



Geologische Bundesanstalt

Projekt W-C-26/2008–2010

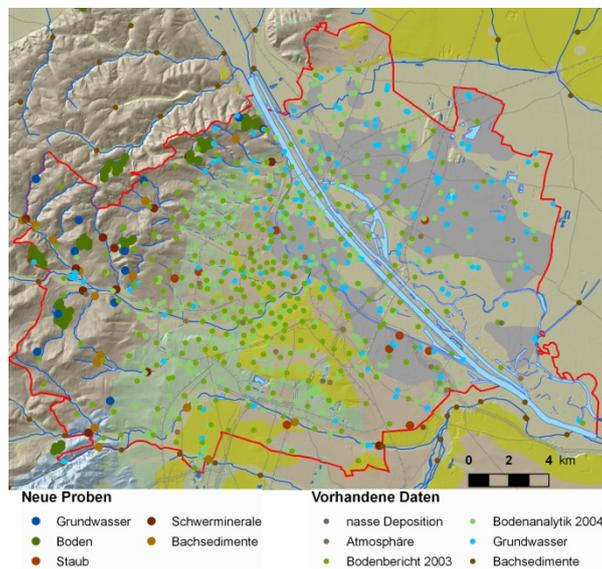
**Umweltgeochemische Untersuchung von Bachsedimenten, Gesteinen,
Böden und Grundwasser zur Charakterisierung
geogen bedingter Hintergrundwerte im Stadtgebiet Wien**

„Umweltgeochemie Stadtgebiet Wien“

Endbericht (2009)

von

S. PFLEIDERER, A. SCHEDL, H. NEINAVAIE & H. PIRKL



iii+57 S., 27 Abb., 25 Tab., 4 Beil.

Wien, Dezember 2010

Projektleitung und -durchführung:

Dr. Sebastian Pfeleiderer

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. B. Atzenhofer	ADV – ARC/INFO
Christian Benold	Geochemische Analytik
W. Denk	Geochemische Analytik
Dr. M. Heinrich	Geologie
Dr. G. Hobiger	Geochemische Analytik
D. Levacic	Geochemische Analytik
Mag. I. Lipiarska	Karten-Digitalisierung
Mag. P. Lipiarski	ADV – ARC/INFO
Dr. J. Mauracher	Umwelt-Geochemie
Dr. H. Neinavaie	Mineralphasenanalytik
L. Pöppel	Geochemische Analytik
Mag. J. Rabeder	Dateneingabe
can.d.geol. H. Reitner	Geologie, ADV – ARC/INFO

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sei herzlich für die gute Zusammenarbeit gedankt!

Zusätzlich gedankt sei Dr. Josef Auer & DI Günther Koch (MA29 – Wiener Brückenbau und Grundbau), DI Gerhard Nagel (MA45 – Wiener Gewässer), Dr. Michael Englisch & DI Rainer Reiter (Bundesamt für Wald), Dr. Johann Raith & Helmut Mühlhans (Montanuniversität Leoben), Dr. Heinz Fröschl & Dr. Peter Spindler (Austrian Research Centers), Dr. Edith Haslinger (Austrian Institute of Technology), DI Gerrit Janda, DI Andreas Schreckeneder, DI Alexander Mrkvicka & Ofö Leo Buder (MA49 - Forstamt und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien) für die konstruktive und unbürokratische Zusammenarbeit.

Die Projektdurchführung erfolgt im Rahmen des Vollzuges des Lagerstättengesetzes im Auftrag des Magistrats der Stadt Wien und des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung.

Inhalt

Zusammenfassung	1
1. Ausgangslage und Zielsetzung	3
2. Geologische Situation	4
3. Geochemie der Bachsedimente	8
3.1. Bisherige Daten	8
3.2. Neue Beprobung und Analytik	9
3.3. Diskussion der Ergebnisse	11
4. Bodengeochemie	18
4.1. Bisherige Daten	18
4.2. Neue Beprobung und Analytik	22
4.3. Diskussion der Ergebnisse	23
5. Hydrochemie	28
5.1. Bisherige Daten	28
5.2. Neue Beprobung und Analytik	30
5.3. Diskussion der Ergebnisse	32
6. Gesteinschemie	36
6.1. Bisherige Daten	36
6.2. Neue Analytik	37
7. Mineralogisch-mikrochemische Phasenanalytik	39
7.1. Bisherige Daten über Schwerminerale in Gesteinen im Einzugsbereich von Wien	39
7.2. Methodik der Mineralphasen-Analytik	41
7.3. Schwermineralphasen in Bachsedimenten	42
7.4. Technogene Stäube	44
7.5. Glossar	48
8. Vergleichende Zusammenschau und Synthese	51
9. Literatur	54

Beilagen

Beil. 1: Datendokumentation Bachsediment-Analytik

Beil. 2: Datendokumentation Boden-Analytik

Beil. 3: Datendokumentation Wasserproben

Beil. 4: Datendokumentation Schwermineral- und Staubproben

Zusammenfassung

Um die aktuelle umweltgeochemische Situation im Stadtgebiet Wien zu charakterisieren wurden folgende Daten zusammengestellt und neu erhoben:

- Geochemie der Bachsedimente – bisherige Daten aus Niederösterreich und aktuelle Proben aus den unverbauten Bachbetten der Donauzubringer in Wien vor Eintritt in die Kanalisation
- Bodengeochemie – bisherige Daten aus dem Wiener Bodenbericht 2003, aus Untersuchungen auf Wiener Kinderspielplätzen und aktuelle Proben aus Waldböden in der Flyschzone und den Kalkalpen
- Hydrochemie – bisherige Grundwasserdaten aus der Gewässerzustandsüberwachung (GZÜV), aus den Archiven der Geologischen Bundesanstalt und diversen anderen Projekten, vornehmlich im Wiener Becken, und aktuelle Proben aus Quellwässern in der Flyschzone
- Gesteinschemie – bisherige Daten chemischer Analysen im Bereich von Großbauvorhaben in Lockersedimenten des Wiener Beckens und aktuelle Analytik von Gesteinen der Flyschzone
- Mineralogisch-mikrochemische Analytik – bisherige Daten von Schwermineralen in Gesteinen der Flyschzone und aktuelle Phasenanalytik der Schwermineralfraktion von Bachsedimenten, Bodenauflagehorizonten und Stäuben

Anhand der Analytik von Bachsedimenten lässt sich nachweisen, dass die geogenen Hintergrundgehalte an Schwermetallen in der Flyschzone und den Kalkalpen sehr niedrig liegen. Im Süden von Wien (Liesing, Petersbach, Schwechat) sind die Gehalte der Schwermetalle Ag, Hg, Mo, Zn bedingt durch Industrie im Einzugsgebiet stark erhöht, im Wienfluss zeigen sich leicht erhöhte Gehalte an Cr, Mo, Pb, Zn, im Schreiberbach in Nußdorf ist bedingt durch Düngung der Weinanbauflächen der Cu-Gehalt erhöht. In den Hauptelementverteilungen (Al, Fe, Si, Ca) lässt sich die lithochemische Zusammensetzung der Gesteine im Hinterland (Kalksteine / Quarzsandsteine / Tonmergel) erkennen. Aus den Daten wurden regionale Grundgehalte in Flyschgesteinen westlich von Wien abgeleitet.

In den Stadtböden zeigt sich kein spezifischer Einfluss unterschiedlicher geologischer Einheiten auf die Schwermetallgehalte. Vielmehr ergibt sich ein direkter Zusammenhang zwischen Landnutzung und Bodenchemie, wobei die Gehalte an Pb, Zn und Cd auf Grünflächen und Waldgebieten gegenüber Wohn-, Verkehrs- und Industriegebieten deutlich zurücktreten. Mit Ausnahme der Elemente As, Co und Ni überschreiten die Schwermetallgehalte zu einem großen Teil die Richtwerte nicht kontaminierter Böden, insbesondere die (anthropogen bedingten) Gehalte der Elemente Hg, Pb und Zn zeigen weitverbreitete Richtwertüberschreitungen. In der Flyschzone und in den Kalkalpen zeigen die Böden bei den (geogen bedingten) Gehalten der Elemente Co, Cr, Cu und Ni höhere Gehalte als die Richtwerte. Die Verteilungen der Oxide (Hauptelemente) zeigen deutlich den Einfluss der Geologie auf die Bodengeochemie. Höhere Al-, Fe-, K- und Mg-Gehalte, klassische Anzeiger für Tonminerale, treten innerhalb der Böden über Ton- und Mergelsteinen, hohe Quarzgehalte in Böden über Quarzsandsteinen, hohe Kalkgehalte hingegen in Böden auf Kalksandsteinen auf. Sowohl für Stadtböden als auch für Waldböden in der Flyschzone wurden regionale und lokale Grundgehalte an Schwermetallen abgeleitet.

In der chemischen Analytik von Grundwässern in der Donauebene lässt sich bei den Hauptionengehalten generell eine Zunahme der Mineralisation von der Zone der rezenten Mäander zu der Prater- und der Stadtterrasse erkennen. Auch in den Schwermetallgehalten ist dieser Trend

erkennbar. Demgegenüber zeigen die Grundwässer der Flyschzone mit Ausnahme des Elements Cu wesentlich geringere Schwermetallgehalte. Überschreitungen der Richtwerte laut Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser und laut Trinkwasserverordnung treten nur sehr vereinzelt auf, generell liegen die Schwermetallgehalte deutlich unter den gesetzlich vorgeschriebenen Anforderungen.

In der chemischen Analytik der Festgesteine und Lockersedimente zeigt sich, dass Flyschgesteine generell höhere Schwermetallgehalte aufweisen als die Sedimente des Jungtertiärs und der quartären Terrassen. Nur bei den Elementen As, Cd und Hg sind die Werte in allen geologischen Einheiten ähnlich. Im Vergleich mit der bodengeochemischen Analytik entsprechen die Gehalte der Elemente As, Cd, Co, Cr, Cu und Ni in Festgesteinen und Lockersedimenten denen der darüber liegenden Böden, während die anthropogen bedingten Elemente Hg, Pb und Zn in Böden des innerstädtischen Bereichs weit über denen der Lockersedimente, in der Flyschzone und den Kalkalpen aber weit unter denen der Festgesteine liegen. Aus den chemischen Analysen im Bereich von Großbauvorhaben in Lockersedimenten des Wiener Beckens wurden regionale Grundgehalte der Schwermetallgehalte für jungtertiäre Einheiten, Schotterterrassen und Ausande abgeleitet.

Durch mineralogisch-mikrochemische Phasenanalytik von Stäuben und Bachsedimenten wurden verschiedene technogene Partikel nachgewiesen, deren Schwermetallinhalte durch Verwitterung oder Lösung auch in den Boden und das Grundwasser gelangen können. In den Bachsedimenten, die nicht nur die heutige Situation darstellen, sondern je nach Verwitterungsbeständigkeit auch Partikel enthalten, die sich in historischen Zeiträumen angesammelt haben, wurden Streugutpartikel, Schlackenpartikel und globulare Partikel aus Verbrennungsanlagen (Kraftwerken und Müllverbrennungsanlagen) identifiziert. Die einzigen Proben ohne Schlackenreste befinden sich entweder außerhalb Wiens oder im Lainzer Tiergarten. Die Verbreitung legt den Schluss nahe, dass die Partikel entweder über Streugut vor Erlass der Wiener Streugutverordnung 2005 eingetragen wurden, oder bei Erosion / Ausbesserungen von Straßenasphalt in das System gelangt sind. Letztere Vermutung konnte durch drei Staubproben erhärtet werden, die im Bereich von Asphaltnachbesserungen gewonnen wurden und die gleiche Mineralphasen-Verteilung wie die Bachsedimentproben aufweisen.

In den Staubproben, die im Gegensatz zu Bachsedimenten die aktuelle Situation widerspiegeln, wurden Partikel aus kalorischen Kraftwerken und von Brems- / Reifen- oder Fahrbahnabrieb in großer Häufigkeit identifiziert, wohingegen die Phasen aus Müllverbrennungsanlagen und Streugut mengenmäßig zurücktreten. Bei den Staubproben lässt sich ein direkter Standortsbezug zu Heizkraftwerken, Bushaltestellen und Verkehrskreuzungen mit häufigen Bremsvorgängen, oder Müllverbrennungsanlagen herstellen. Während die Quantifizierung der aus technogenen Partikeln löslichen Schwermetallfracht nur mit zusätzlichem Aufwand möglich ist, wird doch deutlich, dass ein nicht zu unterschätzender Anteil der im Boden und Bachsediment nachgewiesenen Schwermetallgehalte im Stadtgebiet technogenen Ursprungs ist. Dies zeigt auch die chemische Analytik der Schwermetalle in einer Schneeprobe, deren Gehalte sich nach der Schneeschmelze im Boden und teilweise auch im Grundwasser finden.

1. Ausgangslage und Zielsetzung

Die geochemische Landesaufnahme besitzt an der Geologischen Bundesanstalt seit Jahrzehnten Tradition. Zwischen 1978 und 1989 wurden im Kristallin der Zentralalpen und der Böhmisches Masse an 29.717 Probepunkten Bachsedimente beprobt, analysiert und im Geochemischen Atlas Österreich (THALMANN et al., 1989) veröffentlicht. Während einer zweiten Probekampagne wurden die übrigen geologischen Einheiten in den Bundesländern Niederösterreich (AUGUSTIN-GYURITS & HOLNSTEINER, 1997), Oberösterreich (AUGUSTIN-GYURITS, 1999), Salzburg (WIMMER et al., 2002), Tirol (WIMMER et al., 2002), Vorarlberg (KLEIN et al., 2005), Burgenland (KLEIN et al., 2007), Kärnten (SCHEDL et al., 2008) und Steiermark (SCHEDL et al., 2009) beprobt und analysiert. Wien war das einzige Bundesland, dessen Bachsedimentbeprobung noch ausständig war.

Während die erste Probekampagne (Bachsedimentfraktion $< 180 \mu\text{m}$; 1978 - 1989) im Hinblick auf die Erzprospektion durchgeführt wurde, rückten bei der Bundesländerbeprobung der zweiten Phase umweltgeochemische Gesichtspunkte in den Vordergrund (Fraktionen $< 180 \mu\text{m}$ und $< 40 \mu\text{m}$). Anthropogen bedingte Einflüsse wurden zusammen mit dem geologisch bedingten Angebot an chemischen Elementen untersucht. Geogene Hintergründe wurden für verschiedene Gesteinseinheiten und im Umfeld von Vererzungen definiert, um entscheiden zu können, wo der natürliche Hintergrund überschritten wird und eine anthropogene Kontamination vorliegt. Stoffflussanalysen konnten Herkunft und Transport von einzelnen Elementen nachzeichnen (PIRKL, 1993 und 2005).

In urbanen Räumen wie der Großstadt Wien gewinnen umweltgeochemische Aspekte eine besondere Relevanz. Anthropogene Einträge durch nasse und trockene Deposition, Feinstaub oder Altlasten übersteigen oft die natürlichen Stoffangebote. Doch auch hier stellen sich die Fragen, welche Grundgehalte in den Medien Boden, Grundwasser und Gestein / Sediment vorliegen, welche Elemente Grenzwerte überschreiten und wo lokale Anomalien einer Sanierung bedürfen.

Im Stadtgebiet Wien werden bisher die Medien Boden (Bodenmonitoring der Wiener Umweltschutzabteilung - MA22, im gesamten Stadtgebiet), Oberflächengewässer und Grundwasser (Monitoring der Abteilung Wiener Gewässer - MA45, hauptsächlich in der Donauebene) untersucht. Seit Einführung der neuen Deponieverordnung werden auch Bodenaushubmassen seitens der Abteilung Wiener Brückenbau und Grundbau (MA29) chemisch untersucht. Messungen der Luftgüte und der nassen Deposition liefern zusätzlich Angaben über atmosphärischen Eintrag. Nicht untersucht wurden bisher die geologischen Materialien Locker- und Festgesteine sowie Bachsedimente.

Ziel des Projektes ist, diese geologischen Medien zu untersuchen sowie die vorhandenen Daten der anderen Medien zusammenzutragen und dort zu ergänzen, wo Lücken sind. Beispielsweise liegen nur wenige Boden- und Grundwasserproben im Bereich des Wienerwaldes vor, Stäube sind bisher kaum umweltmineralogisch analysiert. Durch eine integrative Auswertung sollen sodann geogene Hintergründe, lokale Grundgehalte und Anomalien charakterisiert, aber auch Fragen der Herkunft und des Transports von Schwermetallen beantwortet werden.

Die Geologische Bundesanstalt wurde seitens des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung im Sommer 2008, seitens der Magistratsabteilung MA29 Anfang 2009 und seitens der Magistratsabteilung MA45 Anfang 2010 mit der Durchführung des Projektes beauftragt.

2. Geologische Situation

Das Wiener Stadtgebiet umfasst am Westrand Teile der Flyschzone (Wienerwald), im Südwesten auch der Kalkalpen, der überwiegende Teil jedoch liegt im Wiener Becken und wird von Sedimenten des Neogen und von quartären Kiessanden der Donau-Terrassen aufgebaut. Abbildung 2.1. stellt die wichtigsten geologisch / tektonischen Einheiten dar (SCHNABEL et al., 2002; PFLEIDERER & HOFMANN, 2003). Den strukturellen Aufbau im Untergrund illustrieren vier Profile (Abb. 2.2 und 2.3).

Die Flyschzone wird aus übereinander gestapelten, tektonischen Decken aufgebaut (im Wiener Stadtgebiet: Greifensteiner Decke, Kahlenberger Decke, Laaber Decke) und besteht aus Sand-, Ton- und Mergelsteinen. Die geologischen Einheiten sind kompliziert verschuppt und verfaltet (Abb. 2.3) und reichen altersmäßig von der Unterkreide bis ins Eozän (Abb. 2.4). Die Gesteine stellen Ablagerungen in einem Tiefseetrog („Flyschtrogt“) zwischen der Böhmisches Masse im Norden und den frühen Ostalpen im Süden dar. Die Liefergebiete der Sand- und Tonsteine wurden von FAUPL (1996) als Schwellen innerhalb des Tiefseetrog beschrieben, die anhand von Paläoströmungsdaten und Schwermineralspektren unterschieden werden können. Als Materialherkunft kommen sowohl das Kristallin der Böhmisches Masse als auch die frühen Deckenstapel der Ostalpen inklusive der ozeanischen Erdkruste in Frage. Mit dem Schließen des Flyschtrogt und der Überschiebung der Ostalpen gegen Norden kam es zur Heraushebung der Flyschdecken, wobei sogenannte Klippen abgequetscht und mitgeschürft wurden (WESSELY, 2006). Diese Klippen, die aus Kalk- und Dolomitgesteinen des Jura und der Unterkreide bestehen, finden sich heute in die Flyschgesteine eingeschuppt. Im Wiener Stadtgebiet sind dies die Klippen der Hauptklippenzone, die St. Veiter Klippenzone und die Klippen von Sulz und Mauer.

Das Wiener Becken senkte sich zu Beginn des Neogens vor ca. 20 Mio. Jahren tektonisch ab, bildete ein seichtes Meer und wurde mit Sedimenten des Baden, Sarmat und Pannon gefüllt (ROYDEN et al., 1985). Diese Sedimente stellen Abtragungsprodukte der Alpen dar, die am westlichen Stadtrand Wiens das Festland bildeten. Gegen Ende des Neogens verlandete das Meer und die Donau häufte während des Quartärs von Norden her Kiessande in Form von Terrassenkörpern auf. Aufgrund des weiten Transports bestehen diese Kiessande hauptsächlich aus gut gerundeten Quarzgeröllen, Kristallin-Komponenten belegen jedoch unter anderem den Einfluss der Böhmisches Masse als Liefergebiet (EPPENSTEINER et al., 1973). In die Donauschotter sind Schichten von plattigen Sandsteingeröllen eingeschaltet, die von Donauzubringern aus dem Wienerwald angehäuft wurden. Über den Terrassen liegen Löss und Flugsande, die aus den Schüttungsflächen der Flüsse und freiliegenden tertiären Meeresablagerungen ausgeweht wurden und heute oft mehrere Meter mächtige Deckschichten bilden (WESSELY, 2006).

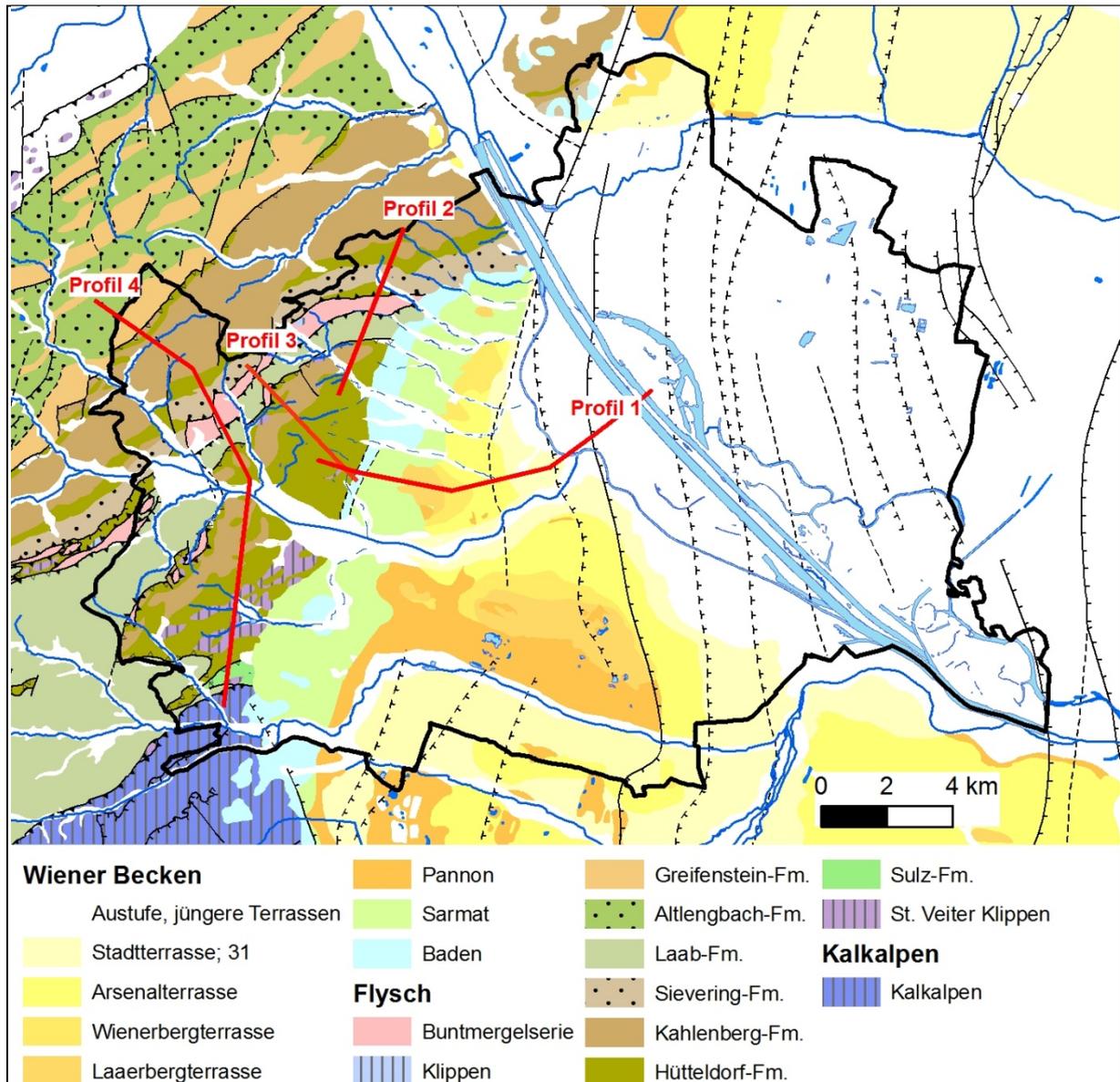


Abb. 2.1: Ausschnitt aus der Geologischen Karte NÖ (SCHNABEL et al., 2002), zusammengefasst nach wichtigen geologisch / tektonischen Einheiten, Lössen und Flugsanden abgedeckt

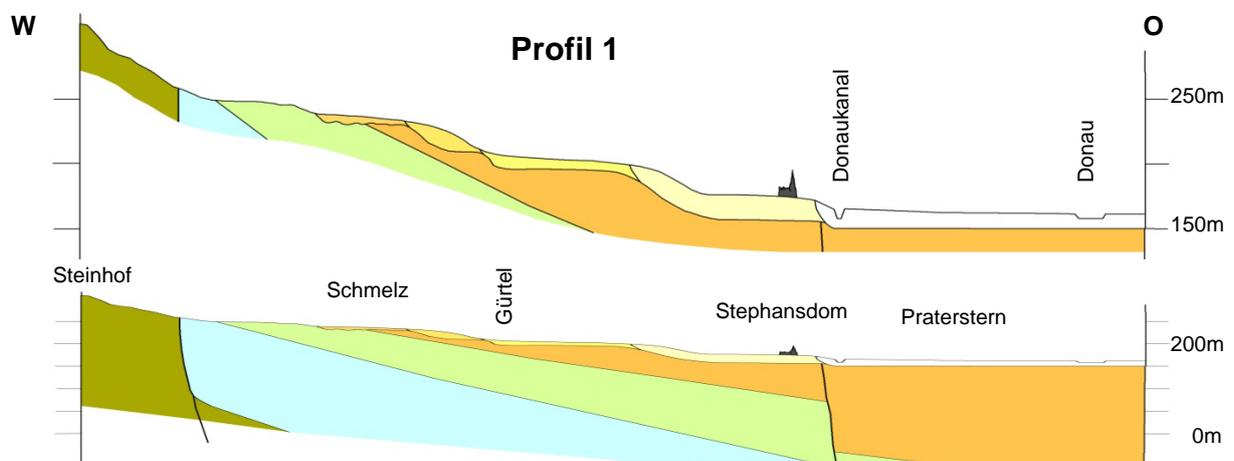


Abb. 2.2: Schematische Darstellung der Terrassentreppe (oberer Teil, 13-fach überhöht) und Übersichtsprofil durch den Untergrund von Wien (unterer Teil, 7-fach überhöht) nach KÜPPER (1968); siehe Abb. 2.1 für Profillage (Profil 1) und Farbgebung

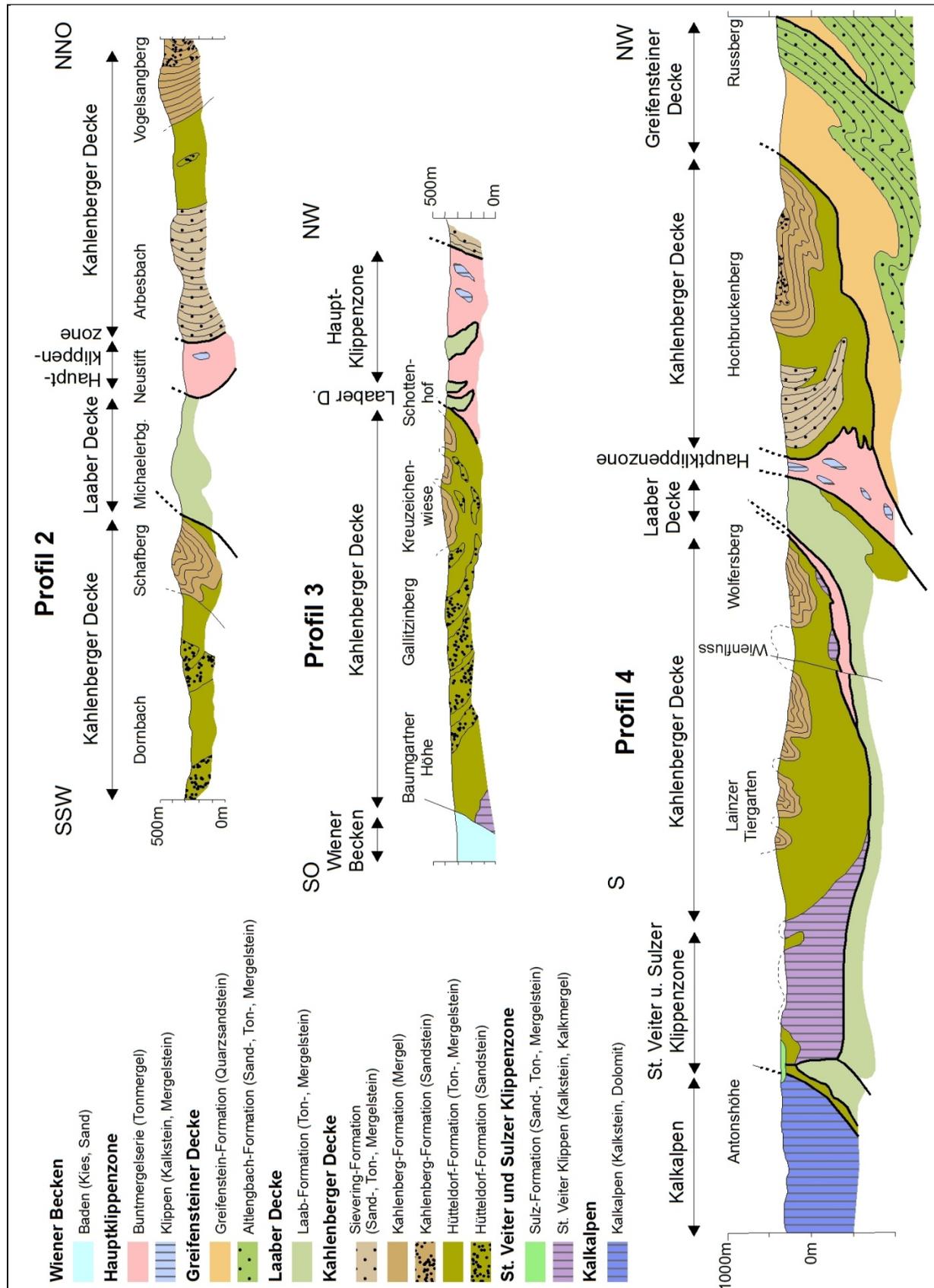


Abb. 2.3: Profile durch die Flyschzone; Profile 2 und 3 nach PREY (1973), Profil 4 nach PREY (1980); Lage der Profilschnitte siehe Abb. 2.1.

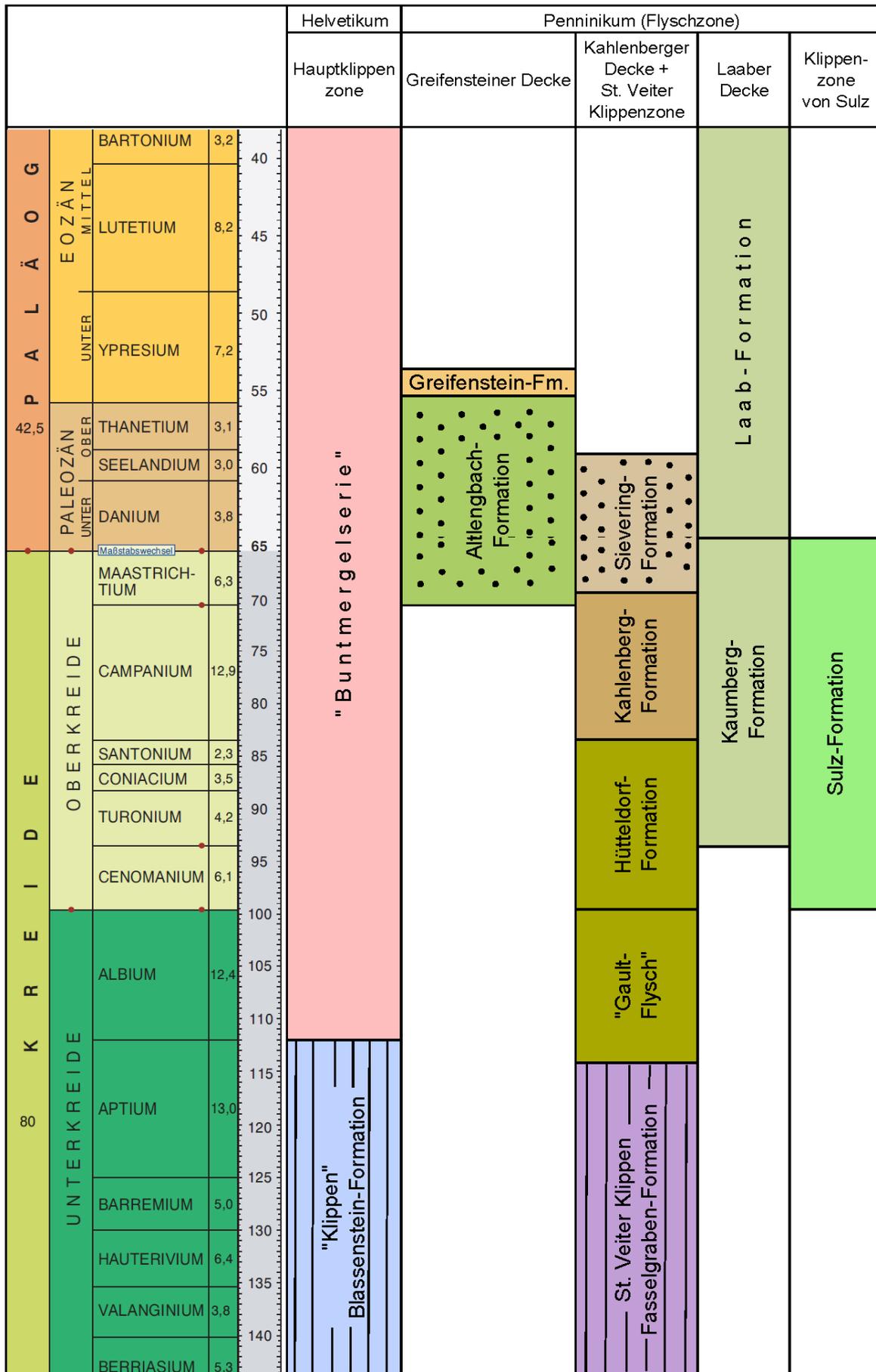


Abb. 2.4: Stratigraphie der Flyschzone im Wiener Stadtgebiet (nach PILLER et al., 2004; WESSELY, 2006; SCHNABEL et al., 2002)

3. Geochemie der Bachsedimente

3.1. Bisherige Daten

In den Jahren 1991-1994 wurden die Fraktionen $<180\mu\text{m}$ und $<40\mu\text{m}$ der Bachsedimente Niederösterreichs systematisch beprobt und analysiert (KRALIK & AUGUSTIN-GYURITS, 1994, AUGUSTIN-GYURITS & HOLNSTEINER, 1997). Die damaligen Probepunkte bilden den Rahmen für die Lokationen der in Wien gewonnenen Proben. Anknüpfungen ergeben sich bei den Gewässern Dürre und Reiche Liesing, Wienfluss und Mauerbach, die von Westen ins Stadtgebiet fließen. Für die übrigen Gewässer stellt die Stadtgrenze gleichzeitig die Grenze der Einzugsgebiete dar.

Generell können sämtliche damals im weiteren Umfeld Wiens erarbeiteten Ergebnisse für die Charakterisierung der chemischen Inhalte von Bachsedimenten im Flysch, in den Kalkalpen, in den Lockersedimenten des südlichen Wiener Beckens, aber auch hinsichtlich anthropogener Einträge herangezogen werden. Für das jetzige Projektgebiet relevante Aussagen der Niederösterreich-Studie sind:

- Anhand der Hauptelementverteilungen lassen sich die karbonatischen von den silikatischen Schichtgliedern der Kalkalpen, die Anteile der mergeligen Schichtglieder innerhalb der Flyschzone und die Tonmergel des Wiener Beckens trennen: Si ist ein Indikator für den Quarzgehalt der Sedimentgesteine, Al + K ein Hauptindikator für Schichtsilikate und Tonminerale, Ca + Mg ein Indikator für karbonatreiche Sedimentgesteine (Kalkalpen und von dort stammende Flüsse), Ca / Mg ein Parameter zur Unterscheidung von Kalksteinen und Dolomiten.
- In den Bachsedimenten der Gewässer südlich von Wien (Petersbach, Krottenbach, Mitterbach, Schwechat) sind besonders in der Feinfraktion ($<40\mu\text{m}$) gewisse Schwermetallgehalte (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Pb, Sb, Se, Sn, Zn) stark erhöht. Für das Beispiel Pb zeigt Abb. 3.1. die regionale Verteilung in der weiteren Umgebung von Wien. Durch Faktorenanalyse kann der Nachweis geführt werden, dass diese Gehalte technogen bedingt sind (Beispiel Emissionen aus der Glaserzeugung für den Krottenbach).
- Geogene Hintergrundgehalte an Schwermetallen liegen in der Flyschzone sehr niedrig, in den Kalkalpen mit Ausnahme geologisch bedingter höherer Molybdänwerte ebenfalls sehr niedrig.

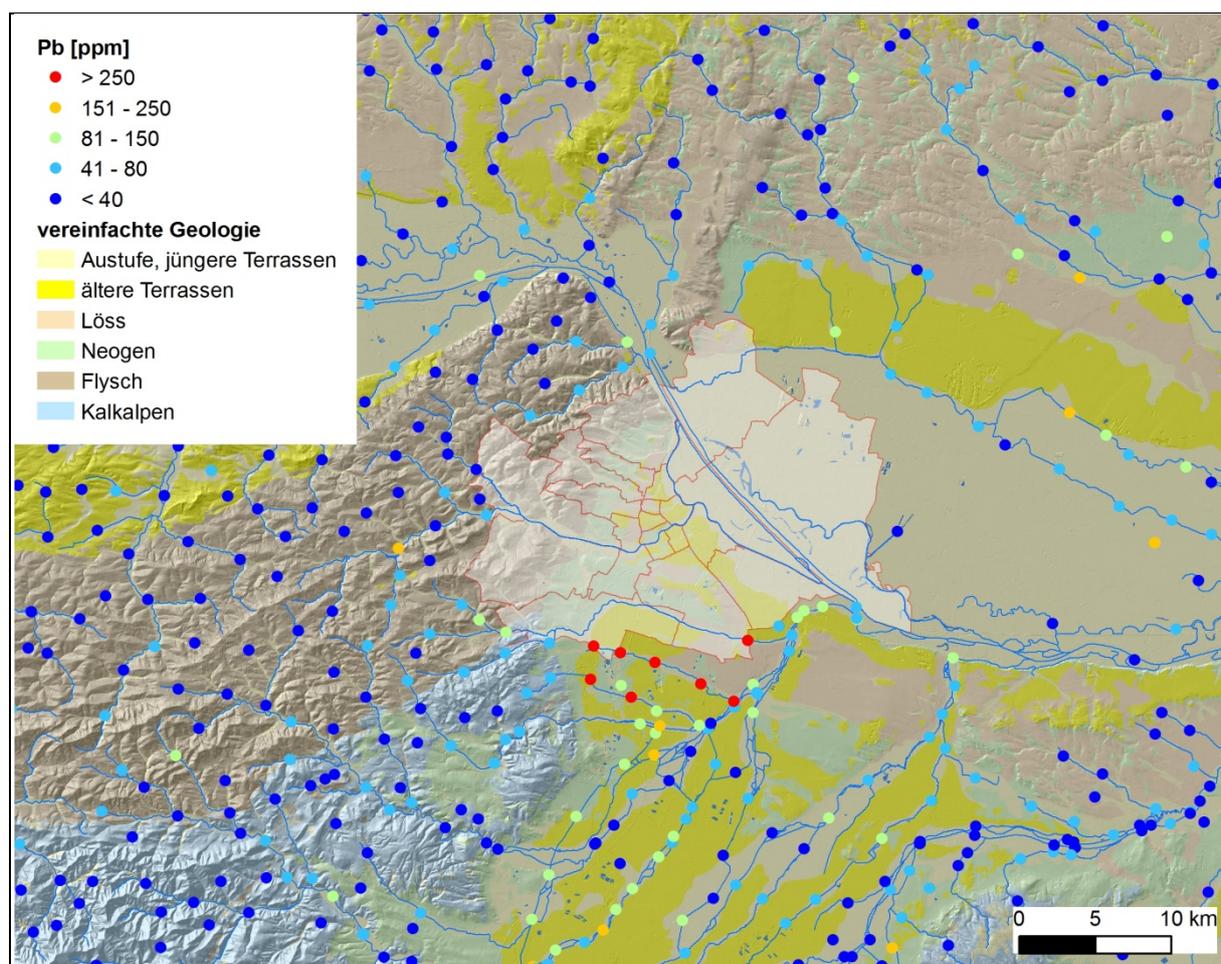


Abb. 3.1.: Regionale Verteilung von Blei in Bachsedimenten in der weiteren Umgebung von Wien (KRALIK & AUGUSTIN-GYURITS, 1994, AUGUSTIN-GYURITS & HOLNSTEINER, 1997)

3.2. Neue Beprobung und Analytik

Im Oktober 2008 wurden an 28 ausgewählten Lokationen jeweils 2 Bachsedimentproben (Fraktionen $<180\mu\text{m}$ und $<40\mu\text{m}$) gezogen, wobei an 3 Punkten (Liesing und Petersbach, Punkte 2, 3 und 4) wegen Bachbettverbauung kein Sediment gewonnen werden konnte. Die Lage der Punkte ist auf Abb. 3.2. dargestellt. Im Gelände wurden dabei die Parameter Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Redox-Potenzial jeweils in der fließenden Welle und im wassergesättigten Sediment gemessen, um Austausch bzw. Abkoppelung zwischen Sediment und Wasser abschätzen zu können. Die Geländemesswerte sind in Beilage 1 "Datendokumentation Bachsediment-Analytik" aufgelistet.

Die Probenaufbereitung (Lufttrocknung bei Raumtemperatur während mehrerer Wochen, Zerkleinerung mit Porzellanmörser, Siebung in rostfreien Stahlsieben nach DIN 4188, Mahlen mit Achatmühle) sowie die Bestimmungen des Trockenverlusts (bei 105°C), des Glühverlusts (bei 360°C und 1000°C) und der dabei entweichenden Gehalte an C, CO_2 , S und SO_3 wurden an der Geologischen Bundesanstalt durchgeführt (Analytik siehe Beilage 1).

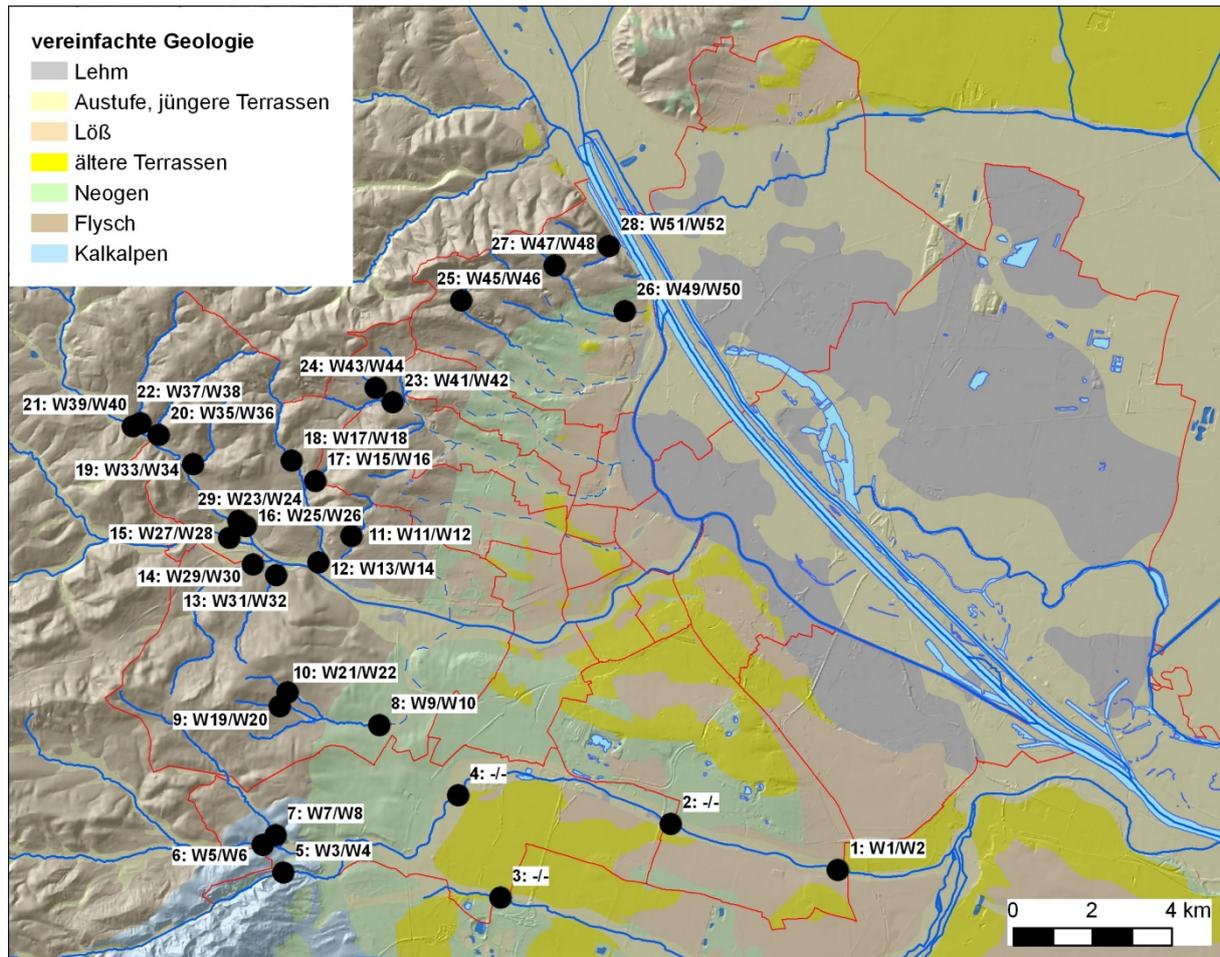


Abb. 3.2.: Lage der Bachsediment-Probepunkte (Lokationen 2, 3 und 4 nicht beprobbar).
Beschriftung: Punktnr: Probennummer 180 μ m-Fraktion / 40 μ m-Fraktion

Haupt- und Spurenelementgehalte wurden im Labor der Austrian Research Centers (ARC) in Seibersdorf bestimmt, um die Kontinuität mit Bachsedimentanalysen früherer Bundesländerprojekte zu gewährleisten. Analysemethoden und Aufschlusstypen sind spezifisch für die analysierten Elemente in Tab. 3.1. angeführt.

Tab. 3.1.: Analysemethoden, Aufschlusstypen und analysierte Elemente - ARC Seibersdorf

Röntgenfluoreszenz-Analyse	ICP-Massenspektrometrie	AAS	Hydrid-AAS
Presstablette	Vollaufschluss	Königswasser-aufschluss	Königswasser-aufschluss
Al, Ba, Ca, Cl, Co, Cr, Cu, F, Fe, Ga, K, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Si, Sr, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn, Zr	Ag, As, Be, Cd, Ce, Co, Cu, La, Li, Mo, Nb, Sb, Sc, Sn, U, W	Hg	Se

Qualitätskontrolle, Reproduzierbarkeit und Richtigkeit der Analytik wurden mittels ARC-interner Standards (Donasedimentprobe) sowie mittels Georeferenzmaterialien und Messung von Aufschlussblindwerten abgesichert. Bei den Messungen mittels ICP-MS wurde zur Verminderung von Matrixeinflüssen und zur Driftkorrektur ^{103}Rh als Standard verwendet. Tabelle 3.2. listet die Bestimmungsgrenzen für die analysierten Spurenelemente.

Beilage 1 enthält sämtliche Ergebnisse der chemischen Analytik.

Tab. 3.2.: Bestimmungsgrenzen der analysierten Elemente laut ARC Seibersdorf

Hauptelemente													
Mn, P, Ti	K, Na	Al, Si	Mg	Ca, Fe									
0,01	0,02	0,05	0,06	0,07									
%	%	%	%	%									
Spurenelemente													
Hg	Ag, Se	Cd	Be	U	Co, Mo, Sb, Sc, Sn, W	As, Ce, Cu, La	Cr, Ga, Li, Nb, Ni, Pb, Th, Y	Rb, V, Zn, Zr	Sr	Ba	Cl	S	F
0,01	0,05	0,1	0,3	0,4	0,5	1	4	5	6	10	50	100	150
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm

3.3. Diskussion der Ergebnisse

Wertebereiche

Die Wertebereiche der Elementgehalte sind in Abbildungen 3.3. und 3.4. für die Fraktionen <180µm und <40µm dargestellt. In der Flyschzone und den Kalkalpen ergeben sich keine auffallend erhöhten Werte, im Vergleich mit den Ergebnissen der Niederösterreich-Studie liegen die Schwermetalle auf gleichem, niedrigen Niveau, bei Ag und Cd sogar noch darunter, lediglich Sb und Sn sind etwas erhöht. Manche Gehalte an Ag, Cl, seltener auch Mo und Th, liegen unterhalb der in Tab. 3.2. angeführten Bestimmungsgrenzen. Diese Werte (z.B.: <1ppm) wurden für die weitere Betrachtung ausgeklammert, sodass bei statistischen Berechnungen keine künstlichen Effekte auftreten. Die in der Niederösterreich-Studie gemessenen hohen Schwermetallgehalte südlich von Wien finden sich auch in der Liesing (Punktnr. 1) hinsichtlich Ag und Sb, tendenziell auch für Hg und Zn, wieder, jedoch liegen die Gehalte an Cd, Co, Cr, Pb, Se und Sn zum Teil wesentlich unter den früher gemessenen Werten.

Abbildungen 3.5. und 3.6. vergleichen die Proben untereinander. Dabei ergibt sich ein homogenes Bild, ohne dass eine Probe besonders aus der Reihe fallen würde. Einzige Ausnahme bilden die beim Erhitzen der Proben entwichenen Gehalte an S und SO₃, wobei in der 180µm-Fraktion die Probe W51 (Waldgraben bei Kahlenbergsdorf) höhere, die Probe W15 (Moosgraben nördlich Kordonsiedlung) niedrigere Werte aufweist als alle anderen. In der 40µm-Fraktion zeigt die Probe W42 (Dornbach bei Neuwaldegg) geringere Werte an S und SO₃, die Probe W50 (Schreiberbach in Nußdorf) höhere Werte an Cu, und die Probe W26 (Mauerbach vor Mündung in Wienfluß) höhere Werte an Pb.

Vergleich der Korngrößenfraktionen

Vergleicht man die zwei Korngrößenfraktionen untereinander, so finden sich hinsichtlich der Hauptelemente keine Unterschiede. Diese Elemente spiegeln den lithochemischen Charakter der Ausgangsgesteine wider, der sowohl in der sandigen als auch in der schluffigen Fraktion des Sediments einheitlich ist. Bei den Spurenelementen zeigt sich hingegen häufig eine Anreicherung in der Feinfraktion, besonders auffällig bei den Gehalten an Ag, Ce, Cr, Hg, La, U, V, W, und Zr (siehe Beilage 1 Seiten 5-9). Dies wurde bereits in früheren Projekten zur Geochemie der Bachsedimente Österreichs festgestellt, oft ist der Effekt bei hohen Gehalten verstärkt (Ag, Hg, Pb). Dies ist dadurch bedingt, dass die Feinfraktion einerseits einen höheren Anteil an Schwermineralen enthält (Ce, La, Zr), andererseits mehr Tonminerale, welche Schwermetalle adsorptiv anreichern.

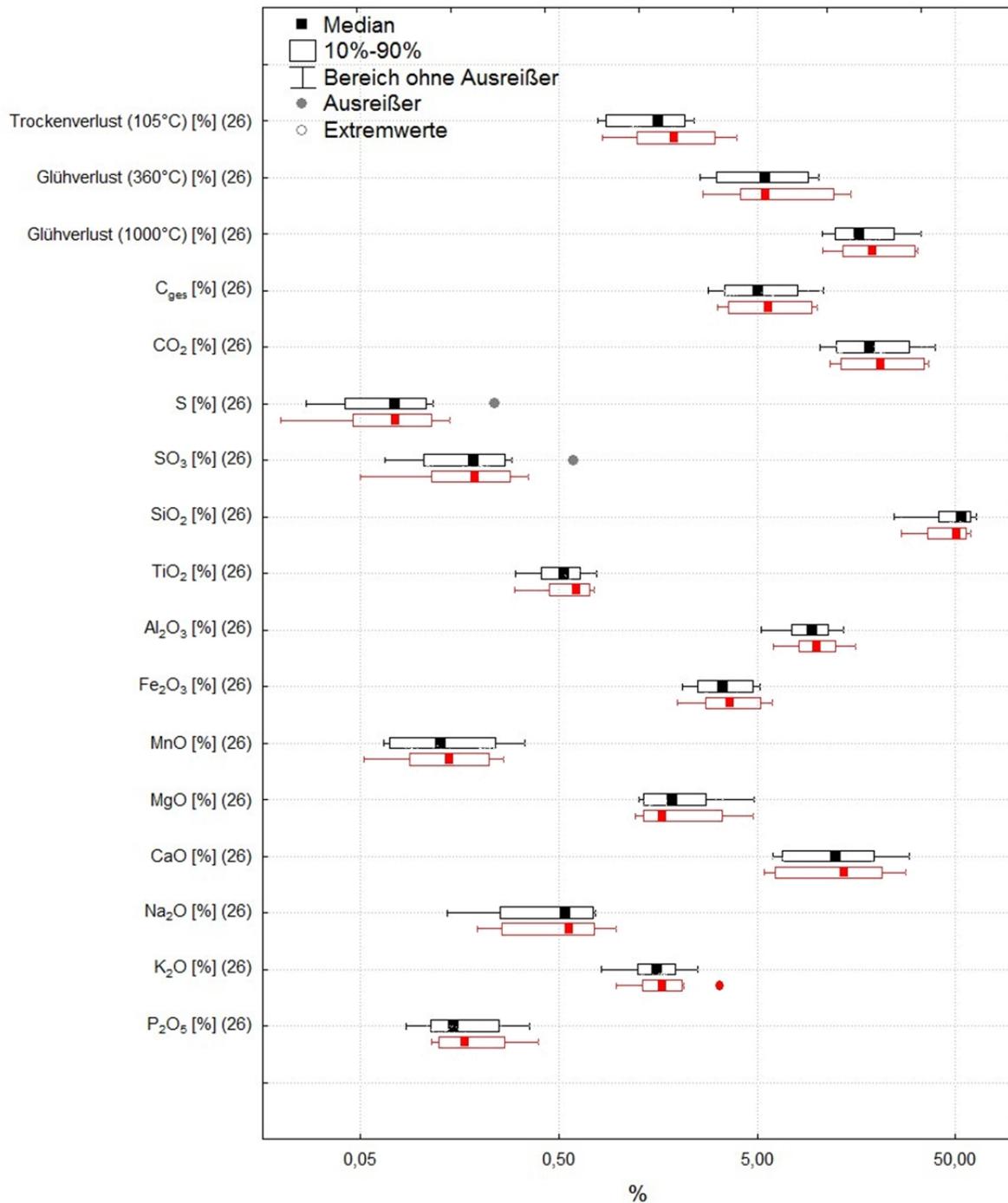


Abb. 3.3.: Box- und Whiskers Diagramme der Hauptelementgehalte der Bachsedimente in %; schwarz: Fraktion <math><180\mu\text{m}</math>, rot: Fraktion <math><40\mu\text{m}</math> (Anzahl Analysen in Klammer)

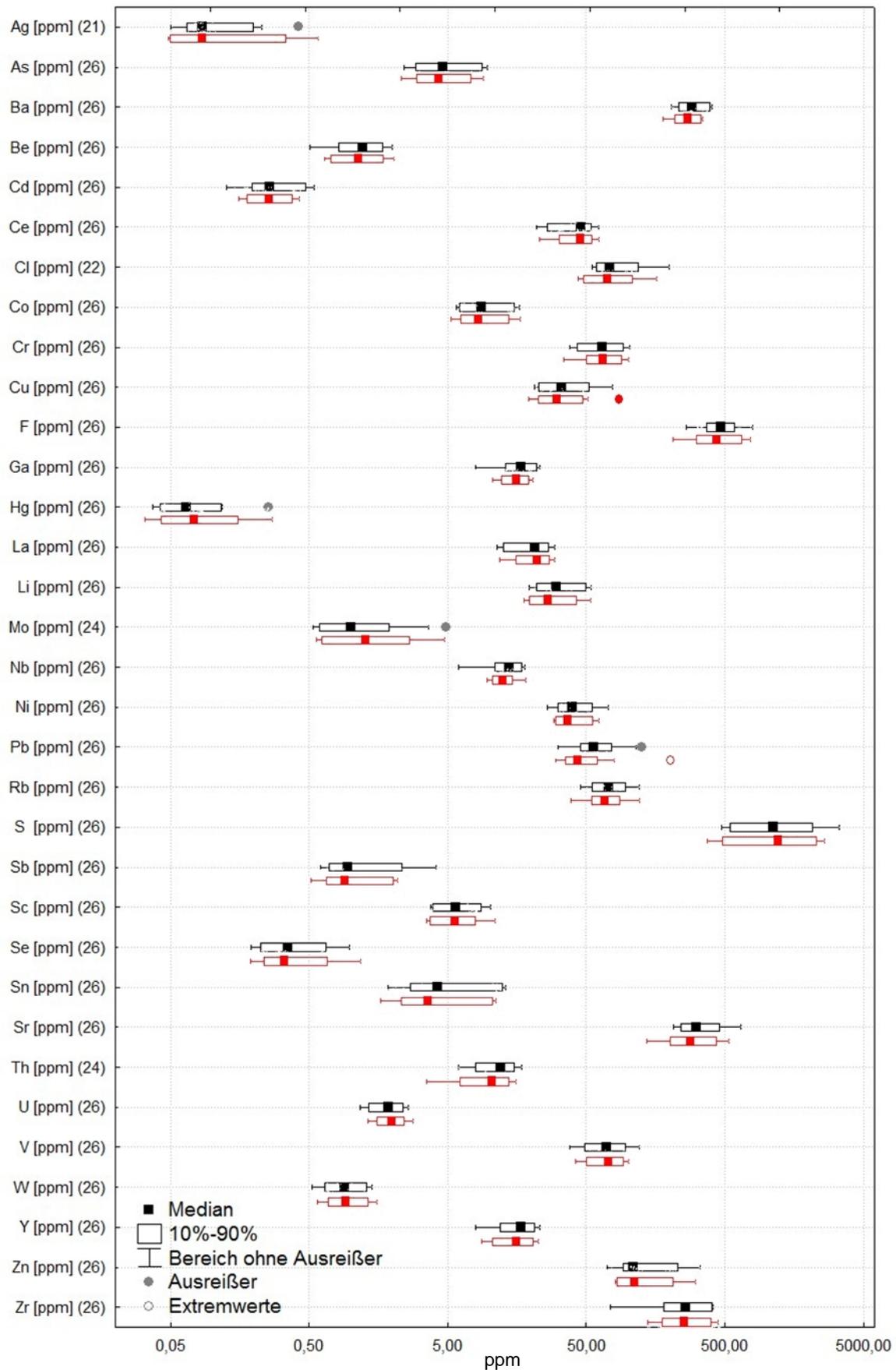


Abb. 3.4.: Box- und Whiskers Diagramme der Spurenelementgehalte der Bachsedimente in ppm; schwarz: Fraktion <180µm, rot: Fraktion <40µm (Anzahl Analysen in Klammer)

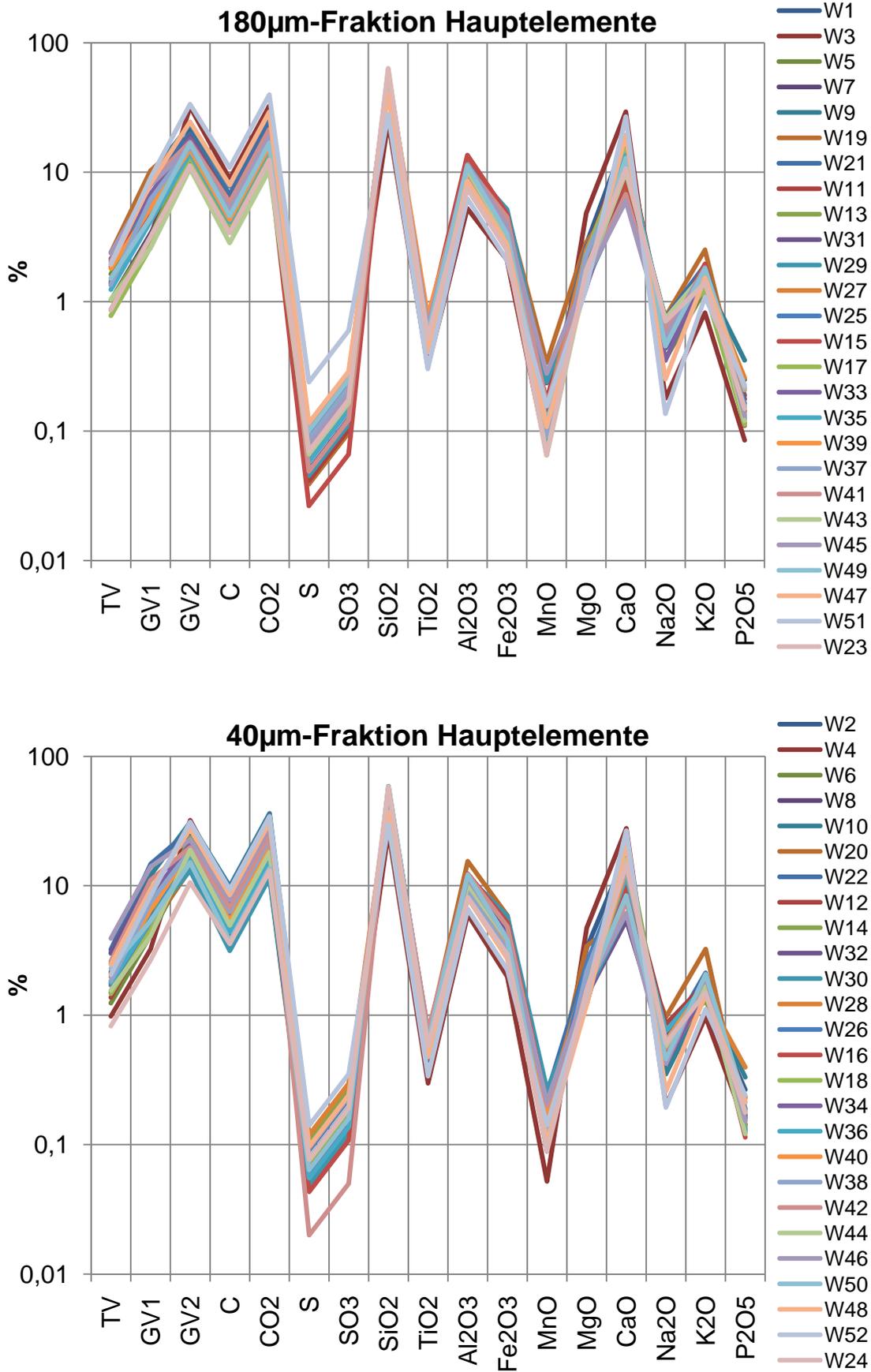


Abb. 3.5.: Vergleich der einzelnen Bachsedimentproben bezüglich Hauptelementgehalte (TV: Trockenverlust bei 105 °C, GV1: Glühverlust bei 360 °C, GV2: Glühverlust bei 1000 °C)

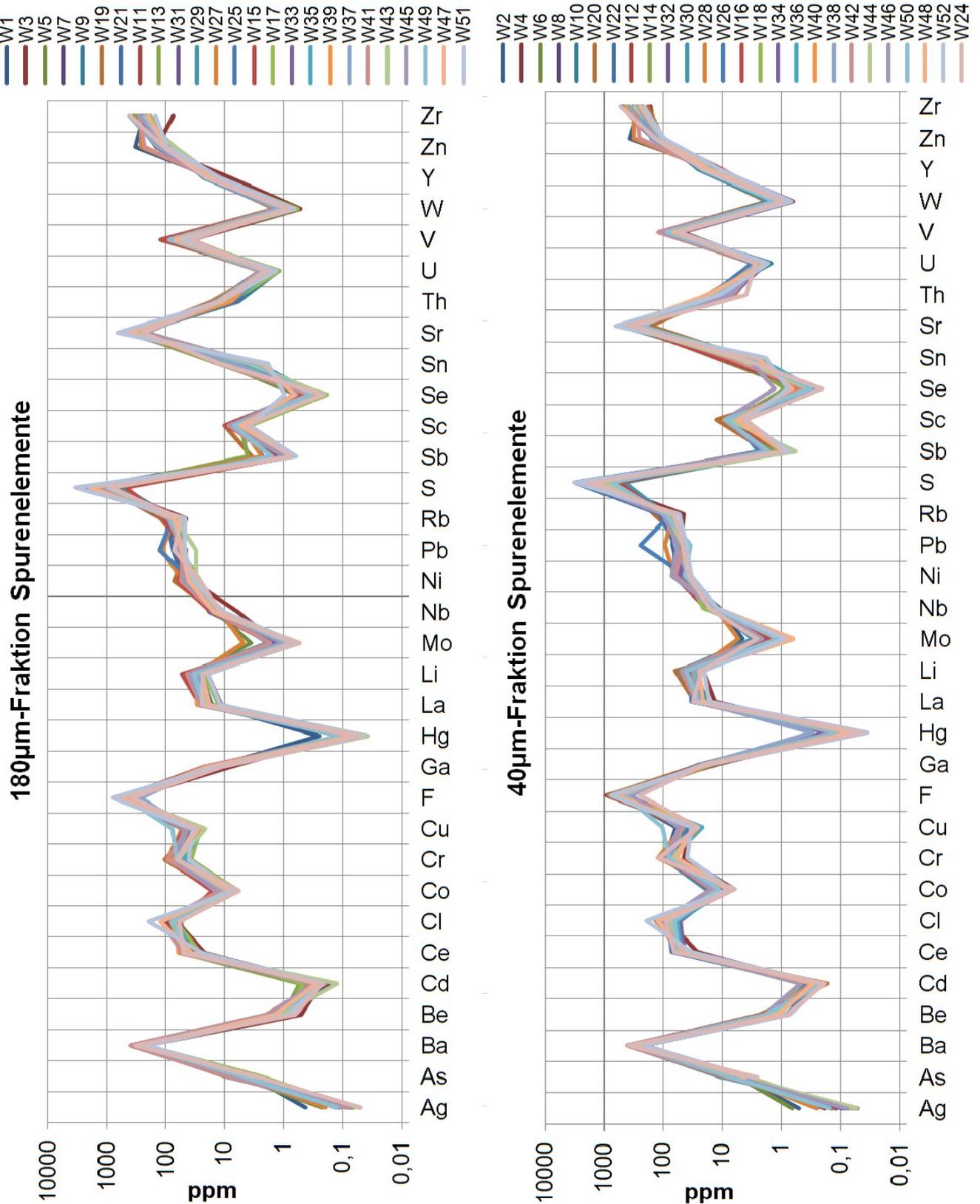


Abb. 3.6.: Vergleich der einzelnen Bachsedimentproben bezüglich Spurenelementgehalte

Häufigkeitsverteilungen

Die Analyse der Häufigkeitsverteilungen zeigt, dass bei beiden Fraktionen die Gehalte kaum eines Haupt- oder Spurenelements normalverteilt oder nach Log-Transformation normalverteilt sind. Demnach muss bei statistischen Betrachtungen auf robuste (nicht-parametrische) Berechnungsmethoden zurückgegriffen werden. Standardabweichungen oder Variationskoeffizienten beispielsweise werden dabei in Bezug auf den Medianwert (anstatt den Mittelwert) berechnet.

Wendet man solche Berechnungen auf die Variationskoeffizienten der Hauptelementgehalte der Bachsedimentproben an, so ergeben sich sehr geringe Werte ($CV \leq 0,3$). Einzige Ausnahme bilden die bereits erwähnten Elemente S und SO_3 (180 μ m-Fraktion) sowie MnO (180 μ m-Fraktion) und MgO (40 μ m-Fraktion). Wie schon die Abbildungen 3.5.-3.6. deuten auch die niedrigen Variationskoeffizienten auf einheitliche geochemische Verhältnisse der Einzugsgebiete hin. Bei den Spurenelementen kommen jedoch häufiger größere Variationen vor, $CV \geq 0,8$ bei Ag, Hg, Mo, Pb (40 μ m-Fraktion) und bei Sb (180 μ m-Fraktion), hauptsächlich verursacht durch die Ausreißer der Probe am Liesingbach bei Kledering.

Ausreißer

Die statistische Identifizierung von Ausreißern (outliers) der Hauptelementverteilungen ergibt folgende Punkte:

- Dürre Liesing (Nr. 5) und Waldgraben (Nr. 28): deutlich geringe Werte für SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , deutlich hohe Werte für MgO, CaO. Dies ist bedingt durch den Anteil der Kalkalpen am Einzugsgebiet der Liesing und durch die Kalksandeine der Kahlenberg-Formation.
- Vösendorfer Graben (Nr. 9): deutlich hohe Werte für Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , MnO, K_2O . Das Einzugsgebiet besteht hier aus Sand- und Mergelsteinen der Hütteldorf-Formation und zu einem geringeren Anteil an Karbonaten der St. Veiter Klippenzone.

Anomalien mit erhöhten Werten in den Spurenelementverteilungen zeigen sich bei

- Liesing bei Kledering (Nr. 1) und Reiche Liesing (Nr. 6): Ag, Hg, Mo, Zn
- Vösendorfer Graben (Nr. 9): As, Li, Rb, Sb, Sc, V, W
- Halterbach vor Mündung in Wienfluß (Nr. 12): Cd, Sb, Sn
- Rotwasser (Nr. 14): Co, Y
- Wienfluss (Nr. 15): Cr, Mo, Pb, Zn
- Mauerbach vor Mündung in Wienfluß (Nr. 16): Pb
- Schreiberbach in Nußdorf (Nr. 26): Cu
- Waldgraben (Nr. 28): Cl, F, S

Korrelationen

Berechnet man nicht-parametrische Korrelationen zwischen Hauptelementen, so wird deutlich, dass die Elemente Al, Ti, Fe, K miteinander stark positiv, mit Ca stark negativ korrelieren. Mn korreliert etwas schwächer positiv mit Al, Fe, K, etwas schwächer negativ mit Ca. Nur noch tendenziell korreliert Na positiv mit Ti, und negativ mit Ca, wohingegen Si stark negativ mit Ca korreliert. Es gruppieren sich also Proben mit hohen Al-, Ti-, Fe- und K-Gehalten, solche mit hohen Ca-Gehalten und solche mit hohen Si-Gehalten.

Bei den Spurenelementen finden sich starke positive Korrelationen zwischen As, Ba, Be, Co, Cr, Li, Ni, Rb, Sc, V und W, eine weitere Gruppe von korrelierenden Zr-, Ce-, La- und Nb-Gehalten repräsentiert die Schwerminerale. Zn korreliert mit Hg, Mo, Sb, Sn, außerdem kommen Korrelationen zwischen einzelnen Elementen wie Cd mit Sb, Cl mit S oder Cu mit Hg vor. Auffallenderweise ergibt sich bei Ag, Pb, F und Th keine Korrelation mit irgendeinem anderen Parameter.

Hauptkomponentenanalyse

Bei der Hauptkomponentenanalyse der Hauptelemente trennt Faktor 1 eindeutig Ca- (und Mg-)reiche Bachsedimente von solchen mit hohen Gehalten an Si, Ti, Al, Fe, K und Na. Faktor 2 filtert Si- (und Na-)reiche Bachsedimente aus der Population heraus. Proben mit hohen Phosphat-Gehalten sind durch Faktor 4, aber auch univariat zu erkennen. Unter den Spurenelementen werden durch den Faktor 1 die eher geogenen Elemente As, Be, Co, Cr, Li, Ni, Rb, Sc, V und W miteinander assoziiert und den eher anthropogenen Elementen Ag, Cd, Cl, F, Hg, Pb, S und Sn gegenübergestellt. Faktor 2 lässt die mit natürlichen Schwermineralen verbundenen Elemente Ce, La, Nb, Y und Zr aus der Population heraustreten.

Bezug zur Geologie

Die Hauptelementverteilungen innerhalb der Bachsedimente Wiens charakterisieren eindeutig die lithochemische Zusammensetzungen der Gesteine in den Einzugsgebieten der Probepunkte. Hohe Al-, Ti-, Fe- und K-Gehalte leiten sich von Schichtsilikaten und Tonmineralen in Ton- und Mergelsteinen (z.B. Laab-Formation) ab. Ca- und K-Gehalte spiegeln den Einfluss von Karbonaten wieder (Kalkalpen, St. Veiter Klippenzone, Kalksandsteine der Kahlenberg-Formation). Je höher der Anteil an quarzitischen Sandsteinen im Einzugsgebiet (z.B. innerhalb der Greifenstein- und Sievering-Formation), desto höher auch die Si-Gehalte, parallel mit den Gehalten an Ce, La und Zr. Bei Lokationen, die einen gewissen Anteil an quartären und tertiären Kiesen im Hinterland aufweisen, korreliert dieser Anteil mit den Phosphat-Gehalten.

Bei den Schwermetallen lässt sich kein direkter Bezug zu bestimmten Formationen ableiten. Dies liegt zum einen daran, dass die meisten Einzugsgebiete aus mehreren geologischen Einheiten bestehen, zum anderen, dass die einzelnen Formationen mehrere lithologische Typen beinhalten. Die in Abbildung 3.4. dargestellten Maximalwerte der Bereiche ohne Ausreißer können zur Festlegung von geogenen Hintergrundwerten für Flyschgesteine im Westen von Wien insgesamt herangezogen werden. Durch statistische Verfahren wurde hier der geogene vom anthropogenen Anteil getrennt (für eine semi-quantitative Abschätzung der anthropogenen Anteile siehe Kap.7.3.). Der Datensatz reicht jedoch nicht aus, um einzelne geologische Einheiten spezifisch zu charakterisieren (Tab. 3.3.).

Tab. 3.3.: Regionale Grundgehalte in Flyschgesteinen westlich von Wien, abgeleitet aus der Bachsedimentanalytik.

		As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	V	Zn
regionaler Grundgehalt	ppm	9,1	0,5	17	119	60	0,17	2,8	72	76	121	159

4. Bodengeochemie

Das Medium Boden bildet eine Schnittstelle zwischen anthropogen und geologisch bedingten Einflüssen. Hier kommen alle Einflüsse von Mensch und Natur zusammen. Gleichzeitig besitzt der Boden eine Schlüsselfunktion, wenn es um Auswirkungen chemischer Schadstoffe auf den Menschen geht, da der Mensch diesem Medium direkt ausgesetzt ist - auf Kinderspielflächen, in Freizeitparks oder beim Gemüseanbau im Schrebergarten. Deshalb spielen chemische Bodenuntersuchungen in der Umweltgeochemie insbesondere in urbanen Räumen eine wesentliche Rolle (NORRA, 2001; ALBANESE et al., 2008). Die Rolle der Geologie ist dabei etwas eingeschränkt, da urbane Böden in den oberen Partien, oft sogar zur Gänze, nicht aus natürlichen Gesteinen entstanden sind, sondern aus künstlichen Anschüttungen und technischen Substraten bestehen (HILLER & MEUSER, 1998).

4.1. Bisherige Daten

Für das Wiener Stadtgebiet existieren derzeit zwei umfangreiche bodengeochemische Datensätze:

- die in dreijährigem Abstand regelmäßig von der MA22 – Wiener Umweltschutzabteilung durchgeführte „Untersuchung des Wiener Bodens“ (KREINER, 2004)
- eine einmalige Bodenuntersuchung auf Wiener Kinderspielflächen im Auftrag der MA42 – Wiener Stadtgärten (WRUSS, 2004)

Die Lage der Probenpunkte dieser beiden Datensätze ist in Abbildung 4.1. dargestellt.

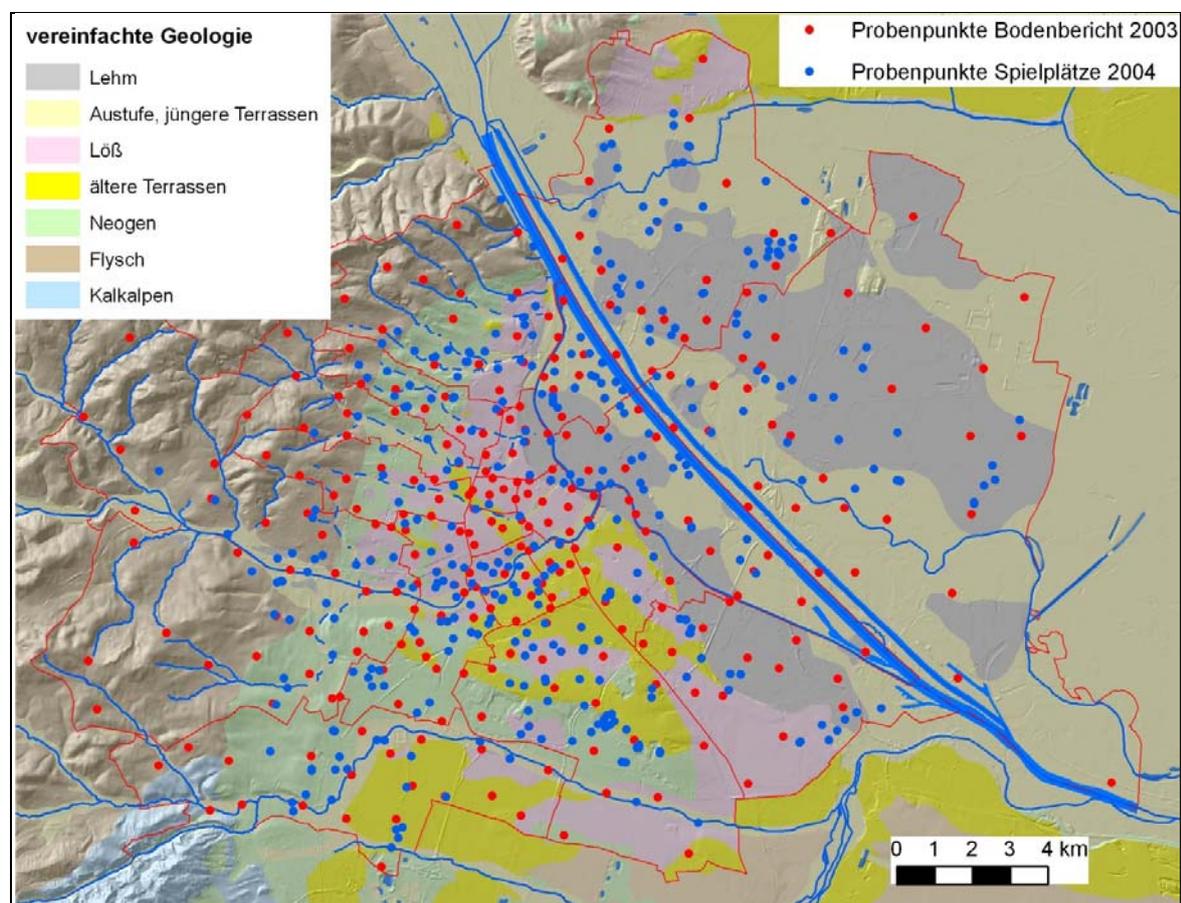


Abb. 4.1.: Lage der Probenpunkte der bisherigen bodengeochemischer Datensätze

Wiener Bodenbericht

Die Daten umfassen die Schwermetalle As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Pt, Se, V, Zn. Die Analytik erfolgte in einem Aufschluss aus Salz- und Salpetersäure mittels ICP-MS. Beprobte wurden Oberböden (0-10cm) an 286 Probenpunkten. Die mittlere Entfernung zwischen zwei Probepunkten beträgt 700 m (0,7 Proben pro km²), schwankend zwischen 200 m in den inneren Bezirken und 4 km am Stadtrand. Die Daten werden im Wiener Bodenbericht im Internet (<http://www.wien.gv.at/umweltschutz/pdf/bodenber03.pdf>) veröffentlicht.

Abbildung 4.2. zeigt die Wertebereiche der Elementkonzentrationen der Beprobung 2003. Mit Ausnahme des Elements As überschreiten die Schwermetallgehalte der Böden zu einem großen Teil die Richtwerte nicht kontaminierter Böden, die von verschiedenen Quellen angegeben werden (EIKMANN & KLOKE, 2004; SCHWARZ & FREUDENSCHUSS, 2004; New Dutch List, 2009). Insbesondere Cd, Cu, Hg, Pb und Zn zeigen weitverbreitete Richtwertüberschreitungen.

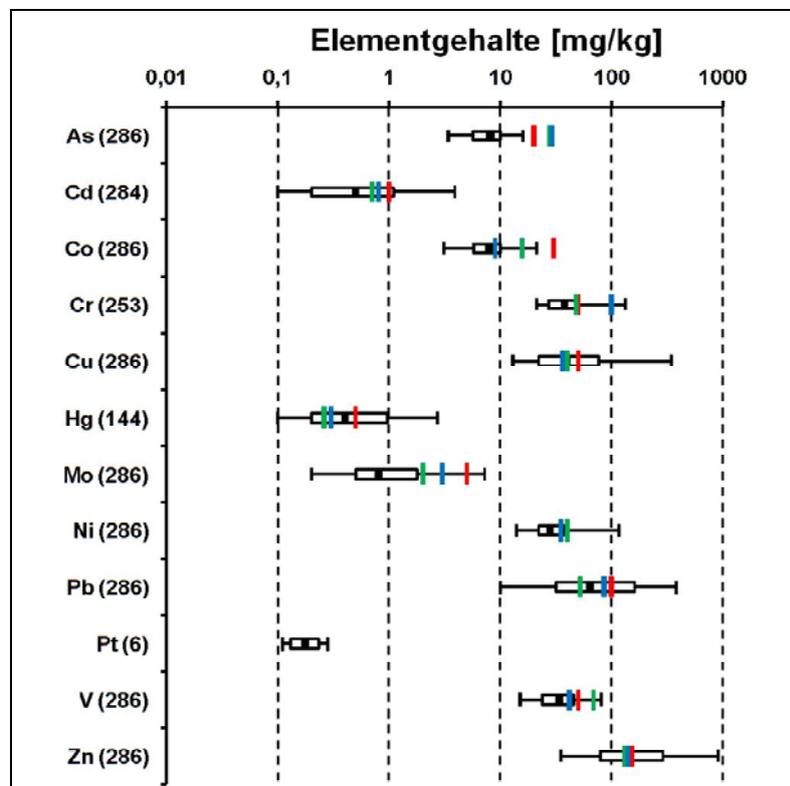


Abb. 4.2.: Wertebereiche (min, q₁₀, q₅₀, q₉₀ und max) von Schwermetallkonzentrationen in Wiener Oberböden laut Bodenbericht (KREINER, 2004). Anzahl der Analysen in Klammern. Rote Balken zeigen die Orientierungswerte für multifunktionale Stadtböden ohne anthropogen bedingte Einträge nach EIKMANN & KLOKE (2004), grüne Balken Referenzwerte nach SCHWARZ & FREUDENSCHUSS (2004), blaue Balken Richtwerte für nicht kontaminierte Böden laut Holländischer Standards (New Dutch List, 2009). Die Orientierungs-, Referenz- und Richtwerte sind in Kapitel 8. (Tab. 8.2.-8.4.) zahlenmäßig angeführt.

Die Daten wurden für das gegenständliche Projekt geo-referenziert und als GIS-Datensatz aufbereitet. Dies ermöglicht die regionale Visualisierung der einzelnen Elementgehalte und geostatistische Auswertungen. Aufgrund der weder normalen noch log-normalen Häufigkeitsverteilungen müssen für die uni- und multivariate Analyse non-parametrische oder robuste statistische Methoden verwendet werden (REIMANN et al., 2008).

Zunächst wurden die Punktdaten mit der Landnutzungskarte der Stadt Wien (MA41) verschnitten. Dabei ergibt sich, dass Cd- und Pb-Gehalte im Grünland signifikant niedriger sind als in den anderen Nutzungstypen (Siedlungsgebiete, Industrie, Verkehr), bei den übrigen Elementen sowie bei einer multivariaten (Hauptkomponenten-) Analyse zeigen sich keine regionale Abhängigkeiten. Kleinräumliche Verteilungsmuster und -strukturen, die auf sehr lokale Einträge von Elementen in den Boden hinweisen, überlagern zum großen Teil die diffusen Emissionen, die im Stadtgebiet unabhängig von der Landnutzung vorliegen.

Zusätzlich wurden die Punktdaten mit der geologischen Karte der Stadt Wien (PFLEIDERER & HOFMANN, 2003) verschnitten und auf Zusammenhänge zwischen Boden und den darunterliegenden Sedimenten / Gesteinen geprüft. Hierbei zeigen die Verteilungen der Elementgehalte univariat keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den geologischen Einheiten. Bei der multivariaten Analyse heben sich jedoch Böden über Flysch-Gesteinen bei der Verteilung der Hauptkomponente 2 (Pb, Zn, Cd) von anderen Klassen (Aulehm, Ausand/-kies, Löss, Terrassenschotter, Neogen) mit deutlich geringeren Werten ab (PFLEIDERER et al., 2009). Diese drei Elemente stehen klassischerweise jedoch nicht mit der geologischen Situation sondern mit Einflüssen aus dem Straßenverkehr im Zusammenhang. Zufällig fällt hier die Verbreitung der Flyschgesteine mit dem relativ unberührten östlichen Wienerwald zusammen, der in das westliche Stadtgebiet reicht.

Die Absenz von Korrelationen zwischen Geologie und Bodenchemie ist darauf zurückzuführen, dass Böden in urbanen Räumen selten in-situ aus dem geologischen Untergrund durch Verwitterung gewachsen sind. Außerdem wird bei dem Bodenmonitoring der MA22 jeweils der Oberboden (oberste 10 cm) beprobt, der anthropogenen Einflüssen weit mehr ausgesetzt ist als tiefere Schichten. Um einen Zusammenhang mit der Geologie nachzuweisen und geogene Hintergrundwerte abzuleiten, müssten entweder tiefere Bodenhorizonte beprobt oder auf das Stadtumland ausgewichen werden.

Nach ALBANESE et al. (2008) können in Böden innerhalb von Städten lokale Grundgehalte (*local anomaly threshold*) definiert werden, die oberhalb der im Umland vorherrschenden regionalen Grundgehalte (*regional anomaly threshold*) liegen (Abb. 4.3.). Beide Wertebereiche können mit geostatistischen Methoden von Anomalien getrennt definiert werden (CICCHELLA et al., 2005). Tabelle 4.1. listet die Ergebnisse.

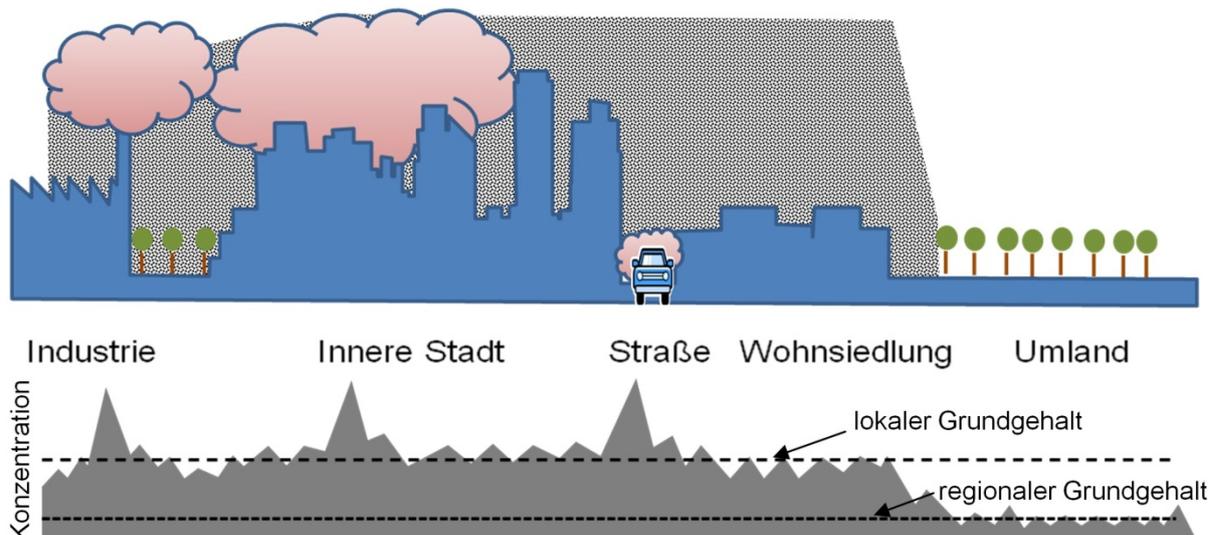


Abb. 4.3.: Schema der Verteilung von Schwermetallen in Stadtböden (nach ALBANESE, 2008)

Tab. 4.1.: Lokale (innerstädtische) und regionale (Stadttrand) Grundgehalte in Wiener Stadtböden, abgeleitet aus dem Wiener Bodenbericht (KREINER, 2004). Aufgrund geringer Proben-dichte am Stadtrand sind regionale Grundgehalte statistisch nicht abgesichert (in grauer Schrift)!

		As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	V	Zn
regionaler Grundgehalt	ppm	5	0,3	4	28	20		0,5	18	20	20	80
lokaler Grundgehalt	ppm	10	0,8	10	45	60	0,5	1,3	33	100	35	200

Die in Tabelle 4.1. aufgelisteten regionalen Grundgehalte stützen sich auf wenige Probenpunkte am Stadtrand und sind statistisch nicht abgesichert. Um die Proben-dichte zu erhöhen, wurden speziell am westlichen Stadtrand in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Wald neue Proben analysiert (Kap. 4.2.).

Bodenuntersuchungen auf Wiener Spielplätzen

Der Datensatz umfasst 355 Standorte, beprobt wurden die obersten 35 cm (Mischprobe) bei natürlichen, unbefestigten Oberflächen (kein Asphalt, Rindenmulch, Sandkastenmaterial), analysiert wurden die Elemente As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn im Königswasseraufschluss mittels ICP-MS. Die Probenahme fand 2003 statt, die Ergebnisse (Rohdaten, statistische Analyse und Bewertung) sind im Internet veröffentlicht (<http://www.wien.gv.at/umweltschutz/pdf/spielplaetze.pdf>).

Abbildung 4.4. zeigt die Wertebereiche der Elementkonzentrationen. Hinsichtlich Schwankungsbreite, Häufigkeitsverteilung und Richtwertüberschreitungen verhält sich der Datensatz dem des Bodenberichts sehr ähnlich. Allein bei Pb und Zn liegen die Werte etwas niedriger.

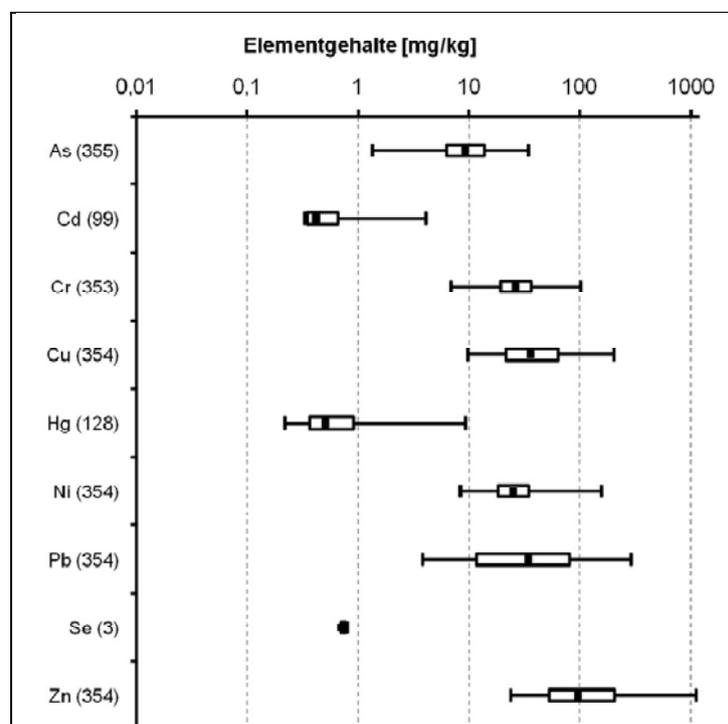


Abb. 4.4.: Wertebereiche (min, q10, q50, q90 und max) von Schwermetallkonzentrationen in Bodenuntersuchungen auf Wiener Spielplätzen (WRUSS, 2004). Anzahl der Analysen in Klammern.

Die geostatistische Analyse im Bezug zur Landnutzung entfällt, da nur Proben innerhalb eines Nutzungstyps (Grün-/Erholungsbereiche) untersucht wurden. Hinsichtlich etwaiger Korrelationen mit der Geologie ergeben sich trotz der im Vergleich zum Bodenbericht etwas größeren Probenahmetiefe keine statistisch signifikanten Zusammenhänge. Die geostatistische Trennung zwischen Anomalien (Ausreißern), lokalen und regionalen Grundgehalten liefert mit Ausnahme Pb und Zn ein sehr ähnliches Bild wie die für die Daten des Bodenberichts abgeleiteten Werte (Tab. 4.2.).

Tab. 4.2.: Lokale (innerstädtische) und regionale (Stadttrand) Grundgehalte in Wiener Stadtböden, abgeleitet aus den Bodenuntersuchungen auf Wiener Spielplätzen (WRUSS, 2004). Aufgrund geringer Probendichte am Stadttrand sind regionale Grundgehalte statistisch nicht abgesichert (in grauer Schrift)!

		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
regionaler Grundgehalt	ppm	6			24			10	60
lokaler Grundgehalt	ppm	9		25	43	0,5	23	80	150

4.2. Neue Beprobung und Analytik

Aus Abbildung 4.1. wird ersichtlich, dass im Bereich des Wienerwaldes (westlicher Stadttrand), wo im Vergleich zu dem zentralen Stadtgebiet noch einigermaßen natürliche Bedingungen herrschen, die Waldböden der Flyschzone nur wenig untersucht sind. Daher wurde eine Beprobung in Kooperation mit dem Bundesamt für Wald (BFW) und dem dort laufenden Programm "Biosphärenpark Wienerwald" durchgeführt, die zwischen Juli 2009 und April 2010 stattfand. Innerhalb des Wiener Stadtgebietes wurden vom BFW dabei insgesamt 384 Horizont-spezifische Proben an 109 Standorten gezogen, verteilt auf die Gebiete Dorotheerwald, Hollergraben, Johannserkogel, Kolbeterberg, Latisberg, Leopoldsberg, Moosgraben, Pfaffenberg und Waldandacht. Die Lage der Punkte ist in Abbildung 4.5. auf dem Hintergrund der forstlichen Standortskarte (JELEM & MADER, 1966), eingefärbt nach Bodentyp, dargestellt.

Von den 384 Proben wurden 94 ausgewählt (an 59 Standorten je ein Horizont, an 16 Standorten je 2 Horizonte, an einem Standort 3 Horizontproben), um einerseits mit möglichst vielen Standorten flächige Aussagen treffen zu können, punktuell aber auch eine Tiefenabhängigkeit der Elementgehalte und damit Stoffflüsse beschreiben zu können. Die Proben wurden an der Geologischen Bundesanstalt aufbereitet und analysiert. Die Probenaufbereitung beinhaltete Lufttrocknung bei Raumtemperatur während mehrerer Wochen, Siebung in rostfreien Stahlsieben nach DIN 4188 auf die Korngröße <2mm und Mahlen mit einer Achatmühle auf Analysenfeinheit (Korngröße <60µm). Tabelle 4.3. gibt die analysierten Parameter und die verwendeten Analysemethoden an, Tabelle 4.4. listet die Bestimmungsgrenzen. Die Qualitätssicherung der Messungen erfolgte mit zertifizierten Standards und Mehrfachmessungen der einzelnen Proben. Beilage 2 enthält Standortbeschreibungen, Profilbeschreibungen und Analyseergebnisse der Bodenproben.

Tab. 4.3.: Analysemethoden und analysierte Elemente der Bodenproben im Wienerwald

Röntgenfluoreszenzanlage X-LAB 2000	C/S-Analysators LECO CS-200	LECO AMA 254 Mercury Analysator	gravimetrisch
Al ₂ O ₃ , FeO, MnO, MgO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , SiO ₂ , TiO ₂ , Ag, As, Ba, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, La, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Th, U, V, W, Y, Zn, Zr	C _{ges} , SO ₃	Hg	Trockenverlust (110°C), Glühverlust (1000°C)

Tab. 4.4.: Bestimmungsgrenzen der analysierten Elemente

Hauptelemente									
MnO, K ₂ O, P ₂ O ₅ , C _{ges}	SO ₃	CaO, Tro- ckenverlust (110°C), Glühverlust (1000°C)	TiO ₂	Na ₂ O	FeO, MgO	SiO ₂ , Al ₂ O ₃			
0,01	0,02	0,1	0,2	0,5	1	2			
%	%	%	%	%	%	%			
Spurenelemente									
Hg	Cd	Ag	As, Nb, Ni, Pb, Rb, Sr, Y, Zr	Cs	Ba, Cu, Ga, Mo, Sb, Se, Th, V, Zn	Co, Cr, Sn	U, W	Ce	Cl, La
0,0001	0,7	0,8	1	1,5	2	5	10	20	50
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm

4.3. Diskussion der Ergebnisse

In Abbildung 4.6. sind die Wertebereiche der Elementkonzentrationen dargestellt. Im Vergleich mit Schwermetallgehalten der oben diskutierten Stadtböden (Datensätze Bodenbericht und Spielplätze) zeigen die Waldböden geringere Werte an Cu, Hg, Pb und Zn, jedoch höhere Werte an Co, Cr, Mo, Ni und V. Die vom Umweltbundesamt angegebenen Referenzwerte für Waldböden auf Flyschgesteinen (SCHWARZ & FREUDENSCHUSS, 2004) werden bei den Elementen Cd, Co, Cr, Cu, Ni und Zn überschritten. Ag, Cd, Sb, Sn und U liegen bei den meisten Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze und können daher in der folgenden statistischen Analyse nicht berücksichtigt werden.

Für den Vergleich mit den vorhandenen Datensätzen Bodenbericht und Spielplätze bzw. den vom Umweltbundesamt angegebenen Referenzwerte (SCHWARZ & FREUDENSCHUSS, 2004) ist anzumerken, dass die mit Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) gemessenen Werte höher liegen können als die ICP-MS-Messungen an in Königswasser aufgeschlossenen Proben, da nicht immer die gesamte Probe in Lösung geht, die RFA-Messungen jedoch Gesamtgehalte darstellen. Zusätzlich liegen unterschiedliche Strategien der Probenahme vor, bei Stadtböden Mischproben aus 0 - 10 (35) cm Tiefe, bei Waldböden Horizont-spezifisch überwiegend Proben der B-Horizonte aus einer Tiefe von ca. 20 - 40 cm.

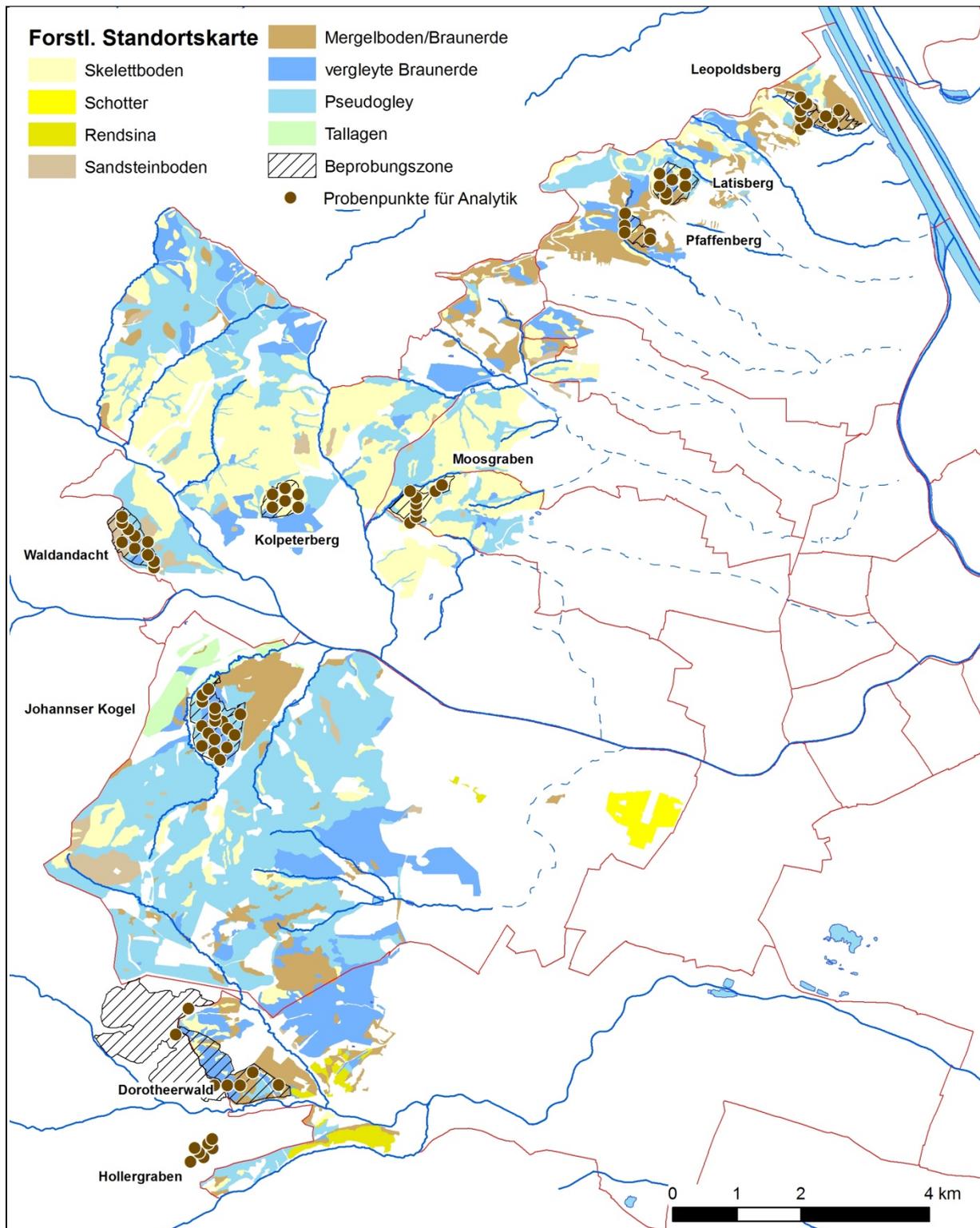


Abb. 4.5.: Lage der Probenpunkte für die neue bodengeochemische Analytik auf dem Hintergrund der forstlichen Standortskarte (JELEM & MADER, 1966), eingefärbt nach Bodentyp

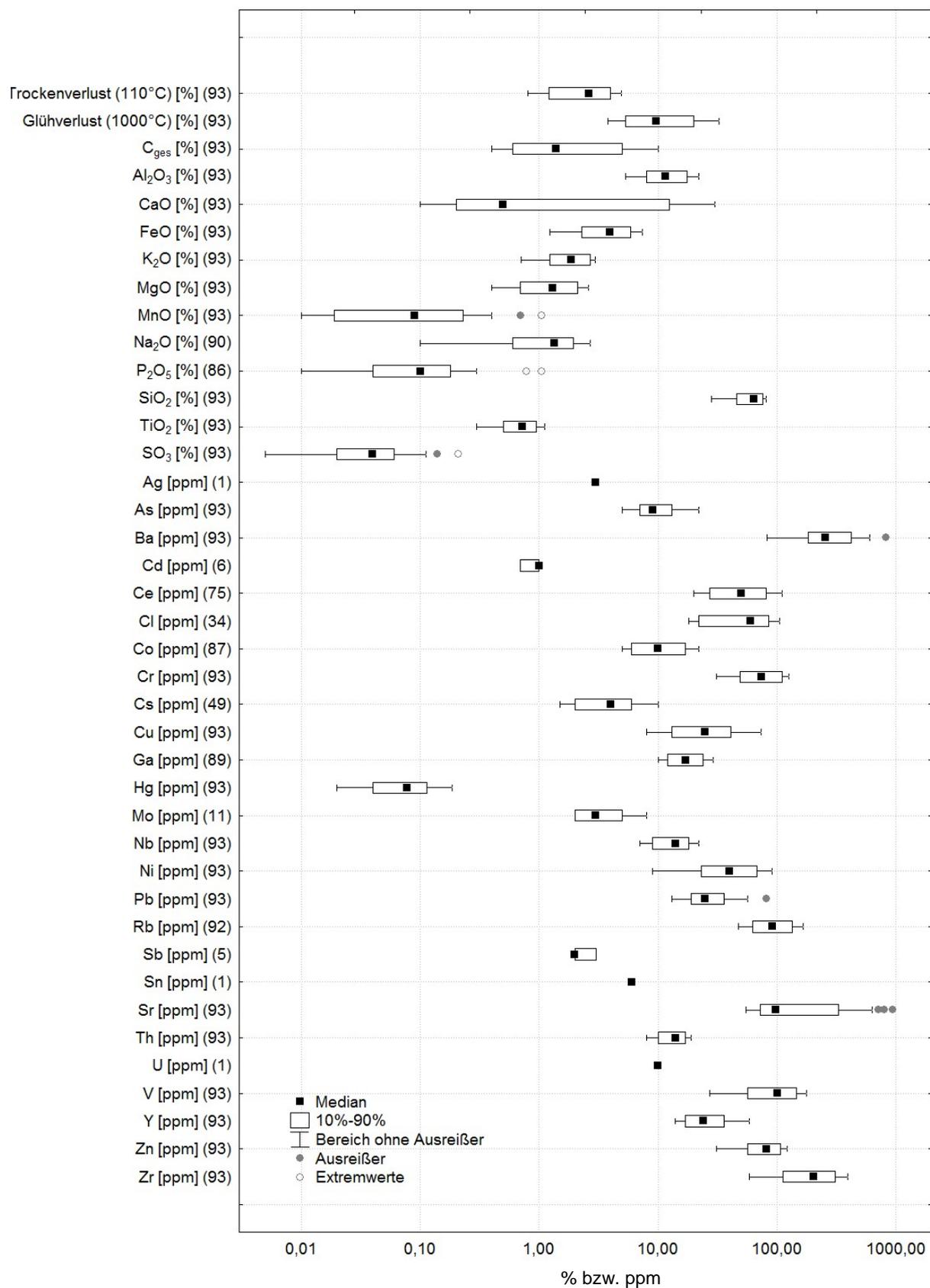


Abb. 4.6.: Wertebereiche Multielement-Analytik Bodenproben Wienerwald. Einheiten und Anzahl der Analysen in Klammern.

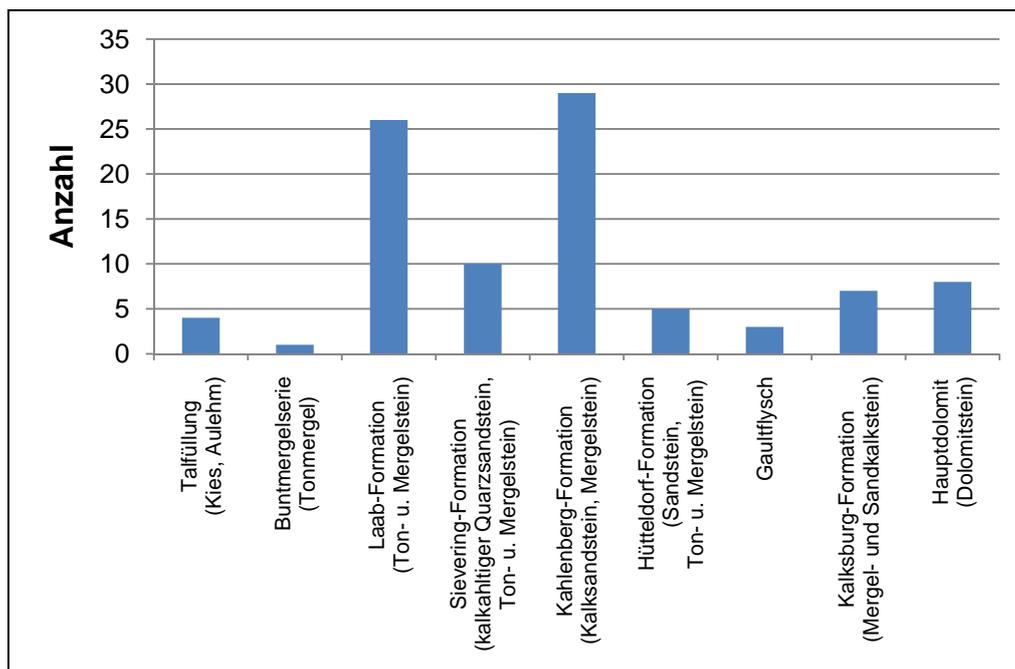


Abb. 4.7.: Verteilung der neuen bodengeochemischen Analysen auf geologische Einheiten

Abbildung 4.7. veranschaulicht die Verteilung der Probenpunkte auf die verschiedenen Flysch- und Kalkalpen-Formationen. Mit Ausnahme der Buntmergelerde, die flächenmäßig nur eine geringe Verbreitung besitzt, sind sämtliche Einheiten mehrfach beprobt. Allerdings sind auch die Einheiten Talfüllung und Gaultflysch für eine statistische Betrachtung unterrepräsentiert.

Die Verteilungen der Oxide (Hauptelemente) zeigen deutlich den Einfluss der Geologie auf die Bodengeochemie. Al-, Fe-, K- und Mg-Gehalte, klassische Anzeiger für Tonminerale, korrelieren stark miteinander, hohe Werte treten innerhalb der Böden über Ton- und Mergelsteinen der Laab-Formation am Johannserkogel auf. Ca-Gehalte verhalten sich (parallel mit Sr) gegenläufig zu Si-Gehalten, hohe Quarzgehalte finden sich am Kolbeterberg in Böden über Quarzsandsteinen der Sievering-Formation, hohe Kalkgehalte hingegen am Leopoldsberg auf Kalksandsteinen der Kahlenberg-Formation. Die Hauptkomponentenanalyse der Oxid-Gehalte trennt mit dem Faktor 1 Ca-reiche Proben der Kahlenberg-Formation eindeutig von Al-, Fe-, K- und Mg-reichen Proben der Laab-Formation. Si-reiche Proben der Sievering-Formation und der Kalksburg-Formation (Kieselkalke) liegen im Mittelfeld.

Bei den Spurenelementen korrelieren Co, Cr, Cu, Ni, V und Zn miteinander. Die Analyse der Hauptkomponenten innerhalb der Schwermetalle charakterisiert mit Faktor 1 die Kombination genau dieser Elemente. Die höchsten Gehalte treten in Böden am Johannserkogel über Ton- und Mergelsteinen der Laab-Formation und in Böden der Kalksburg-Formation auf. In Böden der Sievering-Formation am Kolbeterberg sind die Gehalte am geringsten. Hingegen separiert Faktor 3 die Böden mit hohen Gehalten an As, Hg und Pb in den Böden der Kalkalpen-Standorte (Kalksburg-Formation im Hollergraben) von niedrigen Werten am Kolbeterberg und am Johannserkogel.

Der Anteil an Phosphaten und Schwefel ist bei den Böden am Leopoldsberg mit Abstand am höchsten. Die Bachsedimente des Waldgrabens (Probe W3) zeigen ebenfalls atypisch hohe

Werte (Kap. 3.3.). Bezüglich Phosphat kann dies mit hohen geogenen Apatit-Gehalten innerhalb der Kahlenberg-Formation erklärt werden (siehe Kap. 7.1.).

Tab. 4.5.: Grundgehalte an Schwermetallen in Waldböden des Wienerwalds (Stadtgebiet Wien); (Gehalte in grau sind aus <10 Analysewerten ermittelt)

	As (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Hg (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	V (ppm)	Y (ppm)	Zn (ppm)
Laab-Formation	12	19	125	46	0,11	70	36	178	25	118
Sievering-Formation	9		81	18	0,11	23	36	62	21	76
Kahlenberg-Formation	13	14	114	29	0,15	72	43	146	35	121
Hütteldorf-Formation	16	9	77	24	0,09	45	34	107	31	112
Gaultflysch	15	16	95	50	0,12	63	32	131	40	106
Kalksburg-Formation, Kieselkalk	22	22	111	61	0,19	85	34	107	58	103
Hauptdolomit	12	19	125	46	0,11	70	36	178	25	118

Die in Tabelle 4.5. angegebenen Grundgehalte an Schwermetallen in Waldböden des Wienerwalds innerhalb des Stadtgebiets von Wien wurden als Maximalwerte der Elementgehalte ohne (statistisch ermittelte) Ausreißer und Extremwerte bestimmt. Die in grau dargestellten Gehalte ergeben sich aus weniger als 10 Analysewerten und sind somit nicht statistisch abgesichert. Im Vergleich mit den Grundgehalte aus den Datensätzen Bodenbericht 2003 und Spielplätze sowie mit den vom Umweltbundesamt angegebenen Referenzwerten, die aus in Königswasser aufgeschlossenen Proben abgeleitet sind, fällt auf, dass für die Elemente Cr, Ni und V die Grundwerte der Gesamtgehalte neu analysierter Bodenproben um den Faktor 2 – 4 höher liegen, bei Hg und Pb jedoch geringere Gehalte vorliegen. Die Elemente As, Co, Cu, Y und Zn sind in ähnlichen Konzentrationen vorhanden wie die Vergleichswerte. Insgesamt haben die hier abgeleiteten Grundgehalte wegen der geringen Anzahl von Analysen pro geologischer Einheit nur Hinweischarakter mit lokaler Bedeutung.

5. Hydrochemie

5.1. Bisherige Daten

Für die hydrochemische Charakterisierung der Grundwässer im Stadtgebiet Wien stehen zahlreiche Datensätze zur Verfügung. Die Magistratsabteilung Gewässer (MA45) betreibt ein Monitoring-Messnetz vornehmlich in der Donauebene. GBA-interne Datensammlungen ergänzen das Netz in Richtung Westen. Abbildung 5.1. zeigt die Lage der vorhandenen Daten auf der Grundlage der hydrogeologisch attribuierten, geologischen Karte Wiens.

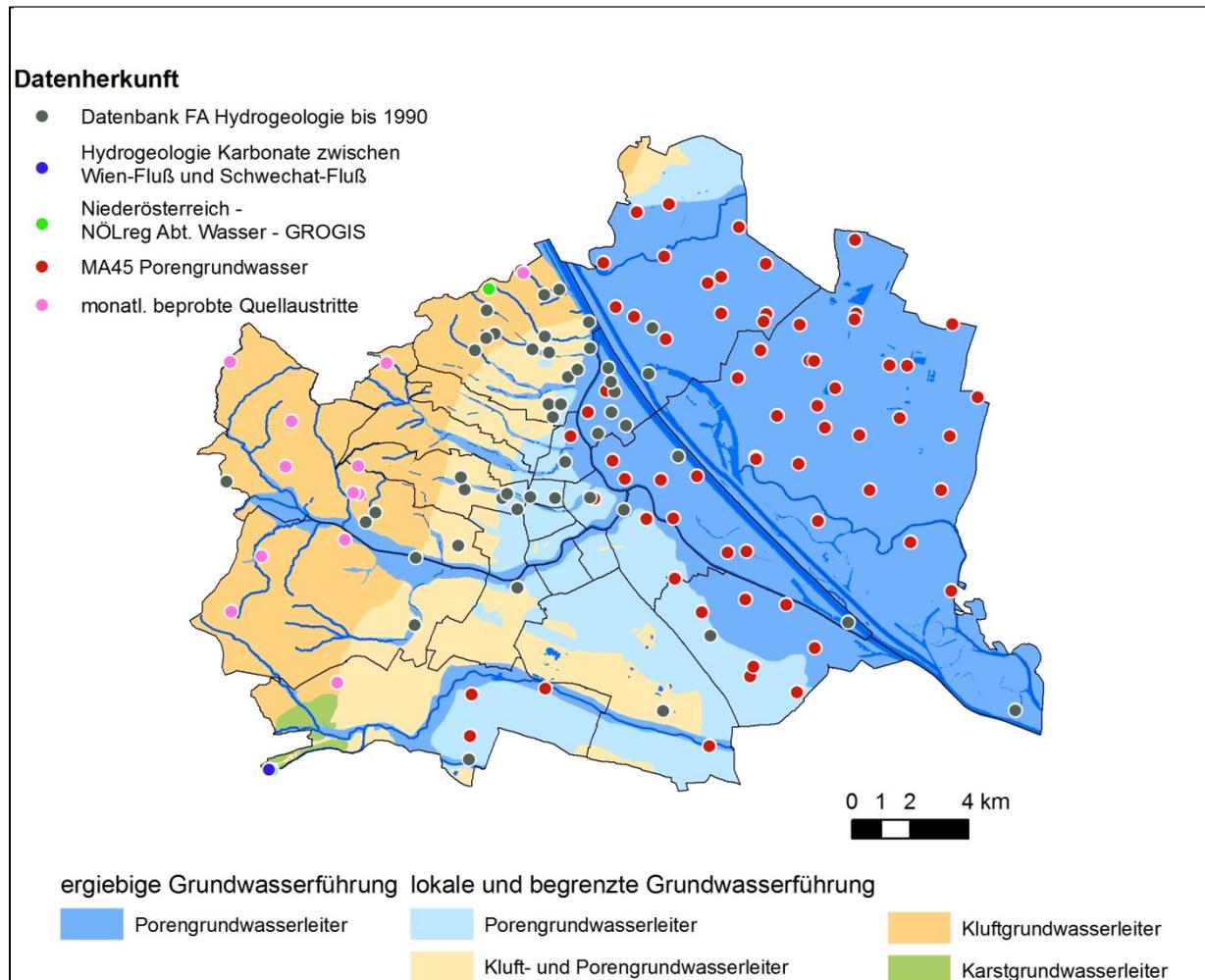


Abb. 5.1.: Lage der Probepunkte bisheriger und neu beprobter hydrochemischer Datensätze

Insgesamt stehen bei 119 Probepunkten hydrochemische Analysen zur Verfügung (66 Messstellen der MA45 / GZÜV, 49 Messstellen aus dem Archiv der Geologischen Bundesanstalt, 1 Datensatz einer Karstwasserstudie, 3 Messstellen aus dem Archiv der Niederösterreichischen Landesregierung). Davon ist die Analytik bei 17 Punkten hinsichtlich der Hauptionengehalte nicht auswertbar. Die Datensätze wurden den geologischen Einheiten zugeordnet und die Medianwerte der Zeitreihen statistisch ausgewertet. Tabelle 5.1. listet die Medianwerte der Hauptionengehalte für jede geologische Einheit auf, wobei nur für die Grundwässer der Bach- und Flussalluvionen (8 Messpunkte), der rezenten Mäander / Praterterrasse (69 Messpunkte) und der Stadterrasse (11 Messpunkte) genügend Daten vorliegen, um statistisch abgesicherte Aussagen zu treffen. Die übrigen Werte sind in der Tabelle grau dargestellt. Abb. 5.2. illustriert die Verteilung der Wassertypen.

Tab. 5.1.: Medianwerte der Hauptionengehalte der bisherigen hydrochemischen Datensätze (Werte in grau: <5 Analysenwerte vorhanden)

	Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Na [mg/l]	K [mg/l]	HCO ₃ [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	Cl [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	NO ₂ [mg/l]	PO ₄ [mg/l]
Bach- und Flussalluvionen	103,6	23,2	28,0	9,9	213,6	104,0	42	26,1	0,09	0,035
Rezente Mäander	98,2	34,2	29,8	6,5	335,6	76,8	41	19,0	0,01	0,026
Praterterrasse	116,6	49,3	33,5	8,2	372,8	142,3	61	58,3	0,01	0,023
Stadtterrasse	103,0	59,9	28,0	7,9	412,1	138,6	43	67,4	0,01	0,030
Arsenalterrasse	146,9	38,6			347,4	190,0	55			
Liesingbachschotter	131,0	22,5	46,9	8,8	364,0	86,8	136	46,4	0,01	0,018
Sarmat	154,9	88,0	17,4	1,8	427,0	289,0	32	68,0		
Baden	134,4	61,2			476,0	154,0	60			
Sievering-Fm.	171,5	35,6			335,6	245,0	40			
Kahlenberg-Fm.	154,8	21,2	8,5	0,8	494,8	67,0	11	4,9		
Hütteldorf-Fm.	126,5	58,5			454,0	169,0	26			
Gaultflysch	292,3	71,2			442,4	654,0	19			

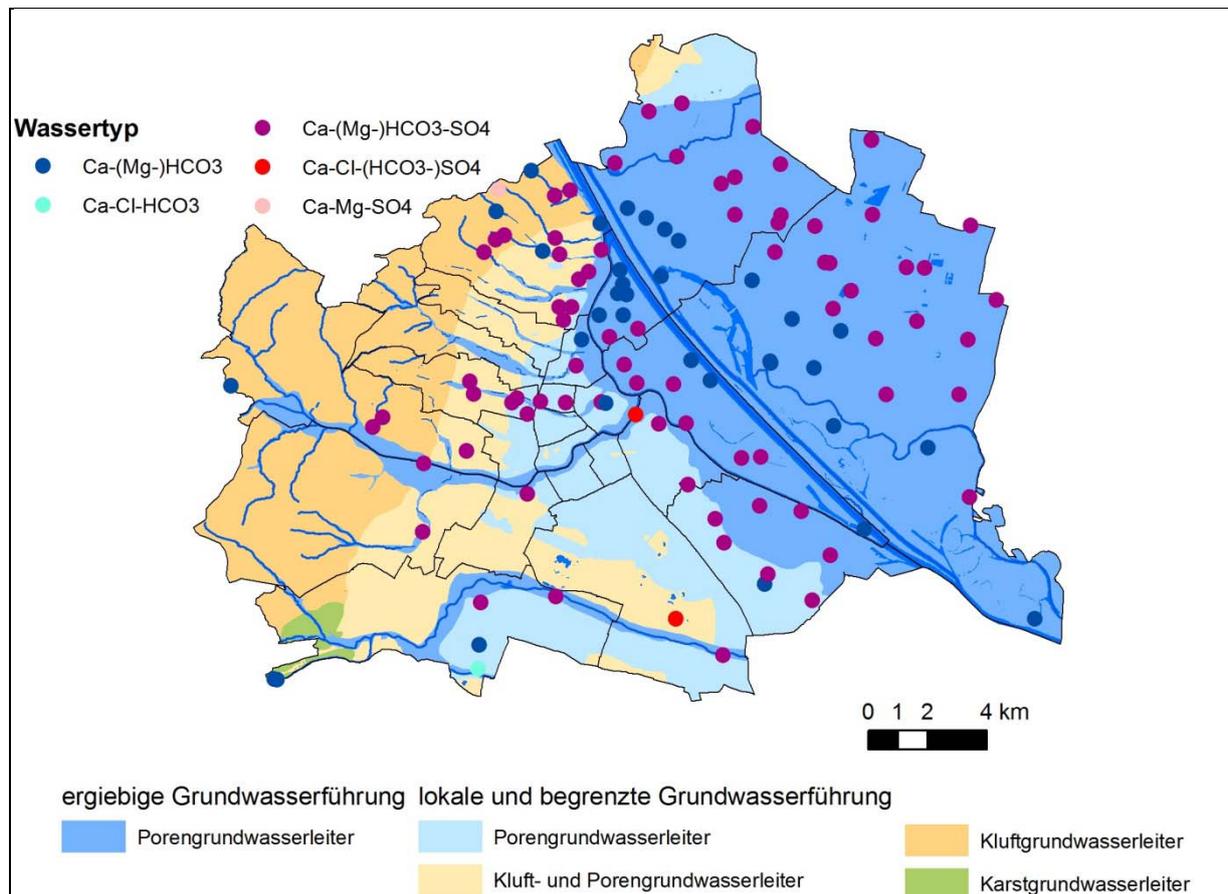


Abb. 5.2.: Wassertypen der bisherigen hydrochemischen Datensätze

Bezüglich der Hauptionengehalte und des Wassertyps lässt sich generell eine Zunahme der Mineralisation von den Grundwässern der Zone der rezenten Mäander zu der Prater- und der Stadterrasse erkennen. In Abb. 5.2. fällt auf, dass im Nahbereich des heutigen Donauverlaufs geringere SO₄-Gehalte vorkommen als in der Prater- und der Stadterrasse. Verglichen mit den (wenigen) Analysen in den älteren geologischen Einheiten (Neogen, Flysch) liegen die Hauptionen-Gehalte in den Wässern der jungen Terrassensedimente niedriger.

Tabelle 5.2. listet die Medianwerte der Spurenelemente getrennt nach geologischer Einheit. Hier ist die Datenlage mit Ausnahme der Analysen innerhalb der rezenten Mäander / Praterterrasse und der Stadterrasse (einzelne Elemente) zu dürftig, um Rückschlüsse auf Abhängigkeiten mit der Geologie zu ziehen. Die Gehalte liegen generell auf einem niedrigen Niveau, jedoch deutlich höher als die in Kap. 5.2. beschriebenen Werte von Quellwässern in der Flyschzone.

Tab. 5.2.: Medianwerte der Spurenelemente der bisherigen hydrochemischen Datensätze (Werte in grau: <5 Analysenwerte vorhanden bzw. oberhalb der Bestimmungsgrenze)

Geologische Einheit	Al [µg/l]	As [µg/l]	B [µg/l]	Cd [µg/l]	Cr [µg/l]	Cu [µg/l]	Fe [µg/l]	Hg [µg/l]	Mn [µg/l]	Ni [µg/l]	Pb [µg/l]	Zn [µg/l]
Bach- und Flussalluvionen			35				55	0,15	25		1,75	
Rezente Mäander	22,5	1,3	151	0,8	1,8	2	20	0,2	20	3	1,7	14,25
Praterterrasse	21	1,3	189	0,65	1,3	1,75	20	0,2	16	4	2	27,5
Stadterrasse	22	1,77	125,5	0,8	2,5	2,1	19	0,2	14,75	4,15	2,1	50,75
Arsenalterrasse												
Liesingbachschotter	30,5	1,07	129		2		23		36,5	1,5		6
Sarmat	1290											
Kalkalpen			116									19

5.2. Neue Beprobung und Analytik

Wie bereits bei den Bodendaten existieren auch für Grundwässer in der Flyschzone am westlichen Stadtrand nur wenige hydrochemische Analysen. Um das Grundwasser hier charakterisieren zu können, wurden in Absprache mit der Magistratsabteilung Wiener Gewässer (MA45) 12 Quellaustritte im Wienerwald ausgewählt und von Oktober 2009 bis September 2010 monatlich beprobt. Die Lage der Quellen (gefasste Quellen und ungefasste Grundwasseraustritte) ist in Abbildung 5.1. dargestellt, eine Lagebeschreibung liefert Tabelle 5.3. Bei der Beprobung wurden die Geländeparameter Quellschüttung, elektrische Leitfähigkeit, Wassertemperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt und Redox-Potential aufgenommen und die Wasserproben auf Hauptionen und Spurenelemente analysiert. Bestimmungsmethoden sind in Tab. 5.4., Bestimmungsgrenzen in Tab. 5.5. aufgelistet. Die Ergebnisse der Geländemessungen und der hydrochemischen Analytik sind in Beilage 3 dokumentiert.

Tab. 5.3.: Lagebeschreibung der monatlich beprobten Quellaustritte

NR	Bezirk	Hochwert	Rechtswert	GOK	Name	Nutzung	Bewuchs	Gefährdung	Quellentyp	Geologie im Einzugsgebiet
H040/17/9	Wien 17: Hernals	345890	-4420	354	Höhenstraßenquelle	nein	Wald	keine	Überfallquelle	Sievering-Formation
H040/3	Wien 14: Penzing	345961,4	-9784,46	349		nein	Wald	keine	Schichtquelle	Gablitz-Formation
H041/1	Wien 19: Döbling	349056,6	333,13	375		nein	Wald	Verkehr	Hangschuttquelle	Kahlenberg-Formation
H058/13/2	Wien 13: Hietzing	337285,1	-9735,93	414	Hirschgstemquelle	nein	Wald	keine	Nassgalle	Laab-Formation
H058/13/5	Wien 13: Hietzing	339200	-8700	300	Kaiserzipfquelle	nein	Wald	keine	Nassgalle	Laab-Formation
H058/13/7	Wien 13: Hietzing	339781	-5826,34	224	Nikolaiquelle	nein	Wald	keine	Schichtquelle	Hütteldorf-Formation
H058/14/1	Wien 14: Penzing	341416,2	-5525,57	278	Leykamquelle	nein	Wald	keine	Schichtquelle	Kahlenberg- und Hütteldorf-Formation
H058/14/13	Wien 14: Penzing	342330	-7870	278	Salzwiesenquelle	nein	Wald	keine	Überfallquelle	Buntmergelerde und Sievering-Formation
H058/14/15	Wien 14: Penzing	343895,5	-7659,75	389	Dianabründl	nein	Wald	keine	Schichtquelle	Kahlenberg- und Hütteldorf-Formation
H058/14/2	Wien 14: Penzing	342339,4	-5370,45	371	Quelle Kordon-siedlung	nein	Wald	Verkehr	Schichtquelle	Kahlenberg-Formation
H058/14/8	Wien 14: Penzing	341372,8	-5340,76	333	Lagerwiesenquelle	nein	Wiese	keine	Hangschuttquelle	Kahlenberg- und Hütteldorf-Formation
H058/23/1	Wien 23: Liesing	334818,6	-6085,93	320	Knotzenbachquelle	nein	Wald	keine	Schichtquelle	Sulz-Formation und Hütteldorf-Formation

Tab. 5.4.: Bestimmungsmethoden und Elemente der hydrochemischen Analysen

ICP-MS	Ionenchromatograph	Titration
Ca, Mg, Na, K, Sr, Ba, Li, Fe, Mn, H ₂ SiO ₃ , NH ₄ , Al, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn	Cl, F, SO ₄ , NO ₃ , NO ₂ , PO ₄	HCO ₃

Tab. 5.5.: Bestimmungsgrenzen der analysierten Elemente

Hauptelemente						
NO ₂	Mg	Ca, Na, NH ₄	F, K	Cl, SO ₄ , NO ₃	PO ₄	HCO ₃
0,005	0,001	0,01	0,05	0,5	1	25
mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Spurenelemente						
Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Li, Mn, Pb			As, Fe, Sr, Zn			
0,1			1			
µg/l			µg/l			

5.3. Diskussion der Ergebnisse

Die Grundwassersituation in der Flyschzone im westlichen Einzugsgebiet der Stadt Wien wurde von STINY (1938, 1941, 1944) und GÖTZINGER (1951) untersucht. KIKINGER (1997) gibt eine Zusammenstellung der alten Literatur. Abhängig von den Gesteinen und den sich darüber bildenden Böden ergeben sich hohe Infiltrationsraten in den Sandsteinen der Greifenstein-, der Sievering-, der Altlenzbach-Formation und in der Nordzone der Kahlenberger Schichten, während die Schiefer der Laab-Formation und deren Verwitterungsdecke die Grundwasserneubildung stark einschränken. Die geklüfteten Sandsteine weisen die höchste Grundwasserführung auf, Grundwasseraustritte kommen hier als Kluftquellen oder als Schicht- bzw. Überlaufquellen über stauenden Schieferzonen (z.B. Laab-Formation oder Grenze Oberkreide / Eozän) oder über lokalen Mergelzwischenlagen vor. Schüttungsschwankungen werden bei diesen Quellen generell als gering beschrieben. Demgegenüber treten in der Kahlenberg-, der Hütteldorf-, der Laab- und der Wolfpassing-Formation viele kleine Schuttquellen oder Nassgallen in Quellmulden auf, die ein intermittierende Wasserführung aufweisen. STINY (1938) diskutiert neben der Dynamik in der Quellschüttung auch den Jahresgang der Temperatur, die bei den meisten Quellen um bis zu 10°C schwankt, und charakterisiert die Flyschquellwässer allgemein als hart (20 – 30 °dH).

Die Ergebnisse der monatlichen Quellbeprobung bestätigen die älteren Beschreibungen. Die Hangschuttquellen und Nassgallen zeigen die kleinsten und am stärksten schwankenden Schüttungen auf, die Quellen in Sandsteinen der Kahlenberg-, Hütteldorf- und Sievering-Formation hingegen die höchsten und konstantesten Schüttungen. STINY (1938) nennt die Leykamquelle (H058/14/1) als die in Trockenperioden am stärksten wasserführende Quelle des Wienerwaldes (0,24 l/s). Einen deutlichen Schüttungsanstieg verzeichnen sämtliche Quellen in den Monaten Mai und Juni 2010. Wasserwirtschaftlich genutzt werden die Quellen schon lange nicht mehr, selbst die Wasserversorgung des Gasthauses Hirschgstamm im Lainzer Tiergarten geschieht seit Jahren nicht mehr über die Quelle H058/13/2 sondern über Pumpen aus Laab. Die Zeitreihen der Wassertemperatur zeigen teils ausgeprägte Jahresgänge (Schwankungen bis 10°C) mit Minima in den Monaten Jänner / Februar 2010 und Maxima im Juli / August 2010.

Die Mineralisation der Quellproben liegt im Allgemeinen hoch (elektrische Leitfähigkeit: 700 – 1300 µS/cm; Gesamthärte 18-31°dH), eine Ausnahme bildet die Knotzenbachquelle (H058/23/1: 570 µS/cm; 16,6 °dH), die als einzige Quelle mit ihrem Einzugsgebiet in die Klippenzone hineinreicht und an deren Speichervolumen Karstgesteine beteiligt sind. Häufigste Wassertypen sind Ca-HCO₃ und Ca-Mg-HCO₃. Zwei Quellen (H041/1 am Kahlenberg und H058/14/2 unterhalb der Kordonsiedlung) liegen unterhalb stark befahrener Verkehrsstraßen (Tab. 5.3.) und sind besonders reich an Natrium und Chlorid mit Wassertyp Ca-Cl-HCO₃.

Abbildung 5.3. trennt die monatlich beprobten Quellwässer nach ihrem Ca/Mg- und HCO_3/SO_4 -Verhältnis. Die Quelle H040/3 in Steinbach mit Einzugsgebiet in der Gablitz-Formation fällt mit dem höchsten Sulfatanteil, Quelle H041/1 mit dem geringsten Mg-Anteil auf. Die größten Schwankungen im Chemismus der Hauptionen zeigen die Quellen H041/1 und H058/23/1, die auch in der Quellschüttung stark variieren, wobei bei H041/1 die hohen Ca-, Na-, K- und Cl-Gehalte bei hoher Quellschüttung (z.B. im Mai kurz nach stärkeren Regenfällen) abfallen, bei H058/23/1 (Knotenbachquelle) jedoch die sonst geringen Ca-, Sr-, SO_4 - und H_2SiO_3 -Werte zum gleichen Zeitpunkt ansteigen. Das Wasser der seichten Hangschuttquelle am Kahlenberg erfährt also bei Regen eine Verdünnung, wohingegen die Knotenbachquelle ähnlich wie eine Karstquelle reagiert und über ein größeres Speichervolumen verfügt, aus dem bei Starkregen höher mineralisiertes Wasser herausgepresst wird. Die übrigen Quellen bleiben im Chemismus der Hauptionen von dem Niederschlagsereignis im Mai weitgehend unbeeinflusst.

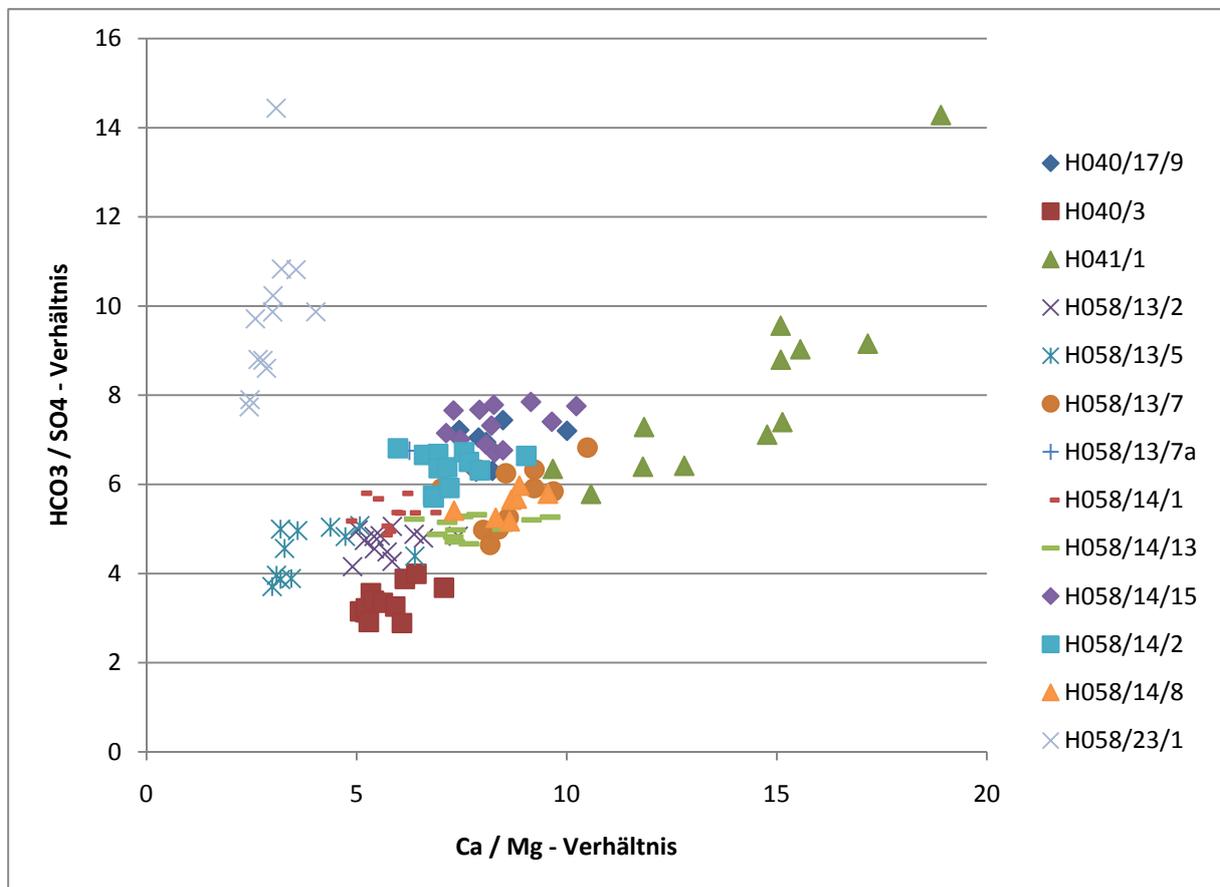


Abb. 5.3.: Hydrofazies-Diagramm der monatlich beprobten Quellaustritte

Spurenelementgehalte liegen bei sämtlichen monatlich beprobten Quellwässern niedrig, allein die Quellen der Laab- und Gablitz-Formation (H040/3 bei Steinbach; H058/13/2 und H058/13/5 im Lainzer Tiergarten) zeigen häufig Mn-Gehalte, welche die Trinkwasser-Grenzwerte (50 µg/l) überschreiten. Sporadisch erreichen auch die Fe-Werte bei diesen Quellen in Zeiten geringer Schüttung den Grenzwert (200 µg/l). In der Bodenanalytik (Kap. 4.3.) finden sich in Böden über der Laab-Formation ebenfalls höhere Fe-Gehalte im Vergleich zu den übrigen geologischen Einheiten, nicht jedoch höhere Mangan-Werte. Die Quelle H040/17/9 fällt in manchen Monaten mit erhöhten Gehalten an Al, As, Cr, Fe, Mn, Pb und Zn auf. Tabelle 5.6. listet die Medianwerte der Gehalte an Spurenelementen. Dabei sind Werte, die wegen Trockenfallen der Quelle oder Gehalten unterhalb der Bestimmungsgrenze aus < 5 Analysen abgeleitet sind, in grau dargestellt. In den Zeitreihen der monatlichen Analytik lassen sich keine systematischen Trends oder Schwankungen erkennen.

Tab. 5.6.: Medianwerte der Gehalte an Spurenelementen in Quellwässern der Flyschzone am westlichen Wiener Stadtrand (Werte in grau: <5 Analysenwerte vorhanden bzw. oberhalb der Bestimmungsgrenze)

	NO ₃	Al	As	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Pb	Zn
	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
H040/17/9	18,52	21,5	1,6	0,5	1,9	13	21	17,8	0,8	16,5
H040/3	1,86	9	0,725	0,2	4	59	29	77,5	0,45	13
H041/1	11,15	23,9	0,78	0,2	3,8	31	10,5	4,85	0,3	14
H058/13/2	25,93	7,45	0,45	0,35	3,8	20,5	20,5	13,25	0,75	24
H058/13/5	1,80	30	0,65	0,3	2,6	62	22	157,8	0,3	11
H058/13/7	18,26	4,55	0,28	0,2	3,8	6	10	0,7	0,5	12
H058/14/1	13,76	4,1	0,26	0,15	2,25	12	16	1,5	0,4	10,5
H058/14/13	6,60	12,7	0,22	0,2	4,5	18	18,5	1,7	0,4	17
H058/14/15	5,83	5,6	0,26	0,2	2,85	14	15	1	0,25	8
H058/14/2	22,57	5	0,62	0,3	4	11,5	14,5	1,3	0,55	12
H058/14/8	20,82	4,15	0,39	0,3	3,5	13	10	2,3	0,55	13
H058/23/1	3,66	6,6	0,28	0,2	5,7	7,5	12	0,7	0,3	16,5

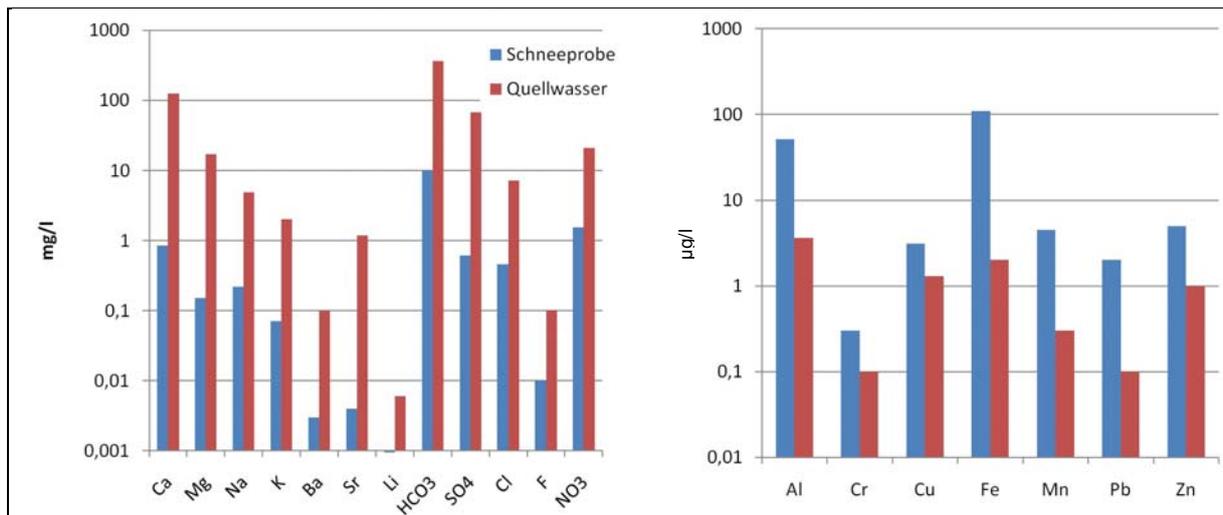


Abb. 5.4.: Vergleich der chemischen Inhaltsstoffe einer Schneeprobe (H058/14/8a) mit dem daraus abgeleiteten Quellwasser (H058/14/8)

Im Februar 2010 wurde oberhalb der Quelle H058/14/8 (Lagerwiesenquelle am Satzberg) eine Schneeprobe gezogen, um die chemische Signatur des bei Schneeschmelze infiltrierenden Wassers inklusive Staubdeposition durch Immissionen zu charakterisieren. Wegen des direkten Lagebezugs und dem Quelltyp der Lagerwiesenquelle, kann davon ausgegangen werden, dass die abschmelzende Schneedecke mit geringem Zeitverzug das Quellwasser speist.

Abbildung 5.4. zeigt die Analytik-Ergebnisse der Schneeprobe im Vergleich zur Quellwasserprobe im April 2010. Während bei den (geogenen) Hauptionen (linker Teil der Abb. 5.4.) die Schneeprobe durchwegs um 1-2 Zehnerpotenzen geringere Gehalte aufweist, ist die Situation bei den Schwermetallen (rechter Teil der Abb. 5.4.) umgekehrt. Hier weist die Schneeprobe um den Faktor 2-50 höhere Werte auf, wobei manche Staubpartikel im Aufschluss gar nicht gelöst werden konnten. Da die Schwermetallgehalte des Quellwassers von H058/14/8 über das Jahr zeitlich konstant bleiben, kann hier der Schluss gezogen werden, dass die Hauptionengehalte des Grundwassers durch Lösung des Gesteins bedingt sind, während die durch Staubdeposition eingetragenen Stoffe großteils im Boden zurückgehalten werden. Wie groß der Anteil an geogen bedingten Schwermetallgehalten im Quellwasser ist, lässt sich durch den Vergleich in Abb. 5.4. jedoch nicht festlegen. Der Eintrag durch Immission wird jedenfalls deutlich und zeigt sich auch bei den in Kapitel 7.3.-7.4. diskutierten Ergebnissen und im Vergleich mit der in Kapitel 4.1. beschriebenen bodengeochemischen Analytik.

6. Gesteinschemie

6.1. Bisherige Daten

Vor zehn Jahren erfolgte eine Bestandsaufnahme der Belastung oberflächennaher Sedimente in Wien (WRUSS, 2000). Beprobte und auf Schwermetalle analysiert wurden dabei 21 Lokationen von Straßenbaustellen in einer Tiefe von 1,2 – 2,0 m. Als Ergebnis werden Mittel- und Medianwerte der Schwermetallgehalte von As, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn angegeben. Im Vergleich mit Schwermetallgehalten in Oberböden (Bodenzustandsbericht 1995) liegen die Gehalte an Cr, Pb und Zn in den tieferen Schichten um den Faktor 2 – 5 niedriger, ansonsten stimmen die Ergebnisse von Sedimenten und Böden sehr gut überein. Es wurde keine Zuordnung zu geologischen Einheiten vorgenommen, sodass keine Schicht-spezifischen Aussagen möglich sind.

Seitens der Magistratsabteilung Grundbau (MA29) werden bei größeren Bauvorhaben seit einigen Jahren geochemische Analysen von Bodenaushubmassen und Bohrkernen veranlasst. Die Daten liegen bei der MA29 auf, sind jedoch Eigentum der Bauherrn und bisher nicht zur geo-wissenschaftlichen Auswertung vorgesehen gewesen. Für das gegenständliche Projekt wurden die Daten digitalisiert und geo-referenziert. Danach erfolgte eine Zuordnung der Proben zu geologischen Einheiten, eine geostatistische Auswertung und die Ableitung statistischer Kennwerte (Grundgehalte, Medianwerte etc.). Eine standortsbezogene Beurteilung der Daten wurde nicht vorgenommen.

Die Daten stammen von Bauprojekten im Bereich Praterstern, Favoritenstraße, Südbahnhof, Albern, Aspern, Hirschstetten, Himbergerstraße und Donaustadt, und umfassen 321 Analysen von 393 Standorten. Sie betreffen die geologischen Einheiten Jungtertiär (schluffig und sandig), Laaerbergterrasse, Arsenalterrasse, Liesingbachschotter, Praterterrasse, Zone der rezenten Mäander, Ausand und holozäne Bach-/Talfüllung (Abb. 6.1.). Anhand von Bohrprofilen wurden die Proben diesen Einheiten zugeordnet, wobei Mischproben, die aus mehreren Einheiten stammen, Proben aus anthropogenen Anschüttungen oder mit Fremdmaterial, und Proben, die anhand der Unterlagen keinem Borprofil zuzuordnen waren, nicht berücksichtigt wurden. Tabelle 6.1. stellt von der Analytik der Gesamtgehalte die regionalen Grundgehalte pro geologischer Einheit zusammen. Gehalte, die aus weniger als 10 Proben abgeleitet wurden, sind grau dargestellt.

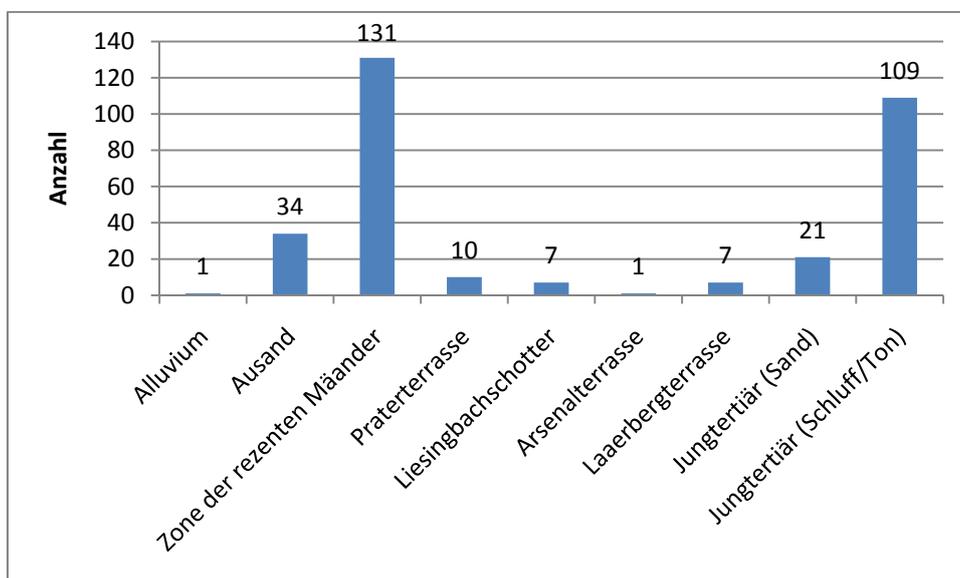


Abb. 6.1.: Häufigkeitsverteilung der Sediment-geochemischen Analysen

Tab. 6.1.: Regionale Grundgehalte der Schwermetallgehalte von Sedimentproben (Werte in grau: <10 Analysen)

Geologische Einheit	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Hg (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Ausand	11		11	37	31	0,13	41	21	56
Zone der rezenten Mäander	9	0,6		27	46	0,19	62	39	146
Praterterrasse	11		10	19	23		26	11	31
Jungtertiär (Sand)	18	0,5	11	61	40	0,22	50	24	119
Jungtertiär (Schluff / Ton)	25	0,7	15	47	29	0,4	61	22	94

Die abgeleiteten regionalen Grundgehalte sind in Tab. 6.1., wie auch in den Kapiteln 3.3. und 4.3. als Maximalwerte der Wertebereiche ohne Ausreißer und Extremwerte definiert, wobei schon bei der Auswahl der Datensätze nur Proben ohne Fremdmaterial oder Kontamination berücksichtigt wurden. Im Vergleich mit den Grundgehalten in Stadtböden (Tab. 4.1., 4.2.) liegen die As-, Cd-, Co-, Cr-, Cu- und Ni-Gehalte in den Sedimentproben auf dem gleichen Niveau, in den jungtertiären Schichten finden sich jedoch höhere Werte als in den Böden. Für Hg, Pb und Zn zeigen sämtliche geologische Schichten geringere Gehalte als die Böden (Ausnahme Zn in den Kiesen der rezenten Mäanderzone). Dies legt den Schluss nahe, dass Stadtböden diese Elemente nicht aus dem darunter liegenden geologischen Material beziehen, wie bereits in Kap. 4.1. diskutiert.

6.2. Neue Analytik

Im Umfeld der Grundwasser-Beprobungspunkte wurden die Elementspektren von Böden und Gesteinen gemessen, um die Stoffflüsse (Stoffaustausch zwischen Boden, Gestein und Wasser) in den Einzugsgebieten der Quellen zu charakterisieren und die natürlichen Anteile der im Wasser gelösten Stoffe besser abschätzen zu können. Dafür kam ein mobiler Röntgenfluoreszenz-Analysator zum Einsatz, ein tragbares Gerät, welches auf den zu messenden Boden oder das Gestein / Sediment gehalten wird und binnen einer Minute das gesamte Spektrum der Elemente der Ordnungszahl > 11 (also alle Elemente schwerer als Na) im Material liefert. Die Bestimmungsgrenzen liegen dabei für die leichten Hauptelemente (Si, Al, Mg, Ca) im Prozentbereich, bei schwereren Elementen (Schwermetalle) im ppm-Bereich (Tab.6.2.).

Tab. 6.2.: Bestimmungsgrenzen des mobilen XRF-Gerätes für Schwermetalle

As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
5	16	118	38	21	7	45	9	10
ppm								

Durchschnittlich wurde pro Standort 2 Boden- und 1-2 Gesteinsmessungen vorgenommen. Obwohl die Gehalte an Cd, Co und Hg bei zahlreichen Messungen unterhalb der in Tab 6.2. angegebenen Bestimmungsgrenzen liegen, können für die übrigen Elemente die Werte im Boden und im Gestein mit denen im Grundwasser verglichen werden. Dabei wird deutlich, dass im Bereich der Quelle H040/17/9, die sporadisch erhöhte Gehalte an Al, As, Cr, Fe, Mn, Pb und Zn im Wasser aufweist, auch der Boden und die im Steinbruch oberhalb der Quelle anstehenden Mergelsteine die höchsten Gehalte an diesen Elementen zeigen. Dies deutet darauf hin, dass die hydrochemischen Inhaltsstoffe geogen bedingt sind.

Abbildung 6.2. vergleicht beispielhaft die Gehalte an Zn in Boden und Gestein im Umfeld der monatlich beprobten Grundwasseraustritte mit mittleren Zn-Gehalten im Grundwasser. Während die Quelle H040/17/9 im Norden des 17. Bezirks mit den höchsten Werten in allen drei Medien auffällt, zeigen andere Standorte einen (innerhalb des Datenpools) hohen Zn-Gehalt im Grundwasser, einen mittleren Wert im Boden und einen geringen Wert im Gestein. Es kann also nicht generell geschlossen werden, dass sich hohe Gehalte im Boden / Gestein auch im Grundwasser wiederfinden. Vielmehr muss die unterschiedliche Löslichkeit der Zn-hältigen Phasen im Boden / Gestein berücksichtigt werden. Zusätzlich müssten für eine quantitative Untersuchung der Stoffflüsse von Schwermetallen aus Festgesteinen in Richtung Boden und Grundwasser die gesteinschemischen Analysen in der Flyschzone verdichtet werden.

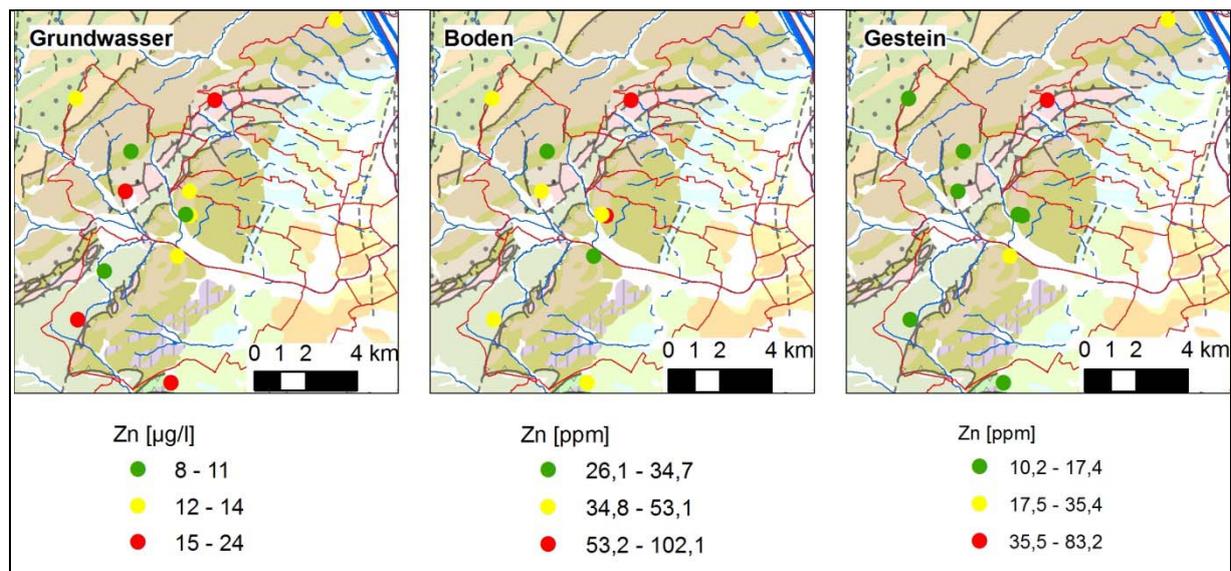


Abb. 6.2.: Vergleich von Zinkgehalten in Grundwasser, Boden und Gestein

7. Mineralogisch-mikrochemische Phasenanalytik

7.1. Bisherige Daten über Schwerminerale in Gesteinen im Einzugsbereich von Wien

Das geogene Spektrum der Schwerminerale, die in Gesteinen im Einzugsbereich von Wien vorkommen, wurde unter anderem von WOLETZ (1950, 1962, 1963), HÖSCH (1985), MÜLLER (1987), FAUPL (1975, 1996), FAUPL et al. (1970), FAUPL & WAGREICH (1992) und LEISER (1995) beschrieben. Abbildung 7.1. zeigt typische Schwermineralspektren der stratigraphischen Einheiten. Dabei fällt auf, dass die Hütteldorf-Formation der tieferen Oberkreide reich an Zirkon und Granat, die Formationen der späteren Oberkreide und des Paleozäns (Kahlenberg-Fm., Sievering-Fm., Altlenzbach-Fm.) reich an Granat, hingegen ärmer an Zirkon sind. Bei den jüngeren stratigraphischen Einheiten (Greifenstein-Fm, Laab-Fm.) sowie bei der Buntmergelserie, der Klippenzone und der Kalksburg-Formation tritt der Granat-Anteil in den Hintergrund, während Rutil und Zirkon dominieren. Auffallend ist der hohe Apatit-Anteil in der Kahlenberg-Formation, was eine Erklärung für die hohen Phosphatwerte der Bodenproben am Leopoldsberg bietet (Kap. 4.3.).

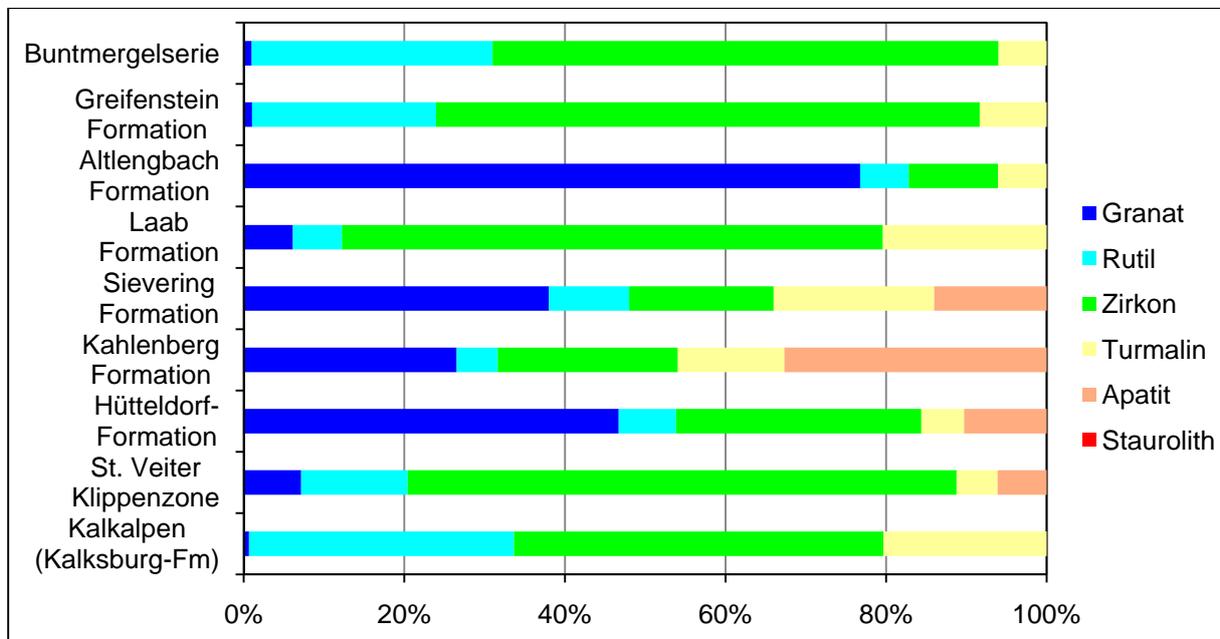


Abb. 7.1.: Typische Schwermineralspektren der Gesteine im Einzugsbereich von Wien nach WOLETZ (1950 und 1963), und FAUPL (1996)

Die regionale Darstellung derjenigen Schwermineralanalysen, die mit Lagebezug publiziert sind (WOLETZ, 1950; FAUPL et al., 1970; MÜLLER, 1987), ist in Abbildung 7.2. kompiliert. Die Höhe der Balken gibt dabei einen semi-quantitativen Hinweis auf die Menge der identifizierten Schwermineralkörner in Relation zu den opaken Körnern. Letztere wurden zwar gezählt aber nicht näher bestimmt.

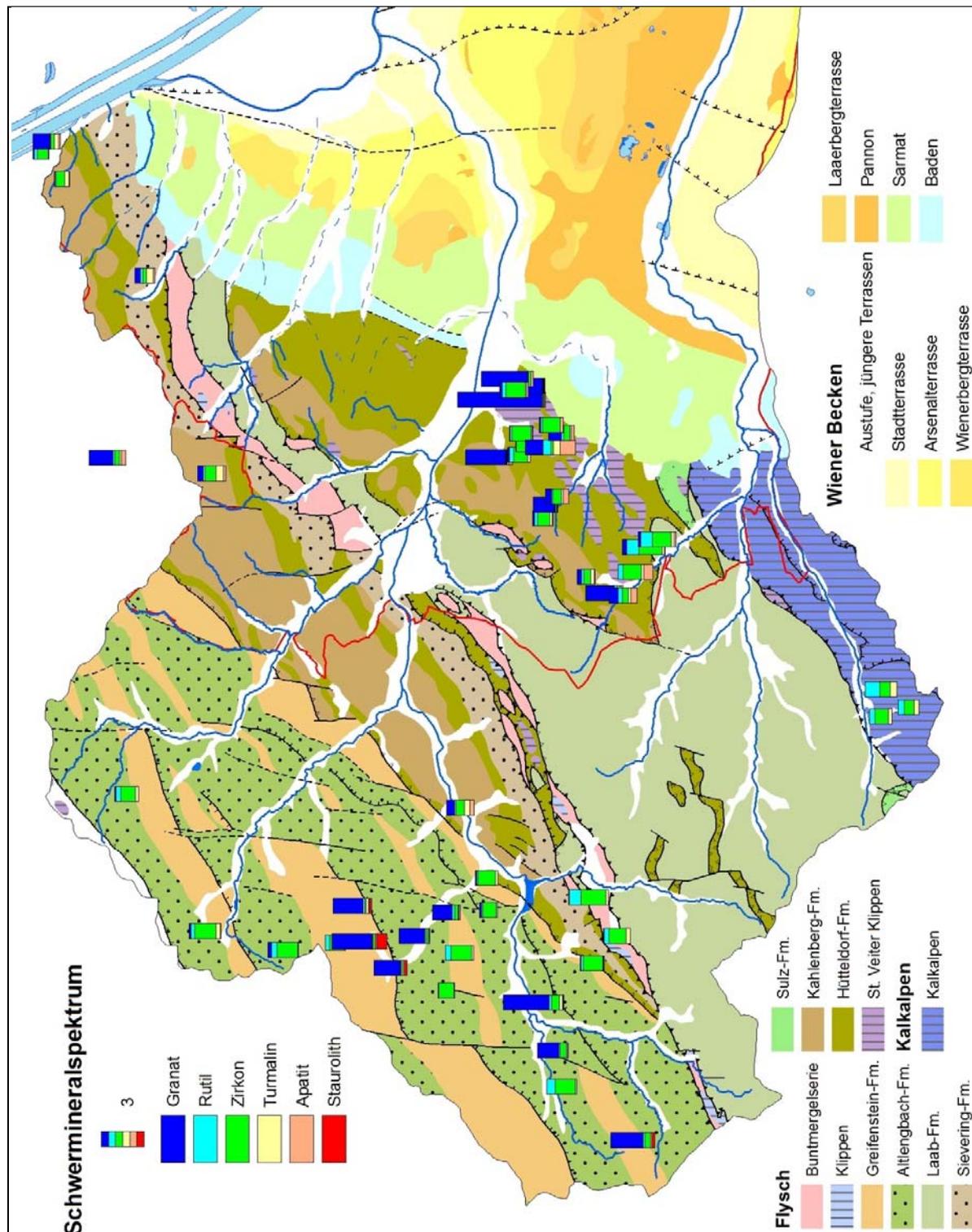


Abb. 7.2.: Schwermineralanalysen im Einzugsbereich von Wien nach WOLETZ (1950), FAUPL et al. (1970), und MÜLLER (1987)

Es gibt allgemeine Hinweise in der Literatur hinsichtlich der Schwermetallführung geogener Schwerminerale (NEINAVAIE & SCHEDL, 2008), jedoch können damit keine quantitativen Angaben für die Gesteine im Einzugsbereich von Wien abgeleitet werden. Zusätzlich stellen gerade die undurchsichtigen Körner Metall-reiche Phasen dar, die nur durch Methoden der Erzmikroskopie identifiziert und auf ihren Schwermetallgehalt untersucht werden können. Daher wurde eine neue Beprobung inklusive mineralogisch-mikrochemischer Phasenanalytik durchgeführt.

7.2. Methodik der Mineralphasen-Analytik

Zur Trennung geogener von technogenen Spuren- und Schwermetallverteilungen sowie zur Beurteilung des Einflusses technogener Emissionen wurde für Schwermineralphasen in Bachsedimenten sowie für technogene Stäube eine aus der Rohstoffforschung kommende Methodenkombination der Mikrochemie / Industriemineralogie eingesetzt (NEINAVAIE, PIRKL & TRIMBACHER, 2000; TRIMBACHER & NEINAVAIE, 2002). Aufbauend auf den Erfahrungen zahlreicher umweltgeochemischer Projekte entwickelte sich dazu ein Arbeitsschema für Mineralphasen-Analytik, das auch im Rahmen des gegenständlichen Projektes angewandt wurde (PIRKL & NEINAVAIE, 2002). Die methodische Vorgangsweise für diese Untersuchungen wird aus folgenden Arbeitsschritten aufgebaut:

Probenahme

- Die Ausgangsmenge für Bachsediment-Schwermineral-Proben beträgt 10 l (ca. 20 kg).
- Mittels eines Siebsatzes <1,4 mm und Anreicherung mit der Pfanne wird am Probepunkt vorkonzentriert

Aufbereitung und Präparation

- Trocknung aller Proben im Trockenschrank bei max. 60 °C, wenn notwendig
- organisches Material in Bodenproben wird im Labor auf <2 mm gesiebt und durch Behandlung mit 6%-igem H₂O₂ entfernt
- Siebung aller anorganischer Proben im Labor auf <0,7 mm
- Teilen/Vierteln aller Proben in Untersuchungs- und Rückstellproben
- Trennung aller Proben nach spezifischem Gewicht in Fraktionen $\sigma > 2,98 \text{ g/cm}^3$ und $\sigma < 2,98 \text{ g/cm}^3$ mittels Schwereflüssigkeit
- Trennung aller Proben in magnetische und nichtmagnetische Fraktionen
- Präparation aller Proben und Herstellung von Dünnschliffen, polierten Dünnschliffen und Anschliffen

Mineralogische Untersuchung

- visuelle Durchsicht aller Proben mittels Binokular
- lichtoptische und mikrochemische Untersuchungen (mit Auflicht- und Durchlichtmikroskop) → Identifizierung der Phasen
- Mikrosonden- und elektronenmikroskopische Untersuchungen einschl. Phasen-Analytik mittels EDAX → Zusammensetzung der Phasen und Spurenelementgehalte

Interpretation und Dokumentation

- Auflistung aller bestimmten (Mineral-)Phasen einschließlich Beschreibung der jeweiligen Spurenelementgehalte
- Herkunftsbestimmung aller Phasen als geogen oder technogen
- Ableitung der jeweiligen Quellen der Schwermetallgehalte
- Abschätzung der Verwitterbarkeit schwermetallführender Phasen (Schwermetall-austragsrisiko)

7.3. Schwermineralphasen in Bachsedimenten

Die Probenahme erfolgte im Juli 2009 an 15 der 26 Bachsediment-Probepunkte (Abb. 7.3.). Die Analytik und Auswertung hinsichtlich Identifizierung geogener und technogener Phasen inklusive ihrer Herkunft ist in Beilage 4 dokumentiert. Beilage 4 enthält außerdem für jede Probe Mikroskopaufnahmen der typischen Phasen einschließlich Beschreibung sowie Elementverteilungsbilder mancher Partikel, um die Verwitterbarkeit schwermetallführender Phasen (Austragsrisiko) und den Fortschritt der Verwitterung abschätzen zu können. Zur Erklärung der spezifischen Fachbegriffe siehe Glossar in Kapitel 7.5.

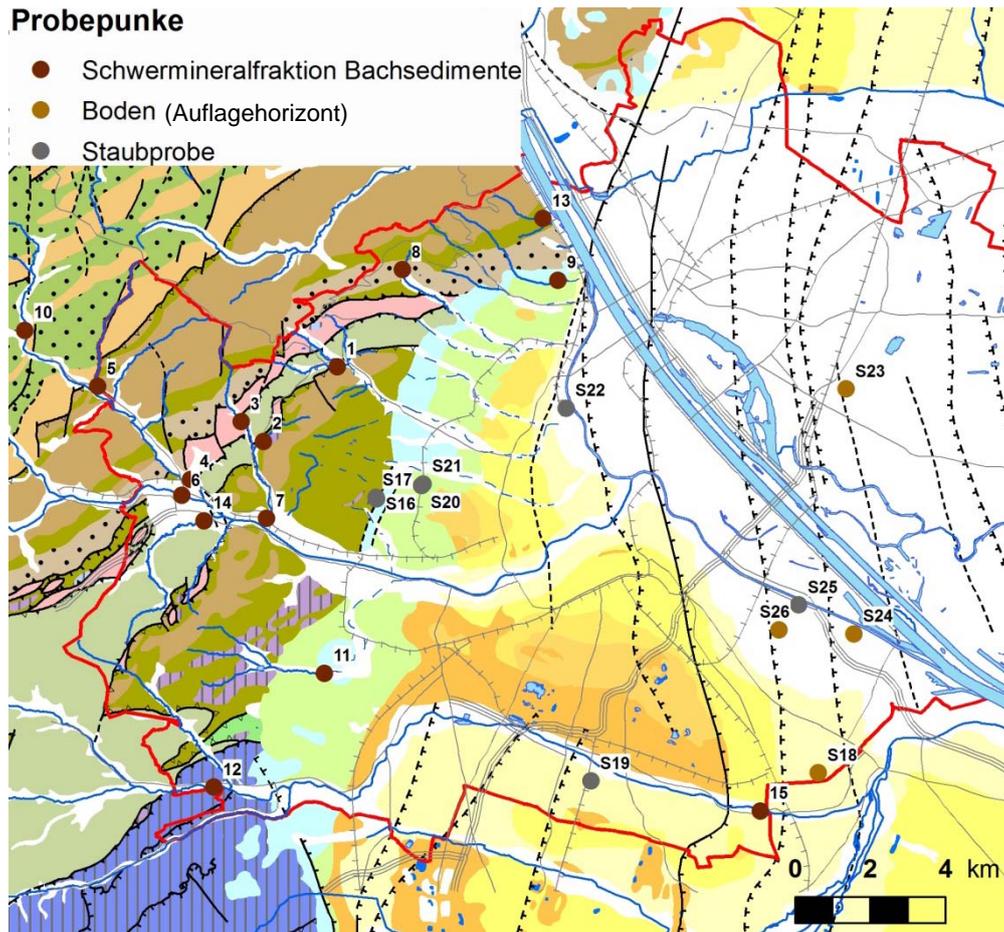


Abb. 7.3.: Lage der Probepunkte zur mineralogisch-mikrochemischen Phasenanalytik

Tabelle 7.1. listet die technogenen und anthropogenen Phasen und deren Häufigkeiten für jede Probe auf. Häufigkeiten sind hierbei semi-quantitativ und können nicht zur Ableitung absoluter Gehalte an Schwermetallen herangezogen werden. Anthropogene Phasen repräsentieren Streugut-Partikel, die aus basischen Gesteinsfragmenten wie Basalt, Diabas, Grüngesteine mit Epidotmineralen, Amphibolen, Pyroxenen, Feldspäten, Titanmineralen, Magnetit und Hämatit bestehen, seltener auch aus Dolomit oder Blähton. Diese Partikel sind geogenen Ursprungs, lassen sich aber nicht aus der lokalen Geologie ableiten. Die Verwendung von Schlacke, Asche, Quarzsplitt, Quarzsand und Betonrecyclingsplitt als Streusplitt ist in Wien seit Mai 2005 verboten. Jedoch stellen Bachsedimente nicht nur die heutige Situation dar, sondern enthalten je nach Verwitterungsbeständigkeit auch Partikel, die sich in historischen Zeiträumen angesammelt haben.

Tab. 7.1.: Auftreten von technogenen und anthropogenen (Streugut) Mineralphasen in der Schwermineralfraktion der Bachsedimentproben

Probe	viel / sehr viel	häufig	wenig
1	Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Zundermaterial, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Pyrrhotin	Streugut, Koks, Kohle, Gusseisen	Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, aschiges Material
2	Streugut, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, Zundermaterial, Koks, Kohle, Gusseisen, Pyrrhotin	aschiges Material, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen)	Bremsbackenabrieb, Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen
3	Streugut, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Zundermaterial, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Pyrrhotin	Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, Koks, Kohle	Buntmetallschlacken, Reifen-/Fahrbahnabrieb, aschiges Material
4	Streugut, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Pyrrhotin	Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, Zundermaterial, Gusseisen	Koks, Kohle
5	Streugut, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Zundermaterial, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Pyrrhotin	Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, Koks, Kohle, Gusseisen	aschiges Material
6	Buntmetallschlacken, Streugut, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Gusseisen, Pyrrhotin	Partikel aus der Zementindustrie, aschiges Material, Zundermaterial, Koks, Kohle	Stahlwerkschlacken
7	Streugut, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen)	Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Gusseisen, Pyrrhotin	Zundermaterial, Koks, Kohle
8	Buntmetallschlacken, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen)	Streugut, Zundermaterial, Pyrrhotin	
9	Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen)	Stahlwerkschlacken, Streugut, aschiges Material, Zundermaterial, Koks, Kohle, Pyrrhotin	Partikel aus der Zementindustrie, Buntmetallschlacken
10	Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, Zundermaterial, globulare Partikel (überwiegend von Kaltabrieb)	Pyrrhotin	Buntmetallschlacken, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Gusseisen
11	Streugut, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Zundermaterial, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Gusseisen, Pyrrhotin	Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle	Stahlwerkschlacken, Buntmetallschlacken, Koks, Kohle
12	Streugut, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Pyrrhotin	Partikel aus der Zementindustrie, Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, Zundermaterial, Gusseisen	Stahlwerkschlacken, Buntmetallschlacken, Koks, Kohle
13	Streugut, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen)	Partikel aus der Zementindustrie, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, aschiges Material, Zundermaterial, Koks, Kohle, Pyrrhotin	Stahlwerkschlacken, Gusseisen
14	globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen)	Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Zundermaterial, Pyrrhotin	Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen
15	Streugut, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Zundermaterial, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Pyrrhotin		Buntmetallschlacken, Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, aschiges Material, Koks, Kohle, Gusseisen

Mit zwei Ausnahmen finden sich in sämtlichen Bachsedimentproben Schlackenpartikel und globulare Partikel aus Verbrennungsanlagen (Kraftwerken und Müllverbrennungsanlagen). Die Schlackenpartikel besitzen einen Durchmesser von 0,1 bis 0,5 mm. Die einzigen Proben ohne Schlackenreste befinden sich entweder außerhalb Wiens (Probe 10 in Mauerbach, NÖ) oder im Lainzer Tiergarten (Probe 14). Diese Verbreitung, die nicht an die Nähe von Kraftwerksschloten gebunden ist, legt den Schluss nahe, dass die Partikel entweder über Streugut vor Erlass der Wiener Streugutverordnung 2005 eingetragen wurden, oder bei Erosion / Ausbesserungen von Straßenasphalt in das System gelangt sind. Letztere Vermutung konnte durch drei Staubproben erhärtet werden, die im Bereich von Asphaltnachbesserungen gewonnen wurden und die gleiche Verteilung von Mineralphasen aufweisen wie die Bachsedimentproben.

Neben Streugut und Schlacken / Partikeln aus Müllverbrennungsanlagen treten vereinzelt Phasen aus Gießereischlacken (Buntmetalle, Legierungen, Gusseisen) mit einer Korngröße 0,3-0,6 mm und Kraftwerksschlacken (Pyrrhotin, Zundermaterial) mit einer Korngröße 0,1-0,5 mm in großer Häufigkeit auf. Auch die Vorkommen dieser Partikel können nicht an Standorten von Kraftwerken oder Gießereien festgemacht werden, sondern verteilen sich unregelmäßig über das gesamte Stadtgebiet.

7.4. Technogene Stäube

Der Eintrag von Schwermetallen durch Luft (Luftgütemessnetz der MA22) und Niederschlag (Messnetz Nasse Deposition der MA49) wird an mehreren Stationen innerhalb Wiens gemessen. Proben werden chemisch auf bestimmte Schwermetallgehalte untersucht, jedoch findet keine Phasen-spezifische Analytik statt. Dies bedeutet, dass chemische Gesamtgehalte zwar bekannt sind (OBERNOSTERER, REINER & SMUTNY, 2003; SPANGL, 2003; LEDER et al., 2003; HAGENDORFER & UHL, 2007), jedoch eine Identifikation, um welche Partikel es sich handelt und welche Quellen (Industrie-Emittenten) diese ausstoßen, nicht oder nur teilweise erfolgt. Um diese Wissenslücke zu schließen, wurden 11 Staub- bzw. Bodenproben von Auflagehorizonten im Wiener Stadtgebiet neu gewonnen (Abb. 7.3.). Im Gegensatz zu Bachsedimenten repräsentieren Stäube die aktuelle Situation, während Bodenproben von Auflagehorizonten die jüngere Vergangenheit widerspiegeln.

Als Vorbereitung zur Auswahl der Probenpunkte für technogene Stäube wurden 581 derzeit oder in jüngster Vergangenheit existierende Industrieschlote kompiliert, deren Höhe recherchiert, und der zugehörige Industriotyp hinsichtlich möglicher Schwermetall-Emissionen klassifiziert. Deren Lage ist in Abb. 7.4. dargestellt. Zusätzlich wurden 1732 ehemalige Gewerbebetriebe innerhalb Wiens als GIS-Datensatz aufbereitet. Diese Daten wurden einer Kompilation im "Atlas von Niederösterreich und Wien" entnommen (SCHEIDL & BENDA, 1958). Auch die Gewerbebetriebe wurden nach Industriotypen klassifiziert. Diese Datensätze machen kleinräumige Untersuchungen von einzelnen Anomalien und punktuelle Zuordnungen zu Emittenten möglich.

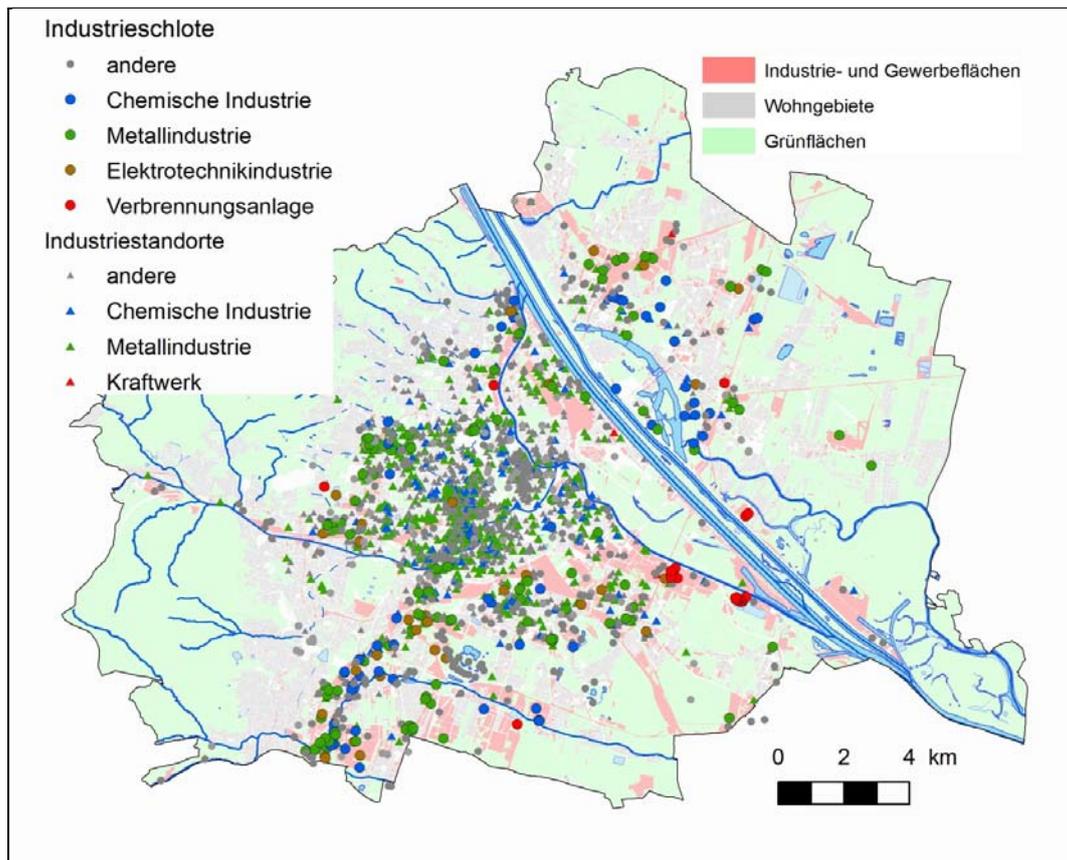


Abb. 7.4.: Lage von Industrieschlotten und –standorten im Stadtgebiet von Wien

Die Probenahme für technogene Stäube erfolgte im September 2009, ausgehend von der Kompilation der Industrieschornsteine und publizierter Windrichtungsangaben (AUER et al., 1989). Es wurden sowohl Pinselwischproben auf Gebäudevorsprüngen oder Fenstersimsen, als auch Bodenproben von Auflagehorizonten gesammelt. Die Aufbereitung erfolgt wie in Kap. 7.2. beschrieben. Die Analytik und Auswertung ist in Beilage 4 dokumentiert. Tabelle 7.2. beschreibt die Standorte der Staubproben, in Tabelle 7.3. sind die technogenen und anthropogenen Phasen und deren Häufigkeiten für jede Probe zusammengefasst.

Insgesamt wurden in den Staubproben häufig Partikel aus kalorischen Kraftwerken im Größenbereich 100-500µm, globulare Partikel Typus Kalttrieb (Metalle, Legierungen) im Größenbereich 10-20µm (selten bis 100µm) und Partikel Typus Brems- / Reifen- oder Fahrabrieb (Gusseisen, Weißmetalle) im Größenbereich 20-100µm, selten bis 300µm, in großer Häufigkeit identifiziert, während die Phasen aus Müllverbrennungsanlagen und Streugut mengenmäßig zurücktreten.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Mineralphasenanalytik der Bachsedimente lässt sich bei den Staubproben ein direkter Standortsbezug herstellen. So treten bei Probe S26 (Schrebergarten neben dem Heizwerk Simmering) sehr häufig globulare Partikel vom Typ Heizkraftwerk auf, bei den Proben S25 (Tankstelle), S20 (Bushaltestelle) und S21 sehr häufig Partikel vom Typ Bremsbackenabrieb oder Reifen- / Fahrabrieb auf. Die Proben S16 und S17 (MVA Flötzersteig), S22 (MVA Spittelau), S23 (Kraftwerk Kagran) und S24 (MVA Pfaffenau) enthalten verschiedene Schlackenpartikel. Die im Abwindbereich des Krematoriums Zentralfriedhof gewonnene Probe S18 enthält ebenfalls große Mengen an Schlackenpartikel, jedoch handelt es sich hier um Thomasmehl, das für die Landwirtschaft als Düngemittel aufgebracht wurde.

Die Ergebnisse der mineralogisch-mikrochemischen Phasenanalytik an Bachsediment- und Staubproben belegen, dass im Stadtgebiet Wien eine beachtliche Menge an technogenen Partikeln in das System Boden / Bachsediment / Grundwasser eingebracht wird. Dies liefert einerseits Erklärungen für die in Kapitel 3.3., 4.1., 4.3 und 5.3. diskutierte geochemischen Analyseergebnisse, zum anderen lassen sich Typ und Herkunft der Immissionen damit eindeutig zuordnen.

Tab. 7.2.: Standortbeschreibung der Staubproben

Probe-nr.	Rechtswert	Hochwert	Datum	Lokalität	Medium	Schwermineralkonzentrat < 0,7 mm und > 2,98 g/cm ³ in g	magnetische Fraktion in mg
0900S16	-2866,51	340952,49	22.09.2009	MVA Flötzersteig südlich von Straße	Wischprobe	0,45	435
0900S17	-2874,67	340986,51	22.09.2009	MVA Flötzersteig nördlich von Straße	Staubprobe - magnetische Fraktion	0,67	600
0900S18	8877,68	333597,03	22.09.2009	Zentralfriedhof	Boden/ Auflagehorizont	8,98	780
0900S19	2834,99	333372,22	22.09.2009	Heizwerk Rosiwalgasse	Wischprobe	0,53	75
0900S20	-1673,36	341309,18	23.09.2009	Gusswerk Zimmermann Rankgasse	Wischprobe	0,58	90
0900S21	-1629,78	341346,40	23.09.2009	Gusswerk Zimmermann Huttengasse	Wischprobe	1,17	250
0900S22	2173,41	343378,48	23.09.2009	MVA Spittelau	Wischprobe	4,49	290
0900S23	9623,53	343896,44	23.09.2009	Fernheizkraftwerk Kagan	Boden/ Auflagehorizont	1,19	420
0900S24	9824,47	337325,57	23.09.2009	MVA Pfaffenau Simmering	Boden/ Auflagehorizont	4,50	2700
0900S25	8358,29	338099,16	23.09.2009	Heizwerk Simmering neben OMV Tankstelle	Staubprobe - magnetische Fraktion	0,56	500
0900S26	7841,88	337430,34	23.09.2009	Heizwerk Simmering in Schrebergarten	Boden/ Auflagehorizont	3,72	1800

Tab. 7.3.: Auftreten von technogenen und anthropogenen (Streugut) Mineralphasen in Staubproben

Probe	viel / sehr viel	häufig	wenig
S16	Partikel aus der Zementindustrie, Bremsbackenabrieb, Reifen-/ Fahrbahnabrieb, Streugut, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Koks, Kohle, Gusseisen, Pyrrhotin	Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, aschiges Material, Zundermaterial	
S17	Bremsbackenabrieb, Reifen-/ Fahrbahnabrieb, Streugut, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Koks, Kohle	Partikel aus der Zementindustrie, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, Zundermaterial, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Gusseisen, Pyrrhotin	Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, aschiges Material
S18	Stahlwerkschlacken, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Zundermaterial, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Koks, Kohle, Pyrrhotin	Gusseisen	Partikel aus der Zementindustrie, Reifen-/ Fahrbahnabrieb, Streugut, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, aschiges Material
S19	Bremsbackenabrieb, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, globulare Partikel (überwiegend von Kaltabrieb), Koks, Kohle, Pyrrhotin	Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, Zundermaterial	Partikel aus der Zementindustrie, Reifen-/ Fahrbahnabrieb, Streugut
S20	Bremsbackenabrieb, Koks, Kohle	Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, globulare Partikel (überwiegend von Kaltabrieb)	Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Pyrrhotin
S21	Bremsbackenabrieb, globulare Partikel (überwiegend von Kaltabrieb)	Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, Koks, Kohle, Pyrrhotin	Zundermaterial, Gusseisen
S22	Schlacken aus Verbrennungsanlagen, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Koks, Kohle, Pyrrhotin	Partikel aus der Zementindustrie, Bremsbackenabrieb, Reifen-/ Fahrbahnabrieb, Streugut, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, Zundermaterial	Gusseisen
S23	Schlacken aus Verbrennungsanlagen, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Pyrrhotin	Zundermaterial, Koks, Kohle	Partikel aus der Zementindustrie, Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, aschiges Material, Gusseisen
S24	Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Zundermaterial, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Koks, Kohle	Bremsbackenabrieb, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, aschiges Material, Pyrrhotin	Stahlwerkschlacken, Partikel aus der Zementindustrie, Reifen-/ Fahrbahnabrieb, Streugut, Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Gusseisen
S25	Partikel aus der Zementindustrie, Bremsbackenabrieb, Reifen-/ Fahrbahnabrieb, Streugut, Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, Zundermaterial, globulare Partikel (überwiegend von Kaltabrieb), Pyrrhotin	Stahlwerkschlacken, Koks, Kohle, Gusseisen	aschiges Material
S26	Schlacken aus Verbrennungsanlagen, Zundermaterial, globulare Partikel (überwiegend von Industrieöfen), Pyrrhotin	Stahlwerkschlacken, Partikel aus der Zementindustrie, Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen, Buntmetalle, Legierungen, Weißmetalle, Koks, Kohle	aschiges Material, Gusseisen

7.5. Glossar

(nach TRIMBACHER & NEINAVAIE, 2002 und NEINAVAIE, PIRKL & TRIMBACHER, 2000, ergänzt)

- anthropogene Partikel:* primär geogene Partikel, die durch menschliche Transportprozesse in ein fremdes Umfeld transportiert wurden
- Bremsabrieb:* meist Span-förmige Produkte aus Abrieb von Bremsbelägen und –scheiben, meist aus Gusseisen mit metallischem Eisen und Kupfer, Messing, Blei, Sulfide, Lamellengraphit und alumosilikatischen Glasphasen
- Buntmetalle:* umfasst Kupfer, Zink, Quecksilber, Zinn, Blei und Cadmium
- dendritisch:* bäumchenförmig
- EDX:* energiedispersive Röntgenmikroanalyse, Methode zur qualitativen und semi-quantitativen Bestimmung der Gehalte und Verteilung von Elementen in Proben. Dabei wird die für die Probe charakteristische Röntgenstrahlung hinsichtlich ihrer Energie ausgewertet, häufig mit REM und TEM gekoppelt
- Entglasungsprodukte:* Auskristallisationen von Glasphasen
- Fahrbahnabrieb:* spindelförmige Partikel aus Ruß, Gummi, Teer, Zinkoxid und anderen oxidischen u. silikatischen Phasen, oft verkittet mit Reifenabrieb, meist Schwefel- und chlorhältig
- Feinstaub:* Definition entnommen aus dem IG-L, BGBl. I Nr. 115/97 idF BGBl. I Nr. 62/2001 (5a): „PM10 im Sinne dieses Bundesgesetzes bezeichnet die Partikel, die einen gröbenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50% aufweist.“
- feuerfeste Baustoffe:* Gemenge aus temperaturbeständigen, nichtmetallischen Stoffen wie z.B. Sinter- und Schmelzkorund oder Schamotte
- Flugstaub aus Industrieöfen:* feinkörniger (< 10 µm), überwiegend aus kugelförmigen Partikeln bestehender Staub, meist Magnetit und Hämatit
- Framboide:* (=Himbeer-förmig) ± kugelförmige Aggregate von diskreten, idiomorphen Mikrokristallen, bes. Pyrit (durch bakterielle Tätigkeit in reduzierendem Milieu entstanden)
- geogene Partikel:* natürliche, feste Teilchen, die aus dem geologischen Untergrund oder aus Böden stammen
- globular:* kugelförmig
- Gusseisen:* Eisenkohlenstofflegierung mit hohem Kohlenstoffgehalt (> 2 %) und Beimengungen von Si, Mn, P und S, hergestellt in Gießereien; Kohlenstoff tritt als Lamellengraphit sowie Kugelgraphit auf
- idiomorph:* eigengestaltig

- Kaltabrieb:* globulare Partikel, die durch Abrieb (Flugfunken) beim Schleifen (Flexarbeiten, Schleifsteine) entstehen, meist Magnetit, Wüstit oder metallisches Eisen
- Koks:* poröser, stark kohlenstoffhaltiger Brennstoff, der unter Luftausschluss durch Verschmelzen von Kohlenstoff und Asche hergestellt wird, tritt meist zusammen mit aschigem Material, Zundermaterial, Kohle (und Schlacken) sowie als Flugkoks auf
- prismatisch:* Prismen-förmig; durch ebene, parallele Flächen begrenzt
- Pyrrhotin:* Magnetkies, FeS, technogen meist in Schlacken aus Verbrennungsanlagen und in Zundermaterial, auch geogenes Vorkommen
- REM:* Rasterelektronenmikroskop, klassisches Verfahren zur Abbildung der Topographie von Festkörpern mit hoher Schärfentiefe und Ortsauflösung
- RO-Phase:* technogene Mischoxide von zweiwertigen Metallen
- RO-R₂O₃-Phase:* technogene Mischoxide von zwei- und dreiwertigen Metallen
- Schlacke aus Eisenverhüttung:* bei der Produktion von Roheisen und Stahl entstehende nichtmetallische Schlacke. Je nach Herstellungsprozess werden Hochofenschlacke und Stahlwerksschlacke (Konverter- oder Linz-Donawitz-Schlacke) unterschieden. Zur mineralogischen und chemischen Charakterisierung von Eisenhüttenschlacken siehe http://www.titro.de/phstarti/larmbew/fehs_1_4.htm
- Hochofenschlacke:* dominiert von Melilith, Olivinmischkristallen, Magnetit, Wüstit, selten Kalksilikate, keine freien Oxide (CaO, MgO); Zuschlagstoff zu Zement, Asphaltfüller, Straßenbau; bei langsamer Abkühlung entsteht Hochofenrückschlacke, bei schneller Abkühlung Hüttensand
- Stahlwerk- oder Konverterschlacke:* bei der Erzeugung von Stahl im Linz-Donawitz-Verfahren entstehende Schlacke; dominiert von Kalksilikaten, Apatit, Calciumferrit, Brownmillerit, Ferrit und freiem Kalk (CaO)
- Schlacken aus Gießereien:* Buntmetallschlacken, bestehen aus zonar ausgebildeten Spinellen und tropfenförmigen Legierungen, enthalten metall. Cu, Ni, Pb, Sn, Zn, in glasiger Matrix
- Schlacken aus Verbrennungsanlagen:*
- Schlacken aus Kraftwerken:* Pyrrhotin- und Koks-hältige Schlacken mit viel aschigem und Zunder-Material, Hämatit, Magnetit, Calciumferrit, Spinell, Pyrrhotin und Glasphase, Komponenten meist globular, keine Schwermetalle
- Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen:* enthalten als typische Phasen nadelige Anorthitkristalle und Melilith(Misch-)Kristalle, auch Spinell, Magnetit, Hämatit, Glas, reich an Schwefel und Schwermetallen
- Schlacken aus Zementindustrie:* siehe Zementklinker
- Schwereflüssigkeiten:* Flüssigkeiten zur Trennung von Mineralien mit verschiedener Dichte

<i>Schwermetalle:</i>	Metalle mit einer Dichte über $4,5 \text{ g/cm}^3$, z.B. Bunt-, Eisen- und Edelmetalle
<i>Schwermineral:</i>	Mineral mit einer Dichte von mehr als $2,9 \text{ g/cm}^3$
<i>Sintern:</i>	Das Zusammenbacken von pulverförmigen bis körnigen Stoffen durch oberflächliches Aufschmelzen des Gutes (z.B. Erz + Koks + Kalkzuschläge). Durch Sintern werden Karbonate und Sulfate zersetzt, leichtflüchtige Oxide, Sulfide und Chloride verdampft und im Sinterflugstaub angereichert.
<i>Spinell:</i>	Hochtemperaturprodukt aus zwei- und dreiwertigen Metalloxiden (z.B.: Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3), allg. Formel: $\text{RO-R}_2\text{O}_3$
<i>Staubdeposition:</i>	jene Staubmenge, welche sich in einem definierten Zeitraum passiv in einem Gefäß ansammelt, Bergerhoff-Verfahren
<i>Streugut:</i>	im Wiener Stadtgebiet insbesondere Splitt aus Dolomit, Basalt oder Blähton; basische Gesteinsfragmente mit Epidotmineralen, Amphibolen, Pyroxenen, Feldspäten, Titanmineralen, Magnetit und Hämatit; geogene Partikel, die sich aber nicht aus der lokalen Geologie ableiten. Die Verwendung von Schlacke, Asche, Quarzsplitt, Quarzsand und Betonrecyclingsplitt als Streusplitt ist in Wien seit Mai 2005 verboten.
<i>technogene Partikel:</i>	Partikel, die aus industriellen Prozessen stammen.
<i>Thomasdünger, -mehl:</i>	Bei Stahlerzeugung (Thomas-Verfahren) anfallende phosphorreiche Konverterschlacke; wird gemahlen und als Phosphordünger in der Landwirtschaft verwendet
<i>Zementklinker:</i>	gebrannter Bestandteil des Zements, besteht hauptsächlich aus Calciumsilikat, Calciumferrit, Calciumaluminat, Brownmillerit, untergeordnet freier Kalk
<i>zonar:</i>	konzentrisch, schalig aufgebaute Kristallstruktur, welche durch rhythmische Änderung der Ausscheidungsbedingungen bei der Kristallisation entsteht
<i>Zundermaterial:</i>	tafelig ausgebildet, aus Magnetit, Wüstit, untergeordnet Hämatit bestehend, primär durch Erhitzen (Heizkessel, Ofen), sekundär durch Hämmern oder Walzen

8. Vergleichende Zusammenschau und Synthese

In den Kapiteln 3., 4. und 6. wurden Schwermetall-Grundgehalte der Flyschgesteine (abgeleitet aus Bachsedimenten), der Sedimente des Wiener Beckens (abgeleitet aus chemischen Analysen an Großbaustellen), der Wiener Stadtböden (abgeleitet aus dem Bodenbericht 2003 und aus Untersuchungen auf Wiener Spielplätzen) und der Waldböden vorgestellt. In Tabelle 8.1. werden die Ergebnisse für Festgesteine (Flysch), Lockersedimente (Jungtertiär, Praterterrasse, Rezente Mäander) und Böden (in den Kalkalpen, in der Flyschzone, am Stadtrand und innerstädtisch) zum Vergleich dargestellt, die Tabellen 8.2.-8.4 listen verschiedene Richtwerte für Schwermetalle in Böden.

Tab. 8.1.: Zusammenfassende Darstellung der Schwermetall-Grundgehalte in Festgesteinen (Flysch), Lockersedimenten (Jungtertiär, Praterterrasse, Rezente Mäander) und Böden (in den Kalkalpen, in der Flyschzone, am Stadtrand und innerstädtisch)

	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Hg (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Rezente Mäander	9	0,6		27	46	0,19	62	39	146
Praterterrasse	11		10	19	23		26	11	31
Jungtertiär	18-25	0,5 - 0,7	11-15	47-61	29-40	0,22-0,4	50-61	22-24	94-119
Flysch	9,1	0,5	17	119	60	0,17	72	76	159
Böden über Flysch	9-16		9-19	77-125	18-50	0,09-0,15	23-72	23-43	76-121
Böden über Kalkalpen	12-22		19-22	111-125	46-61	0,11-0,19	70-85	34-36	103-118
Stadtboden Stadtrand	5-6	0,3	4	28	20-24		18	10-20	60-80
Stadtboden innerstädtisch	9-10	0,8	10	25-45	43-60	0,5	23-33	80-100	150-200

Tab. 8.2.: Referenzwerte für Oberböden nach SCHWARZ & FREUDENSCHUSS (2004)

		As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Grünlandstandorte über Quartär	ppm	27,7	0,7	15,6	48	40	0,26	40	52	132
Grünlandstandorte über Tertiär	ppm	16,2	0,3	16,2	50	30	0,27	34	31	104
Waldstandorte über Flyschgesteinen	ppm		0,5	15,8	26	35		31	47	83
Waldstandorte über Kalkalpen	ppm		3,4	20	39	21		37	151	178

Tab. 8.3.: Orientierungswerte für Stadtböden nach EIKMANN & KLOKE (2004)

		As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Multifunktionale Nutzung: ohne wesentliche anthropogen bedingte Einträge	ppm	20	1	30	50	50	0,5	40	100	150
Kinderspielplätze: „Beobachtungsbereich“ ohne unmittelbaren Handlungsbedarf	ppm	20	2	30	50	50	0,5	40	200	300
Kinderspielplätze: Schäden an Pflanze, Tier und Mensch erkennbar	ppm	50	10	150	250	250	10	200	1000	2000

Tab. 8.4.: Richtwerte für nicht kontaminierte Böden laut Holländischer Standards (New Dutch List, 2009)

		As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
ohne unmittelbaren Handlungsbedarf	ppm	29	0,8	20	100	36	0,3	35	85	140
Handlungsbedarf	ppm	55	12	240	380	190	10	210	530	720

Der Vergleich von Festgesteinen und Lockersedimenten in Tabelle 8.1. macht folgendes deutlich:

- Cu-, Ni-, Pb- und Zn-Gehalte sind in:
 - Flyschgesteinen > in rezenten Mäandern > im Jungtertiär > in der Praterterrasse
- Co- und Cr-Gehalte sind in:
 - Flyschgesteinen > im Jungtertiär > Praterterrasse / rezente Mäander
- As- und Hg-Gehalte sind im:
 - Jungtertiär > in den übrigen Einheiten
- Cd-Gehalte sind in allen Einheiten ähnlich.

Der Vergleich zwischen geologischen Einheiten und Böden identifiziert die Elemente Hg, Pb und Zn als anthropogene Problemstoffe in Stadtböden in Wien:

- As-, Cd-, Co-Gehalte sind in sämtlichen Böden und Festgesteinen/Sedimenten ähnlich.
- Cr-, Cu-, und Ni-Gehalte sind in:
 - Böden über Flysch/Kalkalpen ähnlich denen in Festgesteinen
 - Böden in der Stadt ähnlich denen in Lockersedimenten
- Pb- und Zn-Gehalte sind in:
 - Böden über Flysch/Kalkalpen niedriger als in den darunter liegenden Festgesteinen
 - Böden im innerstädtischen Bereich höher als in den darunter liegenden Lockersedimenten
- Hg-Gehalte sind in:
 - Böden im innerstädtischen Bereich oberhalb sämtlicher anderer Werte

In den Stadtböden, die durch Mischproben in 0 – 10 (35) cm Tiefe beprobt wurden, überschreiten die Schwermetallgehalte mit Ausnahme der Elemente As, Co und Ni zu einem großen Teil die verschiedenen Richtwerte nicht kontaminierter Böden (Tab. 8.2.-8.4.). Insbesondere die anthropogen bedingten Gehalte der Elemente Hg, Pb und Zn zeigen weitverbreitete Richtwertüberschreitungen. In der Flyschzone und in den Kalkalpen zeigen die Böden (Proben vornehmlich der B-Horizonte aus ca. 20 – 40 cm Tiefe) bei den geogen bedingten Gehalten der Elemente Co, Cr, Cu und Ni höhere Gehalte als die Richtwerte.

In Kapitel 5 wurden Medianwerte von Schwermetallgehalten im Grundwasser des Wiener Beckens und der Flyschzone vorgestellt. Tabelle 8.5 fasst die Ergebnisse für die geologischen Einheiten Zone der rezenten Mäander, Praterterrasse, Stadterrasse und Flysch zusammen.

Tab. 8.5.: Medianwerte der Schwermetallgehalte im Grundwasser des Wiener Beckens und der Flyschzone

Geologische Einheit	As [µg/l]	Cd [µg/l]	Cr [µg/l]	Cu [µg/l]	Fe [µg/l]	Hg [µg/l]	Mn [µg/l]	Ni [µg/l]	Pb [µg/l]	Zn [µg/l]
Rezente Mäander	1,3	0,8	1,8	2	20	0,2	20	3	1,7	14,25
Praterterrasse	1,3	0,65	1,3	1,75	20	0,2	16	4	2	27,5
Stadterrasse	1,77	0,8	2,5	2,1	19	0,2	14,75	4,15	2,1	50,75
Flysch	0,22-0,78		0,2-0,3	1,9-5,7	6-62		0,7-77,5		0,3-0,75	8,5-24

Für Grundwasser gelten Anforderungsparameter aus der Trinkwasserverordnung BGBl II 304/2001 bzw. Schwellenwerte aus der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser BGBl II 98/2010 (Tab. 8.6.).

Tab. 8.6.: Grundwasserschwellenwerte aus der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser und (Indikator-)Parameter aus der Trinkwasserverordnung

		As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Schwellenwerte	µg/l	9	4,5	45	1800		0,9		18	9	
Parameter	µg/l	10	5	50	2000	200		50	20	10	

Der Vergleich zwischen geologischen Einheiten in Tabelle 8.5. zeigt, dass die Grundwässer der Flyschzone mit Ausnahme des Elements Cu von allen Einheiten die niedrigsten Werte aufweisen. Je nach stratigraphischer Einheit zeigen sich innerhalb der Flyschzone allerdings große Unterschiede (siehe Tab. 5.6.). Innerhalb des Wiener Beckens zeigen die Wässer der Stadterrasse teilweise leicht höhere Werte (bei As, Cr, Ni, Pb und Zn) als die Grundwässer der anderen Einheiten.

Bezüglich der in Tabelle 8.6. angeführten Richtwerte liegen sämtliche Medianwerte weit unterhalb der Anforderungen, wobei dies nicht bedeutet, dass bei Spitzenwerten innerhalb der Zeitreihen nicht doch Überschreitungen vorkommen (siehe Kap. 5.3.).

Bei der mineralogisch-mikrochemischen Phasenanalytik von Stäuben und Bachsedimenten (Kap. 7) wurden verschiedene technogene Partikel nachgewiesen, deren Schwermetallinhalte durch Verwitterung oder Lösung auch in den Boden und das Grundwasser gelangen können. Während die Quantifizierung der löslichen Schwermetallfracht nur mit zusätzlichem Aufwand möglich ist, wird doch deutlich, dass ein nicht zu unterschätzender Anteil der im Boden und Bachsediment nachgewiesenen Gehalte im Stadtgebiet technologischen Ursprungs ist. Dies zeigt auch die Analytik der Schwermetalle in einer Schneeprobe (Abb. 5.4.), deren Gehalte sich nach der Schneeschmelze im Boden und teilweise auch im Grundwasser finden.

Ausblick auf weiterführende Untersuchungen

Auf Basis der für den vorliegenden Bericht zusammengestellten und erhobenen Daten werden folgende weiterführende Studien vorgeschlagen:

- Analyse der Stoffflussdynamik: (a) Quantitative Untersuchung der Stoffflüsse von Schwermetallen aus nasser und trockener Deposition in Richtung Boden und Grundwasser; hierzu sind tiefenabhängige Analysen der Bodenchemie und der Hydrochemie des Bodenwassers erforderlich. (b) Abschätzung des geogenen Beitrags der Festgesteine und Lockersedimente in Richtung Boden und Grundwasser; hierzu sind die gesteinschemischen Analysen besonders in der Flyschzone, den älteren Terrassen (Stadterrasse, Arsenalterrasse, Wienerbergterrasse, Laaerbergterrasse und deren Lössauflagen) und in den jungtertiären Einheiten (Sarmat, Baden) zu verdichten.
- Punktuelle Untersuchungen von Anomalien: Im Vergleich zu den hier erarbeiteten Grundwerten können lokale Anomalien im Boden und im Grundwasser identifiziert und deren Ursachen mithilfe der Datensätze von Industrieschlotten und Gewerbebetrieben (Abb. 7.4.) und unter Hinzuziehen von Daten anthropogener Anschüttungen untersucht werden.

9. Literatur

- ALBANESE, S., CICCHELLA, D., LIMA, A. & DEVIVO, B.: Urban geochemical mapping. in: DEVIVO, B., BELKIN, H.E. & LIMA, A.: Environmental Geochemistry – Site characterization, data analysis and case histories. – Elsevier, Amsterdam, 2008
- AUER, I., BÖHM, R. & MOHNL, H.: Klima von Wien.- Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung, Band 20, Wien, 1989
- AUGUSTIN-GYURITS, K. & HOLNSTEINER, R.: Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Niederösterreichs.- Bericht Bund-/ Bundesländer-Projekt G2444/1994, Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal, Wien, 1997
- AUGUSTIN-GYURITS, K.: Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Oberösterreichs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener oder anthropogener Schadstoffbelastung.- Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal, Wien, 1999
- CICCHELLA, D., DEVIVO, B. & LIMA, A.: Background and baseline concentration values of elements harmful to human health in the volcanic soils of the metropolitan and provincial areas of Napoli (Italy).- Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, vol. 5, 29-40, Geological Society of London, 2005
- EIKMANN, T. & KLOKE, A.: Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-)stoffe in Böden. Eikmann-Kloke-Werte. in: ROSENKRANZ, D.; EINSELE, G. & HARRESS, H.M. (Hg): Bodenschutz. Loseblattsammlung 3590, Schmidt, Berlin, 2004
- EPPESTEINER, W., VANHUSEN, D. & KRZEMIEN, R.: Beobachtungen an pleistozänen Driftblöcken des Marchfeldes.- Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 1973, 331-336, Wien, 1973.
- FAUPL, P., GRÜN, W., LAUER, G., MAURER, R., PAPP, A., SCHNABEL, W. & STURM, M.: Zur Typisierung der Sievinger Schichten im Flysch des Wienerwaldes.- Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, Band 113, 73-158, Wien, 1970
- FAUPL, P. & WAGREICH, M.: Cretaceous flysch and pelagic sequences of the Eastern Alps: correlations, heavy minerals and palaeogeographic implications.- Cretaceous Research, vol. 13, 387-403, 1992
- FAUPL, P.: Schwerminerale und Strömungsrichtungen aus den Kaumberger Schichten (Oberkreide) des Wienerwald-Flysches, Niederösterreich.- Neues Jahrbuch der Geologisch-Paläontologischen Mitteilungshefte, Heft 9, 528-540, Stuttgart, 1975
- FAUPL, P.: Tiefwassersedimente und tektonischer Bau der Flyschzone des Wienerwaldes.- Exkursionsführer Sediment '96, Wien, 1996.
- GÖTZINGER, G.: Zur Quellengeologie des Wienerwaldes (Flysch), Teil 1.- Akademie der Wissenschaften, Band 88.6, 150-158, Wien, 1951
- HAGENDORFER, H. & UHL, M.: Chromspeziation in Feinstaub (PM10).- Bericht Umweltbundesamt REP-0111, Wien 2007
- HILLER, D.A. & MEUSER, H.: Urbane Böden.- Springer, New York, 1998.
- HÖSCH, K.: Zur lithofaziellen Entwicklung der Greifensteiner Schichten in der Flyschzone des Wienerwaldes.- Dissertation Universität Wien, 1985
- JELEM, H. & MADER, K.: Forstliche Standortskarte Östlicher Wienerwald (Stand 1960-1966).- kompiliert aus: STARMÜHLNER, F. & EHRENDORFER, F. [Red.]: Naturgeschichte Wiens, Jugend & Volk, Wien - München 1972
- KIKINGER, R.: Die Quellen des Wienerwaldes – ein vergessener Schatz.- Wiener Naturschutz-Nachrichten, Band 31/71, 3-13, ÖNB, Wien, 1997
- KLEIN, P., PIRKL, H., NEINAVAIE, H., SCHEDL, A. & ATZENHOFER, B.: Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Vorarlbergs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen ("Umweltgeochemie Vorarlbergs").- Geologische Bundesanstalt, Wien, 2005

- KLEIN, P., PIRKL, H., FRÖSCHL, H., SCHEDL, A. & WIMMER, B.: Abschluss der umweltgeochemischen Untersuchung der Bach- und Fluss-Sedimente Burgenlands auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen (Sedimentfraktion <40µm und Gesamtdokumentation).- Geologische Bundesanstalt & ARC Seibersdorf, Wien, 2007
- KRALIK, M. & AUGUSTIN-GYURITS, K.: Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Niederösterreichs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener oder anthropogener Schadstoffbelastungen.- Bericht Bund-/ Bundesländer-Projekt NU-15/1991, Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal, Wien, 1994
- KREINER, P.: Wiener Bodenbericht 2003.- Beiträge zum Umweltschutz, Heft 70, Wien, 2004
- KÜPPER, H.: Geologie der österreichischen Bundesländer – Wien.- Geologische Bundesanstalt, Wien, 1968.
- LEDER, K., PUXBAUM, H., KREINER, P. & TARMANN, V.: Nasse Deposition im Land Wien Oktober 02 – September 03.- Bericht MA22, Wien, 2003
- LEISER, M.: Zur Geologie und Sedimentologie der Laaber Schichten-Gruppe im Wienerwald und im Untergrundes Wiener Beckens.- Diplomarbeit Universität Wien, 1995
- MÜLLER, A.M.: Zur Lithofazies und Stratigraphie der Kahlenberger Schichten der Flyschzone des Wienerwaldes.- Dissertation Universität Wien, 1987
- NEINAVAIE, H., PIRKL, H. & TRIMBACHER, C.: Herkunft und Charakteristik von Stäuben.- GeoÖko / Umweltbundesamt, BE-171, Wien, 2000
- NEINAVAIE, H. & SCHEDL, A.: Geochemische Tabellen.- Geochemie Workshop II, Geologische Bundesanstalt, Wien, 2008
- NEW DUTCH LIST: Soil and groundwater Intervention values and target values.- Soil Remediation Circular 2009, Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Holland, 2009
- NORRA, S.: Umweltgeochemische Signale urbaner Systeme am Beispiel von Böden, Pflanzen und Stäuben in Karlsruhe.- Karlsruher Mineralogische Hefte, Bd. 18, Karlsruhe, 2001
- OBERNOSTERER, R., REINER, I. & SMUTNY, R.: Urbanes Ressourcen Management: Fallstudie Wien.- Endbericht Projekt ÖKOPOLIS, Wien / Villach, 2003
- PFLEIDERER, S. & HOFMANN, T.: Digitaler angewandter Geo-Atlas der Stadt Wien / GEO-Modul.- Geologische Bundesanstalt, Wien, 2003
- PFLEIDERER, S., SCHEDL, A., PIRKL, H. & FRÖSCHL, H.: Current geochemistry studies in Vienna, Austria.- in: SAJN, R., ZIBRET, G. & ALIJAGIC, J.: Applied environmental geochemistry – Anthropogenic impact on the human environment in the SE Europe.- Conf. Proc., Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, 2009
- PILLER, W.E., EGGER, H., ERHART, C.W., GROSS, M., HARZHAUSER, M., HUBMANN, B., VAN HUSEN, D., KRENMAYR, H.G., KRYSSTYN, L., LEIN, R., LUKENEDER, A., MANDL, G.W., RÖGL, F., ROETZEL, R., RUPP, C., SCHNABEL, W., SCHÖNLAUB, H.P., SUMMESBERGER, H., WAGREICH, M. & WESSELY, G.: Die stratigraphische Tabelle von Österreich.- Öster.Akad.d.Wiss. und Öster.Strat.Komm., Wolkersdorf, 2004.
- PIRKL, H.: Beschreibung des Bodenzustandes im Krappfeld hinsichtlich Problemelementbelastung in Abhängigkeit des geogenen Angebotes bzw. der anthropogenen Beeinflussung sowie die Bewertung von Böden in der Funktion als Schutzschicht über dem Grundwasser.- GeoÖko, Eisenerz, 1993.

- PIRKL, H.: Grund- und Quellwasserschutz im Kalkalpenabschnitt zwischen Göstling (NÖ) und Ennsfluss (OÖ): Geochemische Daten als Stofffluss-Indikatoren. in PFLEIDERER, S., REITNER, H. & HEIRNICH, M.: Hydrogeologische Grundlagen und Detailcharakterisierungen sowie synoptische und integrative Auswertungen geologischer, tektonischer, geochemischer Aspekte der Wasserhöffigkeit und des Grundwasserschutzes in den Kalkvoralpen im SW Niederösterreichs.- Geologische Bundesanstalt, Wien, 2005
- PIRKL, H. & NEINAVAIE, H.: Mineralogisch-geochemische Methoden zur Bewertung der Umweltrelevanz von Schwermetallen in Staubdepositionen.- Geologische Bundesanstalt, Wien, 2002.
- PREY, S.: Der südöstlichste Teil der Flyschzone in Wien, ausgehend von der Bohrung Flötzersteig 1.- Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 1973, 67-94, Wien, 1973.
- PREY, S.: Helvetikum, Flysch und Klippenzone von Salzburg bis Wien.- in: OBERHAUSER, R.: Der geologische Aufbau Österreichs.- Springer, Wien, 1980.
- REIMANN, C., FILZMOSER, P., GARRETT, R.G. & DUTTER, R.: Statistical data analysis explained.- John Wileys & Sons, Sussex, 2008
- ROYDEN, L.H., BIDDLE, K.T. & CHRISTIE-BLICK, N.: The Vienna basin: A thin skinned pull apart basin. Strike slip deformation, basin formation and sediments.- Soc. Econ. Pal. Min. Special Publication **37**, 319-338, Tulsa, 1985.
- SCHEIDL, L. & BENDA, P.: Die Industrie- und Gewerbebetriebe in Wien 1956.- in: ARNBERGER, E.: Atlas von Niederösterreich (und Wien).- Kommission für Raumforschung und Wiederaufbau der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Freytag-Berndt, Wien, 1958
- SCHEDL, A., PIRKL, H., PFLEIDERER, S., LIPIARSKI, P., NEINAVAIE, H. & ATZENHOFER, A.: Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Kärntens auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Kärnten“).- Geologische Bundesanstalt, Wien, 2008
- SCHEDL, A., PIRKL, H., PFLEIDERER, S., LIPIARSKI, P., NEINAVAIE, H. & ATZENHOFER, A.: Umweltgeochemische Untersuchung der Bach- und Flusssedimente Steiermarks auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastungen („Umweltgeochemie Steiermark“).- Geologische Bundesanstalt, Wien, 2009
- SCHNABEL, W., FUCHS, G., MATURA, A., BRYDA, G., EGGER, J., KRENMAYER, H.G., MANDL, G.W., NOWOTNY, A., ROETZEL, R. & SCHARBERT, S.: Geologische Karte von Niederösterreich 1:200.000. – Geologische Bundesanstalt, 3 Blatt, Wien, 2002.
- SCHWARZ, S. & FREUDENSCHUSS, A.: Referenzwerte für Schwermetalle in Oberböden. Auswertungen aus dem österreichweiten Bodeninformationssystem Boris.- Umweltbundesamt, Monographie, Band M-170, Wien, 2004
- SPANGL, W.: Fachgrundlage für eine Staturerhebung zur PM10-Belastung in Wien.- Bericht Umweltbundesamt / MA22, Wien, 2003
- STINY, J.: Zur Kenntnis der Wässer des Flyschgürtels.- Geologie und Bauwesen 1938, 123-139, Wien, 1938
- STINY, J.: Geologisch-gewässerkundliche Betrachtungen über die Besiedlungsfähigkeit des Wienerwaldes.- Geologie und Bauwesen 1941, 60-64, Wien, 1941
- STINY, J.: Die Quellen des Flyschgürtels insbesondere jene des Wienerwaldes.- Archiv der Geologischen Bundesanstalt Wien, 1944
- TRIMBACHER, C. & NEINAVAIE, H.: Studie zur Ermittlung der Herkunft von Stäuben an sechs ausgewählten Messpunkten in Graz.- Geologische Bundesanstalt / Umweltbundesamt, BE-210, Wien, 2002

- THALMANN, F., SCHERMANN, O., SCHROLL, E. & HAUSBERGER, G.: Geochemischer Atlas der Republik Österreich 1:1,000.000 Böhmisches Mass und Zentralzone der Ostalpen (Bachsedimente < 0,18 mm). Geologische Bundesanstalt, Wien, 1989
- WESSELY, G.: Geologie der österreichischen Bundesländer – Niederösterreich.- Geologische Bundesanstalt, Wien, 2006.
- WIMMER, B., AUGUSTIN-GYURITS, K. & PIRKL, H.: Umweltgeochemische Untersuchungen der Bach- und Flusssedimente Salzburgs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastung.- ARC Seibersdorf Research, Wien, 2002
- WIMMER, B., AUGUSTIN-GYURITS, K. & PIRKL, H.: Umweltgeochemische Untersuchungen der Bach- und Flusssedimente Tirols auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener und anthropogener Schadstoffbelastung.- ARC Seibersdorf Research, Wien, 2002
- WOLETZ, G.: Schwermineralanalysen von klastischen Gesteinen aus dem Bereich des Wienerwaldes.- Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, Band 94, 167-194, Wien, 1950
- WOLETZ, G.: Zur schwermineralogischen Charakterisierung der Oberkreide- und Tertiärsedimente des Wienerwaldes.- Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 268-272, Wien, 1962
- WOLETZ, G.: Charakteristische Abfolgen der Schwermineralgehalte in Kreide- und Alttertiär-Schichten der nördlichen Ostalpen.- Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, Band 106, 89-119, Wien, 1963
- WRUSS, W.: Bestandsaufnahme der Bodenbelastung in Wien – PAK, KW, Schwermetalle.- Bericht MA22, Wien, 2000
- WRUSS, W.: Bodenuntersuchungen auf Wiener Kinderspielplätzen.- Bericht MA42, Wien, 2004