



Geologische Bundesanstalt

Projekt W-C-26/2008–2010

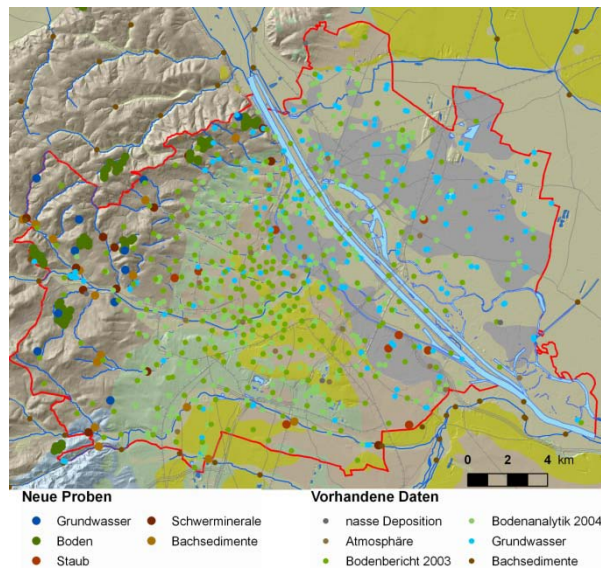
**Umweltgeochemische Untersuchung von Bachsedimenten, Gesteinen,
Böden und Grundwasser zur Charakterisierung
geogen bedingter Hintergrundwerte im Stadtgebiet Wien**

„Umweltgeochemie Stadtgebiet Wien“

Jahresendbericht (2008)

zusammengestellt von

S. PFLEIDERER, A. SCHEDL & H. PIRKL



iii + 21 S., 13 Abb., 1 Tab.

Wien, Dezember 2009

Projektleitung:

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	Umweltgeochemie
Dr. H. Neinavaie	Mineralphasenanalytik
L. Pöppel	Geochemische Analytik
Mag. J. Rabeder	Dateneingabe
and.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 - Grundbau), Dr. Gerhard Nagl (MA45 - Wasserbau), Dr. Michael Englisch & DI Rainer Reiter (Bundesamt für Wald), Dr. Monika Sieghardt (Univ. f. Bodenkultur), Dr. Heinz Fröschl (Austrian Research Centers), Dr. Edith Haslinger (Austrian Institute of Technology), DI Gerrit Janda, DI Andreas Schreckeneder, DI Alexander Mrkvicka & Ofö Leo Buder (MA49) 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	2
2. Geochemie der Bachsedimente	3
2.1. Vorhandene Daten	3
2.2. Neue Beprobung und Analytik	3
3. Bodengeochemie	8
3.1. Vorhandene Daten	8
3.2. Neue Beprobung und Analytik	11
4. Hydrochemie	14
4.1. Vorhandene Daten	14
4.2. Neue Beprobung und Analytik	15
5. Gesteinschemie	15
5.1. Vorhandene Daten	15
5.2. Geplante Analytik	15
6. Mineralogisch-mikrochemische Phasenanalytik	16
6.1. Schwermineralphasen in Bachsedimenten	16
6.2. Technogene Stäube	16
7. Ausblick auf das zweite Projektjahr	18
7.1. GIS-Dokumentation	18
7.2. Integrative Auswertung sämtlicher Daten	19
8. Literatur	20

Zusammenfassung

Wien ist das einzige Bundesland, welches im Rahmen der bundesweiten geochemischen Landesaufnahme mittels Bachsedimente noch nicht charakterisiert wurde. Doch auch in urbanen Räumen wie der Großstadt Wien stellen sich die Fragen, welche Grundgehalte in den Medien Boden, Grundwasser und Gestein / Sediment vorliegen, welche Elementkonzentrationen Grenzwerte überschreiten und wo lokale Anomalien vorliegen. Bisher werden in Wien die Medien Boden, Luft, Niederschlag und Grundwasser regelmäßig chemisch untersucht. Umweltchemisch nicht untersucht sind jedoch die geologischen Medien Locker- und Festgesteine sowie Bachsedimente. Ziel des gegenständlichen Projektes ist, diese Materialien zu untersuchen sowie die vorhandene Daten der anderen Medien zusammenzutragen und dort zu ergänzen, wo Lücken existieren.

Im Zeitraum Oktober 2008 bis November 2009 wurden dazu folgende Beprobungen durchgeführt, deren chemische Analytik derzeit erfolgt:

- jeweils 2 Bachsedimentproben (Fraktionen $<180\mu\text{m}$ und $<40\mu\text{m}$) an 26 ausgewählten Lokationen
- 239 horizontspezifische Bodenproben an 70 Standorten, Aufbereitung von 80 Proben für Analytik (Beprobung durchgeführt seitens des BfW)
- monatliche Beprobung von 11 natürlichen Quellaustritten, Kampagne gestartet im Oktober 2009, voraussichtliche Dauer bis Oktober 2010
- Beprobung der Schwermineralfraktion an 15 Bachsediment-Probepunkten
- Beprobung technogener Stäube an 9 Standorten

Gleichzeitig wurden vorhandene umweltchemische Datensätze bezüglich Bachsedimente (Beprobung Niederösterreich), Boden (Wiener Bodenbericht 2003, Wiener Spielplätze 2004), Grundwasser (Monitoring MA45, Archive der GBA), Luftgüte (MA22) und nasse Deposition (MA49) zusammengetragen, digitalisiert und für das GIS aufbereitet. Einer dieser Datensätze, das Bodenmonitoring der MA22, wurde geostatistisch ausgewertet, wobei sich folgende Aussagen ableiten lassen:

- Korrelation mit Landnutzung: Cd- und Pb-Gehalte sind im Grünland signifikant niedriger als in Siedlungsgebieten, Industrie- oder Verkehrsflächen. Die übrigen Elemente zeigen keine Abhängigkeit von der Landnutzung. Kleinräumliche Verteilungsmuster durch lokale Einträge überlagern Einträge aus diffuser Emission.
- Korrelation mit Geologie: besteht nicht, da Oberböden in urbanen Räumen selten in situ aus dem geologischen Untergrund gewachsen sind. Um einen Zusammenhang mit der Geologie nachzuweisen und geogene Hintergrundwerte abzuleiten, müssten tiefere Bodenhorizonte beprobt oder auf das Stadtumland ausgewichen werden.

Folgende Datensätze, die bei der Interpretation benötigt werden, wurden zusätzlich für das GIS aufbereitet:

- Lithologische Zusammensetzung der Einzugsgebiete der Bachsedimentproben
- Bodenkartierung der forstlichen Standortskarte Östlicher Wienerwald
- Standorte der ehemaligen Industrie- und Gewerbebetriebe in Wien
- Standorte der Industrieschornsteine in Wien

Es ist geplant, durch eine integrative Auswertung sämtlicher Daten einerseits die Istzustände der einzelnen Medien Boden, Sediment / Gestein und Grundwasser darzustellen, andererseits geogene Hintergrundwerte bzw. lokale Grundgehalte zu definieren, die Herkunft der verschiedenen Schwermetalle zu beleuchten und Stoffflüsse bzw. Austauschprozesse zu beschreiben.

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" (Thalman et al., 1989) veröffentlicht. Während einer zweiten Probekampagne (1991 - 2008) wurden die übrigen geologischen Einheiten in den Bundesländern Niederösterreich (Augustin-Gyurits & Holnsteiner, 1997), Oberösterreich (Augustin-Gyurits, 1999), Salzburg (Wimmer et al., 2002a), Tirol (Wimmer et al., 2002b), Vorarlberg (Klein et al., 2005), Burgenland (Klein et al., 2007), Kärnten (Schedl et al., 2008) und Steiermark (Schedl et al., 2009) beprobt und analysiert. Einziges Bundesland, dessen Bachsedimentbeprobung noch aussteht, ist Wien.

Während die erste Probekampagne (1978 - 1989) für die Erzprospektion durchgeführt wurde, rückten bei der Bundesländerbeprobung der zweiten Phase umweltgeochemische Gesichtspunkte in den Vordergrund. Anthropogen bedingte Einflüsse wurden zusammen mit dem geologisch bedingten Angebot an chemischen Elementen untersucht. Geogene Hintergrundwerte 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. Hier übersteigen anthropogene Einträge durch Luftverschmutzung, Feinstaub oder Altlasten oft die natürlichen Stoffangebote. Doch auch hier stellen sich die Fragen, welche Grundgehalte in den Medien Boden, Grundwasser und Gestein / Sediment vorliegen, welche Elementkonzentrationen Grenzwerte überschreiten und ob lokale Anomalien einer Sanierung bedürfen.

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

Ziel des Projektes ist, diese geologischen Medien zu untersuchen sowie die vorhandene Daten der anderen Medien zusammenzutragen und dort zu ergänzen, wo Lücken existieren. 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 Hintergrundwerte, lokale Grundgehalte und Anomalien definiert, aber auch Fragen der Herkunft und des Transports beantwortet werden.

Die Geologische Bundesanstalt wurde mit der Durchführung des Projektes seitens des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Kultur im Sommer 2008, seitens der Magistratsabteilung Grundbau (MA29) Anfang 2009 beauftragt. Für das zweite Projektsjahr (2010) wird zusätzlich eine Beauftragung seitens der Magistratsabteilung Gewässer (MA45) erwartet.

2. Geochemie der Bachsedimente

2.1. Vorhandene Daten

In den Jahren 1991-1994 wurden die Bachsedimente Niederösterreichs systematisch beprobt und analysiert (Kralik & Augustin-Gyurits, 1994, Augustin-Gyurits & Holnsteiner, 1997). Die damaligen Probepunkte (Abb. 2.1.) 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 Sedimente, Al + K ein Hauptindikator für Schichtsilikate und Tonminerale, Ca + Mg ein Indikator für karbonatreiche Sedimente (Kalkalpen und von dort stammende Flüsse), Ca / Mg ein Parameter zur Unterscheidung von Kalksteinen und Dolomiten.
- In den Sedimenten der Gewässer südlich von Wien (Petersbach, Krottenbach, Mitterbach, Schwechat) sind besonders in der Feinfraktion (<40µm) gewisse Schwermetallgehalte (Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Pb, Sb, Se, Sn, Zn) stark erhöht. Durch Faktorenanalyse kann der Nachweis geführt werden, dass diese Gehalte technogen bedingt sind (Beispiel Emissionen aus der Glaserzeugung für den Krottenbach).
- Geogene Spurenelementgehalte liegen in der Flyschzone sehr niedrig, in den Kalkalpen mit Ausnahme geologisch bedingter höherer Molybdänwerte ebenfalls sehr niedrig.

2.2. Neue Beprobung und Analytik

Im Oktober 2008 wurden an 29 ausgewählten Lokationen jeweils 2 Bachsedimentproben (Fraktionen <180µm und <40µm) 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. 2.1. dargestellt. Im Gelände wurden dabei die Parameter Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Redox-Potenzial gemessen. Diese Messungen wurden jeweils in der fließenden Welle und im wassergesättigten Sediment durchgeführt, um Austausch bzw. Abkoppelung zwischen Sediment und Wasser abschätzen zu können. Demnach zeigen sich bei den Punkten 8 (Lainzer Bach), 9 (Vösendorfer Graben) und 27 (Schreiberbach unterhalb Höhenstraße) Anzeichen von eingeschränktem Austausch.

Die Geländemessungen sind in Tabelle 2.1. aufgelistet.

Id	Gewässer	Probennummer 180µm Fraktion	Probennummer 40 µm Fraktion	Datum	Nehmer	Seehöhe m ü.A.	Rechtswert	Hochwert
1	Liesing bei Kledering	W1	W2	15.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	167	7340,14	Gauß-Krüger M34 337215,68
2	Liesing unterhalb Inzersdorf			15.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	178	3119,67	338231,19
3	Petersbach bei Siebenhirten			15.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	205	-1181,59	336184,84
4	Liesing bei Atzgersdorf			15.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	202	-2255,95	338751,73
5	Dürre Liesing	W3	W4	15.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	273	-6669,5	336607,5
6	Reiche Liesing	W5	W6	15.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	250	-7193,28	337286
7	Gütenbach	W7	W8	15.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	255	-6872,58	337552,15
8	Lainzer Bach	W9	W10	15.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	236	-4247,29	340457,16
9	Vösendorfer Graben	W19	W20	24.10.2008	Denk/Pfleiderer	306	-6760,22	340834,7
10	Katzengraben	W21	W22	24.10.2008	Denk/Pfleiderer	305	-6565,15	341202,49
11	Rosenbach	W11	W12	15.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	258	-4949,56	345250,94
12	Halterbach vor Mündung in Wienfluß	W13	W14	15.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	215	-5792,06	344544,89
13	Grünauer Bach	W31	W32	24.10.2008	Denk/Pfleiderer	223	-6860,31	344168,7
14	Rotwasser	W29	W30	24.10.2008	Denk/Pfleiderer	221	-7447,67	344423,76
15	Wienfluß	W27	W28	24.10.2008	Denk/Pfleiderer	220	-8043,79	345075,7
16	Mauerbach vor Mündung in Wienfluß	W25	W26	24.10.2008	Denk/Pfleiderer	223	-7628,14	345400,02
17	Moosgraben	W15	W16	15.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	267	-5872,96	346611,02
18	Halterbach bei Jägerwaldsiedlung	W17	W18	15.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	265	-6461,94	347115,93
19	Kasgraben	W33	W34	30.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	253	-8961,51	346917,06
20	Hainbach	W35	W36	30.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	264	-9826,72	347627,44
21	Mauerbach bei Stadtgrenze	W39	W40	30.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	258	-10486,55	347829,76
22	Steinbach	W37	W38	30.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	263	-10285,6	347917,02
23	Dornbach	W41	W42	30.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	268	-3904,28	348692,41
24	Eckbach	W43	W44	30.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	281	-4335,51	349047,77
25	Arbesbach	W45	W46	30.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	311	-2175,48	351359,4
26	Schreiberbach in Nußdorf	W49	W50	30.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	188	1960,1	351243,86
27	Schreiberbach unterhalb Höhenstraße	W47	W48	30.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	307	182,3	352334,3
28	Waldgraben	W51	W52	30.10.2008	Haslinger/Pfleiderer	189	1553,85	352884,33
29	Mauerbach vor Kolbeterbergraben	W23	W24	24.10.2008	Denk/Pfleiderer	225	-7804,05	345520,13

Tab. 2.1.: Geländemessungen Bachsedimentbeprobung

Id	Wassertemp.		Leitfähigkeit Welle		pH Welle	Eh Welle mV	Wassertemp. Sediment °C	Leitfähigkeit Sediment $\mu\text{S/cm}$ bei 25°C	pH Sediment	Eh Sediment mV	Lufttemp. °C	Bemerkung
	Welle °C		$\mu\text{S/cm}$ bei 25°C									
1	13,4	914	8,1	219	13,3	988	7,9	199	17,4	bei Fußgängerbrücke, oberhalb Kläranlage		
2										nicht beprobbar, Bachbett verbaut, kein Sediment		
3										nicht beprobbar, Bachbett verbaut, kein Sediment		
4										nicht beprobbar, Bachbett verbaut, kein Sediment		
5	12,7	685	8,4	164	13,2	735	8,2	175	18,4	verrostete Stahlträger im Bachbett		
6	14,4	917	8,1	179	15	914	8	235	19,4			
7	13	807	7,9	170	13	808	7,8	178	18,5			
8	16,6	675	8,4	175	16,7	698	7,5	47	18,9	Algen, Schaumbildung		
9	8,8	1190	7,8	250	7,4	1050	7,8	161	6,2			
10	7,1	825	7,9	228	7,2	792	7,8	191	7,7			
11	13,6	822	7,9	197	13,7	774	7,4	200	19,1			
12	13,8	621	8,1	203	14	608	7,9	219	17,7	unterhalb dreier Staustufen		
13	8	776	7,9	262	8,1	746	7,7	270	9,8			
14									10,6	Bachbett trocken		
15	8,7	671	8,4	235	8,8	673	8,1	245	11			
16	7,3	740	8,2	263	7,4	726	8	239	8,4	unterhalb Hochwasserschutz, wenig Feinsediment		
17	13,5	798	7,9	230	13,5	799	7,8	249	16,3			
18	13,2	629	7,9	237	13,3	627	7,8	240	17,1			
19	9,8	714	7,9	266	10	718	7,8	264	10,8			
20	9,9	679	8	254	9,9	659	7,7	244	10,3	brauner Algenbewuchs		
21	10,6	758	8,1	249	10,9	731	7,9	213	12,4			
22	10,2	764	8	223	10,1	737	7,7	205	12,1	Ziegelsplitt im Sediment		
23	10,4	876	7,9	237	10,6	873	7,7	247	17,4			
24	11,4	815	7,8	217	11,8	820	7,8	220	17,6			
25	11,7	887	7,8	252	11,8	883	7,7	203	19,3			
26	11,6	1031	8,1	230	11,7	1025	7,8	229	15,3	Bachbett verbaut, wenig Feinsediment		
27	11,5	982	8	238	11,8	957	7,6	53	16,8			
28	11,6	1093	8,1	221	11,5	1038	7,6	193	13	Bachbett verbaut, stinkt!		
29	7,3	736	8,1	243	7,3	737	7,9	253	9,8			

Tab. 2.1.: Geländemessungen Bachsedimentbeprobung (Fortsetzung)

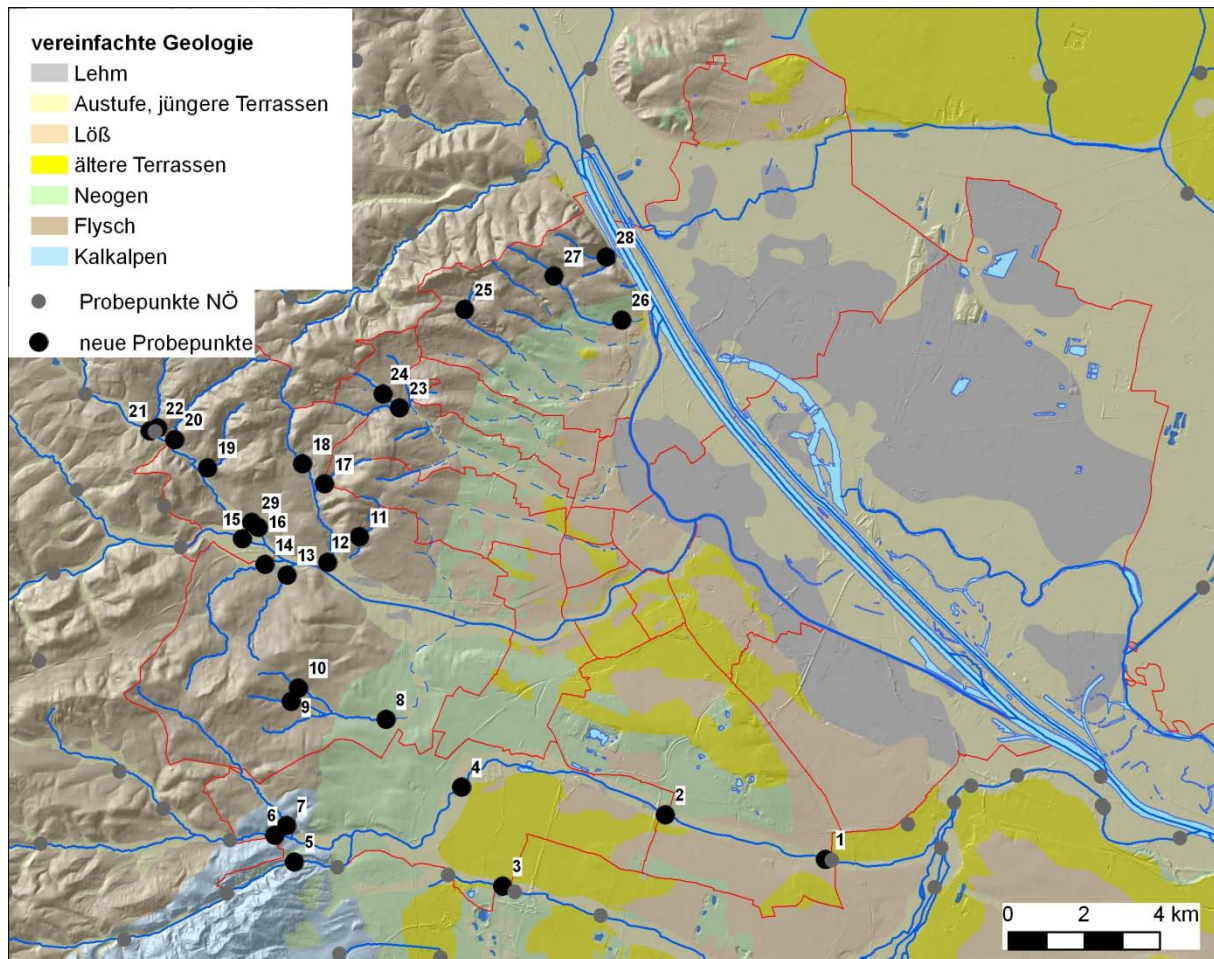


Abb. 2.1.: Lage der Bachsediment-Probepunkte

Die Lage der neu gezogenen Bachsedimentproben konzentriert sich auf den westlichen Stadtrand. Die strichlierten Bachverläufe in Abb. 2.1. machen deutlich, dass mit Ausnahme des Liesingbachs und des Wienflusses sämtliche Zuflüsse von Westen nach kurzer offener Fließstrecke kanalisiert und damit im Stadtzentrum nicht beprobbar sind. Dies wirkt sich jedoch bei der Suche nach geeigneten Hintergrundwerten nicht negativ aus.

Abbildung 2.2. illustriert, wie die geochemischen Analysen im Hinblick auf die lithologische Zusammensetzung der Einzugsgebiete ausgewertet werden. Proben 6 und 11 sind beispielsweise typische Verwitterungsprodukte sandig-toniger Gesteine während Probe 22 eine wesentliche quarzische Komponente und Probe 27 einen hohen Mergel-Anteil aufweist. Wie sich diese unterschiedlichen Lithologien auf die Chemie der Bachsedimente auswirken, und welche Elementgehalte für welche Gesteine im Hinterland typisch sind, werden die Analysen zeigen.

Die Probenaufbereitung (Lufttrocknung bei Raumtemperatur während mehrerer Wochen, Zerkleinerung mit Porzellanmörser, Siebung in rostfreien Stahlsieben nach DIN 4188 auf die Korngrößen $< 0,18$ mm und $< 0,04$ mm, 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 erfolgen an der Geologischen Bundesanstalt, die Gehalte der übrigen Elemente werden im Labor der Austrian Research Centers (ARC) in Seibersdorf bestimmt, um die Kontinuität mit Bachsedimentanalysen früherer Bundesländerprojekte zu gewährleisten.

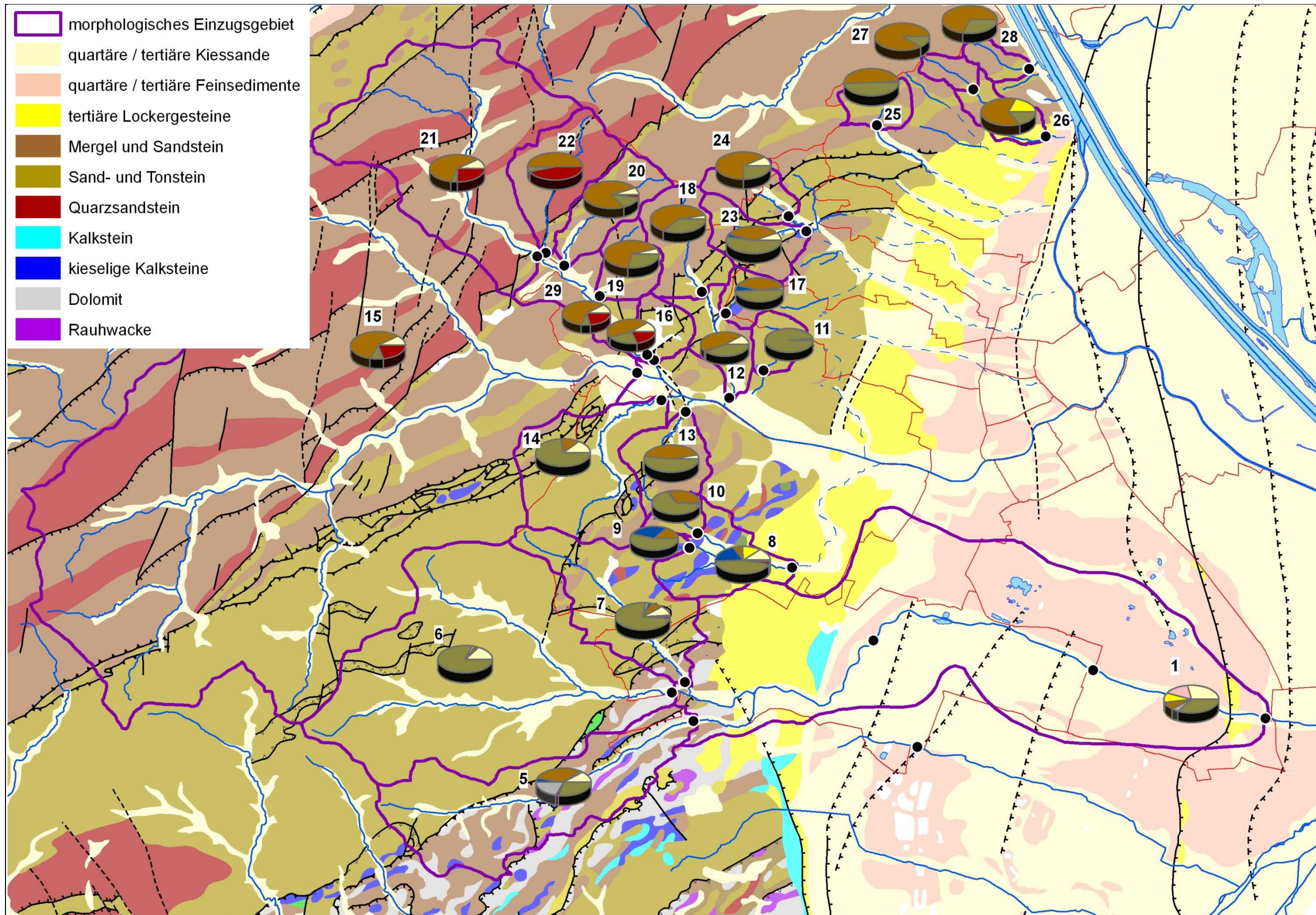


Abb. 2.2.: Lithologische Zusammensetzung der Einzugsgebiete der Bachsedimentproben

3. 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 technologischen Substraten bestehen (Hiller & Meuser, 1998).

3.1. Vorhandene Daten

Die Magistratsabteilung Umwelt (MA22) beprobt und analysiert seit 1992 im dreijährigen Abstand Böden im Wiener Stadtgebiet. Das Programm dieses Bodenmonitoring umfasst 286 Probestellen, die Wohngebiete, Parkanlagen, Spielplätze, Straßenzüge, Grünbereiche und Erholungsgebiete in allen Bezirken einschließt. Das Elementspektrum wurde von anfänglich zwei Elementen (Blei und Cadmium) ausgedehnt und umfasst zur Zeit die Schwermetalle As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Pt, Se, V, Zn sowie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzo(a)pyrene und Summenparameter PAK₆ und PAK₁₆). Die Ergebnisse werden regelmäßig im Wiener Bodenbericht (<http://www.wien.gv.at/umweltschutz/>) veröffentlicht. Die Probestellen sind in Abbildung 3.1. dargestellt.

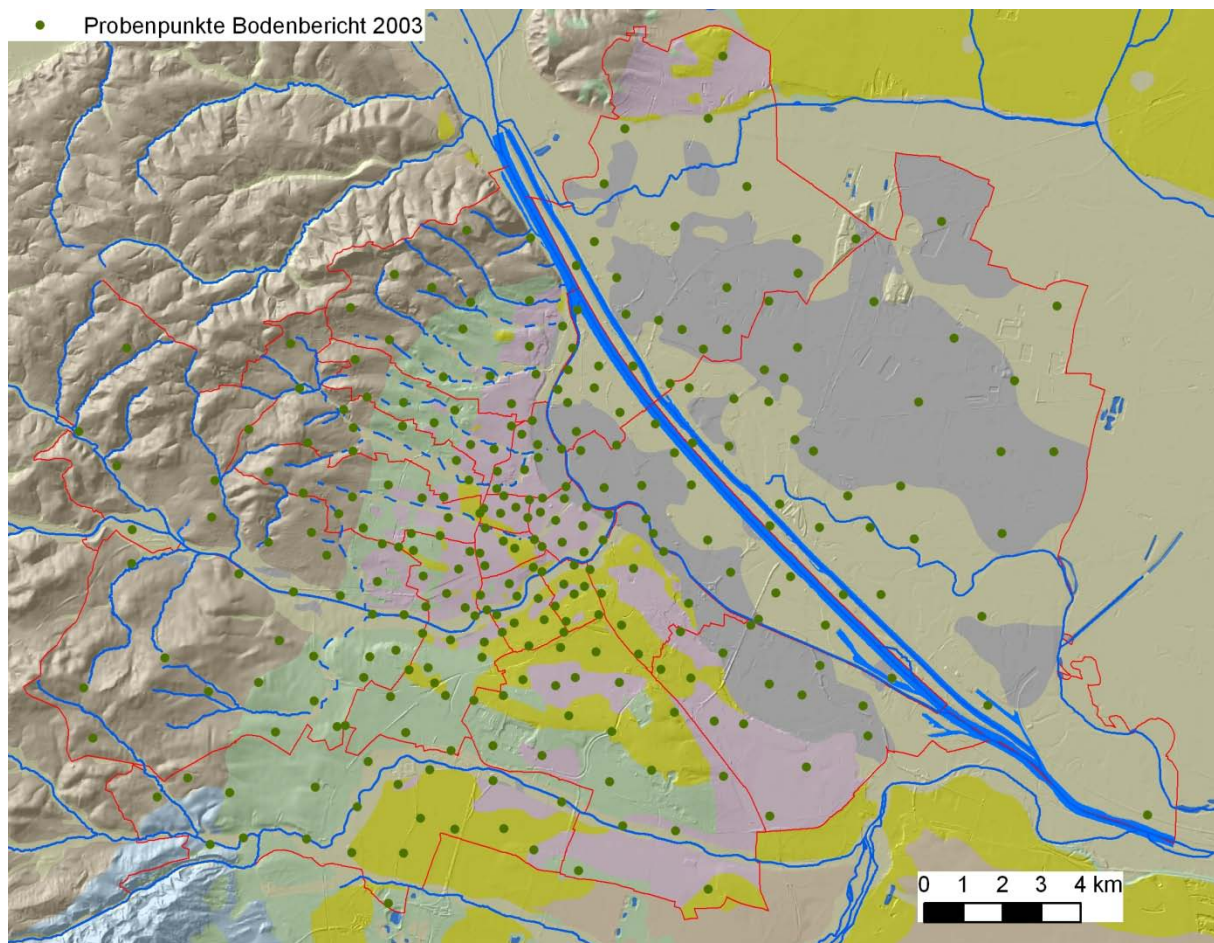


Abb. 3.1.: Lage der Probestellen des Bodenmonitoring der MA22 (Legende siehe Abb. 2.1.)

Die Ergebnisse des Jahres 2003 wurden für das gegenständliche Projekt geo-referenziert und als GIS-Datensatz aufbereitet. Dies ermöglicht die regionale Visualisierung der einzelnen Elementgehalte und geostatistische Auswertungen. Abbildung 3.2. zeigt die Wertebereiche der Elementkonzentrationen. 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).

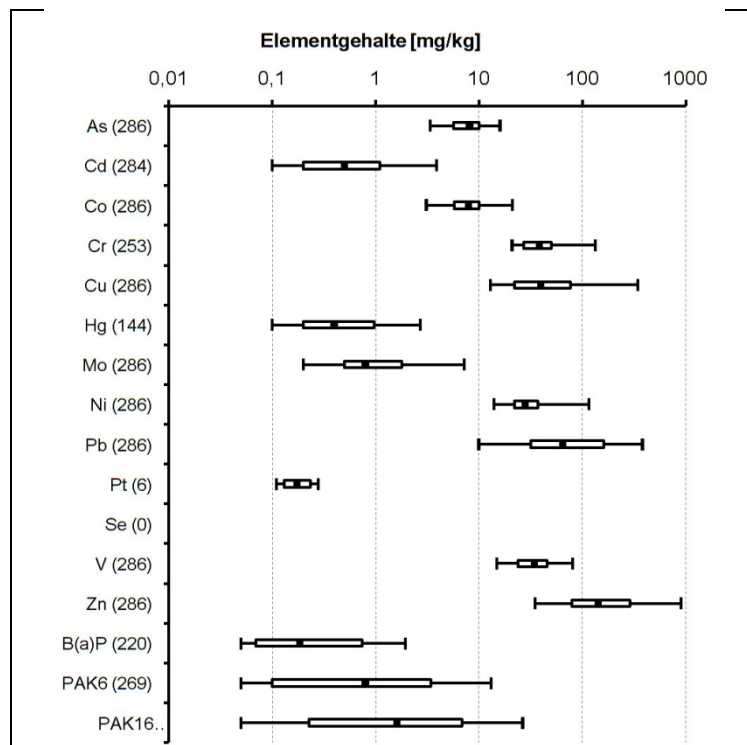


Abb. 3.2.: Verteilung der Elementgehalte des Bodenmonitoring 2003: Box-and-Whiskers Plots zeigen q_{10} , q_{50} , und q_{90} , bzw. q_{\min} und q_{\max} ; Werte in Klammern neben den Elementen zeigen Anzahl der Analysen

Für die geostatistische Auswertung wurden zunächst 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 fallen 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.

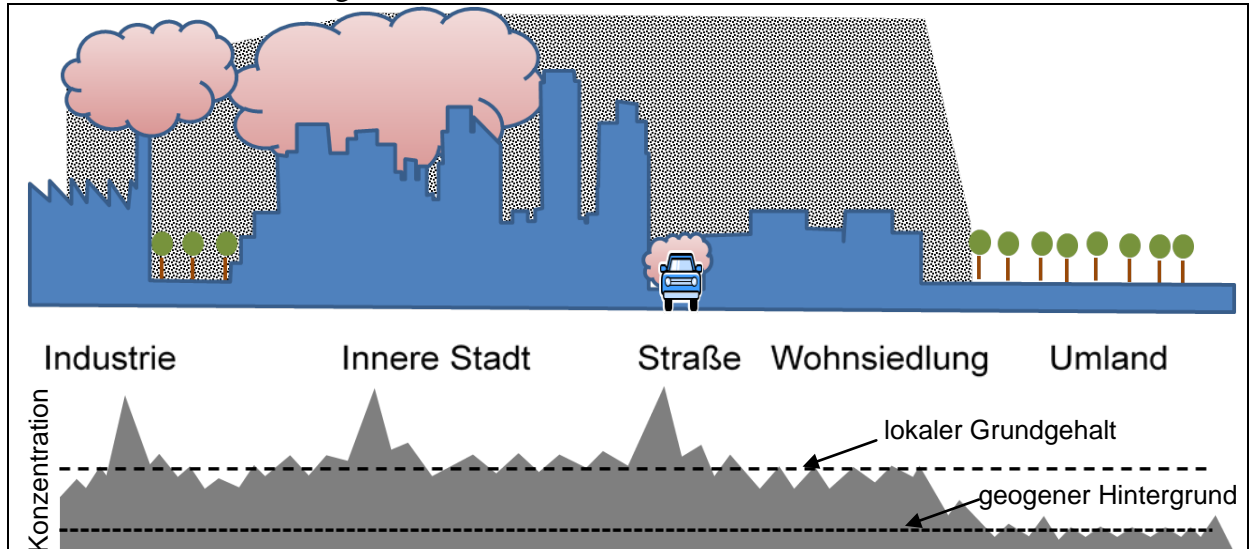


Abb. 3.3.: Schema der Verteilung von Schwermetallen in Stadtböden (nach Albanese, 2008)

Nach dem in Abbildung 3.3. dargestellten Schema können mit dem Datensatz des Bodenberichts z.B. entlang einer Profillinie durch Wien im Zentrum lokale Grundgehalte und in den Stadtrandbereichen geogene Hintergrundwerte für Stadtböden festgelegt werden. Abb. 3.4. zeigt die Ableitung beispielhaft für das Element Kadmium.

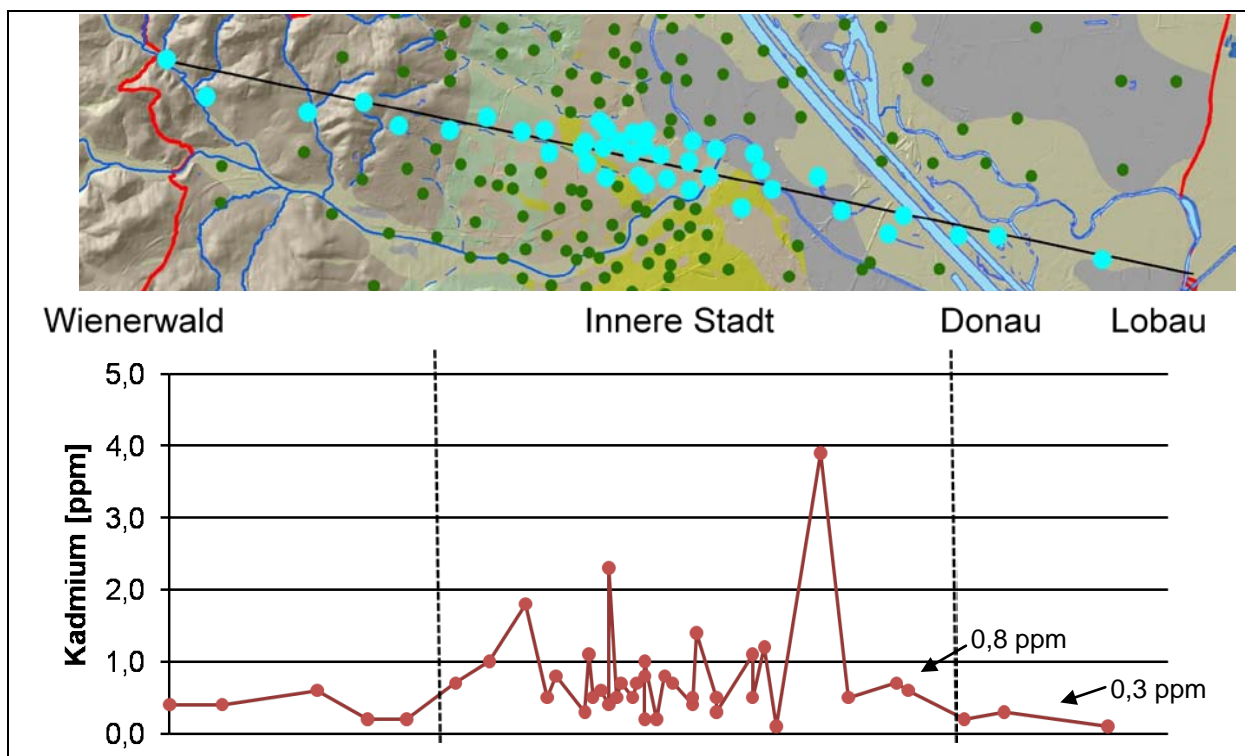


Abb. 3.4.: Ableitung des lokalen Grundgehaltes und des geogenen Hintergrundes für Cd

Im Jahre 2004 erfolgte im Auftrag der Magistratsabteilung Stadtgartenamt (MA42) einmalig eine Beprobung von 360 Kinderspielflächen mit natürlicher, unbefestigter Oberfläche (Lindlbauer & Wruss, 2004). Die Proben wurden auf Gehalte an As, Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Mo, Ni, Pt, Hg, Se, V und Zn analysiert. Auch dieser Datensatz wurde für das gegenständliche Projekt geo-referenziert und als GIS-Datensatz aufbereitet. Obwohl die Proben Mischproben der obersten 35 cm Boden darstellen, kann dieser Datensatz zusätzlich zur Bestimmung von geogenen Hintergrundwerten herangezogen werden. Die Lage der Probepunkte ist in Abbildung 3.5. dargestellt, eine Auswertung erfolgt im zweiten Projektjahr.

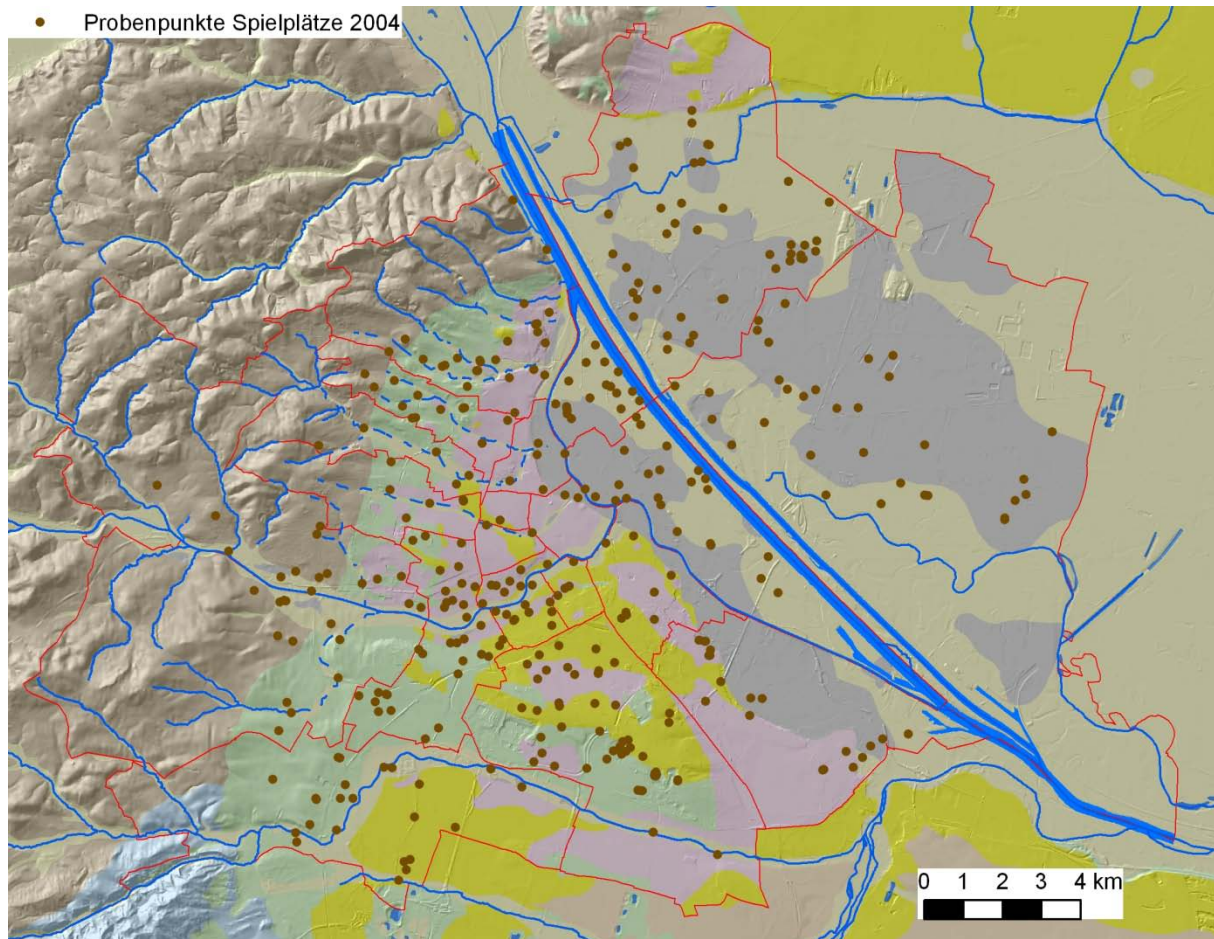


Abb. 3.5.: Lage der Probepunkte Wiener Spielplätze 2004

3.2. Neue Beprobung und Analytik

Aus den Abbildungen 3.1. und 3.5. wird ersichtlich, dass im Bereich des Wienerwaldes (westlicher Stadtrand), wo im Vergleich mit 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 und November 2009 stattfand. Innerhalb des Wiener Stadtgebietes wurden vom BfW dabei insgesamt 239 Proben an 70 Standorten, verteilt auf die Gebiete Hollergraben, Johannserkogel, Kolbeterberg, Latisberg, Leopoldsberg, Moosgraben, Paffenberg und Waldandacht gezogen. Die Lage der Punkte ist in Abbildung 3.6. auf dem Hintergrund der forstlichen Standortkarte (Jelem & Mader, 1966), eingefärbt nach Bodentyp, dargestellt.

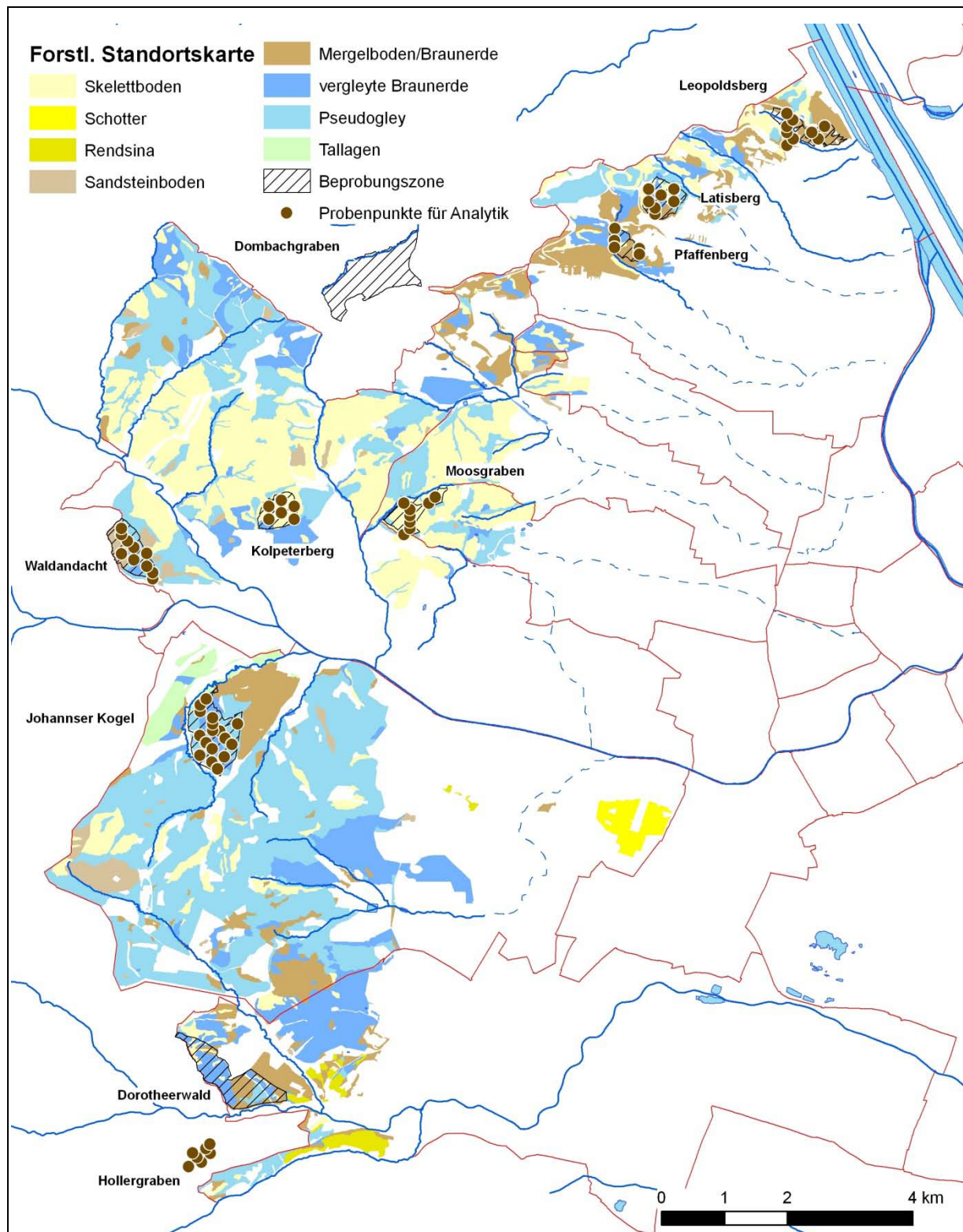


Abb. 3.6.: Lage der Probenpunkte für neue Bodengeochemie

Die Probenaufbereitung (Lufttrocknung bei Raumtemperatur während mehrerer Wochen, Siebung in rostfreien Stahlsieben nach DIN 4188 auf die Korngröße < 2mm, Mahlen mit Achatmühle) erfolgt an der Geologischen Bundesanstalt. Die chemische Analytik mittels Röntgenfluoreszenzanalyse wird ebenfalls an der Geologischen Bundesanstalt durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse ist für das folgende Projektjahr geplant.

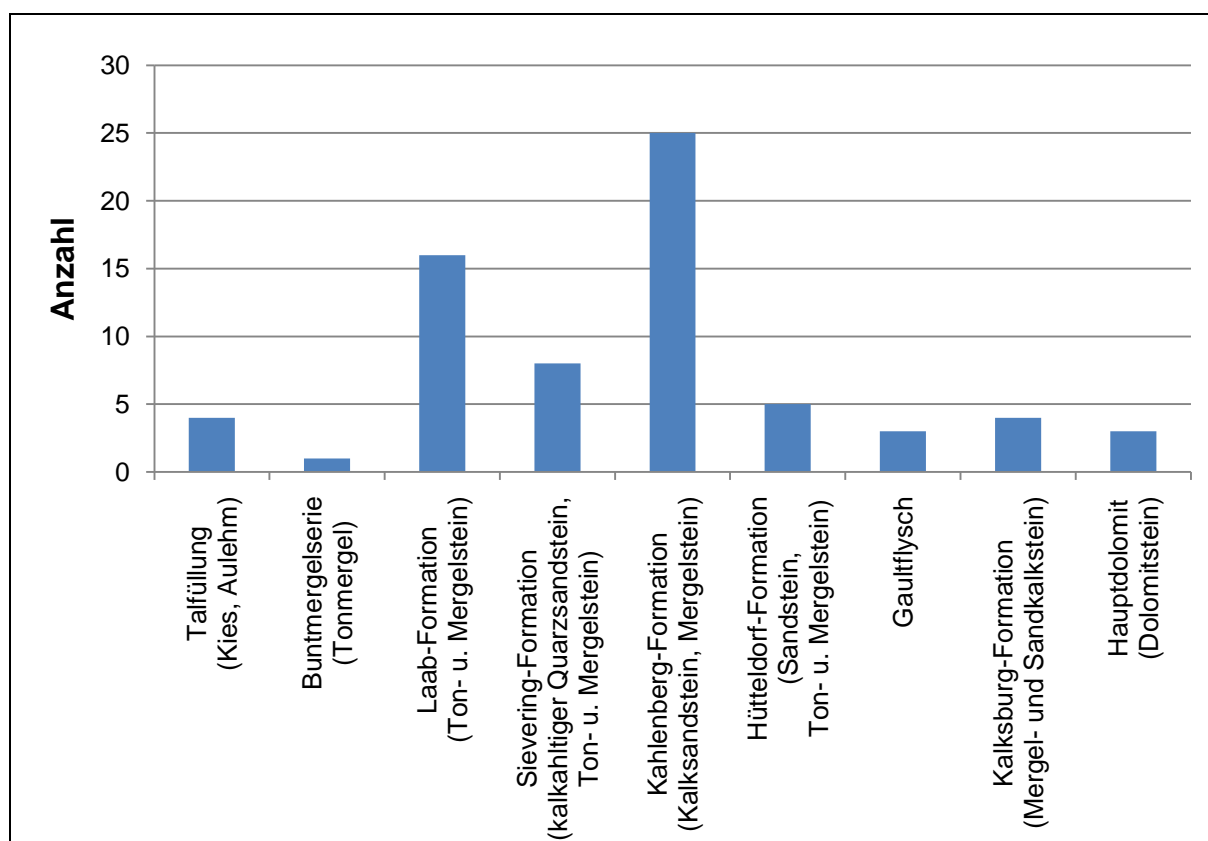


Abb. 3.7.: Verteilung der neuen bodengeochemischen Analysen auf geologische Einheiten

In Erwartung einer im Vergleich zu den Stadtbodenuntersuchungen engeren Korrelation des Bodens mit den darunterliegenden geologischen Gesteinen wurde bereits die Verteilung der Probenpunkte auf die verschiedenen Flysch-Formationen ermittelt (Abb. 3.7.). Mit Ausnahme der Buntmergelerde, die flächenmäßig nur eine geringe Verbreitung besitzt, sind sämtliche Einheiten mehrfach beprobt.

Die Untersuchung der Waldböden der Flyschzone fügt sich regional und inhaltlich gut zu den auch im westlichen Stadtrandbereich gewonnenen Bachsedimentproben und ermöglicht die Analyse von Stoffflüssen und die Klärung von Fragen der Herkunft und des Transport von Schwermetallen in der Umwelt (siehe auch Kap. 7.2.).

4. Hydrochemie

Eine weitere Schnittstelle zwischen anthropogenen und geologisch bedingten Einflüssen bildet das Medium Grundwasser. Auch diesem Medium ist der Mensch direkt ausgesetzt, etwa beim Baden in Baggerseen oder bei der Trinkwasserversorgung. Auch hier wirken sich die natürliche Mineralisation durch das wasserleitende Gestein / Sediment und anthropogene Verunreinigungen auf die Elementgehalte aus. Anders als beim Boden ist der Effekt allerdings nicht lokal begrenzt sondern die Gehalte gelöster Inhaltsstoffe summieren sich in Grundwasser-Abstromrichtung und werden, anstatt im Umland wieder abzuklingen, bis zur nächsten Vorflut transportiert. Gerade bei Stoffflussanalysen, Fragen der Herkunft und des Transports von Schwermetallen in der Umwelt und deren Auswirkungen auf den Menschen kommen hydrochemischen Analysen besondere Bedeutung zu.

4.1. Vorhandene Daten

Für die Hydrochemie des Grundwassers 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. Wie bereits bei den Bodendaten existieren jedoch in der Flyschzone am westlichen Stadtrand nur wenige Analysen. Abbildung 4.1. zeigt die Lage der vorhandenen Daten auf der Grundlage der hydrogeologisch attributierten, geologischen Karte Wiens.

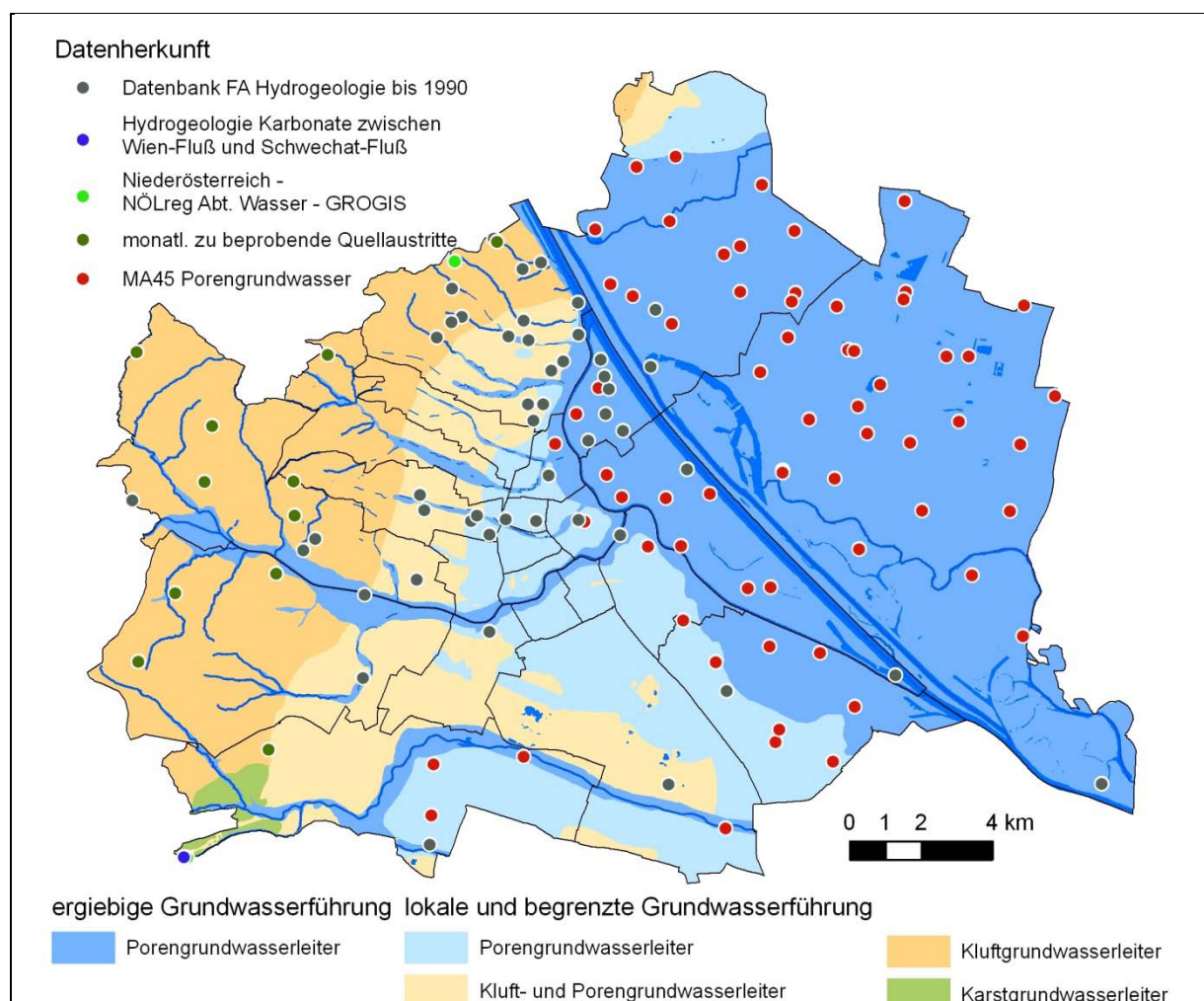


Abb. 4.1.: Lage der Probepunkte vorhandener hydrochemischer Datensätze und der im Jahr 2010 monatlich zu beprobenden Quellaustritte

4.2. Neue Beprobung und Analytik

Um das Grundwasser in der Flyschzone hydrochemisch genauer charakterisieren zu können, wurden in Absprache mit der Magistratsabteilung Gewässer (MA45) 11 natürliche Quellaustritte im Wienerwald ausgewählt und im Oktober 2009 eine monatliche Beprobungskampagne gestartet. Die Lage der beprobten Quellen (gefasste Quellen und ungefasste Grundwasseraustritte) ist in Abbildung 4.1. dargestellt.

Diese Kampagne wird im zweiten Projektjahr bis Oktober 2010 fortgesetzt. Dabei werden bei der Probenahme die Geländeparameter Quellschüttung, elektrische Leitfähigkeit, Wassertemperatur, pH-Wert, Sauerstoffgehalt und Redox-Potential aufgenommen und die Wasserproben auf Hauptionen und Spurenelemente analysiert. Die resultierenden Zeitreihen der Daten werden hinsichtlich der hydrodynamischen Eigenschaften der grundwasserleitenden Schichten und der hydrochemischen Fazies der Wässer in Flysch-Gesteinen ausgewertet. In Kombination mit gesteinschemischen Analysen (Kap. 5) werden die Konzentrationen geogener und anthropogener Inhaltstoffe getrennt und die Mobilität bzw. der Transport im Aquifer untersucht.

5. Gesteinschemie

5.1. Vorhandene Daten

Seitens der Magistratsabteilung Grundbau (MA29) werden bei größeren Bauvorhaben seit Jahren geochemische Analysen von Bodenaushubmassen veranlasst. Die ca. 200 Datensätze liegen bei der MA29 auf, sind jedoch Eigentum der Bauherrn und bisher nicht zur geowissenschaftlichen Auswertung vorgesehen gewesen. Seitens der Geologischen Bundesanstalt wurde angeregt, die Daten für das gegenständliche Projekt zugänglich zu machen.

Die Bearbeitung sieht zuerst eine Digitalisierung und Geo-Referenzierung der Daten vor, ähnlich der Aufbereitung der Bodendaten. Danach erfolgt eine geostatistische Auswertung und Umlegung der abgeleiteten Kennwerte (Grundgehalte, Medianwerte etc.) auf geologische Einheiten. Der standortsbezogene Gebrauch der Daten ist dabei nicht vorgesehen.

5.2. Geplante Analytik

Die Geologische Bundesanstalt besitzt seit wenigen Monaten einen mobilen Röntgenfluoreszenz-Analysator, ein tragbares Gerät, welches auf den zu messenden Boden oder das Gestein / Sediment gehalten wird (Abb. 5.1.) und binnen einer Minute das gesamte Spektrum der Elemente der Ordnungszahl > 12 (also alle Elemente schwerer als Na) im Material liefert. Die Nachweisgrenzen liegen dabei für die leichten Hauptelemente (Si, Al, Mg, Ca) im Prozentbereich, bei schwereren Elementen (Schwermetalle) im ppm-Bereich.



Abb. 5.1.: Einsatz des tragbaren Röntgenfluoreszenz-Analysator (© Analyticon, 2008)

Zwei Einsatzbereiche dieses Gerätes sind für das gegenständliche Projekt geplant. Zum einen werden im Umfeld der Grundwasser-Beprobungspunkte Boden und Gesteinsaufschlüsse 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. Zum anderen ist geplant, an ausgewählten Bohrkernen, die im Bohrkernlager der MA29 gelagert werden, Material zu analysieren, um eventuelle Lücken bei den geologischen Einheiten oder in der regionalen Verteilung zu schließen.

6. Mineralogisch-mikrochemische Phasenanalytik

Der Eintrag von Schwermetallen durch Luft (Luftgütemessnetz der MA22) und Niederschlag (Messnetz Nasse Deposition der MA49) wird an mehreren Stationen innerhalb Wiens gemessen (Abb. 6.1.). Proben werden chemisch auf bestimmte Schwermetallgehalte untersucht, jedoch findet keine Phasen-spezifische Analytik statt. Dies bedeutet, dass Gesamtgehalte zwar bekannt sind, jedoch eine Identifikation, um welche Partikel es sich handelt und welche Quellen (Industrie-Emittenten) diese ausstoßen, nicht erfolgt.

Zur Trennung geogener von technogenen Spuren- und Schwermetallverteilungen sowie zur Beurteilung des Einflusses technogener Emissionen wird für Schwermineralphasen in Bachsedimenten sowie für technogene Stäube eine aus der Rohstoffforschung kommende Methodenkombination der Mikrochemie / Industriemineralogie eingesetzt. Aufbauend auf den Erfahrungen zahlreicher Projekte entwickelte sich dazu ein Arbeitsschema für Mineralphasen-Analytik, das auch im Rahmen des gegenständlichen Projektes angewandt wird (Neinavaie & Pirkl, 1996).

6.1. Schwermineralphasen in Bachsedimenten

Die Probenahme erfolgte im Juli 2009 an 15 der 26 Bachsediment-Probepunkte. (Abb. 6.1.). Dabei wurde eine Ausgangsmenge von 10 l (ca. 20 kg) jeweils vor Ort auf die Korngrößen $< 1,4$ mm gesiebt und die Schwermineralfraktion mit der Pfanne angereichert. Die Aufbereitung (Trocknen bei $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, Eliminieren des organischen Materials mit H_2O_2 , Abtrennen der Fraktion mit Dichte $\rho > 2,98\text{ g/cm}^3$ mittels Schwereflüssigkeit, Trennen in magnetische und nichtmagnetische Fraktionen, Präparieren von Dünnschliffen und Anschliffen für die mikroskopische und mikrochemische Untersuchung) wird derzeit durchgeführt. Die Analytik und Auswertung hinsichtlich Identifizierung geogener und technogener Phasen inklusive ihrer Herkunft sowie die Abschätzung der Verwitterbarkeit schwermetallführender Phasen (Austragsrisiko) ist für 2010 geplant.

6.2. Technogene Stäube

Die Probenahme erfolgte im September 2009 ausgehend von einer Kompilation derzeit existierende Industrieschornsteine (Abb. 6.1.) und publizierter Windrichtungsangaben (Auer et al., 1989). Sowohl Pinselwischproben auf Gebäudevorsprüngen oder Fenstersimsen, als auch Oberbodenproben wurden an insgesamt 9 Standorten gesammelt. Die Aufbereitung erfolgt wie in Kap. 6.1. für Schwermineralproben beschrieben. Die Analytik und Auswertung ist für 2010 geplant.

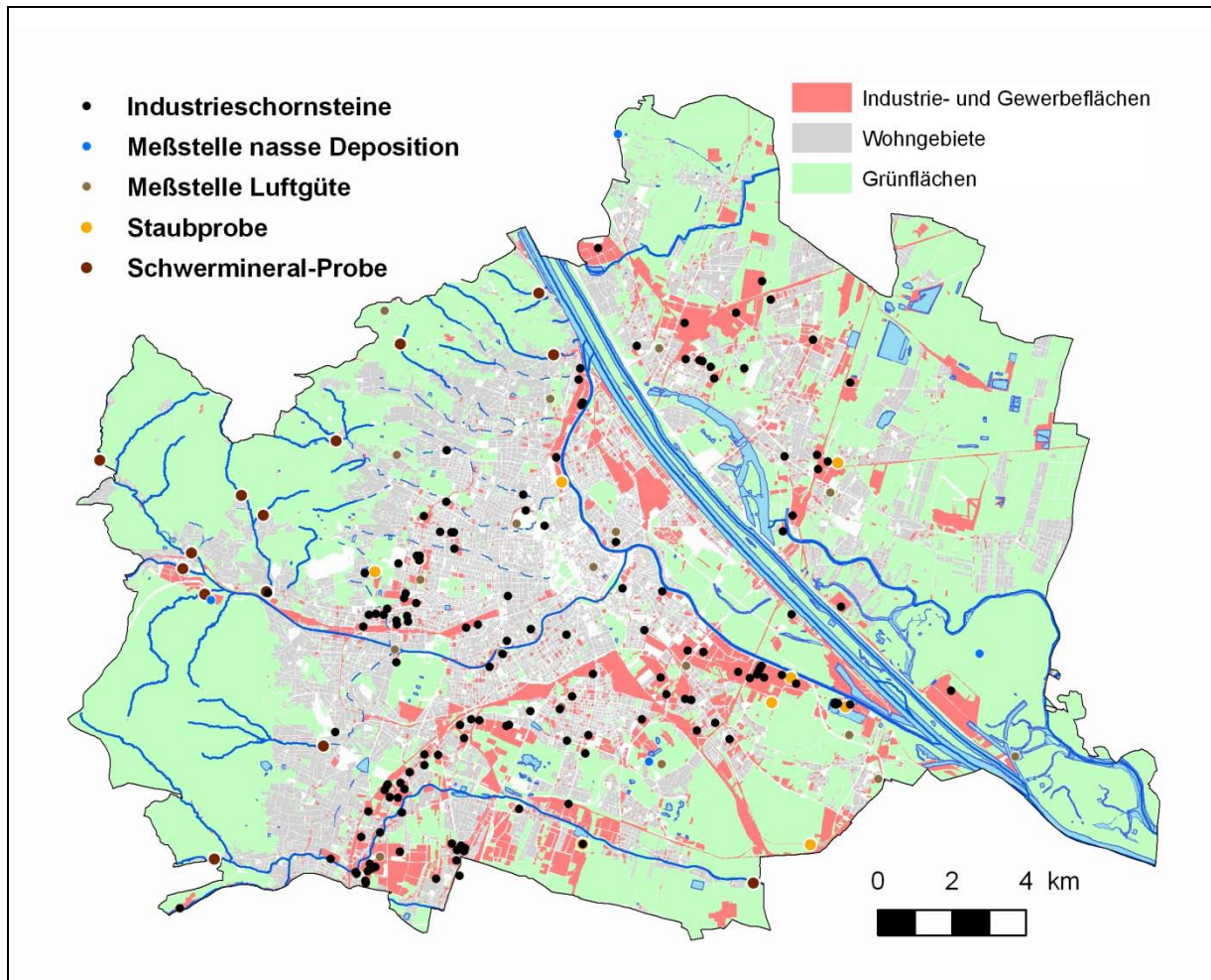


Abb. 6.1.: Lage der Staub- und Schwermineralproben, der Messstationen für Luftgüte und nasse Deposition, sowie der Industrieschornsteine in Wien

Zusätzlich zur Kompilation der Industrieschornsteine wurden ehemalige Gewerbebetriebe innerhalb Wiens als GIS-Datensatz aufbereitet (Abb. 6.2.). Diese Daten wurden einer Kompilation aus dem Jahr 1956 im "Atlas von Niederösterreich und Wien" entnommen (Scheidl & Benda, 1956). Sowohl Gewerbebetriebe als auch Schornsteine werden noch hinsichtlich möglicher Schwermetall-Emissionen klassifiziert werden.

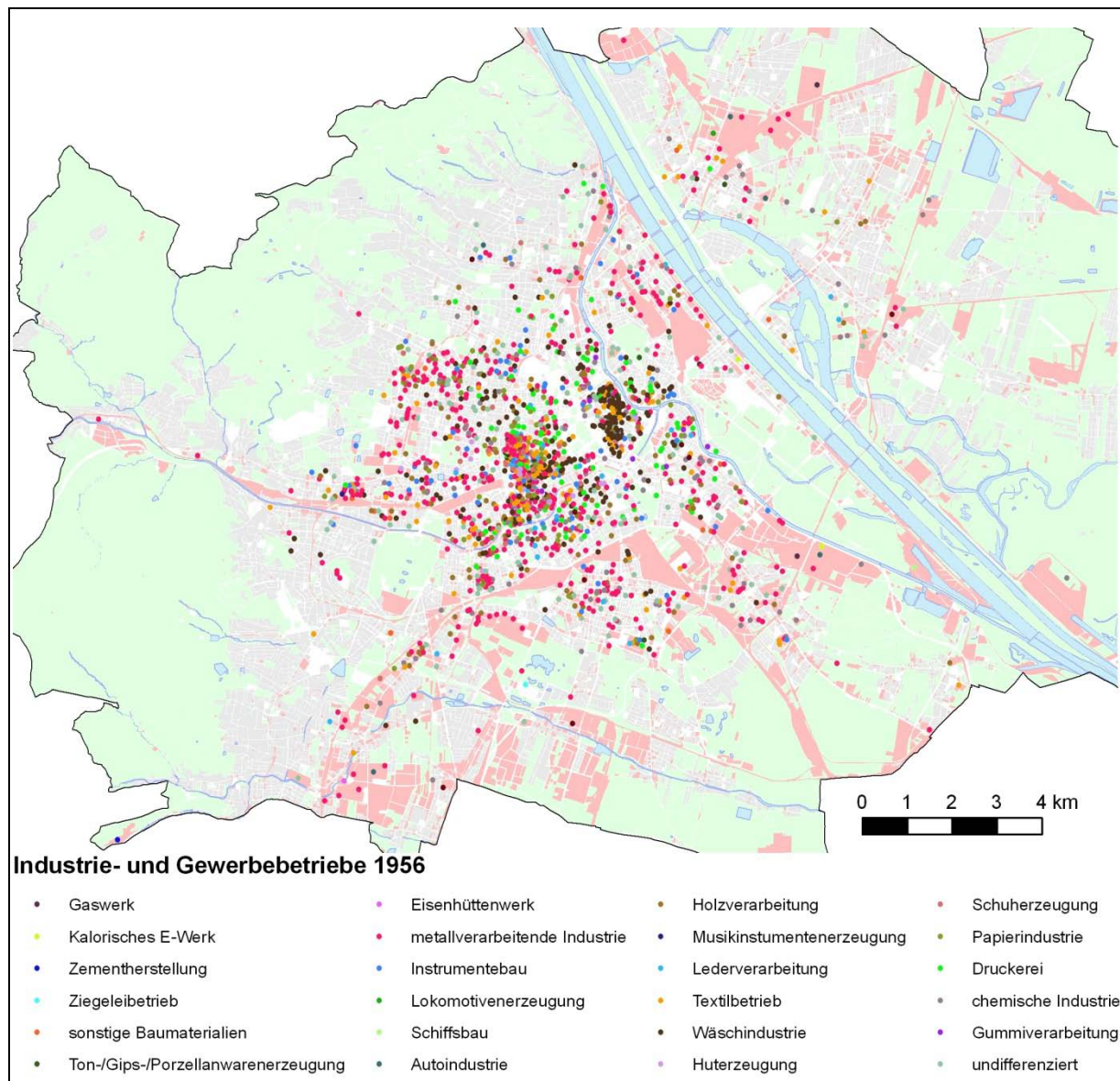


Abb. 6.2.: Lage der Industrie- und Gewerbebetriebe in Wien im Jahr 1956

7. Ausblick auf das zweite Projektjahr

7.1. GIS-Dokumentation

Sämtliche für das Projekt erstellten Datensätze werden als digitale, georeferenzierte Daten geführt und den Auftraggebern nach Abschluss des Projektes im ESRI shape-Format übergeben. Dabei wird darauf Rücksicht genommen, dass die Daten mit den bei früheren Projekten mit der Magistratsabteilung MA29 (GeoAtlas Wien: Pfeleiderer & Hofmann, 2003 und 2004) erstellten Datenbankstrukturen kompatibel sind. Dies wird folgende Punkt- und Polygondatensätze einschließen:

- Probepunkte Bachsedimente Wien, attribuiert mit chemischen Analysen
- Probepunkte Waldböden Wienerwald, attribuiert mit chemischen Analysen
- Probepunkte Wiener Bodenbericht 2003, attribuiert mit chemischen Analysen
- Probepunkte Wiener Spielplätze 2004, attribuiert mit chemischen Analysen
- Probepunkte Quellbeprobung Flyschzone, attribuiert mit chemischen Analysen

- Probepunkte Grundwasserdatenbank der GBA, attribuiert mit chemischen Analysen
- Probepunkte Gesteinschemie, attribuiert mit chemischen Analysen
- Probepunkte Schwermineralphasen, attribuiert mit chemischer Phasenanalytik
- Probepunkte technogene Stäube, attribuiert mit chemischer Phasenanalytik
- Standorte Industrie- und Gewerbebetriebe in Wien, attribuiert mit Emissionspotenzial
- Standorte Industrieschornsteine in Wien, attribuiert mit Emissionspotenzial
- geologische Karte Wiens
- forstliche Standortskarte Wienerwald
- hydrogeologisch attribuierte, geologische Karte Wiens

7.2. Integrative Auswertung sämtlicher Daten

Die bodenchemischen Daten des Wiener Bodenberichts sind ansatzweise beschrieben, die in Kap. 3.1. beispielhaft dargestellte Ableitung geogener Hintergrundwerte bzw. lokaler Grundgehalte wird im gesamten Stadtgebiet und für sämtliche analysierten Stoffe noch fertiggestellt. Die geo-wissenschaftliche Auswertung der vorhandenen Datensätze Bodenchemie Wiener Spielplätze, Grundwasserchemie MA45 und GBA, Luftgüte und nasse Deposition steht noch aus. Weiterhin werden im Laufe des zweiten Projektjahres die Analysen der neu gewonnenen Proben Bachsedimente, Waldböden Wienerwald, Quellbeprobung Flyschzone, Gesteinschemie, Schwermineralphasen und technogene Stäube vorliegen und ausgewertet.

Zusammen mit der Kenntnis früherer und jetziger Industriestandorte und -emittenten wird eine integrative Auswertung sämtlicher Daten einerseits die Istzustände der einzelnen Medien Boden, Sediment / Gestein und Grundwasser darstellen, andererseits geogene Hintergrundwerte bzw. lokale Grundgehalte definieren, die Herkunft der verschiedenen Schwermetalle beleuchten und Stoffflüsse bzw. Austauschprozesse beschreiben.

8. Literatur

- ALBANESE, S., CICCHELLA, D., LIMA, A. & DEVIVO, B.: Urban Geochemical Mapping.- in: DEVIVO, B., BELKIN, H.E. & LIMA, A.: Environmental Geochemistry.- Elsevier Verlag, 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.- 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
- HILLER, D.A. & MEUSER, H.: Urbane Böden.- Springer Verlag, Berlin, 1998
- 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
- 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.- 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.- Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal, Wien, 1994
- LINDLBAUER, A. & WRUSS, W.: Bodenuntersuchungen auf Wiener Kinderspielplätzen.- Magistratsabteilung 42, Wien, 2004
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H.: Bewertung von Schwermetallverteilungen in Böden und Flusssedimenten mit Hilfe angewandter mineralogischer und geostatistischer Werkzeuge.- Berichte Geol. Bundesanstalt, Band 34, Wien, 1996
- NORRA, S.: Umweltgeochemische Signale urbaner Räume.- Karlsruher Mineralogische und Geochemische Hefte, Bd. 18, Karlsruhe, 2001
- PFLEIDERER, S. & HOFMANN, T.: Digitaler angewandter Geo-Atlas der Stadt Wien / GEO-Modul.- Geologische Bundesanstalt, Wien, 2003
- PFLEIDERER, S. & HOFMANN, T.: Digitaler angewandter Geo-Atlas der Stadt Wien / HYDRO-Modul.- Geologische Bundesanstalt, Wien, 2004
- PFLEIDERER, S., SCHEDL, A., PIRKL, H. & FRÖSCHL, H.: Current urban geochemistry studies in Vienna, Austria.- Applied Environmental Geochemistry Conference Proceedings, Ljubljana, 2009
- 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 Detailcharakteri-

- sierungen sowie synoptische und integrative Auswertungen geologischer, tektonischer, geochemischer Aspekte der Wasserhöflichkeit und des Grundwasserschutzes in den Kalkvoralpen im SW Niederösterreichs.- Geologische Bundesanstalt, Wien, 2005
- REIMANN, C., FILZMOSER, P., GARRETT, R. & DUTTER, R.: Statistical data analysis explained - Applied environmental statistics with R.- Verlag John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2008
- 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
- THALMANN, F., SCHERMANN, O., SCHROLL, E. & HAUSBERGER, G.: Geochemischer Atlas der Republik Österreich 1:1.000.000 Böhmisches Masse und Zentralzone der Ostalpen (Bachsedimente < 0,18 mm).- Geologische Bundesanstalt, Wien, 1989
- 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, 2002a
- 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, 2002b