

**Urbane Bodenlandschaften -
Eigenschaften, Funktionen und Stoffhaushalt
der siedlungsbeeinflussten Pedosphäre im Geoökosystem**

Habilitationsschrift

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum naturalium habitatus (Dr. rer. nat. habil.)

vorgelegt der

Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät

(mathematisch-naturwissenschaftlicher Bereich)

der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Herrn Dr. rer. nat. Martin Sauerwein

geb. am 01.11.1967 in Darmstadt

Gutachter:

Prof. Dr. rer. nat. habil. Jürgen Breuste (Paris-Lodron-Universität Salzburg)

Prof. Dr. rer. nat. habil. Wilfried Endlicher (Humboldt-Universität zu Berlin)

Prof. Dr. rer. nat. habil. Manfred Frühauf (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg)

Tag der Verteidigung: 19.12.2004

Vorwort

*„Die Schwärmerei für die Natur
kommt von der Unbewohnbar-
keit der Städte.“*

Bertolt Brecht

*„Noch vor der Jahrtausendwende wird es auf dem Mond
vollklimatisierte Städte geben, in denen man wesentlich
komfortabler als auf der Erde leben kann.“*

Wernher von Braun

Danken...

... möchte ich all denen, die mich in den letzten Jahren unterstützt haben, so dass nun die Arbeit vorliegen kann.

... möchte ich besonders Prof. Dr. Manfred Frühauf, der mir als sein Assistent die Möglichkeit gab, dieses Thema so zu bearbeiten, wie ich mir es vorstellte.

... möchte ich den aktiven Studierenden, die sich gerade bei den Bodenprofilen und Kartierungen wohl fragten, für was das gut sein sollte.

... möchte ich den Diplomanden, die für mich wichtige Puzzleteile erarbeiteten.

... möchte ich den Laborantinnen im Institut für Geographie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, die manchmal von der Probenzahl „genervt“ waren.

... möchte ich allen Kolleginnen und Kollegen aus dem Institut, die mich in vielfältigster Art und Weise unterstützten.

... möchte ich den Vertretern der Stadtverwaltungen, Firmen und Privatpersonen, welche die Beprobung von Bodenprofilen ermöglichten.

... möchte ich den „interdisziplinären“ Kolleginnen und Kollegen, ohne die viele Fragen offen geblieben wären.

... möchte ich meiner Familie und ganz besonders Katrin sowie unseren Kindern, für die ich öfter geistig und/oder körperlich abwesend war. (Aber für sie ist mittlerweile jedes „Loch“ in der Stadt auch einen Blick wert.)

INHALT

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Zusammenfassung, Summary

1	Problemstellungen – Zielsetzungen – Methodologisches Vorgehen	1
1.1	Problemstellungen und allgemeine Zielsetzungen	1
1.2	Methodologisches Vorgehen	2
1.3	Kartierungen	3
1.4	Anwendungsbezug	3
2	Ausgangshypothese: Urbane Bodenlandschaften	4
2.1	Landschaften – Ökosysteme – Geoökosysteme	4
2.2	Stadtökologie - Urbane Geoökosysteme	5
	2.2.1 Definition	5
	2.2.2 Entwicklung der Stadtökologie/stadtökologischer Forschungen	7
2.3	Der Stadtstrukturtypenansatz in der urbanen Geoökosystemforschung	7
	2.3.1 Städtische Flächengliederungen	7
	2.3.2 Der Stadtstrukturtyp - Begriff, Anwendung und Eigenschaften	8
2.4	Urbane Bodenlandschaften ?!	9
3	Urbane Böden	12
3.1	Eigenschaften urbaner Böden	15
	3.1.1 Anthropogene Veränderungen an natürlichen Böden	15
	3.1.2 Böden nicht-natürlicher, künstlicher Substrate	16
	3.1.3 Versiegelte Böden	17
3.2	Genese und Belastungspotenzial urbaner Böden	18
3.3	Ökosystemare Funktionen und Bedeutung urbaner Böden	20
4	Geoökologische Untersuchungsansätze	22
4.1	Geoökosystemansatz	22
4.2	Geoökosystemuntersuchungen in urbanen Räumen	24
4.3	Ansätze zur Stoffhaushaltsmodellierung	25
4.4	Eigener Bilanzierungsansatz	28
5	Untersuchungsgebiete	30
5.1	Hauptuntersuchungsgebiet Halle (Saale)	30
	5.1.1 Naturräumliche Charakterisierung und anthropogene Überprägung	30
	5.1.2 Siedlungsentwicklung	32
5.2	Kontrolluntersuchungsgebiet Lutherstadt Wittenberg	34
	5.2.1 Naturräumliche Charakterisierung und anthropogene Überprägung	34
	5.2.2 Siedlungsentwicklung	36
5.3	Transferuntersuchungsgebiet Stratos/Akarnanien (Westgriechenland)	37
	5.3.1 Naturräumliche Charakterisierung und anthropogene Überprägung	38
	5.3.2 Siedlungsentwicklung	39

6	Datenquellen, Datenerhebung und Arbeitsmethoden	40
6.1	Hauptuntersuchungsgebiet Halle (Saale)	40
6.1.1	(„Fremd“-) Untersuchungen zum aktuellen und historischen Stoffhaushalt	40
6.1.2	Eigene Untersuchungen	41
6.2	Kontrolluntersuchungsgebiet Wittenberg	42
6.3	Transferuntersuchungsgebiet Stratos	43
6.4	Charakterisierung der untersuchten Schadstoffe	43
6.4.1	Schwermetalle als Belastungsstoffe im städtischen Geoökosystem	43
6.4.2	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) als Belastungsstoffe im städtischen Geoökosystem	44
6.4.3	Nährstoffe als Belastungsstoffe im städtischen Geoökosystem	45
6.5	Feldmethoden	45
6.5.1	Bodenkartierungen	45
6.5.2	Bodenwasseruntersuchungen	46
6.5.3	Klimatische und Gewässeruntersuchungen	46
6.5.4	Immissionsuntersuchungen – Exposition von Kontrollböden	46
6.6	Labormethoden	46
6.6.1	Bodenparameter	46
6.6.2	Bodenschwermetallgehalte	47
6.6.3	PAK im Boden	47
6.6.4	Wasseranalytik	48
6.7	GIS-Methoden	48
6.8	Datenbanken	48
6.9	Statistische Methoden	48
6.9.1	Nichtparametrische Korrelation (Spearman)	49
6.9.2	Kruskal-Wallis-Test	49
7	Darstellung und Diskussion der erfassten Daten im Hauptuntersuchungsgebiet Halle	50
7.1	Stadtstrukturtypenkartierung	50
7.1.1	Räumliche Differenzierungsmuster der Stadtstrukturtypen	51
7.1.2	Quantität der Stadtstrukturtypen	52
7.2	Anthropogene Reliefveränderung	54
7.2.1	Gesamtstadt	54
7.2.2	Halle-Neustadt	58
7.3	Bodenverhältnisse in Teiluntersuchungsgebieten exemplarischer Stadtstrukturtypen	58
7.3.1	Geoarchäologische Bodenanalysen auf Grabungen des Landesamtes für Archäologie Sachsen-Anhalt	61
7.3.1.1	Archäologische Grabung „Audimax“ (K1)	63
7.3.1.2	Archäologische Grabung „Stadtcenter“ (K2)	69
7.3.1.3	Archäologische Grabung „Nordost-Ecke Markt“ (K3)	75
7.3.1.4	Zusammenfassung der Ergebnisse der archäologischen Grabungen - Schlussfolgerungen	78
7.3.2	Archivierung und Dokumentation aller Bodenprofile in einer GIS-gestützten Datenbank	79
7.3.3	Weitere Bodenkartierungen im Kerngebiet	80
7.3.3.1	Block Brüderstraße (K4)	80
7.3.3.2	Block Schulstraße (K5)	82
7.3.3.3	Innenhof Neue Residenz (K6) (Domstraße 5)	83
7.3.4	Blockbebauung	84
7.3.4.1	Quartier Paulusviertel	85
7.3.4.2	Quartier Südliche Vorstadt	88
7.3.4.3	Geschlossene Blockrandbebauung Bernhardystr. (B 2)	88
7.3.4.4	Geschl. Blockrandbebauung „Franz-Schubert-Str.“ (B 3)	89
7.3.5	Zeilenbebauung	90

7.3.5.1	Meisenweg (Z1)	90
7.3.5.2	Ernst-Eckstein-Straße (Z2)	92
7.3.5.3	Johannesplatz (Z3)	92
7.3.6	Großwohnsiedlung Halle-Neustadt	94
7.3.6.1	Brahmsbogen (G2)	94
7.3.6.2	Ernst-Barlach-Ring (G3)	96
7.3.6.3	Meisdorfer Straße (G1)	96
7.3.6.4	Haflinger Straße (G4)	97
7.3.7	Ein- u. Zweifamilienhausbebauung	98
7.3.7.1	Büschdorf (EH1)	98
7.3.7.2	Heide-Süd (EH2)	99
7.3.8	Villenbebauung	99
7.3.8.1	Rathenauplatz (V1)	100
7.3.8.2	Mühlweg (V2)	100
7.3.9	Ehemaliger Dorfkern Kröllwitz	102
7.3.10	Park- und Grünanlagen	102
7.3.10.1	Stadtpark (P1)	102
7.3.10.2	Grünanlage Steintor (P2)	103
7.3.11	Kleingartenanlagen, Fallbeispiel „Paul-Riebeck-Stift“	104
7.3.12	Sport-/Freizeitanlage „Kurt-Wabbel-Stadion“	105
7.3.13	Öffentliche Einrichtungen	106
7.3.13.1	Franckesche Stiftungen (Ö1)	106
7.3.13.2	Krankenhaus St. Barbara (Ö2)	107
7.3.14	Einkaufszentren	107
7.3.14.1	Kaufland-Silberhöhe (E1)	107
7.3.14.2	HEP Bruckdorf (E2)	108
7.3.15	Hauptverkehrsstraßen	108
7.3.15.1	Wasserturm Nord (S1)	108
7.3.15.2	Magistrale Halle-Neustadt (S2)	109
7.3.16	Eisenbahnanlagen	109
7.3.16.1	Hauptbahnhof (E1)	109
7.3.16.2	Thüringer Bahnhof (E2)	110
7.4	Singuläre temporäre Bodenprofile	110
7.5	Exponierte Kontrollböden	112
7.6	Bodenmessfelder	112
7.7	Schlussfolgerungen: Anthropogene Bodenveränderungen in Stadtstrukturtypen von Halle	114
8	Darstellung und Diskussion der erfassten Daten im Kontrolluntersuchungsgebiet Wittenberg	120
8.1	Stadtstrukturtypenkartierung	120
8.2	Teiluntersuchungsgebiete in exemplarischen Stadtstrukturtypen – Ergebnisse der Profilaufnahmen	121
8.2.1	Kerngebiet	123
8.2.2	Blockbebauung	123
8.2.3	Zeilenbebauung	125
8.2.4	Großwohnsiedlung	127
8.2.5	Ein- und Zweifamilienhausbebauung	129
8.2.6	Villen	131
8.2.7	Park- und Grünanlagen	132
8.2.8	Hauptverkehrsstraßen	135
8.2.9	Altlastenverdachtsfläche	137
8.3	Exponierte Kontrollböden	138
8.4	Schlussfolgerungen: Anthropogene Bodenveränderungen im Siedlungsgebiet der Lutherstadt Wittenberg	139

9	Vergleich der Untersuchungsergebnisse von Halle und Wittenberg	142
9.1	Reliefveränderung	142
9.2	Natürlichkeitsgrad der Böden	143
9.3	Stoffgehalte der Oberböden	143
9.4	Tiefenverteilungsmuster	144
9.5	Immissionssituation	145
9.6	Schlussfolgerung - Evaluierung der Ergebnisse aus Halle mit denen aus Wittenberg	146
10	Darstellung und Diskussion der erfassten Daten im Transferuntersuchungsgebiet Stratos	147
10.1	Überblick	147
10.2	Geoarchäologische Bodenleitprofile	148
	10.2.1 Theater	149
	10.2.2 Agora	152
10.3	Rasterbeprobungen oberflächennaher Horizonte	157
10.4	Schlussfolgerungen	159
11	Ansätze zur Stoffhaushaltsbilanzierung und geoökologischen Bodenklassifizierung	160
11.1	Bilanzierungen zum historischen und aktuellen Stoffhaushalt urbaner Böden	160
11.2	Szenario zur perspektivischen Entwicklung der Bodenveränderung in Halle	161
11.3	Geoökologische Klassifizierung der Urbanen Bodenlandschaften	161
12	Fazit und Ausblick	164
	Literatur	
	Anhang	

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Differenzierung von Stadtstrukturtypen (in Anlehnung an BREUSTE, WÄCHTER & BAUER 2001)	09
Tab. 2: Charakterisierung urbaner Böden	13
Tab. 3: Stoffe/Stoffgruppen, die für Bodenbelastungen eine besondere Bedeutung besitzen	14
Tab. 4: Ursachen und Eintragsformen von Schadstoffen in urbane Böden	18
Tab. 5: Bodenfunktionen nach dem Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG 1998)	21
Tab. 6: Datenerhebung und -recherchen zum aktuellen und historischen Stoffhaushalt	41
Tab. 7: Geländeinstrumentierungen	41
Tab. 8: Datenerfassung und -recherchen zum historischen und aktuellen Stoffhaushalt in Stratos	43
Tab. 9: Untersuchte Systemparameter und ihre geoökologische Bedeutung	43
Tab. 10: Flächenanteile der Stadtstrukturtypen an der Gesamtstadtfläche (in %)	52
Tab. 11: Vergleich der Stadtstrukturtypen mit der Kartierung des ARTEN- UND BIOTOPSCHUTZPROGRAMMS (1998) (Auswahl)	53
Tab. 12: Klassifizierte Flächenanteile der Reliefveränderung in Halle (berechnet nach KRUG 2002)	55
Tab. 13: Klassifizierte Flächenanteile der Reliefveränderung in Halle-Neustadt	58
Tab. 14: Teiluntersuchungsgebiete in Halle, in welchen detaillierte Bodenaufnahmen durchgeführt wurden	59
Tab. 15: Weitere Testgebiete in Halle	59
Tab. 16: Befund-Charakterisierung und Eingrenzung der Datierung der beprobten Horizonte der Grabung „Audimax“	65
Tab. 17: Befund-Charakterisierung und Eingrenzung der Datierung der beprobten Horizonte der Grabung „Stadtcenter“	71
Tab. 18: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten Profile K4	82
Tab. 19: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten Johannesplatz (12 Bodenprofile / 68 Bohrstockprofile)	93
Tab. 20: Zuordnung der aufgenommenen temporären Bodenprofile zu Stadtstrukturtypen und Teiluntersuchungsgebiet	111
Tab. 21: Prä-urbane Bodentypen, anthropogene Reliefveränderung und Natürlichkeitsgrad der Böden der Teiluntersuchungsgebiete	115
Tab. 22: Stadtstrukturtypbezogene Charakterisierung der Bodenveränderung	116
Tab. 23: Anzahl der für die statistischen Berechnungen verwendeten Ah-Horizonte (Leitprofile plus temporäre Bodenprofile)	117
Tab. 24: Teiluntersuchungsgebiete in Wittenberg	123
Tab. 25: Mittelwert und Relative Standardabweichung für Bodenparameter und Schwermetalle der Oberbodenproben im Kerngebiet Wittenberg (n=17)	123
Tab. 26: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 1 (6 Bodenprofile)	125
Tab. 27: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 8 (4 Bodenprofile)	127
Tab. 28: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 2 (6 Bodenprofile)	128
Tab. 29: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 4 (6 Bodenprofile)	130
Tab. 30: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 7 (6 Bodenprofile)	132
Tab. 31: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 9 (4 Bodenprofile)	133
Tab. 32: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 10 (5 Bodenprofile)	135
Tab. 33: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 6 (4 Bodenprofile)	137

Tab. 34: Profilüberprägung in Wittenberg, differenziert nach Stadtstrukturtypenzuordnung	139
Tab. 35: Reliefveränderungen in vergleichbaren Stadtstrukturtypen in Halle und Wittenberg	142
Tab. 36: Natürlichkeitsgrad der Böden in vergleichbaren Stadtstrukturtypen in Halle und Wittenberg	143
Tab. 37: Rangfolge (absteigend) der Mean Ranks des Kruskal-Wallis-Test in Halle und Wittenberg	144
Tab. 38: Zeitliche Stellung der untersuchten Horizonte/archäologischen Schichten der Profile „Stratos 1“ und „Stratos 2“ am Theater	150
Tab. 39: Zeitliche Stellung der untersuchten Horizonte/archäologischen Schichten der Profile „Stratos 3“ bis „Stratos 6“ auf der Agora	152
Tab. 40: Charakterisierung einiger der untersuchten „Urbanen Bodentypen“ in Halle und Wittenberg	163

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Methodologische Charakterisierung der Untersuchungsgebiete	2
Abb. 2: Input und Output Urbaner Geoökosysteme	6
Abb. 3: Modellvorstellung eines Städtischen Ökosystems (in Anlehnung an PIETSCH & KAMIETH 1991)	6
Abb. 4: Ökosystemkompartiment Boden	10
Abb. 5: Stoffflüsse im Geoöko-Subsystem Boden	11
Abb. 6: Böden als Belastungsquelle für den Menschen	15
Abb. 7: Auswirkungen der Bodenversiegelung auf den Wasserhaushalt	17
Abb. 8: Modellvorstellung des Regionales Kreislaufs (nach BACCINI & BADER 1996, verändert)	22
Abb. 9: „Quelle-Pfad-Senke“-Ansatz	22
Abb. 10: Geosystemansatz nach BLUMENSTEIN et al. 2000, verändert	23
Abb. 11: Bilanzierungsansatz (in Anlehnung an BACCINI & BADER 1996, stark verändert)	23
Abb. 12: Grundsätzliches Vorgehen bei der Modellbildung (in Anlehnung an MÜLLER 1998)	26
Abb. 13: Fluss-Modell	28
Abb. 14: Zeitliche Komponenten des Untersuchungsansatzes	28
Abb. 15: Eigener Bilanzierungsansatz	29
Abb. 16: Lage des Transferuntersuchungsgebietes in Griechenland	38
Abb. 17: Lage der Standorte zur Untersuchung des aktuellen Stoffhaushaltes im Hauptuntersuchungsgebiet Halle	42
Abb. 18: Geländeinstrumentierung der Bodenmessfelder (idealisiert)	46
Abb. 19: Geoökologische Stadtstrukturtypenkartierung Halle (Saale) (SAUERWEIN & FORNACON 2002)	51
Abb. 20: Anteil der Hauptstrukturtypen an der Gesamtfläche der Stadt Halle (in %)	53
Abb. 21: Anteile der Strukturtypen der Wohnflächen	54
Abb. 22: Mittlere Auffüllmächtigkeit Hallescher Stadtviertel (nach KRUG 2002, verändert)	56
Abb. 23: Intensität der anthropogenen Überprägung von Relief und Boden Hallescher Stadtviertel (nach KRUG 2002, verändert)	57
Abb. 24: Lage der Teiluntersuchungsgebiete und Testgebiete in Halle (mit Ausnahme der archäologischen Grabungen)	61
Abb. 25: Lage der archäologischen Grabungen	63
Abb. 26: Lage der geoarchäologischen Profile der Grabung „Audimax“	64
Abb. 27: Geoarchäologische Profile „Audimax 1“ und „Audimax 2“	65
Abb. 28: Tiefenverteilungen von Schwermetallen (Gesamtgehalte) und pedologischen Parametern der Profile „Audimax 8“ und „Audimax 9“	66

Abb. 29: Tiefenverteilungen von Schwermetallen und pedologischen Parametern der Profile „Audimax 1“ und „Audimax 2“	67
Abb. 30: Tiefenverteilungen von Schwermetallen eines „chronologischen Profils“ der Grabung „Audimax“	68
Abb. 31: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=22) der Grabung „Audimax“	68
Abb. 32: Lage der geoarchäologischen Profile der Grabung „Stadtcenter“	69
Abb. 33: Geoarchäologisches Profil „Stadtcenter A“	70
Abb. 34: Geoarchäologisches Profil „Stadtcenter G“	70
Abb. 35: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile „Stadtcenter A“, „Stadtcenter B“, „Stadtcenter C“, „Stadtcenter G“ und „Stadtcenter H“	72
Abb. 36: Tiefenverteilungen von pedologischen Parametern der Profile „Stadtcenter A“, „Stadtcenter B“, „Stadtcenter C“, „Stadtcenter G“ und „Stadtcenter H“	72
Abb. 37: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=32) der Grabung „Stadtcenter“	73
Abb. 38: Tiefenverteilungen von Schwermetallen eines „chronologischen Profils“ der Grabung „Stadtcenter“	74
Abb. 39: Geoarchäologische Profile und Lage der Beprobungshorizonte „NO-Ecke Markt 1“ und „NO-Ecke Markt 2“	75
Abb. 40: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile „Marktplatz 29-36“ und „Marktplatz 23-27“	75
Abb. 41: Tiefenverteilungen von pedologischen Parametern der Profile „Marktplatz 29-36“ und „Marktplatz 23-27“	76
Abb. 42: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=135) von Schwermetallgehalten der Grabung „Nordost-Ecke Markt“	76
Abb. 43: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=135) von Schwermetallgehalten und pedologischen Parametern der Grabung „Nordost-Ecke Markt“	77
Abb. 44: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=135) von pedologischen Parametern der Grabung „Nordost-Ecke Markt“	77
Abb. 45: „Bildschirm-Anblick“ einer Abfrage des ArcView-Projektes	79
Abb. 46: Lage von Teiluntersuchungsgebieten in der Kernstadt	80
Abb. 47: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks „Brüderstraße“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile	81
Abb. 48: Dokumentation der durch die Profile K4-1 und K4-2 repräsentierten Fläche und des Profils K4-1 im Block „Brüderstraße“	81
Abb. 49: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks „Schulstraße“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile	82
Abb. 50: Dokumentation der durch das Profil K5-1 repräsentierten Fläche und des Profils K5-1 im Block „Schulstraße“	83
Abb. 51: Luftbildaufnahme vom Teiluntersuchungsgebiet „Innenhof Neue Residenz“ und Bodenprofilaufnahme („Dom3“)	83
Abb. 52: Kartierung der Oberflächenart „Innenhof Neue Residenz“ und Lage der Bodenprofile	84
Abb. 53: Nachgewiesene holozäne Auensedimente, vermutliches Verbreitungsgebiet von Ablagerungen und vermuteter Verlauf der Faulen Witschke (aus HECKNER et al. 2001)	85
Abb. 54: Baugrundgeologisches Modell Halle/Paulusviertel - Auffüllemächtigkeiten, Ausschnitt (aus HECKNER et al. 2001)	86
Abb. 55: Luftbild vom Teiluntersuchungsgebiet „Paulusviertel“	86
Abb. 56: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks B1 „Goethestraße“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile	87
Abb. 57: Dokumentation des Profils B1-2 im Block „Goethestraße“	87
Abb. 58: Luftbild vom Teiluntersuchungsgebiet „Südliche Stadterweiterung“ mit Untersuchungsgebieten „Bernhardystraße“ (B2) und „Johannesplatz“ (Z3)	88
Abb. 59: Dokumentation der Profile B 2-2 (Innenhof) und B 2-4 (Vorgarten)	89
Abb. 60: Dokumentation des Profils B 3-1	89

Abb. 61: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks Z1 „Meisenweg“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile	90
Abb. 62: Dokumentation und Schwermetalltiefenverteilung von Profil Z1-3 im „Meisenweg“	91
Abb. 63: Dokumentation der Testfläche von Profil Z1-3 und Benzo(a)pyrentiefenverteilung	91
Abb. 64: Dokumentation des Profils Z2-1 im Block „Ernst-Eckstein-Straße“	92
Abb. 65: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks Z3 „Johannesplatz“ und Lage der Bodenprofile	93
Abb. 66: Fotodokumentation Untersuchungsgebiet „Johannesplatz“ (Z3) und generalisiertes Profil des Bodenaufbaus	93
Abb. 67: Dokumentation Profil G2-2 im Block „Brahmsbogen“	95
Abb. 68: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks G2 „Brahmsbogen“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile	95
Abb. 69: Dokumentation Profil G3-3 im Block „Ernst-Barlach-Ring“	96
Abb. 70: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks G1 „Meisdorfer Straße“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile	97
Abb. 71: Dokumentation Profil G1-1 im Block „Meisdorfer Straße“	97
Abb. 72: Dokumentation Profil G4-2 im Block „Haflinger Straße“	98
Abb. 73: Dokumentation eines temporären Bodenprofils im Testgebiet „Büschdorf“ (Schmetterlingsweg)	99
Abb. 74: Dokumentation eines temporären Bodenprofils im Testgebiet „Heide-Süd“ (Braunlager Str.)	99
Abb. 75: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks V1 „Rathenauplatz“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile	100
Abb. 76: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks V2 „Mühlweg“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile	101
Abb. 77: Dokumentation der Lage der Profile V2-1 und V2-2 im Block „Mühlweg“	101
Abb. 78: Luftbild vom Teiluntersuchungsgebiet „Kröllwitz“ und Detailaufnahme	102
Abb. 79: Fotodokumentation und Profil P1 im östlichen Teil des „Stadtparcs“	103
Abb. 80: Fotodokumentation und Profil P2 der Grünanlage am „Steintor“	103
Abb. 81: Luftbild vom Testgebiet „Kleingartenanlage Am Paul-Riebeck-Stift“	104
Abb. 82: Luftbild vom Teiluntersuchungsgebiet „Kurt-Wabbel-Stadion“ und Lage der Bodenprofile (S1)	105
Abb. 83: Teiluntersuchungsgebiet „Franckesche Stiftungen“ mit Lage der Bodenprofile Ö1	106
Abb. 84: Luftbild und Detailaufnahme (Profil E1-1) vom Testgebiet „Kaufland- Silberhöhe“	107
Abb. 85: Luftbild vom Testgebiet „Wasserturm Nord“ mit Profil S1-1	108
Abb. 86: Luftbild vom Testgebiet „Magistrale“ und Profil S2-1	109
Abb. 87: Luftbild vom Testgebiet „Hauptbahnhof“	110
Abb. 88: Anreicherungsdaten von Schwermetallen in den exponierten Kontrollböden differenziert nach Stadtstrukturtypen	112
Abb. 89: Bodenmessfeld „Silberhöhe“ (Aufnahme: St. Koch)	113
Abb. 90: Hierarchische Clusteranalyse der Oberböden	117
Abb. 91: Kruskal-Wallis-Test: Mean Ranks für Blei, Kupfer und Zink in den Ah-Horizonten in Abhängigkeit vom Stadtstrukturtyp	118
Abb. 92: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=188) von Schwermetallen der Oberböden	118
Abb. 93: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=188) von Schwermetallgehalten und pedologischen Parametern der Oberböden	119
Abb. 94: Luftbild Zentrum Lutherstadt Wittenberg	120
Abb. 95: Flächenanteile der Stadtstrukturtypen in Wittenberg an der Wohnbaufläche in %	121
Abb. 96: Lage der Teiluntersuchungsgebiete in Wittenberg	122
Abb. 97: Lage der Leitprofile WB 1 (Blockbebauung)	124

Abb. 98: Dokumentation Leitprofil WB 1A	124
Abb. 99: Tiefenverteilungen von Schwermetallgesamtgehalten der Profile WB 1	125
Abb. 100: Luftbild Werkssiedlung Piesteritz	125
Abb. 101: Lage der Leitprofile WB 8 (Zeilenbebauung)	126
Abb. 102: Dokumentation Leitprofil WB 8A	126
Abb. 103: Tiefenverteilungen von Schwermetallgesamtgehalten der Profile WB 8	127
Abb. 104: Lage der Leitprofile WB 2	128
Abb. 105: Dokumentation Leitprofil WB 2A	128
Abb. 106: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile WB 2	129
Abb. 107: Lage der Leitprofile WB 4	129
Abb. 108: Dokumentation Leitprofil WB 4A	130
Abb. 109: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile WB 4	130
Abb. 110: Lage der Leitprofile WB 7	131
Abb. 111: Dokumentation Leitprofil WB 7A	132
Abb. 112: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile WB 7	132
Abb. 113: Lage der Leitprofile WB 9	133
Abb. 114: Dokumentation Leitprofil WB 9B	134
Abb. 115: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile WB 9	134
Abb. 116: Lage der Leitprofile WB 10	134
Abb. 117: Dokumentation Leitprofil WB 10A	135
Abb. 118: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile WB 10	135
Abb. 119: Lage der Leitprofile WB 6	136
Abb. 120: Dokumentation Leitprofil WB 6B	136
Abb. 121: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile WB 6	137
Abb. 122: Lage der Leitprofile WB 5	138
Abb. 123: Anreicherungsraten von Schwermetallen in den exponierten Kontrollböden, differenziert nach Stadtstrukturtypen	138
Abb. 124: Hierarchische Clusteranalyse der Oberböden (Blei, Zink, Kupfer)	140
Abb. 125: Kruskal-Wallis-Test für Blei, Zink und Kupfer in den Oberböden in Wittenberg, bezogen auf die Stadtstrukturzuordnung	141
Abb. 126: Vergleich der Hierarchischen Clusteranalyse der Oberböden	144
Abb. 127: Vergleich der Anreicherungsrate von Schwermetallen in den exponierten Kontrollböden differenziert nach Stadtstrukturtypen	145
Abb. 128: Antikes Stadtgebiet von Stratos mit Lage nachgewiesener Bebauungsstrukturen (aus SCHWANDNER 2001, verändert)	147
Abb. 129: Antikes Stadtzentrum von Stratos mit Lage der Bodenleitprofile (aus SCHWANDNER 2001, verändert)	149
Abb. 130: Blick auf das Theater von Osten während der Ausgrabungskampagne 1994 (unter dem Zelt im linken Bildvordergrund Profil „Stratos 2“)	149
Abb. 131: Leitprofil „Stratos 1“ (links) und Leitprofil „Stratos 2“ (rechts)	150
Abb. 132: Tiefenverteilung von pH-Wert, Anteil an organischer Substanz und Phosphatgehalt im Leitprofil „Stratos 1“	151
Abb. 133: Tiefenverteilung von Blei, Zink und Kupfer (Gesamtgehalte in mg/kg) im Leitprofil „Stratos 1“	151
Abb. 134: Tiefenverteilung von pH-Wert und Anteil an organischer Substanz im Leitprofil „Stratos 2“	152
Abb. 135: Tiefenverteilung von Blei, Zink und Kupfer (Gesamtgehalte in mg/kg) im Leitprofil „Stratos 2“	152
Abb. 136: Tiefenverteilung von pH-Wert, Anteil an organischer Substanz und Phosphatgehalt im Leitprofil „Stratos 3“	153
Abb. 137: Tiefenverteilung von Blei, Zink und Kupfer (Gesamtgehalte in mg/kg) im Leitprofil „Stratos 3“	153
Abb. 138: Tiefenverteilung von pH-Wert, Anteil an organischer Substanz und Phosphatgehalt im Leitprofil „Stratos 4“	153
Abb. 139: Tiefenverteilung von Blei, Zink und Kupfer (Gesamtgehalte in mg/kg) im Leitprofil „Stratos 4“	153

Abb. 140: Tiefenverteilung von pH-Wert und Anteil an organischer Substanz im Leitprofil „Stratos 5“	154
Abb. 141: Tiefenverteilung von Blei, Zink und Kupfer (Gesamtgehalte in mg/kg) im Leitprofil „Stratos 5“	154
Abb. 142: Leitprofil „Stratos 6“	155
Abb. 143: Tiefenverteilung von pH-Wert und Anteil an organischer Substanz im Leitprofil „Stratos 6“	155
Abb. 144: Tiefenverteilung von Blei, Zink und Kupfer (Gesamtgehalte in mg/kg) im Leitprofil „Stratos 6“	156
Abb. 145: Korrelation der Schwermetallgehalte der untersuchten Leitprofile (N=32)	156
Abb. 146: Hierarchische Clusteranalyse der Parameter/Stoffgehalte der Leitprofile, bezogen auf die Horizonte	157
Abb. 147: Gehalte der Mischproben der Rasterbeprobung, bezogen auf das Maximum pro Parameter	158
Abb. 148: Kruskal-Wallis-Test für Blei, Zink und Kupfer in den Oberböden in den Einzelproben der Rasterbeprobung	158
Abb. 149: Berechnete mittlere Rangfolgen des Kruskal-Wallis-Tests für Blei, Kupfer und Phosphat in den Oberböden der Rasterbeprobung	159
Abb. 150: Ansatz zur Klassifizierung Urbaner Bodenlandschaften	162
Abb. 151: Bodenschutz im Spannungsfeld von Bodenbelastungen, Bodenbewusstsein und gesetzlichen Rahmenbedingungen	166
Abb. 152: Komponenten eines Umweltinformationssystems (in Anlehnung an MÜLLER 1998, verändert)	167

Zusammenfassung

Durch anthropogene Eingriffe jedweder Art werden Geoökosysteme verändert. Dies gilt hinsichtlich der **Art** und hinsichtlich des **Zeitpunktes** bzw. der **Dauer der Eingriffe**. Das Ausmaß anthropogener Eingriffe in eine Naturlandschaft lässt sich nur schwer abschätzen, denn die jeweiligen Folgen für das Ökosystem sind durch deren komplexes Wirkungsgefüge i.d.R. nicht einfach nachvollziehbar und erklärbar.

Das Handeln und Wirken der Menschen brachte neue Geoökosystemtypen hervor wie Agrarökosysteme, Forstökosysteme oder **Siedlungsökosysteme**. Die letztgenannten sind dadurch gekennzeichnet, sich in nahezu allen Ökosystemeigenschaften – beschrieben durch Energie-, Stoff- und Wasserhaushalt – von den übrigen Geoökosystemen zu unterscheiden. Besonders in den urbanen Landschaften hat dies dazu geführt, dass diese **fremdgesteuerte, nicht selbstregulationsfähige Systeme** sind, deren „Lebensfähigkeit“ nur den anthropozentrischen Eingriffen zu schulden ist.

So sind **urbane Landschaften** neben den spezifischen Ausprägungen der städtischen Hydro-, Atmo- und Biosphäre durch die besondere **Veränderung der Pedosphäre als Folge des Flächenverbrauchs** gekennzeichnet. Die siedlungsbeeinflussten Böden und die Veränderung des Stoffhaushaltes stehen im Mittelpunkt der vorgelegten Arbeit. Die Betrachtung erfolgt mittels des **geoökologischen Untersuchungsansatzes**, demnach **Böden** als Ökosystemkompartiment nicht nur eine **Stoffsenke** darstellen, sondern gleichzeitig ein Umweltkompartiment der **Metamorphose** sind und unter bestimmten pedologischen Rahmenbedingungen auch zur **Stoffquelle** werden. Dabei lassen sich die anthropogenen Veränderungen der Böden und ihre Auswirkungen in **zwei Betrachtungsebenen** unterscheiden: zum einen hinsichtlich der **räumlichen Verteilung** und zum anderen hinsichtlich des **Profilaufbaus**.

„Urbane Bodenlandschaften“

In den bodengeographischen und bodenkundlichen Lehrbüchern wird die **urbane Pedosphäre** i.d.R. nur durch ihre **horizontale wie vertikale hohe Heterogenität** gekennzeichnet. Demgegenüber wird in der vorgelegten Arbeit gezeigt, dass sie über **regelmäßige Muster** verfügt, also nicht das Resultat von anthropogenem „Chaos“ ist. Unter Bezugnahme auf den **Stadtstrukturtypenansatz** werden sich räumlich unterscheidbare (bzgl. des Stoffhaushaltes auch statistisch nachweisbar) **„Urbane Bodenlandschaften“** definiert.

Generalisierenden Aussagen zu Eigenschaften und zur Genese urbaner Böden

Anhand einer Vielzahl von Bodenprofilen wird vorgestellt, in welcher Art und Weise **anthropogene Veränderungen** auf die **prä-urbanen** Böden wirkten. Diese Veränderungen können mittels der urbanen Bodenlandschaften typisiert werden. **Veränderungen** der urbanen Böden können erfolgen hinsichtlich des **Stoffbestandes** (durch Feststoffaufträge, Stoffeinträge, Schadstofftransfer, Humusbildung und Grundwasserabsenkung), des **Stoffaustausches** zwischen den Sphären, der **Überprägung natürlicher Merkmals- und Prozessstrukturen**, des **Zeitraumes** ihrer Bildung und der **Häufigkeit des Flächennutzungswandels** und dadurch der **Veränderung der Speicher- und Transferfunktionen** der Böden für Schadstoffe.

Methodische Ansätze

Im **Hauptuntersuchungsgebiet Halle** erfolgt die Kartierung und Datenerfassung von historischem und aktuellem Stoffhaushalt und darauf aufbauend die **Entwicklung des Modellansatzes** der urbanen Bodenlandschaften. Im **Kontrolluntersuchungsgebiet Wittenberg** wird nach der Kartierung und Datenerfassung von historischem und aktuellem Stoffhaushalt der **Modellansatz evaluiert**. Im **Transferuntersuchungsgebiet Stratos** (Nordwestgriechenland) wird nach der Erfassung des historischen Stoffhaushaltes der **Modellansatz** (bzgl. des historischen Stoffhaushaltes) auf einen vollkommen anderen Klimaraum **übertragen**. Als **Indikatoren** für den Nachweis von Art und Intensität der anthropogenen Veränderung eignen sich Schwermetalle und PAK. **Zur Datenhaltung und Datenverarbeitung wurde für das Hauptuntersuchungsgebiet Halle ein Access-Datenbanksystem entwickelt, in welchem alle erhobenen Daten (Gelände und Labor) erfasst werden. Über die Kopplung an ArcView ist auf Grundlage der Digitalen Stadtkarte eine räumliche Visualisierung möglich und es besteht die Möglichkeit räumlich-inhaltlicher Abfragen.**

Ansätze zur Bilanzierung des Stoffhaushalts siedlungsbeeinflusster Böden

Neben der Erfassung der aktuellen Bodenverbreitung und den Stoffhaushaltseigenschaften der untersuchten Böden werden Ansätze zur Stoffhaushaltsbilanzierung vorgestellt. Dafür ist die Erfassung von

Input- und Output-Raten besonders bedeutsam. Dies wird mit Hilfe der **Exposition von Kontrollböden** für den atmogenen Eintragspfad und durch **Bodensickerwassermessungen** für diesen Austragspfad erläutert.

Ableitung einer geökologischen Klassifizierung siedlungsbeeinflusster Böden

Die Aufnahme und Bewertung konkreter Böden bzw. Bodenflächen sollte eingebettet werden in ein Konzept, das **typologisch** und **ökosystemorientiert** die Ausprägung der Böden bzw. **Bodeneigenschaften** und **Bodenfunktionen** erfasst. Dazu wird eine Bodentypisierung vorgenommen, welche die Besonderheiten der städtischen Veränderungen der (ehemals) prä-urbanen Böden berücksichtigt. Von entscheidender Bedeutung sind dabei die „**urbanen**“ **Randbedingungen** (Geschichte und Nutzung), erfasst durch den **Stadtstrukturtyp**, die **lokalen Standorteigenschaften** (Profilaufbau, Natürlichkeitsgrad), erfasst durch die Tiefenverteilungen, sowie die **lokale „Belastung“** (historischer und aktueller Input und Output), erfasst durch eine Stoffhaushaltsbetrachtung. Daraus resultiert die **Charakterisierung der Urbanen Böden**, welche **Urbane Bodenlandschaften** unterschiedlicher Ausprägung repräsentieren.

Abschließend werden Überlegungen zur **perspektivischen Entwicklung und Veränderung der siedlungsbeeinflussten Böden** vorgestellt und Ansätze bzw. Rahmenbedingungen für die Einbindung der Ergebnisse in ein **kommunales Bodenschutzkonzept**.

Summary

Anthropogenic activities are changing geoecosystems. This is taking place by the **kind of the activities** and by the **time** resp. the **duration**. It is not easy to appreciate the extent of anthropogenic activities in a natural landscape, because the results for the ecosystem are on the basis of the complexity not common explainable.

The human activities affords new types of ecosystems like Agrarian, Forest or **Settlement ecosystems**. Specially the urban ecosystems differ from the other ecosystems in the energy budget, substance and water balance. These ecosystems are constructed systems and need the **anthropocentric interventions** for their "survival".

As a result **urban landscapes** are marked by the special development of the hydro, atmo- and biosphere and the **change of the pedosphere** in consequence of the **surface consumption**. The publication is focussed on the soils in settlements and the change of their substance budget. In the **geocological perception** soils are a part of the ecosystem and so they could be a substance **sink** as well as a **environmental metamorphosis** and a substance **source**. It is possible to differentiate two levels of consideration: the **spatial distribution** and the **soil profile structure**.

„Urban Soil Landscapes“

In the literature the urban pedosphere mostly is characterized only by their high **horizontal and vertical heterogeneity**. On the other hand this publication will demonstrate, that urban soils can be described by **regular patterns**, so they are not the result of anthropogenic "chaos". Based on the approach of **urban structural units "Urban Soil Landscapes"** are defined, which are (statistically) distinguishable.

Generalized conclusions about the properties and the genesis of urban soils

By means of many soil profiles it is shown, in which kind the **anthropogenic modification** affected the "**pre-urban**" soils. It is possible to type these modifications by the urban soil landscapes. The **modifications** can occur concerning the **substance inventory**, the **substance transposition**, the **change of natural attributes and processual structures**, the **duration** of their generation, the **frequency** of the surface use change and thereby the change of the **storehouse and controller functions** of the **soils** mainly for pollutants.

Methodical approaches

The mapping and collection of data of the historical and actual substance balance occur in the **main research area of Halle** and thereupon the **development of the modelling approach**. This modelling approach will be **evaluated** with the data of the **control research area of Wittenberg**. The historical components of the modelling approach are **assigned** to the **transfer research area Stratos (North Greece)**, which is characterized by other climate conditions. Usable **Indicators** are **heavy metals** and **PAH**.

The **data management** is realized with a **Access-database**. The **linking** to the **GIS ArcView** enables a **spatial visualisation** and the possibility of spatial and textual queries.

Approaches to make up the balance of the substance budget of soils in settlements

In addition to the compilation of the soil distribution and characteristics approaches to make up the balance are presented. Therefor the **recordation of input- and output-rates** is very momentous. This is explained with the **exposition of control soils** for the atmo-genous entry path and with **measurements of soil leachate** for the discharge path.

Deduction of a geocological classification of soils in settlements

The **admission and validation** of soils/surfaces should be incorporated into a **concept**, which records the **properties** and the **functions of the soils**. Therefor a typing is undertaken, which is considering the characteristics of the change of the pre-urban soils. These are mainly the **urban constraints** (history and use), detected by the **urban structural unit**, the **local site conditions** (soil profile structure, "degree of naturalness") and the **local "pollution"** (historical and actual input). The outcome of this is the **characterisation of Urban Soils**, which are representing the **Urban Landscapes**. Closing considerations about the **perspectively evolution of the soils in settlements** are presented and approaches for the use of the results in a **soil protection concept**.

1 Problemstellungen – Zielsetzungen – Methodologisches Vorgehen

1.1 Problemstellungen und allgemeine Zielsetzungen

Durch **anthropogene Eingriffe** jedweder Art werden **Geoökosysteme** verändert. Dies gilt hinsichtlich der **Art**, hinsichtlich der **Intensität** und hinsichtlich des **Zeitpunktes** bzw. der **Dauer der Eingriffe**. Das Ausmaß anthropogener Eingriffe in eine Naturlandschaft lässt sich nur schwer abschätzen, denn die jeweiligen Folgen für das Ökosystem sind durch deren **komplexes Wirkungsgefüge** i.d.R. nicht einfach - und schon gar nicht monokausal - nachvollziehbar und erklärbar (HABER 1999, 1992).

In nahezu ganz Europa erfolgte die Umwandlung der **Naturlandschaft** in eine **Kulturlandschaft**. Dies geschah sowohl räumlich als auch zeitlich unterschiedlich und mehr oder weniger intensiv, so dass die heutige Landschaften vielerorts nicht nachhaltiges Resultat der ökosystemaren Antwort auf anthropogene Eingriffe sind (BORK et al. 1998, JÄGER 1997).

Das Handeln und Wirken der Menschen brachte neue Geoökosystemtypen hervor wie Agrarökosysteme, Forstökosysteme oder **Siedlungsökosysteme**. Die letztgenannten sind dadurch gekennzeichnet, sich in nahezu allen Ökosystemeigenschaften – beschrieben durch Energie-, Stoff- und Wasserhaushalt – von den übrigen Geoökosystemen zu unterscheiden. Besonders in **urbanen Landschaften** hat dies dazu geführt, dass diese **fremdgesteuerte, nicht selbstregulationsfähige Systeme** sind, deren „Lebensfähigkeit“ nur den anthropozentrischen Eingriffen zu schulden ist (MEURER 1997). (Dennoch) verfügen auch urbane Landschaften über einen **Geoökosystemaufbau**, wenngleich sich dieser immens von dem natürlicher oder naturnaher Systeme unterscheidet. So sind urbane Landschaften neben den spezifischen Ausprägungen der städtischen Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre durch besondere Veränderungen der **Pedosphäre** als Folge des **Flächenverbrauchs** gekennzeichnet (KAMIETH 1995, PIETSCH & KAMIETH 1991). Ein Merkmal mit Indikatorfunktion ist dabei die **Versiegelung**, die ihrerseits als komplexe ökologische Kenngröße wichtige Informationen über systeminterne Stoffflüsse und Stoffbilanzen liefert. (KRAUSE 1988). Allgemein erfolgte und erfolgt in der stadtoökologischen Forschung i.d.R. die Betrachtung der Kompartimente (CRAUL 1999, BREUSTE et al. 1998, SUKOPP & WITTIG 1998, SCHMIDT-EICHSTAEDT 1996). Den Böden wurde lange Zeit nur eine geringe Bedeutung zugeschrieben, wurden sie hauptsächlich als Baugrund verstanden und weniger aus ökologischer oder geoökologischer Sicht beachtet. Erst die Stadtbodenkartierungen und die daran gekoppelten methodischen Diskussionen um die Kartierung und Klassifizierung von Stadtböden (BURGHARDT 2002, SCHRAPS et al. 2000, HILLER & BURGHARDT 1997, AK STADTBÖDEN 1997a, 1997b, 1996, BURGHARDT 1995) führten zu Innovationen. Aus Sicht des Autors gibt es allerdings bis dato kein Konzept, welches die Einbindung der Siedlungsböden in das urbane Ökosystem adäquat berücksichtigt. Die urbane bzw. siedlungsbeeinflusste Pedosphäre soll deshalb in der vorliegenden Arbeit an exemplarischen Beispielen dahingehend diskutiert werden, welche „Rolle“ sie im Stadtoökosystem spielt. Mittels des **geoökologischen Untersuchungsansatzes** – Böden wirken im allgemeinen nicht nur als Stoffsenke, sondern sind gleichzeitig ein Ökosystemkompartiment der Metamorphose und unter bestimmten pedologischen Rahmenbedingungen auch Stoffquelle – stehen dabei insbesondere **Stoffhaushaltsbetrachtungen** im Mittelpunkt.

In bodengeographischen und bodenkundlichen Lehrbüchern wird die urbane Pedosphäre i.d.R. nur durch ihre horizontal sowie vertikal hohe **Heterogenität** gekennzeichnet (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002, EITEL 2001, CRAUL 1999, BLUME 1997, KUNTZE, ROESCHMANN & SCHWERDTFEGER 1994, BLUME 1992). Ob sie über **regelmäßige Muster** verfügt, also doch nicht das Resultat von anthropogenem „Chaos“ ist, soll diskutiert werden.

Für die vorliegende Arbeit lassen sich aus den angesprochenen Problemen bzw. anthropogenen Veränderungen mit Fokus auf den **Stoffhaushalt** folgende **allgemeine Zielsetzungen** bzw. Fragestellungen bei der Betrachtung der **urbanen Pedosphäre** ableiten:

- Gibt es regelmäßige **Muster der räumlichen Verteilung** von städtischen Böden?
- Welche prinzipiellen **Eigenschaften** haben dabei siedlungsbeeinflusste Böden unter dem Aspekt ihrer Senken-, Quellen- und Metamorphosefunktion?
- Welche generalisierenden Aussagen lassen sich zur **Genese** urbaner Böden im Hinblick auf stadteigene („autochthone“) und importierte („allochthone“) Stoffe bzw. Substanzen ableiten?
- Welche **Funktionen** haben Böden im urbanen Geoökosystem und welche **Bedeutung** kommt ihnen dabei zu?
- Lässt sich eine **geoökologische Klassifizierung** urbaner Böden - die nicht konträr zu den aktuellen bodenkundlichen Klassifizierungen ist - ableiten?

- Wie ist die **Bilanzierung des aktuellen und historischen Stoffhaushalts** siedlungsbeeinflussteter Böden möglich?

Urbane Landschaften werden dabei als gestörte bzw. **überprägte Landschaften** verstanden. Dass deren Stoffhaushalt extrem verändert wurde, ist seit den Untersuchungen zu Brüssel (DUVIGNEAUD 1974) hinreichend bekannt bzw. Gegenstand auch jüngerer Forschungsansätze (BACCINI & BADER 1996). Entscheidend für das geökosystemare Verständnis (europäischer) Städte sind neben der Erfassung des Status quo auch die historische Betrachtung z.B. des **Bodenverbrauchs**. Als geoökologische Steuergröße spielt dabei die **Versiegelung** eine bedeutsame Rolle, insbesondere bei der Beeinflussung der **Bodenfunktionen** (SCHMIDT 2002, WESSOLEK 2001, MÜNCHOW 1999, BREUSTE et al. 1996).

1.2 Methodologisches Vorgehen

Der **regionale Schwerpunkt** der Untersuchungen liegt im Stadtgebiet von **Halle (Saale)**. Der (heimatliche) Universitätsstandort ist das Hauptuntersuchungsgebiet, für welches alle im vorigen Abschnitt gestellten Zielsetzungen/Fragen diskutiert werden. Dieser urbane Raum steht als **Modellstadt** für eine Vielzahl mitteleuropäischer Großstädte, nämlich all derjenigen, die eine „durchschnittliche“ Siedlungsentwicklung aufweisen (an einem Fluss gelegene mittelalterliche Kernstadt, Siedlungserweiterungen in mehreren Phasen, Industrie- und Gewerbegebiete, Neubaugebiete) wie z.B. München, Heidelberg, Frankfurt/Main, Leipzig, Köln, Berlin, Prag, ... (vgl. BLASCHKE 2001). Von positiver Bedeutung ist dabei, dass Halle aufgrund der lokalen Zechsteinvorkommen und der daran gebundenen Subrosion eine besondere Senkenfunktion hat. Nicht repräsentativ bzw. vergleichbar ist Halle z.B. für Bergstädte oder Hafenstädte (vgl. HEINEBERG 2001).

Um die für Halle zunächst lokal ermittelten Ergebnisse, die über eine modellhafte Stoffhaushaltsbetrachtung ausgewertet werden, methodisch zu überprüfen bzw. abzusichern, wurde als weiteres Untersuchungsgebiet die **Lutherstadt Wittenberg** gewählt. Die an der Elbe gelegene Stadt verfügt über eine andere Naturraumausstattung als Halle, jedoch seit dem Mittelalter über eine vergleichbare Siedlungsentwicklung mit der Ausnahme, dass das Ausmaß der Siedlungserweiterungen deutlich geringer ausfällt als das für Halle der Fall ist. Besonders der **Zusammenhang Naturraumausstattung und anthropogene Überprägung** kann somit für die beiden Städte vergleichend diskutiert werden. Methodologisch sollen die für Halle formulierten Modellansätze dadurch in regionaler Hinsicht evaluiert werden.

Hauptuntersuchungsgebiet Halle	Erfassung von historischem und aktuellem Stoffhaushalt	Entwicklung des Modellansatzes
Kontrolluntersuchungsgebiet Wittenberg	Erfassung von historischem und aktuellem Stoffhaushalt	Evaluierung des Modellansatzes
Transferuntersuchungsgebiet Stratos	Erfassung des historischen Stoffhaushaltes	Übertragung des Modellansatzes (historischer Stoffhaushalt)

Abb. 1: Methodologische Charakterisierung der Untersuchungsgebiete

Nach dieser regionalen Evaluierung des Modellansatzes bleibt die Frage offen, in wie weit die ermittelten Ergebnisse räumlich weiter übertragbar sind. Für eine Vielzahl mitteleuropäischer Städte kann dies anhand von Untersuchungen aufgezeigt werden, die im Zusammenhang mit Stadtbodenkartierungen und Stoffhaushaltsuntersuchungen der letzten Jahre erfolgten. Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob bzw. in wie weit die Bilanzierungsansätze auf eine Kulturlandschaft in einem gänzlich anderen Naturraum übertragbar sind. Überwiegen also die naturräumlich determinierten Steuerungsgrößen oder die anthropogen induzierten Stoffein- und Stoffausträge die Überprägung des Stoffhaushaltes im Rahmen der Kulturlandschaftsentwicklung? Da die Siedlungsentwicklungen außerhalb Mitteleuropas i.d.R. nach vollkommen anderen Mustern abgelaufen sind (LICHTENBERGER 2002), dürfte eine Übertragung der Stoffbilanzierungsansätze nicht ohne weiteres möglich sein. Dass dies nicht generell gilt, soll an einem Beispiel aus Griechenland gezeigt werden. In diesem gänzlich anderen Naturraum wird versucht, Parallelen insbesondere zur Dauer der historischen Beeinflussung des Stoffhaushaltes zu ziehen, und zwar für eine Siedlung, für die ein zeitlich und räumlich eindeutiges Wachstum bzw. ihre Entwicklung nachweisbar ist und deren Stoffhaushalt nicht durch die jüngste Vergangenheit und aktuelle Dynamik überprägt wird. Ein solches Beispiel bietet der Raum der **antiken Stadt Stratos in Nordwestgriechenland**, die in antiker Zeit die größte Stadt Nordgriechenlands war und danach nahezu wüst fiel (FUNKE et al. 2000). Hier findet sich sozusagen eine „konservierte“ Stadt, für welche der

Modellansatz der Bilanzierung des historischen Stoffhaushaltes auf einen anderen Klimaraum versucht wird zu **übertragen**.

Eine **Grundprämisse** der Arbeit ist, dass die Entwicklung der allermeisten Städte Mitteleuropas einer Regelmäßigkeit folgte, die eng mit der heutigen Flächennutzung verknüpft ist. Methodischer Ansatz hierfür ist in Anlehnung an BREUSTE et al. 2001 eine **Stadtstrukturtypengliederung**. Eine solche wurde für Halle (SAUERWEIN & FORNACON 2002) und Wittenberg durchgeführt. Als Arbeitshypothese wird postuliert, dass es (statistisch absicherbare) **Wirkungszusammenhänge** zwischen den **Stadtstrukturtypen** und der **Bodenveränderung** (Stoffhaushalt) gibt. Dazu erfolgten im **Hauptuntersuchungsgebiet** Halle die Kartierung und Datenerfassung von historischem und aktuellem Stoffhaushalt in ausgewählten Teilräumen und darauf aufbauend die **Entwicklung eines Modellansatzes zur Bilanzierung** der Stoffhaushaltsveränderungen. Im **Kontrolluntersuchungsgebiet** Wittenberg wird nach der Kartierung und Datenerfassung von historischem und aktuellem Stoffhaushalt der **Modellansatz evaluiert**. Im **Transferuntersuchungsgebiet** Stratos (Nordwestgriechenland) wird nach der Erfassung des historischen Stoffhaushaltes der **Modellansatz** (bzgl. des historischen Stoffhaushaltes) auf einen vollkommen anderen Klimaraum **übertragen**. Die eigenen Datenerhebungen werden im Vergleich mit nationalen und internationalen Forschungsergebnissen diskutiert.

1.3 Kartierungen

Um raumrelevante - und damit geographische - Aussagen treffen zu können, sind flächenhafte Kartierungen eine unabdingbare Voraussetzung. Für Halle existiert zwar eine **Stadtstrukturtypenkartierung** (ZIERDT & DIPPMMANN 1995), die aber aus Sicht des Autors nicht detailliert genug und mittlerweile „veraltet“ ist. Deshalb fand eine eigene Kartierung statt. Für Wittenberg existiert keinerlei Stadtstrukturtypenkartierung, so dass auch für das Kontrolluntersuchungsgebiet eine aktuelle Kartierung erfolgte. Wie einleitend aufgezeigt, ist es aufgrund der nach der Literatur a priori extrem großen **räumlichen Heterogenität der Siedlungsböden** äußerst schwierig, eine flächendeckende **Bodenkartierung** durchzuführen. Für Halle kann dabei auf mehrere Kartierungen zurückgegriffen werden, die allerdings entweder nicht flächendeckend vorliegen (FRÜHAUF 1995), als Konzeptkarte hauptsächlich die prä-urbanen Bodeneinheiten dargestellt sind (MACHULLA 2000, ALTERMANN et al. 1997, ALTERMANN & MACHULLA 1996), nur Raumausschnitte beinhalten (BREUSTE 1986) oder in einigen Bereichen keine Böden kartiert sind, sondern der Versiegelungsgrad angegeben ist (GLSA 1997). In Wittenberg gibt es lediglich eine flächenhafte Bodenkartierung, die im Rahmen des Umweltatlasses der Stadt als Bodenkartierung (DARMER & MÖLLER 1994) vorliegt, in welcher aber die Siedlungsbereiche nicht kartiert sind. Für beide Städte wurden die vorliegenden Kartierungen konzeptionell ausgewertet. Die vorgelegte Arbeit hat **nicht** eine flächenhafte Siedlungsbodenkartierung zum Ziel, sondern versucht stadtstrukturtypenbezogene Muster der Bodenüberprägung zu erfassen. Deshalb wurden in ausgewählten, repräsentativen Teiluntersuchungsgebieten (entsprechend dem Ansatz der Arbeit in exemplarischen **Stadtstrukturtypen**) **Bodendetailkartierungen** durchgeführt (Bohrstocksondierungen und Leitprofile/Bodenschürfe bzw. temporäre Bodenaufschlüsse im Zuge von Baumaßnahmen). Im Transferuntersuchungsgebietes Stratos wurden neben exemplarischen geoarchäologischen Leitprofilen in unterschiedlichen Siedlungsbereichen nach Bohrstocksondierungen archäologisch datierte oberboden-nahe Proben analysiert.

1.4 Anwendungsbezug

Moderne geoökologisch orientierte Geographie sollte nicht bei der Erfassung von Geoökosystemeigenschaften „stehen bleiben“, sondern vielmehr auf Grundlage der **Nachhaltigkeitsbetrachtung Lösungsansätze** für raumbezogene Probleme aufzeigen (BLUMENSTEIN et al. 2000). Dies gilt auch und insbesondere für urbane Ökosysteme, deren Bedeutung zukünftig sowohl regional als auch global immer mehr zunehmen wird. Basierend auf einer ausreichenden Datengrundlage und entsprechenden methodischen Werkzeugen (GIS, Statistik, Modellierung) sollte es deshalb möglich sein, potenzielle **perspektivische Veränderungen** und Entwicklungen aufzuzeigen. Für das **Hauptuntersuchungsgebiet Halle (Saale)** sollen einige Überlegungen zu folgenden Anwendungen formuliert werden:

- Erstellung eines **Szenarios** zur künftigen Entwicklung und Veränderung des siedlungsbeeinflussten Bodenstoffhaushaltes,
- Rahmenbedingungen für ein kommunales **Bodenschutzkonzept**.

2 Ausgangshypothese: Urbane Bodenlandschaften

In diesem Kapitel wird neben einigen **grundsätzlichen Überlegungen** und notwendigen **Definitionen** die Ausgangshypothese der vorliegenden Arbeit abgeleitet. Dies geschieht über den geographischen Einstieg in die Begriffe „Landschaften“ - „Ökosysteme“ – „Geoökosysteme“, was weiter zu „Stadtökologie“ und „Urbanen Geoökosystemen“ führt. Als fundamentale städtische Raumgliederung wird der „**Stadtstrukturtypenansatz**“ erläutert, der seinerseits die Grundlage für die Definition der „**Urbanen Bodenlandschaften**“ bildet. Die für letztere formulierte **Hypothese** widerspricht den in den meisten Lehrbüchern (i.d.R. sehr pauschalen) beschriebenen räumlichen Eigenschaften der städtischen Böden, dass nämlich urbane Räume durch eine extrem heterogene, horizontale wie vertikale Bodenverteilung, gekennzeichnet sind (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002, EITEL 2001, FIEDLER 2001, CRAUL 1999, BLUME 1997, KUNTZE, ROESCHMANN & SCHWERDTFEGER 1994, BLUME 1992, BLUME 1982). Aus Sicht des Autors ist die Bodenverteilung jedoch in keinsten Weise „chaotisch“, sondern unterliegt größtenteils einem zu verifizierenden **Muster**.

2.1 Landschaften – Ökosysteme – Geoökosysteme

Der **Stand** der geographischen Diskussion um die Begriffe „Landschaft“, „Landschaftsökologie“, „Geoökologie“, „Geoökosystem“ wird bei LESER 1997 ausführlich dargestellt. Dort ist auch die historische Entwicklung der **geographischen Landschaftsforschung** ausführlich beschrieben, ähnlich bei FINKE 1996. Aus Sicht des Autors kann letztlich der (klassische) geographische Begriff „**Landschaft**“ heute durchaus dem Begriff „**Geoökosystem**“ gleichgesetzt werden. In jüngster Zeit wurden (auch) aus geographischer Sicht Diskussionen der Begriffe „Landschaft“ und „Kulturlandschaft“ begonnen (SCHENK 2002), die allerdings zu keinen neuen Erkenntnissen geführt haben. Durch diese Diskussionen zeigt sich nach Ansicht des Autors (lediglich) eine Schwäche der Wissenschaft Geographie, eine Vielfalt und Vielzahl von Begriffen zu verwenden, ohne dass national oder gar international eindeutige und akzeptierte Definitionen dahinter stehen.

Versucht man, sich dem Begriff „**Geoökosystem**“ zu nähern, so kann dies aus biologischer Sichtweise über den Begriff „**Ökologie**“ geschehen, was wörtlich Lehre vom Haushalt der Natur (Naturhaushaltslehre) bedeutet. Als erster definierte HAECKEL (1866): „Unter Ökologie verstehen wir die gesamte Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Außenwelt, wohin wir im weiteren Sinne alle 'Existenzbedingungen' rechnen können“. Die fachlich heute anerkannte Definition findet sich z.B. bei BICK 1998.

Def. 1: Ökosystem

„Ein **ÖKOSYSTEM** ist eine funktionelle Einheit der Biosphäre, d.h. ein Wirkungsgefüge aus Organismen und unbelebten natürlichen sowie anthropogenen Umweltfaktoren, die untereinander und mit ihrer Umgebung in energetischen, stofflichen und informatorischen Wechselwirkungen.“ (BICK 1998, S. 23)

Eine andere Definition findet sich bei KLÖTZLI (1995, S. 288): „Ein Ökosystem ist ein Wirkungsgefüge von Lebewesen und deren anorganischer Umwelt, das offen, und bis zu einem gewissen Grade zur Selbstregulation befähigt ist.“ Hier kommt weniger die anthropogene Steuerung, dafür mehr das Potential der Selbstregulation zum Ausdruck. Die **geographische Betrachtung** eines „Ökosystems“ – das dann zum „Geoökosystem“ wird – bezieht sich allerdings nicht auf eine funktionelle Einheit der Biosphäre, sondern allgemeiner auf ein **Geoökotop** (vgl. Def. 2).

Def. 2: Geoökosystem

„Das **GEOÖKOSYSTEM** stellt die Funktionseinheit eines real vorhandenen Ausschnitts der Geobiosphäre dar, der als Geoökotop bezeichnet wird, in welchem ein sich selbst regulierendes Wirkungsgefüge abiotischer und darauf eingestellter biotischer Faktoren räumlich manifestiert ist, das ein stets offenes stoffliches und energetisches System mit einem dynamischen Gleichgewicht repräsentiert.“ (LESER 1997, S. 47)

Die so definierten Ökosysteme und Geoökosysteme lassen sich auf verschiedene Art und Weise gliedern (FINKE 1996). Eine Möglichkeit ist die Gliederung nach dem **Hemerobiekonzept** (Literaturdiskussion dazu siehe KIESER 1999, BASTIAN & SCHREIBER 1999). BLUME & SUKOPP haben schon 1976 eine Klassifikation nach dem Hemerobiekonzept vorgestellt, wonach die **urbanen Geoökosysteme** zusammen mit den **Dorfökosystemen** die **Siedlungsökosysteme** bilden (BICK 1998, ADAM 1988).

2.2 Stadtökologie - Urbane Geoökosysteme

2.2.1 Definition

Wie einleitend aufgezeigt, lassen sich stadtökologisch bezogene Forschungen a priori nicht einfach charakterisieren. Aus Sicht der **Ökosystemforschung** und **ökosystemtheoretischer Ansätze** heraus (DASCHKEIT 1998, FRÄNZLE 1986) lässt sich eine Definition ableiten, mittels derer deutlich werden soll, dass insbesondere die **anthropogen gesteuerten geökologischen Wirkungszusammenhänge** (FELLENBERG 1999) im Mittelpunkt stehen. Dies findet sich auch in der internationalen Literatur (z.B. MCINTYRE, KNOWLES-YANEZ & HOPE 2000, BASIAGO 1998, ATCHIA & TROPP 1995, GILBERT 1994, BREUSTE 1989), wobei insbesondere die Bedeutung der Planungsrelevanz herausgestellt wird (JESSEL & TOBIAS 2002, COSTANZA 2000, NIEMELA 1999, ERMER et al. 1996).

Def. 3: Stadtökologie und Urbane Geoökosysteme

*"STADTÖKOLOGIE ist eine **Forschungskonzeption** und verfolgt dabei einen **ganzheitlichen Ansatz** unter Einbeziehung der Humanwissenschaften. Gegenstand der Stadtökologie ist das **URBANE GEOÖKOSYSTEM**, also das in Städten bestehende **Wirkungsgefüge** aus Lebewesen, unbelebten natürlichen/quasi-natürlichen Bestandteilen und technischen Elementen, die **untereinander und mit ihrer Umwelt** in stofflichen, energetischen und informatorischen **Wechselwirkungen** stehen."*

Auf internationaler Ebene wird heute z.B. betont: **Urban ecology** as an **interdisciplinary field** of social and natural sciences (MCINTYRE et al. 2000) bzw. Ecology and urban planning want **nature in the cities** (NIEMELA 1999). Insgesamt wird festgestellt, dass (immer noch) eine **Theorie** der Urban Ecology zu entwickeln ist (BRAKE 1996), wobei es einen **Gradienten** von der **Kernstadt in das Umland** zu berücksichtigen gilt (NIEMELA 1999a).

Urbane Ökosysteme (oftmals auch als urban-industrielle Ökosysteme bezeichnet) haben im Unterschied zu den terrestrischen naturbetonten Ökosystemen, den halbnatürlichen und den Agrar- und Forstökosystemen keine oder eine nur vergleichsweise geringe pflanzliche und tierische Biomasseproduktion (BICK 1998, SPITZER 1991). Während die letztgenannten Ökosysteme in ihrem **Energiehaushalt** nahezu ausschließlich die Sonnenstrahlung als unmittelbare Energiequelle verwenden, wird in urban-industriellen Ökosystemen in großem Umfang Energie aus fossilen Brennstoffen sowie Wasserkraft/Windkraft und Kernenergie verwendet. Die **Nahrungsenergie** für den Menschen wird aus anderen Bereichen, regionalen, überregionalen (und globalen) **Agrarökosystemen** zugeführt. Ein **Stoffkreislauf** im System besteht dabei nicht, so gelangt z.B. ein beträchtlicher Anteil der anfallenden **Abfälle** in den Stoffkreislauf anderer Ökosysteme (FRIEGE et al. 1998, RIPL & HILDMANN 1996). Beim **Export** von Kompost und Klärschlamm in Agrarökosysteme handelt es sich um eine gezielte Stoffrückführung (Recycling). In anderen Fällen liegt eine stoffliche Beeinträchtigung vor, die oft sehr **entfernt liegende Ökosysteme** trifft. So können luftverunreinigende Stoffe (z.B. NO_x, SO₂) mit Luftströmungen über weite Strecken verfrachtet werden. Gleiches gilt für Abwasserinhaltsstoffe oder Pflanzennährstoffe aus Kläranlagenausläufen, die über Fließgewässer weit transportiert werden und u.U. schließlich ins Meer gelangen.

Wie die Abb. 2 und Abb. 3 zeigen, unterscheiden sich städtische Ökosysteme durch eine Reihe von Faktoren von nichtstädtischen. Zwar findet man die meisten der in Städten wirkenden einzelnen Umweltfaktoren auch außerhalb der Städte, ihre Kombination aber führt zu sehr spezifischen ökologischen Systemen (vgl. auch BRUNOTTE et al. 1994). So unterscheiden sich urbane Systeme hinsichtlich ihres **Stoff- und Energiehaushaltes** grundlegend von denen des Umlandes. Der Umsatz an Sekundärenergie erreicht einen Umfang, der im allgemeinen bei 25% - 50% der eingestrahlten Sonnenenergie liegt und in extrem verstäderten Gebieten das Vierfache davon betragen kann (KUTTLER 1995). Stoffflüsse schließen sich kaum zu Kreisläufen, so dass sowohl die urbanen Ökosysteme als auch ganz besonders jene der Umgebung in hohem Maße mit Abfallstoffen verschiedenster Art belastet werden.



Abb. 2: Input und Output Urbaner Geoökosysteme

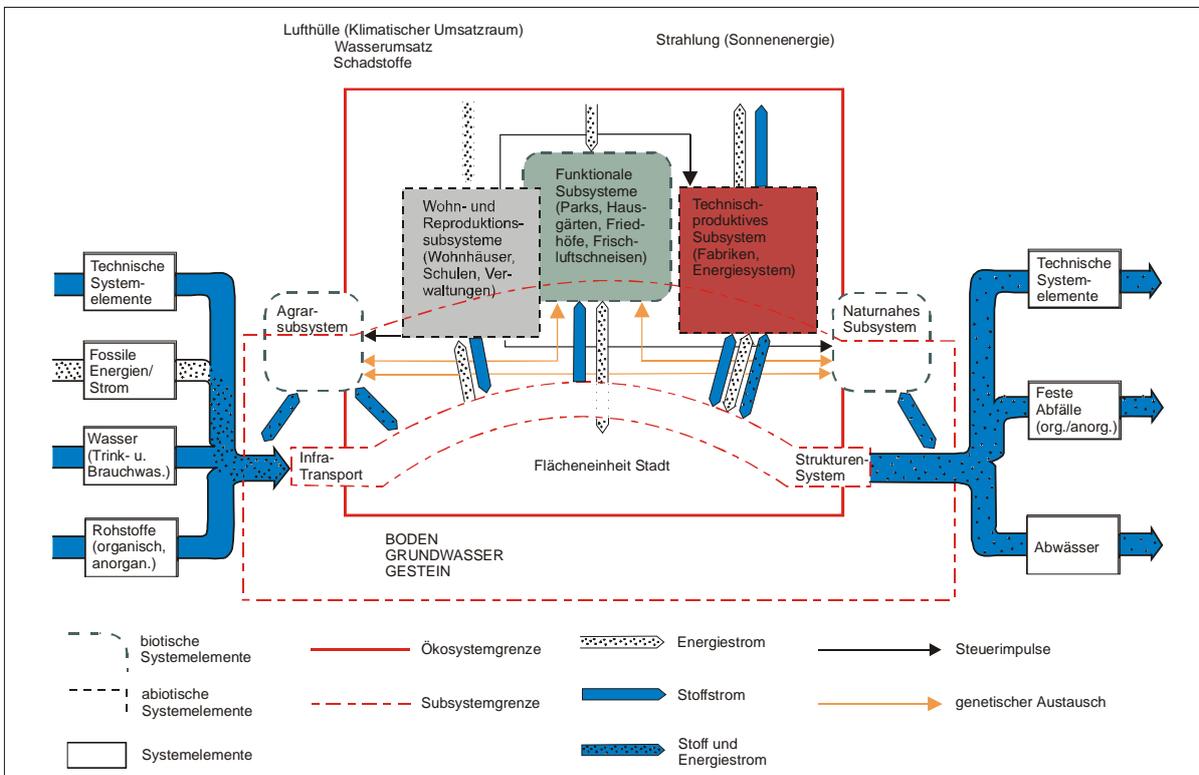


Abb. 3: Modellvorstellung eines Städtischen Ökosystems (in Anlehnung an PIETSCH & KAMIETH 1991)

2.2.2 Entwicklung der Stadtökologie/stadtökologischer Forschungen

Siedlungsökosysteme sind erst seit wenigen Jahrzehnten Gegenstand intensiver ökologischer Untersuchungen. So sind z.B. auch heute noch **Stadt** und **Natur** oftmals Begriffe, die auf den ersten Blick Gegensätzliches ausdrücken. Bereits die ersten ökologischen Untersuchungen von Großstädten Mitte des letzten Jahrhunderts brachten zum Ausdruck, dass auch städtische Räume durch charakteristische, unter vergleichbaren Umweltbedingungen regelmäßig wiederkehrenden Artenkombinationen Lebensmöglichkeiten bieten. Ab Anfang der 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts kam es weltweit zu einer Vielzahl von **Analysen insbesondere großstädtischer Landschaften**, wobei den Untersuchungen von DUVIGNEAUD (1974) zu **Brüssel** aus geoökologischer Sicht des **Stoff- und Energiebilanzierungsansatzes** eine herausragende Bedeutung zukommt. Zusammenfassende Diskussionen der historischen Entwicklung und zukünftiger **Perspektiven** finden sich z.B. bei FRIEDRICH & HOLLAENDER (1999) und MEURER (1997). Umfangreiche und grundlegende Arbeiten wurden und werden sehr erfolgreich z.B. von der Arbeitsgruppe von P. Baccini (ETH Zürich/EAWAG) durchgeführt (siehe dazu das Lehrbuch von BACCINI & BADER 1996, BACCINI & BRUNNER 1991). Heute besteht noch immer die Schwierigkeit darin, dass zwar die Zahl der Untersuchungen zu einzelnen Umweltmedien (wie z.B. Stadtklima, Stadtvegetation, städtische Grundwässer etc.) und auch das Wissen um deren Eigenschaften immens zugenommen hat, aber ein **systemtheoretisches Grundgerüst** zur ganzheitlichen Beschreibung und Modellierung städtischer Ökosysteme fehlt (Grundsätzliches und Literaturüberblick dazu in WITTIG & SUKOPP 1998).

Die aktuellen Diskussionen zur **Lokalen Agenda** und die aktuellen Umweltanalysen unter dem Aspekt der **Nachhaltigkeit** haben dazu geführt, dass auch die **Stadtplanung** zunehmend unter ökologischen Gesichtspunkten betrachtet wird (als Wegbereiter ist sicherlich HABER 1999, 1994, 1992 anzuführen, weiterhin z.B. TAUBMANN 1999, SUKOPP, NUMATA & HUBER 1995, GROHÉ & RANFT 1988, GROHÉ & TIGGEMANN 1985). Aus geographischer und insbesondere geoökologischer Sicht ist es dabei wichtig, das „Funktionieren“ des urbanen Ökosystems zu gewährleisten bzw. aus Sicht des Stoff- und Energiehaushaltes zu optimieren (SCHULTE 1995), allerdings auch zu beachten, dass der Mensch im Mittelpunkt dieses Ökosystems steht. Dazu ist es nötig, entsprechende Indikatoren überhaupt zu erkennen (MCCALL, 1996), um so z.B. Leitbilder operationalisieren zu können (WERHEIT 2000).

Ziele einer ökologischen Stadtentwicklung in Mitteleuropa können wie folgt formuliert werden:

- Erhaltung und Wiederherstellung von gesunden Lebensverhältnissen für die Bewohner,
- Revitalisierung und Stabilisierung des urbanen Ökosystems durch Abbau von Risikopotenzialen,
- ökologische Vernetzung von Stadt und Umland, un bebauten/freien Flächen sowie von Wohn-, Freizeit- und Berufsumfeld,
- Umgestaltung von Industriebrachen und aufgegebener Großindustrie als Wohn- und Freizeitlandschaften,
- Verbesserung der Mobilitätsbedürfnisse der Stadtbewohner durch zukunftsweisende Lösungen.

Dass dies zweifellos hochgesteckte und u.U. „akademische“ Ziele sind, ist augenscheinlich – denn die Steuerung und Entwicklung von urbanen Landschaften erfolgt in unserem Gesellschaftssystem durch wirtschaftlich-gesellschaftlich-politisch beeinflusste Entscheidungen. Dennoch sollten ökologisch orientierte Naturwissenschaften ihre Erkenntnisse nicht nur für den „Elfenbeinturm der Wissenschaft“ produzieren, sondern auch in aktuelle gesellschaftliche Diskussionen einbringen, was ja unter dem Aspekt der Nachhaltigkeitsdebatten bzw. auch der Lokalen Agenda-Initiativen entsprechend nach außen getragen wurde und wird.

2.3 Der Stadtstrukturtypenansatz in der urbanen Geoökosystemforschung

Der Begriff der Stadtstrukturtypen und der **Stadtstrukturtypenansatz** sind seit zwei Jahrzehnten ein vielversprechendes Instrument, um urbane Räume aus ökosystemarer Sicht nachvollziehbar und auch methodisch übertragbar zu gliedern (BREUSTE et al. 2001). Im Mittelpunkt steht dabei die **Flächennutzung**.

2.3.1 Städtische Flächengliederungen

Das Ziel von umweltbezogenen städtischen Flächengliederungen ist eine Charakterisierung und ursachenbezogene Analyse nach **ökologisch relevanten Merkmalen urbaner Landschaften**. Dabei soll eine Integration von Daten mit unterschiedlichen räumlichen und inhaltlichen Auflösungen möglich sein, um diese einer raumbezogenen Bewertung zuzuführen. Damit diese Ziele erreicht werden können, müssen verschiedene **Anforderungen** erfüllt sein. Dies sind z.B. die homogene interne Merk-

malsausprägung von Repräsentanten gleicher Flächentypen, die Möglichkeit der Aggregation von Flächeneinheiten und Daten, die Übertragbarkeit von Ergebnissen, die Kompatibilität von Planungseinheiten sowie die Integrierbarkeit in bestehende kommunale Planungsprozesse. Die methodischen Ansätze umweltbezogener städtischer Flächengliederungen basieren in der Regel auf funktionalen und strukturellen **Unterschieden der Flächenstruktur bzw. -nutzung** (vgl. die zusammenfassende Darstellung in DUHME & PAULEIT 1992). Sie können als zentrale Bilanz- und Abbildungsebene im gesamtstädtischen Kontext fungieren, da

- die Nutzung und die baulichen Strukturen als "ökologische Schlüsselmerkmale" entscheidend die Umweltbedingungen im Siedlungsbereich prägen,
- im Gegensatz zu neutralen Bezugseinheiten (z.B. Raster) Abgrenzungen genauer erfolgen können,
- ein direkter Bezug zu Instrumenten der Stadtplanung gegeben ist (Bauleitplanung).

2.3.2 Der Stadtstrukturtyp - Begriff, Anwendung und Eigenschaften

Mit der Zunahme stadtoökologischer Forschungsarbeiten waren in den 70er Jahren vielfältige Erkenntnisse über das Stadtoökosystem verbunden. Eine davon war die, dass in der Stadt die **Nutzung** der grundlegende ökologische Einflussprozess sei. Städte nach unterschiedlichen räumlichen Ausprägungen der Nutzungen zu gliedern, war auch bereits vor den 70er Jahren in der Stadtgeographie und Flächennutzungskartierung üblich. Eine ganze Forschungsrichtung und deren praktizierender Anwendungszweig, die **Biotopkartierung in Städten**, baut geradezu auf der Flächennutzung auf und sieht in ihr eine ihrer wichtigsten Grundlagen. Dies alles hat der Flächennutzung in den 80er Jahren zu ungeahnter Anerkennung in der Ökologie verholfen. Kartierungslegenden wurden entwickelt und für eine breite, vergleichende Anwendung in der Naturschutzarbeit in Städten empfohlen (ARBEITSGRUPPE METHODIK DER BIOTOPKARTIERUNG IM BESIEDELTEN BEREICH 1986, 1993). Auch die Gliederung in homogene Nutzungseinheiten und deren Typisierung (z.B. MÜLLER 1965 "Stadtlandschaftszellen") wurde bereits vorgenommen. Die Ausrichtung auf Naturschutzziele machte bald ein komplexes Verständnis der Ökosystemausschnitte (Ökotope/Ökochoren) bzw. der Umweltbedingungen von räumlich konkreten Teilen der Stadtlandschaft notwendig. Dazu kam die Frage nach der Abbildung, Zuordnung und Vergleichbarkeit von Forschungsergebnissen unterschiedlicher Disziplinen. Besonders in den 80er Jahren wurden dazu vegetationskundliche und landschaftsökologische Arbeiten in Städten verstärkt durchgeführt. **Biotoptypen, Ökochoren** und „**Stadtstrukturtypen**“ (z.B. AMMON 1982 und RICHTER 1984) wurden als methodisches Mittel eingesetzt. Stadtoökologische Raumgliederungen wurden bisher vielfach angewendet, aber nicht immer mit dem „Stadtstrukturtypenbegriff“ bezeichnet (z.B. KLOTZ et al. 1984, SCHULTE 1985, BREUSTE 1987, KAERKES 1987, DUHME & PAULEIT 1992, STADT BERLIN 1996). Zwar existiert bisher noch keine anerkannte, einheitliche Methode, jedoch sind die Ansätze vergleichbar. Daneben besteht eine enge Beziehung zum Ansatz der Biotoptypenkartierung im besiedelten Bereich (ARBEITSGRUPPE METHODIK DER BIOTOPKARTIERUNG IM BESIEDELTEN BEREICH 1993).

In den vergangenen Jahren wurde in stadtoökologischen Arbeiten des **UFZ-Umweltforschungszentrum** Leipzig-Halle (BREUSTE, WÄCHTER & BAUER 2001), aber auch z.B. in den Städten München (BLUM 1991, DUHME & PAULEIT 1992), Berlin (STADT BERLIN 1996) sowie in Halle (WERHEIT 2000) mit dem Stadtstrukturtypenansatz gearbeitet. Dabei werden vergleichbare Abgrenzungsmerkmale verwendet. Dies sind Nutzung, Baustruktur (Art), Baudichte, Freiraumstruktur, Versiegelungsgrad und Entstehungszeit.

Der **Stadtstrukturtypenansatz** ist **deduktiv** abgeleitet. Durch die Nutzung und die strukturelle Ausstattung können anhand von Kausalbeziehungen oder qualitativen Herleitungen wesentliche ökologische Eigenschaften einer Fläche indiziert werden. Flächen mit einer einheitlichen strukturellen Ausstattung und Nutzung weisen vergleichbare Lebensraum- oder Landschaftshaushaltsfunktionen auf. Somit können Aussagen zur Biotop- und Vegetationsstruktur, zu den Klimaverhältnissen, der Bodenbeschaffenheit, der Versiegelungsintensität oder der Grundwasserneubildung abgeleitet werden (vgl. STADT BERLIN 1996). Stadtstrukturtypen fassen damit Flächen ähnlicher Umweltverhältnisse zusammen. Es wird angenommen, dass nutzungsrelevante Input-Output-Beziehungen (Stoffströme wie Energie- und Wasserumsatz, Abfallmengen aber auch Verkehrsbelastungen u.a.) **kausale Zusammenhänge** zu Stadtstrukturtypen aufweisen. Zudem sind Bezüge zu **sozialräumlichen Verteilungsmustern** erkennbar (WERHEIT 2000, KABISCH et al. 1997).

Def. 4: Definition des verwendeten Stadtstrukturtypenansatzes

„**STADTSTRUKTURTYPEN** bezeichnen **Raumeinheiten** urbaner Landschaften mit generell **vergleichbaren Umweltbedingungen**. Ihre Bestimmung legt die **aktuelle Flächennutzung** zugrunde,

die durch weitere (die Umweltbedingungen beschreibende) Merkmale weiter differenziert wird. Flächen gleicher Merkmalsausprägung werden einem Raumtyp, dem "Stadtstrukturtyp" zugeordnet. Stadtstrukturtypen sind somit Raumtypen urbaner Landschaften, die durch Flächen physiognomisch intern einheitlicher und untereinander unterschiedlicher Raummerkmale repräsentiert werden. Sie sind überwiegend gekennzeichnet durch eine **charakteristische Konfiguration der Bebauung und der Freiflächen**. Jeder Strukturtyp ist durch ein spezifisches Anordnungsmuster und charakteristische Dichte der Bebauung, durch den Anteil der versiegelten Freiflächen und eine spezifische Vegetationsstruktur gekennzeichnet. Die Repräsentanten der Stadtstrukturtypen sind untereinander gleichwertig und homogen in der Ausprägung der internen Strukturmerkmale." (BREUSTE, WÄCHTER & BAUER 2001)

Tab. 1: Differenzierung von Stadtstrukturtypen* (in Anlehnung an BREUSTE, WÄCHTER & BAUER 2001)

Wohnflächen und Flächen mit gemischter Nutzung <ul style="list-style-type: none"> • Kerngebiete • Offene Blockbebauung • Geschlossene Blockbeb. • Offene Blockrandbeb. • Geschloss. Blockrandbeb. • Zeilenbebauung • Großwohnsiedlung • Ein- und Zweifamilienhausbebauung • Villen • Ehemalige Dorfkerne 	Freizeit- und Erholungsflächen <ul style="list-style-type: none"> • Park- und Grünanlagen • Kleingartenanlagen • Friedhöfe • Sport-/Freizeitanlagen 	Industrie- und Gewerbeflächen <ul style="list-style-type: none"> • Gering versiegelt • Stark versiegelt
	Landwirtschaftsflächen	Sonderflächen <ul style="list-style-type: none"> • Öffentliche Einrichtungen • Einkaufszentren • Technische Ver- und Entsorgungsanlagen
	Wald	
	Gewässer	
	Brachflächen	
	Aufschüttungs- und Entsorgungsflächen	Hauptverkehrsstraßen Eisenbahnanlagen
	* Hauptstrukturtypen sind fett dargestellt	

Ausgangsbasis sind für die Untersuchungsgebiete Halle und Wittenberg eigene Kartierungen sowie CIR-Luftbilder im Maßstab 1:5000-1:10.000. Die Kartierung der Struktureinheiten erfolgte visuell/manuell nach **festgelegten Abgrenzungskriterien**. Die räumlichen Informationen wurden mit dem **Geographischen Informationssystem** ArcView verarbeitet. Dabei kamen folgende Abgrenzungsregeln zur Ausgliederung von Stadtstrukturtypen zur Anwendung:

- Straßen/Verkehrswege werden den angrenzenden größeren Struktureinheiten zugeordnet. Ab einer bestimmten Größe (mehrspurige Straßen, Schnellstraßen, Autobahn, große Gleisanlagen) werden sie als eigene Struktureinheit dargestellt.
- Die Grenzen der Struktureinheiten sollen mit Block-/Grundstücksgrenzen identisch sein.
- Die Mindestgröße beträgt 1 ha.
- Kleine Strukturelemente (< 1 ha) (z.B. Höfe Plätze, Sondergebäude/-gruppen) werden i.d.R. größeren Struktureinheiten zugeordnet. Sie werden als eigene Struktur dargestellt, wenn sie sich durch andere ökologische Rahmenbedingungen von ihrer Umgebung grundlegend unterscheiden und eine relevante Größe besitzen.
- Darüber hinaus werden subjektive Entscheidungskriterien flexibel zur Abgrenzung eingesetzt.

Sehr ähnliche bzw. vergleichbare Ansätze zur derartigen stadtoökologischen Flächengliederungen gibt es sowohl national (z.B. Dresden, Hamburg, Karlsruhe, Leipzig, München, Wiesbaden) als auch international (Literaturübersicht dazu in BREUSTE, WÄCHTER & BAUER 2001).

2.4 Urbane Bodenlandschaften ?!

Die Bodenverbreitung ist in Siedlungsgebieten nur in geringem Maß derjenigen nicht-urbaner Landschaften vergleichbar, da jede Bebauung ehemals natürliche - „prä-urbane“ - Standortbedingungen verändert. Mit Hilfe der **Übertragung** der ausgewiesenen **Stadtstrukturtypen auf die Pedosphäre** wird versucht, auch eine **Regelhaftigkeit der Bodenveränderung** abzubilden. Da sich einzelne Stadtstrukturtypen neben dem Alter und der Nutzung durch jeweils gleichartige spezifische Anordnungsmuster und charakteristische Dichte der Bebauung sowie durch den Anteil der versiegelten Freiflächen und eine spezifische Vegetationsstruktur auszeichnen, sollte auch deren „**Wirkung**“ auf die Böden bzw. die Bodenveränderung infolge der Bebauung gleichartig sein. Im wesentlichen beeinflussen also zwei „Randbedingungen“ den Aufbau urbaner Böden, nämlich die **Geschichte** und die **Nutzung** einer Fläche bzw. eines Standortes (JÄGER 1997a). Diese lassen sich zum einen im **Stadtstruk-**

turtyp fassen und zum zweiten über eine **Stoffhaushaltsbetrachtung**, wobei unterschieden werden muss, zu welcher Zeit bzw. in welchem Zeitraum welche Stoffe eingetragen wurden.

Die Aufnahme und Bewertung konkreter Böden bzw. Bodenflächen, die für planungsrelevante Einzelfallentscheidungen selbstverständlich von entscheidender Bedeutung sind, sollte eingebettet werden in ein Konzept, das typologisch und ökosystemorientiert die Ausprägung der Böden bzw. **Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen** in einer Kommune erfasst. Dazu muss eine Bodentypisierung vorgenommen werden, welche die **Besonderheiten der städtischen Veränderungen** der (ehemals) prä-urbanen Böden berücksichtigt.

Um das Ausmaß der Bodenveränderung zu beurteilen, können neben der visuellen Ansprache von Bodenprofilen **Stoffhaushaltsparameter** genutzt werden, mittels derer sich Aussagen über die Art und Intensität der Modifikation ableiten lassen (BUNDESVERBAND BODEN 2000). Dazu eignen sich neben den klassischen **Bodenparametern** insbesondere **Schwermetalle** und **organische Schadstoffe**, da diese zum einen durch bestimmte Nutzungen und zum zweiten zeitabhängig in die Böden eingetragen wurden. Im Sinne eines geosystemaren (raum-zeitlichen) **Modellierungsansatzes** kann über dafür geeignete Indikatoren Qualität und Quantität der Bodenveränderung diskutiert werden. Dabei muss beachtet werden, dass die Böden in einer Stoffhaushaltsbetrachtung parameter- und zeitabhängig nicht nur **Stoffsenke**, sondern auch **Stoffquelle** und **Stoffumsatzraum** sind (Abb. 4).

Stoffhaushaltsuntersuchungen sind ein aktuelles geoökologisches Forschungsfeld, dem u.a. mit den verschiedensten **Modellierungsansätzen** nachgegangen wird. Der **qualitative Zusammenhang** ist relativ einfach als Modell abzubilden (Abb. 5), die Abschätzung bzw. sogar **Quantifizierung** von Stoffflüssen hingegen ist ein „ungelöstes“ Problem. Für einzelne landschaftliche Einzugsgebiete ist dies stoffbezogen basierend auf einer ausreichenden Zahl von Messungen zwar möglich (dies gilt insbesondere für den Wasserhaushalt (z.B. BACCINI 1996), für komplexe Ökosysteme wie Städte jedoch schon rein **praktisch nicht flächendeckend messbar**. So kann nur versucht werden, über **exemplarische Testflächen** (Untersuchungen zum städtischen Bodenwasserhaushalt z.B. SAUERWEIN et al. 2003, WESSEL-BOTHE 2002) in Verbindung mit offiziell verfügbaren Erhebungen z.B. der Landesämter/Landesanstalten einen **Datenpool** zu schaffen, der **Modellierungsansätze** erlaubt.

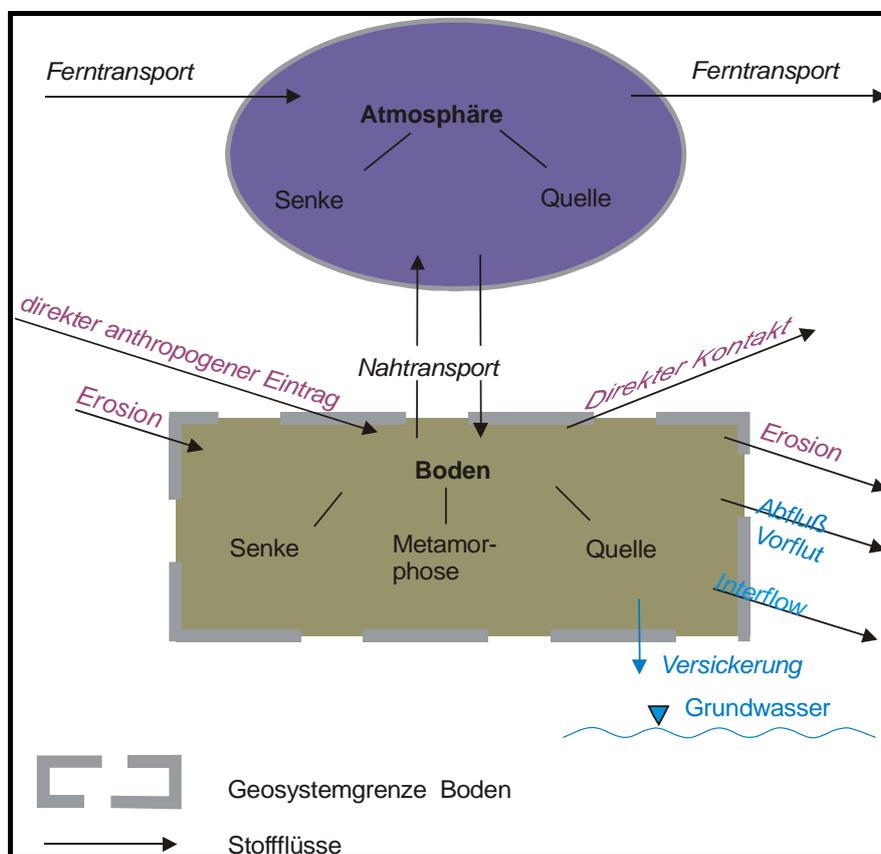


Abb. 4: Ökosystemkompartiment Boden

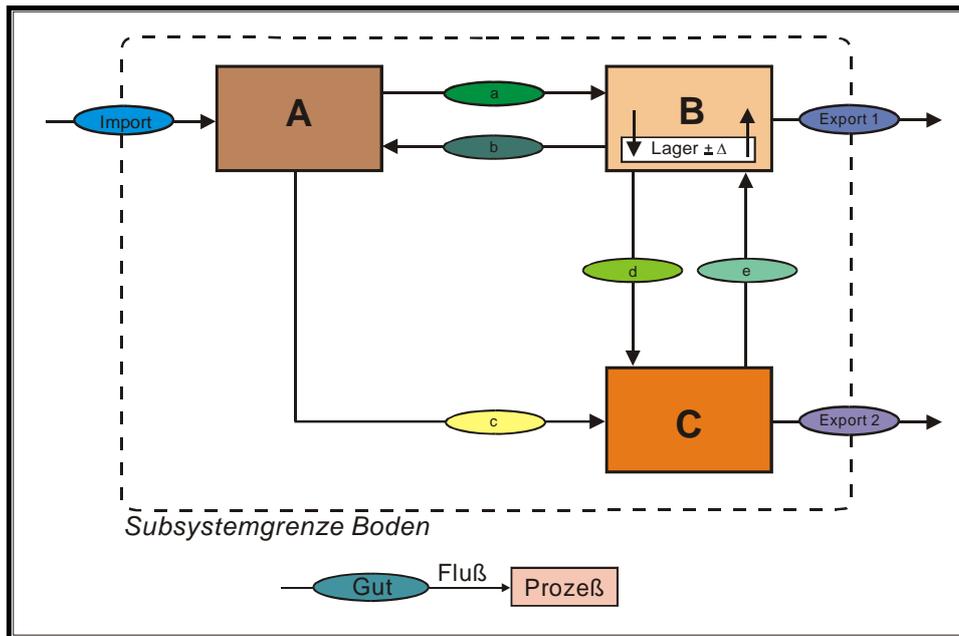


Abb. 5: Stoffflüsse im Geoöko-Subsystem Boden

Aus den obigen Überlegungen ableitend sollte es – entgegen der „Lehrmeinung“, dass die Böden in einer Stadt „chaotisch“ sind im Sinne eines äußerst heterogenen horizontalen Verteilungsmusters sowie eines ebenso heterogenen vertikalen Profilaufbaus – möglich sein, innerhalb einer Stadt Raumausschnitte auszugliedern, für welche der Bodenaufbau bzw. die Bodenausprägung quantifizierbaren Mustern folgt. In Anlehnung an den geographisch-geökologischen Landschaftsbegriff werden so in Definition 5 „Urbane Bodenlandschaften“ charakterisiert.

Def. 5: Urbane Bodenlandschaften

„**URBANE BODENLANDSCHAFTEN** sind siedlungsbeeinflusste Ausschnitte der Pedosphäre, die aufgrund der anthropogen bedingten **Reliefveränderung**, ihrer **prä-urbanen Bodenausstattung**, ihres **Alters** und ihrer **aktuellen und historischen Nutzung vergleichbare Parameterverteilungsmuster** aufweisen.“

Diese als **Definition formulierte Hypothese** wird im folgenden zu beweisen sein.

3 Urbane Böden

Böden in Siedlungsgebieten **unterscheiden** sich im allgemeinen gravierend von den Böden, welche die Siedlungen umgeben. Dies trifft insbesondere für die urbanen Landschaften zu, da es in diesen Geoökosystemen i.d.R. zu einer extremen **Veränderung der bodenbildenden Faktoren** kam (BURGHARDT 1996). Die **Stadtbodenforschung** ist noch eine relativ junge Wissenschaftsrichtung – die ersten Stadtbodenkartierungen erfolgten Anfang der 80er Jahre (BLUME 1982) – und bislang hat sich national wie international noch **kein einheitliches Kartierungskonzept** etabliert. Dies führte zu einer Vielzahl von Ansätzen zur Klassifizierung und Typisierung der Böden in urbanen Räumen. Um den Stand der Forschung zu dokumentieren, sind in Tab. 2 für die **nationale und internationale Standardliteratur** die Hauptmerkmale urbaner Böden zusammengefasst. SIEM 2002, MEUSER & BLUME 2001 sowie BULLOCK et al. 1999, EFFLAND & POUYAT 1997 weisen darauf hin, dass die internationale Klassifizierung sehr unbefriedigend ist, allerdings auch die deutsche Klassifikation z.B. bzgl. der Untereinheiten noch verfeinert werden sollte (KOMOSSA et al. 2002, BLUME 1997a, BONGARD & KNEIB 1995, REINIRKENS 1991). Etwas erstaunlich ist, dass es in einigen „gängigen“ deutschen **Lehrbüchern** zur Bodengeographie und Bodenkunde keine Behandlung von Siedlungsböden gibt (EITEL 2001, BASTIAN & SCHREIBER 1999, GISI 1997, SEMMEL 1993, ADAM 1988). Gleiches gilt auch für internationale Standardwerke (TAN 1994, PIERZYNSKI et al. 1994). Für die wichtigste Standard-Literatur ist in Tab. 2 die Nomenklatur und Charakterisierung urbaner Böden zusammengestellt. Interessanterweise führte die Durchsicht der deutschen **Geographie-Schulbücher** zu dem Ergebnis, dass dort an keiner Stelle urbane Böden thematisiert werden, sondern im Rahmen des städtischen Ökosystems hauptsächlich das Stadtklima (vgl. REMPFLER 1999) behandelt wird (siehe auch REMPFLER 1998).

Def. 6: „Urbane Böden“ (oftmals synonym: urban-industrielle Böden, Böden städtisch-industrieller Verdichtungsräume, Stadtböden, Siedlungsböden)

„Darunter ist die Gesamtheit aller Böden der urban genutzten Flächen zu verstehen. Es sind (z.T. kleinflächig vergesellschaftete) Bodenformen natürlicher, anthropogen umgelagerter natürlicher und technogener Substrate. Derartige Bodengesellschaften weisen durch die anthropogene Überprägung (wie z.B. die Versiegelung) und ihre intensive Nutzung insbesondere eine Veränderung der Bodeneigenschaften auf.“

Diese Definition ist kein Novum, sondern entspricht seit BLUME (1992) der „üblichen“ Charakterisierung urbaner Böden (z.B. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002, WESSOLEK 2001, BLUME 1998)

All den in Tab. 2 aufgeführten Beispielen ist aus Sicht des Autors gemeinsam, dass bei den Typisierungs- bzw. Klassifizierungsansätzen die Funktionen und die Bedeutung der **Böden als Teil des städtischen Geoökosystems** gar nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt werden. Dies bedeutet gleichsam, dass zwar eine Differenzierung der Böden in urbanen Landschaften auf verschiedene Art und Weise möglich ist, die bisherigen Grundansätze aber aus Sicht der Ökosystemtheorie nicht zu einer ökosystemar begründeten, nachvollziehbaren und auch auf das Ökosystem raumwirksamen Kategorisierung führen.

Der auf den urbanen Oberflächen agierende Mensch verändert gezielt oder zufällig die Funktionen der unversiegelten Böden als Bestandteile des urban-industriellen Ökosystems und als Ressource für den Menschen selbst. Die aus urbanen Nutzungen und deren Veränderungen resultierenden stadtspezifischen Bodengenese sind zum Teil auch als Folgen von Belastungen zu betrachten. Im folgenden sollen Veränderungen und Belastungen betrachtet werden, die einen Übergang zwischen lediglich veränderten Böden bis u.U. hin zu Altlasten darstellen (PIETSCH & KAMIETH 1991).

Belastende Einflüsse auf die unversiegelten Böden in der Stadt haben prinzipiell zwei Ursachen:

- **Böden sind Stoffsenken** (FELLENBERG 1994); die meisten der in Atmosphäre und Hydrosphäre emittierten Stoffe sowie Stoffe aus dem Wirtschaftskreislauf gelangen als Sedimente in die Geosphäre, davon große Mengen in terrestrische Böden. In urbane Gebiete werden durch den wirtschaftenden Menschen große Stoffströme gelenkt, die umgewandelt und wieder verteilt (emittiert) werden. Sie konzentrieren sich als Nah-Immissionen auf Flächen, die für Stoffablagerungen ökologisch nur begrenzt aufnahmefähig sind. Zusätzlich gelangen nutzungsspezifische (Schad-)stoffe durch Bewirtschaftungsmaßnahmen sowie durch Unfälle in die Böden.
- Die **Struktur** der Böden als räumliche Anordnung der festen Bodenbestandteile bedingt wesentlich die Eigenschaften und die Entwicklung von Böden. Im urban-industriellen Bereich konzentrieren sich **mechanische Einwirkungen** auf die Bodenstruktur räumlich und zeitlich.

Tab. 2: Charakterisierung urbaner Böden

Quelle	Bezeichnung	Charakterisierung
BLUME 1998	Böden städtisch-industrieller Verdichtungs-räume	Unterscheidung von drei Gruppen: <ul style="list-style-type: none"> • veränderte Böden natürlicher Aufträge, • Böden anthropogener Aufträge natürlicher Substrate oder Mischungen derselben, • versiegelte Böden
BURGHARDT 1996, BURGHARDT 1995	Urbane Böden, Stadtböden	<ul style="list-style-type: none"> • Gliederung nach Ablagerungsart, Prozessen der Bodenbildung und Bodenmerkmalen • Substratgliederung nach Merkmalen der Modifikation durch Substratbehandlung
BURGHARDT 2002	Stadtböden	<ul style="list-style-type: none"> • Viele Böden stehen am Anfang ihrer Entwicklung • Die Umwelt der Böden hat sich verändert (viele Böden treten als Relikte auf). • Böden aus umgelagerten Horizonten weisen Bodenmerkmale auf, die nicht am Ort entstanden sind (Phänotypen).
CRAUL 1999	Urban Soils	<ul style="list-style-type: none"> • Zuerst Unterscheidung nach natural und „urban made“ • Differenzierungen nach Site Conditions und Soil Conditions (fill, cut, mound or berm)
FAO Bodenkarte der Welt 1985 (BAILLY & NIEDER 2002)	Anthrosols	<ul style="list-style-type: none"> • durch den menschlichen Einfluss entstandene oder wesentlich umgestaltete Böden • vier Untereinheiten: Aric, Fimic, Cumulic, Urbic Anthrosol
FIEDLER 2001	Stadtböden (= Urbane Böden)	<ul style="list-style-type: none"> • Abteilung der Anthropogenen Böden wird klassifiziert in Terrestrische Kultosole, Moorkultosole, Bergbauböden (Bergeböden), Auftragsböden (Deposole), Versiegelte Böden, Bewässerungsböden und Reduktosole
HILLER & MEUSER 1998	Urban-industriell veränderte Böden	<ul style="list-style-type: none"> • Fünfstufiges Klassifikationsschema zur Eignung als Pflanzenstandort
KA 4 1994	Urban, gewerblich und industriell überformte Böden	<ul style="list-style-type: none"> • „Kartieranleitung Stadtböden“ und entsprechende Klassifizierung steht noch aus
KUNTZE, ROESCHMANN & SCHWERDTFEGER 1994	Abteilung Anthropogene Böden (= Kultosole)	<ul style="list-style-type: none"> • Gliederung in drei Klassen und zusätzlich ohne Zuordnung in Anlehnung an SCHRAPS 1989 „Anthropomorphe“ Böden (Auftragsböden/Deposole, Abtragungsböden/Denusole, Eindringböden/Intrusole)
MÖBES 2001, KNAUF & MÖBES 1999, KNAUF & MÖBES 1995	Anthropogene Böden	<ul style="list-style-type: none"> • Gliederung der anthrop. Böden Sachsen-Anhalts in 8 Hauptbodenformengruppen, in denen auch Böden in Siedlungsräumen und industriellen Produktionsrückständen eine Berücksichtigung finden
PIETSCH & KAMIETH 1991	Stadtböden	<ul style="list-style-type: none"> • Böden als Komponenten urban-industrieller Ökosysteme • Nutzungstypen als Bezugsflächen
SAUERWEIN 1998	Urbane Böden	<ul style="list-style-type: none"> • Differenzierung von 6 Typklassen in Anlehnung an BURGHARDT 1996
SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002, S. 543	Böden städtisch-industrieller Verdichtungs-räume	<ul style="list-style-type: none"> • Anthropogene Veränderung der Faktoren der Bodenentwicklung führen insbesondere zu Auswirkungen auf die Funktionen der Böden als Pflanzenstandort, Lebensraum für Organismen, Schadstofffilter, Regulator des Landschaftswasserhaushaltes
SCHWERDTFEGER 1997, SCHWERDTFEGER & URBAN 1997	Abteilung „Anthropogene Böden“	<ul style="list-style-type: none"> • 7 Klassen, • Hauptgliederungsprinzip: Ziel des menschlichen Handelns

Die Einflüsse können den Boden in seinen Eigenschaften verändern, teilweise dient er nur als "Träger" von Belastungen, die dann Funktionen bzw. Nutzungen beeinträchtigen. **Stoffliche Belastungen** von Böden und Grundwasser werden anhand von Messwerten erfasst und beurteilt, die für sich alleine

betrachtet eine Genauigkeit vortäuschen. Von der Probenahme über die Analytik bis zur Interpretation von Messwerten ist eine große Bandbreite von Ungenauigkeiten und Fehlermöglichkeiten zu berücksichtigen, die für die Interpretation von Daten eine nicht unerhebliche Rolle spielen kann.

Sowohl durch Stoffe, deren Umsetzungen, als auch durch mechanische Einwirkungen werden verändert:

- die Bodenchemie (pH-Wert, Mobilität von Stoffen),
- die Bodenphysik (neue Substrate, Wasser-, Lufthaushalt),
- die Bodenbiologie (Veränderung der Lebensbedingungen für Flora und Fauna),
- die Ökologie des Standortes (Boden als Basis für Biotope).

Alle Stoffe oder Verbindungen, die in Böden eingetragen werden, sind potentiell Schadstoffe; entscheidend für ihre Bedeutung ist die Dosis-Wirkungsbeziehung. Sowohl "natürliche" (z.B. Chloride, Nitrate) als auch die mehr als 100.000 durch den Menschen geschaffenen künstlichen Stoffe verursachen Bodenbelastungen. Einige Stoffe gelangen in Größenordnungen von mehreren 100.000 t/a in die Umwelt, andere nur in wenigen kg/a (PIETSCH & KAMIETH 1991). In Tab. 3 sind Stoffe und Stoffgruppen zusammengestellt, die für Bodenbelastungen eine besondere Bedeutung besitzen.

Tab. 3: Stoffe/Stoffgruppen, die für Bodenbelastungen eine besondere Bedeutung besitzen

Stoffe mit nachgewiesenem Gefahrenpotential, die weit verbreitet sind und/oder besonders nachteilige Wirkungen haben	Stoffe mit nachgewiesenem Gefahrenpotential, jedoch von lokaler Bedeutung
Arsen, Cadmium, Blei, Zink, Nickel, Aluminium, Kupfer	Chrom, Thallium, Beryllium, Kobalt, Uran
Salpetersäure/Nitrate	Flusssäure/Fluoride, Cyanide
Schwefelsäure/Sulfate	Ammonium
Salzsäure/Chloride	Mineralöle
PCB/PCT/PCN (polychlorierte Biphenyle, Terphenyle und-Naphtaline), HCB, DDT, PCP, HCH, PAH, leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (Trichlorethen, Perchlorethen), PCDD/PCDF	Nitroaromaten, aromatische Kohlenwasserstoffe (insbesondere Benzole, Toluole, Naphthaline), Paraquat
langlebige Radionuklide	Phenole

Darüber hinausgehend gibt es aus **humantoxikologischer Sicht** eine Vielzahl von Stoffen, deren Wirkungspotential und Verbreitung weitergehend zu untersuchen sind (z.B. Antimon, Selen, Vanadium, Borate, Bromide, Phtalate, Oktachlorstyrol, sonstige chlorierte Kohlenwasserstoffe, Inhaltsstoffe von Wasch- und Reinigungsmitteln, u. a. Tenside und Phosphatersatzstoffe (BÄDJER 2000, BLUME 1998, PIETSCH & KAMIETH 1991).

Im Zusammenhang mit Schadstoffanreicherungen ist besonders wichtig, dass Böden nicht oder nur sehr begrenzt von aufgenommenen Stoffen befreit oder gereinigt werden können. Weder Versalzung, Schwermetallanreicherung noch Ansammlungen bestimmter organischer Verbindungen lassen sich ohne enormen **technisch-chemischen Aufwand** aus Böden wieder entfernen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Einige organische Verbindungen sind kurz- und mittelfristig (Tage bis Jahre) durch biologische Prozesse abbaubar. Ein **Austragspfad** stellt Niederschlags- bzw. Sickerwasser mit der Folge von Belastungsverlagerungen in das Grundwasser oder die Oberflächengewässer (z.B. Chloride) dar (KOCH, SAUERWEIN & FRÜHAUF 2004, WESSOLEK & RENGER 1998, LÖHNERT 1997).

Die Gruppe der persistenten, d.h. im Boden nicht oder nur in langen Zeiträumen abbaubaren, problematischen Stoffe bildet ein wachsendes **Gefahrenpotenzial**, weil sie sich mit fortschreitendem Eintrag kontinuierlich anreichern. Diese Anreicherung kann zu latenten, bei Überschreiten bestimmter Belastungsgrenzen deutlichen Beeinträchtigungen von Bodenflora und Bodenfauna und bis hin zu akuten Gefährdungen auch des Menschen durch direkten Kontakt bzw. über die Nahrungskette und das Grundwasser führen. **Gefährdungspfade** für Bodenschadstoffe zum **Schutzgut Mensch** sind (vgl. Abb. 6):

- Belastungspfad Boden-Luft-Mensch (pulmonale/direkte Aufnahme),
- Belastungspfad Boden-Mensch (orale/direkte Aufnahme),
- Belastungspfad Boden-Mensch (kutane/direkte Aufnahme),
- Belastungspfad Boden-Grundwasser-Trinkwasser-Mensch (orale/ indirekte Aufnahme),
- Belastungspfad Boden-Pflanzen-Nahrung-Mensch (orale Aufnahme über die Nahrungskette).

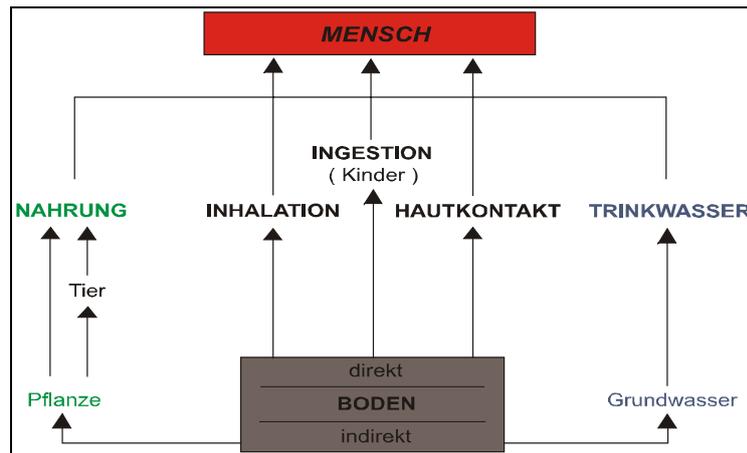


Abb. 6: Böden als Belastungsquelle für den Menschen

3.1 Eigenschaften urbaner Böden

Boden ist neben Wasser und Luft das dritte "**Umweltmedium**", welches als **Ökosystemkompartiment** in enger Beziehung und Wechselwirkung mit den übrigen steht - unabhängig vom Grad seiner anthropogenen Beeinflussung oder Veränderung. Wie in Kap. 2 angeführt, nimmt der Boden eine wesentliche Stellung im **Geoökosystem** ein, denn er ist nicht nur selbst Senke, sondern gleichzeitig auch Umsatzraum und Quelle (vgl. Abb. 4) (HIRNER et al 2000). Fokussiert man den **Menschen** in das Zentrum des urbanen Ökosystems, so wurde im vorigen Abschnitt deutlich gemacht, dass er, von den Böden ausgehenden, vielfältigen **Belastungspfaden** und damit auch Einflüssen unterliegt (Abb. 6).

Bezugnehmend auf Def. 2 (Charakterisierung „Urbane Böden“) wird im folgenden auf die Veränderungen natürlicher Böden, Böden nicht-natürlicher Substrate und versiegelte Böden eingegangen.

3.1.1 Anthropogene Veränderungen an natürlichen Böden

Im Zuge der Siedlungstätigkeit bzw. von Siedlungserweiterungen können vielfältige Veränderungen der Pedosphäre erfolgen. Dadurch werden z.B. die Skelettgehalte signifikant erhöht (STASCH & STAHR 2002), Humusgehalte erhöht bzw. die Böden verdichtet (LEHMANN 2002) oder es werden durch Aufbringen und Einbringen von Material „neue“ Böden erstellt (FETZER 2002). Oftmals sind bzw. waren bei der erstmaligen Überprägung davon natürliche Böden betroffen (BLUME 1998), insbesondere bei der Anlage von Siedlungen. Demgegenüber können aber auch vorher anderweitig genutzte, nicht mehr natürliche, Böden durch Siedlungstätigkeiten beeinflusst werden. Dies geschah in Mitteleuropa z.B. oftmals bei nachmittelalterlichen Stadterweiterungen (wie in der Gründerzeit), als (meist) agrarisch genutzte Flächen außerhalb der Städte überbaut wurden. In beiden Fällen werden die Böden als „prä-urbane“ Böden bezeichnet, wobei aus Sicht des Stoffhaushaltes allerdings die Nutzungsgeschichte von Bedeutung ist, wie in Kap. 13 (Stoffhaushaltsmodellierung) deutlich werden wird.

Natürliche Böden können in Siedlungen auf unterschiedliche Art und Weise **verändert** werden, z.B.

- überbaut und überdeckt (Bodenversiegelung),
- verschüttet (Auffüllung, Aufschüttung, Kulturschutt; Auftragsmaterial können sein: Asche, Müll, Bauschutt, Schlacken),
- aufgehöht (Auftrag von Bodenmaterial, betrifft z.B. Garten-/Parkböden),
- abgegraben: beseitigt oder gekappt (Bodenaushub),
- verdichtet (mechanische Bodenverdichtung durch Auflasten: Maschinen, Fahrzeuge, Planierung, Tritt),
- ausgetrocknet (Ursache: anthropogene Grundwasserabsenkung)
- umgelagert (Baumassnahmen),
- vermischt (Bodenbearbeitung, Baumassnahmen),
- kontaminiert (Havarien, Leckagen, Immissionen, Altlasten, Baumassnahmen, Auftausalze).

Veränderungen der urbanen Böden können nach BURGHARDT 1996 erfolgen hinsichtlich

1. des **Stoffbestandes** durch:
 - Feststoffaufträge von natürlichen und technogenen Substraten oder Gemengen aus diesen,
 - Stoffeinträge, gasförmig, gelöst oder fest aus der Atmosphäre, Produktions- und Siedlungsstätten, Verkehr, Infrastruktureinrichtungen,
 - Schadstofftransfer,
 - Humusbildung und Grundwasserabsenkung;
2. des **Stoffaustausches** zwischen den Sphären durch:
 - Klimaveränderung
 - Bodenverdichtung und Versiegelung,
 - Wassereinzugsgebietsveränderungen und
 - Veränderungen des Abstandes Bodenoberfläche-Grundwasser;
3. der **Überprägung natürlicher Merkmals- und Prozessesstrukturen** durch:
 - anthropogene Raummuster,
 - vertikale und horizontale Heterogenisierung,
 - anthropogen gesteuerten Reliefwandel;
4. des **Zeitraumes ihrer Bildung** und der Häufigkeit des **Flächennutzungswandels** und dadurch
5. der **Veränderung der Speicher- und Transferfunktionen** der Böden für Schadstoffe.

Zusammenfassend kann man die Eigenschaften urbaner Böden wie folgt charakterisieren: Es handelt sich **z.T. um ein kleinräumiges Bodenmosaik** der städtischen Siedlungsfläche, das von Meter zu Meter sehr stark differenziert sein kann. Bei fortschreitender **Urbanisierung** nehmen die Eingriffe in die Bodenstruktur besonders durch bauliche Maßnahmen, mechanische Belastungen sowie Fremd- und Schadstoffeinträge zu und es kommt zum Rückgang der oberflächenbildenden Böden bzw. offenen Freiflächen. Auf den **offenen Freiflächen** (Vor-, Haus-, Kleingärten, Grünanlagen) ist die Spannweite von humusarmen Schütt- und Aufschüttungsböden bis zu dunklen humus- und nährstoffreichen Substraten (durch intensive, künstliche Düngung) sehr hoch (LEHMANN et al. 1995). Dabei ist die Mehrzahl der Stadtböden humusarm, was durch die Beseitigung des Laubs und der Streu (Humusbildner) durch intensive Pflegemaßnahmen auf den Grünflächen (insbesondere der Parkanlagen) begründet ist. Die wichtigste **physiko-chemische Kenngröße** - der pH-Wert - liegt bei der Mehrzahl der Stadtböden als Folge von kalkreichen Bauschuttresten und aufgewehtem Staub im neutralen Bereich. Die angesprochene Entfernung des Falllaubs führt zur Minimierung des natürlichen jährlichen Nährstoffnachschiebs, wengleich Bauschutt, Staub und Straßenkehrschutt diesen teilweise kompensieren (vor allem Kalzium). Die geringe Humusaufgabe, die wenigen Bodenlebewesen und die **mechanischen Bodenverdichtungen** wirken sich nachteilig auf den Luftaustausch und damit die **Durchlüftung** aus. Die Reduktion des Porenvolumens senkt zugleich die **Wasserspeicherkapazität** der Böden, so dass plötzlich auftretende große Wassermengen (durch Starkregen und aufgrund der Versiegelung erhöhten Oberflächenabfluss) nur z.T. im Boden versickern können. Die feinmaterialreichen, oberflächlich abfließenden Wässer verschlammten zusätzlich den Oberboden. Die **Belastung** der Stadtböden kann erfolgen durch **Schadstoffeinträge** aus der Luft, durch Regen-/Taufall, durch Hochwässer (insbesondere die Auenböden), durch Altlasten, Auftausalze, Leitungsleckagen, Havarien, unsachgemäße Lagerung oder Überdüngung. **Belastungsarten** können dabei eine erhöhte Säurebelastung durch sauren Regen sein oder eine Stoffbelastung durch stadttypische Schwermetalle (Blei, Kupfer, Zink, Nickel, Mangan, Cadmium) oder organische Schadstoffe (PAK, PCB) (HELING & ROTHE 1990, HENSCHLER 1990).

3.1.2 Böden nicht-natürlicher, künstlicher Substrate

In anthropogen überprägten Stadtböden findet man außer umgelagerten natürlichen Fest- und Lockergesteinen eine **große Anzahl technogener Substrate**, die zuvor unterschiedliche technische Prozesse durchlaufen haben (BLUME 1998). So lassen sich als Hauptkomponentengruppen gegeneinander abgrenzen z.B. **Bauschutt, Schlacken, Aschen, Bergematerial, Müll und Schlämme** (HILLER & MEUSER 1998).

In der Praxis stellt das **Erkennen** technogener Substrate in Stadtböden den Kartierer häufig vor große Probleme. Nicht zuletzt deshalb werden z.B. in Schichtenverzeichnissen ungenaue Angaben (z.B. Schlacke/Asche) gemacht, die der **Vielfältigkeit** und vor allem den unterschiedlichen Eigenschaften gerade in Hinblick auf das **Schadstoffpotenzial** nicht gerecht werden. Es liegen mittlerweile unterschiedliche **Bestimmungsschlüssel** vor, die technogene und natürliche Substrate urban-industrieller Böden erfassen (SCHWERDTFEGER 1997, MEUSER 1996 b). Als **Merkmale** solcher Böden können gelten (in Anlehnung an HILLER & MEUSER 1998):

- auffälliger Geruch,
- dominierende Farbe des Substrates,
- Festigkeit, Oberflächenbeschaffenheit und innere Struktur des Skelettanteils (Substrate > 2mm),
- Korngröße,
- Carbonatgehalt.

Technogene Substrate (auch „anthropogene Gesteine“ – MEUSER 2002) treten häufig nicht als isolierte Monosubstrate, sondern in Gemengeform im Boden auf (MEUSER et al. 1998). Die Zusammensetzung der Gemenge wechselt horizont- bzw. schichtenspezifisch. Die Auswertung von ca. 900 Bodenhorizonten aus der Tiefe 0 – 100 cm im Stadtgebiet von Essen ergab, dass 1/3 aller Bodenhorizonte frei von technogenen Beimengungen sind (Horizonte natürlicher Pedogenese, umgelagerte natürliche Substrate; HILLER & 1998). Die eigenen Untersuchungen im Stadtgebiet von Halle ergeben ein ähnliches Bild. So sind im Schnitt aller aufgenommenen Bodenprofile (ohne die auf archäologischen Grabungen) im Zeitraum 1999 – 2003 **40% aller Bodenhorizonte** (ebenfalls bezogen auf den ersten Meter) **frei von künstlichen Beimengungen**. Dass die Zahl etwas höher liegt als in Essen, liegt daran, dass hauptsächlich Böden in Siedlungsgebieten und weniger in Industriegebieten betrachtet wurden. Durch die im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführte Analyse der anthropogen bedingten Reliefveränderung im Stadtgebiet von Halle (KRUG 2002) lassen sich aufgefüllte Bereiche ausweisen, die größtenteils nicht-natürliche, künstliche Substrate enthalten (hauptsächlich Kippen, Halden u.ä.). Nur in weniger als 2 % aller Fälle finden sich Schichten aus reinen technogenen Monosubstraten. So kann bei anthropogen überformten Böden generell davon ausgegangen werden, dass primär Gemengeformen vorliegen. Dies wird durch eine Vielzahl stadtbodenkundlicher Arbeiten z.B. aus Kiel (SIEM 2002, SCHLEUB, SIEM & BLUME 1997, CORDSEN 1993), München (SUTTNER, GRUBAN & SCHRAA 1993), Leipzig (SCHULTE 1996), Stuttgart (HOLLAND 1996, HOLLAND & STAHR 1995), Essen (MEUSER et al. 1998) Rostock (TIETBÖHL, KRETSCHMER & MULSOW 1997, COBURGER & KRETSCHMER 1997) oder Bremen (PLUQUET & LENZ 1997) bestätigt.

3.1.3 Versiegelte Böden

In Anlehnung an WESSOLEK (2001) bedeutet Bodenversiegelung, dass offener Boden verdichtet und/oder mit mehr oder weniger permeablen Substanzen wie Asphalt, Beton oder Gebäuden überdeckt wird. Dabei werden die **Austauschvorgänge zwischen Boden und Atmosphäre**, die sowohl den abiotischen Bereich (wie Versickerung oder Verdunstung von Bodenwasser, Luftaustauschprozesse) als auch den biotischen Bereich betreffen, weitgehend **unterbunden** (Abb. 7).

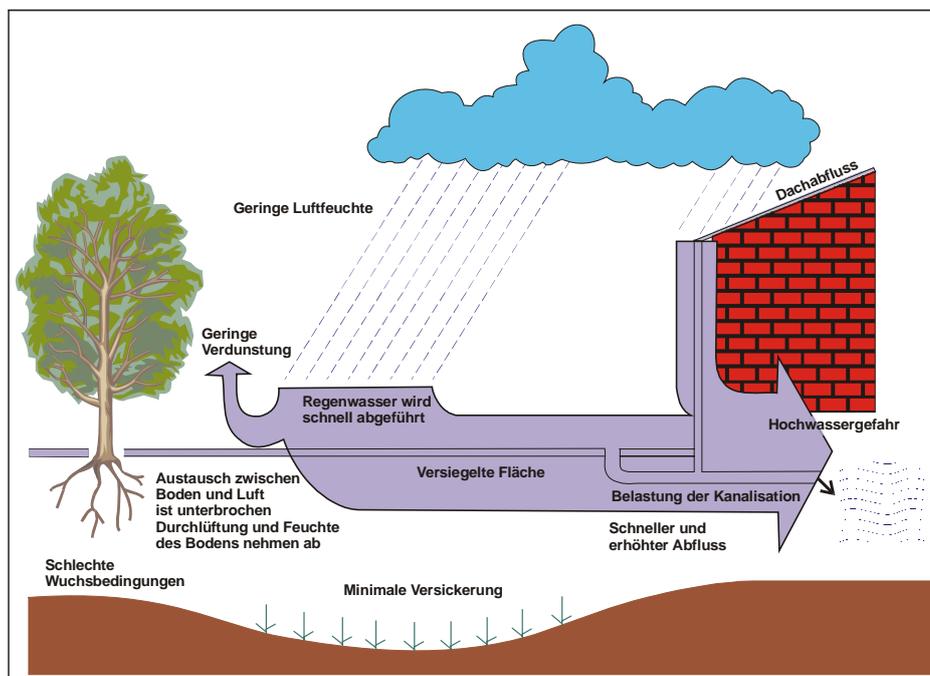


Abb. 7: Auswirkungen der Bodenversiegelung auf den Wasserhaushalt

Allgemein werden **drei Formen der Versiegelung** unterschieden (WESSOLEK 2001, BLUME 1998):

1. Vollversiegelung (horizontale und vertikale) z.B. durch Straßen, Plätze, Gebäude, Kanäle etc.;
2. Teilversiegelung z.B. durch Pflasterung, Gehwegplatten, Rasensteine etc.;
3. Unterflurversiegelung z.B. durch Tiefgaragen, Tunnel, Leitungsschächte etc.

In der vorliegenden Arbeit werden keine dieser versiegelten Oberflächen näher untersucht, sondern der Fokus liegt auf den unversiegelten Böden. Die **Bodenversiegelung** wird allerdings bei der **Stadtstrukturtypencharakterisierung** einbezogen, so dass die dann untersuchten Flächen im Zusammenhang mit dem Versiegelungsgrad als Repräsentanten für typische Flächennutzungsmuster verstanden werden können.

3.2 Genese und Belastungspotenzial urbaner Böden

Wie in den vorigen Teilkapiteln aufgezeigt, sind die **bodenbildenden Substrate** in urbanen Ökosystemen sowohl **autochthoner** als auch **allochthoner (natürlicher und künstlicher) Genese**. Sie bestimmen nicht nur die Art, Intensität und Geschwindigkeit der Pedogenese, sondern zu wesentlichen Teilen auch das **ökologische Potenzial** dieser Standorte. Dieses lässt sich besonders deutlich an den Bodenwasser- und Nährstoffhaushaltseigenschaften belegen. Diese wiederum regeln auch andere über den Boden ablaufende, stoffliche und energetische Prozesse in den Stadtökosystemen (u.a. Infiltrations- und Grundwasserneubildungspotential, vgl. WESSOLEK 2001).

Diese (direkten oder indirekten) Einwirkungen auf den Stadtboden und die hieraus erwachsenden Abwandlungen der pedoökologischen Eigenschaften bzw. Bodenfunktionen sind dabei teilweise gewollt, teilweise treten sie aber auch als ungewollte, i.d.R. Negativwirkung hervor. Sie betreffen insbesondere den Wärme-, vor allem aber den Bodenwasserhaushalt (WESSOLEK & FACKLAM 1997, TAUBNER & HORN 1995).

Neben der Veränderung der Substrate können auch die natürlichen Bodenbildungsprozesse beeinflusst werden. Es kommt dann zu einer „urbanen Bodenbildung“ z.B. durch

- **Humusanreicherung**: es entstehen Regosole (kalkfrei) und Pararendzinen (kalkhaltig),
- **Carbonatanreicherung**, vorwiegend aus Bauschutt: es entstehen schwach bis stark alkalische Böden, die entsprechend ihren natürlichen Vertretern als Pararendzinen bezeichnet werden,
- **Mischung von Substraten** technischen Ursprungs mit natürlichem Boden: es entstehen Phryllithe (Phryo: Mischung aus natürlichen und technogenen Substraten),
- **Ablagerungen** von Substraten technischen Ursprungs (Bauschutt, Aschen, etc.): es entstehen Technolithe,
- **Stauwasserbildung** über künstlichen Stausohlen: es entstehen Pseudogleye,
- **reduktomorphe Prozesse** infolge Sauerstoffzehrung; z.B. durch Methanbildung: es entstehen Methanosole (gehören zur Gruppe der Reduktosole).

Generell müssen im **urbanen Raum z.T. stark erhöhte Schadstoffgehalte** festgestellt werden. An **Eintragsformen** in die Böden lassen sich grundsätzlich unterscheiden (SAUERWEIN 2002, Tab. 3-3):

1. Der diffuse, weiträumige, relativ gleichmäßige Eintrag in geringen Konzentrationen. Dazu zählen Massenschadstoffe sowie organische Verbindungen und Schwermetalle. Betroffen sind die oberen Bodenschichten.
2. Der konzentrierte, räumlich und zeitlich begrenzte Eintrag. Die Zufuhr in die Böden ist eher ungleichmäßig, nutzungstypisch und kann alle Bodenschichten/-horizonte betreffen.

Tab. 4: Ursachen und Eintragsformen von Schadstoffen in urbane Böden

Quelle	Dauer	Eintragsform	Konzentration	Kontamination
Immissionen	sehr lang	diffus	sehr gering	Oberfläche
Ablagerung	mittelfr.	lokal	hoch	Obfl./Tiefe
Kanalisation	sehr lang	linear	hoch	Tiefe
Defekte Tanks, Leitungen	mittelfr.	lokal	sehr hoch	Tiefe
Unfälle	kurz	lokal	sehr hoch	Oberfläche
Bewirtschaftungsmaßnahmen	mittelfr.	lokal	gering	Oberfläche

Stoffliche Einwirkungen auf den Boden, deren Folgen sowohl qualitativ (z. B. durch Toxizität oder Persistenz) als auch quantitativ (z. B. durch Versauerung oder Auswaschung) problematisch sein können,

folgen den unterschiedlichen, diffusen oder konzentrierten, direkten und indirekten Eintragspfaden (SAUERWEIN 2002):

1. Deposition von Luftverschmutzungen aus Gewerbe, Industrie und Hausbrand (diffuse, eher großflächige Einträge). An „Massenschadstoffen“, die als trockene oder nasse Deposition letztendlich wieder in den Böden landen, sind zu nennen:

- Schwefeldioxid, ca. 2,5 Mio. t/a, vorwiegend aus Kraftwerken;
- Stickoxide, ca. 3,1 Mio. t/a, hoher Anteil Verkehrsemissionen;
- Schwebstaub mit anorganischen und organischen Inhaltsstoffen.

Während Schwefeldioxid und Stäube bundesweit seit Jahren deutlich rückläufig sind, ist die Tendenz bei Stickoxidimmissionen eher stagnierend bis leicht steigend. Über Luftverschmutzungen werden auch Spurenschadstoffe, hauptsächlich organische Verbindungen, in die Böden eingetragen. Sie sind ähnlich wie die Schwermetalle meist an Staubpartikel gebunden, werden aber auch durch Niederschläge aus der Atmosphäre gelöst. In der Bundesrepublik werden jährlich etwa 1,9 Mio. Tonnen organischer Verbindungen an die Umwelt abgegeben. Es handelt sich um tausende Substanzen, die in unterschiedlichen Mengen freigesetzt werden. Viele dieser Verbindungen werden in der Atmosphäre abgebaut, stabilere Substanzen gelangen mit dem Staub und Niederschlägen in die Böden. Zu diesen Spurenschadstoffen gehört die umfangreiche und umweltrelevante Gruppe der Kohlenwasserstoffe, besonders halogenierte Kohlenwasserstoffe.

2. Verkehrsspezifische Immissionen auf Straßenverkehrsflächen, Schienenverkehrsflächen (Einträge sowohl diffus als auch konzentriert auf Verkehrsflächen und deren Randbereiche). Die Verkehrsimmissionen betragen 2000 bundesweit rd. 5,3 Mio. Tonnen Kohlenmonoxid, rd. 0,6 Mio. Tonnen Kohlenwasserstoffe, rd. 1,7 Mio. Tonnen Stickstoffoxide, rd. 0,1 Mio. Tonnen Schwefeldioxid, 65800 Tonnen Staub und 1200 Tonnen Blei. Auf den Straßen wurden 2000 rd. 0,8 Mio. Tonnen Auftaumittel eingesetzt. Hinzuzurechnen ist noch der nicht näher quantifizierbare Einsatz von Herbiziden auf den Verkehrsflächen.

3. Schadstoffe aus Leitungen/Infrastruktur wie Kanalisationssystemen und Gasleitungen (Einträge konzentriert und linear in tiefere Bodenschichten). Undichte Abwasserleitungen sind ein bisher unterschätztes Problem urbaner Boden- und Grundwasserbelastungen. Pro Jahr versickern in Großstädten Millionen von m³ belasteter Abwässer, die aus den Haushalten und aus gewerblichen Verarbeitungsprozessen (Indirekteinleiter) stammen.

4. Ablagerungen und Kontaminationen auf Betriebsflächen (konzentrierte Einträge nicht nur auf die Oberböden, sondern bis in Tiefen von mehreren Metern. Deponieren von produktionsspezifischen Abfällen; Tanks, betriebsinterne Leitungssysteme etc.). Bodenbelastungen dieser Art auf bestehenden und ehemaligen Standorten von Industrie und Gewerbe setzen sich aus einer Fülle branchenspezifische Stoffe zusammen. Je nach Produktionsverfahren muss mit unterschiedlichen Schadstoffen gerechnet werden.

5. Deponien und "wilde" Ablagerungen (konzentrierte Einträge). Zu den als Altlasten erfassten ehemaligen Altdeponierungen kommen die noch in Betrieb befindlichen Deponien und unzählige Kleinstablagerungen, Verfüllungen, Aufschüttungen, die in ihrer flächenhaften Ausdehnung in alt-industrialisierten Gebieten die verbliebene Restfläche der weitgehend natürlich gelagerten Böden übertreffen können.

6. Aufbringen von "Bodenverbesserungsmitteln" (konzentrierter, nutzungstypischer, durch den Menschen direkt gesteuerter Eintragspfad). Eine nicht unerhebliche Bedeutung für Schadstoffeinträge besonders für die bearbeitete Bodenschicht haben sogenannte Bodenverbesserungsmittel, die oftmals hohe Schwermetallkonzentrationen aufweisen.

7. Bodenaustausch mit kontaminierten Substraten (konzentrierter Eintrag). Aufschüttungen und Verfüllungen als Gründungs- und Sicherungsmaßnahmen für Gebäude, Infrastruktureinrichtungen usw. waren in der Vergangenheit und sind es teilweise heute noch willkommene Verwendungsmöglichkeiten (Recycling) für Bodenaushub, Bauschutt und sonstige (Abfall-) Substrate, die nicht selten mit Schadstoffen kontaminiert sind.

8. Sedimentation in Gewässern (konzentrierter Eintrag). In den Sedimenten stehender und fließender Gewässer werden schon durch natürliche Prozesse Schadstoffe, insbesondere Schwermetalle, angereichert. Hinzu kommt ein sehr viel größerer anthropogener Anteil. Der Abfluss der angeschlossenen Gebiete konzentriert die diffuse Immissionsbelastung der Städte auf eine vergleichsweise kleinflächige Schadstoffsenke. Die Folge sind Faulschlammbildungen mit Schadstoffkonzentrationen, die den Kriterien einer Einstufung als Sondermüll genügen. Untersuchungen in Halle belegen (HECKNER 2003, WINDE 1996), dass eine Vielzahl der städtischen Gewässersedimente mit Schwermetallen belastet sind. Durch Überschwemmungen können insbesondere die Böden der Auenbereiche kontaminiert werden (WINDE & FRÜHAUF 2001).

Die aufgezeigten (Schad-) **Stoffakkumulationen in Böden** sind im Unterschied zu den Umweltmedien Luft und Wasser, zumindestens in den Anfangsstadien, vom Menschen kaum spür-, d.h. fühl- oder sichtbar. Oftmals sind diese Belastungswirkungen erst dann merkbar, wenn eine Aufrechterhaltung der Bodenfunktionen kaum noch gewährleistet ist (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Da eine natürliche „Dekontamination“ z.B. bei Schwermetallbelastungen aufgrund der i.d.R. hohen pH-Werte kaum wirksam wird und eine technische „Reinigung“ nur eingeschränkt möglich, aber sehr kostenaufwendig ist, ist das ökologische Potenzial unter diesen Bedingungen als überaus problematisch anzusehen.

Es sind jedoch nicht nur die unmittelbaren Beeinträchtigungen der (in-situ-) Standorteigenschaften, die dieses „Bodenproblem“ in städtischen Ökosystemen so brisant erscheinen lassen. Einschränkungen oder sogar völliges Außerkraftsetzen der (natürlichen) Bodenfunktionen in Städten führt auf Grund der „integralen Stellung der Böden innerhalb einer Landschaft“ (HAASE 1991) über Modifikationen ihrer Speicher-, Steuer- und Reglerfunktionen nicht nur zu unmittelbaren Verringerungen des ökologischen Potentials an der „Verursacherstelle“, sondern auch zu (negativen) Auswirkungen auf den Stoff- und Energiehaushalt des gesamten städtischen Ökosystems (LESER 1997, ROTTLÄNDER et al. 1997). Beispiele dafür sind u.a. die Beeinträchtigung des Versickerungs- bzw. Grundwasserneubildungspotentials (WESSOLEK & RENGER 1998, TAUBNER & HORN 1995), der mikroklimatischen Einflüsse (KUTTLER 1995) oder des Lebensraumes für die städtische Vegetation (WITTIG 1998, WINKLER 1996, KLOTZ 1984) und Fauna (KLAUSNITZER 1998).

3.3 Ökosystemare Funktionen und Bedeutung urbaner Böden

Böden dienen Organismen als **Lebensgrundlage**, den Pflanzenwurzeln bieten sie Verankerung sowie Versorgung mit Wasser, Sauerstoff, Nährstoffen und Wärme. Außerdem regulieren sie den Wasserhaushalt und filtern, puffern bzw. eliminieren Schadstoffe, die sonst Organismen schädigen, in Nahrungspflanzen gelangen, das Grundwasser oder benachbarte Gewässer kontaminieren können (BLUME 1998). Diese Funktionen sind in urbanen Landschaften stark eingeschränkt. Böden dienen hier in erster Linie im Sinne eines Infrastrukturelements als „**Unterlage**“ für Gebäude, für Industrie- und Gewerbebetriebe, für Straßen- und Bahnkörper. Sie sind dann meistens versiegelt, d.h. kaum belebt. Außerdem werden sie zur Deponierung bzw. Entsorgung fester und flüssiger Abfälle herangezogen, z.B. als Abraumhalden des Bergbaus, als Bauschutt- oder Mülldeponien sowie als Flächen der Abwasserverrieselung. Es verbleiben somit oft nur **kleine Flächen naturnaher Nutzung** als Haus- oder Vorgärten, als straßenparallele Grünstreifen, als Parks und Friedhöfe, als Sport- und Spielplätze sowie als Kleingärten/Gärtnereien und Flächen landwirtschaftlicher Nutzung. Die aufgeführte Differenzierung findet sich auch im Stadtstrukturtypenansatz wieder. Diese Flächen bestimmen nun aber weitgehend die **Lebensqualität der Bevölkerung** einer Stadt, weil nur deren Böden die Entwicklung eines Erholung, Gesundheit und Anregung spendenden Grüns ermöglichen, und weil diese Böden als Regulator und Filter einer Grundwassererneuerung dienen (BLUME 1998). Diesem „scheinbaren“ Widerspruch zwischen **Stadt und Natur** widmen sich in den letzten Jahren eine Vielzahl von Forschungsarbeiten (HARD 2001, BREUSTE & BREUSTE 2000, BREUSTE 1999).

Viele Böden städtischer Freiflächen wurden wie oben aufgeführt im Vergleich zu denen prä-urbaner Landschaften seitens des Menschen so stark verändert, dass sie als Folge ihre Funktionen im Landschaftshaushalt bzw. Stadtlandschaftshaushalt nur noch bedingt wahrzunehmen vermögen. Im **Bundesbodenschutzgesetz** (BBODSCHG 1998) werden die Funktionen von Böden systematisiert und als **Bodenfunktionen** bezeichnet (Tab. 5).

Im **Bundesbodenschutzgesetz** wird formuliert, dass Bodenschutz als **Schutz der Bodenfunktionen** zu verstehen ist. In der Praxis stellt sich allerdings schnell heraus, dass der Schutz einer Bodenfunktion oftmals die negative Veränderung einer anderen Bodenfunktion bewirkt bzw. Nutzungsfunktionen außer Betracht gezogen werden müssen. Schützt man z.B. Bodenstandorte als Bestandteile des Naturhaushaltes, so bedeutet dies gleichsam, dass diese Standorte nicht als Fläche für Siedlung oder Verkehr in Anspruch genommen werden können (BURGHARDT 1999). Gerade stadtoökologisch ist es somit außerordentlich schwierig, die Bodenfunktionen untereinander zu werten, denn wie oben dargestellt ist ein urbanes Ökosystem primär zur Nutzung durch und für den Menschen zu verstehen. In Kapitel 12 wird dargestellt, dass (dennoch) eine Bewertung von Bodenstandorten über die Betrachtung der Bodenfunktionen erfolgen kann.

Tab. 5: Bodenfunktionen nach dem Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG 1998)

1. Natürliche Funktionen als	<ul style="list-style-type: none"> a) Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen, b) Bestandteil des Naturhaushaltes, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen, c) Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers
2. Funktionen als Archiv...	der Natur- und Kulturgeschichte
3. Nutzungsfunktionen als	<ul style="list-style-type: none"> a) Rohstofflagerstätte, b) Fläche für Siedlung und Erholung, c) Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung, d) Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung.“

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass urbane Böden auch im städtischen Geoökosystem eine **zentrale Bedeutung** haben, denn sie sind nicht nur bzgl. des Stoffhaushaltes das **Gedächtnis** der (Stadt-) Landschaftsentwicklung, sondern sie sind auch historisch und aktuell eine wichtige **Schnittstelle** zwischen den Ökosystemkompartimenten.

4 Geoökologische Untersuchungsansätze

Geoökologische Untersuchungsansätze basieren auf einer **ganzheitlichen Betrachtung** des Geosystems. Da Geosysteme per definitionem **offene Systeme** sind, bedeutet dies, dass bei Stoffhaushaltsbetrachtungen Input- und Output-Faktoren berücksichtigt werden müssen. Ebenso sind Geosysteme **dynamische Systeme**. Es genügt also nicht, momentane Ist-Zustände zu erfassen, um Aussagen über das „Funktionieren“ des Systems abzuleiten, sondern es müssen zuerst die **das System steuernde und regelnde Größen** erfasst und diese dann in ihrem **zeitlichen Verlauf** gemessen werden (SYMADER 2001).

4.1 Geoökosystemansatz

In Kapitel 2 wurden **Geoökosysteme** in Anlehnung an LESER (1997) bereits definiert als **Funktions-einheit** eines real vorhandenen Ausschnitts der Geobiosphäre, in welchem ein sich selbst regulierendes **Wirkungsgefüge** abiotischer und darauf eingestellter biotischer Faktoren räumlich manifestiert ist, das ein stets **offenes stoffliches und energetisches System** mit einem **dynamischen Gleichgewicht** repräsentiert. Versucht man, diese Definition zu instrumentalisieren, also messbar nachvollziehbar zu machen, so stößt man schnell auf die beiden **Hauptprobleme**, die „**Funktionseinheit**“ räumlich abzugrenzen, und die „**Offenheit**“ der räumlichen Funktionseinheit (Input und Output) entsprechend zu berücksichtigen. Der „eigene“ Geoökosystemansatz und viele heutige Bilanzierungsansätze orientieren sich dabei an der grundlegenden Arbeit von BACCINI & BADER (1996) (Abb. 8).

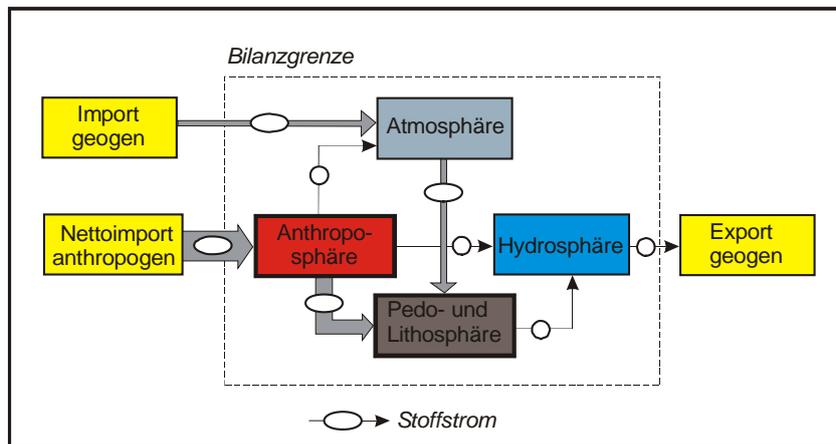


Abb. 8: Modellvorstellung des Regionalen Kreislaufs (nach BACCINI & BADER 1996, verändert)

Um darüber hinaus die Dynamik im System einzubeziehen, hat sich in der Geoökologie methodisch der „**Quelle-Pfad-Senke-Ansatz**“ (FRÜHAUF 1992) bewährt (Abb. 9). Die Böden sind dabei ein Geoökosystemkompartiment, welches sowohl eine Senkenfunktion als auch - unter bestimmten pedologischen Randbedingungen – eine Quellenfunktion innehat.

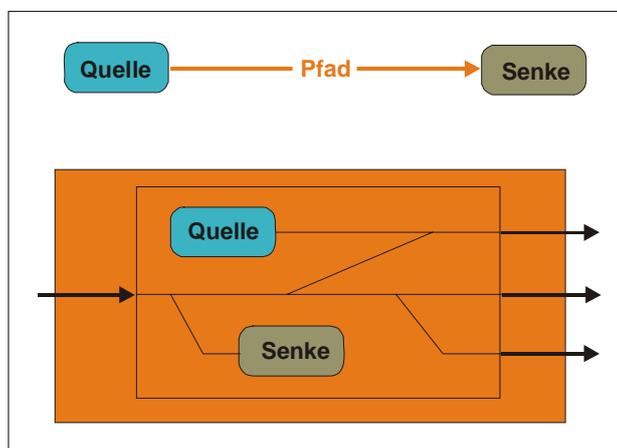


Abb.9: „Quelle-Pfad-Senke“-Ansatz

Heute gibt es eine **Vielzahl von Variationen** dieser Herangehensweise bei der „Konstruktion“ von Modellvorstellungen. Ein physikalisch basiertes Beispiel stammt aus dem Potsdamer Institut für Geoökologie (Abb. 10), es ließen sich aber auch andere anführen. Ein aktueller Überblick und Diskussion dazu findet sich bei NEUMEISTER 2004.

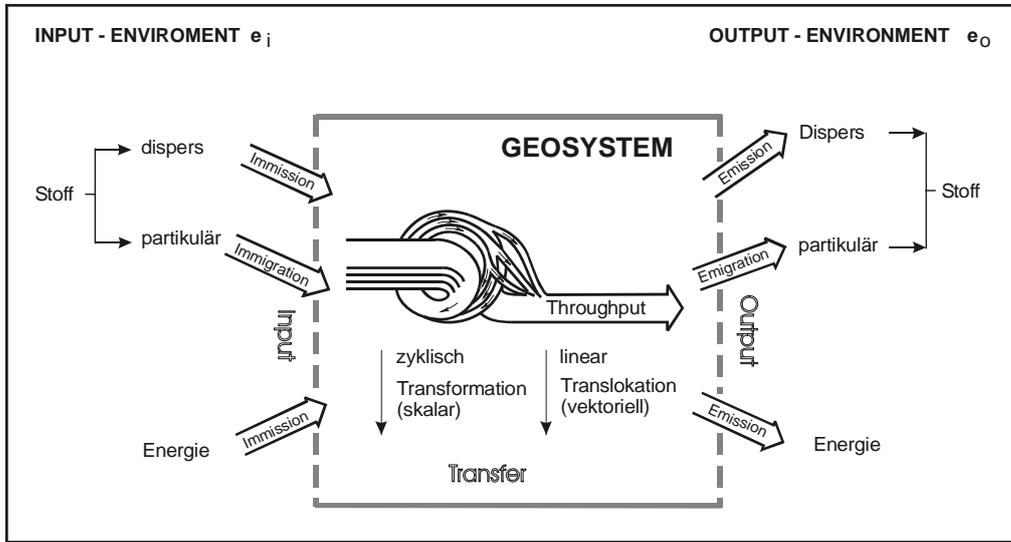


Abb. 10: Geosystemansatz nach BLUMENSTEIN et al. 2000, verändert

In Abb. 11 ist exemplarisch dargestellt, wie z.B. für den Wasserhaushalt im Stadtgebiet von **Halle** ein solcher **Bilanzierungsansatz** prinzipiell aussehen könnte (KOCH, SAUERWEIN & FRÜHAUF 2004). In der Abb. wird sehr deutlich, dass für eine Bilanzierung „reale“ Messpunkte wichtig sind, d.h. jedwede Bilanzierung auf einer empirischen Datenerfassung beruht. Man kann dementsprechend postulieren, dass eine Bilanzierung bzw. Modellierung immer nur so gut sein kann wie die Daten, welche in die Bilanzierung bzw. Modellierung eingehen. Dies scheint aus Sicht des Autors in der aktuellen Forschung ein Manko zu sein, da die Modelle immer komplexer werden, aber die Datengrundlage bzw. die „Güte“ der in das Modell hineingesteckten Daten dabei an Beachtung und Bedeutung verliert.

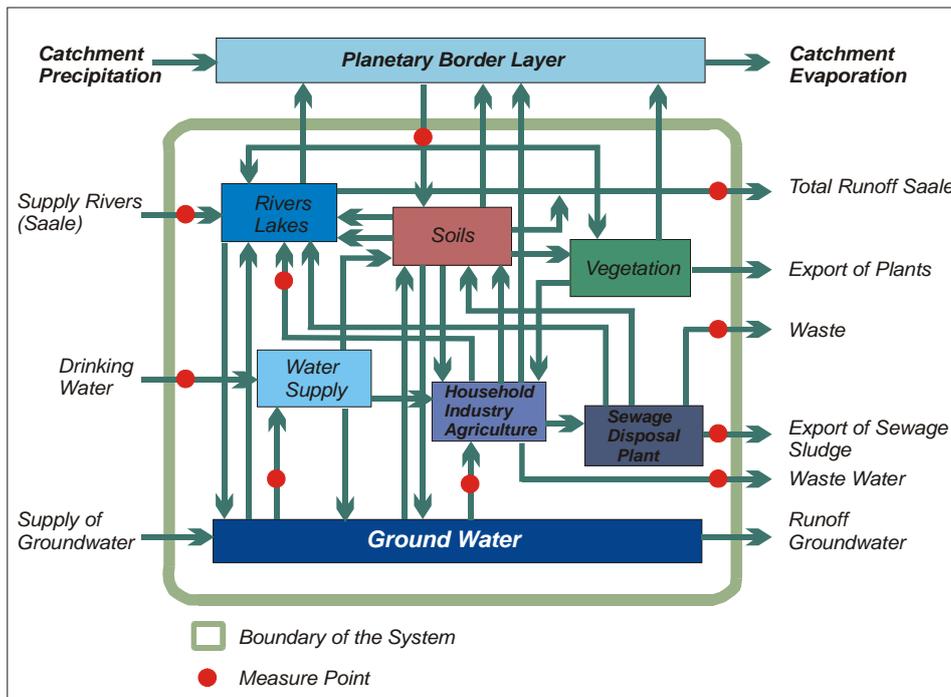


Abb. 11: Bilanzierungsansatz (in Anlehnung an BACCINI & BADER 1996, stark verändert)

4.2 Geoökosystemuntersuchungen in urbanen Räumen

In urbanen Räumen ist die Qualifizierung und Quantifizierung von Input, Output und Dynamik aufgrund der vielfältigen, unterschiedlich intensiven und folgewirksamen anthropogenen Eingriffe nahezu unmöglich. Auch wenn es seit der ersten Untersuchung zu Brüssel von DUVIGNEAUD (1974) immer wieder **Bilanzierungen** (bzw. besser Bilanzierungsansätze) gab, ist bislang wenig sowohl über die Senkenfunktion als auch über die Quellenfunktion der städtischen Böden bekannt.

Im Sinne der (klassischen) Landschaftshierarchie gibt es auch in urbanen Ökosystemen verschiedene **Hierarchiestufen**. Eine Einteilung ist z.B. möglich in Gesamtstadt, Stadtstruktureinheit, Einzelfläche, Einzelstandort. Nun ist es möglich, bezogen auf eine dieser Hierarchiestufen stadtoökologische Untersuchungen durchzuführen und diese dann zu verallgemeinern („**bottom-up**“). Dies führt bereits in natürlichen Ökosystemen zu erheblichen Schwierigkeiten, die im Skalensprung selbst begründet sind. Eine derartige **Generalisierung** ist in urbanen Ökosystemen schon theoretisch **nicht möglich**, da z.B. die Veränderung des Bauungstyps automatisch die Veränderung von Energie- und Stoffhaushalt mit sich bringt. Dies bedeutet gleichsam, dass prinzipiell eine Bilanzierung bezogen auf die Gesamtstadt nicht „erlaubt“ ist. Folglich ist als Rückschluss zu ziehen, dass für jede städtische Hierarchieebene eigen Untersuchungsansätze gewählt werden müssen. Dies gilt insbesondere für die Ausprägung bzw. Überprägung der Böden. So ist es bezogen auf eine Maßstab von wenigen Quadratmetern bis 10er Quadratmetern (z.B. eine Grünfläche oder ein Innenhof) u.U. sicherlich richtig, dass der Bodenaufbau extrem variiert und keine flächenhafte Aussage möglich ist. Bezogen auf die Dimension von Stadtstrukturtypen sieht der Autor dies allerdings ganz anders. Hier „nivelliert“ die Struktur die Eigenschaften von Einzelstandorte.

Wie in den vorigen Kapiteln aufgezeigt, gibt es erst in jüngerer Zeit intensive Untersuchungen zur **Stadtökologie**. Dabei stehen in der meisten Zahl der Untersuchungen Fragen des städtischen **Klima/Luftreinhaltung** im Mittelpunkt (WANIA & FRÜHAUF 2001, WAGLER 2000, DUETEMEYER 2000, BAUER 1999, HELBIG et al. 1999, SCHWENGLER 1999, MÜLLER 1997, VDI 1997, FREYER et al. 1996). Dies ist zum einen in der Tradition der gut messbaren Größen begründet, zum anderen selbstverständlich in der bedeutenden Rolle des Eintrags von Schadstoffen über den atmogenen Pfad. Außerdem ist in diesen Fällen möglich, die interessierenden Stoffe direkt untersuchen zu können bzw. im Zuge von Erfahrungen der verschiedensten Biomonitoring-Ansätze gibt es heute auch eine „Systemerkenntnis“ (BRUNS et al. 2000, ZIERDT 1997). Im Rahmen stadtklimatischer Untersuchungen gibt es auch Beispiele, die den luftpfadgebundenen Schadstoffeintrag in die Böden versuchen zu quantifizieren (PLEßOW & HEINRICHS 2000, FILIUS & WILLENBOCKEL 1995, HÖLSCHER et al. 1994

Aufgrund des kostengünstigen Einsatzes wird in vielen Fällen die Bioindikation genutzt, wobei allerdings die durch z.T. hohe Spannweiten bedingte Aussagekraft der ermittelten Daten mit Vorsicht interpretiert werden muss (FRAHM 1998). Aus allgemeiner Sicht ist die Untersuchung der **städtischen Flora und Fauna** der Inhalt der klassischen Stadtökologie. Im Vergleich z.B. zu städtischen Böden gibt es wesentlich mehr Erfahrungen, die auch regionalisierbar sind (WITTIG 2002, KLAUSNITZER 1998, WITTIG 1998, ARNDT & PELLMANN 1996, WINKLER 1996, LUX 1994).

Zu **urbanen Gewässern** gibt es eine fast unüberschaubare Menge an Forschungsarbeiten, die sich mit Stoffeinträgen in und durch Städte beschäftigen – sowohl aus Deutschland (KOCH 2004, VEST 1999, SCHNEIDER 1999) als auch international (LINDSTRÖM 2001, WEBER 1991). Eine besondere Bedeutung liegt dabei immer mehr in der Einbeziehung von Gewässern in die Stadtplanung (STEIN 2000).

Städte werden unterirdisch zu einem Großteil durch **Stoffausträge aus Kanalisationen** belastet (BEICHERT et al. 1996). Diesem Problemfeld wird intensiv aus **ingenieurwissenschaftlicher und hydrogeologischer Sicht** nachgegangen (DOHMANN et al. 1999, XANTHOPOULOS 1998, BERGFELDT 1994). Für die städtischen Böden spielt diese Belastungsquelle dahingehend eine Rolle, wenn über reliefgesteuerte Sickerwasserbahnen ein „Eintrag“ in tiefergelegene (Boden-) Bereiche der Siedlungen erfolgt (BUNDESVERBAND BODEN 1999).

Zu **Sedimenten** gibt es für das Hauptuntersuchungsgebiet Halle seit der Wende mehrere Erhebungen (HECKNER 2003, WINDE & FRÜHAUF 2001, WINDE 1996), selbstverständlich auch für andere städtische Auengebiete (z.B. Leipzig: HAASE 1999)

Die **Versiegelungsproblematik** wird seit über zehn Jahren fachlich intensiv verfolgt, wobei bislang hauptsächlich Fragen der Erfassung des Versiegelungsanteils und der Art der Versiegelung (Belags-

arten) nachgegangen wurde (BREUSTE 2003, SCHMIDT 2002, NLFÖ 2001, MÜNCHOW 1999). Eine große Zahl der aktuellen **Stadtbodenkonzeptkarten** orientiert sich heute an der Synthese von Informationen zu prä-urbanen Böden (z.B. Reichsbodenschätzung) und eben der Typisierung von Nutzungs- und Bebauungstypen im Zusammenhang mit der **Versiegelungsintensität** (GERTH 1993).

Als Arbeitsmethode hat die **Fernerkundung** in den letzten Jahren wieder an Bedeutung für stadtoökologische Forschungen gewonnen. Das größte „Problem“ ist für die räumliche Aussagekraft selbstverständlich immer noch der Aufnahmemaßstab. Es gibt aber mittlerweile Ansätze, die insbesondere bei zukünftig besserer Auflösung neue Möglichkeiten für flächenhafte Informationen bieten (BAUER 2001, HEINZ 1999, PARLOW 1998, BREUER & GLÄßER 1997, FROTSCHER 1990).

Allgemein **wichtige Impulse** sind in der jüngeren Vergangenheit z.B. vom **Projektbereich Urbane Landschaften (UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle**, vgl. z.B. BREUSTE et al. 2001, BREUSTE & WÄCHTER 1999, BREUSTE 1996), **BMBF-Verbundprojekten** oder jüngst dem **Graduiertenkolleg Stadtökologie der Berliner Universitäten** ausgegangen (ENDLICHER & KULKE 2002). Für die Ergebnisse dieser Forschungsaktivitäten eine Literaturübersicht zu geben, würde den Rahmen sprengen, an geeigneten Stellen wird in der Arbeit Bezug zu Detailergebnissen genommen.

4.3 Ansätze zur Stoffhaushaltsmodellierung

Seit mehreren Jahrzehnten wird auch von Geographen intensiv auf dem Gebiet der **Modellierung** gearbeitet. Waren es aus physisch-geographischer Sicht zuerst Untersuchungen zur Bodenerosion (man denke an die Fülle von Erosionsmodellen), so sind in jüngerer Zeit neben Klimamodellierungen insbesondere Stoffhaushaltsmodellierungen im Fokus geoökologischer bzw. landschaftsökologischer Forschungen. Dabei ist allerdings festzustellen, dass es trotz der Vielzahl neuer Systemkenntnisse (z.B. SEPPELT 2003, JOERGENSEN 1996, EISWIRTH 1995) bislang nicht möglich ist, den Landschaftshaushalt in Raum und Zeit modellhaft zu erfassen (GNAUCK et al. 1995). Auch wenn die Ansätze von Baccini (BACCINI & BADER 1996, BACCINI & BRUNNER 1991) aufgegriffen und konsequent weiterentwickelt wurden, bleibt nach wie vor das Hauptproblem ungelöst, die „richtigen“ Indikatoren für die Steuer- und Regelgrößen quantitativ und qualitativ ausreichend erfassen zu können (GNAUCK 1999, MÜLLER 1998, BARDINET 1997, OPP 1997, BERGER & IAMS 1996). Die Mathematik bietet eine Vielzahl von Methoden und Verfahren (SCHAFMEISTER 1999, VOLLMAYR 1997, SCHNOOR 1996), um zu insbesondere **statistisch abgesicherten** (und damit „richtigen“) Ergebnissen zu kommen (SCHRÖDER, VETTER & FRÄNZLE 1994). Ein starkes Instrument sind dabei die nichtparametrischen Verfahren (HAFNER 2001, WELP et al. 1997). Gerade aus geographischer Sicht bieten **Informationssysteme** eine Vielzahl an Möglichkeiten und Werkzeugen, um über die Modellierung zu raumrelevante Aussagen kommen zu können (DUTTMANN & MOSIMANN 1994). Mittlerweile gibt es anerkannte, fast standardisierte Verfahren bei der Herangehensweise der Modellbildung (Abb. 12).

Dabei sind allerdings zwei Randbedingungen zu berücksichtigen: Zum einen müssen die Modelle „gut“ sein, d.h. die Steuer- und Regelungsgrößen in ihrem Wirkungszusammenhang möglichst gut abbilden, zum zweiten können die Informationssysteme und die Modelle nicht besser sein als die Daten, die darin Eingang finden. Hier steckt aus Sicht des Autors eine fast „philosophische“ Kritik an manchen Modellierungsansätzen, da oft mit zunehmendem Abstraktionsniveau auf Daten bzw. bereits berechnete Datensätze zurückgegriffen wird, die vom Modellierungsanwender nicht (mehr) hinterfragt werden (... solange einigermaßen plausible Ergebnisse am Ende herauskommen).

In allgemeiner Weise beschreiben **Modelle** den **Zustand und die Entwicklung von Systemen** auf sehr unterschiedliche Weise. Man kann folgende unterscheiden (BARSCH, BILLWITZ & BORK 2000):

Empirische Modelle: Am leichtesten zu erstellen und daher auch am stärksten verbreitet sind empirische Modelle. Sie fußen meist auf der statistischen Auswertung von Daten aus einer bestimmten Region. Ihre Gültigkeit ist nicht nur auf diese Region, sondern auch auf die untersuchten Systemmerkmale und -zustände beschränkt: Wurden nur tonreiche Böden untersucht, hat das empirische Modell keine Gültigkeit für tonarme Böden, da diese sich völlig andersartig verhalten könnten. Wurden nur starkregenlose Zeiten erfasst, dürfen keine Aussagen über Starkregen gemacht werden. Hinzu tritt das Problem, dass empirische Modelle oft auch solche Parameter und Variablen enthalten, die keine prozessbezogene physikalische oder chemische Bedeutung haben. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse der Anwendungen empirischer Modelle ganz überwiegend nicht prozessbezogen und damit nicht kausal interpretierbar.

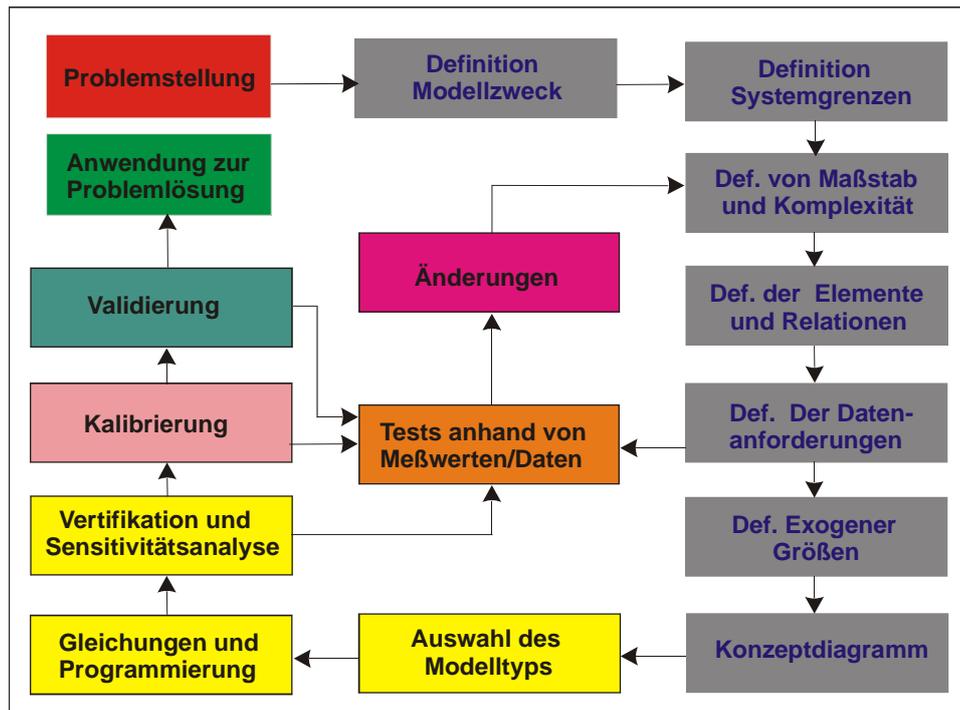


Abb. 12: Grundsätzliches Vorgehen bei der Modellbildung (in Anlehnung an MÜLLER 1998)

Analytische Modelle: Einen gewissen Ausweg bieten deterministische Modelle mit analytischen Lösungen. So kann z. B. eine einfache analytische Gleichung durchaus in vielen Systemsituationen die Infiltration von Niederschlagswasser in den Boden annähernd korrekt beschreiben. Eine Gültigkeit der Gleichung für alle auftretenden Systemsituationen besteht jedoch nicht. Insbesondere kann meist ein komplizierter vertikaler Bodenaufbau nicht mit einfachen analytischen Modellen beschrieben werden.

Dynamische Modelle: Deterministische numerische Modelle erlauben dagegen eine korrekte Beschreibung der Prozessabläufe z. B. über nichtlineare Gleichungssysteme. Bekannte allgemein gültige, vor allem physikalische und chemische (weniger biotische) Prozesse sind als Gleichungen formuliert und in das Modell eingebunden.

Aufgrund des erwähnten, unverändert steigenden Bedarfes an fundierten großräumigen Aussagen zu möglichen zukünftigen Entwicklungen werden heute verstärkt quasidimensionale deterministische Modellsysteme entwickelt. Nur mit diesem Modelltyp können beispielsweise die Wirkungen anthropogener Einflüsse auf die Wasser- und Stoffflüsse sowie die biotische Leistung von Landschaften hinreichend genau und räumlich differenziert analysiert und bewertet werden. Derartige Modellsysteme werden auch als „**dynamische Landschaftsmodelle**“ bezeichnet (BARSCH, BILLWITZ & BORK 2000). Ein dynamisches Landschaftsmodell ist demnach die komplexe mathematisch-kybernetische Abbildung einer Landschaft auf der Grundlage einer an zeitlich invarianten, statischen Eigenschaften orientierten naturräumlichen Landschaftsbeschreibung und einer an zeitlich veränderlichen Landschaftszustandsvariablen orientierten dynamischen Landschaftsbeschreibung. Unter statischen Eigenschaften sind z.B. die Korngrößenzusammensetzung, unter zeitlich veränderlichen Landschaftszustandsvariablen der Bodenwassergehalt und das Matrixpotential zu verstehen.

Die Maßstabsfrage: Oft werden die dynamischen regionalen Simulationsmodelle mit geographischen Informationssystemen gekoppelt. Unterschiedliche Maßstabsebenen können betrachtet werden. Dabei ist zu beachten, dass die Bedeutung zahlreicher Prozesse maßstabsabhängig ist. So genügt bei der Simulation der Prozesse an einem einzelnen Standort oftmals eine vertikal eindimensionale Strukturierung und Beschreibung des Systems. Mit wachsender Ausdehnung des Untersuchungsraumes wird die Berücksichtigung lateraler Prozesse zunehmend erforderlich. Diesem Bedeutungswandel sind die Modellsysteme anzupassen. In der topischen Raumdimension können daher völlig andersartige Modelle erforderlich sein als dies in der chorischen oder in der regionischen Dimension der Fall ist. Unabhängig von der Raumdimension vereinfacht jedes Modell die Realität.

Modulare Modellsysteme: Der beschriebene differenzierte, aufgabenabhängige Bedarf macht deutlich, dass ein einziges deterministisches Landschaftsmodell den bestehenden Bedarf keinesfalls de-

cken kann. Daher ist die Forschung dazu Übergegangen, modulare Systeme zu entwickeln. Sie sind auf der Grundlage verbindlicher Formulierungen vor allem zur räumlichen Diskretisierung und zur Kopplung der Module sehr flexibel. So können mit begrenztem Arbeitsaufwand einzelne Module mit den eintretenden Verbesserungen des Forschungsstandes verändert oder auch ausgetauscht werden, ohne dass das Gesamtmodell in Frage gestellt werden muss.

Begrenzte Einsatzmöglichkeiten von Modellsystemen: Grundlegende Einschränkungen hinsichtlich der Verwendbarkeit deterministisch-numerischer Landschaftsmodelle liegen einerseits in mangelnden Kenntnissen zu Prozessen und ihren Wechselwirkungen in Geosystemen. Unbekannte Prozesse können nicht exakt physikalisch, chemisch oder biotisch beschrieben werden. Daher beschreiben auch deterministisch-numerische Modelle nur Teile des Systems korrekt; sie enthalten oftmals empirische und analytische Parameter und Gleichungen. Ihre Anwendbarkeit wird dadurch eingeschränkt. Deterministisch-numerische Landschaftsmodelle haben außerdem den Nachteil, dass die differenzierten Raumelemente und Kompartimente als in sich homogen angesehen werden müssen. Eine Beschreibung der Verteilung einzelner Parameter und Variablen in einem Kompartiment ist nicht möglich. Es werden lediglich Mittelwerte verwendet. Gerade bei der Simulation von Stofftransporten in Geosystemen kann diese Vorgehensweise zu erheblichen Problemen führen. So treten in der Realität oftmals rasche Stofftransporte in groben, schnell Wasser leitenden Bodenporen auf. Nähr- und Schadstoffe vermögen dadurch rasch in größere Bodentiefen und bis in den obersten Aquifer zu gelangen. Eine Berechnung mittlerer Stoffflüsse ignoriert diese bedeutenden Prozesse vollständig. Eine Alternative bietet bei derartigen Arbeitsaufgaben die Kopplung von deterministisch-numerischen Landschaftsmodellen mit stochastischen Ansätzen; Verteilungen und vorhandene Unschärfen können so beschrieben werden. Diese gekoppelten Modelle geben Hinweise auf die Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Systemsituationen und damit auch Gefährdungen. Zwar existieren viele Modelle der beschriebenen Kategorien. Jedoch ist kaum eines davon ausreichend geprüft oder -in der Sprache der Systemanalyse - validiert worden. Meist wurde lediglich die Plausibilität der Reaktionen von Modellen analysiert. Vollständige Modellvalidierungen sind jedoch kompliziert und sehr arbeitsaufwendig. Sie müssen außerhalb des Raumes erfolgen, mit dessen Daten das Modell erstellt und seine Parameter kalibriert, d.h. angepasst wurden. Ohne eine vollständige Validierung ist der Wert eines Modells stark eingeschränkt. Schließlich gibt es eine weitere pragmatische Begrenzung im Hinblick auf die Einsetzbarkeit von dynamischen Landschaftsmodellen: Der Datenbedarf ist erheblich. Nur für wenige Standorte oder kleinere Gebiete können die benötigten Daten in ausreichender Genauigkeit bereitgestellt werden.

Im „**Geoökosystem Stadt**“ führen die vorigen Überlegungen zu folgendem Schluss: Eine Modellierung ist nur mit **verschiedenen Modellierungsansätzen** für verschiedene **Hierarchiestufen** möglich. Solche Stufen sind *Gesamtstadt* – *Stadtstruktureinheit* – *Einzelfläche* – *Einzelstandort*. Die vorliegende Arbeit will und kann nicht den (Boden-) Stoffhaushalt einer Gesamtstadt erfassen. Mittels der erfassten Daten und dem theoretischen Hintergrund des Stadtstrukturtypenansatzes soll es jedoch möglich sein, von einem **Einzelstandort** (ein Bodenprofil) auf eine **Einzelfläche** (repräsentiert durch mehrere Bodenprofile) bis auf eine **Stadtstruktureinheit** (repräsentiert durch mehrere Einzelflächen) zu extrapolieren.

Ein Beispiel eines **messbaren geoökologischen Modellansatzes des Bodenwasserhaushaltes** der Boden steht, ist in Abb. 13 dargestellt. Wie in der theoretischen Diskussion in Kap. 2 zu Geoökosystemen angeführt, werden in diesem Fall Speicher, Regler und Flüsse eindeutig benannt.

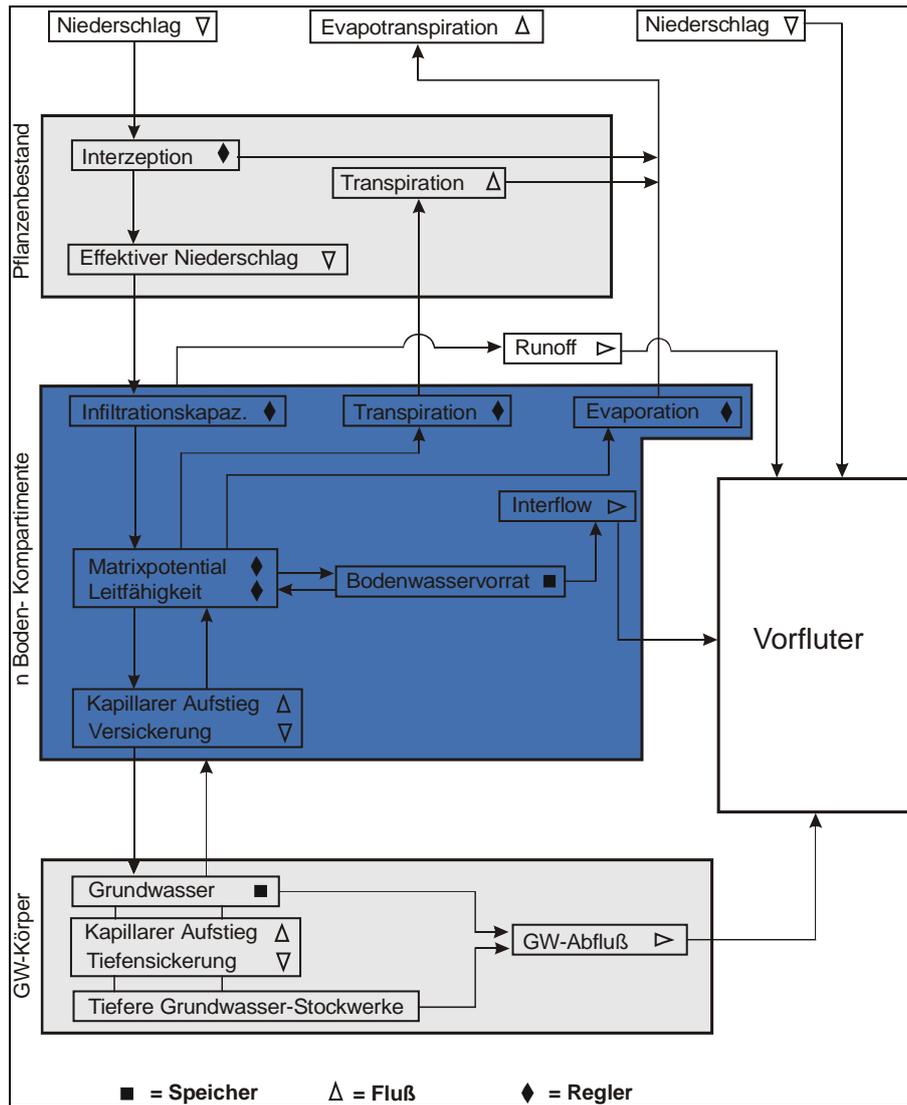


Abb. 13: Fluss-Modell

4.4 Eigener Bilanzierungsansatz

Wie im vorigen Absatz beschrieben, soll für die vorliegende Arbeit eine **Bilanzierung** des Bodenstoffhaushaltes für **Einzelprofile**, **Flächen** und **Stadtstrukturtypen** erfolgen. Der eigene Bilanzierungsansatz basiert zum einen auf der Betrachtung einer **historischen** und zum anderen auf der Betrachtung einer **aktuellen Komponente** (Abb. 14). Dadurch ist dann auch die Erstellung eines **Szenarios** zur künftigen Entwicklung und Veränderung des siedlungsbeeinflussten Bodenstoffhaushaltes möglich.

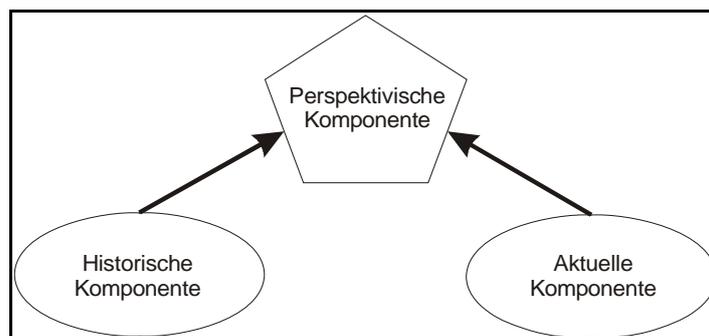


Abb. 14: Zeitliche Komponenten des Untersuchungsansatzes

Aus Abb. 14 wird deutlich, dass für eine perspektivische Betrachtung sowohl die aktuelle als auch die historische Komponente berücksichtigt werden muss. Es gibt ganz vereinfacht dargestellt einen **historischen Stoffinput** (und seitdem unter bestimmten pedologischen Rahmenbedingungen auch einen **historischen Output**) und einen **aktuellen Input** und gleichermaßen einen **aktuellen Output**. Um für die historische Komponente eine Bilanzierung ansetzen zu können, ist es wichtig zu wissen, wann und in welchen Zeiträumen welche Eigenschaften der Böden am Standort verändert wurden. Dazu kann man sich des Wissens verschiedener Nachbarwissenschaften bedienen bzw. gemeinsam mit diesen die „Geschichte“ von Raumausschnitten erarbeiten, wobei insbesondere die **Archäologie** eine wichtige Bedeutung hat. Damit wird deutlich, dass die Betrachtung eines Ökosystems generell bzw. hier eines urbanen Geoökosystems nicht über eine Fachrichtung alleine erfolgen kann, sondern für das Verständnis und das Verstehen des Systems die Herangehensweise unterschiedlicher Disziplinen notwendig ist. Jedes Fach hat dabei nicht nur eigene Betrachtungsweisen, sondern verfügt über eigene methodische Zugänge und Arbeitsmethoden, die für die Nachbarwissenschaften das System dann aus **ganzheitlicher Sicht** leichter verstehen lässt.

Dem eigenen Bilanzierungsansatz (Abb. 15) werden folgende Prämissen zugrunde gelegt:

- Bilanzierungen erfolgen für Einzelstandorte bzw. statistisch abgesichert auch Einzelflächen.
- Soweit möglich werden Einzelstoffe betrachtet.
- Die Erfassung des historischen Haushaltes/Input erfolgt soweit möglich in Zeitscheiben.
- Ausgangspunkt der historischen Bilanzierung ist der prä-urbane Zustand (stoffbezogen repräsentiert durch geogene Grundgehalte).

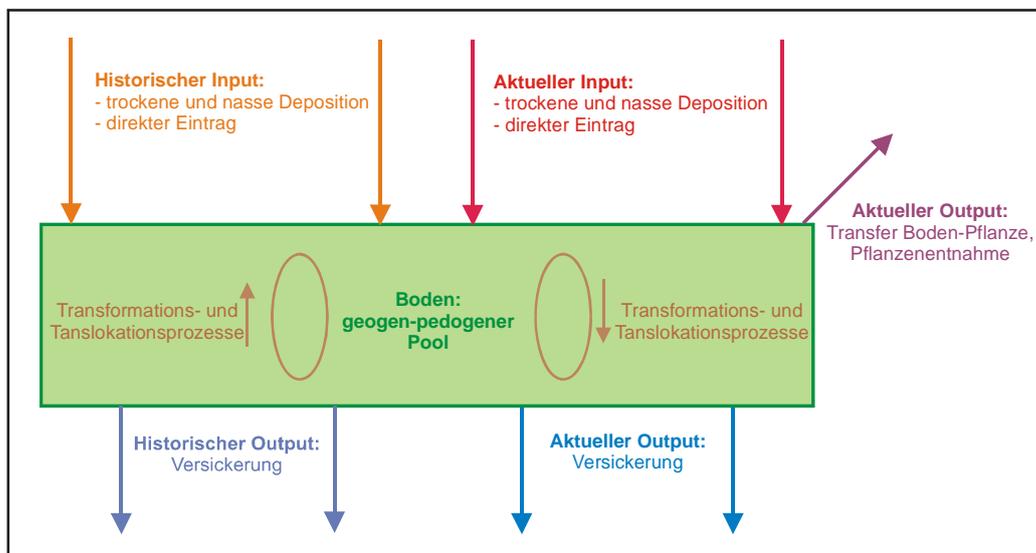


Abb. 15: Eigener Bilanzierungsansatz

Aufbauend auf den Prämissen gelten folgende **Bedingungen**:

- Die Grundlagen des Input sind trockene und nasse Deposition. Auenbereiche (temporäre Überflutung) werden ausgenommen.
- Die Grundlagen des Output sind Versickerung, Oberflächenabfluss, anthropogen-technischer Austrag und/oder Entnahme von Vegetation (vorher Transfer Boden-Pflanze).
- Der Output über Steuer- und Regelgrößen kann in verschiedenen Zeiträumen erfolgen.
- Die Erfassung des aktuellen Input (pro Zeiteinheit) erfolgt mit den Ergebnissen der exponierten Kontrollböden.
- Die hierarchisch höchste räumliche Bezugsebene ist ein Stadtstrukturtyp in Verbindung mit dem anthropogen modifizierten Relief.

5 Untersuchungsgebiete

5.1 Hauptuntersuchungsgebiet Halle (Saale)

5.1.1 Naturräumliche Charakterisierung und anthropogene Überprägung

Das in den administrativen Grenzen der Stadt Halle liegende Areal hat eine Fläche von 13.542 ha. Die Stadt Halle besitzt eine Einwohnerzahl von ca. 225.000 (www.halle.de 12.01.2004) und zählt mit 1767 Einwohnern pro ha zu den bevölkerungsreichsten Verdichtungsräumen Ostdeutschlands. Die landschaftliche Ausgangssituation wird wesentlich durch ihre Lage in einem Bereich bestimmt, in dem die folgenden **Landschaftseinheiten** aneinandergrenzen (MUN 1994): das Hallesche Ackerland als Acker Ebene, das Östliche Harzvorland als Hügel-, Schichtstufen- und Mittelgebirgsvorland sowie das Halle-Naumburger Saaletal und das Untere Saaletal als Tal- und Niederungslandschaften. Die mit der über tausendjährigen Besiedlungsgeschichte verbundenen Veränderungen und Störungen des Naturhaushaltes bewirken dabei eine starke Überprägung mit großstadtypischen Landschaftsmerkmalen.

Regionalgeologisch liegt die Stadt Halle im Bereich des Östlichen Harzvorlandes, wobei die mit dem Harzmassiv im Zusammenhang stehenden geologisch-tektonischen Strukturen östlich der Saale landschaftlich immer weniger wirksam werden (SCHWAB 1999, KNOTH et al. 1998, KRUMBIEGEL & SCHWAB 1974). So vollzieht sich hier ein allmählicher Übergang in das Nordwestsächsische Tiefland. Der geologische Untergrund der Stadt Halle wird von zwei verschiedenen Großschollen gebildet, die aufgrund vertikaler tektonischer Bewegungen relativ zueinander um 500 bis 1.500 Höhenmeter verschoben sind. Die Bruchzone bildet die in NW-SE-Richtung verlaufende Hallesche Störung, die im Stadtgebiet auch **Hallesche Marktplatzverwerfung** genannt wird. Auf der nordöstlichen - relativ gehobenen - Großscholle stehen freigelegte permische Vulkanite und variskische Abtragungsgesteine an. Auf der südwestlichen - relativ abgesenkten - Großscholle befinden sich noch die triasischen Sedimente des ehemaligen Germanischen Beckens. Unmittelbar im Bereich der Verwerfung tritt aufgeschleppter Zechstein zutage. Zur nordöstlichen Großscholle gehören als Teil der Halle-Hettstedter Gebirgsbrücke die Ergussgesteine des markanten Halleschen Vulkanitkomplexes (Rhyolithe) und die Rotliegenden-sedimente. Die südwestliche Großscholle mit ihren litoral-marinen abgelagerten Sanden und Kalken sowie die Zechstein-Eindampfungsgesteine der Verwerfungslinie bilden zusammen das Tafelgebirgsstockwerk im halleschen Raum. Zur südwestlichen Großscholle gehören die Nietlebener-Bennstedter Mulde und die Merseburger Buntsandsteinplatte. Beide Schollen werden bis auf durchragende Kuppen von den noch jüngeren Ablagerungen des Känozoikums überdeckt. Im Pleistozän überprägte eine weitere Grenzlinie den Halleschen Raum. Von WNW nach ESE verlief die Inlandeisgrenze im jüngsten Vereisungsstadium der **Saalekaltzeit**. Der letzte Vorstoß der saalekaltzeitlichen Gletscher endete am Stadtrand von Halle.

Viele Gesteine erlangten im Laufe der Siedlungs- und Wirtschaftsentwicklung der Stadt ökonomische Bedeutung. Entscheidenden Einfluss auf die Stadtgründung hatten die salzhaltigen Quellen an der Verwerfungslinie. Abgebaut wurden sowohl die älteren Festgesteine (Porphyre, Sandsteine, Wellenkalke) als auch die jüngeren Lockergesteine (Braunkohlen, Sande, Tone, Kiese).

Der geologische Bau spiegelt sich auch in den **Reliefverhältnissen** des Halleschen Raumes wider (KUGLER & MÜCKE 1979). Prägende Elemente sind:

- die Kuppenplateaus des Porphyrkomples (Kröllwitz, Giebichenstein, Klaus- und Lunzberge u.a. mit Härtlingen (z.B. Ochsen-, Reils-, Röder-, Galgenberg) bis zu 136 m üNN. Bemerkenswert sind vor allem die vielen vegetationsfreien oder nur spärlich bewachsenen Felswände;
- die Platten und Plateaus der Grundmoränenhochflächen (um 100 m üNN) mit den tief eingezahnten Randtälern bzw. -schluchten (Hallesche Platte, Brachwitz-Dölauer Platte, Neutz-Möderitzer Platte, Steuden-Zscherbener Plateau, Hallesches Plateau, Küttener Plateau);
- die weiten subrosiv abgesenkten Talungen (Hallesche und Trothaer Saaleniederung, Götschetal mit dem tiefsten Punkt am Saalwerder mit 71 m üNN) und
- das enge Durchbruchstal der Saale durch den Halleschen Porphyrkomples (zwischen Burg Giebichenstein und Forstwerder).

Bodenkundlich gehört das Stadtgebiet von Halle zum **Mitteldeutschen Schwarzerdegebiet**. Grundlage für die Schwarzerdebildung waren die vorwiegend weichselkaltzeitlichen, kalkhaltigen Lösssedimente und der kontinentale Klimacharakter des Postglazials. Die frühzeitige anthropogene Entwaldung verhinderte eine schnelle Degradierung unter den Bedingungen des Atlantikums. In der Umgebung von Halle sind noch bis zu 80 cm mächtige Schwarzerden erhalten (Querfurter und Wettiner

Platte sowie teils auf den Grundmoränenplateaus). In lange Zeit bewaldeten Gebieten bildeten sie sich zu Fahlerden um. Außerhalb des Harzer Regenschattengebietes entwickelten sich unter höheren Niederschlagsmengen Braunschwarzerden. Die Schwarzerden zählen zu den fruchtbarsten in ganz Deutschland und haben neben ihrem naturkundlich-historischen Potential auch ein sehr hohes biotisches Ertragspotential. Nur im Stadtumland und am Stadtrand spielt die agrarische Nutzung noch eine Rolle, während im eigentlichen Siedlungsbereich die natürlich gewachsenen Böden größtenteils abgetragen, versiegelt oder stark überformt sind. Im eng bebauten Innenstadtbereich sind natürliche Bodenprofile kaum noch erhalten. Sie wurden im Laufe der Jahrhunderte während der Stadtentwicklung durch Abgrabung, Tiefumbruch, Auftragung, Umwälzung und Einbringen großer Mengen Bauschutt, Aschen, Abfällen und organischer Substanz zerstört. Starke Einschränkungen der Funktionsleistungsfähigkeit der Böden sind durch den Eintrag von Streusalzen, aber auch durch Bodenverdichtungen und flächenhafte Versiegelungen mit Stein, Asphalt oder Beton bedingt. In den Auen entwickelten sich auf Überschwemmungssedimenten schluffreiche Auelehme und Vegaböden. An grundwasserbeeinflussten Standorten kommen Gleye vor. Auf sandigem Substrat ohne Lössmischung stehen natürlicherweise Braunpodsole oder Ranker an. Auf Sandlöß bildeten sich Braunschwarz- und Griserden. Auf lößfreien Konglomerat-, Sandstein- und Porphyristandorten sind Bergsalm- und Berglehm-Braunerden verbreitet.

Die Stadt Halle wird vorwiegend von westlichen Winden (SW bis NW) beeinflusst (über 50% der vieljährigen Verteilung, STADT HALLE 1998). Dadurch liegt die Stadt noch im Leebereich des Harzes. Gleichzeitig befindet sie sich mit einer Amplitude der extremen Monatsmitteltemperaturen von 18,2°K im Übergangsbereich zum subkontinentalen Klima. Das **hallesche Klima** wird deshalb zum "Binnenlandklima im Leebereich der Mittelgebirge" gerechnet. Aufgrund der geringen Jahresniederschläge von rund 500 mm und der hohen Verdunstungsraten ist das autochthone Wasserdargebot sehr gering (ca. 50 bis 100 mm/a); das Gebiet um Halle wird auch als "Mitteldeutsches Trockengebiet" bezeichnet. Im langjährigen Vergleich der Niederschlagsdaten zeigen sich große Schwankungen. So traten zwischen 1851 und 1950 ein Jahr mit nur 350 mm und ein Jahr mit 750 mm Jahresniederschlag auf. Die mittlere Jahrestemperatur von 9,2°C wird in Ostdeutschland nur noch im Dresdner Elbtal erreicht. Mesoklimatisch besonders wärmebegünstigt sind das Saaletal südlich von Trotha und kleinere Bereiche der süd- bis westexponierten Hänge im Porphyrkuppenbereich. Aber auch die Bebauungs- und Versiegelungsverhältnisse im Stadtgebiet modifizieren das Klima. Die Jahresmitteltemperaturen liegen über 1 °K höher als im Umland (städtische Wärmeinsel). Bei Strahlungswetterlagen kommt es zur Ausbildung lokal wirksamer Windsysteme, die zur Bildung von Konvektionsniederschlägen führen. Die bodennahe Kaltluft der Umgebung fließt über Strömungsbahnen in die überwärmte Stadt ein und tauscht die „belastete“ Luft gegen frische aus. Wichtige Kaltluftentstehungsgebiete bilden die offenen Auenbereiche zwischen Halle und Halle-Neustadt sowie die Wiesen-, Röhricht- und teilweise auch Ackerflächen im Umland der Stadt. Frischluftentstehungsgebiete sind vor allem die hochliegende Dölauer Heide, das Gebiet um den Osendorfer See und die bewaldeten Auenbereiche (z.B. Peißnitz).

Die heutige Struktur des **Gewässernetzes** entstand erst in geologisch jüngster Zeit. Die Saale als Hauptfluss nahm erst nach der Saaleeiszeit ihren derzeitigen Verlauf durch das Stadtgebiet, verlagerte diesen danach jedoch mehrfach. Im Norden von Halle war sie jedoch fest an ihr enges Durchbruchstal durch den Halleschen Porphyrkomplex gebunden. Nördlich und südlich davon bestimmen Furkationen den Flussverlauf. Der Strom war hier in sechs Arme aufgegliedert, die in der breiten Aue parallel zueinander flossen und stark verflochten waren. Im Süden - im Bereich der Weiße-Elster-Mündung - bildete die Saale weite (freie) Mäander. Durch Uferbefestigungen und Verbauungen (8 Saalestauhaltungen im Stadtgebiet) wurde die Morphologie und damit auch die natürliche Dynamik der letztgenannten Bereiche stark modifiziert. Im Stadtgebiet existieren nur noch wenige der natürlichen Furkationsarme (z.B. Wilde Saale, Elisabethsaale, Mühlgraben) und Mäander (z.B. bei Planena, Rattmannsdorf). Im Zuge der Laufbegradigung wurden diese oft abgeschnürt und wurden so zu Altwassern, die wie die Standgewässer der Verlandung unterliegen. Bodenverfestigung, Versiegelung und Bebauung beeinträchtigen die Funktion der Aue als natürliches Hochwasserretentionsgebiet. Die im und um das Stadtgebiet verbreiteten Standgewässer sind meist anthropogenen Ursprungs. Bei der Mehrzahl handelt es sich um wassergefüllte Hohlformen im Bereich ehemaliger Entnahmestellen, so der Osendorfer und Hufeisensee als die flächenmäßig größten (Braunkohle), die Angersdorfer Teiche (Tone) und der Graebsee (Kalke). Daneben existieren auch Einbruchgewässer, wie die Mötztlicher Teiche und der Heidensee, die auf ehemalige Tiefbautätigkeit zurückzuführen sind. Die Grundwasserneubildung ist als sehr gering einzustufen. Die angespannte Wasserbilanz in Verbindung mit einer hohen Bodenversiegelung sind die Ursache für die geringen Infiltrationsraten. Weitere Beeinträchtigungen sind die teilweise Zerstörung von Grundwasserleitern (Abbautätigkeit) und die Entnahme von Grundwasser (Trinkwassergewinnung, Baugrundstabilisierung). Die Bebauung der Stadt brachte seit dem frühen Mittelalter sowohl die Trockenlegung versumpfter Bereiche als auch Kanalisation oder

Verschüttung von Seitenbächen mit sich. Zur Trinkwasserversorgung bzw. Abwasserentsorgung sowie zum Hochwasserschutz wurden künstliche Gräben angelegt (Ringgräben um die mittelalterliche Stadt, Flutgraben zwischen Stromsaale und Mühlgraben). Trotz der wachsenden Einwohnerzahl und des Betriebes von Manufakturen (Stoff- und Gewebeerstellung) sowie erster industrieller Produktionsstätten beeinträchtigte die Gewässergüte bis Ende des 19. Jahrhunderts die fischereiliche Nutzung und den Badebetrieb kaum. Erst im letzten Jahrhundert mussten diese Nutzungen aufgrund der hohen Abwasser- und Salzbelastung schrittweise aufgegeben werden. Die massive Einleitung industrieller Abwässer machte die Saale bis zum Anfang der 1990er Jahre zu einem nahezu leblosen Strom, so dass eine direkte Trinkwassernutzung nicht mehr möglich war. Ein Teil des Trinkwassers der Stadt wird auch heute in der Saale-Elster-Aue als Uferfiltrat gefasst und im Wasserwerk Beesen aufbereitet. Ein bis heute ungelöstes Problem stellen die starkmächtigen, teilweise kontaminierten Schlamm-schichten dar, die sich vor allem in den Nebenarmen der Saale ablagern konnten (WINDE 1996). Viele Seitenzuflüsse der Saale sind im Zuge der zunehmenden Bebauung beseitigt oder unterirdisch kanalisiert worden. So sind von den ehemals 35 Seitenbächen noch ganze 16 - teils nur episodisch durchflossene- Bäche nachweisbar (ZINKE 1995)

5.1.2 Siedlungsentwicklung

Die Besiedlung des heutigen halleschen Gebietes begann schon in der mittleren Jungsteinzeit (vor ca. 5.000 Jahren). Im Gebiet Bischofswiese-Langer Berg in der Dölauer Heide befinden sich die Reste der größten bekannten befestigten Siedlung Mitteleuropas aus dieser Zeit (sog. Trichterbecherkultur). Im selben Gebiet finden sich auch die ältesten Belege für die Salzgewinnung (Langer Berg, 2.500 v.u.Z.). Es sind die frühesten Nachweise in Zentralmitteleuropa überhaupt. Im Heidegebiet und auf den Brandbergen konnten weitere urgeschichtliche Siedlungen nachgewiesen werden, die jedoch nicht kontinuierlich bestehen blieben.

Mit der über tausendjährigen Besiedlung und Entwicklung von Halle sind viele Veränderungen und Störungen des Naturhaushaltes einhergegangen. Die Ergebnisse dieser Veränderungen (SCHULTZEGALLERA 1920) und die heutige Stadtstruktur prägen das jetzige Stadtbild. Die gewachsene Großstadt entstand aus einzelnen unterschiedlich alten Siedlungen, die sich, in Ausnutzung der geologisch-geomorphologisch bedingten Höhenlage beiderseits des Saaleufers entwickelten.

Der Raum um Halle war bereits in urgeschichtlicher Zeit besiedelt. Aus ergiebigen Solequellen wurde schon in der jüngeren Bronzezeit Salz gewonnen. Vom 7. bis zum 4. Jahrhundert v.u.Z. hatte diese Salzgewinnung einen ersten Höhepunkt (sog. „Hallesche Kultur“). 806 drang ein fränkisches Heer in das Gebiet zwischen Elbe und Saale vor und es wurden zwei Kastelle angelegt. Neben dem mittelalterlichen Halle mit seinen Amtsstädten Neumarkt (seit Anfang 12. Jh.) und Glaucha (slawische Siedlung des 7./8. Jh.) gab es fünf Vorstädte (Strohhof, Petersberg, Steintor, Klaustor, Galgtor) und die Siedlungen Lettin, Trotha, Kröllwitz, Giebichenstein, Gimritz, Bellendorf, Böllberg, Klein-Wörmlitz, Wörmlitz und Beesen.

Als karolingische Grenzsiedlung im Schutze des erwähnten fränkischen Kastells entstand im 9. Jahrhundert sowohl eine Siedlung von Handwerkern, Kaufleuten etc. als auch eine sogenannte Salzsiedlung im Tal mit Salzbrunnen und -siedestätten. Im frühen 10. Jahrhundert, in der Zeit Heinrich I. wurde durch ihn auf einem Porphyrfelsen am östlichen Saaleufer (Flussübergang) die Burg Giebichenstein als Teil eines weit gestaffelten Grenzburgsystems ausgebaut. Seit 968 gehörte sie nebst der südlich davon gelegenen Siedlung (961: „civitas“) mit ihren Markt-, Münz- und Zollrechten zum Erzbistum Magdeburg und besaß gegenüber der Siedlung „Halla“ eine Vorrangstellung. In der zweiten Hälfte des 11. Jahrhunderts gewann Halle wiederum an Bedeutung, denn es bildete sich an der Kreuzung bedeutender Handelsstraßen eine vorwiegend von Kaufleuten begründete Fernhandelssiedlung heraus. Sie bestand aus dem Tal (Salzgewinnung) und dem Markt (Handelstätigkeit).

Nach der Gründung des Klosters Neuwerk (1116) und der Anlage der Handwerker- und Kaufmannsiedlung Neumarkt erfuhr Halle im ersten Viertel des 12. Jahrhunderts eine wesentliche Erweiterung. Die Marktrechte gingen von Giebichenstein auf Halle über. Zum Schutze und der Begrenzung der aufblühenden Stadt, entstand ein Mauerring um die hochmittelalterliche Stadt, deren Reichtum auf die Ergiebigkeit der Solequellen zurückzuführen war. Ihre wirtschaftliche Blüte erreichte die Salzstadt zwischen dem 14. und 16. Jahrhundert. In dieser Zeit wurde auch die Bebauung der ummauerten mittelalterlichen Stadt unter maßgebendem Einfluss von Kardinal Albrecht abgeschlossen. Halle war von 1503 bis 1680 erzbischöfliche Residenzstadt. Nach dem wirtschaftlichen Rückschlag durch die Auswirkungen des Dreißigjährigen Krieges erhielt die Stadt - sie gehörte seit 1680 nunmehr zu Preußen und verlor durch ihre Randlage mit verschärfter Zollpolitik ihr wirtschaftliches Hinterland - durch die

Gründung der Universität (1694) und den Bau der Franckeschen Stiftungen (1698 - 1745) neue Entwicklungsimpulse. In den Jahren 1816 bis 1820 änderte sich das Siedlungsbild im engeren Hallischen Raum gravierend, denn es kam zum Zusammenschluss der Stadt mit den zwei Amts- und fünf Vorstädten zu einer Gemeinde von ca. 20.000 Einwohnern. Bis 1831 schleifte man die Stadtbefestigungsanlage. Damit entstand ein Hauptstraßenring, der die Altstadt von den Außenvierteln abgrenzte. Etwa ab 1830 begann die Industrialisierung überwiegend jenseits der Stadtgrenze, vor allem in Nachbarschaft zu dem sich entwickelnden Eisenbahnnetz, 1872 war Halle ein bedeutender Eisenbahnknotenpunkt. Die mit der Industrialisierung und dem Zuzug von Arbeitskräften verbundene enorme Nachfrage nach Wohnungen hatte weitreichende Konsequenzen für die Stadtgrundrissentwicklung. Es kam zur ersten umfangreichen Stadterweiterung. Von 1850 bis 1880 entstanden neue Wohngebiete, nach außen begrenzt durch Mühlweg, Wucherer-, Linden- und Torstraße, im Süden und Osten überwiegend als Mietskasernen, im Norden in lockerer Bebauung. Etwa um 1890 überschritt die Stadt die Einwohnerzahl von 100.000. Nach 1870 entstanden im Süden und Osten der Stadt ebenso wie westlich der Merseburger Straße und des Bahnhofes Mietskasernen für die Arbeiter der sich in der Nachbarschaft entwickelnden gründerzeitlichen Industrie- und Gewerbegebiete. Im Norden der Stadt und parallel zur Saale entstanden zu dieser Zeit bürgerlichen Villen. In der Gründerzeit wurden auch die wichtigsten Universitätsgebäude im Stadtzentrum und Klinikviertel errichtet, letzteres an der Magdeburger Straße zwischen dem Stadtgottesacker und Steintor gelegen. Bis 1900 entstanden 11 neue Stadtviertel insbesondere sogenannte Mietskasernenkomplexe für die Arbeiter der Industrie. Die Stadt besaß de facto eine geschlossene Bebauung von Giebichenstein bis fast nach Böllberg. Die Eingemeindung von Gimritz, Giebichenstein, Trotha und Kröllwitz zur Jahrhundertwende wurde erforderlich. Neben dem schon vorhandenen Straßenring um den mittelalterlichen Stadtkern entwickelte sich ein zweiter Außenring mit Verkehrsknoten an den Stellen, wo dieser die alten städtischen Ausfallstraßen schnitt, z. B. Reileck, Steintor, Riebeck-Platz, Rannischer Platz. Das Paulusviertel wurde konzentrisch rund um die 1900 bis 1903 auf dem Hasenberg errichteten Paulus-Backsteinkirche vom Süden her angelegt. Im Jahre 1914 besaß die Stadt bereits 170.000 Einwohner, damit rangierte sie an 19. Stelle im Deutschen Reich. Die zweite jüngere Stadterweiterung vollzog sich zwischen den beiden Weltkriegen durch Ausweitung der Bebauung in der nördlichen und südlichen Randzone. Hierbei entstanden vor allem locker bebaute und durchgrünte oft genossenschaftliche Wohnsiedlungen häufig für Arbeiter und Angestellte, z.B. in den Gebieten Gesundbrunnen und Vogelweide zwischen 1924 und 1930. Die Siedlungsflächen des genossenschaftlichen Wohnungsbaus charakterisieren wesentlich den Süden der Stadt. Um den neuen Wasserturm wurde die Siedlung Lutherplatz axial angelegt, die Bebauung des Paulusviertels nunmehr in aufgelockerter Form abgeschlossen. Generell waren die städtebaulichen Grundsätze darauf ausgerichtet, um den unsozial engen gründerzeitlichen Mietskasernengürtel eine weitere Bebauung mit breiteren, in der Regel nun mit Bäumen bestandenen Straßen anzulegen. Von Einfamilienhäusern (z.B. Heiderandsiedlung) bis zum privaten Villenbau (in Kröllwitz, der Frohen Zukunft, aber auch in Nietleben, Dölau und Blumenau, damals außerhalb der Stadt gelegen) reichte das Spektrum. Kasernen und andere militärische Anlagen prägten ferner die Bautätigkeit dieser Zeit, z.B. der Komplex der Heide-Kaserne (Heeresnachrichtenschule). Bereits 1926 bis 1928 wurde zur besseren Bewältigung des Großstadtverkehrs die neue Giebichensteinbrücke errichtet. Nicht nur in baulicher Hinsicht setzte die Industrialisierung wichtige Akzente. Die Stadt profitierte auch mit Blick auf ihre Grünflächen von der Saaleaue und der Dölauer Heide sowie später von den nicht bebaubaren Bergbaufolgeflächen. Große Aufmerksamkeit wurde lange Zeit dem begrünten Promenadenring um die mittelalterliche Stadt gewidmet. Daneben entstanden bereits Parkfriedhöfe im Norden (1850) und Süden (1882). Der Kauf der Burgruine Giebichenstein und der Unterburg, der Ziegelwiese und der Klausberge zwischen 1905 bis 1912 sowie des Bergzoos (1909) waren wertvolle Ergänzungen für die städtischen Grünflächen. Im 2. Weltkrieg kam es nur am Riebeckplatz zu flächenhaften Zerstörungen. Davon waren allerdings alle großen Hotels im Bahnhofsgelände betroffen. Im Bereich des Marktes wurden Rathaus und Waage so stark beschädigt, dass sie nicht wieder aufgebaut wurden. Im Jahre 1950 erfolgte die Eingemeindung von 14 Kommunen des Stadtrandes. Neben der Stadt Ammendorf mit Beesen, Radewell, Osendorf, Planena und Burg waren dies Böllberg, Bruckdorf, Büschdorf, Diemitz, Dölau, Kanena, Lettin, Mötlich, Nietleben, Passendorf, Reideburg, Seeben, Tornau und Wörlitz. In der Periode des sozialistischen Aufbaus wurde die Stadt nach der Verwaltungsreform von 1950 infolge der chemischen Großindustrie in der umgebenden Region (Buna, Leuna, Bitterfeld) zum Zentrum der Chemie der DDR gekürt. Zwischen 1950 und 1970 entstanden die Wohnstädte Süd und Nord mit fast 15.000 Wohnungen. Halle-Süd (später Süd I) war das erste komplexe Baugebiet der Stadt in industrieller Großblockbauweise mit Hochhäusern als architektonische Dominanten. Aber auch in Trotha, wo östlich des Hafengeländes ein neues Industriegebiet zu wachsen begann, entstand nunmehr erstmals in Plattenbauweise die neue Wohnstadt Halle-Nord. Damit begann der extensive Wohnungsbau am Stadtrand bei gleichzeitiger Vernachlässigung der Wohnflächen in der historischen Innenstadt. Das Politbüro der SED beschloss 1963 den Aufbau der Chemiarbeiterstadt Halle-West im Rahmen der Entwicklung der chemischen Industrie im Bezirk Halle. Die Grundsteinlegung für die ur-

sprünglich mit ca. 70.000 Einwohner geplanten Randstadt erfolgte im Juli 1964. Später wurde das Wohnungsneubauvorhaben auf eine Stadtgröße von 115.000 Einwohnern erweitert. 1972 wurde der Grundstein für das Wohngebiet Böllberger Weg gelegt. Zwei Jahre später begann der Aufbau der Wohnstadt Halle-Süd II. Im Jahre 1979 begann man das Großwohngebiet Silberhöhe zwischen der Ortslage Beesen im Süden, der Siedlung Rosengarten im Osten, dem Kasernengelände der Sowjetarmee im Westen und der S-Bahn-Linie im Norden zu errichten. Auf einer Fläche von ca. 580 ha entstanden etwa 10.000 Wohnungseinheiten in mehrgeschossiger komplexer Plattenbauweise. Ein Vorhaben der innerstädtischen Bebauung verdient hervorgehoben zu werden, obwohl es sich nicht um eine Ausweitung der städtischen Randbebauung handelt. Im Gebiet Moritzzwinger/Brunoswarte entstanden 1984 Wohnblöcke in Plattenbauweise mit Geschäftsflächen im Erdgeschoss. Diese Integration von Ladenflächen in die Wohnhäuser fand ihre Fortsetzung in allen nachfolgenden Bauvorhaben, wie z.B. bei der dem Wohnumfeld erstmals günstig angepassten Bebauung des Gebietes zwischen Markt- und Domplatz und der Lückenbebauung in der Geiststraße vor der politischen Wende. In jüngster Vergangenheit hat sich das Antlitz der Stadt Halle spürbar durch die umfassenden Rekonstruktionen von Gebäuden gewandelt. Das betrifft nicht nur Wohn- sondern auch Geschäftsgebäude der Innenstadt bis zur Gegenwart. Neben dem Strukturwandel bzw. Abriss ganzer Industriegebiete (z.B. des gründerzeitlichen Industriegebietes Zentrum-Süd) ab 1990 entstanden und entstehen neue Wohngebiete am Stadtrand von Halle. Hierbei handelt es sich überwiegend um Einfamilien- und Reihenhäuser-Wohnsiedlungen vor allem in Lettin, Seeben, Diemitz, Büschdorf und Dölau. Dies führte andererseits aber auch zu Abwanderungen der Bevölkerung innerhalb der Stadt aus erneuerungsbedürftigen innerstädtischen Wohngebäuden und sozialistischen Plattenbauten. Fast alle Kasernen erhielten eine neue Funktion. So entstehen auf dem Gelände der ehemaligen GUS-Garnison Heide-Süd und Wörmnitz-Kirschberg neue Wohngebiete mit hohem Eigenheimanteil. Im Stadtteil Heide-Süd werden außerdem in Nachbarschaft zum Universitätskomplex am Weinberg weitere Institute der Martin-Luther-Universität in Nachnutzung der denkmalgeschützten Bausubstanz der ehemaligen Heeresnachrichtenschule lokalisiert. Bestrebungen zu weiteren Eingemeindungen von Dörfern des Saalkreises in Nachbarschaft Halles verliefen – trotz intensiver Diskussionsprozesse - bisher nicht erfolgreich, was der Flächennutzungsplanung der Stadt wenig Spielraum lässt. So erweitern sich städtische Funktionen in das Umland und münden in den Prozess der Suburbanisierung.

5.2 Kontrolluntersuchungsgebiet Lutherstadt Wittenberg

Die Lutherstadt Wittenberg liegt im Osten des Landes Sachsen-Anhalt, im Regierungsbezirk Dessau. Sie erstreckt sich über eine Gesamtfläche von 117,9 km² (LUTHERSTADT WITTENBERG 1998). Im Stadtgebiet leben 53.207 Menschen (www.lutherstadt-wittenberg.de 04.04.2004). Zum Gemeindegebiet gehören neben der eigentlichen Stadt die Dörfer Apollensdorf, Reinsdorf, Braunsdorf, Dobien, Tornark, Teuchel, Trajuhn, Labetz, Wiesigk, Wachsdorf, Pratau, Kienberge, Hohenroda, Seegrehna, Bleesem, Bodemar und Heinrichswalde. Das eigentliche Stadtgebiet erstreckt sich nördlich der Elbe in Ost-West-Richtung. Den industriellen Schwerpunkt bildet der Piesteritzer Gewerbe- und Industriekomplex im Westen der Stadt. Die Schwerpunkte der Wohnbebauung befinden sich in den östlich der Industrieanlagen gelegenen Stadtteilen Friedrichstadt, Lindenfeld, Altstadt, Kleinwittenberg, Schlossvorstadt und Piesteritz. Die am Südrand des Fläming gelegenen Flächen des nördlichen Stadtgebietes sind durch einen kleinräumigen Wechsel von Acker- und Waldflächen gekennzeichnet. In der südlichen Elbaue werden die Nutzungsarten durch die Lage der jeweiligen Flächen zu den Hochwasserschutzanlagen bestimmt. Außerdeichs, d.h. auf den zur Elbe hin gelegenen Flächen, bestimmt die Auedynamik der Elbe die Flächennutzung. Hier überwiegt die Grünlandnutzung. Sie wird nur von Auwaldstandorten unterbrochen (Crassensee, Probstei). Innerdeichs werden die fruchtbaren Aueflächen zur Ackerwirtschaft genutzt. In der Ackeraue stellt der Bleeserner Forst die einzige größere zusammenhängende Waldfläche dar. Er befindet sich auf dem Standort einer eiszeitlichen Dünenfläche.

5.2.1 Naturräumliche Charakterisierung und anthropogene Überprägung

Die Lutherstadt Wittenberg liegt zu Teilen am Südhang des westlichen **Fläming** sowie im **Urstromtal der Elbe**. Der **geologische Aufbau** wird von Ablagerungen aus dem Känozoikum bestimmt, abgeschlossen sind hauptsächlich Abfolgen des Miozän. Das Vorkommen von Tertiär beschränkt sich auf eine durch die Wirkung des Eises verursachte Auffaltung mehrerer Sättel und Mulden in der Umgebung von Braunsdorf, Reinsdorf, Dobien und Teuchel im Norden des Stadtgebietes. Die hier aufgefalteten tertiären Schichten bestehen zumeist aus Tonen und Quarzsanden sowie zum Teil auch Braunkohlen. Während des Pleistozäns hatten die älteren beiden Vereisungsphasen, das Elster- und insbesondere das Saaleglazial, auf das Landschaftsbild im Wittenberger Raum einen prägenden Einfluss. In der Zeit des Elsterglazials kam es zur Ausformung der Elbtal-Glazial-Wanne. Die im wesentlichen noch heute erkennbaren glazial geprägten Formen entstammen dem jüngeren Stadium der Saale-

Vereisung (Warthestadium). Als warthezeitliche Endmoräne ist der Apollensberg zu nennen. Größere zusammenhängende Flächen im nördlichen Stadtgebiet nimmt als typische Moränenbildung der Geschiebemergel ein. Als Ablagerungen der Schmelzwässer sind kiesige bis schluffige Sande ebenso großflächig anzutreffen. Die Täler von Apollensbach, Rieschebach, Krähebach oder Faullem Bach lassen sich in ihrer Anlage als alte Schmelzwasserabflussrinnen deuten. Die parallel zum Eisrand in westliche Richtung abfließenden gesammelten Schmelzwässer bildeten schließlich das Elbe-Urstromtal. Den Rest des ehemaligen Urstromtalniveaus bildet die aus kiesigen bis schluffigen Sanden aufgebaute Niederterrasse ("Vorfläming"), auf der auch große Teile der Stadt Wittenberg liegen. Das Inlandeis des Weichselglazials erreichte den Wittenberger Raum nicht mehr. Überwiegend holozäne Ablagerungen prägen das eigentliche Elbtal. Diese bestehen überwiegend aus Auelehmen, die über älteren Talsanden lagern.

Innerhalb des Stadtgebietes lassen sich drei **Relieftypen** unterscheiden:

- die flache, nur durch einzelne Tiefenlinien und kleine Rinnen (verlandete Altwässer, Hochflutabflussbahnen) gekennzeichnete Elbaue mit ehemaligen Sandinseln und Dünenfeldern,
- der als "Vorfläming" bezeichnete, wenig reliefierte, präholozäne Urstromtalboden (Niederterrasse), der durch einen Steilhang (Stufe bis 5 m Höhe) zwischen Elster und Apollensdorf vom gegenwärtigen Auenbereich abgegrenzt und nur noch stückweise in seiner ursprünglichen Höhe erhalten ist,
- die Ausläufer des eigentlichen Fläming im Norden des Stadtgebietes, gegliedert durch fluvial angelegte Schmelzwasserrinnen (Abtsdorfer Tal mit Faullem Bach, Täler von Rieschebach und Krähebach) und wenige kuppige Ausprägungen warthezeitlicher Altmoränen (Stadtberg, Apollensberg, Gallunberg)

Außerhalb der Elbaue herrschen (abgesehen von den Siedlungsflächen) terrestrische **Böden** vor. Unter diesen sind Braunerden und braunerdeähnlichen Böden am weitesten verbreitet. Ihre Entwicklungstiefe liegt durchschnittlich bei 0,6 m, wobei sie auch 1 m überschreiten kann. Die Braunerde steht überwiegend unter landwirtschaftlicher Nutzung und wird im Gelände mit ungünstigem Relief auch forstwirtschaftlich genutzt. Daneben finden sich auf kleineren Flächen auch Regosol, Pelosol und Podsol als Bodentypen. Semiterrestrische (grundwasserbeeinflusste) Böden beschränken sich außerhalb der Elbaue weitestgehend auf die Tallagen von Apollensbach, Rieschebach, Krähebach und Faullem Bach sowie die Senke um Wiesigk. Dabei handelt es sich um Gleye verschiedener Ausprägung, die stellenweise auch Übergänge zu Moorböden zeigen (Moorgleye, Moorquellengleye). Moorböden auf größeren Flächen sind in der Niederung des Faulen Baches zu finden. Die Böden in den Talauen der Elbe sind von einem hohen Anteil an verlagertem, mehr oder weniger humosen Bodenmaterial gekennzeichnet. Dieses Substrat (M-Horizont) ist nach Hangspülung im Einzugsgebiet der Elbe und nach langem Transport bei Hochwässern im Überflutungsbereich der Elbe zur Ablagerung gelangt. Bei regelmäßig wiederkehrenden Überflutungen (Elbhochwässer) mit immer wieder neu abgelagerten Bodenmaterial bleibt das Profil erhalten, es kommt nicht zu einer tiefreichenden Bodenentwicklung. Bei fehlender Überflutung und somit ausbleibendem Auftrag von frischem Elbschlick setzt die Entwicklung zu terrestrischen Böden ein. Im rezenten Überschwemmungsbereich der Elbaue (außerdeichs) einschließlich des Gebietes um den Crassensee bildet die Allochthone Vega den vorherrschenden Bodentyp. Im übrigen Teil der Aue dominieren Auengleye und Auenbraunerden. Terrestrische Böden (Braunerde und podsolige Braunerde) beschränken sich im Gebiet der Elbaue auf die höher gelegenen Flächen bei Seegrehna/Bleesern und Kienberge. Das Stadtgebiet weist eine Reihe von Böden auf, deren natürliche Horizontabfolge nachweislich durch anthropogene Einflüsse verändert bzw. gestört ist. Schwerpunkte im Stadtgebiet bilden so z.B. Böden der Militärstandorte (Kasernen, Übungsgelände); Böden östlich von Reinsdorf entlang der z. T. mit Müll verfüllten, alten Tongruben; Böden um den Industriestandort Piesteritz, einschließlich des WASAG-Geländes; Böden beim ehemaligen Tagebaurestloch nordwestlich Braunsdorf (unter dem Abraum befindet sich eine fossile Braunerde).

Das größte **Oberflächengewässer** der Stadt ist die Elbe. Dem Vorflutsystem Krähebach-Rieschebach-Kleiner Rieschebach kommt für die Entwässerung des Stadtgebietes die größte Bedeutung zu. Neben diesen existieren noch eine Reihe weiterer Bachläufe und Entwässerungsgräben, u.a. Fauler Bach, Trajuhner Bach, Apollensbach, Stadtgraben und Wiesigker Bach, welche sich nördlich der Elbe befinden sowie Flutgraben, Alte Landwehr, Fliehbach und Landwehr in der südlichen Elbaue. Die vom südlichen Flämingabhang der Elbe zufließenden Bäche sind nacheiszeitlich entstandene Abflussrinnen, während die Elbauengewässer vielfach alte Mäander oder Laufveränderungen der Elbe nachzeichnen. Sämtliche Bachläufe fließen auf weiten Strecken nicht mehr in ihrem natürlichen Bachbett oder sind zumindest künstlich vertieft worden. Außerhalb der Elbaue mit seinen zahlreichen Altwässern und Kolken weist das Wittenberger Stadtgebiet keine größeren, natürlich entstandenen

stehenden Gewässer auf. Als größere stehende Gewässer anthropogenen Ursprungs sind die Reinsdorfer Tonteiche, der Schwanenteich im Stadtpark sowie in der Elbaue die Lehmstiche am Luthersbrunnen zu erwähnen.

Als repräsentativ für das **Klima** im Raum Wittenberg können die Daten der amtlichen Wetterstation in Wittenberg/Teuchel herangezogen werden (Meteorologischer Dienst der DDR 1987). Für den Bezugszeitraum 1951/80 liegt das durchschnittliche Jahresmittel der Lufttemperatur bei 8,6 °C, die mittlere Jahressumme des Niederschlags bei 576 mm. Bei der kleinräumigeren Betrachtung der klimatischen Verhältnisse machen sich in Abhängigkeit von der unterschiedlichen Beschaffenheit des Untergrundes (Relief, Boden, Vegetation, Flächennutzung usw.) auch deutliche lokale Differenzierungen und Modifikationen des Makroklimas bemerkbar. In grober Untergliederung lassen sich im Wittenberger Stadtgebiet vier Landschaftsbereiche mit jeweils charakteristischen geländeklimatologischen Besonderheiten unterscheiden, das Klima der Siedlungsflächen, das Bestandsklima größerer Wald- und Forstflächen, das Klima der Elbaue und Klimate sonstiger Freiflächen. Die Besonderheiten des Stadtklimas resultieren aus der Konzentration anthropogener Einflüsse im Siedlungsgebiet (Bebauung, Versiegelung, Luftverunreinigung, zusätzliche Wärmeproduktion etc.). Auffälligste Erscheinung ist die städtische Wärmeinsel. Besonders unter nächtlichen Ausstrahlungsbedingungen ist die positive Lufttemperaturabweichung der Stadt gegenüber dem Umland spürbar ausgeprägt, während am Tage die Temperaturunterschiede allgemein gering sind, bzw. sich ganz aufheben. So konnten in Wittenberg nächtliche Stadt-Umland-Differenzen der Lufttemperatur in der Größenordnung von 2 bis 5 K festgestellt werden. Die deutlichste Ausprägung zeigt die Wärmeinsel in der dicht bebauten Wittenberger Innenstadt, den Industriegebieten und im Ortsteil Piesteritz entlang Wasserflächen und deren unmittelbarer Umgebung deutlich höher als in übrigen Teilen der Aue. Die ausgedehnten Freiflächen der Elbaue stellen windoffene Lagen dar, in denen die Windgeschwindigkeiten allgemein höher sind als im Siedlungsbereich.

5.2.2 Siedlungsentwicklung

Die seit der Völkerwanderung in den Raum am Mittellauf der Elbe eingewanderten Slawen wurden im 10. Jahrhundert zum Ziel deutscher Expansionsbestrebungen. Unter Otto 1. gelang die Festsetzung auch in der Gegend des heutigen Wittenberg. 1180 wird neben dem Burgward Dobien (Wallberg) schließlich auch die Witteburg ("Weiße Burg") erwähnt, die später Wittenberg den Namen geben sollte. Die Siedler, u.a. Flamen, von der Nordseeküste brachten ihre Kenntnisse über den Deichbau mit, nach denen man zuerst die Ansiedlungen in der Elbaue mit Erdwällen gegen Hochwasser schützte. Später wurden Deiche auch zwischen den einzelnen Dörfern entlang der Elbe angelegt, was im Bereich nördlich des Crassensees für das 13. Jh. nachgewiesen werden konnte. Schriftliche Zeugnisse über die Deichanlagen in der Elbaue bei Wittenberg sind erst aus dem 16. Jh. bekannt. Wittenberg gewann durch seine hochwassersichere Lage im Kreuzungspunkt der Handelsstraße von Magdeburg über Dresden nach Böhmen und einer weiteren Handelsstraße aus dem Ostseeraum nach Thüringen, die hier die verwilderten Elbarme in einer Furt überquerte, schnell an Bedeutung. Sowohl die verkehrsgünstige Lage als auch die Aufwertung als herzogliche Residenz begünstigten die Ansiedlung von Handwerkern und Kaufleuten, so dass der Ort 1293 durch Albrecht 11. Stadtrecht erhielt. 1415 erhielt die Stadt das wichtige Niederschlagsrecht, das alle Handelsschiffe auf der Elbe zwang, die beförderten Güter auf dem Wittenberger Markt anzubieten. Friedrich der Weise ließ 1428 eine Holzbrücke über die Elbe errichten, allerdings wurde die Brücke nach etwa 30 Jahren durch einen starken Eisgang auf der Elbe zerstört. Erst 1487 sollte ein Neubau folgen, der fast 150 Jahre bis zum 30jährigen Krieg hielt. Die Stadtkirche, das älteste noch heute stehende Gebäude Wittenbergs, wurde um 1433 fertiggestellt. Auch die Erweiterung der Stadtmauer zu einer umfangreichen Festungsanlage schon zu Anfang des 15. Jh. weist auf die wachsende wirtschaftliche Stärke und politische Bedeutung Wittenbergs hin. Um 1500 gilt Wittenberg schließlich als stärkste Festung an der mittleren Elbe. An der Einmündung des Festungsgrabens in die Elbe lag die Amtsvorstadt, in der sich die Fischer angesiedelt hatten. In der ersten Hälfte des 16. Jh. gewann die Stadt ihre heutige Struktur innerhalb der Festungsanlagen, da der Bedarf an Bauland mit dem Aufschwung vor allem der Universität und des Druckergewerbes stark gestiegen war. In die Lange Straße wurde eine Häuserzeile eingezogen, Collegien- und Mittelstraße entstanden so. Nach dem Tod Luthers 1546 und Melanchtons 1560 verlor auch die Universität allmählich ihre Anziehungskraft. So blieb Wittenberg für die nächsten rund 300 Jahre lediglich ein wichtiger Festungsstandort und Übergang über die Elbe. Im Ergebnis des Wiener Kongresses musste Sachsen umfangreiche Gebiete an Preußen abtreten, darunter Wittenberg. Die Preußen bauten Wittenberg zur Garnisonsstadt aus. Anfangs konnte das Handwerk davon profitieren, mit der einsetzenden technischen Revolution jedoch wirkten vor allem die Befestigungsanlagen und die damit verbundenen Rayonbestimmungen als Fesseln. Ein Teil der Vorstadtbewohner bekam Land nord-östlich der Festung ebenfalls in gehöriger Entfernung von Wittenberg zugewiesen. So entstand

die Friedrichstadt, die zwar relativ abgelegen war, aber im Gegensatz zu Kleinwittenberg keine Eigenständigkeit erlangte. Ausgerichtet auf die Versorgung der Garnison, blieb wegen der Rayonbestimmungen das unmittelbare Umfeld der Festung überwiegend gartenbaulich genutzt und wurde nicht wie in anderen Städten frühzeitig zersiedelt. Was Wittenberg zum Nachteil gereichte, war für Kleinwittenberg von Vorteil. Der 1841 weit vor der Stadt eröffnete Bahnhof Wittenberg bot einen leichten Übergang zwischen dem Transport auf dem Fluss und auf der Schiene, zumal Kleinwittenberg zwar hochwassersicher, aber dennoch unmittelbar an der Elbe lag. So ging die weitere wirtschaftliche Entwicklung wie die Fernstraßen und die Eisenbahnlinie vorerst an Wittenberg vorbei. Gleiches gilt auch für die Wissenschaften, denn die Preußen vereinigten die Wittenberger Universität 1817 dem Namen nach mit der in Halle bestehenden, tatsächlich hörte der Universitätsstandort Wittenberg auf zu existieren. Das neu gegründete Predigerseminar konnte den Verlust nicht annähernd ausgleichen. Die industrielle Revolution wirkte sich auch auf Wittenberg bzw. seine Umgebung aus. 1847 wurde eine neue, diesmal steinerne Elbbrücke mit ihrer Bestimmung übergeben, 1859 kam eine Eisenbahnbrücke hinzu. Ein Meilenstein in der Geschichte Wittenbergs war die Entscheidung von 1873, die Stadt zu entfestigen und die Festungsmauern zu schleifen. Dadurch konnte die Stadt expandieren, Fabriken und Wohnhäuser durften nun in Stadtnähe erbaut werden. Die bei der Entfestigung gewonnenen Flächen wurden in einen Stadtpark verwandelt und umschließen so den Stadtkern mit einem grünen Ring. Am "Fischerey-Graben" der ehemaligen Amtsvorstadt, der zugleich als Abfluss für den Festungsgraben diente, begann 1876 der Bau eines Hafens. Eine weitere Entwicklungsachse richtete sich zwischen der Bahnlinie und der Berliner Chaussee nach Nordosten in Richtung der Friedrichstadt. Die reißbrettartigen Straßenzüge um die Sternstraße unterstreichen dabei den geplanten Charakter dieses Vorstoßes. Der wirtschaftliche Aufschwung führte zu einem enormen Anstieg der Bevölkerungszahl. Während sich in Kleinwittenberg von 1871 bis 1913 die Einwohnerzahl in etwa auf 2140 verdoppelte, stieg sie in Piesteritz im selben Zeitraum um das 18fache und überflügelte 1913 mit 2670 sogar Kleinwittenberg. Noch immer spielte auch das Militär eine wichtige Rolle. Nicht von ungefähr siedelte sich 1894 auch die Westfälisch-Anhaltinische Sprengstoff AG (WASAG) westlich von Reinsdorf in gehörigem Abstand zu größeren Ortschaften in einem Waldstück an. Um sich von Importen unabhängig zu machen, wurde südlich des Dorfes Piesteritz 1915 auf vormaligen Waldflächen ein großes Stickstoffwerk errichtet, schon im Jahr darauf entstand auch die heute unter Denkmalschutz stehende Werkssiedlung. In der Zeit zwischen den Weltkriegen erfolgte angesichts der Weltwirtschaftskrise die Entwicklung Wittenbergs eher verhalten. Noch vor dem 2. Weltkrieg entstanden auch die Lerchenbergsiedlung und auf der Apollensdorfer Gemarkung die Siedlung Apollensdorf Nord. Die industrielle Entwicklung wirkte sich auch auf die umliegenden Dörfer aus. Im Zuge der intensiven Kriegsvorbereitung Deutschlands errichtete man 1936 in der Dresdener Straße am Abzweig nach Labetz eine wichtige Produktionsstätte der Arado Flugzeugwerke GmbH. Mit dem Kriegsende wurden die Flächen der Arado Flugzeugwerke sowie bestehende militärische Einrichtungen von den sowjetischen Streitkräften besetzt und auch zahlreiche Wohngebäude der Stadt in Beschlag genommen. Mit dem Bau des Nordwerkes der Stickstoffwerke Piesteritz nördlich der Bahntrasse seit 1970 wurde die einseitige Ausrichtung Wittenbergs auf die Chemieproduktion weiter vorangetrieben. Der Aufbau der Großblocksiedlung am Trajuhnschen Bach ab 1972, die dem Ortsteil Friedrichstadt ein völlig neues Gepräge gab, sicherte die Unterbringung der Arbeitskräfte. Die letzte große Stadterweiterung Wittenbergs erfolgte mit dem Bau der Wohnblocks zwischen der Friedrichstadt und der Lerchenbergsiedlung in den 80er Jahren. Nach dem Beitritt zur Bundesrepublik Deutschland veränderten sich wesentliche Rahmenbedingungen, die ihren Niederschlag in der Stadtentwicklung fanden bzw. noch finden werden. Am stärksten betrifft das die umfangreichen Konversionsflächen, die nach Abzug der sowjetischen bzw. russischen Truppen als Sanierungsgebiete einer neuen Bestimmung harren. Gleichzeitig mit einer ersten Deindustrialisierung im Stadtinnenbereich wurden neue Gewerbeflächen im Randbereich der bisherigen Bebauung eingerichtet.

5.3 Transferuntersuchungsgebiet Stratos/Akarnanien (Westgriechenland)

Die antike Stadt (griech. Poleis) Stratos ist zwar sowohl aus althistorischer als auch archäologischer Sicht bekannt und bearbeitet, bis heute ist jedoch die „historische Relevanz“ nicht abschließend geklärt. Die jüngsten Untersuchungen lassen mehr und mehr den Schluss zu, dass diese in der Antike scheinbar peripher gelegene Siedlung eine bedeutendere Rolle gespielt haben als bislang angenommen (LANG 2003, FUNKE 2001, FUNKE et al. 2000).

Außer den älteren umfassenderen Untersuchungen von Philippson, Oberhummer und Kirsten vor 1960 gibt es keine jüngeren Veröffentlichungen, die sich mit der allgemeinen Landschaftsentwicklung Akarnaniens beschäftigen. Die einzigen jüngeren geographischen Arbeiten sind entweder allgemeine Landeskunden zu Griechenland (z.B. LIENAU 1989), wo Akarnanien nur randlich erwähnt wird, oder es sind speziellere Ausführungen z.B. zur Siedlungsgenese (SAUERWEIN, F. 1998). Seit 2002 läuft ein

DFG-Projekt, in dem der Landschaftsentwicklung insbesondere im Küstenbereich nachgegangen wird (VÖTT & BRÜCKNER 2002) – allerdings gibt es noch keine zusammenfassenden Ergebnisse. Doch nicht nur der Stand der Forschung zur Landschaftsentwicklung Akarnaniens ist sehr vage (wenn gleich Philippson durch seine Geländereisen ausgesprochen viel grundlegendes Material erarbeitet hat - PHILIPPSON 1958), auch gibt es kaum Information zur regionalen Bodenverbreitung und Bodengenese. Lediglich Kartierungen kleineren Maßstabs liegen vor (KASTANIS 1965). Recherchen bei den griechischen Fachkollegen (Universitäten und Ministerien in Athen, Patras und Thessaloniki) zeigten, dass jüngere Kartierungen nicht existieren.



Abb. 16: Lage des Transferuntersuchungsgebietes in Griechenland

Relevante Literatur ist aus interdisziplinärer Sicht in den Nachbarwissenschaften zu suchen (FUNKE et al. 2000, BERKTHOLD et al. 1996). Durch die DFG finanziert gibt es Literatur seitens der Althistorie (z.B. FUNKE 2001, LANG 2001) und der Archäologie (SCHWANDNER 2001) zum Untersuchungsgebiet Stratos (zusammengefasst in FUNKE et al. 2000 und SCHWANDNER 2001). Ebenso laufen noch nicht abgeschlossene palynologische Untersuchungen Göttinger Kollegen (Prof. Grüger und Mitarbeiter, GRÜGER 2002) an Sedimenten verschiedener akarnanischer Seen.

Die eigenen Untersuchungen waren zuerst eingebunden in die interdisziplinären Untersuchungen zur „Historischen Landeskunde und Siedlungsgeschichte Akarnaniens mit dem Schwerpunkt in der Stratike, dem Siedlungsraum im Bereich der antiken Polis Stratos unter Einschluss der angrenzenden Gebiete“ (DFG-Projekt). Seit 1994 standen allgemeine Gewässer- und Bodenuntersuchungen zum aktuellen „Schadstoffstatus“ (SAUERWEIN 1995) sowie geomorphodynamische Geländedetailkartierungen im Vordergrund. Ein besonderer Schwerpunkt ist die Untersuchung der Bodenveränderung in der antiken Stadt Stratos selbst (SAUERWEIN 2000, SAUERWEIN 1996).

5.3.1 Naturräumliche Charakterisierung und anthropogene Überprägung

Die **Oberflächenstruktur** der an das Jonische Meer grenzenden **Region Akarnanien/Aitolien** mit den vorgelagerten Jonischen Inseln (Kefallinia, Ithaka, Leukas u.a.) ist - wie der Großteil Griechenlands - durch geologisch-tektonische Vorgänge geprägt. Das Umland von Stratos liegt nach der Zonierung der griechischen Gebirge in der Jonischen Zone mit ihren weiträumigen Deckenüberschiebungen (JACOBSHAGEN 1986). Es treten vier Hauptelemente auf: die NW-SE-streichende westhellenische Flyschzone, westlich anschließend in gleicher Streichrichtung ein schmales Band paläozän-obereozäner Kalke und eine kretazische Kalkserie des Ober-Senon. Alle tauchen unter die alluviale Füllung des Beckens von Agrinion ab. Jenseits des Ozeros-Sees steigen im Westen die Wände eines triassischen Kalkmassivs auf, dem kleine pliozäne Tafeln vorgelagert sind. Zahlreiche im Gelände erkennbare Verwerfungen weisen auf eine bruchtektonische Anlage des Beckens von Agrinion hin (FELS 1951/52, S. 308 ff.), das quasi als eine versetzte Miniatureinheit fast parallel zu dem großen Grabenbruch des Korinthischen Golfes verläuft. Flysch und eozänes Kalkband finden südlich der Ebene ihre Fortsetzung. Das seenreiche Becken von Agrinion wird heute durch den Durchbruch des Acheloos (zweitlängster Fluss Griechenlands, 220km Länge) in südlicher Richtung entwässert.

Das antike Stratos liegt auf einem Sporn der Westhellenischen Flyschserie unmittelbar über dem westlichen Ufer des Acheloos. Die Flyschbänke bauen hier eine typische Pultschollenlandschaft auf,

die durch deren freies Ausstreichen und ihr Einfallen mit einem Winkel von 25° nach Osten (Streichen 10° West) näher charakterisiert werden kann. An dem Zeustempel erreichen sie eine Höhe von 99.80 m, auf dem durch eine Rema (saisonal fließender Bach) abgetrennten Riedel bei der Agios Nikolaos-Kapelle ca. 106 m mit einem Anstieg bis 149.11 m an der antiken Akropolis. Das ergibt einen Höhenunterschied zur Ebene, der Stratike, bis zu 100 m.

Entlang eines Aufschlusses im Anstehenden an der alten Dorfstraße von Sorovigli oberhalb des zentralen Platzes, der Agora, konnte die unterschiedliche Mächtigkeit der Flyschbänke zwischen 1,2 cm und 140 cm gemessen werden. Durch das Ausstreichen der Bänke in unterschiedlicher Mächtigkeit kann der Flyschsandstein in allen gewünschten Größen relativ leicht als Baustein vor Ort gewonnen und behauen werden. Die Grenze zwischen Flysch und Kalk folgt genau dem Ryakas, einem Gebirgsfluss (Chimarros), der von Norden aus dem Thyamosgebirge kommt. Er hat sich in dem morphologisch weicheren Flysch bis auf die Basis des harten paläozän-eozänen Kalkes eingeschnitten. So streichen auf seinem östlichen Ufer die Flyschbänke aus, während an der Bachsohle die Kalkschichten unter den Flysch abtauchen. Erst nördlich von dem Weiler Langadi wird in dem enger werdenden Rema ein Aufschluss erreicht, der dokumentiert, wie sich der Flysch eindeutig konkordant dem Kalk auflagert. Jene Kalke wurden im Verlauf der Geländekampagnen nach der auf ihnen gegründeten Siedlung als "Lepenou-Kalke" bezeichnet. Ähnlich wie der Flysch sind sie in Bänken differierender Mächtigkeit abgelagert worden. Der Unterschied besteht allerdings in der intensiven Faltung der Kalke. Sie verschwinden in verschiedenen, erosiv herauspräparierten Zungen vom Charvati ausgehend (133,72 m) nach Süden unter dem Mantel der Rotlehme (**Terra fusca**) der Stratike, treten aber auch dort unvermittelt in einzelnen isolierten Nestern nochmals an die Oberfläche.

5.3.2 Siedlungsentwicklung

Stratos ist die Bundeshauptstadt des westgriechischen Stammes der Akarnanen. Es liegt etwa 80km nördlich von Patras nahe der Provinzhauptstadt Agrinion am Flussufer des Acheloos. Die ausgedehnte Ruinenstätte verfügt über eine gut erhaltene Stadtmauer, einen spätklassischen Zeustempel, Agora, Theater, Wohngebäude und Nekropolen. Seit 1989 finden Grabungen durch den griechischen Antikendienst, sowie die Bearbeitung von Architektur und Topographie durch das Architekturreferat des Deutschen Archäologischen Institut (DAI) Berlin statt. Ziel ist es, die bisher kaum erforschte Region im Westen des griechischen Festlandes archäologisch zu erschließen, da die bisher gültige Vorstellung von einer zurückgebliebenen Provinz, die erst im 3. Jh. v. Chr. von der urbanen griechischen Hochkultur erreicht wurde, nicht mehr zutreffend sein konnte. Erste archäologische Untersuchungen galten von Seiten der Ecole française d'Athènes 1892-1913 und 1924 hauptsächlich dem Tempel des Zeus Strateios. In der Folgezeit wurden vom griechischen Antikendienst gelegentlich kleinere Notgrabungen im Stadtgebiet und den Nekropolen durchgeführt. Erst nach dem Abschluss von Staudammarbeiten in unmittelbarer Nachbarschaft der antiken Stadt wurden 1988 Mittel freigegeben, um die zentralen Einrichtungen der antiken Metropole Akarnaniens als archäologischen Park sichtbar zu machen und herzurichten. Erschlossen wurde hierbei der zentrale, von Säulenhallen umgebene Marktplatz, die Agora, mit anschließenden Verwaltungsbauten (Bouleuterion) und das ca. 10.000 Sitzplätze fassende antike Theater. Der Erhaltungszustand ist jedoch stark beeinträchtigt; zum einen aufgrund des ungünstigen Baugrundes und unstabiler Baumaterialien, zum anderen wegen einer unerwarteterweise kontinuierlichen Besiedlung des Platzes mit Funden aus neolithischer Zeit bis 1970. Die Blütezeit der Stadt lag im 5. und 4. Jh. v. Chr.

Mit **Stratiké** wurde in der Antike das Territorium des Stadtstaates Stratos bezeichnet. Nach topographischen Grenzen lässt sich die Ausdehnung auf ca. 230km² schätzen, von denen allerdings ca. 80km² von Seen und Flussbetten überlagert sind. Den Mittelpunkt bildet die antike Stadt Stratos an der Stelle, wo der wasserreichste Fluss Griechenlands, der Acheloos, aus dem Bergland in die Ebene tritt. Ziel der Erforschung dieses antiken Gebietes eines Stadtstaates ist es, als Ergänzung der Stadtgrabung von Stratos die wirtschaftliche Grundlage der Stadt in ihrer Abhängigkeit vom Umland zu erschließen. Hierbei soll die Wechselwirkung zwischen zentraler Siedlung und der Peripherie von Oberflächenfunden für möglichst alle Epochen bis in die Neuzeit erfasst werden. Das archäologisch vollkommen unerschlossene Gebiet wurde dazu seit 1992 systematisch mit Läuferketten abgegangen und jeder Fund in Ausschnittkarten (Maßstab 1:5.000) markiert. Repräsentative Teilflächen wurden abgesammelt und Architekturbefunde steingerecht vermessen. Die Bearbeitung der mehrere tausend Einzelfunde und die Erstellung von Epochenkarten zur Siedlungsstruktur dauert noch an.

6 Datenquellen, Datenerhebung und Arbeitsmethoden

Um die in den Eingangskapiteln formulierten Zielsetzungen erreichen zu können, mussten neben der **Recherche und Bearbeitung existierender Daten** eine **Vielzahl eigener Untersuchungen** durchgeführt werden. Dies betraf sowohl die Datenermittlung für den **historischen Stoffhaushalt**, wo in **interdisziplinärer Zusammenarbeit** insbesondere mit Archäologen laufende Grabungen genutzt werden konnten, als auch für den aktuellen Stoffhaushalt, wo die **laufende amtliche Datenerhebung** durch **eigene Geländearbeiten** ergänzt wurde.

Vom Ansatz der Arbeit her sind bezogen auf die **Untersuchungsgebiete unterschiedliche Schwerpunkte** vorgegeben, wobei das Hauptuntersuchungsgebiet des Stadtgebietes von Halle eindeutig den größten Platz einnimmt, während in Wittenberg in wesentlich „abgespeckter Form“ das gleiche Untersuchungsprogramm durchgeführt wurde, und im Transferuntersuchungsgebiet Stratos (Griechenland) hauptsächlich der historische Stoffhaushalt im Vordergrund stand. Im folgenden wird neben der Darstellung der jeweiligen **Datenlage** zuerst der Ansatz und die Durchführung der **eigenen Geländearbeiten** beschrieben und dann auf die **Labor- und Datenauswertungsmethoden** eingegangen.

Um die Bandbreite von **organischen und anorganischen Schadstoffen** abzudecken (und diese auch als Marker zu verwenden), wurden als Belastungstoffe Metalle und **Schwermetalle** (insbesondere Kupfer, Blei und Zink als Indikatoren für die urbane Überprägung (MEURER 1997) sowie **polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe** gewählt (EUSTERBROCK 1999). Dabei ist es allerdings wichtig, die **pedologischen Steuergrößen** des Stoffhaushalts wie pH-Wert, Humusgehalt etc. qualitativ und quantitativ zu berücksichtigen (BARSCH, BILLWITZ & BORK 2000, OPP 1997).

6.1 Hauptuntersuchungsgebiet Halle (Saale)

Am Universitätsstandort Halle sind in der jüngeren Vergangenheit eine Vielzahl von Untersuchungen sowohl der **öffentlichen Hand** (Landesämter, Stadtverwaltung etc.) als auch im Rahmen von **universitären Forschungsprojekten** bzw. Qualifikationsarbeiten durchgeführt worden. Neben der Verwendung und weiteren Auswertung deren Ergebnisse wurden dem geoökosystembezogenen Ansatz der vorliegenden Arbeit entsprechend auf der Basis der Stadtstrukturtypendifferenzierung eine ganze Reihe von eigenen Untersuchungs- und Messprogrammen durchgeführt.

6.1.1 („Fremd“-) Untersuchungen zum aktuellen und historischen Stoffhaushalt

Mit der Wende 1989/90 hat sich das gesellschaftliche Bewusstsein gegenüber der Umwelt stark verändert. Dies gilt auch für die Stadtbevölkerung hinsichtlich ihres städtischen Lebensraumes. In der Folge ist es im Rahmen der hoheitlichen Aufgaben der Landesämter möglich gewesen, die von diesen erhobenen Daten im Hinblick auf die Fragestellung der urbanen Bodenlandschaften auszuwerten. Ebenso konnten Ergebnisse von universitären Forschungsprojekten verwendet werden. Darüber hinaus wurden im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit vom Autor mehrere Diplomarbeiten initiiert und betreut, die einzelne Aspekte wie z.B. die anthropogene Reliefveränderung oder Stoffhaushaltsuntersuchungen in Kleingärten zum Fokus haben.

Tab. 6: Datenerhebung und -recherchen zum aktuellen und historischen Stoffhaushalt

<p>Landesamt für Archäologie Sachsen-Anhalt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Archäologische Grabung „Stadtcenter“ 1999 (LAA SA 1999a) • Archäologische Grabung „Audimax“ 1999 (LAA SA 1999b) • Archäologische Grabung „NO-Ecke Marktplatz“ 2002 (LAA SA 2003)
<p>Stadtverwaltung Halle, Umweltamt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grundwasserkataster seit 1995
<p>Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Siedlungsbodenkartierung (Konzeptbodenkarte, Ausschnitte (GLSA 1999))
<p>Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Immissionsmessungen (Immissionsschutzberichte verschiedener Jahre)
<p>Dissertationen/Projektberichte (Kurztitel):</p> <ul style="list-style-type: none"> • WERHEIT 2000: Indikatorengestütztes Qualitätszielsystem auf der Basis von Stadtstrukturtypen am Beispiel von Halle • PÜTTMANN 2002: Vergleichende klimatische Untersuchungen in unterschiedlichen Stadtstrukturtypen von Halle • WINDE 1996: Stoffbelastung der Saale im Stadtgebiet von Halle, insbesondere Sedimente und Hochwasserabsätze • FRÜHAUF et al. 1996: Stoffhaushalt städtischer Kleingärten in Halle
<p>Diplomarbeiten (Kurztitel):</p> <ul style="list-style-type: none"> • HECKNER 2003: Stoffhaushalt von Sedimenten in Stand- und Fließgewässern im Stadtgebiet Halle • BUKOWSKI 2003: Einfluss von Stadtstrukturtypen auf das Grundwasser der Stadt Halle • KRUG 2002: Analyse der anthropogenen Reliefentwicklung von Halle • SEIDLER 2002: Entwicklung einer stadtoökologischen Kartieranleitung am Beispiel von Halle • WALKER 2001: Untersuchungen zum Bodestoffhaushalt städtischer Kleingärten • NEUMANN 1998: Stadtökologische Kartierungen im Stadtteil „Paulusviertel“

6.1.2 Eigene Untersuchungen

Die in Tab. 6 aufgeführten Quellen genügen selbstverständlich nicht, die Ausgangshypothese der urbanen Bodenlandschaften verifizieren zu können. Dazu ist die eigene Kartierung bzw. **Erfassung von Bodendaten** unabdingbar. Aber auch alleine die Aufnahme einer Vielzahl von Bodenprofilen z.B. genügt nicht, um letztlich die geoökologischen Stoffhaushaltseigenschaften darstellen zu können. Um die **zeitliche Dynamik** möglichst auch quantitativ zu erfassen, wurden deshalb Untersuchungen sowohl zur Immissionssituation als auch zum Stoffoutput in andere Umweltmedien angesetzt (Tab. 7). Die Auswahl der Standorte orientierte sich dabei an der zuvor durchgeführten **Stadtstrukturtypenkartierung** (veröffentlicht in SAUERWEIN & FORNACON 2003).

Tab. 7: Geländeinstrumentierungen (s. Abb. 17)

Stoffinput	Exponierter Kontrollboden
Stoffumsatz im Boden	Bodenstoffgehalte
	Bodensickerwasserbeprobung ¹⁾
Stoffoutput	Bodensickerwasserbeprobung ¹⁾
	Grundwasserbeprobung ¹⁾
	Gewässerbeprobung ¹⁾
	Pflanzenbeprobung ^{2) 3)}
¹⁾ KOCH, SAUERWEIN & FRÜHAUF 2004 ²⁾ SAUERWEIN et al. 1996, ³⁾ FRÜHAUF et al. 1996	

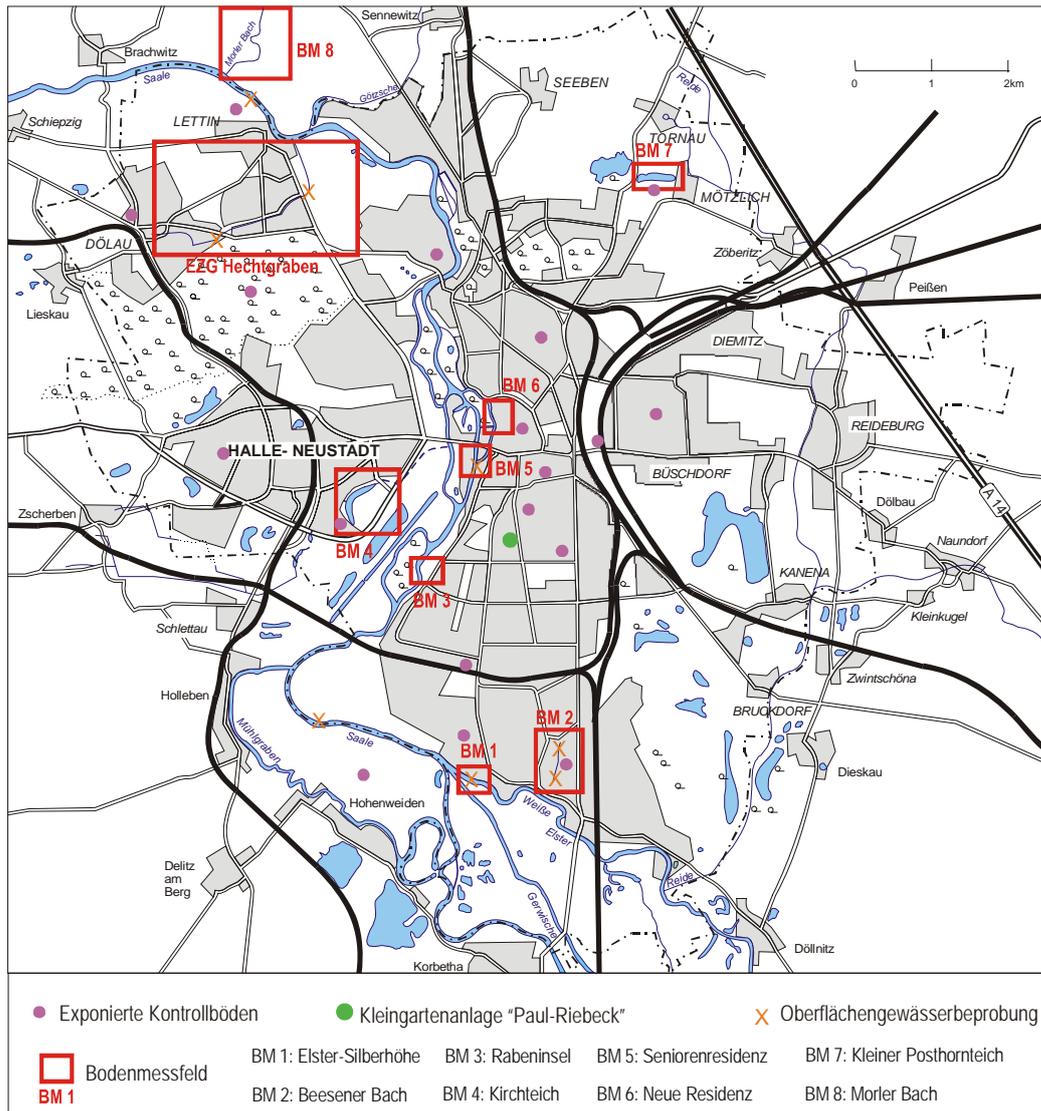


Abb. 17: Lage der Standorte zur Untersuchung des aktuellen Stoffhaushaltes im Hauptuntersuchungsgebiet Halle

Zusammen mit der Beprobung der Bodensickerwässer auf den Bodenmessfeldern und der direkt angrenzenden Oberflächengewässer wurde auch im Einzugsgebiet des Hechtgrabens (**EZG Hechtgraben** in Abb. 17) dieser an drei Stellen beprobt. Damit kann der **stadtstrukturtypenabhängige Einfluss** untersucht werden, da der Hechtgraben aus dem Forst der Dölauer Heide kommend an Einzelhäusern und am Rande der Großsiedlung Heide-Nord vorbei in die Saale mündet (KOCH et al. 2004).

6.2 Kontrolluntersuchungsgebiet Wittenberg

Für die Lutherstadt Wittenberg liegen im Vergleich zu Halle nahezu **keine Informationen** vor. Bis auf Untersuchungen, die im Rahmen des **Umweltatlases** Anfang der neunziger Jahre durchgeführt wurden (STADTVERWALTUNG LUTHERSTADT WITTENBERG 1994), kann nur auf punktuelle Daten wie z.B. aus den landesweiten Immissionsschutzberichten zurückgegriffen werden. Dies erschwerte die Untersuchungen ungemein, da außer einer **Bodenkartierung** (DARMER & MÖLLER 1994) - die allerdings die bebauten Bereiche nicht berücksichtigt - keinerlei Daten zu Bodenstoffgehalten und/oder Bodenparametern vorliegen. Schon aufgrund der Entfernung von Halle war es nicht möglich, ein eben solches Messprogramm aufzubauen und durchzuführen. Deshalb wurde zuerst eine **Stadtstrukturtypenkartierung** durchgeführt, auf deren Grundlage dann in exemplarischen Bereichen **Bohrstocksondierungen** erfolgten. Darauf aufbauend wurden schließlich **Leitprofile** angelegt und beprobt. Um die aktuelle Immissionssituation zu erfassen, wurde wie in Halle **Kontrollböden exponiert**. Auf Untersuchungen

zum Stoffaustrag über Bodensickerwässer musste aus finanziellen und Kapazitätsgründen verzichtet werden.

6.3 Transferuntersuchungsgebiet Stratos

Die Datenerhebung im Transferuntersuchungsgebiet Stratos erfolgte zuerst im Rahmen eines DFG-geförderten größeren interdisziplinären Forschungsprojektes (Endbericht: FUNKE et al. 2000) und einer griechisch-deutschen archäologischen Grabung im Stadtgebiet (SCHWANDNER 2001) und anschließend im Rahmen eines eigenen drittmittelgeförderten Forschungsprojektes (SAUERWEIN 2001).

Tab. 8: Datenerfassung und -recherchen zum historischen (und aktuellen) Stoffhaushalt in Stratos

Eigene Geländearbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Bodenkartierungen 1994 (SAUERWEIN 1995), • Bodenkartierungen 1997 – 2001 (SAUERWEIN 2001)
Auswertungen von Bodenproben mehrerer Bohrkampagnen	<ul style="list-style-type: none"> • Geomorphologische Bohrungen 1991 – 1993 (SAUERWEIN unveröff.)
Ephorie Patras & DAI Deutsches Archäologisches Institut Berlin	<ul style="list-style-type: none"> • Archäologische Grabungen im Stadtgebiet von Stratos 1992 - 1996 (SCHWANDNER 2001)
FUNKE et al. 2000:	<ul style="list-style-type: none"> • Survey in Stratos und der Stratike 1991 – 1997 (DFG-Abschlussbericht)
Archäolog. Dissertation	<ul style="list-style-type: none"> • Stadtmauer Stratos (Humboldt-Univ. Berlin, laufende Diss.)

6.4 Charakterisierung der untersuchten Schadstoffe

Im folgenden wird kurz auf die verwendeten bzw. angewendeten **Mess- und Auswertungsverfahren** eingegangen. Für die eigenen Boden-, Bodenwasser-, Wasser-, Klima- und Immissionsuntersuchungen und die stoffbezogenen Analysen kamen durchweg standardisierte bzw. fachlich anerkannte Verfahren zum Einsatz (**DIN-Normen** bzw. vergleichbare Methoden), um die Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen zu gewährleisten. Die Datenhaltung erfolgt primär mittels Excel. Für das Untersuchungsgebiet Halle sind die Excel-Daten in das **Datenbanksystem Access** überführt, welches für die weitere Datenverarbeitung bzw. Visualisierung im GIS-Bereich mit **ArcView** gekoppelt wurde (Kap. 6.7 und Kap. 7.3.2). Die statistischen Auswertungen erfolgten mit **SPSS**. In Tab. 9 sind aus der angeführten Literatur die Parameter dargestellt, die als Indikatoren für die Veränderung des Stoffhaushalts in Betracht kommen.

Tab. 9: Untersuchte Systemparameter und ihre geoökologische Bedeutung

pH-Wert	Charakterisierung des geochemischen Milieus
Leitfähigkeit	Summenparameter der gelösten Ionen
Schwermetalle: Blei, Kupfer, Zink	„stadttypische“ anorganische Schadstoffe
PAK	Indikator für Intensität (besonders seit der Industrialisierung)
Korngrößenverteilung (Böden)	Einfluss auf die Schadstoffsorption
Gehalt an CaCO ₃ (Böden)	Steuerung des Pufferverhaltens, Einfluss auf Schadstoffsorption
Humusgehalt (Böden)	Einfluss auf die Schadstoffsorption
Quellen: WELP 2000, ALLOWAY 1999, KEPPLER 1999, HELD 1997, UNGER & PRINZ 1997, BAUSKE 1994, HORNBURG & BRÜMMER 1993, FILIPINSKI & GRUPE 1990, DÜES 1987	

6.4.1 Schwermetalle als Belastungsstoffe im städtischen Geoökosystem

Schwermetalle kommen überall in der Erdrinde vor und sind in Spuren z.B. auch im Erdöl, in der Kohle und im Holz vorhanden. Durch Produktionsprozesse, Verhüttung von Erzen, Verbrennen von fossilen Energieträgern werden sie in die **Umwelt freigesetzt**. Die Gehalte in Böden setzen sich aus einer natürlichen und einer anthropogenen Komponente zusammen, wobei in **urbanen Böden** die anthropogene Komponente weit überwiegen kann (ALLOWAY 1999, HINDEL & FLEIGE 1991).

Einige Schwermetalle, wie **Zink und Kupfer**, sind in geringen Konzentrationen **lebensnotwendig** für Pflanze, Tier und Mensch. Hohe Schwermetallanreicherungen können Störungen des Bodenlebens und des Pflanzenwachstums hervorrufen; bereits bei nur gering erhöhten Gehalten, etwa von Cadmium, bewirken sie eine verstärkte Aufnahme in die Pflanzen und gelangen in die Nahrungskette. Neben akut toxischen Wirkungen hoher kurzzeitiger Aufnahmemengen sind bei Tier und Mensch vor allem

chronische Schädigungen durch Langzeitanreicherungen zu befürchten. **Toxikologisch** problematisch sind Cadmium, Quecksilber und Blei; sie reichern sich über die **Nahrungskette** in Organen des **Menschen** an, wo sie zu schweren Stoffwechselschädigungen führen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002, ALLOWAY 1999).

Schwermetalle gehören zu den **persistenten** Schadstoffen in Böden, da sie nicht abgebaut werden und eine **Verlagerung/Auswaschung** in tiefere Bodenschichten/-horizonte nur in **geringem** Ausmaß stattfindet. Der relativ geringe **Entzug durch Pflanzen** fällt kaum ins Gewicht, er steht im urban-industriellen Bereich einem Vielfachen an Zufuhr oder auch Bodenvorrat (anthropogene Lithogenese) gegenüber. Allein die diffuse Zufuhr über **Luftverschmutzungen** reicht aus, um eine langfristig bedenkliche **Akkumulation von Schwermetallen** in Stadtgebieten aufrecht zu erhalten (SAUERWEIN 1998). In der Nähe von Emittenten erreichen die Schwermetalldepositionen Größenordnungen, die innerhalb von nur 10 Jahren völlig unbelastete Böden bis über die Grenzwerte der Klärschlammverordnung (Orientierungswerte) anreichern (HELD 1997, KREYSA & WIESNER 1994).

Der **absolute Gehalt** von Schwermetallen im Boden sagt noch nichts über ihre **Pflanzenverfügbarkeit** aus. Häufig liegen sie, vor allem bei Altablagerungen und Altstandorten, in schwer löslicher Form vor und sind deshalb kaum pflanzenverfügbar. So sind z.B. von den ermittelten Bleigehalten kontaminierter Böden im allgemeinen weniger als 10 % pflanzenverfügbar (HINDEL et al. 1996). Neben elementaren Metallen und einer Reihe anorganischer Metallverbindungen sind in den ermittelten Gesamtgehalten der Böden **organische Schwermetallverbindungen** enthalten, die in ihrer Umweltrelevanz und Toxizität wesentlich kritischer zu beurteilen sind. (NLFÖ 1996)

Erheblichen **Einfluss auf die Pflanzenverfügbarkeit** haben der pH-Wert des Bodens (Bodenreaktion) und sein Ton- und Humusgehalt (HORNBURG & BRÜMMER 1993). Niedrigere pH- Werte, Ton- und Humusgehalte fördern die Aufnahme, höhere Werte hemmen sie im allgemeinen. Der Einfluss des pH- Wertes auf die Aufnahme durch Pflanzen ist bei Cadmium und Zink am größten, bei Chrom, Kupfer und Nickel mittel und bei Blei und Quecksilber am geringsten. Cadmium wird aus dem Boden ebenso leicht aufgenommen wie Zink und viel leichter als Blei (WELP 2000, ZAUNER & STAHR 1996). Die quantitativ (Ausmaß und Verbreitung von Belastungen) wie auch qualitativ (toxikologisch) **problematischen** Schwermetalle in urbanen und angrenzenden Gebieten sind **Blei** (Pb), **Cadmium** (Cd), **Quecksilber** (Hg) und das Metalloid **Arsen** (As). Ein Überblick zu Produktion, Verbrauch, Emissionen und Ökotoxikologie ist z.B. im Anhang des Bundesbodenschutzgesetzes (BBODSCHG 1998) zusammengestellt.

6.4.2 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) als Belastungsstoffe im städtischen Geoökosystem

PAK sind Kohlenwasserstoffe, die aus mindestens zwei aromatischen Ringen bestehen. Sie gelten z.T. als **kancerogen** und/oder **mutagen** (THIELE 1997, HEIN & DELSCHEN 1994) und entstehen bei der unvollständigen Verbrennung fossiler Energieträger. Die zunächst gasförmig freigesetzten PAK werden zum größten Teil in partikelgebundener Form transportiert und großräumig verteilt. Im Gegensatz zu den Schwermetallen werden die **PAK**, wie alle in die Umwelt gelangten organischen Schadstoffe, abgebaut oder **umgewandelt**. Sie können beim Transport photochemisch abgebaut werden, unterliegen im Boden einer mikrobiellen Mineralisierung oder Metabolisierung (KÄSTNER et al. 1993) und können vor allem mit dem **Kohlenstoff** des Bodens eine feste Bindung eingehen (SCHOONE et al. 1997). Die Eigenschaft des Kohlenstoffs, PAK und andere organische Schadstoffe zu binden und vor Ab- und Umbauprozessen zu schützen, kann durch zunehmende Mengen gelöster organischer Substanz (DOM) mehr als kompensiert werden (RABER & KÖGEL-KNABNER 1996, TEBAAY 1994). PAK gehören zu den am weitesten verbreiteten organischen Verunreinigungen in allen Umweltmedien. Nach der Entstehung der neutralen, nichtpolaren organischen Moleküle durch unvollständige Verbrennung organischer Energieträger erfolgt eine Bindung an Staubpartikel der Luft und somit eine **ubiquitäre Verbreitung**. Es findet eine Anreicherung dieser Substanzen statt, die in naturnahen, unbelasteten Gebieten der Eintrag 30 bis 400 mal größer ist als der Austrag der Stoffe, und teilweise eine große Persistenz derselben zu verzeichnen ist (KNOCHE et al. 1995). Die **Belastungsmaxima** liegen eindeutig in den **Ballungsgebieten** und in der Nähe bekannter Emittenten. Insbesondere die teilweise stark kancerogenen und mutagenen Eigenschaften einiger PAK geben Anlass zur Besorgnis. Dabei wird die Frage aufgeworfen, welche Bodenkonzentrationen nicht überschritten werden sollten, um eine Gefährdung des Menschen weitgehend auszuschließen. Die Aufnahme von PAK über die **Nahrungsmittel** ist trotz der relativ niedrigen Belastung einzelner Pflanzen in der Summe als die wichtigste Quelle der PAK-Belastung anzusehen. Die Umweltbehörde der USA (**EPA**) hat **16 PAK** eine besondere Priorität verliehen und sie zum Untersuchungsstandard bei umweltrelevanten Fragestellungen gemacht (in den

meisten Untersuchungen sind diese 16 Substanzen als PAK-Gesamtkonzentration zusammengefasst. Die bekannteste und zugleich eine besonders toxische und persistente, in vielen Untersuchungen als Leitsubstanz am besten untersuchte PAK-Verbindung ist das **Benzo(a)pyren** (BaP). Bodenproben ohne anthropogene Einflüsse enthalten zwischen 1 und ca. 5, maximal 10 µg/kg BaP, in landwirtschaftlich genutzten Böden Mitteleuropas werden „normale“ BaP-Gehalte von 2 bis 50 µg/kg Boden ermittelt (KNOCHE et al. 1995). Höhere Gehalte können entweder mit einem „großen“ **Emittenten** in Verbindung gebracht werden oder wie in Ballungsgebieten erfolgt eine Aufkonzentration durch die Vielzahl der Einzelemittenten. In Halle und Leipzig konnten bereits einige **Muster der räumlichen Verteilung** in den Stadtgebieten ermittelt werden (SAUERWEIN 1998). In vielen Fällen beträgt die PAK-Gesamtkonzentration ungefähr das 10-fache der BaP-Konzentration (EUSTERBROCK 1999). Unterschiede im Adsorptionsverhalten der PAK im Boden sind im wesentlichen von der Molekülgröße abhängig. Mit **atmosphärischen Einflüssen** zeigt sich bei der **Vegetation** insbesondere bei oberirdischen Pflanzenteilen eine eindeutige Abhängigkeit zwischen Konzentration und Entfernung zum Emittenten. Die PAK-Konzentration im Niederschlag zeigen im Gegensatz zum PAK-Staubniederschlag ein jahreszeitliches Maximum im späten Winter (MARSCHNER 1998).

6.4.3 Nährstoffe als Belastungsstoffe im städtischen Geoökosystem

Für das Pflanzenwachstum unentbehrliche Nährstoffe erweisen sich unter bestimmten Bedingungen als Schadstoffe. Hier ist hauptsächlich die übermäßige Zufuhr von **Stickstoff** in Form von Nitrat-Stickstoff zu nennen; er gelangt in urbane Böden über **Luftverunreinigungen**, mineralische Düngung oder/und organische Düngung. Über den Luftpfad gelangen noch weitere Nährstoffe wie Phosphor, Natrium, Kalium, Magnesium und Calcium in die Böden. Die Größenordnungen erreichen bei Phosphor etwa 1,5 kg/ha/a, bei den übrigen Elementen können Werte zwischen 1,5 und 40 kg angenommen werden (DÄUMLING 1997). Übermäßig mit Nährstoffen versorgte urbane Standorte sind **Haus- und Kleingärten**, aber auch **Grünanlagen** und **Straßenrandbereiche** (BAUSKE 1994). Nicht nur in Gärten, sondern auch auf anderen urbanen Nutzungen wird unbewusst, aber auch gezielt in beträchtlichen Mengen **organisches Material** aufgebracht. Mulchgut und Komposte aus Schnittgut, Rückständen von Vegetationsflächen, Laub von Straßenbäumen, Friedhofs- und Gartenabfällen sind beliebte „**Bodenverbesserer**“ bei der Straßenbaum- und Grünflächenpflege, Ausbringungsmengen von 25 t/ha/a Jahre sind durchaus üblich (BAUSKE 1994). In Fällen mit einmaliger Anwendung, etwa bei Rekultivierung oder Neuanlage von Grünflächen, kann die Anwendungsmenge aber auch bis zu 1000 t/ha betragen; kleinere Flächen (Beete, Baumscheiben) werden nicht selten 20 -50 cm stark überdeckt. Abhängig von den Ausgangsmaterialien werden Schadstoffe wie Schwermetalle und Pestizide als „Ballast“ mitgeliefert, gleichzeitig kann durch die Freisetzung von organischen Säuren besonders bei Rindensubstraten eine massive pH-Wert-Absenkung resultieren die ihrerseits wiederum für eine **Schwermetallmobilisierung** sorgt und die Aktivität des Bodenlebens einschränkt (HORNBERG & BRÜMMER 1993). Auf urbanen Nutzungen ist oftmals ein **Entzug** über Ernten und Pflegemaßnahmen gering, so dass bei hoher Stickstoffzufuhr (Mineraldünger, Komposte, Abfälle) und entsprechenden Mineralisationsraten eine **Nitrat-Verlagerung** in das **Grundwasser** wahrscheinlich ist. Dies belegen auch eigene Untersuchungen (KOCH et al. 2004). Insgesamt hat die Besiedlung zu einer stark verminderten Diversität der Wasser- und Luftverhältnisse, hingegen zu einer erhöhten Diversität der Nährstoffverhältnisse bis zu toxischen Konzentrationen geführt (BLUME 1998).

6.5 Feldmethoden

Im Gelände wurden in den drei Untersuchungsgebieten selbst umfangreiche **Bodenkartierungen** durchgeführt (in Anlehnung an DBG 1997). Dabei wurden die allgemeingültigen Ansätze zur **Auswahl von Testflächen** und Testpunkten (BÖTTCHER 1998, GEILER et al. 1997) sowie zur Art der Beprobung (BURGHARDT et al. 1997), berücksichtigt. Darüber hinaus erfolgten im **Hauptuntersuchungsgebiet Halle** an exemplarisch eingerichteten Messfeldern **Bodensickerwasseruntersuchungen** (KOCH, SAUERWEIN & FRÜHAUF 2004). Weiterhin wurden **klimatische, Gewässer- und Immissionsuntersuchungen** durchgeführt.

6.5.1 Bodenkartierungen

Die Bodenkartierungen im Gelände erfolgten durch Sondierungen mittels **Bohrstock** (1m), Anlage von **Leitprofilen** und Entnahme von **Oberbodenmischproben**. Dabei wurde in der Ansprache der **Bodenprofile** nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA4 1994) in Verbindung mit der Stadtbodenkartieranleitung (AK STADTBÖDEN 1994) und der Siedlungsbodenkartieranleitung Sachsen-Anhalt (KNAUF & MÖBES 1999) vorgegangen. Soweit möglich wurden daraus die entsprechenden Bodentypen und Bodenformen abgeleitet. Die vorangehenden Sondierungen mittels **Bohrstock** dienen dabei der

Beschreibung und Berücksichtigung der horizontalen Heterogenität bzw. der konkreten Auswahl der Leitprofilstandorte, während die **Oberbodenmischproben** für „flächendeckende“ Aussagen zu Stoffkonzentrationen verwendet werden.

6.5.2 Bodenwasseruntersuchungen

Um die **Prozessdynamik** der urbanen Pedosphäre näher zu untersuchen, wurden im Rahmen eines vom UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle finanzierten Drittmittelprojektes im Hauptuntersuchungsgebiet Halle mehrere mit **Saugkerzen** und **Tensiometern** bestückte **Bodenmessfelder** eingerichtet (KOCH, SAUERWEIN & FRÜHAUF 2004). Diese befinden sich (bis auf ein Intensivmessfeld), aufgebaut entsprechend dem Catenaprinzip, direkt an innerstädtischen Stand- bzw. Fließgewässern, um insbesondere den **sickerwassergetragenen Stofftransport (vertikal und hangparallel) in die angrenzenden Gewässer** zu qualifizieren und zu quantifizieren (Abb. 18). Die Lage der Bodenmessfelder ist Abb. 6-1 zu entnehmen. Es befinden sich zwei solche an der Saale (Diesterwegstrasse und Glauchaer Strasse), zwei am Beesener Bach (Brauhausstrasse), je eines an der Weißen Elster (Silberhöhe), am Kleinen Mötzlicher Einbruchsee (Kleiner Posthornteich), dem Saalealtwassersee Kirchteich und eines im Innenhof der Neuen Residenz im Stadtzentrum. Die Entnahme der Sickerwässer (Kunststoff- und Glassaugkerzen der Firma ecoTech) erfolgte im 14-Tagerhythmus (soweit möglich.).

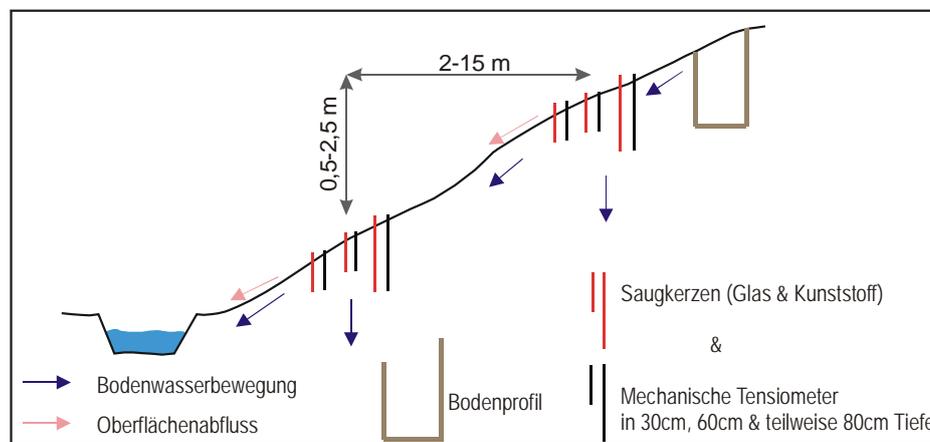


Abb. 18: Geländeinstrumentierung der Bodenmessfelder (idealisiert)

6.5.3 Klimatische und Gewässeruntersuchungen

An den Bodenmessfeldern bzw. in unmittelbarer Nähe wurden **Klimastationen** errichtet, welche als Stundenmittel die Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchte und Niederschlag erfassen. Darüber hinaus wurden in vierzehntägigem Rhythmus die **angrenzenden Gewässer** (als Stoffsenke) beprobt. Damit soll eine modellhafte Qualifizierung und Quantifizierung des bodensickerwassergetragenen Stofftransports erfolgen (KOCH 2005).

6.5.4 Immissionsuntersuchungen – Exposition von Kontrollböden

Zur Bestimmung der **aktuellen Immissionssituation** in unterschiedlichen Stadtstrukturtypen wurden 1999 in Halle an 18 repräsentativen Standorten (Abb. 17) **unbelastete Kontrollböden** (vgl. SAUERWEIN 1998, ZIERDT 1997) ausgebracht. Nach dem Zeitraum von **4 Jahren** wurden diese 2002 wieder „eingesammelt“ und auf Schwermetalle und PAK analysiert.

6.6 Labormethoden

6.6.1 Bodenparameter

Die Analyse der Bodenproben erfolgte im physisch-geographisch/geoökologischen Labor des Instituts für Geographie der Universität Halle (bis auf die PAK). Die Ermittlung der wesensbestimmenden pedologischen Grundgrößen (pH-Wert, CaCO₃, Textur und organischer Anteil) ist wichtig, weil diese Parameter als wesentlich für die Schwermetалldynamik anzusehen sind (BURGHARDT 1997, HILLER 1997,

KAHLE & COBURGER 1997, KALBE & RENGER 1997, ZAUNER & STAHR 1996, WELP et al. 1995, HORN-
BURG & BRÜMMER 1993, HORNBURG 1991, KUNTZE et al. 1991).

Skelett-/Feinbodenanteil

Alle Proben wurden unter Zimmertemperatur getrocknet und mittels Kunststoffsieb auf 2mm gesiebt, wobei des Gewichtsverhältnis Skelett-/Feinbodenanteil bestimmt wurde.

pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit

Die Bestimmung der pH-Werte erfolgte in KCl-Lösung (potentiell) bzw. im entionisiertem Wasser (aktuell) mittels pH-Meter in Anlehnung an DIN 19684, Teil 1. Weiterhin wurde die Leitfähigkeit im entionisierten Wasser gemessen.

Kalkanteil

Das durch die Salzsäure freigesetzte CO₂ wird gasvolumetrisch bestimmt und rechnerisch als CaCO₃ angegeben, da dieses Carbonat im allgemeinen überwiegt. Die Messung der Bodenproben zur CaCO₃-Gehalt-Bestimmung erfolgte mittels Scheibler-Apparatur entsprechend DIN 19864, Teil 5.

Anteil an organischer Substanz

Die Bestimmung der organischen Substanz erfolgte nach einer laborinternen modifizierten Methode der Trockenveraschung (Glühverlust). Die von größeren Wurzelteilchen befreiten Proben werden bei 105°C 2h getrocknet, im Exsikkator abgekühlt und in vorgeglühtem, vorgewogenem Porzellantiegel eingewogen. Anschließend wird bei 300°C 2 Stunden lang geglüht. Dieser Glühverlust kann als Maß für den Gesamthumusgehalt des Bodens angesehen werden. Bei tonreichen Böden und Lehmböden kann sich ein methodischer Fehler bemerkbar machen. Durch das Glühen werden Kristallwasser und CO₂ ausgetrieben, was höhere Werte zur Folge hat. Mit der Glühtemperatur von 300°C wird versucht, diesen Fehler auszuschalten.

Korngröße

Zur Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung (Feinboden) wurde die lufttrockene Bodenprobe von größeren Pflanzenteilen befreit und auf 2mm gesiebt. Die Korngrößen sind mit einem Partikelanalysator (Fa. Malvern) bestimmt.

6.6.2 Bodenschwermetallgehalte

Untersucht wurden hauptsächlich die stadttypischen Schwermetalle Blei, Kupfer und Zink. Zur Bestimmung der in Abhängigkeit von der Bindungsform austauschbaren bzw. mobilisierbaren Kationen (WELP et al. 1995, KOCH & GRUPE 1993, KUNTZE et al. 1991a) wird als Extraktionsmethode NH₄NO₃ verwendet (SAUERWEIN 1998, ZEIN 1995).

Gesamtgehalte (Königswasser)

Die Bestimmung der Gesamtschwermetallgehalte erfolgte mittels Königswasseraufschluss (nach DIN 38414). Je 3g der getrockneten und homogenisierten Proben werden mit 21ml HCl (37% p.A.) und 7ml HNO₃ (65% p.A.) versetzt. Anschließend werden die Proben zwei Stunden unter Rückflusskühlung bei 120°C gekocht. Nach dem Abkühlen wird der Kühler richtig ausgespült und die Probe mit destilliertem Wasser auf 100ml aufgefüllt. Dann werden die Proben filtriert. Die Schwermetallbestimmung erfolgt am AAS mittels Flammenmessung.

Ammoniumnitrat auszug

Der luftgetrocknete und gesiebte Feinboden wird mit einer 1molaren Ammoniumnitratlösung im Verhältnis 20g Boden zu 50ml Lösung 2 Stunden bei Raumtemperatur geschüttelt und anschließend entsprechend DIN 19730 weiter verfahren.

6.6.3 PAK im Boden

Neben den schon seit Jahren untersuchten Schwermetallkontaminationen von Böden wird bei stadtoökologischen Untersuchungen in zunehmendem Maße den z.T. toxischen organischen Verbindungen Aufmerksamkeit gewidmet (Held 1997, SCHULTE 1996, STARKE et al. 1994, HERGET 1994). In der vorliegenden Arbeit sind es die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), die an den Profilstandorten für einige Oberbodenhorizonte sowie einige tiefere Horizonten erfasst wurden.

Die Bestimmung der PAK wurde durch das Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle ermöglicht. Im dortigen Labor des Departments Bodenforschung wurden ausgewählte Proben aufgeschlossen und anschließend mittels HPLC gemessen.

6.6.4 Wasseranalytik

Die Wasserparameter wurden entsprechend den Bodenparametern nach DIN-Normen bzw. standardisierten, vergleichbaren Verfahren analysiert. Für weitere Einzelheiten sei auf KOCH, SAUERWEIN & FRÜHAUF 2004 bzw. KOCH 2005 verwiesen.

6.7 GIS-Methoden

Um flächenbezogene Aussagen treffen zu können, wird für das Hauptuntersuchungsgebiet Halle als Grundlage der kartographischen Darstellungen und GIS-Auswertungen die **Digitale Stadtgrundkarte der Stadt Halle** (STADTVERMESSUNGSAMT HALLE o.J.) verwendet, die vom Stadtvermessungsamt auf (beliebigen) Maßstäben kleiner 1:500 laufend gehalten wird. Im Rahmen einer Vereinbarung zwischen der Stadt Halle und der Martin-Luther-Universität kann dieses digitale Kartenwerk für Forschungs- und Ausbildungszwecke genutzt werden. Die entsprechenden Kartenausschnitte werden im ESRI-Shape Format zur Verfügung gestellt. Als Geographisches Informationssystem wird **ArcView** genutzt. Damit können beliebige Verschneidungen (z.B. Reliefveränderung) und Berechnungen (z.B. Flächenanteile) durchgeführt werden.

6.8 Datenbanken

Zur Datenhaltung wurde für das Hauptuntersuchungsgebiet **Halle** eine **Access-Datenbank** erstellt, in der bodenhorizontbezogen alle erfassten Feld- und Labordaten abgelegt sind. Diese ist an ArcView im Sinne eines Informationssystems so angebunden, dass die **Lage einzelner Profile** leicht zu visualisieren ist bzw. umgekehrt von jedem beliebigen Punkt innerhalb der Stadt die **nächst benachbarten Bodenprofile** (z.B. als Tabelle) angezeigt werden können (Beispiel siehe Kap. 7.3.2). Da in den Untersuchungsgebieten **Wittenberg** und **Stratos** die Anzahl der Bodenprofile wesentlich geringer und deren Lage eindeutig zu überschauen ist, sind alle erhobenen Feld- und Labordaten (wiederum horizontbezogen) in **Excel**-Tabellen abgelegt.

6.9 Statistische Methoden

Statistische Verfahren nehmen immer größeren Raum bei der Auswertung empirisch gewonnener Daten ein (FAHRMEIER et al. 1999). Oft werden vom geowissenschaftlichen „Anwender“ dabei allerdings die mathematischen Voraussetzungen der statistischen Tests und Verfahren nicht oder nur ungenügend berücksichtigt. Problematisch ist besonders die statistische Absicherung „**vom Punkt auf die Fläche**“, was sich in der **Landschaftsökologie** (vgl. z.B. STEINHARDT & VOLK 1999, SINOWSKI & AUERSWALD 1993, STEIN 1993) ebenso wie z.B. der Hydrogeologie (SCHAFMEISTER 1999) widerspiegelt. Nicht zuletzt deshalb nimmt die **Geoinformatik** einen immer mehr an Bedeutung gewinnenden Stellenwert ein (SEPPELT 2003, BARTELME 2000), wobei allerdings besonders die Modellierungsverfahren und –ansätze aus Sicht des Autors bislang nicht befriedigend evaluiert sind. Ein starkes Instrumentarium bieten **multivariate Verfahren** (WACKERNAGEL 1995), welche einen statistischen Blick in die „Black Box“ von Ökosystemen erlaubt. Oftmals ist die für die meisten statistischen Verfahren zentrale Voraussetzung der **Normalverteilung** jedoch nicht erfüllt (HARTUNG et al. 2002, vgl. auch LIEBE et al. 1997, WELP et al. 1997). Abhilfe schaffen die **nichtparametrischen Verfahren**, die nicht auf der Normalverteilungsannahme basieren (HAFNER 2001, SAUERWEIN 1993). LEHMANN (1975) hat schon gezeigt, dass die Güte solcher verteilungsunabhängiger Verfahren nicht wesentlich schlechter ist als die der verteilungsabhängigen. Ein zweiter, grundsätzlich verschiedener Weg wäre die Transformation der Daten (wie z.B. bei LUA NRW 1997), um multivariate Verfahren wie z.B. die Faktorenanalyse anwenden zu können (BAHRENBURG et al. 1992). Oftmals erscheinen jedoch wegen der Fülle und Unterschiedlichkeit der Datensätze Transformationen als nicht sinnvoll, da im ungünstigsten Fall für jede Messreihe eine eigene Transformation zu bestimmen wäre. Zudem sind solche Transformationen nicht eindeutig bestimmt. Die Analyse der untersuchten Datenreihen ergab für fast alle Parameter Verteilungskurven, die nicht auf eine Normalverteilung der Grundgesamtheit schließen lassen. Oftmals ist entgegen der Normalverteilungskurve entweder kein Maximum in der Mitte der Verteilung gegeben oder es liegen - i.d.R. analytisch begründet - sehr viele Werte im Bereich der Null bzw. der Nachweisgrenze. Aus diesem Grund wird für alle statistischen Analysen auf verteilungsfreie (synonym nichtparametrische) Verfahren - in der vorliegenden Arbeit die Korrelation nach Spearman und Kruskal-Wallis-Test - zurückgegriffen. Diese Verfahren wurden bereits bei verschiedenen Fragestellungen erfolgreich eingesetzt (SAUERWEIN 2000, SAUERWEIN 1998, SAUERWEIN & HARRIS 1997, VRBKA & SAUERWEIN 1997, SAUERWEIN et al. 1996, HARRIS & SAUERWEIN 1994).

Bei einem **hypothesengeleiteten Forschungsvorgehen**, was aus Sicht des Autors immer zweckmäßig ist, werden immer logische Zusammenhänge oder Abhängigkeiten vermutet und in Form einer **Arbeitshypothese** formuliert, d.h. es gibt Unterschiede zwischen verschiedenen Gruppen. Mathematisch-statistisch wird nun eine **Nullhypothese H_0** formuliert, die sagt, dass dem **nicht** so ist. Es wird also angenommen, dass keine Unterschiede zwischen Medianwerten oder Verteilungsfunktionen einzelner Gruppen bestehen und anschließend versucht, dies statistisch zu verwerfen. Der Grund für dieses Vorgehen liegt darin, dass es schwer ist zu zeigen, dass etwas (statistisch) **verschieden** ist. Es ist aber relativ leicht zu zeigen, dass etwas **nicht gleich** ist. Die der Nullhypothese entgegengesetzte Hypothese heißt mathematisch **Alternativhypothese H_1** .

Gibt man sich bei einem Test eine **Signifikanzwahrscheinlichkeit** von 0.05 vor und errechnet eine Wahrscheinlichkeit **kleiner** als 0.05, dann ist die Nullhypothese zu **verwerfen**, d.h. die Alternativhypothese (und gleichzeitig Arbeitshypothese) wird statistisch bestätigt.

6.9.1 Nichtparametrische Korrelation (Spearman)

Korrelationen werden im allgemeinen eingesetzt, um lineare Abhängigkeiten zu untersuchen (LEHN & WEGMANN 2000). Die Werte der Korrelationskoeffizienten liegen zwischen -1 und +1. Damit ist für den Anwender schnell ersichtlich, ob zwei Stichproben einen engen linearen Zusammenhang aufweisen. Liegt der Wert nahe bei +1, so ist ein hoher Grad an linearem Zusammenhang zu interpretieren, nahe bei -1 spricht man von reziproker linearer Abhängigkeit, d.h. bei hohen x-Werten sind niedrige y-Werte zu erwarten und umgekehrt. Ist der Korrelationskoeffizient ungefähr 0, so ist kein linearer Zusammenhang festzustellen. In diesem Fall kann aber kein weiterer Schluss auf die mögliche Art eines nichtlinearen Zusammenhangs gemacht werden (SACHS 2002).

Der "gewöhnliche" **Korrelationskoeffizient nach Pearson**, setzt die Normalverteilung voraus. Ist die Annahme der Normalverteilung nicht gewährleistet, so kann auf den nichtparametrischen Korrelationskoeffizienten **Spearman's Rho** zurückgegriffen werden (SIEGEL 2001). Nach **Spearman** aus dem Jahre 1940 (BÜNING & TRENKLER 1994) wird aus den Stichprobenwerten einer Messreihe eine **Rangwertreihe** gebildet, d.h. den Messwerten wird aufsteigend ihr jeweiliger Rang zugeordnet. Aus diesen Rangwertreihen wird der Korrelationskoeffizient Rho berechnet (KENDALL & STUART 1966). Die Werte von ρ liegen auch zwischen -1 und +1, die Interpretation entspricht somit der des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten.

6.9.2 Kruskal-Wallis-Test

Nichtparametrische Tests (synonym: **verteilungsfreie** oder **verteilungsunabhängige** Tests) stellen wie auch die nichtparametrischen Korrelationen weniger Voraussetzungen an die Verteilung der Grundgesamtheit als die parametrischen Tests. Die Daten dürfen zum Beispiel nur nominal oder ordinal skaliert sein oder - wie in der empirische Forschung oftmals und so auch im hier vorliegenden Fall deutlich - aus einer nicht-normalverteilten Population stammen. **Signifikanzniveaus** für die hier besprochenen nichtparametrischen Tests können ohne Rücksicht auf die Gestalt der Populationsverteilung bestimmt werden, da sie auf Rängen beruhen (BÜNING & TRENKLER 1994).

Die verwendeten Tests prüfen, ob die Beobachtungsergebnisse einer Messreihe mit der **Nullhypothese H_0** verträglich sind, oder ob sie signifikante Abweichungen zeigen. Man spricht daher von einem **Signifikanztest zum Signifikanzniveau α** . Wenn H_0 zutrifft, ist α die Wahrscheinlichkeit dafür, dass zu Unrecht abgelehnt wird. Je größer die Signifikanzwahrscheinlichkeit ist, um so besser passen die Daten zur Nullhypothese. Kleine Signifikanzwahrscheinlichkeiten gehören zu Messreihen, deren Entstehen unter H_0 unwahrscheinlich sind. Als Nullhypothese H_0 wird angenommen, dass die Grundgesamtheiten in den unterschiedlichen Einheiten ähnlich verteilt sind. Ziel ist es in der Regel, diese Nullhypothese zu verwerfen. Anhand der Tests wird untersucht, ob diese Hypothese auf dem gewählten Signifikanzniveau verworfen werden kann. Entscheidend ist, dass bei Verwerfung der Nullhypothese nur der Schluss gezogen werden kann, dass **mindestens eine der Stichproben sich von den anderen unterscheidet**. Welche der Stichproben dies ist, kann aus dem SPSS-Protokoll nicht abgelesen werden. Dazu hilft die Interpretation der „Mean Ranks“, d.h. die Betrachtung der relativen Medianwerte eines Gruppenparameters in der Gesamtheit der untersuchten Stichproben.

7 Darstellung und Diskussion der erfassten Daten im Hauptuntersuchungsgebiet Halle

Der methodische Ansatz der vorliegenden Arbeit für die urbanen Bodenlandschaften beruht auf der **Übertragung** der **Stadtstrukturtypen** auf die **Bodenverhältnisse**. Aus diesem Grund werden im folgenden ersten Teilkapitel die kartographischen und quantitativen **Ergebnisse einer Stadtstrukturtypenkartierung** vorgestellt (SAUERWEIN & FORNACON 2002). Da wie in Kapitel 3 gezeigt, die **anthropogene Reliefveränderung** eine bedeutende Rolle spielt (insbesondere Unterscheidung Auftrag oder Abtrag der prä-urbanen Geländeoberfläche), wird anschließend auf diese eingegangen. Den Hauptteil dieses Kapitels bildet die Darstellung und Diskussion der **Bodenverhältnisse** in **exemplarischen Teiluntersuchungsgebiete** in unterschiedlichen Stadtstrukturtypen. Ebenso werden Ergebnisse von Untersuchungen zum **Stoffhaushalt** und zur **Stoffdynamik** an **Bodenmessfeldern** vorgestellt. Durch die Hinzunahme einer Vielzahl im Laufe der letzten Jahre aufgenommenen **temporärer Bodenprofile** wird abschließend eine statistisch abgesicherte **qualitative und quantitative Klassifizierung der urbanen Bodenlandschaften** abgeleitet.

7.1 Stadtstrukturtypenkartierung

Entsprechend den in Kap. 2.3.2 aufgeführten Regeln wurden basierend auf der Digitalen Stadtgrundkarte und dem Flächennutzungsplan (STADT HALLE 1998) in einem **mehrstufigen Vorgehen** homogene Einheiten ausgegliedert (SAUERWEIN & FORNACON 2002). Zuerst waren dies Gewässer, die in der Digitalen Stadtgrundkarte codiert vorliegen sowie große Strassen und Bahnanlagen. Dann erfolgten „einfache“ Stadtstrukturtypen wie Wälder, Kleingartenanlagen, Friedhöfe sowie die Sonderflächen (Öffentliche Einrichtungen, Einkaufszentren, Techn. Ver- und Entsorgungsanlagen), die ebenfalls bereits codiert vorliegen. Ein Problem dabei stellte sich zuweilen bei der Flächengröße, da z.T. nur Einzelgebäude diesen Strukturtypen zugewiesen sind und diese dann u.U. in den umgebenden Strukturtyp generalisiert werden. Die Differenzierung der Wohnbauflächen nahm aufgrund der oftmals sehr hohen kleinräumigen Heterogenität den größten Zeitraum in Anspruch. Den subjektivsten Einfluss auf die Kartierung hat sicherlich die **eindeutige Zuweisung** jeder Fläche zu einem Strukturtyp, insbesondere dann, wenn es zu Nutzungsüberlagerungen kommt (wie z.B. in der Saaleaue). In solchen Fällen wurde versucht, die **Hauptnutzung** auszuweisen.

Insgesamt wurden für Halle die in Tab. 1 aufgeführten 26 Stadtstrukturtypen bestimmt. Anhand der "Stadtstrukturtypenkarte Halle" können Lage und Anteil der wichtigsten Raum- und Nutzungseinheiten dargestellt werden. Die Karte dient als **Informationsgrundlage** sowohl zur Ausweisung von detaillierter zu untersuchenden repräsentativen Beispielgebieten als auch als planerische Arbeitsgrundlage zur räumlichen Verortung und **Übertragung** (Regionalisierung) von Untersuchungsergebnissen auf gleichartige Raumeinheiten innerhalb der Stadtregion.

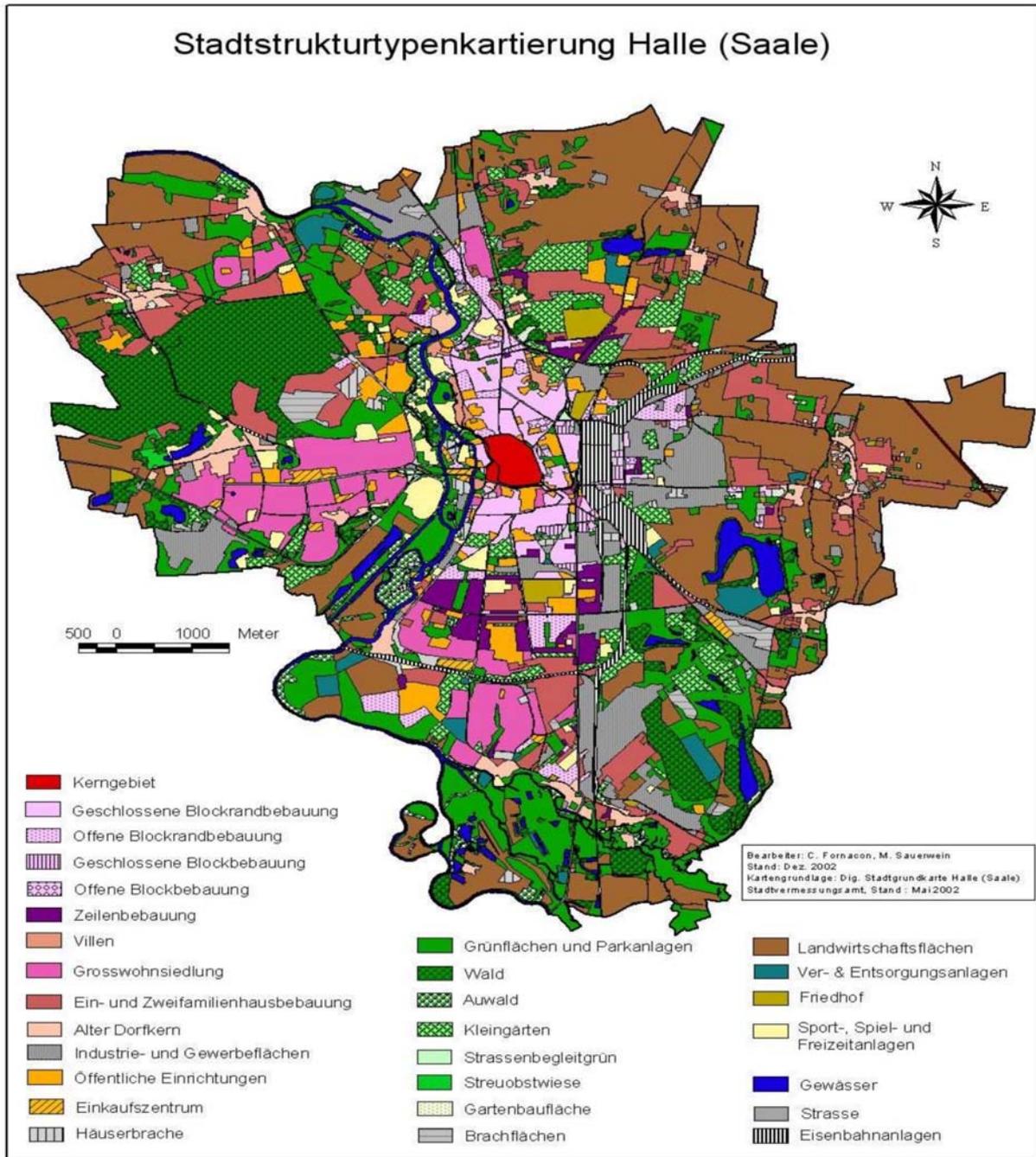


Abb. 19: Geoökologische Stadtstrukturtypenkartierung Halle (Saale) (Sauerwein & Fornacon 2002)

7.1.1 Räumliche Differenzierungsmuster der Stadtstrukturtypen

Die starke räumliche Differenzierung der Strukturen innerhalb des Stadtgebietes zeigt, dass bestimmte Strukturtypen überwiegend in Form **großer kompakter Raumeinheiten** auftreten (Großwohnsiedlung, Ein- und Zweifamilienhausbebauung, Industrie- und Gewerbeflächen, Brach- und Umwidmungsflächen, Aufschüttungs-, Abgrabungs- und Entsorgungsflächen, Kleingärten, Landwirtschaft, Wald). Andere Strukturtypen hingegen treten v.a. in räumlich **dispenser Struktur** und auf wenige Blöcke beschränkt auf, oder aber sie treten vorwiegend singular in Erscheinung (Villen, ehem. Dorfkern, Zeilenbebauung, Sport-, Spiel- und Freizeitanlagen, Einkaufszentren, Öffentliche Einrichtungen, Friedhöfe, Techn. Ver- und Entsorgungsanlagen). Die m.o.w. kompakten Bereiche der gründerzeitlichen Block- und Blockrandbebauung sind durchsetzt mit meist kleinräumigen, auf einzelne oder wenige Blöcke beschränkte Bereiche jüngerer Bebauungstypen (z.B. Zeilenbebauung oder Großwohnsiedlung) bzw. städtischen Infrastruktureinrichtungen oder Freiflächen (z.B. Grünanlagen).

Planungspraktisch von Relevanz ist, dass eine Analyse der Ursache-Wirkungsbeziehungen (z.B. Stadtklima, Lufthygiene) nur dann eindeutig räumlich zuordenbar sind, wenn **größere, strukturell homogene Raumeinheiten** betrachtet werden können. Kleinere Einheiten (einzelne Blöcke) innerhalb größerer strukturell homogener Gebiete sind diesen häufig funktional zugeordnet (z.B. Grünflächen, Verkehrsflächen, Kleingärten) und von ihrer Umgebung daher vermutlich auch meist stark beeinflusst. Sie sollten deswegen im räumlich-funktionalen Zusammenhang der Umgebung betrachtet und bewertet werden. Die Effektivität einer vorzuschlagenden Verbesserungsmaßnahme wird daher auch stark von der Homogenität und der Größe des betrachteten Strukturraumes bzw. Strukturtypengefüges abhängen.

Es zeigte sich, dass bei dem gewählten Darstellungsmaßstab für die **gesamstädtische Betrachtung** (1:50.000) bestimmte ubiquitäre Raumelemente (Straßen und Wege, Plätze, Höfe, Sondergebäude, Baulücken) nicht gesondert und flächenscharf dargestellt werden konnten. Diese "Kleinstrukturen" sind bei der konkreten Analyse von Teilräumen jedoch unbedingt zu berücksichtigen.

7.1.2 Quantität der Stadtstrukturtypen

Der Anteil der Strukturtypen an der Gesamtfläche und damit ihre (quantitativ begründete) Bedeutung für die Strukturanalyse geht aus Tab. 10 hervor.

Tab. 10 : Flächenanteile der Stadtstrukturtypen an der Gesamtstadtfläche (in %)

Kerngebiete	0,5	Siedlungsbrache	0,6	Industrie- und Gewerbeflächen	6,8
Offene Blockrandbeb.	1,6	Park & sonst. Grünfl.	13,9	Öff. Einrichtungen/Einkaufsz.	3,3
Offene Blockbebauung	0,3	Kleingartenanlagen	4,3	Ver-/Entsorgungsflächen	1,4
Geschl. Blockrandbeb.	2,8	Friedhöfe	0,8	Hauptverkehrsstraßen	1,8
Geschl. Blockbeb.	0,3	Sport-/Freizeitanlagen	2,0	Straßenbegleitgrün	0,2
Zeilenbebauung	1,6	Landwirtschaftsflächen	23,7	Eisenbahnanlagen	2,0
Großsiedlung	5,5	Wald	9,1	Wasser	4,0
Villen	0,3	Auwald	1,6	Gartenbaufläche	0,2
Ein-/Zweifamil.hausbeb.	8,2	Brachflächen	0,9	Streuobstwiese	0,1
Ehemalige Dorfkerne	2,3				

Mit fast 24% der Stadtfläche nehmen die **landwirtschaftlich genutzten Flächen** den größten Anteil ein. Dies zeigt, dass (zumindest flächenmäßig) die Landwirtschaft im administrativen Gebiet der Großstadt eine große Bedeutung hat. Auf dem zweiten Rang folgen mit fast 14% die **Park- und sonstigen Grünflächen**, was besonders aus stadtoökologischer Sicht bemerkenswert ist, zumal dann mit fast 12% Flächenanteil **Wald/Auwald** anschließen. Der rangmäßig erste Strukturtyp der Wohnbebauung sind **Ein- und Zweifamilienhausgebiete**, die immerhin 8,2% der Stadtfläche einnehmen, was zum Teil auch eine Folge der Suburbanisierung in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren im Stadtgebiet ist. Die erst dann nachfolgenden **Industrie- und Gewerbeflächen** mit 6,8% lassen die Deutung zu, dass Halle keine „Industriestadt“ ist. Die **Plattensiedlungen** der DDR-Zeit nehmen (noch) 5,5% der Stadtfläche ein, wobei in diesem Strukturtyp aktuell der größte Bevölkerungsverlust festzustellen ist (RASCHKE & SCHULTZ 2002). Aus ökologischer Sicht wiederum sehr bedeutend ist, dass **Kleingartenanlagen** mit 4,3% z.B. noch vor den Strukturtypen Wasserfläche und der Öffentlichen Einrichtungen/Einkaufszentren einen bedeutenderen Flächenanteil einnehmen.

Um die **eigene Kartierung** zu **evaluieren** und Folgerungen zu ihren Stärken und Schwächen ziehen zu können, sind in Tab. 11 für einige „vergleichbare“ Kartiereinheiten die Ergebnisse aus der Kartierung im Rahmen des ARTEN- UND BIOTOPSCHUTZPROGRAMMS (1998) gegenüber gestellt.

Tab. 11: Vergleich der Stadtstrukturtypen mit der Kartierung des ARTEN- UND BIOTOPSCHUTZPROGRAMMS (1998) (Auswahl, Flächenanteile an der Gesamtstadtfläche in %)

Eigene Kartierung		ARTEN- UND BIOTOPSCHUTZPROG. (1998)	
Stadtstrukturtyp		Biotop- und Nutzungstyp	
Wohnbaufläche	23,3	Wohnbaufläche	19,0
Kerngebiet und Blockbebauung	5,5	Blockbebauung (inkl. Siedlungskern)	5,3
Blockrand und Zeilenbebauung	4,4	Blockrand-/Zeilenbebauung	3,2
Großsiedlung	5,5	Großformbebauung	3,9
Villen, Einzel-/Reihenhausbebauung	8,5	Villen-/Einzel-/Reihenhausbebauung	6,2
Sport-/Freizeitanlagen	2,0	Sportanlagen	1,5
Kleingartenanlagen	4,3	Kleingartenanlagen	6,9
Friedhöfe	0,8	Friedhöfe	0,8
sonst. Grünanlagen	13,9	sonst. Grünanlagen	14,5
Hauptverkehrsstraßen & Eisenbahnanlagen	3,8	Verkehrsanlagen	2,4
Landwirtschaftsflächen	23,7	Acker- und Erwerbsgartenbau	22,8
Gewässer	4,0	Gewässer	3,1
Auenwälder	1,6	Auenwälder	1,1
Sonstige Wälder	9,1	Sonstige Wälder	8,1

Vor dem Vergleich der beiden Kartierungen soll auf einige **methodische Unterschiede** hingewiesen werden. So ist die Grundlage der Kartierung des **Arten- und Biotopschutzprogramms** eine **CIR-Luftbildinterpretation** von Befliegungen aus den Jahren **1992/1993**, während die **eigene Kartierung** im **Sommer 2002** erfolgte (FORNACON 2002). Auch die **Zielstellung** der beiden Kartierungen ist **unterschiedlich**. Während das Arten- und Biotopschutzprogramm vorrangig die Biotopausstattung erfasst, dienen die Stadtstrukturtypen nicht der Biotopbestimmung, sondern wie in Kapitel 2.3 beschrieben der Differenzierung aller urbaner Flächen mit jeweils einheitlicher struktureller Ausstattung und Nutzung.

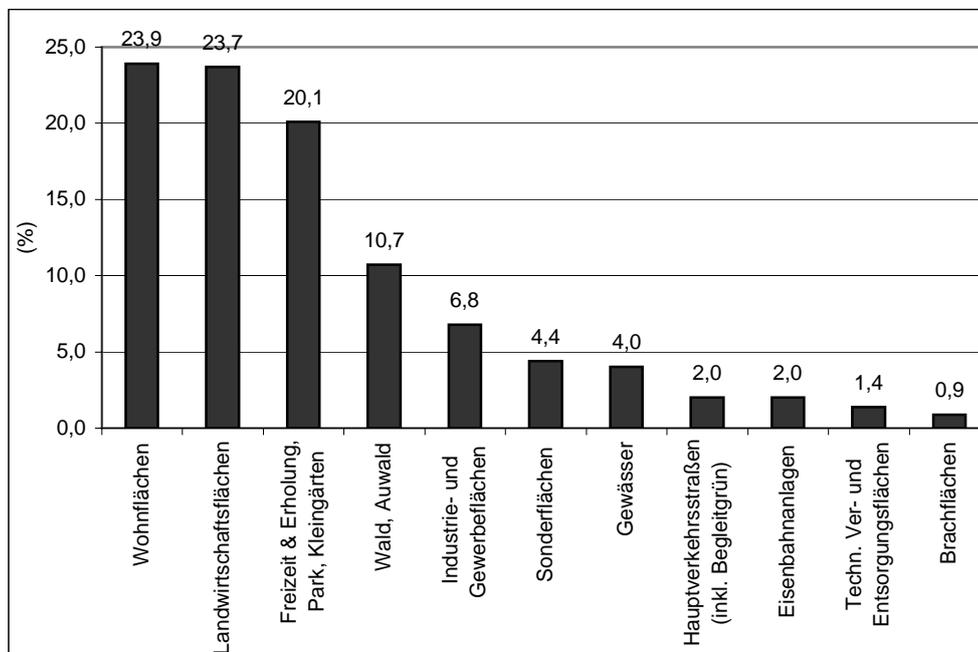


Abb. 20: Anteil der Hauptstrukturtypen an der Gesamtfläche der Stadt Halle (in %)

In Abb. 20 sind die Anteile der in Tab. 11 aufgeführten **Hauptstrukturtypen** dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die kartierten Wohnflächen mit 23,9% fast den gleichen Anteil einnehmen wie die im Stadtgebiet verbliebenen landwirtschaftlich genutzten Flächen. Dann folgen mit 20% die urbanen Erholungsflächen (Grünflächen, Parks, Kleingärten) und mit 10% die Waldflächen (hauptsächlich die Dö-

lauer Heide und die Auewälder der Saale- bzw. Saale-Elster-Aue). Zusammen addiert machen die Freiflächen im Stadtgebiet (Landwirtschaftsflächen, Erholungsflächen, Waldflächen) einen Anteil von 54% aus, was für die Lebensqualität der Bevölkerung nicht unbedeutend ist. Dazu kommen noch die Gewässerflächen, so dass für die „**typische**“ **urbane Flächennutzung** (Wohnflächen, Industrie- und Gewerbeflächen, Infrastrukturf lächen) nur ca. **40% Flächenanteil** übrig bleiben.

In Abb. 21 sind die **Anteile der Strukturtypen der Wohnflächen** soweit differenziert dargestellt, wie sie auch kartiert wurden. Dabei zeigt sich, dass 34% aller Wohnflächen im Stadtgebiet für die Bebauung von Ein-/Zweifamilienhäusern genutzt sind, danach folgen die Großsiedlungen mit 23%. Die ehemaligen Dorfkerne, wobei es sich entweder um (ehemals) außerstädtische Dörfer (z.B. Glaucha) bzw. heute eingemeindete Dörfer (z.B. Kröllwitz, Dölau) handelt, nehmen fast 10% der Wohnflächen ein. Die Strukturtypen der Vorstädte (Siedlungserweiterungen der Gründerzeit, hauptsächlich Block- und Blockrandbebauungen) nehmen einen Flächenanteil von rd. 20% ein, während der Innenstadtbereich (Kerngebiet) nur 2,1% Fläche „verbraucht“, und die auf wenige Straßenzüge beschränkten Villenviertel sogar nur einen Anteil von 1,3% einnehmen. Dass es im Stadtgebiet durchaus noch Flächen gibt, die einer Wohnnutzung zugeführt werden könnten, zeigt der Anteil von 2,5% der Siedlungsbrache.

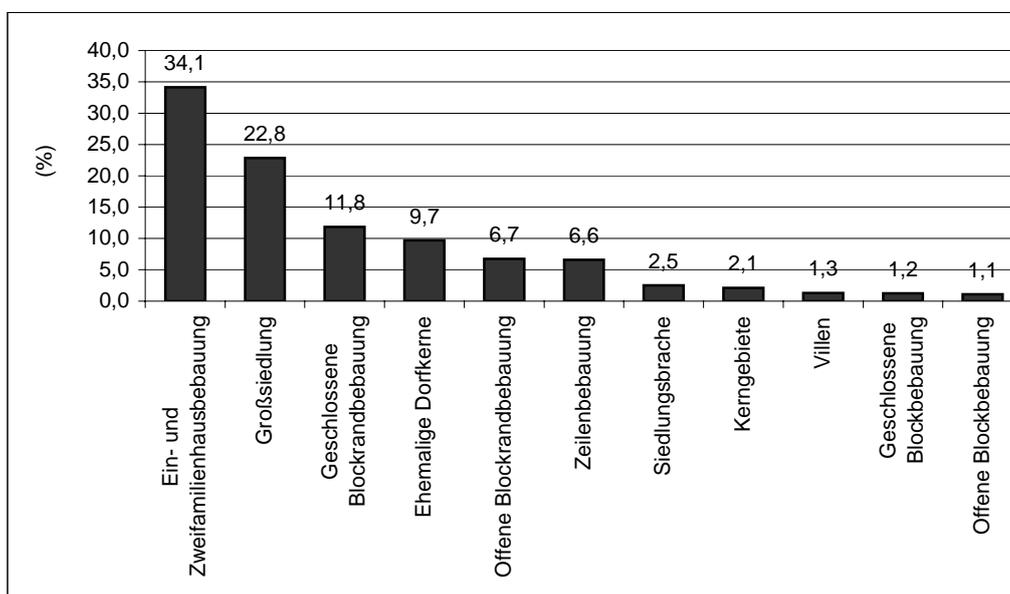


Abb. 21: Anteile der Strukturtypen der Wohnflächen

Vorstehend konnte gezeigt werden, dass durch eine geoökologisch orientierte stadtstrukturelle Kartierung im Maßstab 1:2.000 prinzipiell eine kleinräumig sehr detaillierte Aufnahme und auch Darstellung ökosystemarer Teilräume einer Stadt möglich sind. Daraus lassen sich wesentlich mehr Informationen ableiten als z.B. aus den administrativen Teilräumen der Stadt. Darüber hinaus ist es möglich, die Homogenität der Stadtstrukturtypen dahingehend auszunutzen, in Testgebieten erfasste Eigenschaften einzelner Strukturtypen (wie z.B. Versiegelungsgrad, Grünflächenanteil) wiederum auf gleiche Strukturtypen zu übertragen. Anders ausgedrückt: das Procedere z.B. einer gründerzeitlichen Stadterweiterung oder der Bau einer Großsiedlung (und damit die **Veränderung bzw. der Eingriff in die „prä-urbane“ Landschaft**) erfolgte i.d.R. **innerhalb eines Strukturtyps nach gleichen Mustern**. Dabei müssen allerdings immer die lokalen Gegebenheiten oder auch Singularitäten berücksichtigt werden.

7.2 Anthropogene Reliefveränderung

Die **anthropogene Reliefveränderung** ist eine wesentliche **Grundlage** für die **Bodenveränderung**. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde mit verschiedenen Methoden versucht, für die Stadt Halle die flächenhafte Reliefveränderung (im Zeitraum 1870 bis 1995) zu quantifizieren (KRUG 2002). Für die Großsiedlung Halle-Neustadt erfolgte eine Berechnung der Reliefveränderung durch SAUERWEIN 1998.

7.2.1 Gesamtstadt

Von KRUG (2002) wurde auf **zweierlei Art** versucht, die anthropogene Überprägung des Reliefs zu bilanzieren: zum einen über die **Verschneidung aktueller und historischer Isohyeten**, zum anderen über die **Daten des Informationssystems zum Grundwasserschadstoffbelastungskataster** der

Stadt Halle. Für den ersten Weg wurden aus ATKIS-Daten bzw. digitalisierten historischen Karten **Oberflächenmodelle (10 x 10 m Raster)** berechnet und diese dann voneinander subtrahiert).

Es zeigt sich, dass die Stadt großflächig überprägt wurde. Dabei ergeben sich **Reliefveränderungen zwischen -26,9 m und +37,9 m**. Besonders **auffällig** sind die positiven Werte für den **Innenstadtbereich** und den **bergbaulich beeinflussten Südosten**. Bereiche großflächiger negativer Reliefveränderung finden sich im Stadtviertel Kanena/Bruckdorf. Den Gebieten unveränderten bzw. geringfügig veränderten Reliefs sind Teilflächen des Stadtviertels Ammendorf und des Ostens der Stadt zuzuordnen. Die Saaleaue weist hingegen Werte zwischen 1 und 2 m positiver Veränderung des Reliefs auf. Allgemein wurde das Stadtgebiet zu 31 % negativ und auch zu 31 % positiv in seiner Höhe (bezogen auf die Stadtgrenze von 1995) verändert, nahezu unbeeinflusst blieben 37 % (Tab. 12).

Tab. 12: Klassifizierte Flächenanteile der Reliefveränderung in Halle (berechnet nach KRUG 2002)

Nahezu unverändert		Aufschüttung		Abtragung	
-0,5m bis +0,5m:	37 %	0,5m – 2,0m:	17 %	0,5m – 2,0m:	18 %
		2,0m – 5,0m:	11 %	2,0m - 5,0m:	11 %
		> 2,5m:	3 %	> 5,0m:	2 %

Die von KRUG 2002 berechneten „Intensitäten“ der anthropogenen Veränderungen des Reliefs weisen z.T. Größenordnungen auf, die im Gelände nicht bestätigt werden können. Sowohl durch Baugrubenaufnahmen als auch durch die Daten des Grundwasserschadstoffbelastungskatasters kommt man in einigen Raumausschnitten zu anderen Ergebnissen. Zu gleichen Aussagen gelangt man übereinstimmend in den Bereichen des Stadtzentrums und der bergbaulich überprägten Bereiche. Die möglichen Fehlerquellen werden bei KRUG 2002 ausführlich diskutiert.

Aus diesem Grund wurde von KRUG 2002 in einer methodisch zweiten Herangehensweise die **Daten des Grundwasserschadstoffbelastungskatasters** der Stadt Halle verwendet. KRUG 2002 berechnet, dass das Stadtgebiet im Zeitraum 1851 bis 1995 um durchschnittlich 2,48 m aufgefüllt wurde. Maximale Werte sind dabei den Haldenstandorten im Südosten der Stadt (39,60 m) sowie den Stadtvierteln Nietleben und Industriegebiet Nord zuzuordnen. Im Vergleich der Stadtviertel mit dominierender Wohnfunktion weist die Innenstadt die höchsten Werte auf (durchschnittlich 2 – 3 m). Die Berechnung basiert auf Leitprofilen des Informationssystems zum Grundwasserschadstoffbelastungskataster, wobei nur solche Stadtviertel berücksichtigt wurden, für die mehr als 10 Profile vorliegen (Abb. 22).

Hinsichtlich der flächenhaften Überprägung hebt sich der Innenstadtbereich deutlich als vollständig überprägter Bereich von den anderen Stadtvierteln ab. Für das Ausmaß der **anthropogenen Überprägung des Reliefs der Stadt** in der Fläche wurde ein Wert von **72 %** ermittelt. Genauere flächenhafte Aussagen zur anthropogenen Überprägung des Reliefs sind jedoch nur bedingt abzuleiten, da die verwendeten Daten des räumlichen Informationssystems stets als punkthafte Informationen zu verstehen sind. Die aufgenommenen Profile sind unregelmäßig im Stadtgebiet verteilt und repräsentieren einzelne Bereiche der Stadt genau, andere nur stichprobenhaft. Trotzdem werden die Aussagen aus den in einem Stadtviertel gelegenen Leitprofilen regionalisiert auf das ganze Stadtviertel. Dies muss zwangsläufig zu Ergebnissen führen, die mit Sicherheit nicht die naturräumlichen Unterschiede innerhalb eines Stadtviertels berücksichtigen und auch nicht strukturelle Bebauungsunterschiede.

In Abb. 22 wird sehr deutlich, dass die größten Reliefveränderungen mit über 10 m Erhöhung in den bergbaulich geprägten Bereichen im Südosten der Stadt zu finden sind. Dies ist auch in der Realität so, wobei allerdings eine durchschnittliche Erhöhung von mehr als 5 m bezogen auf das ganze Stadtviertel als viel zu hoch erscheint. Die Erhöhungen im Bereich der Kernstadt von 2 – 3m und der umliegenden gründerzeitlichen Viertel von 1 – 2m sind hingegen realistisch, wie im folgenden die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen zeigen werden.

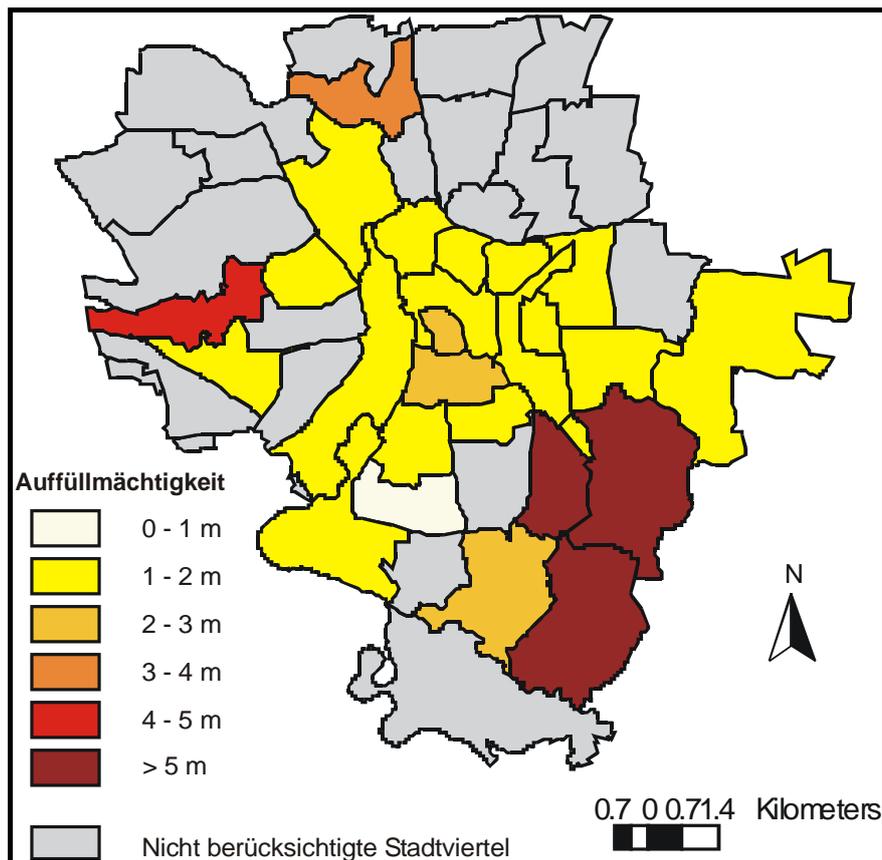


Abb. 22: Mittlere Auffüllmächtigkeit Hallescher Stadtviertel (nach KRUG 2002, verändert)

Um flächenhafte Aussagen zur **Intensität** der anthropogenen Überprägung des Reliefs zu ermöglichen, lassen sich z.B. Stadtviertel hinsichtlich der Eigenschaften der Auffülle miteinander vergleichen. Der Begriff Intensität steht somit einerseits für die anthropogene Überprägung der Fläche, andererseits für die vertikale Beanspruchung des Reliefs. Während sich die Intensität der anthropogenen Überprägung des Reliefs auf die Kriterien Auffüllmächtigkeit und Größe der aufgefüllten Fläche beschränkt, sind bzgl. der Böden weitere Merkmale von Bedeutung. So kann sich die Auffülle aus unterschiedlich vielen Horizonten zusammensetzen und/oder aus einem oder mehreren Substraten bestehen. Je größer dabei die Anzahl an Horizonten und Substraten ist, desto größer ist auch der Grad der anthropogenen Überprägung. Zur Beurteilung der **Intensität der anthropogenen Überprägung von Relief und Boden** bezogen auf die Stadtviertel kann man folgende **Merkmale** der anthropogenen Deckschichten heranziehen:

1. **Anteil der anthropogen überprägten Fläche** an der Gesamtfläche des Stadtviertels,
2. **mittlere Auffüllmächtigkeit** bezogen auf das Stadtviertel,
3. **mittlere Anzahl an Horizonten je Profil**, bezogen auf das Stadtviertel,
4. **mittlere Anzahl an Substraten**, bezogen auf das Stadtviertel.

Da die ausgewählten Merkmale für äußerst unterschiedliche Eigenschaften der Auffülle stehen und nicht direkt miteinander in Beziehung gebracht werden können, wurde ein Ranking der Stadtviertel durchgeführt. Für jedes der vier Merkmale der Auffülle wurde eine Rangfolge der Stadtviertel erstellt (Rang 1 für den höchsten, Rang 25 für den geringsten Wert). Der Mittelwert der Platzierungen ergibt den Rang eines Stadtviertels bzgl. des Kriteriums „Intensität der anthropogenen Überprägung von Relief und Boden“ (Abb. 23).

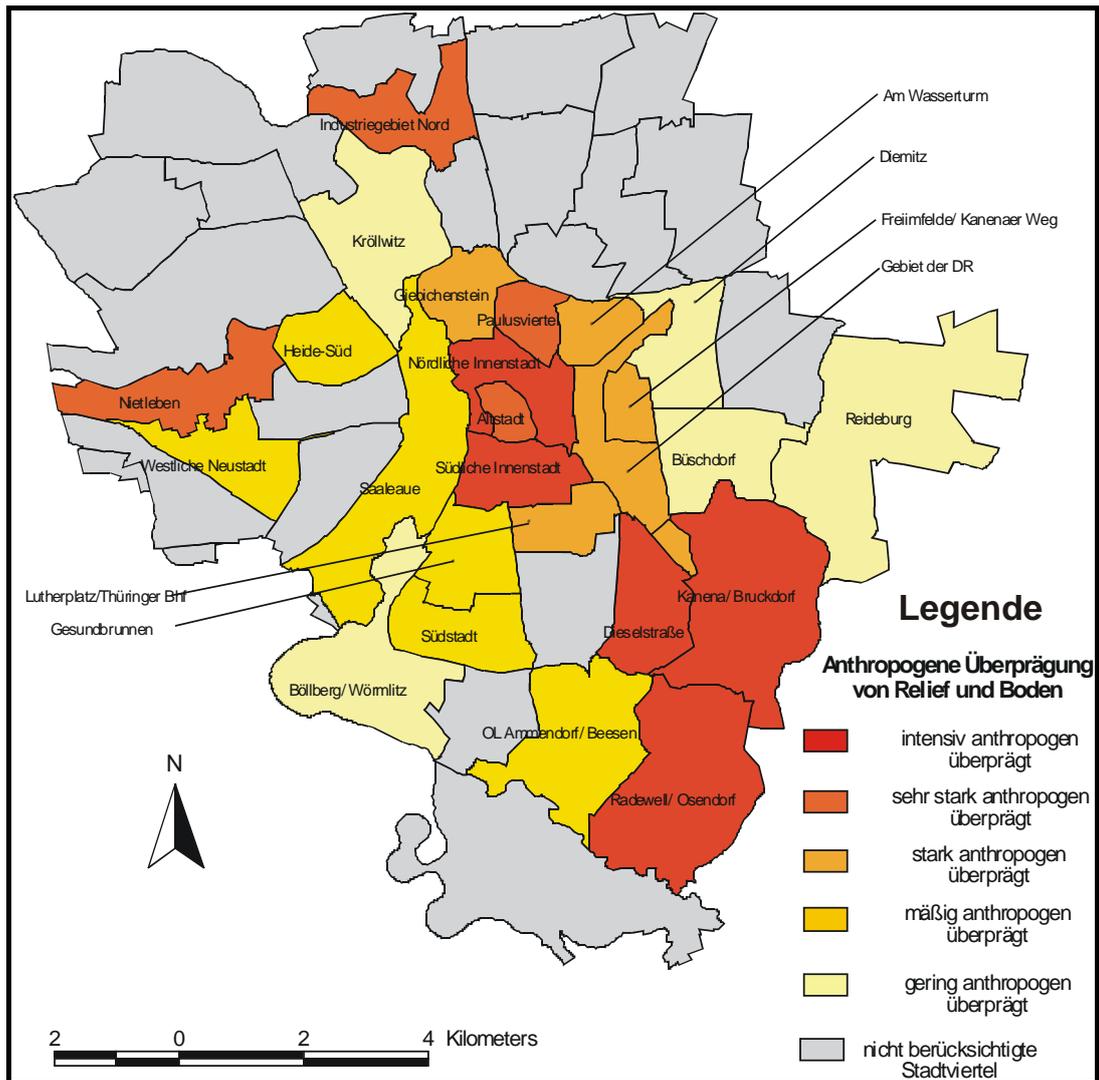


Abb. 23: Intensität der anthropogenen Überprägung von Relief und Boden Hallescher Stadtviertel (nach KRUG 2002, verändert)

Der **Ansatz** zur Bewertung der Intensität der anthropogenen Überprägung von Relief und Boden ist aus Sicht des Autors sehr vielversprechend, **scheitert** aber in der Praxis letztendlich an zwei entscheidenden Einschränkungen. Zum einen ist in vielen Fällen die **Zahl der Leitprofile** aus statistisch-repräsentativer Sicht nicht groß genug (kann man wirklich ein ganzes Stadtviertel mit 10 Profilen repräsentieren ???), zum zweiten folgt die **Abgrenzung der administrativen Stadtviertel** in vielen Bereichen nicht natürlichen und/oder stadtstrukturellen Gegebenheiten!!! Es wird in den folgenden Abschnitten gezeigt werden, dass die in Abb. 23 abgeleitete Intensität der anthropogenen Überprägung größtenteils „richtig“ ist, d.h. auch die eigenen Felduntersuchungen in den Stadtvierteln kommen zu z.T. vergleichbaren Ergebnissen. Die eigenen Profilaufnahmen lassen allerdings auch den Schluss zu, dass u.a. in den Stadtvierteln Altstadt, Nietleben oder Osendorf die Darstellung in Abb. 23 flächenhaft nicht zutrifft. Weiterhin stellt KRUG (2002) hinsichtlich der aufgebrachten **Substrate** fest, dass diese äußerst heterogenen Charakters sind und verschiedene Typen von Auffülle in der Fläche sowie innerhalb einzelner Profile kombiniert sind. Besonders viele Substratvermischungen finden sich dabei in den Profilen der Stadtviertel industrieller, infrastruktureller sowie bergbaulicher Nutzung. Generell wird allerdings festgestellt, dass Horizonte einheitlicher Genese überwiegen. Mischungen der Auffülle aus mehreren Substraten sind zwar in den oberen Horizonten des Stadtgebietes vertreten, bleiben allerdings hinter der Zahl der Auffülletypen homogener Genese zurück. Auch dies wird durch die eigenen Untersuchungen bestätigt.

Insgesamt kann aus der Arbeit von KRUG 2002 der Schluss gezogen werden, dass die **anthropogene Reliefveränderung eine grundlegende Bedeutung für die Ausprägung der Böden** hat. Besonders hinsichtlich des Kriteriums Relieferhöhung (Auffüllung) bzw. Relieferniedrigung (Abtrag) hat dies auch direkte Folgen für den Stoffhaushalt, da u.U. über allochthone Substrate Fremdstoffe eingebracht

werden, aber auch der bodensickerwassergetragene Stofftransport durch die Modifizierung des prä-urbanen Reliefs verändert wird. Diese **Bedeutung** der anthropogenen Reliefveränderung geht in Kap. 11 bei einer vorgeschlagenen **geoökologischen Klassifizierung von Siedlungsböden** ein.

7.2.2 Halle-Neustadt

In **Großsiedlungen** („Plattenbausiedlungen“ ab Mitte der 60er Jahre) lässt sich die von KRUG 2002 verwendete Methode der **Verschneidung von historischen und aktuellen Isohyeten** zur Erfassung der anthropogenen Reliefveränderung wesentlich besser anwenden als in älteren Siedlungsbereichen wie z.B. der Kernstadt oder der gründerzeitlichen Stadterweiterung, da die („historische“) topographische Grundlage wesentlich genauer ist. Dies wurde vom Autor u.a. für Halle-Neustadt durchgeführt (SAUERWEIN 1998). Das Ausmaß ist in Tab. 13 dargestellt.

Tab. 13: Klassifizierte Flächenanteile der Reliefveränderung in Halle-Neustadt

Nahezu unverändert		Aufschüttung		Abtragung	
-0,5m bis +0,5m:	37,6%	0,5m - 1,5m:	32,2%	0,5m - 1,5m:	12,6%
		1,5m - 2,5m:	7,5%	1,5m - 2,5m:	4,5%
		> 2,5m:	0,3%	> 2,5m:	5,7%

Im Zuge der Baumaßnahmen wurden in einem Großteil der Großwohnsiedlung Nivellierungsmaßnahmen des Reliefs vorgenommen. Dabei zeigen sich deutlich Bereiche, die aufgeschüttet wurden ebenso wie solche, in denen eine z.T. flächenhafte Abtragung erfolgte. Die **größte Klasse** mit 37,6% bilden die Flächen, die als **nahezu unverändert** bezeichnet werden, d.h. deren Reliefveränderung mittels der verwendeten Methode nicht nachweisbar ist (plus/minus einen halben Meter). Dass die **Aufschüttungen** netto gegenüber den Abtragungen **überwiegen**, ist mit dem anfallenden Material des Keller-/Fundamentausbaus und der Versorgungsleitungen (inkl. der z.T. unterirdischen S-Bahn) zu begründen. Insgesamt hat die Geländennivellierung jedoch nicht das Ausmaß wie im bergbaulich geprägten Bereich der Stadt oder der Kernstadt, denn nur 0,3% bzw. 5,7% der Fläche erfuhren eine Reliefveränderung um mehr als 2,50m. Diese **Berechnungen** werden durch die **eigenen Geländebe-funde** im folgenden **bestätigt** werden können.

7.3 Bodenverhältnisse in Teiluntersuchungsgebieten exemplarischer Stadtstrukturtypen

Ausgehend von und **basierend auf** der **Stadtstrukturtypenkartierung** wurden einige Strukturtypen ausgewählt, in denen **detaillierte Bodenuntersuchungen** durchgeführt wurden. Im Fokus standen dabei die Strukturtypen der **Wohn- und Grün-/Erholungsareale**, für welche die Ergebnisse dann auch räumlich übertragbar sein sollten. Um die statistische Sicherheit zu gewährleisten, wurden aus den meisten Strukturtypen mehrere **Teiluntersuchungsgebiete** verteilt im Stadtgebiet ausgewählt (Tab. 14). Dabei wurde Wert darauf gelegt, für den jeweiligen Stadtstrukturtyp möglichst repräsentative Baublöcke auszufiltern. Als Ergänzung zu diesen detailliert untersuchten Teiluntersuchungsgebieten wurden weitere **Testgebiete** ausgewählt, um zum einen die Ergebnisse bzgl. der Verallgemeinerung bzw. Übertragbarkeit absichern zu können. Diese Testgebiete sind im Vergleich zu den Teiluntersuchungsgebieten hauptsächlich durch andere **naturräumliche Ausgangsbedingungen** gekennzeichnet. Damit soll bewertet werden können, welchen Einfluss die prä-urbanen, naturräumlichen Bedingungen im Zusammenhang mit der anthropogenen Überprägung haben. Zum anderen werden durch weitere Testgebiete Stadtstrukturtypen repräsentiert, die einen sehr geringen Flächenanteil an der Gesamtstadtfläche aufweisen (Öffentliche Einrichtungen, Einkaufszentren etc.).

Tab. 14: Teiluntersuchungsgebiete in Halle, in welchen detaillierte Bodenaufnahmen durchgeführt wurden

Stadtstruktur.	Teiluntersuchungsgebiete/Baublöcke	Bezeichn. in Abb. 24
Kerngebiet	<ul style="list-style-type: none"> • Archäolog. Grabung „Audimax“ • Archäolog. Grabung „Stadtcenter“ • Archäolog. Grabung „NO-Ecke Markt“ • Brüderstr., Kleinschmieden, Gr. Steinstr., Kl. Steinstr. • Schulstr., Mittelstr., Große Steinstr., Barfüßer Str. • Innenhof „Neue Residenz“ (Domstr. 5) 	K1 Audimax K2 Stadtcenter K3 Markt K4.Brüderstr. K5 Schulstr. K6 Domstr.
Gründerzeitliche Blockbebauung	<ul style="list-style-type: none"> • Goethestr., Herderstr., Schillerstr., C.-v.-Ossietzky-Str. • Bernhardystr., Thomasiusstr., Pfännerhöhe, Preßlersberg. 	B1 Goethestr. B2 Bernhardystr.
Zeilenbebauung	<ul style="list-style-type: none"> • Meisenweg, Vogelherd, Vogelweide, Falkenweg • Johannesplatz 	Z1 Meisenweg Z3 Johannesplatz
Großwohnsiedlung	<ul style="list-style-type: none"> • Meisdorfer Str., Hettstedter Str., Harzgeroder Str. • Brahmsbogen, F.-H.-Meyer-Str., Telemannstr. 	G1 Meisdorfer Str. G2 Brahmsbogen
Villen	<ul style="list-style-type: none"> • Mühlweg, K.-Liebknecht-Str., Blumenstr., Georg-Cantor-Str. 	V2 Mühlweg

Tab. 15: Weitere Testgebiete in Halle

Stadtstrukturtyp	Testgebiete/Baublöcke	Bezeichn. in Abb. 24
Gründerzeitliche Blockbebauung	<ul style="list-style-type: none"> • Franz-Schubert-Str., Robert-Franz-Ring, Ankerstr., Pfälzer Str. 	B3 Franz-Schubert-Str.
Zeilenbebauung	<ul style="list-style-type: none"> • Ernst-Eckstein-Str., Beethovenstr., Lutherstr., Jonasstr. 	Z2 Eckstein-Str.
Großwohnsiedlung	<ul style="list-style-type: none"> • Ernst-Barlach-Ring • Haflinger Str., Rennbahnring 	G3 Ernst-Barlach-R. G4 Haflinger Str.
Einfamilienhausbebauung	<ul style="list-style-type: none"> • Büschdorf • Heide-Süd 	EH1 Büschdorf EH2 Heide-Süd
Villen	<ul style="list-style-type: none"> • Rathenauplatz, Büchner-Str., Zille-Str., Humboldtstr. 	V1 Rathenauplatz
Dorfkern	<ul style="list-style-type: none"> • Kröllwitz 	D1 Kröllwitz
Grünanlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Stadtpark • Steintor 	P1 Stadtpark P2 Steintor
Kleingartenanlage	<ul style="list-style-type: none"> • „Am Paul-Riebeck-Stift“ 	KG Riebeck-Stift
Sport-/Freizeit anl.	<ul style="list-style-type: none"> • Kurt-Wabbel-Stadion 	St Stadion
Öffentliche Einrichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Franckesche Stiftungen • Krankenhaus St. Barbara 	Ö1 Franckesche Stift. Ö2 Barbara-Krankenh.
Einkaufszentren	<ul style="list-style-type: none"> • Kaufland-Silberhöhe • HEP Bruckdorf 	E1 Kaufland E2 HEP
Hauptstraßen	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserturm Nord • Magistrale Halle-Neustadt 	S1 Wasserturm S2 Magistrale
Eisenbahnanlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Hauptbahnhof • Thüringer Bahnhof 	BA1 Hauptbahnhof BA2 Thüring. Bahnh.

Für die **Teiluntersuchungsgebiete** werden die Ergebnisse in den folgenden Teilkapiteln ausführlich dargestellt, für die **Testgebiete** gilt dies nicht in gleichem Umfang.

Nicht untersucht wurden die Stadtstrukturtypen Friedhöfe, Landwirtschaftsflächen, Wald, Gewässer, Industrie- und Gewerbeflächen, Aufschüttungs-/Entsorgungsflächen, Sonderflächen sowie technische Ver- und Entsorgungsanlagen. Dies hat verschiedene Gründe. Gänzlich ausgeklammert wurden z.B. Areale, die in den Auenbereichen (der Saale) liegen, da die Böden durch temporäre Überflutung stoffhaushaltlich so verändert werden (WINDE & FRÜHAUF 2001, WINDE 1996), dass eine regionale Übertragung nicht möglich ist. Weiterhin ausgeklammert wurden Friedhöfe, wo die Bodenveränderungen zu der eigenen Klasse der Nekrosole führen, die nur sehr lokal auftreten (BLUME 1998). Die Veränderung von Böden auf Landwirtschaftsflächen, die im (administrativen) Stadtgebiet liegen, entspricht weitgehend (bis auf den verstärkten Eintrag atmogen ubiquitär verbreiteter typisch urbaner Schadstoffe) derjenigen außerhalb der Stadtgrenze. Wälder spielen in urbanen Ökosystemen aufgrund ihrer intensiven Freizeit-/Erholungsnutzung eine besondere Rolle, dazu gibt es vielfältige, auch aktuelle, Untersu-

chungen (DOHLEN & SCHMITT 2003, EGLI et al. 1997, BÖHLING 1995, KRIETER 1993). Urbane Gewässer sind schon vom Umfang her ein eigenes Forschungsfeld (ausführliche Untersuchungen dazu gibt es z.B. bei ALBRECHT et al. 2002, VEST 1999, SCHNEIDER 1999, XANTHOPOULOS 1998), sie sollen in der vorliegenden Arbeit „nur“ in ihrer Funktion als Stoffsenke betrachtet werden. Die Stadtstrukturtypen Industrie- und Gewerbeflächen, Aufschüttungs-/Entsorgungsflächen, Sonderflächen sowie technische Ver- und Entsorgungsanlagen wurden aus den laufenden Untersuchungen ausgegliedert bzw. mussten ausgegliedert werden, da die „Kooperationsbereitschaft“ der Flächeneigentümer nicht gegeben war. In den meisten Fällen dürften dabei Bedenken bzgl. möglicher Altlasten der Grund sein. Da es sich bei den zu betrachtenden Flächen fast ausnahmslos um Privateigentum handelt, musste dies akzeptiert werden und es fand keine Begehung/Untersuchung dieser Flächen statt.

Für alle Teiluntersuchungsgebiete fand vor der Anlage von Bodenprofilen eine **Kartierung der Oberflächenarten** statt. Diese basiert auf der **Diplomarbeit** von **SEIDLER 2002**, in welcher ein stadtökologischer Kartierungsschlüssel entwickelt und erprobt wurde. Die Flächen, die nicht von Seidler erfasst wurden, konnten durch **studentische Unterstützung** im Rahmen von **Geländepraktika** kartiert werden. Aus diesem Grund unterscheiden sich die Darstellungen im folgenden etwas im Layout. In den **Untersuchungsgebieten** wurden dann jeweils **mehrere Leitprofile** aufgedigelt, angesprochen und beprobt. Die **Standortwahl** folgte dabei Kriterien, auf welche man in urbanen Räumen nicht immer eingehen möchte, aber oftmals eingehen muss. Soweit möglich, wurden Flächen im städtischen Besitz oder von Wohnungsbaugenossenschaften ausgewählt, da für diese eine Genehmigung zur Untersuchung eingeholt werden konnte. Da sich eine Vielzahl der Teiluntersuchungsgebiete (besonders der Wohnbebauung) in Privatbesitz befindet, war zwar eine Kartierung der Oberflächenart möglich, das Aufgraben von Bodenprofilen wurde hingegen von einer großen Zahl der Eigentümer abgelehnt. So musste ein **Kompromiss** gefunden werden. Durch die **Anlage von mehreren Profilen pro Untersuchungsgebiet** wurde versucht dieses Manko auszugleichen. (Das man von einigen Flächen „gejagt“ wurde, zeigt auf eine ganz eigene Art und Weise die Brisanz des Themas...)



Abb. 24: Lage der Teiluntersuchungsgebiete und Testgebiete in Halle (mit Ausnahme der archäologischen Grabungen)

Die Untersuchungen auf den archäologischen Grabungen, die hauptsächlich der Erfassung des historischen Stoffhaushaltes dienen, wurden vom Autor in Kooperation mit dem Landesamt für Archäologie Sachsen-Anhalt (Fr. Dr. Schultz) und der jeweils örtlichen Grabungsleitung durchgeführt.

7.3.1 Geoarchäologische Bodenanalysen auf Grabungen des Landesamtes für Archäologie Sachsen-Anhalt

Nahezu alle mitteleuropäischen Städte weisen im **Stadtkern** eine seit mehreren Jahrhunderten währende und oftmals dauerhafte Beeinflussung der ehemals natürlichen Boden- und Reliefverhältnisse auf. Bereits im Mittelalter war der Boden z.T. so stark mit **Schwermetallen** verunreinigt, dass man ihn – nach heutigen Maßstäben – hätte sanieren müssen (RADTKE et al. 1997). So erweisen sich **Böden** und Ablagerungen in Siedlungen heute als „**Umwelt-Archiv**“. Vor allem die unsichtbaren Spuren des Menschen können mit modernen geowissenschaftlichen Methoden Schicht für Schicht unter die Lupe genommen werden. In ihnen enthaltene Stoffe wie Schwermetalle oder Phosphate „erzählen“ von den Städten des Mittelalters, z.B. dem Marktleben oder umweltbelastendem Gewerbe.

Was will und was kann die Geoarchäologie?

Die Geoarchäologie nutzt das **naturwissenschaftliche Wissen über Landschaftsveränderungen** (RAPP & HILL 1998). Dies geschieht durch die Beobachtung **direkter und indirekter Merkmale**. Erste-re können Konstruktionen sein wie Dämme, Kanäle, Straßen oder Zerstörungen wie die Folgen von Erdbeben, Vulkanismus, Überflutungen oder Erosionsprozessen. Bei den indirekten Merkmalen sind insbesondere Konservierungsstoffe wie Metalle oder Schwermetalle und Abfallstoffe wie Phosphat von Bedeutung. Daneben gibt es die verschiedenen Möglichkeiten von Datierungen wie die ¹⁴C-Methode, Pollenanalysen, Thermoluminiszenz-Messungen, die Dendrochronologie, die Uran-Methode und andere. Allen gemeinsam ist der Versuch, die Veränderung ehemals natürlicher – d.h. nicht vom Menschen beeinflusster – Umweltverhältnisse erstens zeitlich zu bestimmen und zweitens die Intensität der Veränderung sowie die daraus resultierenden Folgen für den Naturhaushalt zu quantifizieren.

Welche methodischen Instrumente bietet die Geoökologie bei archäologischen Untersuchungen?

Böden und Sedimente sind wie oben beschrieben das „Gedächtnis der Landschaft“. Durch nahezu jede menschliche Tätigkeit werden so auf der einen Seite ehemals natürliche - „prä-urbane“ - Landschaften verändert (z.B. das Relief oder das Gewässernetz), auf der anderen Seite werden Stoffe produziert, die im Ökosystem (z.B. einer – mittelalterlichen – Stadt) verbleiben. D.h. dass unserer **Kulturlandschaften** und besonders deren Ablagerungen/Sedimente bzw. Böden Zeugnis über die **Nutzungsart** und auch die **Nutzungsintensität** ablegen. Dies kann zusammen mit der Archäologie dahingehend genutzt werden, geeignete **Marker/Indikatoren** zu finden, mittels derer das Ausmaß der anthropogenen Veränderung oder Beeinflussung stofflich zu qualifizieren und zu quantifizieren ist. Untersuchungen dieser Art gibt es in Deutschland bisher erst vereinzelt, so z.B. für Trier (ZOLITSCHKA & LÖHR 1999) oder Köln (GERLACH & IMMENDORF 1998). Auch international hat man bislang nahezu nicht diese geoökologischen Methoden für eine Mustererkennung angewandt, obwohl es gerade in seit der Antike genutzten Landschaften, wie z.B. in Griechenland, möglich ist auf diese Art die „Nutzung“ zu rekonstruieren (SAUERWEIN 2000, SAUERWEIN 1996, BINTLIFF 1996). Als nützliche Marker haben sich dabei **Schwermetalle** erwiesen. Die geogenen, aus den mineralischen Bestandteilen stammenden, natürlichen Schwermetallgehalte in Böden sind relativ gering. Einfluss auf den Gehalt und die Mobilität von Schwermetallen in Böden nehmen die Bodenacidität (bestimmt durch den pH-Wert), die organische Substanz, die Bodenart, und der Gehalt an Eisen-, Aluminium- und Manganoxiden. Vor allem Huminstoffe und Ton binden unter günstigen Bedingungen die Schwermetalle im Boden. Die Kenntnis über die pedologischen Rahmenbedingungen erlaubt es damit, Gehalte an Schwermetallen mit der historischen Nutzungsart und Nutzungsintensität zu korrelieren.

Geoökologische Untersuchungen im Rahmen archäologischer Grabungen im Zentrum von Halle

Im Zeitraum **1999 bis 2003** fanden im Stadtgebiet von Halle neben kleineren archäologischen Aufnahmen im Zuge von Bbauungsmaßnahmen drei größere Grabungen statt, die vom Autor begleitet werden konnten: „**Stadtcenter**“ (LAA 1999a), „**Audimax**“ (LAA 1999b) und „**Nordostecke Marktplatz**“ (LAA 2002). Im Zentrum des Interesses standen dabei die Eigenschaften und Stoffgehalte der durch die Archäologen datierbaren Schichten, um Aussagen zum historischen Stoffhaushalt ableiten zu können. Auf den Flächen o.g. Grabungen wurden Bodenbeprobungen exemplarischer Horizonte in archäologischen Schnitten vorgenommen. Im Labor des Instituts für Geographie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg wurden dann diese Proben hinsichtlich der Stoffhaushaltseigenschaften analysiert. Dazu wurden neben den pedologischen Grundgrößen die Konzentrationen verschiedener Nährstoffe sowie anorganischer Schadstoffe (Metalle/Schwermetalle) ermittelt. Ziel ist dabei, wie oben beschrieben, aus den Tiefenverteilungsmustern der analysierten Stoffe Marker bzw. Indikatoren zu ermitteln, die für die Nutzungsart und Nutzungsintensität bestimmter Zeiträume verstanden werden können.

Die natürlichen und künstlichen Ablagerungen dokumentieren nicht nur die Geschichte der halle-schen Altstadt, sondern erlauben auch **Rückschlüsse** auf die **historischen Umweltbedingungen**. Von der kontinuierlichen Aufhöhung des Terrains z.B. zeugen Sedimente aus Schichten, die von vorgeschichtlich/frühmittelalterlich bis neuzeitlich datiert sind. In ihnen ist die historische Bodenbelastung durch die Konzentration und Verteilung von z.B. Schwermetallen und Phosphaten „gespeichert“.

Im folgenden wird gezeigt, dass die Betrachtung der Verteilung und Konzentration von Schwermetallgehalten ein erfolgversprechender Weg scheint, um gemeinsam mit archäologischen Datierungsme-

thoden ein Instrumentarium zu entwickeln, mittels dessen die Art und Intensität der historischen (insbesondere mittelalterlichen und neuzeitlichen) Umweltbelastung rekonstruiert werden kann.

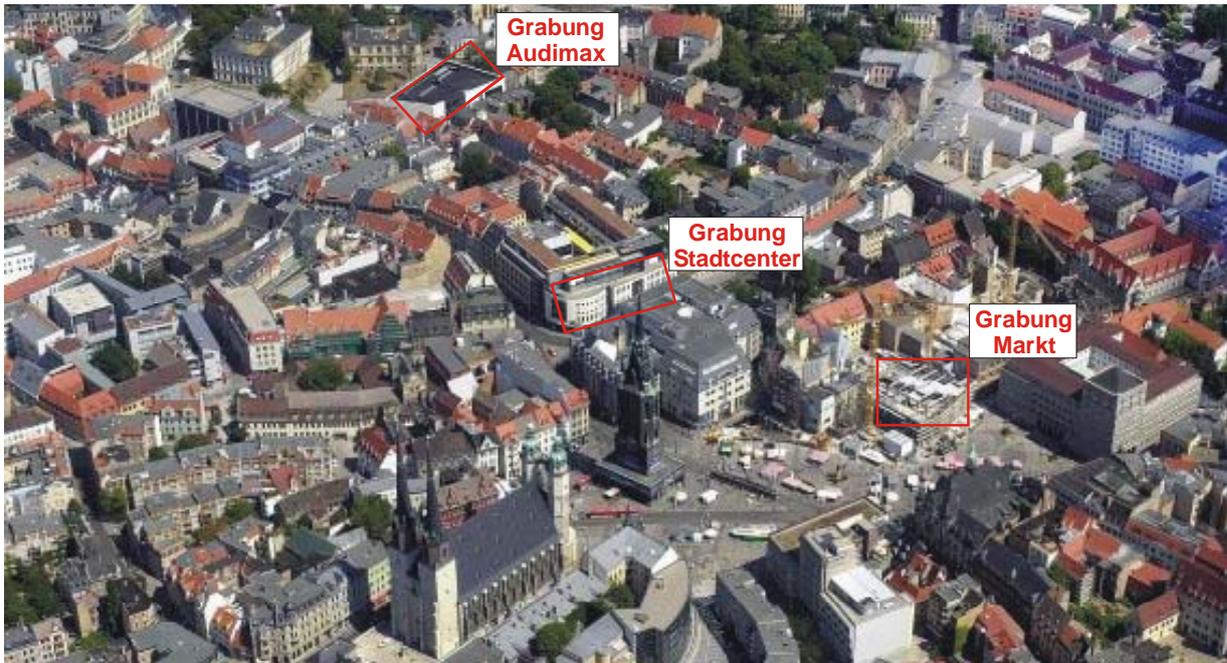


Abb. 25: Lage der archäologischen Grabungen (Bildquelle: www.mz-web.de 12.01.2004, verändert)

7.3.1.1 Archäologische Grabung „Audimax“ (K1)

Im Zuge des **Neubaus des Audimax der Universität Halle** war eine bauvorbereitende archäologische Untersuchung notwendig (LAA 1999). Das 35m mal 60m messende Grabungsareal liegt am südlichen Schulberg südlich des Robertinums und ca. 50m südwestlich des Universitätsrings auf einem von Ost nach West abfallenden Hangbereich. Übereinstimmend belegen die Ergebnisse des geologischen Baugrundgutachtens und der archäologischen Untersuchungen, dass die natürliche Geländeoberfläche von Osten bzw. Nordosten, d.h. etwa vom Opernhaus, her nach Westen/Südwesten zur Ecke Schulstraße/Barfüßerstraße ziemlich steil abfällt (von 99m am Opernhaus auf 88m am niedrigsten Punkt der Schulstraße). Die bei den archäologischen Untersuchungen festgestellten natürlichen Geländehöhen reichen von 94,5m im Osten (Grabungsabschnitt A7) bis 89,5m am tiefsten Punkt im Südwesten (Grabungsabschnitt A6). Von den Archäologen wurde das Gelände topographisch als etwas verflachender Hangfuß bzw. als Auslauf des an die Geländekante zur Halleschen Platte anschließenden Hanges angesprochen. Südlich des Baugeländes, kongruent mit der von Ost nach West verlaufenden Schulstraße, wurde ein ehemaliger Bachlauf vermutet, der ursprünglich in den Kleinen Schlam an der Dachritzstraße abgefließen ist. Das Grabungsgelände wurde bis 1988 von gründerzeitlichen Mietshäusern und einer Hofbebauung sowie vereinzelt klassizistischen Fachwerkgebäuden bebaut und diente bis Grabungsbeginn als „wilder“ Parkplatz. Die Grabungsstelle liegt im engeren **Innenstadtbereich der hochmittelalterlichen Stadterweiterung des 12. Jahrhunderts**. Im 13. Jahrhundert wurde im nördlichen Anschluss an das archäologisch zu untersuchende Areal das Franziskanerkloster (oder Barfüßerkloster) gegründet (1240). Nach kleineren archäologischen Aufschlüssen der jüngeren Vergangenheit und Analyse älterer Ansichten konnte man im Süden der Klosterkirche einen Friedhof vermuten, der allerdings nicht bis in das Grabungsgelände reicht. Das Kirchengebäude wurde nach Auflösung des Konvents 1564 noch bis 1908 als Lutherisches Schulgymnasium genutzt (daher der Name Schulberg). Nach dem Abriss der Kirche wird 1832 bis 1834 das klassizistische Löwengebäude der Universität errichtet. Während bei der archäologischen Grabung im Zuge der bauvorbereitenden Baumassnahmen für das Juridicum 1996 nur ein Ausschnitt des nördlichen Schulberges erfasst wurde, ist mit der Grabung „Audimax“ nahezu der gesamte südliche Schulberg umschrieben. Die archäologischen Geländearbeiten fanden vom 03.08.1998 bis 10.06.1999 statt. Während dieser Zeit wurden auf der Grabungsfläche insgesamt **8 Leitprofile** sowie die **Verfüllung zweier Brunnen** beprobt. Deren Lage ist in Abb. 26 dargestellt.

Exemplarisch sind für die Profile „Audimax 1“ und „Audimax 2“ in Abb. 27 deren archäologische Aufnahme durch das Landesamt für Archäologie Sachsen-Anhalt (Grabungsleiter O. Specht) mit der Lo-

kalisation der Probenahmepunkte dokumentiert. Die Aufnahmen der übrigen Profile sind im **Anhang A** dokumentiert. Durch die **archäologischen Funde** konnten für die beprobten Horizonte neben der „Nutzung“ auch deren **zeitliche Stellung** eingegrenzt werden (Tab. 16). Es zeigt sich, dass die Profile datierbare Horizonte über den Zeitraum **von vorgeschichtlichen** Befunden (z.B. Audimax 1) über eine Vielzahl mittelalterlicher bis frühneuzeitlicher Grubenverfüllungen **bis ca. 1900** aufweisen. Während der Grabungsarbeiten wurde wie bei stadtkernarchäologischen Grabungen allgemein festgestellt (HERRMANN 2001), dass die archäologischen Profile z.T. sehr stark gestört sind. Aus diesem Grund gestaltete es sich schwierig, aus der Vielzahl der archäologischen Profile solche „**guten**“ **Profile** ausfindig zu machen, die als **repräsentativ** für die Bebauungsphasen und Nutzungen gelten können. Dies war nur möglich durch die enge Zusammenarbeit mit den Grabungsteams und deren Kenntnis.

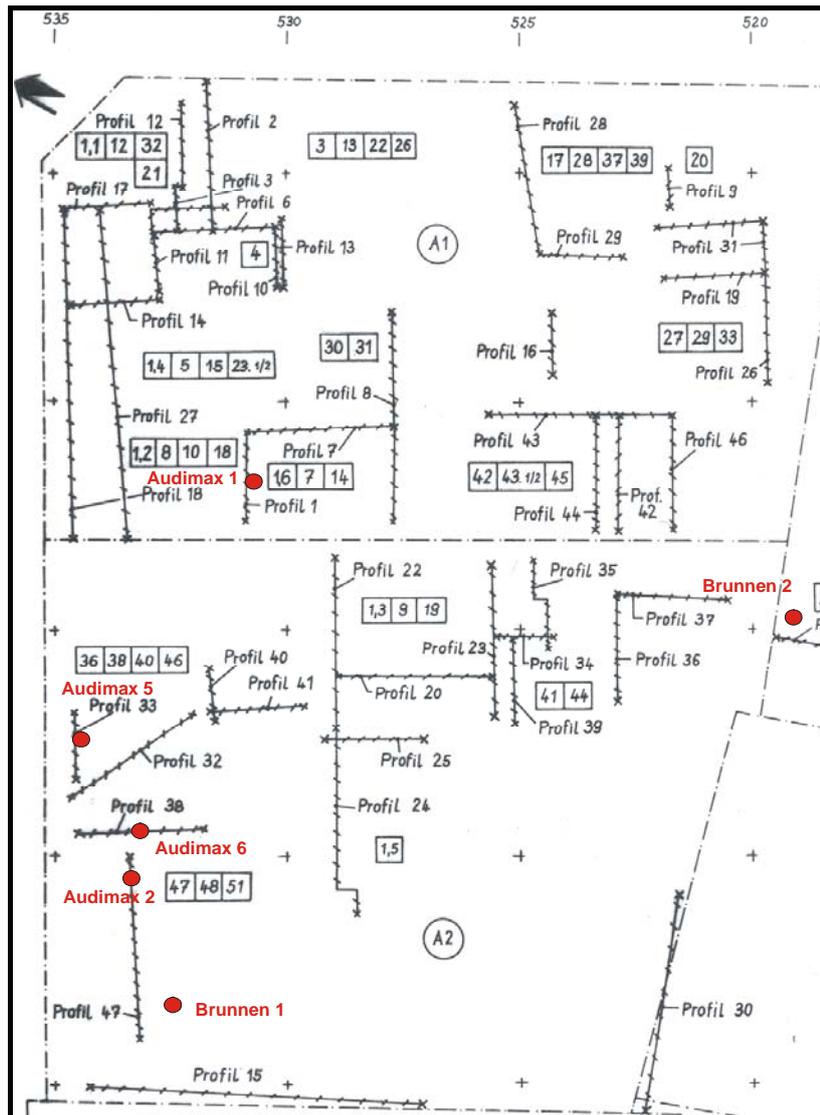


Abb. 26: Lage der geoarchäologischen Profile der Grabung „Audimax“ (Grundlage: Grabungsbericht LAA 1999)

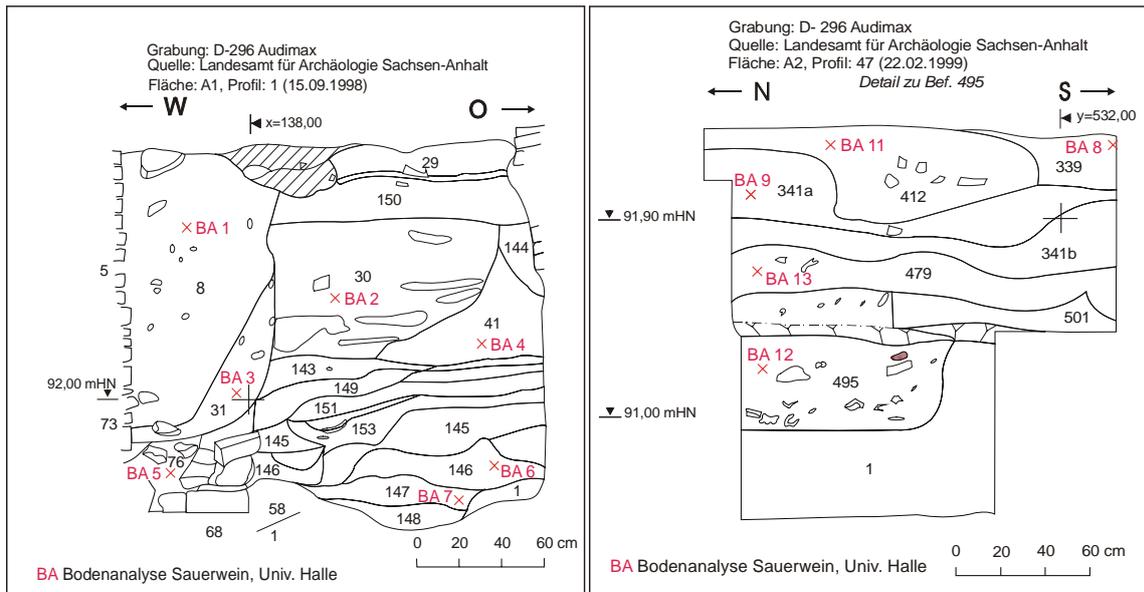


Abb. 27: Geoarchäologische Profile „Audimax 1“ (links) und „Audimax 2“ (rechts)

Tab.16: Befund-Charakterisierung und Eingrenzung der Datierung der beprobten Horizonte der Grabung „Audimax“

Bodenprofil	archäolog. Bezeichnung	Zuordnung archäolog. Profil	Datierung/Erläuterung
Audimax 1	Bef 8	1	1890 - 1900
	Bef 31	1	spätmittelalterliche-frühneuzeitliche Grube
	Bef 30	1	Grube 14. Jh.
	Bef 68=76	1	Grube 14./15. Jh.
	Bef 41	1	Planierschicht (13./) 14. Jh.
	146	1	vorgeschichtlich/frühmittelalterlich
	147	1	vorgeschichtlich/frühmittelalterlich
Audimax 2	339	Detail zu Bef 495 + Prof. 38	Barocke Baugrube 17. Jh.
	412/I	Detail zu Bef 495	17. Jh.
	341	Detail zu Bef 495 + Prof. 38	Planierung/Kulturschicht 12./13. Jh.
	497	Detail zu Bef 495 + Prof. 38	Kulturschicht/Übergangshorizont
	495	Detail zu Bef 495	Siedegrube 14. Jh.
Audimax 3	412/II=698	80	(13./) 14. Jh.
Audimax 4	Bef 730	69	Grube 14. Jh.
Audimax 5	358	Detail-Profil 33	Feuerungsgrube für Salzverarbeitung, vorgeschichtlich
Audimax 8	617	60	Planierung 17./18.Jh.
	601 A	60	Brand-/Planierschicht 12./13. Jh.
Audimax 9	697=679	67	Nutzung um 1500
	663/664	67	Brandschicht 14. Jh.
Brunnen1	420	O-W--Schnitt durch Bef 420	Brunnenverfüllung 1200 - 1300
Brunnen2	A 520=520	W-O-Schnitt	Brunnenverfüllung 14. Jh.
0	anstehend		Anstehendes

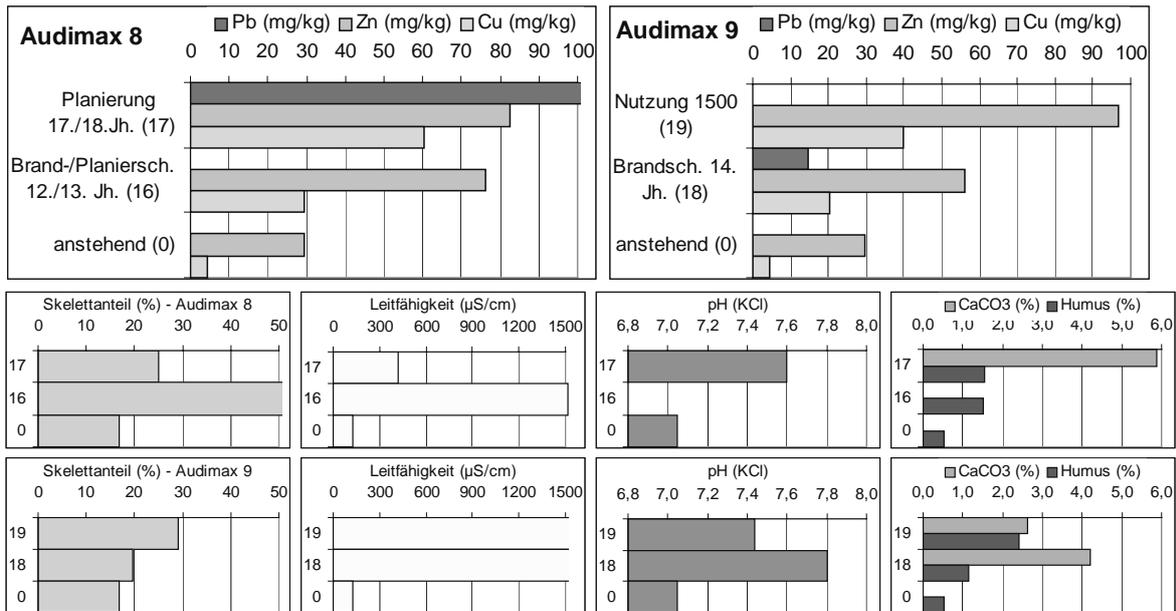


Abb. 28: Tiefenverteilungen von Schwermetallen (Gesamtgehalte) und pedologischen Parametern der Profile „Audimax 8“ und „Audimax 9“

Aus den Tiefenverteilungen der Profile „**Audimax 8**“ und „**Audimax 9**“ wird ersichtlich, dass sowohl die Schwermetallgehalte als auch die pedologischen Parameter keinem einheitlichen Muster folgen. Generell ist festzustellen, dass in dem als „**anstehend**“ bezeichneten Horizont für alle Parameter die geringsten Werte zu verzeichnen sind. Dieser Horizont „0“ charakterisiert den **geogenen Background** (FRÜHAUF 1992, HINDEL & FLEIGE 1991) der Untersuchungsfläche. Bezüglich der pedologischen Parameter erkennt man, dass (wie bei nicht-städtischen Böden normalerweise auch) **pH-Wert und Kalkgehalt** dem **gleichen Muster** folgen, was für die **Leitfähigkeit hingegen nicht** gilt. Dies kann vorerst nicht ursächlich begründet werden, da die Leitfähigkeit als Summenparameter nur einen Hinweis darauf gibt, dass lösliche Substanzen im Horizont enthalten sind (aber nicht welche). Der **Skelettanteil** von mehr als 20 % macht deutlich, dass es sich um nicht ausschließlich **autochthone Substrate** handeln kann, sondern (im Profil auch augenscheinlich erkennbar bzw. sichtbar) „**städtisches Material**“ eingetragen ist. Dies sind meistens Ziegelreste, Keramik, Knochenfragmente, Holzreste oder andere historische „Baustoffe“. Der **Skelettanteil** ist also ein **Indikator** für den anthropogenen Eingriff hinsichtlich standortfremder Stoffe. Der **Humusanteil** gibt Aufschluss darüber, ob organisches Material im Horizont enthalten ist. Ursächlich kann dies unterschiedlich sein. So besteht die Möglichkeit, dass der Horizont ein **prä-urbaner (fossiler)** Horizont ist oder eine archäologische Schicht, die durch einen hohen Anteil organischen Materials geprägt ist. Durch Hinzunahme der **Schwermetallgehalte** oder des **Phosphatgehaltes** lässt sich der Unterschied zwischen beiden Möglichkeiten leicht ermitteln. Fossile Ah-Horizonte weisen deutlich niedrigere Gehalte auf als anthropogen beeinflusste Horizonte. Weiterhin ist Abb. 28 zu entnehmen, dass **Zink und Kupfer** das **gleiche Belastungsmuster** aufweisen, während Blei analytisch nicht nachweisbar ist bzw. der **Bleigehalt nicht** mit den Kupfer- und Zinkgehalten „einhergeht“. Für die **Schwermetallgehalte** gilt, dass ihre Konzentration einen Hinweis gibt entweder auf die **Intensität der Flächennutzung** oder sie im Falle von Brand-/Planierschichten eine messbare **Hinterlassenschaft** der sonst nicht mehr sichtbaren urbanen Nutzung darstellen.

Die gerade getroffenen Aussagen lassen sich auch durch die Befunde der Profile „**Audimax 1**“ und „**Audimax 2**“ belegen (Abb. 29). Wiederum sind die **Skelettanteile** in der geogenen Schicht am geringsten, während sie insbesondere in den älteren Schichten bis zu 40 % erreichen. Dies lässt die Vermutung zu, dass in diesen früheren Siedlungszeiten weniger Feinmaterial (Abfall?) abgelagert wurde als später. Dies wiederum könnte mit der Bevölkerungsdichte in Zusammenhang gebracht werden, in früherer Zeit war die Bevölkerungszahl geringer und auch die Nutzung in der Stadt weniger intensiv (ZEHNER 2001, für Halle: JÄNCKEL et al. 1972). Im Profil „Audimax 1“ nimmt die **Leitfähigkeit** mit zunehmendem Alter ab, während im Profil „Audimax 2“ das Gegenteil der Fall ist. Letzteres ist eindeutig damit zu begründen, dass der Horizont 12 eine Siedegrube des 14. Jh. ist und deshalb auch die insgesamt am höchsten ermittelte Leitfähigkeit aufweist. Die **pH-Werte** lassen bei beiden Profilen keine Interpretation zu - warum sie im Profil „Audimax 1“ etwas höher sind als im Profil „Audimax 2“, bleibt aus Sicht des Autors offen. Auch bzgl. der **Kalkgehalte** ist aufgrund der Tiefenverteilung nur ein

„schwacher“ Interpretationsansatz möglich. Wie bei den zuerst diskutierten Profilen ist nur in den jüngeren Horizonten Kalk nachweisbar. Dies u.U. ist mit der Art der Bautätigkeit in Einklang zu bringen, denn Kalk und Mörtel wurden erst ab in größerem Umfang genutzt (KÖLBEL, SAUERWEIN et al. 2003). Die **Humusgehalte** zwischen 1 und 2 % in beiden Profilen sind in einem Schwankungsbereich, der nicht weiter interpretiert werden kann. Dies ist bei den Schwermetallen anders. **Blei** ist nur in drei Horizonten überhaupt nachweisbar. Dies sind Planierschichten, also technisch „komprimierte“ **Substrate**. Nur in diesen ist die Konzentration hoch genug, um mittels der verwendeten Methode der AAS-Messung sichere Gehalte zu ermitteln. **Zink** hingegen ist in allen Horizonten nachweisbar und nimmt ab dem 13./14. Jh. deutlich auf das mindestens Zweifache des geogenen Grundgehaltes zu. **Kupfer** dagegen „prägt“ eher die älteren Zeiträume bis zum 14./15. Jh. und ist danach bis auf einen einzelnen Horizont nicht mehr nachweisbar.

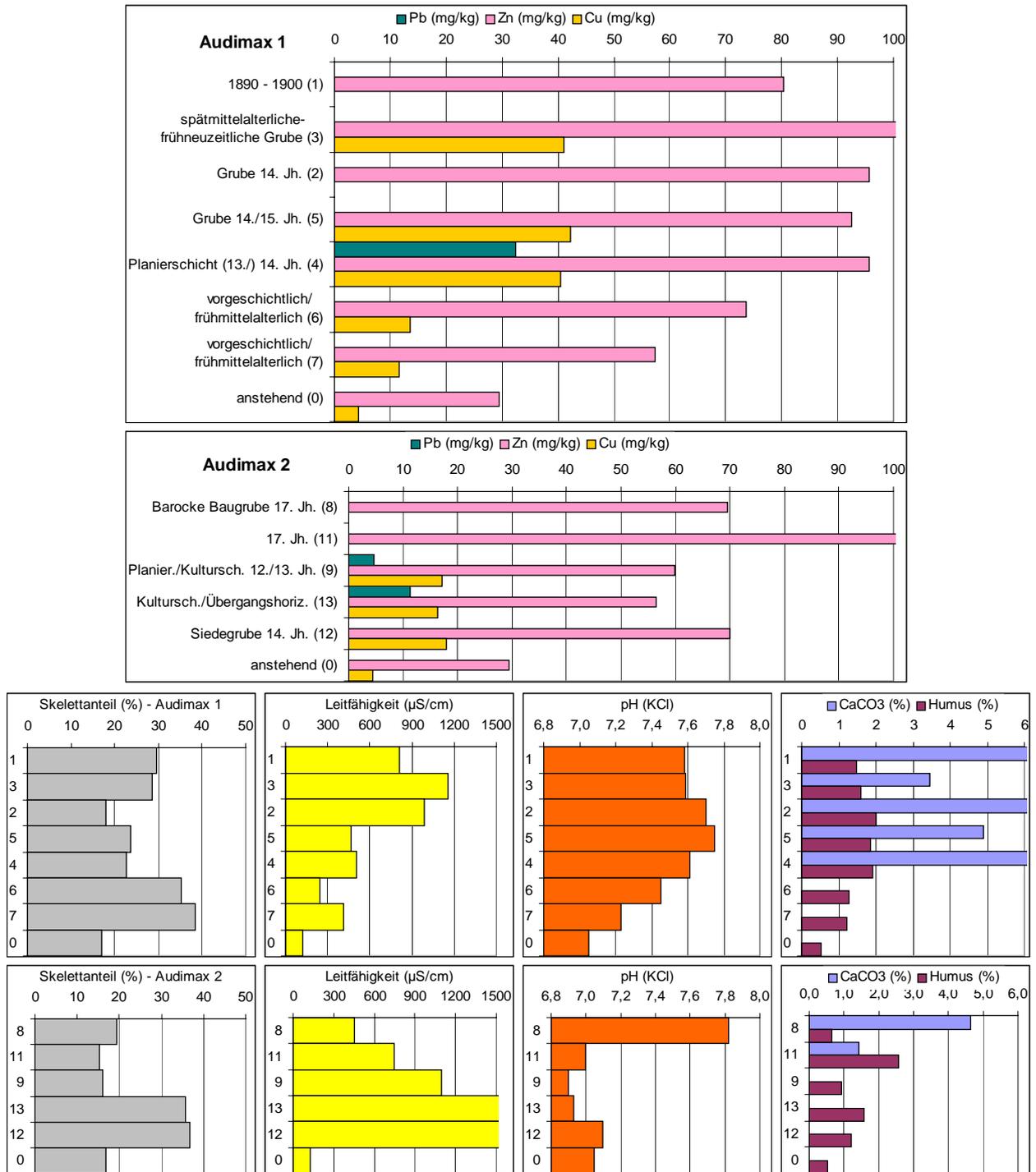


Abb. 29: Tiefenverteilungen von Schwermetallen und pedologischen Parametern der Profile „Audimax 1“ und „Audimax 2“

Durch die Datierungen ist es auch möglich, aus allen Horizonten einer Grabung ein „chronologisches“ Profil der beprobten archäologischen Schichten zu erstellen. Dazu wurden alle Horizonte relativchronologisch sortiert. Das Ergebnis eines solchen hypothetischen Profils ist in Abb. 30 dargestellt.

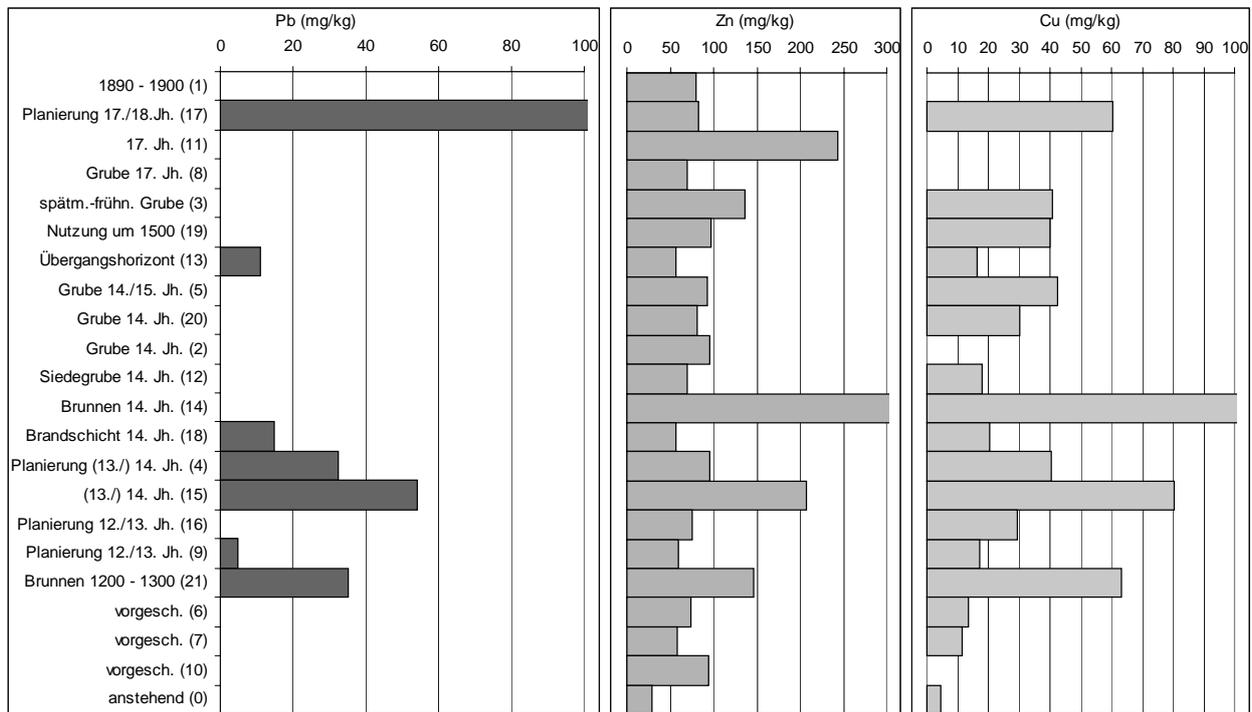


Abb. 30: Tiefenverteilungen von Schwermetallen eines „chronologischen Profils“ der Grabung „Audimax“

Das „**chronologische**“ Profil der Grabung „Audimax“ lässt für die Schwermetallgehalte bzw. Musterverteilungen einige zusammenfassende Schlüsse zu. **Blei** ist nur in 7 der insgesamt 22 Horizonte analytisch nachweisbar. Dies sind ausschließlich Brandschichten, Planierungshorizonte bzw. eine Brunnenverfüllung ca. 1200 – 1300. Wie oben angedeutet sind dies dahingehend besondere Schichten, dass in ihnen eine Aufkonzentration stattfand. **Zink** weist einen relativ großen Schwankungsbereich auf, der aber auf den ersten Blick keinem erklärbaren Muster folgt. Das Muster von **Kupfer** entspricht bis auf zwei Horizonte weitgehend dem von Zink, wobei insbesondere die Horizonte der maximalen Gehalte die gleichen sind. Ob es mit den erfassten Daten möglich ist, **statistische Zusammenhänge** aufzuzeigen, wurde mittels einer Korrelationsanalyse untersucht (Abb. 31).

	Humus	Pb	Zn
Skelett			
Leitfähigk.			
pH			
CaCO ₃			
Humus			
Pb			
Zn	,848**		
Cu	,765**	,857*	,902**

** Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant (2-seitig).
 * Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 signifikant (2-seitig).

Abb. 31: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=22) der Grabung „Audimax“

Die Korrelationsanalyse zeigt nur wenige statistische Zusammenhänge. Es **korrelieren** untereinander die **Schwermetalle**, wobei die Korrelation zwischen Blei und Kupfer bzw. Blei und Zink schwächer ist als diejenige zwischen Kupfer und Zink. Dies sind Hinweise auf den gleichermaßen anthropogenen Einfluss auf den Schwermetallhaushalt der städtischen Böden. Auch wenn die absoluten Gehalte/Konzentrationen in den Böden stark unterschiedlich schwanken, gibt es doch nachvollziehbare Muster in der Tiefenverteilung bzw. zeitlichen Abfolge. Darüber hinaus korrelieren noch **Zink und Kupfer** mit dem **Humusgehalt**. Dies dürfte u.a. mit den **Sorptionseigenschaften** des Humus im Zu-

sammenhang stehen. Da Blei insgesamt nur in 7 Horizonten nachgewiesen wurde, reicht die geringe Zahl der Fälle nicht aus, um statistische Zusammenhänge aufzeigen zu können.

7.3.1.2 Archäologische Grabung „Stadtcenter“ (K2)

Der Neubau des „Stadtcenters“ machte vom 01.02. bis 31.05.1999 eine bauvorbereitende archäologische Untersuchung des von der Baumaßnahme betroffenen Areals durch das Landesamt für Archäologie notwendig (LAA 1999a). Begrenzt wurde die Grabungsfläche im Norden durch das Kaufhaus Rolltreppe, im Osten durch die Barfüßerstraße 1 und 2, im Süden durch die große Steinstraße und im Westen durch die Grundstücke Große Ulrichstraße 62 und 63. Westlich des Grabungsareals liegt Kleinschmieden und der „Große Schlamm“. Von Norden nach Süden fällt das Gelände der Barfüßerstraße stark ab.

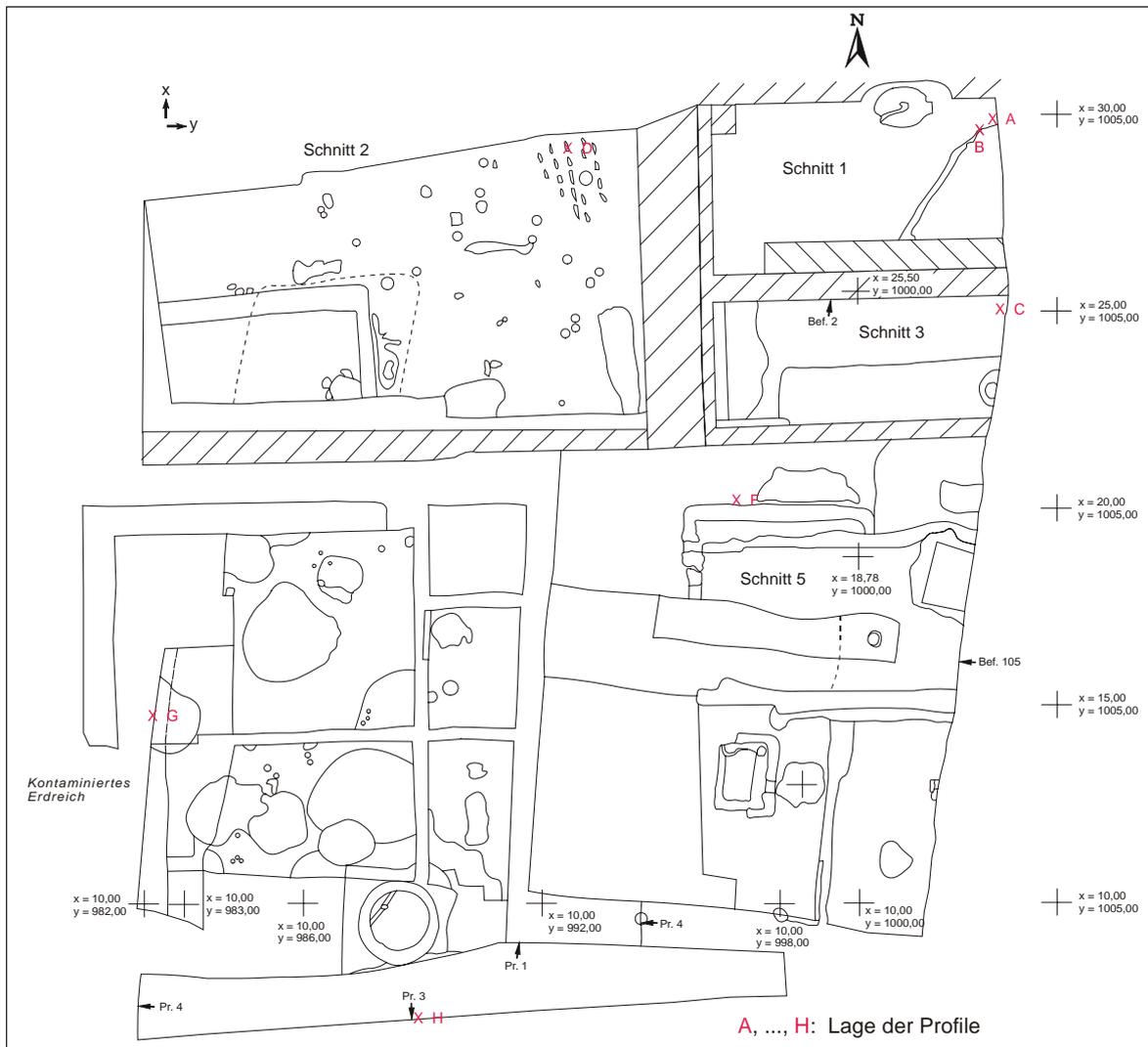


Abb. 32: Lage der geoarchäologischen Profile der Grabung „Stadtcenter“

Als „Anstehendes“ (archäologischer Begriff) wurde Kaolin, Sand und in einigen Fällen Kies angetroffen. Im Westen der Grabungsfläche ergaben Sondierungen unter den modernen Kellerfundamenten, dass dieser Bereich komplett gestört war. Hier trat Rotliegendes zutage. Von der Gesamtfläche wurde etwa die Hälfte archäologisch untersucht. Der westliche Bereich war durch Einbauten von Kellern, die später zu Luftschutzräumen ausgebaut worden waren, und zahlreiche Leitungs- und Kabelschächte stark bis komplett zerstört. Lediglich der östliche Teil barg archäologisch relevante Funde. Auf der Grabungsfläche wurden durch den Autor selbst insgesamt 6 Leitprofile beprobt. Deren Lage ist in Abb. 32 dargestellt. Exemplarisch sind für die Profile „Stadtcenter A“ und „Stadtcenter G“ in den beiden folgenden Abbildungen deren archäologische Aufnahme durch das Landesamt für Archäologie Sachsen-Anhalt (Grabungsleiter J. Brauer und A. Pross) mit der Lokalisation der Probenahmepunkte dokumentiert. Die Aufnahmen der übrigen Profile sind im Anhang A dokumentiert.

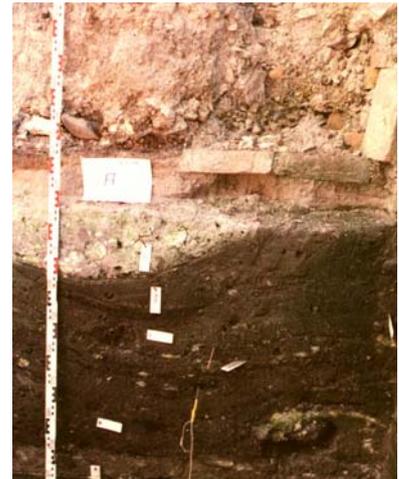
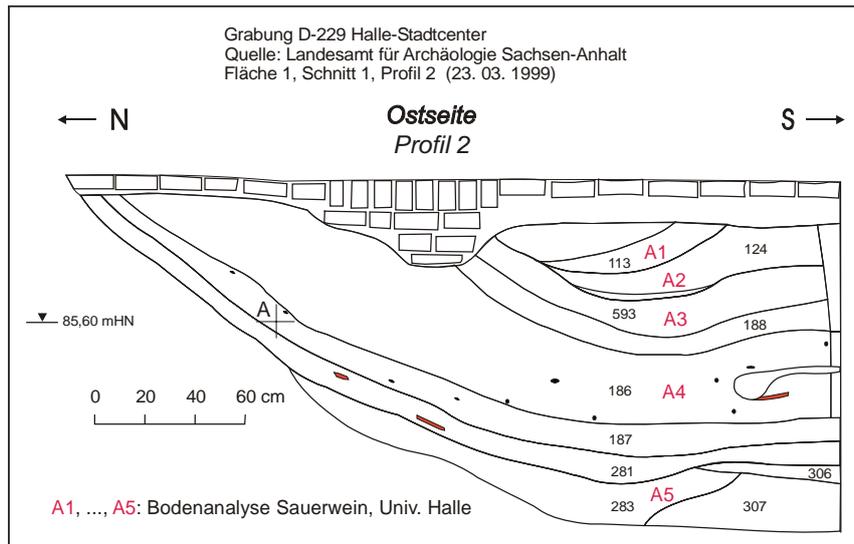


Abb. 33: Geoarchäologisches Profil „Stadtcenter A“

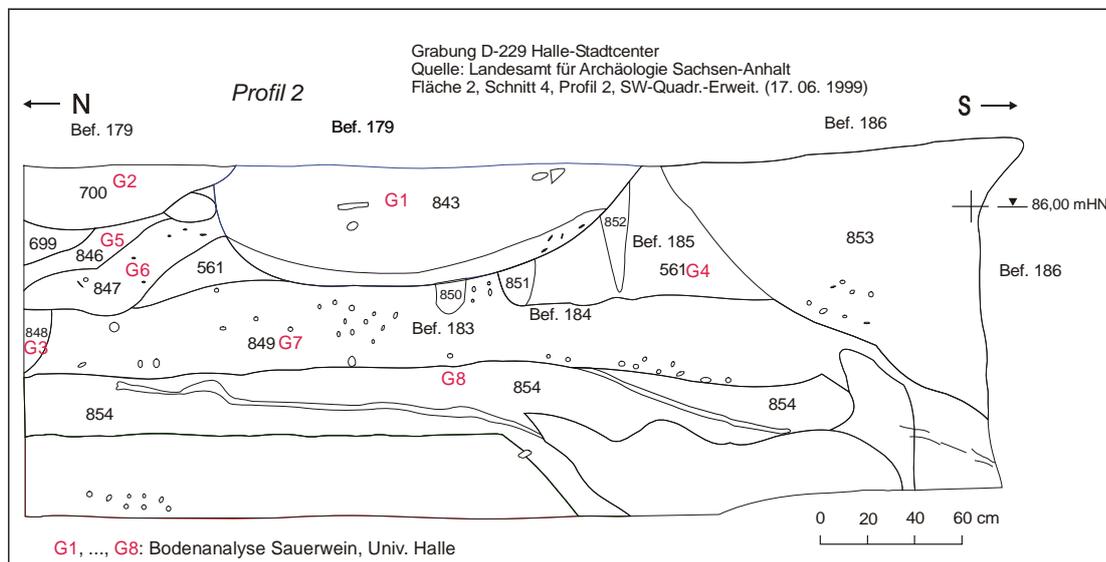


Abb. 34: Geoarchäologisches Profil „Stadtcenter G“

Durch die archäologischen Funde konnten für die beprobten Horizonte neben der „Nutzung“ auch deren zeitliche Stellung eingegrenzt werden (Tab. 17). Im Unterschied zur Grabung „Audimax“ sind viele Profilabschnitte wesentlich älter und in die vorrömische Eisenzeit datiert. „Darüber“ gibt es nicht näher eingrenzende frühgeschichtlich-mittelalterliche Schichten und nur wenige datierbare Befunde. Das „Anstehende“ ist mit Horizont H5 beprobt.

Tab. 17: Befund-Charakterisierung und Eingrenzung der Datierung der beprobten Horizonte der Grabung „Stadtcenter“

	Bezeichnung	archäolog. Schicht	Befundbeschreibung	
Stadtcenter A	A 1	113	Verfüllschichten der Grube (Bfd. 10), enthält frühgeschichtliche Keramik	Vorrömische Eisenzeit (ca. 720 v. Chr. – 27 v. Chr)
	A 2	124		
	A 3	593		
	A 4	186		
	A 5	283		
Stadtcenter B	B 1	124	Verfüllschichten der Grube Bfd. 10, enthält frühgeschichtliche Keramik	Vorrömische Eisenzeit (ca. 720 v. Chr. – 27 v. Chr)
	B 2	185		
	B 3	188		
	B 4	307		
Stadtcenter D	D 1	472	gehört zu Bef. 22, relativchronologisch jünger als Schicht 407, älter als Schicht 320	spätmittelalterlich/ frühneuzeitlich
	D 2	414	Spaten- bzw. Hackspur (Bfd. 57)	früh- oder hochmittelalterlich? (9.-12. Jh.)
	D 3	407	aus Bfd. 22, enthält unglasierte mittelalterliche Keramik	spätmittelalterlich
Stadtcenter E	E 1	503	gehört zur Ofenanlage Bfd. 12, enthält frühgeschichtliche Keramik	Vorrömische Eisenzeit (ca. 720 v. Chr. – 27 v. Chr)
Stadtcenter F	F 1	162	Planierschicht	modern, 19./20. Jh
	F 2	167	Schicht im Baggerschnitt (Bfd. 15), keine genauere Datierung möglich	frühgeschichtlich/ mittelalterlich
	F 3	168		
	F 4	169		
	F 5	171		
	F 6	172		
Stadtcenter G	G 1	843	Verfüllung (Grube(nhaus?) Bfd. 179; relativchronologisch älter als Bfd. 165, jünger als Schicht 561	frühgeschichtlich?
	G 2	700	gehört zur Grube Bfd. 165	frühgeschichtlich oder mittelalterlich
	G 3	848	Verfüllung Pfostenloch von Bfd. 165	frühgeschichtlich oder mittelalterlich
	G 4	561	relativchronologisch älter als die Ofenanlage Bfd. 40/43	Vorrömische Eisenzeit (ca. 720 v. Chr. – 27 v. Chr)
	G 5	846	Verfüllung Pfostenloch Bfd. 165	frühgeschichtlich oder mittelalterlich
	G 6	847	Verfüllung Pfostenloch Bfd. 165	frühgeschichtlich oder mittelalterlich
	G 7	849	Anstehendes (vgl. Zeichnung 86)	
	G 8	854	Anstehendes	
Stadtcenter H	H 1	831	wird geschnitten von Grube Bfd. 73 und Grube/Pfostenloch Bfd. 75, liegt über Bfd. 128 und Schicht 397	Vorrömische Eisenzeit (ca. 720 v. Chr. – 27 v. Chr)
	H 2	397	durch Ofenanlage Bfd. 43 verziegelte Tonschicht, tritt unverziegelt über Schicht 562 auf	Vorrömische Eisenzeit (ca. 720 v. Chr. – 27 v. Chr)
	H 3	561	relativchronologisch älter als die Ofenanlage Bfd. 40/43	Vorrömische Eisenzeit (ca. 720 v. Chr. – 27 v. Chr)
	H 4	764	liegt unter Schicht 561, welche durch Ofenanlage Bfd. 40/43 gestört ist	Vorrömische Eisenzeit (ca. 720 v. Chr. – 27 v. Chr)
	H 5	676	Anstehendes	

Auf die gleiche Art und Weise wie bei der Grabung „Audimax“ sind im folgenden die Tiefenverteilungen der untersuchten Profile dargestellt (Abb. 35, Abb. 36).

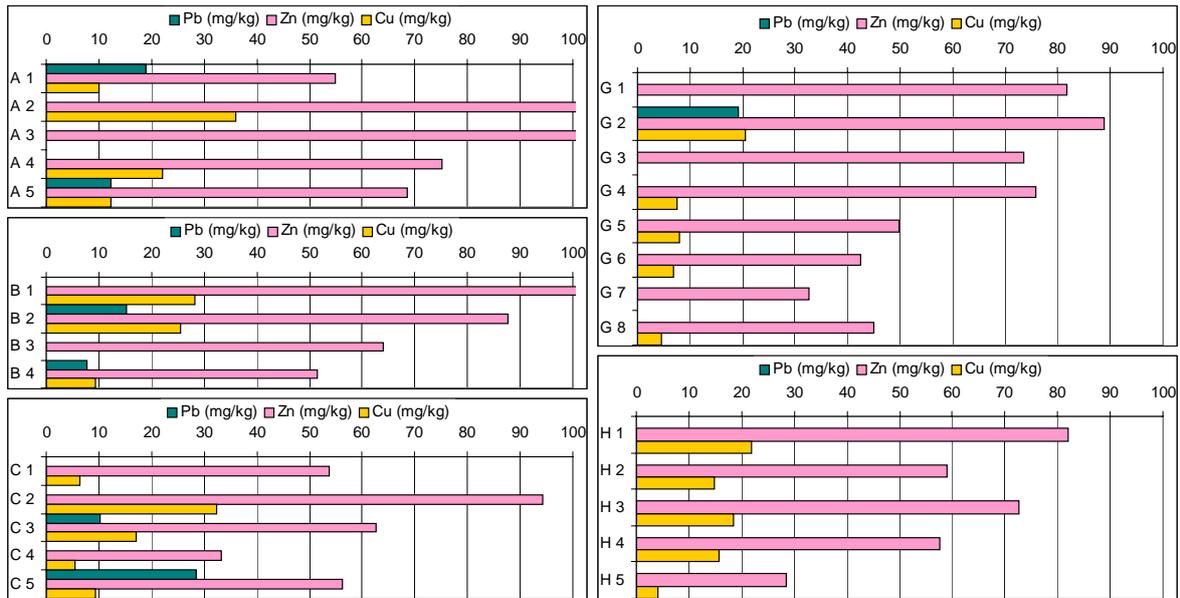


Abb. 35: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile „Stadtcenter A“, „Stadtcenter B“, „Stadtcenter C“, „Stadtcenter G“ und „Stadtcenter H“

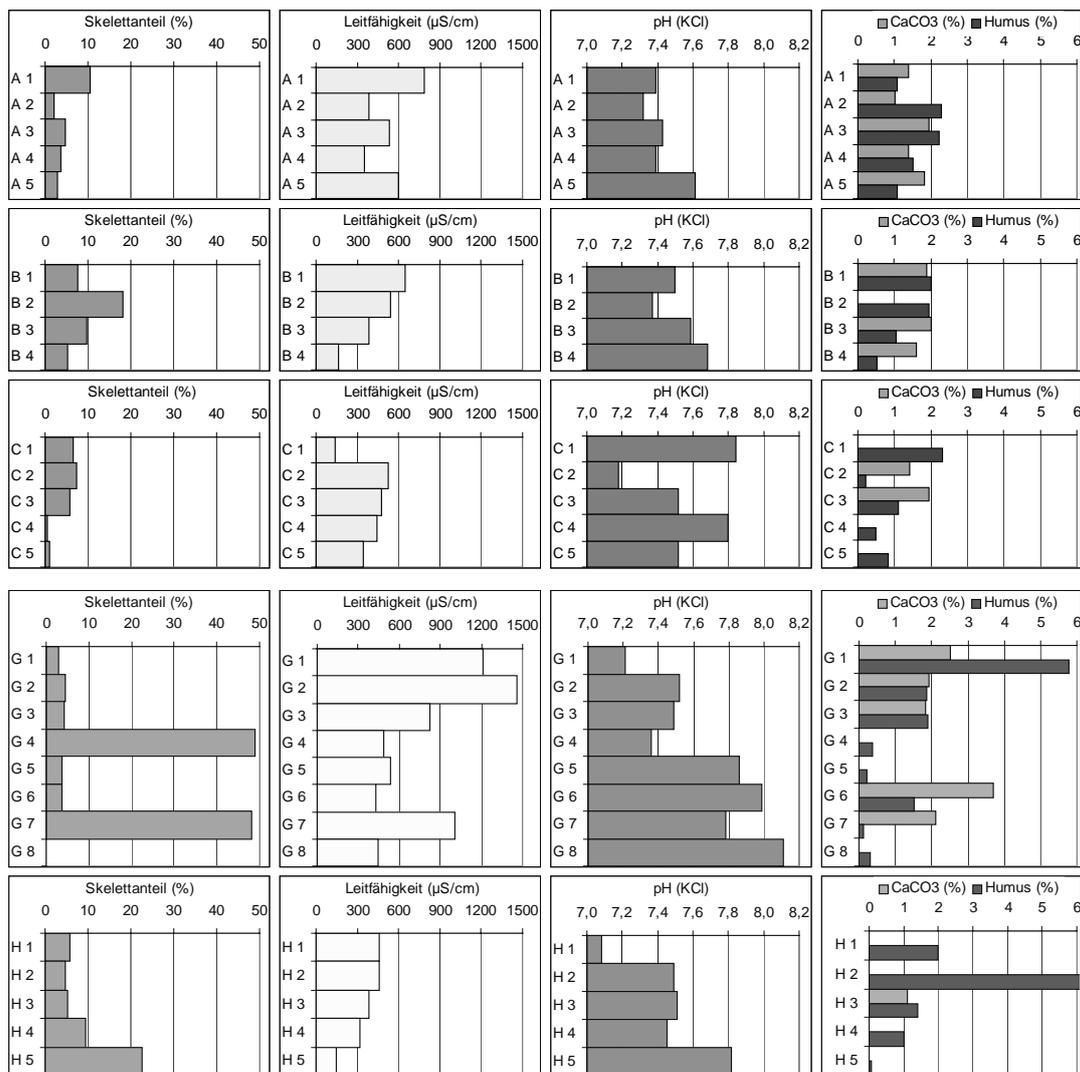


Abb. 36: Tiefenverteilungen von pedologischen Parametern der Profile „Stadtcenter A“, „Stadtcenter B“, „Stadtcenter C“, „Stadtcenter G“ und „Stadtcenter H“

Insgesamt gestaltete es sich als schwierig, ohne datierbare bzw. archäologisch datierte Horizonte/Schichten innerhalb der einzelnen Profile diese außer einer relativchronologischen Abfolge zu charakterisieren. Auffällig ist dadurch aber gleichsam, dass es auch **innerhalb eines archäologisch-historischen Zeitabschnittes** unterschiedliche **Phasen der stofflichen Befrachtung** der Böden gab. Ein Beispiel dafür liefert das Profil H, welches (komplett) in die vorrömische Eisenzeit datiert ist. Dennoch gibt es innerhalb des Profils deutliche Konzentrationsunterschiede (z.B. Humusgehalt, Zinkgehalt).

Die Profile **A und B** können dahingehend **vergleichbar** diskutiert werden, da sie aus zwei Stegen entstammen, die senkrecht aufeinandertreffen (zur Lage s. Abb. 33). Entsprechend gleich im Sinne der Tiefenverteilungsmuster zeigen sich die Gehalte bzw. Parameter. Der Horizont A5 „entspricht“ bis auf die Leitfähigkeit dem Horizont B4. Da die Leitfähigkeit durch leicht lösliche Stoffe charakterisiert wird, dürfte ein lokaler Unterschied die Ursache dafür sein. Auch in der Tiefenverteilung der Parameter ähneln sich die beiden Profile stark, lediglich bei den Schwermetallen gibt es Unterschiede. In **Profil C** fällt **Blei** auf, das in zwei Horizonten nachweisbar ist, in einem Fall gemeinsam mit Zink und Kupfer ansteigt, im anderen Fall deren Muster konträr ist. Ebenso nur Mutmaßungen über die Ursachen der unterschiedlichen Konzentrationen lässt **Profil G** zu, welches durch ineinander eingebrachte **Gruben** gekennzeichnet ist. Im **Profil H** konnte kein Blei nachgewiesen werden, die Zink- und Kupfermuster sind sich sehr ähnlich.

Aufgrund der wenigen genau datierbaren Befunde und der damit „schlechten“ Chronologie ist es anders als bei der Grabung „Audimax“ nur bedingt möglich, ein **chronologisches Profil** zu erstellen. Aus dem Grabungsbericht und den Profildokumentationen gelang es durch die Auswertung relativchronologischer Verweise und unter Ausschluss der nicht einzuordnenden Befunde/Horizonte, ein „verkürztes“ chronologisches Profil abzuleiten (Abb. 38). Weiterhin wurde auch für die dargestellten Parameter eine **Korrelationsanalyse** nach Spearman durchgeführt (Abb. 37).

	Skelett	Leitfähigk.	pH	Humus	Cu
Skelett					
Leitfähigk.					
pH					
CaCO ₃					
Humus	-,392*		-,470**		
Zn		,396*	-,611**	,706**	
Cu				,544**	,550**

* Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 signifikant (2-seitig).
 ** Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant (2-seitig).

Abb. 37: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=32) der Grabung „Stadtcenter“

Wie bei der Grabung „Audimax“ zeigt die Korrelationsanalyse auch bei der Grabung „Stadtcenter“, dass es nur wenige statistische Zusammenhänge zwischen den Parametern/Gehalten gibt. Hoch **signifikant korrelieren Kupfer und Zink** miteinander und **mit dem Humusgehalt**. Dieser Zusammenhang wurde auch bei der Grabung „Audimax“ festgestellt. Sonst korreliert positiv nur noch Zink mit der Leitfähigkeit, was nicht ursächlich begründet werden kann. Es gibt weiterhin hoch signifikante **negative Korrelationen** zwischen Humus und pH-Wert, Zink und pH-Wert sowie eine schwach signifikante negative Korrelation zwischen Humusgehalt und Skelettanteil. Letzteres ist plausibel, dass bei hohen Skelettanteilen nur geringe Humusgehalte überwiegen, die anderen (berechneten) Zusammenhänge können nicht erklärt werden.

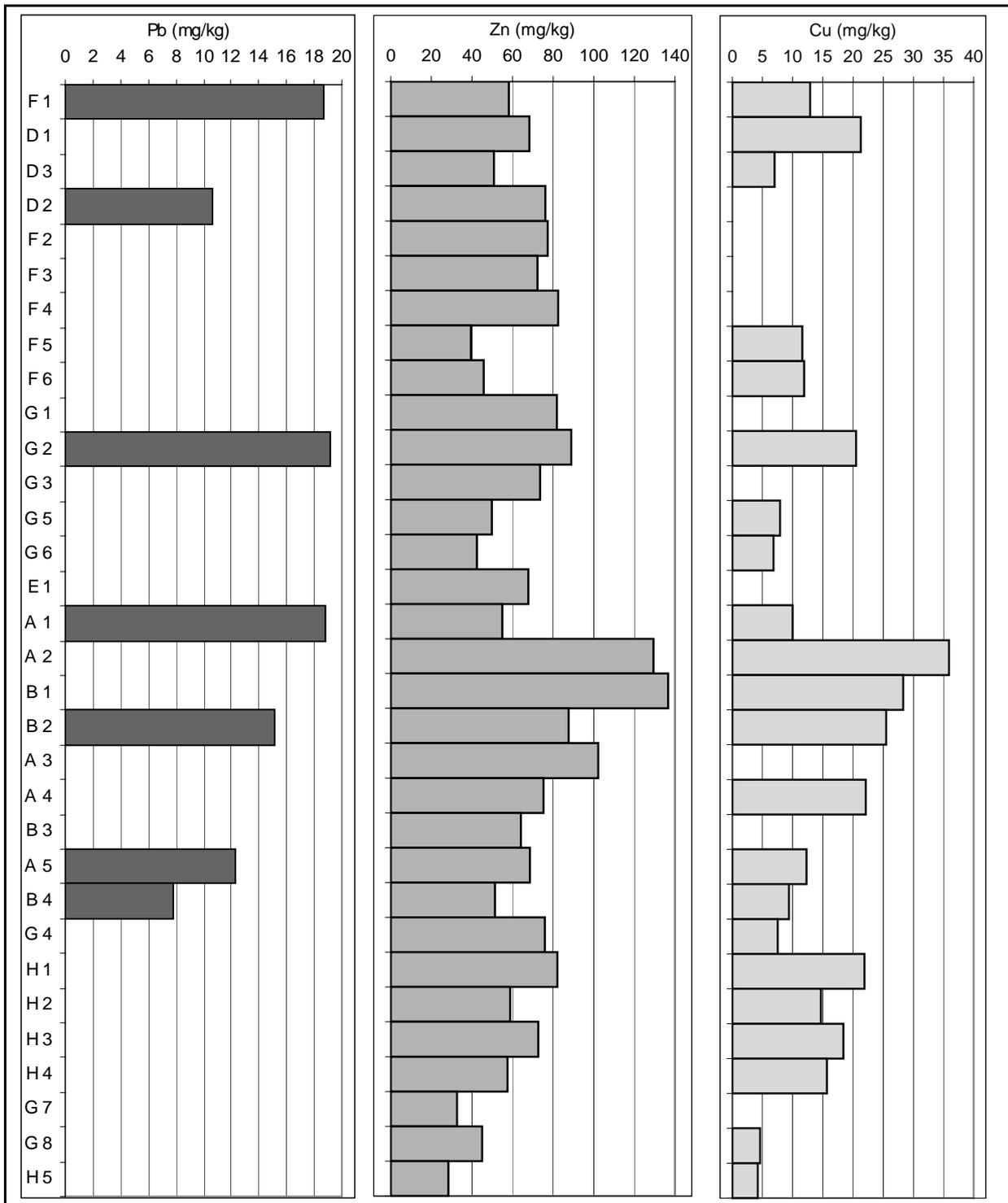


Abb. 38: Tiefenverteilungen von Schwermetallen eines „chronologischen Profils“ der Grabung „Stadtcenter“

Das **chronologische Profil** der Grabung „Stadtcenter“ zeigt eine Musterverteilung, welche dem der Grabung „Audimax“ vergleichbar ist. Die zeitliche Stellung der Horizonte, in welchen **Blei** überhaupt nachgewiesen werden konnte, liegt in der vorrömischen Eisenzeit (A1, A5, B2, B4) bzw. ist mittelalterlich (G2, D2). Es gib also **keinen längeren Zeitabschnitt** (der durch eine Vielzahl von Horizonten unterschiedlicher Profile repräsentiert wäre), der „heraussticht“, vielmehr gab es in den einzelnen Zeitabschnitten entweder Phasen, in denen vermehrt Schwermetalle in den Boden gelangt sind, oder es gibt lokal singuläre Punkte, an denen dies geschah (wobei zu bedenken ist, dass die Profile maximal 30 m entfernt voneinander liegen). Genau wie bei der Grabung „Audimax“ sind auch bei der Grabung „Stadtcenter“ hauptsächlich in Brandschichten oder Planierschichten überhaupt Bleikonzentrationen nachweisbar. Die Musterverteilungen von **Zink und Kupfer** sind sich im zeitlichen Verlauf sehr **ähn-**

lich. Bis auf wenige Ausnahmen stimmen die relativen Gehalte überein, so sind z.B. die Maxima für beide Schwermetalle in den Horizonten A1, A2 lokalisiert bzw. die geringsten Gehalte in den Horizonten in Horizonten G7, H5 (letzterer ist der geogene Hintergrund). Eine Differenzierung der Befunde innerhalb der einzelnen Zeitabschnitte ist (noch) nicht möglich, da diese archäologisch (bislang) nicht weiter differenziert wurden (die Auswertungen der Befund durch das Landesamt für Archäologie ist noch nicht abgeschlossen).

7.3.1.3 Archäologische Grabung „Nordost-Ecke Markt“ (K3)

Die Grabung „Nordost-Ecke Markt“ wurde vom Autor unter einem etwas anderen Blickwinkel „genutzt“ als die Grabungen „Audimax“ und „Stadtcenter“. Während mit den beiden vorigen Beispielen gezeigt werden konnte, dass es für einzelne archäologische Profile Indikatoren/Muster gibt, die eine gewisse Regelmäßigkeit und Logik der Stoffgehalte beinhalten, sollen mit der Beprobung der Grabung „Markt“ mittels **statistischer Verfahren** die **Muster in kausale Zusammenhänge** gebracht werden. Deshalb wurden neben Profilen eine Vielzahl von datierten Einzelhorizonten beprobt, um genügend „statistische Masse“ zur Verfügung zu haben. Insgesamt wurden auf der Grabungsfläche **135 (!) Bodenproben** entnommen und im Labor analysiert. Ein Beispiel eines Profils ist in Abb. 39 wiedergegeben.

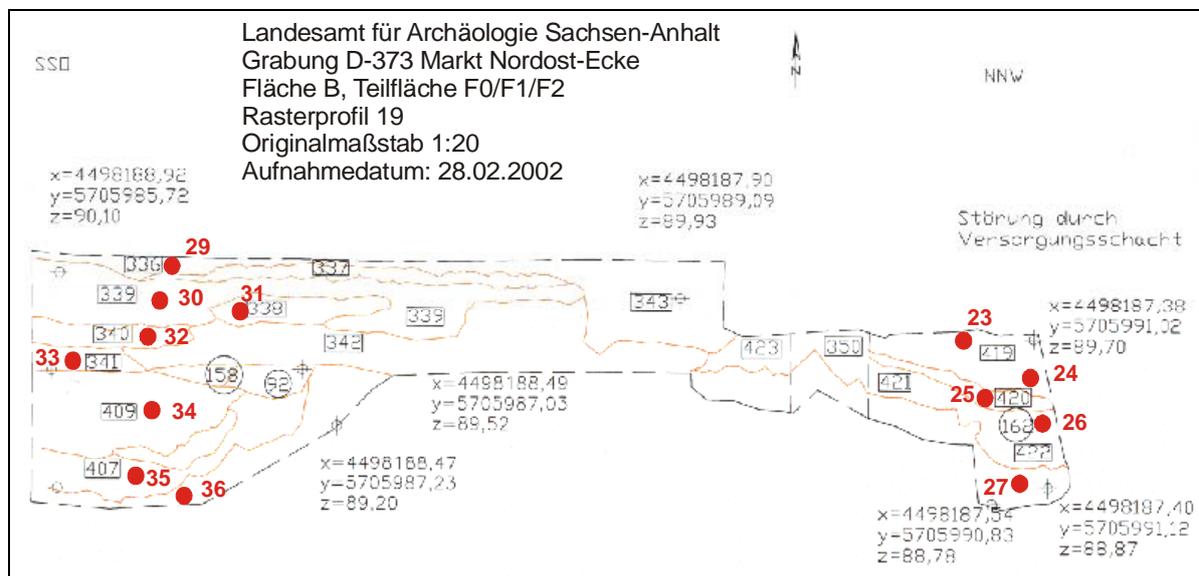


Abb. 39: Geoarchäologische Profile und Lage der Beprobungshorizonte „NO-Ecke Markt 1“ (Horizonte MP 29 – 36) und „NO-Ecke Markt 2“ (Horizonte MP 23 – 27)

Die Horizonte 36 und 27 entsprechen sich und charakterisieren das „Anstehende“. Entsprechend gering sind die Gehalte aller ermittelten Parameter (Abb. 40 und Abb. 41). Die Schwermetallgehalte weisen für beide Profile in ihrer **Tiefenverteilung** ein **sehr ähnliches Muster** auf. Die höchsten **Gehalte** sind dabei nicht in den Oberböden zu finden, sondern in tieferen Horizonten (24, 26, 31, 32), die archäologisch **mittelalterlichen Planier- bzw. Brandschichten** zugeordnet sind.

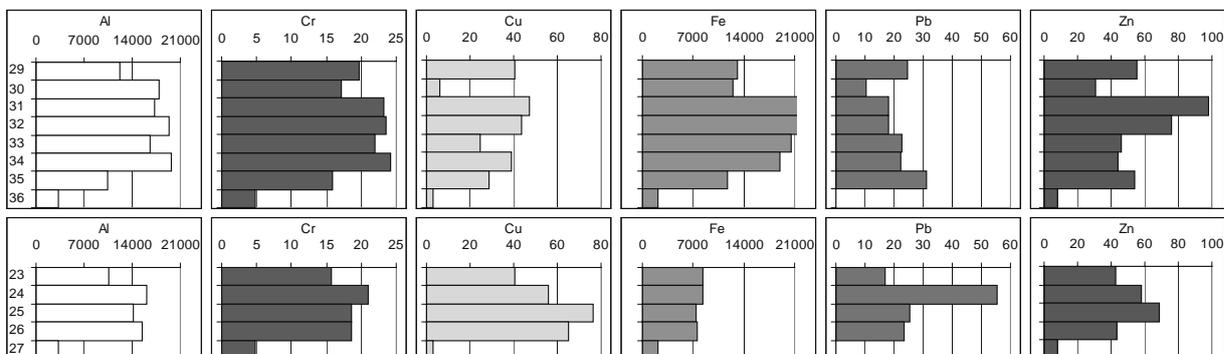


Abb. 40: Tiefenverteilungen von Schwermetallen (Gesamtgehalte in mg/kg) der Profile „Marktplatz 29-36“ und „Marktplatz 23-27“

Zum gleichen Ergebnis sind auch die Laboranalysen der beiden vorigen Grabungen gekommen. Bzgl. der Verallgemeinerung ist wichtig, dass es solche Befunde auch für andere mittelalterlich bedeutende Städte gibt (RADTKE et al. 1997, GERLACH & IMMENDORF 1998). Die **Schwermetallgehalte** geben – wie in den vorigen Grabungen auch – einige **Rätsel** auf, welche nicht abschließend zu lösen sind. So unterscheiden sich am meisten Blei und Eisen von den übrigen Metallen, was für Blei mit der geringeren Mobilisierung begründet werden könnte. Auffällig ist, dass die höchsten Schwermetallgehalte negativ mit dem Skelettanteil korrelieren. Dies lässt den Schluss zu, dass nicht allochthones Material im herkömmlichen Sinn (als stadtfremdes eingebrachtes Material) die Ursache erhöhter Gehalte ist, sondern die Planierung bzw. Brände zu einer **Aufkonzentration der Schwermetallgehalte** geführt hat („**innerstädtische Metamorphose**“). Dass es zu verschiedenen Zeiten unterschiedliche Nutzungen bzw. Nutzungsintensitäten an gleicher Stelle gegeben haben muss, zeigt auch die Betrachtung der **Phosphatgehalte**. Diese weisen „Sprünge“ zwischen einzelnen Horizonten auf, welche für einzelne Schwermetalle z.B. nahezu gleiche Gehalte haben (Horizonte 31, 32).

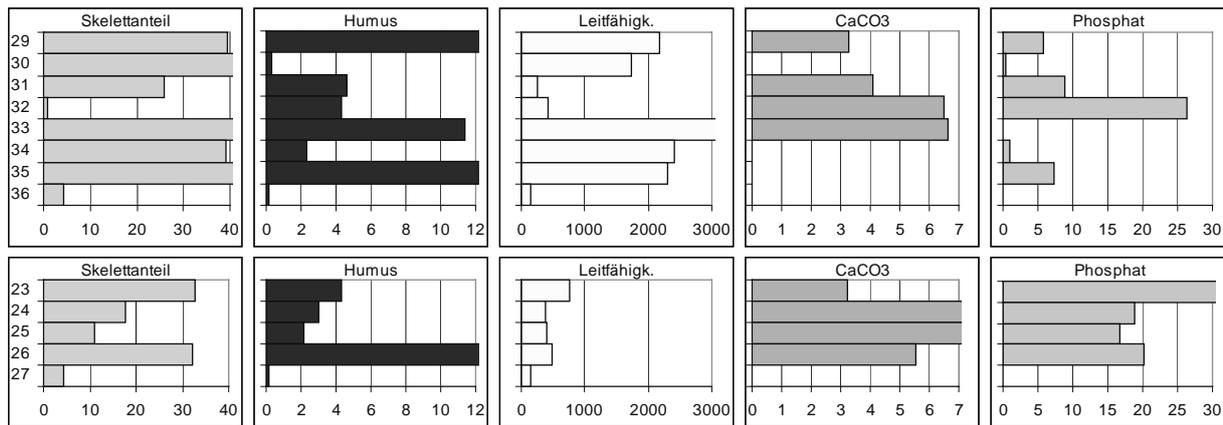


Abb. 41: Tiefenverteilungen von pedologischen Parametern der Profile „Marktplatz 29-36“ und „Marktplatz 23-27“

Durch die archäologischen Funde konnte (wie bei den beiden vorigen Grabungen auch) für die beprobten Horizonte neben der „Nutzung“ deren zeitliche Stellung eingegrenzt werden. Aufgrund der großen Probenanzahl ist auf eine Charakterisierung im Text verzichtet. Die Vielzahl der Bodenproben (135) ergibt die Möglichkeit, **statistisch eindeutige Zusammenhänge** zu berechnen bzw. Hypothesen zu testen. Bislang wurden nur die **Schwermetallgesamtgehalte** (ermittelt im Königswasseraufschluss) betrachtet. Nun wurde untersucht, ob auch andere Aufschlussverfahren, welche andere Bindungsformen „repräsentieren“, zu statistischen Zusammenhängen führen, die geoökologisch erklärbar sind. Dazu wurde der **Ammoniumnitraufschluss** benutzt, der eigentlich die Pflanzenverfügbarkeit der Schwermetallgehalte erfasst. In den folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse der **Korrelationsrechnungen** der Schwermetallgehalte (Königswasser und Ammoniumnitrat) untereinander, der Schwermetalle und Bodenparameter und der Bodenparameter untereinander dargestellt.

	Al-KW	Cr-KW	Cu-KW	Fe-KW	Pb-KW	Zn-KW	Al-AN	Fe-AN	Cr-AN	Cu-AN	Pb-AN
Cr-KW											
Cu-KW		-,216**									
Fe-KW		,644**	-,236**								
Pb-KW			,595**								
Zn-KW			,643**		,491**						
Al-AN											
Fe-AN		-,208*	,555**		,565**	,469**					
Cr-AN			,511**		,488**	,388**		,832**			
Cu-AN			,277**		,324**	,232**		,447**			
Pb-AN			,603**		,575**	,501**		,921**	,936**	,321**	
Zn-AN			,392**		,467**	,444**		,726**	,522**	,691**	,646**

* Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 signifikant (2-seitig).
 ** Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant (2-seitig).
 KW: Königswassergesamtgehalte, AN: Gehalte im Ammoniumnitrat auszug

Abb. 42: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=135) von Schwermetallgehalten der Grabung „Nordost-Ecke Markt“

Bei der Betrachtung der **Korrelation der Schwermetalle** untereinander fällt auf, dass **Aluminium** (das als besonders toxisches Element gilt) nicht mit diesen korreliert und auch nicht die Gehalte der beiden Aluminiumaufschlüsse untereinander. Für die **Schwermetalle** korrelieren elementbezogen immer die beiden Aufschlüsse untereinander. Die Schwermetalle untereinander zeigen Unterschiede im Zusammenhangsmaß. Am deutlichsten fällt **Chrom** auf, welches nur mit Eisen positiv korreliert, mit Kupfer sogar negativ und gar nicht korreliert mit Blei und Zink. Für die übrigen Schwermetallkonzentrationen gibt es einen hoch signifikanten Zusammenhang. Gleiches gilt auch für die Gehalte der **Ammoniumnitrat**aufschlüsse. Da anthropogen angereicherte Schwermetalle im allgemeinen einen höheren Anteil verfügbarer Gehalte als geogene Schwermetalle aufweisen (HINDEL et al. 1998, ZEIEN 1995, FILIPINSKI et al. 1987), ist dieses eigene Ergebnis im urbanen Raum einleuchtend und auch aus der Literatur sowohl national (SCHRAPS et al. 2000, WOLFF 1993) als auch international (SÖRME et al. 2001, NAN & ZAO 2000, WILCKE et al. 1999, LOEB 1998) bekannt.

Die Konzentrationen verschiedener **pedologischer Parameter** beeinflussen wesentlich die **Schwermetallsorption** im Boden (KEPPLER 1999, HINDEL et al. 1996, HORNBURG & BRÜMMER 1993) und sind damit eine wichtige **Steuergroße des Bodestoffhaushaltes** (WELP 2000, ALLOWAY 1999). Um die Steuergroßen zu ermitteln, bietet sich bei der großen Zahl der Proben ebenfalls die (nichtparametrische) Korrelation an (Abb. 43). Zusätzlich zu den bislang ermittelten Bodenparametern wurden für die Proben der Grabung am Marktplatz noch Kohlenstoff, Schwefel und Stickstoff (mittels CNS-Analyse) bestimmt.

	Al-KW	Cr-KW	Cu-KW	Fe-KW	Pb-KW	Zn-KW	Al-AN	Fe-AN	Cr-AN	Cu-AN	Pb-AN	Zn-AN
Humus		,331**	,593**	-,274**	,529**	,546**		,827**	,647**	,394**	,750**	,630**
Leitf.			,237**		,376**			,624**	,499**	,359**	,580**	,656**
pH-Wert		,242**	-,220*					-,524**	-,399**		-,463**	-,457**
CaCO3			,496**		,563**	,553**		,385**	,395**		,433**	
N (%)		-,330**	,285**	-,255**		,374**		,589**	,453**	,311**	,511**	,541**
C (%)		-,310**	,610**	-,299**	,552**	,559**		,817**	,660**	,476**	,749**	,660**
S (%)		-,383**	,384**	-,289**	,348**	,323**		,689**	,554**	,355**	,623**	,673**
Skelett		-,259**						,277**			,259**	,372**
Phosph.		,229*			-,235**			-,273**	-,254**		-,286**	-,365**

** Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant (2-seitig).
 * Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 signifikant (2-seitig).
 KW: Königswassergesamtgehalte, AN: Gehalte im Ammoniumnitrat auszug

Abb. 43: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=135) von Schwermetallgehalten und pedologischen Parametern der Grabung „Nordost-Ecke Markt“

Als ein Ergebnis kann festgehalten werden, dass die **Aluminiumgehalte** nicht in Zusammenhang stehen mit den Konzentrationen der pedologischen Parameter. Die wenigsten korrelativen Zusammenhänge zu den Bodenparametern weisen **Eisen und Zink** auf, wobei Eisen nur negativ korreliert. **Chrom** fällt auch dahingehend auf, dass es negative Korrelationen zu mehreren pedologischen Steuergroßen gibt. Die **übrigen Schwermetalle** (sowohl die Gesamtgehalte als auch die im Ammoniumnitrat aufschluss) weisen statistische Zusammenhänge hauptsächlich zu Humus-, Kohlenstoff- und Schwefelgehalt auf. **Phosphat** scheint sich nicht diesem Muster anzupassen, was ja schon bei den beiden vorigen Grabungen auffiel.

Zum Abschluss wird durch eine Korrelationsanalyse untersucht, welche pedologischen Steuergroßen von einander abhängig sind bzw. in kausalem Zusammenhang stehen (Abb. 44).

	Humus	Leitfähigk.	pH-Wert	CaCO3	N (%)	C (%)	S (%)	Skelett
Leitfähigk.	,427**							
pH-Wert	-,454**	-,618**						
CaCO3	,433**							
N (%)	,658**	,417**	-,477**					
C (%)	,876**	,423**	-,359**	,468**	,675**			
S (%)	,677**	,613**	-,546**		,718**	,700**		
Skelett	,276**	,381**	-,331**		,296**	,270**	,437**	
Phosphat		-,596**	,355**				-,302**	-,239**

** Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant (2-seitig).
 * Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 signifikant (2-seitig).

Abb. 44: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=135) von pedologischen Parametern der Grabung „Nordost-Ecke Markt“

Der **Humusgehalt** korreliert negativ mit dem **pH-Wert** und gar nicht mit **Phosphat**. Diese beiden Größen stechen von den übrigen dahin gehend ab, dass sie überhaupt negative Korrelationen aufweisen und positiv nur miteinander selbst korrelieren. Weiterhin werden die Zusammenhänge zwischen Phosphat und Skelettgehalt/Leitfähigkeit (negative Korrelation) der vorigen Grabungen bestätigt, so dass diese Aussagen verallgemeinerbar sein dürften – zumindest für die hallesche Altstadt. Die übrigen Korrelationen „entsprechen“ denen anderer Untersuchungen städtischer Böden und sind mit den typischen über den atmosphärischen Pfad eingetragenen Belastungen/Veränderungen des Stoffhaushaltes (z.B. Eintrag von zu Metallen/Schwermetallen, kalkhaltige Stäube) zu begründen (LINDE et al. 2001, TAO 1998, THUY et al. 1998).

7.3.1.4 Zusammenfassung der Ergebnisse der archäologischen Grabungen - Schlussfolgerungen

Aus den Befunden der drei geoarchäologischen Grabungen und ihrer Diskussion lassen sich folgende **Erkenntnisse** zusammenfassen:

- Die **prä-urbanen** Böden sind im Bereich der archäologischen Grabungen nicht mehr nachweisbar, sondern derart gestört, dass keine prä-urbanen Horizonte erkennbar sind.
- Die untersuchten Stoffe und Parameter eignen sich in **unterschiedlicher Qualität** zur **Mustererkennung** von Tiefenverteilungen.
- Die Erstellung „**chronologischer Profile**“ erlaubt es, Aussagen über mehrere Zeitabschnitte zu vergleichen.
- **Sprünge** in der **Konzentration einzelner Stoffe** zwischen einzelnen Zeitabschnitten sind bei allen drei Grabungen in den Profilen „sichtbar“ (besonders Blei, Phosphat, Humusgehalt, Skelettgehalt).
- Der **Skelettgehalt** ist ein Indikator für anthropogen eingebrachte Fremdsubstrate.
- Stoffkonzentrationen sind nicht nur bzw. nur bedingt abhängig von der **Nutzungsintensität**. Der Zeitraum der Nutzung hat Einfluss auf die „Aufkonzentration“ besonders immobilier Stoffe (z.B. Blei, Phosphat) ebenso wie die Aufkonzentration durch singulär Ereignisse wie **Brände** oder **Planierungen**.
- In einzelnen historischen Horizonten werden **Stoffgehalte** ermittelt, die nach heutigem Rechtsstand „**Prüfwerte**“ (UVP-VwV 1995) **überschreiten**.
- **PAK** eignen sich sehr gut, um die „Belastungszeit“ städtischer Böden einzugrenzen: Es kann unterschieden werden zwischen prä-urban, vorindustriell-urban und industriell-urban beeinflussten Horizonten.
- Die **Schwermetalle** sind **Indikatoren unterschiedlicher Aussagestärke**.
- **Blei** ist ein starker Indikator, um anthropogene Aktivitäten generell anzuzeigen. Besonders in Brand- und Planierschichten wurden sehr hohe Konzentrationen ermittelt. Es gibt aber auch eine Vielzahl an Horizonten, in welchen Blei analytisch nicht nachweisbar ist.
- **Zink** und **Kupfer** sind in allen Horizonten nachweisbar und in ihren Schwankungen feiner als Blei.
- In den Profilen erkennbare relativ hohe **Leitfähigkeiten** geben Hinweise auf lösungsfähige Stoffe/Substanzen, wobei aber nicht auf die Stoffe selbst geschlossen werden kann.
- Nicht aussagekräftig ist der **pH-Wert**, da er nur unwesentlich bzw. nicht signifikant und ursächlich nicht begründbar schwankt. Auch der Kalkanteil ist entweder gering schwankend oder relativ hohe Konzentrationen einzelner Horizonte sind nicht ursächlich begründbar.
- Die **Bodenart** hat keinen nachvollziehbaren Einfluss auf Stoffgehalte. Dies gilt für Einzelprofile ebenso wie für die statistische Auswertung.
- Es gibt nicht nur zwischen archäologisch-historischen **Zeitabschnitten Unterschiede** in den Tiefenverteilungen, sondern auch **innerhalb einzelner Abschnitte**.
- Es gibt für alle untersuchten Horizonte **Korrelation** zwischen **Zink** und **Kupfer** und **Humusgehalt**.
- Die absoluten Gehalte weisen darauf hin, dass **Kupfer** verstärkt **bis zum 14./15. Jh.** imitiert wurde, **Zink** dagegen **ab dem 13./14. Jh.**
- Die im **Ammoniumnitraufschluss** ermittelten „leicht verfügbaren“ Schwermetalle korrelieren mit den Gesamtgehalten.
- **Aluminium** weist als einziges Element keinerlei statistische Zusammenhänge zu den Schwermetallen oder pedologischen Parametern auf. Für **Chrom** wurde als einziges Element negative Korrelationen ermittelt.

7.3.2 Archivierung und Dokumentation aller Bodenprofile in einer GIS-gestützten Datenbank

Die Darstellung der erhobenen Gelände- und Labordaten für die im Bereich der archäologischen Grabungen untersuchten Bodenprofile im vorigen Teilkapitel ergibt, dass eine **Vielzahl von Bodeninformationen** ermittelt wurden. Für die Bearbeitung wurde ein **ArcView-Projekt** mit einer **Access-Datenbank** kombiniert. Topographische Grundlage ist die Digitale Stadtkarte, welche mit der Access-Datenbank über die Rechts- und Hochwerte der aufgenommenen Bodenprofile verknüpft ist, so dass zum einen im ArcView alle **Bodenprofile lokalisiert** und gleichzeitig die „dahinter steckenden“ **Bodenprofil-Informationen** und auch alle **Labordaten** abgefragt werden können. Als **Beispiel** ist in der folgenden Abbildung das ArcView-Bild für drei Bodenprofile im Bereich der Grabung „Audimax“ dargestellt. Im oberen Teil des Bildschirms sieht man die Bodenprofile lokalisiert („unter“ dem jetzigen Audimax), im unteren Teil ist ein Teilausschnitt der Access-Datenbank mit Profil-/Horizontinformationen zu sehen.

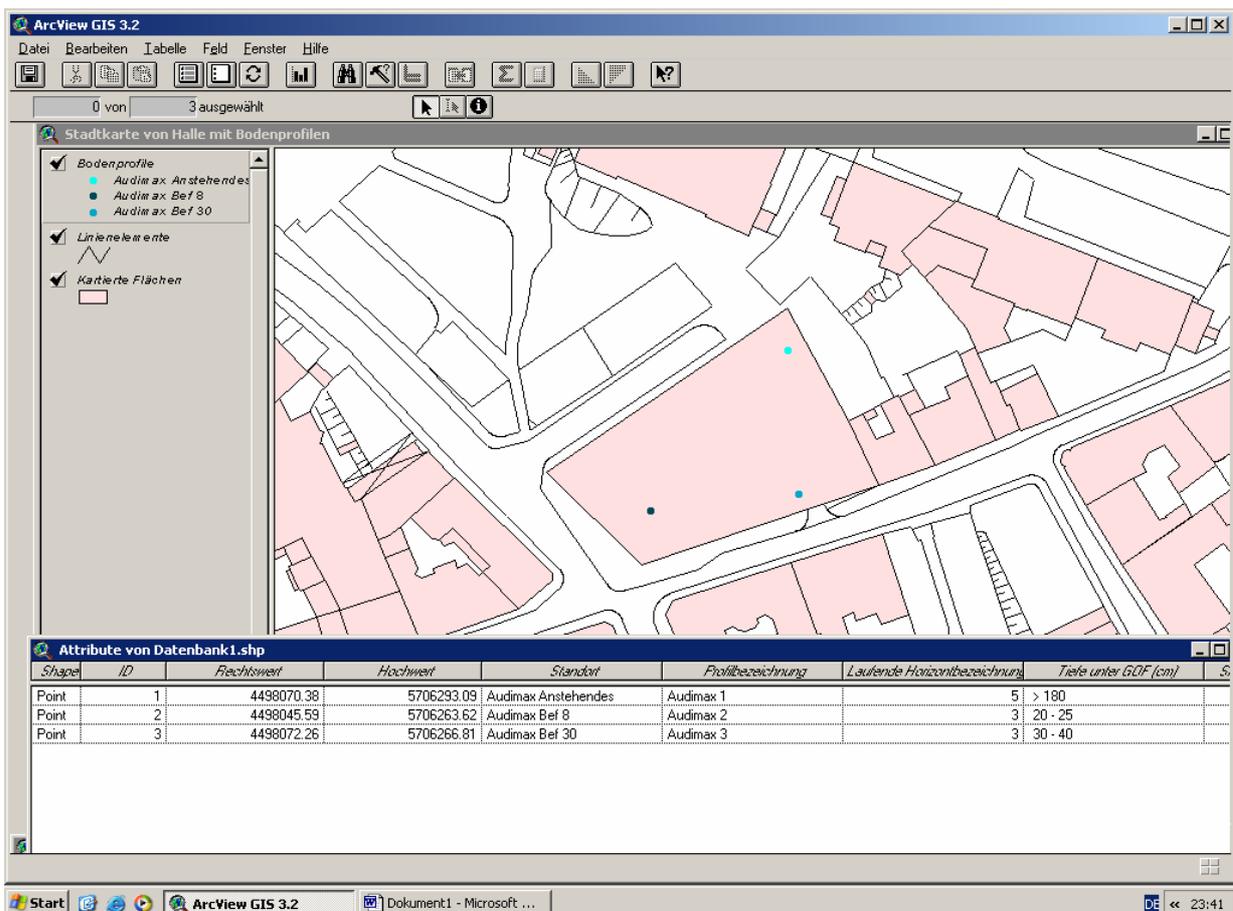


Abb. 45: „Bildschirm-Anblick“ einer Abfrage des ArcView-Projektes

Praktisch ist die Access-Datenbank so zu nutzen, dass **alle Bodeninformationen** (Gelände-, Labordaten, Beschreibungen, Bodentyp etc.) pro Profil bzw. pro Horizont gespeichert werden und innerhalb der Datenbank **beliebige Abfragen/Sortierungen** möglich sind. So lässt sich z.B. filtern, wo welche Bodentypen (punkthafte Profile!) zu finden sind oder wo die Profile/Horizonte mit den höchsten Zinkgehalten liegen usw. Andererseits lässt sich über das ArcView-Projekt ein **beliebiger Raumausschnitt** wählen und man bekommt als Ergebnis die **Profile und Profildaten** geliefert, die in dem gewählten Ausschnitt (bisher) verfügbar sind. Insgesamt kann dieses **Bodeninformationssystem als Modul** oder Fachinformationssystem eines **kommunalen Umweltinformationssystems** genutzt werden, da über die **Digitale Stadtkarte** bzw. die Rechts- und Hochwerte der „amtlich-kommunale“ **Raumbezug** gegeben ist. In Kap. 11 wird gezeigt, warum und dass ein solches Informationssystem wichtig ist, um aus Sicht des **kommunalen Bodenschutzes nachhaltige Strategien** zur Sicherung bzw. Verbesserung der städtischen Umweltqualität entwickeln zu können.

7.3.3 Weitere Bodenkartierungen im Kerngebiet

Neben den Kartierungen und der Bodenprobeentnahme der archäologischen Grabungen wurden im Kerngebiet der Stadt (begrenzt durch die Stadtmauer) für weitere Bodenkartierungen einige Baublöcke ausgewählt. Die Auswahl erfolgte dabei basierend auf der Lokalkennntnis hauptsächlich dahingehend, möglichst „**ungestörte**“ **Blöcke** zu erfassen. Es sollten also Blöcke sein, die nicht durch Neubauten oder Zerstörung der Altstadtstruktur gekennzeichnet sind. Darüber hinaus wurde am (ehemaligen) Institutsstandort am Domplatz eine Kartierung des **abgeschlossenen Innenhofbereichs** durchgeführt.



Abb. 46: Lage von Teiluntersuchungsgebieten in der Kernstadt (Bildquelle: www.mz-web.de 12.01.2004, verändert)

7.3.3.1 Block Brüderstraße (K4)

Das Untersuchungsgebiet K4 liegt in der **gründerzeitlich geprägten Innenstadt** Halles (nur einige ältere Gebäude). Die einzelnen Grundstücke sind zumeist mit drei- bis viergeschossigen Vorderhäusern, Seitenflügeln sowie Hinterhäusern bebaut. Vor allem der West- bzw. Nordwestteil des Baublocks weist einige Lücken in der ursprünglich geschlossenen Umbauung des Blockrandes auf. Sie resultieren aus Kriegsschäden sowie nachkriegszeitlichen Abrisstätigkeiten und sind z.T. als Brachfläche erhalten oder wurden spontan in provisorische Parkplätze umgewandelt. Als eine weitere Folge sind die, sich optisch stark von den benachbarten gründerzeitlichen Fassaden abhebenden, Flachbauten der Nachkriegszeit (ehem. Kriegsbaulücken) im nordwestlichen Abschnitt zu sehen. Die, den Baublock umschließenden, Gehwege sind in der für Halles gründerzeitliche Innenstadt typischen Breite (ca. 2 - 3 m) angelegt. Begrünung findet sich nur als Spontanvegetation auf den Brachflächen verkommener Grundstücke. In einem begrünten Innenhof wurde ein Profil und auf einer als Parkplatz genutzten Fläche zwei Bodenprofile angelegt.

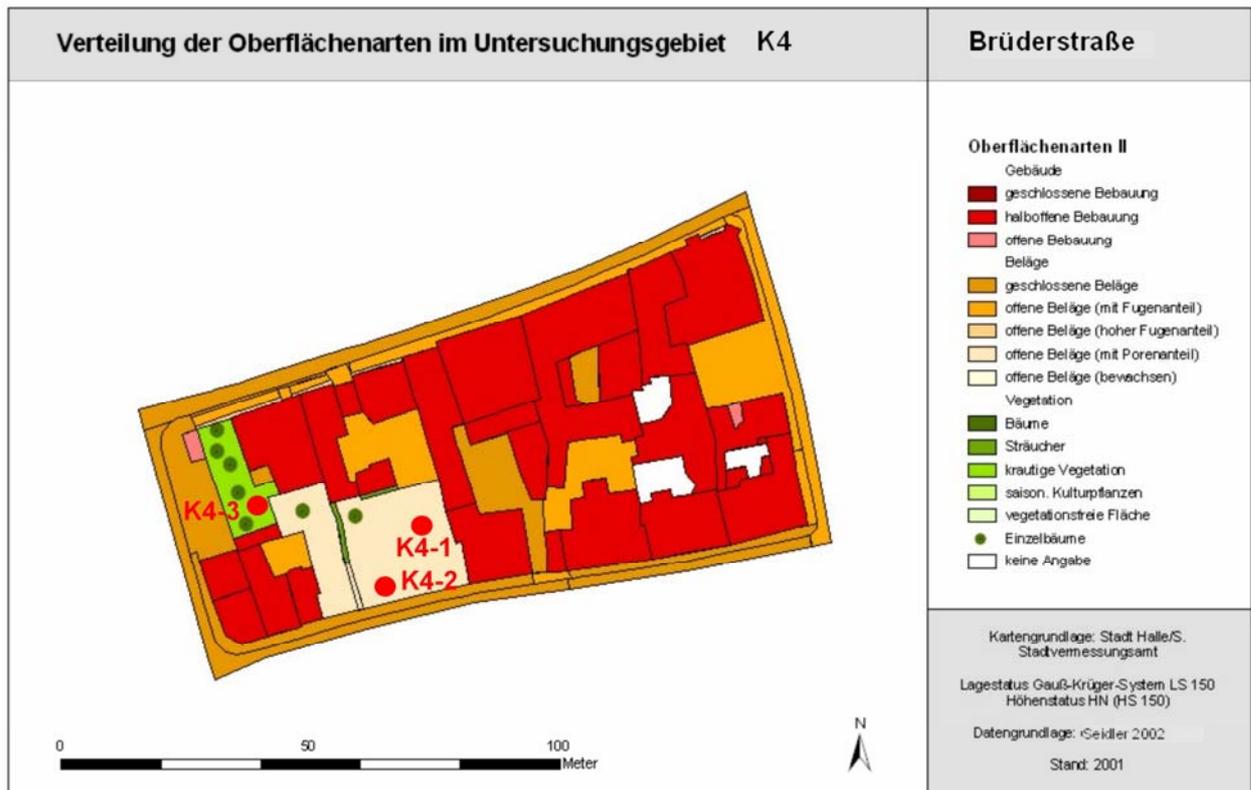


Abb. 47: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks „Brüderstraße“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile

Die **mechanische Verdichtung** im Bereich aller drei Bodenprofile war dermaßen groß, dass es nicht möglich war, ohne Spitzhacke in Tiefen größer 40 cm vorzudringen. Da (wie es im Stadtgebiet generell der Fall ist) die Gefahr bestand, Leitungen zu beschädigen, konnte nicht weitergegraben werden und auch Bohrstockeinschläge erschienen zu gefährlich. Alle drei Profile weisen ein ähnliches Bild auf. Es gibt keine eindeutig autochthonen Substrate, sondern das für **Innenstädte typische Bild** eines „unsortierten“ Substratgemisches (Abb. 47). Es ist ein sehr hoher Skelettanteil von über 40 % zu verzeichnen, selbst ohne Berücksichtigung der (z.T. vollständigen) Ziegelsteine. Die Profilsprache ergibt ein geschichtetes **Profil** aus **mehreren Mischsubstraten** natürlichen und technologenen Ursprungs.

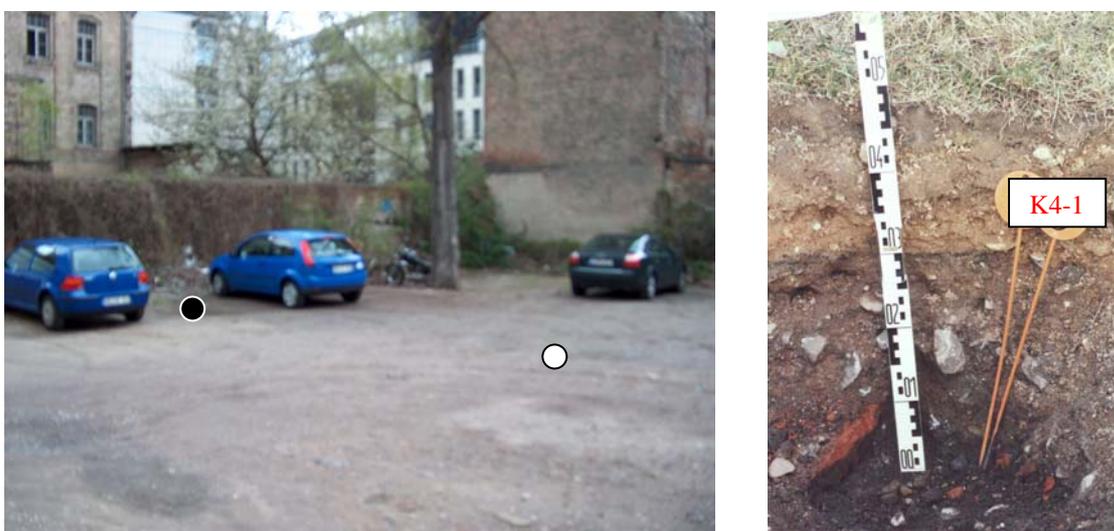


Abb.48: Dokumentation der durch die Profile K4-1 ● und K4-2 ○ repräsentierten Fläche und des Profils K4-1 im Block „Brüderstraße“

In Tab.18 ist dargestellt, wie die einzelnen **Horizontmächtigkeiten** zwischen den drei Bodenprofilen variieren. Es zeigt sich das **typische Bild** des Bodenaufbaus in **mitteleuropäischen Kernstädten**. Mehrere Schichten mit unterschiedlichen Anteilen an Substraten natürlicher und technogener Herkunft lagern übereinander. Die Mächtigkeit der Horizonte kann von Profil zu Profil stark schwanken.

Tab. 18: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten Profile K4 (3 Bodenprofile)

	Durchschnittl. Mächtigkeit (in cm)	Min. Mächtigkeit (in cm)	Max. Mächtigkeit (in cm)	Relative Standardabweichung (in %)
ojAh	10	5	15	19
ojAhBv	10	0	20	35
ojyYb A	10	0	15	45
ojyYbz A	> 20	> 5	> 25	-

Auf die Darstellung der **Tiefenverteilungen** dieser Profile wird verzichtet, da es keinerlei Muster oder Zusammenhänge zwischen einzelnen Stoffgehalten gibt. Auch zwischen den Profilen unterscheiden sich die Tiefenverteilungen derart, dass **keinerlei signifikante Aussagen** getroffen werden können. Dies mag entweder an der geringen Zahl der Profile liegen oder an der „Tatsache“, dass im inneren Bereich der Kernstadt die Bodenverhältnisse horizontal und vertikal sehr stark schwanken (können).

7.3.3.2 Block Schulstraße (K5)

Die **gründerzeitliche Bebauung** des Untersuchungsgebietes K5 lässt sich zum Großteil mit der des vorigen vergleichen. An die nahezu geschlossene und größtenteils sanierte Umbauung des Blockrandes schließen sich auch hier hofseitig gerichtete Seitenflügel und Hinterhofgebäude an. Abrissbedingte Baulücken wurden durch Neubauten in den 90er Jahren gefüllt. Die dieser Bebauung zugehörigen Innenhofflächen im zentralen Teil des Baublocks wurden ebenfalls saniert und durch öffentlich nutzbare Fußwege sowie private Anwohnerparkplätze erschlossen. Die Begleitung dieser Erschließungsmaßnahmen durch vereinzelte Begrünungen machen dabei nur einen geringen Anteil an dieser Fläche aus. Südlich daran anschließend befindet sich eine derzeit noch brachliegende größere Freifläche. Sie resultiert ebenfalls aus einer Entkernung der Hinterhöfe, wobei überwiegend erheblich geschädigte Hinterhäuser mit ehemals kleingewerblicher Nutzung betroffen waren. Alle anderen Freiräume setzen sich aus verwinkelten Blockinnenräumen zusammen. Die all- oder mehrseitig geschlossenen Hinterhöfe sind nur in wenigen Fällen durch Hofzufahrten zugänglich und in der Regel versiegelt. Vereinzelt finden sich kleinere Anlagen von Grünflächen sowie größere Bäume. Es wurden 4 Bodenprofile angelegt (Abb. 49).

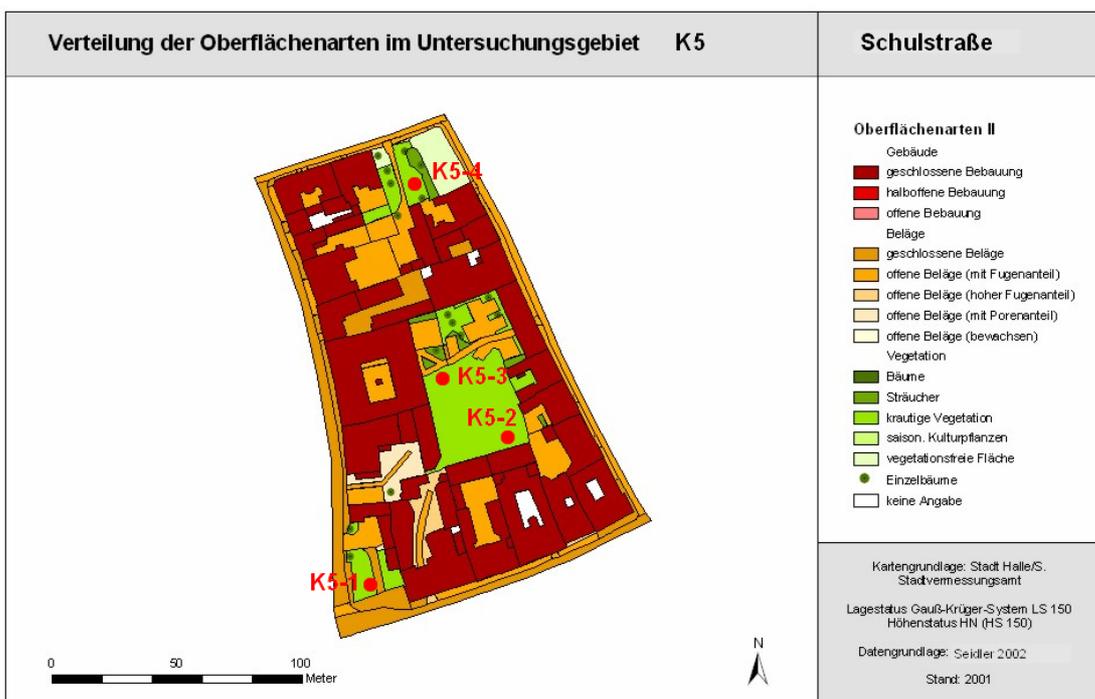


Abb. 49: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks „Schulstraße“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile



Abb. 50: Dokumentation der durch das Profil K5-1 ● repräsentierten Fläche und des Profils K5-1 im Block „Schulstraße“

Die Bodenprofile liegen verteilt auf den einzelnen Grünflächen des Baublockes. Dadurch ergibt sich wie beim vorigen Baublock, dass die **Profilaufnahmen** sich **unterschieden** und ebenfalls die **Tiefenverteilungen** keinem einheitlichen Muster folgen. Charakterisiert sind alle Profile durch die **Übereinanderlagerung** unterschiedlich vermischter Horizonte aus Substraten natürlicher und technogener Herkunft. In nahezu allen Horizonten finden sich Zeugnisse der historischen (wahrscheinlich mittelalterlichen) Bebauung in Form von Ziegelresten, die allerdings nicht näher datiert werden können. Ebenfalls finden sich Zeugnisse natürlicher allochthoner Substrate (insbesondere Sande) und nicht zuzuordnender umgelagerter Oberböden. Letztere dürften aus dem näheren Umfeld stammen. **Insgesamt** macht die Untersuchung der Profile der beiden Baublöcke der Kernstadt deutlich, dass der **Bodenaufbau** über den als „historisch“ bezeichneten Ablagerungen **räumlich sehr heterogen** ist und es **keine eindeutigen Tiefenverteilungsmuster** der analysierten Parameter gibt.

7.3.3.3 Innenhof Neue Residenz (K6) (Domstraße 5)

Am Institutsstandort der „Neuen Residenz“ bot sich die Möglichkeit, im **Innenhof** mehrere Bodenprofile anzulegen (Abb. 51). Bereits bei Bohrstocksondierungen zeigte sich, dass der Innenbereich durch mehrere Dezimeter (und mehr) mächtige Auffüllehazone gekennzeichnet ist. Die Profilaufnahmen bestätigten dies. Alle bis in mindestens 1m Tiefe aufgegrabenen Schürfe weisen die **Übereinanderlagerung** von anthropogen beeinflussten Horizonten auf. Diese Beeinflussung sieht so aus, dass immer wieder Ziegelreste und Schlackenreste sowie allochthones natürliches Material (z.B. Saalekiese, Kaolinton, Porphybruchstücke) ohne erkennbares Muster in allen Horizonten auftauchen.



Abb. 51: Luftbildaufnahme vom Teiluntersuchungsgebiet „Innenhof Neue Residenz“ (Bildquelle: www.mz-web.de 12.01.2004, verändert) und Bodenprofilaufnahme („Dom3“)

Bei Betrachtung der **Tiefenverteilung** ist auffällig, dass zumindest bei einigen Parametern eine **Regelmäßigkeit** existiert. In Abb. 52 sind die Tiefenverteilungen der Schwermetalle Blei, Kupfer und Zink sowie die der Organischen Substanz und des Kalkgehaltes dargestellt. Die Humus- und Kalkgehalte zeigen eindeutig ein gleiches Muster, auch bei den Schwermetallen gilt dies in abgeschwächter Form für Kupfer und Zink. Blei folgt nicht diesem Muster. Leider gab es keinerlei (z.B. archäologisch) datierbare Funde in den Profilen, so dass jede „Altersdiskussion“ hypothetisch bleibt. Eine **Schlussfolgerung** kann dennoch gezogen werden: Anderes als in den „offenen“ Bereichen der Altstadt fand in einem „abgeschlossenen Bereich“ (eines Innenhofes) nicht eine Durchmischung von Horizonten statt, sondern es erfolgte vielmehr eine (kontinuierliche) Aufhöhung.

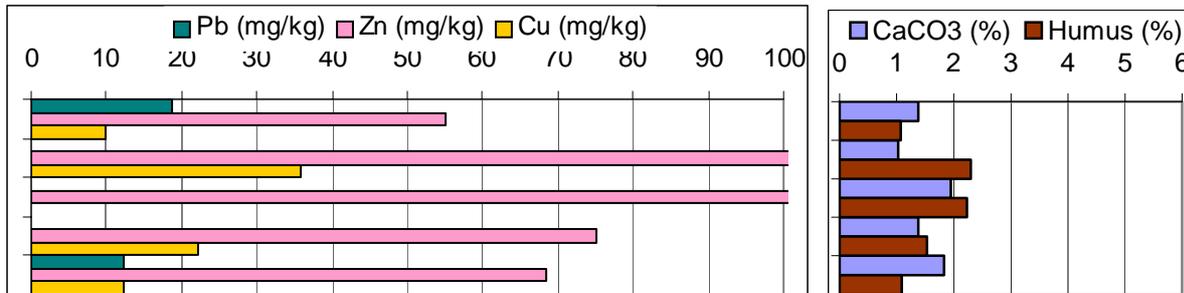


Abb. 52: Tiefenverteilungen von Schwermetallen (Gesamtgehalte) und pedologischen Parametern des Profils „Dom 3“

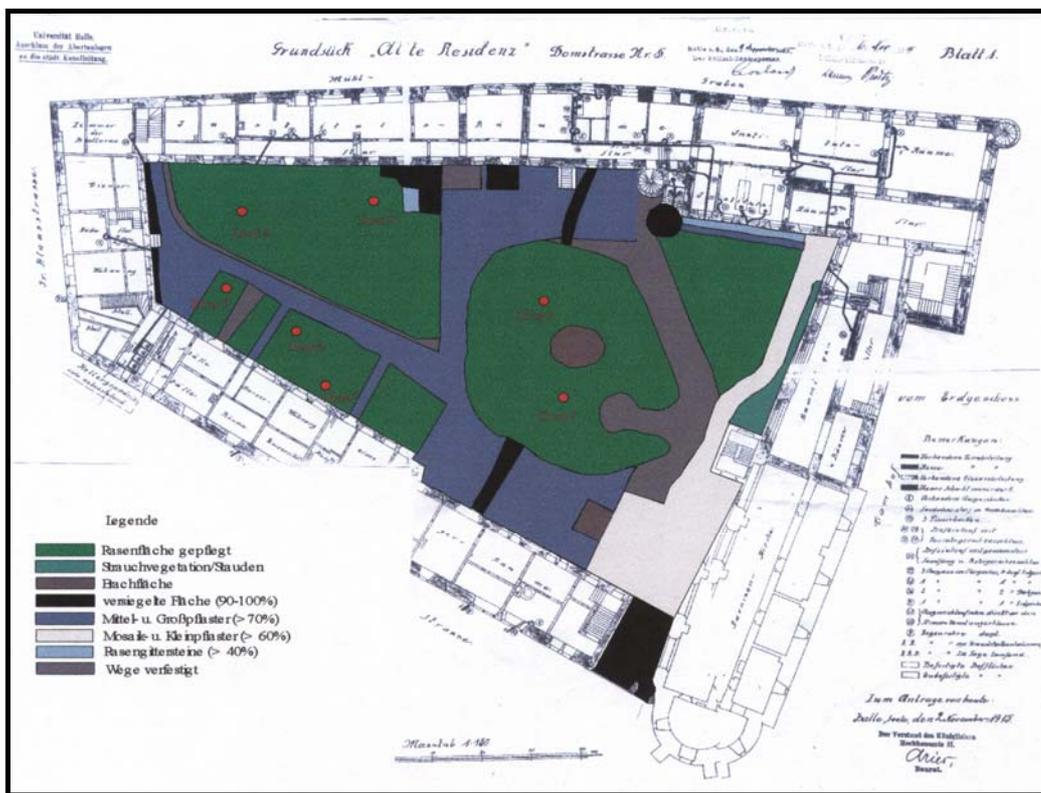


Abb. 52: Kartierung der Oberflächenart „Innenhof Neue Residenz“ und Lage der Bodenprofile

Die Horizonte der 7 Profile sind als „Variationen“ von o1A bis o1Ybz zu bezeichnen. Aufgelagert ist zuoberst ein Ah, der nach Lokalkennntnis in den letzten 30 Jahren nicht verändert wurde. Im Bereich der Profile „Dom 5“ und „Dom 7“ befinden sich das **Bodensickerwassermessfeld** und eine Klimastation. Für diesen Standort wird eine Bodenwasserhaushaltsmodellierung angestrebt (KOCH 2004).

7.3.4 Blockbebauung

Wie in Kap. 5 aufgeführt, gibt es **mehrere großflächige gründerzeitliche Stadterweiterungen** in Halle. Um den Einfluss der **naturräumlichen Gegebenheiten** (insbesondere die prä-urbane Bodenausstattung) mit den **anthropogenen Eingriffen** zu vergleichen, wurden aus **drei** unterschiedlich in

der Stadt gelegenen **Quartieren (Paulusviertel, Südliche Vorstadt, Ankerviertel)** nach einer Kartierung der Oberflächenarten aus Sicht des Autors möglichst repräsentative Blöcke ausgewählt. In diesen Blöcken wurden jeweils mehrere Bodenprofile aufgedigelt und beprobt.

7.3.4.1 Quartier Paulusviertel

Das bis 1881 überwiegend als Weide und Ackerland genutzte **Einzugsgebiet der Faulen Witschke** wurde im Zuge der gründerzeitlichen Stadterweiterung flächendeckend überbaut - heute wird das Stadtviertel als **Paulusviertel** bezeichnet. In der Literatur wurde lange davon ausgegangen, dass die (ehemalige) Faule Witschke einen gefassten unterirdischen Ablauf/Überlauf in die Saale hat. Im Zuge der vom **Geologischen Landesamt Sachsen-Anhalt** vorbereiteten ingenieurgeologischen Kartierung der Stadt Halle wurde durch detaillierte Auswertung von Bohrungen diese Meinung revidiert (HECKNER et al. 2001). Es wurde festgestellt, dass die im Untergrund anzutreffenden Gesteine des Rotliegenden in diesem Raum überwiegend von Lockersedimenten des Quartärs und Tertiärs überlagert werden. Lokal sind hier sogar Braunkohleflöze anzutreffen. Wenn vornehmlich in den städtebaulichen Kernbereichen nicht selten unerwartet schwierige Baugrundverhältnisse angetroffen werden, ist das zumeist **anthropogenen Eingriffen** in den Naturraum, wie Braunkohlebergbau, Abgrabungen, Verfüllungen und Aufschüttungen, geschuldet (BRENDEL & FANTASY 1982). Besondere Beachtung verdient das ehemals sehr vielgestaltige **Gewässernetz**, das Wasser von der östlichen Hochfläche der Saale zuführte. Es bestand aus zahlreichen, heute verfüllten, verrohrten oder überbauten Bachläufen, Teichen, Weihern und Tümpeln. Nach alten Karten und Beobachtungen in Bohrungen und Baugruben ist es näherungsweise rekonstruierbar. Ingenieurgeologische Probleme beim Überbauen reliefausgleichender Aufschüttungen oder Verfüllungen können unter gestörten hydrologischen Abflussbedingungen zu erheblichen und nachhaltigen **Schädigungen der Bausubstanz** eskalieren. Entsprechende Erfahrungen mussten in Halle besonders im Paulusviertel gemacht werden. Hier war eine Gebäudeschadensentwicklung zu beobachten, die nicht allein dem Mangel an Werterhaltung anzulasten ist. Die räumliche Verteilung der z.T. bis zum Abriss geschädigten Bausubstanz lässt Zusammenhänge zu den Baugrundverhältnissen erkennen. Der baugrundgeologisch kritische Einwirkungsbereich konnte vom Geologischen Landesamt relativ sicher abgegrenzt werden (Abb. 53). Nachweislich erfolgte vor der Bebauung u.a. eine **Nivellierung** des ursprünglich morphologisch gegliederten Geländes durch teilweise **>5m mächtige Aufschüttungen** (Abb. 54). Diese hohen Mächtigkeiten kaum verdichteter, d.h. nicht „gewachsener“ Böden werden zumeist von organisch durchsetzten und daher **stark komprimierbaren (holozänen) Bachsedimenten** unterlagert. Daraus resultiert ein **heterogener vertikaler Baugrundaufbau** mit zumindest bereichsweise verminderter Tragfähigkeit. Die Auflasten der Bebauung verursachten ungleichmäßige Setzungen, die zu typischen Bauschäden wie Rissen und Schiefstellungen führten. In der Vergangenheit oft mangelnde Trockenhaltung der Bauwerksgründungen begünstigten diese Entwicklung. Das aktuelle Baugeschehen im Bereich des Paulusviertels (Gebäudesanierungen, Wasser-/Abwassersanierungen) erlaubt die Aufnahme und Dokumentation temporärer Bodenprofile, mittels derer das dargestellte Modell überprüft bzw. ergänzt werden konnte.

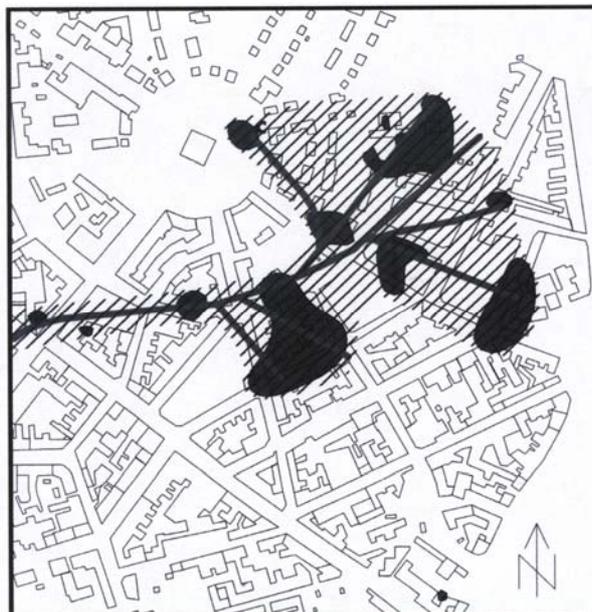


Abb. 53: Nachgewiesene holozäne Auensedimente, vermutliches Verbreitungsgebiet von Ablagerungen und vermuteter Verlauf der Faulen Witschke (aus HECKNER et al. 2001)

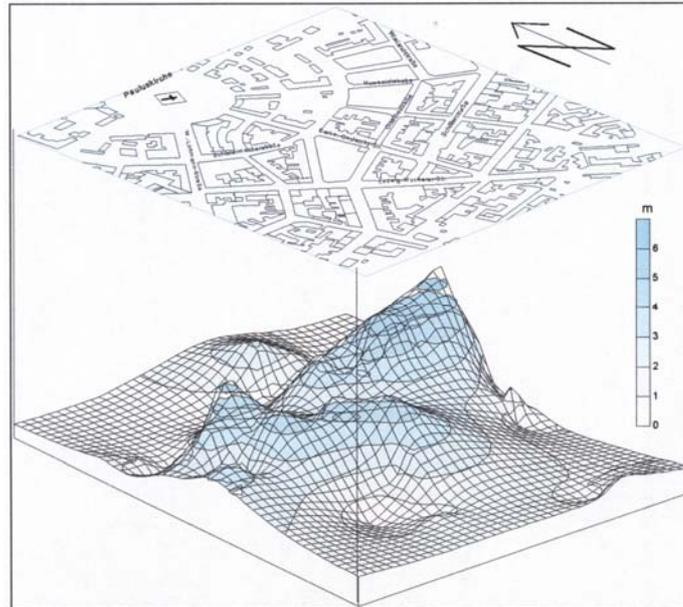


Abb. 54: Baugrundgeologisches Modell Halle/Paulusviertel - Auffüllemächtigkeiten, Ausschnitt (aus HECKNER et al. 2001)

Die vom Autor erfassten **18 zumeist temporären Bodenprofile** in Vorgärten und Innenhöfen (während Bautätigkeiten „sichtbar“) zeigen allesamt eine anthropogene Überprägung derart, dass bis in maximal 1,80m Tiefe keine natürlich gewachsenen Böden existieren. Es handelt sich vielmehr um hauptsächlich **umgelagertes natürliches Material**, das offensichtlich zur Reliefausgleichung aufgebracht wurde (SAUERWEIN 2000). Die durchschnittlichen Skelettanteile liegen bis auf zwei Oberbodenhorizonte deutlich unter 10%, es ist generell nur sehr wenig anthropogenes Fremdmaterial in den „älteren“ Bodenhorizonten zu finden. Auch die Bodenansprachen im Gelände lassen den Schluss zu, dass es sich um wenig veränderte autochthone, jedoch lokal umgelagerte Substrate handelt. Somit konnte durch die bis dato analysierten Bodenprofile das Modell des Geologischen Landesamtes verifiziert werden, demnach es zu flächendeckenden Aufträgen gekommen ist. Dies bedeutet, dass in den hauptsächlich natürlichen, umgelagerten Substraten nach der einmaligen anthropogenen Relieffierung eine „normale“ Bodenbildung begann, d.h. die standorttypischen Bodenbildungsprozesse einsetzten.



Abb. 55: Teiluntersuchungsgebiet „Paulusviertel“ (Bildquelle: www.mz-web.de 12.01.2004)

Im Paulusviertel wurde als Repräsentant der gründerzeitlichen Blockbebauung (NEUMANN 1998) der im folgenden beschriebene Block im Bereich der **Goethestraße** ausgewählt und in Kap. 7.3.7.1 die **Villen** im Bereich des **Rathenauplatzes**.

Untersuchungsgebiet „Goethestraße“ (B1)

Das Untersuchungsgebiet B 1 wird charakterisiert durch eine typische **Blockrandbebauung** der Gründerzeit. Die zum Blockrand hin völlig geschlossene Bebauung besteht in der Mehrheit aus viergeschossigen zum Großteil sanierten Gebäuden mit einem geringen Anteil von Seitenflügeln und Hinterhäusern. Der gesamte Blockinnenraum bildet einen größeren zusammenhängenden Freiraum. Dieser setzt sich aus den kleinteilig parzellierten und nur durch kleinere Schuppen bzw. Mauern abgetrennten Höfen der einzelnen Grundstücke zusammensetzt. Die einzelnen Hinterhofparzellen sind in de Regel hauseseitig versiegelt. Daran anschließend existieren kleine Gärten oder begrünte Hofbereiche mit vereinzelt Altbaumbeständen. Im Bereich der Schillerstraße grenzen an die hier mehr oder weniger zur Blockmitte eingerückten Vorderhäuser kleinere Vorgärten, welche von Hauszugängen und Zufahrten durchbrochen sein können. Die westlich und südlich angrenzenden Umgebungsstraßen werden von, in unregelmäßigen Abständen stehenden, Straßenbäumen gesäumt. Im Bereich des Baublocks wurden je zwei Profile in den Vorgärten und den Innenhöfen angelegt (Abb. 56).

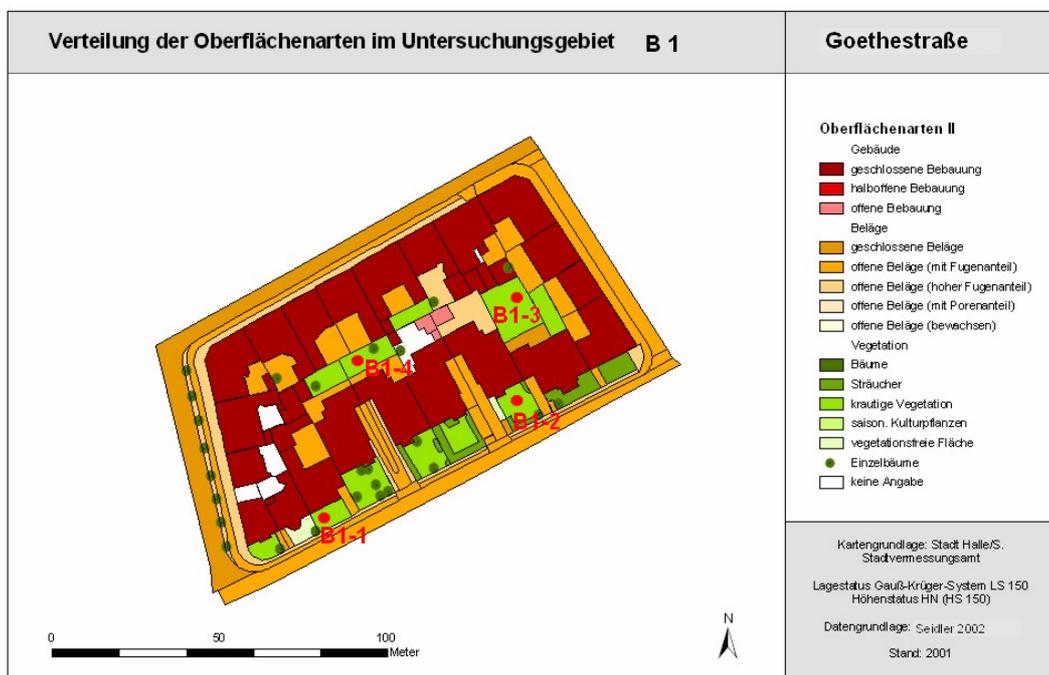


Abb. 56: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks B1 „Goethestraße“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile



Abb.57: Dokumentation des Profils B1-2 im Block „Goethestraße“

Erstaunlicherweise zeigen sich weder zwischen den Profilen der Vorgärten und denen der Innenhöfe große Unterschiede hinsichtlich der Mächtigkeit der Horizonte und der Tiefenverteilungen der pedologischen Parameter. Alle Profile sind geprägt durch einen sehr stark verdichtete, skeletthaltigen Horizont, der unter dem Ah in einer Tiefe von ca. 50 cm liegt und eine Mächtigkeit von mindestens ca. 50 cm hat. Tiefer wurden die Profile nicht gegraben. **Bohrstockeinschläge** in den Profilvergräben ergaben nach ca. 60 bis 80 cm Bohrstocktiefe einen humosen, skelettfreien Horizont, der als fAh angesprochen wird. Dies konnte durch eine **PAK-Analyse** „bestätigt“ werden. In dem **fAh** sind die PAK-Gehalte deutlich über der Nachweisgrenze, was auf die Immissionsbelastung der Vor-Gründerzeit hinweist. Im Vergleich zu den heutigen Oberböden sind die PAK-Gehalte in dem fAh um das 10fache niedriger, woraus wiederum der Schluss gezogen werden kann, dass diese „alten“ Oberböden schon seit längerer Zeit überdeckt sind. Die **Schwermetalle** hingegen weisen ein nicht gleichmäßiges Bild auf. Die Gehalte in dem fAh-Horizont sind bei allen Profilen sehr gering, in dem darüber liegenden AuffüllehORIZONT unterscheiden sie sich jedoch, während in dem obersten rezenten Ah nahezu gleiche Stoffgehalte ermittelt werden. Dies wird damit begründet, dass in dem AuffüllehORIZONT lokal Fremdmaterial (allochthon) verfüllt wurde, welches unterschiedlich „belastet“ war. Insgesamt **bestätigen** die eigenen Befunde das Modell von HECKNER et al. 2001 ebenso wie die „richtige“ Klassifizierung der Reliefveränderung von KRUG 2002.

7.3.4.2 Quartier Südliche Vorstadt

Nach der flächendeckenden Kartierung der **Oberflächenarten** (Nutzung, Versiegelungsart) in dem Bereich der südlichen gründerzeitlichen Stadterweiterung von Halle wurden Baublöcke im Bereich der **Pfännerhöhe** ausgewählt, die als repräsentativ für diesen Stadtstrukturtyp und dieses Stadtviertel angesehen werden kann. In diesem Bereich wurden bereits von BREUSTE 1986 umfangreiche und detaillierte Untersuchungen durchgeführt.

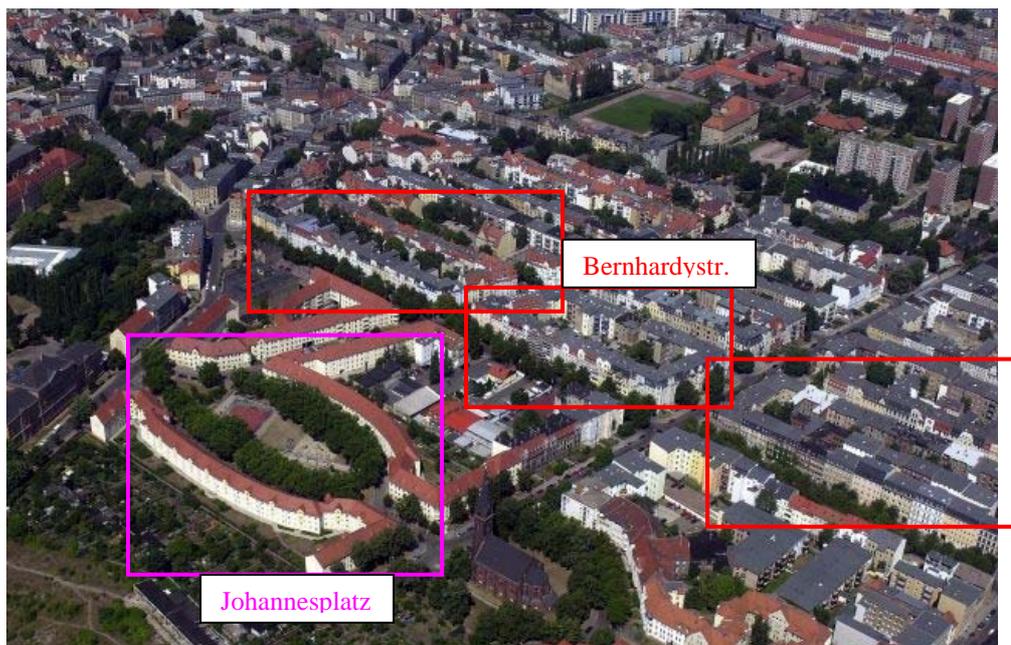


Abb. 58: Luftbild vom Teiluntersuchungsgebiet „Südliche Stadterweiterung“ mit Untersuchungsgebieten „Bernhardystraße“ (B2) und „Johannesplatz“ (Z3) (Bildquelle: www.mz-web.de)

Im Bereich nördlich der Pfännerhöhe wurden fünf zusammenhängende Baublöcke betrachtet, um an diesem Beispiel zum einen genügend (statistische) Masse und zum anderen einen großen Raum (Fläche) für möglichst zu verallgemeinernde Aussagen zu haben (Abb. 58).

7.3.4.3 Geschlossene Blockrandbebauung Bernhardystr. (B 2)

In den Blöcken, die von Preßlersberg bis zur Thomasiusstraße reichen, wurden sowohl in **Innenhöfen** als auch in **Vorgärten** insgesamt 10 Bodenprofile angelegt und beprobt. Die Profilsprache ergab, dass die Aussagen von BREUSTE 1986 (im Maßstab 1:10.000) dahingehend flächenhaft „richtig“ sind, dass als natürliches Ausgangssubstrat der Bodenbildung eine Sandlößdecke (unterschiedlicher Mächtigkeit) über Geschiebemergel anzusprechen ist. Die Bezeichnung der Bodengesellschaften als „durch Versiegelung überprägte Hortisole/Schwarzerden/Regosole“ von BREUSTE 1986 (darin Karte 3) ist zu

pauschal und trifft für die untersuchten Baublöcke nur bedingt zu. Es unterscheiden sich z.B. sehr deutlich die Vorgärten von den Innenhöfen. In den Vorgärten wurde das Relief im Vergleich zu den Innenhöfen im Durchschnitt um bis 1m erhöht, während in vielen Innenhöfen ein Defizit festzustellen ist. So konnten in allen Vorgärten die prä-urbanen Böden ergraben werden, während dies in den Innenhöfen an keiner Stelle der Fall war. Hier ist also der anthropogene Eingriff wesentlich stärker als in den Vorgärten. Auch die Klassifizierung von ALTERMANN & MACHULLA 1996 für das (große) Untersuchungsgebiet als „Braunerde-Tschernosem aus Sandlöß (5-8dm) über Schmelzwassersand vergesellschaftet mit Hortisol und Auftragsböden“ (bezeichnet als Legendeneinheit „BT3d“) kann zwar in den Bereichen der Vorgärten bestätigt werden, nicht aber in den Innenhöfen. Auch die **Stoffgehalte** weisen ein unterschiedliches Bild auf. Die oberen Horizonte der Innenhöfe können mit Schwermetallgesamtgehalten nahe den Prüfwerten der UVP-VwV 1995 als „belastet“ bezeichnet werden, was für die Vorgärten nicht der Fall ist. Die Tiefenverteilungen der 10 Profile (auf deren Darstellung aus Platzgründen verzichtet wird) entsprechen sich dahingehend, dass deren Verlauf in den als ojAh und ojY angesprochenen Horizonten (mit Ausnahme der obersten Horizonte der Innenhöfe) sich ähnlich ist.



Abb. 59: Dokumentation der Profile B 2-2 (Innenhof, links) und B 2-4 (Vorgarten, rechts)

7.3.4.4 Geschlossene Blockrandbebauung „Franz-Schubert-Str.“ (B 3)

Als drittes gründerzeitliches Untersuchungsgebiet einer Blockrandbebauung wurde ein Block im **Ankerviertel** gewählt. Die Gebäude und ihre Anordnung sind dem Paulusviertel und der Südlichen Vorstadt vergleichbar. Naturräumlich und auch bzgl. der prä-urbanen Bodenausstattung ist das Ankerviertel durch seine Lage im Auenbereich der Saale allerdings anders geprägt. Da der Baublock als „**Testgebiet**“ verstanden wird, werden keine detaillierten Profilaufnahmen und Tiefenverteilungen vorgestellt. Die Ergebnisse können wie folgt kurz zusammengefasst werden. Die **naturräumlichen Ausgangsbedingungen** sind gänzlich **andere** als im Paulusviertel und in der Südlichen Vorstadt, was sich darin widerspiegelt, dass unter den anthropogenen Deckschichten **Auensedimente** (oder Hochwasserabsätze ?) flächendeckend vorhanden sind. Die **Mächtigkeit** der anthropogenen **aufgebrachten Mischsubstrate** ist ca. **doppelt so groß** wie die im vergleichbaren Untersuchungsgebiet Bernhardtstr. Außerdem sind die Mischsubstrate von wesentlich mehr **Bauschutt** durchsetzt (Abb. 60).

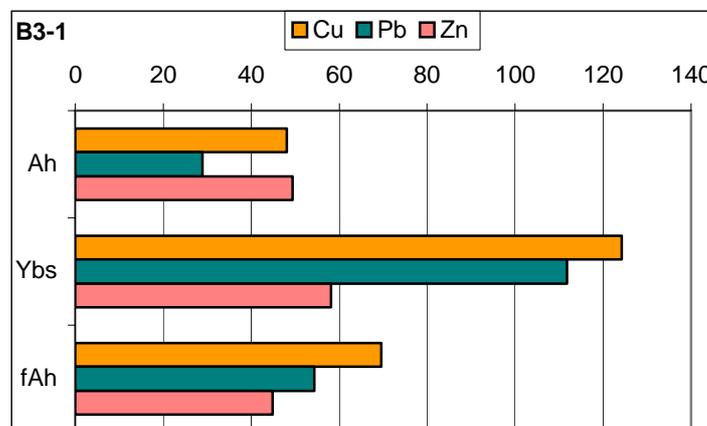
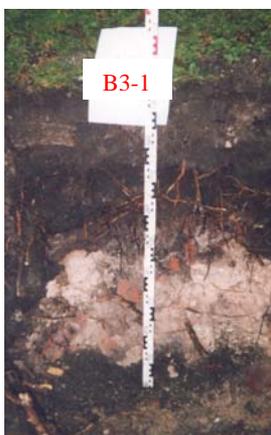


Abb. 60: Dokumentation des Profils B 3-1

Die Analyse der **Schwermetallgehalte** zeigt deutlich erhöhte Gehalte in dem Bauschutthorizont. Für **Blei** liegen sie sogar **über den Prüfwerten** der UVP-VwV 1995. Somit ist auch dieses Bild typisch für eine Vielzahl von Bodenprofilen in den mitteleuropäischen Kernstädten bzw. den direkt daran anschließenden Bereichen. Hier wurde scheinbar **Siedlungsbauschutt** (der keinerlei Anzeichen auf „jüngere Beimengungen aufweist - z.B. Plaste, Kronkorken etc.) **älteren Datums** im Zuge der Überbauung des Ankerviertels „genutzt“, um im Auenbereich das Relief aufzuhöhen. Die Gehalte in dem **fossilen Ah-Horizont** sind für Blei und Kupfer etwas höher als im rezenten Ah, so dass hier auch von einer „Vorbelastung“ auszugehen ist.

7.3.5 Zeilenbebauung

Zeitlich eine städtebauliche Epoche jünger sind die Zeilenbauten der Zwischenkriegsjahre, die größeren Ausmaßes im Süden der Stadt im Bereich der Vogelweide und des Lutherplatzes/Johannesplatzes sowie im Norden in Trotha zu finden sind. Ausgewählt wurden genossenschaftliche Baublöcke an der Vogelweide, der Ernst-Eckstein-Str. und am Johannesplatz.

7.3.5.1 Meisenweg (Z1)

In der Bebauung des Untersuchungsgebietes Z1 prägt eine viergeschossige, offene Bauweise mit parallel zueinander aufgereihten, langgestreckten Häuserzeilen das Erscheinungsbild. Diese Form der Bebauung entstand hauptsächlich in den 20-30er Jahren. Große zusammenhängende Zeilenzwischenräume bilden die Freiraumstruktur der hier vorliegenden Zeilenbebauung. Typisch hierbei ist die ausgeprägte Grüngestaltung mit Rasenflächen, locker verteilten Bäumen und Sträuchern, Schmuckbeetanlagen sowie Hecken entlang der Eingangsbereiche und Müllcontainerstellplätze. Da die gemeinschaftlich genutzten Blockinnenräume keinerlei Flächen für den ruhenden Verkehr vorsehen, beschränkt sich das Ausmaß der Erschließungswege entlang der Gebäudeeingänge nur auf kurzzeitig befahrbare Zufahrtswege. Die Freiflächen rückseitig der Häuserzeilen werden hingegen von sehr schmal angelegten und wenig genutzten Gehwegen erschlossen. Die Führung aller Zugangswege verläuft in einer auffällig strengen Geometrie.

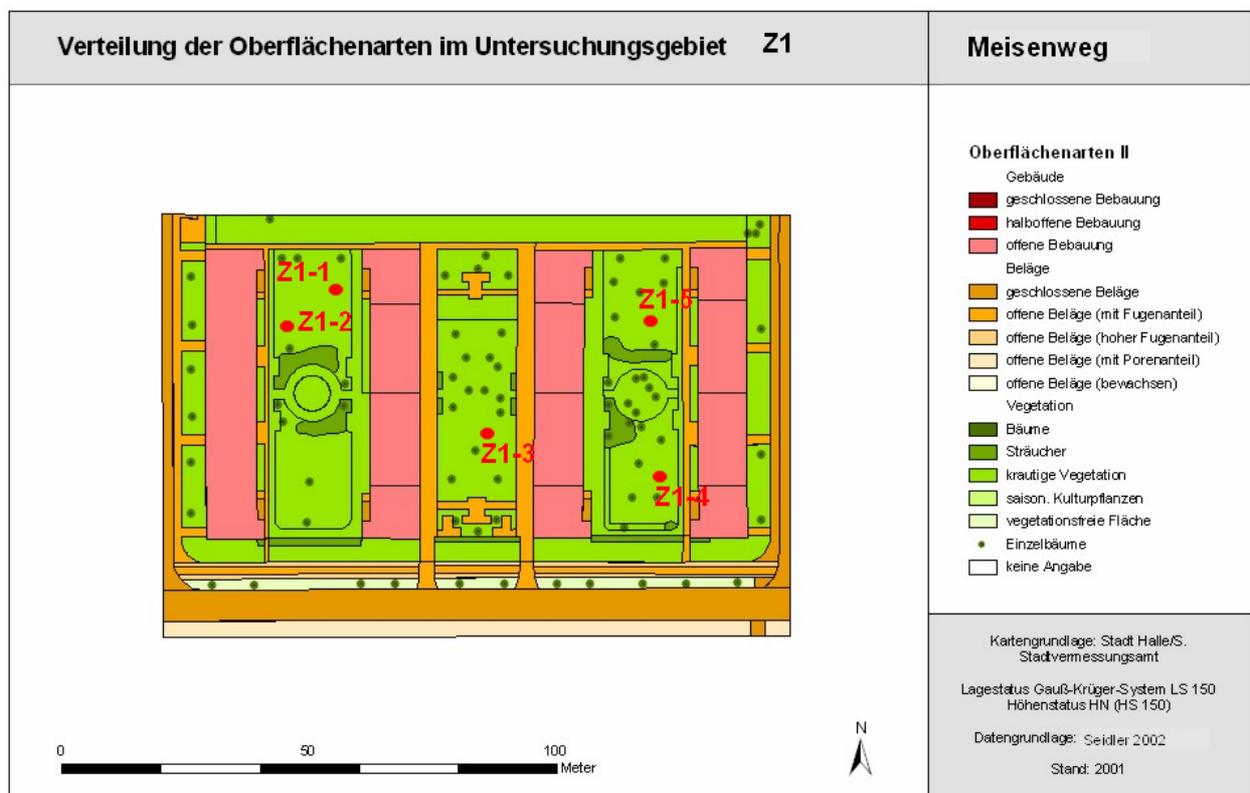


Abb. 61: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks Z1 „Meisenweg“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile

In Abb. 62 sind die Fotodokumentation und die **Schwermetalltiefenverteilung** des Profils **Z1-3** dargestellt. Über dem als natürliches Substrat anstehenden verdichteten Geschiebemergel ist ein umge-

lagerter, tonreicher, gräulicher allochthoner C-Horizont erkennbar, welcher kein Fremdmaterial beinhaltet. Darüber befindet sich ein mit wenigen Ziegelresten durchsetzter umgelagerter natürlicher Oberboden. Die Tiefenverteilung gibt Hinweise darauf, dass die beiden mit ojCII und fC bezeichneten C-Horizonte zumindest einem relativen Stoffeintrag ausgesetzt waren, was sich durch die Bleigehalte, welche die gleichen Konzentrationen erreichen wie die der Oberböden, äußert. Um dies nachzuprüfen, wurden für alle drei Horizonte die PAK-Gehalte bestimmt (Abb. 63).

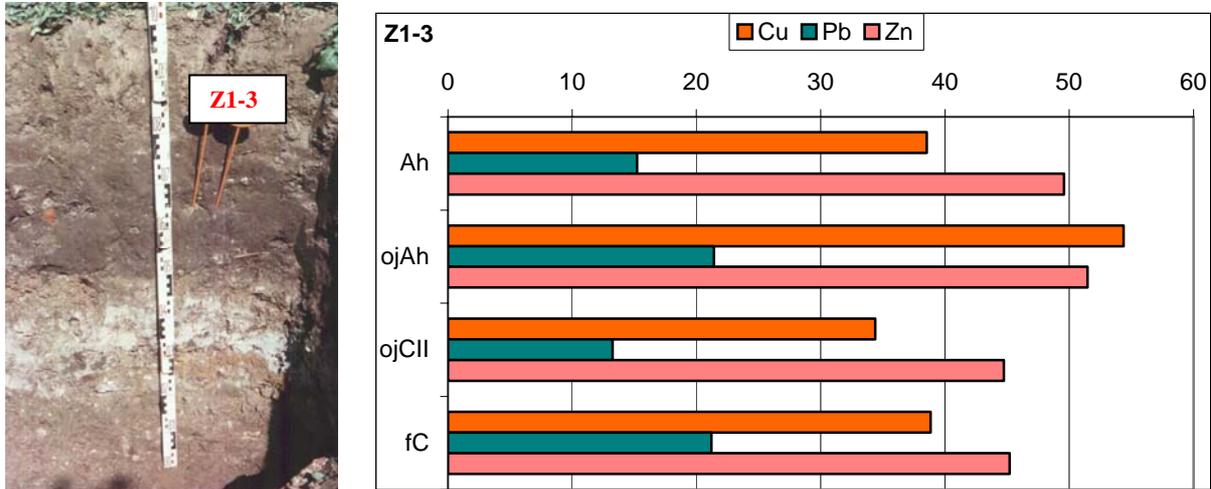


Abb. 62: Dokumentation und Schwermetalltiefenverteilung von Profil Z1-3 im „Meisenweg“

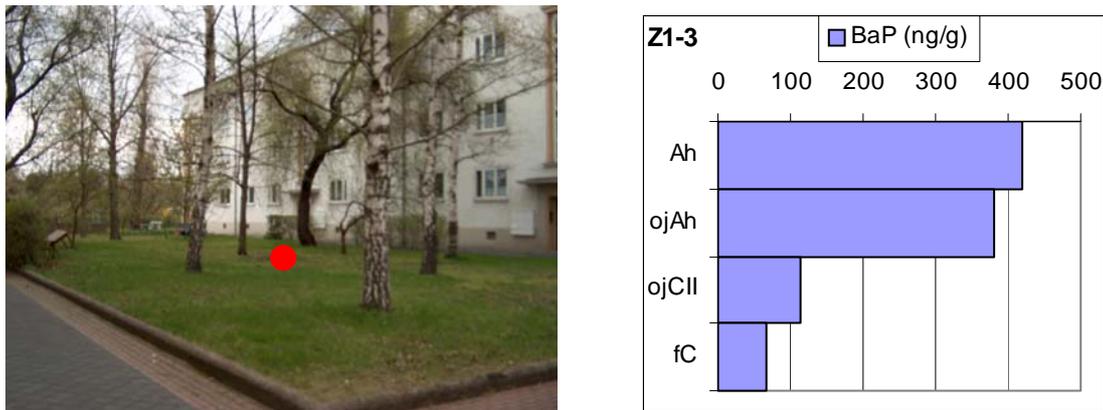


Abb. 63: Dokumentation der Testfläche von Profil Z1-3 und Benzo(a)pyrentiefenverteilung

Die Tiefenverteilung des **Benzo(a)pyren** bestätigt die durch die Schwermetallverteilung unterstützte Hypothese. Da die BaP-Gehalte nicht auf Null zurückgehen, müssen die beiden tieferen Horizonte einer „Belastung“ (die relativ gering bzw. kurzfristig war) ausgesetzt gewesen sein. Es gibt zwei Erklärungen dafür. Entweder waren die beiden Horizonte an der Oberfläche entsprechenden Immissionen (über einen gewissen Zeitraum) ausgesetzt oder die Organika wurden durch Translokationsprozesse in die Horizonte eingetragen. Letzteres erscheint unwahrscheinlich, da bei den „halleschen Bodenbedingungen“ eine Verlagerung eigentlich ausgeschlossen werden kann. Vielmehr dürfte der fossile C während der Bautätigkeit offengelegen und der umgelagerte C einen gewissen Zeitraum an der Oberfläche zwischengelagert gewesen sein. Die Ansprache der übrigen Profile des Teiluntersuchungsgebietes entspricht bis auf eine Abweichung derjenigen von Z1-3. Diese Abweichung besteht darin, dass der ojCII-Horizont in den von der Vogelweide weiter entfernt liegenden Profilen wesentlich geringmächtiger bzw. gar nicht existent ist. Die lokale Bautätigkeit kann dies dahingehend erklären, dass die genossenschaftlichen Bauten wirklich als „Block“ (in einem Zuge) erstellt wurden und der ojC (evtl. Material aus Fundamenten oder dem Strassen(bau)bereich eben nur in einer bestimmten Menge „verarbeitet“ werden musste.

Insgesamt kann man zu dem Schluss kommen, dass diese Art der Bebauung nach gewissen Regeln erfolgte und es dadurch zu weniger individuellen Veränderungen (wie im Altstadtbereich z.B.) kam. Dies wird mit den beiden folgenden Testgebieten des gleichen Strukturtyps nachzuprüfen sein.

7.3.5.2 Ernst-Eckstein-Straße (Z2)

Die Bebauung und auch die Freiraumstruktur ähneln sehr stark der im Teiluntersuchungsgebiet „Meisenweg“ mit dem Unterschied, dass hier 5-Geschosser (und nicht 4-Geschosser) erbaut wurden. Das Baualter ist ungefähr das gleiche und es handelt sich ebenfalls um genossenschaftliche Bauten. Im Jahr 2000, als die Gebäude saniert wurden, konnten zwischen den Zeilen mehrere Profile angelegt werden (vor Beginn der Sanierung).



Abb. 64: Dokumentation des Profils Z2-1 im Block „Ernst-Eckstein-Straße“

Das Bodenprofil „offenbart“ einige Dinge, die aus der Darstellung der vorigen Profile bekannt sind. So erkennt man wiederum eine Übereinanderlagerung zweier Oberböden und darunter zwei Horizonte unterschiedlichen Substrates. Auch in diesem Fall gibt es tonreiches, gräuliches Material, welches allerdings in Form von Linsen in dem oberen der beiden Horizonte auftritt. Die (nicht dargestellte) Schwermetalltiefenverteilung zeigt ein fast gleiches Bild wie am „Meisenweg“ und auch die PAK-Analysen ergaben, dass die unteren Horizonte einer geringen Belastung der gleichen Größenordnung ausgesetzt gewesen sein dürften. Wie im Beispiel vorher weist der tiefere oAh etwas höhere Konzentrationen auf als der aktuelle Ah und ebenso ist der Humusgehalt höher (was auch an der Farbe deutlich wird).

7.3.5.3 Johannesplatz

Die Wohnanlage Johannesplatz ebenfalls im Süden von Halle nur wenige Straßenzüge von dem vorigen Testgebiet entfernt wurde etwas früher in den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts vom „Bauverein für Kleinwohnungen e.G.“ erbaut. Recherchen beim heutigen (und früheren) Eigentümer haben ergeben, dass seit der Erbauung keine nennenswerten Veränderungen an den Gebäuden selbst und den umgebenden Freiflächen erfolgten. Im Jahr **1999** wurde der gesamte untersuchte Wohnkomplex umfassend saniert. Dies ergab die Gelegenheit, eine Vielzahl von temporären Bodenaufschlüssen zu erfassen und ohne größere Schäden beliebig viele Bohrstockuntersuchungen durchzuführen, da nach Abschluss der Sanierungsarbeiten eine Neugestaltung der Freiflächen erfolgte. In diesem Zusammenhang wurden insgesamt **12 Bodenprofile** (Abb. 65) dokumentiert und beprobt. Weiterhin wurden in einem 2-Meter-Raster alle nicht versiegelten Freiflächen mittels insgesamt **68 Bohrstockeinschlüssen** erfasst.

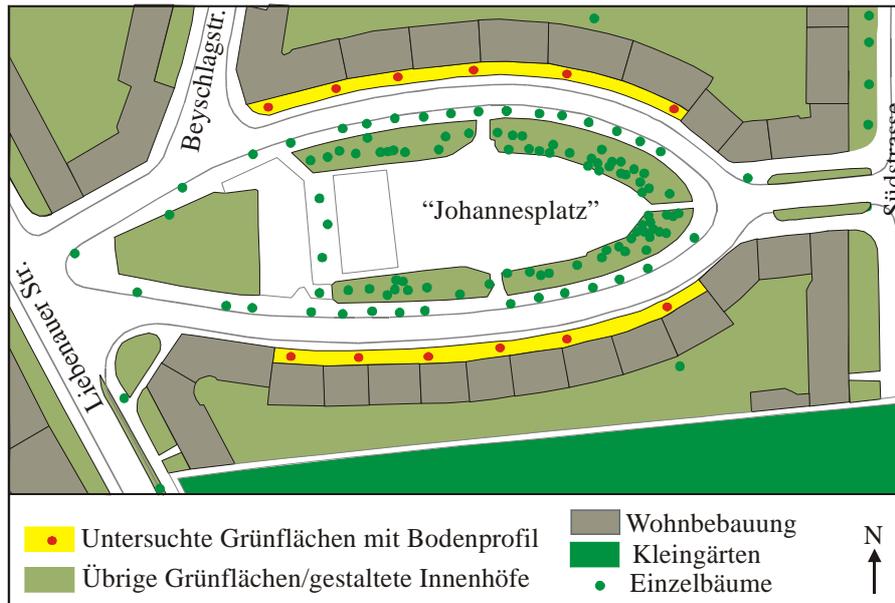


Abb. 65: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks Z3 „Johannesplatz“ und Lage der Bodenprofile



Abb. 66: Fotodokumentation Untersuchungsgebiet „Johannesplatz“ (Z3) und generalisiertes Profil des Bodenaufbaus

Tab. 19: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten (12 Bodenprofile / 68 Bohrstockprofile)

	Durchschnittliche Mächtigkeit (in cm)	Min. Mächtigkeit (in cm)	Max. Mächtigkeit (in cm)	RSA (in %)
Junger* Ah-Horizont	12 / 14	3 / 1	25 / 34	21 / 31
Alte** Ah-Horizonte	22 / 19	5 / 1	35 / 40	13 / 15
B(Y)-Horizont	5 / 5	1 / 0	7 / 12	24 / 29
Y-Horizont	10 / 12	0 / 0	25 / 28	27 / 35
fAh-Horizont	10 / 11	7 / 6	12 / 14	9 / 10
fB-Horizont	6 / 6	4 / 4	10 / 12	10 / 15
C-Horizont	keine Angabe möglich			
RSA: Relative Standardabweichung				
* nach Beendigung der Sanierungsarbeiten 1999 aufgebracht				
** nach dem Bau aufgebracht				

Als „prä-urbane“ Böden sind auf der gesamten Kartierungsfläche **Braunerden** anzutreffen, die durch aufgetragene Substrate überlagert werden (Tab. 19 und Abb. 7-54). Die regelhafte Abfolge ist (von unten nach oben) durch den natürlichen Schichtkomplex des anstehenden Sandlößmaterials des C-

Horizontes überlagert von einem relativ geringmächtigem B-Horizont und dem prä-urbanen Ah-Horizont (z.T. auch als Ap sichtbar) und darüber der umgelagerte urbane Schichtkomplex. Dieser lässt sich wiederum gliedern in einen Y-Horizont, z.T. überlagert von verbrauchtem Bodenmaterial, und dem unmittelbar nach der Erbauung aufgebracht, lokalem Oberbodenmaterial. Darüber schließlich befindet sich das nach der Sanierung 1999 aufgebrachte humusreiche Substrat, welches allerdings nicht lokaler Herkunft ist, sondern per LKW (nicht näher nachvollziehbar) antransportiert wurde. Die eigentlich zu erwartenden größeren Mächtigkeiten der prä-urbanen Horizonte fallen geringer aus, da diese im Zuge der Baumassnahmen stark verdichtet wurden. Insgesamt zeigt sich bei den relativen Standardabweichungen, dass die Mächtigkeiten der urbanen Horizonte wesentlich mehr variieren als die der prä-urbanen, was allerdings auch nicht anders zu erwarten war. An einigen Standorten wurden Horizonte „geköpft“, während andere Profile noch vollständig erhalten sind. Die statistische Sicherheit, ausgedrückt durch die relative Standardabweichung (Tab. 19), ist bei der Gruppe der Bohrstockeinschläge (N=68) höher als bei der Gruppe der Bodenprofile (N=12), dennoch liegen die Mittelwerte relativ eng beieinander. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass die Bodenprofile die Fläche entsprechend gut repräsentieren. Dies ist insbesondere bei einer Betrachtung der Stoffgehalte der Horizonte wichtig.

Zusammenfassend zu dem Stadtstrukturtyp „Zeilenbebauung“ kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die anthropogene Veränderung unabhängig von der Lage im Stadtgebiet in der gleichen Art und Weise vonstatten ging. Die ehemaligen Oberböden wurden abgetragen und zwischengelagert. Nach dem Ende der Bautätigkeiten des entstandenen Blockes wurde natürliches „Restmaterial“ (aus Fundamenten und/oder dem Bereich von Straßen und/oder Versorgungsleitungen) auf den C-Horizont aufgebracht. Zur Gestaltung möglichst ebener Flächen und als „Grundlage“ für die Vegetation der Grünflächen wurde zuletzt der zuvor abgetragene Oberboden wieder aufgebracht.

7.3.6 Großwohnsiedlung Halle-Neustadt

Halle-Neustadt wurde ab 1965 - geplant als damals **größte Großsiedlung der DDR** - in mehreren Abschnitten (sog. Wohnkomplexe) mit einer Bewohnerzahl von fast 100000 (im Jahr 1989) erbaut. Prä-urban wurde das Gebiet überwiegend als Acker genutzt. Als **quasi-natürliche Böden** hatten sich je nach Ausgangssubstrat in den Saaleaue-Bereichen großflächig Auenton-Vegas, auf den lössüberprägten Buntsandsteinen bzw. Muschelkalken hauptsächlich Decklöß-Schwarzerden/Deck-Sandlehm-Schwarzerden bzw. Schwarzstaugleye entwickelt (FRÜHAUF 1975). Aufgrund der relativ jungen, dokumentierten und i.d.R. nur **einmaligen Überbauung** in Großsiedlungen ist es möglich, sowohl Aussagen über die (horizontale) **Bodenverbreitung** als auch über die **vertikale Verteilung** einzelner Stoffhaushalts- und Schadstoffparameter bzw. deren Veränderungen zu machen (SAUERWEIN 1997). **Ausgewählt** wurden vier Baublöcke/Testflächen **unterschiedlichen Alters**. Zur Bodenveränderung in Halle-Neustadt gibt es bereits eine ausführliche Untersuchung (vergleichend mit Halle-Silberhöhe und Leipzig-Grünau, SAUERWEIN 1998). So weisen nur 6 der 32 dort untersuchten Leitprofile anthropogen unbeeinflusste C-Horizonte auf. Die hier aufgezeigten Flächen/Profile sind neu aufgenommen, die „älteren“ Standorte werden abschließend mit diskutiert.

7.3.6.1 Brahmshbogen (G2)

Das Mitte der 80er Jahre in **fünfgeschossiger Plattenbauweise** errichtete Untersuchungsgebiet G 2 weist eine nahezu geschlossene Bebauung des Blockrandes auf. Die einheitliche Gebäudefluchtlinie wird nur im Nordteil unterbrochen. An dieser Stelle ragen zwei Wohnblöcke in Zeilenbauweise mit abschließendem Quergebäude in das Blockinnere. Die Freiraumstruktur lässt sich in eine eingeschlossene große Fläche im Innern des Baublocks sowie relativ breit angelegte Freiräume im Bereich der Umgebungsstraßen gliedern. Alle Freiflächen verfügen über großzügig angelegte Abstandsgrünflächen. Sie setzen sich im Blockinneren aus Zierrasen, Strauch- und Baumpflanzungen sowie Sträuchern und Bäumen straßenseitig der Gebäude zusammen. Ca. ein Drittel der Blockinnenraumfläche des reinen Wohngebietes wird von kleingarten-ähnlichen Haus- und Mietergärten eingenommen. Eine Erschließung erfolgt hier über reich verzweigte Gehwege. Die Gebäudevorderseiten werden von kleineren Grünanlagen eingerahmt. Zwischen den Gehwegen und den Umgebungs- bzw. Zufahrtsstraßen wechseln Parkplätze und Grünflächen einander ab. Im Norden, entlang der F.-H.-Meyer-Straße, befindet sich eine größere, als Parkplatz genutzte, Freifläche.



Abb. 67: Dokumentation Profil G2-2 ● im Block „Brahmsbogen“

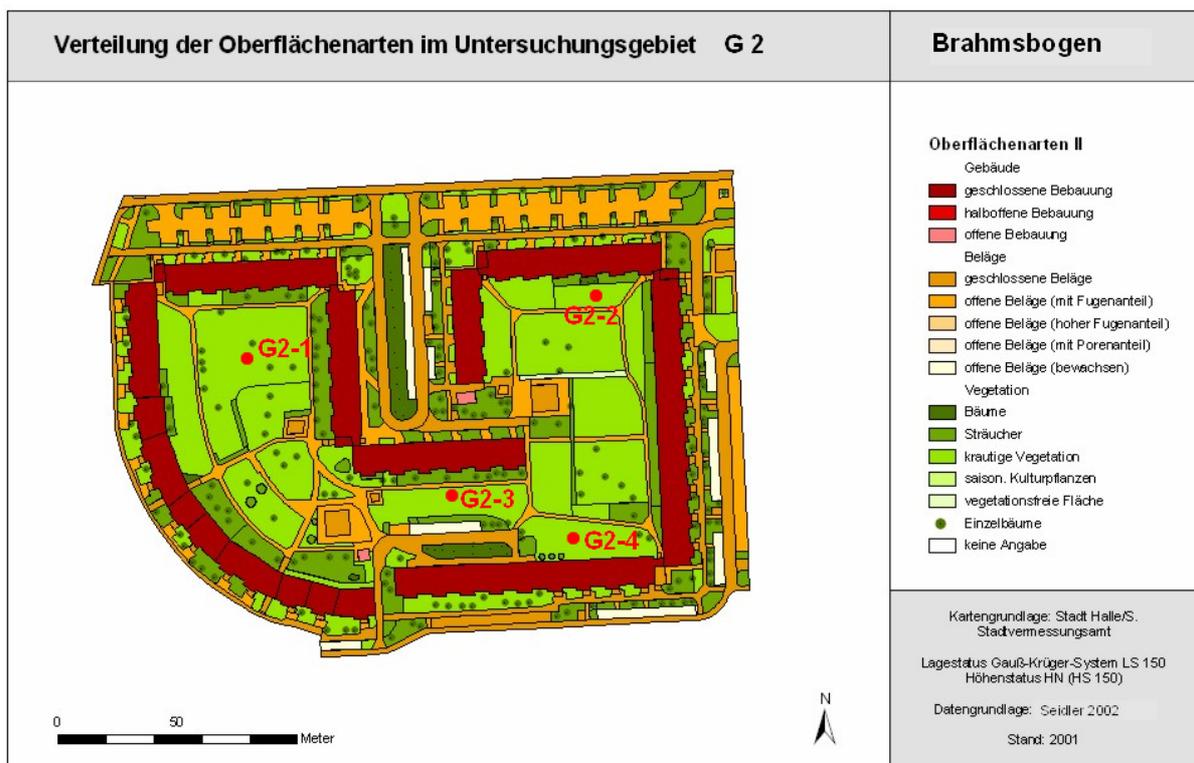


Abb. 68 Kartierung der Oberflächenart des Baublocks G2 „Brahmsbogen“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile

Die untersuchten Teilflächen befinden sich alle in einem Innenhofbereich dieses jüngsten Wohnkomplexes „Südpark“ von Halle-Neustadt. Als **prä-urbane Böden** sind Auenton-Vegas (FRÜHAUF 1975) bzw. **Auenböden** (ALTERMANN & MACHULLA 1996) ausgewiesen. Dem **widersprechen** jedoch die **Profilaufnahmen**. Es handelt sich vielmehr um Braunerde-Tschernoseme bzw. Griserden bei den vier Profilen, die von einem Mischhorizont aus natürlichem und technogenen Substraten überdeckt sind. Insgesamt wurde das **Relief** nur **geringfügig verändert**, was auch mit den Berechnungen übereinstimmt (SAUERWEIN 1998, s. Kap. 7.2.2). Die Stoffgehalte in den Profilen weisen auf eine **relative Belastung** des **aufgetragenen Mischhorizontes** hin, in welchem **Schwermetallgehalte** analysiert wurden, die z.T. über den Grenzwerten (Prüfwerten der UVP-VWV1996) liegen. Auch wurden in diesem Mischhorizont die **höchsten PAK-Gehalte** überhaupt ermittelt, so dass es sich hierbei um ein u.U. extrem vorbelastetes eingebrachtes Substrat handelt. Dieses ist von ca. 5 – 10 cm mächtigem humosen, wahrscheinlich umgelagertem, natürlichen Oberbodenmaterial abgedeckt. Dieses (Belastungs-) Bild spiegelt sich in den Teilen von Großsiedlungen wider, die relativ jung sind und Ende der 80er Jahre erbaut wurden (SAUERWEIN 1998).

7.3.6.2 Ernst-Barlach-Ring (G3)

Die Gebäude am Ernst-Barlach-Ring gehören zu dem **ältesten** und am meisten verdichteten Teil von Halle-Neustadt. Die Profile befinden sich in Innenhöfen, die nur sehr geringfügig durch Kfz-Verkehr belastet werden und auch von der naheliegenden Magistrale durch Gebäude abgeschirmt sind.



Abb. 69: Dokumentation Profil G3-3 ● im Block „Ernst-Barlach-Ring“

Prä-urban sind von FRÜHAUF 1975 und ALTERMANN & MACHULLA 1996 **Schwarzerden** kartiert, die aber aufgrund der Aufschüttungen von mehr als 1 m nicht ergraben wurden. Die **Profile** in diesem Teil Halle-Neustadts sind **sehr stark gestört**, da zu Beginn der Bautätigkeiten für die Großsiedlung eine Vielzahl von Versorgungsleitungen und –anlagen verlegt werden mussten, was eine große Menge an Aushub zur Folge hatte. Dieses wurde auf die natürlichen (bzw. bis dahin landwirtschaftlich genutzten) Flächen aufgelagert. Es handelt sich deshalb auch hauptsächlich um „**unbelastetes**“, **umgelagertes quasi-autochthones Substrat**, welches allerdings vertikal auf den Flächen nicht strukturiert ist. Damit ergibt sich ein sehr inhomogenes Profilbild, welches bzgl. der Profile auf den untersuchten Flächen „sichtbar“ stark variiert. Die **Stoffgehalte** (Schwermetalle) hingegen unterscheiden sich kaum voneinander und liegen unter denen der heutigen Oberböden. Dies gilt auch für die an einem Profil analysierten PAK-Gehalte. Die **Benzo(a)pyrengelalte** liegen fast im Bereich der **geogenen Grundgelalte**, so dass eine prä-urbane Vorbelastung ebenso ausgeschlossen werden kann wie eine Belastung seit der Umlagerung. Dies bedeutet gleichsam, dass unter den pedologischen Randbedingungen eine **vertikale Verlagerung nicht** stattfindet.

7.3.6.3 Meisdorfer Straße (G1)

Die Baustruktur des, während der 70er Jahre entstandenen, Untersuchungsgebietes G 1 überwiegen **viergeschossige Wohnblöcke**. Die streng, nord-südlich ausgerichteten, in Plattenbauweise errichteten, Zeilen werden im nördlichen Teil durch abschließende Quergebäude aufgelockert. Hierdurch kommt es zu einer Kombination von Zeilen- und halboffener Blockrandbebauung.

Große, langgestreckte, offene Freiflächen zwischen den Häuserzeilen charakterisieren die Freiraumstruktur. Sie werden von öffentlichen Erschließungswegen, Zufahrtsstraßen und Parkplätzen durchsetzt. Dominant sind die großzügig angelegten Grünflächen mit Zierrasen, Bäumen und Gebüsch. Bei letzteren handelt es sich z.T. um dicht gewachsene und relativ reich geschichtete Bestände. Müllcontainerstellflächen, Park-, Spiel- und Wäschtrockenplätze sind in der Regel mit Strauchpflanzungen und Schmuckbeeten eingefasst.

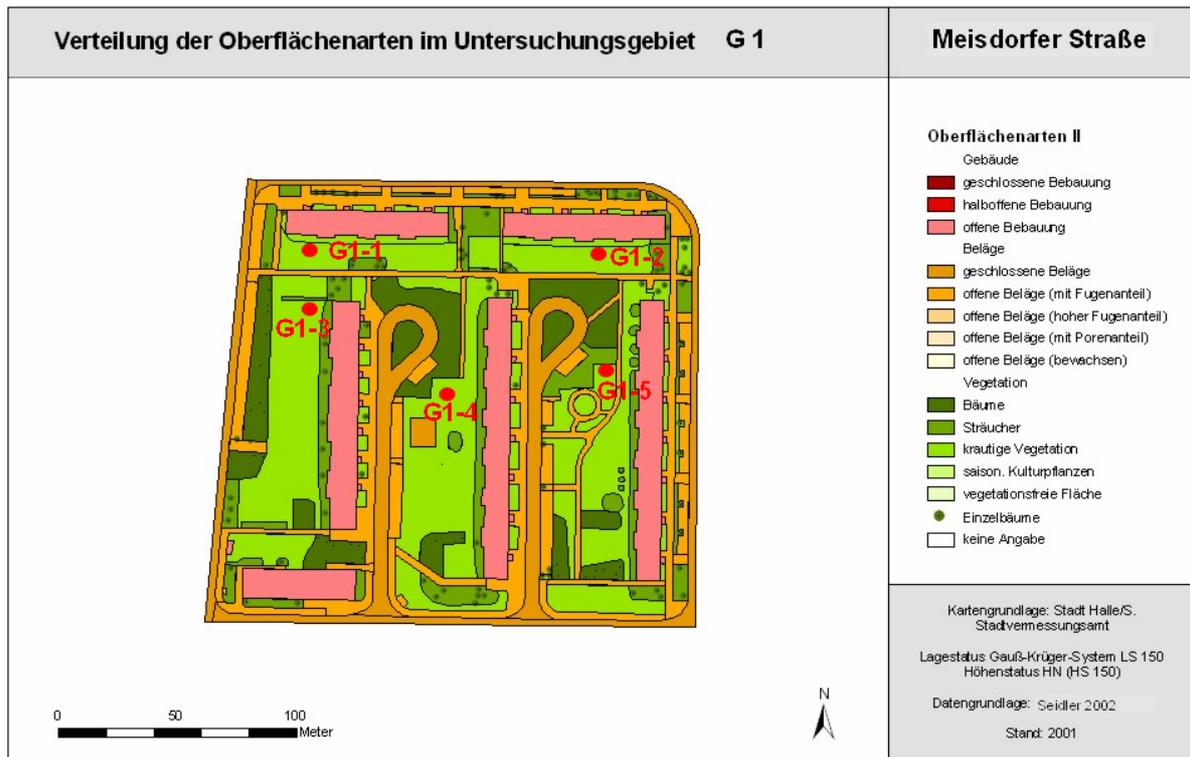


Abb. 70: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks G1 „Meisdorfer Straße“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile

Im Untersuchungsgebiet sind **prä-urban Pseudogley-Tschernoseme** kartiert (ALTERMANN & MACHULLA 1996), eine anthropogene Reliefveränderung ist mittels der Verschneidung von Isohyeten nicht berechenbar, d.h. es erfolgte eine **Reliefveränderung $\pm 0,5$ m** (SAUERWEIN 1998). Die **Profilaufnahmen** führen zu der Erkenntnis, dass es sich um eine **Relieferniedrigung** handeln muss, denn unter dem aktuellen **Ah-Horizont** lagert **direkt der Löss** (vgl. Untersuchungsgebiet G2 „Brahmsbogen“). Die Stoffgehalte „beweisen“ dies, im C-Horizont liegen die Schwermetallkonzentrationen im Bereich des geogenen. D.h. dass die **prä-urbanen Böden gekappt** wurden und ein (vermutlich umgelagerter autochthoner) Oberboden aufgebracht wurde.



Abb. 71: Dokumentation Profil G1-1 ● im Block „Meisdorfer Straße“

7.3.6.4 Haflinger Straße (G4)

Die Haflinger Straße am Rennbahnring liegt ganz im Südosten von Halle-Neustadt. Dieser Teil der Großsiedlung liegt im **Einflussbereich der Saaleaue**. Durch den Bau einer Brunnengalerie schon Mitte der 60er Jahre wird der natürlichen „Vernässung“ entgegengewirkt (LAUER et al. 1998), was mit Kosten und technischen Problemen behaftet ist. **Prä-urban** sind **Auenböden** (ALTERMANN & MACHULLA 1996) bzw. Auenton-Vega (FRÜHAUF 1975) kartiert. Wegen der hohen Grundwasserstände wurde dieser Bereich Halle-Neustadts von Beginn an **aufgeschüttet**, so dass auch bei den hier untersuchten Flächen/Profilen **keine natürlichen Böden** angetroffen wurden. Die Geländebefunde bestätigen die Berechnungen der Auffüllung um ca. 1,5 – 2,5 m (SAUERWEIN 1998). Bzgl. der Stoffgehalte können die

gleichen Aussagen wie im vorigen Untersuchungsgebiet getroffen werden. Die **Profile unterscheiden** sich im Gelände deutlich voneinander im Profilaufbau. Die einzelnen Horizonte hingegen sind zwischen den Profilen fast „austauschbar“, d.h. der Horizont 3 im Profil G4-1 ist dem Horizont 4 im Profil G4-2 visuell sehr ähnlich. Nur die Abfolge der Horizonte zwischen den Profilen ist scheinbar eine andere. Die Laborergebnisse weisen insgesamt eine nur **geringe Schwankungsbreite** der **Stoffgehalte** (Schwermetalle) auf relative Standardabweichungen unter 20%), so dass davon auszugehen ist, dass die umgeschichteten bzw. aufgetragenen Substrate gleicher Herkunft sind.



Abb. 72: Dokumentation Profil G4-2 ● im Block „Haflinger Straße“

7.3.7 Ein- u. Zweifamilienhausbebauung

Die Bereiche der Ein- und Zweifamilienhausbebauung, die **nach der Wende** innerhalb der Stadt erbaut wurden, ähneln sich alle sehr stark (was die Bodenüberprägung betrifft). Da die Bebauung seitens der Bauträger stark profitorientiert ist, wird versucht, jegliche Kosten zu vermeiden. Hinsichtlich der Böden bedeutet dies, dass nur im Bereich Infrastrukturmaßnahmen (Strassen, Ver- und Entsorgungsleitungen) und der zu bauenden Häuser der **Oberboden abgetragen** und i.d.R. im (künftigen) Wohngebiet **zwischengelagert** wird. Die übrigen Flächen werden soweit nicht nötig nur dahingehend verändert, dass sie als Lagerfläche bzw. temporäre Zufahrtsstrassen genutzt werden. Dies hat zur Folge, dass diese „verbleibenden“ **natürlichen Böden** „nur“ **verdichtet** werden bzw. etwaigen Emissionen, die im Zuge des Baugeschehens auftreten, ausgesetzt sind. Der **Bodenaufbau** wird hingegen **nicht verändert**. Die durch Einbau von Leitungen gestörten Böden werden mit sandigem Fremdsubstrat verfüllt und abschließend mit dem lokal zwischengelagerten Oberbodenmaterial abgedeckt. Das übrigbleibende Zwischenlagerungsmaterial wird entweder abgefahren oder (was meistens die Regel ist) im Wohngebiet auf einen Teil der Garten-/Vorgarten- oder Allgemeinflächen aufgebracht. Letzteres können sein „Hügel“ auf **Spielplätzen** oder **natürliche Lärmschutzwände** oder sonstige **Auflockerung des Reliefs**.

Exemplarisch wurden zwei neue Wohngebiete ausgewählt, eines im Osten der Stadt im Stadtviertel Büschdorf und als zweites das am Rand der Dölauer Heide gelegene Heide-Süd. Für beide Teiluntersuchungsgebiete wurde dem Autor seitens der **Bauträger nicht erlaubt** (unter „Androhung“ juristischer Maßnahmen), selbstständig **Profile aufzugraben** oder überhaupt **Bodenproben zu entnehmen**. Dies wurde selbstverständlich respektiert, führt jedoch zu Überlegungen (gar Altlastenverdachtsflächen?...), auf die in Kapitel 11 (Urbane Bodenschutzkonzepte) kurz eingegangen wird.

7.3.7.1 Büschdorf (EH1)

Im Neubaugebiet Büschdorf im Osten der Stadt konnten zu Beginn bzw. während der Erschließung des Wohnstandortes mehrere **temporäre Bodenprofile** aufgenommen bzw. dokumentiert werden. Diese befinden sich zwischen den Zeilen der Doppelhäuser und zwischen den Doppelhäusern und den anschließenden Neubauten der Mehrfamilienhäuser (Abb. 73). Der Bauablauf ist nach eigener Beobachtung für beide Bereiche der gleiche (s.o.).



Abb. 73: Dokumentation eines temporären Bodenprofils ● im Testgebiet „Büschdorf“ (Schmetterlingsweg) (Bildquelle: www.mz-web.de 12.01.2004)

Da die Profile nicht beprobt werden durften, können nur einige **Schlussfolgerungen** aus der **Profilansprache** gezogen werden. Es handelt sich um **geschichtete Profile**, die äußerst stark **mechanisch verdichtet** sind. Die **Substrate** sind sowohl **autochthoner Herkunft** (im Zuge der Bautätigkeit lokal umgelagertes Material) als auch um **allochthones Material** (hauptsächlich Bausand, aber auch Betonreste). Diesem wird zur Verschönerung bzw. als Grundlage für die (meistens Gras-) Vegetation der zuvor abgeschobene „**Mutterboden**“ aufgebracht. Dieses Prinzip gilt heute nahezu bei allen von Bauträgern errichteten Neubauten.

7.3.7.2 Heide-Süd (EH2)

Eines der jüngsten Stadtviertel Halles liegt am Rand der Dölauer Heide zwischen Kröllwitz und Halle-Neustadt. Das auf dem Gebiet einer ehemaligen Kaserne gelegene Neubaugebiet wurde bzw. wird nach den gleichen Regeln flächenhaft bebaut wie das vorige Beispiel. Entsprechend sieht auch die **Bodenüberprägung ähnlich** aus. In dem beispielhaften temporären Profil wird erkennbar, dass neben **natürlichen umgelagerten Substraten** auch **Fremdmaterial** (insbesondere Baustoffe) mit sedimentiert werden (Abb. 74).



Abb. 74: Dokumentation des temporären Bodenprofils ● im Testgebiet „Heide-Süd“ (Braunlager Str.)

7.3.8 Villenbebauung

Es gibt im Stadtgebiet keine großen zusammenhängenden Villenviertel (wie z.B. in Leipzig), sondern lediglich einige Straßenzüge, die „Villencharakter“ haben. Diese liegen am Rand (Mühlweg) oder im Zentrum (Rathenauplatz) der zeitgleich errichteten gründerzeitlichen Blockbebauung. Es wurden zwei solche (die gerade aufgeführten) ausgewählt, die sich zum einen unterscheiden hinsichtlich ihrer Lage und aber auch hinsichtlich der zu erwarteten anthropogenen Überprägung.

7.3.8.1 Rathenauplatz

Das Gesamtbild des in der **gründerzeitlichen Stadterweiterung** des **Paulusviertels** gelegenen Untersuchungsgebietes wird von Großvillen bzw. villenartigen Gebäuden mit einer Höhe von zwei bis vier Geschossen beherrscht. Alle Gebäude bilden eine einheitliche Fluchtlinie entlang des Blockrandes, wobei sie insbesondere im Bereich des **Rathenauplatzes** etwas zur Blockmitte eingerückt sind und hier Platz für kleinere Vorgärten lassen. Die unbebauten Flächen zwischen den einzelnen Gebäuden verbinden das Blockinnere mit dem freien Straßenraum, so dass hier von einer halboffenen Bebauung des Blockrandes gesprochen werden kann. Diese Freiräume werden von gut durchgrünten Hausgärten gesäumt, welche sich bis in den großen Blockinnenraum erstrecken und von Zufahrten, Parkplätzen und befestigten Wegen durchschnitten werden. Alle Gärten besitzen einen beachtlichen Anteil älterer Bäume und Sträucher, zuweilen erfolgt eine Nutzung als Gemüsegarten. Bei den, im Gartenbereich errichteten, kleineren Gebäuden handelt es sich um niedrige Schuppen und Garagen. Entlang der recht großzügig angelegten öffentlichen Fußwege am Rathenauplatz sowie an der Humboldtstraße finden sich in Reihe gepflanzte Straßenbäume.

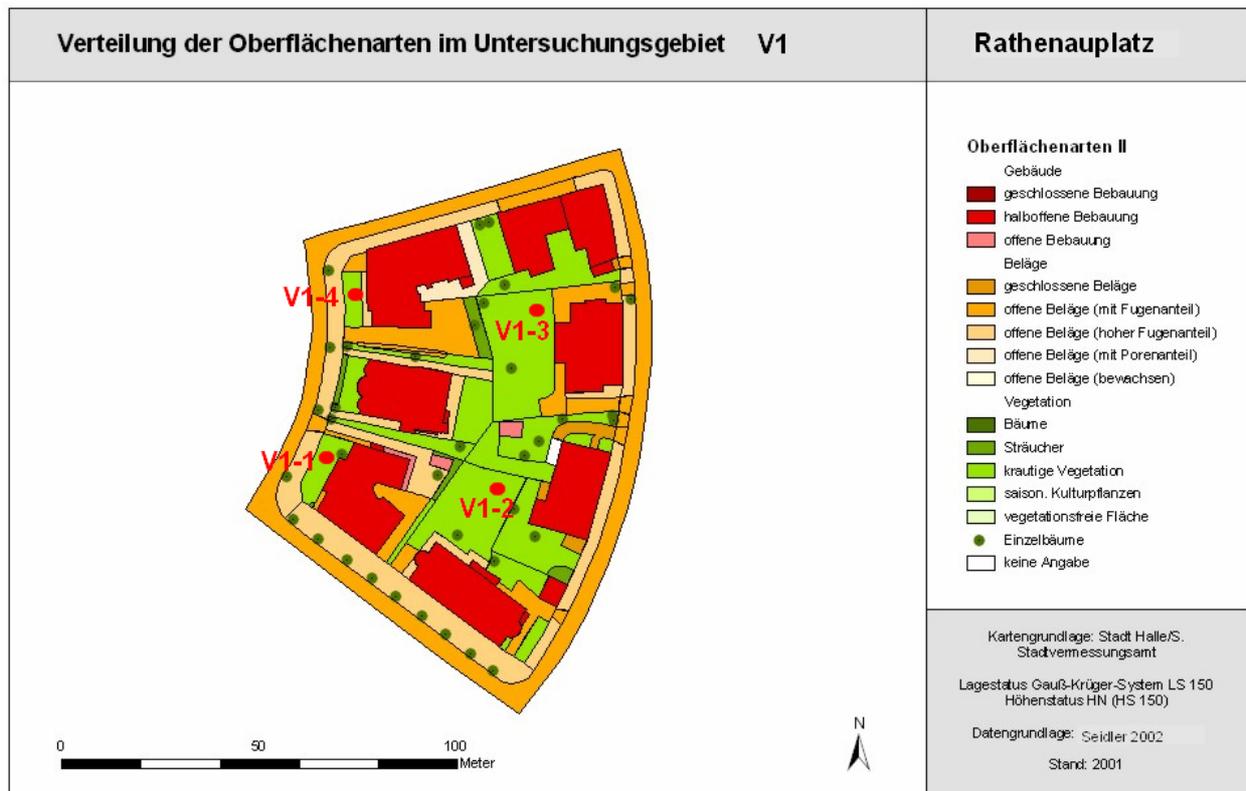


Abb. 75: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks V1 „Rathenauplatz“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile

Wie nicht anders erwartet unterscheidet sich der **Bodenaufbau** dieses „kleinen“ Villenviertels (das eigentlich nur aus wenigen solchen besteht) aufgrund seiner **Baugeschichte** nicht von dem des Untersuchungsgebietes **Goethestraße**, welches vorne ausführlich beschrieben wurde. Da das Paulusviertel als „Einheit“ geplant und (vor genau 100 Jahren) erbaut wurde (NEUMANN 1998), hat das gesamte Areal die bereits angesprochene **Reliefnivellierung** erfahren. Dies bedeutet gleichsam, dass sich die Böden in direkter Umgebung der Villen nicht von denen der Blockbebauung unterscheiden.

An dem Beispiel des Paulusviertels kann man die Schlussfolgerung ziehen, dass es durchaus auch **Stadtstrukturtypen** gibt, welche **trotz** ihrer **unterschiedlichen Zuordnung** (Villenviertel – Blockbebauung) die **gleiche anthropogene Relief- und Bodenüberprägung** erfahren haben.

7.3.8.2 Mühlweg (V2)

Aus der **Gründerzeit** stammt auch die Bebauung des Untersuchungsgebietes Mühlweg V2. Bei der für dieses Gebiet typischen Bebauungsform handelt es sich um, z.T. villenartig anmutende, zwei- bis viergeschossige Bürgerhäuser. Die, bis auf einige Ausnahmen (Mühlweg), eine einheitliche Baufluchtlinie bildenden Gebäude umschließen das Straßengeviert fast lückenlos. Abgesehen von einigen Sei-

tenflügeln, welche in den Baublock hineinragen, sowie einiger kleiner Schuppen und Nebengebäude, unterliegt der Blockinnenraum keiner größeren Bebauung. Er bildet eine größere zusammenhängende Freifläche, innerhalb derer sich eine grundstücksscharfe Parzellierung deutlich erkennen lässt. Die Abgrenzung der einzelnen Grundstücke erfolgt hierbei oftmals durch Mauern. Ein weiteres charakteristisches Erscheinungsbild der **Freiraumstruktur** in diesem Untersuchungsgebiet sind die einheitlich breiten, oftmals reich durchgrüneten und mit älteren Sträuchern und Bäumen bestandenen, Vorgärten. Dies trägt im erheblichen Maße zur optischen Aufwertung des Straßenbildes bei. Sie werden von Hauszugängen und Zufahrten durchbrochen, deren Ausbildung stark vom Zustand des dazugehörigen Gebäudes abhängt. Große Teile ehemaliger Gärten wurden zugunsten großzügiger PKW-Stellflächen versiegelt. Die Leitprofile befinden sich im Bereich der Villen des Mühlweges.

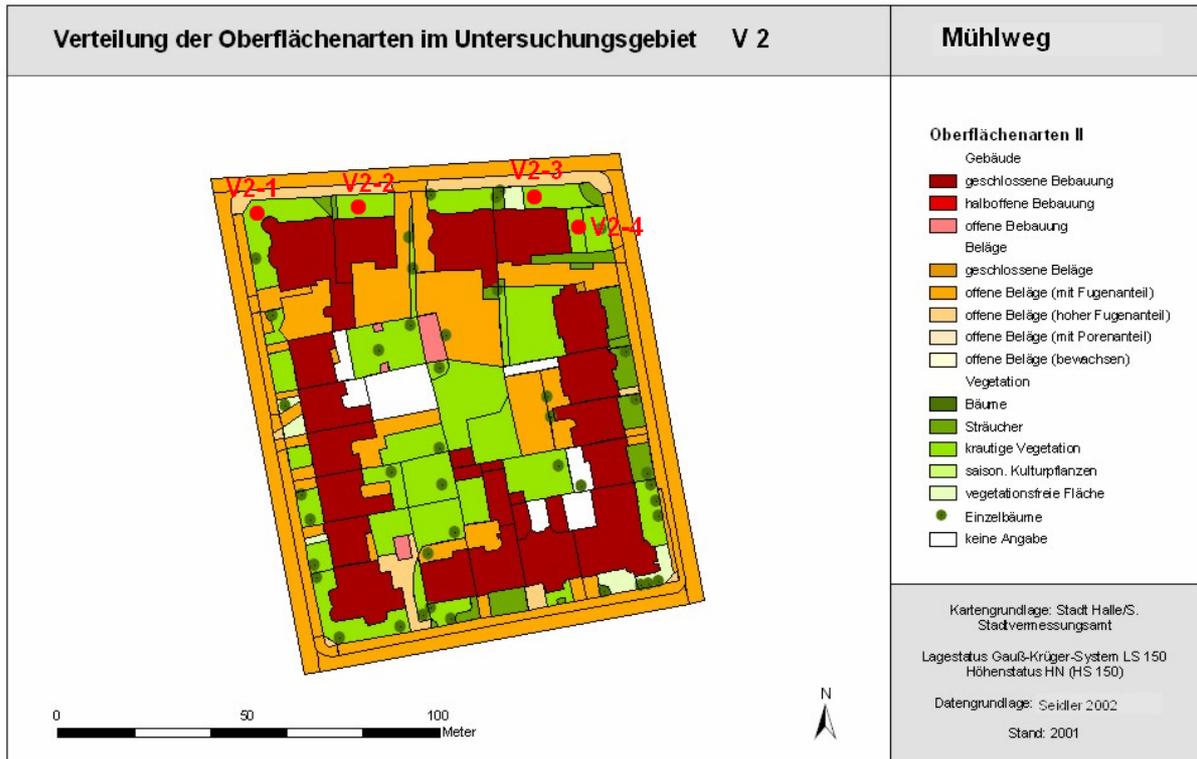


Abb. 76: Kartierung der Oberflächenart des Baublocks V2 „Mühlweg“ (SEIDLER 2002) und Lage der Bodenprofile



Abb. 77: Dokumentation der Lage der Profile V2-1 ● und V2-2 ● im Block „Mühlweg“

Die **Bodenveränderung** erscheint in diesem Bereich anhand der aufgedragenen Profile **relativ gering**. **Prä-urban** sind **Braunerden** kartiert (ALTERMANN & MACHULLA 1996), was auch in den Profilaufnahmen so sichtbar wird. Die anthropogene Veränderung besteht darin, dass in drei der vier Profile

über den Braunerden ein jüngerer **humusreicher Oberbodenhorizont aufgelagert** ist, welcher diese überdeckt. Das vierte Profile unterscheidet sich dahingehend, dass über der Braunerde ein Horizont aus natürlichen umgelagerten Substraten der ehemaligen C-Horizonte liegt und darüber der junge aktuelle Ah. Dieses Material dürfte aus Schachtarbeiten der Fundamente bzw. Keller der Gebäude stammen (ähnlich wie in den gründerzeitlichen Blockbebauungen). So sind auch die **Schwermetallgehalte** der Oberböden und in der Tiefenverteilung denen der Blockbebauung des **Paulusviertels** sehr **ähnlich**.

Insgesamt kann man den Schluss ziehen, dass die **Villenbebauung** die **gleiche Veränderung** der Böden bewirkte wie die der (meist angrenzenden) **Blockbebauung** – mit dem **Unterschied**, dass das **Ausmaß** der Veränderung im Bereich der Villen aufgrund der geringeren Bauaktivitäten **geringer** ausfiel.

7.3.9 Ehemaliger Dorfkern Kröllwitz

Der Ortskern des ehemaligen Dorfes Kröllwitz liegt auf einer **Porphyrkuppe** gegenüber der Burg Giebichenstein. Aufgrund des Porphyrs haben sich natürlicherweise **Regosole/Ranker** entwickelt, die im Bereich der Vorgärten zu **Hortisolen** „umgewandelt“ wurden. Die Ansprache mittels Bohrstock in einigen Vorgärten ergab keine große Varianz zwischen den Profilen. Sie unterscheiden sich lediglich in der Mächtigkeit des Ah-Horizontes. Je nach Intensität der Bearbeitung durch die Besitzer ist der Ah-Horizont zwischen 20 und 60 cm mächtig (12 Bohrstockprofile). Dies ist für „innerdörfliche“ Bereiche das typische Bild der anthropogenen Überprägung. **Bodenprofile** wurden keine gegraben, da die Folgen der individuellen Bearbeitungsmaßnahmen **nicht** auf die Fläche **extrapolierbar** sind.



Abb. 78: Luftbild vom Teiluntersuchungsgebiet „Kröllwitz“ (Bildquelle: www.mz-web.de 12.01.2004, verändert) und Detaillaufnahme

7.3.10 Park- und Grünanlagen

Um die Bandbreite der städtischen Park- und Grünanlagen zu erfassen, wurden zwei „extreme“ Flächen ausgewählt. Zum einen ist es der Stadtpark, der die einzige größere mit Bäumen bestandene Parkanlage im Innenstadtbereich (außerhalb der Saaleaue) darstellt und einen sehr naturnahen Eindruck vermittelt. Zum zweiten ist es die nur wenige Hundert Meter entfernte „kleine“ Grünanlage am Steintor an einem wichtigen Verkehrsknotenpunkt der Stadt.

7.3.10.1 Stadtpark (P1)

Der Stadtpark liegt östlich außerhalb der mittelalterlichen Stadtmauer und direkt an den „Stadtgottesacker“ anschließend in einem z.T. stark reliefierten Bereich. **Prä-urban** sind **Braunerde-Tschernoseme** kartiert (ALTERMANN & MACHULLA 1996). Dies ließ sich auch im **westlichen Teil** des Stadtparks an drei Profilen **bestätigen**. Diese sind anthropogen sichtbar nicht beeinflusst und auch die Schwermetallgehalte weisen nicht auf eine anthropogene Veränderung hin. Die **Tiefenverteilung** zeigt eine deutliche Abnahme der Gehalte im Bv- und C-Horizont. Die Oberbodengehalte von Blei liegen bei durchschnittlich 61 mg/kg und damit die Hälfte unter denen derer im Kernstadtbereich. Im **östlichen Teil** des Stadtparks im weniger reliefierten Bereich nahe der Magdeburger Straße zeigt sich in zwei Profilen ein **anderer Aufbau** (Abb. 7-69). Es handelt sich nicht um anthropogen unveränderte, sondern um **überdeckte Böden**. Der unterste aufgegrabene Horizont ist durch Ziegelreste ebenso wie Moränenmaterial gekennzeichnet und somit ein Mischhorizont aus Fremd- sowie allochthonem natürlichen und autochthonem Substrat. Ein Bohrstockprofil auf der Sohle ergab ab einer Tiefe von 10 cm den gleichen Aufbau wie an den Standorten im westlichen Bereich (Braunerde-Tschernoseme). Dies

legt den Schluss nahe, dass zum Reliefausgleich im Bereich der Magdeburger Straße die natürlichen Böden überdeckt wurden. In diesem Bereich befinden sich im Gegensatz zum westlichen Bereich auch keine Bäume, sondern es handelt sich um eine gepflegte Rasenfläche. Die Schwermetallgehalte in dem **Mischhorizont** sind nahezu so hoch wie im aktuellen Ah, so dass von einer „**Vorbelastung**“ der Substrate auszugehen ist.



Abb. 79: Fotodokumentation und Profil P1 ● im östlichen Teil des „Stadtmarks“

Zusammenfassend werden durch die Profile im Stadtmark somit **zwei typische Situationen** im „Anschluss“ an den Altstadtbereich charakterisiert. Entweder handelt es sich um nahezu nicht veränderte Areale, die von einer Bebauung ausgenommen wurden und damit nur gering anthropogen überprägt sind, oder es handelt sich um mit Substraten unterschiedlicher Herkunft überdeckte natürliche Böden.

7.3.10.2 Grünanlage Steintor (P2)

Die Grünanlage am Steintor macht auf den **ersten Blick** einen „natürlichen“ **Eindruck**. Recherchen beim Tiefbauamt, die für die Genehmigung eines Schachtscheins notwendig sind, ergaben sehr schnell, dass in dem Bereich **keine natürlichen Böden** anzutreffen sein dürften. Insbesondere die Flächen in der Nähe der Strassen sind, nach der Aufnahme einiger temporärer Profile, die im Zusammenhang mit Arbeiten an einer Wasserleitung erfolgten, durch eine Vielzahl von Versorgungsleitungen und –anlagen stark anthropogen überprägt (Abb. 80). Es zeigen sich unter dem aktuellen Ah-Horizont mehrere **Mischhorizonte natürlicher und anthropogener Substrate** (z.B. Beton) unterschiedlicher Mächtigkeit über einem als **fossil** anzusprechenden Ah-Horizont einer (wahrscheinlich) **Schwarzbraunerde**. Es wurde nicht genehmigt, Bodenproben aus dem Profil zu entnehmen (dies gilt für alle im Auftrag der Stadt erfolgenden Schachtarbeiten).

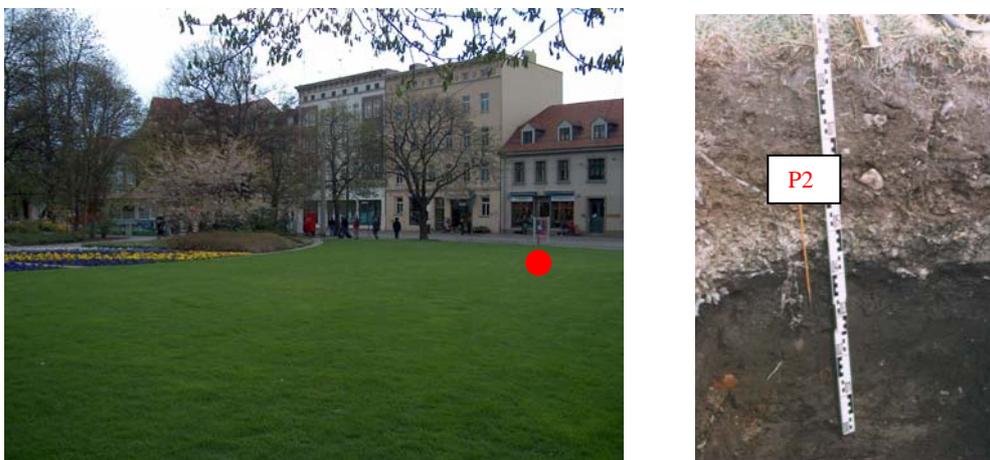


Abb. 80: Fotodokumentation und Profil P2 ● der Grünanlage am „Steintor“

Auf der Gesamtfläche der Grünanlage gibt es **zwei Typen der Bodenveränderung**. Entweder handelt es sich um Bereiche, die durch das Einbringen von **Versorgungsleitungen** geprägt sind (vgl. Kap. 7.3.15) oder es sind **überdeckte prä-urban natürliche Böden**. Die Leitungen befinden sich dabei in der Nähe der Straßen, während sich die überdeckten prä-urbanen Böden mehr im zentralen Bereich der Bäume befinden. Die gleichen Bedingungen dürften für eine **Vielzahl (kleinerer) Grünanlagen** im Stadtgebiet gelten. Diese Bereiche sind primär als Schnittstellen von Infrastrukturanlagen geplant und konnten bzw. können deshalb schlecht überbaut werden.

7.3.11 Kleingartenanlagen, Fallbeispiel „Paul-Riebeck-Stift“

Die Kleingartenanlagen im Stadtgebiet von Halle waren Gegenstand einer **umfangreichen Untersuchung** Anfang bis Mitte der **90er Jahre** (FRÜHAUF et al. 1996). Ein Ergebnis war, dass **alle 45 Kleingartenböden** in den 15 untersuchten Anlagen durch **anthropogene Profilüberprägung** gekennzeichnet sind. Die **Schermetallbelastungen** (Gesamtgehalte) der beprobten Kleingartenböden liegen alle im Bereich der **zulässigen Grenzwerte**. Es ergibt sich eine Tiefenverteilung, die von der nicht gärtnerisch bearbeiteter Böden abweicht, wobei das **Maximum der Schwermetallgehalte im „Spaltenhorizont“** lokalisiert ist. Im Schwermetallspektrum überwiegen die **stadtypischen Indikatoren** Blei (Kfz-Verkehr) und Zink (Braunkohleheizung), denn der dominante Belastungspfad für alle Schwermetalle ist der **Luftpfad**. Die ermittelten **Transferkoeffizienten Boden-Pflanze** zeigen, dass die substratbedingten Belastungseinflüsse nur eine untergeordnete Rolle spielen, und letztlich eine ökologische Bedenklichkeit durch den Verzehr der untersuchten **Anbauprodukte** (u.a. verschiedene Blatt- und Knollengemüse, Tomaten, Möhren) ausgeschlossen werden kann. Bzgl. des Stadtstrukturtypenansatzes kommt man zur Schlussfolgerung, dass die Gehalte in Oberböden der Kleingartenanlagen in **Zusammenhang** stehen mit der Zuordnung zu dem sie umgebenden **Stadtstrukturtyp** (SAUERWEIN et al. 1995). So sind Kleingärten im innerstädtischen Bereich der gründerzeitlichen Blockbebauung „höher“ belastet als Kleingärten im landwirtschaftlich geprägten Stadtrandbereich.

Es gibt eine Vielzahl **vergleichbarer Untersuchungen** zu Kleingärten, die sich mit der „Bodenbelastung“ (Kahle 2000) bzw. dem Schadstofftransfer aus dem Boden in die Pflanzen (STENZ et al. 1997) beschäftigen. Diese Arbeiten kommen alle zu **ähnlichen Ergebnissen**. Mit dem Ansatz der Verwendung von **PAK** zur Eingrenzung möglicher Belastungsursachen, wie er in der vorliegenden Arbeit auch verwendet wird, kommen LENZ et al. 1997 zu dem Schluss, dass durch die Musterverteilung der unterschiedlichen Gehalte einzelner PAK auch unterschiedliche Belastungsquellen nachgewiesen werden können.



Abb. 81: Luftbild vom Testgebiet „Kleingartenanlage Am Paul-Riebeck-Stift“ (Bildquelle: www.mz-web.de 12.01.2004, verändert)

Im Rahmen einer aktuellen **Diplomarbeit**, die im Zusammenhang mit Fragen der **Grundwasserbelastung** unter **Kleingartenanlagen** (KOCH, WALKER, SAUERWEIN et FRÜHAUF 2002) entstand, hat WAL-

KER 2001 in weiteren 3 Kleingartenanlagen 12 Profile aufgegraben und die Gehalte analysiert. Die dabei gewonnenen Ergebnisse zu den Bodenstoffgehalten sowie die Profilaufnahmen von 10 weiteren Kleingärten in der **Gartenanlage „Paul-Riebeck-Stift“ (SAUERWEIN 2001)** durch den Autor ergänzen und bestätigen die oben wiedergegebenen Aussagen von FRÜHAUF et al. 1996 bzw. SAUERWEIN et al. 1995. Dies wird auch durch Literatur belegt. So kommen schon AEY & BLUME 1991 zu dem Ergebnis, dass mit zunehmender Nutzungsdauer eine Zunahme der Mächtigkeit und die Akkumulation von Humus erfolgt. Die gleichen Autoren sowie FRICKE 1994 kommen zu dem Schluss, dass ältere Standorte höhere Schwermetallgehalte aufweisen.

Zusammenfassend ist somit belegt, dass die stoffliche **anthropogene Überprägung der Kleingartenböden** abhängig ist von

- der (benachbarten) Lage der **Stadtstrukturtypen**,
- einer evtl. **Vorbelastung** der Standorte,
- der **individuellen Tätigkeit** der Kleingärtner.

7.3.12 Sport-/Freizeitanlage „Kurt-Wabbel-Stadion“

Die Sportanlagen im Bereich des „Kurt-Wabbel-Stadion“ stehen stellvertretend für eine Vielzahl der **städtischen Sportstätten**. Solche Anlagen sind **Großbaumaßnahmen** und entsprechend **tiefgreifend** sind auch die **Eingriffe in die Landschaft** während der Erbauung. Beobachtet man die Aktivitäten auf Großbaustellen dieser Art, so wird schnell deutlich, dass hier **Relief und Boden** tiefgreifend verändert werden. Es müssen aus baustatischen Gründen Fundamente bzw. ebene Flächen geschaffen werden, für welche keine Rücksicht auf die Oberfläche (im Sinne von Relief und Boden) genommen wird. Die Folge ist, dass nach der Fertigstellung der Bauwerke ein **neues Relief modelliert** wird, welches i.d.R. nichts mit dem ursprünglichen Relief gemein hat. Diese allgemeingültigen „Regeln“ zeigten sich auch bei den Untersuchungen am Kurt-Wabbel-Stadion. Es handelt sich um eine prä-urban geneigte Fläche (wie sie heute in der angrenzenden Wohnbebauung bzw. den Kleingartenanlagen noch deutlich sichtbar ist) im Bereich der Buntsandsteinstufe. Für den Bau der Sportstätten (neben dem Stadion selbst mehrere Sportplätze, Abb. 82) wurde das Gelände terrassiert, so dass heute das natürliche Relief nicht mehr zu erkennen ist. Um die Veränderung im Hinblick auf die heutige Bodenausprägung zu erfassen, wurde vom Eigentümer der Fläche die Genehmigung für die Anlage von drei Bodenprofilen gestattet. Festzuhalten ist, dass es überhaupt nur einen **Grünflächenanteil** (d.h. nicht für sportliche bzw. infrastrukturell genutzte Flächen) von weniger als **10 %** gibt, so dass die Auswahl für Bodenprofile sehr begrenzt ist.



Abb.82: Luftbild vom Teiluntersuchungsgebiet „Kurt-Wabbel-Stadion“ und Lage der Bodenprofile (S1) (Bildquelle: www.mz-web.de 12.01.2004, verändert)

Zwei Profile liegen westlich des Stadions, eines jenseits der Kant-Straße zwischen zwei kleineren Sportanlagen. Die Aufgrabung erwies sich als außerordentlich schwierig. Aufgrund der **massiven Verdichtung der Oberfläche** war es nahezu nicht möglich, ohne Spitzhacke ein Bodenprofil auszuheben. Da damit zu rechnen war, bis in größere Tiefen derart komprimierte Substrate anzutreffen, wurde auf eine tiefere Aufgrabung verzichtet. Die Erkundung mit einem Bohrstock wurde nicht genehmigt, da sich überall im Bereich der Profile möglicherweise Kabel befinden.

Aus dem Umfeld der Einzelstandorte wurden von den **Oberböden Mischproben** entnommen. Die Schwermetallanalyse führt zu dem Ergebnis, dass die **Stoffgehalte** außerordentlich stark zwischen den drei Teilflächen **schwanken**. So wurde in einer Probe eine Bleikonzentration von 112 mg/kg gemessen, während die beiden anderen nur Gehalte von 51 bzw. 58 mg/kg aufweisen. Auch die **Substratzusammensetzung** der drei Oberbodenmischproben unterscheidet sich so stark voneinander, dass sie **unterschiedlicher Herkunft** sein müssen. Insgesamt kann man zu dem Schluss kommen, dass durch die Großbaustelle des Stadions bei seiner Errichtung das gesamte umgebende Gelände stark verändert wurde. Als Folge sind heute weder das prä-urbane Relief noch die prä-urbanen Böden „rekonstruierbar“. Letztlich ist die Freizeitanlage ein Beispiel dafür, dass ab einer gewissen **Größe von Bauvorhaben** keine „Rücksicht“ mehr auf Relief und Böden genommen wird, da planerische und ingenieurtechnische Vorgaben nur mit entsprechend großen Eingriffen in die Landschaft umgesetzt werden können.

7.3.13 Öffentliche Einrichtungen

Der Stadtstrukturtyp der „Öffentlichen Einrichtungen“ ist hauptsächlich geprägt durch **große Repräsentationsgebäude** (und die sie umgebenden Flächen). Häufig handelt es sich um gründerzeitliche oder jüngere Bauten, die seitdem nur geringfügig verändert wurden. In Halle gibt es eine **Vielzahl** solcher Objekte, die aufgrund ihrer Größe als eigenständiger Strukturtyp kartiert wurden. Ausgewählt wurden die (weltbekannten) Franckeschen Stiftungen und im Süden das Krankenhaus Str. Barbara.

7.3.13.1 Franckesche Stiftungen (Ö1)

Die Franckeschen Stiftungen – als Waisen- und Armenhaus außerhalb der Stadt gegründet – erfuhren im Zug ihrer Geschichte auch eine baulich imposante Entwicklung. So beherbergen sie heute u.a. das längste Fachwerkgebäude Deutschlands (Abb. 83). In dessen Innenhofbereich fanden Ende der 90er Jahre Renovierungsarbeiten statt, die es erlaubten, Einblick in die Bodenveränderung zu nehmen.



Abb. 83: Teiluntersuchungsgebiet „Franckesche Stiftungen“ mit Lage der Bodenprofile Ö1 (Bildquelle: www.mz-web.de 12.01.2004, verändert)

Dabei konnte festgestellt werden, dass der **Bodenaufbau** äußerst **heterogen** ist und keine sichtbar regelmäßigen Muster aufweist. An keiner Stelle waren prä-urbane Böden anzusprechen, sondern in allen Horizonten fanden sich **Fremdsubstrate bzw. Fremdmaterial** (z.B. Holz). Dies ist damit zu begründen, dass für die Erbauung eines solchen großen Objektes umfassende Gründungsarbeiten und Baumassnahmen im direkten Umfeld stattgefunden haben müssen, welche zu einer totalen Veränderung der prä-urbanen Böden führte (- eine „historische Großbaustelle“). Das **Relief** wurde dabei nur **geringfügig verändert** (hierfür wäre der technische Aufwand wohl zu groß gewesen). Auf eine Analyse der Stoffgehalte wurde verzichtet, da alle Öffentlichen Einrichtungen dieser Größenordnung als **individuelle Objekte** betrachtet werden müssen und auch der Einfluss auf die Bodenveränderung entsprechend individuell erfolgte. Die **heutigen Oberflächen** sind weitgehend **entsiegelt**, was als positiv für den Wasserhaushalt zu werten ist.

7.3.13.2 Krankenhaus St. Barbara (Ö2)

Auf den Freiflächen des im Süden der Stadt gelegenen Krankenhauses St. Barbara konnten im Zuge eines Neubaus einige **temporäre Bodenprofile** beprobt werden. Die Böden können als **anthropogen unverändert** angesprochen werden. Es handelt sich um **Braunerde-Tschernoseme**, wie sie auch bei ALTERMANN & MACHULLA 1996 kartiert sind. Vor dem Bau des Krankenhauses vor ca. 80 Jahren handelte es sich um gärtnerisch genutzte Flächen, die seitdem nicht mehr verändert wurden. Im Unterschied zu natürlichen Böden ist feststellbar, dass die **Ah-Horizonte relativ hohe Schwermetallgehalte** aufweisen. Dies deckt sich auch prinzipiell mit den Angaben der Untersuchung von HÖKE 1995, die im Rahmen einer Diplomarbeit die Schwermetallgehalte einiger Oberböden im haleschen Stadtgebiet untersuchte. Die Gehalte der Tiefenverteilungen unterscheiden sich nicht von derjenigen natürlicher Braunerde-Tschernoseme (SAUERWEIN 1998). Insgesamt lässt sich ableiten, dass bei anthropogen unbeeinflussten Standorten (hinsichtlich einer Profilmbearbeitung) ein **Stoffeintrag** hauptsächlich über den **Luftpfad** erfolgt (bzw. erfolgte) und bei den haleschen Bodenverhältnissen eine Akkumulation in den Oberböden resultiert.

7.3.14 Einkaufszentren

Einkaufszentren haben gerade in den neuen Bundesländern eine besondere (ökologische) Bedeutung, da sie zu Beginn der 90er Jahre sehr schnell und mit einem **großen „rücksichtslosen“ Flächenverbrauch** erbaut wurden. Weiterhin sind sie die **Ursache** eines großen Anteils des **städtischen Individualverkehrs**, der mit entsprechenden Emissionen und Verkehrsproblemen behaftet ist. An den Beispielen des im Süden der Stadt am Rand der Großsiedlung Silberhöhe gelegenen „Kaufland“ und des im Osten der Stadt gelegenen HEP Bruckdorf soll der „durchschnittliche“ Zustand der Bodenveränderung erfasst und beschrieben werden.

7.3.14.1 Kaufland-Silberhöhe (E1)

Innerhalb der das Einkaufszentrum direkt umgebenden Straßen gibt es einen **Grünflächenanteil** von nur 2 %! Die Parkplatzflächen selbst sind zu 100 % versiegelt (Abb. 84). Nicht-versiegelte Böden finden sich nur an den randlichen Grünstreifen zu den umgebenden Strassen und zwischen einzelnen Parkplatzreihen. Die „Böden“ zwischen den Parkplatzreihen sind nahezu nicht aufzugraben, da sie durch das Baugeschehen sehr stark verdichtet sind. Ihr **Bodenaufbau** ist geprägt durch eine Abfolge von **Mischhorizonten**, die sowohl **umgelagerten autochthonen Substraten** als auch aus **allochthonen, z.T. Fremdsubstraten** (Bausand, Kiese etc.) bestehen. Eine Regelmäßigkeit ist nicht zu erkennen. Auf eine Analyse der Gehalte in den tieferen Horizonten/Schichten wurde verzichtet, da es sich um eine (nur) lokal ausgeprägte (d.h. im Bereich des Einkaufszentrums), „bauliche“ Veränderung der Böden handelt. Die **Bodenveränderung** durch Bautätigkeiten auf einer solchen **Großbaustelle** ist in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten hauptsächlich durch die Schaffung ebener Flächen für die Großparkplätze gekennzeichnet. Allgemeine Schlussfolgerungen zur Veränderung des Stoffhaushaltes können hinsichtlich der bodenphysikalischen Eigenschaften durch die flächendeckend übermäßig hohe Verdichtung der Böden getroffen werden, während zu **Stoffgehalten keine flächendeckenden und übertragbaren „Regeln“** abgeleitet werden können.



Abb. 84: Luftbild und Detailaufnahme (Profil E1-1 ●) vom Testgebiet „Kaufland-Silberhöhe“ (Bildquelle: www.mz-web.de 12.01.2004, verändert; und eigene Aufnahme)

7.3.14.2 HEP Bruckdorf (E2)

Um die prinzipiellen „Eigenschaften“ der Bodenveränderung im Bereich von Einkaufszentren wie am Beispiel des Kaufland aufgezeigt auch für andere „Konsumeinrichtungen“ gleicher Größenordnung nachzuweisen, wurden im Bereich des HEP Bruckdorf **vier Bodenprofile** aufgegraben. Die Profile befinden sich jeweils in der Mitte der das HEP umgebenden Parkplatzflächen. Auch hier sind die Parkplatzflächen versiegelt, allerdings mit Rasengittersteinen. De facto ergeben sich die gleichen Ergebnisse wie beim vorigen Testgebiet. Neben der Tatsache, dass die Gesamtfläche des Einkaufszentrums zu fast 100 % versiegelt ist, sind die nicht-versiegelten „Restflächen“ durch die Bautätigkeiten ebenfalls so stark komprimiert, dass eine Profilaufnahme nahezu unmöglich ist. Die vier aufgenommenen Profile unterscheiden sich in den Substrateigenschaften derart voneinander, dass **verallgemeinernde Aussagen nicht möglich** sind. Dies ist jedoch gleichzeitig auch ein Ergebnis, dass nämlich solche Standorte durch die **Inhomogenität** innerhalb **der Objektfläche** gekennzeichnet sind.

7.3.15 Hauptverkehrsstraßen

Das hallesche Stadtgebiet wird von mehreren Hauptverkehrsstrassen durchzogen. Dies betrifft auf der einen Seite die Nord-Süd-Durchquerung über den Riebeck-Platz - hier wurde im nördlichen Bereich am „Wasserturm Nord“ ein Teiluntersuchungsgebiet gewählt, und zum zweiten die Ost-West-Durchquerung, hier wurde im Zentrum von Halle-Neustadt ein Bereich der „Magistrale“ gewählt. Bereits im Flächennutzungsplan (STADT HALLE 1998) wird ersichtlich, dass für die Versorgung der Großstadt eine Vielzahl der **Hauptleitungen (Gas, Wasser, Energie, Telekommunikation) entlang der Hauptverkehrsstraßen** gelegen sind. Dies legt den Schluss nahe, dass die Böden in diesem Bereich nicht nur durch erhöhte Stoffkonzentrationen seitens des Kfz-Verkehrs belastet sind, sondern auch durch den „Einbau“ der Leitungen die prä-urbanen Böden stark überprägt sind.

7.3.15.1 Wasserturm Nord (S1)

Die Freiflächen im Bereich des „Wasserturm Nord“ sind ein Beispiel dafür, dass Infrastruktureinrichtungen – in diesem Fall die Leitungen der Wasserversorgung – einen derart **großen baulichen Einfluss** auf die Böden haben, dass von den natürlichen Verhältnissen nichts mehr zu sehen ist. Durch die Konzentration von Versorgungsleitungen (neben den Wasser- auch noch Gas- und Elektro-/Telekommunikationsleitungen) erfolgt gerade an diesen Stellen die Einbringung von **allochthonem, stadtfremden Material** (hauptsächlich **Sande** zur Abdeckung). An temporären Bodenprofilen, die durch laufende Bautätigkeiten entstehen, ist dies oft nachvollziehbar. Eine typische **Tiefenverteilung** der Böden ist dabei **nicht erkennbar**. Es handelt sich z.T. um „**unterirdisch versiegelte**“ **Böden** (BLUME 1998), wobei je nach Tiefe der Lage der Leitungen Fremdsubstrate mehr oder weniger großer Mächtigkeit (von 50 cm bis über 2 m) aufgebracht sind. Die Untersuchung einiger **Oberböden** führt zu dem Ergebnis, dass diese trotz ihrer Lage zu den Emissionsquellen des Kfz-Verkehrs „nur“ Gehalte wie in den Großsiedlungen erreichen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es durch die dauernde Bautätigkeit immer wieder zu einer **Durchmischung der Böden** kommt und damit zu einer „**Verdünnung**“ der Stoffgehalte.



Abb. 85: Luftbild vom Testgebiet „Wasserturm Nord“ (Bildquelle: www.mz-web.de 12.01.2004, verändert), Profil S1-1 ●

7.3.15.2 Magistrale Halle-Neustadt (S2)

Die Hauptachse der Großsiedlung Halle-Neustadt ist nicht nur eine Verkehrsachse, sondern auch die **unterirdische Hauptversorgung** erfolgt hier entlang (FNP HALLE 1998). Prinzipiell bietet sich an der Magistrale das gleiche „Bild“ wie im Bereich des „Wasserturm Nord“. Gleiches gilt auch für den Bodenaufbau, die Tiefenverteilungen der Stoffgehalte und die „**Verdünnung**“ der **Oberbodenstoffgehalte**. Diese widersprechen scheinbar den Ergebnissen der ermittelten Konzentrationen in exponierten Kontrollböden, wonach z.B. im Vergleich mit den Oberböden in unbelasteten Innenhöfen deutlich höhere Gehalte zu erwarten sind. Auch hier führt die Überprägung und Veränderung durch Bautätigkeiten zu einer Nivellierung der Stoffgehalte.

Dass es jedoch auch **Bereiche** gibt, die nur **gering anthropogen** verändert sind, zeigt ein Beispiel in Abb. 86. Es handelt sich um den Aufschluss direkt an einer Seitenstraße der Magistrale, wo eine prä-urban verbrauchte Schwarzerde gekappt und anschließend mit einem Sand-Kies-Substrat überdeckt wurde, bevor mit typischen Gehwegplatten die Fläche versiegelt wurde.

Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass es sich im Bereich der Hauptverkehrsstrassen zum weit überwiegenden Teil um anthropogen extrem veränderte Böden handelt, die heute durch Fremdsubstrate geprägt sind. Durch immer wieder kehrende Bautätigkeiten erfolgt eine Verdünnung der Oberbodenstoffgehalte. Lokale Ausnahmen sind zu berücksichtigen.

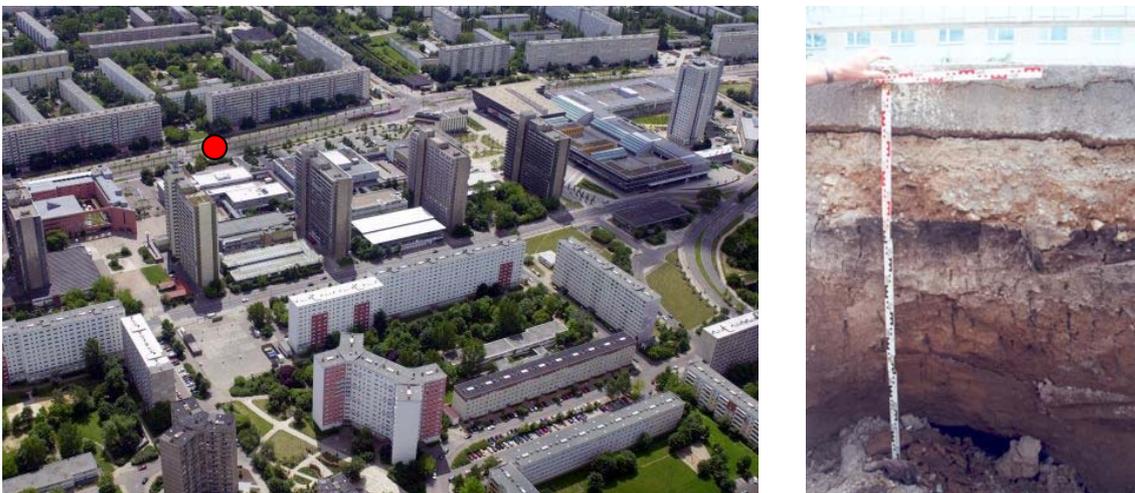


Abb.86: Luftbild vom Testgebiet „Magistrale“ (Bildquelle: www.mz-web.de 12.01.2004, verändert) und Profil S2-1 ●

7.3.16 Eisenbahnanlagen

Eisenbahnanlagen gelten als z.T. hochbelastete Standorte (BLUME 1998), da sie aufgrund der lokal **starken Immissionssituation** seit der Industrialisierung einer intensiven und langandauernden stofflichen Befrachtung unterliegen. Im Stadtgebiet von Halle konnten zwei „besondere“ Bahnanlagen ausgewählt werden, zum einen Flächen des zentralen Hauptbahnhofs und zum anderen der heute als Freizeitanlage/innerstädtisches Erholungsgebiet genutzte Teil des „Thüringer Bahnhofs“.

7.3.16.1 Hauptbahnhof (E1)

Im Bereich des Halleschen Hauptbahnhofs – ehemals der größte deutsche Nicht-Kopfbahnhof – wurde dem Autor nicht genehmigt, Bodenprofile anzulegen. Dies erfolgte mit der Begründung, den laufenden Betrieb nicht zu beeinträchtigen und wegen der Gefahr des Erfassens von Leitungen. Deshalb konnten lediglich **Oberbodenproben** entnommen werden und Proben bis aus ca. 30cm. Dies geschah in Form von **drei Testflächen**, die zufällig ausgewählt wurden. (Abb. 87). Auf diesen Flächen wurde jeweils aus 10 Einzelproben eine Mischprobe erstellt, deren Stoffgehalte dann ermittelt wurden.

Die Schwermetallgehalte der drei **Mischproben** schwanken für **Blei** zwischen 84 mg/kg und 113 mg/kg. Dies bedeutet, dass die Gehalte **unter** den **Prüfwerten** des **Bundesbodenschutzgesetzes BBODSCHG** (1998) liegen, bzgl. einer **UVP** über 100 mg/kg die Flächen jedoch **geprüft** werden müssten. Ähnliches gilt auch für die **Zinkgehalte**, die zwischen 164 mg/kg und 211 mg/kg liegen (Prüfwert der UVP bei 200 mg/kg). Damit bleibt festzuhalten, dass die **Oberböden relativ stark belastet** sind,

im **Vergleich** mit den Oberböden der anderen Stadtstrukturtypen wurden hier die **höchsten Werte** ermittelt.

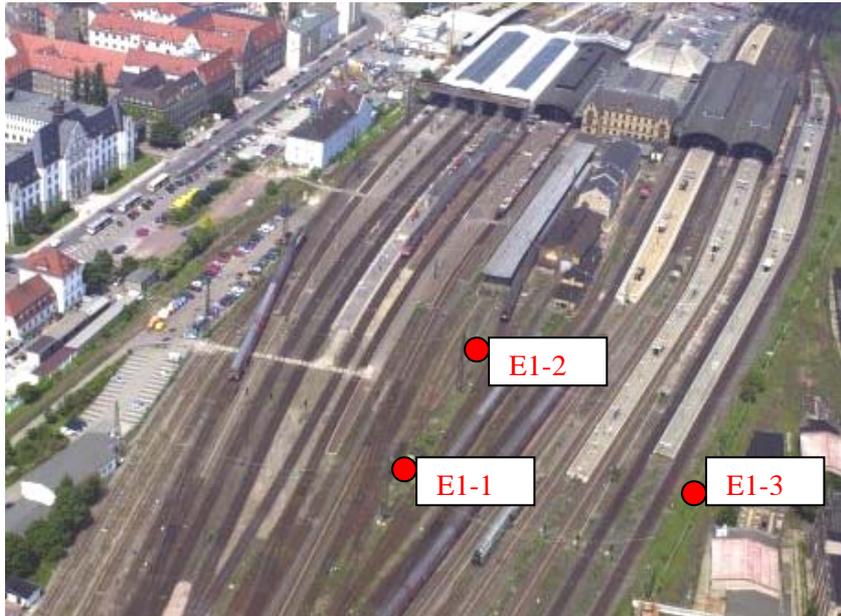


Abb. 87: Luftbild vom Testgebiet „Hauptbahnhof“ (Bildquelle: www.mz-web.de, 12.01.2004, verändert)

7.3.16.2 Thüringer Bahnhof (E2)

Auch im Bereich des Thüringer Bahnhofs, der heute als Erholungs-/Freizeitfläche genutzt wird, durften **keine Profile** gegraben werden (... obwohl dort heute weder Züge fahren noch eine funktionstüchtige, aktuell genutzte Leitung zu vermuten ist ...).

So konnten lediglich aus **20 Einzelproben** der mit Vegetation (Gras) bedeckten Flächen eine **Mischprobe** gewonnen werden. Proben aus größeren Tiefen zu gewinnen erscheint aufgrund der außerordentlichen starken Verdichtung der gesamten Fläche sehr schwierig (zumindest ohne Spitzhacke). Die Gehalte der Mischprobe liegen allesamt in der Spannweite der Werte, die am Hauptbahnhof ermittelt wurden und entsprechen damit wohl weitgehend dem dortigen „Durchschnitt“. Im **Vergleich** mit den Oberbodengehalten in anderen **Stadtstrukturtypen** sind somit beide Bahnhofstandorte im **oberen Bereich** vertreten.

7.4 Singuläre temporäre Bodenprofile

Im Zeitraum **1999 bis 2003** ergab sich durch die Vielzahl der **Bauaktivitäten** in der Stadt beinahe täglich die Möglichkeit, neue temporäre Aufschlüsse aufzunehmen. Dies erfolgte (jedoch) nicht wahllos im Stadtgebiet, sondern konzentriert auf die **Teiluntersuchungsgebiete** bzw. deren direkte Umgebung. So konnten **92 Bodenprofile** aufgenommen und dokumentiert werden. Die Daten dieser Profile sind wie alle bisher aufgezeigten Profile ebenfalls in einer **Access-Datenbank** abgelegt und können im ArcView räumlich abgefragt werden. In Tab. 20 ist dargestellt, im Umfeld welcher Teiluntersuchungsgebiete wie viele temporäre Bodenprofile aufgenommen wurden.

Tab. 20: Zuordnung der aufgenommenen temporären Bodenprofile zu Stadtstrukturtypen und Teiluntersuchungsgebiet

Stadtstrukturtyp	Teiluntersuchungsgebiete/Baublöcke	Anzahl der zugeordneten temporären Bodenprofile
Kerngebiet	K4 Brüderstr. K5 Schulstr. K6 Domstr.	• 4 • 3 • 2
Gründerzeitliche Blockbebauung	B1 Goethestr. B2 Bernhardystr. B3 Franz-Schubert-Str.	• 5 • 4 • 6
Zeilenbebauung	Z1 Meisenweg Z2 Eckstein-Str. Z3 Johannesplatz	• 4 • 3 • 3
Großwohnsiedlung	G1 Meisdorfer Str. G2 Brahmsbogen G3 Ernst-Barlach-Ring G4 Haflinger Str.	• 6 • 5 • 3 • 2
Ein- u. Zweifamilienhausbebauung	EH1 Büschdorf EH2 Heide-Süd	• 1 • 8
Villen	V1 Rathenauplatz V2 Mühlweg	• 1 • 2
Dorfkern	D1 Kröllwitz	• 1
Park- und Grünanlagen	P1 Stadtpark P2 Steintor	• 5 • 2
Kleingartenanlage	KG Riebeck-Stift	-
Sport-/Freizeit anl.	St Stadion	-
Öffentliche Einrichtungen	Ö1 Franckesche Stift. Ö2 Barbara-Krankenh.	• 6 • 1
Einkaufszentren	E1 Kaufland E2 HEP	• 1 • 5
Hauptverkehrsstraßen	S1 Wasserturm S2 Magistrale	• 2 • 6
Eisenbahnanlagen	BA1 Hauptbahnhof BA2 Thüringer Bahn.	- • 2

Diese Profile wurden **nicht durchgängig beprobt**, sondern es wurde (nur) eine **Oberbodenprobe** entnommen und - soweit im Profil eindeutig anzusprechen – auch die von **fAh-Horizonten**. Die ermittelten Gehalte in den Ah-/fAh-Horizonten werden bei der **Berechnung von Mittelwerten für die Teiluntersuchungsgebiete** verwendet (Kap. 7.7). Die Aufnahme und Ansprache der temporären Profile dient weiterhin auch der „**Absicherung**“ der **Leitprofile**. Dabei zeigte sich in fast allen Fällen, dass diese „prinzipiell“ übereinstimmen, d.h. die Horizontabfolge der temporären Profile entspricht derjenigen der Leitprofile. Eine **Einschränkung** muss hinsichtlich der Mächtigkeit der Horizonte gemacht werden. Je weiter entfernt die temporären Profile von den Leitprofilen sind, umso größer ist der Unterschied in der Mächtigkeit vergleichbarer Horizonte. Im Umfeld der Leitprofile boten sich über die aufgenommenen temporären Profile hinaus noch wesentlich mehr „potenzielle“ Bodenprofile infolge von Bauaktivitäten. Diese wurden aber **nicht berücksichtigt**, da sie oftmals im Zusammenhang mit Arbeiten im Bereich von Versorgungsleitungen standen. Solche Profile charakterisieren damit entweder wirklich „Punktinformationen“ oder „Linieninformationen“ (entlang der Versorgungsleitungen) und repräsentieren letztlich nicht die typische flächenhafte Überprägung des Stadtstrukturtyps.

Insgesamt wird durch die **eigenen Profilaufnahmen** festgestellt, dass die **Konzeptbodenkarte** von **ALTERMANN & MACHULLA** 1996 bis auf geringfügige Abweichungen „richtig“ ist. Insbesondere die Ausweisung der **natürlichen Böden** wurde an allen Standorten (bis auf diejenigen, an welchen die prä-urbanen Horizonte nicht ergraben wurden) **bestätigt**! Dies führt auch zu dem Schluss, dass die Kartierung unter Berücksichtigung ihres Maßstabs 1:75.000 als sehr gute Ausgangsbasis einer flächendeckenden Bodenkonzeptkarte verstanden werden kann. Mit der Kartierung werden allerdings „nur“ die prä-urbane Bodenausstattung und die reliefverändernde Art der anthropogenen Eingriffe beschrieben, **nicht** aber die **qualitative stoffhaushaltliche Veränderung** der Böden.

7.5 Exponierte Kontrollböden

Für eine **Stoffbilanzierung** der Böden ist als **Input** die **Deposition** entscheidend (Kap. 11). Im folgenden wird gezeigt, dass das **Biomonitoringverfahren** der Exposition von Kontrollböden ein geeignetes Instrument ist, um flächenhafte Unterschiede der Deposition zu erfassen. Über **vier Jahre** wurden in Halle an 18 repräsentativen Stellen (ZIERDT 1997) unbelastete Kontrollböden exponiert. Dies geschah z.T. im direkten **Umfeld der Leitprofile** und z.T. auf Grundlage früherer Untersuchungen (ZIERDT 1997, FRÜHAUF et al. 1996). Um die **Repräsentativität** zu gewährleisten, wurden pro Fläche drei „Töpfchen“ exponiert und nach vier Jahren im Labor daraus eine Mischprobe erstellt. Für diese Mischproben wurden die **Schwermetallgesamtgehalte** analysiert. Um zeitbezogene Aussagen abzuleiten, wurde der **Anreicherungsfaktor** berechnet: *Schwermetallgehalt nach der Exposition dividiert durch Schwermetallgehalt vor der Exposition, bezogen auf ein Jahr*. Die analytisch ermittelten Werte sind auf eine Kommastelle gerundet. Die Ergebnisse sind in Abb. 88 dargestellt.

Da die **Standorte** nach **Stadtstrukturtypenrepräsentanz** ausgewählt wurden, sind die Anreicherungs-faktoren bezogen auf diese abgebildet. Dem ist zu entnehmen, dass es eine **Spanne der Anreicherung** von Blei, Zink und Kupfer im Oberboden gibt. Diese Spanne reicht von der nicht nachweisbaren Anreicherung (Anreicherungs-faktor 1) bis zum Faktor 1,8. Weiterhin zeigt sich sehr deutlich, dass es Unterschiede in den Anreicherungs-faktoren gibt, die augenscheinlich mit der **Stadtstrukturtypenzuordnung** in Zusammenhang stehen. Die geringsten Anreicherungs-faktoren finden sich in dem Strukturtyp Ein-/Zweifamilienhausbebauung. Dies ist der Strukturtyp, in welchem die **Hauptemissionsquelle** des **Kfz-Verkehrs** nur eine untergeordnete Rolle spielt. Mit steigender Bevölkerungsdichte steigt auch der Anreicherungs-faktor in den Strukturtypen Großwohnsiedlung, Zeilenbebauung, Blockbebauung und Kerngebiet. Die höchsten Faktoren werden an den Hauptverkehrsstrassen, den Park-/Grünanlagen und im Kerngebiet ermittelt. Das „schlechte Abschneiden“ der Grünanlagen ist damit zu begründen, dass die ausgewählten Grünanlagen in unmittelbarer Nähe von befahrenen Straßen liegen. Darüber hinaus ist auffällig, dass in allen Strukturtypen für **Blei** im Vergleich mit Zink und Kupfer die **höchsten Anreicherungs-faktoren** zu verzeichnen sind. Dies kann ursächlich damit begründet werden, dass Blei sehr stark in den Böden **sorbiert** wird, während z.B. Zink wesentlich mobiler ist und damit potenziell leichter verlagert werden kann.

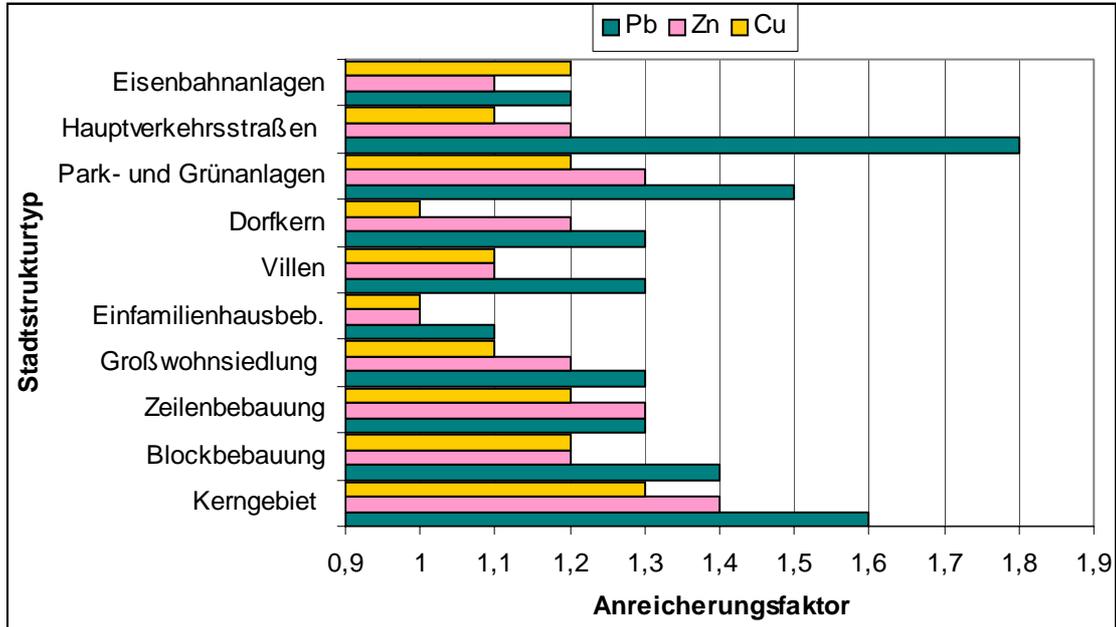


Abb. 88: Anreicherungs-raten (Anreicherung/Jahr) von Schwermetallen in den exponierten Kontrollböden differenziert nach Stadtstrukturtypen

7.6 Bodenmessfelder

Wie in Kap. 6 beschrieben, findet im Rahmen eines vom **UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle** geförderten Drittmittelprojektes seit Juli 2000 eine umfangreiche Untersuchung zur **bodensickerwassergetragenen Stoffverlagerung** statt (KOCH, SAUERWEIN & FRÜHAUF 2004: *Urbane Böden als Belastungsquellen von Nähr- und Schadstoffen für aquatische Systeme (Fließgewässer, Standgewässer, Grundwasser) – dargestellt am Beispiel der Stadt Halle*).

Als Beispiel ist in Abb. 89 das Bodenmessfeld am Standort „Silberhöhe“ dokumentiert. Einige erste Ergebnisse sind bereits publiziert (KOCH et al. 2003, KOCH et al. 2004). Auf die ausführlichen Ergebnisse möchte der Autor an dieser Stelle nicht eingehen - es sei auf die **Dissertationsschrift** von **KOCH 2004** verwiesen, in welcher detailliert die Möglichkeiten und Grenzen der Qualifizierung und Quantifizierung der Stoffverlagerung aufgezeigt werden. Entscheidend für die eigene Untersuchung ist, dass die **Testflächen in unterschiedlichen Stadtstrukturtypen** liegen und somit auch diesbezüglich stadtstrukturtypenbezogene Unterschiede in den Stoffen, Stoffgehalten und Stofffrachten ermittelt werden können.



Abb. 89: Bodenmessfeld „Silberhöhe“ (Aufnahme: St. Koch)

Da für die Betrachtung des Output aus den städtischen Böden der Bodensickerwasserpfad eine bedeutende Rolle spielt, seien die dafür wichtigsten Erkenntnisse kurz zusammengefasst (in Anlehnung an KOCH 2004):

- Es kommt zu einem **dauerhaften Stofftransport** durch das Sickerwasser mit z.T. erheblichen Konzentrationen. Dabei können **Washout-Effekte** beobachtet werden (insbesondere leicht lösliche Stoffe, z.B. nach Trockenphasen bei einsetzenden größeren Niederschlagsereignissen).
- Die **Geschwindigkeit der Stoffverlagerung** steigt mit **Sickerwassermenge** und damit mit der **Einzugsgebietsgröße**. Diese ist abhängig vom **Versiegelungsgrad** (der stadtstrukturtypenbezogen unterschiedlich ist) und von der baulichen (vertikalen) Überprägung (was zur Störung von Sickerwasserbahnen führt).
- Entscheidend für die **Qualität** des Sickerwassers ist die **Lage der Standorte** (Stadtstrukturtypenzuordnung und Lage zu aktuellen Emittenten) und **deren Vorbelastung** (in „alten“ urbanen Böden sind die Bodenstoffgehalte höher (SAUERWEIN 2002) und damit auch der zur Verfügung stehende Pool).
- Die **Nitratbelastung** steigt außerhalb der Vegetationsperiode deutlich an.
- Die Sickerwassermenge nimmt mit zunehmenden **Tonanteil** ab.
- **Glassaugkerzen** fördern bei gleichem Druck mehr Wasser als **Kunststoffsaugkerzen** (vgl. WESSEL-BOTHE 2002).

Im Umfeld aller Messfelder, die in unterschiedlichen Stadtstrukturtypen liegen, wurden Klimastationen eingerichtet, so dass über den Input Niederschlag und die gemessenen Sickerwassermengen und Stoffkonzentrationen der Stoffaustag auf diesem Transferpfad zumindest überschlagen werden kann. Folgendes lässt sich ableiten (KOCH, SAUERWEIN & FRÜHAUF 2004):

- Der **Niederschlag** als Input **variiert** zwischen den Testflächen in der **Jahressumme** nur im **Prozentbereich**, jedoch können **niederschlagsereignisbezogen** große **Unterschiede** auftreten.
- Damit ist eine Berechnung der **Stoffverlagerung** nur **standortbezogen** möglich.
- Für detaillierte **Frachtberechnungen** sei auf **KOCH 2004** verwiesen. Der Einfluss der **Stadtstrukturtypenzuordnung** ist im **Spektrum der transportierten** Stoffe nachweisbar.

In Kap. 11 wird an einem Beispiel gezeigt, wie die ermittelten Ergebnisse der **Bodensickerwassermessungen** in eine **Stoffhaushaltsbilanzierung** eingehen.

7.7 Schlussfolgerungen: Anthropogene Bodenveränderungen in Stadtstrukturtypen von Halle

Zur Beschreibung der anthropogenen Bodenveränderungen ist es nötig, die **Art** und die **Intensität** der Veränderung zu erfassen. Wie an der Vielzahl der Beispiele von Einzelstandorten gezeigt wurde, steht die **Charakterisierung der Bodenveränderung** in engem Zusammenhang mit den beiden **Faktoren prä-urbane Bodenausgangsbedingung und anthropogene Reliefveränderung**. Standortbezogen ist entscheidend, welcher Bodentyp vor der anthropogenen Überprägung ausgeprägt war und ob es in Folge des Eingriffs (der Eingriffe) zu einer positiven Reliefveränderung (durch Auftrag) kam oder zu einer negativen Reliefveränderung (durch Abtrag) kam oder das Relief nahezu unverändert blieb.

Durch die **Reliefveränderung** wird nämlich insbesondere die **Senkenfunktion** der Böden verändert. Durch Bodenauftrag kann es sowohl zu einer **Akkumulation** kommen (z.B. im Falle des Auftrags „belasteter“ Substrate) ebenso wie zu einer „**Verdünnung**“ (z.B. im Falle des Auftrags unbelasteter Substrate). Andererseits kann durch Relieferniedrigung die Senke anthropogen „entfernt“ werden. Neben dieser möglichen quantitativen Veränderung von Stoffen bzw. Stoffkonzentrationen können aber auch die **Steuergrößen des Bodenstoffhaushaltes verändert** werden. Dies ist z.B. im Falle der Veränderung der Humusqualität oder der Ton-Humus-Komplexe möglich. Dadurch wird eine objektiv messbare Bewertung der Veränderung sehr schwierig. Um die anthropogene **Veränderung der Böden bewerten** zu können, musste deshalb eine **messbare Größe** bzw. ein quantitativ parametrisierter Indikator gefunden werden. Dieser sollte zudem möglichst **einfach bestimmbar** sein. Eine Möglichkeit dafür ist der „**Natürlichkeitsgrad**“ (erstmal zitiert bei SAUERWEIN 2002). Unter Natürlichkeitsgrad wird dabei die **sichtbare Veränderung** ehemals natürlicher Substrate verstanden (in %, bezogen auf den ersten Profilmeter). Ein Boden, der **keine sichtbare anthropogene Veränderung** (z.B. durch Fremdmaterial) im ersten Profilmeter aufweist, hat einen **Natürlichkeitsgrad von 100 %**. Ein Boden, der im ersten Profilmeter durch eindeutig allochthones Material (kein Kolluvium) gekennzeichnet ist, hat einen Natürlichkeitsgrad von 0 %. Dies sagt selbstverständlich nichts über die qualitative Veränderung oder die stoffliche Überprägung aus, ist aber dennoch eine Kenngröße für das Ausmaß der anthropogenen Veränderung. Nach der Ansprache von Bodenschürfen und/oder Bohrstockprofilen ist es zudem sehr leicht möglich, z.B. aus den Punktdaten einer Testfläche für die gesamte Fläche den **Natürlichkeitsgrad** der Bodenverhältnisse zu generalisieren. Bezogen auf die exemplarisch mit den Teiluntersuchungsgebieten repräsentierten Stadtstrukturtypen wurden in einem ersten Schritt die Informationen aus den Leitprofilen verwendet, um für jedes **Teiluntersuchungsgebiet** bzw. Testgebiet den **generalisierten Natürlichkeitsgrad** abzuleiten. In Tab. 21 ist das Ergebnis ergänzt mit dem prä-urbanen Bodentyp und der quantitativen Reliefveränderung zusammengestellt.

Es lässt sich feststellen, dass nur wenige Flächen einen **Natürlichkeitsgrad von 100 %** aufweisen, damit also als anthropogen unverändert bezeichnet werden können (ohne Berücksichtigung der Stoffgehalte!). Solche Flächen sind nur im Bereich des **Stadtparks** und des **St. Barbara Krankenhauses** zu finden. Alle anderen Flächen sind zu mindestens 20 % (bezogen auf die Vertikale) anthropogen verändert, die allermeisten dieser sogar zu 100%! In den Stadtstrukturtypen **Kerngebiet** und **Einkaufszentren** lässt sich dies sogar flächendeckend ableiten.

Tab. 21: Prä-urbane Bodentypen, anthropogene Reliefveränderung und Natürlichkeitsgrad der Böden der Teiluntersuchungsgebiete

Stadtstrukturtyp	Teiluntersuchungsgebiet	Prä-urbaner Bodentyp *	Anthrop. Reliefveränderung **	Natürlichkeitsgrad ***
Kerngebiet	„Audimax“	Pararendzina-Kippboden	Auftrag > 2 m	0
	„Stadtcenter“	Pararendzina-Kippboden	Auftrag > 2 m	0
	„NO-Ecke Markt“	Pararendzina-Kippboden	Auftrag > 2 m	0
	Brüderstr.	Pararendzina-Kippboden	Auftrag > 1 m	0
	Schulstr.	Pararendzina-Kippboden	Auftrag > 1 m	0
	Domstr.	Pararendzina-Kippboden	Auftrag > 1 m	0
Blockbebauung	Goethestr.	Braunerde-Tschernosem	Auftrag > 1,5 m	0
	Bernhardystr.	Braunerde-Tschernosem	Innenhöfe: Auftrag 0,8 m / Abtrag 0,2 m Vorgärten: Auftrag 0,8 m	20 – 40
	F.-Schubert-Str.	Pararendzina-Kippboden	Auftrag: 1,2 m	0
Zeilenbebauung	Meisenweg	Braunerde-Tschernosem	Auftrag: 0,6 m	40
	E.-Eckstein-Str.	Braunerde-Tschernosem	Auftrag: 0,7 m	30
	Johannesplatz	Braunerde-Tschernosem	Auftrag: 0,5 m	50
Großsiedlung	Meisdorfer Str.	Pseudogley-Tschernosem	+/- 0 m	50
	Brahmsbogen	Auenboden	Auftrag: 0,2 m	80
	E.-Barlach-Ring	Tschernosem	Auftrag: > 1 m	0
	Haflinger Str.	Auenboden	Auftrag: > 1 m	0
Ein-/Zweifamilienhausbeb.	Büschdorf	Tschernosem	Auftrag: 0,8 m	20
	Heide-Süd	Tschernosem	Auftrag: 0,6 m	40
Villen	Rathenauplatz	Braunerde	Auftrag: > 1 m	0
	Mühlweg	Braunerde	Auftrag: 0,2 m	80
Dorfkern	Kröllwitz	Regosol	Auftrag: 0,4 m	60
Park-/Grünanl.	Stadtpark	Braunerde-Tschernosem	Auftrag: 0 – 0,5 m	50 – 100
	Steintor	Braunerde	Auftrag: > 1 m	0
Kleingartenanlage	Paul-Riebeck-Stift	Braunerde-Tschernosem – Regosol	Auftrag: 0,3 m	30
Sport-/Freizeitanl.	K.-W.-Stadion	Regosol	Auftrag: > 1 m	0
Öffentl. Einricht.	Franckesche Stift.	Tschernosem	+/- 0 m	0
	Barbara-Krank.h.	Braunerde-Tschernosem	+/- 0	100
Einkaufszentren	Kaufland	Regosol	Auftrag: > 1 m	0
	HEP	Pararendzina-Kippboden	Auftrag: > 1 m	0
Hauptverkehrsstraßen	Wasserturm	Braunerde-Tschernosem	Auftrag: > 1 m	0
	Magistrale	Pseudogley-Tschernosem	Auftrag: 0,4 m	50
Eisenbahnanl.	Hauptbahnhof	Regosol-Kippboden	nicht bestimmbar	< 30
	Thüring. Bahnhof	Braunerde-Tschernosem	nicht bestimmbar	< 30

* abgeleitet aus ALTERMANN & MACHULLA 1996 und ALTERMANN et al. 1997
** ermittelt aus den eigenen Profilaufnahmen
*** in %, bezogen auf den ersten Profilmeter; ermittelt aus der Interpolation der eigenen Profilaufnahmen

Neben der „Klassifizierung“ des Natürlichkeitsgrades gibt auch das quantitative Ausmaß der Reliefveränderung Hinweise auf die Intensität der anthropogenen Veränderung. **Reliefveränderung** und **Natürlichkeitsgrad unterscheiden** sich dahingehend, dass eine Fläche z.B. erst erniedrigt wurde und dann mit Fremdmaterial aufgefüllt wurde, damit jedoch keine Reliefveränderung festzustellen ist. Dies kann jedoch für den Stoffhaushalt gravierende Einschnitte bedeuten – zum einen eine direkte Veränderung von Stoffkonzentrationen und zum zweiten eine Veränderung der Steuergrößen (s.o.)! Weiterhin lässt sich erkennen, dass die **Veränderung und Überprägung** durch die flächenhaften und punktuellen Bautätigkeiten infolge der Stadterweiterungen **auf die prä-urbanen Böden keinerlei Rücksicht** genommen haben. Damit wird sehr deutlich, dass **städtische Ökosysteme anthropozentrische Systeme** darstellen und damit als einziger Ökosystemtyp **keinerlei „Ansprüche“** an die **prä-urbane Bodenausstattung** (im Siedlungsgebiet) stellt. Auch das prä-urbane Relief hat nahezu keine Bedeutung, abgesehen von historisch günstigen topographischen bzw. Lagebedingungen.

Ausgehend von den Betrachtungen der **Leitprofile** in den Teiluntersuchungsgebieten ist es durch **Hinzunahme** der **temporären Profile** aus Sicht des Autors möglich, weiter **generalisierende Aussagen** zur Bodenveränderung in den Stadtstrukturtypen abzuleiten.

Tab. 22: Stadtstrukturtypbezogene Charakterisierung der Bodenveränderung

Kernstadt	Die prä-urbanen Böden sind im Bereich der archäologischen Grabungen nicht mehr nachweisbar. Die Erstellung „ chronologischer Profile “ erlaubt es, Aussagen über mehrere Zeitabschnitte zu vergleichen. Sprünge in der Konzentration einzelner Stoffe zwischen einzelnen Zeitabschnitten sind in den Profilen „sichtbar“ (besonders Blei, Phosphat, Humusgehalt, Skelettgehalt). Stoffkonzentrationen sind nicht nur bzw. nur bedingt abhängig von der Nutzungsintensität . Der Zeitraum der Nutzung hat Einfluss auf die „Aufkonzentration“ besonders immobilere Stoffe (z.B. Blei, Phosphat) ebenso wie die Aufkonzentration durch singulär Ereignisse wie Brände oder Planierungen . PAK eignen sich sehr gut, um die „Belastungszeit“ städtischer Böden einzugrenzen: Es kann unterschieden werden zwischen prä-urban, vorindustriell-urban und industriell-urban beeinflussten Horizonten. Blei ist ein starker Indikator, um anthropogene Aktivitäten generell anzuzeigen. Zink und Kupfer sind in allen Horizonten nachweisbar und in ihren Schwankungen feiner als Blei. Es gibt nicht nur zwischen archäologisch-historischen Zeitabschnitten Unterschiede in den Tiefenverteilungen, sondern auch innerhalb einzelner Abschnitte . Die absoluten Gehalte weisen darauf hin, dass Kupfer verstärkt bis zum 14./15. Jh. imitiert wurde, Zink dagegen ab dem 13./14. Jh. Die Untersuchung der „ jüngeren “ Profile der Kernstadt macht deutlich, dass der Bodenaufbau über den als „historisch“ bezeichneten Ablagerungen räumlich sehr heterogen ist und es keine eindeutigen Tiefenverteilungsmuster der analysierten Parameter gibt.
Blockbebauungen	Paulusviertel: starke anthropogene Reliefüberprägung durch hauptsächlich natürliche Substrate Südliche Vorstadt: unterschiedliche Überprägung in Innenhöfen und Vorgärten Ankerviertel: starke anthropogene Reliefüberprägung durch bauschutthaltige Substrate
Zeilenbebauung	anthropogene Bodenveränderung unabhängig von der Lage im Stadtgebiet , ehemalige Oberböden abgetragen und zwischenengelagert , Bodenaufbau: foss. C, darüber umgelagertes natürliches Material (aus B- bzw. C-Horizonten), darüber oJAh
Großsiedlung	Intensität der Bodenveränderung nimmt mit dem Alter zu, erhöhte Stoffgehalte im Oberboden sind abhängig vom Alter und von der Beeinflussung durch die Hauptemissionsquelle Kfz-Verkehr
Ein-/Zweifamilienhausbebauung	Bodenveränderung besonders im Bereich der Straßen , „ Deponierung “ von Fundament- und Aushubmaterial (C-Horizonte), anschließend Überdeckung mit zwischenengelagerten Oberböden
Villen	Sonderfall Paulusviertel, sonst Bodenveränderung entsprechend der in angrenzender Blockbebauung , Intensität und Ausmaß jedoch geringer
Dorfkern	Hortisole
Park-/Grünanl.	Auftrag im Bereich von Infrastrukturflächen , auch natürlich Böden
Kleingartenanl.	Hortisole , Auftrag 0,3 m
Sport-/Freizeit anl.	totale Reliefmodifikation , Großbaustelle
Öffentl. Einricht.	lokale Veränderung des Bodenaufbaus , nicht aber des Reliefs, „historische“ Großbaustelle
Einkaufszentren	totale Veränderung des Bodenaufbaus und physikalische Beeinträchtigung, Versiegelung
Hauptverkehrsstr.	begleitet von unterirdischer Versiegelung, Stoffgehalte durch häufige Baumaßnahmen „nivelliert“
Eisenbahnanlagen	sehr stark verdichtet , sehr hohe Stoffkonzentrationen

Durch Hinzunahme der temporären Profile zu den Leitprofilen ist es aufgrund der großen Anzahl von Profilinformatoren möglich, obige Aussagen zur **stadtstrukturtypbezogenen Bodenveränderung** auch **statistisch abzusichern**. Dies geschieht folgendermaßen:

1. Berechnung der **Mittelwerte** der **Ah-Horizonte** und datierbarer fAh-Horizonte (Stoffe: Blei, Zink, Kupfer, PAK) jeweils einer Fläche.
2. **Zuordnung** der Flächen zu einem **Stadtstrukturtyp** und statistische Auswertung mittels **Clusteranalyse** (Blei, Kupfer, Zink und PAK in Ah-Horizonten)
3. **Statistische Überprüfung** der Arbeitshypothese, dass sich die Stoffgehalte (in Ah-Horizonten) zwischen einzelnen Stadtstrukturtypen signifikant unterscheiden (**Kruskal-Wallis-Test**).
4. Statistische Ermittlung von pedologischen Steuergrößen durch **Korrelationsanalysen**.

Für die statistischen Berechnungen wurden vorher die in Tab. 17 aufgeführten Leitprofile und temporären Bodenprofile den einzelnen Stadtstrukturtypen zugeordnet. Eine Vielzahl von begrabenen humusreichen, fremdmaterialefreien Horizonten wurden als **fAh-Horizonte** angesprochen. Es zeigte sich, dass die **PAK-Analyse** hervorragend geeignet ist, die hinsichtlich des anthropogenen Stoffeintrags unbeeinflussten „echten“ fAh von denjenigen zu trennen, die auf irgendeine Art und Weise in ihrer Ge-

schichte einem anthropogenem Stoffinput ausgesetzt waren. Die prä-urbanen Stoffgehalte der fAh-Horizonte liegen für Benzo(a)pyren und auch für Blei z.T. unter der Nachweisgrenze. Dadurch ist letztlich auch der Grad der stofflichen anthropogenen Beeinflussung messbar. Als Konsequenz mussten einige im Gelände als fAh angesprochene Horizonte hinsichtlich der Stoffgehalte neu interpretiert werden, denn sonst wäre der signifikante Anstieg z.B. der PAK-Konzentrationen nicht erklärbar.

Tab. 23: Anzahl der für die statistischen Berechnungen verwendeten Ah-Horizonte (Leitprofile plus temporäre Bodenprofile)

	Leitprofile + Temporäre Bodenprofile
Kerngebiet	14 + 9
Blockbebauung	18 + 15
Zeilenbebauung	21 + 10
Großsiedlung	17 + 16
Einzelhausbebauung	2 + 9
Villenbebauung	8 + 3
Eisenbahnanlagen	4 + 2
Hauptverkehrsstraßen	2 + 8
Einkaufszentren	5 + 6
Zentr. Grünanlagen	2 + 7

In der folgenden Abb. sind die Schwermetallgehalte der Oberböden zu **hierarchischen Clustern** zusammengefasst. Diese Gruppenbildung fasst **stadtstrukturtypbezogen Standorte** relativ **gleicher Stoffkonzentrationen** zusammen.

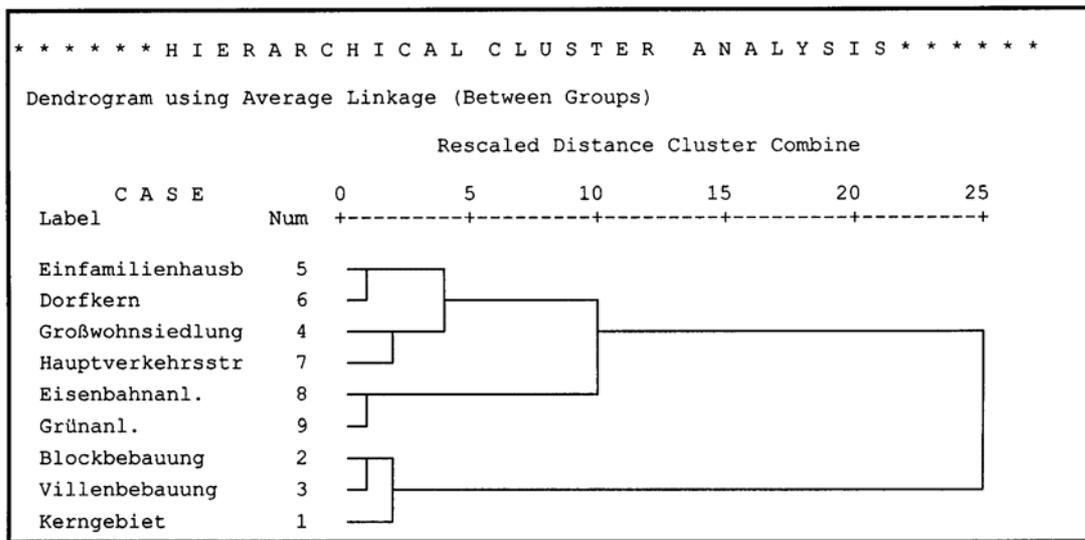


Abb. 90: Hierarchische Clusteranalyse der Oberböden (Variablen: Blei, Zink, Kupfer)

Die hierarchische Clusteranalyse für die Stoffgehalte der Oberböden trennt die Stadtstrukturtypen in **zwei Gruppen**. Die eine Gruppe wird von Blockbebauung, Villen und Kerngebiet gebildet, in der zweiten Gruppe werden alle übrigen Standorte/Stadtstrukturtypen zusammengefasst. Am „ähnlichsten“ sind sich Großsiedlungen und Hauptverkehrsstraßen sowie Eisenbahnanlagen und Grünanlagen. Die Ursachen dieser Gruppierung wurde bei der Vorstellung der Einzelergebnisse der Stadtstrukturtypen schon angedeutet. **Kerngebiet, Blockbebauung** und **Villen** sind diejenigen Strukturen, die am ältesten sind und somit auch eine ähnliche Geschichte (im Sinne der stoffhaushaltlichen Beeinflussung) aufweisen. Großsiedlungen und Hauptverkehrsstraßen sind mit die jüngsten Strukturen bzw. die am jüngsten veränderten Strukturen und gleichermaßen durch den Kfz-Verkehr beeinflusst. Dass **Grünanlagen** und **Eisenbahnanlagen** ebenfalls gruppiert sind, dürfte an der Auswahl der Grünanlagen liegen. Es wurden nämlich nicht die „großen“ städtischen Grünbereiche (Auen, Wälder) untersucht, sondern die am Randbereich der Innenstadt gelegenen kleineren und älteren Flächen. Diese sind schon seit langer Zeit den städtischen Emissionen ausgesetzt und ähneln dabei dem Spektrum der ebenfalls „alten“ Eisenbahnanlagen. Um über eine Gruppierung hinaus eine **statistisch abgesicherte**

Verteilung der Schwermetallgehalte zu ermitteln, wurde ein **Kruskal-Wallis-Test** für die Oberböden bezogen auf die Stadtstrukturtypen durchgeführt (Abb.91).

	Blei		Kupfer		Zink	
	Mean Rank	Cases	Mean Rank	Cases	Mean Rank	Cases
Kerngebiet	2	23	3	23	2	23
Blockbebauung	3	33	2	33	3	33
Zeilenbebauung	5	41	4	41	4	41
Großsiedlung	9	33	9	33	8	33
Einzelhausbebauung	10	11	10	11	10	11
Villenbebauung	4	11	5	11	5	11
Eisenbahnanlagen	1	6	1	6	1	6
Hauptverkehrsstraßen	6	10	8	10	6	10
Einkaufszentren	7	11	6	11	7	11
Zentr. Grünanlagen	8	9	7	9	8	9
	Significance	0,0228	Significance	0,0184	Significance	0,0173

Abb. 91: Kruskal-Wallis-Test: Mean Ranks für Blei, Kupfer und Zink in den Ah-Horizonten in Abhängigkeit vom Stadtstrukturtyp

Mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Test kann man mit einer **statistischen Sicherheit** von über **95 %** sagen, dass sich die **Schwermetallgehalte** der Oberböden zwischen den einzelnen Stadtstrukturtypen **signifikant unterscheiden**. Die Reihenfolge ist den Mean Ranks zu entnehmen. Diese wurden auf ganze Zahlen gerundet. Demnach sind die durchschnittlich höchsten Gehalte in dem Strukturtyp Eisenbahnanlagen ermittelt, die geringsten in der Ein-/Zweifamilienhausbebauung. Die statistische Sicherheit ist bei Zink und Kupfer etwas höher als bei Blei, für alle drei Schwermetalle ist auch die Reihenfolge bis auf paarweise Vertauschungen die gleiche. Insgesamt lässt die **statistische Analyse** den Schluss zu, dass eine **räumliche Differenzierung** existiert, deren **Ursache** mit der Zuordnung zu **Stadtstrukturtypen** begründet werden kann. Aus Abb. 7-82 lässt sich auch ableiten, dass es statistisch durch den Kruskal-Wallis-Test abgesichert eine **Rangfolge der „Belastung“ der Oberböden** hinsichtlich ihrer Stadtstrukturtypenzugehörigkeit gibt. Diese Rangfolge ist (beginnend mit der höchsten „Belastung“):

Eisenbahnanlagen > Kerngebiet > Blockbebauung > Zeilenbebauung > Villenbebauung > Hauptverkehrsstraßen > Einkaufszentren > Grünanlagen > Großsiedlung > Einzelhausbebauung

Um neben Aussagen zur Senkenfunktion der Böden und deren räumlicher Verteilung innerhalb der Stadt auch Aussagen zur **Veränderung der Steuergrößen** bzw. zu deren Zusammenhang treffen zu können, wurde abschließend Korrelationsanalysen aller Parameter in den Ah-Horizonten durchgeführt. Dazu wurden die Schwermetallgehalte in den verschiedenen Aufschlüssen betrachtet (Abb. 92) sowie der Zusammenhang zu den pedologischen Grundparametern (Abb. 93).

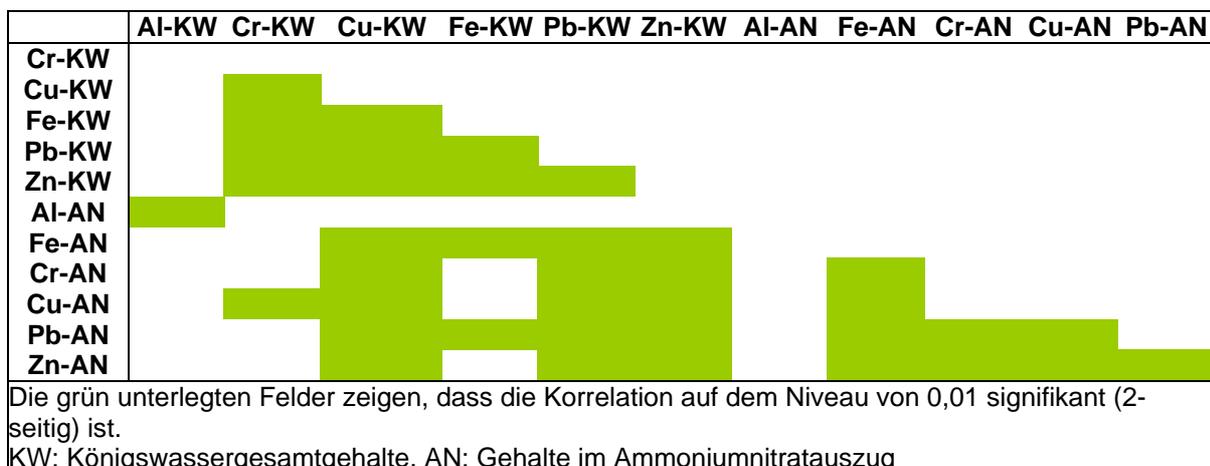


Abb. 92: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=188) von Schwermetallen der Oberböden

Aus den Korrelationsanalyse der Schwermetalle in den Oberböden untereinander lassen sich einige grundlegende Aussagen statistisch abgesichert ableiten. Die **Schwermetallgesamtgehalte korrelieren**

ren untereinander hoch signifikant auf dem 99 % Niveau. Die **ammoniumnitratlöslichen Gehalte** korrelieren mit ihren jeweiligen Gesamtgehalten und untereinander. Weniger Korrelationen sind für den Zusammenhang von ammoniumnitratlöslichen Gehalten unterschiedlicher Schwermetalle festzustellen. Für **Aluminium** gilt, dass nur die Gesamtgehalten mit den ammoniumnitratlöslichen Gehalten im Zusammenhang stehen, Aluminium aber nicht mit den Schwermetallen. Ähnliche Korrelationen wurden auch in Untersuchungen zur **anthropogenen Schwermetallbelastung** in Bergbaugebieten festgestellt (HARRES & SAUERWEIN 1997, 1994), was wiederum den Schluss nahe legt, dass anthropogen eingetragene Schwermetalle in ihrem **Bindungsverhalten** gleichmäßigen Mustern folgen.

	Al-KW	Cr-KW	Cu-KW	Fe-KW	Pb-KW	Zn-KW	Al-AN	Fe-AN	Cr-AN	Cu-AN	Pb-AN	Zn-AN
Humus												
Leitf.												
pH-Wert												
CaCO ₃												
Skelett												

Die grün unterlegten Felder zeigen, dass die Korrelation auf dem Niveau von 0,01 signifikant (2-seitig) ist.
 KW: Königswassergesamtgehalte, AN: Gehalte im Ammoniumnitratauszug

Abb. 93: Korrelationsanalyse (Spearman, Nmax=188) von Schwermetallgehalten und pedologischen Parametern der Oberböden

Abb. 93 zeigt, dass es **keine Zusammenhänge** mit dem **pH-Wert** (dieser ist generell über 6,5) gibt und ebenso nicht zu **Skelettanteil** und **CaCO₃-Gehalt**. Deren Gehalte schwanken innerhalb der Stadtstrukturtypen so stark, dass keine Regelmäßigkeiten erkannt werden können. Die Aluminiumgehalten zeigen ebenso keine statistischen Zusammenhänge. Sowohl die **Schwermetallgesamtgehalten** als auch die **ammoniumnitratlöslichen Gehalte** korrelieren mit dem **Humusgehalt**, so dass dieser eindeutig als **Steuergröße** interpretiert werden kann. Die ammoniumnitratlöslichen Gehalte korrelieren mit der **Leitfähigkeit**, was mit ihrem (relativ leichten) Lösungsvermögen begründet werden kann.

8 Darstellung und Diskussion der erfassten Daten im Kontrolluntersuchungsgebiet Wittenberg

In der Lutherstadt Wittenberg konnten mit Genehmigung und Unterstützung der Stadtverwaltung im Untersuchungszeitraum 1999 bis 2003 neben temporären Bodenprofilaufnahmen (hauptsächlich im Zuge von Bautätigkeiten) besonders im Rahmen von studentischen Geländepraktika 2001 und 2002 an ausgewählten Standorten in verschiedenen Stadtstrukturtypen Bodenschürfe angelegt und beprobt werden. Insgesamt wurden so **in 9 Stadtstrukturtypen 41 Profile** aufgenommen, beprobt und analysiert. Grundlage der Standortauswahl waren die zuvor erfolgte **Stadtstrukturtypenkartierung** sowie die Bodenkonzeptkarte der Stadt (DARMER & MÖLLER 1994). Im direkten Stadtkern konnten bzw. durften keine eigenen Bodenprofile angelegt werden, da das Gebiet innerhalb der Stadtmauer (Abb. 94) als flächenhafter Denkmalbereich archäologisch geschützt ist.

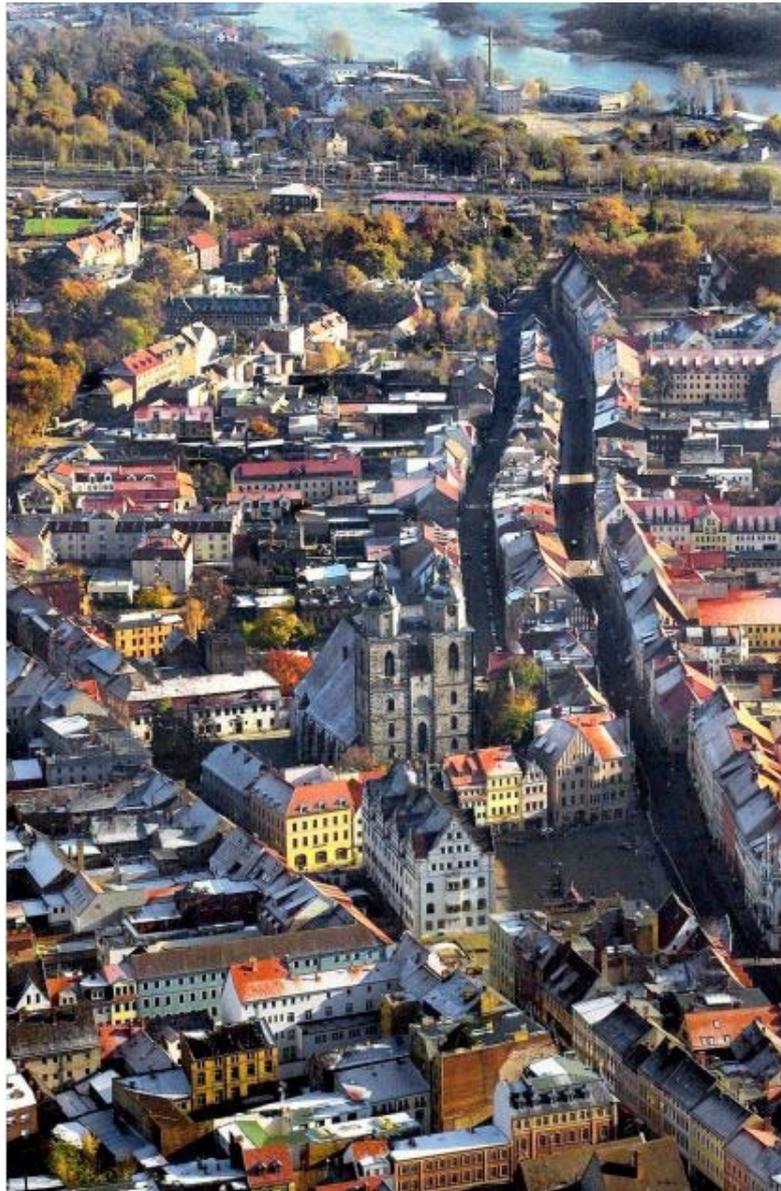


Abb. 94: Luftbild Zentrum Lutherstadt Wittenberg (Bildquelle: www.mz-web.de, 12.01.2004)

8.1 Stadtstrukturtypenkartierung

Die **Kartierung** der Stadtstrukturtypen in Wittenberg erfolgte im Rahmen einer studentischen Projektarbeit von F. Beau auf Grundlage von **Luftbildern** sowie **historischen Karten** und weiteren Informationen, die seitens der Stadtverwaltung aus dem Umweltatlas (LUTHERSTADT WITTENBERG 1994) und

der Entwicklungskonzeption Lutherstadt Wittenberg (STADTBÜRO HUNGER 1993) zur Verfügung gestellt wurden. Die Stadtstrukturtypen sind aufgrund der Datenlage etwas anders zusammengefasst als in Halle, so sind z.B. die gründerzeitlichen Stadterweiterungen zeitlich differenziert, aber die Blockbauungen nicht weiter nach Subtypen differenziert. Dies ist aber für die Auswahl der Teiluntersuchungsgebiete nicht von Bedeutung, da diese nach Geländebegehungen mit einem Vertreter der Stadtverwaltung erfolgte. Im Rahmen der Projektarbeit wurden die außerhalb der bebauten Flächen gelegenen Flächen (Landwirtschaft, Aue, Wald) nicht kartiert, da die Zielstellung die Differenzierung der Siedlungsbereiche war. Insgesamt nimmt die **Wohnbaufläche** einen Anteil von **19,3 % der Gesamtstadtfläche** ein. Die prozentuale Verteilung der Flächenanteile der Stadtstrukturtypen an der Wohnbaufläche ist in Abb. 95 dargestellt.

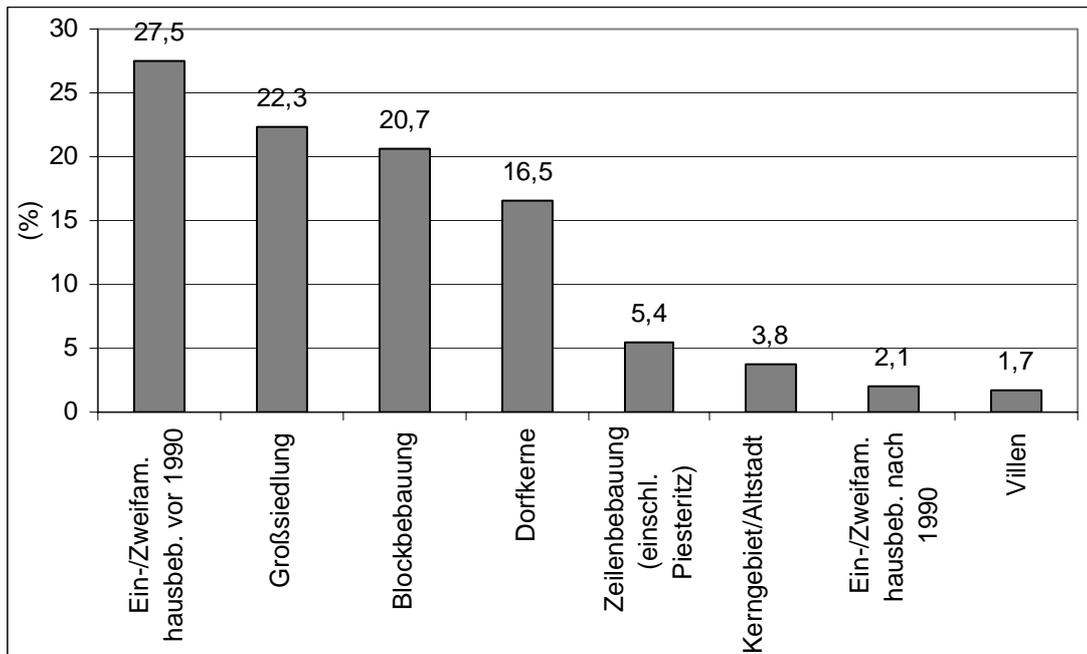


Abb. 95: Flächenanteile der Stadtstrukturtypen in Wittenberg an der Wohnbaufläche in %

Die **Verteilung der Stadtstrukturtypenanteile** in Wittenberg dürfte **repräsentativ** für eine Vielzahl von Städten dieser Bevölkerungszahl sein. Mit Einschränkung evtl. auf Städte, die im Mittelalter eine relativ große Bedeutung hatten und auch während der Gründerzeit „boomten“, was die Anteile der Altstadt mit 3,8% und der gründerzeitlichen Viertel mit 20,7 % bestätigen. Wie überall in der (ehemaligen) DDR nehmen die durch Plattenbauten geprägten Viertel mit 22,3 % den zweiten Rang der Flächenstatistik ein, was im Zusammenhang mit den großen Industriebetrieben westlich Piesteritz steht. Anders als in Halle ist der Anteil der Ein-/Zweifamilienhausbebauung in Wittenberg höher, was wiederum typisch für „Nicht-Großstädte“ ist (HEINEBERG 2001). Für den eigenen Untersuchungsansatz von Bedeutung ist, dass die Stadt **Wittenberg** eine ähnliche Geschichte wie **Halle** hat und auch alle Stadtstrukturtypen entsprechend **vergleichbar** vertreten sind.

8.2 Teiluntersuchungsgebiete in exemplarischen Stadtstrukturtypen – Ergebnisse der Profilaufnahmen

Für das Stadtgebiet von Wittenberg wurde keine flächendeckende **Reliefanalyse** wie in Halle durchgeführt. Dies erschien als nicht nötig, da über Bohrstocksondierungen im Umfeld der angelegten Leitprofile die **anthropogene Reliefmodifikation** ausreichend abgeschätzt werden konnte. In den folgenden Unterkapiteln wird bezogen auf die Stadtstrukturtypen darauf entsprechend eingegangen. In Tab. 24 ist zusammengestellt, in welchen Stadtstrukturtypen und wo **Bodenprofile** aufgenommen wurden (zur Lage siehe Abb. 96). Da der **Datenumfang** wesentlich geringer und viel übersichtlicher ist als in Halle, werden die erhobenen Daten in einer **Excel**-Tabelle gehalten. Darin sind sämtliche Informationen sowohl aus dem Gelände als auch die Labordaten erfasst.

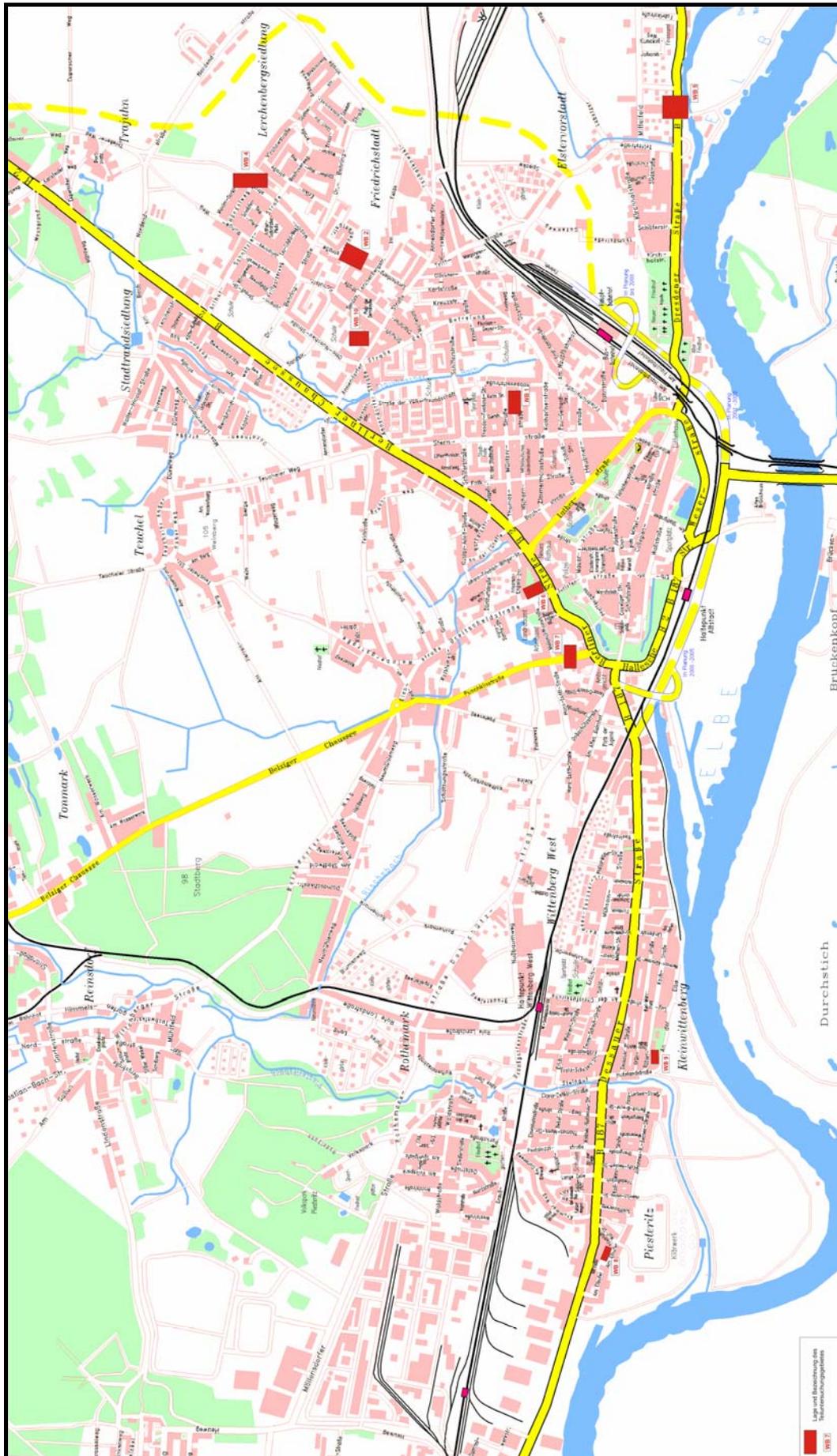


Abb. 96: Lage der Teiluntersuchungsgebiete/Baublöcke in Wittenberg

Tab. 24: Teiluntersuchungsgebiete in Wittenberg

Stadtstrukturtyp	Teiluntersuchungsgebiet/Baublock	Bezeichnung in Abb. 96	Anzahl der Profile
Kerngebiet			nur Oberböden
Blockbebauung	Wichernstr.	WB 1	6
Zeilenbebauung/Werkssiedlung	Am Elbufer	WB 8	4
Großwohnsiedlung	Lerchenbergstr.	WB 2	6
Ein-/Zweifamilienhausbebauung	Mozartstr.	WB 4	6
Villen	Puschkinstr.	WB 7	6
Park- und Grünanlagen	- Robert-Koch-Str. - Grünanlage	WB 9 WB 10	4 5
Hauptverkehrsstraßen	Berliner Str.	WB 6	4

Um die **Repräsentativität** der Standorte zu gewährleisten, wurden nach flächenhaften Bohrstocksondierungen **je Standort 2 bis 6 Leitprofile** aufgegraben. Wie unten für die einzelnen Standorte gezeigt wird, ist damit eine statistische Absicherung der Daten möglich. Kartographische Grundlage der Abbildungen, in denen die Lage der Profile eingezeichnet ist, sind Auszüge aus Katasterkarten, die freundlicherweise von der Stadtverwaltung zur Verfügung gestellt wurden. In allen Teiluntersuchungsgebieten wurden wie in Halle **Kontrollböden exponiert**, von Januar 2001 bis Dezember 2002.

8.2.1 Kerngebiet

Anders als in Halle konnten im Bereich der mittelalterlichen Kernstadt wie oben beschrieben leider keine Profile aufgenommen werden. Es war lediglich möglich, Oberbodenproben zu entnehmen und zu analysieren. Folgende Ergebnisse bleiben festzuhalten (Tab. 25):

Tab. 25: Mittelwert und Relative Standardabweichung für Bodenparameter und Schwermetalle (Gesamtgehalte in mg/kg) der Oberbodenproben im Kerngebiet Wittenberg (n=17)

	pH-Wert	CaCO ₃ -Gehalt (%)	Humusgehalt (%)	Blei	Kupfer	Zink
Mittelwert	7,3	1,8	2,4	51,3	62,5	113,1
rel. Std.abw. (%)	15	19	21	38	32	41

Aus Tab. 25 geht hervor, dass trotz der Anzahl von 17 Proben **keine flächendeckende Aussage** für die Stoffgehalte der **Oberböden** getroffen werden kann. Die relativen Standardabweichungen der Schwermetallgehalte von über 30% lassen den Schluss zu, dass es eine sehr hohe Variabilität der Gehalte innerhalb der 17 Proben gibt. Dies bedeutet gleichsam, dass in dem am stärksten überprägten Strukturtyp „Kernstadt“ die räumliche Heterogenität so groß ist, dass eine Verallgemeinerung von Mittelwerten unzulässig ist und für die Oberböden somit auch **keine lokale „Belastung“ vorherzusagen** ist. Insofern stimmen die in den beiden Eingangskapiteln formulierten Aussagen der Standardliteratur für diesen Strukturtyp zu. Bzgl. der **Grenzwerte** des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG 1998) z.B. liegen die Schwermetallwerte deutlich unter den Vorsorgewerten. Die pH-Werte unterscheiden sich am wenigsten voneinander, was auf die gleichen Gründe wie in Halle zurückzuführen ist, dass nämlich durch Siedlungs- und Bautätigkeiten Stoffe in die Oberböden eingetragen wurden (hauptsächlich Kalke), welche die pH-Werte relativ erhöhen. Die hohen Humusgehalte und auch ihre Variabilität deuten auf die lokal sehr stark unterschiedliche anthropogene Beeinflussung hin. Ursachen sind hier z.B. das differenzierte Entfernen bzw. Belassen von Humusbildnern (Pflanzenreste).

8.2.2 Blockbebauung

Das untersuchte Gebiet der Blockbebauung befindet sich im östlichen Bereich zwischen Thomas-Müntzer-Str. und Wichernstr (Abb. 97). Es handelt sich um eine gründerzeitliche **offene Blockbebauung**. Insgesamt wurden 4 Profile in den „Vorgärten“ der Wichernstr. und 4 Profile im „Innenhofbereich“ zwischen Wichernstr. und Thomas-Müntzer-Str. angelegt. Exemplarisch ist in Abb. 98 das Profil WB 1A dargestellt.



Abb. 97: Lage der Leitprofile WB 1 (Blockbebauung)

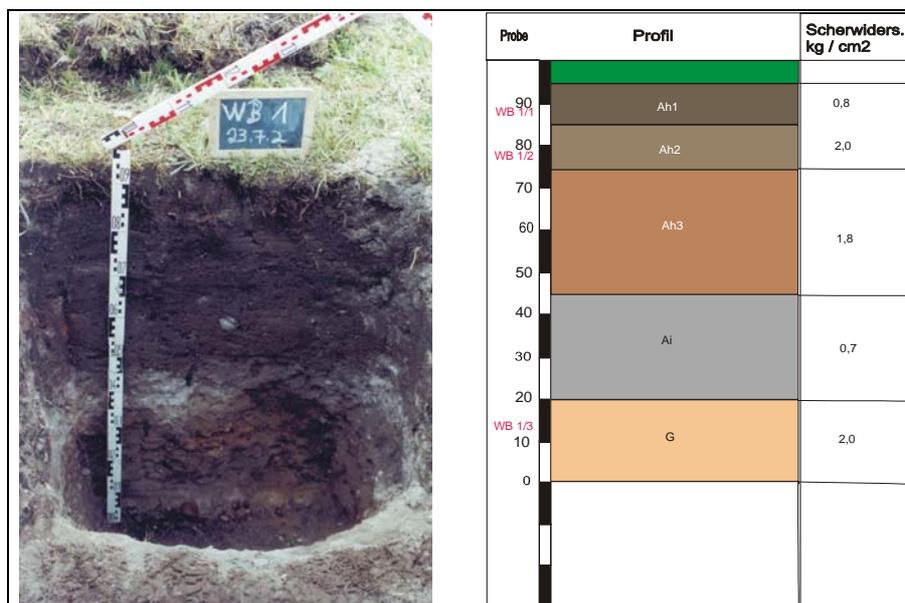


Abb. 98: Dokumentation Leitprofil WB 1A

In Tab. 26 sind die **Horizontmächtigkeiten** der 6 Leitprofile **statistisch ausgewertet** zusammengestellt. Es wird deutlich, dass die relative Standardabweichung (Verhältnis von Standardabweichung der je 6 gleichen Horizonte zu Mittelwert) als Maß für die Variabilität bei den Ah-Horizonten am größten ist. Im Vergleich mit den tieferen Horizonten variiert deren Mächtigkeit wesentlich mehr und ist damit Zeugnis einer intensiveren anthropogenen Überprägung. Der unter den Ah-Horizonten gelegene Horizont wurde mit jC gekennzeichnet, es handelt sich um umgelagertes natürliches, toniges Substrat, welches aus den Fundamentgruben der direkten Umgebung stammen dürfte, denn das gleiche Substrat wurde mit dem Bohrstock in Tiefen größer 1,20 m angetroffen.

Tab. 26: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 1 (6 Bodenprofile)

Probenbezeichn.	Horizontbezeichn.	Durchschnittl. Mächtigkeit (in cm)	Min. Mächtigkeit (in cm)	Max. Mächtigkeit (in cm)	Relative Standardabweichung (in %)
WB1-1	Ah1	10	5	15	19
WB1-2	jAh2	10	0	20	21
	jAh3	30	20	35	25
	jC	25	20	30	11
WB1-3	G	> 20	> 4	> 25	-

Die **Tiefenverteilung der Schwermetallgesamtgehalte** (Abb. 99) zeigt ein (fast) einheitliches Muster. Die Gehalte in dem **G-Horizont** sind für alle drei Schwermetalle am geringsten und als **geogene Grundgehalte** zu interpretieren. Für **Kupfer** und **Blei** sind die Gehalte im (aktuellen) **Ah-Horizont** am **höchsten**, während für **Zink** die Gehalte in dem umgelagerten natürlichen **Ah2** etwas höher sind als im Ah1. Ob dies an einer pedogenen Verlagerung des relativ leicht mobilisierbaren Zink liegt oder an den autochthon höheren Zinkgehalten, kann nicht geklärt werden. Die pH-Werte von über 6,5 lassen jedoch eher letzteres vermuten, zumal auch die organische Substanz des Ah Sorptionseigenschaften besitzt.

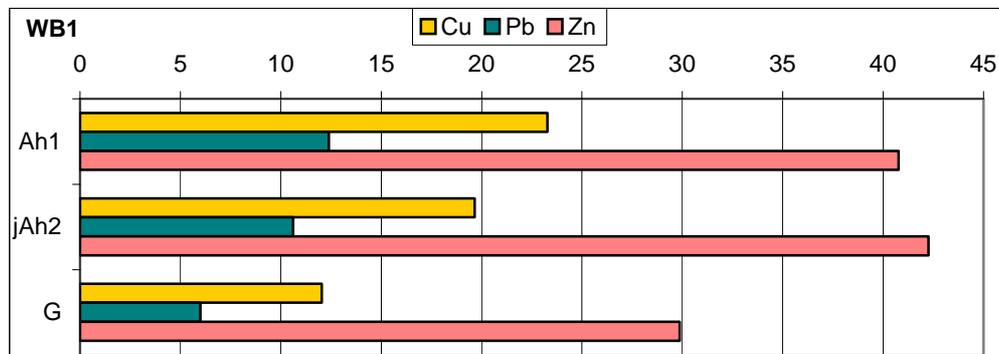


Abb. 99: Tiefenverteilungen von Schwermetallgesamtgehalten der Profile WB 1 (Mittelwerte in mg/kg)

8.2.3 Zeilenbebauung



Abb. 100: Luftbild Werkssiedlung Piesteritz (Bildquelle: www.mz-web.de 12.01.2004, verändert)

Die Bodenprofile zur Charakterisierung der Zeilenbebauung liegen im Bereich der **Werkssiedlung Piesteritz** auf der Fläche des Ärztehauses „Am Elbufer“ (Abb. 100, Abb. 101). Die Werksiedlung wurde im Zusammenhang mit dem Stickstoffwerk ab 1915 gebaut (Kap. 5.2.2) und steht heute unter Denkmalschutz. Dem Autor wurde es durch den genossenschaftlichen Eigentümer nicht gestattet, Bodenprofile auszuheben, so dass auf die städtische Fläche „ausgewichen“ wurde (die zeitgleich überbaut wurde).

In Abb. 102 ist exemplarisch das Profil WB 8A dokumentiert, welches eine **Überprägung ähnlich** der im Bereich der **gründerzeitlichen Blockbebauung** zeigt. In diesem Fall ist über einer „fossilen“ Braunerde ein umgelagertes natürliches Substrat zu sehen, welches offensichtlich dem fC der Braunerde entspricht. Zuoberst ist ein Ah-Horizont gelagert, welcher keine „Fremdanteile“ aufweist.

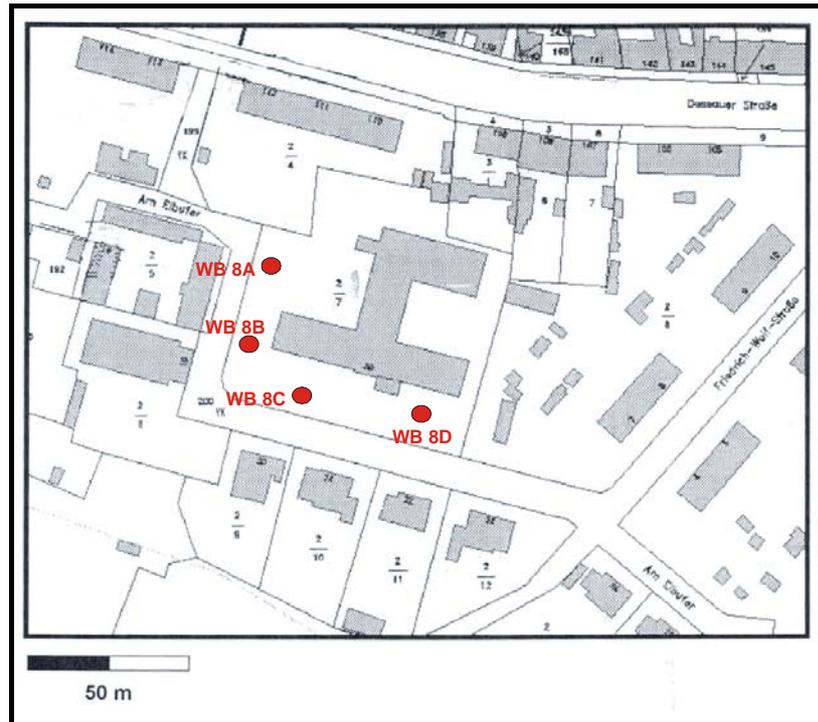


Abb. 101: Lage der Leitprofile WB 8 (Zeilenbebauung)

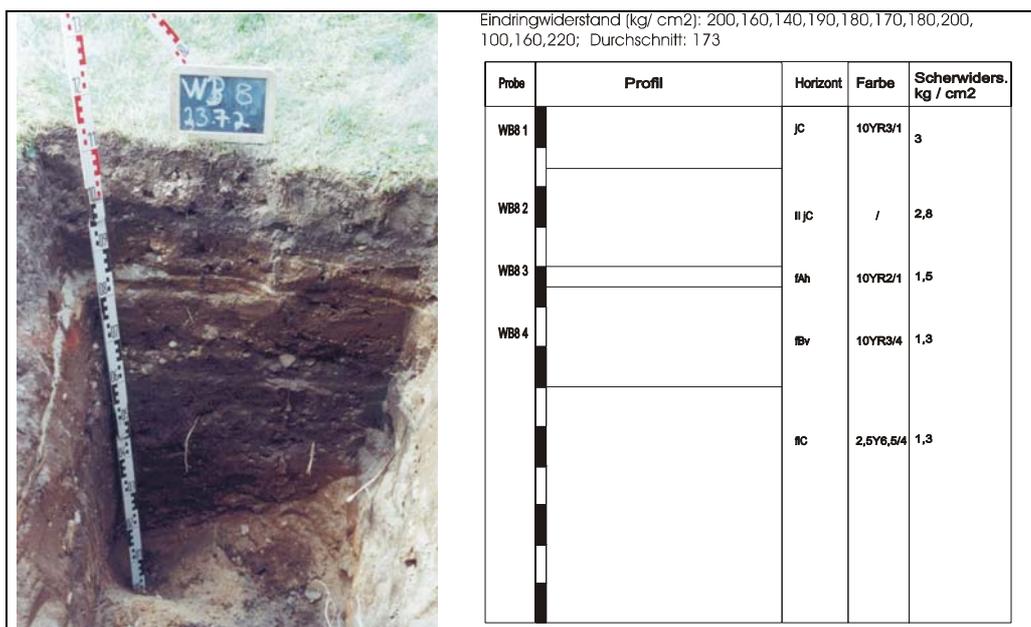


Abb. 102: Dokumentation Leitprofil WB 8A **Profilzeichnung !**

Tab. 27: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 8 (4 Bodenprofile)

Probenbezeichn.	Horizontbezeichn.	Durchschnittl. Mächtigkeit (in cm)	Min. Mächtigkeit (in cm)	Max. Mächtigkeit (in cm)	Relative Standardabweichung (in %)
WB8-1	(j)Ah	20	15	25	28
WB8-2	jC	25	15	30	21
WB8-3	fAh	20	15	25	17
WB8-4	fBv	10	5	15	11
	fC	> 20	> 4	> 25	-

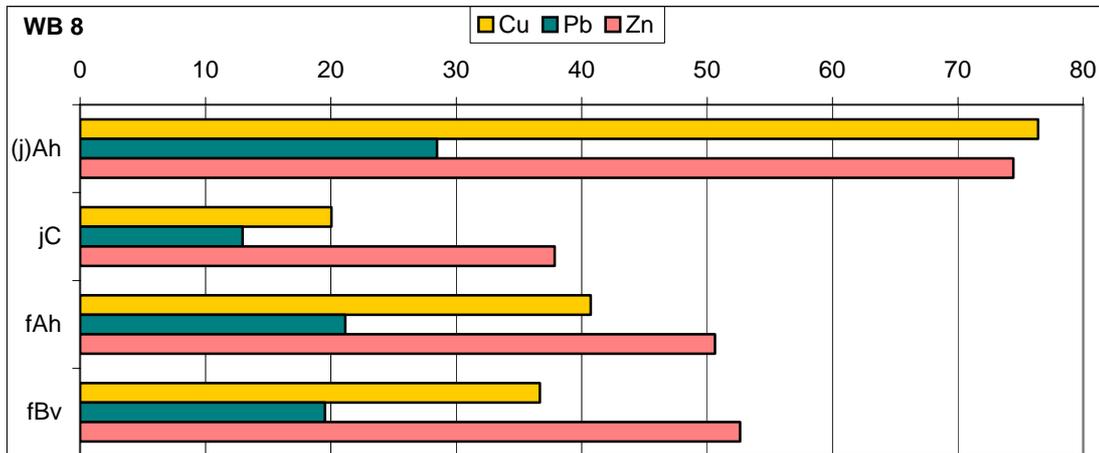


Abb. 103: Tiefenverteilungen von Schwermetallgesamtgehalten der Profile WB 8 (Mittelwerte in mg/kg)

Die **Tiefenverteilung der Schwermetallgesamtgehalte** „bestätigt“ die Interpretation des Bodenprofils im Gelände. Der oberste Ah-Horizont weist für alle drei Schwermetalle die höchsten Gehalte auf, während für den darunter (als umgelagerter C-Horizont) interpretierten die geringsten Gehalte zu verzeichnen sind. Die ermittelten Gehalte in dem fAh und fBv liegen zwischen den Konzentrationen der beiden erstgenannten und weisen auf eine vorindustrielle Belastung (die zumindest über dem geogenen Hintergrundwert liegt) hin. Für die Horizonte dieses Profils wurden auch **PAK** analysiert, um die Vermutung u.U. bestätigen zu können. Dabei zeigte sich, dass es eine **PAK_{gesamt}**-Tiefenverteilung (Summe der 16 PAK der EPA-Liste) gibt, die das Muster der Schwermetalle nachzeichnet. Im obersten Horizont liegt das Maximum der PAK-Gehalte mit 1.340 ng/g, im jC sind die niedrigsten Gehalte mit 240 ng/g, im darunter liegenden fAh steigen diese auf 650 ng/g, während im fBv wieder niedrigere Gehalte von 430 ng/g gemessen wurden. Dies legt den Schluss nahe, dass der fAh zu einer Zeit (noch) an der Erdoberfläche gewesen sein muss, als es bereits zu PAK-Immissionen gekommen ist, d.h. zumindest zu Beginn der Industrialisierung in Wittenberg.

8.2.4 Großwohnsiedlung

Die 6 Leitprofile für den Stadtstrukturtyp Großwohnsiedlung liegen an der **Lerchenbergstrasse** (Abb. 104). Als **Bodentyp** lässt sich an allen Standorten ein mehr oder weniger **anthropogen überprägter Podsol** finden (Abb. 105). Die Unterschiede zwischen den Bodenprofilen beschränken sich hauptsächlich auf die Horizonte zwischen dem (heutigen) Oberboden/Ah-Horizont und dem Bs/Bh-Horizont. Zwischen diesen gibt es z.T. Y-Horizonte und A-Horizonte allochthonen Materials (wie in Profil WB 2A, Abb. 106) oder nur solche A-Horizonte (WB 2E) oder diese zwischengeschalteten Horizonte fehlen gänzlich (WB 2C). Aus diesem Grund ergibt sich die in Tab. 28 aufgeführte „hohe“ relative Standardabweichung von 25 % für den Horizont Ah2. Für die beprobten Horizonte Ah1, Ah2 und Bsh aller 6 Profile wurden die Mittelwerte der Schwermetallgesamtgehalte berechnet. Die relativen horizontbezogenen Standardabweichungen der einzelnen Schwermetalle liegen jeweils zwischen 10 und 15 %, so dass die Mittelwertberechnung gerechtfertigt erscheint.



Abb. 104: Lage der Leitprofile WB 2

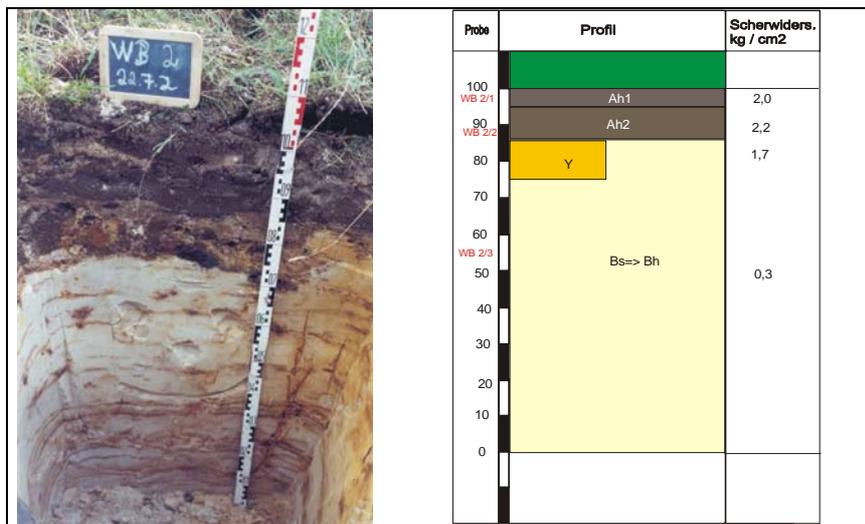


Abb. 105: Dokumentation Leitprofil WB 2A

Tab. 28: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 2 (6 Bodenprofile)

Probenbezeichn.	Horizontbezeichn.	Durchschnittl. Mächtigkeit (in cm)	Min. Mächtigkeit (in cm)	Max. Mächtigkeit (in cm)	Relative Standardabweichung (in %)
WB2-1	Ah1	10	5	15	19
WB2-2	Ah2	10	0	20	25
WB2-3	Bsh	> 70	> 60	> 85	-

Die **Tiefenverteilung** für die untersuchten **Schwermetalle** ist in Abb. 106 dargestellt. In den beiden Ah-Horizonten gleichen sich die Muster, wobei der aktuelle Ah-Horizont etwas höhere Gehalte aufweist. Im Bsh-Horizont gehen die Gehalte auf Hintergrundwerte zurück, Blei ist sogar nicht nachweisbar. Die Schwermetallgehalte lassen den Schluss zu, dass der Horizont Ah2 ein ehemals anthropogen

belasteter Oberboden ist, welcher umgelagert wurde. Recherchiert man in persönlichen Gesprächen mit ehemals Verantwortlichen die Bauabläufe bei der Errichtung von Großsiedlungen bzw. Plattenbauvierteln, so spiegelt der im vorliegenden Beispiel angetroffene Bodenaufbau das gewöhnliche Procedere wider. Oberboden wurde abgetragen und möglichst unweit der Neubauten zwischengelagert und nach Ende der Baumaßnahmen zur Reliefmodellierung wieder aufgebracht (Dass diese „letzte“ Aufbringung u.U. mehrere Jahre auf sich warten ließ, kann man auch den Akten entnehmen...).

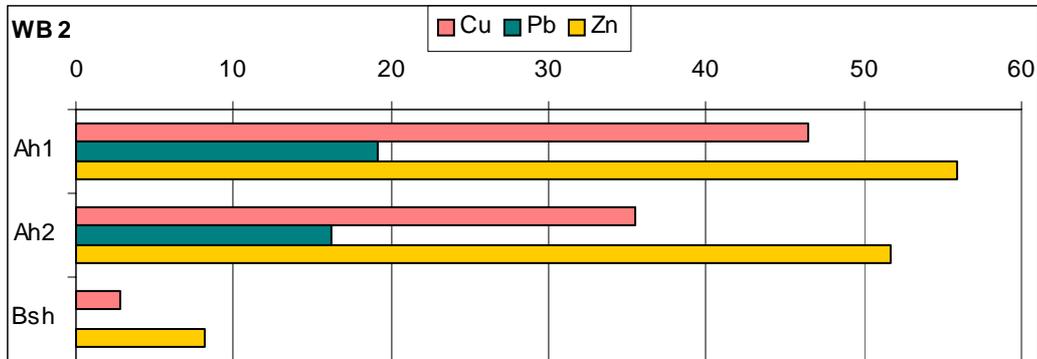


Abb. 106: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile WB 2 (Mittelwerte in mg/kg)

8.2.5 Ein- und Zweifamilienhausbebauung

Die untersuchten Standorte des Stadtstrukturtyps **Ein-/Zweifamilienhausbebauung** liegen im Bereich der nördlichen Mozartstraße in der Lerchenbergsiedlung. Die Grundstücke sind relativ langgestreckt und direkt an der Strasse mit Wohnhäusern bebaut. Insgesamt wurden 6 Profile angelegt, die sich im Anschluss an die Wohngebäude befinden (Abb. 107).

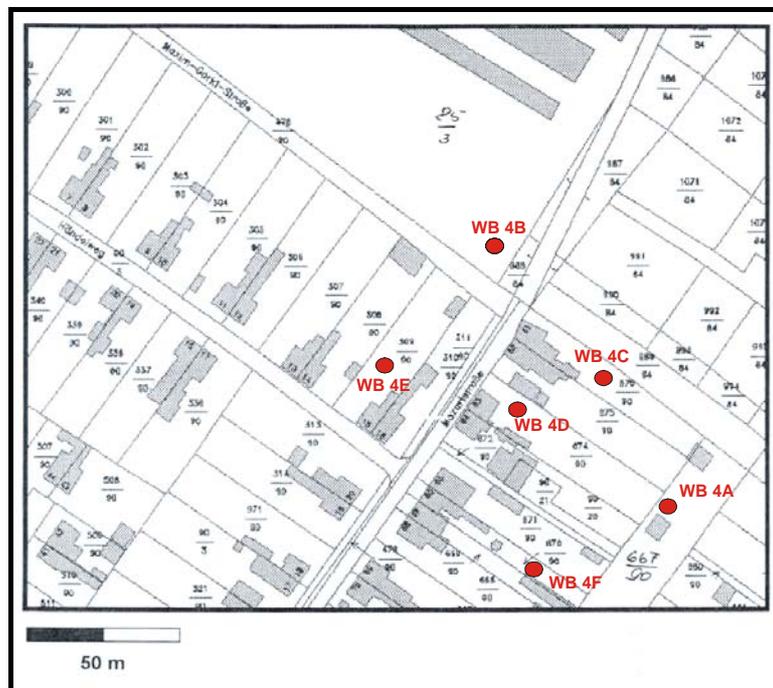


Abb. 107: Lage der Leitprofile WB 4

Die Profile weisen untereinander nur wenige Unterschiede auf. Es handelt sich in allen Fällen um Geschiebemergel über Sanden (warthezeitlich), wobei der dem Geschiebemergel aufliegende natürliche Ah-Horizont von einem weiteren, anthropogen umgelagerten Ah-Horizont überprägt ist (Abb. 108).



Abb. 108: Dokumentation Leitprofil WB 4A

Die relative Standardabweichung (Tab. 29) von 26 % bei der Mächtigkeit des obersten Ah macht deutlich, dass diese im Vergleich mit den übrigen Horizonten viel stärker variiert. Hier spiegelt sich die lokale, auf das Grundstück oder sogar innerhalb des Grundstückes bezogene Individualität der Oberbodenverlagerung wider.

Tab. 29: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 4 (6 Bodenprofile)

Probenbezeichn.	Horizontbezeichn.	Durchschnittl. Mächtigkeit (in cm)	Min. Mächtigkeit (in cm)	Max. Mächtigkeit (in cm)	Relative Standardabweichung (in %)
WB4-1	Ah1	10	0	15	26
WB4-2	Ah2	10	5	15	13
WB4-3	C	25	25	35	9
	D	> 45	> 25	> 50	-

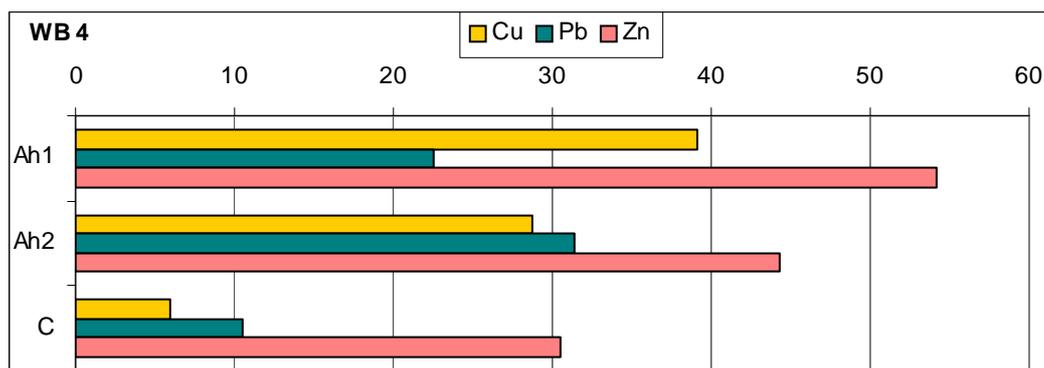


Abb. 109: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile WB 4 (Mittelwerte in mg/kg)

Die **Tiefenverteilungen der Schwermetalle** in den Profilen WB4 zeigen die Maxima im oberen Ah-Horizont, wonach die Gehalte von Kupfer und Zink im zweiten Ah-Horizont geringer sind und die Minima im C-Horizont des Geschiebemergels liegen. Diese sind als geogene Grundgehalte einzustufen. Warum der Bleigehalt im unteren Ah-Horizont höher ist als im darüber liegenden, kann evtl. damit begründet werden, dass in der jüngeren Vergangenheit die Bleibelastung über den Luftpfad insgesamt abgenommen hat (Rückgang/Verbot bleihaltigen Kraftstoffs).

8.2.6 Villen

Ein kleines gründerzeitliches Villenviertel liegt an der Puschkinstraße, wo auf zwei gegenüberliegenden Grundstücken 6 Profile angelegt wurden (Abb. 110). Die Profile zeigen alle auch in diesem Stadtstrukturtyp ein „erstaunlich“ ähnliches Bild. Sie sind geprägt durch ca. 50 cm mächtige Aufschüttungen, unter welchen der prä-urbane Boden begraben ist. Mittels Bohrstocksondierungen in allen Profilen wurde dieser als Braunerde angesprochen. Die Unterschiede in den Mächtigkeiten der Aufschüttungen sind statistisch relativ gering (Tab. 30). Der (natürliche) Ah-Horizont hebt sich deutlich von den beiden auflagernden (vermischten und umgelagerten) Ah-Horizonten dahingehend ab, dass darin keine Ziegelbruchstücke oder anderes Fremdmaterial gefunden wurde (Abb. 111).



Abb. 110: Lage der Leitprofile WB 7

Die **Tiefenverteilung** der ermittelten **Schwermetallgehalte** zeigt, dass Kupfer- und Bleigehalte in dem Horizont **jAh2** deutlich höher sind als in den beiden anderen Horizonten. Blei liegt mit über 112 mg/kg über dem Prüfwert von 100 mg/kg und Kupfer sogar das Zweifache über dem Prüfwert von 60 mg/kg der UVP-VwV 1995. Dieser „alte“ Ah-Horizont beschreibt ein **Belastungspotenzial** zumindest für diese beiden Schwermetalle. Um den Zeitpunkt und evtl. auch die Herkunft der Belastungsquelle einzugrenzen, wurden von diesem und dem darunter liegenden Ah-Horizont die **PAK-Gehalte** bestimmt. Dabei zeigt sich, dass es wohl eine vor-industrielle Belastung gewesen ist, denn die PAK_{gesamt} -Gehalte liegen mit 430 ng/g im jAh2 zwar deutlich über den natürlichen Gehalten, die in der Literatur mit ca. 100 – 200 ng/kg angegeben werden (JONECK & PRINZ 1996), aber auch deutlich unter denen, die in solchen Oberböden gemessen werden, die nachweisbar seit der Industrialisierung der Belastung über den atmosphärischen Pfad ausgesetzt sind. Hier werden je nach Lage zu den Emissionsquellen (Industrie, Straßenverkehr) über 2.000 ng/kg ermittelt (in Halle-Neustadt z.B. 2.650 ng/kg, SAUERWEIN 1998). Die Frage der Herkunft des Oberbodenmaterials kann so dahingehend beantwortet werden, dass es evtl. aus dem Bereich der Altstadt stammen könnte (deshalb eine messbare Erhöhung der PAK-Gehalte durch den Einfluss der vor-industriellen Brandtätigkeit/Hausbrand) und im Bereich der Villen zur Erhöhung bzw. zum Reliefausgleich aufgebracht wurde. Der **unterste Ah-Horizont** weist gegenüber den geogenen Gehalte mit 250 ng/kg nur eine geringe Erhöhung der PAK-Gehalte auf, so dass dieser als autochthoner (vor der Industrialisierung „außerstädtischer“) Ah interpretiert wird.



Abb. 111: Dokumentation Leitprofil WB 7A

Tab. 30: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 7 (6 Bodenprofile)

Probenbezeichn.	Horizontbezeichn.	Durchschnittl. Mächtigkeit (in cm)	Min. Mächtigkeit (in cm)	Max. Mächtigkeit (in cm)	Relative Standardabweichung (in %)
WB7-1	jAh1	35	30	40	17
WB7-2	jAh2	35	30	40	15
WB7-3	Ah3	30	20	35	12

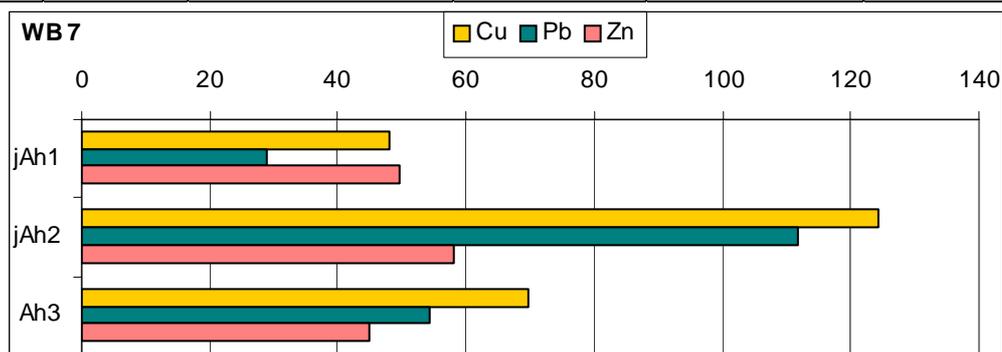


Abb. 112: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile WB 7 (Mittelwerte in mg/kg)

8.2.7 Park- und Grünanlagen

In Wittenberg wurden **zwei Grünanlagen** untersucht, zum einen im Bereich der Robert-Koch-Straße in Klein-Wittenberg (Profile WB 9) und zum zweiten südlich der Grundschule in der Friedrichstadt (Profile WB 10).

Robert-Koch-Straße

Die Untersuchungsfläche befindet sich auf dem heutigen Kindergartengelände der Robert-Koch-Straße im Bereich des früheren **Parkes Am Elbufer**. Dort wurden vier Leitprofile angelegt und beprobt (Abb. 113). Alle vier **Profile** sind sich **sehr ähnlich** und werden als **Braunerde** angesprochen. Sie weisen **keinerlei** sichtbare **anthropogene Beeinflussung** auf. Dies wird auch durch die geringe Spannweite der Horizontmächtigkeiten deutlich (Tab. 31). Die **Tiefenverteilung** der Schwermetalle hingegen zeigt, dass der Oberboden einer gewissen stofflichen Immission durch Schwermetalle ausgesetzt war (Abb. 115). Die Schwermetallgehalte im Oberboden sind zwar die geringsten im Vergleich zu allen anderen in Wittenberg ermittelten, sie fallen im Profil jedoch noch weiter ab und kennzeichnen im C-Horizont die geogenen Grundgehalte. Die **insgesamt niedrigen Gehalte** resultieren zum einen aus der peripheren Lage und zum anderen aus der Auskämmung von atmo- gen eingetragenen Schadstoffen durch die Parkvegetation.

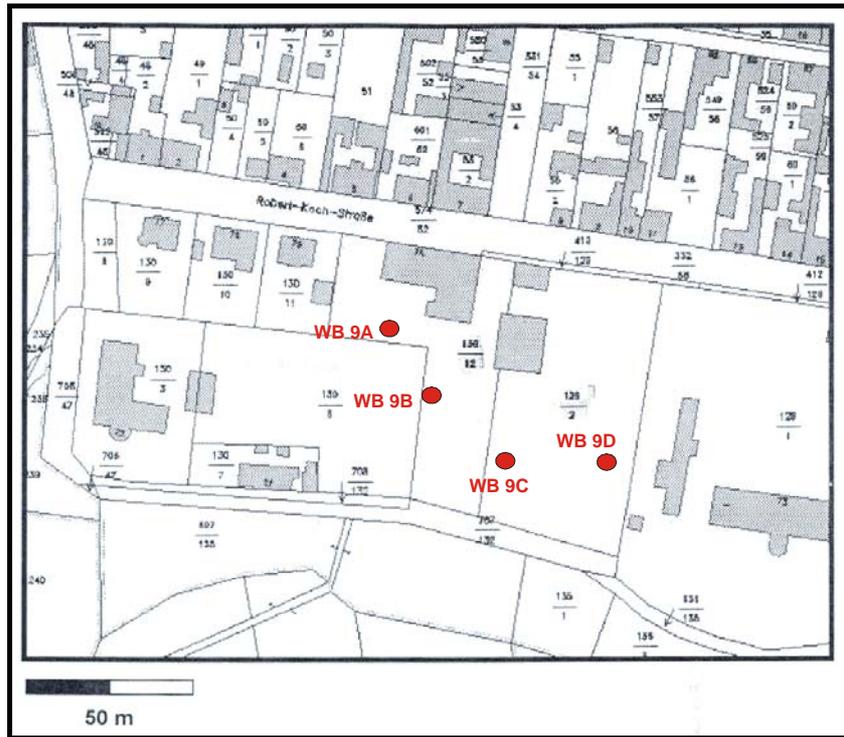


Abb. 113: Lage der Leitprofile WB 9

Tab. 31: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 9 (4 Bodenprofile)

Probenbezeichn.	Horizontbezeichn.	Durchschnittl. Mächtigkeit (in cm)	Min. Mächtigkeit (in cm)	Max. Mächtigkeit (in cm)	Relative Standardabweichung (in %)
WB9-1	Ah	20	15	25	12
WB9-2	AhBv	15	10	20	14
WB9-3	C	> 45	> 35	> 25	-



Endringwiderstand (kg/cm²): 240, 180, 140, 160, 120, 140, 180, 180, 180, 180; Durchschnitt: 170

Probe	Profil	Horizont	Farbe	Scherwiders. kg/cm ²
WB881		Ah	10YR2/1	2,4
WB882		Bv	10YR3/4	1,5
WB883		IC	2,5Y6,5/4	0,8

Abb. 114: Dokumentation Leitprofil WB 9B

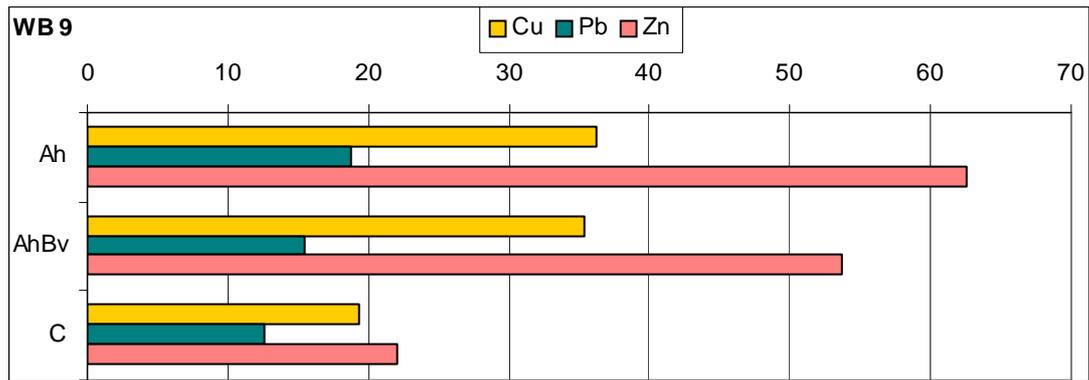


Abb. 115: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile WB 9 (Mittelwerte in mg/kg)

Grundschule Friedrichstadt

Der zweite Standort der Grünflächen befindet sich südwestlich der Schulstrasse im Bereich der „Grundschule Friedrichstadt“. Drei Profile liegen auf einer als Spielwiese genutzten Fläche und zwei Profile am Rand des Schulhofs. Auch diese **Profile** weisen untereinander ein **einheitliches Bild** auf. **Prä-urban** ist in unmittelbarer Nähe des Trahunscher Baches (bzw. eines östlichen kleinen Zulaufs) gelegen ein **Gley** ausgebildet (Abb. 117), **darüber** lagern **drei humose Horizonte**, wobei der unterste Fremdstoffe enthält (z.T. Metallstücke, „Müll“). Dieser „Müll“-Horizont ist nicht gleichmäßig ausgeprägt, sondern in zwei Profilen gar nicht vorhanden. Auch die Mächtigkeit der aufgetragenen umgelagerten natürlichen Oberböden variiert stärker als die Mächtigkeit des fossilen Ah-Horizontes (Tab. 32). Die Tiefenverteilungen der Schwermetalle (Abb. 118) legen den Schluss nahe, dass es sich bei den beiden oberen Horizonten um **lokal umgelagertes Material** handelt. Die **Gehalte** liegen **nur wenig über** denen des **fossilen Ah**, was dadurch zu begründen ist, dass der Standort durch Häuser abgeschirmt abseits von Straßen liegt und in der (älteren) Vergangenheit zum einen weit außerhalb der Stadt gelegen war und zum anderen auch in der jüngeren Vergangenheit keinen größeren Emissionen ausgesetzt war.



Abb. 116: Lage der Leitprofile WB 10

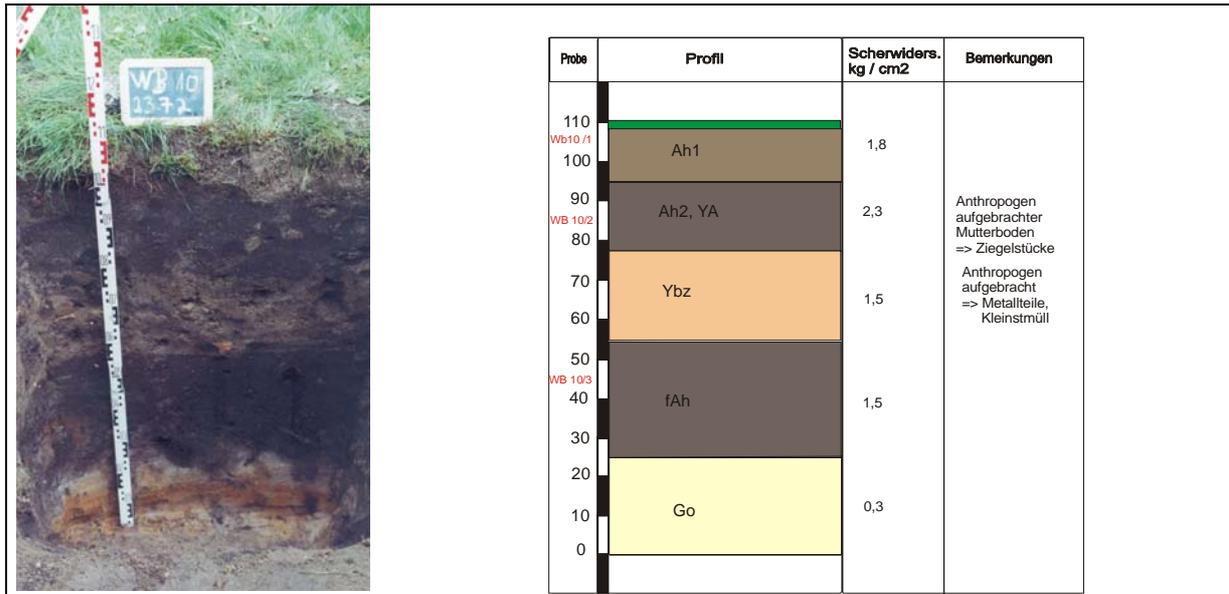


Abb. 117: Dokumentation Leitprofil WB 10A

Tab. 32: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 10 (5 Bodenprofile)

Probenbezeichn.	Horizontbezeichn.	Durchschnittl. Mächtigkeit (in cm)	Min. Mächtigkeit (in cm)	Max. Mächtigkeit (in cm)	Relative Standardabweichung (in %)
WB10-1	Ah1	15	10	25	26
WB10-2	Ah2	20	10	30	32
	Ybz	20	5	40	48
WB10-3	fAh	30	25	35	11
	Go	> 25	> 45	> 15	-

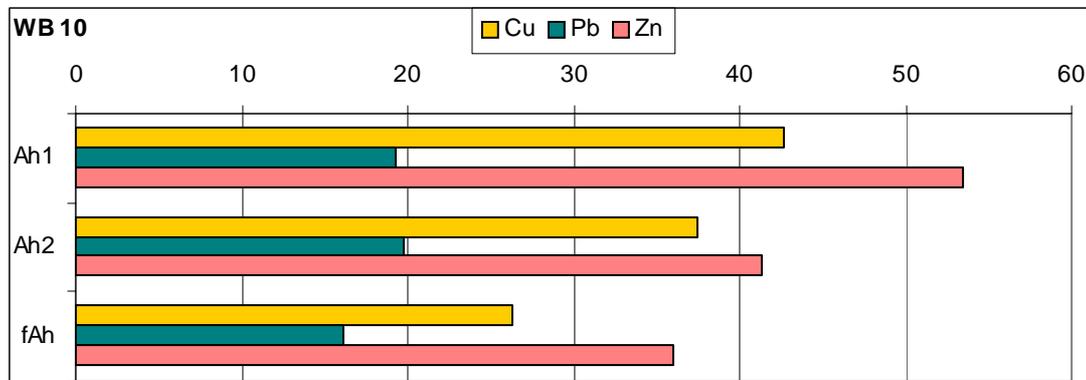


Abb. 118: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile WB 10 (Mittelwerte in mg/kg)

8.2.8 Hauptverkehrsstrassen

Die Fläche, welche als repräsentativ für Hauptverkehrsstraßen gilt, liegt an der **Ecke Berliner Straße/Breitscheidstraße** (Abb. 119) unmittelbar außerhalb der Altstadt und an dem Ring, welchen alle Fahrzeuge benutzen müssen, die nördlich die Altstadt passieren. Auf der Fläche wurde in unterschiedlicher Entfernung zur Straße 4 Bodenprofile angelegt. Recherchiert man in **historischen Karten** (was für alle Standorte erfolgte), so kann man erkennen, dass in diesem Bereich ein Bach geflossen ist, der heute nicht mehr sichtbar ist (Rischebach). Die Bodenprofile konnten alle als **anthropogen überprägte Gleye** angesprochen werden (Abb. 120). Die Überprägung besteht darin, dass der fossile Ah-Horizont nicht mehr existiert und über dem Go(Gr)-Horizont ein ca. 60cm mächtiger Auffüll-Horizont, der mit Ziegelresten und Keramik durchsetzt ist, geschüttet wurde und dieser mit einem humosen Oberbodenmaterial abgedeckt ist.

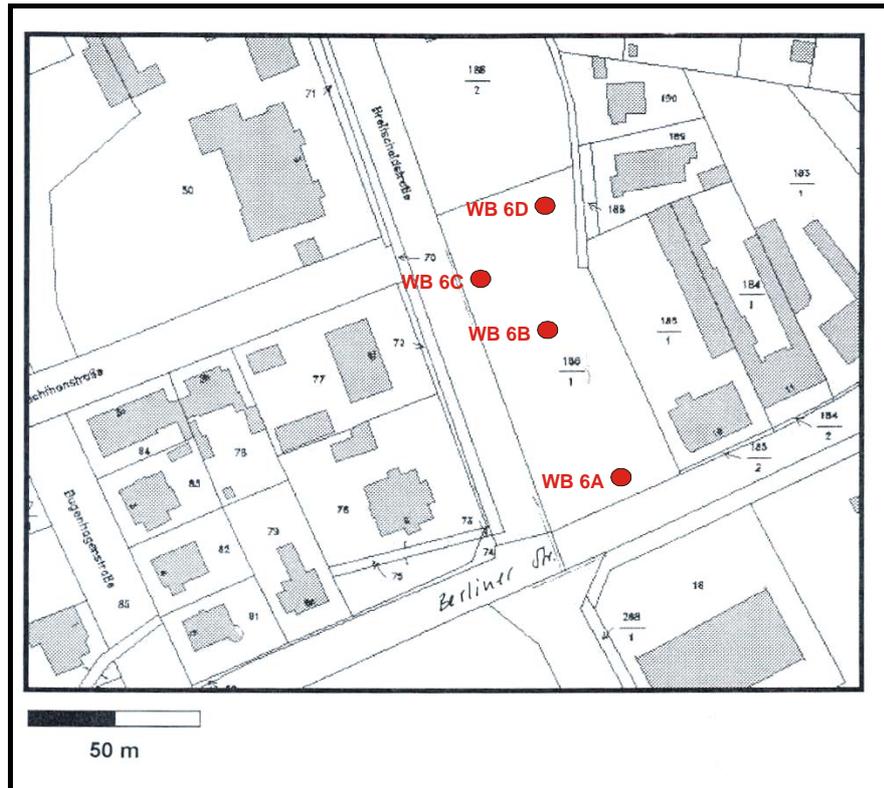


Abb. 119: Lage der Leitprofile WB 6



Probe	Profil	Farbe	Scherwiders. kg / cm ²	Bemerkungen
WB6B1	Ah	10YR2/2	4	
WB6B2	Yb-jA	10YR3/2	0,5	Ziegel, Ziegelreste
WB6B3	Gr-Go		1	Kies
	Gr1			
	Gr2			

Abb. 120: Dokumentation Leitprofil WB 6B

Die **Keramikfunde** wurden **archäologisch** in das **späte Mittelalter** datiert, so dass davon auszugehen ist, dass die Auffüllung in diese Zeit oder später erfolgte. **Stadthistorisch** ist bekannt, dass der Bach im späten Mittelalter „verschwand“, so dass die Auffülle aus dem Bereich der Altstadt stammen dürfte und in dieser Zeit als Verfüllmaterial „genutzt“ wurde. Die Mächtigkeit der Verfüllschicht variiert sehr stark zwischen den einzelnen Profilen (Tab. 33). Die Tiefenverteilungen der Schwermetalle erlauben eine weitergehende Interpretation (Abb. 121).

Tab. 33: Statistische Maßdaten horizontbezogener Mächtigkeiten der Leitprofile WB 6 (4 Bodenprofile)

Probenbezeichn.	Horizontbezeichn.	Durchschnittl. Mächtigkeit (in cm)	Min. Mächtigkeit (in cm)	Max. Mächtigkeit (in cm)	Relative Standardabweichung (in %)
WB6B-1	Ah	10	5	15	17
WB6B-2	Yb/jA	60	10	90	51
WB6B-3	Go/Gr	10	10	10	5
	Gr	25	5	40	-

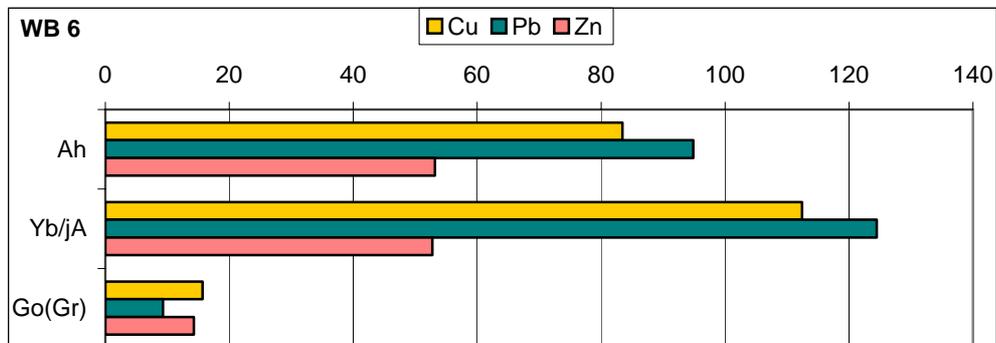


Abb. 121: Tiefenverteilungen von Schwermetallen der Profile WB 6 (Mittelwerte in mg/kg)

Die **Tiefenverteilung** der Schwermetalle zeigt ein gänzlich unterschiedliches Muster als die der bisherigen Profile. Blei weist im Ah- und dem darunter liegenden Yb/jA-Horizont höhere Werte auf als Kupfer und Zink. Die Blei- und die Kupferwerte liegen mit 125 mg/kg bzw. 116 mg/kg über den Prüfwerten der UVP-VwV 1995. Dies zeigt, dass die **mittelalterlichen** Bodenhorizonte einer „**Belastung**“ unterliegen, wie sie auch in Köln (GERLACH & IMMENDORF 1998), Düsseldorf (RADTKE, THÖNNESSEN & GERLACH 1997), Trier (ZOLITSCHKA & LÖHR 1999) oder Poznan/Polen (LEWANDOWSKI et al. 1998) nachgewiesen ist. Für Wittenberg legt es den Schluss nahe, dass im Altstadtbereich wie in Halle eine aus historischer Sicht zeitdifferenzierte Bodenbelastung geben dürfte, die sich in einzelnen Horizonten nachweisen lassen müsste.

8.2.9 Altlastenverdachtsfläche

Auf Wunsch der Stadtverwaltung wurde noch eine reine Aufschüttungsfläche („Altlastenverdachtsfläche“) an der Dresdener Straße untersucht (Profile 5C und 5D). Als Ergänzung dazu wurden im Bereich der Bebauung gegenüber der Straße ebenfalls zwei Profile angelegt. Die ermittelten Daten sollen nach Rücksprache mit der Stadtverwaltung in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht näher behandelt werden. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass es sich bei der Aufschüttungsfläche um mehrere Schichten belasteten Materials handelt, welches überwiegend allochthonen Ursprungs ist und einen hohen Anteil anthropogener Substrate (Technolithe) enthält. Das Beispiel wird angeführt, um zu zeigen, dass es selbstverständlich auch im Bereich der Siedlungsbebauung **singuläre Flächen** gibt, die **nicht Stadtstrukturtypen zugeordnet** werden können, aber dennoch eine **besondere Merkmalsgruppe städtischer Böden** darstellen.

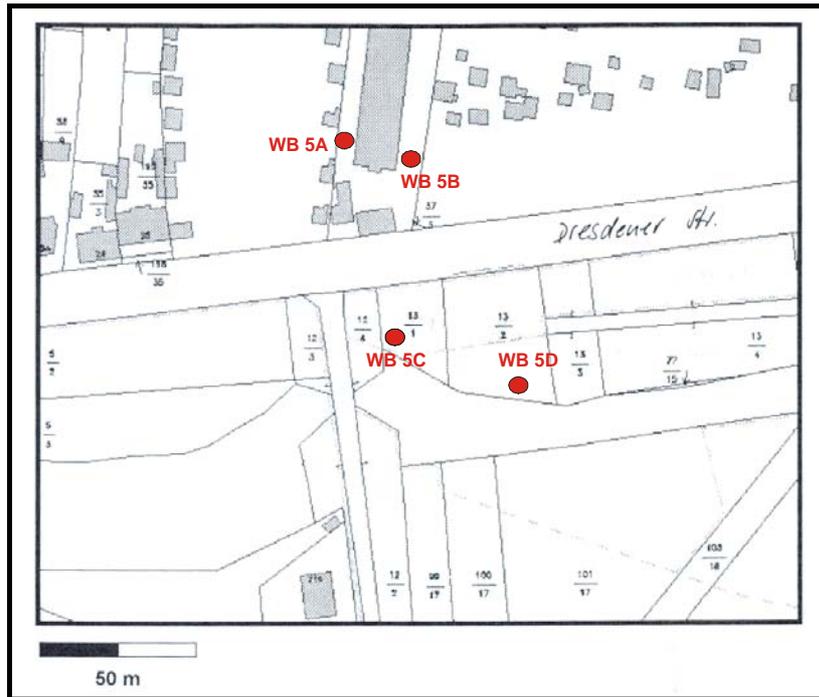


Abb. 122: Lage der Leitprofile WB 5

8.3 Exponierte Kontrollböden

Für eine **Stoffbilanzierung** der Böden ist als **Input** die **Deposition** entscheidend. Für Halle wurde im vorigen Kapitel gezeigt, dass das Biomonitoringverfahren der Exposition von Kontrollböden ein geeignetes Instrument ist, um flächenhafte Unterschiede der Deposition zu erfassen. Über **zwei Jahre** wurden auch in **Wittenberg** unbelastete Kontrollböden exponiert. Dies geschah jeweils im direkten **Umfeld der Leitprofile**. Um die **Repräsentativität** zu gewährleisten, wurden pro Fläche drei „Töpfchen“ exponiert und nach zwei Jahren im Labor daraus eine Mischprobe erstellt. Für diese Mischproben wurden die **Schwermetallgesamtgehalte** analysiert. Um zeitbezogene Aussagen abzuleiten, wurde wie in Halle der **Anreicherungsfaktor** berechnet: *Schwermetallgehalt nach der Exposition dividiert durch Schwermetallgehalt vor der Exposition, bezogen auf ein Jahr*. Die Ergebnisse sind in Abb. 123 dargestellt. Da die **Standorte** nach **Stadtstrukturtypenrepräsentanz** ausgewählt wurden, sind die Anreicherungsfaktoren bezogen auf diese abgebildet.

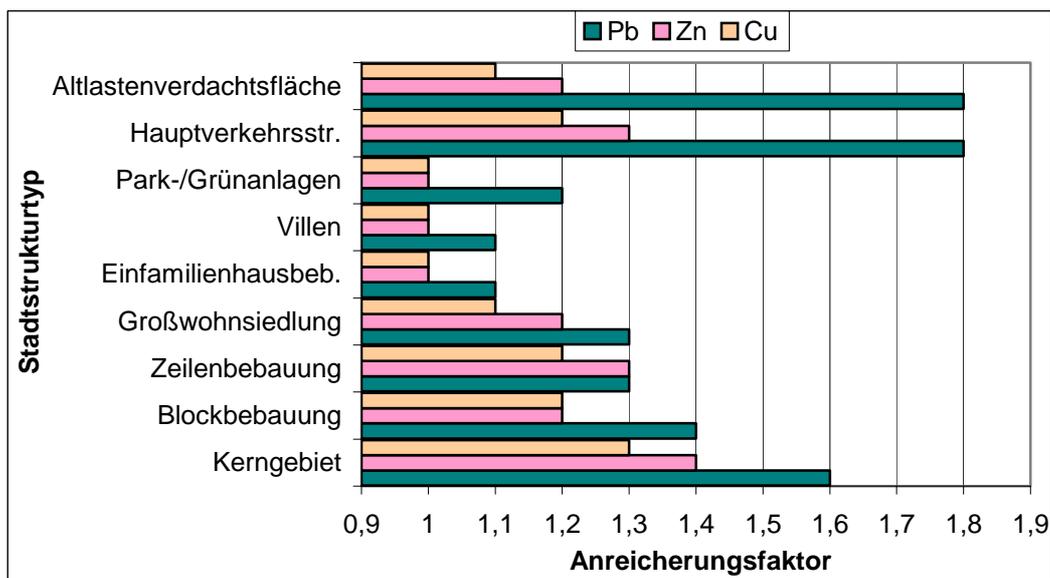


Abb. 123: Anreicherungsdaten (Anreicherung/Jahr in mg/kg) von Schwermetallen in den exponierten Kontrollböden differenziert nach Stadtstrukturtypen

Abb. 123 ist zu entnehmen, dass es eine **Spanne der Anreicherung** von Blei, Zink und Kupfer im Oberboden gibt. Diese Spanne reicht von der nicht nachweisbaren Anreicherung (Anreicherungsfaktor 1) bis zum Faktor 1,8. Weiterhin zeigt sich sehr deutlich, dass es Unterschiede in den Anreicherungsfaktoren gibt, die augenscheinlich mit der **Stadtstrukturtypenzuordnung** in Zusammenhang stehen. Geringe Anreicherungsfaktoren finden sich in den Strukturtypen Park-/Grünanlagen, Villen und Einfamilienhausbebauung. Dies sind die Strukturtypen, in welchen die **Hauptemissionsquelle** des **Kfz-Verkehrs** nur eine untergeordnete Rolle spielt. Mit steigender Bevölkerungsdichte steigt auch der Anreicherungsfaktor in den Strukturtypen Großwohnsiedlung, Zeilenbebauung, Blockbebauung und Kerngebiet. Die höchsten Faktoren werden an den Hauptverkehrsstrassen und der Altlastenverdachtsfläche, welche an der stark befahrenen Dresdener Str. liegt, ermittelt. Darüber hinaus ist auffällig, in allen Strukturtypen für **Blei** im Vergleich mit Zink und Kupfer die **höchsten Anreicherungsfaktoren** zu verzeichnen sind. Dies kann ursächlich damit begründet werden, dass Blei sehr stark in den Böden **sorbiert** wird, während z.B. Zink wesentlich mobiler ist und damit potenziell leichter verlagert werden kann.

8.4 Schlussfolgerungen: Anthropogene Bodenveränderungen im Siedlungsgebiet der Lutherstadt Wittenberg

Wie bereits in Halle gezeigt wurde, steht die Charakterisierung der **Bodenveränderung** in engem Zusammenhang mit den beiden Faktoren **prä-urbane Bodenausstattung** und **anthropogene Reliefveränderung**. So ist standortbezogen entscheidend, welcher Bodentyp vor der anthropogenen Veränderung ausgeprägt war und ob es in Folge des Eingriffs (oder der Eingriffe) zu einer positiven Reliefveränderung (durch Auftrag) kam oder zu einer negativen Reliefveränderung (durch Abtrag) oder das Relief nahezu unverändert blieb. In Tab. 34 ist für die einzelnen Standorte vergleichend zusammengestellt, welche Faktoren der Profilüberprägung die einzelnen Teiluntersuchungsgebiete in welcher Art und Weise charakterisieren. Ein Maß für die vertikale Profilüberprägung ist der „**Natürlichkeitsgrad**“ (SAUERWEIN 2002), d.h. die sichtbare Veränderung des prä-urbanen Bodens, bezogen auf den ersten Profilmeter. Ein Natürlichkeitsgrad von 100 % bedeutet, dass der Boden überhaupt nicht überprägt wurde, ein Natürlichkeitsgrad von 0 % bedeutet, dass der erste Profilmeter keine autochthonen Substrat- und Standorteigenschaften mehr aufweist. Zur Charakterisierung der Veränderung des **Stoffhaushaltes** sind die **Schwermetallmuster als Indikatoren** aufgeführt.

Tab. 34: Profilüberprägung in Wittenberg, differenziert nach Stadtstrukturtypenzuordnung

	Profilanzahl	Reliefveränderung	Kennzeichen d. anthrop. Überprägung	Natürlichkeitsgrad **	Schwermetallgehalte
Kerngebiet	17 *	Erhöhung	keine qualitative Aussage möglich	gering	Oberböden z.T. „belastet“
Blockbebauung	4	Ah abgetragen, netto dennoch Erhöhung	Ah - jAh - jC - G	20 %	Ah > jAh > G
Zeilenbebauung	4	Erhöhung über foss. Boden	Ah - jC über foss. Braunerde	60 %	(j)Ah > Braunerde > jC
Großwohnsiedlung	6	Ah abgetragen, netto geringe Erhöhung	„zwischenlagerter“ Ah über Podsol	75 %	Ah1 > Ah2 > Bsh
Einfam.hausbeb.	6	Auftrag	umgelag. Ah über Geschiebemergel	85 %	Ah1 > Ah2 > C
Villen	6	Erhöhung über foss. Boden	jAh - jAh über Braunerde	30 %	jAh2 > fAh > jAh1
Park-/Grünanlagen	9	keine Veränderung	Braunerde	100 %	Ah > AhBv > C
		Auftrag	jAh - Y über Gley	55 %	Ah1 > Ah2 > fAh
Hauptverkehrsstr.	4	Abtrag des Ah, anthropogene Auffüllung	mittelalterl. Auffülle über Gley	30 %	Yb/jA (2) > Ah > Go(Gr)

* nur Oberböden
** bezogen auf den ersten Profilmeter

Aus Tab. 34 lässt sich ableiten, dass es bzgl. der Stadtstrukturtypen eine **Rangfolge** in der **Art und Intensität der Bodenveränderung** gab. Betrachtet man die **Reliefveränderung**, so ergibt sich, dass keine Veränderung bei einer untersuchten Park-/Grünanlage festzustellen ist, während für alle anderen Untersuchungsstandorte eine (Netto-) Aufhöhung des prä-urbanen Reliefs erfolgte. Eine Relieferniedrigung ist für keinen Standort nachweisbar.

Bis auf die eine Ausnahme sind alle Standorte gekennzeichnet durch eine **Profilüberprägung** mit humosem **Oberboden allochthoner Herkunft**. Diese allochthone Herkunft dürfte in den meisten Fäl-

len allerdings räumlich auf die direkte Umgebung begrenzt sein. Es handelt sich entweder um den Oberboden, der im Zuge der Bebauung des Viertels zwischengelagert wurde, oder es handelt sich um Oberböden, die im Zuge von Baumaßnahmen im Stadtgebiet „umverteilt“ wurde.

Nimmt man den Indikator **Natürlichkeitsgrad** als Maßzahl, so ergibt sich in folgender Reihung eine Abnahme der Natürlichkeit: Park-/Grünanlage I > Ein-/Zweifamilienhausbebauung > Großwohnsiedlung > Zeilenbebauung > Park-/Grünanlage II > Villen/Hauptverkehrsstr. > >Blockbebauung (sehr wahrscheinlich auch Kerngebiet).

Der Oberbodenauftrag allochthoner Herkunft führt neben der Reliefveränderung zu einer **stofflichen Überprägung** der prä-urbanen Böden. Dies bedeutet, dass die aktuellen Oberböden nun stofflich vorbelastet sein können und damit auch zur potenziell größeren **Stoffquelle** werden. Dies wiederum hat Auswirkungen z.B. durch leicht mobilisierbare Stoffe auf die tieferen Bodenhorizonte oder über den Bodensickerwasserpfad in angrenzende aquatische Systeme (KOCH, SAUERWEIN & FRÜHAUF 2004, KOCH 2004).

Um Aussagen zum stadtstrukturtypbezogenen Einfluss auf den **Stoffhaushalt** treffen zu können, wurde für die **Indikatoren Blei, Zink und Kupfer** eine hierarchische **Clusteranalyse** berechnet (Abb. 124), die mit dem Dendrogramm eine Gruppierung der Standorte vornimmt. Dazu wurden nur die Gehalte der **Oberböden** verwendet, wobei selbstverständlich beachtet werden muss, dass diese einer historischen Vorbelastung unterliegen.

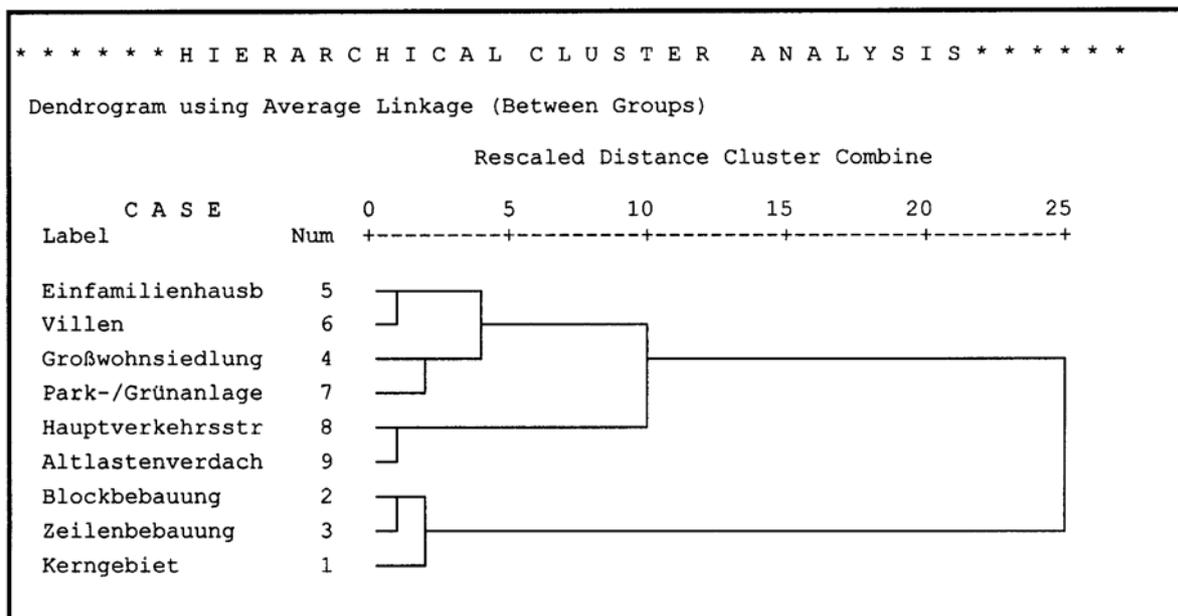


Abb. 124: Hierarchische Clusteranalyse der Oberböden (Variablen: Blei, Zink, Kupfer)

Die **Clusteranalyse** gruppiert in der ersten Stufe Block- und Zeilenbebauung, Altlastenverdachtsfläche und Hauptverkehrsstraße, Park-/Grünanlagen und Großwohnsiedlung sowie Villen und Einfamilienhausbebauung. In der nächsten Stufe sind sich dann die beiden letztgenannten Paare wiederum ähnlich sowie das Kerngebiet dem Paar Blockbebauung/Zeilenbebauung. Dann bilden alle übrigen das nächst höhere Cluster, wohingegen die Gruppierung Blockbebauung/Zeilenbebauung/Kerngebiet diesen allen anderen am wenigsten ähnelt. Als **Fazit** bleibt für die Oberböden festzuhalten, dass es große Unterschiede zwischen den **drei Gruppen** Blockbebauung/Zeilenbebauung/Kerngebiet – Park-/Grünanlagen/Großsiedlung/Villen/Einfamilienhausbebauung - Hauptverkehrsstraße/Altlastenverdachtsfläche bzgl. der Schwermetallgehalte von Blei, Kupfer und Zink gibt. Um über eine Gruppierung hinaus eine **statistisch abgesicherte Verteilung** der Schwermetallgehalte zu ermitteln, wurde wie in Halle ein **Kruskal-Wallis-Test** für die Oberböden durchgeführt (Abb. 125).

	Pb		Zn		Cu	
	Mean Rank	Cases	Mean Rank	Cases	Mean Rank	Cases
Kerngebiet	2	17	2	17	2	17
Blockbebauung	3	6	3	6	3	6
Zeilenbebauung	4	4	4	4	4	4
Großwohnsiedlung	6	6	5	6	5	6
Einfamilienhausbeb.	8	6	7	6	8	6
Villen	5	6	6	6	6	6
Park-/Grünanlagen	7	9	8	9	7	9
Hauptverkehrsstr.	1	4	1	4	1	4
	Significance	0,0468	Significance	0,1129	Significance	0,1386

Abb. 125: Kruskal-Wallis-Test für Blei, Zink und Kupfer in den Oberböden in Wittenberg, bezogen auf die Stadtstrukturzuordnung

Mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Test kann man mit einer **statistischen Sicherheit** von **95 %** sagen, dass sich die **Bleigehalte** der Oberböden zwischen den einzelnen Stadtstrukturtypen **signifikant unterscheiden**. Die Reihenfolge ist den Mean Ranks zu entnehmen. Diese wurden auf ganze Zahlen gerundet. Demnach sind die durchschnittlich höchsten Gehalte in dem Strukturtyp Hauptverkehrsstraße ermittelt, die geringsten in der Ein-/Zweifamilienhausbebauung. Die statistische Sicherheit ist bei Zink und Kupfer mit rd. 89 % deutlich geringer, dennoch ist auch die Reihenfolge bis auf paarweise Vertauschungen die gleiche. Insgesamt lässt die statistische Analyse den Schluss zu, dass trotz des auf Grundlage für eine ganze Stadt „relativ“ **geringen Stichprobenumfanges** eine **räumliche Differenzierung** existiert, deren Ursache mit der Zuordnung zu **Stadtstrukturtypen** begründet werden kann. Die **Rangfolge der Mean Ranks** ergibt (beginnend mit der höchsten „Belastung“) folgenden Gradienten:

Hauptverkehrsstraßen > Kerngebiet > Blockbebauung > Zeilenbebauung > Großsiedlung > Villen > Park/Grünanlagen > Einfamilienhausbebauung

9 Vergleich der Untersuchungsergebnisse von Halle und Wittenberg

Ziel dieses Kapitels ist es, die stadtstrukturtypenbezogenen Ergebnisse von Halle mit denen von Wittenberg zu vergleichen. Der **Hypothese** der Arbeit folgend sollte dies prinzipiell möglich sein. Falls dem so ist, könnte man die Aussagen verallgemeinern, denn dann wäre die für Halle aufgestellte Hypothese mit einem räumlich unabhängigen und unbeeinflussten Beispiel (das bekannte, zum Großteil vergleichbare historische und naturräumliche Randbedingungen aufweist) „bewiesen“.

Dieser **Vergleich** soll anhand der in Halle und Wittenberg erfassten Daten **bezogen auf die Stadtstrukturtypen** dahingehend durchgeführt werden, dass die Ergebnisse folgender **Themenbereiche** nebeneinander gestellt und diskutiert werden:

- Reliefveränderung,
- Natürlichkeitsgrad,
- Stoffgehalte im Oberboden,
- Tiefenverteilungsmuster
- Immissionsituation.

Dazu sind in Tabellen und Abbildungen die stadtstrukturtypenbezogenen Ergebnisse der beiden vorigen Kapitel zusammengefasst. Dies gilt nur für die Stadtstrukturtypen, die in beiden Städten untersucht wurden.

Die Ergebnisse aus Halle zu den nur dort untersuchten Stadtstrukturtypen **Eisenbahnanlagen, Einkaufszentren, Öffentliche Einrichtungen und Sport-/Freizeitanlagen** sind aus Sicht des Autors auch ohne die Überprüfung in Wittenberg **übertragbar**. Da sie weitgehend durch baulich-ingenieurtechnische Randbedingungen geprägt sind und unabhängig von den städtischen Gegebenheiten, haben sie einen von einer konkreten Stadt unabhängigen Einfluss auf die Bodenveränderung (z.B. beim Bau von Einkaufszentren, Eisenbahnanlagen und anderen „Großbaustellen“).

9.1 Reliefveränderung

Die Reliefveränderung wurde in beiden Städten dahingehend untersucht, dass für alle **Profile** diese soweit wie möglich abgeschätzt wurde. Anschließend sind die Informationen aus den Profilen auf die **Teilflächen** und auf das **Teiluntersuchungsgebiet extrapoliert** worden. Dabei zeigte sich in Halle, dass innerhalb gleicher Stadtstrukturtypen eine **Verallgemeinerung nicht immer möglich** ist (Beispiel der lokalen Besonderheit von Teilen des „Paulusviertels“). In Tab. 35 sind (dennoch) die Ergebnisse für Halle und Wittenberg gegenübergestellt, da zumindest einige verallgemeinerbare Interpretationen möglich sind.

Aufgrund des lokal in den Teiluntersuchungsgebieten sehr unterschiedlichen **prä-urbanen Reliefs** sind auch die Auswirkungen auf dieses Relief unterschiedlich. Dabei sind die **Variationen** innerhalb von Flächen des gleichen Strukturtyps letztlich nur von den **örtlichen Gegebenheiten** abhängig. D.h. die Einflüsse sind auf einer stärker reliefierten prä-urbanen Oberfläche größer als auf einer mehr ebenen „Stadtgrundlage“. Dies macht sich auch beim Vergleich von Halle und Wittenberg bemerkbar. Die Veränderungen des Reliefs in der (relativ „ebenen“) Großsiedlung Halle-Neustadt sind deutlich geringer als in der Siedlung an der Lerchenbergstraße in Wittenberg, die zum Fläming hin deutlich ansteigt.

Tab. 35: Reliefveränderungen in vergleichbaren Stadtstrukturtypen in Halle und Wittenberg

	Halle	Wittenberg
Kerngebiet	Erhöhung > mind. 1 m	Erhöhung
Blockbebauung	Ah z.T. abgetragen, immer Erhöhung	Ah abgetragen, immer Erhöhung
Villen	Erhöhung geringen Ausmaßes	Erhöhung über foss. Boden
Zeilenbebauung	Erhöhung über foss. Boden	Erhöhung über foss. Boden
Großsiedlung	Erhöhung, Ausmaß aber differenziert	Ah abgetragen, geringe Erhöhung
Einfamilienhausbeb.	Erhöhung	Erhöhung
Park-/Grünanlagen	Erhöhung	keine Veränderung
		Auftrag
Hauptverkehrsstr.	Abtrag der Oberböden, anthropogene Auffüllung	Abtrag mind. des Ah, anthropogene Auffüllung

Es gibt dennoch **Gemeinsamkeiten** bzgl. der Reliefveränderung. So kann man in den (mittelalterlichen) **Kernstädten** mit Sicherheit davon ausgehen, dass diese generell erhöht wurden. Im Durch-

schnitt gilt dies auch für die gründerzeitlichen und jüngeren Stadterweiterungen, wenn auch in entsprechend geringerem Ausmaß. Dabei wurde aus ökonomischen Gründen weitgehend auf den „Export“ von Aushubmaterial verzichtet, so dass die heutigen Böden fast allesamt geprägt sind durch den **Auftrag von natürlichen, umgelagerten Substraten** aus der **direkten Umgebung**. Dies konnte sowohl in Halle als auch in Wittenberg in allen **Stadtstrukturtypen der Wohnbebauung** nachgewiesen werden.

Zusammenfassend zur Reliefveränderung ist somit festzuhalten, dass bis auf lokale Ausnahmesituationen die Beeinflussung des städtischen Reliefs fast ausnahmslos geprägt ist durch eine Erhöhung des prä-urbanen Reliefs. Dabei ist das Ausmaß der Erhöhung mehr von der lokalen Situation als vom Stadtstrukturtyp abhängig. Eine Ausnahme bilden die Kernstädte, welche (generell) erhöht wurden.

9.2 Natürlichkeitsgrad der Böden

In den vorigen Kapiteln wurde dargelegt, dass der Natürlichkeitsgrad ein objektiv messbarer **Indikator** für das **Ausmaß der Profilüberprägung** ist. Dieser lässt sich dann leicht bestimmen, wenn im Profil **allochthone Substrate** oder **Fremdstoffe** erkannt werden. Sonst hilft eine Analyse von Parametern (z.B. PAK), die „Belastungssituationen“ widerspiegeln. Für alle Profile in Halle und Wittenberg wurde der Natürlichkeitsgrad bestimmt und bezogen auf die Teiluntersuchungsgebiete **generalisiert**.

Tab. 36 zeigt zum einen, dass die **Schwankungsbreite** in einzelnen Stadtstrukturtypen in **Halle** wesentlich **größer** ist als in Wittenberg. Dies liegt daran, dass erstens in Halle wesentlich mehr Teilgebiete untersucht wurden und zweitens es in Wittenberg aufgrund der geringeren Größe der Stadt gar nicht so viele in der Stadt unterschiedlich verteilte „gleiche“ Stadtstrukturtypenflächen gibt. Man kann aber auch erkennen, dass die in Wittenberg ermittelten Angaben zum Großteil in der Spannweite der halleischen Werte liegen. Berücksichtigt man den **Zusammenhang** zwischen den **Reliefbedingungen**/-veränderungen und den **Bodenveränderungen**, so spiegelt sich dies im Natürlichkeitsgrad der Böden wider.

Tab. 36: Natürlichkeitsgrad der Böden in vergleichbaren Stadtstrukturtypen in Halle und Wittenberg

	Halle	Wittenberg
Kerngebiet	0 %	gering
Blockbebauung	0 % – 40 %	20 %
Villen	0 % - 80 %	30 %
Zeilenbebauung	30 % – 50 %	60 %
Großsiedlung	0 % - 80 %	75 %
Einfamilienhausbeb.	20 % - 40 %	85 %
Park-/Grünanlagen	0 % - 100 %	50 % - 100 %
Hauptverkehrsstraßen	0 % - 50 %	30 %

Insgesamt kann aus der Betrachtung des Natürlichkeitsgrads geschlussfolgert werden, dass in Zusammenhang mit den prä-urbanen Reliefbedingungen der urbane Profilaufbau dadurch beeinflusst wird. Allerdings gibt es auch Stadtstrukturtypen, deren Profilveränderung weitgehend unabhängig davon ist und den gleichen, übertragbaren Einflüssen unterlegen sind (z.B. Kerngebiet, Hauptverkehrsstraßen).

9.3 Stoffgehalte der Oberböden

In beiden Städten wurden die Schwermetallgehalte der Oberböden dem **gleichen Verfahren** der hierarchischen **Clusterbildung** unterzogen (Kap. 7, Kap. 8). Aus diesem Grund sind die dabei erzielten Ergebnisse vergleichbar. In der folgenden Abb. sind die Dendrogramme gegenübergestellt.

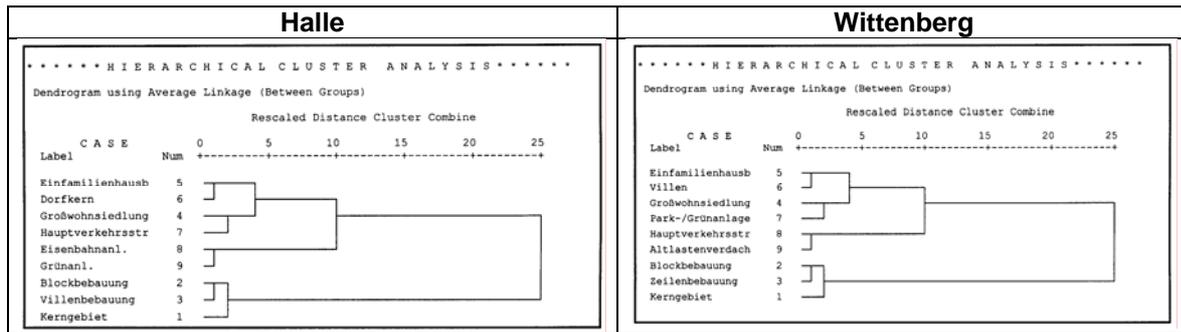


Abb. 126: Vergleich der Hierarchischen Clusteranalyse der Oberböden (Variablen: Blei, Zink, Kupfer)

Abb. 126 zeigt ein verblüffend gleiches Bild. Es werden in beiden Städten auf verschiedenen Hierarchieebenen die gleichen Cluster gebildet. Die Elemente der Cluster allerdings unterscheiden sich bei genauerem Hinsehen. Es ist zu erkennen, dass es **keine exakt gleichen Cluster** gibt. In Halle bilden z.B. Blockbebauung und Villen zusammen mit dem Kerngebiet ein großes Cluster, während dies in Wittenberg für Blockbebauung und Zeilenbebauung mit dem Kerngebiet gilt. Bei der Betrachtung bzw. statistischen Auswertung der Oberbodengehalte kommt zum Tragen, dass die **Auswahl der Testflächen** nicht unter wirklich gleichen Prämissen erfolgte. In Halle wurden so „vorsätzlich“ die beiden an den Hauptverkehrsstraßen gelegenen, relativ alten Grünflächen ausgewählt, während in Wittenberg das Gegenteil der Fall ist. Dies spiegelt sich bereits in der ersten Clusterbildung wider. Dass die folgenden Clusterbildungen sich nicht weiter ähneln, ist selbstverständlich. Davon abgesehen sind dennoch verallgemeinernde Regelmäßigkeiten festzustellen. In beiden Städten bilden die **Strukturtypen der Wohnbebauung Cluster** (wenn sie auch anders „gemischt“ sind). Diese Cluster werden von der lokalen Ausprägung der **Nichtwohnbebauung** (Hauptverkehrsstraßen, Grünfläche) „gestört“ und deshalb kommt es zur unterschiedlichen Clusterbildung.

Eine weitere Möglichkeit der Betrachtung des Einflusses der Stadtstrukturtypen auf die Oberbodenschwermetallgehalte bietet die Rangfolge der Mean Ranks für die einzelnen Stadtstrukturtypen der Kruskal-Wallis-Tests in den beiden Städten.

Tab. 37: Rangfolge (absteigend) der Mean Ranks der Kruskal-Wallis-Tests in Halle und Wittenberg

Halle	Wittenberg
<i>Eisenbahnanlagen > Kerngebiet > Blockbebauung > Zeilenbebauung > Villenbebauung > Hauptverkehrsstrassen > Einkaufszentren > Grünanlagen > Großsiedlung > Einzelhausbebauung</i>	<i>Hauptverkehrsstraßen > Kerngebiet > Blockbebauung > Zeilenbebauung > Großsiedlung > Villen > Park/Grünanlagen > Einfamilienhausbebauung</i>

Aus Tab. 37 wird ersichtlich, dass es prinzipiell ähnliche Rangfolgen der mittleren Schwermetallgehalte der Oberböden in beiden Städten gibt. In Halle dominieren die Eisenbahnanlagen als Nicht-Wohnbebauungstyp, in Wittenberg die Hauptverkehrsstraßen. Die weitere Rangfolge der Wohnbebauungstypen ist hingegen fast die gleiche. Damit bestätigt sich die „Störung“ durch die (schlechte, d.h. nicht unbedingt vergleichbare) Wahl der Teiluntersuchungsgebiete.

Insgesamt lässt sich (dennoch) ableiten, dass es bzgl. der Oberbodenschwermetallgehalte Zusammenhänge zwischen Strukturtypen gibt, die der Wohnbebauung zugeordnet werden. Diese Zusammenhänge sind umso stärker, je „ähnlicher“ sich diese Strukturtypen sind (z.B. Kernstadt und gründerzeitliche Blockbebauung oder Villenbebauung.

9.4 Tiefenverteilungsmuster

Die **vergleichende Betrachtung** der stadtstrukturtypenbezogenen Tiefenverteilungen erweist sich als **schwierig**. Dies liegt hauptsächlich an der Ausprägung der unterschiedlichen prä-urbanen Böden. In Halle handelt es sich in den betrachteten Teiluntersuchungsgebieten in der Mehrzahl um schwarzerde- bzw. braunerdebeeinflusste Bodentypen, während in Wittenberg der nördliche Teil einerseits durch sandige Ausgangssubstrate und andererseits durch den Rischebach geprägt ist. Diese unterschiedlichen Voraussetzungen spiegeln sich heute in den Profilen noch wider.

Dennoch lassen sich aus Sicht des Autors aus den Ausführungen der beiden vorigen Kapitel folgende allgemeine Schlussfolgerungen ziehen, die in beiden Städten nachweisbar sind:

- Die Veränderung der Tiefenverteilungen ist geprägt durch das Einbringen von Substraten.
- Die Herkunft und Vorbelastung dieser Substrate bestimmt die Stoffgehalte in der Vertikalen.
- Bezogen auf die Stadtstrukturtypen erfolgten die Eingriffe in die vertikale Bodenveränderung in unterschiedlichem Maß und in unterschiedlicher Intensität. Die Strukturtypen der Wohnbebauung sind geprägt durch die Aufbringung von (prä-urban unbelastetem) Substraten der Böden aus der direkten Umgebung der Bebauung (Keller-/Fundament-/Straßenaushub etc.).
- Die Kerngebiete weisen die am meisten veränderten Böden auf. Dies gilt bzgl. der Substrate und der Stoffkonzentrationen.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass es stadtstrukturtypenbezogene Unterschiede in den Tiefenverteilungen der urbanen Böden hinsichtlich der Substrate und der Stoffkonzentrationen gibt.

9.5 Immissionsituation

Die **Immissionsituation** in den Stadtstrukturtypen kann durch die Betrachtung der **Anreicherungs-faktoren** in den **exponierten Kontrollböden** verglichen werden. In Abb. 127 sind die beiden Abbildungen aus den vorigen Kapiteln neben einander gestellt. Die Nutzung der Daten aus den **Immissionsschutzberichten** des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt ist nur sehr stark **eingeschränkt** möglich. In Wittenberg gibt es nur eine Station (in Piesteritz an der B6 gelegen) und die halleschen Stationen befinden sich im Zusammenhang mit der Ozonerfassung auch an potenziellen Belastungsstandorten (z.B. Riebeck-Platz). Aussagen zur Immissionsituation in andern Stadtstrukturtypen können deshalb nicht getroffen werden. Da die eigenen **Immissionsmessungen** nach der **gleichen Methode** durchgeführt wurden, sind die Ergebnisse entsprechend vergleichbar.

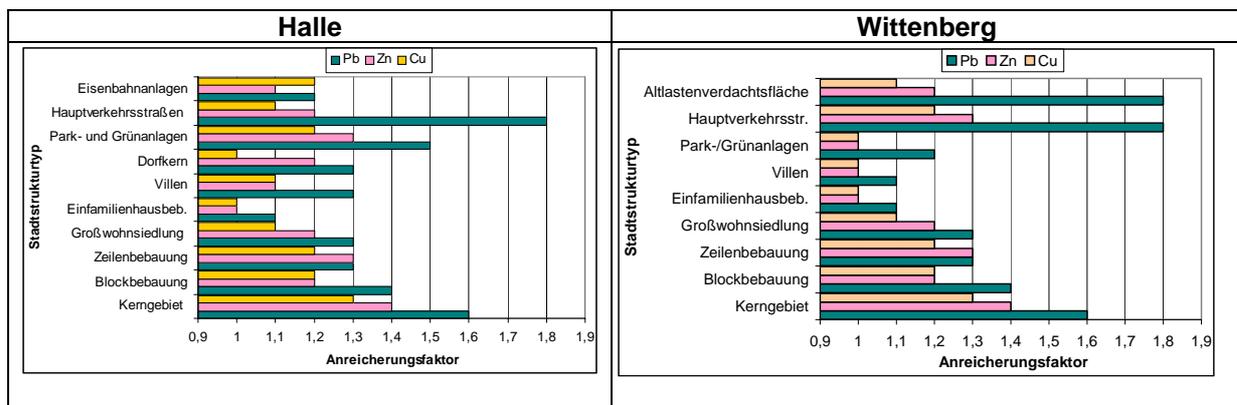


Abb.127: Vergleich der Anreicherungs-raten (Anreicherung/Jahr) von Schwermetallen in den exponierten Kontrollböden differenziert nach Stadtstrukturtypen

Dadurch dass die **Stadtstrukturtypen** für beide Städte in der **gleichen Reihenfolge** angeordnet sind und die **Anreicherungs-faktoren** in der **gleichen Skalierung**, ist der Vergleich ohne Berücksichtigung der konkreten Werte selbst möglich. Die **Muster der Anreicherungs-faktoren** sind sich in beiden Städten ausgesprochen „**ähnlich**“. Als einziger Ausreißer fällt die Altlastenverdachtsfläche in Wittenberg heraus, was aber durch die sehr lokale Situation bereits in Kap. 8 erklärt wurde. Die übrigen Muster entsprechen sich weitgehend, sowohl bei der Betrachtung der einzelnen Schwermetalle in den verschiedenen Stadtstrukturtypen als auch beim Vergleich der drei Schwermetalle untereinander. Die in Halle relativ hohen Anreicherungs-faktoren der Grünanlagen liegt wie in Kap. 7 ausgeführt daran, dass die Grünanlagen an Hauptverkehrsstrassen liegen, was in Wittenberg nicht der Fall ist.

Insgesamt kann man aus dem Vergleich der Immissionsuntersuchungen zu dem Schluss kommen, dass die gewählte Stadtstrukturtypenklassifizierung hinsichtlich der Anreicherungs-faktoren übertragbar ist.

9.6 Schlussfolgerung - Evaluierung der Ergebnisse aus Halle mit denen aus Wittenberg

Um die Aussagen aus Halle mit denen aus Wittenberg zu evaluieren, sollen abschließend die **Gemeinsamkeiten** und **Unterschiede** der beiden Städte aufgezeigt werden. In beiden Städten sind **gleiche Stadtstrukturtypen** ausgeprägt. Aufgrund der **unterschiedlichen Größe** ist die **räumliche Variation** in Halle größer. Beide Städte erfuhren eine vergleichbare **historische Entwicklung**. Dabei unterscheiden sich jedoch die **Intensitäten** der Stadterweiterungen. Die beiden Städte sind sowohl durch gleiche (Lage an der Saale bzw. der Elbe) als auch durch unterschiedliche **Naturraumbedingungen** (prä-urbane Böden) charakterisiert.

Trotz der aufgeführten Unterschiede der beiden Städte konnte anhand der Beispiele gezeigt werden, dass sowohl in Halle als auch in Wittenberg die gleichen stadtstrukturtypenbezogenen Kennzeichen der anthropogenen Bodenveränderung nachzuweisen sind.

10 Darstellung und Diskussion der erfassten Daten im Transferuntersuchungsgebiet Stratos

10.1 Überblick

Wie in Kap. 5 beschrieben liegt Stratos auf dem Sporn eines Pindosausläufers über der weitläufigen Ebene der Stratiké direkt an der einzigen Furt des Acheloos. Damit war eine **ideale Siedungslage** gewährleistet, die Sicherheit durch die Spornlage, Ackerland durch die „Fruchtebene“, Wasserreichtum durch den Fluss und Einnahmen durch die Kontrolle des Flussübergangs bot (BROWN 1997). Seit prähistorischer Zeit ist dieser Platz **in allen Epochen** ständig **weiter- oder wiederbesiedelt** worden (FUNKE et al. 2000). Entsprechend tiefgreifend gestört sind allerdings z.T. auch die Befunde der archäologischen Ausgrabungen (SCHWANDNER 2001), zumal das am Ort gewonnene Baumaterial aus grüngrauem Sandstein (Flysch) besteht, was sich für den Erhaltungszustand als gravierend negativ erweist. Die Blütezeit der Stadt setzt mit der frühen Klassik ein und gipfelt im späten 4. Jh. v. Chr. Aus dieser Zeit stammen die größten Baumaßnahmen und Siedlungsreste (Abb. 128). Besonders von Bedeutung sind das **Theater** sowie die **Agora** als zentrale Plätze (HOEPLNER & SCHWANDNER 1994). Da an diesen Stellen sehr aufwendige archäologische Grabungen durchgeführt wurden, bot es sich an, hier **Bodenleitprofile** anzulegen, um die „Gunst“ der archäologischen Datierung zu nutzen.

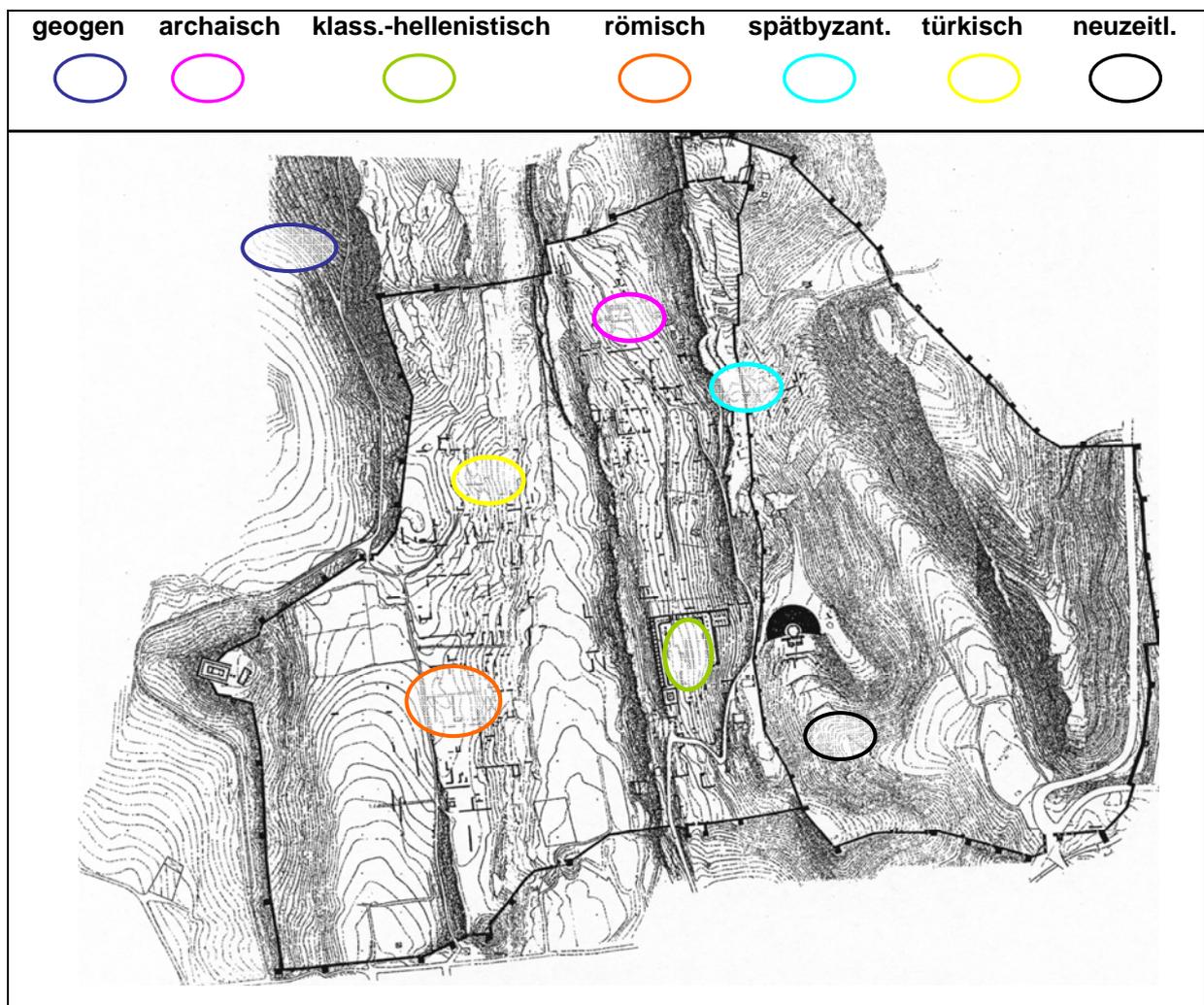


Abb. 128: Antikes Stadtgebiet von Stratos mit Lage nachgewiesener Bebauungsstrukturen (aus SCHWANDNER 2001, verändert)

Um über die Leitprofile hinaus zu **flächenhaften Aussagen** zu gelangen, wurde im Stadtgebiet eine **Rasterbeprobung oberflächennaher Bodenhorizonte** durchgeführt (Kap. 10-3, vgl. auch SAUERWEIN 2000). Für den **akarnanischen Raum** gibt es **keine Bodenkartierungen**. Neben der einzigen nahe gelegenen regionalen Kartierung der benachbarten Insel Kefallinia – von WEINMANN 1965 (!) – sowie der Kartierung ganz Griechenlands (KASTANIS 1965) gibt es lediglich räumlich entfernte regiona-

le Kartierungen, insbesondere der griechischen Inseln (z.B. Mykonos: NESTROY 1995, Naxos: LEHMANN 1994, Thasos: WEINGARTNER 1994) oder den (ganzen) mediterranen Raum beschreibende Ergebnisse (z.B. JAHN 1997 bzw. BAILLY & NIEDER 2002). Von Bedeutung für die geökologische Prozesserkennung der anthropogen induzierten Boden- und Landschaftsveränderung sind allgemeine **geomorphologische Forschungsergebnisse** aus **Griechenland** selbst (WEINGARTNER, KARNASSIOTI & VAVLIAKIS 2001, POPE 2000, ECHTINGER 1998, RIEDL 1994) bzw. dem **Mediterranraum** (ZIELHOFER & FAUST 2000, SCHÜTT & BAUMHAUER 1999, FAUST 1995, GIESSNER 1995, HEMPEL 1993) Gerade **Erosionsuntersuchungen** z.B. in Andalusien (BÖHM & GEROLD 1995, HOFMANN 1995) oder Sardinien (SEUFFERT et al. 1999) geben wichtige Hinweise auf das **Prozessgeschehen**.

Im nördlichen Griechenland hat es bislang keine größeren **geoarchäologischen Arbeiten** gegeben. Daher sind die vielfältigen Untersuchungen in der Türkei (z.B. ÖNER 1999, SCHRÖDER 1998, BRÜCKNER 1997, BRÜCKNER 1996) von Bedeutung, zumal sie inhaltlich und methodisch vergleichbare Ergebnisse liefern. Seit kurzem wird von **BRÜCKNER & VÖTT** (2002) und Mitarbeitern ein DFG-Projekt in **Akarnanien** bearbeitet, wo in einem kleineren Maßstab in einer **Landschaftscatena** von der Küstenebene über Schwemmfächer, Talverfüllungen bis in Seen und intramontane Becken/Poljen die Mensch-Umwelt-/Landschaftsrekonstruktion **paläogeographisch** erarbeitet werden soll. Hier gibt es direkte, „geplante“ Überschneidungen im Bereich der Stratike, wo sich die Arbeiten von Brückner & Vött sowie die des Autors überlappen und ergänzen. Daneben sind die überregionalen geoarchäologischen Erkenntnisse und Arbeitsmethoden im griechischen Raum von BAILEY, CHARLES & WINDER 2000, BAILEY et al. 1999 von Bedeutung, zumal diese auch einen interdisziplinären Ansatz verfolgen. Eine paläogeographisch wichtige Funktion haben Seen. Die **akarnanischen Seen** (FELS 1951/52) werden aus **palynologischer Sicht** als Umweltarchive untersucht (GRÜGER 2002, JAHNS & VAN DEN BOGAARD 1998, JAHNS 1992). Auch hier gibt es gemeinsame Forschungsaktivitäten (z.B. Austausch der Bohrkern- und Bodenproben). Darüber hinaus gibt es aktuelle (insbesondere methodisch interessante) **geoarchäologische Ansätze** sowohl in Deutschland (NILLER 1998) als auch international (POL-LARD 1999).

Als Ergänzung zu punktuellen archäologischen Grabungen fanden in den letzten Jahrzehnten verstärkt **Surveys** Eingang in die landeskundliche Forschung, da mit diesen flächendeckenden Begehungen und des „Sammelns“ von archäologischen Oberflächenfunden eine Vielzahl bislang unbekannter Siedlungsplätzen lokalisiert und datiert werden können (BINTLIFF 1996). Mit viel Erfolg durchgeführte Beispiele gibt es in Messenien (MCDONALD & RAPP 1972), Bötien (BINTLIFF 1994) und eben auch in **Akarnanien** (LANG 2003, FUNKE 2001), in welchem Rahmen die eigenen Untersuchungen eingebettet gewesen sind. Geographisch von Bedeutung ist, dass neben der Rekonstruktion der Städte (SCHWANDNER 2001, KOLB 1997) somit auch eine **Rekonstruktion der Siedlungslandschaft** möglich wird (LANG 2001). Dieser Ansatz wird z.Zt. von dem Raum Stratos/Stratiké nach Norden auf den Bereich der Plaghia-Halbinsel mit dem Zentrum der antiken Stadt Palairos erweitert (LANG, SCHWANDNER & FUNKE 2004).

10.2 Geoarchäologische Bodenleitprofile

In Abb. 129 ist das „Zentrum“ der antiken Stadt mit den durch Architekten des DAI Deutschen Archäologischen Instituts und der Griechischen Ephorie nachgewiesenen **Bebauungsstrukturen** sowie dem Theater und der Lage der **sechs Bodenleitprofile** dargestellt. Im Bereich des **Theaters** wurden zwei Profile (Stratos 1 und Stratos 2) und im Bereich der **Agora** vier Profile (Stratos 3 bis Stratos 6) angelegt

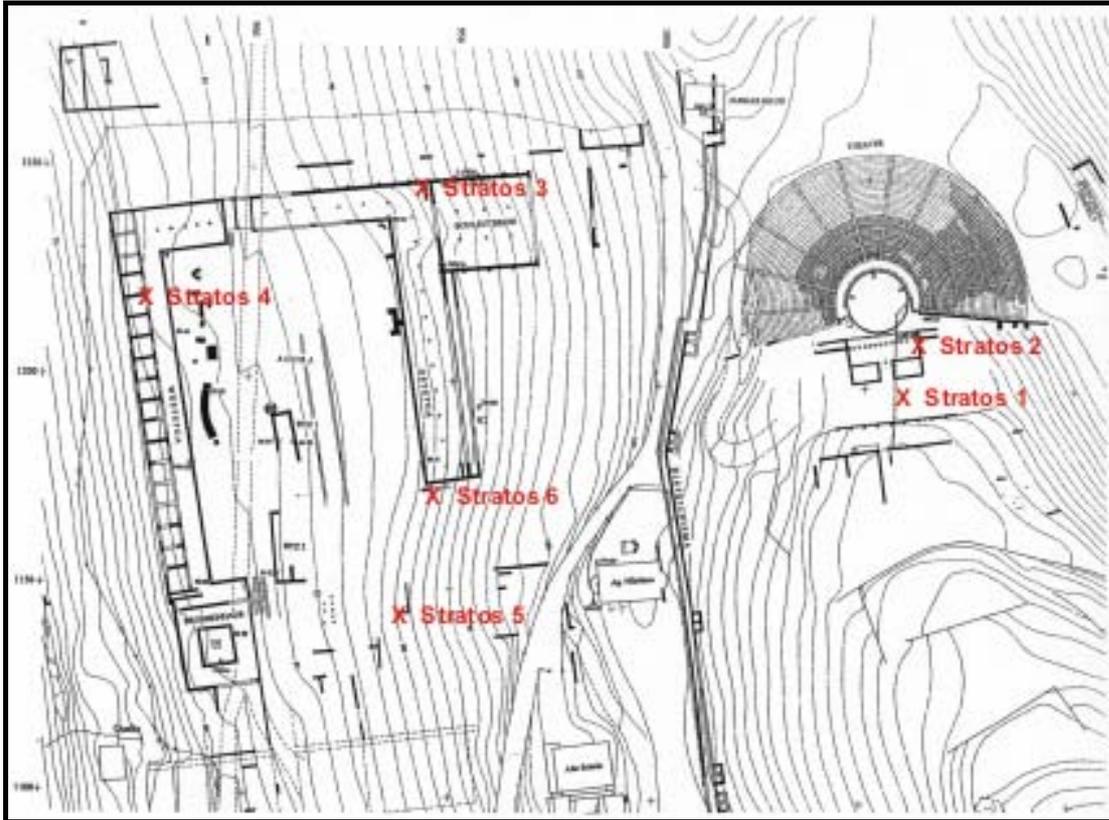


Abb. 129: Antikes Stadtzentrum von Stratos mit Lage der Bodenleitprofile (aus SCHWANDNER 2001, verändert) abb10-2.cdr

10.2.1 Theater

Das Theater (Abb. 130) war von seiner Lage her seit ersten Geländebegehungen von LEAKE 1835 bekannt und auf der Planaufnahme von NOACK 1916 richtig lokalisiert. **Unbekannt** blieb bis zu den Ausgrabungen die **Größe**, die Aufteilung der Sitzkeile und die Gestalt des Bühnengebäudes. Die **Ver-schüttung** im unteren Teil der Orchestra betrug bis zu **vier Meter** und bot durch die Vielzahl der „abgelagerten“ archäologischen Funde eine hervorragende Möglichkeit der zeitlichen Eingrenzung der Bodenhorizonte. Es ließ sich nachweisen, dass das Theater Platz für ca. **10.000 Zuschauer** bot und dass die Anlage im **späten 4 Jh. v. Chr.** ausgebaut wurde.



Abb. 130: Blick auf das Theater von Osten während der Ausgrabungskampagne 1994 (unter dem Zelt im linken Bildvordergrund Profil „Stratos 2“)

Da die **Ergebnisse** der **archäologischen** Grabungen noch **nicht veröffentlicht** sind (dies geschieht im Rahmen von zwei archäologischen Dissertationsschriften), sollen sie in der vorliegenden Arbeit nur hinsichtlich der horizontbezogenen Datierung verwendet werden. Deshalb sind im folgenden lediglich fotografische Profilaufnahmen abgebildet.



Abb. 131: Leitprofil „Stratos 1“ (links) und Leitprofil „Stratos 2“ (rechts)

Auf den Fotos sind in den Horizonten (die Archäologen bezeichnen sie als Schichten) Reste von Ziegeln und Keramikbruchstücke zu erkennen. Darüber hinaus fanden sich Knochen und Holzfragmente, welche auch zur Datierung genutzt wurden. In Tab. 38 ist die zeitliche Stellung der Proben aufgeführt.

Tab. 38: Zeitliche Stellung der untersuchten Horizonte/archäologischen Schichten der Profile „Stratos 1“ und „Stratos 2“ am Theater

Zeit/ Epoche	geogen	archaisch	klassisch- hellenistisch	römisch	spätbyzanti- nisch	neuzeitlich	neuzeitlich
Probenbe- zeichnung	geogen	Str 1-6 Str 2-6	Str 1-5 Str 2-5	Str 1-4 Str 2-4	Str 1-3 Str 2-3	Str 1-2 Str 2-2	Str 1-1 Str 2-1

Für alle Horizonte wurden neben den pedologischen Parametern und den Schwermetallen **Phosphat** bestimmt, das als Zeiger für die Intensität der anthropogenen Beeinflussung gilt. In den folgenden Abbildungen sind die Tiefenverteilungen der pH-Werte, des Anteils organischer Substanz, die Phosphatgehalte und die Schwermetallgehalte dargestellt. Da die CaCO_3 -Gehalte fast ausnahmslos analytisch nicht nachweisbar waren, wird auf ihre Darstellung verzichtet.

Die **Tiefenverteilungen** von pH-Wert und organischer Substanz im Profil „**Stratos 1**“ (Abb. 132) liefern nur wenig Interpretationsansätze. Lediglich der Abfall auf den geogenen Grundgehalt ist „ausgekräftigt“. Etwas anders sieht es bei der Tiefenverteilung des Phosphats aus. Diese zeigt deutlich, dass es **Unterschiede zwischen einzelnen Horizonten** (und damit Epochen) gibt. So sind die jüngeren neuzeitlichen Horizonte durch die höchsten Phosphatgehalte charakterisiert, die römische und die archaische Epoche liegen zwischen diesen und der spätbyzantinischen und der klassisch-hellenistischen. Da dieses eine Profil selbstverständlich nur eine Punktinformation liefert, können daraus noch keine allgemeinen Rückschlüsse gezogen werden.

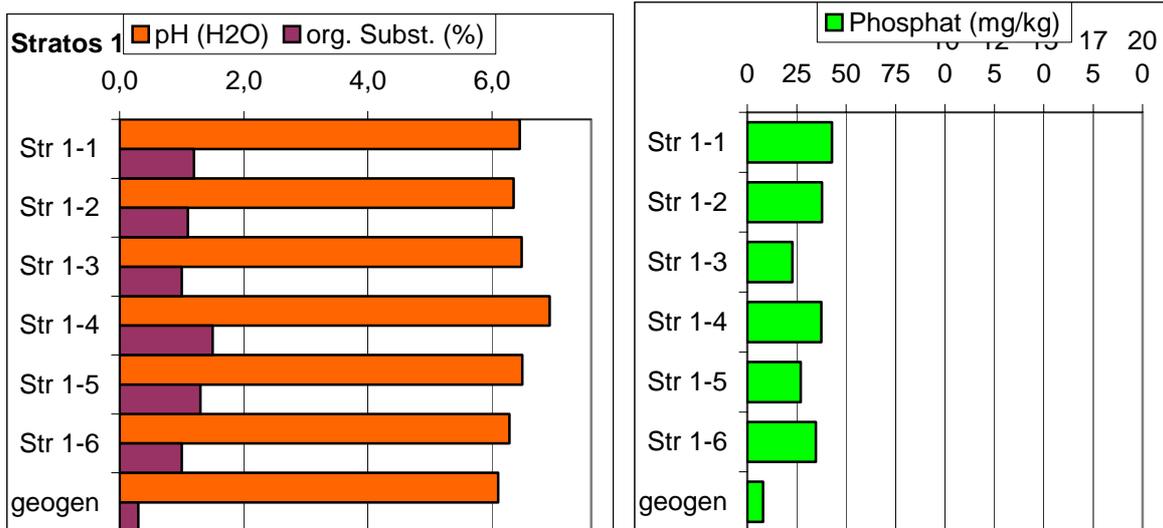


Abb. 132: Tiefenverteilung von pH-Wert, Anteil an organischer Substanz und Phosphatgehalt im Leitprofil „Stratos 1“

Die **Tiefenverteilung** der Schwermetallgehalte weist nahezu das gleiche Muster auf wie der Phosphatgehalt (Abb. 133). Die höchsten Gehalte sind in den neuzeitlichen Horizonten, die geringsten im geogenen Vergleichshorizont. Dazwischen variieren die Gehalte fast genauso wie beim Phosphat.

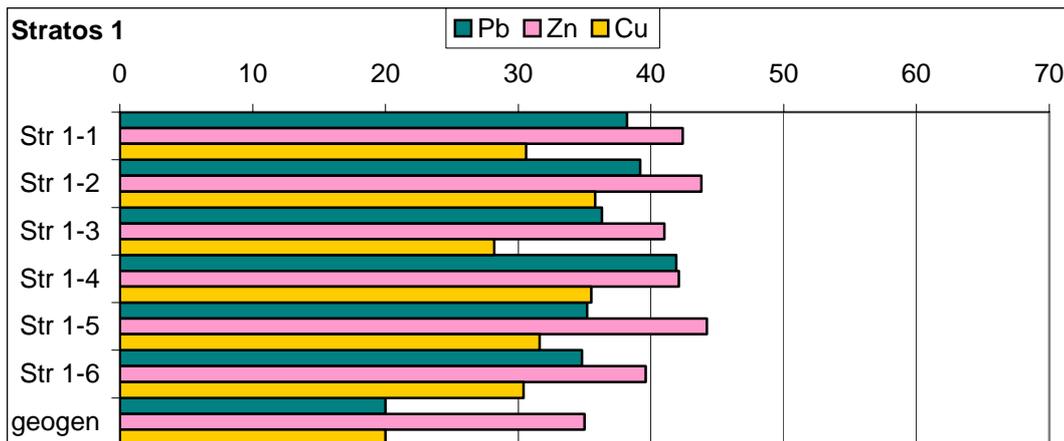


Abb. 133: Tiefenverteilung von Blei, Zink und Kupfer (Gesamtgehalte in mg/kg) im Leitprofil „Stratos 1“

Die **folgenden Profile** werden nicht ausführlich verbal diskutiert, da sie zum einen hauptsächlich der Dokumentation dienen und zum zweiten **abschließend statistisch ausgewertet** werden. Erst dann können verallgemeinernde Aussagen getroffen werden, die über Punktinformationen hinaus **übertragbar** sind.

Die **Tiefenverteilungen** im Profil „**Stratos2**“ zeigen eine **Parallelität** zwischen dem Phosphat- und dem Humusgehalt (Abb. 134). Die Schwermetalle folgen nicht diesem Muster (Abb. 135), besonders Zink weist anders als Blei und Kupfer im archaischen Horizont ein Maximum auf.

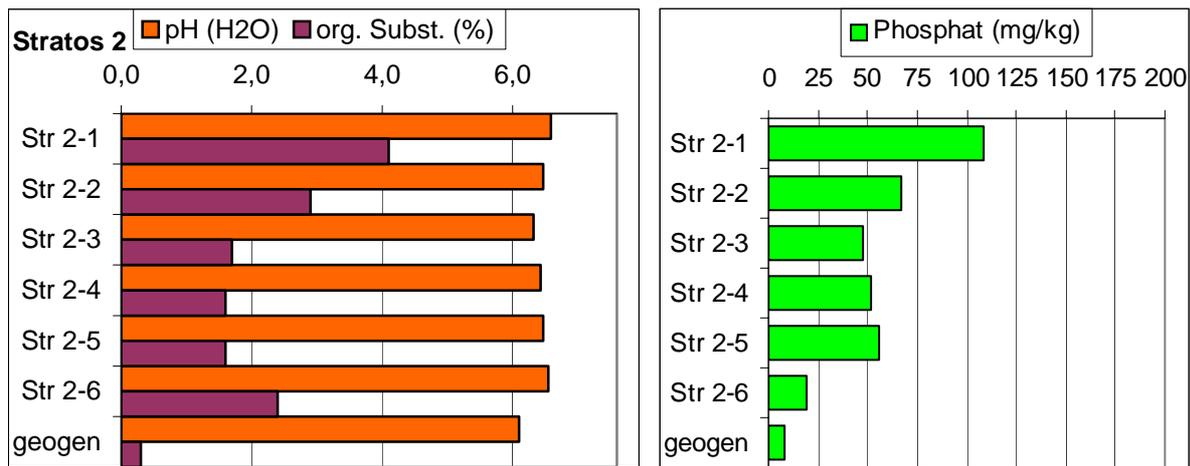


Abb. 134: Tiefenverteilung von pH-Wert und Anteil an organischer Substanz im Leitprofil „Stratos 2“

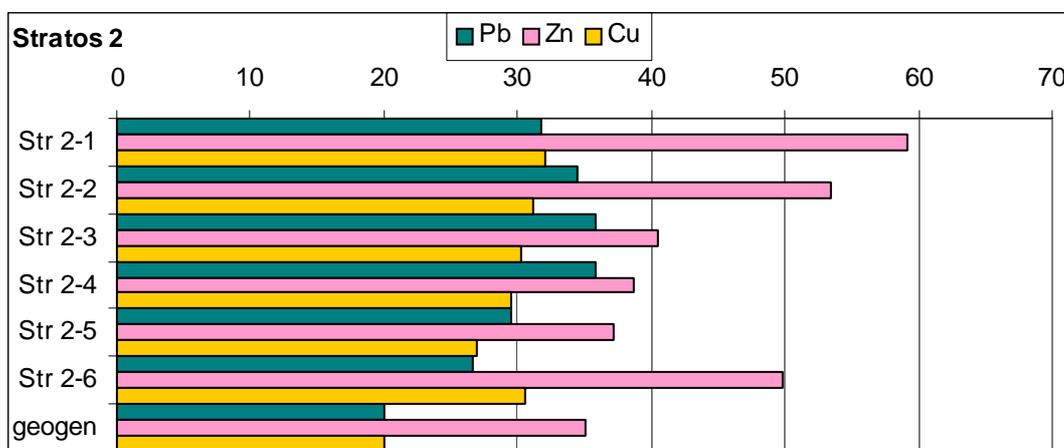


Abb. 135: Tiefenverteilung von Blei, Zink und Kupfer (Gesamtgehalte in mg/kg) im Leitprofil „Stratos 2“

10.2.2 Agora

Am zentralen antiken Platz der Stadt, der Agora, wurden am Hangfuß im östlichen Bereich drei Profile („Stratos 3“, „Stratos 5“ und „Stratos 6“) und an der westlichen Hangkante das Profil „Stratos 4“ der laufenden archäologischen Ausgrabung genutzt, um aus datierten Horizonten Bodenproben zu entnehmen. Besonders das Profil „Stratos 6“ erwies sich als sehr fundträchtig. Auf dieses wird deshalb besonders eingegangen. In Tab. 39 ist die zeitliche Zuordnung der Horizonte für die Profile „Stratos 3“ bis „Stratos 6“ zusammengestellt. Es zeigt sich, dass diese bis auf Profil „Stratos 6“ nicht lückenlos sind, sondern einzelnen Epochen „fehlen“. Dies liegt an der Nicht-Datierbarkeit der Befunde.

Tab. 39: Zeitliche Stellung der untersuchten Horizonte/archäologischen Schichten der Profile „Stratos 3“ bis „Stratos 6“ auf der Agora

Zeit/ Epoche	geogen	archaisch	klassisch-hellenistisch	römisch	spätbyzantinisch	18./19.Jh.	19./20.Jh.
Probenbezeichnung	geogen	Str 3-3	Str 3-2		Str 3-1		
		Str 4-3	Str 4-2	Str 4-1			
		Str 5-3	Str 5-2				Str 5-1
		Str 6-10	Str 6-9 Str 6-8 Str 6-7	Str 6-6 Str 6-5	Str 6-4 Str 6-3	Str 6-2	Str 6-1

Die Tiefenverteilung im Profil „Stratos 3“ zeigt einen Abfall des Anteils der organischen Substanz, wohingegen Phosphat im Archaikum ein Peak aufweist (Abb. 136). Die Bleigehalte dagegen steigen mit dem Alter an, während die Zinkgehalte gegenläufig abnehmen (Abb. 137).



Abb. 136: Tiefenverteilung von pH-Wert, Anteil an organischer Substanz und Phosphatgehalt im Leitprofil „Stratos 3“

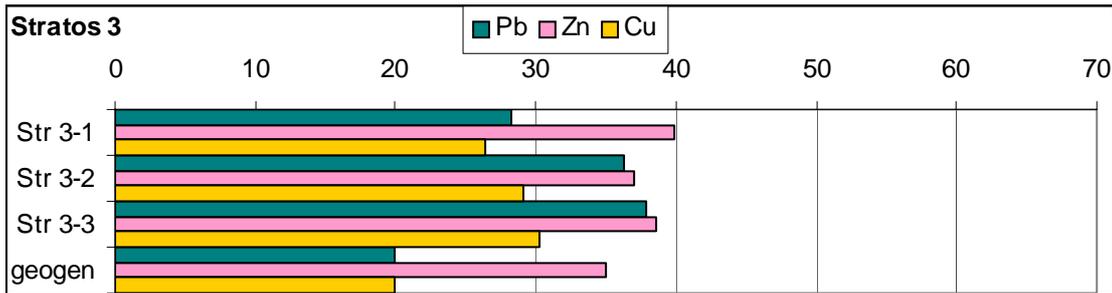


Abb. 137: Tiefenverteilung von Blei, Zink und Kupfer (Gesamtgehalte in mg/kg) im Leitprofil „Stratos 3“

Ein demgegenüber wiederum anders Bild ergibt sich bei den **Tiefenverteilungen** des Profils „**Stratos 4**“. Die Phosphatgehalte nehmen mit zunehmendem Alter kontinuierlich ab, was auch für den Anteil der organischen Substanz (Abb. 138) und die Schwermetalle (Abb. 139) gilt mit der Ausnahme, dass diese in der archaischen Epoche ein (kleines) relatives Maximum haben. Die **Musterverteilung** stimmt für dieses Profil zwischen den ermittelten Parametern/Stoffen überein.

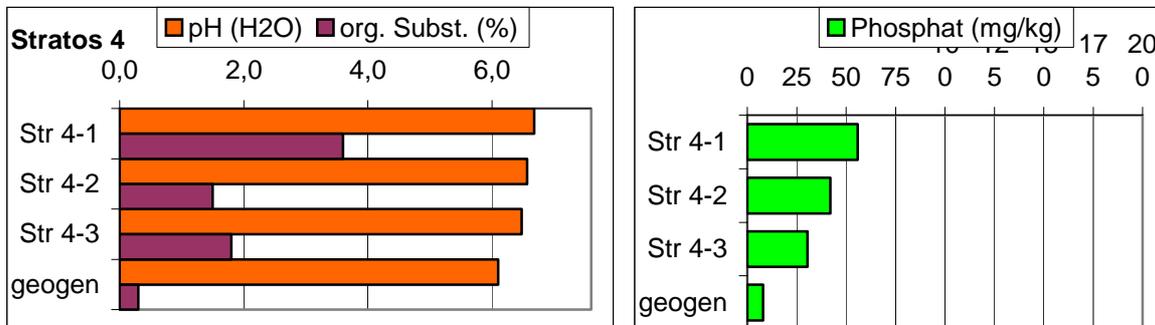


Abb. 138: Tiefenverteilung von pH-Wert, Anteil an organischer Substanz und Phosphatgehalt im Leitprofil „Stratos 4“

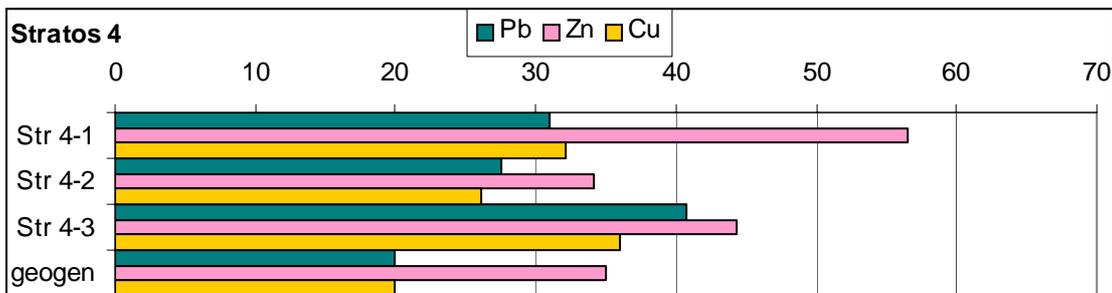


Abb. 139: Tiefenverteilung von Blei, Zink und Kupfer (Gesamtgehalte in mg/kg) im Leitprofil „Stratos 4“

Das Profil „**Stratos 5**“ zeigt eine ebenfalls sehr „**homogene**“ **Musterverteilung**. Sowohl die Humus- und Phosphat- (Abb. 140) als auch die Schwermetallkonzentrationen (Abb. 141) nehmen mit zunehmender Tiefe (und damit zunehmendem Alter) ab. Die extrem hohen Werte von über **200 mg/kg**

Phosphat im Horizont „Str 5-1“ sind besonders auffällig. Solche Konzentrationen werden ebenfalls im Profil „Stratos 6“ erreicht, auch dort in den obersten Horizonten. Die Erklärung dafür ist sehr einfach. In den letzten beiden hundert Jahren wurde das **antike Stadtgebiet** von den Bauern des angrenzenden Dorfes Neu-Stratos (besonders im Winter) als **Weide und „Quartier“** für Ziegen, Rinder und Schweine genutzt. Die große Fläche der Stadt, die nicht anders zu nutzen ist, und insbesondere die sichere Umzäunung durch die Stadtmauer boten sich dazu gerade an. Das Ergebnis dieser lang andauernden und intensiven Nutzung spiegelt sich in den hohen Phosphatgehalten der Böden wider. Dass dieses nicht in untere Horizonte verlagert wurden, liegt an den geringen Löslichkeitseigenschaften des Phosphats und an den guten Sorptionseigenschaften der Böden (pH-Werten von über 6). Als **aktuelles Problem** zeigt (bzw. zeigte) sich auch die Nutzung der noch funktionsfähigen Brunnen bzw. Wasserstellen im antiken Stadtgebiet. Untersuchungen der Wässer ergaben auch darin extrem hohe Nährstoffkonzentrationen (SAUERWEIN 1995), so dass diese heute nicht mehr genutzt werden. (Ein Beispiel für „angewandte“ Geoökologie...)



Abb. 140: Tiefenverteilung von pH-Wert und Anteil an organischer Substanz im Leitprofil „Stratos 5“

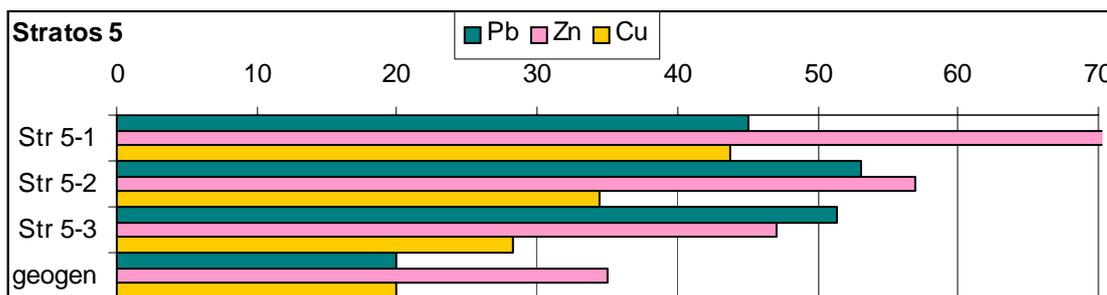


Abb. 141: Tiefenverteilung von Blei, Zink und Kupfer (Gesamtgehalte in mg/kg) im Leitprofil „Stratos 5“

Das **Profil „Stratos 6“** (Abb. 142) soll etwas näher beleuchtet werden. Es bietet in geradezu lehrbuchmäßiger Weise die Betrachtung der Siedlungsgeschichte und seiner Auswirkungen auf den Stoffhaushalt, da in dem ungestörten chronologischen Profil alle Siedlungsepochen archäologisch datiert werden konnten. Details dazu sind bei SAUERWEIN 1996 veröffentlicht.

Durch die Lage am Hangfuß an der Rückseite eines byzantinisch datierten Hauses, welches an gleicher Stelle ältere Vorläufer hatte, sind in einer **Sedimentfalle** alle **Siedlungsepochen** in idealer Weise **konserviert**. Dadurch dass in allen (archäologischen) Schichten entsprechendes Datierungsmaterial (Ziegel, Keramik, auch Knochen) archiviert und eindeutig auswertbar ist, wurden auch die Schwermetalle und andere Parameter ermittelt, um für die **Horizonte** dieses Profils ein **kalibrierbares Muster** zu erfassen.



Abb. 142: Leitprofil "Stratos 6"

Die hohen **Phosphatgehalte** in den beiden neuzeitlichen Horizonten „Str 6-1“ und „Str 6-2“ (Abb. 143) wurden durch die Viehhaltung bereits erklärt. Dementsprechend ist auch der relativ hohe Anteil an organischer Substanz zu deuten. Die Humusgehalte in den älteren Horizonten schwanken geringfügig und lassen auf den ersten Blick keine Interpretation zu, während z.B. der Anstieg des Phosphatgehaltes im klassisch-hellenistischen Horizont „Str 6-9“ mit der „Blütezeit“ der Stadt in Zusammenhang gebracht werden kann. Bei „genauem Hinsehen“ kann man erkennen, dass die Muster von Phosphat- und Humusgehalt korrelieren, d.h. bei einem (leichten) Anstieg des Phosphatgehaltes ist auch ein (leichter) Anstieg des Humusgehaltes zu verzeichnen.

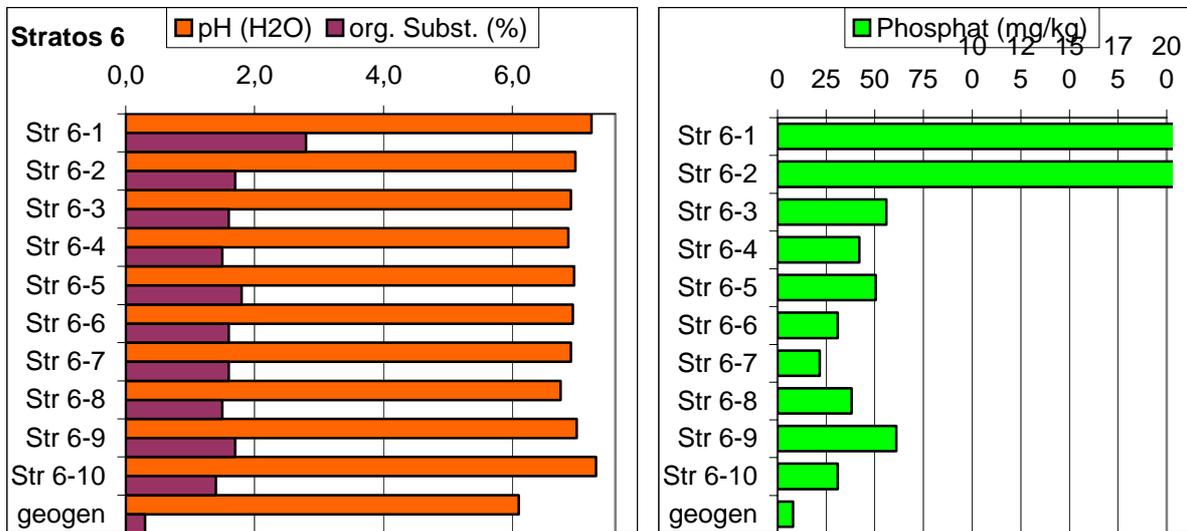


Abb. 143: Tiefenverteilung von pH-Wert und Anteil an organischer Substanz im Leitprofil „Stratos 6“

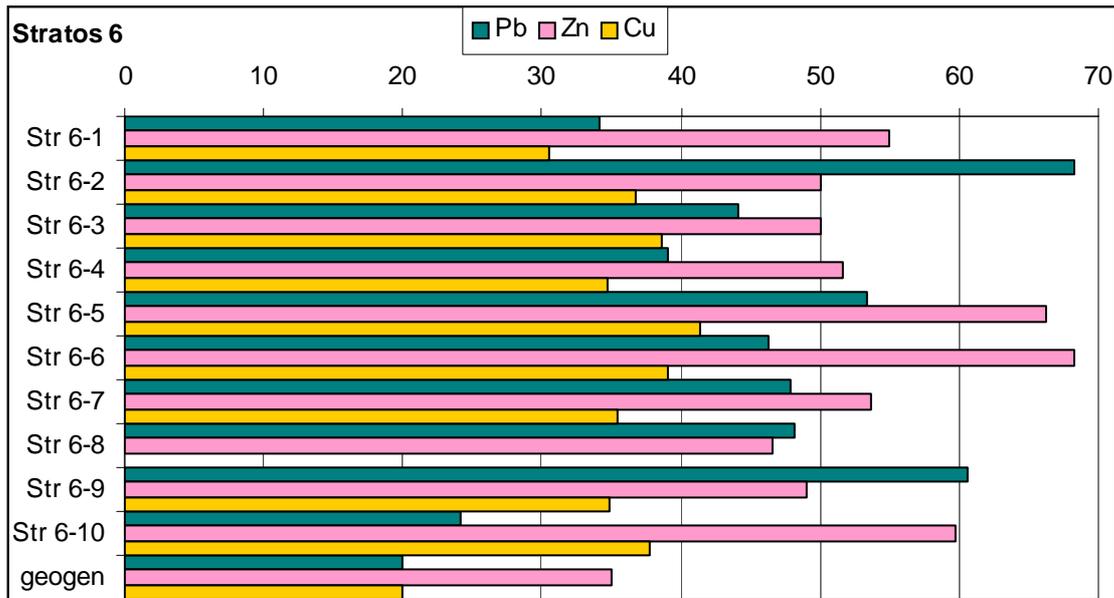


Abb. 144: Tiefenverteilung von Blei, Zink und Kupfer (Gesamtgehalte in mg/kg) im Leitprofil „Stratos 6“

Die **Schwermetalle** im Profil „**Stratos 6**“ folgen sichtbar keinem einheitlichen Muster. Berechnet man für die ermittelten Werte im Profil eine Korrelation (nach Spearman), so erhält man nur einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen der Organischen Substanz und Phosphat. D.h. die anderen Parameter folgen auch statistisch nicht einem „einheitlichen“ Muster. Da dies an der zu geringen statistischen Masse liegen kann, wurde für alle in den Profilen ermittelte Daten eine nichtparametrische Korrelation berechnet (Abb. 145).

	pH	org. Subst.	Phosphat	Pb	Zn
org. Subst.	,428*				
Phosphat		,517**			
Pb					
Zn				,353*	
Cu				,576**	,790**

* Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 signifikant (2-seitig).
 ** Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant (2-seitig).

Abb. 145: Korrelation der Schwermetallgehalte der untersuchten Leitprofile (N=32)

Bezogen auf alle Horizontgehalte kommt man durch die **Korrelation** zu dem Schluss, dass es signifikante Zusammenhänge zwischen den pH-Werten und den Schwermetallgehalten gibt. Dies kann nicht erklärt werden. Die Korrelation zwischen Phosphat- und Humusgehalt erscheint plausibel, da Phosphat als Nährstoff hauptsächlich in die (humosen) Oberböden eingetragen wird. Weiterhin korrelieren die drei Schwermetalle untereinander, d.h. es gibt scheinbar einen stofflichen Zusammenhang zwischen der Intensität der eingetragenen Schwermetalle. Weiterhin korreliert Zink mit der organischen Substanz, dies wurde bereits bei anderen Untersuchungen urbaner Böden festgestellt (SAUERWEIN 1998) und wird mit der Sorption des Zinks an die organische Substanz begründet.

Um neben dem paarweisen Zusammenhangsmaß einen statistischen Zusammenhang zwischen allen Variablen zu ermitteln, wurde eine Clusteranalyse durchgeführt (Abb. 146).

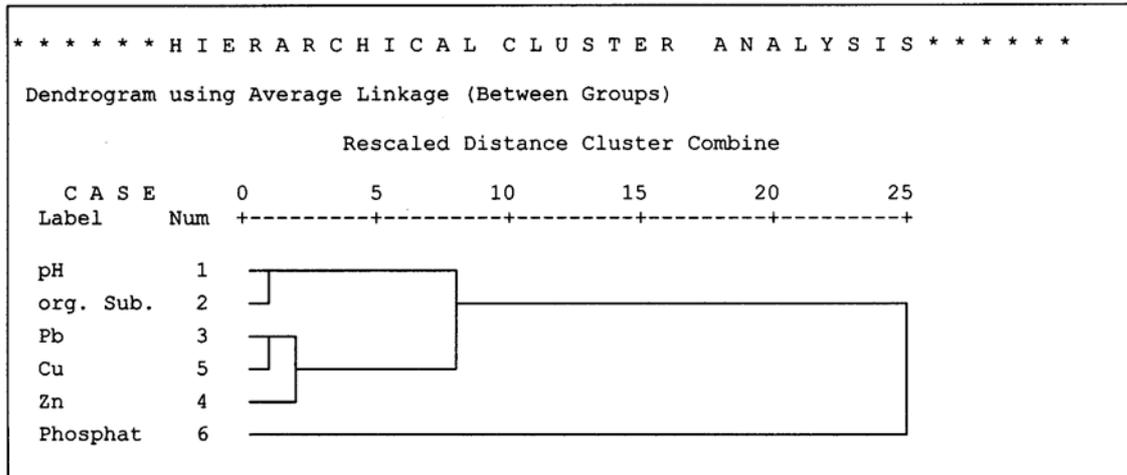


Abb. 146: Hierarchische Clusteranalyse der Parameter/Stoffgehalte der Leitprofile, bezogen auf die Horizonte

Die **Clusteranalyse** führt zu dem Ergebnis, dass die drei Schwermetalle eine Gruppe bilden, ebenso pH-Wert und organische Substanz. Diese beiden Gruppen zusammen wiederum bilden ein nächsthöheres Cluster, während **Phosphat** die **geringste Gruppenzugehörigkeit** aufweist. Interpretationsansatz dafür wäre, dass das Phosphat anderen Quellen entstammt als die Schwermetalle. Die Schwermetalle stammen aus (antik-) urbanen ubiquitären Emissionen und werden zumindest zu einem geringen Teil verlagert (in einem Zeitraum von ca. 2000 Jahren), während Phosphat aus Viehhaltung bzw. Exkrementen (auch menschlichen) entstammt und als äußerst immobile Verbindung sehr lokal/punkthaft abhängige Konzentrationen aufweist.

Letztlich kann man zu dem Schluss kommen, dass die Schwermetalle generell geeignet sind, Intensitäten der antiken anthropogenen Einflussnahme in den Sedimenten heute noch nachzuzeichnen, Phosphat hingegen besser geeignet ist, lokale „Belastungen“ auszugrenzen“.

10.3 Rasterbeprobungen oberflächennaher Horizonte

Durch die Archäologen wurden innerhalb der Stadtmauer einige Bebauungsstrukturen zeitlich eindeutig datiert (Abb. 128). Dies bot den Ansatz und die Möglichkeit, für **verschiedene Epochen** diesen als Indikator zuzuordnende **Parameter** und/oder **Stoffe** der Böden zu suchen.

Folgenden Epochen konnten „flächennah“ oberbodennahe Horizonte zugeordnet werden: **archaisch, klassisch-hellenistisch, römisch, spätbyzantinisch, türkisch, neuzeitlich**. Außerdem wurde außerhalb der Stadt anthropogen unbeeinflusstes Verwitterungsmaterial gewonnen, welches den **geogenen Hintergrund** repräsentiert.

Aus den archäologischen eindeutig datierten „Oberflächen“ (heute oberflächennahe Horizonte, die ca. 20 cm – 50 cm überdeckt sind) wurden Proben entnommen. Die Beprobung erfolgte als Rasterbeprobung. **Pro datierter Fläche** wurden **10 Einzelproben** entnommen und aus diesen nach Probenteilung eine Mischprobe erstellt. So wird jede Epoche durch 10 Einzelproben und **eine Mischprobe** repräsentiert. Untersucht wurden pH-Wert, CaCO₃-Gehalt, Humusgehalt, Blei, Zink, Kupfer, Nickel, Chrom, Cadmium und Phosphat. Für die **Mischproben** ergibt sich eine „**chronologische Tiefenverteilung**“. In Abb. 147 ist der auf das Maximum des Parameters im Profil normierte relative Gehalt dargestellt.

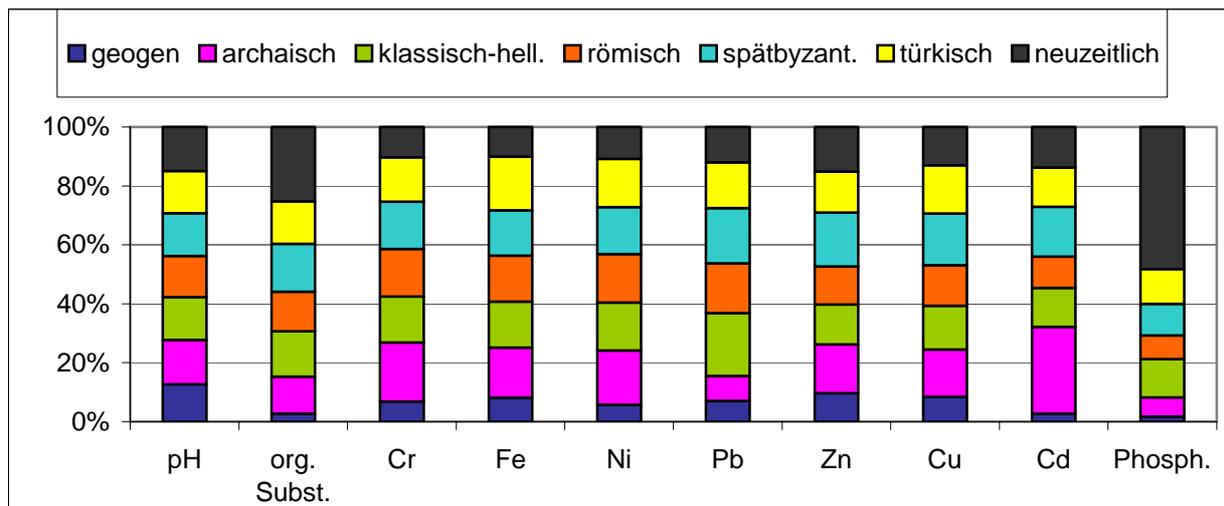


Abb. 147: Gehalte der Mischproben der Rasterbeprobung, bezogen auf das Maximum pro Parameter

Abb. 147 ist so zu interpretieren, dass z.B. beim Anteil der organischen Substanz in der geogenen Probe im Vergleich zu den anderen Schichten vernachlässigbare Konzentrationen ermittelt wurden, während die neuzeitliche Schicht über 20 % Anteil bezogen auf das gesamte (ideale) chronologische Profil erfasst. Dieser Sachverhalt gilt in noch stärkerem Maß für den Phosphatgehalt. Bei den Schwermetallen gibt es zwischen diesen Unterschiede in den Konzentrationen bezogen jeweils auf das ganze Profil. So ist Chrom in der archaischen Schicht relativ hoch konzentriert, in der türkischen hingegen relativ gering. Ei eben solches Muster weist auch Cadmium auf, Blei hingegen ist im Archai-kum sehr gering konzentriert, dafür aber im klassisch-hellenistischen Profilabschnitt deutlich erhöht. Für weitergehende Interpretationen unterscheiden sich die normierten Gehalte nur sehr bedingt. Mittels des statistischen Verfahrens des Kruskal-Wallis-Test können aus den Einzelproben Rangfolgen der mittleren Gehalte in den einzelnen Epochen berechnet werden. (Abb. 148).

	pH	org.S.	Cr	Fe	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd	Phos.
neuzeitlich	2	1	6	7	6	5	3	6	3	1
türkisch	4	4	5	1	2	4	4	2	4	3
spätbyz.	4	2	3	4	5	2	1	1	2	4
römisch	6	5	2	4	2	3	6	5	6	5
klass-hell.	3	3	4	3	4	1	5	4	4	2
archaisch	1	6	1	2	1	6	2	3	1	6
geogen	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7
Signif.	0,3879	0,2764	0,1769	0,2162	0,1925	0,0908	0,1048	0,0912	0,2032	0,0625

Abb. 148: Kruskal-Wallis-Test für Blei, Zink und Kupfer in den Oberböden in den Einzelproben der Rasterbeprobung

Der Kruskal-Wallis-Test bestätigt zum einen, dass **Blei, Kupfer und Phosphat Indikatoren** sind, welche die **Unterschiedlichkeit der einzelnen Epochen widerspiegeln**. Dies wird deutlich an der **Signifikanzwahrscheinlichkeit** von über 90 % (nur bei diesen drei Elementen!). Für die anderen Parameter gibt es keine statistisch nachweisbaren Unterschiede auf Grundlage der jeweils 10 Einzelproben pro Epoche. Zum zweiten „bestätigt“ der Kruskal-Wallis-Test damit die Auswahl von Blei, Kupfer und Phosphat generell als Indikatoren der anthropogenen Beeinflussung. In Abb. 149 sind zur besseren Übersichtlichkeit die berechneten mittleren Rangfolgen des Kruskal-Wallis-Test für die signifikanten Elemente Blei, Kupfer und Phosphat dargestellt. Abb. 149 zeigt, dass die **drei Indikatoren** durch eine jeweils **andere Rangfolge der Epochen** charakterisiert sind. So ist bei allen drei Parametern der geogene Grundgehalt am geringsten, sonst unterscheiden sie sich aber deutlich voneinander. Schlussfolgernd bedeutet die unterschiedliche Verteilung auch, dass in den **einzelnen Epochen** eine **stoffbezogen unterschiedliche Beeinflussung der Böden** erfolgt sein muss, also Blei in der klassisch-hellenistischen Zeit besonders emittiert bzw. in die Böden immittiert wurde, Kupfer in der spätbyzantinischen Zeit und Phosphat in der Neuzeit. Letzteres wurde bereits vorne kausal erläutert.

Pb	Cu	Phosphat
klassisch-hellenistisch	spätbyzantinisch	neuzeitlich
spätbyzantinisch.	türkisch	klassisch-hellenistisch
römisch	archaisch	türkisch
türkisch	klassisch-hellenistisch	spätbyzantinisch
neuzeitlich	römisch	römisch
archaisch	neuzeitlich	archaisch
geogen	geogen	geogen

Abb. 149: Berechnete mittlere Rangfolgen des Kruskal-Wallis-Test für Blei, Kupfer und Phosphat in den Oberböden der Rasterbeprobung

Die Ursachen der Höhe der unterschiedlichen Immissionen in die Böden können zum jetzigen Zeitpunkt nicht geklärt werden. Im Rahmen der interdisziplinären Zusammenarbeit mit Historikern und Archäologen sind diese aufgefordert, (gemeinsam mit den Naturwissenschaftlern) dieses „Rätsel“ zu lösen.

10.4 Schlussfolgerungen

Aus den dargestellten Befunden und statistischen Auswertungen lassen sich **zwei** wichtige **Schlussfolgerungen** ableiten:

1. Mittels der Indikatoren Blei, Kupfer und Zink lässt sich in den **Tiefenverteilungen** der Leitprofile eindeutig die **Intensität von Siedlungsphasen** nachweisen. Einzelne Epochen (bzw. diesen Zeitabschnitten zugeordnete Nutzungen) haben dabei ein zuordenbares Muster.
2. **Diese Muster** lassen sich auch statistisch abgesichert in datierbaren bzw. zeitlich plausibel zuzuordnenden **oberflächennahen Bodenhorizonten** nachweisen.

Aus diesen beiden Schlussfolgerungen wiederum lässt sich die Hypothese der vorgelegten Arbeit auch für die hier untersuchten „antik-urbanen Bodenlandschaften“ bestätigen:

Städtische Siedlungsepochen wirken durch die mit ihnen einhergehenden typischen und untereinander unterschiedlichen Emissionen derart auf die Böden, dass deren Stoffhaushalt signifikant und heute noch nachvollziehbar überprägt wird.

Methodologisch ist von Bedeutung, dass diese Hypothese nicht nur für die Beispiele Halle und Wittenberg gültig ist, sondern wie am Beispiel Stratos gezeigt prinzipiell sowohl räumlich (in eine andere Klimazone) als auch zeitlich (in die Antike) übertragen werden kann.

11 Ansätze zur Stoffhaushaltsbilanzierung und geoökologischen Bodenklassifizierung

11.1 Bilanzierungen zum historischen und aktuellen Stoffhaushalt urbaner Böden

Wie in Kap. 4 aufgezeigt, müssen für eine Bilanzierung des Bodenstoffhaushaltes in einem logischen Zusammenhang die Größen **Input – Bodenpool (als Senke und Quelle) – Output** unter Berücksichtigung **zeitlich-dynamischer Prozesse** bekannt sein.

Als **Input** sind möglich: nasse Deposition, trockene Deposition, Überflutung (Hochwasser), direkter Eintrag (Ablagerung), Eintrag über Sickerwässer/Interflow (in reliefierten Bereichen). Als **Output** sind möglich: Pflanzenentnahme, Sickerwasser, Abfluss/Erosion, Aushub.

Die **empirisch-messtechnische Bestimmung** aller Input- und Output-Größen ist nahezu **unmöglich**. Zum einen besteht immer noch Forschungsbedarf hinsichtlich der „richtigen“ messtechnischen Erfassung der angeführten Größen, zum anderen ist es gerade in urbanen Räumen außerordentlich schwierig, repräsentative Flächen zu finden und überhaupt zu instrumentieren (Genehmigung, Beschädigung, Zerstörung). Die Messung der **dynamischen Größen** wie z.B. der Bodensickerwässer gestaltet sich als außerordentlich schwierig (KOCH, SAUERWEIN & FRÜHAUF 2004). Für die Stoffbilanzierung müssen geschlossene Messreihen vorliegen, und dies zudem für mehrere Jahre, um die Variabilität der klimatischen Einflüsse berücksichtigen zu können. Für alle vorgestellten Stadtstrukturtypen ist dies praktisch (finanziell und technisch) nicht durchführbar. Ein erster Ansatz für die Bilanzierung des bodensickerwassergetragenen Stofftransfers aus den Böden unterschiedlicher Stadtstrukturtypen in die angrenzenden aquatischen Systeme wurde in Kap. 7 kurz vorgestellt. Eine Bilanzierung im Sinne von **kontinuierlichen (!) Stofffrachtberechnungen** ist aufgrund der wöchentlich-kumulativen Datenerfassung (Sickerwässer) allerdings **nicht möglich**.

Dies bedeutet als Alternative, dass **Senken** erfasst werden müssen, in welchen zeitlich zuzuordnende Informationen zum Stoffhaushalt gespeichert sind. Solche Senken sind im städtischen Bereich die **urbanen Böden** und das **urbane Grundwasser**. Zu letzterem gibt in jüngster Zeit eine Fülle von Forschungsaktivitäten (vgl. die Literaturdiskussion dazu in Kap. 4). Im Rahmen einer initiierten Diplomarbeit (BUKOWSKI 2003) im Stadtgebiet von **Halle** konnte festgestellt werden, dass in ausgewählten **Grundwasserpegeln stadtstrukturtypenbezogene Einflüsse der Stoffkonzentrationen** feststellbar sind. Dies lässt sich auch im Jahrgang bestätigen (KOCH, BUKOWSKI, SAUERWEIN & FRÜHAUF 2004). Das bedeutet gleichsam, dass die urbanen Böden heute nicht nur Stoffsenken sind, sondern auch eine Quellenfunktion haben.

Die vorliegende Arbeit kann in erster Linie dazu dienen, die **Senkenfunktion der urbanen Böden** unter den Aspekten der zeitlichen Nutzung und Nutzungsintensität zumindest ansatzweise zu qualifizieren und zu quantifizieren. So ist der historische Stoffhaushalt heute dahingehend nachvollziehbar, dass die aufgrund der **pedologischen Rahmenbedingungen** im Boden weitestgehend festgelegten Stoffkonzentrationen messbar sind und damit Zeugnis über die historische Belastung ablegen. D.h. aber auch, dass nur eine „**Netto-Bilanz**“ erstellt werden kann, die dahin gehend falsch ist, dass mittlerweile ausgetragene Stoffe, egal über welchen Transportpfad, nicht in die Bilanzierung eingehen. Die potenziellen Austragspfade wurden oben angeführt.

Anhand der **geoarchäologischen Grabungen** konnte (dennoch) gezeigt werden, dass eine Vielzahl der in historischen Zeiten eingetragenen Stoffe in den Böden verblieben sind. Dies ist mit den lokalen Bodeneigenschaften zu begründen, welche nämlich durch ihre guten Sorptionseigenschaften den Stoffaustrag zumindest zum Teil „verhindern“. So wurde z.B. angeführt, dass **Phosphat** als Indikator für die Nutzungsintensität verstanden werden kann. Weiterhin wurde gezeigt, dass **Zink** und **Kupfer** offensichtlich zu unterschiedlichen Zeiten in die Böden eingetragen wurden (Kupfer verstärkt bis zum 14./15. Jh., Zink ab dem 13./14. Jh.).

Um eine „**echte**“ **Bilanzierung** vornehmen zu können, wäre die Einrichtung eines **Monitoringsystems** notwendig, mittels welchem die wichtigsten Input-, Verlagerungs- und Output-Kenngrößen erfasst werden. Als ein Monitoringelement zur Qualifizierung und Quantifizierung des Stoffeintrags über die Atmosphäre ist die Exposition von Kontrollböden geeignet – dies wurde dargestellt.

Weitere Anregungen zu diesen Überlegungen finden sich (auch aus internationaler Sicht) z.B. bei GRÖNGRÖFT et al. 2000, BARTSCH et al. 1999, HUININK 1998, CLEMENS et al. 1997, KIENE & MIEHLICH 1997, HERTLING & RASCHKE 1995.

11.2 Szenario zur perspektivischen Entwicklung der Bodenveränderung in Halle

Die Erstellung eines **einheitlichen Szenarios** zur perspektivischen Entwicklung der Bodenveränderung am Beispiel der Stadt Halle ist a priori **nicht möglich**, denn es wurde gezeigt, dass die Stadt durch unterschiedlich zu charakterisierende Teilräume aufgebaut ist. Deshalb ist es nur möglich, auf unterschiedlichen **Hierarchiestufen** perspektivische Entwicklungen aufzuzeigen. Als Hierarchiestufen eignen sich **Gesamtstadt, Stadtstrukturtyp, Einzelfläche und Einzelstandort**. Die Aussagen verlieren an Schärfe mit zunehmender Hierarchisierung, d.h. bezogen auf die Gesamtstadt z.B. sind nur „Pauschalaussagen“ möglich.

Ein Szenario beruht prinzipiell auf der Erfassung und Darstellung des **Ist-Zustandes** sowie der Abschätzung der **Folgen potenzieller Eingriffe**. In Kap. 7 wurde anhand der Stadtstrukturtypen der Ist-Zustand der Böden dokumentiert. Mit einigen (hypothetischen) Beispielen soll aufgezeigt werden, welche möglichen Auswirkungen veränderte städtische Rahmenbedingungen auf die Böden hätten und wie diese zu bewerten wären.

Ein bekanntes Phänomen in Städten ist das Absinken des Grundwasserspiegels im Vergleich zum Umland. Dies beruht primär auf dem **Versiegelungsgrad**. Je höher dieser ist, desto geringer ist die Infiltration und die Grundwasserneubildung. Die Verringerung des Versiegelungsgrads würde bezogen auf den Stadtstrukturtyp bedeuten, dass es lokal zu einer größeren Grundwasserneubildung käme. Damit dies auch Auswirkungen auf den gesamtstädtischen Wasserhaushalt hätte, müssten allerdings Flächen mindestens im 5 % Bereich der Gesamtstadtfläche entsiegelt werden. Für die versiegelten Böden kann eine Entsiegelung jedoch auch zu negativen Auswirkungen führen. I.d.R. sind Stoffe unter versiegelten Flächen festgelegt (deponiert) und dem Stoffkreislauf entzogen. Kommt es zur Entsiegelung, können leicht mobilisierbare Stoffe/Verbindungen u.U. in den Stoffkreislauf zurückkommen und zu einer potenziellen Belastungsgefahr werden.

Ein zweites Beispiel der Veränderung der Rahmenbedingungen ist durch eine **Umstellung der Pflegemaßnahmen auf städtischen Grün- und Freiflächen** möglich. Das dauernde Entfernen von Biomasse (z.B. Laub) führt zu einer Nährstoffunterversorgung der Böden und zu einer Verringerung des Humusgehaltes. Dies hat zweierlei **negative Folgen**. Einerseits „fehlen“ den Pflanzen die Nährstoffe, andererseits wurde in den vorigen Kapiteln gezeigt, dass gerade der Humus ein großes Sorptionsvermögen für ubiquitär eingetragene Stoffe aufweist. Durch diese Art der Pflegemaßnahmen kommt es potenziell zu einem höheren Stofftransport durch die Böden hindurch (aufgrund geringerer Sorptionsfähigkeit) und zu einer dauerhaften Unterversorgung der Vegetation.

Ein drittes Beispiel ist die Veränderung der **Verwendung von Streusalzen** im Winter. Die in den letzten Jahren zu verzeichnende Verringerung von Streusalzen (allerdings aus rein ökonomischen Gründen!) hat für die Böden (i.d.R. nur solche in unmittelbarer Nähe der Fahrbahnen) den **positiven Effekt**, dass es nicht zu einer pH-Wert-Absenkung kommt und damit nicht zu einer potenziell höheren Stoffmobilisierung.

Schon mit diesen Beispielen wird deutlich, dass die **Böden** auch in Städten eine wichtige **Steuer- und Pufferfunktion** haben und ein Eingriff in den aktuellen Bodenstoffhaushalt qualitativ und quantitativ zu unterschiedlich einzuschätzenden Folgen führen kann. Dies wird in Kap. 12 bei der Diskussion von Urbanen Bodenschutzkonzepten nochmals aufgegriffen.

11.3 Geoökologische Klassifizierung der Urbanen Bodenlandschaften

Mit den bisherigen Ausführungen konnte gezeigt werden, dass die in Kap. 2 formulierte **Hypothese** der Arbeit **zu befürworteten** ist:

„URBANE BODENLANDSCHAFTEN sind siedlungsbeeinflusste Ausschnitte der Pedosphäre, die aufgrund der anthropogen bedingten Reliefveränderung, ihrer prä-urbanen Bodenausstattung, ihres Alters und ihrer aktuellen und historischen Nutzung vergleichbare Parameterverteilungsmuster aufweisen.“

Es muss darauf hin gewiesen werden, dass die Hypothese **keine „neue“ bodenkundliche Klassifizierung** der urbanen Böden zur Folge hat. Diese **geoökologische Klassifizierung** beruht auf einer anderen **Herangehensweise** und einer **anderen Zielstellung** als die bodenkundliche Kartierung und steht nicht in Konkurrenz zu dieser. Vielmehr kann sie als Ergänzung zur Charakterisierung von städtischen Teilräumen dienen. Gleichzeitig benötigt sie die exakte bodenkundliche Kartierung. Dies soll im Folgenden durch die Ableitung einiger Beispiele verdeutlicht werden. Die vorgeschlagene Klassifizierung der Urbanen Bodenlandschaften folgt dem in Abb. 150 dargestellten Ansatz. Demnach ist eine **Urbane Bodenlandschaft** ein (dreidimensionaler) Ausschnitt der Pedosphäre, in dem ein **Urbaner Bodentyp** vorherrscht.

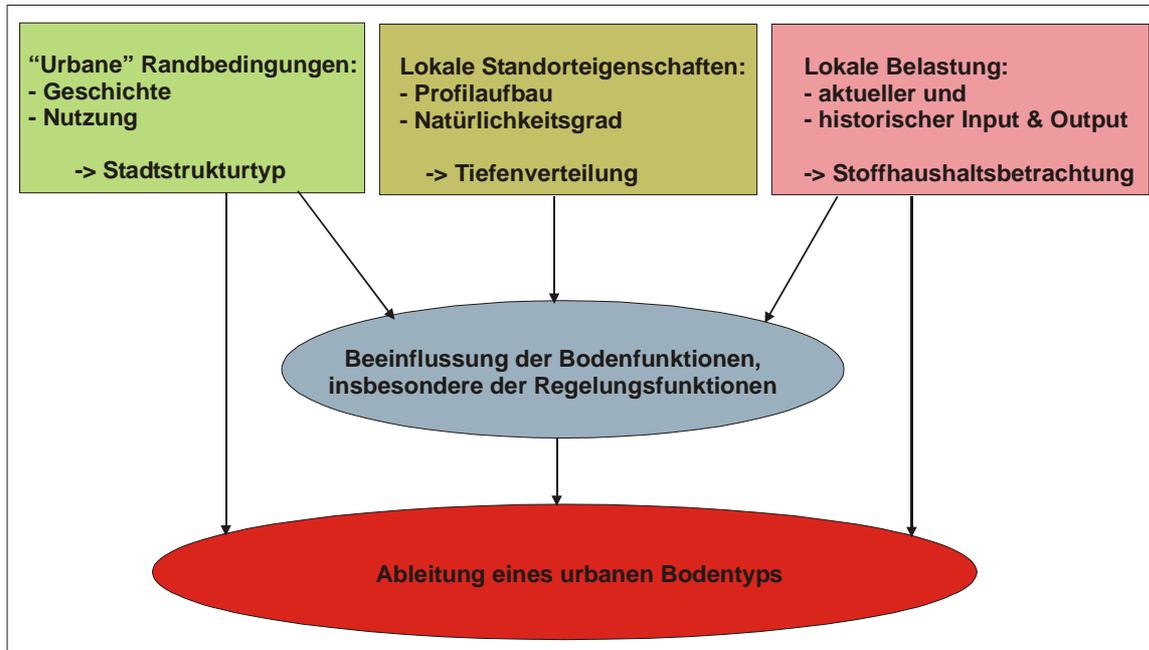


Abb. 150: Ansatz zur Klassifizierung Urbaner Bodenlandschaften

Aus Abb. 150 wird deutlich, welche Rahmenbedingungen und Kenntnisse existieren müssen, um eine Urbane Bodenlandschaft beschreiben zu können. Die Charakterisierung der **drei übergeordneten Kriterien** „Urbane Randbedingungen“, „lokale Standorteigenschaften“ und „lokale Belastung“ ist die Voraussetzung für eine Klassifizierung. Für diese drei Kriterien gibt es **Indikatoren**, mittels derer die Charakterisierung vorgenommen werden kann. Die **urbanen Randbedingungen** sind geprägt durch die Geschichte und die Nutzungsgeschichte. In den bisherigen Ausführungen der Arbeit wurde gezeigt, dass der **Stadtstrukturtypenansatz** ein Instrument ist, welches diese Charakterisierung leistet. Die **lokalen Standorteigenschaften** sind geprägt durch den Profilaufbau (Art der Substrate, ihre Lagerung und Mächtigkeit). Es wurde gezeigt, dass der **Natürlichkeitsgrad** ein Indikator ist, um das Ausmaß des anthropogenen Eingriffs in den natürlichen Boden zu beschreiben. Die **lokale Belastung** ist abhängig von der historischen und aktuellen Belastung. Hier hilft zwar die **Stadtstrukturtypenanzuordnung**, um die „relative“ Belastung zu beschreiben, zur wirklichen Charakterisierung sind jedoch Kenntnisse der wichtigen **Stoffhaushaltsgrößen** nötig. Es wurde gezeigt, dass neben dem **Humusgehalt** z.B. die **Schwermetalle** Blei, Kupfer und Zink sowie die **PAK** Parameter sind, mit welchen der Belastungszustand beschrieben werden kann.

Ein „**Urbaner Bodentyp**“ im Sinne der Urbanen Bodenlandschaften wird somit durch die Beschreibung folgender Kennzeichen charakterisiert:

1. **Stadtstrukturtypzugehörigkeit**
2. **Anthropogene Reliefveränderung**
3. **Natürlichkeitsgrad**
4. **Prä-urbaner Bodentyp**
5. **Tiefenverteilung von Stoffhaushaltsgrößen**
6. **Bodenkundliche Kartiereinheit**

Damit wird deutlich, dass diese Charakterisierung **keine „starre“ Klassifizierung** ist, sondern eine **Vielzahl von Möglichkeiten der Urbanen Bodenlandschaften** differenziert werden können. So ist es möglich, dass innerhalb eines Stadtstrukturtyps aufgrund unterschiedlicher Eingriffe in das Relief

verschiedene Urbane Bodentypen klassifiziert werden. Das Gleiche gilt beim „Wechsel“ der prä-urbanen Bodentypen innerhalb eines Stadtstrukturtyps, auch dann verändert sich der urbane Bodentyp.

Praktisch ist bei einer **Kartierung** so vorzugehen, dass vor den Geländearbeiten folgende **flächen-deckende Informationen** bereitgestellt werden:

1. Stadtstrukturtypenkartierung
2. Erstellung einer prä-urbanen Bodenkarte
3. Erstellung einer Karte der anthropogenen Reliefveränderung

Durch die Nutzung eines **GIS** ist es möglich, diese Informationen flächenhaft zu verschneiden und somit potenzielle sich voneinander unterscheidende **Kartierflächen auszuweisen**. Diese „gestückelten“ Flächen sind letztlich durch Bodenschürfe bzw. mindestens Bohrstockprofile aufzunehmen und im Idealfall auch zu beproben, um die verbleibenden Kennzeichnungen des Natürlichkeitsgrads, der bodenkundlichen Kartiereinheit und der im Labor zu analysierenden Tiefenverteilungen von Stoffhaushaltsgrößen zu erfassen.

Eine **Kartierung** solcher Art ist selbstverständlich innerhalb von Städten in der Regel **nicht flächen-deckend** durchführbar. Aber mit Hilfe von **Datenbanksystemen** und **Geographischen Informationssystemen** kann durch die strukturierte Aufnahme möglichst vieler räumlicher Informationen im Laufe der Zeit aus einem „Mosaik“ ein „Flickenteppich“ entstehen, welcher einen **hohen Kenntnisstand der anthropogenen Veränderung der Böden** beschreibt.

Abschließend sind exemplarisch für einige Standorte bzw. Teiluntersuchungsgebiete in Halle und Wittenberg die urbanen Bodentypen im Sinne einer Charakterisierung abgeleitet (Tab. 40).

Tab. 40: Charakterisierung einiger der untersuchten „Urbanen Bodentypen“ in Halle (gelb hinterlegt) und Wittenberg (grün hinterlegt)

	K1 Audimax	B2 Bernhardystr.	Z3 Johannesplatz	G2 Brahmsbogen
Stadtstrukturtyp	Kerngebiet	Gründerz. Blockb.	Zeilenbebauung	Großsiedlung
anthrop. Reliefver.	Auftrag: > 2 m	Auftrag: 0,8m	Auftrag: 0,5 m	Auftrag: 0,2 m
Natürlichkeitsgrad	0 %	20 %	50 %	80 %
prä-urbaner Bodentyp	Braunerde-Tschernosem	Braunerde-Tschernosem	Braunerde-Tschernosem	Auenboden
Tiefenverteilung	belast. Kulturschichten	Max. in 2. Horiz. Ybs	„gleichmäßig“	Max. in 2. Horiz. jY
Bodenkundliche Kartierung	Kipp-Pararendzina	Kipp-Braunerde	Kipp-Braunerde-Tschernosem	Techno-/Kipp-Gley

	WB8 Am Elbufer	WB2 Lerchenbergstr.	WB4 Mozartstr.	WB6 Berliner Str.
Stadtstrukturtyp	Zeilenbebauung	Großsiedlung	Einfam.hausbeb.	Hauptverk.str.
anthropogene Reliefveränderung	Erhöhung über foss. Boden	Ah abgetragen, netto geringe Erhöhung	Auftrag	anthropogene Auffüllung
Natürlichkeitsgrad	60 %	75 %	85 %	30 %
prä-urbaner Bodentyp	Braunerde	Podsol	(Geschiebemergel)	Gley
Tiefenverteilung	Max. in ojAh	Max. in Ah	Max. in Ah1 & Ah2	Max. im 2. Horiz. (Yb/ojA)
Bodenkundliche Kartierung	Kipp-Braunerde	Kipp-Podsol	Kipp-Pararendzina	Kipp-/Techno-Gley

12 Fazit und Ausblick

Als Fazit werden die in Kapitel 1 „Problemstellungen und Zielsetzungen“ formulierten Fragen beantwortet, bevor darauf aufbauend ein Ausblick zu urbanen Bodenschutzkonzepten die Arbeit beschließt.

Gibt es regelhafte Muster der räumlichen Verteilung von städtischen Böden ?

Es konnte zum einen gezeigt werden, dass sich **Stadtstrukturtypen** voneinander sowohl durch den **Bodenaufbau** als auch durch die **Stoffgehalte unterscheiden**. Eine darüber hinaus gehende Differenzierung bieten die **Urbanen Bodenlandschaften**. Diese berücksichtigen neben dem Stadtstrukturtyp **weitere Charakterisierungsmerkmale** wie die anthropogene Reliefveränderung oder den prä-urbanen Bodentyp.

Welche prinzipiellen Eigenschaften haben dabei siedlungsbeeinflusste Böden unter dem Aspekt ihrer Senken-, Quellen- und Metamorphosefunktion ?

Durch die anthropogene **Relief- und Bodenüberprägung** wird insbesondere die **Senkenfunktion** der Böden verändert. Durch Bodenauftrag kann es sowohl zu einer **Akkumulation** kommen (z.B. im Falle des Auftrags „belasteter“ Substrate) ebenso wie zu einer „**Verdünnung**“ (z.B. im Falle des Auftrags unbelasteter Substrate). Andererseits kann durch Relieferniedrigung die Senke anthropogen „entfernt“ werden. Neben dieser möglichen quantitativen Veränderung von Stoffen bzw. Stoffkonzentrationen können aber auch die **Steuergrößen des Bodenstoffhaushaltes verändert** werden, was wiederum Auswirkungen auf die **Metamorphose** hat. Letztlich wird dadurch auch die **Quellenfunktion** u.U. nicht nachhaltig beeinflusst.

Welche generalisierenden Aussagen lassen sich zur Genese urbaner Böden im Hinblick auf stadtogene („autochthone“) und importierte („allochthone“) Stoffe bzw. Substanzen ableiten ?

Die urbanen Böden sind zu einem weit größeren Teil durch **stadtogene Stoffumlagerungen geprägt** als durch den Fremdstoffeintrag. In nahezu allen Stadtstrukturtypen zeigen sich in den Profilaufnahmen fast ausnahmslos stadtogene, i.d.R. sogar standortnahe Substratumlagerungen. Zwei Ausnahmen sind zu verzeichnen. Zum einen der **mittelalterliche Stadtkern**, der von Kulturschutt unterschiedlichster Herkunft überprägt ist, und zum anderen die **Hauptverkehrsstraßen** und ein Teil der Grünflächen, die unterirdisch von einer Vielzahl von Versorgungsleitungen (Wasser, Abwasser, Gas, Strom, Telekommunikation) durchzogen werden. Diese Leitungen wurden und werden mit Fremdmaterial umgeben (häufig Sande).

Welche Funktionen haben Böden im urbanen Geoökosystem und welche Bedeutung kommt ihnen dabei zu ?

Böden haben auch im städtischen Geoökosystem eine **zentrale Bedeutung**, denn sie sind nicht nur bzgl. des Stoffhaushaltes das **Gedächtnis** der (Stadt-) Landschaftsentwicklung, sondern sie sind auch historisch und aktuell eine wichtige **Schnittstelle** zwischen den Ökosystemkompartimenten. **Böden** haben auch in Städten eine wichtige **Steuer- und Pufferfunktion** und ein Eingriff in den aktuellen Bodenstoffhaushalt kann qualitativ und quantitativ zu unterschiedlich einzuschätzenden Folgen führen. Aus anthropozentrischer Sicht sind sie auch die **Ressource** als Baugrund.

Lässt sich eine geökologische Klassifizierung urbaner Böden - die nicht konträr zu den aktuellen bodenkundlichen Klassifizierungen ist - ableiten ?

Es wurde gezeigt, dass die **Urbanen Bodenlandschaften** einen **komplexen geökologischen Klassifizierungsansatz** für urbane Böden implizieren. Dieser steht nicht in Konkurrenz zu bodenkundlichen Klassifizierungen, sondern kann aufgrund einer anderen Zielstellung als Ergänzung zur geökologischen Charakterisierung von städtischen Teilräumen dienen. Gleichzeitig benötigt er die exakte bodenkundliche Kartierung.

Wie ist die Bilanzierung des aktuellen und historischen Stoffhaushalts siedlungsbeeinflusster Böden möglich ?

Die Bilanzierung gestaltet sich aus mehreren Gründen als schwierig. Es ist messtechnisch nicht möglich, alle Input- und Output-Größen so zu erfassen, dass das aktuelle Prozessgeschehen qualitativ

und quantitativ abgebildet werden kann. Es konnte gezeigt werden, dass der aktuelle Input über ein Monitoring mit exponierten Kontrollböden erfolgen kann. Für die Erfassung des bodensickerwassergetragenen Output sei auf ein laufendes Forschungsvorhaben (KOCH, SAUERWEIN & FRÜHAUF 2004) bzw. eine Dissertationsschrift verwiesen (KOCH 2004). Zum historischen Stoffhaushalt lässt sich folgendes ableiten: Im Bereich von **archäologischen Grabungen** in der Kernstadt von Halle sind die **prä-urbanen** Böden nicht mehr nachweisbar. Die Erstellung „**chronologischer Profile**“ erlaubt es, Aussagen über mehrere Zeitabschnitte zu vergleichen. Der **Skelettgehalt** ist ein Indikator für anthropogen eingebrachte Fremdsubstrate. **Stoffkonzentrationen** sind nicht nur bzw. nur bedingt abhängig von der **Nutzungsintensität**. Der Zeitraum der Nutzung hat Einfluss auf die „Aufkonzentration“ besonders immobilier Stoffe (z.B. Blei, Phosphat) ebenso wie die Aufkonzentration durch singulär Ereignisse wie **Brände** oder **Planierungen**. **PAK** eignen sich sehr gut, um die „Belastungszeit“ städtischer Böden einzugrenzen. Es kann unterschieden werden zwischen prä-urban, vorindustriell-urban und industriell-urban beeinflussten Horizonten. **Blei** ist ein starker Indikator, um anthropogene Aktivitäten generell anzuzeigen. Besonders in Brand- und Planierschichten wurden sehr hohe Konzentrationen ermittelt. Die absoluten Gehalte weisen darauf hin, dass **Kupfer** verstärkt **bis zum 14./15. Jh.** immittiert wurde, **Zink** dagegen **ab dem 13./14. Jh.** Es gibt nicht nur zwischen archäologisch-historischen **Zeitabschnitten Unterschiede** in den Tiefenverteilungen, sondern auch **innerhalb einzelner Abschnitte**.

Wie könnte ein Szenario der künftigen Entwicklung und Veränderung des siedlungsbeeinflussten Bodenstoffhaushaltes im Stadtgebiet von Halle aussehen ?

Die Erstellung eines **einheitlichen Szenarios** zur perspektivischen Entwicklung der Bodenveränderung am Beispiel der Stadt Halle ist a priori **nicht möglich**, denn es wurde gezeigt, dass die Stadt durch unterschiedlich zu charakterisierende Teilräume aufgebaut ist. Deshalb ist es nur möglich, auf unterschiedlichen **Hierarchiestufen** perspektivische Entwicklungen aufzuzeigen. Als Hierarchiestufen eignen sich **Gesamtstadt, Stadtstrukturtyp, Einzelfläche und Einzelstandort**. Die Aussagen verlieren dabei mit zunehmender Hierarchisierung an Schärfe.

AUSBLICK

Welche Rahmenbedingungen lassen sich für ein kommunales Bodenschutzkonzept am Beispiel Halle formulieren ?

Allgemeine Bodenschutzkonzepte werden seit einigen Jahren diskutiert (z.B. BLUME 2000, ARL 2000, BACHMANN 1999, BAUMGARTEN et al. 1997, BERGER 1995). Diese beziehen sich im allgemeinen nicht explizit auf den urbanen Raum, auch wenn einige prinzipielle, insbesondere methodische Ansätze durchaus übertragbar sind (z.B. Leitbilder im Bodenschutz: BURGHARDT 2001, Pedotopschutz: BROLL & SCHRADER 2001). Urbaner Bodenschutz muss auch im städtischen Raum **schutzwürdige seltene Böden** (z.B. als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte) berücksichtigen (HIEROLD & BORK 1998, JANETZKON et al. 1998, SMETTAN & LITZ 1997).

Kommunale, urbane Bodenschutzkonzepte dürfen nicht isoliert stehen, sondern müssen in die **Stadtplanung** eingebettet sein. Dies macht es selbstverständlich schwierig, Bodenschutzkonzepte zu entwickeln bzw. vorzuschlagen, denn diese „Hoheit“ liegt bei den Stadtverwaltungen. Dennoch sollen einige prinzipielle **Rahmenbedingungen** für ein **Bodenschutzkonzept für die Stadt Halle** abgeleitet werden. Diese sind als „Planungshilfe“ für die Kommunalverwaltung, insbesondere Umwelt- und Stadtplanungsamt, zu verstehen.

Um eine **nachhaltige Entwicklung** im Lebensraum Stadt zu erreichen, muss angestrebt werden, eine Optimierung des „magischen Dreiecks“ aus Ökologie, Ökonomie und Sozialem zu erzielen (HABER 1999). Die einzelnen Ziele der drei Säulen lassen sich wie folgt formulieren: Die ökologischen Nachhaltigkeitsaspekte verlangen, dass die Funktionen der Natur erhalten und ihre begrenzte Belastbarkeit berücksichtigt werden müssen; die Absicht einer ökonomisch gelenkten Herangehensweise ist die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen zur Förderung eines möglichst guten Versorgungsniveaus; Soziale Gerechtigkeit, Sicherheit u.ä. sind die Zielsetzungen im Sinne gesellschaftlicher Verbesserung. Insgesamt muss hervorgehoben werden, dass ein Zusammenführen der drei Säulen die **Komplexität von Zielformulierungen** erhöht. Zu bedenken ist, dass die Verbesserung der städtischen Lebensbedingungen nicht an einem einzigen Indikator, wie z.B. dem wirtschaftlichen Zuwachs, festgemacht werden kann. Ohne eine stabile wirtschaftliche Lage lassen sich zwar weder Stadterneuerungs- noch „soziale“ Maßnahmen in geeigneter Weise finanzieren, andererseits lebt eine Stadt von

ihren Einwohnern und deren Zusammenleben. Die ökologische Komponente ist in Hinblick auf eine zu verwirklichende Nachhaltigkeit sicherlich stärker zu gewichten als das in der Vergangenheit der Fall gewesen ist.

Die Verfolgung des weit gefassten Ziels der **nachhaltigen Stadtentwicklung** erfordert ein ebenso breit angelegtes Konzept. Die Einzelteilgebiete Boden/Freiraum, Verkehr, Klima/Luft, Wasser, Abwasser, Abfall, Energie und Hochbau unterstehen vielfältigen direkten und indirekten Wechselwirkungen. Anschauliches Beispiel hierfür ist der Verkehr und hier insbesondere der PKW-Verkehr. Dieser verbraucht durch die benötigten versiegelten Flächen viel Boden und beeinträchtigt die Qualität von Wohngebieten.

Der Begriff „**Leitbild**“, im Sinne eines abstrakten Vorbilds für die Stadt als Ganzes, dessen Verwirklichung in der Praxis durch die Wahl entsprechender Grundsätze, Methoden oder Einzelziele angestrebt wird, ist erst seit einigen Jahrzehnten in die Stadtplanung eingezogen (FUCHS & SCHLEIFNECKER 2001, KÜHLING 2000, KÜHLING 1997, UBA 1993). Eingebettet in die Leitbilder im Sinne eines hierarchischen Zielsystems (KNAUER 1995) sind **Umweltziele** und **Umweltstandards** (VOGT & MEURER 2001, WICKOP et al. 1998, GUG 1997, FÜRST et al. 1992). Dabei wird bei den Diskussionen zu räumlichen und kommunalen Umweltqualitätszielen (KIESLICH & NEUMEYER 2001, EITNER 1996) deutlich, dass diese nur in einer ganzheitlichen Betrachtungsweise der ökologischen Siedlungsentwicklung umgesetzt werden können (KUNST 2002, KOCH 2001, SCHMITZ 2001, GATZWEILER 2000, SCHRECKENBERG 1999, WEILAND 1999).

Bodenschutzkonzepte haben hierbei aus **ökosystemarer Sicht** (HEINIG 1995) einen zentralen Stellenwert. Probleme bei der Umsetzung ergeben sich z.B. bei der **Leitbildentwicklung** (HÄRTLING & LEHNES 2000) oder der Bestimmung bzw. Wahl von **Indikatoren** (MÜLLER et al. 1999, LIBBE 1999). Dazu weisen REINIRKENS & VARTMANN 1995 auf stoff- und naturhaushaltliche Beziehungen in Böden als Instrument für den kommunalen Bodenschutz hin. Andere Ansätze werden von SAUER 2001 (Bodenschätzungsergebnisse als Datengrundlage im urbanen Raum) oder KÜHN 2002 (indirekte Regeln zur Ableitung von anthropogen bestimmten Bodenformengesellschaften) vorgestellt. Aus Sicht des Autors gibt es ableitend aus der Literaturkenntnis und der Literaturdiskussion einige **Rahmenbedingungen**, die bei der Formulierung eines **urbanen Bodenschutzkonzeptes** beachtet werden müssen. Grundlegende Überlegungen dazu sind in Abb. 151 dargestellt.

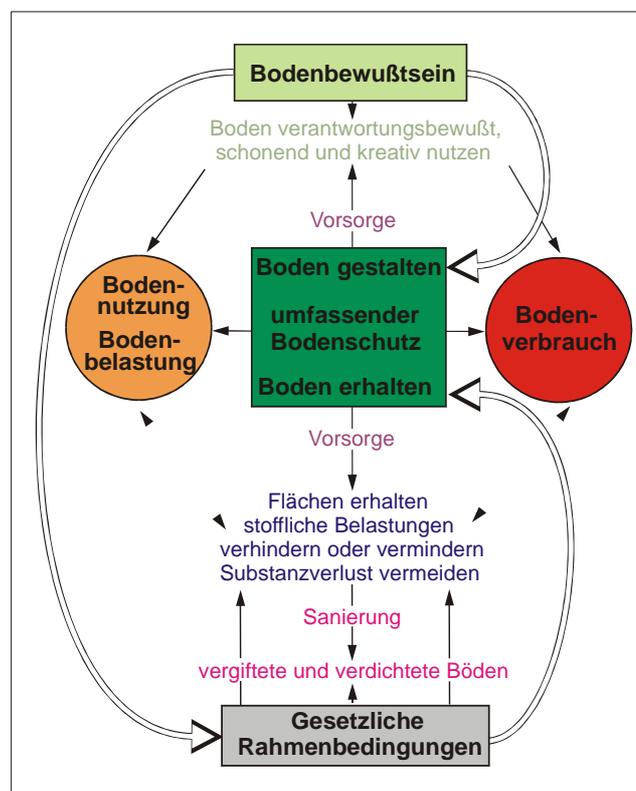


Abb. 151: Bodenschutz im Spannungsfeld von Bodenbelastungen, Bodenbewusstsein und gesetzlichen Rahmenbedingungen

Ein urbanes Bodenschutzkonzept muss außerdem einem **Stadtökologischen Leitbild** (welches für Halle noch zu formulieren ist) dahin gehend angepasst sein, dass **Bodenschutz als Umweltziel** manifestiert ist und **Bodenstandards als konkrete Zielvorstellungen** formuliert werden (ein Beispiel dazu ist bei SAUERWEIN 1998 vorgestellt). Dies kann in Form von Bodenqualitätszielen (wie z.B. RÜCK 1998) oder auch Bodenfunktionskarten (SCHMIED et al. 1997) operationalisiert werden. Die Bewertung der Schutzwürdigkeit von Böden kann letztlich nur über die **Bewertung von Bodenfunktionen** erfolgen (KNEIB 2001, HARTMANN et al. 1999). Die im BBODSCHG 1998 formulierten Funktionen bilden die Basis der Ableitung von Bodenqualitätsstandards. Dazu ist es lokal/kommunal zwingend notwendig, über ausreichende **Bodeninformationen** zu verfügen. Die bislang durchgeführten **Stoffhaushaltsuntersuchungen** und der Ansatz der Übertragbarkeit von **Urbanen Bodenlandschaften** sollten eine solche Informationsbasis sein. Über den Einsatz von Geographischen Informationssystemen ist es dann möglich, flächenhafte Informationen abzuleiten (Kübler 2002, LANGE 2001). Die derzeit erhobenen Daten sollten in ein **kommunales Umweltinformationssystem**, wie es in Abb. 152 dargestellt ist, eingespeist werden, um anwendungsbezogen weiter genutzt werden zu können.

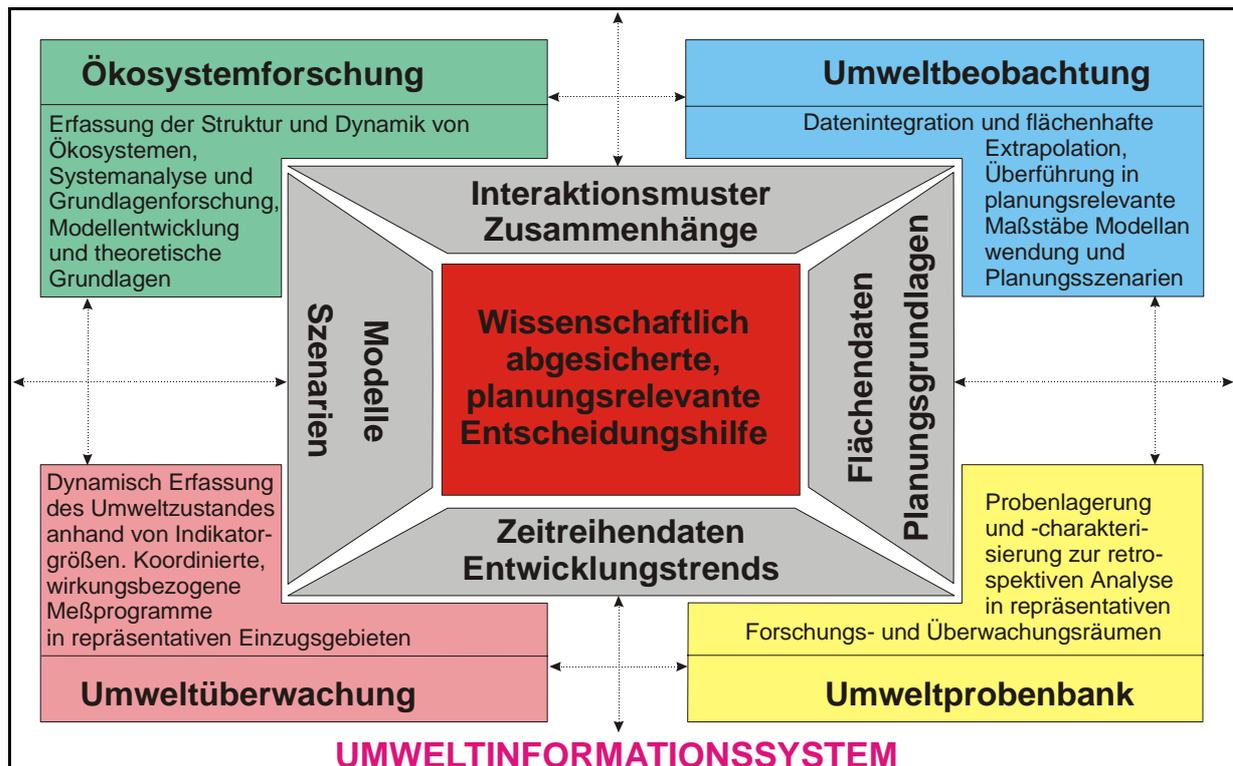


Abb. 152: Komponenten eines Umweltinformationssystems (in Anlehnung an MÜLLER 1998, verändert)

Literatur

- ADAM, K. 1988:** Stadtökologie in Stichworten. Hirt's Stichwortbücher, Unterägeri.
- AEY, W. & H.-P. BLUME 1991:** Genese und Ökologie alter und junger Stadtböden unter Gartennutzung. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 66, II, 759-762.
- AG METHODIK DER BIOTOPKARTIERUNG IM BESIEDELTEN BEREICH 1986:** Flächendeckende Biotopkartierung im besiedelten Bereich als Grundlage einer ökologisch bzw. am Naturschutz orientierten Planung. Grundprogramm für die Bestandsaufnahme und Gliederung des besiedelten Bereichs und dessen Randzonen. Natur und Landschaft 61, 371-389.
- AG METHODIK DER BIOTOPKARTIERUNG IM BESIEDELTEN BEREICH 1993:** Flächendeckende Biotopkartierung im besiedelten Bereich als Grundlage einer am Naturschutz orientierten Planung Programm für die Bestandsaufnahme, Gliederung und Bewertung des besiedelten Bereichs und dessen Randzonen. Überarbeitete Fassung 1993. Natur und Landschaft 68, 491-526.
- AK STADTBÖDEN (ARBEITSKREIS STADTBÖDEN DER DT. BODENK. GES.) 1989:** Kartierung von Stadtböden. UBA-Texte 18/89. Berlin.
- AK STADTBÖDEN (ARBEITSKREIS STADTBÖDEN DER DT. BODENK. GES.) 1996:** Urbaner Bodenschutz. Berlin.
- ARL (AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG) 2000:** Verkehr in Stadt und Region. Leitbilder, Konzepte und Instrumente. Forschungs- und Sitzungsberichte, 211. BibGeogr. Z79: 211b
- ALBRECHT, K., GRUNEWALD, K. & S. HALBFAß 2002:** Untersuchung von Phosphoreinträgen aus Siedlungsgebieten in Oberflächengewässer. Geoöko, 23, 269-277. Bensheim.
- ALLOWAY, B.J. (ED.) 1999:** Schwermetalle in Böden. Berlin u.a. BibGeogr. 99-20
- ALTERMANN M. & G. MACHULLA 1996:** Konzeptbodenkarte der Stadt Halle. Unveröff.
- ALTERMANN, M. & D. KÜHN 1995:** Vorschlag zur Substratsystematik. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 78, 193-204.
- ALTERMANN, M., MACHULLA, G. & W.-D. KNEIB 1997:** Bodeninventur in Halle. Schriftenr. Inst. Pflanzenernähr. Bodenk., 38, 228-260. Univ. Kiel.
- ALTFELDER, S., BEYER, C., DUIJNISVELD, W.H.M. ET AL. 2002:** Distribution of Cd in the vicinity of a metal smelter: Interpolation of soil Cd concentrations with regard to regulative limits. J. Plant Nutr. Soil Sci., 165, 697-705.
- AMMON, I. 1982:** Beiträge zu stadtökologischen Fragen von Halle/Halle-Neustadt. Diss. Univ. Halle.
- ARNDT, E. & H. PELLMANN 1996:** Ökologische Charakterisierung von Biotopen im urbanen Raum am Beispiel von Modelltiergruppen. UFZ-Ber. 6/1996. Leipzig.
- ATCHIA, M. & S. TROPP (ED.) 1995:** Environmental Management: Issues and Solutions. Wiley/Chichester. Bib.Geog. 95-157.
- BACCINI, P. & H.-P. BADER 1996:** Regionaler Stoffhaushalt. Heidelberg u.a.
- BACCINI, P. & P.H. BRUNNER 1991:** Metabolism of the Anthroposphere. Berlin u.a.
- BACHMANN, G. 1999:** Zukunftsfelder im Bodenschutz. Marktredwitzer Bodenschutztag „Bodenschutz und Atlas-
tensanierung“, 199-203.
- BÄDJER, N. 2000:** Zum Einfluss der Porositätsmerkmale von Stadt- und Industrieböden auf die Stoffkonzentration von Sickerwasser: dargestellt am Beispiel von bauschutt-, aschen-, schlacken- und schlammhaltigen Böden. Diss. Essener ökolog. Schr., 14.
- BAHRENBERG, G., GIESE, E. & NIPPER, E. 1992:** Statistische Methoden in der Geographie 2 - Multivariate Statistik. Teubner, Stuttgart.
- BAILEY, G., CHARLES, R. & N. WINDER (ED.) 2000:** Human Ecodynamics. Proceedings of the 1998 Conference of the Association for Environmental Archaeology. Newcastle upon Tyne/Oxford/Oxbow.
- BAILEY, G.N., ADAM, E., PERLES, C. ET AL. (ED.) 1999:** The Palaeolithic Archaeology of Greece and Adjacent Areas: Proceedings of the First International Conference on the Palaeolithic Archaeology of Greece and Adjacent Areas. London.
- BAILLY, F. & R. NIEDER 2002:** FAO/Unesco, Bodenkarte der Welt. Handbuch Bodenk., Kap. 3.2.7.
- BARDINET, C. (ED.) 1997:** Geosciences and water resources: environmental data modeling. Berlin u.a.
- BARSCH H., BILLWITZ K. & H.-R. BORK (ED.) 2000:** Arbeitsmethoden in Physiogeographie und Geoökologie. Gotha/Stuttgart. BibGeogr. 00-536
- BARTELME, N. 2000:** Geoinformatik: Modelle, Strukturen, Funktionen. Berlin u.a.

- BARTSCH, H.-U., KUES, J., SBRESNY, J. & J. SCHNEIDER 1999:** Fachinformationssystem Boden – Baustein eines kommunalen Umweltinformationssystems. In: Asch, K. (Ed.): GIS in Geowissenschaften und Umwelt. Berlin u.a.
- BASIAGO, A.D. 1998:** Economic, social, and environmental sustainability in development theory and urban planning practice. *The Environmentalist*, 19 (2), 145-161.
- BASTIAN, O. & K.-F. SCHREIBER 1999:** Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Heidelberg/Berlin.
- BAUER, B. 1999:** Mikrometeorologische Analyse und Bewertung kleinräumiger Stadtstrukturen. Diss. Univ. Göttingen. UFZ-Bericht 3/1999. Selbst
- BAUER, T. 2001:** Analyse urbaner Strukturen in hochauflösenden Fernerkundungsdaten. Diss. TU Wien.
- BAUMGARTEN, H., FEYK, M., HORNIG, G. ET AL. 1997:** Stadtbodenkartierung Krefeld - Praxisnahe Bewertung von Bodenfunktionen in einem urban-industriell geprägten Raum. *Mitt. der Dt. Bodenk. Ges.*, 85, 1095-1098.
- BAUSKE, B. 1994:** Einfluss von Salzlösungen unterschiedlicher Zusammensetzung auf die Mobilität von Schwermetallen in Straßenrandböden und im Laborauslaugungsversuch. Diss. Hamburger Bodenkundl. Arb., Bd. 24.
- BBODSCHG (BUNDES-BODENSCHUTZGESETZ) 1998:** Gesetz zum Schutz des Bodens. Beschluss vom 05.02.1998.
- BECHMANN, W., BLUMENSTEIN, O., BUKOWSKY, H. ET AL. 1997:** Neue Cocktails nur mit bewährten Rezepten? Beiträge zur Aufklärung hemerober Geosysteme. *Stoffdynamik in Geosystemen*, 2. Univ. Potsdam.
- BEICHERT, J., HAHN, H.H. & S. FUCHS (ED.) 1996:** Stoffaustrag aus Kanalisationen. *Hydrologie bebauter Gebiete*. Weinheim.
- BERGER, A.R. & W.J. IAMS (ED.) 1996:** Geoinicators. Assessing rapid environmental changes in earth systems. Rotterdam/Brookfield. *Bib.Geog.* 97/862
- BERGER, C. 1995:** Planungsrelevante Bodenbewertungskriterien: Anforderungen und Möglichkeiten. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 76, 1257-1260.
- BERGFELDT, B. 1994:** Lösungs- und Transportprozesse in der ungesättigten Bodenwasserzone und Auswirkungen auf das Grundwasser. Diss. *Karlsruher Geochem. H.*, 4. *Geolog. Um 5/Ber*
- BERGKAMP, G.J.J. 1996:** Mediterranean geocosystems: hierarchical organisation and degradation. Diss. Univ. Amsterdam.
- BERKTHOLD, P., SCHMID, J. & C. WACKER (ED.) 1996:** Akarnanien. Eine Landschaft im antiken Griechenland. Würzburg.
- BEYER, L., KAHLE, P., KRETSCHMER, H. & Q. WU 2001:** Soil organic matter composition of man-impacted urban sites in North Germany. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 164, 359-364.
- BICK, H. 1998:** Grundzüge der Ökologie. Stuttgart u.a.
- BILLWITZ, K. & J. BREUSTE 1980:** Anthropogene Bodenveränderungen im Stadtgebiet von Halle/Saale. *Wiss. Z. Univ. Halle XXXIX '80 M*, 4, 25-43.
- BINTLIFF, J. 1994:** Forest cover, agricultural intensity and population density in the Roman imperial Boeotia. Central Greece. In: Frenzel, B. (Ed.): *Evaluation of land surfaces cleared from forests in the Mediterranean region during the time of the Roman empire*. 133-143. Stuttgart u.a.
- BINTLIFF, J. 1996:** The Role of Science in Archaeological Regional Surface Artefact Survey. In: Dirksen, D. & G. von Balley (Ed.): *Optical Technologies in the Humanities*. OWLS IV, 9-28. Berlin.
- BLASCHKE, K. 2001:** Stadtgrundriss und Stadtentwicklung: Forschungen zur Entstehung mitteleuropäischer Städte. Böhlau, Köln u.a.
- BLIEFERT, C. 1995:** Umweltchemie. Weinheim.
- BLUM, P. 1991:** Stadtstruktureinheiten als räumliches Bezugssystem für die städtische Umweltplanung. Eine Untersuchung zur Erhebung und Bewertung umweltbezogener Daten - dargestellt am Beispiel München-Moosbach. Unveröff. Diplomarb. TU München-Weihenstephan.
- BLUME, H.-P. & H. SUKOPP 1976:** Ökologische Bedeutung anthropogener Bodenveränderungen. *Schriftenr. Vegetationskunde*, 10, 75-89.
- BLUME, H.-P. & SCHLEUSS, U. 1999:** Grundlagen zur Bewertung von Böden anthropogener Substrate an ausgewählten Parametern. *Bodenschutz*, 1/99, 12-14.
- BLUME, H.-P. & U. SCHLEUSS (ED.) 1997:** Bewertung anthropogener Stadtböden. Univ. Kiel. *Schr.r. Inst. Pflanzenähr. Bodenkd.*, 38.

- BLUME, H.-P. 1982:** Böden des Verdichtungsraumes Berlin. Mit. Dt. Bodenk. Ges., 33, 269-280.
- BLUME, H.-P. 1992:** Handbuch DES Bodenschutzes. Landsberg.
- BLUME, H.-P. 1997:** Böden städtisch-industrieller Verdichtungsräume. Handbuch Bodenk., Kap. 3.4.4.9.
- BLUME, H.-P. 1997A:** Reduktosole - eine neue Klasse der deutschen Bodensystematik. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 85, 1103-1106.
- BLUME, H.-P. 1998:** Böden. In: Sukopp, H. & R. Wittig (Ed.): Stadtökologie. 168-185. Stuttgart u.a.
- BLUME, H.-P. 2000:** Ökologische Bewertung städtischer Pedotope. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 93, 11-14.
- BLUMENSTEIN, O., SCHACHTZABEL, H., BARSCH, H. ET AL. 2000:** Grundlagen der Geoökologie. Erscheinungen und Prozesse in unserer Umwelt. Berlin u.a.
- BÖHLING, N. 1995:** Zur pedoökologischen Indikatorfunktion der Vegetation des Stadtwaldes von Hannover. Karlsruher Ber. z. Geographie u. Geoökologie, 7.
- BÖHM, P. & G. GEROLD 1995:** Historische und aktuelle Bodenerosion in Anatolien. Geograph. Rundschau, 47, 12, 720-725.
- BONGARD, B. & W.D. KNEIB 1995:** Inventarisierung von technogenen Substraten und Charakterisierung technisch hergestellter Böden. UBA-Texte 54/95. Berlin. Selbst
- BORK, H.-R, BORK, H., DALCHOW, C. ET AL. 1998:** Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Gotha/Stuttgart.
- BÖTTCHER, J. 1998:** Anforderungen an die Beprobung im Hinblick auf die statistische Analyse räumlich variabler Stoffgehalte in Böden. Mitt. Dt. Bodenk. Ges. 88, 401-404. Kopie selbst
- BRAKE, K. (ED.) 1996:** Sustainable urban development: Ausgangsüberlegungen zur Theorie einer nachhaltigen Stadtentwicklung. Oldenburg.
- BRANDT, C.J. & J.B. THORNES (ED.) 1996:** Mediterranean desertification and land use. Chichester u.a.
- BRENDEL, K. & D. FANTASNY 1982:** Zur Problematik der Überbauung von Auffüllungen und Braunkohletiefbaufeldern am Beispiel der Paulusviertels in Halle. Z. geol. Wiss. Berlin 10 (1982), 9, 1187-1198. Kopie
- BREUER, T. & C. GLÄBER (HG.) 1997:** Fernerkundung in urbanen Räumen. Regensburger Geogr. Schriften, 28.
- BREUSTE, I. 1990:** Untersuchungen zur Erholungsfunktion von Grünflächen der Städte Halle und Halle-Neustadt unter besonderer Berücksichtigung selbständiger öffentlicher Grünflächen und Kleingartenanlagen. Diss. Univ. Halle.
- BREUSTE, I. & J. BREUSTE 2000:** Naturlausstattung, -nutzung und -akzeptanz als Grundlagen des Stadtnaturschutzes – empirische Untersuchungen in Halle/Saale. Hallesches Jahrb. Geowiss., R. A, 22, 81-94.
- BREUSTE, J. 1979:** Anthropogene Bodenveränderungen im Stadtgebiet von Halle und Halle-Neustadt. Dipl.-Arb. Univ. Halle.
- BREUSTE, J. 1987:** Methodische Aspekte und Problemlösungen bei der Erfassung der urbanen Landschaftsstruktur und ihrer ökologischen und landeskulturellen Bewertung unter Berücksichtigung von Untersuchungen in Halle/Saale. Diss. B, Univ. Halle.
- BREUSTE, J. 1989:** Landschaftsökologische Struktur und Bewertung von Stadtgebieten. Mitt. Geogr. Ges. DDR, 131 (2/1989), 105-116.
- BREUSTE, J. (ED.) 1996:** Stadtökologie und Stadtentwicklung: Das Beispiel Leipzig. Berlin.
- BREUSTE, J. (ED.) 1999:** 3. Leipziger Symposium Stadtökologie „Stadtnatur - quo vadis“ – Natur zwischen Nutzen und Kosten. UFZ-Ber., 10/1999. Leipzig.
- BREUSTE, J. 2001:** Stadtlandschaft – ökologische Aspekte ihrer Entwicklung. Ber. dt. Landesk., 75, 2/3, 283-292. Kopie
- BREUSTE, J. 2003:** Grundlagen der Modellierung der urbanen Landschaftsstruktur – Anwendungen von Methoden der Landschaftsökologie in der stadtökologischen Analyse. Bochumer Geogr. Arb., Sonderh. 14, 1-14.
- BREUSTE, J. & M. WÄCHTER (ED.) 1999:** Konzepte zur umwelt- und sozialverträglichen Entwicklung von Stadtregionen auf der Basis von urbanen Raumstrukturen und deren ökologischer, umweltepidemologischer und sozialer Indikation. UFZ-Ber., 34/1999. Leipzig.
- BREUSTE, J., WÄCHTER, M. & B. BAUER (ED.) 2001:** Beiträge zur umwelt- und sozialverträglichen Entwicklung von Stadtregionen. CD-ROM. UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig.
- BROLL, G. & S. SCHRADER 2001:** Pedotopschutz im urbanen Raum. Zusammenfassung einer Diskussion. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 95, 131-132.

- BROWN, A.G. 1997:** Alluvial geoarchaeology: floodplain archaeology and environmental change. Cambridge University Press. Bib.-Geogr. 97-457
- BRÜCKNER, H. 1996:** Geoarchäologie an der türkischen Ägäisküste. Geogr. Rundschau, 48, 568-574.
- BRÜCKNER, H. 1997:** Geoarchäologische Forschungen in der Westtürkei - das Beispiel Ephesos. Passauer Schr. Geogr., 15, 39-51.
- BRÜCKNER, H. & A. VÖTT 2002:** Paläogeographische Untersuchungen zur Landschaftsentwicklung Akarnaniens (Nordwest-Griechenland) in den letzten 10.000 Jahren. DFG-Projekt. Antags-Manuskript.
- BRÜMMER G.W. & S. THIELE 1997:** Gefäßversuche zum mikrobiellen Abbau von PAK (polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen) in belasteten Böden. Mater. Altlastensanierung Bodenschutz, 4. LUA NRW, Essen.
- BRÜMMER, G.W., HORNBERG, V. & D.A. HILLER 1991:** Schwermetallbelastung von Böden. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 63, 31-42.
- BRUNOTTE, E., IMMENDORF, R. & R. SCHLIMM 1994:** Die Naturlandschaft und ihre Umgestaltung durch den Menschen. Erläuterungen zur Hochschulexkursionskarte Köln und Umgebung. Kölner Geogr. Arb., 63.
- BRUNS, I., SUTTER, K., FRIESE, K. ET AL. 2000:** Moose als Indikatoren ökosystemarer Schadstoffbelastungen. UFZ-Ber., 35/2000. Leipzig.
- BUKOWSKI 2003**
- BULLOCK, P., JONES, R.J.A. & L. MONTANARELLA (Ed.) 1999:** Soil resources of Europe. European soil bureau research report, 6. Ispra.
- BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (BBodSchV) 1999:** Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Vom 12.07.1999. BGBl. I 1999, S. 1554.
- BUNDESVERBAND BODEN (Ed.) 1999:** Regenwasserversickerung und Bodenschutz. BVB-Materialien, 2. Berlin. BibGeogr. 99-570
- BUNDESVERBAND BODEN (Ed.) 2000:** Böden und Schadstoffe. BVB-Materialien, 4. Berlin.
- BÜNING, H. & G. TRENKLER 1994:** Nichtparametrische statistische Methoden. Berlin.
- BURGHARDT, W. 1994:** Soils in urban and industrial environments. Ztschr. Pflanzenernähr. Bodenk., 157, 205-214.
- BURGHARDT, W. 1995:** Zur Gliederung von Stadtböden und ihrer Substrate. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 76, 97-1000.
- BURGHARDT, W. 1996:** Boden und Böden in der Stadt. In: Arbeitskreis Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (Hrsg.): Urbaner Bodenschutz. 7-21. Springer, Berlin u.a.
- BURGHARDT, W. 1997:** Skelettgehalte von Böden aus technogenen Substraten. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 85, III, 1115-1118.
- BURGHARDT, W. 1997A:** Kennzeichnung von Böden durch Grobbodengehalte hinsichtlich potentieller Schadstoffgehalte aus Immissionen. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 84, 127-130.
- BURGHARDT, W. 1999:** Städtische Pedotope und ihre Funktionalisierung. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 91, II, 154-157.
- BURGHARDT, W. 2001:** Funktionserfüllung und Leitbilder im Bodenschutz der Stadt. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 95, 154-157.
- BURGHARDT, W. 2002:** Diskussionspapier bisher bekannter Stadtböden. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 99, 3-4.
- BURGHARDT, W., BERTHOLD-KRAICZY, A., KRAICZY, N. ET AL. 1997:** Räumliche Verteilung der Muster der Substratzusammensetzung einer durch Aufschüttungen geprägten innerstädtischen Freifläche. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 84, 131-134.
- CLEMENS, G., BARTEL, L., LEHLE, M. ET AL. 1997:** Fachinformationssystem Bodenschutz - Modul Bodenbewertungssystem (BoBeS). Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 85, 1119-1122.
- COBURGER, E. & H. KRETSCHMER 1997:** Die Konzeptbodenkarte für das Stadtgebiet Rostock. Mitt. Dt. Bodenk. Ges. 84, 135-138.
- CORDESEN, E. 1993:** Böden technogener und nichttechnogener, umgelagerter Substrate Kiels. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 70, 257-274.
- COSTANZA, R. 2000:** Social Goals and the Valuation of Ecosystem Services. Ecosystems (2000), 3, 4-10.
- CRAUL, P. 1999:** Urban Soils. Chicago
- DAAB, K. 1994:** Auswahl von Verknüpfungsregeln zur Informationsverdichtung in UVP-Gutachten. UVP-Report, 3, 167-170.

- DARMER, G. & K. MÖLLER 1994:** Bodenkzeptkarte Lutherstadt Wittenberg – Beilage/Karte zum Umweltatlas. Im Auftrag der Stadtverwaltung. Unveröff.
- DASCHKEIT, A. 1998:** Umweltforschung quergedacht: Perspektiven integrativer Umweltforschung und –lehre. Berlin u.a.
- DÄUMLING, TH. 1997:** Melioration von Standorten im urbanen "öffentlichen Grün" - Auswirkungen von Kalkungs- und Düngungsmaßnahmen auf den Nährstoffhaushalt. Diss. Hamburger Bodenk. Arb., 33. Bib.Geogr. 99-417
- DBG (DEUTSCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT/ARBEITSKREIS URABNE BÖDEN) 1997:** Empfehlungen des Arbeitskreises Stadtböden der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft für die bodenkundliche Kartierungsanleitung urban, gewerblich und industriell überformter Flächen (Stadtböden). Teil 1: Feldführer. Kiel.
- DIN 19684 1977:** Chemische Laboruntersuchungen. Fachnormenausschuß Wasserwesen im Deutschen Institut für Normung e.V.
- DIN 19730 1998:** Ammoniumnitrateextraktion zur Bestimmung mobiler Spurenelemente in Mineralböden. Normenausschuß Wasserwesen im Deutschen Institut für Normung e.V.
- DIN 38414 1984:** Schlamm und Sedimente. Normenausschuß Wasserwesen im Deutschen Institut für Normung e.V.
- DOHLEN, M. & T. SCHMITT 2003:** Konzept stoffhaushaltlicher Bilanzen in urbanen Ökosystemen dargestellt am Beispiel von Wäldern in Bochum. Bochumer Geogr. Arb., Sonderh. 14, 21-27.
- DOHMANN, M. (ED.) 1999:** Wassergefährdung durch undichte Kanäle: Erfassung und Bewertung. Berlin u.a.
- DÖHRING, U. & B. MARSCHNER 1996:** Einfluss der Lösungsbedingungen auf die Mobilität organischer Schadstoffe in Böden. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 80, 97-100.
- DÜES, G. 1987:** Untersuchungen zu den Bindungsformen und ökologisch wirksamen Fraktionen ausgewählter toxischer Schwermetalle in ihrer Tiefenverteilung in Hamburger Böden. Diss. Hamburger Bodenk. Arb., 9.
- DUHME, F. & S. PAULEIT, S. 1992:** Strukturtypenkartierung als Instrument der räumlich-integrativen Analyse und Bewertung der Umweltbedingungen in München. Teil 1: Ziele und Methodik, Freising
- DUHME, F. & S. PAULEIT 1994:** Strukturtypenkartierung als Instrument der räumlich-integrativen Analyse und Bewertung der Umweltbedingungen in München. Teil 2: Erprobung der Strukturtypenkartierung in einem Testgebiet, Freising
- DÜTEMEYER, D. 2000:** Urban-orographische Bodenwindssysteme in der städtischen Peripherie Kölns. Essener ökolog. Schr., 12.
- DUTTMANN, R. & T. MOSIMANN 1994:** Die ökologische Bewertung und dynamische Modellierung von Teilfunktionen und -prozessen des Landschaftshaushaltes - Anwendungen und Perspektiven eines geoökologischen Informationssystems in der Praxis. Petermanns Geograph. Mitt., 138, 3-17.
- DUVIGNEAUD, P. 1974:** L'écosystème urbs. Mémoires Soc. Royale Bot. Belgique. Mémoire 6.
- ECHTINGER, H. 1998:** Die Konsequenzen anthropogen gesteuerter Prozesse auf die Landschaftsökologie der Insel Thasos – Nordgriechenland. Salzburger Geogr. Arb., 33, 95-245.
- EFFLAND, W.R. & R.V. POUYAT 1997:** The genesis, classification, and mapping of soils in urban areas. Urban Ecosystems, 1 (4), 217-228.
- EGLI, M., BURRI, A. & P. FITZE 1997:** Aktuelle und vergangene Stoffflüsse im anthropogen beeinflussten Waldökosystem "Möhlin". Zürich. Bib.Geogr. 97-663
- EISWIRTH, M. 1995:** Charakterisierung und Simulation des Schadstofftransports aus Abwasserkanälen und Mülldeponien. Diss. Schriftenreihe angew. Geol. Karlsruhe, 38.
- EITEL, B. 2001:** Bodengeographie. Braunschweig.
- EITNER, K. 1996:** Ein kommunales Umweltqualitätszielkonzept für die Stadt Halle (Saale). Dipl.-Arb. Inst. Geogr. Univ. Halle.
- ENDLICHER, W. & E. KULKE 2002:** Die Großstadt als natürliches und gesellschaftliches System. Humboldt-Spektrum 2-3/2002, 6-12. Humboldt-Univ. Berlin
- ERMER, K., HOFF, R. & R. MOHRMANN 1996:** Landschaftsplanung in der Stadt. Stuttgart.
- EUSTERBROCK, L. 1999:** Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und polychlorierte Biphenyle (PCB) in urbanen Böden Bayreuths. Bayreuther bodenk. Ber., 66.
- FAHRMEIR, L. 1999:** Statistik: der Weg zur Datenanalyse. Berlin u.a..

- FAUST, D. 1995:** Erkenntnisse zur holozänen Landschaftsentwicklung in der Campina Niederandalusiens. *Geoökodynamik*, 16, 153-171.
- FELLENBERG G. 1994:** Boden in Not: vergiftet, verdichtet, verbraucht. Eine Lebensgrundlage wird zerstört. *Stuttgart. BibGeogr.* 94-269
- FELLENBERG, G. 1999:** Umweltbelastungen: eine Einführung. Stuttgart.
- FELS, E. 1951/52:** Die ätolisch-akarnanischen Seen in Griechenland. *Die Erde*, 3-4, 304-318. Berlin.
- FETZER, K.D. 2002:** Durch Aufbringen und Einbringen von Materialien hergestellte Böden. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 99, 7-8.
- FIEDLER, H.J. 2001:** Böden und Bodenfunktionen in Ökosystemen, Landschaften und Ballungsgebieten. *Renningen-Malmsheim.*
- FILIPINSKI, M. & M. GRUPE 1990:** Verteilungsmuster lithogener, pedogener und anthropogener Schwermetalle in Böden. *Ztschr. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 153, 69-73.
- FILIPINSKI, M., PLUQUET, E. & H. KUNTZE 1987:** Löslichkeit anthropogen, pedogen und geogen angereicherter Schwermetalle. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.*, 55/1, 307-311.
- FILIUS, A & I. WILLENBOCKEL 1995:** Beurteilung der Umweltrelevanz luftpfadgebundener Schadstoffeinträge in Böden. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 76, 249-252.
- FINKE, L. 1996:** Landschaftsökologie. Braunschweig.
- FLEISCHMANN, S. & B.-M. WILKE 1991:** PAKs in Straßenrandböden. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 63, 99-102.
- FLIEGNER, M. & P. REINIRKENS 1993:** Vorliegende Referenzwerte für PAK in Böden Nordrhein-Westfalens. *Univ. Bochum.*
- FORESMAN, T.W., PICKETT, S.T.A. & W.C. ZIPPERER 1997:** Methods for spatial and temporal land use and land cover assessment for urban ecosystems and application in the greater Baltimore-Chesapeake region. *Urban Ecosystems*, 1 (4). 201-216.
- FORNACON, C. (2002):** Geoökologische Stadtstrukturtypenkartierung von Halle (Saale). *Univ. Halle Inst. f. Geogr.* (Unveröff.)
- FRAHM, J.-P. 1998:** Moose als Bioindikatoren. *Quelle & Meyer, Wiesbaden.*
- FRANZIUS, V. & G. BACHMANN (ED.) 1996:** Sanierung kontaminierter Standorte und Bodenschutz 1996. Berlin.
- FRÄNZLE, O. (ED.) 1986:** Geoökologische Umweltbewertung. Wissenschaftstheoretische und methodische Beiträge zur Analyse und Planung. *Kieler Geogr. Schr.*, 64.
- FRÄNZLE, O., JENSEN-HUSS, K., DASCHKEIT, A. ET AL. 1993:** Grundlagen zur Bewertung der Belastung und Belastbarkeit von Böden als Teilen von Ökosystemen. *UBA-Texte 59/93.* Berlin.
- FREDE, H.-G. & M. BACH 1999:** Landschaftsstoffhaushalt. *Handbuch Bodenk.*, Kap. 4.4.2.
- FRENZEL, B. & C. SERVATIUS (ED.) 1995:** Regionaler Naturhaushalt: Bewertung und Nutzungspotential. *Ökosystemanalyse u. Umweltforsch.*, 2. Stuttgart u.a. selbst
- FREYER, K., POPP, P., TREUTLER, H.C. ET AL. 1996:** Untersuchungen zu Wechselbeziehungen zwischen Immissionen und Flächennutzung auf strukturtypischen Testflächen in Leipzig. *UFZ-Ber.*, 10/1996. Leipzig.
- FRICKE, A. 1994:** Untersuchungen zum Gehalt an Schwermetallen und organischen Schadstoffen in Böden und Pflanzen in Kleingartenanlagen der Stadt Magdeburg. *Wasser & Boden*, 9/1994, 56-60.
- FRIEDRICHS, J. & K. HOLLAENDER (ED.) 1999:** Stadtökologische Forschung: Theorie und Anwendungen. *Stadtökologie*, 6. *BibGeogr.* 00-273
- FRIEGE, H. ENGELHARDT, C. & HENSELING, K.O. (ED.) 1998:** Das Management von Stoffströmen: geteilte Verantwortung – Nutzen für alle. Berlin u.a. *Bibgeo* 98-700
- FRÖHLICH, S. (ED.) 1998:** Gefährdet – geborgen – gerettet – Archäologische Ausgrabungen in Sachsen-Anhalt von 1991 bis 1997. *Landesmuseum für Vorgeschichte, Halle.* Selbst
- FROMM, O. & R. BRÜGGEMANN 1999:** Ökonomische Ansätze zur Ökosystembewertung am Beispiel des Bodens. Teil I: Der Boden aus ökologischer, ökonomischer und ökologisch-ökonomischer Sicht. *Z. Umweltchem. Ökotox.*, 11 (2), 119-124. Zitiert Geyler
- FROTSCHER, W. 1990:** Verfahren der Luftbildinterpretation zur Unterstützung urbanökologischer Untersuchungen in der Stadtregion Halle. *Diss. Uni Halle.*
- FRÜHAUF, M. 1975:** Die Dynamik des landeskulturellen Zustandes beim Bau von Halle-Neustadt. *Dipl.-Arbeit, Univ. Halle.* Unveröff.

- FRÜHAUF, M. 1992:** Zur Problematik und Methodik der getrennten Erfassung geogener und anthropogener Schwermetallgehalte in Böden. *Geoökodynamik*, 13, 97-120. Bensheim.
- FRÜHAUF, M. 1995:** Karten der Bodenqualität (nach Bodenwertzahlen) und der Bodensubstrate von Freiflächen des halleschen Stadtgebietes. Unveröff.
- FRÜHAUF, M., DIABY, K., SAUERWEIN, M. & M. ZIERDT 1996:** Geoökologische Charakterisierung Hallescher Kleingärten. *UFZ-Ber.* 8/1996, 7-154. Leipzig
- FUCHS, O. & T. SCHLEIFNECKER 2001:** Handbuch ökologische Siedlungsentwicklung: Konzepte zur Realisierung zukunftsfähiger Bauweisen. *Initiativen Umweltschutz*, 32. Berlin.
- FUNKE, P. 2001:** Acheloos´ Homeland. *New Historical-Archaeological Research on the Ancient Polis Stratos. Monographs of the Danish Institute at Athens*, Vol. 3, 189-203.
- FUNKE, P. ET AL. 2000:** Historische Landeskunde und Siedlungsgeschichte Akarnaniens mit dem Schwerpunkt in der Stratike, dem Siedlungsraum im Bereich der antiken Polis Stratos unter Einschluss der angrenzenden Gebiete. *DFG-Abschlußbericht*. Unveröff.
- FÜRST, D. & H. KIEMSTEDT, GUSTEDT, E., RATZBOR, G. & F. SCHOLLES 1992:** Umweltqualitätsziele für die ökologische Planung. *UBA-Texte 34/92*. Berlin.
- GÄLZER, R. 2001:** Grünplanung für Städte: Planung, Entwurf, Bau und Erhaltung. Stuttgart.
- GATZWEILER, H.-P. 2000:** Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung. *Praxis Geogr.*, 11/2000, 4-8.
- GEHRT, E. 1993:** Ein Vorschlag zur Erstellung von Konzeptbodenkarten. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 72, 903-906.
- GEILER, H., ASCHENBRENNER, F., DENGEL, H.S. ET AL. 1997:** Räumliche Variabilität und Verteilung von Schwermetallen in den Böden einer 1 km² großen Modellfläche im Siegerland. *Ztschr. Pflanzenern. Bodenk.*, 160, 603-612.
- GERLACH, R. & R. IMMENDORF (1998):** Kulturschutt – „Altlasten“ aus historischer Zeit? *Geospektrum* 2/98, 21-25.
- GESELLSCHAFT FÜR UMWELTGEOWISSENSCHAFTEN (ED.) 1999:** Ressourcen-Umwelt-Management: Wasser, Boden, Sedimente. Berlin.
- GIESSNER, K. 1995:** Das morphodynamische System des Mittelmeerraums. *Geoökodynamik*, 16, 2, 105-108.
- GILBERT, O.L. 1994:** Städtische Ökosysteme. *Radebeul. Frühauf* 94-619
- GISI, U. 1997:** Bodenökologie. Stuttgart u.a.
- GLSA GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT 1995:** Geologische Karte Halle und Umgebung 1:50.000. Halle.
- GLSA GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT 1997:** Bodenkarte Halle und Umgebung 1:50.000. Halle.
- GLSA GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT 1999:** Bodenatlas Sachsen-Anhalt. Halle.
- GNAUCK, A. (ED.) 1999:** Gewässermodellierung. *BTUC-AR 6/99*. Cottbus.
- GNAUCK, A., FRISCHMUTH, A. & A. KRAFT 1995:** Ökosysteme: Modellierung und Simulation. *AC-BTU Cottbus.BIB. Geog.* 95-468
- GRENIUS, R. 1993:** Konzeptbodenkarten für den städtischen Raum. *Ztschr. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 156, 209-212.
- GROHÉ, T. & F. RANFT (ED.) 1988:** Ökologie und Stadterneuerung: Anforderungen, Handlungsmöglichkeiten und praktische Erfahrungen. Köln.
- GROHÉ, T. & R. TIGGEMANN 1985:** Ökologische Planung und Stadterneuerung. *Geogr. Rundschau*, 37, 5, 234-240.
- GRÖNGRÖFT, A., HOCHFELD, B. & G. MIEHLICH 2000:** Funktionale Bewertung von Böden bei großmaßstäbigen Planungsprozessen: Konzept und offene Fragen eines für die Stadt Hamburg entwickelten Verfahrens. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 93, 15-18.
- GRÜGER, E. 2002.** Pollen analysis of soil samples from the A.D. 79 level. Boscoreale, Oplontis, and Pompeii.- In: Jashemski, W. F. & Meyer, F.G. (Ed.): *The Natural History of Pompeii*, 189-216, Cambridge University Press.
- GUG (GESELLSCHAFT FÜR UMWELTGEOWISSENSCHAFTEN) (ED.) 1997:** Umweltqualitätsziele: Schritte zur Umsetzung. *Geowiss. Umwelt*, 1. Berlin. *Bib. Geog.* 97/336
- GUNREBEN, M. 2001:** Entsiegelung von Böden – Ein Beitrag zur Kompensation der Flächeninanspruchnahme durch bodenversiegelnde Nutzungen? *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 95, 137-140.

- HAASE, D. 1999:** Beiträge zur Geoökosystemanalyse von Auenlandschaften – Säurestatus und Pufferfunktion der Waldböden in den Leipziger Flussauen. Diss. Univ. Leipzig. UFZ-Ber. 19/1999. Leipzig.
- HAASE, D. 2001:** Freiraum, Freiflächen und Natur in der Stadt des 21. Jahrhunderts – Notwendigkeit oder Luxus? Ber. dt. Landeskunde, 75, 2/3, 271-282. Kopie
- HAASE, G. (ED.) 1991:** Naturraumerkundung und Landnutzung. Beiträge zur Geographie, 34.
- HABER, W. 1992:** Leitbilder für die Stadtentwicklung aus ökologischer Sicht. Rundgespräche Komm. Ökologie, 3, 89-96. Kopie BibGeogr. 95-492
- HABER, W. 1994:** Nachhaltige Nutzung: Mehr als nur ein Schlagwort? Raumforschung & Raumordnung, 3, 169-173.
- HABER, W. 1999:** Nachhaltigkeit als Leitbild einer natur- und sozialwissenschaftlichen Umweltforschung. In: Daschkeit, A. & W. Schröder (Hg.): Umweltforschung quergedacht: Perspektiven integrativer Umweltforschung und -lehre. 127-146. Berlin u.a.
- HABER, W., KLEMMER, P. & B. HEINS 1994:** Umweltdiskussion: Sustainable Development - ökologische, ökonomische und soziale Aspekte. Ztschr. angewandte Umweltforsch., 7, 1, 9-25. Sonderdruck selbst
- HAECKEL, E. 1866:** Generelle Morphologie der Organismen. Berlin.
- HAFNER, R. 2001:** Nichtparametrische Verfahren der Statistik. Wien u.a.
- HAHN, H.H. & S.T. FUCHS 1998:** Regenwasser und Abwassersysteme in Siedlungen. Geogr. Rundschau, 50, 7-8, 459-464.
- HALL, P. & P. PFEIFFER 2001:** Urban 21: der Expertenbericht zur Zukunft der Städte. Stuttgart u.a.
- HALL, T. 1998:** Urban geography. London.
- HARD, G. 2001:** Natur in der Stadt? Ber. z. dt. Landeskunde, 75, 2/3, 257-270 Kopie
- HARITOPOULOU, T. 1996:** Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle in urbanen Entwässerungssystemen - Aufkommen, Transport und Verbleib. Diss. Schriftenreihe ISSW, 77, Univ. Karlsruhe. Bib 97 A 6285
- HARRES, H.-P. & M. SAUERWEIN 1994:** Nichtparametrische Verfahren als "saubere " Statistik. Dargestellt am Beispiel von Schwermetallbelastungen auf Südsardinien. Geoökodynamik 15, 2, 133-150.
- HÄRTLING, J. & P. LEHNES 2000:** Perspektiven eines logisch konsistenten Zielsystems für die Bewertung und Leitbildentwicklung am Beispiel des Landschaftsplans von St. Georgen i. Schw. Forsch. z. deut. Landesk., 246, 107-138.
- HARTMANN, K.-J., FINNERN, J. & E. CORDSEN 1999:** Bewertung von Bodenfunktionen auf Grundlage der Bodenschätzung – ein Vergleich. J. Plant Nutr. Soil Sci., 162, 179-181.
- HARTUNG, J., ELPELT, B. & K.-H. KLÖSENER 2002:** Statistik; Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. München u.a..
- HECKNER, J., HEROLD, U. & G. STROBEL 1997:** Geologisch-ingenieurgeologische Beobachtungen im Nahbereich der Halleschen Störung / Stadt Halle (Saale). Mitt. Geol. Sachsen-Anhalt, 3, 89-107.
- HECKNER, J., HEROLD, U. & G. STROBEL 2001:** Ingenieurgeologische Landesaufnahme Halle/S. Baugrundsituation im Bereich alter Bachauen (Modellgebiet Paulusviertel). Poster.
- HECKNER, M. 2003:** Vergleichende Untersuchungen zum Einfluss der Stadt Halle auf die stoffliche Belastung in den Sedimenten der Oberflächengewässer Dipl.-Arb. Inst. f. Geogr., Univ. Halle.
- HEIN, D. & T. DELSCHEN 1994:** Beurteilung von PAK und PCB in Kulturböden. Wasser & Boden, 1/1994, 54-59.
- HEINEBERG, H. 2001:** Stadtgeographie. UTB 2166.
- HEINIG, S. 1995:** Ökosystemare Bodenbewertung. UVP-Report 3/95, 115-116.
- HEINZ, V. 1999:** Erkundung von Urbanisierungsprozessen und ihren ökologischen Folgen mit Fernerkundungsmethoden am Beispiel der Stadtregion Leipzig. Diss. TU Berlin. UFZ-Ber. 7/1999. Leipzig.
- HELBIG, A., BAUMÜLLER, J. & M.J. KERSCHGENS (ED.) 1999:** Stadtklima und Luftreinhaltung. Berlin u.a.
- HELD, M. & K. KÜMMERER 1997:** Vorschlag für ein "Übereinkommen zum nachhaltigen Umgang mit Böden" (Bodenkonvention). Z. Umweltchem. Ökotox., 9 (6), 421-433.
- HELD, T. 1996:** Stoffhaushaltliche Untersuchungen in Kleingärten der Stadt Witten/Ruhr mit besonderer Berücksichtigung der Schwermetalle. Diss. Bochumer geogr. Arb., 61. Bib.Geogr. Z478:61.

- HELD, TH. 1997:** Schwermetalle: Chemische Zeitbomben in Stadtböden - Bodennutzung als Steuergröße der Speicherkapazität. Z. Umweltchem. Ökotox., 9 (4), 185-192. Zitiert Geyler
- HELING, D. & P. ROTHE 1990:** Sediments and environmental geochemistry: selected aspects and case histories. Berlin u.a.
- HEMPEL, L. 1993:** Jungquartäre Klimaveränderungen im ostmediterranen Raum: Auswirkungen auf Reliefgestaltung und Pflanzendecke. Rundgespräche Komm. Ökologie, 7, 161-179.
- HENSCHLER, D. 1993:** Schwermetalle im Wandel der Zeiten. Rundgespräche Komm. Ökologie, 7, 59-69.
- HERBINGER, W. 1995:** Landschaftsökologie und GIS. Strategien zum Umgang mit Datenunsicherheiten. Karlsruher Ber. z. Geographie u. Geoökologie, 7.
- HERGET, J. 1994:** Zur räumlichen Variabilität der Gehalte ausgewählter Schadstoffe in Stadtböden Gelsenkirchens. Ztschr. Pflanzenernähr. Bodenk., 157, 309-314.
- HERMS, U. & G.W. BRÜMMER 1984:** Einflussgrößen der Schwermetalllöslichkeit und -bindung in Böden. Ztschr. Pflanzenernähr. Bodenk. 147, 400-424.
- HERRMANN, V. 2001:** Die Entwicklung von Halle (Saale) im frühen und hohen Mittelalter. Topographie und Siedlungsentwicklung im heutigen Stadtgebiet von Halle (Saale) vom 7. bis zur Mitte des 12. Jahrhunderts aus archäologischer Sicht. Diss. Univ. Halle. Veröff. Landesamt Archäol. Sachsen-Anhalt, 56.
- HERTLING, T. & N. RASCHKE 1995:** Methode zur Bewertung von Schadstoffgehalten in Böden im Rahmen der UVP. UVP-Report, 1/95, 14-18.
- HEYMANN, H. 1994:** Schwermetalle und Arsen in Hamburger Kleingärten - Bodenbelastung und Pflanzenverfügbarkeit. Diss. Universität Hamburg. Hamburger Bodenk. Arb., 23. BibGeogr. 99-418
- HIEROLD, W. & H.-R. BORK 1998:** Schutz des Bodens als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte. Mitt Bodenk. Ges., 88, 535-538.
- HILLER, D.A. & M. MEUSER 1998:** Urbane Böden. Berlin u.a. Bib.Geog. 98-290
- HILLER, D.A. & W. BURGHARDT 1997:** Klassifizierung urban-industriell veränderter Böden als Pflanzenstandort. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 84, 147-150.
- HILLER, D.A. 1996:** Merkmale und chemische Eigenschaften urban-industriell beeinflusster Böden des Ruhrgebietes. Habil. Univ.-GH Essen.
- HILLER, D.A. 1996A:** Ökologische Standorteigenschaften urban-industriell überformter Böden des Brücktorviertels in Oberhausen (Ruhrgebiet). Z. Pflanzenern. Bodenk., 159, 241-249.
- HILLER, D.A. 1997:** Säurepufferkapazitäten und Schwermetallstatus urban-industriell überformter Böden des Ruhrgebietes. In: Geowissenschaften 15, 5, 159-167.
- HINDEL, R. & H. FLEIGE 1991:** Schwermetalle in Böden der Bundesrepublik Deutschland - geogene und anthropogene Anteile. UBA-Texte 13/91.
- HINDEL, R., FLEIGE, H., BECKER-GREtenKORD, W. ET AL. 1996:** Kennzeichnung der Empfindlichkeit der Böden gegenüber Schwermetallen. Teil II. UBA-Texte 56/96. Berlin.
- HINDEL, R., GEHRT, E., KANTOR, W. & E. WEIDNER 1998:** Spurenelementgehalte in Böden Deutschlands: Geowissenschaftliche Grundlagen. In: ROSENKRANZ et al. Kennz. 1520.
- HINTZE, B. 1985:** Geochemie umweltrelevanter Schwermetalle in den vorindustriellen Schlickablagerungen der Elbe-Unterlaufs. Hamburger Bodenkundl. Arb., 2. BibGeogr. 99-416
- HIRNER, A. V., REHAGE, H. & M. SULKOWSKI 2000:** Umweltgeochemie: Herkunft, Mobilität und Analyse von Schadstoffen in der Pedosphäre. Darmstadt.
- HOEPFNER, W. & E.-L. SCHWANDNER 1994:** Haus und Stadt im klassischen Griechenland. Wohnen in der klassischen Polis. München.
- HOFMANN, G. 1995:** Natürliche und anthropogene Einflüsse auf das holozäne Erosions- und Sedimentationsgeschehen an der andalusischen Mittelmeerküste. Geoökodynamik, 16, 197-210.
- HÖKE, S. 1995:** Schwermetalle der Böden der Stadt Halle a.d. Saale. Kölner Geogr. Arb., Bd. 65, 91-104.
- HOLLAND, K. & K. STAHR 1995:** Kartenmäßige Erfassung der Stadtböden von Stuttgart. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 76, 1077-1080. Kopie
- HOLLAND, K. 1996:** Stadtböden im Keuperland am Beispiel Stuttgarts. Diss. Hohenheimer Bodenk. H., 39.
- HÖLSCHER, J., ROST, J. & W. WALTHER 1994:** Boden- und Gewässerbelastung in Niedersachsen durch Stoffeinträge aus der Atmosphäre. Wasser & Boden, 1/1994, 20-25.

- HÖLSCHER, T. 2002:** Klassische Archäologie: Grundwissen. Darmstadt.
- HÖNSCHIEDT, S. 2002:** Holozäne Bodenbildung, Bodenabtrag und Akkumulation am Beispiel bandkeramischer Siedlungsreste bei Vaihingen/Enz (nordwestlich von Stuttgart). Stuttgarter Geogr. Stud., 132.
- HORNBERG, V. & G.W. BRÜMMER 1993:** Verhalten von Schwermetallen in Böden. Ztschr. Pflanzenern. Bodenk., 156, 467-477.
- HORNBERG, V. 1991:** Untersuchungen zur Mobilität und Verfügbarkeit von Cadmium, Zink, Mangan, Blei und Kupfer in Böden. Diss. Bonner Bodenk. Abh., 2.
- HUININK, J.T.M. 1998:** Soil quality requirements for use in urban environments. Soil And Tillage Research, 47, 1-2, 157-162.
- INTERNATIONALER RAT FÜR KOMMUNALE UMWELTINITIATIVEN (ED.) 1998:** Lokale Agenda 21 – Deutschland: kommunale Strategien für eine zukunftsbeständige Entwicklung. Berlin u.a.
- IPSEN, D., CICHOROWSKI, G. & E. SCHRAMM (ED.) 1998:** Wasserkultur - Beiträge zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung. Stadtökologie, 2. Berlin. Bib.Geogr. 99-159
- JACOBSHAGEN, W. 1986:** Geologie von Griechenland. Stuttgart.
- JÄGER, K.-D. 1997:** Anthropogene Ablagerungen im Holozän Mitteleuropas. Brandenburgische Geowiss. Beitr. 4 (1997), 2, 89-96.
- JÄGER, K.-D. 1997:** Böden und Bodensedimente als historische Quellen. Archäol. Sachsen-Anhalt, 7, 4-12. Halle/S.
- JAHN, R. 1997:** Bodenlandschaften subtropischer mediterraner Zonen. Handbuch Bodenk. Kap. 3.4.5.4.
- JAHS, S. & C. VAN DEN BOGAARD 1998:** New palynological and tephrostratigraphical investigations of two salt lagoons on the island of Mljet, south Dalmatia, Croatia. Vegetation History and Archaeobotany, 7, 219-234.
- JAHS, S. 1992:** Untersuchungen über die Vegetationsgeschichte von Süddalmatien und Südgriechenland. Diss. Univ. Göttingen.
- JÄNCKEL, R., KRAUSE, K.-H. & WALLOSSEK, W. 1972:** Stadtgeographie von Halle. In: MOHS, G., OELKE, E. & ROSENKRANZ, E. (Ed.): Halle und Umgebung - Geographische Exkursionen. - Geographische Bausteine N.R. 12, 16-38.
- JANETZKO, P., FILIPINSKI, M. & E. CORDSEN 1998:** Schutzwürdige „seltene“ Böden. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 87, 3-6.
- JESSEL, B. & K. TOBIAS 2002:** Ökologisch orientierte Planung : eine Einführung in Theorien, Daten und Methoden. Stuttgart.
- JONECK, M. & R. PRINZ 1996:** Organische und anorganische Schadstoffe in straßennahen Böden unterschiedlich stark befahrener Verkehrswege in Bayern. Wasser & Boden, 48, 9, 49-54.
- JÖRGENSEN, S.E. (ED.) 1996:** Handbook of environmental and ecological modeling. Boca Raton u.a.
- KA 4 (BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (ED.)) 1994:** Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl. Hannover.
- KABISCH ET AL. 1997**
- KAERKES, W. 1987:** Zur ökologischen Bedeutung urbaner Flächen. Materialien zur Raumordnung, XXXV.
- KAHLE, P. & E. COBURGER 1995:** Qualitätsmerkmale natürlicher und anthropogen beeinflusster Böden im Stadtgebiet von Rostock. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 76, 1085-1088.
- KAHLE, P. & E. COBURGER 1997:** Untersuchungen zum Schwermetallstatus Rostocker Stadtböden. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 85, 1175-1178.
- KAHLE, P. 2000:** Schermetallstatus Rostocker Gartenböden. J. Plant Nutr. Soil Sci., 163, 191-196.
- KALBE, U. & M. RENGER 1997:** Verfügbarkeit von Schwermetallen in Abhängigkeit von den technogenen Komponenten in anthropogenen Stadtböden. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 85, 1183-1186.
- KAMIETH, H. 1995:** Bodenmanagement. Stuttgart.
- KASTANIS, D. 1965:** Bodenbildende Bedingungen und Verbreitung der Hauptbodentypen in Griechenland. Diss. Univ. Giessen.
- KÄSTNER, M., MAHRO, B. & R. WIENBERG 1993:** Biologischer Schadstoffabbau in kontaminierten Böden unter besonderer Berücksichtigung der polyzyklischen Kohlenwasserstoffe. Hamburger Berichte 5, Bonn.
- KENDALL, M.G. & STUART, A. 1966:** The advanced theory of statistics in three volumes. London.

- KEPPLER, J. 1999:** Modellversuche und Geländeuntersuchungen zur Kinetik der Schwermetall-Festlegung sowie zur Löslichkeit, Mobilisierung und Verlagerung von Schwermetallen in belasteten Böden. Diss. Bonner bodenk. Abh., 27.
- KERSTING, A., PINGEL, P., SCHNEIDER, S. & G.W. SCHRAPS 1993:** Stadtbodenkartierung Herne-Sodingen, ein Pilotprojekt des GLA NW. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 72, 967-970.
- KESSLER, H. 2002:** Characterisation and mapping of Artificial Ground in the British Geological Survey. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 99, 11-12.
- KIENE, A. & G. MIEHLICH 1997:** Bodenbewertung im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 85, 1187-1190.
- KIESER, A. 1999:** Untersuchungen zu Hemerobie und Nutzungsstrukturen von Siedlungsflächen in Nordrhein-Westfalen. Hamburger Vegetationsgeograph. Mitt., 12.
- KIESLICH, W. & H.-P. NEUMEYER 2001:** Räumliche Umweltqualitätsziele als Grundlage für eine nachhaltige Stadtentwicklung. Ber. dt. Landeskr., 75, 2/3, 303-314. Kopie
- KLÄRLE, M. 2001:** Prozessorientierung der kommunalen Flächennutzungsplanung mittels GIS-gestütztem Informationsmanagement. Mater. Umweltwissenschaften, 11. Vechta.
- KLOSTER, G. ET AL. 1994:** Verbleib von atmosphärisch eingetragenen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen. AGF Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen, Bonn-Bad Godesberg. Selbst
- KLOTZ, S. 1984:** Phytoökologische Beiträge zur Charakterisierung und Gliederung urbaner Ökosysteme, dargestellt am Beispiel der Städte Halle und Halle-Neustadt. Diss. Univ. Halle.
- KLOTZ, S.; GUTTE, P. & B. KLAUSNITZER 1984:** Vorschlag einer Gliederung urbaner Ökosysteme. Archiv f. Naturschutz Landschaftsforsch., 243, 153-156.
- KLÖTZLI, F. 1995:** Ökosystem. In: KUTTLER, W.: Handbuch zur Ökologie. 288-295. Berlin.
- KNAUER, P. 1995:** Umweltqualitätsziele für Konzepte nachhaltiger Nutzung. scienta halensis, 2/95, 23-24. Uni. Halle.
- KNAUF, C. & A. MÖBES 1995:** Zur Gliederung von anthropogenen Böden in Sachsen-Anhalt. Mitt. Geol. Sachsen-Anhalt 1, 105-113.
- KNAUF, C. & A. MÖBES 1999:** Anthropogene Böden. Bodenatlas Sachsen-Anhalt. Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt, 4, 41-43.
- KNEIB, W., BONGARD, B. & B. SCHEMSCHAT 1998:** Ökologische Bewertung von Böden am Beispiel des Raumes Lübeck. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 87, 27-30.
- KNEIB, W.-D. 2001:** Bodenfunktionsbewertung im urbanen Bereich – Beispiele aus der Praxis. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 95, 199-202.
- KNOCHE, H., KLEIN, M., KÖRDEL, W. ET AL. 1995:** Literaturstudie zur Ableitung von Bodengrenzwerten für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. UBA-Texte 71/95. Berlin.
- KNOTH, W., KRIEBEL, U, RADZINSKI, K.-H. & M. THOMAE 1998:** Die geologischen Verhältnisse von Halle und Umgebung. Hall. Jahrb. Geowiss., R. B, Beih. 4, 7-34.
- KOCH, M. 2001:** Ökologische Stadtentwicklung. Stuttgart u.a.
- KOCH, S. 2004:** Geoökologische Untersuchungen zum wassergetragenen Nähr- und Schadstofftransport aus urbanen Böden in aquatische Systeme mit besonderer Berücksichtigung des Sickerwasserpfades - dargestellt am Beispiel der Stadt Halle (Saale). Diss.-Manuskript.
- KOCH, S., BUKOWSKI, F., SAUERWEIN, M. & M. FRÜHAUF 2004:** Der Einfluss von Stadtstrukturtypen auf die Grundwasserbeschaffenheit der Stadt Halle (Saale). Wasser & Abfall, 5, 20-24.
- KOCH, S., SAUERWEIN, M. & M. FRÜHAUF 2004:** Urbane Böden als Belastungsquellen von Nähr- und Schadstoffen für aquatische Systeme (Fließgewässer, Standgewässer, Grundwasser) –dargestellt am Beispiel der Stadt Halle Manuskript z. Abschlussbericht. Auftraggeber: UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle. Unveröff.
- KOCH, S., WALKER, M., SAUERWEIN, M. & M. FRÜHAUF 2002:** Untersuchungen zur Beeinflussung der Grundwasserqualität durch Kleingartennutzung im Stadtgebiet von Halle (Saale). Hallesches Jahrb. Geowiss., R.A, 24, 41-52.
- KOLB, F. 1997:** Die Stadt in der Antike. In: Hoepfner, W. (Ed.): Frühe Stadtkulturen. 72-84. Heidelberg u.a.

- KOMOSSA, M., HAGEDORN, A. & W. BURGHARDT 2002:** Ekranolithe – Böden unter Straßen. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 99, 13-14.
- KOPPITZ, H.-J., SCHWARTING, G. & J. FINKELDEI 2000:** Der Flächennutzungsplan in der kommunalen Praxis. Berlin. BibGeogr. 00-94
- KRAMER, M. ET AL. 2001:** Die Ableitung von Bodenfunktionenkarten aus dem Fachinformationssystem Boden auf der Grundlage der Bodenkarte 1:50.000 des Freistaates Sachsen. Dresdener Geogr. Beitr., 8.
- KRAUSE, K.-H. 1986:** Großmaßstäbige Flächennutzungskartierungen unter stadtökologischen Aspekten. Landschaftsarchitektur, 15, 2, 48-59.
- KRAUSE, K.-H. 1988:** Konzeption einer komplexen Flächennutzungskartierung unter ökologischen Aspekten im Maßstab 1:50.000. Hall. Jb. Geowiss., 13, 67-89.
- KRAUSS, M. 2002:** Bioavailability and Chemical Extractability of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Polychlorinated Biphenyls in urban soils. Bayreuther Bodenk. Ber., 78.
- KREYSA, G. & J. WIESNER (ED.) 1994:** Beurteilung von Schwermetallen in Böden von Ballungsgebieten. Frankfurt.
- KRIETER, M. 1993:** Bodenaufbau an innerstädtischen Straßenbaumstandorten. Erfahrungen aus einem praxisnahen Forschungsprojekt. Geogr. Rundschau, 45, 6, 336-343.
- KROBOK, T. 1995:** Die Stellung der Böden innerhalb der kommunalen Umweltschutzarbeit- dargestellt am Beispiel der Stadt Münster. UVP-Report 3/95, 129-131.
- KRUG, S. 2002:** Analyse der anthropogene Reliefveränderung der Stadt Halle/Saale. Dipl.-Arb. Univ. Halle Inst. f. Geogr. (unveröff.)
- KRUMBIEGEL, G. & M. SCHWAB (ED.) 1974:** Saalestadt Halle und Umgebung. Ein geologischer Führer. Teil1 +2. Halle.
- KÜBLER, S. 2002:** Hyperkarten zur Unterstützung von Bodenbewertungen. In: Cyffka, B. & J.W. Härtling (Ed.): Bodenmanagement. Berlin u.a. 85-108.
- KUGLER, H. & MÜCKE, E. 1979:** Geomorphologische Skizze des Halleschen Raumes. In: KUGLER, H. (Hg.): Relief und Naturraumkomplex. Wiss. Beitr. 45 (05). Halle.
- KÜHLING, W. 1997:** Bietet das vom Sachverständigenrat für Umweltfragen vorgeschlagene Verfahren zur Feststellung von Umweltstandards einen Ansatz zur Sicherung der Umweltqualität ? Hallesches Jahrb. Geowiss. R.A, 19, 59-66.
- KÜHLING, W. 2000:** Leitlinien zur Bestimmung einer nachhaltigen regionalen Entwicklung und deren Umsetzung. Hallesches Jahrb. Geowiss. R.A, 22, 1-12.
- KÜHN, D. 2002:** Indirekte Regeln zur Ableitung und Darstellung von anthropogen bestimmten Bodenformengesellschaften in Bodenübersichtskarten. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 99, 15-16.
- KUNST, S. (ED.) 2002:** Sustainable water and soil management. Berlin u.a.
- KUNTZE, H., GRUPPE, M., FILIPINSKI, M. & E. PLUQUET 1991:** Geogene und anthropogene Böden - Lösbarkeit und Pflanzenaufnahme. UBA-Texte 22/91. Berlin.
- KUNTZE, H., HERMS, U. & E. PLUQUET 1984:** Schwermetalle in Böden. Bewertung und Gegenmaßnahmen. Geol. Jb., A 75, 715-736.
- KUNTZE, H., ROESCHMANN & SCHWERDTFEGER 1994:** Bodenkunde. Stuttgart.
- KUTTLER, W. (ED.) 1993:** Handbuch zur Ökologie. Berlin.
- LAA SA LANDESAMT FÜR ARCHÄOLOGIE SACHSEN-ANHALT 1999A:** Grabungsbericht „Stadtcenter“.
- LAA SA LANDESAMT FÜR ARCHÄOLOGIE SACHSEN-ANHALT 1999B:** Grabungsbericht „Audimax“.
- LAA SA LANDESAMT FÜR ARCHÄOLOGIE SACHSEN-ANHALT 1999C:** Grabungsbericht "Leipziger Straße".
- LAA SA LANDESAMT FÜR ARCHÄOLOGIE SACHSEN-ANHALT 2003:** Grabungsbericht „NO-Ecke Marktplatz“.
- LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (LUA NRW) (ED.) 2000:** Leitfaden zur Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten – Außenbereich. Merkblätter, 24. Essen.
- LANG, F. 2001:** The Dimensions of the material Topography. Monographs of the Danish Institute at Athens, 3, 205-221.
- LANG, F. 2003:** Zurück nach Arkadien? Möglichkeiten und Grenzen der Landschaftsarchäologie. Tübinger Archäologische Taschenbücher, 2, 79-95.

- LANG, F., SCHWANDNER, E.-L. & P. FUNKE 2004:** Historische Landeskunde und Siedlungsgeschichte Akarnaniens mit dem Schwerpunkt in der Plaghia-Halbinsel, dem Siedlungsraum im Bereich der antiken Polis Palairos unter Einschluss der angrenzenden Gebiete. Unveröff. Zwischenbericht. Forschungsprojekt, finanziert von der Gerda-Henkel-Stiftung.
- LANGE, N. DE 2000:** Geoinformationssysteme in der Stadt- und Umweltplanung. Fallbeispiele aus Osnabrück. Osnabrücker Studien Geogr., 19. BibGeogr. 01-671
- LAUER, D., LAUER, M. & G. ZIMMERMANN 1998:** Die Grundwasserabsenkung im Stadtgebiet Halle-Neustadt – geologische, hydrologische und technische Bedingungen. Hallesches Jahrb. Geowiss., R.B, Beih. 4, 79-97. Kopie
- LEAKE, W.M. 1835:** Travels in Northern Greece. London.
- LEHMANN, A. 2002:** Tiefhumose Böden und verdichtete Böden im urbanen Raum. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 99, 17-18.
- LEHMANN, A., HOLLAND, K. & K. STAHR 1995:** Stickstoffdynamik von Stadtböden am Beispiel Stuttgarts. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 76, 1133-1136.
- LEHMANN, E.L. 1975:** Nonparametrics, Statistical Methods Based on Ranks. San Francisco.
- LEHMANN, R. 1994:** Landschaftsdegradierung, Bodenerosion und –konservierung auf der Kykladeninsel Naxos, Griechenland. Physiogeographica, Basler Beitr. Physiogeogr., 21.
- LEHN, J. & H. WEGMANN 2000:** Einführung in die Statistik. Stuttgart.
- LENZ, H., PAMPERIN, L. & E. PLUQUET 1997:** PAK in Kleingartenböden – Eingrenzung möglicher Belastungsursachen mit Hilfe von PAK-Profilen. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 85, II, 737-740.
- LESER, H. 1997:** Landschaftsökologie. Stuttgart.
- LEWANDOWSKI, P., BURGHARDT, & P. ILNICKI 1997:** Zur Kennzeichnung der Schwermetallgehalte und ihrer Herkünfte – dargestellt am Beispiel der Stadt Poznan. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 84, 167-170.
- LEWANDOWSKI, P., BURGHARDT, W. & P. ILNICKI 1998:** Schwermetalle in Oberböden des Warthetals unter städtischen Einfluss. Z. Pflanzenern. Bodenk., 161, 303-308.
- LEWIS, D.L., GARRISON, A.W., WOMMACK, K.E. ET AL. 1999:** Influence of environmental changes on degradation of chiral pollutants in soils. Nature, 401, 898-901.
- LIBBE, J. (Ed.) 1999:** Indikatorensysteme für eine nachhaltige Entwicklung in Kommunen. Dokumentation „Forum Stadtökologie“, 11. Berlin.
- LICHTENBERGER, E. 2002:** Die Stadt. Von der Polis zur Metropolis. Darmstadt.
- LIEBE, F., WELP, G. & G.W. BRÜMMER 1997:** Mobilität anorganischer Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens. Mater. Altlastensanierung Bodenschutz, 2. LUA Nordrhein-Westfalen, Essen.
- LIEBE, F., WELP, G., BRÜMMER, G.W. ET AL. 1997:** Anorganische Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 85, 741-744.
- LIENAU, C. 1989:** Landeskunde von Griechenland. Darmstadt.
- LIENERT, G.A. 1986:** Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. Meisenheim.
- LINDE, M., BENGTTSSON, H. & I. ÖBORN 2001:** Concentrations and Pools of Heavy Metals in Urban Soils in Stockholm, Sweden. Water, Air and Soil Pollution, 1 (3), 83-101.
- LINDEMANN, J. 1999:** Naturschutz und Naherholung urbaner Räume - Umweltzustand und -wahrnehmung ausgewählter Grünflächen in Halle/Saale. Dipl.-Arb. Univ. Kiel. Kopie
- LINDSTRÖM, M. 2001:** Urban Land Use Influences on Heavy Metal Fluxes and Surface Sediment Concentrations of Small Lakes. Water, Air and Soil Pollution, 126 (3), 363-383.
- LOEB, R.E. 1998:** Urban ecosystem management and change during the past millennium: a case study from New York City. Urban Ecosystems, 2 (1), 17-26.
- LUTHERSTADT WITTENBERG 1998:** Flächennutzungsplan Wittenberg.
- LUX, W. (Ed.) 1994:** Wald im Ballungsraum - Ökosystemuntersuchungen am Beispiel Hamburg. Hamburger Bodenkundliche Arb., 14. Bib:Geogr. 99-419
- MACHULLA, G. 2000:** Mikrobielle Aktivität von Böden aus anthropogenen und natürlichen Substraten. Habil. Univ. Halle. Hallenser bodenwissenschaftl. Abh., 1.
- MARSCHNER, B. 1998:** Sorption von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und polychlorierten Biphenylen (PCB) im Boden. J. Plant Nutr. Soil Sci. 162, 1-14.

- MATSCHULLAT, J., TOBSCHALL, H.J. & H.-J. VOIGT 1997:** Geochemie und Umwelt. Berlin.
- MAYER, R. 1997:** Umsetzung von Ökosystemforschung in praktischen Ökosystemschutz. Arbeitshefte Boden, 3, 15-16. Kopie selbst
- MCCALL, G.J.H. 1996:** Geoindicators of rapid environmental change: The urban setting. In: Berger, A.R. & W.J. Iams (Ed.): Geoindicators - Assessing rapid environmental changes in earth systems. Rotterdam/Bookfield, 311-318. BibGeogr. 97-862 Kopie
- MCDONALD, W.A. & G.R. RAPP JR. (ED.) 1972:** The Minnesota Messenia Expedition: Reconstructing a Bronze Age Regional Environment. University Minnesota Press, Minneapolis.
- MCINTYRE, N.E., KNOWLES-YÁNEZ, K. & D. HOPE 2000:** Urban ecology as an interdisciplinary field: differences in the use of "urban" between the social and natural sciences. Urban Ecosystems, 4 (1), 5-24.
- MEKIFFER, B. & U. SMETTAN 1995:** Komponentenabhängigkeit der PAK-Kontamination in Trümmerschuttböden. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 76, 369-372.
- MERIAN, E. (ED.) 1984:** Metalle in der Umwelt. Verteilung, Analytik und biologische Relevanz. Weinheim.
- METEOROLOGISCHER DIENST DER DDR (ED.) 1987:** Klimadaten der DDR - Ein Handbuch für die Praxis. R.B, 14; Klimatologische Normalwerte: 1951 - 1980, Potsdam.
- MEURER, M. 1997:** Stadtökologie. Eine historische, aktuelle und zukünftige Perspektive. Geogr. Rundschau, 49, 10, 548-555.
- MEUSER, H. & H.-P. BLUME 2001 :** Characteristics and classification of anthropogenic soils in the Osnabrück area, Germany. J. Plant Nutr. Soil Sci., 164, 351-358.
- MEUSER, H. 1996A:** Technogene Substrate als Ausgangsgestein der Böden urban-industrieller Verdichtungsräume: dargestellt am Beispiel der Stadt Essen. Habil. Schr.-R. Inst. Pflanzenernähr. Bodenk., 35. Kiel.
- MEUSER, H. 1996B:** Ein Bestimmungsschlüssel für natürliche und technogene Substrate in Böden städtisch-industrieller Verdichtungsräume. Ztschr. Pflanzenern., 159, 305-312.
- MEUSER, H. 2002:** Anthropogene Gesteine. Handbuch Bodenk., 14. Erg. Lfg., 12/2002. Kap. 2.1.2.6.
- MEUSER, H., SCHLEUB, U., TAUBNER, H. & Q. WU 1998:** Bodenmerkmale urban-industrieller Standort in Essen Z. Pflanzenern. Bodenk., 161, 197-203.
- MÖBES, A. 2001:** Die Kartierung von Bergbau- und Siedlungsböden in Sachsen-Anhalt (Stand und Perspektiven). Mitt. Geol. Sachsen-Anhalt, Beih. 4, 65-74.
- MÜLLER, E. 1965:** Berlin-Zehlendorf. Versuch einer Kulturlandschaftsgliederung. Abh. Geogr. Inst. Freie Univ. Berlin, N.F., 9.
- MÜLLER, F. 1998:** Von der Umweltrealität zum Modell - Typen, Aufbau und Bewertung von Umwelt-Systemmodellen. 51. Deutscher Geographentag, Bd. 3, 157-169. Kopie
- MÜLLER, F., HOFFMANN-KROLL, R., LEUPELT, M. & H. WIGGERING 1999:** Indikatoren für Ökosystemzustände als Elemente ganzheitlicher Umweltbeobachtung – Grundlagen und Konzepte. Nachhaltiges Niedersachsen, 8, 32-47.
- MÜLLER, H.-N. & MEURER, M. 1993:** Blei als Indikator verkehrsbedingter Belastungen im Stadtökosystem. Petermanns Geograph. Mitt., 137, 13-31.
- MÜLLER, U. & K.-H. OELKERS 1997:** Bodenkundliche Auswertungsmethoden als Planungs- und Entscheidungsinstrumente. Arbeitshefte Boden, 3, 5-9. Kopie selbst
- MÜLLER, U. 1997:** Beziehungen zwischen urbanen Flächennutzungsstrukturen und klimatischen Verhältnissen am Beispiel der Stadtregion Leipzig. UFZ-Ber. 2/1997. Leipzig.
- MÜNCHOW, B. 1999:** Bodenbeanspruchung durch Versiegelungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Wasserdurchlässigkeit und der bodenbiologischen Aktivität. Diss. Univ. Leipzig. UFZ-Ber., 4/1999. Leipzig.
- MUN (MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DES LANDES SACHSEN-ANHALT) (1994):** Landschaftsprogramm des Landes Sachsen-Anhalt, Teil 2: Beschreibungen und Leitbilder der Landschaftseinheiten. Magdeburg.
- NAGEL, H.-D. & H.-D. GREGOR 1999:** Ökologische Belastungsgrenzen - Critical Loads and Levels. Berlin u.a. Bibgeogr. 98-566
- NAN, Z. & C. ZHAO 2000:** Heavy Metal Concentrations in Gray Calcareous Soils of Baiyin Region, Gansu Province, P.R. China. Water, Air, and Soil Pollution, 118 (1), 131-142.
- NAVEH, ZEV & A. LIEBERMANN 1994:** Landscape Ecology. Theory and Application. Berlin u.a. Bib. Geog. 94-224.

- NEITE, H. & P. REINIRKENS 1996:** Flächenhafte Darstellung der stofflichen Belastung von Böden in digitalen Bodenbelastungskarten. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 80, 53-56.
- NESTROY, O. 1995:** Bodengeographische Studien auf der Kykladeninsel Mykonos. Salzburger Geogr. Arb., 29, 161-231.
- NEUMANN, N. 1998:** Erfassung und Bewertung von Sanierungsfolgen seit 1989 aus stadtoökologischer Sicht am Beispiel eines gründerzeitlichen Viertels in Halle (Saale). Dipl.-Arb. Univ. Halle.
- NEUMEISTER, H. 2004:** Realität – System – Abstraktion – Modell. Grundlagen ganzheitlichen geowissenschaftlichen Arbeitens und studentischer Ausbildung. Geoöko, XXV, 41-58.
- NIEMELÄ, J. 1999:** Ecology and urban planning. Biodiversity and Conservation, 8, 119-131.
- NIEMELÄ, J. 1999A:** Is there a need for a theory of urban ecology? Urban ecosystems, 3, 57-65.
- NILLER, H.-P. 1998:** Prähistorische Landschaften im Lößgebiet bei Regensburg – Kolluvien, Auenlehme und Böden als Archive der Paläoumwelt. Regensburger Geogr. Schr., 31. Bibgeog. Z1194:31
- NLFÖ NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 1996:** Kenzeichnung der Empfindlichkeit der Böden gegenüber Schwermetallen. Teil I. UBA-Texte 55/96. Berlin
- NLFÖ NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (ED.) 2003:** Entwicklung eines kommunalen Entsiegelungskonzeptes – dargestellt am Beispiel der Stadt Hildesheim. Nachhaltiges Niedersachsen, 16.
- NOACK, 1916:** Befestigte griechische Städte in Aitolien und Akarnanien. Archäologischer Anzeiger, 215-239.
- NORRA, S. 2001:** Umweltgeochemische Signale urbaner Systeme am Beispiel von Böden, Pflanzen und Stäuben in Karlsruhe. Karlsruher mineral. geochem. H., 18.
- O'NEILL, P. 1998:** Chemie der Geo-Bio-Sphäre. Natürliche Vorgänge und Auswirkungen menschlicher Eingriffe. Stuttgart. Bib. Geog. 98/178
- ÖNER, E. 1999:** Zur Geomorphologie der Esen-Deltaebene und des antiken Hafens von Patara, Südwesttürkei. Marburger Geogr. Schr., 134, 101-115.
- OPP, CH. 1996:** Stoffliche Bodenbelastung im Ballungsgebiet Halle-Leipzig - Überblick und räumliche Differenzierung. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 80, 45-48.
- OPP, CH. 1997:** Integrative Kennwerte und Strukturen - ein Schlüssel zum Erkenntnisgewinn für den Boden- und Landschaftsschutz. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 85, 757-760.
- OTTO-ZIMMERMANN, K. 1995:** Kommunale Naturhaushaltswirtschaft. In: RITTER, E.-H. (Hg.): Stadtoökologie. Ztschr. Angew. Umweltforsch, Sonderh. 6/1995, 241-256. Berlin.
- PAULEIT, ST. 1998:** Das Umweltwirkgefüge städtischer Siedlungsstrukturen. Diss. TU München. Landschaftsökol. Weihenstephan, 12. BibGeogr. 99-513
- PHILLIPPSON, C. 1958:** Landeskunde von Griechenland. Frankfurt.
- PIERZYNSKI, G.M., SIMS, J.T. & G.F. VANCE 1994:** Soils and Environmental Quality. Boca Raton u.a.
- PIETSCH, J. & H. KAMIETH 1991:** Stadtböden. Entwicklungen, Belastungen, Bewertung und Planung. Taunusstein.
- PLEBOW, K. & H. HEINRICHS 2001:** Anthropogene Spurenelemente in Aerosolen industrie- und verkehrsferner Gebiete. In: Gesellschaft für UmweltGeowissenschaften (Ed.): Umweltgeochemie in Wasser, Boden, Luft. 205-223. Berlin u.a.
- PLUQUET, E. & H. LENZ 1997:** Erfassung und Dokumentation des Stoffbestandes der Böden im Land Bremen. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 84, 175-178.
- POLLARD, A.M. (ED.) 1999:** Geoarchaeology: exploration, environments, resources. Geol. Soc. Spec. Public., 165. London.
- POPE, R.J.J. 2000:** The application of mineral magnetic and extractable iron (Fe_d) analysis for differentiating and relatively dating fan surfaces in central Greece. Geomorphology, 32 (2000), 57-67.
- POPP, P., NIEHUS, B., PEKLO, G. & M. ZEIBIG 1999:** Untersuchungen zu Vorkommen und Wirkung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen als Ergänzung zu den Immissionsmessungen des Landes Sachsen-Anhalt (LÜSA). UFZ-Ber. 8/1999. Leipzig. Selbst
- PÜTTMANN, H. 2002:** Bioklimatische Bewertung von Bebauungsstrukturen am Beispiel zweier Wohngebiete in Halle/S. Diss. Univ. Halle.
- RABER, B. & I. KÖGEL-KNABNER 1996:** Abschätzung des Verhaltens von PAK in Böden unter dem Einfluß von DOM (gelöster organischer Substanz) unterschiedlicher Herkunft. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 80, 93-96.

- RADTKE, U., THÖNNESEN, M. & R. GERLACH 1997:** Die Schwermetallverteilung in Stadtböden. *Geograph. Rundschau* 49, 10, 556-561.
- RAPP, G. & C.L. HILL (1998):** *Geoarchaeology. The Earth-Science Approach to Archaeological Interpretation.* London.
- RASCHKE, W. & A. SCHULTZ (2002):** Stadtbevölkerung im Wandel – Die Bevölkerungsentwicklung und –struktur von Halle. In: FRIEDRICH, K. & M. FRÜHAUF (Ed.): *Halle und sein Umland.* 50-56. Halle.
- REBELE, F. 1999:** Naturschutz in Stadt- und Industrielandschaften – Aufgaben, Begründungen, Ziele und Leitbilder. *Geobot. Kolloq.*, 14, 7-14.
- REINIRKENS, P. & C. VARTMANN 1995:** Erfassung und Beurteilung von stoff- und naturhaushaltlichen Beziehungen in Böden als Instrument für den kommunalen Bodenschutz. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 76, 1157-1160.
- REINIRKENS, P. 1991:** Siedlungsböden im Ruhrgebiet. Bedeutung und Klassifikation im urban-industriellen Ökosystem Bochums. *Diss. Bochumer Geogr. Arb.*, 53.
- REMPLER, A. 1998:** Das Geoökosystem und seine schuldiddaktische Aufbereitung. *Diss. Physiogeographica*, 26. Basel.
- REMPLER, A. 1999:** Wasser- und Klimahaushalt im städtischen Raum. *geographie heute*, 172/1999, 36-40.
- RENGER, M. (ED.) 1998:** Mobilität und Wirkung von Schadstoffen in urbanen Böden. *Bodenökologie Bodengene*, 26. TU Berlin.
- RENGER, M., HOFFMANN, C., MEKIFFER, B. ET AL. 1998:** Belastungen und Gefährdungspotentiale urbaner Böden. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 88, 445-448.
- RICHTER, G. (ED.) 1998:** Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt. *BibGeogr.* 99-52
- RICHTER, H. 1984:** Structural problems of urban landscape ecology. In: *Methodology in landscape ecological research and planning. Proc. 1st. Int. Sem. Int. Ass. Landscape Ecol. (IALE)* 5, 29-41. Roskilde.
- RICHTER, U., WEISE, P. & H. BIEHLER (ED.) 2001:** Nachhaltige Siedlungs- und Flächenentwicklung in Großstadregionen. *Stadtökologie*, 4. Berlin. *Bib.Geogr.* 01-651
- RIEDL, H. 1994:** The Human Impact on Soil Erosion in Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXX/4, 15-27.
- RIEHM, K. 1961:** Solbrunnen und Salzwerkersiedlungen im ur- und frühgeschichtlichen Halle. *Wiss. Ztschr. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg*, 10, 3, 849-858. Zitiert in Specht 1998
- RIPL, W. & C. HILDMANN 1996:** Zwei in einem Boot: Die Beziehung zwischen Stadt und Umland unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit. *Politische Ökologie*, 44, 31-34.
- RITTER, E.-H. (HG.) 1995:** *Stadtökologie. Ztschr. f. Angewandte Umweltforschung, Sonderh.*, 6/1995. Berlin.
- ROSENKRANZ, D., EINSELE, G. & H.-M. HARRESS (ED.) o.J.** *Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser.* Berlin.
- ROTLÄNDER, E., REINHARD, P. & M. RENTSCHLER 1997:** *Veränderung von Böden durch anthropogene Einflüsse.* Berlin.
- RÜCK, F. 1998:** Bodenqualitätsziele für den Schutz der Ressource Boden. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 88, 141-144.
- SACHS, L. 2002:** *Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden.* Berlin u.a.
- SAUER, S. 2001:** Bodenschätzungsergebnisse als bodenkundliche Datengrundlage im urbanen Raum: Beispiel Niederschlagswasserversickerung. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 95, 141-144.
- SAUERWEIN, M. 1995:** Geoökologische Untersuchungen zur Boden- und Gewässerbelastung in der Stratike (Nordwestgriechenland). Unveröff. DFG-Bericht.
- SAUERWEIN, M. 1996:** Geoökologie und Archäologie: Ergebnisse interdisziplinärer Forschungen im antiken Stratos (Akarnanien, Westgriechenland). *Hallesches Jahrb. Geowiss., R.A.*, 18, 33-49.
- SAUERWEIN, M. 1997:** Zum geoökologischen Inventar und zur Schwermetallbelastung urbaner Freiflächen am Beispiel von Oberböden in Großneubaugebieten in Halle (Saale). *Geoökodynamik* 18, 2/3, 133-164.
- SAUERWEIN, M. 1998:** Geoökologische Bewertung urbaner Böden am Beispiel von Großsiedlungen in Halle und Leipzig - Kriterien zur Ableitung von Boden-Umweltstandards für Schwermetalle und PAK. *Diss. Univ. Halle. UFZ-Bericht* 19/98, Leipzig.
- SAUERWEIN, M. 2000:** Geoökologische Geländeuntersuchungen zur holozänen Landschaftsentwicklung in Akarnanien/Nordwestgriechenland. *Forschungsbericht im Auftrag der Südosteuropa-Gesellschaft (unveröff.)*.
- SAUERWEIN, M. 2001:** Untersuchungen zur Schadstoffbelastung in Böden der Kleingartenanlage „Paul-Riebeck-Stift“ (Halle). Im Auftrag des Stadtverbandes der Kleingärtner. (Unveröff.)

- SAUERWEIN, M. 2002:** Eigenschaften, Funktionen und Bedeutung urbaner Böden im Kontext stadtökologischer Geosystemforschungen. Verhandl. 51. Dt. Geographentag Leipzig, 580-588.
- SAUERWEIN, M. 2002A:** Geoökologische Ansätze zur Beurteilung der anthropogenen Bodenveränderung im Stadtgebiet von Halle. *Hercynia*, N.F. 35 (2002), 1-15.
- SAUERWEIN, M. 2002B:** Urbane Bodenlandschaften. In: Bens, O. & R.F. Hüttl (Hrsg.): *Bodengeographische Studien stark veränderter Standorte – Monitoring, Modellierung und Bewertung*. BTUC-AR 4/2002: S. 7-11. Cottbus.
- SAUERWEIN, M., DIABY, K., ZIERDT, M. & M. FRÜHAUF 1995:** Geoökologische Untersuchungen zur Schwermetallbelastung städtischer Kleingärten in Halle/Saale. *Hercynia*, N.F., 29, 291-314.
- SAUERWEIN, M. & C. FORNACON 2002:** Geoökologische Kartierung und Verwendung von Stadtstrukturtypen in Halle (Saale). *Hallesches Jahrb. Geowiss. R.A.*, 24, 29-40.
- SAUERWEIN, M. & H.-P. HARRES 1997:** Schwermetalle in Böden und Pflanzen auf Südsardinien - Untersuchungen zur zeitlichen Abhängigkeit von Pflanzenschwermetallgehalten unter Anwendung nichtparametrischer Verfahren. *Hallesches Jahrb. Geowiss., R.A.*, 19, 15-25.
- SCHAEFER, M. 1997:** Stoffkreisläufe in der Natur- und Kulturlandschaft: eine Typisierung aus ökologischer Sicht. *Ökosystemanalyse Umweltforschung*, 4, 11-31. Stuttgart. Kopie selbst
- SCHAFMEISTER, M.-T. 1999:** *Geostatistik für die hydrogeologische Praxis*. Berlin u.a.
- SCHAEFFER, H. & SCHACHTSCHABEL 2002:** *Bodenkunde*. Stuttgart.
- SCHENK, W. 2002:** „Landschaft“ und „Kulturlandschaft“ – „getönte“ Leitbegriffe für aktuelle Konzepte geographischer Forschung und räumlicher Planung. *Petermanns Geogr. Mitt.*, 146, 6, 6-13.
- SCHLEUB, U., SIEM, H.-K. & H.-P. BLUME 1997:** Untersuchungen zur Verbreitung anthropogener Substrate und der sich daraus entwickelten Böden im Stadtgebiet von Eckernförde. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 84, 187-190.
- SCHMIDT-EICHSTAEDT, G. 1996:** *Stadtökologie*. Stuttgart.
- SCHMIED, F., HENNINGS, V. & R. SCHMIDT 1997:** Bewertung von Bodenfunktionskarten auf verschiedenen Maßstabsebenen. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 85, III, 1235-1238.
- SCHMITZ, S. 2001:** Nachhaltige Stadtentwicklung – Herausforderungen, Leitbilder, Strategien und Umsetzungsprobleme. *Petermanns Geogr. Mitt.*, 145, 5, 6-15.
- SCHNEIDER, B., KRÜGER, A., NEUMEISTER, H. & A. PASCHKE 1997:** Mobilisierung umweltrelevanter Metalle in Ökosystemen unter dem Einfluß von DOM. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 85, 337-340.
- SCHNEIDER, C. 1999:** Urbane Stillgewässer - Potential- oder Konfliktflächen für Ökologie und Naherholung? Eine Untersuchung im Stadtgebiet Mainz. *UFZ-Ber.*, 10/1999, 140-143. Leipzig.
- SCHNOOR, J. 1996:** *Environmental modeling: fate and transport of pollutants in water, air and soil*. New York.
- SCHOONE, M., CHMIDT, M.W.I. & I. KÖGEL-KNABNER 1997:** Sorptionsverhalten von PAK in Oberböden mit unterschiedlicher Zusammensetzung der organischen Substanz. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 85, 345-348.
- SCHRAPS, W.G., KERSTING, A., PINGEL, P. ET AL. 2000:** Stoffbestand, Eigenschaften und räumliche Verbreitung urban-industrieller Böden : Ergebnisse aus dem Projekt Stadtbodenkartierung Oberhausen Brücktorviertel. *Scriptum*, 7. GLA Nordrhein-Westfalen, Krefeld.
- SCHRECKENBERG, W. 1999:** Siedlungsstrukturen der kurzen Wege: Ansätze für eine nachhaltige Stadt-, Regional- und Verkehrsentwicklung. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.
- SCHRÖDER, B. 1998:** Geoarchäologische Langzeit-„Modellierung“ des Stofftransportes bei mediterraner Bodenzerstörung – regionale Aspekte im Vergleich. *Jenaer Geogr. Manusk.*, 19, 66-67.
- SCHRÖDER, W. 1995:** Normwerte im Bodenschutz als Bestandteile landschaftlicher Leitbilder. *Mitt. Norddeutschen Naturschutzakademie*, 6, 1, 36-46.
- SCHRÖDER, W., VETTER, L. & O. FRÄNZLE (Ed.) 1994:** *Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geoökologie*. Göttingen.
- SCHULTE, G. 1995:** Der naturwissenschaftliche Zugang zur Stadtökologie. In: RITTER, E.-H. (Hg.): *Stadtökologie*. *Ztschr. Angew. Umweltforsch*, Sonderh. 6/1995, 295-317. Analytica, Berlin.
- SCHULTE, G. 1996:** Stadtböden - Schadstoffbelastung und Schadstoffmobilität. *UFZ-Ber.*, 11/1996. Leipzig.
- SCHULTE, W. 1985:** Modell einer stadtökologischen Raumgliederung auf der Grundlage der Florenanalyse und Florenbewertung. *Natur & Landschaft*, 60, 103-108

- SCHULTZE-GALLERA, S. 1920:** Topographie der Häuser- und Straßengeschichte der Stadt Halle/S. Bd. 1 (Altstadt). Halle (Saale). Zitiert in Specht 1998
- SCHÜTT, B. & R. BAUMHAUER 1999:** Holozäner Klimawandel im Becken der Laguna de Gallocanta (Iberisches Randgebirge). *Erdkunde*, 53/1999, 48-64.
- SCHWAB, M. 1999:** Übersicht zur Geologie der Umgebung von Halle/S. *Aufschluss, Sonderbd., VMFG*, 121-144. Kopie
- SCHWANDNER, E.-L. 2001:** Akarnanien, die unbekannte Landschaft Griechenlands. *Feldforschungen in Stratos und Palairos. Nürnberger Blätter z. Archäologie*, 17, 8-22.
- SCHWEIKLE, V. 1996:** Schadstoffbelastung an Straßen. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 80, 61-64.
- SCHWENGLER, M. 1999:** Untersuchungen zur Luftqualität in hofbildenden Bebauungsstrukturen. *Diss. Essener ökolog. Schr.*, 11.
- SCHWERDTFEGER, G. & B. URBAN 1997:** Klassifizierung Anthropogener Böden. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 85, 1247-1250.
- SCHWERDTFEGER, G. 1997:** Klassifizierung Anthropogener Böden. *Mitt. Dt. Bodenk., Ges.*, 84, 61-64.
- SEIDLER, G. 2002:** Geoökologische Erfassung und Bewertung urbaner Oberflächen in ausgewählten Stadtstrukturtypen der Stadt Halle
- SEMMELE, A. 1993:** *Grundzüge der Bodengeographie*. Stuttgart.
- SEPPELT, R. 2003:** Informatik in der Geoökologie – Notwendiges Werkzeug oder berufliche Perspektive? *Forum Geoökologie*, 14 (1), 10-14.
- SEUFFERT, O., BUSCHE, D. & P. LÖWE 1999:** Rainfall Structure – Rainfall Erosivity: New Concepts to solve Old Problems. *Petermanns Geogr. Mitt.*, 143, 5-6, 475-490.
- SIEGEL, S. 2001:** *Nichtparametrische statistische Methoden*. Eschborn.
- SIEM, H.-K. 2002:** Boden der Stadt Kiel und Eckernförde und das Problem der Klassenbildung und Klassenzuweisung von Bodenausgangsmaterial und Bodenentwicklungsstadien. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 99, 19-20.
- SINOWSKI, W. & K. AUERSWALD 1993:** Geostatistik und Bodenkartierung – ist eine Synthese möglich? *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 72, 1059-1060.
- SMETTAN, U. & B. MEKIFFER 1996:** Kontamination von Trümmerschuttböden mit PAK. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 159, 169-175.
- SMETTAN, U. & N. LITZ 1997:** Konzept zur Schutzwürdigkeit von Böden und dessen Anwendung im Großraum Berlin. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 85, II, 777-780.
- SÖRME, L., BERGBÄCK, B. & U. LOHM 2001:** Century Perspective of Heavy Metal Use in Urban Areas. A Case Study in Stockholm. *Water, Air and Soil Pollution*, 1 (3), 197-211.
- SPECHT, O. 1998:** Die stadtkernarchäologische Untersuchung Juridicum in Halle (Saale). *Jahresschr. mitteldeutsche Vorgesch.*, 80, 177-213. Sonderdruck
- SPITZER, HARTWIG 1991:** *Raumnutzungslehre*. Stuttgart.
- STADT BERLIN (ED.) 1996:** *Umweltatlas Berlin*. 3 Bände. Berlin
- STADT HALLE (ED.) 1998:** *Flächennutzungsplan der Stadt Halle (Saale)*.
- STADTVERMESSUNGSAMT HALLE (o.J.):** *Digitale Stadtgrundkarte*. Abgeleitet aus dem analogen Kartenwerk 1:500 und Luftbildauswertungen (Stand: Juni 2002).
- STADT WUPPERTAL 1993:** *Umweltschutz in Wuppertal - Bodenbericht 1993*.
- STADTBÜRO HUNGER 1993:** *Stadtentwicklungskonzeption Wittenberg*. Im Auftrag der Stadtverwaltung der Lutherstadt Wittenberg. Unveröff.
- STADTVERWALTUNG LUTHERSTADT WITTENBERG 1994:** *Umweltatlas der Lutherstadt Wittenberg*.
- STARKE, U., HERBERT, M. & G. EINSELE 1994:** Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Boden und Grundwasser. In: ROSENKRANZ et al. *Kennz.* 1680.
- STASCH, D. & K. STAHR 2002:** Steine und Skelettgehalte als Merkmal von Stadtböden. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 99, 21-22.
- STEIN, A. 1993:** Modelling spatial variability of soil pollution variables with geostatistics for environmental purposes. In: Eijsackers, H.J.P. & T. Hamers (Ed.): *Integrated soil and sediment research: A basis for proper protection*. Dordrecht u.a., 431-434.

- STEIN, C. 2000:** Ökologische Stadtplanung im Unterricht. Praxis Geographie, 11/2000, 32-35.
- STEINHARD, U. & M. VOLK (ED.) 1999:** Regionalisierung in der Landschaftsökologie: Forschung – Planung – Praxis. Stuttgart.
- SUKOPP, H. & WITTIG, R. (ED.) 1998:** Stadtökologie. Stuttgart u.a.
- SUKOPP, H., NUMATA, M. & A. HUBER (ED.) 1995:** Urban Ecology as the Basis of Urban Planning. The Hague.
- SUTTNER, T. GRUBAN, W. & H.-H. SCHRAA 1993:** Stadtbodenkarte München Allach 1:5000 - Von der Analog- zur Auswertekarte. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 72, 1073-1076.
- SYMADER, W. 2001:** Boden und Landschaftswasserhaushalt. Handbuch Bodenk. Kap. 4.4.1.
- TAN, K.H. 1994:** Environmental soil science. New York u.a.
- TAO, S. 1998:** Factor Score Mapping of Soil Trace Element Contents for the Shenzhen Area. Water, Air, and Soil Pollution, 102 (3), 415-425.
- TAUBMANN, W. 1999:** Ökologische Stadtentwicklung. geographie heute, 172/1999, 2-7.
- TAUBNER, H. & R. HORN 1999:** Schätzung der nutzbaren Feldkapazität und Luftkapazität von anthropogenen Bodenhorizonten aus einfach zu bestimmenden Kennwerten. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 162, 33-40.
- TEEBAY, R.H. 1994:** Untersuchungen zu Gehalten, zur mikrobiellen Toxizität und zur Adsorption und Löslichkeit von PAK's und PCB's in verschiedenen Böden Nordrhein-Westfalens. Diss. UNIV. BONN.
- THEWS, G. & C. SERVATIUS (ED.) 1997:** Stoffkreisläufe in natürlichen und industriellen Prozessen. Ökosystemanalyse Umweltforschung, 4. Stuttgart.
- THUY, H.T.T., TOBSCHALL, H.J. & P.V. AN 2000:** Distribution of heavy metals in urban soils - a case study of Danang-Hoian Area (Vietnam). Environmental Geology, 39, 6, 0603-0610.
- TIETBÖHL, P., KRETSCHMER, H. & R. MULSOW 1997:** Auswertung von Bohrungen in der Altstadt von Rostock. Mitt. Dt. Bodenk. Ges. 84, 171-174.
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (ED.) 1993:** Verfahren zur Festlegung von Umweltstandards. UBA-Texte 55/93. Berlin.
- UNGER, H.-J. & PRINZ, D. 1997:** Bodenbelastung an Straßen mit Schwermetallen und organischen Fremdstoffen. In: ROSENKRANZ et al. Kennz. 7320.
- UVP-VwV 1995:** Verwaltungsvorschrift zur Umweltverträglichkeitsprüfung.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) (ED.) 1997:** Umweltmeteorologie: Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. VDI-Richtlinien, 3787/1. Berlin.
- VEST, M. 1999:** Auswirkungen städtischer und ländlicher Einflussfaktoren auf ein urbanes (Still)Gewässer, dargestellt am Beispiel des Aasees in Münster. Diss. Univ. Münster. Abh. Westfäl. Museum Naturkunde, 61.1. Münster.
- VOGT, J. & M. MEURER 2001:** Umweltqualitätsziele. Ber. z. dt. Landeskunde, 75, 2/3, 293-302. Kopie
- VOGT, K.A. ET AL. (ED.) 1996:** Ecosystems: Balancing Sciences with Management. Berlin u.a. BIB. Geog. 97-666
- VOLLMAYR, H. 1997:** Dynamik von Wasser und Schadstoffen im Boden: Diskrete Simulationsmethoden. UFZ-Ber., 1/1997. Leipzig.
- VOSS, H. 1999:** Nichtlineare statistische Methoden zur Datenanalyse. Diss. Stoffdynamik in Geosystemen, 3. Potsdam. BibGeogr. 00-463
- VÖTT, A., HANDL, M. & H. BRÜCKNER 2002:** Rekonstruktion holozäner Umweltbedingungen in Akarnanien (Nordwestgriechenland) mittels Diskriminanzanalyse von geochemischen Daten. Geologica Palaeontologica, 36, 123-147.
- VRBKA, P. & M. SAUERWEIN 1997:** GW-Qualität und Qualitätsprobleme in ariden Gebieten Afrikas (N-Sudan) - Prinzipien für eine regionale Nachhaltigkeit. Zbl. Geol. Paläont., I, 7/8, 727-728.
- WACKERNAGEL, H. 1995:** Multivariate geostatistics: an introduction with applications. Berlin u.a.
- WAGLER, D. 1996:** Modellierung der Ausbreitung kfz-bedingter Schadstoffe in der Stadt Leipzig. UFZ-Ber., 18/1996. Leipzig.
- WAGLER, D. 2000:** Modellhafte Beschreibung verkehrsbedingter Emissions- und Immissionssituationen bei Suburbanisierungsprozessen und Auswirkungen auf die Belastung städtischer Grün- und Freiflächen. UFZ-Ber., 10/2000. Leipzig.
- WALKER, M.A. 2001:** Kleingartenanlagen als Stoffquelle für das Grundwasser urbaner Gebiete – dargestellt am Beispiel der Stadt Halle (Saale). Dipl.-Arb. Geolog.-Paläontolog. Inst. TU Darmstadt.

- WALOSSEK, W. 2002:** 1025 Jahre und mehr - zur Grundrissentwicklung der Stadt. In: Friedrich, K. & M. Frühauf (Ed.): Halle und sein Umland. Halle. 33-41.
- WANIA, A. & M. FRÜHAUF 2001:** Untersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Varianz von Temperatur und Luftfeuchte im Stadtgebiet von Halle. *Hercynia*, N.F. 34, 13-32. selbst
- WEBER, U. 1991:** Einfluss der Urbanisierung auf den Wasserhaushalt im Raum Aachen. Diss. Aachener Geogr. Arb., 23.
- WEILAND, U. 1999:** Zukunftsfähige und dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung von Stadtregionen – Handlungs- und Forschungsfelder – Herausforderungen für die Umweltplanung. Habil. TU Berlin.
- WEINGARTNER, H. 1994:** Thasos: eine physisch-geographische Synthese. *Salzburger Geogr. Arb.*, 24.
- WEINGARTNER, H., KARNASSIOTI, A. & E. VAVLIAKIS 2001:** Landschaftsdegradation in Nord- und Zentralgriechenland – regionale Beispiele. *Petermanns Geogr. Mitt.*, 145, 2001/4, 56-65.
- WEINMANN, B. 1964:** Die Böden der Insel Kefallinia. *Giessener Abh. Agrar- u. Wirtschaftsforschung d. europäischen Ostens*, 28.
- WELP, G. 2000:** Schwermetalle und organische Schadstoffe in Böden: Gehalte – Sorption und Löslichkeit – Wirkung auf Mikroorganismen. Habil. *Bonner Bodenk. Abh.*, 32.
- WELP, G., HAMER, M., BRÜMMER, G.W. & R. LICHTFUß 1995:** Mobilität und Bindungsformen von Cd, Cr, As und V in urbanen Böden unterschiedlicher Belastung. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 76, 487-490.
- WELP, G., LIEBE, F., HELFRICH, H.-P. & G.W. BRÜMMER 1997:** Anorganische Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 85, 393-396.
- WELP, G., LIEBE, F., HELFRICH, H.-P. & G.W. BRÜMMER 1998:** Anorganische Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens. I. Möglichkeiten der Auswertung mehrmodaler Häufigkeitsverteilungen. *Z. Pflanzenern. Bodenk.*, 161, 205-210.
- WENIKAJTYS, M. & W. BURGHARDT 2002:** Dialeimmasol – Ritzenboden von Gehwegpflastern. *Mitt. Dt. Bodenk. Ges.*, 99, 23-24.
- WENKEL, K.-O. & A. SCHULTZ 1998:** Modellierung von Umweltveränderungen auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen. 51. *Deutscher Geographentag*, 3, 170-187. Kopie
- WERHEIT, M. 2000:** Operationalisierung des Leitbilds einer nachhaltigen Entwicklung auf kommunaler Ebene: der Entwurf eines indikatorgestützten Qualitätsziel- und Monitoringsystems auf der Basis von Stadtstrukturtypen in Halle (Saale). Diss. Univ. Dortmund.
- WESSEL-BOTHE, S. 2002:** Simultaner Transport von Ionen unterschiedlicher Matrixaffinität in Böden aus Löss unter Freilandbedingungen – Messung und Simulation. Diss. *Bonner Bodenk. Abh.*, 38.
- WESSEL-BOTHE, S., PÄTZOLD, S., KLEIN, C., BEHRE, G. & G. WELP 2000:** Adsorption von Pflanzenschutzmitteln und DOC an Saugkerzen aus Glas und Keramik. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 163, 53-56.
- WESOLEK, G. & M. FACKLAM 1997:** Standorteigenschaften und Wasserhaushalt von versiegelten Flächen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 160, 41-46. Kopie selbst
- WESOLEK, G. 2001:** Bodenüberformung und –versiegelung. *Handbuch Bodenk.* Kap. 6.1.
- WESOLEK, M. & M. RENGER 1998:** Bodenwasser- und Grundwasserhaushalt. In: Sukopp, H. & R. Wittig (Ed.): *Stadtökologie*. Stuttgart u.a., 186-200.
- WHITE, R.R. 1994:** *Urban Environmental Management: Environmental Change and Urban Design*. Chichester. *Bib.Geogr.* 95-153.
- WICKOP, E., BÖHM, P., EITNER, K. & J. BREUSTE 1998:** Qualitätszielkonzept für Stadtstrukturtypen am Beispiel der Stadt Leipzig - Entwicklung einer Methodik zur Operationalisierung einer nachhaltigen Stadtentwicklung auf der Ebene von Stadtstrukturen. *UFZ-Ber.* 14/1998. Leipzig.
- WILCKE, W. 2000:** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Soil – a Review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 163, 229-248.
- WILCKE, W., LILIEFEIN, J., LIMA, S. D. C. & W. ZECH 1999:** Contamination of highly weathered urban soils in Uberlândia, Brazil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 162, 539-548.
- WINDE 1996:** Schlammablagerungen in urbanen Vorflutern – Ursachen, Schwermetallbelastung und Remobilisierbarkeit untersucht an Vorflutern der Saaleaue bei Halle. Diss. Univ. Halle.
- WINDE, F. & M. FRÜHAUF 2001:** Sediment- und Schwermetalltransport in städtischen Auengebieten - eine Fallstudie der Saale-Aue bei Halle. *Nova Acta Leopoldina*, NF 84, 319, 23-43. Kopie

- WINDE, F. 1995:** Untersuchungen zur Herkunft der Schlammbelastung von Nebenvorflutern in der halleischen Saale. - Hall. Jb. Geowiss. 17: 35-53.
- WINKLER, M. 1996:** Untersuchungen zur gepflanzten Vegetation und ihrer ökologischen Bedeutung. UFZ-Ber. 5/1996. Leipzig.
- WBB (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT BODENSCHUTZ) 2002:** Denkschrift zum Bodenbewusstsein: Ohne Boden bodenlos.
- WITTIG & SUKOPP 1998:** Was ist Stadtökologie? In: SUKOPP, H. & R. WITTIG: Stadtökologie. Ein Fachbuch für Studium und Praxis. 1-12. Stuttgart u.a.
- WITTIG, R. & H.-C. FRÜND (ED.) 1994:** Stadtökologie: Versuch einer Standortbestimmung. Geobot. Kolloq., 11, Frankfurt.
- WITTIG, R. 1998:** Die ökologische Gliederung der Stadt. In: SUKOPP, H. & R. WITTIG: Stadtökologie. Ein Fachbuch für Studium und Praxis. Stuttgart u.a.
- WITTIG, R. 1999:** Was soll, kann und darf der Naturschutz in der Stadt? Geobotan. Kolloq., 14, 3-6. Frankfurt.
- WITTIG, R. 2002:** Siedlungsvegetation. Ulmer, Stuttgart
- WOLFF, R. 1993:** Erfassung, Beschreibung und funktionale Bewertung der Eigenschaften von Stadtböden am Beispiel Hamburgs. Diss. Hamburger Bodenk. Arb., 21. BibGeogr. 99-415
- XANTHOPOULOS, C. 1998:** Niederschlagsbedingter Stoffeintrag in die Kanalisation. Schriftenr. ISWW Karlsruhe, 85.
- ZAUNER, G. & K. STAHR 1996:** Schwermetalle in Böden - Abgrenzung und Bewertung von anthropogenen Belastungen unter Berücksichtigung der Bindungsformen. Mitt. Dt. Bodenk. Ges., 80, 177-180.
- ZEHNER, K. 2001:** Stadtgeographie. Gotha/Stuttgart.
- ZEIEN, H. 1995:** Chemische Extraktionen zur Bestimmung der Bindungsformen von Schwermetallen in Böden. Diss. Bonner Bodenkundl. Abh., 17.
- ZEPP, H. & MÜLLER, M.J. (ED.) 1999:** Landschaftsökologische Erfassungsstandards. Ein Methodenbuch. Forsch. z. Dt. Landeskunde 244. BibGeogr. Z189-244
- ZHANG, G.-L., BURGHARDT, W., LU, Y. & Z.-T. GONG 2001:** Phosphorus enriched soils of urban and suburban Nanjing and their effect on groundwater phosphorus. J. Plant Nutr. Soil Sci., 164, 295-301.
- ZIERDT, M. & S. DIPPMANN 1995:** Ökologische Stadtstrukturen und Lufthygiene im Stadtgebiet von Halle. Schr.reihe Gesell. Deutschlandforschung, 46, 143-160
- ZIERDT, M. 1997:** Geochemisches Umweltmonitoring. Berlin.
- ZINKE, G. 1995:** Anthropogene Veränderungen der hydrographischen Verhältnisse der Saale im Stadtgebiet von Halle unter besonderer Berücksichtigung der Hochwasserproblematik. Hall. Jb. Geowiss., 17, 21-33.
- ZOLITSCHKA, B. & H. LÖHR 1999:** Geomorphologie der Mosel-Niederterrassen und Ablagerungen eines ehemaligen Altarmsees (Trier, Rheinland-Pfalz): Indikatoren für jungquartäre Umweltveränderungen und anthropogene Schwermetallbelastung. Petermanns Geogr. Mitt., 143, 401-416.

ANHANG

Anhang A: Dokumentation der geoarchäologischen Profile der Grabung „Audimax“

Anhang A-1: Profil „Audimax 3“

Anhang A-2: Profil „Audimax 4“

Anhang A-3: Profil „Audimax 5“

Anhang A-4: Profil „Audimax 6“

Anhang A-5: Profil „Audimax 8“

Anhang A-6: Profil „Audimax 9“

Anhang A-7: Profil „Audimax Brunnen 1“

Anhang A-8: Profil „Audimax Brunnen 2“

Anhang B: Dokumentation der geoarchäologischen Profile der Grabung „Stadtcenter“

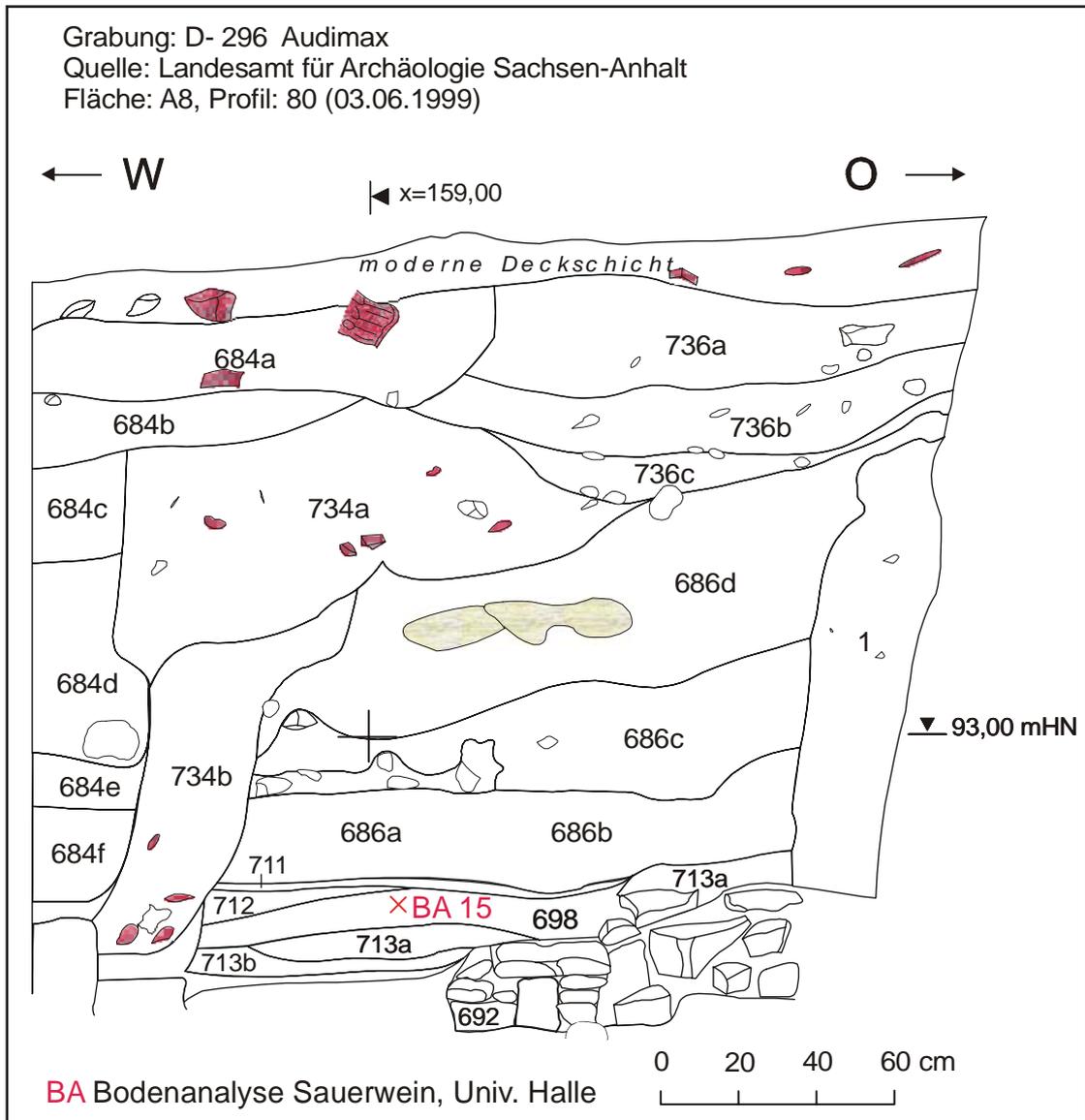
Anhang B-1: Profil „Stadtcenter B“

Anhang B-2: Profil „Stadtcenter D“

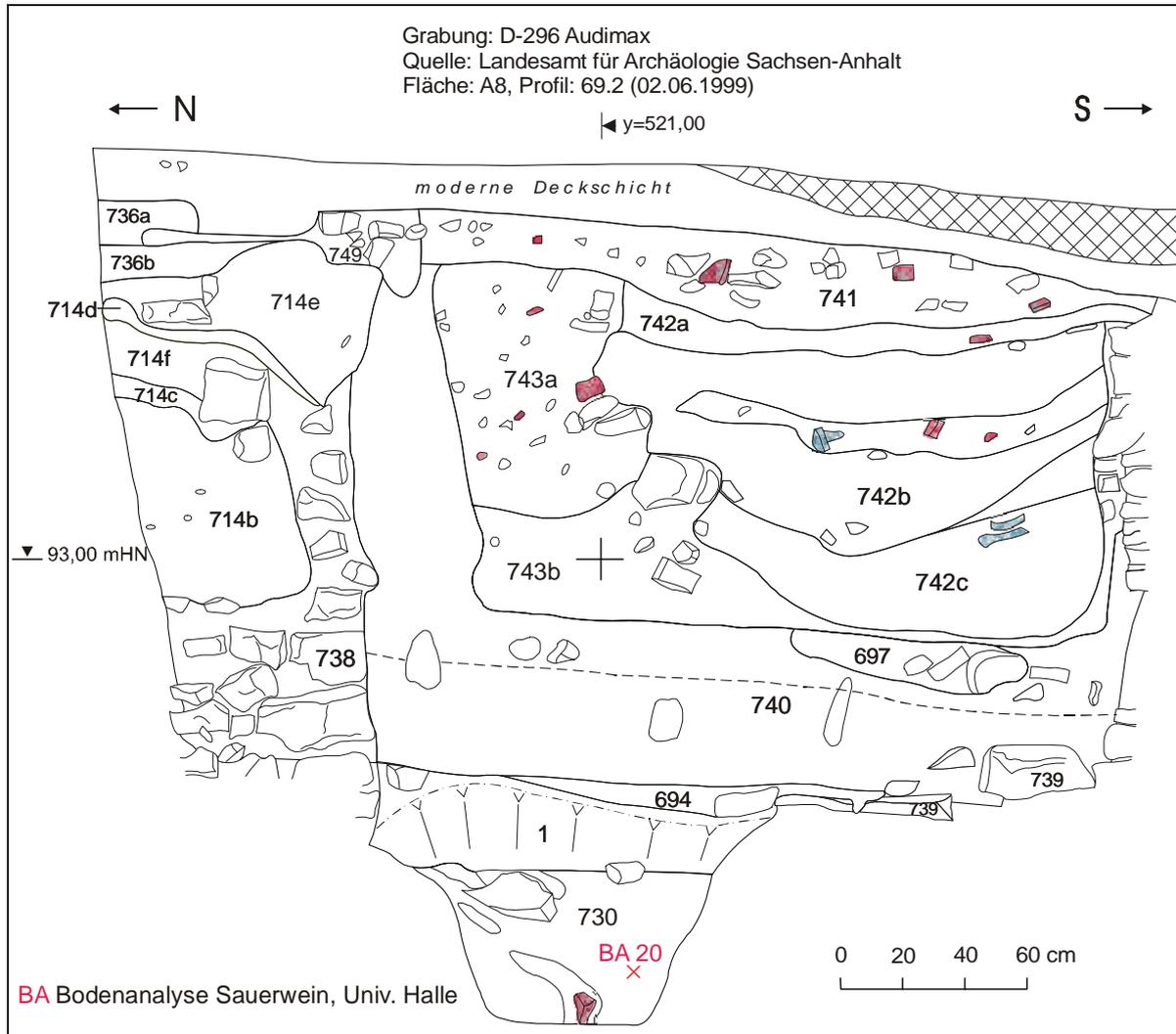
Anhang B-3: Profil „Stadtcenter F“

Anhang B-4: Profil „Stadtcenter H“

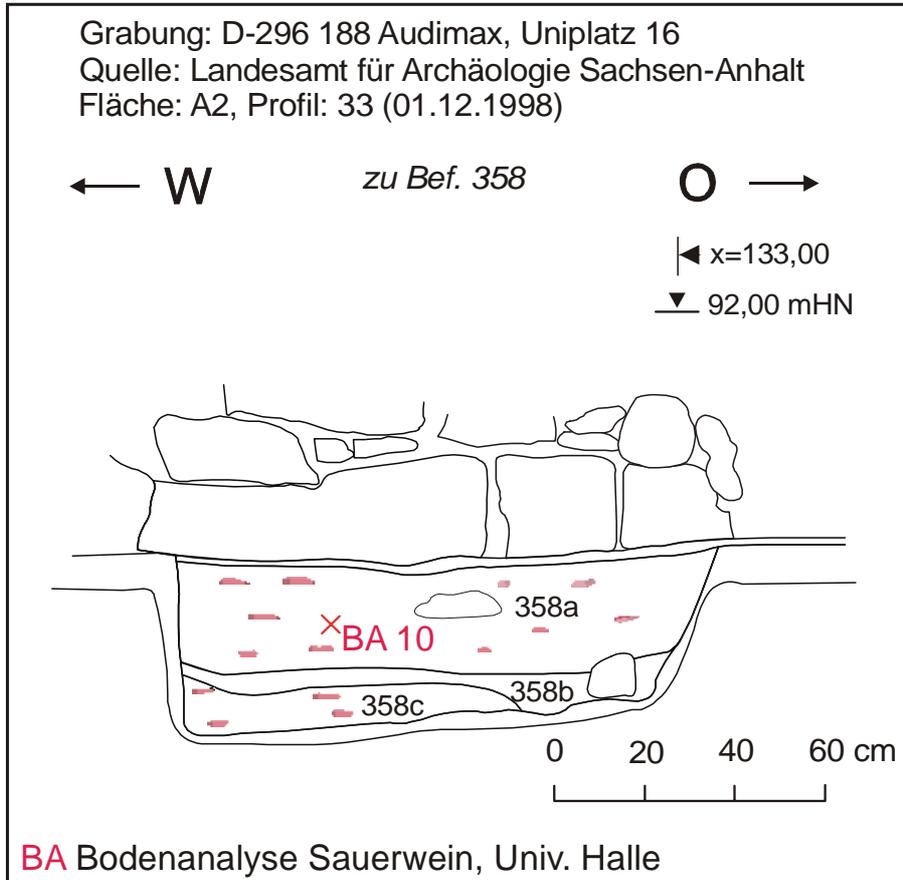
Anhang A-1: Profil „Audimax 3“



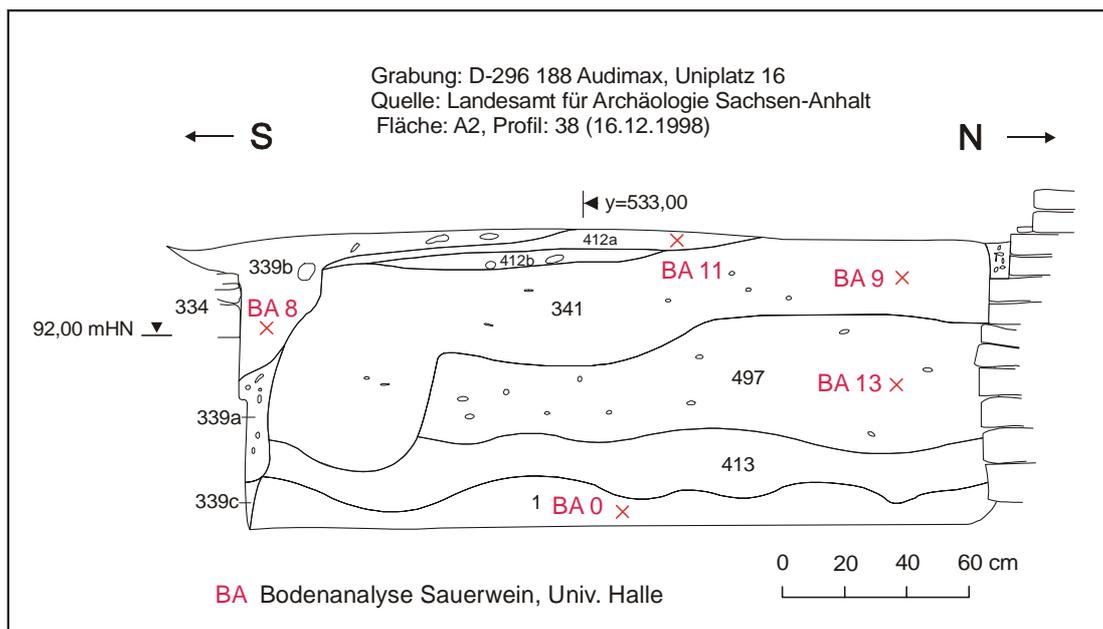
Anhang A-2: Profil „Audimax 4“



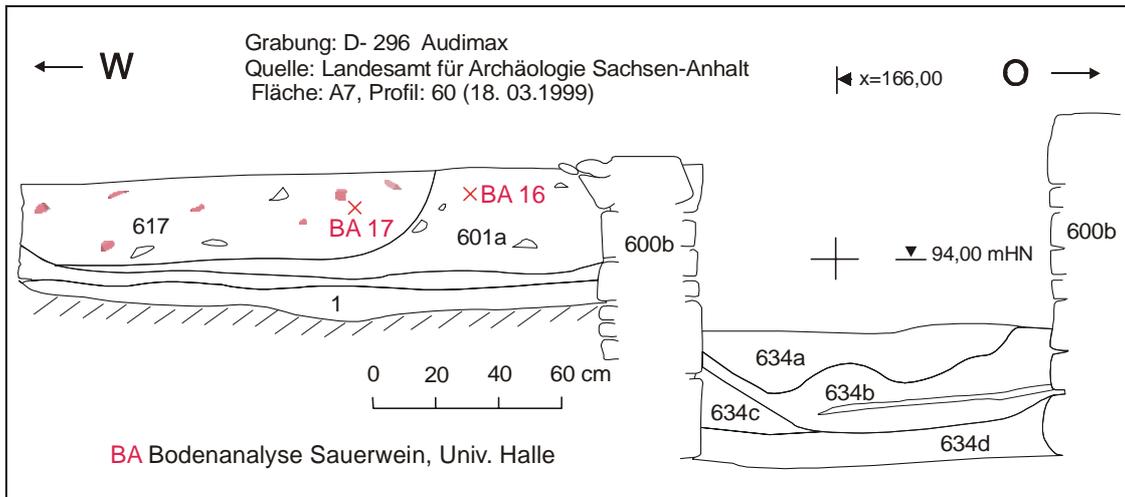
Anhang A-3: Profil „Audimax 5“



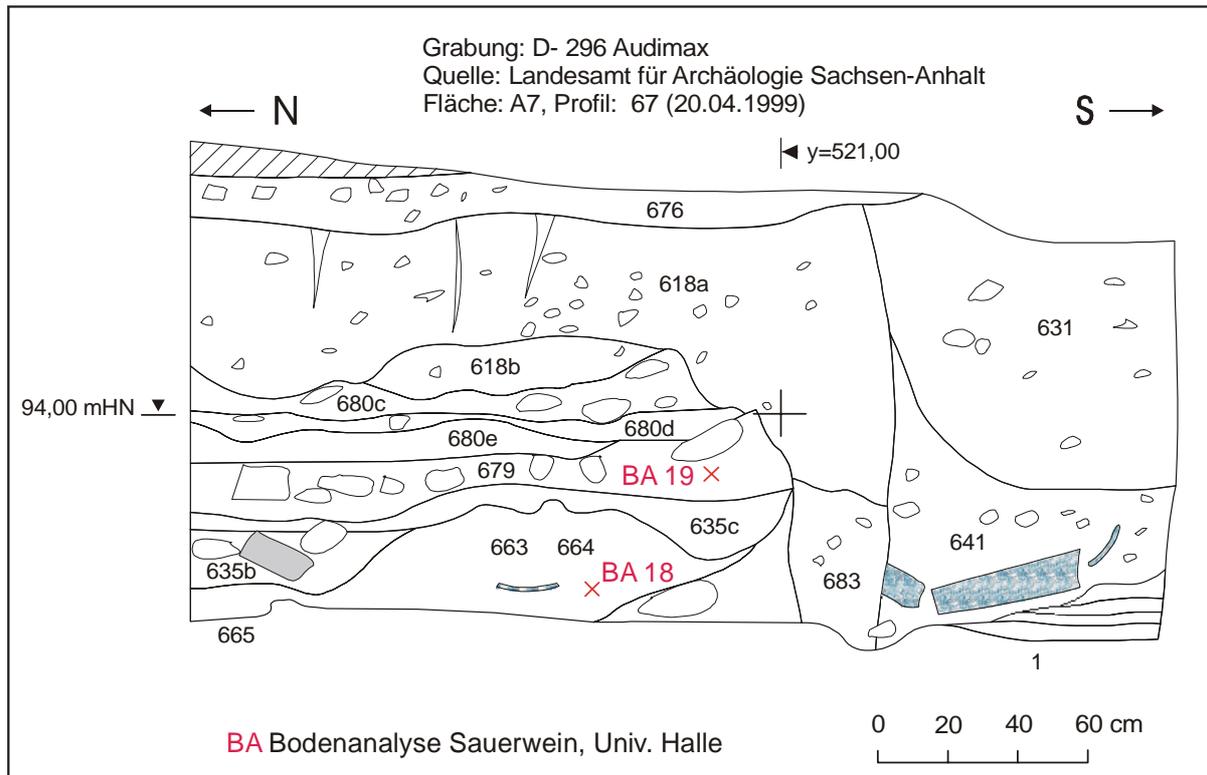
Anhang A-4: Profil „Audimax 6“



Anhang A-5: Profil „Audimax 8“

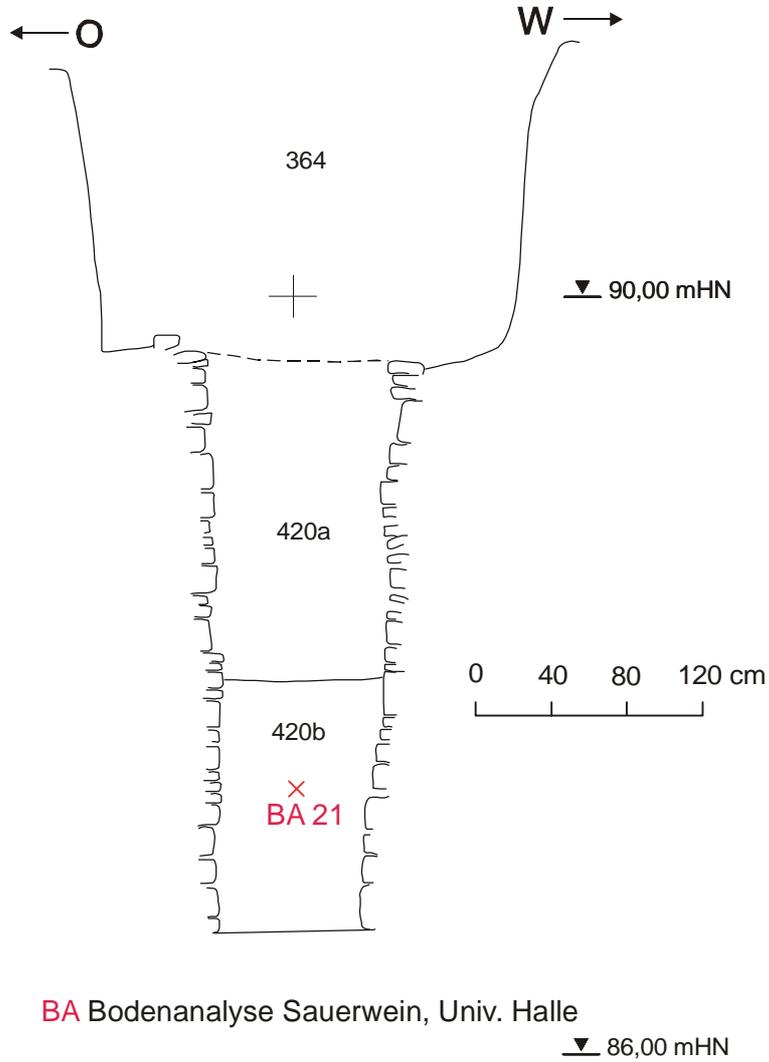


Anhang A-6: Profil „Audimax 9“



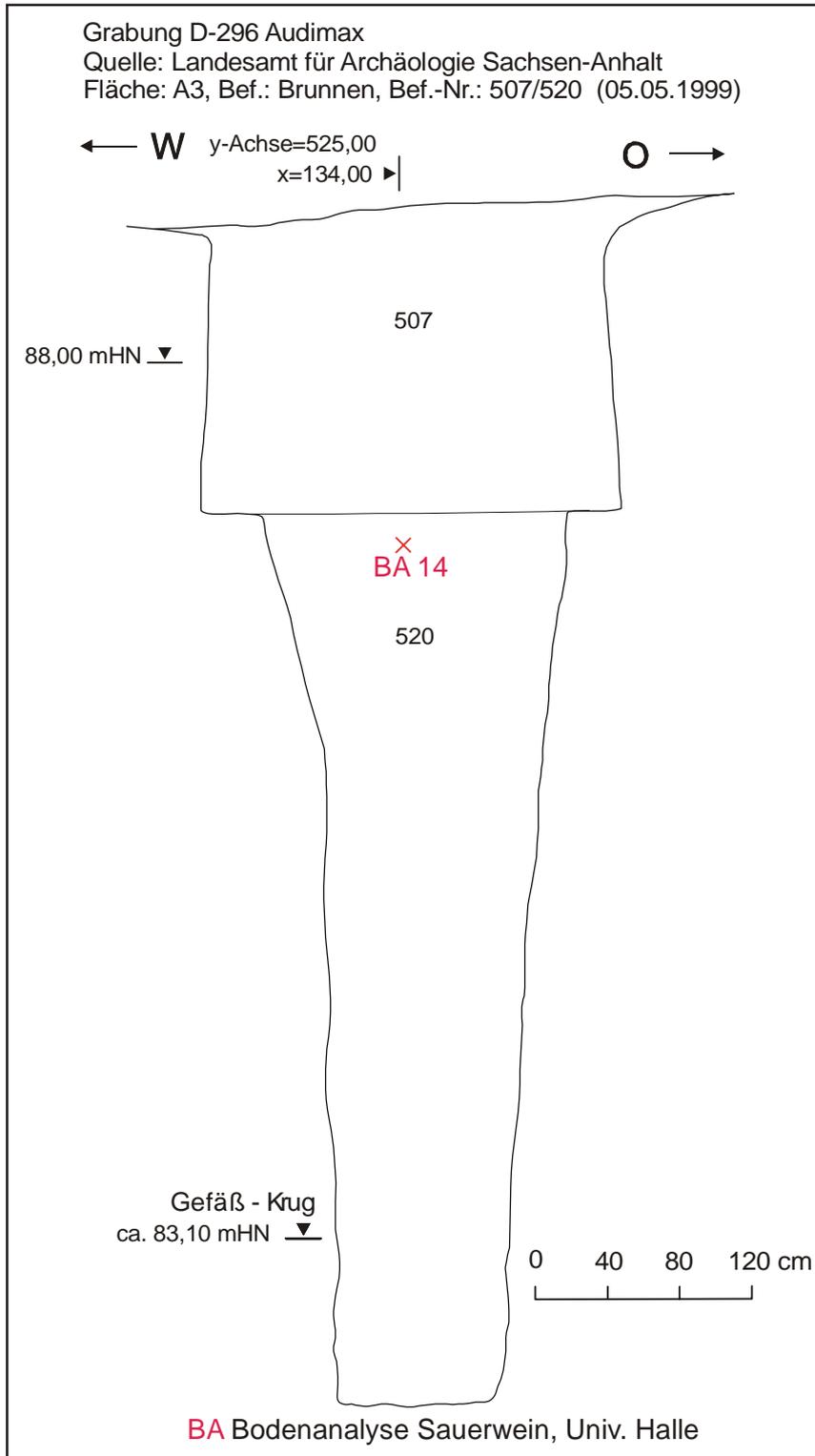
Anhang A-7: Profil „Audimax Brunnen 1“

Grabung D- 296 Audimax
Quelle: Landesamt für Archäologie Sachsen-Anhalt
Fläche: A2, Bef.: Brunnen, Bef.-Nr.: 420 (18.01.1999)

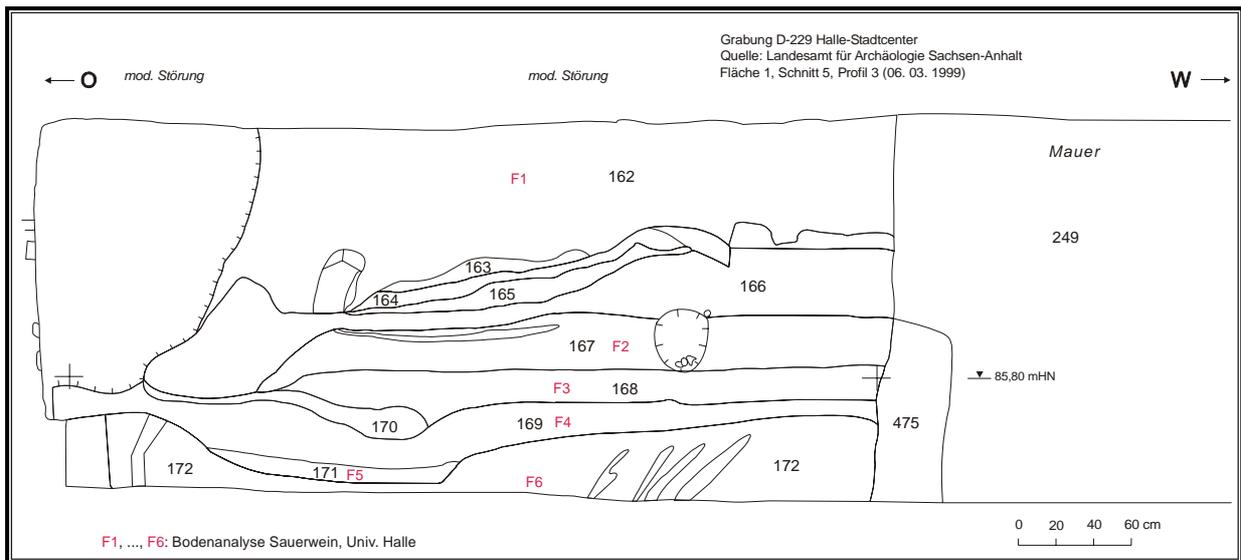


BA Bodenanalyse Sauerwein, Univ. Halle

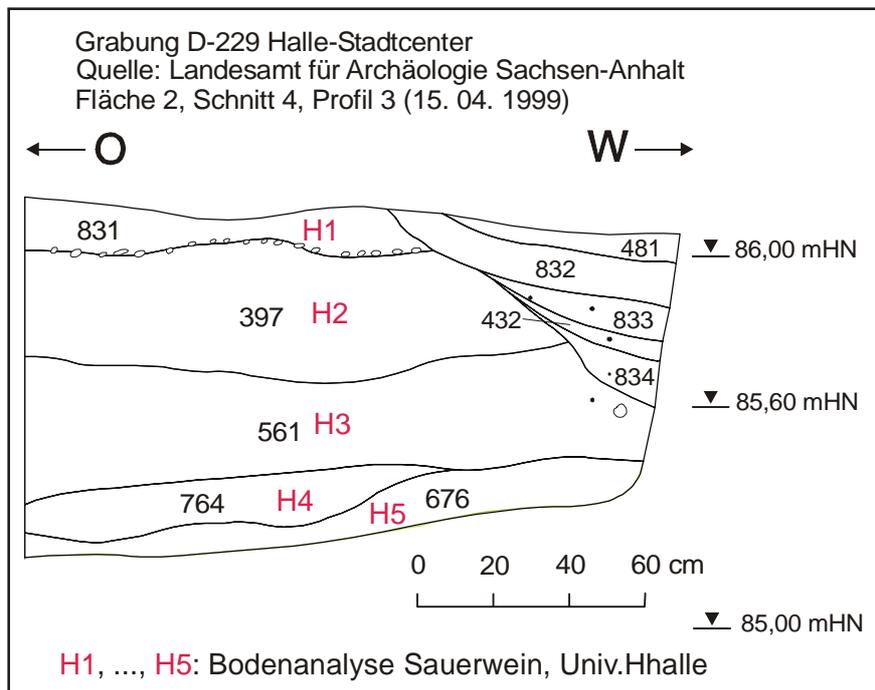
Anhang A-8: Profil „Audimax Brunnen 2“



Anhang B-3: Profil „Stadtcenter F“



Anhang B-4: Profil „Stadtcenter H“



Selbständigkeitserklärung

Hiermit wird bestätigt, dass die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie Zitate und gedankliche Übernahmen kenntlich gemacht wurden.

Halle, 01.04.2004



(Dr. Martin Sauerwein)

Dr. rer. nat. Martin Sauerwein

Arbeitsstelle:

Universität Leipzig

Institut für Geographie

Brüderstr. 14-24

04103 Leipzig

E-Mail: sauerwein.martin@web.de

Urbane Bodenlandschaften - Eigenschaften, Funktionen und Stoffhaushalt der siedlungsbeeinflussten Pedosphäre im Geoökosystem

Habilitationsschrift

Kurzlebenslauf

Angaben zur Person

Dr. rer. nat. Martin Sauerwein

Geburtstag/-ort: 01.11.1967 Darmstadt (Hessen)

Familienstand: verheiratet, 3 Kinder

Staatsangehörigkeit: deutsch

Ausbildungsdaten/Werdegang

Studium 1986 - 1990 Technische Hochschule Darmstadt: Elektrotechnik

1990 - 1994 Technische Hochschule Darmstadt: Lehramt an Gymnasien Geographie & Mathematik, 1. Staatsexamen

Beruflicher Werdegang

05/1994 – 09/1999 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut f. Geographie d. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg in Drittmittelprojekten und als Haushaltsangestellter (Lehrtätigkeit)

09.07.1998 Promotion „Geoökologische Bewertung urbaner Böden am Beispiel von Großsiedlungen in Halle und Leipzig - Kriterien zur Ableitung von Boden-Umweltstandards für Schwermetalle und PAK.“ Universität Halle; Fachbereich Geowissenschaften.

04/1999 – 03/2005 Wissenschaftlicher Assistent (C1) für Geoökologie (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Manfred Frühauf) am Institut f. Geographie d. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

19.12.2004 Verteidigung der Habilitationsschrift, Universität Halle

23.01.2005 Probevorlesung „Wasser als Umweltressource – Probleme der Wasserversorgung und der Wasserqualität in Kalifornien“ (Abschluss des Habilitationsverfahrens)

10/2005 – 03/2006 Lehrkraft für besondere Aufgaben am Institut für Geographie der Friedrich-Schiller-Universität Jena

04/2006 – 09/2007 Vertretungsprofessur W2 Physische Geographie/Bodenkunde, Institut für Geographie, Universität Jena

10/2007 – 04/2008 Vertretungsprofessur W3 Physische Geographie Institut für Geographie, Universität Leipzig