. M.
Piscator, M. Chemical aspects of soil, *Environmental Chemistry*, 1, Part A, 69 – 86, 1980
Copper, *Handbook on the Toxicology of Metals*, 24, 411 – 420, ed. By Friberg, L., Nordberg, G. F., Vouk, V. B., Elsevier/North Holland, Biomedical Press, 1979
- Rohbock, E.,
Georgii, H.-W.,
Perseke, C.,
Kins, L. Wet and dry deposition of Heavy Metal-Aerosols in the Federal Republic of Germany, *Heavy Metals in the Environment*, 310 – 313, *Proceedings of the Intern. Conference on Heavy Metals*, Amsterdam 1981
- Scheffer, F.,
Schachtschabel, P. *Lehrbuch der Bodenkunde*, 15. Aufl., Akad. Verlag Spektrum Heidelberg, Stuttgart 2002
- Scheinberg, H. Kupfer, Merian, E., *Metalle in der Umwelt*, 451 – 463, Verlag Chemie, Weinheim, 1984
- Schlichting, E.,
Elgala, A. M. Schwermetallverteilung und Tongehalte in Böden, *Zeitschrift für Pflanzenernährung u. Bodenkunde*, 6, 563 – 571, 1975
- Schrauzer, G. N. Cobalt,
Merian, E., *Metalle in der Umwelt*,
425 – 433, Verlag Chemie, Weinheim, 1984
- Schrepfer, H. Der Nordwesten, *Landeskunde von Deutschland*, I, 248-250, 1935 (Nachdruck 1974)
- Silbergeld, E. K.,
Carol, P. T.
Goldberg, A. M. Neurotoxicity of Lead: A review of experimental studies, *Intern. Conf. on Heavy Metals in the Environment*, Toronto, Ontario, Canada, Oct. 27-31, 213-227, 1985
- Smith, W. H. Air Pollution and Forests, *Interactions between Air contaminants and forest Ecosystems*, 284 – 286, *Springer Series on environmental management*, 1981
- Stadt Münster Flächennutzungsplan, Hrsg.: Oberstadtdirektor, Münster, Fechttrup, Juli 1983
- Stoeppler, M. Cadmium, Merian, E., *Metalle in der Umwelt*, 375 – 408, Verlag Chemie, Weinheim, 1984
- Taylor, T. Zum Transportverhalten der Schwermetalle Cd, Cr, Cu und Zn in ausgewiesenen Böden und Sedimenten, Kiel, *Inaugural Dissertation*, 1989
- Tsuchia, K. Lead: *Handbook on the Toxicology of Metals*, Chapt. 28, 451 – 484, ed. by Friberg, L., Nordberg, G. F., Vouk, V. B., Elsevier/North Holland, Biomedical Press, 1979
- Ulrich, B. Ökolog. Gruppierung von Böden nach ihrem chem. Bodenzustand, *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 144, 289 - 305, 1981

- Ulrich, B.,
Meiwes, K. J.,
König, P. K.,
Khanna, P. K.
Umweltbundesamt Untersuchungsverfahren und Kriterien zur Bewertung der
Versauerung und ihrer Folgen in Waldböden, Sonderdruck
aus „Der Forst- und Holzwirt“, 39, H. 11, 278 – 286, 1984
Daten zur Umwelt, Erich Schmidt Verlag Berlin 1986/87
- Van Driel, W.,
Smilde, K. W. Heavy-Metal Contents of Dutch Arable Soils: Landwirtsch.
Forschg. 35, 305 – 313, Sonderheft 38, 1982
- Von Lersner, H. Das dritte Medium: Natur und Recht 6, 4. Jg., 201 – 205,
1982
- Wedepohl, K.-H. Handbook of Geochemistry, 2,1 bis 2,5, Elements,1978

Zitierte Gesetze und Verordnungen

- BMI Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung, 158 – 173,
Bundestags-Drucksache 10/2977, 7. März 1985
- Der Oberstadtdirek- Flächennutzungsplan, Kurzfassung des Erläuterungsberich-
tor der Stadt Münster tes, 1983
- Jarass, H.-D. Bundes-Immissionsschutzgesetz 2007, Verlag Beck, Mün-
chen, 7. überarb. Auflage, 2007
- Klärschlammverord- Bundesgesetzblatt, Teil 1, 734 – 738, Jg. 1982, -AbklärV
nung vom 25. Juni 1982
- Stadt Münster Amtl. Stadtplan der Stadt Münster, 8/77, Maßstab 1 : 75.000
- Stadt Münster Amtlicher Stadtplan der Stadt Münster, Maßstab 1 : 20.000
Ag. 1980
- TA-Luft Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-
Immissionsschutzgesetz vom, 12 – 19, 27.02.1986

Zitierte Untersuchungsberichte

- Brüne, H.,
R. Ellinghaus Schwermetallgehalte in landschaftlich genutzten Ackerböden
Hessens, Landwirtschaftl. Forsch., 38, Kongressband, 338 –
347, 1982
- Crößmann, G. Schwermetalle in Böden des Kreises Unna, Kreis Unna, Um-
weltamt, Rh. Bodenbelastungskarte, 2, 1988
- Häni, H.,
S. Gupta
Siegenthaler, A. Schwermetallgehalte einiger wenig belasteter typischer Bö-
den der Schweiz, Landw. Forsch., Sonderheft 38, Kongress-
band, 314 – 323, 1982
- Hoena, G. Schwermetall-Belastung in Oberflächengewässern und Se-
dimenten im Münsterland, Inaugural Dissertation Münster,

1981

- Kick, H.,
Bürger, H.
Sommer, K. Gesamtgehalte an Pb, Zn, Sn, As, Cd, Hg, Cu, Ni, Cr und Co
in landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden Nord-
rhein-Westfalens, Landwirtschaftl. Forsch. 33, 12 – 23, 1980
- Kreis Lippe Schwermetalle in land- und forstwirtschaftlich genutzten Bö-
den des Kreises Lippe, Kreis Lippe, Umweltamt, 1987
- Kreis Unna Schwermetalle in Böden verschiedener Nutzungsformen in
Kreis Unna, Umweltbericht 2, Bodenbelastungskarte Teil 1,
1986
- Mathys, W.
Junge, E. Schwermetalle in Böden des Kreises Steinfurt, Institut für Hy-
giene der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Juli
1989
- Mathys, W.
Junge, E. Schwermetalle und pH-Werte in Böden der Stadt Münster,
Werkstattberichte zum Umweltschutz,3, 1989
- Sühs, K. Orientierende Untersuchung über den Schwermetallgehalt im
Boden des Stadtgebietes von Erlangen, Forum Städte-
Hygiene, 37, 265 – 270, Juli/August 1987

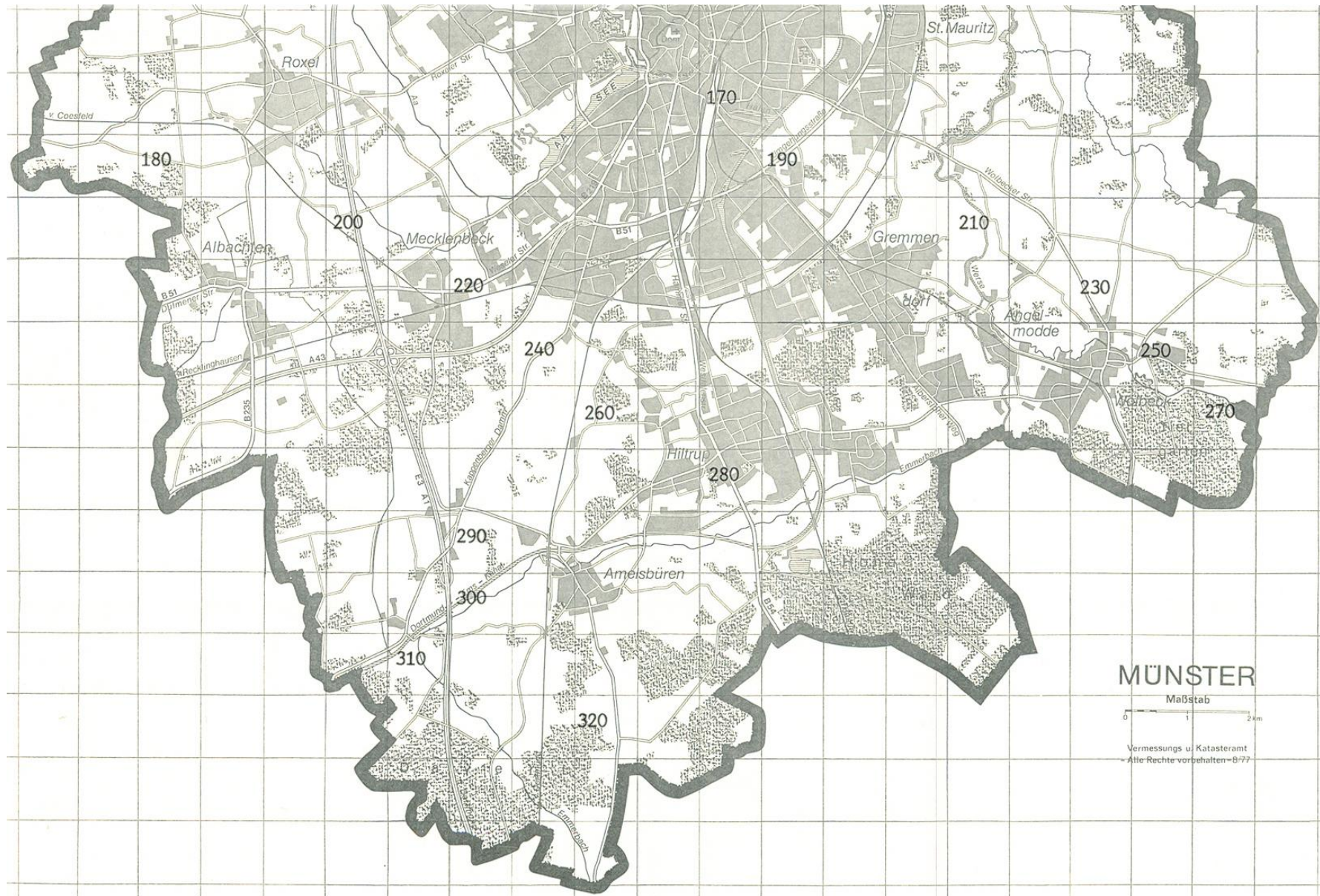
6.0 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. rer. nat. Werner Mathys für die wissenschaftliche Anleitung bei der Bearbeitung des Themas und die immer gern gewährte Hilfe bei der Erstellung der Arbeit.

Dank an meine Frau Edith für die große Geduld und Hilfe bei der Dateneingabe.

Besonderer Dank gilt auch Erich und Jonas Schnieder, sowie Walter Barth für die tatkräftige computertechnische Unterstützung und Angelika Voß für ihre perfekte Schreib- und Computerarbeit.

8.0 Lageplan südlicher Teil der Stadt Münster mit Probeentnahmestellen



9.0 Tabellarischer Anhang

Messergebnisse der pH- und Schwermetallmessungen aus den Probenentnahmestellen 170 bis 327 im südlichen Teil der Stadt Münster

Proben Nr.	pH H ₂ O	pH KCl	Co	Ni	Cu	Cr	Zn	Pb	Cd
170c	5,55	5,41	3,6	13,03	9,2	17,8	787	315,1	0,9
170d	6,69	6,5	3,74	13,79	29,8	17,5	146,1	108,5	0,75
171c	6,07	5,9	2,87	7,2	17,6	18,6	324,3	151,6	0,31
171d	6,61	6,52	3,74	13,03	26,9	21,6	129,5	105,1	0,46
172c	6,53	6,32	3,6	10,77	17,1	17,8	116,7	185,5	0,31
173a	5,68	5,57	3,45	6,46	10,8	21,9	46,55	22,6	0,34
173b	3,28	2,9	1,86	4,6	7,5	12,3	37,47	41,6	0,12
173c	6,28	6,14	2,72	6,83	30,3	20,7	70,17	51,6	0,30
174a	5,83	5,51	2,43	2,86	8,3	18,0	41,06	23,9	0,28
174b	3,57	3,06	0,86	2,01	4,1	5,4	14,74	36,1	0,05
175a	5,6	5,39	2,72	4,6	8,3	18,6	49,28	20,9	0,28
175b	3,18	2,96	1,86	4,41	16,8	12,3	45,88	94,7	0,14
176a	4,65	4,47	2,43	4,6	9,3	18,5	44,93	21,8	0,21
176b	3,07	2,8	1,86	4,97	17,3	12,0	49,18	117,4	0,22
177a	6,02	5,87	2,88	5,34	9,8	20,0	60,93	30,0	0,40
177b	3,19	2,92	1,6	3,12	8,3	10,2	32,8	79,6	0,16
178a	6,14	5,84	3,9	7,5	7,5	23,5	50,69	28,2	0,70
178b	3,41	3,17	3,8	8,4	16,6	10,3	71,63	139,0	0,70
179a	6,42	6,28	5,2	10,0	17,8	4,6	171,82	51,3	0,60
179b	3,32	2,95	3,5	7,5	10,1	7,7	45,21	71,7	0,50
180a	6,23	5,83	2,88	4,23	5,2	25,9	39,2	18,6	0,19
180b	2,99	2,75	1,71	3,67	12,3	10,3	36,63	107,7	0,12
181a	6,51	6,16	3,16	7,76	46,3	22,6	53,76	26,8	0,27
182a	5,73	5,33	2,43	4,79	8,3	15,1	43,12	24,7	0,27
182d	6,81	6,55	2,0	4,23	12,5	10,5	62,23	32,7	0,25
183b	3,17	2,82	2,88	5,53	14,6	13,3	52,76	99,0	0,16
184a	5,63	5,34	2,56	5,16	6,8	15,2	38,37	18,1	0,16
185a	5,84	5,63	3,6	8,89	23,4	24,6	127,3	47,2	0,73
186a	7,06	6,78	3,88	8,32	11	16,2	44,93	22,4	0,21
186b	3,12	2,92	1,86	6,09	20,5	12,1	63,4	141,3	0,25
186c	6,29	6,25	3,01	7,39	25,3	10,5	65,95	41,4	0,25
187c	5,88	5,65	1,14	2,34	6,1	7,0	19,6	22,0	0,08
188c	5,82	5,53	3,74	21,26	41,1	37,7	320,5	174,5	1,14
189d	7,33	7,03	4,47	13,98	22,7	20,9	129,5	56,8	0,43
190a	6,28	5,93	2,72	6,09	15,3	21,1	53,75	41,2	0,24
190b	3,77	3,48	1,86	4,41	16,6	12,1	49,97	84,5	0,09
190c	7,47	7,16	4,77	13,6	20,7	15,4	122,4	45,1	0,30
190d	5,92	5,65	1,86	4,41	8,3	9,5	39,06	24,9	0,18
191a	7,14	6,84	3,01	6,09	11,8	17,5	49,37	24,7	0,28
191b	6,66	6,41	2,72	7,02	6,4	14,6	49,78	29,6	0,24
191c	7,15	6,74	2,0	5,71	12,9	18,5	43,41	14,3	0,16
192a	5,89	5,54	2,87	4,79	9,1	18,6	45,48	25,4	0,21

Proben Nr.	pH H ₂ O	pH KCl	Co	Ni	Cu	Cr	Zn	Pb	Cd
192b	5,35	5,16	3,01	6,83	19,1	15,7	141,2	61,8	0,43
193a	6,27	5,86	2,43	4,79	9,8	17,7	49,28	24,5	0,24
194a	5,55	5,18	3,01	6,27	8,3	22,1	48,79	28,9	0,21
194b	3,11	2,79	1,71	4,6	11,6	12,5	41,27	80,0	0,05
195a	5,9	5,58	2,29	4,41	9,1	17,0	97,06	23,2	0,32
195b	3,14	2,87	1,6	4,23	9,3	11,0	40,03	75,2	0,15
196a	6,03	5,68	2,29	4,6	11	17,8	48,13	30,0	0,24
196b	3,14	2,77	2,29	6,64	14,9	18,0	54,81	79,3	0,18
197a	6,52	6,39	1,71	3,12	11,6	19,3	41,62	23,0	0,22
197b	3,03	2,74	1,86	4,23	16,6	8,9	48,69	132,5	0,28
198a	5,12	4,77	2,72	2,38	6	19,5	41,98	21,6	0,21
198b	3,16	2,84	1,28	3,67	14,6	10,3	41,27	101,6	0,21
199a	7,36	6,99	3,3	7,39	8,9	14,7	45,32	17,3	0,14
199b	3,17	2,85	1,14	2,94	15,5	5,0	33,47	254,3	0,02
200a	6,38	6,08	3,16	7,76	16,1	24,2	57,11	24,5	0,27
201a	6,35	6,01	2,43	4,79	7,8	14,1	43,11	19,8	0,22
202a	6,75	6,48	2,87	6,27	35,6	17,0	41,27	20,5	0,19
202c	6,25	6,04	3,59	9,45	14,3	13,7	96,4	46,1	0,34
203a	5,13	4,68	1,43	6,09	5,5	10,3	35,14	19,2	0,24
203c	4,88	4,65	0,86	6,83	18,3	11,2	71,19	78,1	0,41
203d	5,34	4,96	1,71	6,49	10,9	9,5	35,71	29,4	0,30
204c	5,55	5,16	1,14	1,46	2,8	6,2	14,36	11,5	0,16
205c	5,41	5,01	2,28	2,92	8,4	7,8	43,78	23,2	0,16
206d	6,16	5,86	1,0	2,57	5,4	11,3	15,06	15,8	0,11
207a	5,61	5,26	2,0	3,86	7,0	13,4	41,27	30,4	0,27
207c	6,30	5,98	1,71	6,27	15,8	15,4	250,4	89,8	0,28
207d	7,26	7,04	1,0	4,6	9,8	36,1	58,04	60,6	0,19
208a	6,64	6,29	2,43	6,46	20	21,1	74,76	71,7	0,19
208b	3,47	3,14	2,14	5,9	15,5	14,9	48,5	71,1	0,11
208c	5,51	5,2	1,43	3,12	5,0	10,5	35,64	22,2	0,14
209a	5,6	5,22	2,0	3,86	9,8	12,9	44,92	36,7	0,11
209b	3,18	2,82	1,71	4,04	18,7	11,8	33,17	103,0	0,05
209c	5,59	5,33	2,43	4,46	14,5	12,6	62,42	46,2	0,27
210a	6,65	6,28	1,71	3,86	5,5	14,6	35,0	21,8	0,14
211a	4,89	4,46	2,0	3,62	6,8	10,5	40,86	30,6	0,27
211b	3,29	2,94	1,86	4,23	9,8	11,2	38,51	68,4	0,09
212a	7,42	7,15	2,72	6,64	7,9	18,0	39,89	24,9	0,16
212b	4,06	3,77	2,14	5,53	11,8	12,1	53,38	74,0	0,46
213a	6,89	6,56	2,87	4,79	5,5	20,3	37,75	15,0	0,18
214Aa	5,42	4,97	2,14	4,97	4,8	17,3	35,0	20,9	0,24
214Ab	3,37	3,04	2,0	5,34	8,0	14,4	43,86	60,6	0,16
214a	6,38	6,16	2,29	4,97	9,8	20,1	50,29	22,6	0,25
214b	4,11	3,65	1,86	3,86	4,2	11,3	29,76	32,1	0,11
215a	5,25	4,86	0,86	1,09	6,3	6,8	26,31	15,0	0,14
215b	3,39	3,11	1,28	4,04	13,1	7,0	51,37	165,7	0,21
216a	5,50	5,18	2,29	5,16	7,3	15,4	44,85	22,8	0,25
216b	3,2	2,94	2,43	3,86	25,1	12,1	47,86	124,9	0,21
216c	7,37	7,05	1,14	4,79	4,1	9,2	25,04	11,6	0,05
217a	6,45	6,14	2,58	5,53	5,5	15,4	45,72	21,1	0,28

Proben Nr.	pH H ₂ O	pH KCl	Co	Ni	Cu	Cr	Zn	Pb	Cd
218a	5,05	4,73	2,0	4,23	6,7	17,0	41,27	24,3	0,15
218b	3,09	2,87	1,86	4,97	16,9	11,5	46,55	110,5	0,01
218d	6,67	6,36	1,6	3,12	8,3	10,5	52,53	51,0	0,11
219a	6,78	6,58	1,71	2,94	4,2	10,7	32,49	18,2	0,19
219c	6,47	6,32	3,45	10,57	22,1	15,5	114,5	35,3	0,19
219d	4,74	4,56	3,6	12,46	62,1	10,3	182,6	80,0	0,46
220a	5,05	4,68	1,86	3,86	8,7	12,0	43,28	33,2	0,22
220b	3,54	3,11	1,28	7,58	20,9	10,2	76,95	156,8	0,73
220c	4,79	4,56	1,43	8,89	20,2	14,9	238,9	42,6	0,73
220d	5,61	5,4	1,71	8,70	25,1	14,7	124,3	68,4	0,50
221a	6,39	6,01	1,6	5,34	9,6	17,5	70,8	40,5	0,16
221c	7,04	6,72	1,0	4,23	6,8	6,5	38,63	23,2	0,08
221d	7,18	6,87	1,28	4,97	8,8	5,5	51,96	15,6	0,06
222a	5,92	5,54	1,0	6,83	33,8	31,9	100,4	79,6	0,44
222b	3,38	3,0	1,43	4,97	10	12,5	49,52	70,5	0,08
222c	6,02	5,75	1,14	7,58	20,5	11,2	472,7	58,5	1,14
223a	7,19	7,07	1,0	4,04	13,3	11,6	49,04	35,1	0,27
223b	3,71	3,42	1,28	4,79	68,7	9,1	59,12	123,3	0,22
223c	6,53	6,16	1,71	3,67	6,5	8,9	45,68	26,6	0,24
223d	7,11	6,85	1,43	2,75	5,0	9,9	67,35	19,2	0,15
224a	6,36	5,83	3,16	7,02	9,1	24,2	68,12	34,0	0,14
224d	6,17	5,84	2,29	4,97	13,1	15,4	99,8	42,6	0,35
225b	6,94	6,83	2,72	6,09	8,5	9,7	37,48	34,0	0,14
225c	6,74	6,55	1,71	4,04	7,1	26,9	42,8	24,9	0,15
225d	6,94	6,67	1,60	4,23	15,6	35,4	91,53	38,8	0,28
226c	6,81	6,49	2,43	8,14	21,2	38,4	170,8	53,7	0,21
226d	6,28	6,05	2,14	6,46	17,1	12,1	113,8	62,0	0,46
227a	5,56	5,19	1,43	2,38	8,3	10,3	36,59	28,5	0,25
227b	3,26	2,94	2,0	4,41	10,0	12,1	42,93	129,1	0,08
227c	5,90	5,73	1,60	6,09	11,0	12,3	56,95	32,3	0,27
228a	7,03	6,76	2,29	3,86	8,7	17,5	45,22	23,5	0,21
228c	6,71	6,31	2,87	6,09	10,8	16,0	108,9	32,1	0,28
229a	6,14	5,76	1,14	1,83	6,0	10,7	44,49	22,4	0,27
229b	3,29	2,90	1,86	5,34	22,4	12,1	62,15	183,0	0,56
230a	7,38	7,08	1,28	2,75	7,5	19,0	39,34	23,0	0,24
230c	6,7	6,32	2,00	4,23	10,5	15,5	48,13	22,2	0,16
231a	6,55	6,19	1,57	2,75	5,4	10,5	46,06	16,4	0,11
232a	7,15	6,81	1,28	2,75	6,4	9,2	38,63	15,6	0,24
233a	6,26	5,92	0,86	1,46	7,7	8,4	33,71	16,4	0,21
233b	3,37	2,90	1,80	5,5	19,0	4,5	44,36	126,6	0,70
234a	5,28	4,95	2,90	4,90	6,2	9,1	52,18	29,9	0,70
234b	3,20	2,83	2,10	5,90	21,3	3,8	60,30	151,5	0,80
235a	5,68	5,25	2,14	5,16	7,8	16,2	45,53	21,3	0,28
236a	7,72	7,34	2,43	4,60	11,8	15,9	44,56	20,3	0,19
236c	6,46	6,19	2,14	4,41	8,3	10,5	37,18	23,3	0,12
237a	5,49	5,09	1,17	3,12	5,2	11,6	25,57	18,1	0,14
237b	3,14	2,79	2,43	6,46	32,1	9,4	63,41	174,7	0,37
238a	6,76	6,44	2,43	5,16	8,7	14,6	44,93	27,7	0,16
238b	3,08	2,81	1,86	4,79	23,3	10,0	59,12	164,5	0,30

Proben Nr.	pH H ₂ O	pH KCl	Co	Ni	Cu	Cr	Zn	Pb	Cd
239a	5,94	5,50	5,00	8,8	9,3	14,7	55,69	37,8	0,70
239b	3,39	2,97	1,43	4,41	76,4	8,1	56,18	109,3	0,25
240a	6,38	5,82	2,87	5,16	6,7	16,0	44,29	23,7	0,24
241a	7,18	6,86	3,89	7,95	10,1	19,1	59,47	28,9	0,32
241b	4,24	3,79	2,15	4,04	10,5	11,6	55,44	83,7	0,25
242a	6,00	5,71	1,86	2,86	18,2	14,6	71,66	57,0	0,27
242b	3,31	2,94	1,00	2,01	9,3	8,6	19,49	48,3	0,08
243a	6,07	5,71	1,43	2,75	7,8	12,3	46,06	34,2	0,28
243b	3,08	2,75	1,14	2,57	12,6	6,5	30,81	74,8	0,15
243c	6,73	6,65	2,43	5,71	16,8	18,6	159,54	64,3	0,30
243d	7,83	7,58	3,01	10,20	19,3	14,7	87,13	72,4	0,46
244b	3,11	2,71	1,60	4,41	14,5	8,6	74,05	131,1	0,55
244c	6,21	6,01	1,43	4,23	11,3	10,4	107,7	36,5	0,24
244d	5,78	5,42	1,28	2,38	5,4	9,2	111,9	20,9	0,12
245a	5,41	5,03	1,71	2,57	5,5	18,6	40,3	24,3	0,22
245b	3,24	2,71	0,57	1,09	6,0	2,8	14,06	47,4	0,11
245c	6,93	6,68	1,86	3,30	12,9	12,1	55,30	26,2	0,22
246a	5,83	5,53	1,43	2,01	11,1	13,3	45,98	44,3	0,49
246b	3,42	2,96	1,43	1,64	9,3	8,6	33,31	63,0	0,15
246c	5,83	5,53	1,00	1,46	6,4	7,8	22,31	18,2	0,12
247a	4,93	4,29	0,71	0,73	0,7	2,6	7,31	3,7	0,08
247b	4,53	4,13	0,86	1,46	5,0	8,6	21,18	43,7	0,14
247c	5,95	5,50	1,71	4,04	7,8	8,7	46,78	26,8	0,25
248a	6,64	6,19	2,14	2,57	6,4	14,6	44,06	22,4	0,27
248c	6,04	5,69	1,71	3,49	19,3	17,8	48,40	47,4	0,16
249a	6,67	6,29	2,14	3,67	7,9	21,9	49,04	26,6	0,31
249c	5,50	5,22	2,00	6,46	14,6	17,9	238,0	42,0	0,87
250a	6,02	5,53	2,00	6,46	12,6	34,2	70,81	38,2	0,41
250b	5,86	5,65	1,60	2,38	7,0	7,8	32,49	52,7	0,08
250c	6,67	6,52	2,87	9,45	12,6	16,4	70,81	61,0	0,40
251a	6,98	6,53	5,21	15,1	10,5	29,9	57,75	27,7	0,35
251b	3,48	3,05	1,60	4,23	6,8	11,6	42,11	31,5	0,11
252a	7,39	7,03	3,01	7,02	7,8	23,6	48,13	23,3	0,30
252b	3,31	2,90	1,71	5,16	17,0	13,7	48,85	90,0	0,06
253a	6,44	6,27	2,29	4,60	9,1	16,2	45,30	20,9	0,24
254a	5,01	4,65	1,14	2,01	4,9	8,4	32,07	20,1	0,25
255a	7,63	7,16	1,86	8,51	11,9	15,8	40,87	19,4	0,19
255b	3,29	2,96	2,29	4,97	15,3	12,0	54,06	106,1	0,19
256a	6,73	6,55	1,86	4,41	7,5	12,3	32,90	20,5	0,24
256b	4,36	4,08	1,71	4,23	5,5	9,1	44,93	32,3	0,43
257a	7,01	6,60	1,86	3,30	5,7	19,8	32,65	19,4	0,25
257b	3,17	2,77	2,29	7,20	27,4	12,9	65,66	176,7	0,34
258a	6,30	5,91	1,28	5,53	9,1	18,0	44,56	23,5	0,19
258b	3,35	2,98	1,43	4,41	16,3	9,4	48,13	72,4	0,28
259a	7,51	7,07	2,87	12,09	11,6	20,00	62,98	33,8	0,37
260a	6,15	5,82	3,30	10,58	10,1	21,3	46,46	20,1	0,25
260b	3,33	2,90	1,00	2,57	9,5	5,4	40,04	66,1	0,24
261a	5,77	5,35	1,43	3,12	8,8	14,7	44,93	35,9	0,32
261c	7,40	7,13	1,14	2,94	9,3	14,1	39,55	22,6	0,37

Proben Nr.	pH H ₂ O	pH KCl	Co	Ni	Cu	Cr	Zn	Pb	Cd
262c	6,43	6,16	1,14	2,38	6,2	10,5	42,45	23,3	0,21
263b	4,90	4,44	2,29	5,90	13,0	12,8	65,19	60,3	0,28
263c	6,33	6,12	2,00	5,71	10,5	14,2	57,75	41,0	0,31
264a	5,09	4,66	0,71	2,75	6,7	7,3	32,90	23,5	0,25
264b	3,33	2,89	1,43	4,79	6,2	11,6	38,63	31,7	0,08
264c	6,94	6,67	2,72	5,71	11,6	18,6	113,8	41,4	0,44
265a	6,01	5,74	1,43	3,30	8,5	9,9	42,11	19,9	0,18
265b	4,18	3,89	1,60	3,86	6,2	8,1	48,49	44,9	0,64
265c	5,67	5,28	1,28	2,94	6,0	7,9	62,77	34,6	0,27
266a	5,80	5,34	1,60	2,75	0,5	10,2	42,45	18,8	0,16
266b	4,82	4,19	0,71	0,73	1,2	2,8	9,32	7,7	0,04
266c	6,21	6,08	1,86	4,60	7,3	9,5	58,59	30,6	0,27
267a	6,47	6,15	2,58	5,34	10,1	14,7	52,19	23,2	0,15
267b	3,32	2,83	2,14	5,34	23,8	15,4	50,02	132,7	0,09
267c	5,90	5,68	1,14	3,12	5,1	6,6	42,11	22,4	0,22
268a	6,08	5,70	1,14	3,30	6,4	10,3	40,73	22,6	0,28
268b	3,91	3,67	1,00	2,01	5,2	5,4	15,94	33,40	0,12
268c	6,44	6,35	1,60	4,41	7,0	10,5	51,28	28,1	0,22
269Bb	3,48	3,04	1,00	3,12	7,7	6,8	32,49	51,2	0,15
269Bc	3,62	3,25	1,00	1,83	2,6	5,7	14,19	12,6	0,05
270Bb	3,45	2,99	4,10	9,00	21,9	4,8	76,78	178,6	1,30
270Bb	3,17	2,72	0,57	0,91	3,3	3,6	13,42	20,9	0,18
271a	6,33	6,20	1,71	3,86	8,5	12,0	45,52	18,2	0,16
272a	5,73	5,29	2,72	5,53	4,2	16,4	38,63	19,8	0,18
272b	3,05	2,73	4,10	5,90	17,0	5,1	46,17	125,1	0,50
273b	3,22	2,92	2,43	7,76	20,0	14,7	63,41	141,9	0,19
274a	6,53	6,12	3,16	8,51	6,8	21,9	54,74	26,4	0,30
275a	7,53	7,04	3,57	8,88	9,5	21,4	50,12	23,3	0,19
276a	7,09	6,72	3,01	8,14	9,6	23,4	56,79	27,3	0,25
277a	6,18	5,80	1,14	7,2	8,5	19,3	55,44	25,8	0,24
277b	3,57	3,18	0,86	2,01	9,1	11,5	47,27	75,8	0,19
278a	6,44	5,92	2,58	5,71	7,2	17,2	42,11	19,8	0,18
278b	3,54	3,07	0,86	1,83	5,9	4,6	15,58	31,7	0,05
279a	6,12	5,47	3,16	7,39	8,3	17,0	54,74	25,4	0,14
279b	6,15	5,90	5,21	15,3	22,6	20,3	123,2	71,1	0,69
279c	7,43	7,06	1,71	4,79	8,2	13,9	45,68	73,7	0,19
280a	7,14	6,93	3,14	9,40	11,4	18,4	41,40	21,4	0,18
280b	4,59	4,32	1,57	4,04	10,3	9,4	47,11	53,9	0,21
280c	8,30	7,79	1,28	3,67	4,1	6,6	39,62	17,5	0,11
281a	7,15	6,97	1,71	4,97	0,5	14,1	61,75	31,1	0,24
281c	7,05	6,74	1,57	4,23	5,7	10,0	53,41	25,6	0,28
281d	7,93	7,58	3,45	8,32	23,4	14,0	243,3	89,8	0,44
282a	5,86	5,55	1,43	2,94	7,8	10,8	44,85	20,1	0,11
282c	7,18	6,96	1,71	4,41	5,9	12,6	60,2	21,1	0,15
283a	7,21	6,98	1,28	2,57	5,0	8,9	48,40	17,9	0,19
283b	3,33	3,03	1,60	3,86	10,1	11,2	37,62	64,7	0,04
283c	5,08	4,71	0,71	1,83	4,9	11,3	16,17	12,0	0,05
284Bb	3,73	3,42	1,43	3,86	7,3	5,8	27,34	37,8	0,09
284Bc	4,31	3,72	1,0	3,12	2,3	4,6	18,18	11,3	0,02

Proben Nr.	pH H ₂ O	pH KCl	Co	Ni	Cu	Cr	Zn	Pb	Cd
285Bb	3,53	3,16	1,14	2,94	14,5	8,4	33,30	81,0	0,21
285Bc	3,65	3,22	1,0	2,57	1,5	8,7	14,19	16,9	0,12
286Bb	4,33	3,86	1,28	2,94	3,1	4,2	12,67	14,3	0,04
286Bc	3,88	3,22	1,28	2,38	1,2	8,9	28,57	9,9	0,02
287a	7,24	6,74	2,14	4,79	14,8	13,1	47,02	20,3	0,15
287b	3,22	2,92	2,43	7,76	20,0	14,7	31,50	141,9	0,19
288a	7,42	6,96	3,01	7,02	7,8	14,9	45,53	21,3	0,08
289a	7,28	6,85	2,87	7,20	15,8	14,2	46,86	19,9	0,21
289b	3,30	2,95	1,43	4,23	12,9	9,5	50,64	101,7	0,12
290a	6,98	6,67	3,16	7,20	9,1	34,7	74,68	36,1	0,27
290b	3,42	2,96	1,60	4,41	62,2	10,8	54,74	111,0	0,22
291a	6,88	6,45	2,87	6,27	7,2	16,8	45,68	23,2	0,19
291d	7,78	7,54	0,71	1,09	1,9	1,7	9,74	5,2	0,04
292a	6,81	6,61	1,14	3,49	7,1	25,4	56,95	25,2	0,19
292b	6,32	6,06	2,14	7,58	8,2	19,0	52,67	31,5	0,08
292c	7,35	6,98	1,43	5,53	10,1	11,3	59,47	35,7	0,09
293a	7,19	6,94	1,60	6,46	11,0	17,0	60,20	29,8	0,27
293d	7,75	7,26	1,60	5,71	13,0	14,2	68,12	40,30	0,24
294a	6,66	6,07	1,43	4,04	6,5	13,9	44,20	19,9	0,19
294b	3,45	3,01	0,86	1,65	3,9	5,7	16,32	38,2	0,09
295a	6,71	6,13	1,28	2,75	7,5	15,2	57,75	33,8	0,35
295b	3,57	3,10	0,86	2,38	16,1	6,3	29,09	76,3	0,19
296a	6,71	6,45	1,86	4,79	13,8	18,8	67,86	33,6	0,25
296Bb	4,20	3,77	1,28	4,60	5,5	7,9	26,28	21,5	0,04
296Bc	3,90	3,55	0,86	2,01	4,4	7,3	17,18	30,0	0,02
297Bb	3,09	2,70	1,00	5,16	10,1	5,7	39,76	91,4	0,34
297Bc	3,26	2,83	0,43	0,36	3,3	2,0	6,90	6,0	0,08
298a	6,64	6,29	0,86	4,97	9,5	21,6	55,44	32,8	0,16
298b	3,92	3,58	2,00	6,46	19,2	12,8	75,63	148,1	0,24
299a	5,91	5,50	2,14	4,60	10,0	15,5	48,95	21,6	0,24
300a	6,33	6,03	2,43	4,60	8,0	19,5	62,56	21,8	0,19
301a	6,94	6,55	2,58	5,71	40,6	20,0	46,46	23,5	0,16
301b	3,20	2,88	1,28	3,67	13,3	8,7	44,20	98,2	0,14
301c	5,49	5,01	0,71	1,09	3,7	6,8	8,18	10,5	0,02
302a	6,37	5,95	1,86	4,41	4,9	18,0	47,44	23,9	0,16
302c	6,82	6,47	2,87	7,58	8,5	13,6	76,95	37,8	0,25
303a	5,44	5,04	1,00	2,20	7,2	10,7	37,33	18,4	0,16
304Bb	3,16	2,80	1,57	4,60	14,9	7,3	67,11	128,7	0,52
304Bc	3,69	3,44	0,57	0,91	9,0	1,7	8,38	5,2	0,01
305Bb	3,02	2,62	1,43	4,04	14,9	6,5	42,11	123,7	0,31
305Bc	3,56	3,28	0,71	0,36	3,3	3,4	8,64	16,4	0,19
306Bb	3,02	2,62	0,86	2,57	10,3	5,2	26,46	67,8	0,31
306Bc	3,22	2,87	0,57	0,73	2,5	3,6	9,58	18,1	0,21
307Bb	3,50	3,25	1,00	2,57	5,5	7,8	46,46	39,1	0,21
307Bc	5,38	5,15	0,71	0,73	2,3	3,8	14,18	10,1	0,09
308Bb	3,44	3,07	0,86	1,83	7,8	5,0	28,22	57,2	0,28
308Bc	3,61	3,22	0,57	0,36	2,3	4,7	8,32	5,6	0,05
309a	7,37	7,02	2,29	6,27	8,2	17,2	39,34	17,9	0,04
309b	3,14	2,79	1,43	3,86	15,8	8,3	42,24	105,3	0,21

Proben Nr.	pH H ₂ O	pH KCl	Co	Ni	Cu	Cr	Zn	Pb	Cd
310a	7,42	7,10	3,59	9,62	8,5	12,7	59,47	23,2	0,12
310b	3,18	2,73	1,14	3,49	60,7	7,1	45,30	101,8	0,11
311a	5,81	5,49	1,14	1,83	3,6	10,3	30,38	20,9	0,19
312a	5,80	5,29	2,43	5,34	7,3	11,2	38,63	16,9	0,21
313a	4,10	3,57	1,00	1,65	2,6	6,3	33,31	20,9	0,09
313Bb	3,12	2,73	1,28	2,94	8,8	9,5	32,08	55,4	0,05
313Bc	3,30	2,84	0,57	0,36	1,0	2,3	9,17	9,4	0,06
314a	6,06	5,78	0,86	1,65	11,0	13,9	39,34	20,3	0,25
314Bb	3,16	2,96	2,00	3,30	16,3	11,8	38,13	69,3	0,01
314Bc	3,64	3,03	1,86	2,94	4,7	11,2	29,27	12,4	0,01
315Bb	3,06	2,68	1,14	3,12	8,5	6,3	37,91	47,5	0,19
315Bc	3,31	3,07	1,50	1,9,	1,2	4,3	7,79	11,7	0,40
316(A)Bb	3,05	2,78	2,14	5,16	15,8	17,0	47,4	133,1	0,47
316(A)Bc	3,76	3,36	0,86	1,28	3,4	5,2	8,18	4,5	0,01
316Bb	3,12	2,78	1,00	2,01	6,4	6,2	24,51	43,0	0,40
316Bc	3,82	3,54	1,40	2,30	1,0	5,4	6,5	7,1	0,30
317a	5,74	5,49	1,80	3,60	5,0	7,7	28,49	18,9	0,50
317b	3,19	2,80	2,58	7,76	13,0	16,2	97,82	95,9	0,18
318a	6,80	6,52	1,43	2,75	3,7	12,9	36,58	19,0	0,14
318b	3,17	2,87	1,43	3,12	16,3	8,6	40,73	94,5	0,16
319a	6,82	6,52	2,58	5,53	7,0	16,7	37,48	25,4	0,15
320a	4,46	4,02	1,71	3,30	6,8	9,9	37,91	19,4	0,21
320Bb	3,10	2,70	1,86	5,34	23,9	10,0	61,35	160,7	0,44
320Bc	3,25	2,75	0,57	1,09	6,8	3,1	14,46	27,7	0,53
321a	6,07	5,66	1,14	2,94	4,6	10,2	30,81	16,4	0,31
321Bb	3,33	3,03	0,86	2,57	8,2	5,8	21,10	52,9	0,01
321Bc	3,88	3,56	0,57	1,09	14,8	4,1	11,76	16,4	0,16
322Bb	3,40	3,03	1,60	4,60	15,9	102,0	63,62	110,3	0,30
322Bc	3,16	2,75	0,57	0,18	5,0	0,3	7,55	8,1	0,06
323Bb	3,14	2,83	2,60	5,40	15,0	13,1	41,76	106,0	0,60
323Bc	3,41	2,94	2,30	5,20	5,6	13,7	33,6	41,7	0,50
324a	5,48	5,10	1,60	2,94	4,6	13,3	37,91	17,3	0,25
324Bb	3,09	2,83	1,43	3,49	16,9	7,6	46,86	111,0	0,22
324Bc	3,16	2,75	1,00	2,94	3,3	4,6	11,76	19,9	0,15
325Bb	3,23	2,90	2,00	5,40	9,3	9,6	23,27	68,3	0,50
325Bc	3,54	3,18	1,70	3,50	2,7	10,4	16,73	24,4	0,60
326a	5,01	4,67	0,86	1,28	3,7	8,9	41,42	19,2	0,25
326Bb	3,05	2,62	2,29	8,89	28,6	12,1	106,10	261,9	0,93
326Bc	3,41	2,92	0,71	0,36	10,8	1,7	16,46	10,9	0,21
327a	5,96	5,74	0,86	2,01	4,2	12,6	35,90	21,5	0,27

a = Landwirtschaft

b = Forstwirtschaft

c = Wohngebiet

d = Industriegebiet