UFZ-UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM LEIPZIG-HALLE GMBH

UFZ-Bericht

UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht

Nr. 4/1999 Dissertation

Bodenbeanspruchung durch Versiegelungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Wasserdurchlässigkeit und der bodenbiologischen Aktivität

Birgit Münchow

ISSN 0948-9452

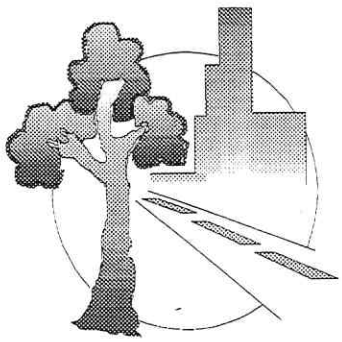
UFZ-Bericht Nr. 4/1999

Stadtökologische Forschungen Nr. 19

Dissertation

Bodenbeanspruchung durch Versiegelungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Wasserdurchlässigkeit und der bodenbiologischen Aktivität

Birgit Münchow



Projektbereich Urbane Landschaften

Bodenbeanspruchung durch Versiegelungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Wasserdurchlässigkeit und der bodenbiologischen Aktivität

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des naturwissenschaftlichen Doktorgrades
im Fach Bodenkunde des Fachbereiches VI Geographie/Geowissenschaften
der Universität Trier

vorgelegt von

Birgit Münchow
aus Osnabrück

1. Gutachter: Prof. Dr. habil. Dietmar Schröder, Trier
2. Gutachter: Prof. Dr. habil. Jürgen Breuste, Leipzig

Tag der letzten mündlichen Prüfung: 16.12.1998

Danksagung

Diese Arbeit wurde am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle im Projektbereich Urbane Landschaften angefertigt und ich bedanke mich für die Möglichkeit, daß ich die Arbeit dort durchführen konnte. Herrn Prof. Dr. habil. Jürgen Breuste als Leiter des Projektbereiches gilt mein besonderer Dank für die Betreuung der Arbeit, für den mir gelassenen Freiraum bei der Bearbeitung und für die Übernahme des Koreferates von Seiten der Universität Leipzig. Herrn Prof. Dr. habil. Dietmar Schröder gilt ebenfalls mein herzlicher Dank für die Überlassung des Themas, die Übernahme der Betreuung seitens der Universität Trier sowie für das Vertrauen, daß er mir während der ganzen Zeit entgegenbrachte. Die ersten beiden Untersuchungsschwerpunkte wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens „Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen" erarbeitet. Für die finanzielle Förderung des Projektes bedanke ich mich beim Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung.

Die Beregnungsversuche wurden in Zusammenarbeit mit Herrn Dr.-Ing. Michael Schramm von der Ingenieurgemeinschaft IWAB durchgeführt. Er stellte mir freundlicherweise die gewonnen Daten sowie die Abbildungen zum zeitlichen Verlauf der Infiltrationsrate der untersuchten Flächenbefestigungen zur Verfügung. Sehr freundlich wurde ich von Frau Dr. habil. Eva-Maria Klimanek und ihren Mitarbeiterinnen in der Sektion Bodenforschung aufgenommen. Dort konnte ich die bodenbiologischen Arbeiten durchführen und erhielt Unterstützung bei verschiedenen Analysen. Frau Ursula Winkler, Herr Dr. Helko Borsdorf und Herr Jürgen Steffen von der Sektion Analytik übernahmen die Analysen der organischen und anorganischen Schadstoffe. Herr Dr. Thomas Keidel erstellte die vielen Versiegelungskarten. Herr Bernhard Bauer und Herr Dr. Ulrich Müller stellten mir die Klimadaten zur Verfügung. Frau Dr. Beate Keplin laß die Arbeit Korrektur und war stets offen für Fragen, die die bodenzoologischen Arbeiten betrafen. Hilfreiche bodenzoologische Tips erhielt ich auch von Dr. habil. Christoph Emmerling, der ebenfalls Teile des Manuskriptes durchsah. In allen Phasen der Arbeit konnte ich auf die freundschaftliche und hilfreiche Unterstützung von Herrn Dr. Guido Schulte zählen. Bei allen genannten Kollegen und Freunden möchte ich mich ganz herzlich für die Unterstützung bei der Durchführung und Fertigstellung dieser Arbeit bedanken

Für die freundschaftliche Arbeitsatmosphäre im Projektbereich Urbane Landschaften möchte ich mich ganz herzlich bei den „Projektbereichlern" Sandra, Holger, Hilde, Bernhard, Monika, Thomas, Ogarit, Raimund, Evi, Peter, Harriet, Frau Karin Große, Frau Marlis Uhlig und Herrn Jürgen Breuste bedanken.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis
Tabellenverzeichnis

1. Einleitung und Zielsetzung 1

2. Literaturübersicht 3
2.1 Begriffsbestimmung Bodenversiegelung 3
2.2 Erhebungsmethoden zur Erfassung der Bodenversiegelung 5
2.3 Untersuchungen zum Versickerungsverhalten durchlässig befestigter Flächen 11
2.4 Bewertungsmethoden und -kriterien zur Bodenver- und -entsiegelung 20
2.5 Bodenversiegelung und bodenbiologische Aktivitäten 24

3. Untersuchungsschwerpunkte 28

3.1 Versiegelungserhebungen in ausgewählten Stadtstrukturtypen 28
3.1.1 Stadtstrukturtypen 28
3.1.2 Methodik 32
3.1.3 Detailkartierung in Leipzig 36
3.1.4 Detailkartierung in Dresden 46
3.1.5 Handlungsempfehlungen 53
Versiegelungskarten

3.2 Wasserdurchlässigkeit verschiedener Flächenbefestigungen 60
3.2.1 Beregnungsversuche 60
3.2.2 Bewertungskonzept 70
3.2.2.1 Bewertungskriterien 72
3.2.2.2 Bewertungsrahmen 77
3.2.2.3 Fallbeispiele 84
Flächenbefestigungssteckbriefe

3.3 Bodenbiologische Aktivitäten von teilversiegelten Böden 98
3.3.1 Untersuchungsstandorte 98
3.3.2 Methoden 102
3.3.2.1 Bodenmikrobiologische Methoden 102
3.3.2.2 Bodenzoologische Methoden 104
3.3.2.3 Bodenchemische Methoden 104
3.3.2.4 Statistische Verfahren 106
3.3.3 Bodenmikrobiologische Aktivitäten 107
3.3.4 Besiedlungsdichte der Collembolen 114
3.3.5 Schadstoffbelastung 116
3.3.6 Zusammenhänge zwischen den Parametern 124
3.3.7 Diskussion 132

4. Zusammenfassung 144

5. Literaturverzeichnis 147

Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ausgewählte Stadtstrukturtypen 30
Abb. 2: Ausmaß der Bodenversiegelung in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (Mittelwerte) 39
Abb. 3: Prozentualer Anteil ausgewählter Nutzungsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (Mittelwerte) 41
Abb. 4: Prozentualer Anteil ausgewählter Belagsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (Mittelwerte) 42
Abb. 5: Prozentualer Anteil ausgewählter Belagsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (Mittelwerte) 42
Abb. 6: Prozentualer Anteil ausgewählter Entwässerungsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (Mittelwerte) 45
Abb. 7: Ausmaß der Bodenversiegelung in den Stadtstrukturtypen in Dresden (Mittelwerte) 46
Abb. 8: Prozentualer Anteil ausgewählter Nutzungsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Dresden (Mittelwerte) 49
Abb. 9: Prozentualer Anteil ausgewählter Belagsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Dresden (Mittelwerte) 50
Abb. 10: Prozentualer Anteil ausgewählter Belagsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Dresden (Mittelwerte) 51
Abb. 11: Prozentualer Anteil ausgewählter Entwässerungsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Dresden (Mittelwerte) 52
Abb. 12: Prozentualer Anteil unversiegelter Böden an der Gesamtfläche in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (Mittelwerte bezogen auf die Blockfläche) 53
Abb. 13: Gealterte Pflaster- und Plattenbeläge und neues Betonverbundpflaster 62
Abb. 14: Neuere Flächenbefestigungen 63
Abb. 15: Wassergebundene und kunstharzgebundene Decke, Gesamtansicht Beregnungsanlage, geöffnete Flächenbefestigung 64
Abb. 16: Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate bei gealterten Pflaster- und Plattenbelägen sowie neuem Verbundpflaster 65
Abb. 17: Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate bei wassergebundenen Decken und einer kunstharzgebundenen Decke 66
Abb. 18: Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate bei Betonsteinpflaster mit Sickeröffnungen 67
Abb. 19: Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate bei Rasengittersteinen 68

Abb. 20: Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate bei Betonsteinpflaster mit Rasenfugen ... 68
Abb. 21: Gegenüberstellung der prozentualen Anteile der abschlämmbaren Teilchen im Fugenmaterial und im Sandbett der gealterten Pflaster- und Plattenbeläge ... 73
Abb. 22: Gegenüberstellung der prozentualen Anteile der C_{org}-Gehalte im Fugenmaterial und im Sandbett der gealterten Pflaster- und Plattenbeläge ... 74
Abb. 23: Diagramm zur Erfassung der Jahresniederschlagshöhe in % ... 81
Abb. 24: Fallbeispiel 1 - Detailkartierung und übertragende Endinfiltrationsraten ... 85
Abb. 25: Fallbeispiel 1 - Belagswechsel ohne bzw. mit Nutzungsänderung ... 87
Abb. 26: Fallbeispiel 1 - Niederschlagsereignis mit geringer Intensität ... 88
Abb. 27: Fallbeispiel 1 - Niederschlagsereignis mit mittlerer und hoher Intensität ... 89
Abb. 28: Fallbeispiel 2 - Flächenversickerung bei verschiedenen bzw. optimierten Flächenbefestigungen ... 93
Abb. 29: Fallbeispiel 2 - Kanalisationsentlastung bei verschiedenen bzw. optimierten Flächenbefestigungen ... 95
Abb. 30: Fallbeispiel 3 - Minderung der jährlichen Niederschlagsversickerung ... 97
Abb. 31: Rasengittersteinparkplätze ... 100
Abb. 32: Klimadiagramm Leipzig-UFZ ... 101
Abb. 33: Mikrobielle Biomasse - Parkplätze ... 107
Abb. 34: Mikrobielle Biomasse - Grünflächen ... 107
Abb. 35: Basalatmung - Parkplätze ... 108
Abb. 36: Basalatmung - Grünflächen ... 108
Abb. 37: DMSO-Reduktase - Parkplätze ... 109
Abb. 38: DMSO-Reduktase - Grünflächen ... 109
Abb. 39: ß-Glucosidaseaktivität ... 110
Abb. 40: Metabolischer Quotient - Parkplätze ... 110
Abb. 41: Metabolischer Quotient - Grünflächen ... 111
Abb. 42: C_{mic}/C_{org}-Verhältnis ... 111
Abb. 43: Gruppen der Mikroorganismen in % der Gesamtkeimzahl ... 113
Abb. 44: Abundanzen - Parkplätze ... 114
Abb. 45: Abundanzen - Grünflächen ... 115
Abb. 46: Leuchtbakterientest ... 116
Abb. 47: Mineralölkohlenwasserstoffe ... 117
Abb. 48: Summe der PAK aus der EPA-Prioritätenliste ... 118
Abb. 49: Summe der PAK nach dem Niederländischen Leitfaden zur Bodenbewertung und Bodensanierung ... 118

Abb. 50: Benzo(a)-pyren Gehalte 119
Abb. 51: Fluoranthen Gehalte 119
Abb. 52: Königswasserlösliche Schwermetalle 120
Abb. 53: Ammoniumnitratextrahierbare Schwermetalle 123

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Versiegelungsfaktoren nach Meßtischblattsignaturen 6
Tab. 2: Versiegelungstreue von Wohnbebauungen in Hamburg 7
Tab. 3: Versiegelungsarten unter hydrologischen Aspekten 8
Tab. 4: Durchschnittliche Gesamtversiegelungsgrade der Strukturtypen 10
Tab. 5: Versickerungsfreundlichkeit verschiedener Pflasterarten im Laborversuche 11
Tab. 6: Versickerungsfreundlichkeit verschiedener Pflasterarten unter Freilandbedingungen 12
Tab. 7: Versickerungs- und Oberflächenabfluß verschiedener Pflasterarten im Langzeitversuch 13
Tab. 8: Befestigungseigenschaften und Versickerungsverhalten von Kleinpflastern 13
Tab. 9: Befestigungseigenschaften und Versickerungsverhalten von Betonsteinpflastern 14
Tab. 10: Befestigungseigenschaften und Versickerungsverhalten von Grandbefestigungen 14
Tab. 11: Wasserdurchlässigkeit der untersuchten Beläge 15
Tab. 12: Untersuchungsergebnisse an den drei Gruppen zugeordneten Belägen 16
Tab. 13: Untersuchungsstandorte 16
Tab. 14: Abflußbeiwerte der untersuchten Pflasterflächen nach 15-minütiger Infiltration 17
Tab. 15: Abflußbeiwerte der untersuchten Pflasterflächen nach 60-minütiger Infiltration 17
Tab. 16: Abflußkoeffizienten einer 30-minütigen Beregnung 18
Tab. 17: Abflußbeiwerte nach DIN 1986 20
Tab. 18: Gegenüberstellung von Bodenkennwert und Abflußbeiwert 21
Tab. 19: Übersicht über die Belagsklassen 22
Tab. 20: Ausgewählte Stadtstrukturtypen für die Detailkartierung 28
Tab. 21: Kartierungsschlüssel 32
Tab. 22: Erläuterungen zum Versiegelungsarten-Schlüssel 33
Tab. 23: Kartierungsblatt für die Detailkartierung 35

Tab. 24: Versiegelungsgrad und prozentualer Anteil der einzelnen Flächennutzungen an der Gesamtfläche in den Untersuchungsgebieten in Leipzig 37
Tab. 25: Versiegelungsgrad und prozentualer Anteil der einzelnen Flächennutzungen an der Gesamtfläche in den Untersuchungsgebieten in Dresden 47
Tab. 26: Vergleich der durchschnittlichen Versiegelungsgrade verschiedener Stadtstrukturtypen in Dresden 48
Tab. 27: Untersuchungsstandorte 61
Tab. 28: Richtwerte für die Oberbaumächtigkeit bei ausreichend wasserdurchlässigem und frostsicherem Untergrund 71
Tab. 29: Richtwerte für die Oberbaumächtigkeit bei nicht ausreichend wasserdurchlässigem und frostsicherem Untergrund 71
Tab. 30: Mittlere Endinfiltrationsrate und Infiltrationskapazität 75
Tab. 31: Beispiel für die Gesamtabflußbeiwerte der untersuchten Flächenbefestigungen für verschiedene Intensitätsstufen und Regenzeiträume 76
Tab. 32: Wasserwirtschaftliche Kennwerte 77
Tab. 33: Abflußbeiwerte nach ATV A 118 78
Tab. 34: Abflußbeiwerte nach ATV A 138 78
Tab. 35: Bewertungsrahmen „Entlastung der Kanalisation nach ATV A 118“ 79
Tab. 36: Bewertungsrahmen „Eignung für eine Flächenversickerung nach ATV A 138“ 79
Tab. 37: Zusammenhang zwischen Regenspenden und Jahresniederschlagshöhe für Hamburg 81
Tab. 38: Bewertungsrahmen „Potentielle Minderung der jährlichen Niederschlagsversickerung“ 82
Tab. 39: Standorteigenschaften der Rasengittersteinböden und der Böden unter Rasennutzung 98
Tab. 40: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für ausgewählte Parameter der Rasengittersteinböden 124
Tab. 41: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für ausgewählte Parameter der unversiegelten Böden 124
Tab. 42: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die mikrobiellen Parameter der Rasengittersteinböden über alle Untersuchungstermine 125
Tab. 43: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die mikrobiellen Parameter der unversiegelten Böden über alle Untersuchungstermine 126
Tab. 44: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die Abundanzen der Collembolen mit ausgewählten Parametern über alle Untersuchungstermine 126

Tab. 45: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die Abundanzen der Collembolen mit mikrobiellen Parametern über alle Untersuchungstermine 127
Tab. 46: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die Summen der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (SumPAK), für die Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) und für die königswasserlöslichen Schwermetalle mit ausgewählten Parametern der Rasengittersteinböden 128
Tab. 47: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die mobilen Schwermetalle mit ausgewählten Parametern der Rasengittersteinböden 129
Tab. 48: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die Summen der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (SumPAK), für die Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) und für die königswasserlöslichen Schwermetalle mit ausgewählten Parameter der unversiegelten Böden 129
Tab. 49: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die mobilen Schwermetalle mit ausgewählten Parametern der unversiegelten Böden 130
Tab. 50: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für den Leuchtbakterientest mit ausgewählten Schadstoffen 131

Tabellen im Anhang

Tab. 51: Prozentualer Anteil der Nutzungsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Leipzig

Tab. 52: Prozentualer Anteil der Belagsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Leipzig

Tab. 53: Prozentualer Anteil der Entwässerungsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Leipzig

Tab. 54: Prozentualer Anteil der Nutzungsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Dresden

Tab. 55: Prozentualer Anteil der Belagsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Dresden

Tab. 56: Prozentualer Anteil der Entwässerungsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Dresden

Tab. 57: Gesamtabflußbeiwerte der untersuchten Flächenbefestigungen für verschiedene Intensitätsstufen und Regenzeiträume

Tab. 58: Mikrobielle Biomasse (µgCmic/gTS/h)

Tab. 59: Basalatmung (μCO_2/gTS/h)

Tab. 60: DMSO-Reduktase (ng DMS/gTS/h)

Tab. 61: Metabolischer Quotient (ng CO_2-C/µgCmik/h)

Tab. 62: ß-Glucosidaseaktivität (µg Saligenin/g/TS/3h)

Tab. 63: Cmic/Corg-Verhältnis (%)

Tab. 64: Keimzahlen der Bakterien (*100000), der Aktinomyceten (*100000) und der Pilze (*100)

Tab. 65: Abundanzen der Collembolen (Individuen/m^2)

Tab. 66: Hemmungswerte (%) des Leuchtbakterientests

Tab. 67: PAK-Gehalte (µg/kg)

Tab. 68: Summe der Mineralölkohlenwasserstoffe (mg/kg TS)

Tab. 69: Königswasserlösliche Schwermetalle (mg/kg)

Tab. 70: Ammoniumnitratlösliche Schwermetalle (mg/kg)

1. Einleitung und Zielsetzung

Einen bedeutenden Eingriff in den Naturhaushalt des Bodens stellt die Oberflächenversiegelung dar. Nach LERSNER (1989) ist hierzulande, wo Versteppung und Versalzung keine große Rolle spielen, die radikalste ökologische Schädigung des Bodens die Überbauung. Durch diese Bodenveränderungen wird die Bodenhorizontierung gestört und verschiedene Bodenfunktionen vernichtet bzw. stark verändert. Die Bodenversiegelung beeinträchtigt vor allem die Filter-, Puffer- und Transformatoreigenschaften der Böden, den Wasser- und Nährstoffhaushalt sowie den Lebensraum für Flora und Fauna. Da die Pedosphäre eine zentrale Stellung in der Ökosphäre einnimmt, führt die Beeinträchtigung der Multifunktionalität von Böden durch Versiegelungsmaßnahmen zu vielfältigen Folgewirkungen (WESSOLEK, 1988). Böden in urbanen Räumen sind verschiedenen nutzungsbedingten Einflüssen ausgesetzt. Durch die menschliche Aktivität werden neue Oberflächen geschaffen, die durch ihren spezifischen Aufbau und ihre Nutzung geprägt sind. Daraus folgend treten Unterschiede in den Eigenschaften von Flächenbefestigungen auf. In der vorliegenden Arbeit soll der Bodenbeanspruchung durch Versiegelungsmaßnahmen anhand verschiedener Untersuchungsschwerpunkte nachgegangen werden. Das Forschungsprojekt „Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen", gefördert durch das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, bot den Anlaß und Rahmen für die Bearbeitung dieser Thematik.

Im ersten Teil der Arbeit wird untersucht, wie sich das Ausmaß der Bodenversiegelung im urbanen Raum darstellt. Hierfür werden in den Städten Leipzig und Dresden in ausgewählten Stadtstrukturtypen Versiegelungserhebungen durchgeführt. Diese Bestandsanalyse wird unter besonderer Berücksichtigung der Flächennutzung, der Belagsart und der Entwässerung der Flächen vollzogen. Ausgehend von dieser Detailkartierung sollen Aussagen zur Freiflächensituation in den Stadtstrukturtypen getroffen werden. Anhand der gewonnenen Ergebnisse wird die Dringlichkeit von Maßnahmen für eine Sicherung der unversiegelten Böden und für das Belagsänderungs- und Entsiegelungspotential von versiegelten Böden ermittelt.

Ein wichtiger Aspekt der Bodenversiegelung ist die negative Beeinflussung der natürlichen örtlichen Versickerung des Niederschlags. Die Folge dieser Beeinträchtigung ist ein erhöhter Oberflächenabfluß. Auf der Grundlage von Ergebnissen aus Beregnungsversuchen soll im zweiten Untersuchungsschwerpunkt beurteilt werden, inwieweit unterschiedliche Flächenbefestigungen diesem Prozeß entgegenwirken können. Insbesondere soll der Frage nachgegangen werden, welchen Einfluß die Alterung, die Konstruktion und die Nutzungsintensität der ausgewählten Materialien auf die Wasserdurchlässigkeit haben. Die mit Hilfe dieser Experimente gewonnenen Erkenntnisse über das Infiltrationsverhalten und die Abflußeigenschaften der Flä-

chenbefestigungen bilden die Basis für die Entwicklung eines Bewertungskonzeptes. Dieses Konzept soll anhand von verschiedenen Fallbeispielen erprobt werden.

Im dritten Untersuchungsschwerpunkt soll am Beispiel von fünf mit Rasengittersteinen befestigten Parkplätzen die bodenbiologische Aktivität erfaßt werden. Um Aussagen über die Auswirkungen der anthropogenen Einflußfaktoren treffen zu können, werden unterschiedlich stark frequentierte Rasengittersteinböden auf ihre Belebtheit hin untersucht. Zudem soll der Frage nachgegangen werden, ob sich die Lebensbedingungen der Bodenorganismen mit zunehmendem Alter der Flächen ändern. Zur Charakterisierung der typischen Streß- und Störungsfaktoren, die auf die bodenbiologische Aktivität dieser Flächen einwirken können, werden die unversiegelten Böden der benachbarten städtischen Grünflächen in die Untersuchung mit eingebunden. Neben der Erfassung der bodenmikrobiologischen Aktivität wird ermittelt, ob diese besonderen städtischen Böden von Collembolen als Vertreter der hemi- und euedaphisch lebenden Bodenfauna als Lebensraum angenommen werden. Weitere Erkenntnisse über die Umwelteinflüsse, die eine Wirkung auf diese Böden und ihre Bodenorganismen ausüben können, sollen über die Erhebung der Schadstoffbelastungen abgeleitet werden.

2. Literaturübersicht

2.1 Begriffsbestimmung Bodenversiegelung

Nach BÖCKER (1985) bedeutet Bodenversiegelung, daß offener Boden sehr stark verdichtet und mit impermeablen Substanzen wie Teer, Beton oder Gebäuden bedeckt wird. Die Austauschvorgänge zwischen Boden und Atmosphäre, die sowohl den abiotischen Bereich - wie Versickerung, Verdunstung von Bodenwasser und Luftaustauschprozesse - als auch den biotischen Bereich betreffen, werden unterbunden. Anders als BÖCKER (1985), der die Bodenversiegelung ausschließlich als Vollversiegelung sieht d.h. mit impermeablen Substanzen gleichsetzt, werden von BURGHARDT (1993) drei Formen der Versiegelung unterschieden:

- Vollversiegelung, (horizontale und vertikale) z.B. durch Straßen, Plätze, Flughäfen, Gebäude, Kanäle, Decken auf Altstandorten und Altablagerungen,
- Teilversiegelung, z.B. durch Pflasterung, Gehwegplatten und Rasensteine,
- Unterflurversiegelung, z.B. durch Tiefgaragen, Straßentunnel, U-Bahntunnel, verschüttete Kellersohlen, Leitungsschächte, Sperrschichten über Deponien, Altstandorte mit Bodenüberdeckung, Friedhöfe bei dichter Belegung.

Das Vorliegen einer Vollversiegelung ist anhand ihrer Wirkung festzulegen. Als Orientierungswert wird eine Mindestbreite der versiegelten Fläche von 1 m vorgeschlagen. Eine Teilversiegelung liegt vor, wenn eine Fläche in kurzen Abständen durch durchlässige Bereiche unterteilt wird. Hierbei beträgt die Breite der durch Platten etc. versiegelten Flächen weniger als 1 m.

PIETSCH u. KAMIETH (1991, S. 119) schlagen eine operable Versiegelungsdefinition vor, welche auf hydrologischen und quantitativen Grenzwerten beruht: "Konstellation von Zuständen und Eigenschaften von Oberflächen (Böden) werden Versiegelung genannt, wenn sie während der Vegetationsperiode folgende Durchschnittswerte über- oder unterschreiten:

- Oberflächenabfluß > 30 % des Jahresniederschlags und abgeleitet in technisch geprägten Vorfluter,
- Evapotranspiration < als die von unbewachsenem Sandboden (ca. 25-30 %)
- Die „Versiegelung“ (betroffene Fläche) sei > 25 m^2 oder kleinere Teilflächen umfassen mehr als 2/3 einer Bezugseinheit."

Nach BERLEKAMP u. PRANZAS (1990, 1992) hat sich in der Praxis eine maßstabsorientierte Begriffsbestimmung der urbanen Versiegelung bewährt, die eine rein quantitativ-deskriptive

Betrachtungsweise von Versiegelungsgraden (Flächenanteile versiegelter Oberflächen) mit einer qualitativ-funktionalen Sicht der Versiegelungsarten (Eigenschaften versiegelter Flächen und Räume) verbindet. Bodenversiegelung kann danach für kleinere Erhebungsmaßstäbe im Grundsatz definiert werden als eine - auch teilweise - Isolierung des Bodens (Pedosphäre) und gegebenenfalls auch des Festgesteins (Lithosphäre) von Atmo-, Hydro- und Biosphäre. Diese Isolierung kann durch Ab- und Verdichtung, Aufschüttungen bzw. -füllungen sowie unterirdische Baukörper entstanden sein.

Auf größerer Maßstabsebene wird der Begriff der Bodenversiegelung aus funktionaler Sicht konkretisiert. Da unterschiedliche Baumaterialien und Konstruktionsweisen durch ihre materialspezifischen Merkmale wie Porosität, Fugenanteil, Farbe, Stoffbestand einerseits und nutzungsabhängige Einflüsse wie Verdichtungen, Emissionen andererseits den Grad der Isolierung des Bodens beeinflußen. Außerdem wird das Ausmaß der quantitativen und qualitativen Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen durch die obengenannten Faktoren bestimmt.

In Anlehnung an den in der Bodenkunde angewandten Begriff der Bodenform wird von MOHS u. MEINERS (1993) der Begriff der Versiegelungsform angeführt, welcher die Kombination aus Versiegelungsart (eingesetzte Baustoffe und bauliche Ausführungen) und spezifischer Nutzung bezeichnet.

In städtisch-industriellen Verdichtungsräumen werden versiegelte Böden von BLUME (1993) als Bodenform neben den veränderten Böden natürlicher Entwicklung und den Böden anthropogener Aufträge eingeordnet. Diese (Rest)Böden unter totaler Versiegelung (Gebäude, Teerstraßen) werden als fossiliert bezeichnet. Bei poröser Versiegelung (unter Pflaster, Schlacke) bleiben hingegen Atmosphärilien wirksam. Eine hohe Versiegelung städtischer Oberflächen wird aus bodenhydrologischer Sicht als anthropogene Krustenbildung aufgefaßt (RENGER, 1993).

In den Hemerobiestufen von BLUME U. SUKOPP (1976), die die Abstufungen verschiedener Landnutzungsformen nach dem Grad des Kultureinflusses auf Ökosysteme beschreiben, fallen teilversiegelte Flächen wie z.B. gepflasterte Wege oder geschotterte Gleisanlagen in die Hemerobiestufe polyhemerob. Dies bedeutet, daß die Biozönosen stark dezimiert und die Biotope anhaltend stark verändert sind. Durch die anthropogene Einwirkungen sind der Streuabbau, die Bioturbation, die Durchwurzelbarkeit und die Durchlüftung stark vermindert und es fehlt ein O- und Ah-Horizont. Die vollständig versiegelten Flächen wie z.B. Gebäude und Teerdecken werden als metahemerob bezeichnet. Diese anthropogene Einwirkung bedeutet eine völlige Vernichtung der Biozönosen. Eine Ausweitung des Entsiegelungsbegriffes

fordert WIRTH (1988). Da alleine die Beschränkung des Ausmaßes der Versiegelung noch nicht sicherstellt, daß Ökosysteme in ihrer Vielfalt erhalten bleiben. Die Entsiegelungsdiskussion muß daher, um die Begrenzung der Nutzung von unversiegelten Böden erweitert werden.

Im Zusammenhang mit dem Begriff Bodenversiegelung stehen die Termini Entsiegelungspotential und Belagsänderungspotential. Unter dem Entsiegelungspotential wird der Flächenanteil an der Bezugsfläche verstanden, der bei Beachtung der nutzungsbedingten Anforderungen entsiegelt werden kann. Das Belagsänderungspotential entspricht dem Flächenanteil, der bei Beachtung der nutzungsbedingten Beanspruchung einen Austausch undurchlässiger Belagsarten durch weniger nachteilige Bodenbeläge zuläßt (GIESEKE et al. 1988).

2.2 Erhebungsmethoden zur Erfassung der Bodenversiegelung

Die Flächenstatistik der statistischen Jahrbücher kann die quantitative Dimension der Bodenversiegelung nur annäherungsweise erfassen. Diese differenziert nicht zwischen den überbauten Grundstücksflächen und den versiegelten und unversiegelten Freiflächen auf Grundstücken (LOSCH, 1988). Die statistischen Daten geben aber einen allgemeinen Einblick in das Ausmaß der Flächeninanspruchnahme durch Siedlungs- und Verkehrsflächen.

Für 1997 wird der Anteil der Nutzungsarten für Siedlungs- und Verkehrsflächen an der Bodengesamtfläche mit 11,8 % angegeben. Für die alten Bundesländer wird ein Flächenanteil von 13,3 % und für die neuen Bundesländer und Ostberlin ein prozentualer Anteil von 8,4 % angeführt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 1998). Innerhalb eines halben Jahrhunderts, 1950 betrug der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an der gesamten Bodenfläche 7,5 %, hat sich dieser Anteil in den alten Bundesländern fast verdoppelt (UMWELTBUNDESAMT, 1993). Im Freistaat Sachsen werden 10,6 % der Fläche für Siedlungs-, Industrie- und Gewerbeflächen sowie für Verkehrswege in Anspruch genommen (STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN, 1998).

Anhand der Entwicklung der genehmigten Bauvorhaben je Gemeinde und Hektar wird für die neuen Bundesländer die rasante Wachstumsrate für Siedlungszwecke erkennbar. Die räumlichen Schwerpunkte in der Entwicklung der Bautätigkeit lagen im Zeitraum von 1990 bis 1992 in Sachsen in den Großräumen Leipzig, Chemnitz, Zwickau und Plauen. Der Zuwachs an baulich genutzten Flächen ist in bisher ländlich geprägten Gebieten häufig größer als in den städtischen Zentren. Die Flächeninanspruchnahme durch Bodenversiegelung kann auch durch die Beobachtung der bebauten Flächen bezogen auf bereits baulich genutzte Flächen sichtbar werden. Zum Beispiel betrug dieser Anteil für die Gemeinde Ullersdorf 72 % und für die

Gemeinde Kesselsdorf über 416,7 %. Von den Bauvorhaben im Freistaat Sachsen wurden ca. 70 % auf bisher landwirtschaftlich genutzten Flächen realisiert und nur ca. 14 % auf zuvor baulich genutzten Flächen (SMU, 1994).

Für Baugrundstücke auf Bundesebene stehen Zahlen aus der Baugenehmigungsstatistik zur Verfügung (STATISTISCHES BUNDESAMT, 1995). Neben der Überbauung mit Gebäuden werden weitere Grundstücksanteile für z.B. Stellplätze, Zufahrten, Erschließungswege, Garagen, Müllbehälterstellplätze oder Terrassen versiegelt. Diese sogenannte Nachverdichtung erfolgt teilweise während der Bauphase und teilweise durch die allmähliche Nutzung des Grundstückes (LOSCH, 1988). Nach einer Auswertung von LOSCH (1988) der 1987 genehmigten Wohngebäude betrug die überbaute Fläche nur zwischen 19 und 25 % der gesamten Grundstücksfläche. Durch die Nachverdichtung erhöhte sich der Versiegelungsgrad auf 40 - 61 %.

Für die flächendeckende Erfassung des Versiegelungszustandes großer Siedlungsräume sind in den letzten 10 Jahren eine Reihe von Versiegelungserhebungen durchgeführt worden. Die Bezugsebene für diese Versiegelungsaufnahmen sind häufig Nutzungs- oder Bebauungstypen (SCHOSS, 1977; BÖCKER, 1985; BÖHME, 1986; GISEKE et al., 1988; RANFT et al., 1991a; BERLEKAMP u. PRANZAS, 1990, 1992; HEBER u. LEHMANN, 1993). Die angeführten Untersuchungen unterscheiden sich durch die Erhebungsmethodik und die zugrunde gelegte Bezugsfläche. Für die Stadt Essen bestimmte SCHOSS (1977) in verschiedenen Wohn- und Gewerbegebieten den Versiegelungsfaktor (Versiegelungsgrad) nach Meßtischblattsignaturen. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse dargestellt.

Tab. 1: Versiegelungsfaktoren nach Meßtischblattsignaturen (SCHOSS, 1977, S. 138, verändert)

Mustergebiet	Versiegelungsfaktor
Stadtkern	0.976
Zeche	0.400
Kokerei	0.495
dichtes Wohngebiet	0.787
dichtes Wohn-Gewerbegebiet	0.806
Zeilenhäuser	0.407
Reihenhäuser	0.521
Reihenhäuser/Gruppenhäuser	0.534
Einfamilienhäuser, große Gärten	0.198
Einfamilienhäuser, mittelgroße Gärten	0.415
Einfamilienhäuser, kleine Gärten	0.495

Zu den am häufigsten verwendeten Methoden zur Erfassung der Bodenversiegelung gehört die Datenauswertung von satelliten- und /oder flugzeuggetragenen Sensoren in Kombination mit einer Geländekartierung (BÖCKER, 1985; MUNIER, 1988; SENATSVERWALTUNG FÜR

STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ DER STADT BERLIN, 1993; BAYER u. HILZ, 1997; NETZBAND, 1998).

Ein weiteres Verfahren zur Bestimmung des Versiegelungsgrades ist das sogenannte Eichverfahren (BERLEKAMP u. PRANZAS, 1990). Mit Hilfe von Geländekartierungen im Maßstab 1: 5000 wurden in stichprobenhaft ausgewählten Testflächen für bestimmte Bebauungstypen spezifische Versiegelungsgrade ermittelt. Diese wichen in den verschiedenen Wohnbebauungstypen (Tab. 2) z.T. stark voneinander ab. Die verschiedenen Streubreiten des Versiegelungsgrades je Bebauungstyp wurden als Kriterium für die Versiegelungstreue verwendet.

Tab. 2: Versiegelungstreue von Wohnbebauungen in Hamburg (BERLEKAMP u. PRANZAS, 1990, S. 5)

Wohnbebauung	Versiegelungsklassen**	Klassenanzahl
Kategorie I: Versiegelungstreue		
Randbebauung der 20er und 30er Jahre	6	1
Neue Randbebauung	6	1
Reihenhausbebauung	6	1
Atriumhäuser	7	1
Altstadt- und Stadtrandbebauung	8	1
Kategorie II: bedingte Versiegelungstreue		
Einzelhausbebauung	3 - 5	3
Stadthäuser	5 - 6	2
Zeilenbebauung der 20er Jahre	5 - 6	2
Neue Zeilenbebauung	5 - 7	3
Randbebauung der Gründerzeit	6 - 8	3
Blockbebauung mit vielen Neubauten	7 - 9	3
Blockbebauung der Gründerzeit	8 -10	3
Kategorie III: keine Versiegelungstreue		
Neubauten mit Hochhäusern	6 - 9	4

** Klasse 1 = 0-10 % versiegelt, Klasse 2 = > 10-20 %..... Klasse 10 = > 90-100 %

Als zusätzliche versiegelungssteuernde Faktoren wurden folgende lage- bzw. nutzungsspezifische Merkmale ausgegliedert: Nähe zum Stadtkern, Straßenbreite, Blockform, Grundrißumfang, Größe der Gärten/Abstandsflächen, Tiefgaragen und Parkplätze. Dieses Eichverfahren zur Erfassung der Bodenversiegelung konnte für die Hansestadt Bremen auf seine Eignung als grundsätzlich allgemeingültige Methode überprüft werden (BERLEKAMP u. PRANZAS, 1990).

In der o.g. Untersuchung steht der deskriptive Versiegelungsbegriff im Mittelpunkt, d.h. im Rahmen der Erhebung sind zunächst alle Versiegelungsarten als gleich eingestuft. Für eine funktionale Betrachtungsweise von Versiegelungen hinsichtlich ihrer umweltrelevanten Eigenschaften und Auswirkungen werden die versiegelten Flächen nach ihrer Erscheinungsform unterschiedlich differenziert (BERLEKAMP u. PRANZAS, 1990). PRANZAS (1995) vgl.

(BERLEKAMP u. PRANZAS, 1992) bewertete im Rahmen eines BMFT-Projektes die Einflüsse der Bodenversiegelung auf den urbanen Wasserhaushalt. Für diese Fragestellung reichte eine alleinige Erfassung der Gesamtversiegelung nicht mehr aus. Es erfolgte eine Differenzierung der verschiedenen befestigten Flächen hinsichtlich ihrer Abfluß- bzw. Versickerungswirkung. BERLEKAMP (1992) in BERLEKAMP u. PRANZAS (1992) hat einen sehr komplexen Kartierschlüssel unter hydrologischen Aspekten für eine Detailkartierung entwickelt. Unter dem Gesichtspunkt ihrer hydrologischen Charakterisierung werden drei wesentliche Qualitäts-Merkmalsgruppen unterschieden: die Nutzungsart, die Belagsart und die Entwässerungsart. Zudem wird über die Merkmalsgruppe Zusätze eine Präzisierung der ersten drei Merkmale bewirkt (Tab. 3). Anhand dieses Kartierungsschlüssels wird eine bestimmte, hinsichtlich der aufgeführten Merkmale homogene Teilfläche (Versiegelungsart) im Gelände eingestuft und in die Kartengrundlage eingetragen.

Tab. 3 : Versiegelungsarten unter hydrologischen Aspekten, Kartierschlüssel 1: 500 - 1:1000 (BERLEKAMP in BERLEKAMP u. PRANZAS, 1992, S. 66)

Ziffer A	Ziffer B	Ziffer C	Ziffer D
Nutzungsart	**Belagsart**	**Entwässerungsart**	**Zusätze**
1 Dach, geneigt	1 gebundene Decken	0 keine Entwässerung	0 offene Überdachung
2 Dach, flach	2 Platten	1 Sielanschluß	1 undurchlässiger Unterbau
3 Container	3 Betonverbundstein	2bedingter Sielanschluß	2 Fugen dicht
4 begangen	4 Großpflaster	3 Drainage	3 starker (Fugen)bewuchs
5 befahren	5 Klein- und Mosaikpflaster	4 Grabenanschluß	4 hohe Durchlässigkeit
6 keine Nutzung	6 wassergebundene Decken	5 Entwässerung unklar	5 Fläche unter GOF
7 Wasserfläche	7 Lockermaterial	6 Gully ohne Anschluß	6 Fläche über GOF
8 Gleiskörper	8 Betongitterstein	7 Stauwasserbildung	7 Fläche über/auf Untergrundbau
9 Sonderfläche	9vegetationsarm/offener Boden	8 gezielteVersickerung	8 Flächeauf Bauwerk/Fundament
0 unversiegelt	0 vegtationsbedeckt	9 Muldenversickerung	9 starke Neigung

In einer Untersuchung von BÖHME (1986) über städtische Teilgebiete der Stadt Erfurt wurden 26 Baugebietstypen ausgewählt. Die Grundlage für diese Auswahl waren die Karten der Flächennutzung und des Baualters des Generalbebauungsplans. In charakteristischen Quartieren wurde die Versiegelung aufgenommen. Die oberflächenbedeckenden Materialien wurden aeronomisch abgeleiteten Karten entnommen. Der Oberflächenversiegelungsgrad entspricht dem Flächenanteil aller versiegelnden Materialien an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes. In der Berechnung wird der Anteil der Pflasterung multipliziert mit einem Koeffizienten von 0.8. Hiermit wird nach BÖHME (1986) das Durchlaß- und Speichervermögen des Pflasters berücksichtigt. Zur Charakterisierung der potentiellen Leistungsfähigkeit der Vegetation wurde der Vegetationsflächenanteil herangezogen. Für eine überschlägige Beurteilung von Boden und Vegetation wurde der Flächenbilanzwert und der biologische Aktivitätswert nach JAMBOR zit. in BÖHME (1986) ermittelt.

In dem vom Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau veranlaßten Forschungsprojekt „Städtebauliche Lösungsansätze zur Verminderung der Bodenversiegelung als Beitrag des Bodenschutzes“ sollten durch die Versiegelungserhebungen der Umfang des Entsiegelungspotentials und des Belagsänderungspotentials bei unterschiedlichen Formen städtebaulicher Verdichtung ermittelt werden (GISEKE et al., 1988). Den Schwerpunkt der Arbeiten bildeten die Verdichtungsgebiete Berlin und München. Anhand von Testflächen in 8 Siedlungstypen wurden grundstücksscharfe Kartierungen durchgeführt. Der Straßenraum wurde in der Untersuchung gesondert betrachtet. Für jeden Siedlungstyp wurden zwei Beispielflächen ausgewählt. Um Aussagen über das Entsiegelungspotential und das Belagsänderungspotential zu treffen, wurden die Belagsarten in Anlehnung an SCHULZ et al. (1984) differenziert:

A: Asphalt, Beton, Pflaster mit Fugenverguß,
B: Betonverbundpflaster, Kunststein-, Plattenbeläge > 16 cm unverfugt, in Sand und Kiesbett,
C: Klinker,
D: Mittel-, Großpflaster, 8 -16 cm Kantenlänge, unverfugt,
E: Mosaikpflaster,
F: wassergebundene Decke (Schotterrasen, Schlacke, Kies-, Grand-, Tennenflächen), Rasengittersteine

Als methodische Hilfsgröße zur Ermittlung des Entsiegelungspotentials wurde der "Nutzungsbedingte Versiegelungsgrad" (VG-Nutz) eingeführt. Dieser spiegelt den für die Nutzung eines Grundstücks (Erschließungswege, Stellflächen für Müllcontainer und für Kfz etc.) notwendigen Mindestversiegelungsgrad wider. Das Entsiegelungspotential eines Grundstücks ergibt sich somit aus der Differenz zwischen dem tatsächlichen Versiegelungsgrad und dem „Nutzungsbedingten Versiegelungsgrad" (GISEKE et al., 1988). In einem vom BMBF geförderten Forschungsvorhaben wurden von RANFT et al. (1991a, 1991b) Untersuchungen in unterschiedlichen Siedlungsformen zur Bodenbeanspruchung und zu bodenrelevanten Aspekten und Veränderungspotentialen durchgeführt. Die Studie basiert auf der Auswertung von 153 Siedlungen anhand von Luftbildern und von vorhandenen Daten aus 70 Siedlungen. Zur Bewertung des Ausmaßes der Bodenbeanspruchung von unterschiedlichen Wohnsiedlungsformen wurden Kennwerte entwickelt. Für die Planung und für die bodenschonende Entwicklung neuer Wohngebiete wurden Vorschläge (RANFT et al. 1991a, 1991b) erarbeitet. In einer Pilotstudie für die Stadt Osnabrück wurden von LIETH et al. (1989) eine ca. 11 km^2 große Teilfläche in der Stadt Osnabrück ausgewählt. Diese umfaßt alle für eine Stadt typischen Areale. Die aufgenommenen Versiegelungstypen wurden anhand ihrer möglichen Wirkung auf den Wärme- und Wasserhaushalt der Stadt beurteilt.

Für die Versiegelungserhebung der Stadt Dresden von HEBER u. LEHMANN (1993) wurde das Stadtgebiet in 14 städtebauliche Strukturtypen eingeteilt (vgl. HEBER, 1994). In einer Detailkartierung wurden in 28 ausgewählten Repräsentanten vor Ort die bebauten Flächen, die teilversiegelten Flächen (getrennt nach 5 Belagsarten) und die unversiegelten Freiflächen mit integrierter Randverkehrsfläche aufgenommen. Zur Analyse und Bewertung der Flächen wurden verschiedene quantitative und qualitative Bewertungsverfahren hinsichtlich ihrer Spezifik verglichen. Für die anschließende Bewertung der Bodenversiegelung wurde die Bodenfunktionszahl ausgewählt. Anhand der Repräsentanten der Strukturtypen wurden theoretisch mögliche Entsiegelungsvorschläge unter der Berücksichtigung der Aspekte des ökologischen Stadtumbaus, der Wohnumfeldverbesserung und der Verkehrsberuhigung erarbeitet und stadtstrukturelle Orientierungswerte für die Bodenversiegelung in Wohngebieten zur Diskussion gestellt. Die Untersuchungsergebnisse der Repräsentanten wurden mittels Analogschluß auf die Gesamtstadt übertragen und sind in der Karte der Bodenversiegelung im Maßstab 1:10000 im Umweltbericht der Stadt Dresden (DEZERNAT UMWELT, 1994) dargestellt. In Tabelle 4 sind die durchschnittlichen Gesamtversiegelungsgrade der untersuchten Strukturtypen aufgeführt.

Tab. 4: Durchschnittliche Gesamtversiegelungsgrade der Strukturtypen (HEBER u. LEHMANN, 1993, S. 11)

Strukturtyp	Durchschnittlicher Versiegelungsgrad
geschlossene Blockbebauung mit Hofüberbauung	89 %
offene Blockbebauung	74 %
mehrgeschossiger Wohnungsbau > 3 Geschosse	53 %
Siedlungen ≤ 3 Geschosse	51 %
Reihenhausbebauung	56 %
Einzelhausbebauung	39 %

2.3 Untersuchungen zum Versickerungsverhalten durchlässig befestigter Flächen

Die dargestellten Untersuchungen zum Versickerungsverhalten von verschiedenen Flächenbefestigungen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Zielsetzung (Ermittlung der Grundwasserneubildung oder Ermittlung der Abflußminderung), ihrer Vorgehensweise (Labor- oder Versuche in situ) und ihrer Auftraggeber (öffentliche oder privat geförderte Forschungsarbeiten). Eine ausführliche Darstellung verschiedener Arbeiten auf dem Gebiet der Versickerungsleistung industriell gefertigter Oberflächenbeläge findet sich bei BISCHOFSBERGER et al. (1990).

Die wesentliche Bedeutung des F+E- Vorhabens „Entwicklung von Methoden zur Aufrechterhaltung der natürlichen Versickerung von Wasser", daß von den Berliner Wasserwerken und der Technischen Universität Berlin bearbeitet wurde, liegt in der erstmalig durchgeführten Ermittlung der Grundlagen der Versickerung von Niederschlagswasser im Gehbahnbereich von innerstädtischen Straßen. Neben Laboruntersuchungen wurden verschiedene Pflasterflächen unter Freiraumbedingungen getestet. Bei den Versuchen in situ sind auch die chemisch-physikalischen Parameter der Sickerwässer analysiert worden (NOBIS-WICHTERDING, 1993). Die beschriebenen Untersuchungsergebnisse gehen auf die Ausführungen von KOWALEWSKI et al. (1984) und NOBIS-WICHTERDING (1993) zurück. In Laborversuchen wurde unter Ausschaltung klimatischer Störgrößen wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit das Versickerungsverhalten von Pflastermaterialien in Abhängigkeit von Fugenbreite und Neigung der Fläche bei unterschiedlichen Regenintensitäten von 5 bis 80 l/(s*ha) untersucht (Tab. 5). Regenspenden bis 80 l/(s*ha) dienen in der Regel der Grundwasserneubildung, da sie ungefähr 93 % aller jährlichen Regenereignisse entsprechen.

Tab. 5: Versickerungsfreundlickkeit verschiedener Pflasterarten im Laborversuch (KOWALEWSKI et al., 1984, S. 122, verändert)

Pflasterart	Versickerungsfreundlichkeit
Betonverbundsteine, Knochenform	gute bis sehr gute Versickerungsfreundlichkeit (76 - 100 %), hauptsächlich materialbedingt durch Pflasterporen
Betonverbundsteine, Noppenform	mittlere Versickerungsfreundlichkeit (26 - 75 %)
Klinkersteine	mittlere Versickerungsfreundlichkeit (26 - 75 %)
Gummisteine	gute bis sehr gute Versickerungsfreundlichkeit (76 - 100 %), hauptsächlich materialbedingt durch Pflasterporen
Mosaiksteine (Bernburger)	gute bis sehr gute Versickerungsfreundlichkeit (76 - 100%), hauptsächlich durch den Fugenanteil der Pflasterung
Kleinsteine (Granit)	gute bis sehr gute Versickerungsfreundlichkeit (76 - 100 %), hauptsächlich materialbedingt durch Pflasterporen
Mosaikpflaster mit Kunststeinplatten aus Granit im Oberstreifen	gute bis sehr gute Versickerungsfreundlichkeit (76 - 100 %), hauptsächlich materialbedingt durch Pflasterporen
Kunssteinplatten	keine bzw. geringe Versickerungsfreundlichkeit (0 - 25 %)

Die Freilandversuche wurden im nichtöffentlichen Bereich und im öffentlichen Straßenland durchgeführt (Tab. 6). Für den nichtöffentlichen Bereich wurde auf dem Werksgelände der Berliner Wasserwerke eine nicht wägbare Lysimeteranlage mit 13 Versuchsflächen neu errichtet. Um die Versickerungsleistung auch an gealterten Pflasterungen zu erfassen, wurden Messungen mit einer Feuchte-Tiefensonde (Neutronensonde) an 18 Meßstellen im öffentlichen Straßenraum durchgeführt.

Tab. 6: Versickerungsfreundlichkeit verschiedener Pflasterarten unter Freilandbedingungen (KOWALEWSKI et al., 1984, S. 123, verändert)

Pflasterart	Versickerungsfreundlichkeit
Betonverbundsteine, Knochenform	mittlere Versickerungsfreundlichkeit (26-75 %)
Betonverbundsteine, Knochenform mit Sperrschicht	gute bis sehr gute Versickerungsfreundlichkeit (76 - 100 %)
Betonverbundsteine, Noppenform	mittlere Versickerungsfreundlichkeit (26 - 75 %)
Klinkersteine	mittlere Versickerungsfreundlichkeit (26 - 75 %)
Gummisteine	mittlere Versickerungsfreundlichkeit (26 - 75 %)
Mosaiksteine (Bernburger)	mittlere Versickerungsfreundlichkeit (26 - 75 %)
Mosaiksteine (Granit) mit Sperrschicht	gute bis sehr gute Versickerungsfreundlichkeit (76 - 100 %)
Mosaikpflaster (Granit) und Kunststeine im Oberstreifen	gute bis sehr gute Versickerungsfreundlichkeit (76 - 100 %)
Wasserdurchlässiger Asphalt	keine bis mittlere Versickerungsfreundlichkeit (0 - 75 %)
Rasengittersteine mit Raseneinsaat	mittlere Versickerungsfreundlichkeit (26 - 75 %)
Rollrasen	keine bzw. geringe Versickerungsfreundlichkeit (0 - 25 %)
Unbefestigte Sandfläche	mittlere Versickerungsfreundlichkeit (26 - 75 %)

Die oben angeführten Untersuchungen bezogen sich auf den Zeitraum von 1980-1983. Dieser reichte nicht aus, um Aussagen über den Einfluß der Alterung auf das Versickerungsverhalten zu treffen. Deshalb wurde nach Abschluß des F+E Vorhabens die vorhandene Freiraumversuchsanlage im nichtöffentlichen Bereich von den Berliner Wasserwerken für 5 weitere Jahre betrieben. Tabelle 7 gibt die Versickerungs- und Oberflächenabflußwerte für den Meßzeitraum von 1984 bis einschließlich 1990 wieder. Die Bandbreite der Werte ist insbesondere durch die unterschiedlichen Witterungsbedingungen der Sommermonate zu erklären. In den Werten wird die Schwankungsbreite der Verdunstungshöhen innerhalb des Meßzeitraumes berücksichtigt.

Tab. 7: Versickerungs- und Oberflächenabfluß verschiedener Pflasterarten im Langzeitversuch (NOBIS-WICHTERDING, 1993, Bild 8)

Nr.	Art der Pflasterfläche	Anteil (%) Versickerung	Anteil (%) Oberflächenabfluß
1	Kunststeinplatten im Oberstreifen, Bernburgermosaik im Untersterstreifen	55 - 63	12 - 14
2	Granitmosaik, Schlagung 4/6	48 - 55	12 - 14
3	Granitmosaik, Schlagung 4/6 mit Verdunstungssperrschicht	48 - 55	9 - 10
4	Bernburger Mosaik, Schlagung 4/6 in neuem Pflastersand	40 - 46	11 - 13
5	Betonverbundsteine mit Verdunstungssperrschicht	69 - 79	14 - 16
6	Betonverbundsteine	62 - 71	17 - 20
7	Gummisteine	72 - 83	11 - 13
8	TRI-6-Steine (Noppenpflaster)	52 - 60	15 - 17
9	Wasserdurchlässiger Asphalt	67 - 77	17 - 20
10	Klinkerpflaster (Fabrikat Ravaton)	65 - 75	9 - 10
11	Rasengittersteine mit Raseneinsaat	55 - 63	6 - 8
12	Rollrasen	45 - 52	6 - 8
13	Sandfläche ohne Befestigung	42 - 48	5 - 6

Im Auftrag des Tiefbauamtes in Hamburg wurden zur Erfassung der Versickerungsfähigkeit von Gehwegbefestigungen Versickerungsversuche in situ durchgeführt (BINNEWIES u. SCHÜTZ, 1985). Die Untersuchung sollte Hinweise zur Ausführung versickerungsfreundlicher Beläge geben. Insbesondere wurden offene Grandbefestigungen (wassergebundene Decken) betrachtet, da diese in Hamburger Stadtrandgebieten häufig anzutreffen sind. Die Versickerungsleistung wurde mit einem Doppelringinfiltrometer gemessen. Neben den Wasserdurchlässigkeit der verschiedenen Befestigungsarten wurde die Kornverteilung und der Wassergehalt der Unterbauschichten der Standorte bestimmt. BINNEWIES u. SCHÜTZ (1985) wählten als Befestigungsarten Kleinpflaster, Verbundpflaster und Grand aus. Zur Feststellung der Altersproblematik wurde die Befestigungsart Kleinpflaster und Verbundpflaster sowohl im vorgefundenen (alt) als auch im neu verlegten Zustand (neu) untersucht. Im Einzelnen wurden die in Tabelle 8 - 10 dargestellten Ergebnisse erzielt.

Tab. 8: Befestigungseigenschaften und Versickerungsverhalten von Kleinpflastern (BINNEWIES u. SCHÜTZ, 1985, S. 32 - 33 und Anhang Blatt 19, verändert)

Befestigungsart	Kleinpflaster alt	Kleinpflaster neu	Kleinpflaster alt
Standort	Bebelallee	Bebelallee	Stadthausbrücke
Steingröße (cm)	ca. 8/8	<-------	ca. 10/10
Fugengröße (mm)	ca. 9 - 11	<-------	ca. 14 - 16
Fugenanteil (%)	23 - 25	<-------	30 - 32
Pflasterbett	Pflastergrand	<-------	Sandbett
Tragschicht	Schlacke	<-------	Sandunterbau
Mittlere Versickerungsspende brutto l/s/ha	16.3 - 26.0	5.3 - 32.9	112.0 - 339.0
bezogen auf die Versickerungshöhe h=0 l/s/ha	10.6 - 23.0	4.3 - 26.6	87.0 - 280.0
jährlich erfaßte Hamburger Niederschlagshöhe %	69 - 74	67	98

Tab. 9: Befestigungseigenschaften und Versickerungsverhalten von Betonsteinpflastern (BINNEWIES u. SCHÜTZ, 1985, S. 35 - 37 und Anhang Blatt 19, verändert)

Befestigungsart	**Verbundpflaster alt**	**Verbundpflaster neu**	**Verbundpflaster Alt (ca. 15 Jahre)**
Standort	Bellevue	Bellevue	Hebebrandstraße
Steingröße (cm)	10/20	<-------	d= 10
Fugengröße (mm)	ca. 1	<-------	ca. 2
Fugenanteil (%)	1	<-------	3
Pflasterbett	Sand	<-------	Sandbett
Tragschicht	Schlacke	<-------	Sandunterbau
Mittlere Versickerungsspende brutto l/s/ha	1.7 - 4.5	54.0 - 72.0	52.0
bezogen auf die Versickerungshöhe h=0 l/s/ha	1.4	45.5 - 60.0	-
jährlich erfaßte Hamburger Niederschlagshöhe %	10 - 22	87 - 92	90

Tab. 10: Befestigungseigenschaften und Versickerungsverhalten von Grandbefestigungen (BINNEWIES u. SCHÜTZ, 1985, S. 38 und Anhang Blatt 19)

Befestigungsart	**Grand**	**Grand**
Standort	Bellevue	Bebelallee
Grand	Grand	Grand
Tragschicht	Schlacke	--
Unterbau 1	--	Splitt
Unterbau 2	--	Splitt
Mittlere Versickerungsspende brutto l/s/ha	2.5 - 6.9	14.0 - 30.4
bezogen auf die Versickerungshöhe h=0 l/s/ha	0.2 - 3.2	6.2 - 15.9
jährlich erfaßte Hamburger Niederschlagshöhe %	10 - 30	60 - 70

Nach BINNEWIES u. SCHÜTZ (1985) lassen die gewonnenen Ergebnisse nicht den generellen Schluß zu, daß durch Einschwemmen von Feinstoffen eine maßgebliche Verringerung der Durchlässigkeit in überschaubaren Zeiträumen auftreten muß. Die Frage einer etwaigen Alterung ist vor allem von der Kornverteilung des Fugen-, Bettungs- und Unterbaumaterials, aber auch von der Fugenbreite abhängig.

Aufgrund der Ergebnisse von KOWALEWSKI et al. (1984) und dem Gutachten von BINNEWIES u. SCHÜTZ (1985) ging BORGWARDT (1992a, 1992b) der Frage nach, inwieweit eine nutzungsbedingte Veränderung des Fugensandes Auswirkungen auf die Versickerungsfähigkeit der Pflasterfugen hat. Die Ergebnisse ließen die Vermutung zu, daß es mit zunehmendem Alter und dauerhafter Belastung zu einem Abrieb des mineralischen Körpers sowie zu einem Eintrag von Fremdstoffen kommt. Dies führt zu einer Abnahme des Porenvolumens in der Fuge. DELLWIG (1988) untersuchte verschiedene wasserdurchlässige Beläge auf Eignung, Funktion und Haltbarkeit für die Nutzung als Zufahrten für Sammelgaragen (Tab. 11). Für die Experimente wurde ein repräsentativer Querschnitt von auf dem Markt erhältlichen Materialien ausgewählt, die laut Herstellerangabe mindestens teilweise wasserdurchlässig sein sollten. Die Wasserdurchlässigkeit wurde anhand eines Doppelring-Infiltrometers in situ gemessen. Bei diesem

Verfahren wird die Versickerungsintensität durch die in einer Zeiteinheit je Flächeneinheit in den Boden eintretende Wassermenge ermittelt.

Tab. 11: Wasserdurchlässigkeit der untersuchten Beläge (DELLWIG, 1988, S. 461, verändert)

Belagsart	Standort	Alter (Jahre)	Versickerungsrate (cm/s)
Schotterrasen	Gehweg (Spielplatz)	-	0.5
Kunststoffbelag	Tennisplatz	ca. 15	0.2
Rasenpflaster	Parkfläche	-	0.11
Rasengitterstein	Garagenzufahrt	ca. 8	0.03
Holzpflaster	Pausenhof	ca. 1	0.02
Rasen		-	0.01
Wassergebundene Decke	Fahrfläche (Sammelgarage)	ca. 15	0.006
HESA- Rasenziegel	Parkfläche	-	0.005

Im Rahmen einer Untersuchung für das Hessische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Landesentwicklung wurde am Institut für Wasserbau, Fachgebiet Konstruktiver Wasserbau und Wasserwirtschaft der TH Darmstadt ein Tropfinfiltrometer entwickelt (KRETZER u. RUID-RODRIGUEZ, 1992). Das Meßprogramm umfaßte herkömmliche Feldwege wie Erd- und Grünwege, Wege aus Sand/Splitt- und Dränbeton-Tragschichten sowie Verbundvollsteine, poröse Verbundsteine und Rasengittersteine. Für den Vollverbundstein und den Rasengitterstein konnten keine eindeutigen Abnahmen der Versickerungsfähigkeit mit dem Alter festgestellt werden. Der Beobachtungszeitraum von einem Jahr war zu kurz. Für die extreme Abnahme der Endinfiltrationsraten für den porösen Verbundstein wird als mögliche Ursache die Zusammensetzung des Fugenmaterials und das Verfahren zum Einbringen dieses Materials angesehen. Die niedrigsten Infiltrationsraten weisen die scheinbar gut durchlässigen Wegetypen wie Erd- und Grünweg sowie die Wege aus einer Sand/Splitt-Tragschicht auf. Für die Feldwegtypen Erd- und Grünweg wurde zudem eine verminderte Sickerfähigkeit vom Randstreifen über den Mittelstreifen zur Fahrspur hin beobachtet (KRETZER u. RUID-RODRIGUEZ, 1992).

BORGWARDT (1994a, 1994b, 1995a) bewertete die Wasserdurchlässigkeit von wassergebundenen Decken im Vergleich zu Pflasterbelägen (Klinker- und Betonsteine, Fugenbreite ca. 1 cm) verschiedenen Alters und zu unversiegelten Baumscheiben. Neben den Infiltrationsmessungen erfolgte eine Siebanalyse zur Bestimmung der Korngrößenverteilung der obersten Deck- bzw. Fugenschicht und die Ermittlung des Anteils an organischer Substanz durch Glühverlust (Tab. 12). Es zeigte sich, daß die wassergebundenen Decken trotz der ungepflasterten Oberfläche eine weitaus geringere Wasseraufnahmekapazität besitzen als die verfugten Pflasterbeläge.

Tab. 12: Untersuchungsergebnisse an den drei Gruppen zugeordneten Standorten (BORGWARDT, 1995a, S. 14)

Stand-ort	aufnehmbare Regen-spende (r_{15} in l/s*ha)	Wasserdurchlässigkeit (kf in m/s)	Feinanteil < 0.063 mm (Massen-%)	Anteil an organischer Substanz (Massen-%)
Gruppe I (Pflasterbeläge)				
1	300	$2*10^{-6}$	17.9	6.1
2	70	$1*10^{-7}$	33.9	8.9
3	50	$1*10^{-6}$	46.1	11.2
4	10	$1*10^{-7}$	27.5	28.4
x	**70**	**$1*10^{-6}$**	**13.4**	**13.7**
Gruppe II (wassergebundene Beläge)				
1	40	$5*10^{-7}$	15.8	1.5
2	30	$2*10^{-6}$	22.1	2.7
3	50	$2*10^{-6}$	47.8	1.2
4	25	$2*10^{-6}$	15.9	0.8
5	10	$1*10^{-7}$	16.1	1.5
6	0	$1*10^{-7}$	15.5	1.9
x	**25**	**$1*10^{-7}$**	**22.2**	**1.6**
Gruppe III (Baumscheiben)				
1	400	$1*10^{-5}$	8.8	3.0
2	400	$1*10^{-5}$	9.9	1.3
3	105	$5*10^{-6}$	20.9	2.0
x	**155**	**$1*10^{-5}$**	**13.2**	**2.1**

In einer weiterführenden Untersuchung ermittelte BORGWARDT (1995b) für unterschiedliche Standorte (Tab. 13) die Abflußbeiwerte nach einer 15-minütigen bzw. 60-minütigen Infiltration (Tab. 14 u. 15).

Tab. 13: Untersuchungsstandorte (BORGWARDT, 1995b, S. 115-116, verändert)

Gruppe	Pflasterart
1	alte Straßenflächen mit engen Fugen
2	alte Straßenflächen mit weiten Fugen
3	alte Parkflächen mit engen Fugen
4	alte Parkflächen mit weiten Fugen
5	alte Rad- und Gehwege mit engen Fugen
6	alte Rad- und Gehwege mit weiten Fugen
7	neue Flächen mit Normfugen
8	neue Flächen mit aufgeweiteten Fugen, Kammern oder Sickeröffnungen
9	alte Flächen mit wassergebundenem Belag (Kontrolle 1)
10	alte Flächen am natürlichen Standort als Baumscheibe oder Rasenfläche (Kontrolle 2)

Tabelle 14 verdeutlicht, daß die untersuchten wassergebundenen Beläge den größten Abfluß aufweisen. Die gealterten Pflasterflächen liegen darunter und weisen unabhängig von der Fugenbreite relativ ähnliche Abflußbeiwerte auf. Geringere Abflußbeiwerte weisen die neuen Pflasterflächen und die unbefestigten Flächen auf. Bei einer 60-minütigen Infiltration zeigen die Abflußbeiwerte für kleinere Regenspenden, daß die Fugenbreite viel eher an Bedeutung

gewinnt (Tab. 15). Die gealterten Beläge (Gruppe 2, 4, 6) haben einen rund 0.1 niedrigeren Abflußbeiwert als diejenigen mit engen Fugen (Gruppe 1, 3, 5). Geringe Abflußbeiwerte zeigen wiederum die neuen Pflasterflächen und die unbefestigten Flächen (Gruppe 8, 10), die bis 200 l/(s*ha) überhaupt keinen Abfluß aufweisen.

Tab. 14: Abflußbeiwerte der untersuchten Pflasterflächen nach 15-minütiger Infiltration (BORGWARDT, 1995b, S. 159)

Spitzenversickerungsleistung gemessen nach 15-minütiger Infiltration											
Gr.	Typ	Abflußbeiwerte bei Regenspenden (l/s*ha) von									
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
1	alte Straßen, engfugig	0,00	0,00	0,23	0,43	0,54	0,62	0,67	0,71	0,74	0,77
2	alte Straßen, weitfugig	0,00	0,25	0,50	0,63	0,70	0,75	0,79	0,81	0,83	0,85
3	alte Parkfläche, engfugig	0,00	0,35	0,57	0,68	0,74	0,78	0,81	0,84	0,86	0,87
4	alte Parkfläche, weitfugig	0,00	0,40	0,60	0,70	0,76	0,80	0,83	0,85	0,87	0,88
5	alte Gehwege, engfugig	0,10	0,55	0,70	0,78	0,82	0,85	0,87	0,89	0,90	0,91
6	alte Gehwege, weitfugig	0,00	0,20	0,47	0,60	0,68	0,73	0,77	0,80	0,82	0,84
7	neue Flächen, engfugig	0,00	0,00	0,33	0,50	0,60	0,67	0,71	0,75	0,78	0,80
8	neue Flächen, weitfugig	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,16
9	alteFlächen,wassergebunden	0,50	0,75	0,83	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95
10	Baumscheiben	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,20	0,30	0,38	0,44

Tab. 15: Abflußbeiwerte der untersuchten Pflasterflächen nach 60-minütiger Infiltration (BORGWARDT, 1995b, S. 160)

Dauerversickerungsleistung gemessen nach 60-minütiger Infiltration											
Gr.	Typ	Abflußbeiwerte bei Regenspenden (l/s*ha) von									
		20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
1	alte Straßen, engfugig	0,00	0,00	0,17	0,38	0,50	0,58	0,64	0,69	0,72	0,75
2	alte Straßen, weitfugig	0,00	0,00	0,00	0,25	0,40	0,50	0,57	0,63	0,67	0,70
3	alte Parkfläche, engfugig	0,50	0,75	0,83	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95
4	alte Parkfläche, weitfugig	0,00	0,50	0,67	0,75	0,80	0,83	0,86	0,88	0,89	0,90
5	alte Gehwege, engfugig	0,50	0,75	0,83	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95
6	alte Gehwege, weitfugig	0,00	0,50	0,67	0,75	0,80	0,83	0,86	0,88	0,89	0,90
7	neue Flächen, engfugig	0,00	0,00	0,33	0,50	0,60	0,67	0,71	0,75	0,78	0,80
8	neue Flächen, weitfugig	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	alte Flächen, wassergeb.	0,50	0,75	0,83	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95
10	Baumscheiben	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

BORGWARDT (1994a, 1994b, 1995a,b) betont, daß die Hauptwirkungen der Versiegelung im Bereich des Luft- und Wasserhaushalts liegen. Die Wahl der Bauweise kann nur eine unterstützende Funktion haben. Sie hat keinen Einfluß auf das, wie auch immer zu quantifizierende Ausmaß der Versiegelung. Die Ergebnisse zeigen, daß eine Bewertung von Flächenversiegelung mit Hilfe von Punktsystemen oder ähnlichen nicht wissenschaftlich begründbar und damit nicht objektiv einsetzbar ist. Es stellt sich weniger die Frage nach der Art des Belages, sondern vielmehr nach der Menge des anfallenden Oberflächenabflusses bzw. nach der versickerbaren Niederschlagsmenge. Eine Oberflächenbefestigung muß dauerhaft etwa 200 l/s*ha in einem 15-Minuten-Regen aufnehmen können (ATV 138, 1990). Dies leistet nach BORGWARDT (1994a,

1994b, 1995) keine im Moment auf dem Markt befindliche Bauweise und am allerwenigsten wassergebundene Decken. Eine umweltfreundliche Methode der Entsiegelung kann nur in der baurechtlich zu berücksichtigenden Versickerung in seitliche Vegetationszonen bestehen. Daher sollte im Zuge der Bauleitplanung als Ausgleich für jede Versiegelung eine zugeordnete Versickerungszone freigehalten werden.

In einer Untersuchung von HADE u. SMITH (1988) in den USA wurde der Abflußkoeffizient von Betonpflasterbelägen (Unidecor) ermittelt. Die Experimente sollten einen Beitrag für die Dimensionierung von Abflußsystemen liefern. Es wurden mit einem tragbaren Regensimulator 118 Versuche auf neun Flächen in Fußgängerzonen und auf drei Flächen an Straßenkreuzungen durchgeführt. Die Beläge standen in diesen Bereichen seit zehn Monaten unter Nutzung. In Tabelle 16 sind die Abflußkoeffizienten für die Beläge dargestellt.

Tab. 16: Abflußkoeffizienten einer 30 minütigen Beregnung (HADE u. SMITH, 1988, S. 221, verändert)

Regenintensität mm/h	**Anzahl der Tests**	**Durchschnittlicher Koeffizient**	**Standard-abweichung**	**r^2 – Regression Regenintensität und Abflußkoeffizient**
Fußgängerzone				
0 - 7	31	0.510	0.150	0.27
7.1 - 15	29	0.633	0.099	0.04
15.1 - 30	27	0.794	0.091	0.22
für alle Bereiche		0.639	0.120	0.54
Straßenkreuzung				
0 - 7	12	0.130	0.098	0.002
7.1 - 15	9	0.418	0.226	0.47
15.1 - 30	10	0.660	0.112	0.14
für alle Bereiche		0.385	0.145	0.73

Die Ergebnisse zeigen, daß für Betonpflaster kein konstanter Abflußkoeffizient angegeben werden kann, sondern daß die Regenintensität eine wichtige Rolle bei der Bemessung von Kanalsystemen spielen muß. Es wird deutlich, daß die Abflußkoeffizienten mit der Beregnungsintensität zunehmen. Die Betonpflastersteine können aber zu einer Verminderung des „first-flush" Effektes, d. h. der Auswaschung von Schadstoffen mit dem Regen in das Kanalsystem während der ersten 30 Minuten eines Unwetters, beitragen (HADE u. SMITH, 1988). In Japan untersuchten SUDA et al. (1988) wasserdurchlässige Pflastersteine. Die Untersuchungen wurden im Parkplatz- und Fußgängerbereich anhand von natürlichen Regenereignissen durchgeführt. Nach 18 Monaten lag der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert der Pflastersteine im Fußgängerbereich bei 10^{-4} m/s und war damit um eine 10er Potenz niedriger geworden als der Ausgangswert. Der Durchlässigkeitsbeiwert der Pflastersteine im Parkplatzbereich verringerte sich nach ca. 2 Jahren von ursprünglich 10^{-3} m/s auf $5*10^{-5}$ m/s.

In der Versuchsanstalt für Wasserbau der Fachhochschule Karlsruhe wurden vergleichende hydraulische Versuche mit sickerfähigem Verbundstein aus Beton durchgeführt. Die Untersuchungen zeigten, daß Pflaster mit Sickeröffnungen mehr Wasser zur Versickerung bringt als das vergleichsweise untersuchte Normalpflaster. Zudem sollten sickerfähige Pflasterdecken gefällos verlegt werden. Das untersuchte Verbundpflaster mit Sickeröffnungen erfüllte die im Arbeitsblatt A 138 (ATV, 1990) geforderten Bedingungen und konnte darüber hinaus auch größere Regenspenden abführen oder speichern (MUTH, 1989, 1990, 1994a, 1994b). In verschiedenen Modellversuchen des LEICHTWEISS-INSTITUTES FÜR WASSERBAU, TU BRAUNSCHWEIG (1989a, 1989b) wurden im Labor ein Rasenfugenpflaster und ein wasser- und luftdurchlässiger Betonstein auf ihre Durchlässigkeit hin untersucht. Die Pflastersteine wurden mit drei verschiedenen Pflasterbetten bzw. Fugenfüllmaterialien (Rundkorn, Splitt, Kombination aus Splitt im Pflastersand und Rundkorn in den Fugen) in einem Kasten verlegt. Das Rasenpflaster konnte bis zu einer Regenspende von 1500 l/(s*ha) den gesamten Niederschlag unabhängig von den verschiedenen Bettungs- bzw. Fugenmaterialien und der Verschmutzung zur Versickerung bringen. In der Versuchsreihe mit dem porösen Betonstein war bei fehlender Oberflächenverschmutzung bis zu einer Regenspende von 1500 l/(s*ha) kein Oberflächenabfluß zu beobachten. Bei einer Oberflächenverschmutzung von 500 g/m^2 setzte der Oberflächenabfluß bei 420 l/(s*ha) ein bzw. bei einer Verschmutzung von 2000 g/m^2 ab 60 l/(s*ha).

Um die Beeinflussung des Wärme-, Wasser- und Stoffhaushalts von verschieden versiegelten Böden systematisch zu untersuchen, werden seit 1990 im Stadtgebiet von Hannover neun stationäre Meßstellen betrieben (PAGEL et al., 1993). Ihre Anlage erfolgte auf Sandböden, ohne die langjährige gleichbleibende Nutzung zu beeinträchtigen. Folgende anthropogene Überprägungen wurden ausgewählt: Asphalt, Beton, Schotter, Asche, Rasengitter- und Betonverbundsteine sowie verschiedene Vegetationsbedeckungen wie Parkrasen, Zierrasen, und Gartenbauflächen. Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, daß es im Jahresverlauf mit zunehmender anthropogener Überprägung nicht mehr zum typischen Wechsel von Versickerung und kapillarem Aufstieg kommt, sondern eine ganzjährige Versickerung stattfindet (PAGEL et al., 1993). Die Entsiegelungswirkung ausgewählter Oberbauarten für Verkehrsflächen in Abhängigkeit von Witterungsverlauf und Nutzung steht im Mittelpunkt eines Forschungsvorhabens der Kooperationspartner FIRMA GALABAU EMSLAND, LINGEN; STADT LINGEN UND FH OSNABRÜCK -LABOR FÜR TECHNIK- (1995). Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Anforderungen an Wasserdurchlässigkeit und die erforderliche unterirdische Entwässerung von Befestigungen mit wasserdurchlässigen Pflaster- und Plattenbelägen" lassen sich nach RICHTER (1996, S. 38-39) wie folgt zusammenfassen: Grobkörnige, frostsichere Böden sind als Untergrund für durchlässige Konstruktionen gut geeignet. Sie gestatten eine schnelle Versickerung und damit Grundwasseranreicherung. Ihre Tragfähigkeit bleibt im vollem Maße erhalten. Feinkörnigere, hoch-

bindige Böden sind als Untergrund (bedingt) geeignet. Sie verhindern die Versickerung, gestatten aber eine zwischenzeitliche Speicherung und ihre Tragfähigkeit bleibt in ausreichendem Maße erhalten. Feinkörnige, schwachbindige und gemischtkörnige, bindige Böden sind als Untergrund für durchlässige Konstruktionen ungeeignet. Zwar gestatten sie eine merkliche Versickerung, aber ihr Tragfähigkeitsverlust bei Durchfeuchtung ist jedoch so groß, daß die Gebrauchsfähigkeit gefährdet ist.

2.4 Bewertungsmethoden und -kriterien für die Bodenver- und -entsiegelung

Zur Dimensionierung von Kanalquerschnitten greift die Wasserwirtschaft auf die Abflußbeiwerte zurück. Der Abflußbeiwert ist definiert als Verhältnis zwischen Abflußmenge und der gesamten Regenwassermenge eines Regenereignisses. In der DIN 1986 (DEUTSCHER NORMENAUSSCHUß ABWASSERNORM in BUNZEL, 1992) sind bestimmten Bodenbelägen und Nutzungen spezifische Abflußbeiwerte zugeordnet (Tab. 17).

Tab. 17: Abflußbeiwerte nach DIN 1986 (in BUNZEL, 1992, S. 51)

Art der angeschlossenen Fläche	Abflußbeiwert
Dachfläche	1.00
Pflaster mit Verguß, Schwarzdecken oder Beton	0.90
Pflaster ohne Verguß und Holzpflaster	0.85
Fußwege mit Platten und Schlacke	0.60
ungepflasterte Straßen, Höfe und Promenaden	0.50
Spiel- und Sportplätze	0.25
Vorgärten	0.15
größere Vorstadtgärten und Hintergärten	0.10
Parks, Schreber- und Siedlungsgärten	0.05
Parks und Anlageflächen am Wasser	0.00

Im Rahmen eines vom BMFT geförderten Forschungsvorhaben hat BERLEKAMP in BERLEKAMP u. PRANZAS (1992) mit Hilfe eines neu entwickelten Versiegelungsartenschlüssels verschiedene Mustertypen (Stadtstrukturtypen) kartiert und unter hydrologisch-stadtplanerischen Gesichtspunkten ausgewertet. Ausgehend von den aus der Literatur zu entnehmenden bzw. abzuleitenden belagsartenspezifischen Verrechnungsbeiwerten wurden für sämtliche Kennziffern Berechnungsfaktoren und Zuschläge entwickelt, so daß das Abfluß- und Versickerungsverhalten der kartierten Versiegelungsart bewertet werden konne.

Mit der Entwicklung der Bodenfunktionszahl (BFZ) soll nach POHL (1991) in der Landschafts- und Bauleitplanung den Zielen des Naturschutzes und der Landespflege eine stärkere Gewichtung und damit eine bessere Durchsetzungskraft verliehen werden. Dieser neue Planungsrichtwert für das Grün- und Naturpotential ist analog zu den bereits in der Bauleitplanung vorhandenen Größen wie Grundflächenzahl (GRZ), Geschoßflächenzahl (GFZ) und Bau-

massenzahl (BMZ) erarbeitet worden. Die Bodenfunktionszahl stellt einen Wert dar, der die Funktionen und Leistungen des Bodens quantifiziert (SCHULZ, 1984). Als Indikator für die künstliche Veränderung einer Fläche wird der Bodenkennwert (BKW) herangezogen (vgl. HAASE 1986; REINIRKENS, 1990; RIDKY, 1991; HEBER u. LEHMANN, 1993). In Tabelle 18 erfolgt eine Gegenüberstellung der Bodenkennwerte und der Abflußbeiwerte.

Tab. 18: Gegenüberstellung von Bodenkennwert und Abflußbeiwert (in RIDKY, 1991, S. 39, verändert)

Bodenkennwert		Abflußbeiwert	
Natürlich anstehender Boden und Gewässer ohne direkte künstliche Beeinträchtigung	1.0	0.20 - 0.00	Vegetationsflächen
Künstlich geschaffene dauerhafte Wasser- und Feuchtgebiete einschließlich Vegetation (künstlicher Unterbau)	0.9		
		0.25	Sportplatzrasen
		0.30 - 0.20	Schotterrasen
		0.30	begrünte Dachfläche
Wassergebundene Decken (Schotterrasen, Tennenflächen u.a.), Rasengittersteine	0.6	0.50 - 0.40	Wassergebundene Decken, Tennenflächen sowie Betongittersteine
		0.50 - 0.40	Poröser Asphalt
Mosaik- und Kleinpflaster mit großen offenen Fugen	0.4	0.60	Mosaik- und Kleinpflaster mit offenen Fugen
Mittel- und Großpflaster mit offenen Fugen	0.3	0.70	Mittel- und Großpflaster mit offenen Fugen
Verbundpflaster, Plattenbeläge, naturnahe nicht permanente Wasserflächen, Dachbegrünung	0.2	0.80	Verbundpflaster, Klinker und Plattenbeläge
Asphalt, Bitumen- oder Betondecken, Pflaster- und Plattenbeläge mit Fugenverguß bzw. festem Untergrund	0.1	0.90	Pflaster mit Fugenverguß, Schwarzdecken oder Beton
Oberflächen von Gebäuden ohne Bodensubstrat als Vegetationsträger	0.0	1.00	Dachflächen

Im Rahmen einer Darstellung der stadtökologischen Problematik des Wohnungsbestandes wurden von RANFT (1994) für den Schutz des Bodens in seiner Substanz und seiner Potentiale verschiedene Maßnahmen vorgestellt. In der Untersuchung von BÖHME (1986) wurde zur überschlägigen Bewertung von Boden und Vegetation in Baugebieten und Quartieren der Flächenbilanzwert ermittelt. Für eine genauere Beurteilung wurde die assimilierende Blattfläche und die biologische Aktivität nach JAMBOR (1979) zit. in BÖHME (1986) bestimmt. In einer Studie von LAUKHUF u. BECKER (1986), die als Arbeitshilfe zur Vermeidung einer zu starken Versiegelung von Flächen gedacht ist, wird eine Bewertung verschiedener Materialien durchgeführt. In die Bewertung fließen neben der Versickerungsleistung auch die Eignung der verschiedenen Materialien als Lebensraum für Tiere und Pflanzen ein. In der Untersuchung werden Handlungsanweisungen und Beispiele zur Entsiegelung und zur Verringerung des Flächenverbrauchs aus niedersächsischen Gemeinden angeführt. SPERBER u. MEYER (1989) haben ein

Schema zur Erfassung und Bewertung der Ver- und Entsiegelungsintensität in Siedlungsbereichen entwickelt. Es soll eine Bewertung der ökologischen Bedeutung des Versiegelungszustandes ermöglichen. Im Rahmen des Programmes zur Reduzierung und Minimierung der Bodenversiegelung der Stadt Berlin erfolgt eine Bewertung einzelner Belagsarten nach ökologischen Gesichtspunkten (Tab. 19). Die ökologische Leistungsfähigkeit einer Belagsart wird durch die Parameter Fugenanteil, Porenanteil und Substrateigenschaft des Oberbaus charakterisiert. Demnach bestimmen der Poren- und Fugenanteil die Lebensmöglichkeiten für Pflanzen und Bodenorganismen sowie den Luft- und Wasserhaushalt. Die Substrateigenschaften des Fugen- und Belagsmaterials (Anteil organischer Substanz, Feinkornanteil) beeinflussen die Fähigkeit, einsickernde Schadstoffe zu binden. Die thermischen Eigenschaften der verwendeten Oberflächenmaterialien und der Vegetationsanteil wirken zudem auf die lokalklimatischen Verhältnisse (SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ DER STADT BERLIN, 1993)

Tab. 19: Übersicht über die Belagsklassen
(SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ DER STADT BERLIN, 1993, S. 3)

Belags-klasse	Einschätzungder Auswirkungen auf den Naturhaushalt	Belagsarten
1	Extrem	Asphalt, Beton, Pflaster mit Fugenverguß oder Betonunterbau, Kunsstoffbeläge
2	Hoch	Kunststein- und Plattenbeläge (Kantenlänge > 8 cm), Betonverbundpflaster, Klinker, Mittel- und Großpflaster
3	Mittel	Klein- und Mosaikpflaster (Kantenlänge < 8 cm)
4	Gering	Rasengittersteine, wassergebundene Decken, Schotterasen

Für die Prognostizierung und grobe Bilanzierung ökologischer Effekte, die von Entsiegelungsmaßnahmen ausgehen, werden in diesem Programm die verschiedenen Belagsklassen und Vegetationsflächen auf ihre Grundwasseranreicherung, ihren oberflächlichen Niederschlagsabfluß sowie auf ihre klimatischen und lufthygienischen Auswirkungen hin verglichen. WESSOLEK (1988) hält fest, daß zunächst mit zunehmender Versiegelung die Grundwasserneubildung abnimmt. Nach abgeleiteten Ergebnissen von KOWALEWSKI et al. (1984) und eigenen Ergebnissen (WESSOLEK, 1988) können Versiegelungsmaterialien mit hohem Fugenanteil und/oder einer Verdunstungssperrschicht (z.B. Kies) unterhalb der Auflagen eine höhere Grundwasserneubildung aufweisen als bewachsene Freilandflächen. Diese Neubildungsrate kann auf versiegelten Flächen im Sommerhalbjahr z.T. wesentlich höher sein als unter Vegetationsflächen. Anhand von Angaben über die Versickerungsleistung der verschiedenen Versiegelungsmaterialien von KOWALEWSKI et al. (1984) und Wasserhaushaltsuntersuchungen von WESSOLEK u. RENGER (1986) wurde eine Bewertung des Wasserhaushalts von Berlin durchgeführt. BUNZEL (1992) betont, daß die höhere Grundwasserneubildungsrate unter bestimmten Bodenbefestigungen im Vergleich zu Vegetationsflächen keine Priorität solcher Bodenbefestigungen gegen-

über Vegetationsflächen begründet. Die vielfältigen positiven Wirkungen von Vegetation auf den Naturhaushalt und auf das Wohn- und Arbeitsumfeld der in den Siedlungsbereichen lebenden Menschen stehen hier den relativ bescheidenen Effekten für die Grundwasserneubildung entgegen. Zu einer ähnlichen Einschätzung kommen auch GISEKE et al. (1988). Die Autoren stufen aus wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten die durch die Ausnutzung der Entsiegelungspotentiale zu erwartende Erhöhung der Grundwasserneubildung als vernachlässigbar gering ein. Sie sehen eine weitaus höhere Bedeutung der Entsiegelung mit nachfolgender Begrünung für die Verbesserung der klimatischen Situation, für eine Steigerung der Wohnumfeldqualität und für eine Aufwertung des Stadtbildes.

Im Rahmen eines F+E-Vorhabens des Umweltbundesamtes (Nr. 10703007/16) wurde von MOHS u. MEINERS (1993) ein Vorgehensschema und methodisches Instrumentarium zur Erfassung und Bewertung der Auswirkungen von Ver- und Entsiegelungsmaßnahmen auf den Boden und das Grundwasser entwickelt. Diesen Auswirkungen wird die Schutzwürdigkeit von Boden und Grundwasser gegenübergestellt und das bodenökologische Risiko bzw. der bodenökologische Nutzen der Maßnahmen bewertet. Durch diese Risikoanalyse können Empfehlungen zum Grundwasser- und Bodenschutz bei der Ver- und Entsiegelung von Böden gegeben werden. Die BERLINER SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ UND FÜR BAU- UND WOHNUNGSWESEN (1993) hat ein Rundschreiben zur Art der Versiegelung von Verkehrs- und Parkplatzflächen sowie zur Ableitung und Versickerung von Regenwasser außerhalb von Wasserschutzgebieten und in der Schutzgebietszone III herausgegeben.

Im Rahmen einer ökologischen Teil-Datenerfassung und Kartierung im Umweltbereich der Stadt Plauen wurde in einem Teilgebiet der Stadt eine Flächenversiegelungsanalyse und Grünflächenbewertung vorgenommen sowie Maßnahmen zur Entsiegelung und zur Erhöhung des Versickerungsgrades entwickelt (ABS, 1994). Für die Flächenversiegelungsanalyse wurden häufig vorkommende Versiegelungsarten nach ihrem Versiegelungsgrad eingeteilt und ökologisch bewertet. PRANZAS (1994) hat eine Methode zur Ausweisung von Entsiegelungspotentialen in Wohngebieten entwickelt (vgl. PRANZAS in BERLEKAMP u. PRANZAS, 1992). Dabei wird ein Ansatz verfolgt, der es erlaubt, potentiell gering oder kaum genutzte Flächen zu identifizieren. Die Grundlagen für das vorgestellte Konzept bilden Übersichtsversiegelungserhebungen, die die Gebäudegrundflächen und die versiegelten Freiflächen differenziert ausweisen. MUTH (1989, 1990, 1994a, 1994b) und BORGWARDT et al. (1994) haben sich mit den Voraussetzungen und Möglichkeiten der Regenwasserversickerung von Verkehrsflächen beschäftigt. Demnach richtet sich die Versickerung von Regenwasser aus der Fläche nach dem Wasseranfall, dem möglichen oberirdischen Abfluß, dem Sickervermögen der gewählten Befestigung, dem Wasseraufnahmevermögen der Tragschicht, des Unterbaus und des Untergrunds sowie

dem Grundwasserflurabstand, dem Abstand zu Gebäuden und dem Verkehrsaufkommen. Die erste Voraussetzung nach ATV 138 (ATV, 1990) für die Regenwasserversickerung ist, daß das Niederschlags- bzw. das Abflußwasser nicht schädlich verunreinigt ist. Eine Gefährdung von Boden, Vegetation und Grundwasser muß aufgrund der Einleitung ausgeschlossen sein. Das Gefährdungspotential für den Boden und das Grundwasser muß eingeschätzt werden, indem die von benachbarten Emittenten und der unmittelbaren Verkehrsbelastung ausgehenden Verschmutzungen erfaßt werden (BORGWARDT et al., 1994). MOHS u. MEINERS (1993) unterscheiden in ihrem Untersuchungsprogramm zwischen der substratspezifischen und der nutzungsspezifischen Schadstoffemission. Die Autoren kommen in ihrer Literaturauswertung zu dem Ergebnis, daß unter Berücksichtigung der unsicheren Datenbasis und der Einbeziehung eines Sicherheitsabstands das Schadstoffemissionspotential gering frequentierter Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs als „mittel" und der begangenen Flächen als „niedrig" einzustufen ist. Anhand vorhandener Untersuchungen kommt BORGWARDT (1994b) zu dem Schluß, daß in Abhängigkeit von bestimmten Faktoren, z.B. dem Filter-, Puffer und Transformationsvermögen des Bodens, Niederschlagsabflüsse von Dachflächen, von unbelasteten Hofflächen und bei genauerer Untersuchung von untergeordneten Wohnstraßen als nicht schädlich verunreinigt einzustufen sind und somit versickert werden können. Die Belastung des Straßenabflusses mit Schmutzstoffen hängt im wesentlichen von der Verkehrsdichte ab. KIRCHNER (1986) hat sich mit der Möglichkeit der Versickerung von Öl, Benzin oder Dieselkraftstoff zusammen mit dem Niederschlagswasser von Parkplätzen, die mit einem wasserdurchlässigen Belag befestigt sind, auseinandergesetzt.

2.5 Bodenversiegelung und bodenbiologische Aktivitäten

Über die ökologischen Folgewirkungen, die sich aus der Bodenbeanspruchung durch Versiegelungsmaßnahmen ergeben, wie die Zerschneidung ehemals zusammenhängender Vegetationsflächen (Verinselung), den Eintrag von Schadstoffen durch nutzungsspezifische Belastungen, die Verringerung der Grundwasserneubildung, die Erhöhung des Oberflächenabflusses, die Beeinflussung der klimatischen Verhältnisse in der Stadt, die Verminderung der Wohn- und der Lebensqualität und den Verlust von Lebensräumen für Flora und Fauna ist schon viel berichtet worden (LAUKHUF u. BECKER 1986; GISEKE et al., 1988; MIESS, 1988; SCHULTE, 1988; SÖNTGEN, 1988; RUNGE et al., 1989; MÄHLENHOFF, 1991; PIETSCH u. KAMIETH , 1991; BUNZEL , 1992; CORDSEN, 1992).

Untersuchungen über die bodenbiologische Aktivität von teilversiegelten Flächen im speziellen von Rasengittersteinböden liegen von SCHULTE et al. (1990) vor. Im Rahmen einer umfassenden Studie über die Biologie städtischer Böden waren unter den verschiedenen Freiflächentypen, neben anderen stark anthropogen überformten Böden, zwei Parkplätze, die mit

Gittersteinen befestigt waren. Für einen dieser Standorte untersuchte WERITZ (1990) die mikrobiologischen Aktivitäten. Anhand der Parameter mikrobielle Biomasse (SIR) und den enzymatischen Aktivitäten der Xylanase- und Katalase ergab sich für diesen Standort ein gutes Dekompositionspotential. Dieses wurde neben den Mikroorganismen vor allem durch Diplopoden, Asseln, Enchyträen und Mikroarthropoden getragen (SCHULTE, et al., 1990). Aus der Gruppe der genannten Mikroarthropoden wurde die epigäisch lebende Collembolenfauna untersucht. Für die Collembolen auf den Rasengittersteinen wurde eine geringe bzw. hohe Aktivitätsabundanz verzeichnet. Im Vergleich zu einer benachbarten Rasenfläche wies der Rasengittersteinboden eine höhere mikrobiologische Aktivität auf und die Collembolenfauna hatte keine besondere Ähnlichkeit mit dieser angrenzenden Fläche.

Weitere Auskünfte über die Auswirkungen von anthropogenen Belastungsfaktoren auf die bodenbiologischen Aktivitäten können Untersuchungen an unversiegelten, aber stark überformten Stadtböden geben. In Stadtböden unterschiedlicher Nutzungstypen in Trier und Bonn bewertete WERITZ (1990) vgl. WERITZ u. SCHRÖDER (1990) die mikrobiellen Aktivitäten unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetallbelastungen. Es zeigte sich, daß die gemessenen Aktivitäten im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Böden als hoch einzuschätzen sind. Zu dieser Einschätzung kam auch SCHULTE (1995) in seiner Untersuchung von Leipziger Stadtböden. Die Untersuchungen von WERITZ (1990) zeigten aber auch, daß unausgewogene mikrobiologische Verhältnisse in verschiedenen Freiflächentypen vorlagen.

Der Arbeitskreis Stadtböden - Böden urban, gewerblich und industriell überformter Flächen - der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, hat im Rahmen des BMBF Verbundprojektes „Bewertung anthropogener Stadtböden" erstmalig bodenmikrobiologische Untersuchungen integriert (MACHULLA, 1997). In diesem Projekt wurden in ausgewählten Städten an repräsentativen Böden anthropogener Substrate Methoden für eine ökologische Bewertung dieser Böden entwickelt (BLUME u. SCHLEUSS, 1997). Bei der Gründung des Arbeitskreises (1987) stand die Erarbeitung einer Empfehlung für die Kartierung von Stadtböden (1989) im Vordergrund. Im Rahmen von stadtökologischen Untersuchungen wurden von BLUME u. RUNGE (1978) erste Kartierungsarbeiten in Berlin durchgeführt. In Ostdeutschland führten BILLWITZ u. BREUSTE (1980) in Halle stadtbodenkundliche Arbeiten durch. Es folgten Stadtbodenkartierungen in verschiedenen anderen Städten (u.a. GRENZIUS, 1987; CORDSEN et. al., 1988; KNEIP et al., 1990; SCHNEIDER u. KUES; 1990; FETZER et al., 1991; WOLFF, 1993; STOYE u. LINGSLEBE, 1994; SCHERER et al., 1995).

Bodenfaunistische Untersuchungen in urbanen Räumen wurden vor allen Dingen im Rahmen stadtökologischer Forschungsprojekte durchgeführt. Insbesondere die epigäische Fauna von Parks und Gärten wurde bereits mehrfach untersucht (SCHULTE, et al., 1990). Einen Überblick

über diese Forschungsarbeiten gibt KLAUSNITZER (1993). In der Innenstadt von Brandenburg untersuchte WILLER (1995) die Struktur, Dynamik und Ökologie epigäischer Collembolen im Vergleich zu Standorten außerhalb des Stadtgebietes. KEPLIN (1995) bemerkt in ihrer Untersuchung zur Bodenfauna städtischer Grünflächen unter dem Einfluß verschiedener Pflegemaßnahmen, in deren Mittelpunkt die Lumbriciden, Milben und Collembolen standen, daß es bislang nur wenige Studien zur hemiedaphischen Bodenfauna gibt (u. a. WEIGMANN u. STRATIL, 1979; STERZYNSKA, 1987; KÜHNELT, 1989; SCHULTE et. al., 1990). Stark anthropogen geprägte Baumscheiben gehörten zu den Standorten, an denen von KUZNETZOVA (1994) die hemi- und euedaphischen Collembolen in Moskau untersucht wurden. Die Collembolenfauna war auch Bestandteil einer Studie von HECK et al. (1995) über die Blei- und Cadmiumbelastung von Bodentieren in einem immisssionsbelasteten Forst in der Nähe von Berlin.

Collembolen besiedeln verschiedene Lebensräume in oft großen Populationen und sind weltweit bis in die Antarktis verbreitet. Ihre hohe Anzahl macht sie bodenbiologisch trotz ihrer geringen Größe von nur 0.2-9 mm zu wichtigen Bodenorganismen, die wesentlich an der Zersetzung im Boden beteiligt sind (EISENBEIS u. WICHARD, 1985). So gehören die Collembolen auch in städtischen Räumen zu den Tiergruppen mit den meisten Individuen (KLAUSNITZER, 1993). Zugute kommt den Collembolen auch in städtischen Lebensräumen, daß sie aufgrund unterschiedlicher Lebensformtypen die verschiedensten Biotoptypen besiedeln können. Diese Ausprägungen stellen nach DUNGER (1983) eine Anpassung an unterschiedliche edaphische und mikroklimatische Faktoren dar.

In der Kraut- und Strauchschicht sowie auf Baumstämmen halten sich die atmobiotisch lebenden Collembolen auf. Die epedaphischen Collembolen leben auf dem Boden und in der Streuschicht. In der Streu aber auch in den obersten Bodenschichten leben die hemiedaphischen Arten. Die euedaphischen Arten sind die echten Bodenbewohner. Die stärkste Collembolenbesiedlung der letztgenannten Lebensformtypen findet in der Vermoderungsschicht der Humusauflage und/oder im humosen Oberboden statt. In diesen Horizonten sind die überwiegend mesophilen Collembolen vor klimatischen Schwankungen geschützt und finden genügend Nahrung sowie als grabunfähige Tiere ein ausreichendes Hohlraumsystem vor (DUNGER, 1983). Mit zunehmender Tiefe oder Bodenverdichtung und damit Reduzierung des Porendurchmessers sinkt die Besiedlungsdichte der Collembolen (HEISLER, 1993, 1995; HEISLER u. KAISER, 1995; KEPLIN, 1995; SCHRADER u. LINGNAU, 1997).

Die Bedeutung der Bodenfauna für die Dekomposition liegt in der Steuerfunktion für den Abbau der organischen Substanz durch die Mikroorganismen. Diese Funktion als Katalysator der mikrobiellen Aktivität liegt vor allem in der Stimulierung des Wachstums und der Verbreitung der Mikoorganismen. Insbesondere durch das selektive Abweiden von Pilzhypen (BENGTSSON

et al., 1988; HELLUND et al., 1991) bewirken die Collembolen, daß diese ständig wachsen. Dieser selektive Fraß hat somit Auswirkungen auf die mikrobiellen Dominanzverhältnisse im Boden. Darüber hinaus werden die fast unverdauten Pilzsporen mit dem Kot der Collembolen verbreitet. Ein weiter Transport der Mikroorganismen erfolgt über die Haftung an der Körperoberfläche der Tiere (DUNGER, 1983, CURRY, 1997).

Da Collembolen in anderen Habitaten als Bioindikatoren verwendet werden (u.a. KOPESZKI 1991; LÜBBEN, 1991; FILSER, 1993; SCHICK u. KREIMES, 1993, vgl. SCHICK, 1990; WRIGHT, 1994; GEISSEN, 1997), können über die Besiedlungsdichte und Artenzusammensetzung von Collembolenzönosen Hinweise auf mögliche Belastungen von Stadtböden getroffen werden. Nach DUNGER (1983) eignen sich Collembolen als Bioindikatoren aufgrund verschiedener Merkmale (vgl. PETERSEN, 1992). Durch ihre Lebensform- und Ernährungstypen zeigen sie ökologische Ansprüche an, sie bilden keine widerstandsfähigen Dauerstadien, durchleben eine schnelle Entwicklung (1-4 Generationen im Jahr) und können so rasch auf Umweltveränderungen reagieren, weisen eine hohe Korrelation zu kurzlebigen Mikroorganismen sowie eine hohe Individuendichte und Ortstreue auf. Durch diese hohe Anpassungsfähigkeit an verschiedenste Lebensräume können sie für die Standortdiagnose in weiten geographischen Bereichen zu allen Jahreszeiten herangezogen werden (WALLWORK, 1976).

3. Untersuchungsschwerpunkte

3.1 Versiegelungserhebungen in ausgewählten Stadtstrukturtypen

3.1.1 Stadtstrukturtypen

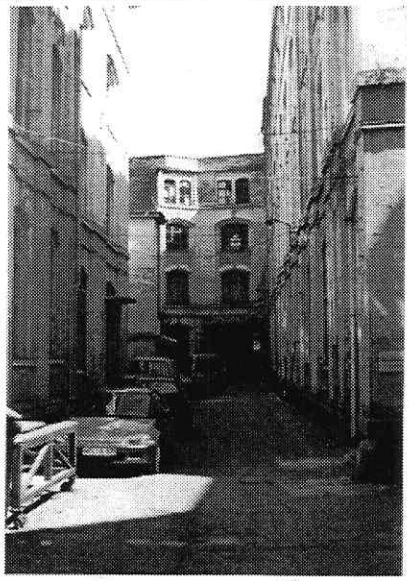
In den Städten Leipzig und Dresden wurden zur Kennzeichnung des Ausmaßes der Bodenbeanspruchung durch Versiegelungsmaßnahmen Kartierungen durchgeführt. Die Erhebung der Bodenversiegelung erfolgte in verschiedenen Stadtstrukturtypen (Tab. 20). Die Ausgliederung von Stadtstrukturtypen im urbanen Raum erfolgt über die Flächennutzung. Diese ist nach BREUSTE (1994) ein wichtiges Kriterium für die Abgrenzung und Charakteristik ökologisch gleichartiger Räume, da die Umweltbedingungen in der Stadt wesentlich von der Nutzung der Flächen bestimmt werden (BREUSTE, 1986; DUHME u. PAULEIT, 1992; WITTIG et al. 1993; SUKOPP, 1995). Verschiedene Untersuchungen zeigten, daß zur Differenzierung von Stadtstrukturtypen die Baustruktur, die Baualtersklassen, die Baudichte und die typische Freiraumkonfiguration genutzt werden können (u.a. BREUSTE, 1986, 1996; DUHME u. PAULEIT, 1992). Als ein wesentlicher Indikator zur Kennzeichnung von Stadtstrukturtypen wird die Bodenversiegelung angesehen. Demzufolge basieren zahlreiche Erfassungen des Versiegelungszustandes in Städten auf dieser Art der umweltbezogenden Raumgliederung (u.a. BÖCKER, 1985; BÖHME, 1986; BERLEKAMP u. PRANZAS, 1990; HEBER u. LEHMANN, 1993). In Tabelle 20 sind die ausgewählten Stadtstrukturtypen der vorliegenden Arbeit aufgeführt.

Tab. 20: Ausgewählte Stadtstrukturtypen für die Detailkartierung

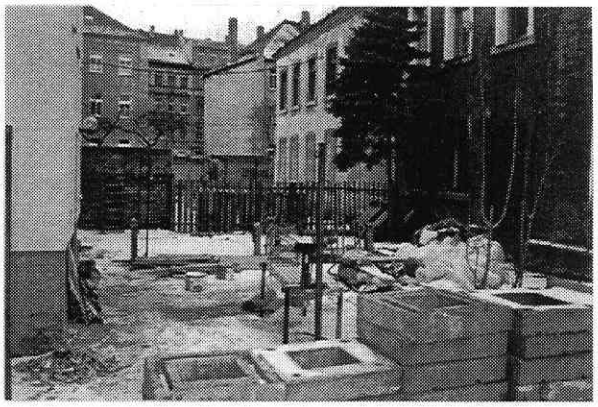
Stadtstrukturtypen	
Stadtzentrum	Innerstädtische Plattenbauten
Gründerzeitliche Blockbebauung (offen, geschlossen, umgestaltet)	Wohnparks/Wohnanlagen
Gründerzeitliche Blockrandbebauung	Villen/Stadthäuser
Randbebauung der 20/30er Jahre	Ein- und Zweifamilienhäuser
Zeilenbebauung der 20/30er Jahre	Ehemalige Dorfkerne
Zeilenbebauung der 50/60er Jahre	Revitalisierte Industriegebiete
Großwohnsiedlungen der 70/80er Jahre	Neue Gewerbe- u. Industrieansiedlungen

Das Stadtzentrum von Leipzig ist geprägt durch seine Tradition als Messe- und Handelsplatz. In der Gründerzeit entstand der Gebäudetyp des Messepalastes. Dieser löste die mittelalterlichen Kaufmanns- und Handelshöfe, aus denen sich die typischen Passagensysteme entwickelt haben, ab. Charakteristisch für die untersuchten Städte sind vor allem Wohn- und Mischgebiete aus der Gründerzeit. Ihr Anteil an der gesamten Baustruktur Leipzigs beträgt 40% (STADT LEIPZIG, 1994). Eine Differenzierung der in den Jahren 1870–1914 erbauten Gebäude erfolgt nach ihrer Baukörperstruktur. Die geschlossene Blockbebauung zeichnet sich durch eine Bebauung des Grundstücks mit 3–5 geschossigen Vorderhäusern, Hinterhäusern und Nebengebäuden aus. Durch die Bebauung der Blockinnenbereiche sind die vorhandenen

Hofflächen sehr klein. Die einzelnen Vorderhäuser umschließen ein Straßengeviert lückenlos. Hingegen sind die Vorderhäuser bei der offenen Blockbebauung durch die nicht überbauten Hofzufahrten voneinander getrennt. Eine Besonderheit der Blockbebauung stellen die umgestalteten Wohngebäude in der Vorwendezeit dar. Diese gründerzeitlichen Karees wurden Ende der siebziger Jahre einer sogenannten Funktionsbereichssanierung unterzogen. Bei dieser Sanierung wurden Dächer, Fassaden und Fenster erneuert. Die Höfe wurden größtenteils entkernt und die alte Grundstücksparzellierung aufgehoben. Der große begrünte Innenhof ist das typische Merkmal der Blockrandbebauung. Auch bei diesem Stadtstrukturtyp ist die Blockfläche geschlossen umbaut, aber der Blockinnenbereich unterliegt keiner Bebauung. Der im Zentrum gelegene Innenhof ist auch das Kennzeichen der Randbebauung der 20/30er Jahre. Im Unterschied zu der gründerzeitlichen Blockrandbebauung unterliegt die Freifläche aber einer gemeinschaflichen Nutzung. Es existiert keine Grundstücksparzellierung. Bei der Zeilenbebauung der 20/30er und 50/60er Jahre sind die mehrgeschossigen Wohnhäuser in Reihen angeordnet. Die Zeilen sind durch Grünflächen (Abstandsgrün) voneinander getrennt. Bei den Großwohnsiedlungen handelt es sich um mehr- und vielgeschossige Wohnungen, die in den 70/80er Jahren in Plattenbauweise errichtet wurden. Die Gebäude sind zum größten Teil um einen zentralen Innenhof angeordnet. Die untersuchten innerstädtischen Erneuerungsgebiete in Plattenbauweise entstanden in den achtziger Jahren. Die Wohnungsbauten wurden in Kriegsbaulücken errichtet. In diesem Strukturtyp befinden sich noch vereinzelt Häuser aus der Gründerzeit und/oder aus den 50/60er Jahren. Als Bebauungstyp der 90er Jahre wurde der Wohnpark bzw. die Wohnanlage ausgegliedert. Dieser Stadtstrukturtyp entsteht verstärkt in den Stadtrandbereichen von Leipzig und Dresden. Die Wohngebäude umschließen auch hier häufig einen Innenhof, wo oftmalig eine Tiefgarage angelegt ist. Die untersuchten Villenviertel sind um die Jahrhundertwende entstanden. Es sind größtenteils zweigeschossige freistehende Gebäude, die sich durch großflächige Gärten auszeichnen. Bei der Doppelhausbebauung handelt es sich um eine Einfamilienhausbebauung, wobei jeweils zwei Häuser miteinander verbunden sind. Am Stadtrand von Leipzig existieren noch ehemalige Dorfkerne, die neben Gebäuden des alten Dorfes auch Gründerzeithäuser und Neubauten der Nachkriegszeit enthalten. Speziell in Leipzig befinden sich in den obengenannten gründerzeitlichen Mischgebieten eine Vielzahl von Altgewerbe- und Industriestandorten. Im Zuge der Stadtentwicklung sollen diese Flächen für produzierendes Gewerbe erhalten bleiben und Industriebrachen für Gewerbeparks genutzt werden. Im Gegensatz dazu entstehen neue Industrie-, Gewerbeparks und Einkaufszentren am Stadtrand. In der folgenden Abbildung 1 sind ausgewählte Stadtstrukturtypen dargestellt.



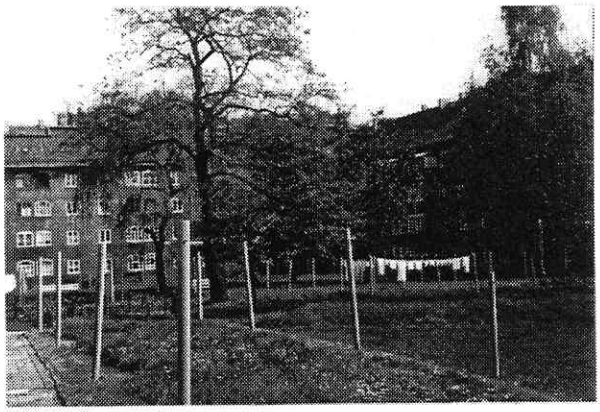
Stadtzentrum



Gründerzeitliche Blockbebauung

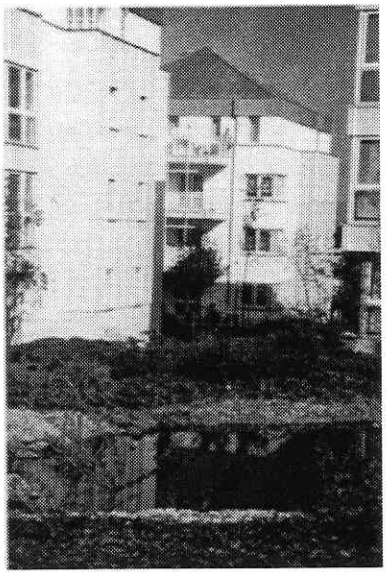
Gründerzeitliche Blockrandbebauung

Zeilenbebauung der 50/60er Jahre

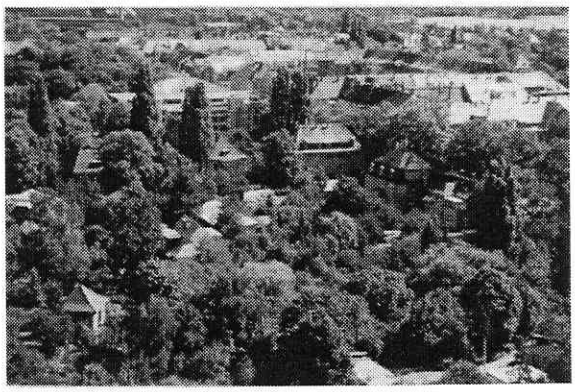


Randbebauung der 20/30er Jahre

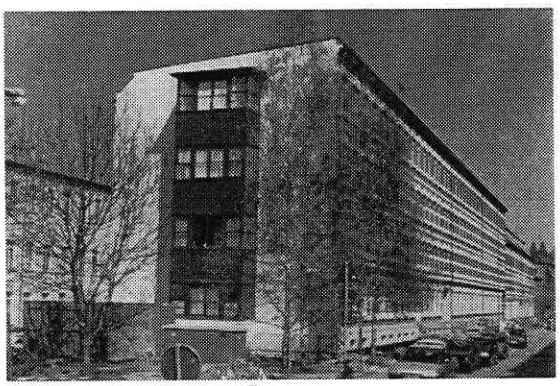
Abb. 1: Ausgewählte Stadtstrukturtypen



Wohnpark der 90er Jahre

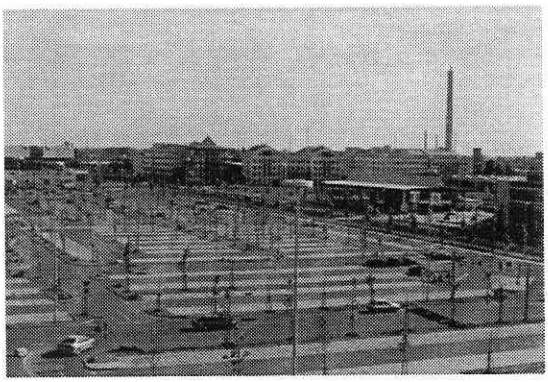


Villen



Revitalisiertes Industrie- und Gewerbegebiet

Großwohnsiedlung der 70/80er Jahre



Einkaufszentrum

Fortsetzung Abb. 1: Ausgewählte Stadtstrukturtypen

3.1.2 Methodik

Als Erhebungsmethode wurde ein von BERLEKAMP in BERLEKAMP u. PRANZAS (1990, 1992) entwickelter Kartierungsschlüssel angewendet (Tab. 21-22). Aufgenommen werden die Nutzungs-, die Belags- und die Entwässerungsart. Eine weitere Differenzierung der Flächen erfolgt über die Kartierung ergänzender Merkmale. Mit Hilfe des Kartierungsschlüssels wird eine bestimmte, hinsichtlich der oben genannten Merkmale homogene Teilfläche im Gelände eingestuft. Die Kartierungsgrundlagen sind Katasterkarten im Maßstab 1:500. Die Bezugsflächen bestehen bei den Bebauungsstrukturen aus ganzen Baublöcken (Straßengevierte). Diese setzen sich bei den gründerzeitlichen Stadtstrukturtypen, den Villen/Stadthäusern und den Doppelhäusern aus mehreren Grundstücken zusammen. Die vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten ermöglichen eine Erfassung aller Teilflächen eines Stadtstrukturtyps. Der Kartierungsschlüssel wurde für das vorliegende Forschungsprojekt um einige Aufnahmepunkte ergänzt. In der Merkmalsgruppe Nutzungsart wurde als Flächeninanspruchnahme der ruhende Verkehr (Parkplätze) und in der Gruppe Belagsart wurden die für ostdeutsche Städte typischen Befestigungsarten Großformat- und Natursteinplatten aufgenommen. Diese Merkmalsgruppe wurde um den Punkt bewachsene Böden erweitert (Tab. 23).

Tab. 21: Kartierungsschlüssel (BERLEKAMP in BERLEKAMP u. PRANZAS, 1992, S. 66, modifiziert)

Versiegelungskennziffer A - Nutzung	**Versiegelungskennziffer B - Belag**	**Versiegelungskennziffer C - Entwässerung**	**Versiegelungskennziffer D -ErgänzendeMerkmale**
1 Gebäude, geneigtes Dach	1 Gebundene Decke	1 Kanalanschluß	1 undurchlässiger Unterbau
2 Gebäude, flaches Dach	2 Großformatplatten	2 bedingter Kanalanschluß	2 Fugen vergossen
3 Container	3 Natursteinplatten	3 Drainagen	3 starke (Fugen) Vegetation
4 Freifläche, begangen	4 Plattenbelag	4 Grabenanschluß	4 stärker durchlässig
5 Freifläche, befahren	5 Betonverbundsteine/ Klinkersteine	5 Stauwasser	5 Fläche unter Geländeoberfläche
6 Freifläche, ruhender Verkehr	6 Groß./Mittelpflaster	6 Entwässerung unklar	6 Fläche über Geländeoberfläche
7 Freifläche, keine Nutzung	7 Klein.-/Mosaikpflaster	7 technische Versickerung	7 Fläche über/auf Untergrundbauwerk
8 Wasserfläche	8 Ungebundene Decken	0 natürliche Versickerung	8 Fläche auf Bauwerk
9 Gleiskörper	9 Lockermaterialien		9 starkes Gefälle
10 Sonderfläche	10 Betonsickerpflaster		10 offene Überdachung
0 Freifläche, unversiegelt	11 vegetationslose Böden		
	12 bewachsene Böden		
	0 flächendeckende Vegetation		

Tab. 22: Erläuterungen zum Versiegelungsarten-Schlüssel (Kartierungsschlüssel (BERLEKAMP in BERLEKAMP u. PRANZAS, 1992, S. 66, modifiziert)

A Nutzungsart:
A 1 : nur in Verbindung mit B1: Gebäude, Tiefgaragen
A 2 : wie A1, aber Dachflächen-Neigung = 0
A 3: dreidimensionale Baukörper, die nicht als Gebäude bezeichnet werden können, z.B. Müllcontainer, Tanks (in Verbindung mit B1 oder B0)
A 4: Fuß- und Radwege
A 5: Straßen
A 6: Parkplätze
A 7: versiegelt, aber A1 - A6 und A8 - A10 nicht zutreffend (u.a. unbekannte Versiegelungen)
A 8: künstlich oder natürlich
A 9: Straßen und Bahngleise
A 10: künstliche Aufschüttungen z.B. Baustoffe, -schutt, Deponie, Spielsand oder Baugruben
A 0: in Verbindung mit B0, B11 oder B12
B Belagsart:
B 1: hydraulisch u. bituminös gebundene Decken; Kunstoffdecken, Stahl und Eisenabdeckungen, Teichfolien
B 2: Plattengröße z.B. 120 cm x 120 cm, 120 cm x 50 cm aus Waschbeton
B 3: Natursteinplatten z.B. 50 cm x 100 cm, 50 cm x 150 cm
B 4: Plattengröße 30 cm x 30 cm, 50 cm x 50 cm
B 5: alle Formen, zusätzlich Klinkersteine und Fliesen
B 6: über 7 cm x 7 cm Pflastersteingröße (bis 16 cm Kantenlänge), auch aus Beton; Kopfsteinpflaster
B 7: bis 7 cm x 7 cm Pflastersteingröße
B 8: Wassergebundene Decken: Asche, Splitt, Schlacken, Schottererde
B 9: z.B. Kies, Sand, Steine; Rindenmulch
B10: alle Formen, z.B. Betongrasplatten, Graslochsteine, Rasengittersteine, Rasenfugenpflaster
B11: vegetationslose bis spärlich bewachsene Böden (Deckungsgrad < 5 %)
B12: Angabe des Deckungsgrades in % zwischen 5 % und 75 %
B 0: flächendeckende Vegetation > 75 %

Fortsetzung Tab. 22: Erläuterungen zum Versiegelungsarten-Schlüssel

C Entwässerungsart:
C 1: Kanaleinzugsbereich = 100 % der Bezugsfläche d.h. das Oberflächenwasser wird zu 100 % an den nächsten Gully abgegeben
C 2: Kanaleinzugsbereich < 100 %, d.h. eine nicht unmittelbar angeschlossene versiegelte Teilfläche (z.B. Gehweg) leitet ihr Oberflächenwasser über eine versiegelte mit einem Gully versehene Teilfläche (z.B. Fahrbahn) ins Kanalnetz
C 3: Drainagen, z.B. Sportrasenflächen
C 4: 100 % angeschlossene Flächen, d.h. die betroffene Versiegelungsart entwässert hundertprozentig durch einen (un-) befestigten bzw. verrohrten Graben
C 5: kein Gully oder randliche Versickerungsmöglichkeiten vorhanden, z.B. künstliche Wasserbecken, die keinerlei Wasseraustausch mit dem Boden zulassen
C 6: Verbleib des technischen abgeführten Niederschlagswassers unbekannt
C 7: gezielte, flächenhafte, technische Versickerung, z.B. Muldenversickerung
CO: flächenhafte natürliche Versickerung, d.h. es sind keine entwässerungstechnischen Mittel vorhanden und die Niederschläge versickern durch die versiegelte Fläche und/oder die Niederschläge fließen von der versiegelten Fläche in eine benachbarte, unversiegelte Fläche und versickern dort
C Differenzierungen:
D 1: z.B. im Zusammenhang mit eingefaßten Gewässern
D 2: z.B. durch Teer oder Zement
D 3: z.B. Vegetation bei Pflaster und Platten, Rasen oder Moos bei Betongittersteinen, Trittsteine auf Rasen, stark aufkommende Vegetation z.B. auf nicht versiegelten Böden (B 11- B 0) Aufschüttungen (B 9) oder ungenutzten Versiegelungsarten (A 7)
D 4: z.B. brüchige Decken, Schlaglöcher, Risse, größere Fugen
D 5: z.B. Kellerzugänge
D 6: Balkone und Brücken
D 7: z.B. Wege oder Parkplätze auf einer Tiefgarage und einem Bauwerk
D 8: z.B. Parkplätze auf einem Gebäude; Dachterrasse
D 9: nicht reliefbedingtes Gefälle $\geq$ 15 %, z.B. Garagenzufahrten; Rampen
D 0: in Verbindung mit A 1/A 2 z.B. bei Terrassen, Hauseingängen; Carports

Tab. 23: Kartierungsblatt für die Detailkartierung

Blattnummer:	Nutzungstyp:										
Flächennummer:											
A: Nutzungsart:											
1 Dach, geneigt											
2 Dach, flach											
3 Container											
4 begangen											
5 befahren											
6 ruhender Verkehr											
7 keine Nutzung											
8 Wasserfläche											
9 Gleiskörper											
10 Sonderfläche											
0 unversiegelt											
B: Belagsart:											
1 Gebundene Decken											
2 Großformatplatten											
3 Natursteinplatten											
4 Plattenbeläge											
5 Betonverbundsteine											
6 Groß- und Mittelpflaster											
7 Klein- und Mosaikpflaster											
8 Ungebundene Decken											
9 Lockermaterialien											
10 Betongittersteine											
11 vegetationslose Böden											
12 bewachsene Böden											
0 flächendeckende Vegetation											
C: Entwässerung:											
1 Kanalanschluß											
2 bedingter Kanalanschluß											
3 Drainage											
4 Grabenanschluß											
5 Stauwasser											
6 Entwässerung unklar											
7 technische Versickerung											
0 natürliche Versickerung											
D: Differenzierungen:											
1 undurchlässiger Unterbau											
2 Fugen vergossen											
3 starke (Fugen-) Vegetation											
4 stärker durchlässig											
5 Fläche unter GOF											
6 Fläche über GOF											
7 Fläche über/auf Untergrundbauwerk											
8 Fläche auf Bauwerk											
9 starkes Gefälle											
0 offene Überdachung											
Flächengröße											

Anhand der Auswertung von Echtfarben- und Infrarotluftbildern im Maßstab 1:5000, der Flächennutzungskarte von Leipzig im Maßstab 1:25000, des Ortsteilkatalogs der STADT LEIPZIG (1993) und Geländebegehungen wurden die Untersuchungsgebiete in den Stadtstrukturtypen Leipzigs festgelegt. Die Auswahl der Testflächen in Dresden beruht auf der Stadtstrukturtypeneinteilung von HEBER u. LEHMANN (1993). Aufgrund des hohen Kartierungsaufwandes lag der Schwerpunkt der Versiegelungserhebungen im Stadtgebiet von Leipzig.

Für die Auswertung des Ausmaßes der Bodenversiegelung in den Stadtstrukturtypen werden die ermittelten Kennwerte der Untersuchungsgebiete miteinander verglichen. Als allgemeine Kennwerte wären hier der Versiegelungsgrad, der prozentuale Anteil der Gebäude-, der versiegelten Frei- und der nicht versiegelten Freiflächen zu nennen. In dieser Untersuchung werden alle befestigten Flächen zur versiegelten Freifläche gezählt. Die Analyse der Untersuchungsergebnisse wird einerseits nur für die Blockflächen und andererseits für die Blockflächen mit integrierten Verkehrsflächen vorgenommen. Unter der Verkehrsfläche wird die halbe Straßenbreite, die Fuß- und Radwege, das Verkehrsbegleitgrün und die Parkflächen im Straßenraum eines Baublocks verstanden. Die weitergehende Auswertung des Kartierungsschlüssels erfolgt im Hinblick auf die Nutzungs-, Belags- und Entwässerungsart der versiegelten Freiflächen. Diese beziehen sich nur auf die Blockflächen. Zur Veranschaulichung der Kartierungsergebnisse sind für ausgewählte Stadtstrukturtypen Versiegelungskarten erarbeitet worden. Im Anschluß an Kapitel 3.1 sind diese Karten aufgeführt.

3.1.3 Detailkartierung in Leipzig

In Tabelle 24 sind die allgemeinen Kennwerte für die kartierten Stadtstrukturtypen aufgeführt. Die Ergebnisse decken sich mit Angaben aus anderen Städten (BÖHME, 1986; GISEKE et al., 1988; RANFT, 1991a; BERLEKAMP u. PRANZAS, 1992; HEBER u. LEHMANN, 1993; SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ DER STADT BERLIN, 1993). Es zeigt sich, daß sich die Gesamtversiegelungsgrade bei Einbeziehung der Verkehrsfläche um durchschnittlich 10% erhöhen. Insbesondere die Straßenbreite kann sich als zusätzliches nutzungsspezifisches Merkmal auswirken (BERLEKAMP u. PRANZAS, 1990). Nur bei den untersuchten Strukturtypen, die über einen sehr hohen Versiegelungsgrad verfügen, wie z.B. das Stadtzentrum oder die revitalisierten Industrieflächen, fällt die Eingliederung des Straßenraums nicht so ins Gewicht. Für das neue Gewerbegebiet ergibt sich eine geringfügige Abnahme des Versiegelungsgrades, da sich im Straßenraum eine größere unversiegelte Fläche befindet. Bei Ausklammerung der Verkehrsfläche wird der Einfluß der Baumasse auf den Versiegelungsgrad deutlicher (Abb. 2).

Tab. 24: Versiegelungsgrad und prozentualer Anteil der einzelnen Flächennutzungen an der Gesamtfläche in den Untersuchungsgebieten in Leipzig - **Fettdruck** = Untersuchungsfläche **ohne** Verkehrsfläche

Nr.	Versiegelungs-grad %		Gebäude-fläche %		Wohngebäude %		Nebengebäude %		versiegelte Freifläche %		unversiegelte Freifläche %	
Blockbebauung												
1	84.60	**79.50**	43.00	**57.20**	36.30	**48.30**	6.70	**8.90**	41.60	**22.30**	15.40	**20.50**
2	70.30	**62.70**	39.10	**49.20**	33.70	**42.40**	5.40	**6.80**	31.20	**13.50**	29.70	**37.30**
3	89.30	**84.40**	39.70	**58.10**	30.70	**44.90**	9.00	**13.20**	49.60	**26.30**	10.70	**15.60**
4	90.90	**88.20**	42.30	**59.20**	29.50	**41.30**	12.80	**17.90**	48.60	**29.00**	9.10	**11.80**
5	94.58	**92.88**	47.31	**62.21**	30.31	**39.86**	17.00	**22.35**	47.27	**30.67**	5.42	**7.12**
6	83.52	**78.10**	41.40	**55.01**	33.86	**44.99**	7.54	**10.02**	42.12	**23.10**	16.48	**21.90**
7	84.70	**81.02**	38.69	**48.01**	35.94	**44.60**	2.75	**3.41**	46.01	**33.01**	15.30	**18.98**
umgestaltete Blockbebauung												
1	94.37	**91.70**	42.09	**66.13**	37.54	**58.98**	4.55	**7.15**	52.28	**25.57**	5.63	**8.30**
2	82.33	**74.00**	31.69	**46.79**	21.67	**32.00**	10.02	**14.79**	50.64	**27.21**	17.67	**26.00**
offene Blockbebauung												
1	74.40	**66.50**	34.70	**45.60**	25.10	**33.00**	9.60	**12.60**	39.70	**20.90**	25.60	**33.50**
2	75.20	**67.00**	35.00	**46.60**	29.50	**39.30**	5.50	**7.30**	40.20	**20.40**	24.80	**33.00**
3	84.16	**78.53**	33.25	**45.08**	27.11	**36.76**	6.14	**8.32**	50.91	**33.45**	15.84	**21.47**
4	84.93	**79.54**	33.00	**44.81**	27.02	**36.69**	5.98	**8.12**	51.93	**34.73**	15.07	**20.46**
5	76.76	**77.53**	36.60	**49.76**	34.86	**47.39**	1.74	**2.37**	40.16	**27.77**	23.24	**22.47**
6	75.15	**70.01**	32.72	**45.05**	23.35	**32.15**	9.37	**12.90**	42.43	**24.96**	24.85	**29.99**
Blockrandbebauung												
1	74.30	**64.20**	33.40	**46.50**	32.70	**45.60**	0.70	**0.90**	40.90	**17.70**	25.70	**35.80**
2	69.50	**59.20**	32.50	**43.30**	30.10	**40.10**	2.40	**3.20**	37.00	**15.90**	30.50	**40.80**
3	78.10	**70.90**	40.40	**54.40**	39.20	**52.70**	1.20	**1.70**	37.70	**16.50**	21.90	**29.10**
4	81.90	**75.80**	42.30	**57.40**	40.40	**54.80**	1.90	**2.60**	39.60	**18.40**	18.10	**24.20**
5	76.80	**69.70**	36.40	**49.40**	32.40	**43.90**	4.00	**5.50**	40.40	**20.30**	23.20	**30.30**
6	76.54	**67.28**	35.03	**48.86**	32.34	**45.12**	2.69	**3.74**	41.51	**18.42**	23.46	**32.72**
Randbebauung der 20/30er Jahre												
1	71.00	**62.70**	33.70	**43.40**	31.50	**40.50**	2.20	**2.90**	37.30	**19.30**	29.00	**37.30**
2	80.50	**72.10**	35.40	**50.80**	32.30	**46.40**	3.10	**4.40**	45.10	**21.30**	19.50	**27.90**
3	77.40	**68.80**	36.70	**50.60**	35.30	**48.70**	1.40	**1.90**	40.70	**18.20**	22.60	**31.20**
4	81.00	**72.20**	36.90	**54.00**	36.90	**54.00**	0.00	**0.00**	44.10	**18.20**	19.00	**27.80**
5	66.90	**54.90**	29.30	**40.00**	29.20	**39.80**	0.10	**0.20**	37.60	**14.90**	33.10	**45.10**
6	69.70	**58.80**	32.00	**43.50**	32.00	**43.50**	0.00	**0.00**	37.70	**15.30**	30.30	**41.20**
7	51.20	**39.90**	21.30	**26.40**	21.20	**26.30**	0.10	**0.10**	29.90	**13.50**	48.80	**60.10**
8	65.23	**54.27**	26.97	**35.90**	24.65	**32.81**	2.32	**3.09**	38.75	**18.37**	34.77	**45.73**
9	62.11	**52.40**	27.36	**34.37**	24.29	**30.52**	3.07	**3.85**	34.75	**18.03**	37.89	**47.60**
10	73.27	**64.69**	28.21	**43.95**	28.00	**43.63**	0.21	**0.32**	45.06	**20.74**	26.74	**35.32**
11	58.34	**52.32**	23.01	**35.05**	22.72	**34.60**	0.29	**0.45**	35.33	**17.27**	41.66	**47.68**
Zeilenbebauung der 20/30er Jahre												
1	48.69	**42.40**	31.14	**34.96**	30.85	**34.64**	0.29	**0.32**	17.55	**7.44**	51.31	**57.00**
Zeilenbebauung der 50/60er Jahre												
1	31.50	**25.90**	14.30	**15.90**	14.30	**15.90**	0.00	**0.00**	17.20	**10.00**	68.50	**74.10**
2	38.00	**28.30**	12.10	**14.00**	12.00	**13.80**	0.10	**0.20**	25.90	**14.30**	62.00	**71.70**

Fortsetzung Tab. 24: Versiegelungsgrad und prozentualer Anteil der einzelnen Flächennutzungen an der Gesamtfläche in den Untersuchungsgebieten in Leipzig **Fettdruck** = Untersuchungsfläche **ohne** Verkehrsfläche

Nr.	Versiegelungsgrad %		Gebäudefläche %		Wohngebäude %		Nebengebäude %		versiegelte Freifläche %		unversiegelte Freifläche %	
Villen/Stadthäuser												
1	56.70	**40.90**	19.30	**26.40**	16.60	**22.70**	2.70	**3.70**	37.40	**14.50**	43.30	**59.10**
2	46.70	**31.60**	15.80	**21.80**	14.00	**19.30**	1.80	**2.50**	30.90	**9.80**	53.30	**68.40**
3	45.52	**28.12**	14.04	**18.52**	10.46	**13.80**	3.58	**4.72**	31.48	**9.60**	54.48	**71.88**
4	48.00	**33.64**	16.20	**20.68**	12.13	**15.48**	4.07	**5.20**	31.80	**12.96**	52.00	**66.37**
Doppelhäuser												
1	52.00	**42.90**	21.20	**25.30**	16.90	**20.20**	4.30	**5.10**	30.80	**17.60**	48.00	**57.10**
2	49.13	**42.45**	22.14	**25.04**	15.52	**17.55**	6.62	**7.49**	26.99	**17.41**	50.88	**57.55**
3	51.87	**42.43**	20.39	**24.39**	15.99	**19.13**	4.40	**5.26**	31.48	**18.04**	48.13	**57.58**
Ehemaliger Dorfkern												
1	62.64	**53.59**	26.90	**34.27**	21.86	**27.85**	5.04	**6.42**	35.74	**19.32**	37.36	**46.41**
Großwohnsiedlung												
1	62.60	**55.90**	25.10	**36.10**	25.00	**35.90**	0.10	**0.20**	37.50	**19.80**	37.40	**44.10**
2	58.70	**53.30**	20.60	**33.00**	20.60	**33.00**	0.00	**0.00**	38.10	**20.30**	41.30	**46.70**
3	60.80	**50.50**	24.90	**34.60**	24.90	**34.60**	0.00	**0.00**	35.90	**15.90**	39.20	**49.50**
4	57.00	**46.20**	24.50	**33.50**	24.50	**33.50**	0.00	**0.00**	32.50	**12.70**	43.00	**53.80**
5	56.10	**45.90**	25.30	**35.50**	25.10	**35.20**	0.20	**0.30**	30.80	**10.40**	43.90	**54.10**
6	52.40	**44.10**	25.90	**34.10**	25.90	**34.10**	0.00	**0.00**	26.50	**10.00**	47.60	**55.90**
innerstädtische Erneuerungsgebiete in Plattenbauweise												
1	73.29	**60.71**	24.32	**35.79**	24.03	**35.76**	0.02	**0.03**	48.97	**24.92**	26.71	**39.29**
2	60.93	**54.02**	17.50	**20.68**	13.20	**15.60**	4.30	**5.08**	43.43	**33.34**	39.07	**45.98**
3	78.11	**67.21**	30.89	**46.28**	29.43	**44.09**	1.46	**2.19**	47.22	**20.93**	21.89	**32.79**
Stadtzentrum*												
1	98.18	**97.48**	54.12	**74.92**	51.31	**71.03**	2.81	**3.89**	44.06	**22.56**	0.53	**0.73**
revitalisierter Industriestandort												
1	88.70	**84.71**	37.28	**50.43**	36.68	**49.62**	0.60	**0.81**	51.42	**34.28**	11.30	**15.29**
2	90.17	**86.67**	37.24	**50.52**	37.24	**50.52**	0.00	**0.00**	52.93	**36.15**	9.83	**13.33**
3	95.64	**95.08**	56.98	**64.20**	56.98	**64.20**	0.00	**0.00**	38.66	**30.88**	4.36	**4.92**
Neues Gewerbegebiet												
1	85.53	**87.88**	37.66	**44.92**	37.64	**44.89**	0.02	**0.03**	47.96	**42.96**	14.47	**12.12**

* es ergeben sich für die Gesamtfläche keine 100 %. da nicht einsehbare Flächen nicht mitberechnet wurden

Der hohe Versiegelungsgrad der gründerzeitlichen geschlossenen, offenen (Karte 1 bis 4) und umgestalteten Blockbebauung geht sowohl auf den hohen Überbauungsgrad als auch auf den hohen Anteil an versiegelter Freifläche zurück. Vergleichbare Ergebnisse aus ostdeutschen Städte sind von BÖHME (1986) für Erfurt und von HEBER u. LEHMANN (1993) für Dresden ermittelt worden. In diesem Stadtstrukturtyp nehmen die Nebengebäude durchschnittlich 20 % der Gebäudefläche ein, so daß durch die Erschließung dieser Hinterhäuser, Lagerschuppen, Werkstätten etc. ein Großteil der Freiflächen versiegelt ist (Karte 1). In Karte 2 ist ein Beispiel für die aufgelockerte Blockbebauung dargestellt. Nicht alle Grundstücke sind in diesem Untersuchungsgebiet bebaut. Dieser Strukturtyp ähnelt der nachträglich verdichteten Blockrandbebauung in Karte 5. Der Einfluß der Innenhofbebauung auf den Versiegelungsgrad wird auch bei der offenen Blockbebauung sichtbar (Karte 2). Aufgrund der geringeren

Wohngebäudeflächen und dem größeren Anteil unversiegelter Böden ergibt sich ein Versiegelungsgrad von 73%. In den gründerzeitlichen Wohnbebauungstypen führt neben den angeführten Faktoren die unterschiedliche Hofüberbauung zu einer Streuung des Versiegelungsgrades. Diese Streubreite der Versiegelungsgrade wurde von BERLEKAMP u. PRANZAS (1990) als Kriterium für die Versiegelungstreue verwendet. Bei der Räumung der Innenhöfe der umgestalteten Blockbebauung kam es nicht zu einer bedeutsamen Schaffung von unversiegelten Bereichen. Vielmehr wurden die gewonnenen Freiräume erneut versiegelt. Die Untersuchungsgebiete der Blockrandbebauung (Karte 5 und 6) und der Randbebauung der 20/30er Jahre (Karte 7 und 8) sind aufgrund der größeren Grünflächen in den Innenhofbereichen mit einem durchschnittlichen Versiegelungsgrad von 67 bzw. 59% gekennzeichnet (Abb. 2). Aus Tabelle 24 wird deutlich, daß insbesondere in der Randbebauung der 20/30er Jahre der Versiegelungsgrad stark schwankt. In diesem Stadtstrukturtyp und auch in der Blockrandbebauung kommt es z.T. zu hohen Versiegelungsgraden, wenn eine kleine unversiegelte Innenfläche bei gleichzeitig hoher Baumasse vorliegt. Der Stadtstrukturtyp Zeilenbebauung der 50/60er Jahre (Karte 9) besitzt mit 72% (Abb. 2) den höchsten prozentualen Anteil an unversiegelten Böden und weist mit 12% einen geringen Anteil versiegelter Freifläche auf (Karte 9). Der durchschnittliche Versiegelungsgrad von 27% wird durch die großen Grünflächen zwischen den Zeilen bedingt. Auch die Zeilenbebauung der 20/30er Jahre ist durch einen hohen Anteil unversiegelter Böden gekennzeichnet (Tab. 24).

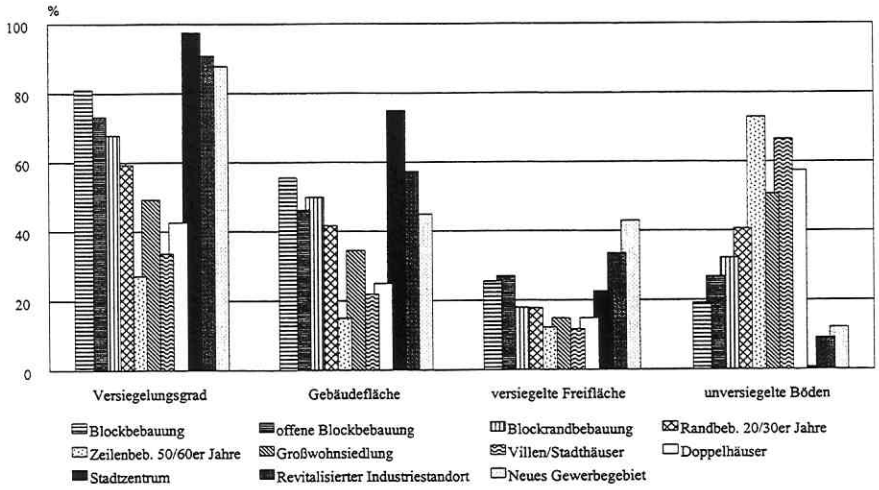


Abb. 2: Ausmaß der Bodenversiegelung in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (Mittelwerte)

Die Villen/Stadthäuser (Karte 10) haben mit 66% den zweithöchsten Anteil an unversiegelten Freiflächen. Dieser ergibt sich aus dem niedrigen Überbauungsgrad (22%) und dem geringeren Anteil versiegelter Freifläche (12%). Die prozentualen Anteile der unversiegelten Freifläche der Doppelhäuser liegt bei 57%. Bei diesem Stadtstrukturtyp nehmen die Nebengebäude (Garagen, Schuppen etc.) ca. 20% der Gebäudefläche ein (Karte 11). Das gleiche Ausmaß nehmen die Nebengebäude in dem ehemaligen Dorfkern ein. Von der alten Dorfsubstanz ist in diesem Untersuchungsgebiet nur noch ein Gehöft vorhanden. Vorhandene Baulücken wurden durch Neubauten geschlossen oder werden zur Zeit bebaut (Karte 12). Einen durchschnittlichen Versiegelungsgrad von 49% weist die Großwohnsiedlung auf. Bei einem Freiflächenanteil von 50 % betragen die Anteile der versiegelten Freifläche 15%. Dieser Bebauungstyp ist wie auch die Zeilenbebauung der 50/60er Jahre durch seine Homogenität in der Bebauungsstruktur, in den Erschließungsflächen, in der Größe und in der Aufteilung der Freiflächen gekennzeichnet (Karte 13). Die innerstädtischen Erneuerungsgebiete unterscheiden sich von den Großwohnsiedlungen durch ihre kompaktere Bebauungsstruktur und den höheren Anteil an versiegelter Freifläche (Tab. 24). Insbesondere das Stadtzentrum (Karte 15) und die revitalisierten Industriestandorte (Karte 16 und 17) zeichnen sich durch eine hohe Baumasse aus. Für das neue Gewerbegebiet (Karte 18) werden 45 % der Fläche für die Geschäftsgebäude und 43 % für den Parkraum (Stellflächen, Fahrgassen, Zufahrtswege) in Anspruch genommen.

Versiegelungsarten-Kennziffer A (Nutzung)

In Abbildung 3 sind die Mittelwerte der verschiedenen Nutzungsarten bezogen auf die versiegelte Freifläche in ausgewählten Stadtstrukturtypen dargestellt. Es wird deutlich, daß in allen Wohnbebauungstypen der überwiegende Teil der versiegelten Freiflächen begangen wird. Zu vergleichbaren Ergebnissen kam BERLEKAMP in BERLEKAMP u. PRANZAS (1992). In der Blockrandbebauung (Karte 6), in der Großwohnsiedlung (Karte 13) und in den innerstädtischen Plattenbauten sind fast 80 % der versiegelten Freifläche als Fußwege oder Plätze gestaltet. Über 80 % nehmen die begangenen Flächen in der Zeilenbebauung der 50/60er Jahre (Karte 9), in der Randbebauung der 20/30er Jahre (Karte 7 und 8) und in der umgestalteten Blockbebauung ein. In der Zeilenbebauung der 20/30er Jahre wird die gesamte versiegelte Freifläche begangen. Dementsprechend gering sind die Anteile der befahrenen Flächen in diesen Stadtstrukturtypen. In der offenen Blockbebauung, der Doppelhausbebauung, den Villen/Stadthäusern und dem ehemaligen Dorfkern werden ca. 48 % bzw. 60 % als Fußwege genutzt. Für die Blockbebauung ergeben sich durchschnittliche Werte von 57 % für die begangenen und von 30 % für die befahrenen Flächen. In den gewerblich genutzten Strukturtypen (vgl. BERLEKAMP in BERLEKAMP u. PRANZAS (1992) und dem Untersuchungsgebiet aus dem Stadtzentrum wird die versiegelte Freifläche vorrangig befahren und zum Parken genutzt

(Karte 15 bis 18). Dieser 65 %ige Anteil im Stadtzentrum ist vor allem auf eine Baulücke zurückzuführen, die als Parkplatz erschlossen ist.

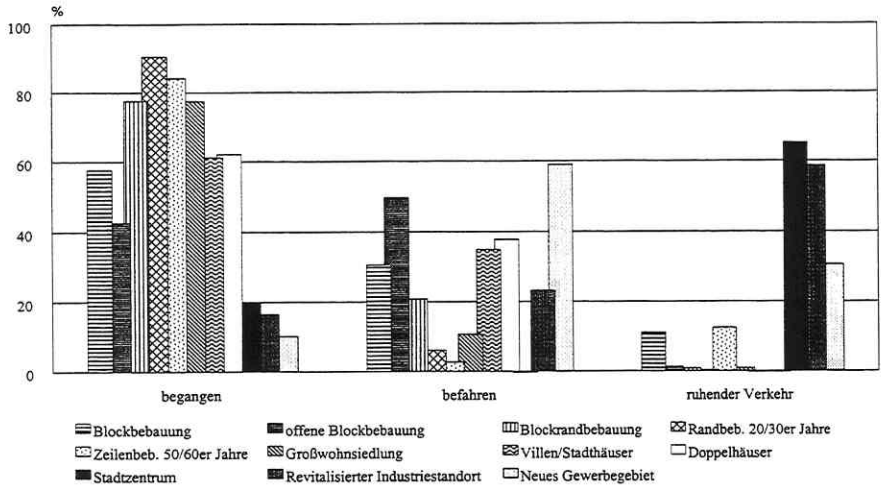


Abb. 3: Prozentualer Anteil ausgewählter Nutzungsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (Mittelwerte)

In der Zeilenbebauung der 50/60er Jahre bzw. in der Blockbebauung erreicht der Anteil des ruhenden Verkehrs Werte von ca. 12 %. Im ehemaligen Dorfkern werden 34 % der Freifläche für ein Parkhaus (Karte 12) verbraucht, für welches eine ehemalige Baulücke verwendet wurde. In der geschlossenen und offenen Blockbebauung werden die befahrenen Flächen noch zusätzlich als Stellplätze genutzt. In den übrigen Wohnbebauungstypen sind fast keine Parkflächen vorhanden. Nicht dargestellt in Abbildung 3 ist die Nutzung als Sonderfläche. Beispiele dafür sind in der Großwohnsiedlung die Sandspielflächen und im Stadtzentrum die Baustellen.

Versiegelungsarten-Kennziffer B (Belagsart)

In Abbildung 4 und 5 sind die mittleren prozentualen Anteile ausgewählter Belagsarten an der versiegelten Freifläche in den Stadtstrukturtypen dargestellt. Hohe Werte für die gebundenen Decken werden in den gewerblich genutzten Strukturtypen erreicht (Karte 16 bis 18) und in der nicht dargestellten Zeilenbebauung der 20/30er Jahre (68 %). Im Stadtzentrum und im ehemaligen Dorfkern sind ca. 50 % der Böden mit Asphalt befestigt. In den innerstädtischen Plattenbaugebieten werden noch über ein Viertel der Fläche durch gebundene Decken eingenommen. Im Rahmen der Versiegelungserhebung von BÖHME (1986) in der Stadt Erfurt wurden die gebundenen Decken (Beton, Asphalt, Bitumen) mit Plattenbelägen zu einer

Gruppe zusammengefaßt und aus aeronomischen Karten abgeleitet. Unter Berücksichtigung dieser Erhebungsmethode ergeben sich ähnliche Verhältnisse in den genannten Strukturtypen.

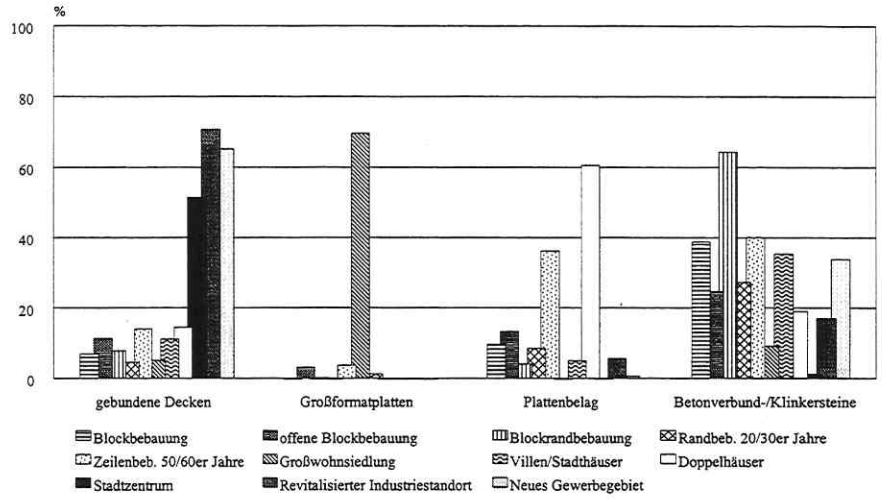


Abb. 4: Prozentualer Anteil ausgewählter Belagsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (Mittelwerte)

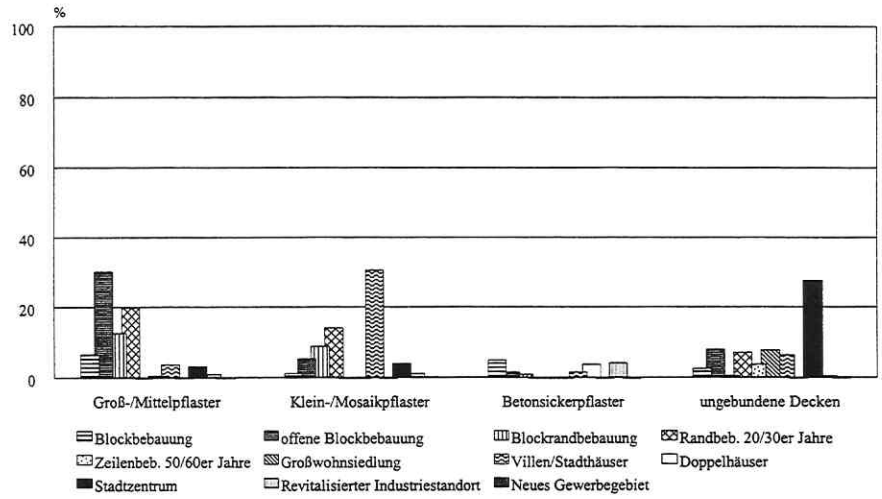


Abb. 5: Prozentualer Anteil ausgewählter Belagsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (Mittelwerte)

Die Werte in den übrigen Stadtstrukturtypen schwanken zwischen 5 und 14 %. Für die Großformatplatten (120 cm x 120 cm) ergibt sich ein eindeutiges Bild. Diese Belagsart ist typisch für die Großwohnsiedlung (Karte 13) und für die innerstädtischen Erneuerungsgebiete in Plattenbauweise. Sie nehmen dort fast 70 % der versiegelten Flächen ein. Nach BERLEKAMP in BERLEKAMP u. PRANZAS (1992) können die Großformatplatten somit als Leitversiegelungsart für diese Strukturtypen angesehen werden. In den Großsiedlungen der Berliner Versiegelungskartierung (SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ DER STADT BERLIN, 1993) finden sich die Großformatplatten in der Klasse 2 (Kunststein-, u. Plattenbeläge mit einer Kantenlänge > 8cm, Betonverbundpflaster, Klinker, Mittel- und Großpflaster) wieder. Mit 67 % an der unbebauten versiegelten Fläche ist diese Belagsklasse bestimmend für die Großsiedlung. Auch für die Rekonstruktion der Blockbebauung in der Vorwendezeit wurden für die Hofumgestaltungen Großformatplatten verwendet (81 %). Diese Strukturtypen unterscheiden sich somit von allen anderen Stadtstrukturtypen. Nur sehr untergeordnet ist dieser Belag in den Villen/Stadthäusern, der offenen Blockbebauung, der Blockrandbebauung und der Zeilenbebauung der 50/60er Jahre repräsentiert. In den übrigen Strukturtypen tritt diese Belagsart überhaupt nicht in Erscheinung. Die Fußwege in der Zeilenbebauung der 50/60er Jahre sind zu 36 % mit Plattenbelägen (30 cm x 30 cm) gepflastert. Die Zufahrten und Fußwege in den untersuchten Doppelhausgebieten sind zu 60 % mit dieser Belagsart befestigt (Karte 11).

Für die Gruppe der Betonverbund- und Klinkersteine ergibt sich ein Maximum in der Blockrandbebauung. Über 64 % der versiegelten Freiflächen sind mit Klinkersteinen befestigt. Diese sind als Umrandung um den zentralen Innenhof angeordnet (Karte 5 und 6). Bei den Villen/Stadthäusern (Karte 10) und den Doppelhäusern sind es die Zufahrten und Wege, die bis zu 35 % bzw. 19 % mit Betonverbundpflaster befestigt sind. Diese Befestigungsarten nehmen ca. 39 % der versiegelten Freiflächen in der Blockbebauung (Karte 1 bis 3) und der Zeilenbebauung der 50/60er Jahre ein. Die hohen Werte in der Zeilenbebauung wurden durch einen Belagsartenwechsel bei der Sanierung der Gebäude hervorgerufen. Die typischen Plattenbeläge sind durch Betonverbundsteine ersetzt worden. Ein Viertel der versiegelten Freifläche sind in der Randbebauung der 20/30er Jahre (Karte 7 und 8) und der offenen Blockbebauung (Karte 4) mit Betonverbund- und Klinkersteinen gepflastert. Die Fußwege in den Neubauten des ehemaligen Dorfkerns wurden mit Betonverbundsteinen gestaltet, so daß sich ein prozentualen Anteil von 35 % ergibt (Karte 12). Keine Anwendung fand diese Befestigungsart in der umgestalteten Blockbebauung und in den innerstädtischen Erneuerungsgebieten in Plattenbauweise und nur untergeordnet in der Großwohnsiedlung. Im neuen Gewerbegebiet und in den revitalisierten Industriestandorten sind es die Stellplätze, die mit Betonverbundsteinen befestigt sind (Karte 16 bis 18).

In der offenen Blockbebauung sind neben den Betonverbund- und Klinkersteinen die Groß- und Mittelpflaster vertreten. In diesem Strukturtyp wurden die Hofzufahrten mit den erwähnten Belagsarten befestigt. Abbildung 5 verdeutlicht, daß das Kopfsteinpflaster nicht oft innerhalb von Wohnstrukturen zu finden ist, sondern seinen Verbreitungsschwerpunkt als Straßenbefestigung in den gründerzeitlichen Quartieren hat. So waren auch im revitalisierten Industriestandort (Karte 16 und 17) vor der Umgestaltung die Zufahrtswege zu 42 % mit Kopfsteinpflaster befestigt. In den Villen/Stadthäusern werden die höchsten Werte für das Klein- und Mosaikpflaster (30%) erreicht. In der Zeilenbebauung bzw. der Randbebauung der 20/30er Jahre sind 20 % bzw. 14 % dieser Belagsart für die Befestigung der Freiflächen verwendet worden. Auch diese Beläge wurden vor allem in der Gründerzeit für die Gehwegbefestigungen (Karte 1, 2 und 5) verwendet.

Die Gruppe der neueren versickerungsfördernden Beläge wie Rasengittersteine, Rasenfugenpflaster oder Betonpflaster mit Sickeröffnungen wurde in allen untersuchten Strukturtypen nur im geringen Maße zur Flächenbefestigung verwendet. Die Detailkartierung in Hamburg erbrachte ebenfalls nur einen mäßigen Einsatz dieser Befestigungsarten (BERLEKAMP in BERLEKAMP u. PRANZAS, 1992). Die höchsten Werte erreichen diese Beläge in den Wohnbebauungstypen der offenen und der geschlossenen Blockbebauung (Karte 3) sowie der Einzel-/Doppelhäuser. In diesen sind es die Zufahrten und Stellplätze, die überwiegend mit Betonsickerpflaster befestigt sind. In den gründerzeitlichen Stadtstrukturtypen tritt im Zuge von Sanierungsmaßnahmen stellenweise eine Flächennutzungsänderung ein. Die entkernten Höfe oder vormals unversiegelten Böden werden häufig zu Parkplätzen umgenutzt und mit Betonverbundpflaster, seltener durch Betongittersteine oder durch Betonpflaster mit Sickeröffnungen befestigt. Auch in den revitalisierten Industriestandorten sind nur 4 % der versiegelten Freiflächen mit diesen Belägen gepflastert. Bei der Gestaltung des neuen Gewerbegebietes wurden keine versickerungsfördernden Flächenbefestigungen genutzt.

Die höchsten Werte für die ungebundenen Decken werden im Beispielsgebiet für das Stadtzentrum erreicht, da hier ein Parkplatz mit einer wassergebundenen Decke befestigt wurde (Karte 15). In den übrigen Stadtstrukturtypen tritt diese Art der Befestigung nur untergeordnet oder überhaupt nicht in Erscheinung Die Gruppe der Lockermaterialien (nicht dargestellt) ist nur sehr schwach in den untersuchten Stadtstrukturtypen vertreten.

Versiegelungsarten-Kennziffer C (Entwässerung)

In Abbildung 6 sind die durchschnittlichen prozentualen Anteile der Entwässerungsarten der versiegelten Freiflächen dargestellt. Es zeigt sich, daß in der gründerzeitlichen Blockbebauung (Karte 1, 2, 3) und Blockrandbebauung (Karte 5, 6) über 80 % der Flächen über einen Kanalanschluß verfügen. Auch BERLEKAMP in BERLEKAMP u. PRANZAS (1992) ermittelte für die gründerzeitliche Blockbebauung den höchsten Anteil an Flächen, die über das Kanalnetz entwässern. Die Flächen der offenen Blockbebauung und auch die Flächen des ehemaligen Dorfkerns sowie die Flächen der Randbebauung der 20/30er Jahre sind zu 71 % bzw. 64 % an das Kanalsystem angeschlossen. Das Niederschlagswasser von den befestigten Freiflächen der revitalisierten Industriestandorte und des neuen Gewerbegebietes wird zu 85 % bzw. zu 59 % in das Kanalsystem abgegeben. Die Zeilenbebauung der 20/30er Jahre und die innerstädtischen Plattenbauten sind durch den höchsten Anteil von Flächen gekennzeichnet, die über einen bedingten Kanalanschluß verfügen (54 %). Dies bedeutet, daß eine nicht an die Kanalisation angeschlossene Fläche ihr Niederschlagswasser über eine benachbarte an das Kanalnetz angeschlossene Fläche entwässert. Sie unterscheiden sich damit von fast allen anderen Stadtstrukturtypen. Nur in der umgestalteten Blockbebauung werden noch Werte von 37 % erreicht. Im neuen Gewerbegebiet wird das Niederschlagswasser der Stellflächen in die benachbarten Grünstreifen geleitet und dort technisch versickert. Das Niederschlagswasser der versiegelten Freiflächen der Großwohnsiedlung (Karte 13) und der Zeilenbebauung der 50/60er Jahre (Karte 9) versickert zu 85 % bzw. 71 % über die Fugen oder in benachbarte unversiegelte Böden. Die Einzel/Doppelhäuser und die Villen/Stadthäuser erreichen mit 64 % bzw. 50 % die nächst höheren Werte.

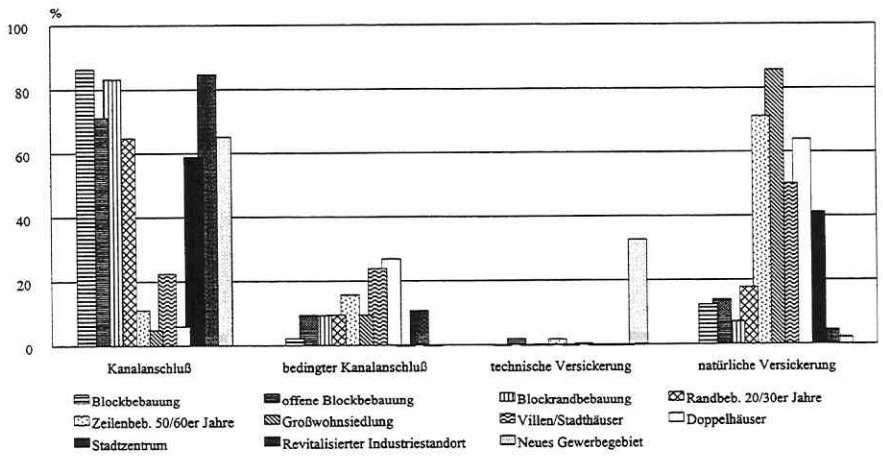


Abb. 6: Prozentualer Anteil ausgewählter Entwässerungsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (Mittelwerte)

3.1.4 Detailkartierung in Dresden

Im Stadtgebiet von Dresden wurden in 17 Untersuchungsgebieten Detailkartierungen zur Kennzeichnung des Ausmaßes der Bodenversiegelung durchgeführt. In Tabelle 25 sind die Ergebnisse der Kartierung bezogen auf den Versiegelungsgrad, den prozentualen Anteil der überbauten Fläche, der versiegelten Freifläche und der unversiegelten Fläche aufgeführt. In Abbildung 7 sind die angeführten Werte bezogen auf die Blockfläche als Mittelwerte für die unterschiedlichen Stadtstrukturtypen dargestellt. Erwartungsgemäß ist der Versiegelungsgrad in der gründerzeitlichen Blockbebauung sehr hoch. In diesem Stadtstrukturtyp sind bis zu 100% der Flächen versiegelt. Einen hohen Anteil bis zu 80% am Versiegelungsgrad nimmt die überbaute Fläche ein. Dementsprechend gering ist der Anteil der versiegelten Freiflächen bzw. der unversiegelten Böden. Die Schwankungsbreite des Versiegelungsgrades in diesem Bebauungstyp ist minimal. Gleichermaßen hohe Werte an versiegelter Fläche werden in der offenen Blockbebauung eingenommen. Hier bedingen die überbaute Fläche und die versiegelte Freifläche zu gleichen Anteilen einen Versiegelungsgrad von 68 %. Der Wohnpark als relativ neuer Stadtstrukturtyp zeichnet sich durch einen Versiegelungsgrad von 65% aus. Insbesondere fällt im Untersuchungsgebiet 16 (Karte 14) der hohe Anteil an versiegelter Freifläche auf. Bei diesem Bebauungstyp tritt als neues bauliches Merkmal die Tiefgarage auf (vgl. BERLEKAMP in BERLEKAMP u. PRANZAS, 1992). Was an der Oberfläche als Grünfläche anmutet, stellt sich unter Einbeziehung des Untergrundes als Versiegelung dar. Daher wurde diese Unterflurversiegelung mit zur versiegelten Freifläche gezählt.

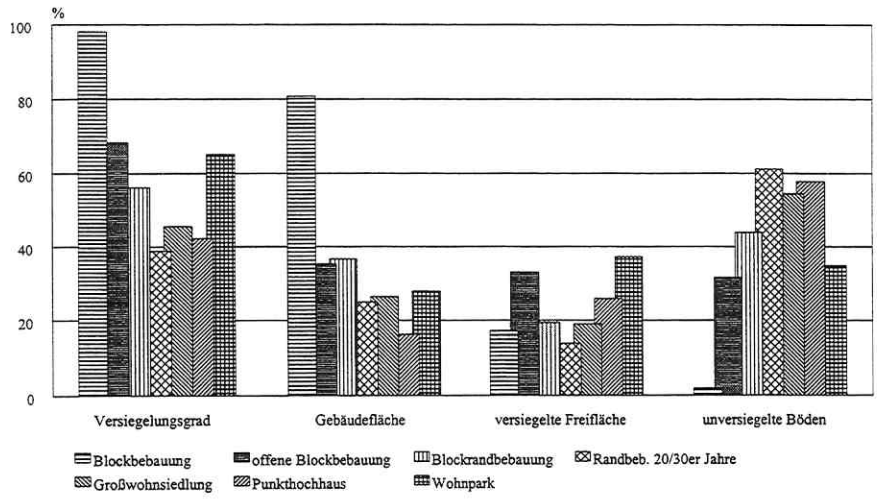


Abb. 7: Ausmaß der Bodenversiegelung in den Stadtstrukturtypen in Dresden (Mittelwerte)

Tab. 25: Versiegelungsgrad und prozentualer Anteil der einzelnen Flächennutzungen an der Gesamtfläche in den Untersuchungsgebieten in Dresden - **Fettdruck** = Untersuchungsfläche **ohne** Verkehrsfläche

Nr.	Versiegelungs-grad %		Gebäude-fläche %		Wohngebäude %		Nebengebäude %		versiegelte Freifläche %		Unversiegelte Freifläche %	
Blockbebauung												
1	100.00	**100.00**	53.70	**90.59**	47.21	**79.63**	6.50	**10.96**	46.30	**9.41**	0.00	**0.00**
2	96.25	**94.29**	49.28	**74.99**	46.24	**70.36**	3.04	**4.63**	46.97	**19.30**	3.75	**5.71**
3	99.93	**99.90**	55.98	**76.74**	49.36	**67.67**	6.62	**9.07**	43.95	**23.16**	0.07	**0.10**
offene Blockbebauung												
1	77.75	**71.34**	26.12	**33.63**	24.72	**31.84**	1.40	**1.79**	51.63	**37.71**	22.25	**28.66**
2	72.79	**65.47**	28.82	**36.94**	25.06	**32.12**	3.76	**4.82**	43.97	**28.53**	27.21	**34.53**
Blockrandbebauung												
1	66.16	**56.16**	28.30	**36.68**	27.85	**36.09**	0.45	**0.58**	37.86	**19.48**	33.84	**43.84**
Randbebauung der 20/30er Jahre												
1	56.85	**45.88**	23.11	**28.98**	21.28	**26.68**	1.83	**2.30**	33.74	**16.90**	43.15	**54.12**
2	45.18	**32.94**	17.63	**21.57**	17.63	**21.57**	0.00	**0.00**	27.55	**11.37**	54.82	**67.06**
3	40.73	**32.38**	18.32	**20.90**	18.32	**20.90**	0.00	**0.00**	22.41	**11.48**	59.27	**67.62**
4	53.15	**44.00**	23.70	**28.32**	23.62	**28.22**	0.08	**0.10**	29.45	**15.68**	46.86	**56.00**
Großwohnsiedlung												
1	55.46	**48.23**	23.52	**27.34**	23.32	**27.11**	0.20	**0.23**	31.94	**20.89**	44.54	**51.77**
2	54.67	**43.70**	20.37	**25.29**	20.20	**25.09**	0.16	**0.20**	34.30	**18.41**	45.33	**56.30**
3	53.44	**44.59**	22.35	**26.71**	22.35	**26.71**	0.00	**0.00**	31.09	**17.88**	46.56	**55.41**
Punkthochhausbebauung												
1	56.09	**42.16**	12.38	**16.31**	11.65	**15.35**	0.73	**0.96**	43.71	**25.85**	43.91	**57.84**
Wohnpark												
1	57.64	**56.27**	21.56	**22.26**	21.37	**22.07**	0.19	**0.19**	36.08	**34.01**	42.36	**43.73**
2	79.53	**75.92**	28.51	**33.54**	27.34	**32.16**	1.17	**1.38**	51.02	**42.38**	20.47	**24.08**
3	68.23	**63.21**	24.05	**27.86**	23.76	**27.53**	0.29	**0.33**	44.18	**35.35**	31.77	**36.79**

In seiner Bauform gleicht der Wohnpark der gründerzeitlichen Blockrandbebauung (Karte 6) In diesem Wohnpark wird durch die Integration der Tiefgarage in den Innenhofbereich zwar flächensparend gebaut, der Eingriff in den Boden ist aber intensiver. Die Auswertung der Kartierung ergab für die Großwohnsiedlung und die Punkthochhausbebauung mittlere Versiegelungsgrade zwischen 42 % und 45%. Aufgrund der homogenen versiegelungssteuernden Faktoren (Grundrißumfang, Bauform, Größe der Freiflächen) ist auch im Stadtstrukturtyp Großwohnsiedlung die Schwankungsbreite der ermittelten Versiegelungsgrade gering. Die Punkthochhausbebauung ist gekennzeichnet durch einen geringen Anteil an Gebäudefläche (16%). Die Betrachtung des Anteils an unversiegelter Freifläche dokumentiert aber, daß die 17geschossigen Gebäude gegenüber den drei bis fünf Geschossen der Randbebauung der 20/30er Jahre oder der Blockrandbebauung nur einen geringen Zuwachs an Grünfläche bringen. Hinzu kommt der Flächenverbrauch für die Erschließung solcher Wohnformen. In der Randbebauung der 20/30er Jahre sind durchschnittlich 61% der Fläche unversiegelt. Der gemittelte Versiegelungsgrad von 38% wird vor allem durch die Gebäudeüberbauung erzielt. Der Anteil an versiegelter Freifläche ist mit 13% der geringste aller untersuchten Stadtstrukturtypen. Eine Gegenüberstellung der gemittelten Versiegelungs-

grade aus Tabelle 25 (zuzüglich integrierter halber Straßenfläche) mit der Untersuchung von HEBER u. LEHMANN (1993) in Dresden (Tab. 26) zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse.

Tab. 26: Vergleich der durchschnittlichen Versiegelungsgrade verschiedener Stadtstrukturtypen in Dresden

Stadtstrukturtyp	**Durchschnittlicher Versiegelungsgrad**	
	HEBER u. LEHMANN	Forschungsvorhaben
geschlossene Blockbebauung	89	98
offene Blockbebauung	74	75
mehrgeschossiger Wohnungsbau bzw. Großwohns.	53	54
Siedlungen < 3 Geschosse bzw. Randb. 20/30er Jahre	51	49

Ein Vergleich mit den Ergebnissen der Untersuchung in Leipzig (Tab. 24) zeigt, daß in Bezug auf den Versiegelungsgrad ähnliche Werte in der Großwohnsiedlung, der Blockrandbebauung und der offenen Blockbebauung ermittelt wurden. Für die Blockbebauung ergaben die Auswertungen für die Dresdener Gebiete etwas geringere Werte. Deutliche Abweichungen existieren für die Randbebauung der 20/30er Jahre. Bei einer näheren Betrachtung der Untersuchungen wird deutlich, daß der Anteil der überbauten Fläche an der Gesamtfläche in Leipzig fast doppelt so hoch ist wie in Dresden, so daß sich der höhere Versiegelungsgrad ergibt.

Versiegelungsarten-Kennziffer A (Nutzung)

Abbildung 8 verdeutlicht, daß in den Stadtstrukturtypen Randbebauung der 20/30er Jahre und der Blockrandbebauung (Karte 6) der Autoverkehr völlig aus der Flächennutzung ausgegrenzt ist. Hiermit heben sich diese Bebauungstypen deutlich von den übrigen ab. Nicht dargestellt ist für die Blockrandbebauung die Nutzung der versiegelten Freifläche als Sonderfläche (50%), so daß sich für die begangene Fläche kein Wert von 100% ergeben kann. In den gründerzeitlichen Strukturtypen, der Großwohnsiedlung und der Punkthochhausbebauung werden über 50 % der Flächen durch Fußgänger genutzt. In der offenen Blockbebauung werden ca. 43 % der versiegelten Freiflächen als Zufahrten verwendet. Hierdurch unterscheidet sich dieser Bebauungstyp deutlich von den anderen Stadtstrukturtypen. Der ruhende Verkehr nimmt in den relativ jüngeren Stadtstrukturtypen Großwohnsiedlung, Punkthochhausbebauung und Wohnpark einen ca. 10%igen Anteil an der versiegelten Freifläche ein. In den gründerzeitlichen Quartieren ist dieser Anteil verschwindend klein bzw. nimmt überhaupt keinen Raum ein. In den Wohnparks tritt als neue Nutzungsart die Tiefgarage auf (Karte 14), die einen Anteil von ca. 32% an der versiegelten Freifläche besitzt.

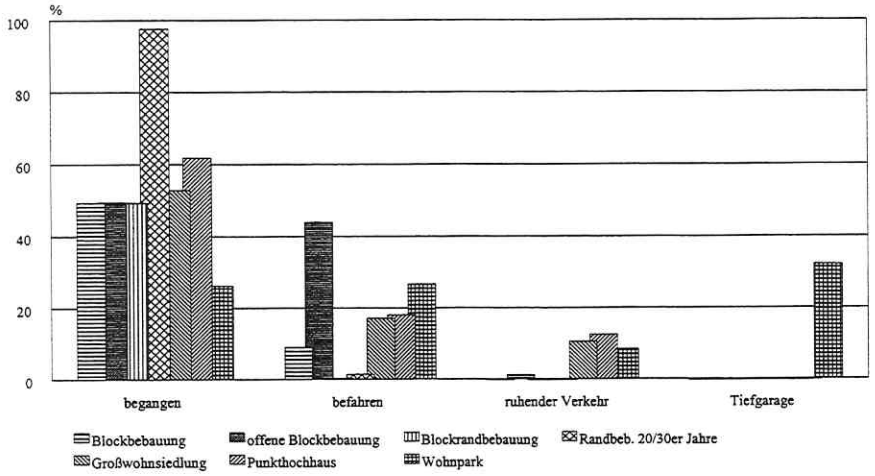


Abb. 8: Prozentualer Anteil ausgewählter Nutzungsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Dresden (Mittelwerte)

Versiegelungsarten-Kennziffer B (Belagsart)

In den Abbildungen 9 und 10 sind die mittleren prozentualen Anteile von ausgewählten Belagsarten an der versiegelten Freifläche dargestellt. In der Großwohnsiedlung und der Punkthochhausbebauung sind über ¼ der Flächen mit gebundenen Decken befestigt und noch ca. 20% werden in der gründerzeitlichen Blockbebauung erreicht. In den übrigen Stadtstrukturtypen nimmt diese Belagsart eine untergeordnete Rolle ein. Für die Großformatplatten ergibt sich ein Maximum in der Großwohnsiedlung. Gegenüber den Untersuchungsgebieten in Leipzig fällt dieses aber nicht so eindeutig aus. In den älteren Stadtstrukturtypen tritt diese Belagsart nur auf, wenn Baumaßnahmen durchgeführt wurden. Demzufolge ergeben sich Werte zwischen 11 % und 0%. Plattenbeläge kommen nur in einigen Bebauungstypen vor und nehmen einen geringen Anteil an der versiegelten Freifläche ein. Die Gruppe der Betonverbund- und Klinkersteine tritt verstärkt in der offenen Blockbebauung und in dem Wohnpark auf. In der offenen Blockbebauung sind es vor allem die Klinkersteine, die für die Befestigung der Gehwege Anwendung fanden und in den Wohnparks (Karte 14) sind es die Betonverbundsteine.

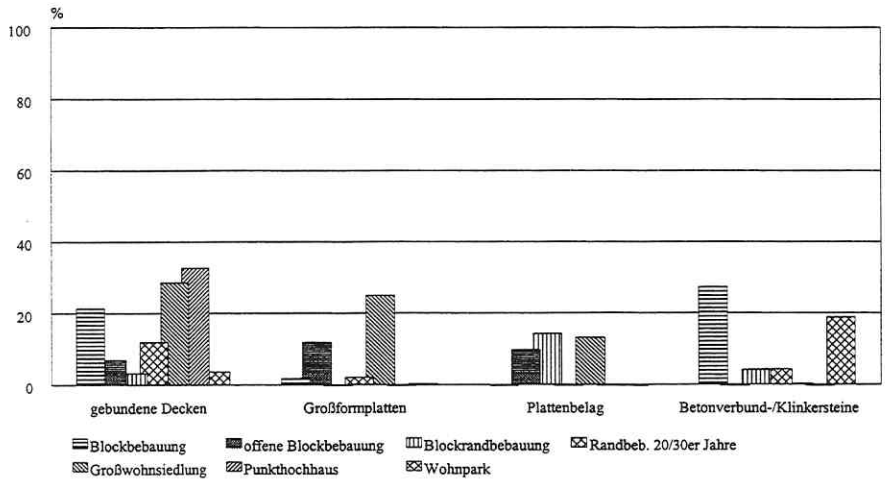


Abb. 9: Prozentualer Anteil ausgewählter Belagsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Dresden (Mittelwerte)

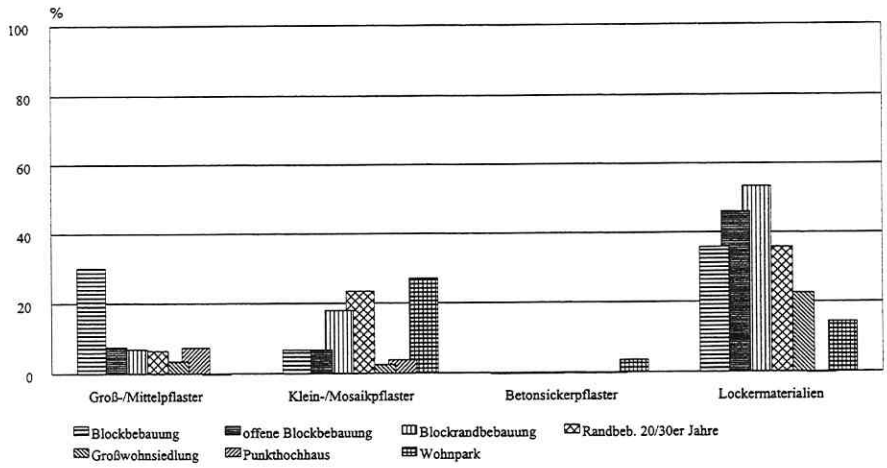


Abb. 10: Prozentualer Anteil ausgewählter Belagsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Dresden (Mittelwerte)

Im Bebauungstyp gründerzeitliche Blockbebauung sind 30% der Böden mit Groß- und Mittelpflaster versiegelt. In den übrigen Stadtstrukturtypen sind diese Pflasterarten nur untergeordnet (< 10%) für die Befestigung der Freiflächen verwendet worden. Die Kartierung der Oberflächenmaterialien ergab für das Klein- und Mosaikpflaster einen ca. 20%igen Anteil in der Blockrandbebauung (Karte 2) und der Randbebauung der 20/30er Jahre. In dem Bebauungstyp Wohnpark (Karte 7) sind über ¼ der versiegelten Freifläche mit Klein-/oder Mosaikpflaster befestigt. Die neueren Befestigungsarten wie Betongittersteine, Betonpflaster mit Sickeröffnungen oder Rasenfugen treten mit 3.5% nur im Wohnpark auf. Die relativ hohen Anteile der Lockermaterialien in der gründerzeitlichen Blockbebauung, der Blockrandbebauung (Karte 2), der offenen Blockbebauung, der Großwohnsiedlung und dem Wohnpark resultieren aus dem Vorhandensein von Sonderflächen (Baustellen, Spielflächen). In dem Bebauungstyp Randbebauung der 20/30er Jahre sind es vor allem die Gehwege, die mit Lockermaterialien (Sand, Kies) befestigt sind. Die wassergebundenen Decken nehmen in allen Stadtstrukturtypen nur verschwindend kleine Anteile von ca. 2% an der versiegelten Freifläche ein.

Versiegelungsarten-Kennziffer C (Entwässerungsart)

In Abbildung 11 sind die Entwässerungsarten der versiegelten Freiflächen dargestellt. Es zeigt sich, daß in der Blockrandbebauung und der Großwohnsiedlung über 50% der befestigten Flächen über keinen Kanalanschluß verfügen. Das Niederschlagswasser versickert über die Fugen oder in angrenzende unversiegelte Flächen. In der Blockbebauung und der offenen Blockbebauung versickern nur 38 % bzw. 22 % des Niederschlagswassers auf diesen Wegen. Für die Regenwasserversickerung der versiegelten Freiflächen in der Randbebauung der 20/30er Jahre und der Punkthochhausbebauung ergeben sich ungünstige Werte. Insbesondere in der Randbebauung der 20/30er Jahre wäre eine Niederschlagsversickerung in unversiegelte Böden möglich, da dieser Stadtstrukturtyp über einen hohen Anteil an nicht befestigten Freiflächen verfügt. Im Stadtstrukturtyp Wohnpark werden durch die Anlage der Tiefgarage ca. 50% der versiegelten Freiflächen durch eine Drainage entwässert.

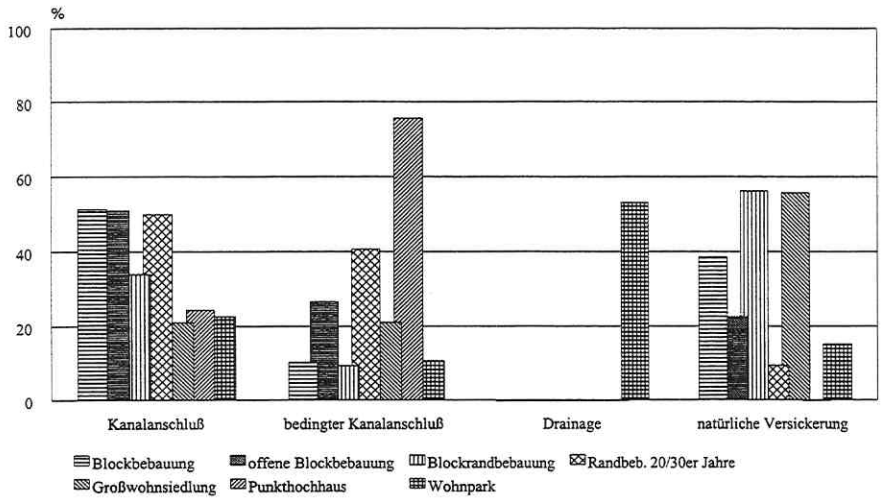


Abb. 11: Prozentualer Anteil ausgewählter Entwässerungsarten der versiegelten Freiflächen in den Stadtstrukturtypen in Dresden (Mittelwerte)

3.1.5 Handlungsempfehlungen

Die Bestandsanalyse des Ausmaßes der Bodenversiegelung in ausgewählten Stadtstrukturtypen zeigt, daß die Böden in den Untersuchungsgebieten unterschiedlich stark von Versiegelungsmaßnahmen betroffen sind. Durch die Detailkartierung war es möglich, die Bodenbeanspruchung durch die Versiegelungsmaßnahmen exakt zu erfassen und Aussagen zur Freiflächensituation in den Stadtstrukturtypen zu treffen. Anhand dieser ergibt sich die Dringlichkeit von Maßnahmen für eine Sicherung der unversiegelten Böden und für das Belagsänderungs- und Entsiegelungspotential. Für den vorsorgenden Bodenschutz gilt es, ein Fortschreiten der Bodenversiegelung in den Stadtstrukturtypen zu verhindern und damit die weitere Inanspruchnahme von Freiflächen einzuschränken, um die natürlichen Bodenfunktionen zu sichern. Die Möglichkeiten des nachsorgenden Bodenschutzes umfassen die Änderung der Belagsarten und die Entsiegelungsmaßnahmen, unter der Berücksichtigung der jeweiligen Nutzung. In Abbildung 12 sind die mittleren Anteile der unversiegelten Böden von ausgewählten Stadtstrukturtypen bezogen auf die Blockfläche in Leipzig dargestellt.

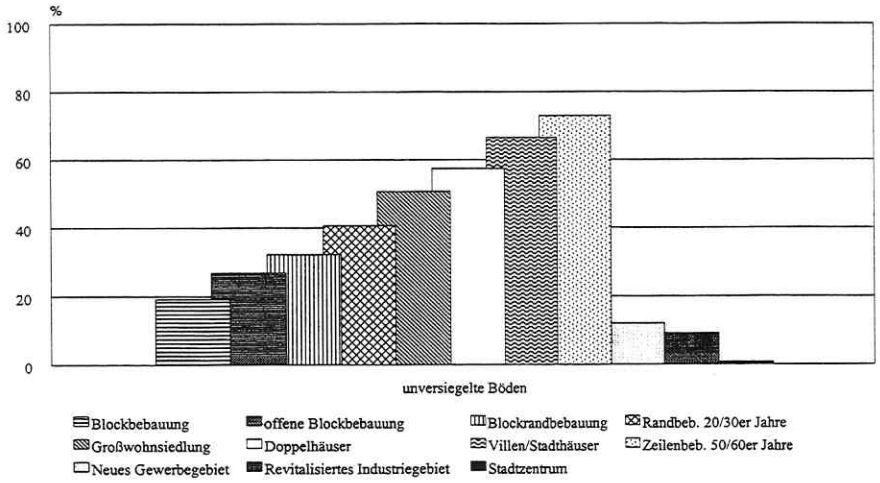


Abb. 12: Prozentualer Anteil unversiegelter Böden an der Gesamtfläche in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (Mittelwerte bezogen auf die Blockfläche)

Der Strukturtyp Zeilenbebauung der 50/60er Jahre zeichnet sich durch seinen besonders hohen Anteil unversiegelter Böden aus. Über 70 % der Gesamtfläche sind nicht verbaut. Die Niederschlagsversickerung von den befestigten Flächen erfolgt überwiegend in die benachbarten Grünflächen. In diesem Strukturtyp besteht die Möglichkeit, die anfallenden Niederschlagsmengen von den Dächern auf den unversiegelten Flächen dezentral zu versickern. Für diesen Strukturtyp gilt daher:

Sicherung der unversiegelten Böden vor Nachverdichtung, z.B. durch den Bau von Stellplätzen, Tiefgaragen etc. und hohes Potential für eine dezentrale Versickerung der Niederschlagsmengen von den Dachflächen

Für die untersuchten Großwohnsiedlungen ergab sich ein durchschnittlicher Anteil von unversiegelten Böden in Leipzig von 50 % und in Dresden von 54 %. In den innerstädtischen Erneuerungsgebieten in Plattenbauweise sind 39 % der Gesamtfläche unversiegelt. In diesen Strukturtypen sollten bei Wohnumfeldverbesserungen die unversiegelten Böden gesichert, die Möglichkeiten für eine dezentrale Versickerung genutzt und ein Belagswechsel durchgeführt werden. Aufgrund des hohen Anteils an versiegelten Flächen in den innerstädtischen Erneuerungsgebieten in Plattenbauweise sind dringend Entsiegelungsmaßnahmen einzuleiten. Die Strukturtypen Rand- und Zeilenbebauung der 20/30er Jahre sind ebenfalls durch einen erhöhten Anteil an unversiegelten Böden gekennzeichnet. In Dresden ergab die Detailkartierung für die Randbebauung einen prozentualen Anteil von 61 % und in Leipzig von 41 %. In diesen Strukturtypen können die gebundenen Decken durch das Klein-/Mosaikpflaster, durch das Rasenfugenpflaster oder durch die kunstharzgebundene Decke (vgl. Kapitel 3.2) ersetzt werden. Nicht notwendig ist der Anschluß dieser Flächen an das Kanalsystem, da randliche Versickerungsflächen zur Verfügung stehen. Da auch in diesen Stadtstrukturtypen keine Grundstücksparzellierung vorliegt, sind die besten Voraussetzungen für eine Versickerung des Niederschlags der Dachflächen gegeben. Für diese Strukturtypen gilt:

Sicherung der unversiegelten Böden vor Nachverdichtung, z.B. durch den Bau von Stellplätzen, Tiefgaragen etc., hohes Potential für eine dezentrale Versickerung der Niederschlagsmengen von den Dachflächen und den befestigten Freiflächen, Durchführung von Belagsänderungen im Zuge von Wohnumfeldverbesserungen in den Großwohnsiedlungen bzw. Einleitung von Entsiegelungsmaßnahmen in den innerstädtischen Erneuerungsgebieten in Plattenbauweise

Für die Blockrandbebauungen ergaben sich unversiegelte Freiflächenanteile zwischen 43 % und 30 %. Die typische Befestigungsart ist der Klinkerstein. Diese Flächenbefestigung zieht sich bandartig um die begrünten Innenräume. Die Niederschlagsversickerung dieser Flächen erfolgt über einen Kanalanschluß. Ein Austausch der Klinkersteine gegen andere Materialien ist nicht zwingend erforderlich, da bei einer Abkoppelung dieser Flächen von der Kanalisation die Entwässerung über die randlichen Vegetationszonen geschehen kann. Die unversiegelten Böden in diesem Strukturtyp sind insbesondere durch den Bau von Stellplätzen oder Tiefgaragen bei Sanierungsmaßnahmen gefährdet. Deshalb gilt für diesen Strukturtyp:

Sicherung der unversiegelten Böden vor Nachverdichtung, z.B. durch den Bau von Stellplätzen, Tiefgaragen etc., Prüfung der Möglichkeiten einer dezentralen Versickerung der Niederschlagsmengen von den Dachflächen, Abkoppelung der versiegelten Freiflächen von der Kanalisation

Ein Charakteristikum der Stadtstrukturtypen Villen/Stadthäuser und Doppelhäuser sind die Gartenbereiche mit ihren unversiegelten Böden. Hier sollten für die Eigentümer Anreize geschaffen werden, ihre Grundstücke nicht nachträglich zu verdichten und die versiegelten Freiflächen soweit wie möglich zu entsiegeln und gegebenenfalls einen Belagswechsel durchzuführen. Die Untersuchung erbrachte für diese Strukturtypen nur einen geringen Einsatz von versickerungsfördernden Flächenbefestigungen. Insbesondere für die im Vergleich zu den anderen Stadtstrukturtypen gering frequentierten Stellflächen und Garageneinfahrten sind unter Beachtung der Grundwasser- und Bodenverhältnisse begrünte Systeme wie z.B. Rasengittersteine, Rasenfugenpflaster oder Schotterrasen anwendbar oder im günstigsten Fall genügen zwei befestigte schmale Fahrspuren. Für die Gärten sollte ferner auf eine geringe Dimensionierung der Wege geachtet und z.B. begrünte und/oder großfugiges Pflaster genutzt werden. Auf einen Kanalanschluß bzw. einen bedingten Kanalanschluß der versiegelten Freiflächen ist zu verzichten. Durch eine getrennte Berechnung des Schmutz- und Regenwassers könnte für den Grundstückseigentümer der Anreiz gegeben werden, das Niederschlagswasser auf dem Grundstück zu versickern, möglichst wenig von seiner Freifläche zu versiegeln und Entsiegelungsmaßnahmen durchzuführen. Für beide Stadtstrukturtypen gilt:

Sicherung der unversiegelten Böden vor Nachverdichtung, Programme zur Minderung der Bodenversiegelung, Änderung der Gebührenordnung, Förderung der dezentralen Versickerung und der Regenwassernutzung

Die gründerzeitlichen geschlossenen, offenen und umgestalteten Blockbebauungen sowie das Stadtzentrum sind mit am stärksten von Versiegelungsmaßnahmen betroffen. Für das Beispielsgebiet des Stadtzentrums sind die Möglichkeiten für Entsiegelungsmaßnahmen sehr gering, da durch den hohen Anteil an Hauptgebäudeflächen kein Potential vorhanden ist. Es werden ca. 3/4 der Gesamtfläche des Strukturtyps durch Geschäftsgebäude eingenommen. Das untersuchte Straßengeviert gehörte in der Gründerzeit aber auch noch zu DDR Zeiten zum Zentrum des Leipziger Rauchwarengewerbes, der Kürschnerei und des Pelzhandels. Die palaisartigen Pelzgeschäftshäuser mit ihren Lichthöfen prägen noch heute die Bebauung. Der Anteil der versiegelten Freifläche ist mit 22 % deshalb so hoch, weil eine Baulücke als Parkplatz genutzt wird. Im Rahmen von städtebaulichen Maßnahmen wird dieses Baulandpotential genutzt, um der Neuausweisung von Bauland im Umland entgegenzuwirken. Der hohe Versiegelungsgrad in der geschlossenen Blockbebauung wird durch die Hofüberbauung und die damit verbundene Versiegelung der Erschließungsflächen hervorgerufen. Erwartungsgemäß sind nur wenige Bereiche in der Blockbebauung unversiegelt, so daß kaum Raum für die Niederschlagsversickerung vorhanden ist. Ferner verfügen die befestigten Flächen größtenteils über einen Kanalanschluß. In der offenen Blockbebauung ist die Freiflächensituation noch etwas günstiger. Im Hinblick auf Sanierungsmaßnahmen in Form von Hofentkernungen könnte das hohe Ausmaß der Bodenversiegelung vermindert werden. Die so gewonnenen unversiegelten Freiflächen sollten als vielgestalterische Grünflächen genutzt und der Bau von Stellplätzen unterbunden werden. Hierdurch wird nicht nur der Wiedererlangung von Bodenfunktionen durch Flächenentsiegelung der Vorrang gegeben, sondern auch die Entstehung von Schallemissionen verhindert und eine mikroklimatische Verbesserung des Innenhofklimas erzielt. Zusätzlich würden Flächen für die Versickerung des Regenwassers zur Verfügung stehen. Findet keine Hofentkernung statt, kann versucht werden, durch eine kleinräumige Hofumgestaltung einen Rückbau der versiegelten Flächen zu erzielen. Für diese Strukturtypen gilt:

Hohes Entsiegelungs- und Belagsänderungspotential bei Nutzungsänderung durch Hofentkernungen und Rückbaumaßnahmen, Wiedergewinnung von unversiegelten Böden, Schutz dieser Böden vor Versiegelungsmaßnahmen, z.B. durch den Bau von Stellplätzen oder Tiefgaragen, Überprüfung der gewonnen Möglichkeiten für eine dezentrale Versickerung der Niederschlagsmengen von den Dachflächen, Aufstellung und Weiterführung von speziellen Programmen zur Entsiegelung und Begrünung, Sanierung der alten Wohnsubstanz und Verbesserung des Wohnumfelds reduzieren die Ausweisung von neuem Bauland im Umland, Sicherung der vorhandenen Grünflächen im Stadtzentrum und Überprüfung der Möglichkeiten der Neugestaltung von öffentlichen Plätzen

Mit der Revitalisierung der gründerzeitlichen Industriegebiete hat kein Wandel in der Versiegelungsstruktur stattgefunden, da die alte Bausubstanz und die versiegelten Freiflächen erhalten blieben. Daher ergeben sich für diesen Strukturtyp sehr geringe Anteile von unversiegelten Böden (9.13 %). Eine Belagsänderung wäre unter Berücksichtigung der Nutzungsart und des Boden- und Grundwasserschutzes bei den Stellflächen möglich. Das eingesetzte Betonverbundpflaster könnte gegen Betonpflaster mit Sickeröffnungen ausgetauscht werden. Entsiegelungsmöglichkeiten auf diesen Flächen sind von der Nutzungsintensität und dem Umgang mit umweltgefährdenden Stoffen abhängig. Daher gilt für diesen Stadtstrukturtyp:

Belags- und Entsiegelungspotential ist abhängig von der Nutzungsintensität- und art, Nutzung der vorhandenen innerstädtischen Altindustrie- und Gewerbegebiete kann einer zusätzlichen Bodenversiegelung im suburbanen Raum entgegenwirken

Für das neue Gewerbegebiet ergeben sich nur 12 % unversiegelter Böden an der Gesamtfläche. Dieser Anteil wird von den randlichen Vegetationszonen neben den Stellflächen und den Gehwegen gebildet, über die auch die Niederschlagsversickerung erfolgt. Eine Änderung der Belagsart ist unter Beachtung des Boden- und Grundwasserschutzes sowie der Nutzungsintensität vor allem für die Parkplätze möglich. Für die Stellplätze sind versickerungsfördernde Flächenbefestigungen bzw. für die Zufahrtswege und die Fahrgassen Betonverbundpflaster zweckmäßig. Für den Bau neuer Gewerbegebiete gilt:

Verstärkte Anwendung der geänderten Bodenschutzklausel des Entwurfes eines Gesetzes zur Änderung des Baugesetzbuchs (DEUTSCHER BUNDESTAG, 1996) in der Bauleitplanung: *„Mit Grund und Boden soll sparsam und schonend umgegangen werden, dabei sind Bodenversiegelungen auf das notwendige Maß zu begrenzen*“, Entsiegelung von Flächen im vergleichbaren Umfang als Ersatz für beanspruchte Böden bei unvermeidbaren Versiegelungsmaßnahmen, Einsatz von wasserdurchlässigen Materialien ist abhängig vom Boden- und Grundwasserschutz sowie der Nutzungsintensität und -art, Prüfung der Möglichkeiten für eine dezentrale Versickerung der Niederschläge von den Dächern und gegebenenfalls von den versiegelten Freiflächen

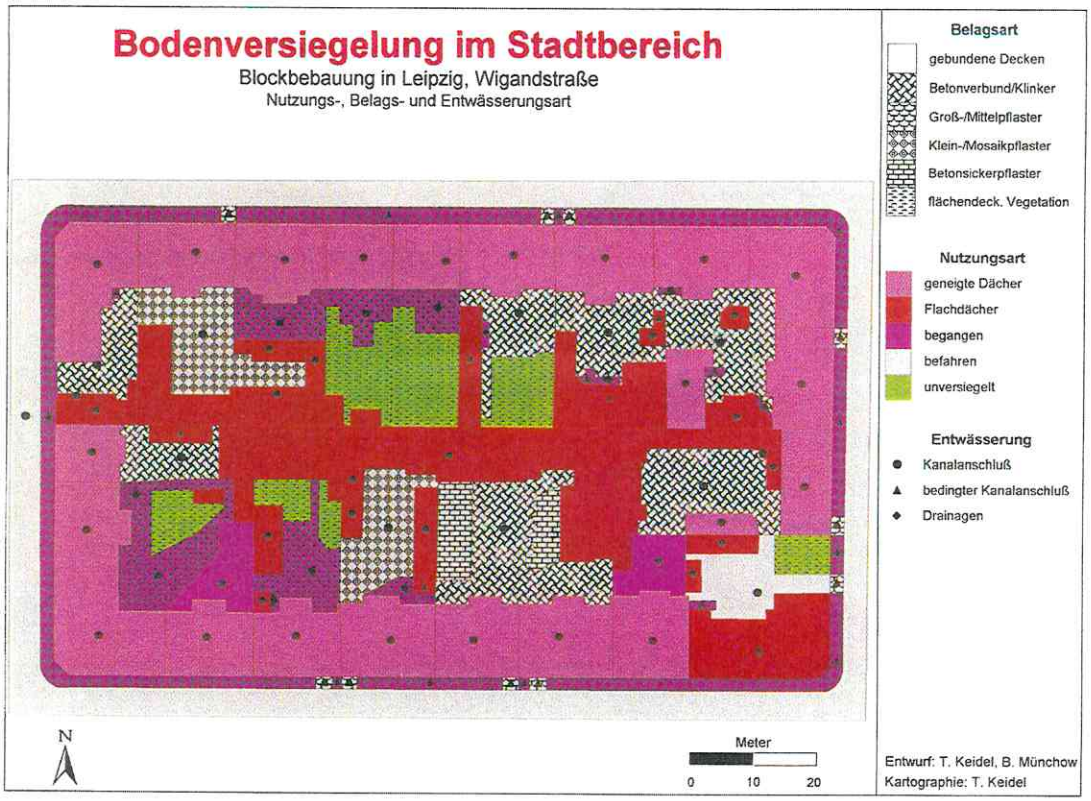
Die untersuchten Wohnparks der 90er Jahre verfügen über einen Anteil von unversiegelten Böden zwischen 24 % und 43 %. Der geringe Anteil von 24 % ergibt sich aus der Einbeziehung des Flächenanspruchs durch die Tiefgarage. Diese Unterflurversiegelung wurde mit berücksichtigt für die Berechnung des Anteils der versiegelten Freifläche, da nach Baunutzungsverordnung (BauGB, 1993) auch bauliche Anlagen unterhalb der Geländeoberfläche bei der Ermittlung der zulässigen Grundflächenzahl miteinzubeziehen sind. Für die Befestigung der Gehwege wurden vor allem Betonverbundsteine und Klein- und Mosaikpflaster verwendet. Bei der Anlage von Tiefgaragen im Innenhof erfolgt die Entwässerung über Drainagesysteme. Für die Anlage von neuen Wohngebieten gilt:

Verstärkte Anwendung der geänderten Bodenschutzklausel des Entwurfes eines Gesetzes zur Änderung des Baugesetzbuchs (DEUTSCHER BUNDESTAG, 1996) in der Bauleitplanung: „*Mit Grund und Boden soll sparsam und schonend umgegangen werden, dabei sind Bodenversiegelungen auf das notwendige Maß zu begrenzen*“, Entsiegelung von Flächen im vergleichbaren Umfang als Ersatz für beanspruchte Böden bei unvermeidbaren Versiegelungsmaßnahmen, Befestigung der Freiflächen mit versickerungsfördernden Flächenbefestigungen, Überprüfung der Möglichkeiten einer Festsetzung der Regenwassernutzung- und Versickerung in Bebauungsplänen

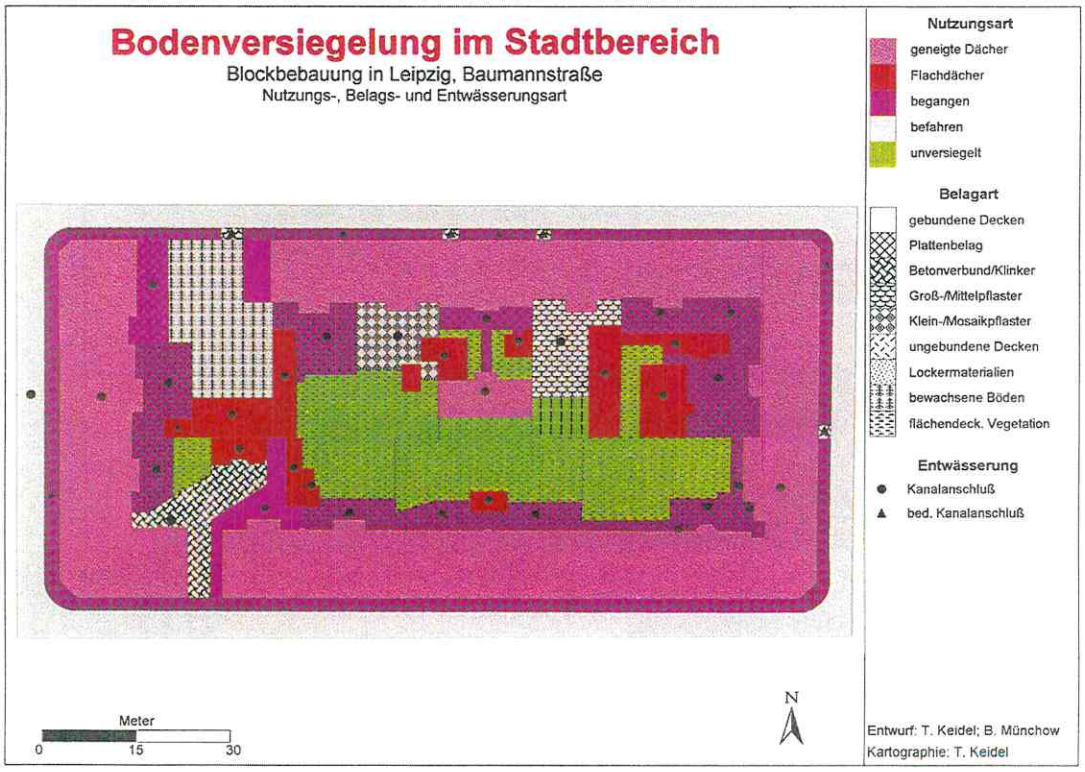
In der vorliegenden Untersuchung wurde der Schwerpunkt der Auswertung der Detailkartierung auf die Blockflächen ohne Einbeziehung des Straßenraums gelegt. Es lassen sich aber folgende Handlungsemfehlungen für den Straßenraum aufstellen:

Für die Straßenverkehrsplanung und die Festlegung von Entsiegelungspotentialen sollten die „Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen EAE 85“ (FGSV, 1989) berücksichtigt werden. Diese Richtlinien regeln den Raumbedarf für Kraftfahrzeuge im Straßenbereich bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Begegnungsfällen. Für den Gehwegbereich werden die Aufenthaltsfunktion und die Bedürfnisse verschiedener Nutzergruppen mit in die Planung einbezogen. Insbesondere in den gründerzeitlichen Quartieren finden sich überdimensionierte Straßen- und Gehwegbereiche. Hier wäre die Möglichkeit eines Straßenrückbaus gegeben. Es könnten Gehwegunterstreifen und Vorgärten geschaffen werden und eine Vergrößerung der Baumscheiben auf mindestens 6 m^2 (STADT LEIPZIG, 1995) erfolgen. Die Bäume sollten vor parkenden Autos durch Stangen oder Bügel geschützt werden. Die aus heutiger Sicht überdimensionierten Straßen dienen aber auch den Anwohnern der umliegenden Häuser als Stellplätze, so daß kein zusätzlicher Platzbedarf entsteht. Ferner können Verkehrsinseln entsiegelt und Gleiskörper als Rasengleise gestaltet werden.

Versiegelungskarten



Karte 1



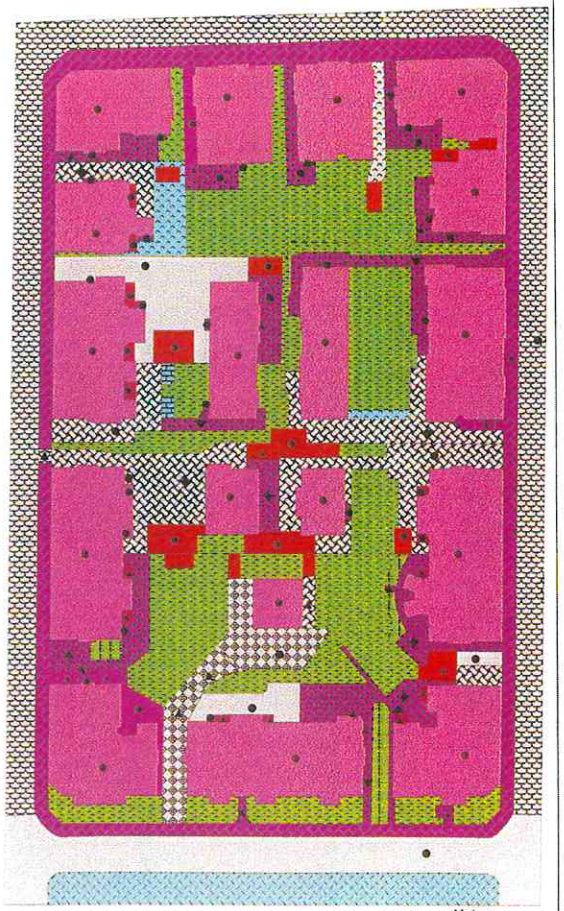
Karte 2

Karte 4

Bodenversiegelung im Stadtbereich

offene Blockbebauung in Leipzig, Kochstraße

Nutzungs-, Belags- und Entwässerungsart



N

Nutzungsart
- geneigte Dächer
- Flachdächer
- begangen
- befahren
- ruhender Verkehr
- unversiegelt

Belagart
- gebundene Decken
- Großformplatten
- Natursteinplatten
- Betonverbund/Klinker
- Groß-/Mittelpflaster
- Klein-/Mosaikpflaster
- ungebundene Decken
- Betonsickerpflaster
- vegetationslose Böden
- bewachsene Böden
- flächendeck. Vegetation

Entwässerung
- Kanalanschluß
- bedingter Kanalanschluß

Entwurf: T. Keidel, B. Münchow
Kartographie: T. Keidel

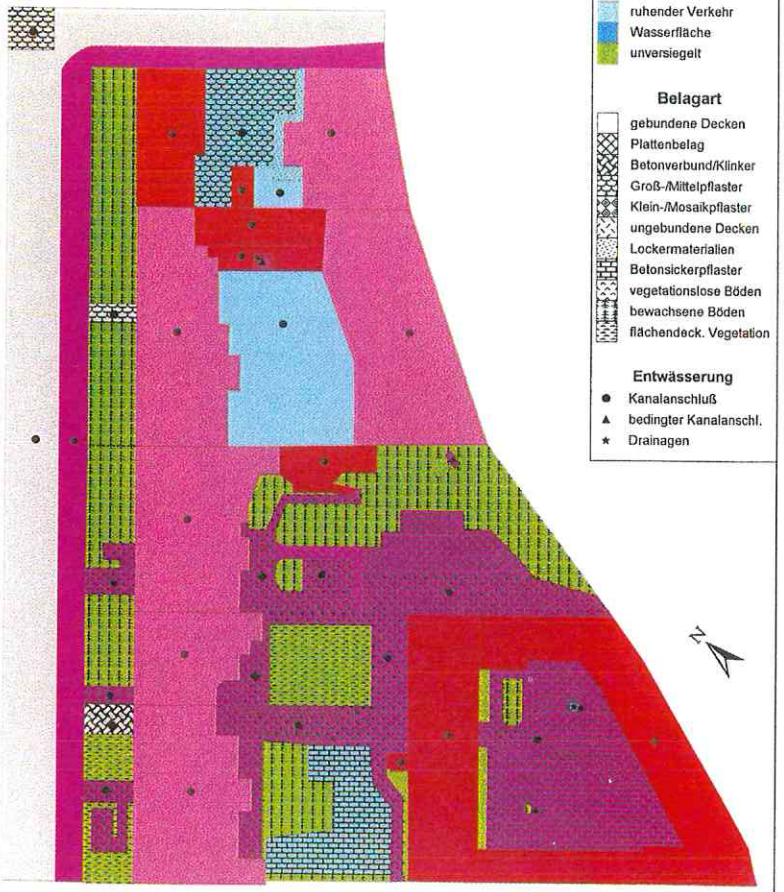
Meter
0 20 40

Karte 3

Bodenversiegelung im Stadtbereich

Blockbebauung in Leipzig, Nonnenstraße

Nutzungs-, Belags- und Entwässerungsart



Nutzungsart
- geneigte Dächer
- Flachdächer
- Container
- begangen
- befahren
- ruhender Verkehr
- Wasserfläche
- unversiegelt

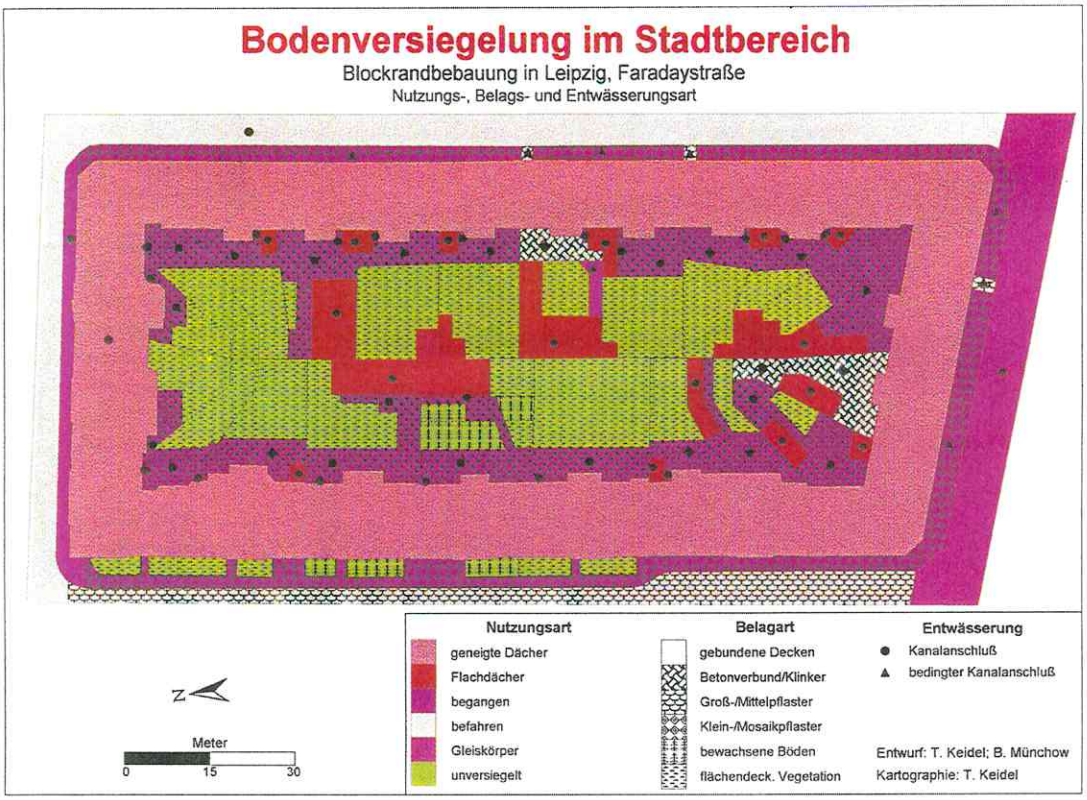
Belagart
- gebundene Decken
- Plattenbelag
- Betonverbund/Klinker
- Groß-/Mittelpflaster
- Klein-/Mosaikpflaster
- ungebundene Decken
- Lockermaterialien
- Betonsickerpflaster
- vegetationslose Böden
- bewachsene Böden
- flächendeck. Vegetation

Entwässerung
- Kanalanschluß
- bedingter Kanalanschl.
- Drainagen

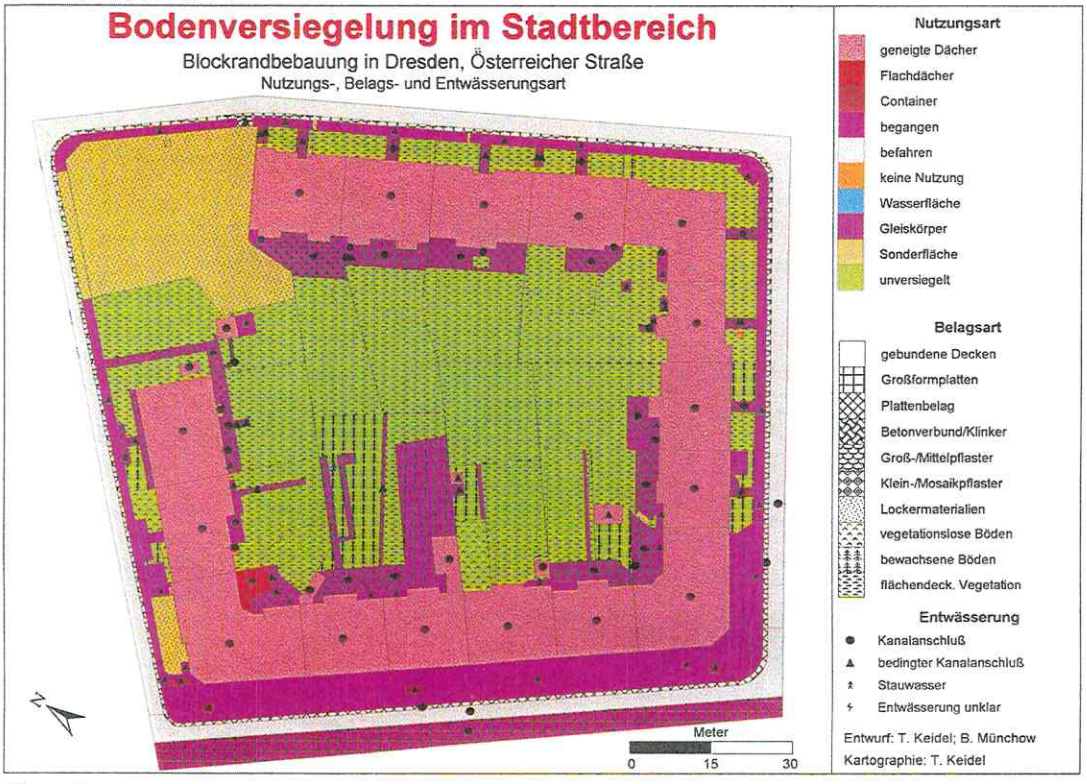
N

Entwurf: T. Keidel, B. Münchow
Kartographie: A. Block, T. Keidel

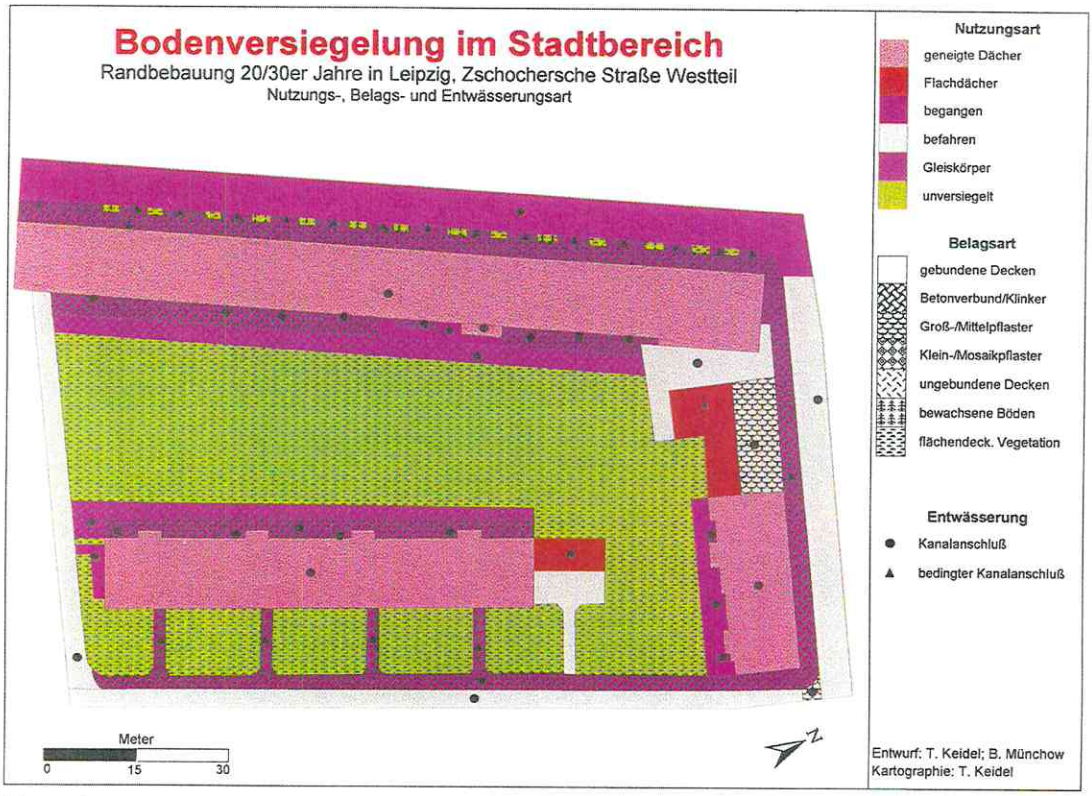
Meter
0 10 20



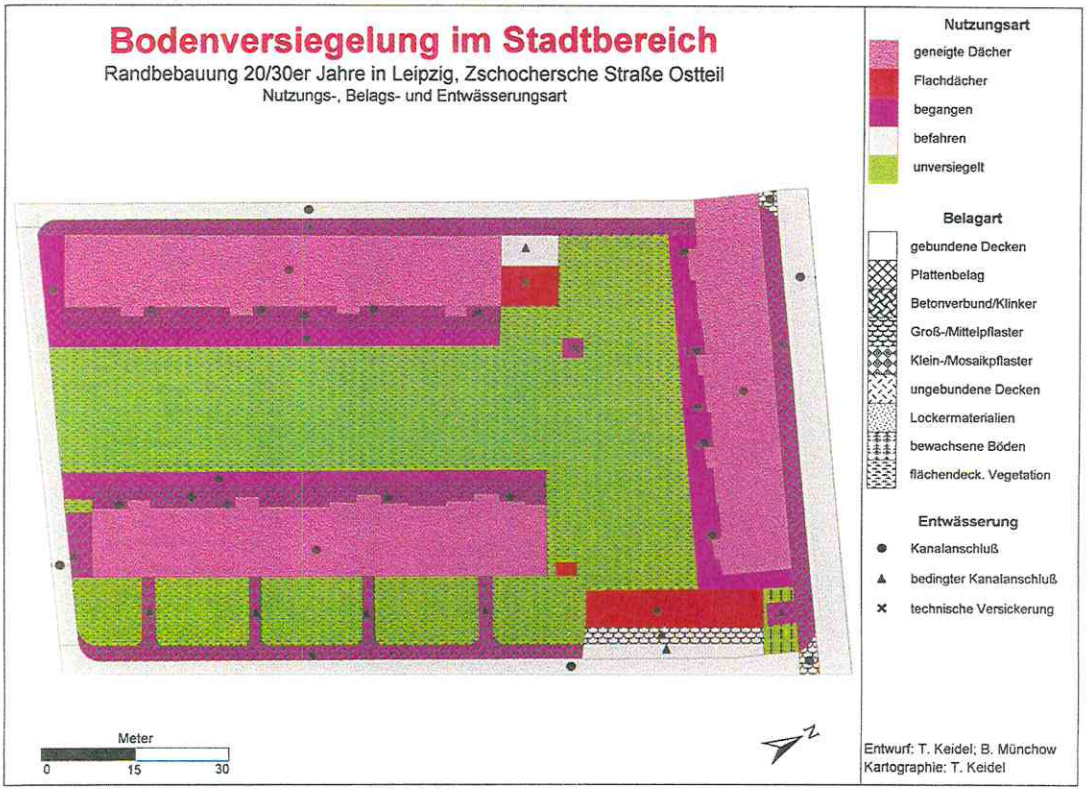
Karte 5



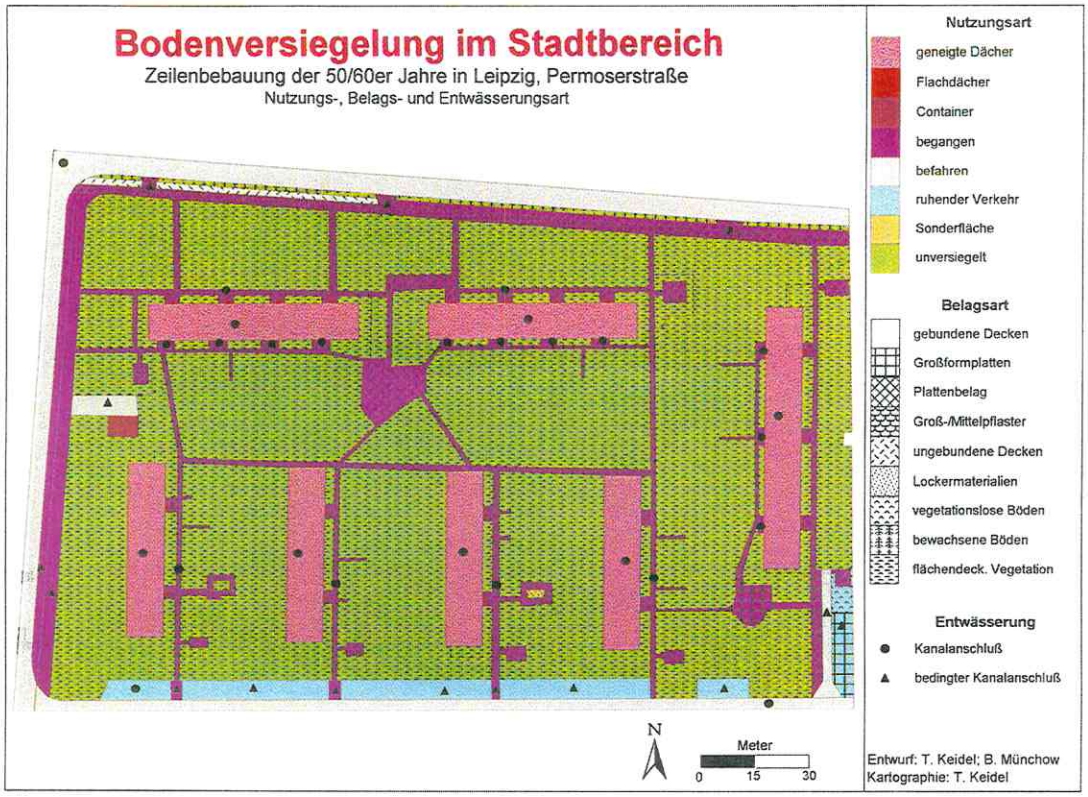
Karte 6



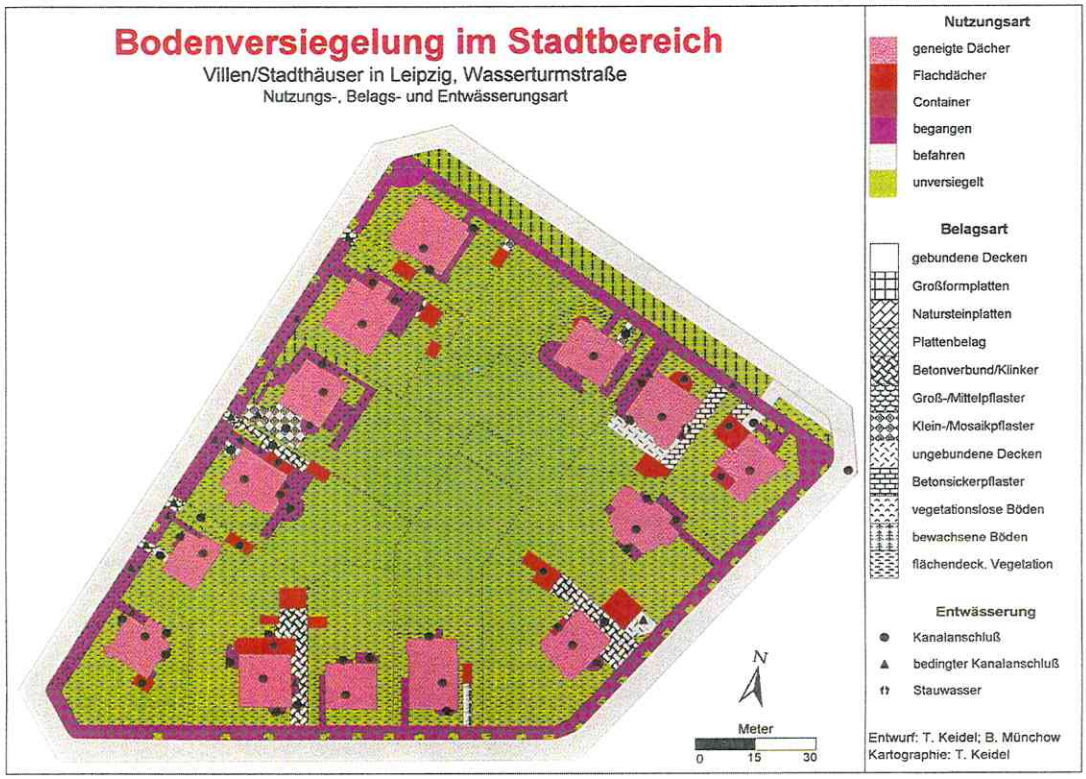
Karte 7



Karte 8

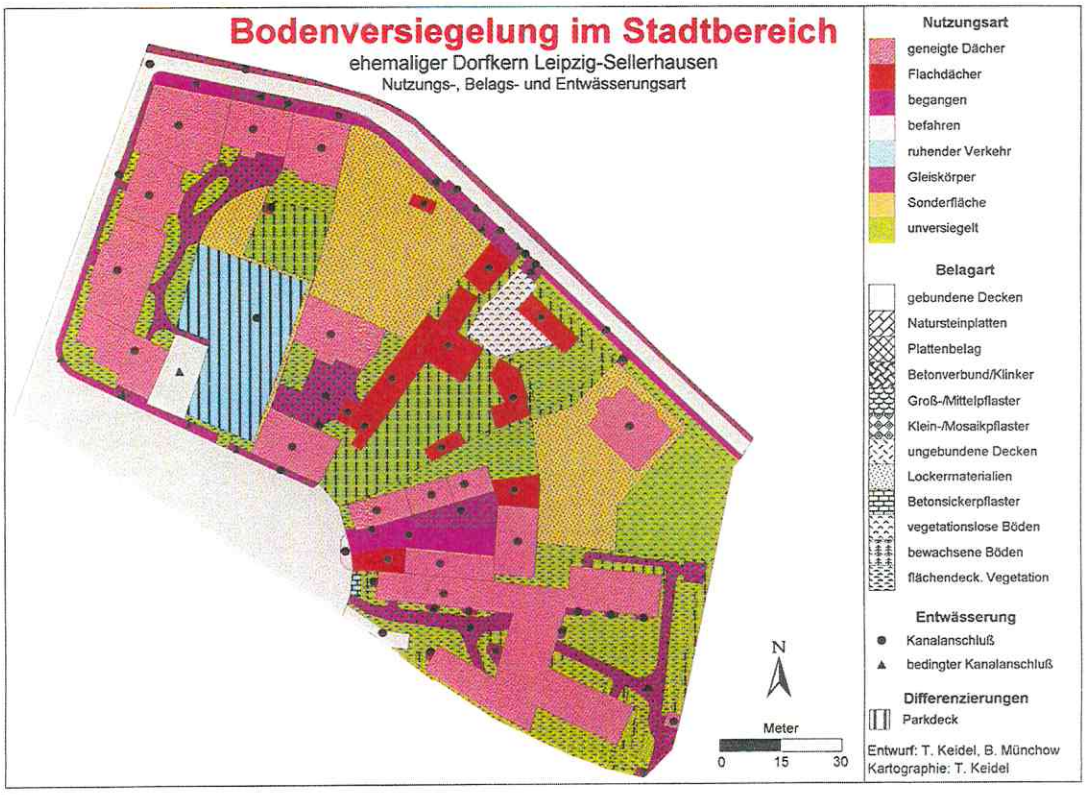


Karte 9

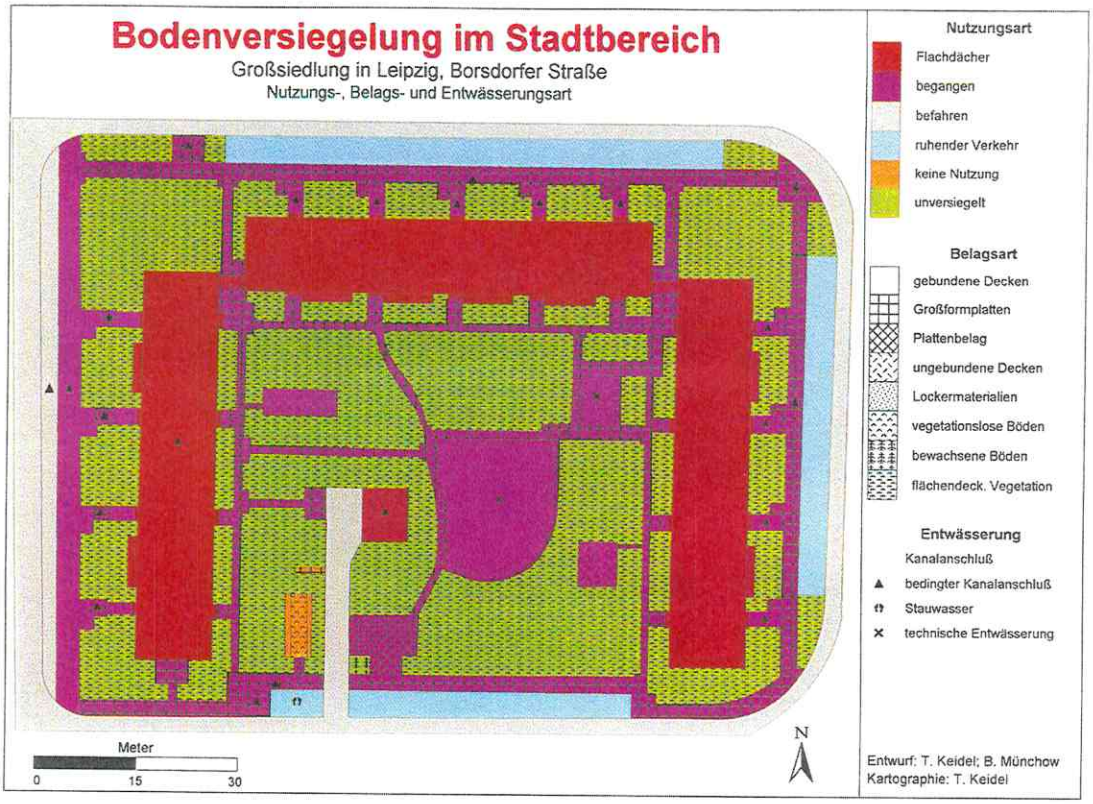


Karte 10

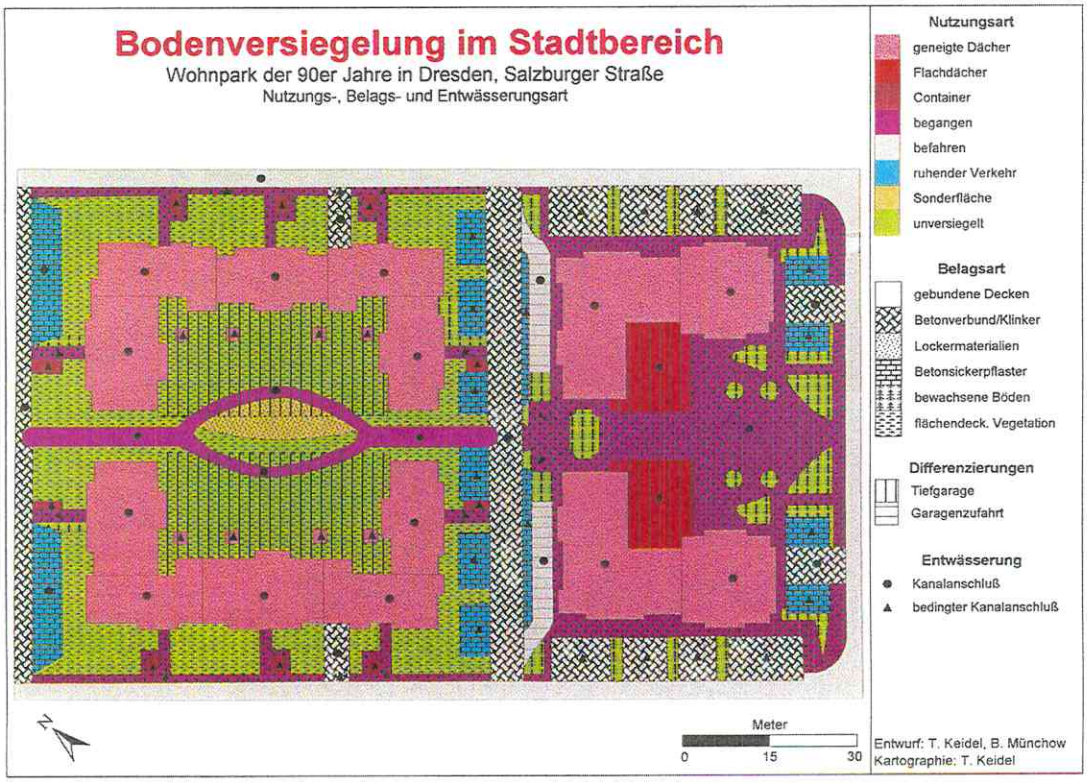
Karte 11



Karte 12

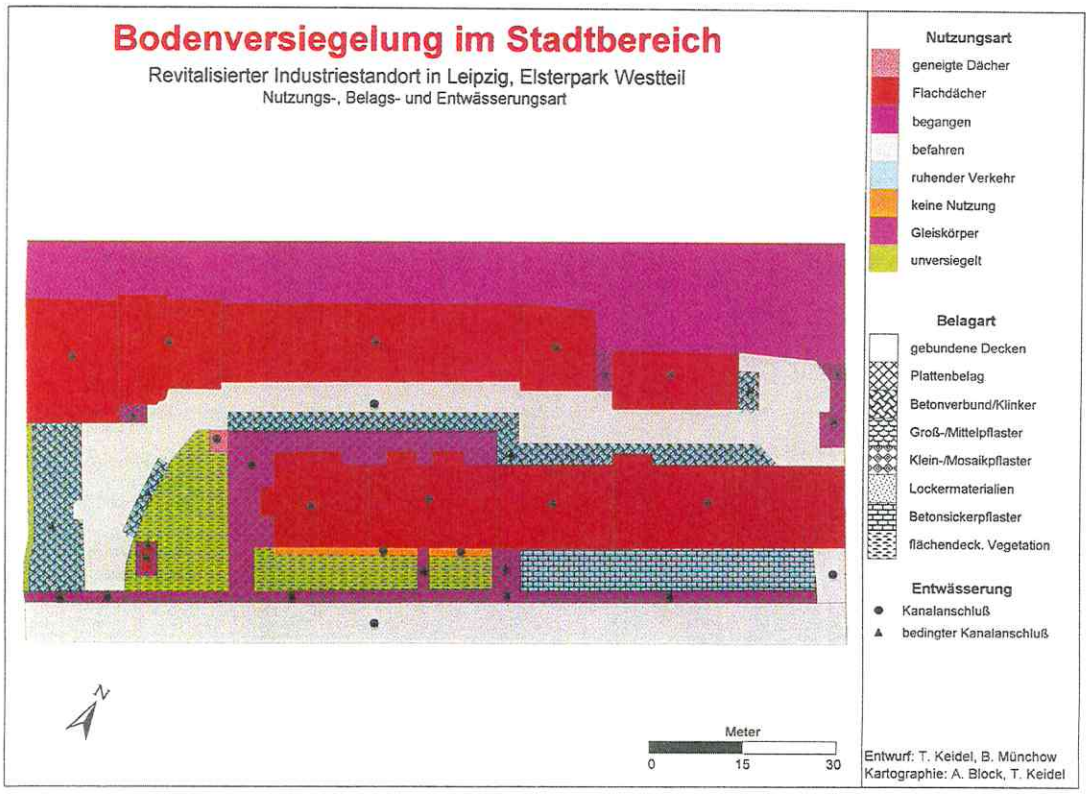


Karte 13

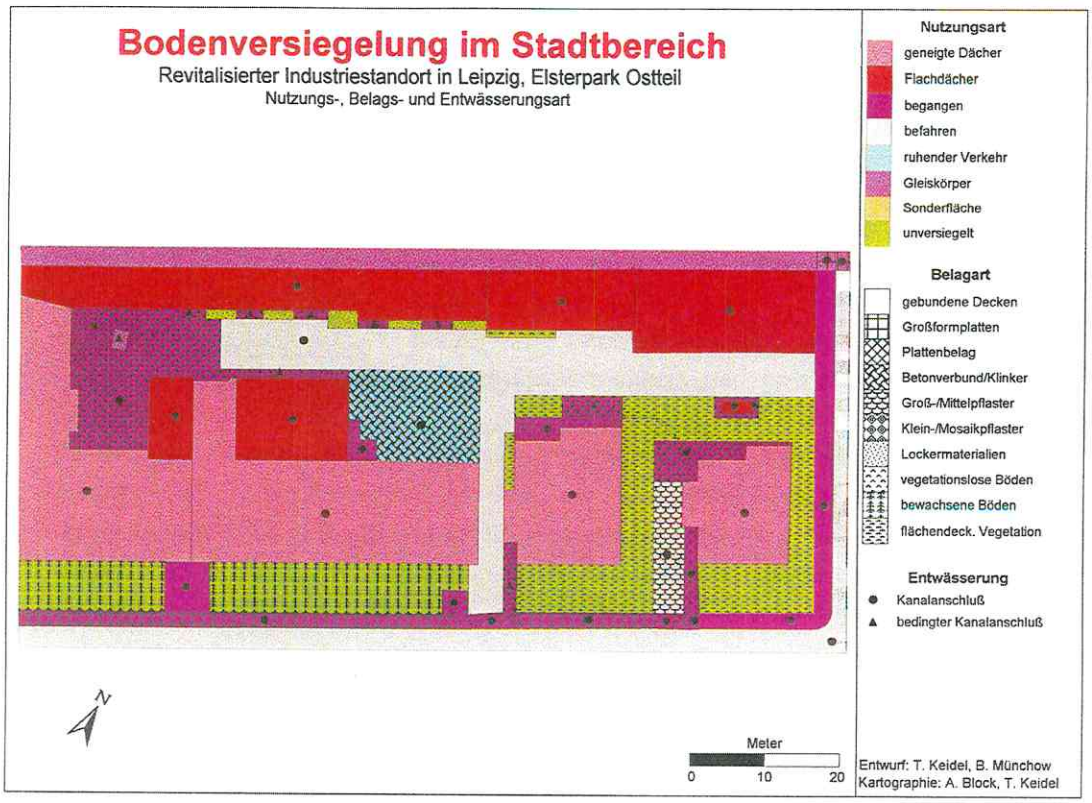


Karte 14

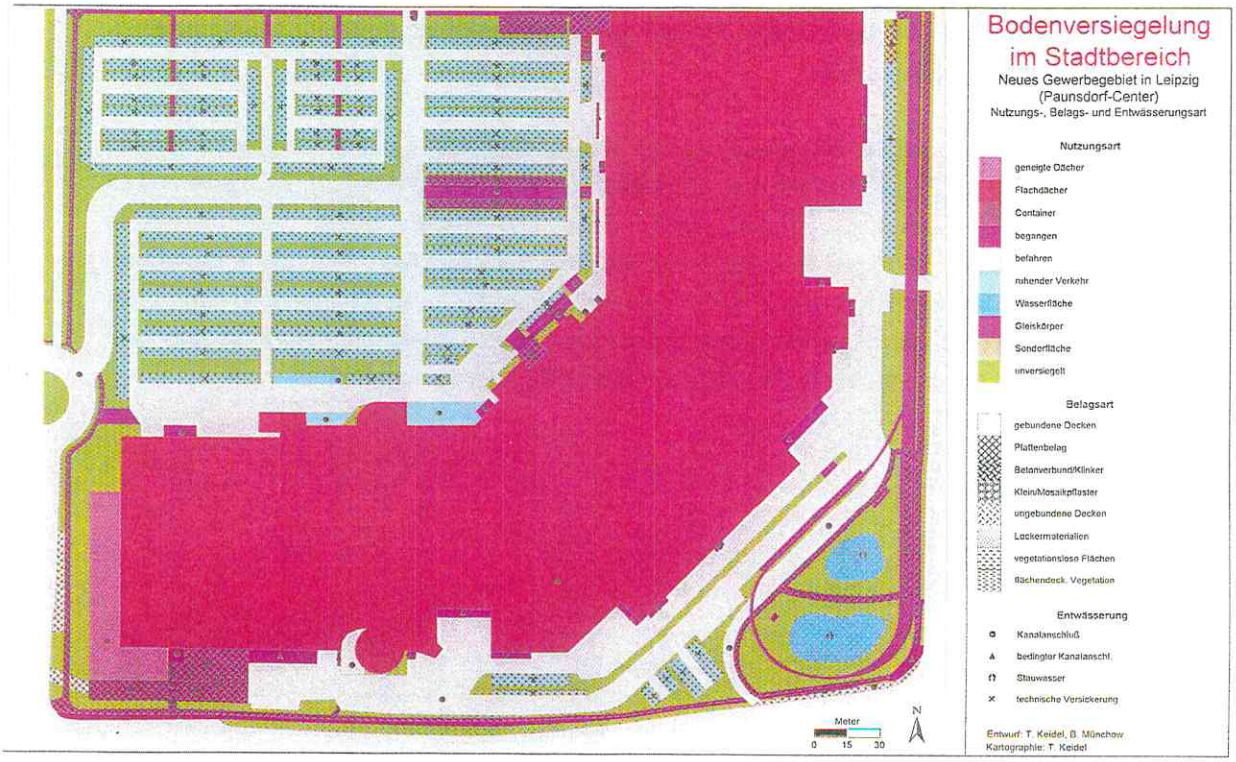
Karte 15



Karte 16



Karte 17



Karte 18

3.2 Wasserdurchlässigkeit verschiedener Flächenbefestigungen

3.2.1 Beregnungsversuche

Um Aussagen über das Infiltrationsverhalten verschiedener Flächenbefestigungen treffen zu können, wurden 1994 Beregnungsversuche in situ mit einem Sprinklerinfiltrometer durchgeführt (SCHRAMM, 1996; SCHRAMM et al., 1996, SCHRAMM u. MÜNCHOW, 1996). In folgenden Ausführungen werden diese Ergebnisse kurz zusammengefaßt. Die Untersuchungsstandorte (Tab. 27) umfaßten gealterte Beläge (Abb. 13), die für das Stadtgebiet von Leipzig repräsentativ sind. Zum anderen lag der Schwerpunkt der Infiltrationsmessungen auf neueren, alternativen Befestigungsarten (Abb. 14) und wassergebundenen Decken (Abb. 15). Die experimentellen Untersuchungen wurden mit einem Beregnungselement (Abb. 15) der Großberegnungsanlage des Instituts für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe durchgeführt. Die Tropfengrößenverteilung und der Energiegehalt des simulierten Regens sind mit denen natürlicher Niederschläge vergleichbar (SCHRAMM, 1996).

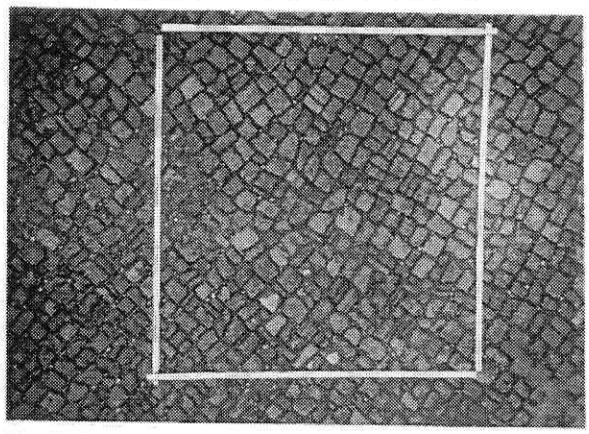
Die Untersuchungsflächen hatten eine Größe von ca. 3.2 x 2.0 m^2 und wurden mit einer konstanten Intensität von 30 - 35 mm/h über einen Zeitraum von 60 min beregnet (Trockenlauf). Ziel der langen Beregnungsdauer war das Erreichen eines konstanten Abflusses zur Bestimmung der Endinfiltrationsrate (Tab. 30). Ein zweites Experiment mit höherer Intensität (ca. 70 mm/h) wurde ca. eine Stunde nach der ersten Beregnung durchgeführt (Naßlauf). Hierdurch konnte in den meisten Fällen ein konstanter Abfluß erzielt werden. Der zeitliche Verlauf der Infiltrationsrate ergibt sich aus der Differenz zwischen der Beregnungsintensität und der auf die Meßfläche bezogenen Oberflächenabflußrate.

Nach Durchführung der Beregnungsversuche wurden die Beläge entfernt und gestörte Bodenproben aus den Fugenbereichen bzw. Deckschichten entnommen (Abb. 15). An diesen Proben wurde die Korngrößenverteilung nach KÖHN mit anschließendem Naßsiebverfahren (KRETZCHMAR, 1986) und der Gehalt an organischer Substanz (C_{org}) durch die trockene Verbrennung bei 1000°C in einem CHN Analyser der Firma Leco, (Carbonatzerstörung bei $CaCO_3$-haltigen Proben mit 10 %iger HCl) bestimmt. Diese Untersuchungen sollten Aufschluß über die nutzungs- und altersbedingte Veränderung des Fugenmaterials geben.

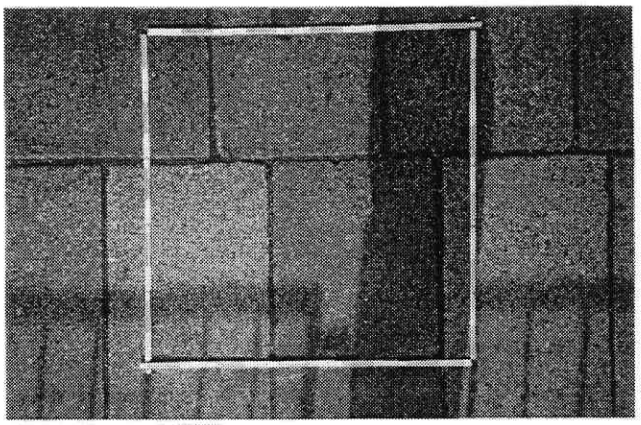
Tab. 27: Untersuchungsstandorte

Nr.	Flächenbefestigung	Nutzung	Herstellungsjahr	Bemerkungen	Fugenanteil (%)
neue Flächenbefestigungen					
3	Betonverbundpflaster sandverfugt	Parkplatz	1992	Fugen vermoost	5.3
4	Rasengittersteine	Parkplatz	1990/91	Raseneinsaat, Bedeckung >90%	27.7
13	Rasengittersteine	Parkplatz	1990	Spontanvegetation, Bedeckung < 25 %	27.7
17	Betonverbundpflaster	Parkplatz	1993	nicht verfugt, Kiesbettung	4.6
16	Betonsteinpflaster mit Sickeröffnungen	Stellplatz	1993	Sickeröffnungen mit Feinkies verfüllt, Kiesbettung	7.8
20	Betonsteinpflaster mit Sickeröffnungen	Parkplatz	1993	Sickeröffnungen nur teilweise verfüllt, verschlämmt, Spontanvegetation	8.9
19	Betonpflaster mit Rasenfugen	Parkplatz	1994	Raseneinsaat, Bedeckung >75 %	22.8
18	Betonpflaster mit Rasenfugen	Parkplatz	1994	Einsaat nicht aufgegangen, Bedeckung < 5 %	22.8
15	Kunstharzgebundene Decke	Radweg	1994	Geolen -Sandgemisch	-
gealterte Flächenbefestigungen					
6	Großformatplatten (1.2 x.1.2 m)	Gehweg	1977/78	Fugenmaterial humos	1.7
10	Betongehwegplatten (0.3 x 0.3 m)	Gehweg	50/60er Jahre	Fugenmaterial humos, vermoost	5.2
1	Kopfsteinpflaster, sandverfugt	Fahrbahn	um 1944	Fugenmaterial stark humos	19.6
2	Kopfsteinpflaster, sandverfugt	Fahrbahn	um 1944	Fugenmaterial stark humos	10.9
7	Mosaikpflaster	Gehweg	um 1900	Fugenmaterial stark humos, vermoost	26.2
8	Mosaikpflaster	Gehweg	um 1900	Fugenmaterial stark humos, vermoost	22.4
9	Natursteinplatten (ca. 0.5 x 1.2 m)	Gehweg	um 1900	Fugenmaterial humos, vermoost	2.3
Wassergebundene Decken					
14		Parkplatz	1975	hoher Skelettanteil in der Deckschicht und hoher Anteil abschlämmbarer Teilchen in der Deck- und Tragschicht	-
5		Gehweg	1991		-
11		Gehweg	1993	geringer Skelettanteil in der Deckschicht und hoher Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	-
12		Gehweg	1993		-
21		Rad- und Fußweg	1993	hoher Skelettanteil in der Deckschicht und geringer Anteil abschlämmbarer Korn-größen in der Deck- und Tragschicht	-

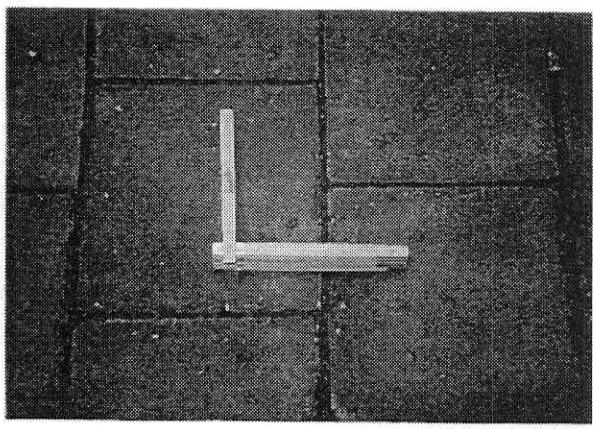
Kopfsteinpflaster



Mosaikpflaster



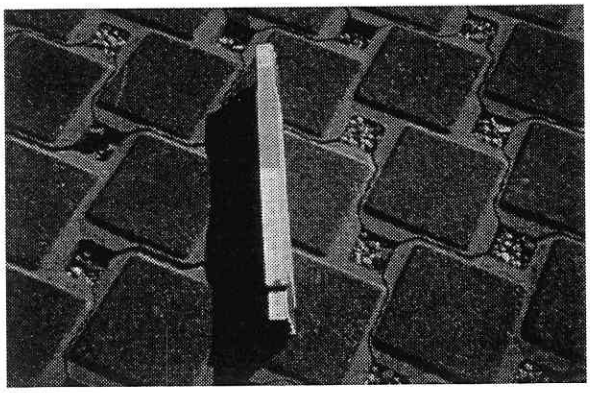
Natursteinplatten



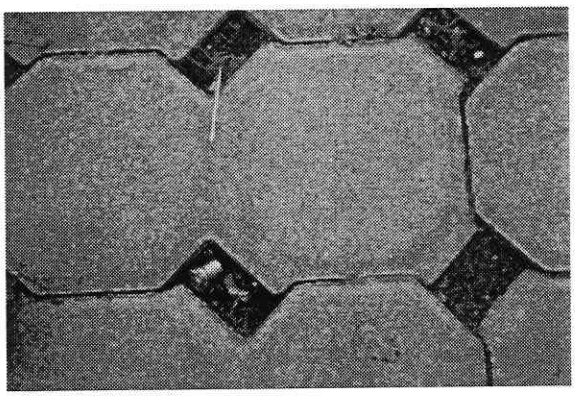
Betongehwegplatten

Großformatplatten

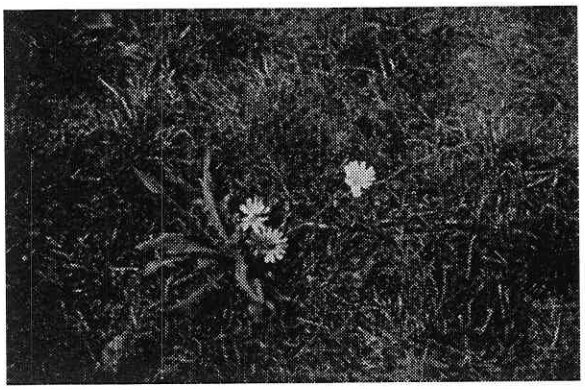
Betonverbundpflaster



Betonsteinpflaster mit Sickeröffnungen (Feinkiesfüllung)

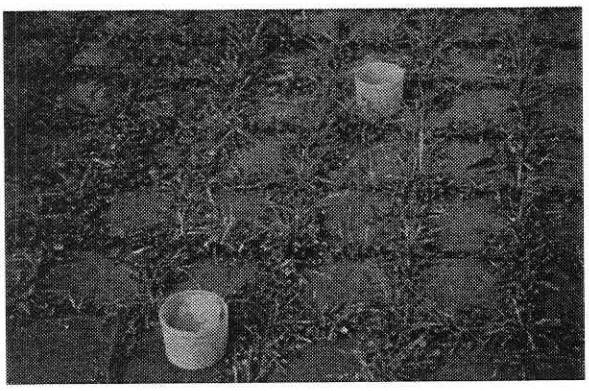


Betonsteinpflaster mit Sickeröffnungen (verschlämmt)

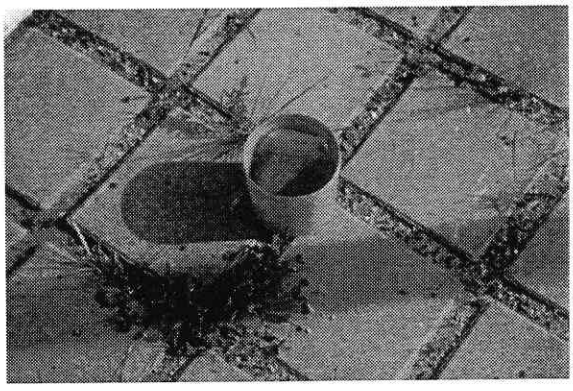


Rasengittersteine mit dichtem Bewuchs

Rasengittersteine mit spärlichem Bewuchs



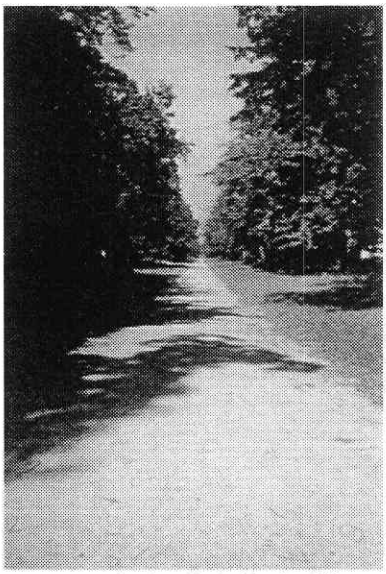
Betonpflaster mit Rasenfugen (dichter Bewuchs)



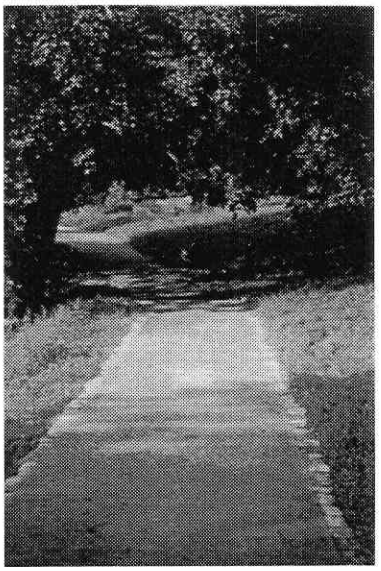
Betonpflaster mit Rasenfugen (spärlicher Bewuchs)

Abb. 14: Neuere Flächenbefestigungen

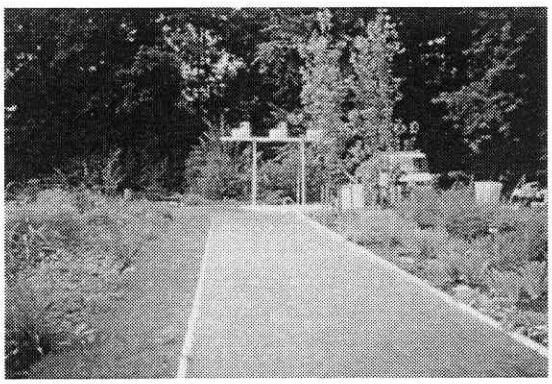
Wassergebundene Decke (Standort 5)



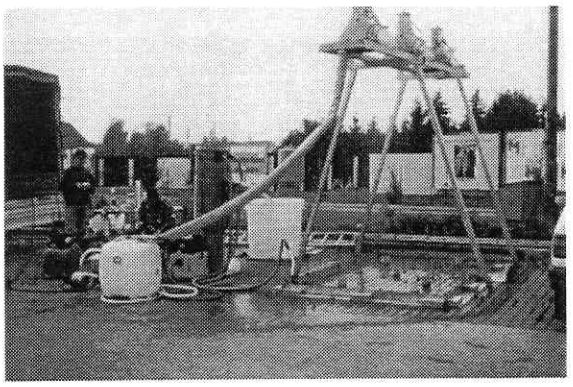
Wassergebundene Decke (Standort 21)



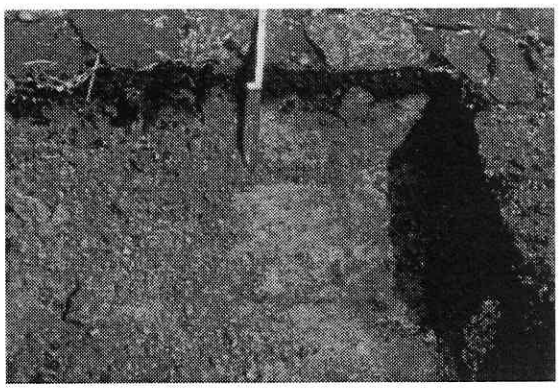
Kunstharzgebundene Decke



Wassergebundene Decke (Standort 11)



Beregnungsanlage



geöffnete Flächenbefestigung

Abb. 15: Wassergebundene und kunstharzgebundene Decke, Beregnungsanlage, geöffnete Flächenbefestigung

In den Abbildungen 16-20 ist der zeitliche Verlauf der Infiltrationsrate für ausgewählte Flächenbefestigungen dargestellt. Ein Vergleich der verschiedenen Flächenbefestigungen kann unabhängig von den Anfangsbedingungen über die Endinfiltrationsrate (Tab. 30) durchgeführt werden. Die älteren Belagstypen (Mosaik- und Kopfsteinpflaster, Granit-, Beton- und Großformatplatten) zeigen keine gravierenden Unterschiede im zeitlichen Verlauf der Infiltrationsrate (Abb. 16).

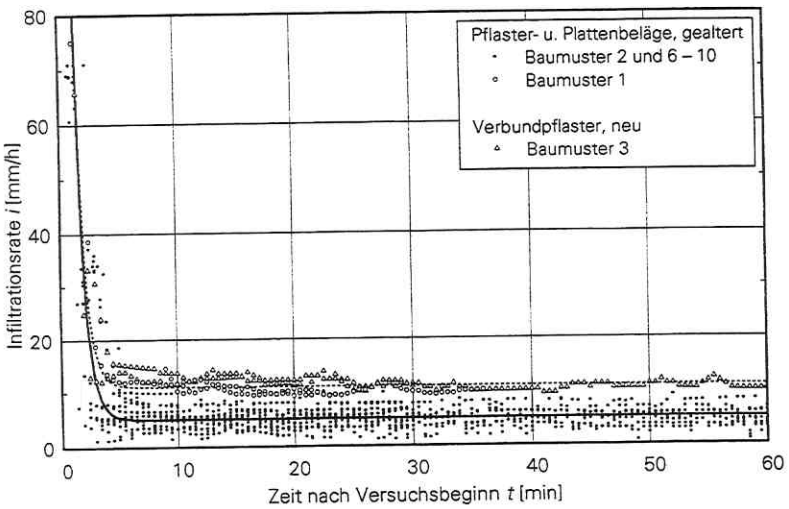


Abb. 16: Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate bei gealterten Pflaster- und Plattenbelägen sowie bei neuem Verbundpflaster

Die Infiltration beginnt mit einem hohen Anfangswert und fällt bereits nach wenigen Minuten stark ab, um sich einem konstanten Endwert zu nähern. Die Unterschiede zwischen Trocken- und Naßlauf sind gering. Einen ähnlichen Verlauf der Infiltrationsrate wie die gealterten Pflaster- und Plattenbeläge zeigt das erst 1992 verlegte Verbundpflaster in Abbildung 16.

Die untersuchten Pflaster- und Plattenbeläge sind zum größten Teil auf einem Sandbett verlegt, das auf einer Schottertragschicht aufliegt. Der Fugensand ist durch den Eintrag von organischem Material im oberen Bereich dunkel verfärbt, während tieferliegende Fugenbereiche sowie das Sandbett kaum Verfärbungen aufweisen (Abb. 15).

Für die wassergebundenen Decken (Nr. 5, 11, 12, 14, 21) ergaben sich deutliche Unterschiede im Infiltrationsverlauf (Abb. 17). Beim Trockenlauf konnte ein langsamerer Anstieg des Oberflächenabflusses beobachtet werden, während beim Naßlauf bereits nach kurzer Zeit die Endinfiltrationsrate erreicht wurde. Für die wassergebundenen Decken 11 und 12 ergaben sich die geringsten Infiltrationsraten. Diese sind vermutlich auf den geringeren Skelettanteil von 28 bzw. 32 Gew.-% in den Deckschichten bzw. den höheren Anteilen abschlämmbarer Teilchen in den Deck- und in den Tragschichten zurückzuführen, die bis zu 16 bzw. 26 Gew.-% betragen können. Die Standorte 5 und 14 zeichnen sich ebenfalls durch einen hohen Anteil abschlämmbarer Korngrößen in den Deck- und Tragschichten aus (22 bzw. 25 Gew.-%), erreichen aber durch ihren höheren Skelettanteil von 51 bzw. 63 Gew.-% in der Deckschicht eine bessere Infiltrationskapazität. Die feinkiesige Deckschicht (62 Gew.-%) und der geringe Anteil der abschlämmbaren Korngrößen von 9 Gew.-% in der Tragschicht von Standort 21 bewirken ein wesentlich günstigeres Infiltrationsverhalten. Insbesondere die starke Verdichtung des Unterbaus bei der Herstellung der wassergebundenen Decken bewirkt die geringe Wasserdurchlässikeit der Tragschichten. Eine erheblich höhere Infiltrationskapazität von ca. 45 mm/h (Abb. 17) wurde von der kunstharzgebundenen Decke erzielt (Nr. 15). Hierbei handelt es sich um ein lufttrocknendes Einkomponenten-Bindemittel, daß mit trockenem Quarzsand gemischt und auf einer Ausgleichsschicht aus Sand aufgebracht wird.

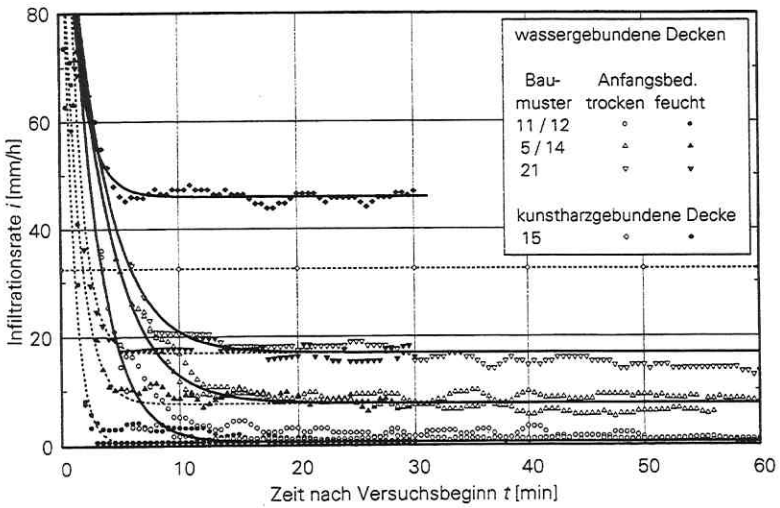


Abb. 17: Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate bei wassergebundenen Decken und einer kunstharzgebundenen Decke

Die neueren, alternativen Flächenbefestigungen zeigen hinsichtlich ihres Infiltrationsverhaltens deutliche Unterschiede.

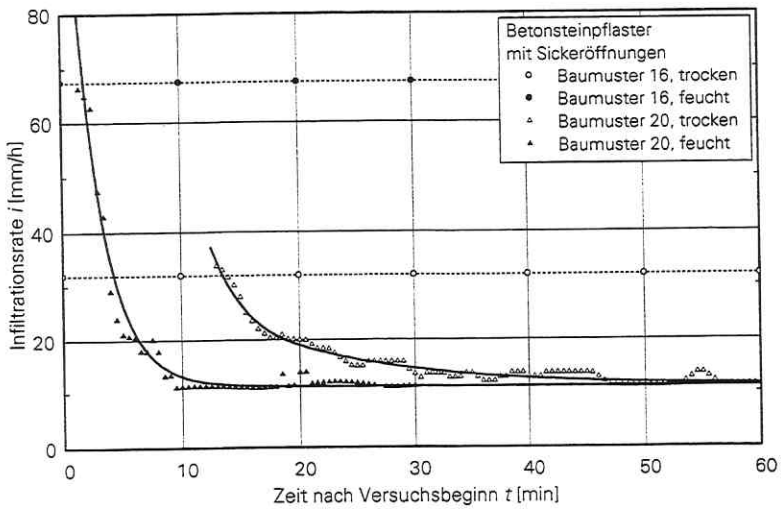


Abb.18: Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate bei Betonsteinpflaster mit Sickeröffnungen

Bei Betonsteinpflaster mit Sickeröffnungen (Nr. 16) ist die gesamte Niederschlagsmenge durch die mit Feinkies verfüllten Öffnungen versickert (Abb. 18). Der Unterbau besteht bei diesem Belag aus einer Bettungsschicht aus Kies auf einer Tragschicht aus Recyclingmaterial. Bei Baumuster 20 sind die Sickeröffnungen teilweise mit sandig-lehmigem Schluff verfüllt und verschlämmt. Das Pflasterbett dieses Belags besteht aus Sand über einer Schottertragschicht. Die Infiltrationsversuche ergaben nur Endraten von ca. 11 mm/h (Abb. 18).

Der Rasengittersteinparkplatz mit einer hohen Bewuchsdichte erwies sich als sehr durchlässig. Beim ersten Beregnungsversuch versickerte der gesamte Niederschlag durch die mit dichtem Grasbewuchs zugewucherten Gitteröffnungen. Im Naßlauf setzte der Abfluß erst nach ca. 25 Minuten ein und nahm nur allmählich zu (Abb. 19). Ganz anders sind die Ergebnisse für Baumuster 13 (Abb. 19). Bei diesem intensiv genutzten Parkplatz aus Rasengittersteinen ist die ursprüngliche Begrünung nur noch sporadisch vorhanden und der Boden stark verschlämmt.

Der verzögerte Anstieg des Oberflächenabflusses beim ersten Beregnungsversuch ist auf den Flächenrückhalt der Rasengittersteine zurückzuführen. Beim anschließenden zweiten Versuch wurde jedoch bereits kurz nach einsetzendem Oberflächenabfluß die Endinfiltrationsrate erreicht, die mit 8 mm/h sehr gering war.

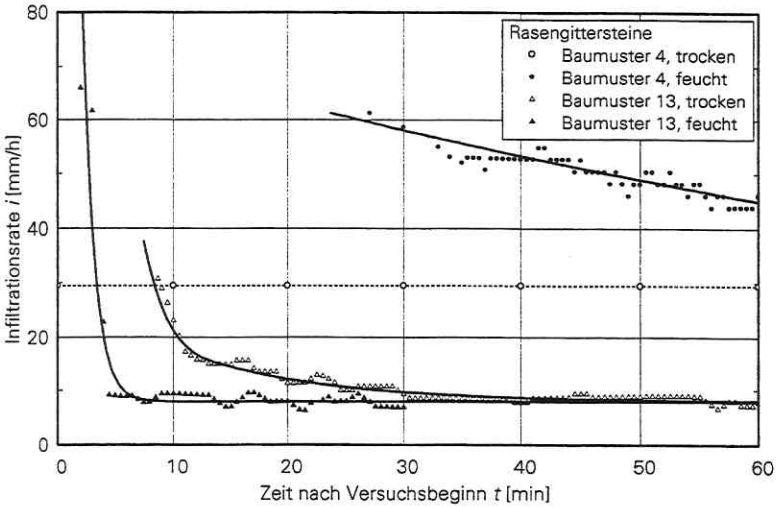


Abb.19: Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate bei Rasengittersteinen

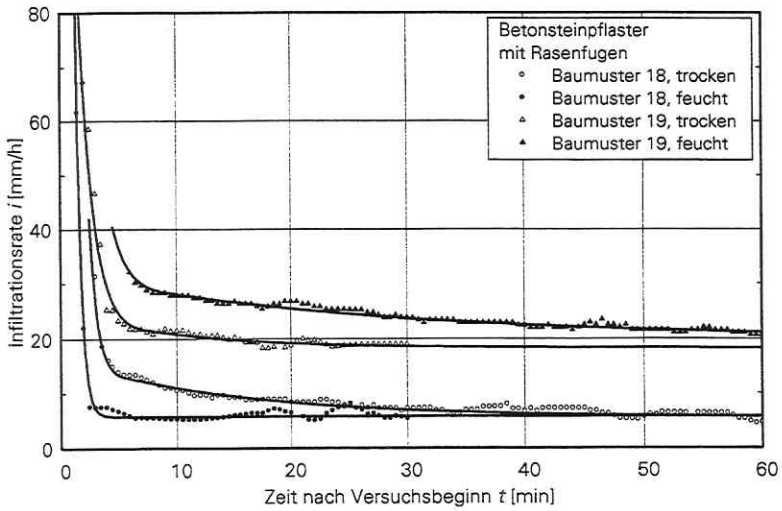


Abb. 20: Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate bei Betonsteinpflaster mit Rasenfugen

Beim Betonpflaster mit Rasenfugen lassen sich deutliche Unterschiede im zeitlichen Verlauf der Infiltrationsrate für die Baumuster 18 und 19 feststellen (Abb. 20). Die Fugenbereiche wurden mit lehmigem Sand verfüllt, als Bettungsmaterial diente Splitt. Bei Baumuster 18 ist die Gras/Weißklee-Einsaat nur teilweise aufgegangen, so daß sich eine Bedeckung von weniger als 5 % ergab. Der Oberflächenabfluß setzte bei beiden Versuchen relativ früh ein und stieg dann schnell an. Die Endinfiltrationsrate betrug mit ca. 5 mm/h nur ein Fünftel der Endinfiltrationsrate von Baumuster 19. Bei diesem waren die Fugenbereiche mit Gras bzw. Klee ausgefüllt.

3.2.2 Bewertungskonzept

Der Zweck des Bundes-Bodenschutzgesetzes -BBodSchG- (DEUTSCHER BUNDESTAG, 1998) und des Sächsischen Gesetzes zur Abfallwirtschaft und zum Schutz des Bodens-EGAB- (SÄCHSISCHE STAATSKANZLEI, 1991) ist es, die Funktionen des Bodens nachhaltig zu sichern oder wiederherzustellen. Insbesondere soll der Boden vor schädlichen Bodenveränderungen geschützt werden. Schädliche Bodenveränderungen liegen nach dem BBodSchG bei Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen vor, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit herbeizuführen. Bodenbelastungen im Sinne des EGAB sind Veränderungen der Beschaffenheit des Bodens, insbesondere durch stoffliche Einwirkungen, bei denen Besorgnis besteht, daß die Funktionen des Bodens als Naturkörper oder als Lebensgrundlage für Menschen, Tiere und Pflanzen erheblich oder nachhaltig beeinträchtigt werden. In beiden gesetzlichen Regelungen wird die Bodenversiegelung nicht explizit als schädliche Bodenveränderung bzw. Bodenbelastung aufgeführt. Durch die folgenden Bewertungsansätze soll es zu einer Konkretisierung der schädlichen Bodenveränderung „Bodenversiegelung" kommen, um die Auswirkungen von Versiegelungsmaßnahmen besser beurteilen zu können. Die erhobenen Daten und Kenntnisse sollen zusammengefaßt und Handlungsanweisungen für eine nutzungsspezifische Flächenbefestigung gegeben werden.

Mit den vorliegenden Untersuchungsergebnissen werden Aussagen zum Infiltrationsverhalten und zu Abflußeigenschaften von verschiedenen Flächenbefestigungen getroffen. Somit können quantitativ gemessene Auswirkungen, die von der Bodenversiegelung ausgehen, beurteilt werden. Als Bewertungskriterien werden die Meßdaten verwendet und über abgeleitete Gesamtabflußbeiwerte weiterführende Empfehlungen gegeben. Die Unterschiedlichkeit der verschiedenen Versiegelungsarten soll herausgestellt werden unter Berücksichtigung der jeweiligen Nutzungsansprüche. Die Ergebnisdarstellung erfolgt in Form von Bewertungsrahmen für aufgestellte Kriterien und Bewertungskarten für Fallbeispiele. Eine Zusammenschau der erfaßten Eigenschaften erfolgt durch einen Flächenbefestigungssteckbrief.

Die Bewertung der Flächenbefestigungen hinsichtlich ihrer Wasserdurchlässigkeit erfolgt nicht anhand eines Punktesystems oder einer Werteskala (vgl. POHL, 1991; RIDKY, 1990; HEBER u. LEHMANN, 1993), da die experimentellen Untersuchungen gezeigt haben, daß die Infiltrationsleistung stark von der Alterung, der Konstruktion und der Nutzungsintensität abhängig ist. Zu einer ähnlichen Einschätzung kommt BORGWARDT (1994a, 1994b, 1995a, 1995b). Deshalb soll mit den Bewertungskriterien vor allem aufgezeigt werden, ob der anfallende Niederschlag versickern kann und mit welchen Mengen Oberflächenabfluß gerechnet werden muß. Für Planungsprozesse soll eine Entscheidungshilfe zur Wahl einer bestimmten Flächenbefestigung gegeben werden, wenn der Eingriff „Bodenversiegelung" unvermeidbar ist. Dabei sollte der Grundsatz zählen, daß alle Böden empfindlich gegenüber Versiegelungsmaßnahmen sind. Die schädliche Bodenveränderung wird nach dem Vollzug der Versiegelungsmaßnahme betrachtet. Hierbei muß beachtet werden, daß beim Eingriff in das Schutzgut Boden in der Regel die obersten 30-80 cm des Bodens abgetragen werden (Tab. 28 und 29), um den Oberbau der Flächenbefestigung (Frostschutzschicht, Tragschicht, Pflasterbett) herzustellen. Dieser Eingriff ist abhängig von der Tragfähigkeit des Bodens und der Verkehrsbelastung.

Tab. 28: Richtwerte für die erforderliche Oberbaumächtigkeit bei ausreichend wasserdurchlässigem und frostsicherem Untergrund (in: BORGWARDT 1995, S. 75)

Untergrund nicht frostempfindlich, wasserdurchlässige Klasse	erforderliche Mächtigkeit bei Bauklasse III, IV	V, VI	Rad- und Gehwege
F1	60 cm	50 cm	30 cm

Tab. 29: Richtwerte für die erforderliche Oberbaumächtigkeit bei nicht ausreichend wasserdurchlässigem und frostsicherem Untergrund (in: BORGWARDT 1995, S. 76)

Untergrund Frostempfindlichkeitsklasse	Frosteinwirkzone	Mächtigkeit bei Bauklasse III,IV	V,VI	Rad- und Gehwege
F2 oder F3	I und II	70 cm	60 cm	40 cm
	III	80 cm	70 cm	50 cm

Durch den Bodenabtrag wird die Bodenhorizontierung gestört und verschiedene Bodenfunktionen vernichtet bzw. stark beeinträchtigt wie z.B. der Lebensraum für Tiere und Pflanzen sowie die Regelungsfunktionen. Zudem wird die Kulturfunktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte zerstört. Das verkürzte Bodenprofil wird mit natürlichem oder technogenem Material überdeckt und seiner neuen Bestimmung zugeführt. Die Eigenschaften bzw. Funktionen dieser versiegelten Flächen ergeben sich nun aus ihrem anthropogenen Aufbau. In der vorliegenden Arbeit wird die Wasserdurchlässigkeit dieser Flächenbefestigungen beurteilt.

3.2.2.1 Bewertungskriterien

Für eine Bewertung der Wasserdurchlässigkeit ist es wichtig, welche Regenspende oder Regenstärke als Ausgangspunkt gewählt wird. Diese ist abhängig von der Regendauer und der Wiederholungszeitspanne. Eine lange Niederschlagsdauer ist im allgemeinen mit einer geringen Intensität verbunden und kurze Schauerregen zeichnen sich durch größere Intensitäten aus. Langanhaltende Regenereignisse mit einer Regenspende zwischen 5 l/(s*ha) und 80 l/(s*ha) machen etwa 94 Prozent des Jahresniederschlags aus. Die Regenspenden bis zu 80 l/(s*ha) sind somit die ausschlaggebenden Ereignisse für den Bodenwasserhaushalt und die Grundwasserneubildung. Für die Beurteilung der Abflußreduktion, die ein Ziel dieser Untersuchungen war, sind jedoch Regenereignisse mit hohen Intensitäten von Bedeutung. Aus diesem Grund wurden die Beregnungsversuche mit hohen Intensitäten und langer Versuchsdauer durchgeführt, um einen konstanten Abfluß zur Bestimmung der gesättigten Leitfähigkeit zu erhalten. Im Bewertungskonzept werden daher Kriterien zum Infiltrationsverhalten bei Starkregenereignissen entwickelt, aber auch Ableitungen für Niederschläge mit geringen Intensitäten getroffen.

Als nicht geeignet für die Beurteilung der Versickerungsleistung wird der Fugenanteil angesehen. Dieser kann zwar leicht im Gelände erfaßt werden, suggeriert aber eine Durchlässigkeit, die sich im Laufe der Nutzungsgeschichte verändert. Dieser Sachverhalt konnte im Forschungsvorhaben durch die Untersuchung von gealterten Flächenbefestigungen belegt werden. Die gealterten Pflaster- und Plattenbeläge verfügen über unterschiedliche Fugenanteile, -formen und -größen. Zwischen der Endinfiltrationsrate und dem Fugenanteil konnte kein Zusammenhang festgestellt werden. Die untersuchten Mosaikpflaster, die Granit-, die Beton- und die Großformatplatten zeigten keine gravierenden Unterschiede in der Infiltrationsrate. Hingegen schließen BINNEWIES U. SCHÜTZ (1985) aus ihren Untersuchungen an verschiedenen Klein- u. Verbundpflastern, daß eine Verringerung der Infiltrationsleistung nicht zwangsläufig durch eine Einschwemmung von Feinstoffen auftreten muß. Auch keine eindeutige Abnahme der Versickerungsfähigkeit stellten KRETZER u. RUID-RODRIGUEZ (1992) für Vollverbundsteine und Rasengittersteine fest. Sie führen dieses aber auf den kurzen Beobachtungszeitraum von einem Jahr zurück.

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen aber die Mitteilungen von BORGWARDT (1992a) und WESSOLEK u. FACKLAM (1997), daß es mit zunehmendem Alter und dauerhafter Belastung zu einem Eintrag von Stäuben und organischem Material in den Fugenbereichen kommt. In Abbildung 21 und 22 sind für die gealterten Pflaster- und Plattenbeläge die prozentualen Anteile der abschlämmbaren Teilchen < 0.063 am Feinboden und die C_{org}-Gehalte dargestellt.

Während die Ton- und Schluffgehalte im Sandbett zwischen 4 % und 16 % betragen, steigen diese Gehalte beim Fugenmaterial auf Werte zwischen 27 % und 43 % an (Abb. 21).

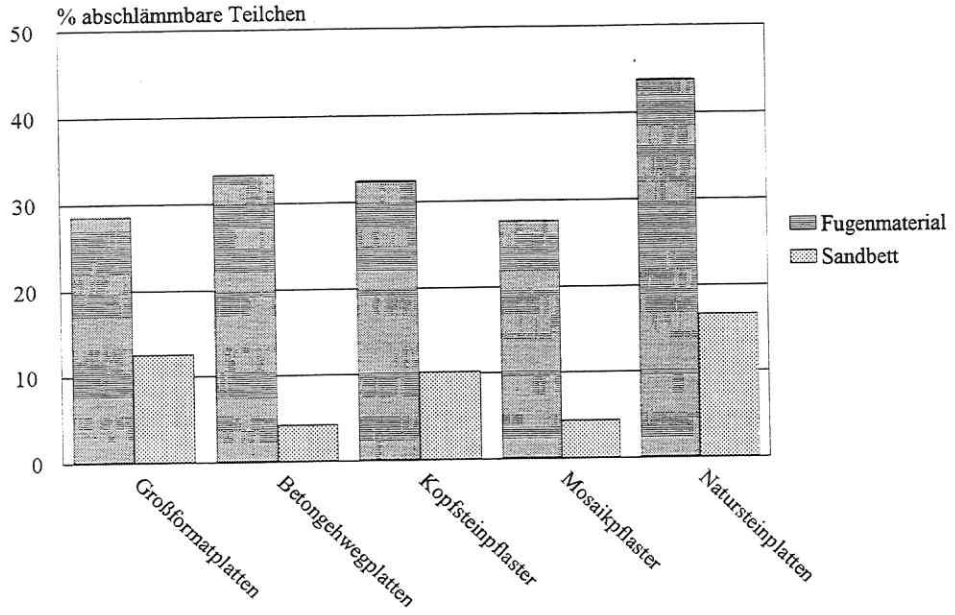


Abb. 21: Gegenüberstellung der prozentualen Anteile der abschlämmbaren Teilchen im Fugenmaterial und im Sandbett der gealterten Pflaster- und Plattenbeläge

Die C_{org}-Gehalte im Pflasterbett liegen zwischen 0.06 % und 0.16 %. Im Fugenmaterial treten C_{org}-Gehalte von 1.04 % bis 4.50 % auf (Abb. 22).

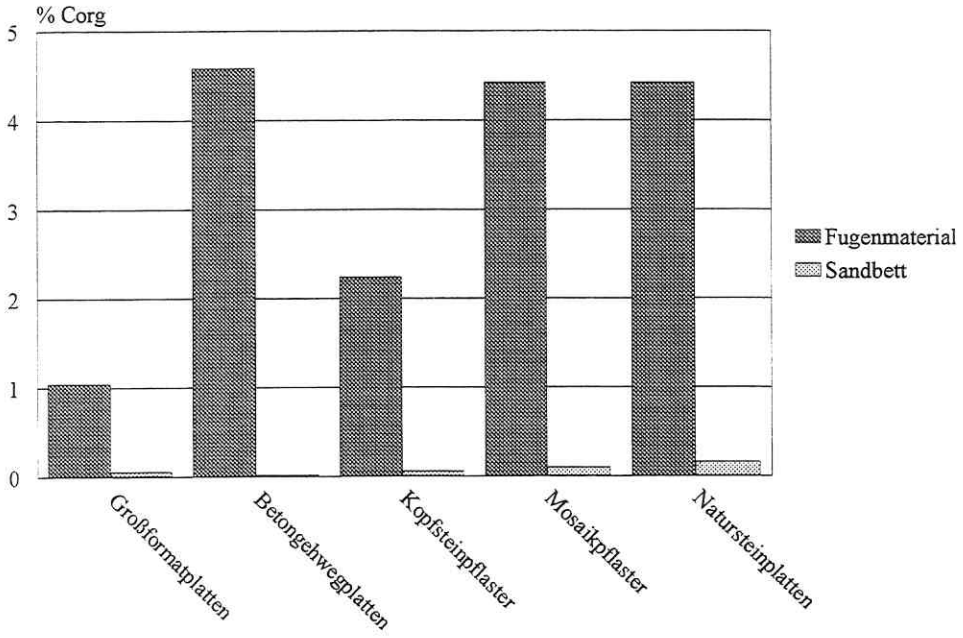


Abb. 22: Gegenüberstellung der prozentualen Anteile der Corg-Gehalte im Fugenmaterial und im Sandbett der gealterten Pflaster- und Plattenbeläge

Endinfiltrationsrate

Für das Bewertungskonzept wird als Kriterium die Endinfiltrationsrate (i_E) zur Charakterisierung der Versickerungsleistung gewählt. Diese kennzeichnet die Versickerungseigenschaften der Flächenbefestigungen unabhängig von der Niederschlagsintensität. Bei bekanntem Verlauf der Infiltrationsrate können die Gesamtabflußbeiwerte für verschiedene Intensitätsstufen und Ereigniszeiträume ermittelt werden (SCHRAMM, 1997). In Tabelle 30 sind die mittleren Endinfiltrationsraten für die untersuchten Flächenbefestigungen aufgeführt. Sie entsprechen theoretisch der hydraulischen Leitfähigkeit bei Wassersättigung (k_f). Die Endinfiltrationsrate wird für die weitergehende Bewertung in l/(s*ha) als Infiltrationskapazität interpretiert und kann aus Tabelle 30 entnommen werden.

Tab. 30: Mittlere Endinfiltrationsrate und Infiltrationskapazität

Flächenbefestigung	Nutzung	Baujahr	mittlere Endinfiltrations-rate (mm/h)	Infiltrations-kapazität l/(s*ha)
neue Flächenbefestigungen				
Betonverbundpflaster, sandverfugt	Parkplatz	1992	9.9	31.1
Rasengittersteine dichter Bewuchs	Parkplatz	1990/91	> 70.0	> 170.0
Rasengittersteine spärlicher Bewuchs	Parkplatz	1990	7.9	21.9
Betonsteinpflaster mit Sickeröffnungen Feinkiesfüllung	Stellplatz	1993	> 70.0	> 187.5
Betonsteinpflaster mit Sickeröffnungen, verschlämmt	Parkplatz	1993	11.2	31.1
Betonpflaster mit Rasenfugen dichter Bewuchs	Parkplatz	1994	19.2	53.3
Betonpflaster mit Rasenfugen spärlicher Bewuchs	Parkplatz	1994	5.8	16.0
Kunstharzgebundene Decke	Radweg	1994	45.9	127.5
gealterte Flächenbefestigungen				
Großformatplatten	Gehweg	1977/78	5.2	14.3
Betongehwegplatten	Gehweg	50/60er Jahre	5.3	14.4
Kopfsteinpflaster	Fahrbahn	ca. 1944	9.8	27.4
Kopfsteinpflaster	Fahrbahn	ca. 1944	4.4	12.0
Mosaikpflaster	Gehweg	ca. 1900	3.2	9.0
Mosaikpflaster	Gehweg	ca. 1900	6.2	17.0
Natursteinplatten	Gehweg	ca. 1900	3.0	8.4
Wassergebundene Decken				
	Parkplatz	1975	6.2	17.2
	Gehweg	1991	8.4	23.3
	Gehweg	1993	0.8	2.2
	Gehweg	1993	0.8	2.1
	Rad- und Fußweg	1993	12.7	35.3

Gesamtabflußbeiwerte

Der Abflußbeiwert bezeichnet das Verhältnis der Abflußspende zur Regenspende und drückt damit aus, welcher Anteil der Regenspende zum oberflächlichen Abfluß kommt. In Tabelle 57 im Anhang sind für die unterschiedlichen Flächenbefestigungen die Gesamtabflußbeiwerte für verschiedene Regenintensitäten und Zeiträume aufgeführt. Am Beispiel der Rasengittersteine mit spärlichem Bewuchs sind in Tabelle 31 diese Werte dargestellt. Die Abflußbeiwerte sind für trockene und feuchte Anfangsbedingungen bestimmt worden, soweit sich Abweichungen im Infiltrationsverhalten ergaben (vgl. SCHRAMM, 1997). Die Ergebnisse für die untersuchten gealterten Pflaster- und Plattenbeläge sind zusammengefaßt, da sich keine entscheidenden Unterschiede im Infiltrationsverhalten zeigten. Die wassergebundenen Decken sind nach ihrem Skelettanteil in der Deckschicht und den Anteilen der abschlämmbaren Korngrößen in der Deck- und Tragschicht in drei Gruppen eingeteilt. Unter Verwendung von Tabelle 57 ist es möglich, für bestimmte Niederschlagsereignisse die Abflußbeiwerte zu erhalten und somit für bestimmte Bewertungsrahmen zu nutzen.

Tab. 31: Beispiel für die Gesamtabflußbeiwerte der untersuchten Flächenbefestigungen für verschiedene Intensitätsstufen r (mm/h) und Regenzeiträume (min)

Rasengittersteine (spärlicher Bewuchs)										
hoher Anfangswassergehalt						geringer Anfangswassergehalt				
Intensität	Regendauer *t* [min]					Intensität	Regendauer *t* [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60		*r* [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00		10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,25	0,36	0,42		20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,26	0,50	0,58	0,62		30	0,00	0,00	0,00	0,02
40	0,45	0,62	0,68	0,71		40	0,00	0,09	0,20	0,26
50	0,56	0,70	0,75	0,77		50	0,06	0,27	0,36	0,41
60	0,63	0,75	0,79	0,81		60	0,22	0,39	0,47	0,51
70	0,68	0,78	0,82	0,84		70	0,33	0,48	0,55	0,58
80	0,72	0,81	0,84	0,86		80	0,41	0,55	0,60	0,63
90	0,75	0,83	0,86	0,87		90	0,48	0,60	0,65	0,67
100	0,78	0,85	0,87	0,88		100	0,53	0,64	0,68	0,71

3.2.2.2 Bewertungsrahmen

Im weiterem Bewertungsansatz werden Bewertungsrahmen für eine mögliche Entlastung der Kanalsysteme für Regen- oder Mischwasser, für die Flächenversickerung und für eine Minderung der Versickerung der jährlichen Niederschlagsereignisse vorgestellt. Bewertungsgrundlage für die Versickerungsleistung verschiedener Flächenbefestigungen können die wasserwirtschaftlichen Regelwerke sein. Bei der Bemessung von Versickerungsflächen wird von einem vorgegebenen Bemessungsregen ausgegangen. Welcher Bemessungsregen tatsächlich zum Ansatz gebracht wird, hängt von der jeweiligen Art der entwässerungstechnischen Versickerung ab. Für die Dimensionierung von Kanalsystemen für Regenwasser wird im Arbeitsblatt A 118 (ATV, 1977) von einer einmal jährlich überschrittenen Regenspende bei einer Dauer von 15 Minuten ausgegangen. Dies entspricht einer Regenspende von 100 l/(s*ha), falls keine örtliche Regenauswertung vorliegt. Für Leipzig ergibt sich aus dem meteorologischen Gutachten (DWD, 1995) eine maßgebliche Regenspende von 113.3 l/(s*ha). Bei der Flächenversickerung nach ATV A 138 (ATV, 1990) wird das Niederschlagswasser offen und ohne wesentlichen Aufstau direkt durch die durchlässig befestigte Oberfläche versickert. Da bei dieser Entwässerungsart kein Speicherraum zur Verfügung steht, erhöht sich die ausschlaggebende Regenspende. Bei großen und flach geneigten Anschlußflächen tritt die veranschlagte Regenspende von 200 l/(s*ha) alle fünf Jahre mit einer Regendauer von 15 Minuten auf. Für Leipzig ergibt sich ein Niederschlagsereignis von 188.7 l/(s*ha).

Tab. 32: Wasserwirtschaftliche Kennwerte

Vorschrift	Häufigkeit	Dauer T in Minuten	Regenspende l/(s*ha)	Regenspende l/(s*ha) für Leipzig
ATV A 118	1	15	100	113.3
ATV A 138	5	15	200	188.7

Mit Hilfe von Tabelle 57 im Anhang sind für die untersuchten Flächenbefestigungen die Gesamtabflußbeiwerte für die beschriebenen wasserwirtschaftlichen Regelwerke A 118 und A 138 bestimmt worden. Als Bezugswert wurden Regenintensitäten von 40 mm/h bzw. 70 mm/h gewählt. Diese Werte entsprechen 111 l/(s*ha) bzw. 194 l/(s*ha). Falls ein Unterschied zwischen Naß- und Trockenlauf vorliegt, wird aus Präventionsgründen der Abflußbeiwert des Naßlaufes gewählt. In Tabelle 33 und 34 sind die ermittelten Gesamtabflußbeiwerte aufgeführt.

Tab. 33: Abflußbeiwerte nach ATV A 118

Flächenbefestigung	**Abflußbeiwert**	
	geringer	**hoher**
	Anfangswassergehalt	
gealterte Pflaster- und Plattenbeläge	0.62	0.62
Betonverbundpflaster sandverfugt	0.48	0.48
Rasengittersteine dichter Bewuchs	0.00	0.00
Rasengittersteine spärlicher Bewuchs	0.00	0.00
Betonpflaster mit Rasenfugen dichter Bewuchs	0.00	0.00
Betonpflaster mit Rasenfugen spärlicher Bewuchs	0.22	0.64
Betonsteinpflaster mit Feinkies gefüllten Sickeröffnungen	0.00	0.00
Betonsteinpflaster mit verschlämmten Sickeröffnungen	0.11	0.28
Kunstharzgebundene Decke	0.00	0.00
Wassergebundene Decken mit hohem Skelettanteil in der Deckschicht und geringem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	0.08	0.35
Wassergebundene Decken mit hohem Skelettanteil in der Deckschicht und hohem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	0.50	0.69
Wassergebundene Decken mit geringem Skelettanteil in der Deckschicht und hohem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	0.24	0.59

Tab. 34: Abflußbeiwerte nach ATV A 138

Flächenbefestigung	**Abflußbeiwert**	
	geringer	**hoher**
	Anfangswassergehalt	
gealterte Pflaster- und Plattenbeläge	0.78	0.78
Betonverbundpflaster sandverfugt	0.71	0.71
Rasengittersteine dichter Bewuchs	0.00	0.00
Rasengittersteine spärlicher Bewuchs	0.33	0.68
Betonpflaster mit Rasenfugen dichter Bewuchs	0.24	0.38
Betonpflaster mit Rasenfugen spärlicher Bewuchs	0.55	0.79
Betonsteinpflaster mit Feinkies gefüllten Sickeröffnungen	0.00	0.00
Betonsteinpflaster mit verschlämmten Sickeröffnungen	0.49	0.59
Kunstharzgebundene Decke	0.00	0.25
Wassergebundene Decken mit hohem Skelettanteil in der Deckschicht und geringem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	0.48	0.63
Wassergebundene Decken mit hohem Skelettanteil in der Deckschicht und hohem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	0.57	0.77
Wassergebundene Decken mit geringem Skelettanteil in der Deckschicht und hohem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	0.72	0.82

Anhand der Abflußbeiwerte in Tabelle 33 und 34 werden die Bewertungsrahmen „Entlastung der Kanalisation nach ATV A 118“ und „Eignung für die Flächenversickerung nach ATV A 138“ aufgestellt, indem der nicht zum Abfluß kommende Niederschlagsanteil berechnet wird. In Tabelle 35 ist die Entlastung in % und in Tabelle 36 die Versickerungseignung in % aufgeführt.

Tab. 35: Bewertungsrahmen „Entlastung der Kanalisation nach ATV A 118“

Flächenbefestigung	Entlastung in %
gealterte Pflaster- und Plattenbeläge	38
Betonverbundpflaster sandverfugt	51
Rasengittersteine dichter Bewuchs	100
Rasengittersteine spärlicher Bewuchs	55
Betonpflaster mit Rasenfugen dichter Bewuchs	100
Betonpflaster mit Rasenfugen spärlicher Bewuchs	36
Betonsteinpflaster mit Feinkies gefüllten Sickeröffnungen	100
Betonsteinpflaster mit verschlämmten Sickeröffnungen	72
Kunstharzgebundene Decke	100
Wassergebundene Decken mit hohem Skelettanteil in der Deckschicht und geringem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	65
Wassergebundene Decken mit hohem Skelettanteil in der Deckschicht und hohem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	41
Wassergebundene Decken mit geringem Skelettanteil in der Deckschicht und hohem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	31

Tab. 36: Bewertungsrahmen „Eignung für eine Flächenversickerung nach ATV A 138“

Flächenbefestigung	Versickerungseignung in %
gealterte Pflaster- und Plattenbeläge	22
Betonverbundpflaster sandverfugt	29
Rasengittersteine dichter Bewuchs	100
Rasengittersteine spärlichen Bewuchs	32
Betonpflaster mit Rasenfugen dichter Bewuchs	62
Betonpflaster mit Rasenfugen spärlichen Bewuchs	21
Betonsteinpflaster mit Feinkies gefüllten Sickeröffnungen	100
Betonsteinpflaster mit verschlämmten Sickeröffnungen	41
Kunstharzgebundene Decke	75
Wassergebundene Decken mit hohem Skelettanteil in der Deckschicht und geringem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	37
Wassergebundene Decken mit hohem Skelettanteil in der Deckschicht und hohem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	23
Wassergebundene Decken mit geringem Skelettanteil in der Deckschicht und hohem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	18

Die Bemessungsgrundlagen zeigen, daß durch unterschiedliche Flächenbefestigungen die Abflußmenge und der Abflußvorgang über die Versickerung beeinflußt werden können. Für die Dimensionierung von Kanalsystemen bedeutet dies, daß für die veschiedenen Flächenbefestigungen ein genaueres Bemessungsverfahren angewendet werden kann. Zusätzlich kommt es zu einer Reduzierung der Abflußspitzen, da auch bei einer nicht vollständigen Entwässerung über die Fläche, die Kanalisation entlastet wird. Dieser beschriebene Einfluß erreicht aber nur dann eine nennenswerte Größenordnung, wenn der Anteil versickerungsfähiger Materialien groß ist und damit eine gebietsweise Verringerung der Abflußbeiwerte rechtfertigt (vgl. BINNEWIES u. SCHÜTZ, 1985).

Insbesondere für die wassergebundenen Decken wurden hohe Abflußbeiwerte ermittelt. Damit bestätigen sich die Untersuchungsergebnisse von BINNEWIES u. SCHÜTZ (1985), DELLWIG (1988), KRETZER u. RUID-RODRIGUEZ (1992) und BORGWARDT (1994, 1995a, 1995b). Auch für das Betonpflaster mit feinkiesgefüllten Sickeröffnungen decken sich die Untersuchungsergebnisse mit den Studien von BORGWARDT (1994, 1995a, 1995b) und MUTH (1989, 1990, 1994a, 1994b). In den Laboruntersuchungen des LEICHTWEISS-INSTITUTS FÜR WASSERBAU (1989a, 1989b) wurden mit dem Rasenfugenpflaster höhere Versickerungsraten erzielt. Die Wichtigkeit des Füllmaterials für diese Flächenbefestigung wird auch von DELLWIG (1988) herausgestellt. Die Abflußbeiwerte für das Betonverbundpflaster fallen im Vergleich mit der Untersuchung von HADE u. SMITH (1988) etwas günstiger aus (vgl. MUTH 1989, 1990, 1994a, 1994b). Die in der vorliegenden Untersuchung angeführten Werte müssen bei den neueren Flächenbefestigungen unter Einbeziehung einer möglichen Verschlechterung der Infiltrationsleistung mit dem Alter gesehen werden (BORGWARDT, 1995a, 1995b).

Zur quantitativen Beurteilung der gemessenen Versickerungsspenden in Bezug auf die jährlich anfallenden Niederschlagsereignisse ist es notwendig, den Zusammenhang zwischen Regenspende und erfaßter Jahresniederschlagshöhe zu ermitteln. Für Leipzig liegt eine derartige Regenauswertung nicht vor. Um aber die Auswertemöglichkeiten der erhobenen Daten aufzuzeigen, wird in Tabelle 37 auf eine Regenauswertung aus Hamburg zurückgegriffen (BINNEWIES u. SCHÜTZ, 1985). Es wird davon ausgegangen, daß sich ähnliche Zusammenhänge für Leipzig ergeben könnten. Für Berlin entsprechen z.B. 18 l/(s*ha) 75 % der jährlichen Regenmenge (KOWALEWSKI et al., 1984).

Tab. 37: Zusammenhang zwischen Regenspenden und Jahresniederschlagshöhe für Hamburg (BINNEWIES u. SCHÜTZ, 1985, S. 28)

Regenspende in l/(s*ha)	Erfaßte Jahresniederschlagshöhe in %
5	35
10	56
20	74
40	87
60	92
80	94

In Abbildung 23 ist der Zusammenhang zwischen erfaßter Jahresniederschlagshöhe in % und der Regenspende in l/(s*ha) graphisch dargestellt.

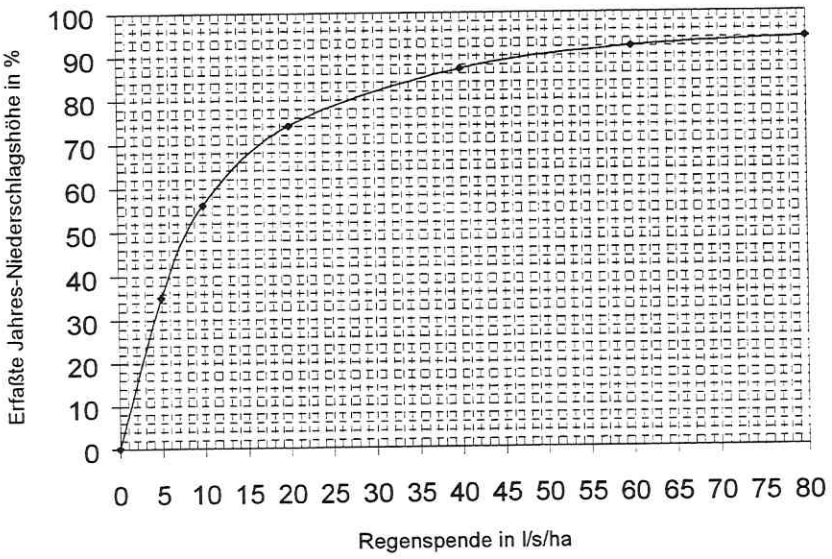


Abb. 23: Diagramm zur Erfassung der Jahresniederschlagshöhe in %

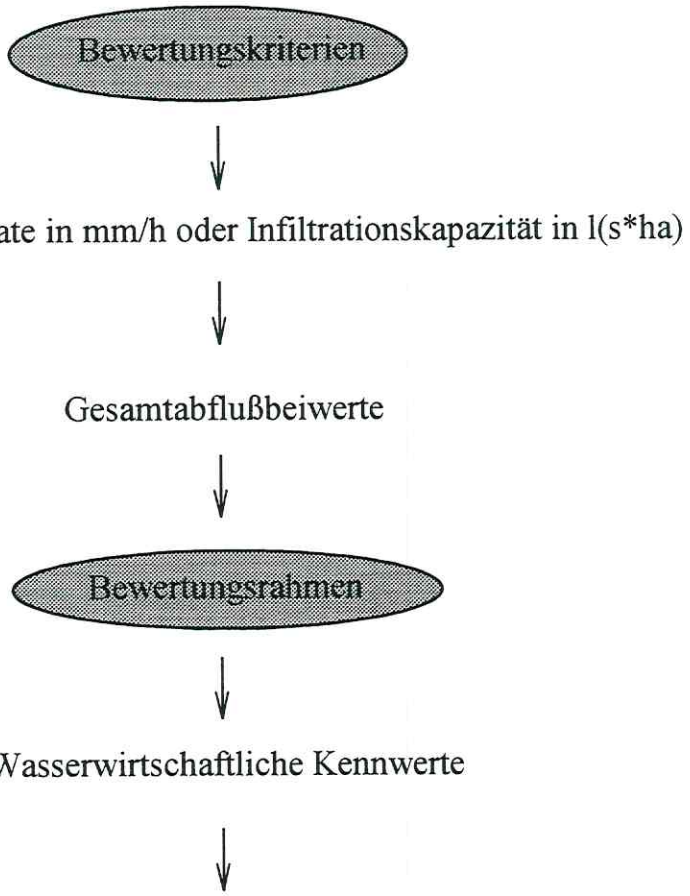
Anhand des Diagramms kann für jede Infiltrationskapazität aus Tabelle 30 die erfaßte Jahres-Niederschlagshöhe in % ermittelt werden. Damit können Aussagen über die Versickerungsleistung von Regenereignissen mit einer Intensität < 80 l/(s*ha) getroffen werden. Diese sind entscheidend für den Bodenwasserhaushalt und die Grundwasserneubildung. Aus den festgestellten Werten ergibt sich der in Tabelle 38 dargstellte Bewertungsrahmen „Potentielle Minderung der jährlichen Niederschlagsversickerung". Da die Werte für die Evapotranspiration der Flächenbefestigungen nicht bekannt sind, wird nur die potentielle Minderung der jährlichen Niederschlagsversickerung abgeleitet.

Tab. 38: Bewertungsrahmen „Potentielle Minderung der jährlichen Niederschlagsversickerung"

Flächenbefestigung	**Minderung in %**
gealterte Pflaster- und Plattenbeläge	
Kopfsteinpflaster	30
Mosaikpflaster	39
Natursteinplatten	48
Betongehwegplatten	34
Großformatplatten	34
Betonverbundpflaster sansverfugt	18
Rasengittersteine dichter Bewuchs	0
Rasengittersteine spärlicher Bewuchs	24
Betonpflaster mit Rasenfugen dichter Bewuchs	10
Betonpflaster mit Rasenfugen spärlicher Bewuchs	31
Betonsteinpflaster mit Feinkies gefüllten Sickeröffnungen	0
Betonsteinpflaster mit verschlämmten Sickeröffnungen	18
Kunstharzgebundene Decke	0
Wassergebundene Decken mit hohem Skelettanteil in der Deckschicht und geringem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	16
Wassergebundene Decken mit hohem Skelettanteil in der Deckschicht und hohem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	27
Wassergebundene Decken mit geringem Skelettanteil in der Deckschicht und hohem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in der Deck- und Tragschicht	86

Die von KOWALEWSKI et al. (1984) für verschiedene Beläge ermittelte Versickerungsfreundlichkeit von 76 - 100 % wird für die gealterten Pflaster- und Plattenbeläge nicht mehr ganz erzielt. Hingegen werden für das neue Verbundpflaster vergleichbare Werte erreicht.

Bevor nachfolgend das Bewertungskonzept anhand verschiedener Fallbeispiele angewendet wird, sind im nachstehenden Schema nochmals die einzelnen Bewertungschritte aufgeführt.



3.2.2.3 Fallbeispiele

Fallbeispiel 1

Im ersten Fallbeispiel erfolgt eine Übertragung der mittleren Endinfiltrationsraten aus Tabelle 30 auf verschiedene Flächenbefestigungen in einer gründerzeitlichen Blockbebauung. Ferner werden anhand eines 30-minütigen Regenereignisses mit einer niedrigen, mittleren und hohen Intensitätsstufe (r = 10/30/60 mm/h) die Veränderungen des Niederschlagrückhaltes in diesem Strukturtyp aufgezeigt. In Anbetracht der Niederschlagsversickerung werden Entsiegelungsmaßnahmen und/oder Belagsänderungen in diesem stark versiegelten Stadtstrukturtyp besonders deutlich. In Abbildung 24 sind die Ergebnisse der Detailkartierung (vgl. Untersuchungsschwerpunkt 3.1.3) sowie die gemessenen Endinfiltrationsraten der durchgeführten Beregnungsversuche an ausgewählten Flächenbefestigungen dargestellt. Der Stadtstrukturtyp wird durch die Hofüberbauung geprägt, die sich über den gesamten Innenhofbereich ausdehnt. Die Nebengebäude werden vornehmlich als Lagerräume oder Werkstätten genutzt. Der überwiegende Teil der versiegelten Freifläche wird befahren und nur wenige Bereiche ausschließlich begangen. Die typische Befestigungsart für diese gründerzeitliche Bebauung ist der Klinkerstein (Gruppe der Betonverbundsteine). Erwartungsgemäß ist der Anteil unversiegelter Böden in der Blockbebauung sehr gering, so daß kaum Raum für die Versickerung der Niederschlagsmengen von den befestigten Flächen vorhanden ist. Alle Flächen, die mit Klinkersteinen, Mosaikpflaster oder mit gebundenen Decken befestigt sind, verfügen über einen Kanalanschluß.

Die Übertragung der Endinfiltrationsraten auf die kartierten Beläge veranschaulicht, daß die vorhandenen Befestigungsarten nur Endinfiltrationsraten zwischen 3.5 und 21.9 mm/h erreichen. Das Betonsickerpflaster, dem der Wert für die stark verschlämmten Rasengittersteine zugeordnet wurde, erzielt die höchste Endinfiltrationsrate. Für die gebundenen Decken (Dachflächen und asphaltierte Flächen) wurde eine Endinfiltration von 0 mm/h angenommen.

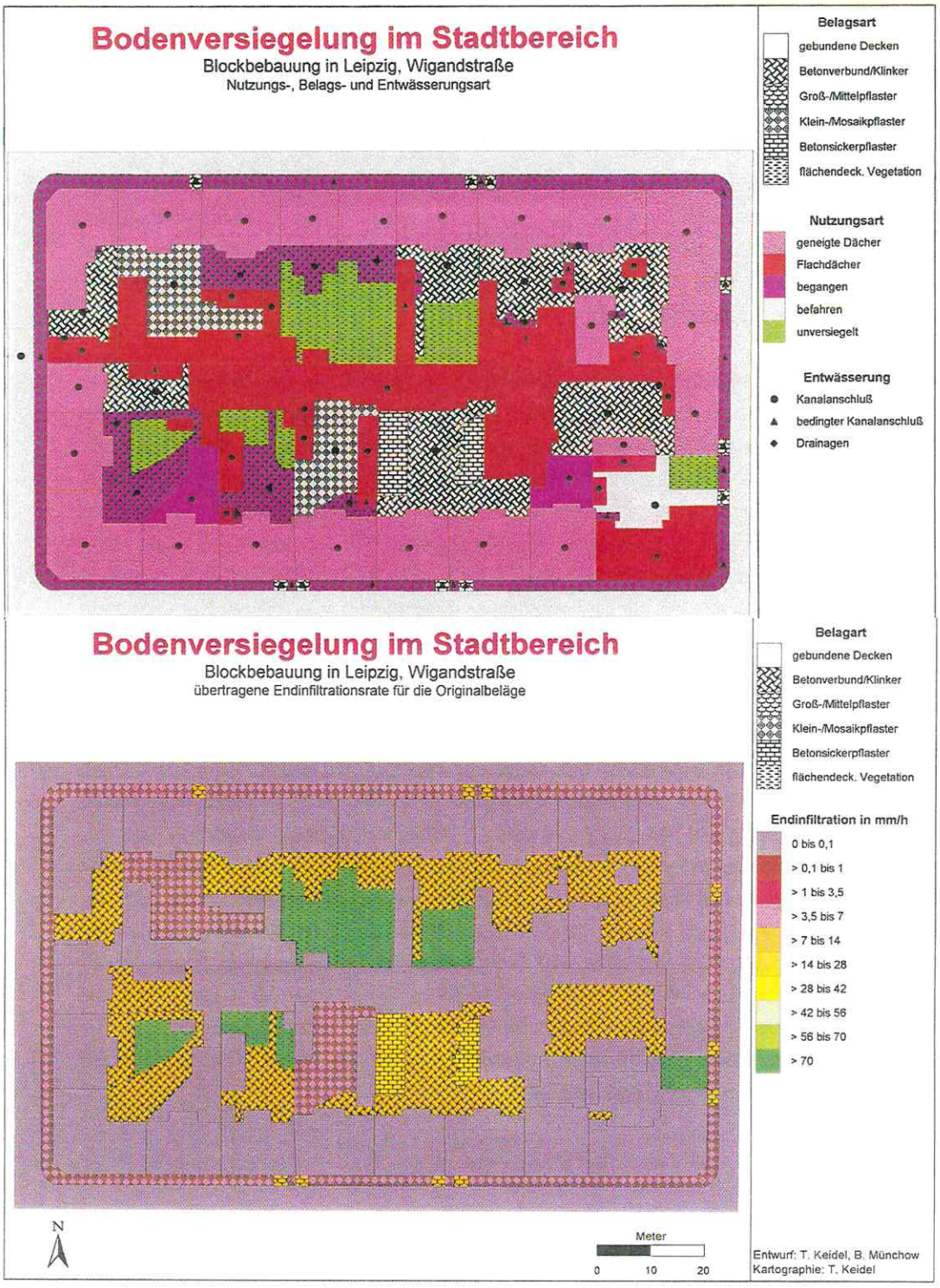


Abb. 24: Fallbeispiel 1 - Detailkartierung und übertragende Endinfiltrationsraten

Abbildung 25 zeigt den durchgeführten Belagswechsel ohne bzw. mit Nutzungsänderung für die gründerzeitliche Blockbebauung. Erfolgt ein Austausch der Betonverbund/Klinkersteine durch wassergebundene Decken, tritt keine Verbesserung des Ausmaßes der Niederschlagsversickerung ein. Vielmehr verschlechtert sich die Situation noch bei der Verwendung von Deck- und Tragschichten mit einem hohen Feinanteil und einem geringen Skelettanteil. Diese Flächen sind in ihrem Infiltrationsvermögen fast mit den gebundenen Decken gleichzusetzen. Eine Steigerung der Endinfiltrationsrate setzt ein, wenn wassergebundene Decken mit einem höheren Sand-/Skelettanteil eingebaut werden. Fast der gesamte Niederschlag kann über die kunstharzgebundenen Decke versickern.

Veränderungen im Infiltrationsvermögen der befestigten Flächen ergeben sich beim Einsatz der verschiedenen neueren Betonsickerpflaster. Die befahrenen Flächen im unteren Teil der Blockbebauung zeigen die Werte des feinkiesverfüllten Betonpflasters mit Sickeröffnungen sowie der Rasengittersteine mit geschlossener Vegetationsdecke. Der Niederschlag versickert auf diesen Befestigungsarten vollständig. Niedrige Endinfiltrationsraten erzielt das Betonpflasters, wenn die Sickeröffnungen verschlämmt sind, wie der obere Bereich der Karte verdeutlicht. Die begangenen Flächen im oberen Teilstück veranschaulichen den gemessenen Wert für das Betonpflaster mit dicht bewachsenen Rasenfugen. Gegenüber dem Betonverbundpflaster erzielt das Rasenfugenpflaster noch mittlere Endinfiltrationsraten von 19.2 mm/h.

Bei der Nutzungsänderung des Wohnblocks wurde als erste Maßnahme der Hof entkernt. Anders als häufig im Zusammenhang mit Sanierungsmaßnahmen in den gründerzeitlichen Quartieren zu beobachten ist, wurden die entkernten Höfe nicht zu Parkplätzen umgestaltet. Nur in den vorhandenen Baulücken wurden kleinere Stellplätze angelegt und mit versickerungsfördernden Belagsarten befestigt. Bei dieser Umgestaltungsmaßnahme wurde einer Wiedererlangung der Bodenfunktionen durch Flächenentsiegelung und dem Schutz der Böden vor Versiegelung der Vorrang gegeben. Zusätzlich wird durch die weitgehende Vermeidung einer Nutzung der Freiflächen als Kfz-Stellplätze die Entstehung von Schallemissionen verhindert. Zudem wird bei einer vielgestalterischen Anlage der Grünflächen die Wohnumfeldqualität gesteigert sowie eine Verbesserungen des Innenhofklimas erreicht. Als Belag für die begangenen Flächen wurde von den untersuchten Flächenbefestigungen das Betonpflaster mit dichten Rasenfugen gewählt.

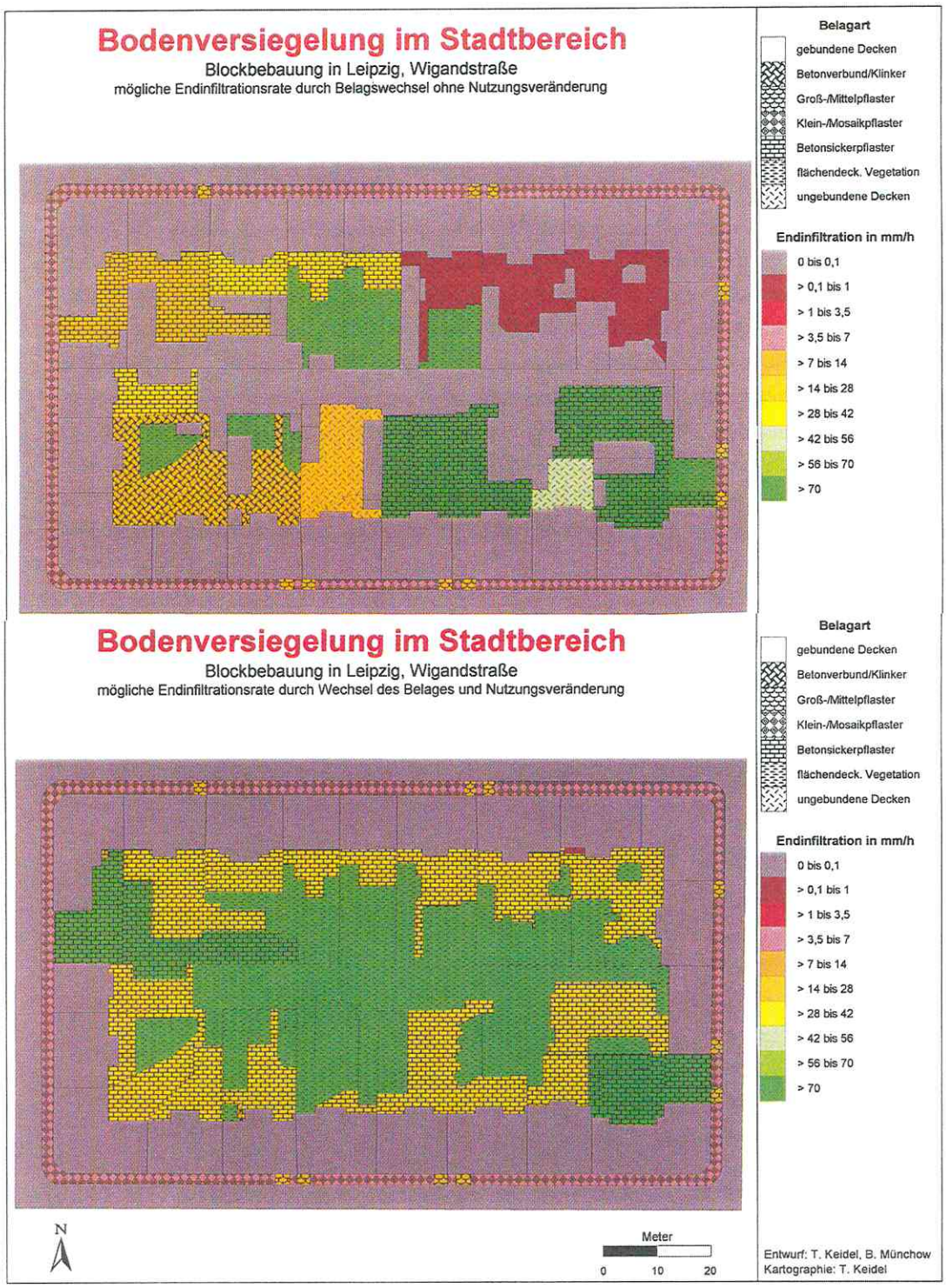


Abb. 25: Fallbeispiel 1 - Belagswechsel ohne bzw. mit Nutzungsänderung

In Abbildung 26 ist der Niederschlagsrückhalt der Flächenbefestigungen bei einem Regenereignis mit einer sehr geringen Intensität von 10 mm/h dargestellt. Nahezu alle Beläge können den gesamten Niederschlag zur Versickerung bringen. Nur die wassergebundene Decke mit einem hohen Feinanteil kann bei diesen Bedingungen bloß 30 % des Niederschlags auf der Fläche zurückhalten. Abbildung 27 verdeutlicht die Unterschiede in den Infiltrationsleistungen der Flächenbefestigungen, wenn Niederschlagsereignisse mit einer mittleren bzw. hohen Intensität von 30 bzw. 60 mm/h angenommen werden. Nur über die fachgerecht ausgeführten Betonsickerpflaster und über die kunstharzgebundene Decke können 100 % bzw. 82 % des Niederschlags mit mittlerer Intensität in den Boden eindringen. Die Versickerungsleistung des Betonpflasters mit verschlämmten Sickeröffnungen sinkt hingegen auf 60 %. Das Infiltrationsvermögen der wassergebundenen Decke mit einem höheren Sand-/Skelettanteil wird um die Hälfte gemindert. Die älteren Pflasterbeläge können nur noch zwischen 20 und 40 % der Niederschlagsmenge aufnehmen. Auf den Flächen, die mit Betonverbund-/Klinkersteinen befestigt sind, infiltriert noch knapp 50 % des anfallenden Regenwassers. Unter extremen Bedingungen (r = 60 mm/h) versickert die gesamte Niederschlagsmenge nur noch über die Rasengittersteine mit einer hohen Bewuchsdichte sowie über das Betonsteinpflaster mit feinkiesverfüllten Sikkeröffnungen.

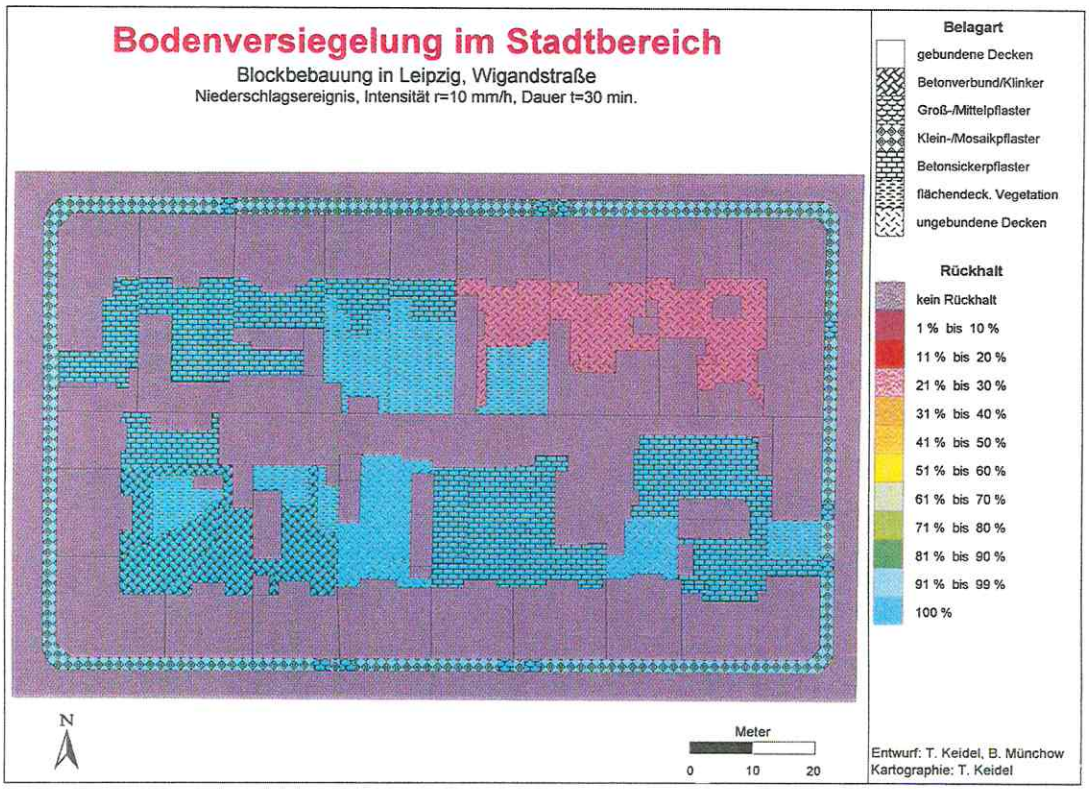


Abb. 26: Fallbeispiel 1 - Niederschlagsereignis mit geringer Intensität

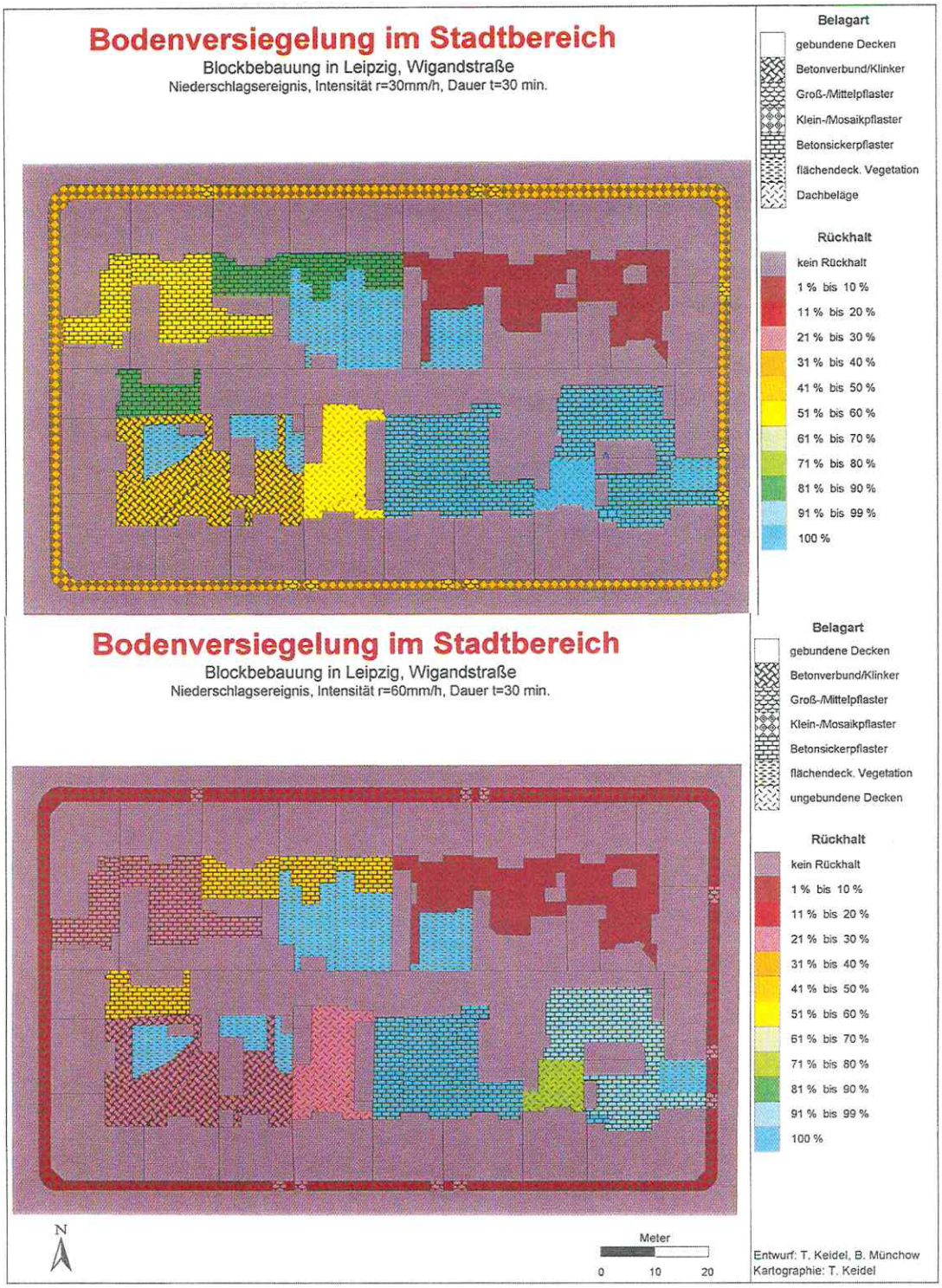


Abb. 27: Fallbeispiel 1 - Niederschlagsereignis mit mittlerer und hoher Intensität

Ausgehend von der Übertragung der Endinfiltrationsraten und den Niederschlagsereignissen mit verschiedenen Intensitäten auf ausgewählten Flächenbefestigungen lassen sich folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

Gealterten Beläge wie das Mosaikpflaster oder das Kopfsteinpflaster, die Verwendung von Pflasterarten mit geringem Fugenanteil (Betonverbundpflaster bzw. Klinkerstein) und ein spärlicher Vegetationsbedeckungsgrad bei begrünten Pflastersystemen machen eine Versickerung von Starkregenniederschlägen fast unmöglich. Durch einen Belagswechsel besteht die Möglichkeit mehr Niederschlag eines Regenereignisses zu versickern. Dieser kann aber nur erfolgreich sein, wenn der Einbau der versickerungsfreundlichen Pflastersysteme fachgerecht ausgeführt wird und bei begrünten Pflastersystemen ein ausreichender Bewuchs besteht. Der Einsatz von wassergebundenen Decken vor allem für befahrene Flächen (Zufahrten, Stellplätze) sollte vermieden werden und für begangene Flächen muß ein randlicher Platz zur Versickerung von Niederschlagswasser vorhanden sein. Die kunstharzgebundene Decke wäre eine mögliche Alternative für begangene Flächen. Ebenso könnte das Rasenfugenpflaster zur Befestigung von Gehwegen in Innenhöfen verwendet werden, aber auch bei dieser Flächenbefestigung muß die Möglichkeit der Versickerung über die angrenzenden unversieglten Böden gegeben sein. Ob bei diesem Belag und den übrigen neueren Pflastersystemen eine Verringerung der Infiltrationsleistung aufgrund der Alterung eintritt, kann abschließend noch nicht beurteilt werden.

Fallbeispiel 2

Als zweites Fallbeispiel für die Übertragung der Bewertungsansätze wurde ein Einkaufszentrum in Leipzig gewählt. Die Stellflächen dieses Einkaufszentrums sind mit Betonverbundsteinen befestigt. Das Niederschlagswasser wird in die randlichen Vegetationszonen geleitet. Im Rahmen einer Umgestaltungsmaßnahme sollen die Stellflächen wasserdurchlässig befestigt werden. Diese Forderung ist häufig in Bebauungs- oder Grünordnungsplänen als Ersatzmaßnahme für die Bodenversiegelung festgeschrieben. Da es sich bei dieser Maßnahme um eine Flächenversickerung nach ATV A 138 handelt, wird der Bewertungsrahmen „Eignung für eine Flächenversickerung" (Tab. 36) angewendet.

Bei einer angestrebten Befestigung der Stellflächen mit wasserdurchlässigen Materialien ist die starke Frequentierung der Plätze zu berücksichtigen. Daher muß bei der Wahl einer wasserdurchlässigen Bauweise die Schutzwürdigkeit von Boden und Grundwasser ermittelt und bewertet werden. Hierfür kann das von MOHS u. MEINERS (1995) entwickelte Untersuchungsprogramm „Bodenversiegelung- und Entsiegelungsmaßnahmen" angewendet werden. Ist eine Gefährdung des Bodens und des Grundwassers ausgeschlossen, stehen verschiedene Flächenbefestigungen zur Auswahl. Im Rahmen der vorgestellten Beregnungsversuche wurden fünf verschiedene Parkplatzbefestigungen untersucht: wassergebundene Decken, Betonverbundpflaster, Betonpflaster mit Sickeröffnungen, Betonpflaster mit Rasenfugen und Rasengittersteine. In Abbildung 28 sind die Stellplätze des Einkaufszentrums (vgl. Untersuchungsschwerpunkt 3.1, Karte 18) ausgegliedert und mit verschiedenen bzw. optimierten Belägen befestigt worden sowie die Eignung zur Flächenversickerung nach ATV A 138 (Tab. 36) dargestellt. Die Abbildung zeigt, daß die Pflasterbeläge deutliche Unterschiede in ihrer Eignung zur Flächenversickerung aufweisen. Diese beruhen auf den verschiedenartigen Systemen, der unterschiedlichen Ausführung und der angenommenen Belastung. Von den eingesetzten Bauweisen können die Niederschläge nur über das Betonpflaster mit Feinkies gefüllten Sickeröffnungen vollständig versickern. Als Ergebnis des Bewertungsrahmens ist eine optimierte Umgestaltung des Parkplatzes durchgeführt worden. Das Betonpflaster mit Feinkies gefüllten Sickeröffnungen wird für die Stellflächen verwendet. Die Fahrgassen sind mit dem Betonverbundpflaster befestigt worden und die kunstharzgebundene Decke wurde für die Fußwege gewählt.

Anhand des Bewertungsrahmens ergeben sich nachstehende Handlungsempfehlungen:

Bei einer zu erwartenden ständigen und starken Frequentierung von Parkplätzen eignet sich für die Befestigung der Stellflächen von den untersuchten Flächenbefestigungen das Betonsteinpflaster mit Feinkies gefüllten Sickeröffnungen. Eine Gefährdung des Bodens und des Grundwassers muß aber bei dieser Art der Befestigungen von Parkplätzen ausgeschlossen sein. Ob sich die Infiltrationsleistung bei dem genannten Betonsickerpflaster mit der Zeit verändert, kann durch die Versuche noch nicht beurteilt werden. Auf begrünte Systeme sollte verzichtet werden. Dies belegen die Werte der eingesetzten intensiv genutzten Rasengittersteine und des Rasenfugenpflasters mit spärlichem Bewuchs. Es entsteht kein wirkungsvoller Bewuchs, wenn sich die Vegetation nicht periodisch erholen kann. Bei Parkplätzen, die tagsüber nicht so häufig frequentiert werden wie z.B. in kleineren Wohnsiedlungen oder vor öffentlichen Einrichtungen mit geringem Publikumsverkehr könnten rasenverfugtes Pflaster, Rasengittersteine und der nicht untersuchte Schotterrasen eingesetzt werden. Ferner können diese Flächenbefestigungen für die Befestigung von Parkplätze z.B. großer Sportstätten, die nur an bestimmten Tagen in der Woche oder im Monat genutzt werden, Verwendung finden. Hier vermitteln sie zugleich den Eindruck einer geschlossenen Rasenfläche. Am Rande von Grünanlagen bewirken zudem begrünte Stellflächen einen nahtlosen Übergang zur umgebenden Landschaft. Nicht zu empfehlen für eine Parkplatzbefestigung sind die wassergebundenen Decken. Das Fallbeispiel zeigt, daß die angenommene skelettarme Variante mit einem hohen Feinkornanteil in der Deck- und Tragschicht in ihrer Wasserdurchlässigkeit den gealterten Pflaster- und Plattenbelägen (Tab. 36) nahe kommt, obwohl ihre Infiltrationsoberfläche viel größer ist. Zwar werden wassergebundene Decken bei einer Aufgabe der Nutzung schnell von Pflanzen besiedelt, doch spricht diese eher für eine Fehlplanung als für den Einsatz der Befestigungsart. Der Haupteinsatzort für die wassergebundenen Decken sollte vor allem in Grünanlagen sein. Die Versickerung der Niederschläge ist über die randlichen Vegetationsflächen gewährleistet. Aufgrund der geringeren Frequentierung durch Passanten kann auch die kurzzeitige Bildung von Pfützen geduldet werden.

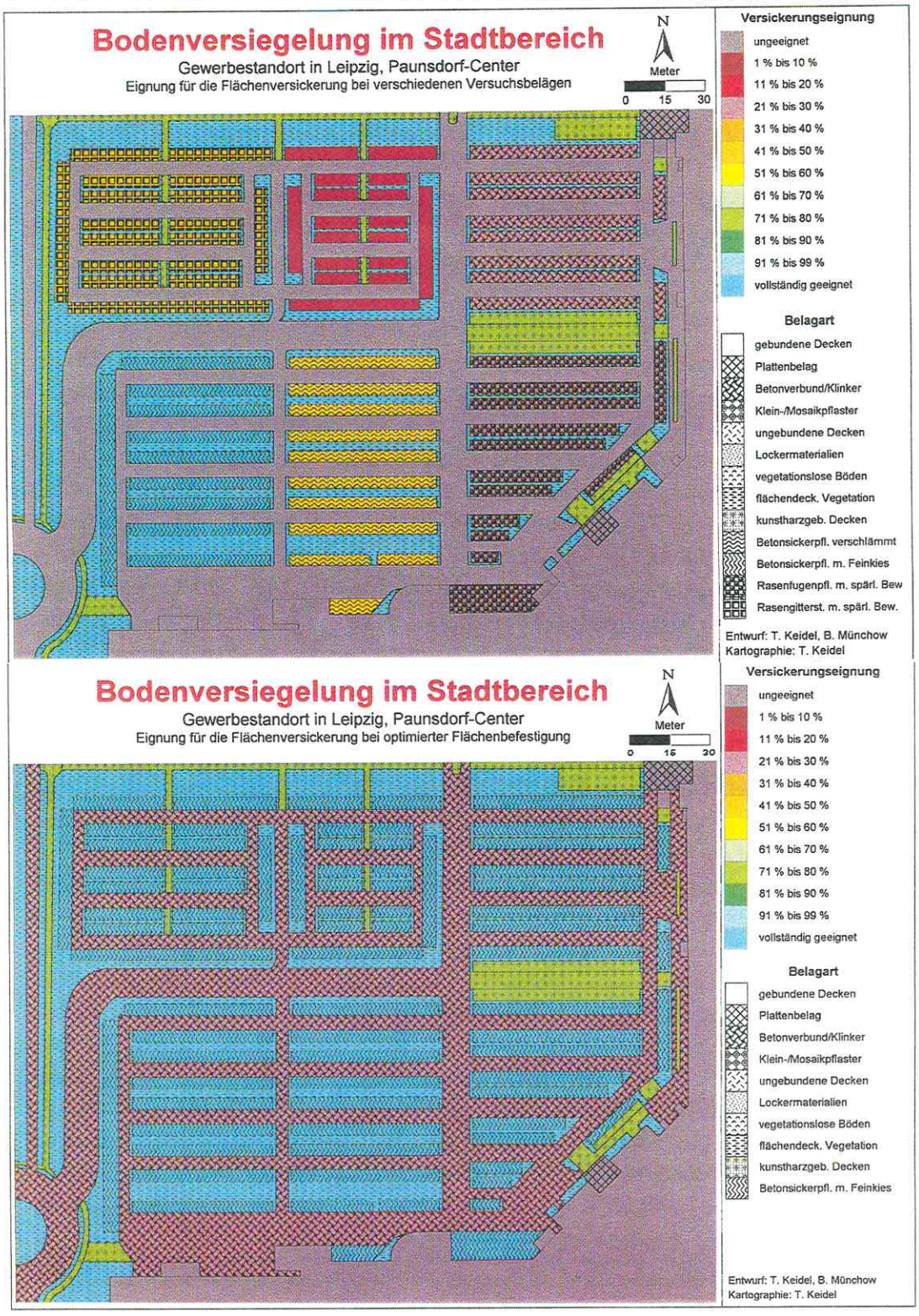
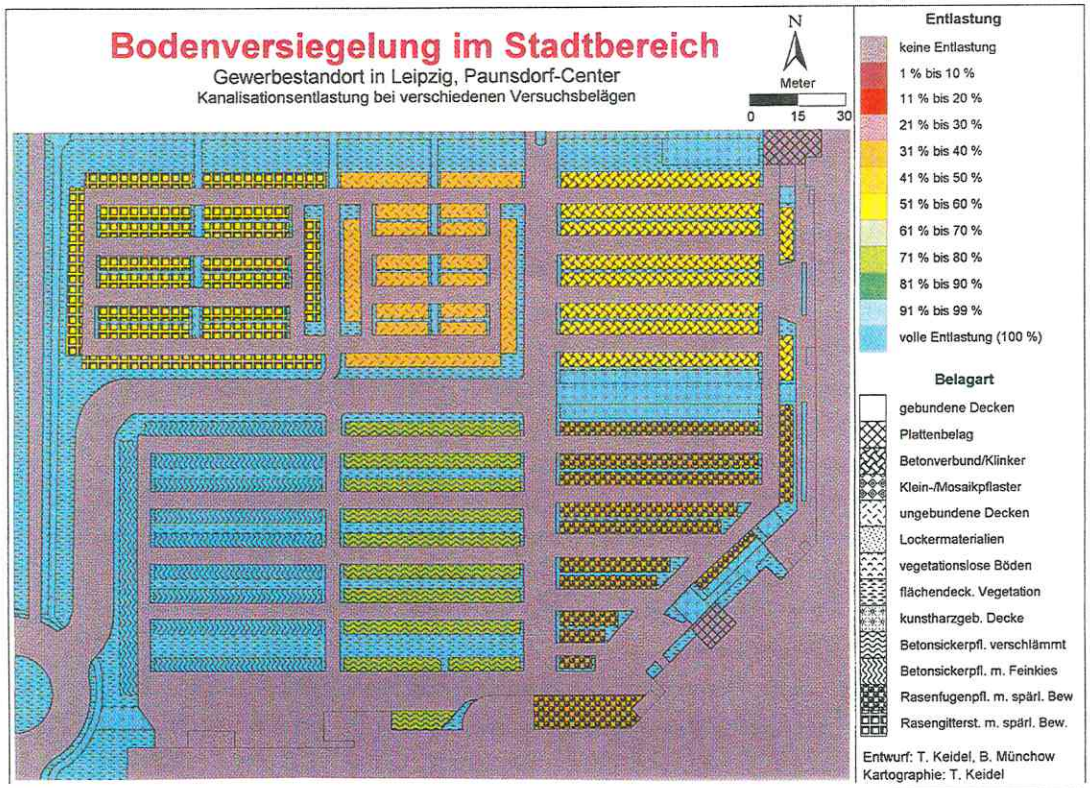


Abb. 28: Fallbeispiel 2 - Flächenversickerung bei verschiedenen bzw. optimierten Flächenbefestigungen

Für den Parkplatz des vorgestellten Einkaufszentrums sollen die Regenwasserkanäle neu dimensioniert werden. Hierfür müssen die Abflußbeiwerte der angeschlossenen befestigten Flächen eingeschätzt werden. Mit Hilfe des Bewertungsrahmens „Entlastung der Kanalisation nach ATV A 118" (Tab. 35) ist es möglich, die Abflußreduktion über die Fläche zu beurteilen und so die Abflußbeiwerte zu bestimmen. In Abbildung 29 sind wiederum die verschiedenen bzw. optimierten Flächenbefestigungen abgebildet sowie die Werte für die Kanalisationsentlastung. Es wird deutlich, daß selbst das Betonpflaster mit verschlämmten Sickeröffnungen und die Rasengittersteine mit spärlichem Bewuchs noch zur Entlastung der Kanalisationssyteme beitragen können. Durch das neue Betonverbundpflaster mit seinen engen Fugen kann über die Hälfte des Niederschlags versickern. Die schlechte Variante der wassergebundenen Decken und das eingesetzte Rasenfugenpflaster mit spärlichem Bewuchs können auch bei einer Regenspende von 111 l/(s*ha) nur mit 36 % bzw. 31 % zu einer Entlastung der Kanalisation beitragen. Für die hier nicht dargestellten gealterten Pflaster- und Plattenbeläge ergibt sich eine Entlastung von durchschnittlich 38 % (Tab. 35). Dies entspricht einem Abflußbeiwert von 0.62. Eine 100 %ige Versickerung erfolgt im Fallbeispiel über das Betonpflaster mit Feinkies gefüllten Sickeröffnungen. Die kunstharzgebundene Decke, die für die Befestigung der Fußwege gewählt wurde, erzielt ebenfalls einen Abflußbeiwert von 0.00. Beide Flächenbefestigungen sind für die optimierte Gestaltung des Parkplatzes gewählt worden. Für die Fahrgassen wurde das Betonverbundpflaster verwendet. Mit Hilfe des eingesetzten Bewertungsrahmens können folgende Handlungsempfehlungen festgehalten werden:

Bei der maßgeblichen Regenspende von 111 l/(s*ha) können die untersuchten Flächenbefestigungen zu einer Entlastung der Kanalisation beitragen. Die vollständige Entwässerung über die Fläche wird im angeführten Fallbeipiel von dem Pflastersystem mit Feinkies gefüllten Sickeröffnungen und der kunstharzgebundenen Decke erreicht. Auch bei diesen Flächenbefestigungen kann eine altersbedingte Infiltrationsminderung nicht ausgeschlossen werden. Trotz des geringeren Niederschlagsereignisses wirken sich die bereits erwähnten Mängel bei den Bauweisen mit spärlich bewachsenen Rasenfugen, den verschlämmten Sickeröffnungen und den wassergebundenen Decken negativ auf die Wasserdurchlässigkeit aus. Zwar werden geringere Abflußbeiwerte erzielt als im Vergleich zu den angeführten Werten im ersten Fallbeispiel, doch ist eine vollständige Entwässerung nur über einen Kanalanschluß oder eine seitliche Versickerungszone möglich. Bei der Betrachtung der Entlastungswerte für das neue Verbundpflaster und unter Berücksichtigung der Alterung dieses Belages, würde eine Änderung der Gehwegbefestigungen in den gründerzeitlichen Quartieren, d.h. der Ersatz von Mosaikpflaster oder Natursteinplatten durch Verbundpflaster, keine große zusätzliche Entlastung für die Regenwasserkanalisation erbringen. Sinnvoller wäre eine Vergrößerung der Baumscheiben und/oder ein Rückbau des Straßenraums, zur Schaffung von randlichen Versickerungszonen.



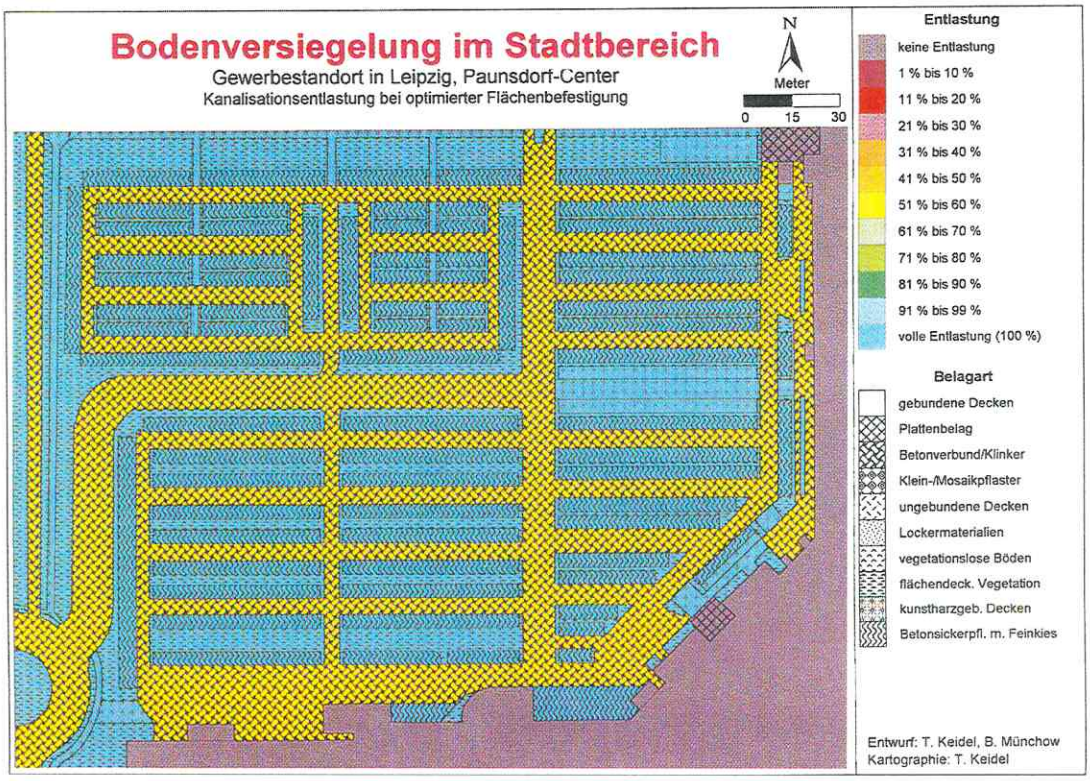


Abb. 29: Fallbeispiel 2 - Kanalisationsentlastung bei verschiedenen bzw. optimierten Flächenbefestigungen

Fallbeispiel 3

Im dritten Fallbeispiel wird der Bewertungsrahmen „Potentielle Minderung der jährlichen Niederschlagsversickerung" (Abb. 30) angewendet. In einer gründerzeitlichen Blockbebauung wurde im Zuge von Sanierungsmaßnahmen eine Hofumgestaltung durchgeführt. Ein neuer Wohnblock mit kleinem Innenhof ist im hinteren Bereich des Strukturtyps entstanden (vgl. Untersuchungsschwerpunkt 3.1, Karte 3). In diesem ist ein Restaurant mit einem Biergarten integriert. Diese Freifläche soll so befestigt werden, daß durch die Versiegelungsmaßnahme die natürliche Niederschlagsversickerung nicht behindert wird. Hierfür werden vor allem Regenspenden $\leq$ 80 l/(s*ha) in Betracht gezogen. Der Bewertungsrahmen (Abb. 30) veranschaulicht, daß die Unterschiede in der Wasserdurchlässigkeit der Flächenbefestigungen nicht mehr so gravierend sind, wie bei den zuvor angesetzten Bewertungsmaßstäben. Dementsprechend gelangen bei dem Betonpflaster mit verschlämmten Sickeröffnungen noch 72 % des Niederschlags zur Versickerung. Den gleichen Wert erreicht das neue Verbundpflaster. Auch bei einer intensiven Nutzung von Flächen, die mit Rasengittersteinen befestigt sind, wird die jährliche Niederschlagsversickerung nur um 24 % gemindert. Das Rasenfugenpflaster mit spärlichem Bewuch erreicht noch eine Versickerungsrate von 69 %. Eine starke Minderung der Niederschlagsversickerung tritt durch die skelettarme wassergebundene Decke mit einem hohen Anteil an abschlämmbaren Korngrößen in der Deck- und Tragschicht (86 %) ein. Eine skelettreichere Deckschicht erbringt eine höhere Infiltrationsleistung. Aber auch bei dieser wassergebundenen Decke muß mit einer Verschlechterung der Infiltrationsleistung mit zunehmenden Alter gerechnet werden. Für die gealterten Pflaster- und Plattenbeläge ergeben sich Minderungswerte zwischen 30 % und 48 %. Unter Verwendung des dritten Bewertungsrahmens ergeben sich nachstehende Handlungsempfehlungen:

Für die Befestigung der Freiflächen würden sich von den untersuchten Belägen die Rasengittersteine bzw. das Rasenfugenpflaster mit dichtem Bewuchs und die kunstharzgebundene Decke anbieten. Aufgrund der nur zeitweisen Frequentierung der Flächen, vorzugsweise in den Abendstunden, kann sich bei den dargestellten begrünten Systemen eine geschlossene Pflanzendecke bilden. Es sollte darauf geachtet werden, daß sich die Vegetation vollständig entwickelt hat, bevor die Fläche in Anspruch genommen wird. Auch die gealterten Pflaster- und Plattenbeläge tragen noch zur Aufrechterhaltung der natürlichen Niederschlagsversickerung bei. Dieser Beitrag ist insbesondere für die Wasserversorgung der Straßenbäume von großer Bedeutung.

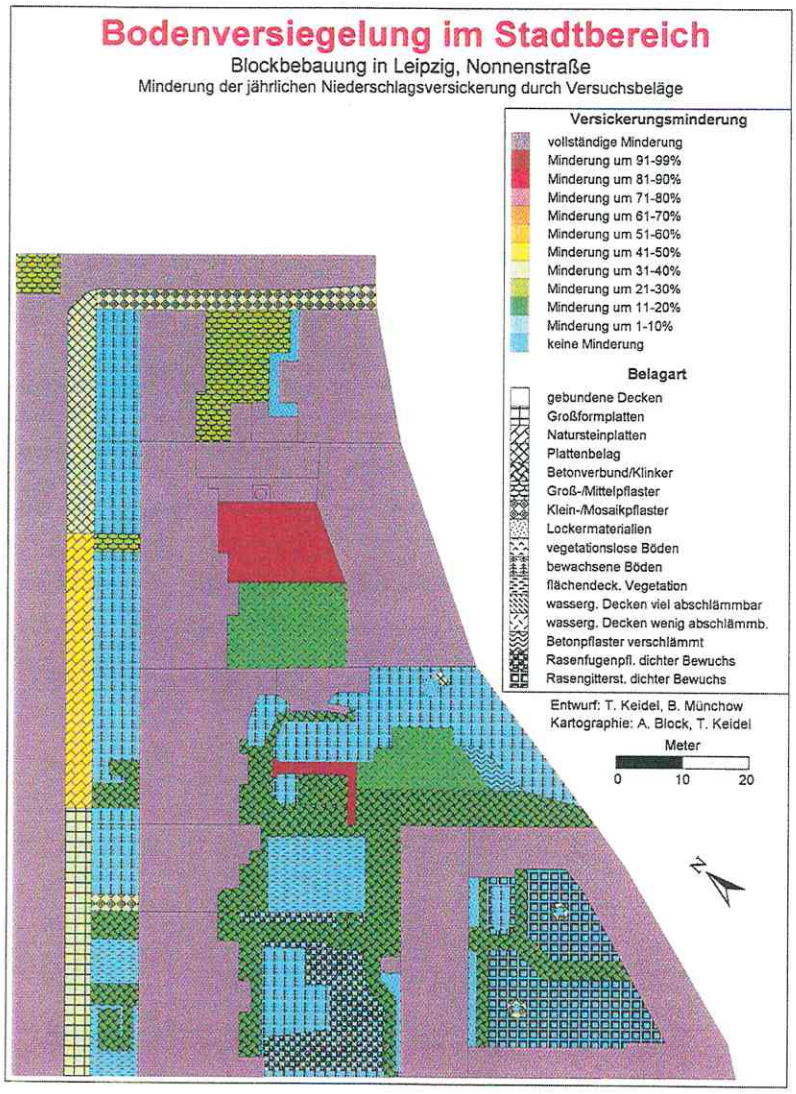


Abb. 30: Fallbeispiel 3 - Minderung der jährlichen Niederschlagsversickerung

3.3 Bodenbiologische Aktivitäten von teilversiegelten Böden

3.3.1 Untersuchungsstandorte

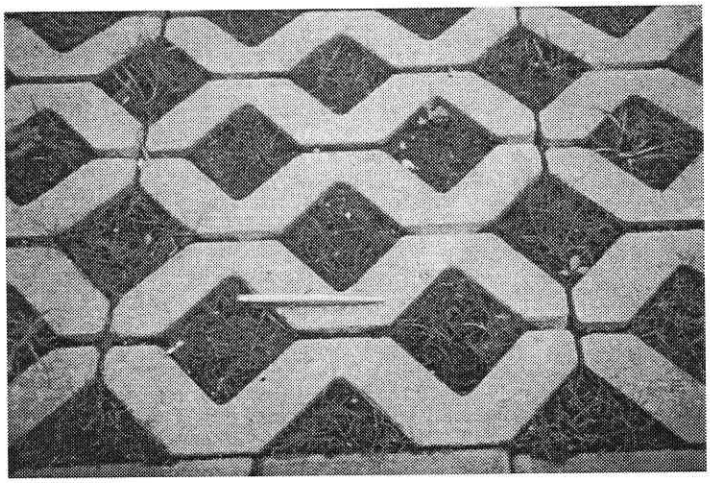
Als Standorte wurden fünf Parkplätze, die mit Rasengittersteinen befestigt sind (Abb. 31), ausgewählt. Diese befinden sich im Stadtgebiet von Leipzig und unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Nutzungsintensität und ihres Alters (Tab. 39). Um die Ergebnisse mit unversiegelten Böden vergleichen zu können, wurden die benachbarten städtischen Grünflächen in die Untersuchung mit eingebunden.

Tab. 39: Standorteigenschaften der Rasengittersteinböden und der Böden unter Rasennutzung (kursiv)

Charakteristika	**Standorte**									
	1		2		3		4		5	
Lage	UFZ-Gelände		Stadtzentrum		Großwohnsiedlung		Parkanlage		Parkanlage	
Baujahr	1995		1990		1990		1990		1990	
Aufbau	Splittbett Schottertragschicht		Sandbett Schottertragschicht		Sandbett Schottertragschicht		Sand-Kiesbett sandig-lehmiger Unterbau		Sand-Kiesbett sandig-lehmiger Unterbau	
Bodentyp	*Allosol*		*Allosol*		*Allosol*		*Allosol*		*Allosol*	
Nutzungsintensität	mittel	*niedrig*	mittel	*niedrig*	hoch	*niedrig*	niedrig	*niedrig*	niedrig	*niedrig*
Vegetations-bedeckung (%)	70	*100*	70	*100*	40	*100*	90	*100*	90	*100*
Vegetationsart	Rasenmischung		Rasenmischung		Trittpflanzen		Rasenmischung		Rasenmischung	
	Weidelgrasrasen		*Weidelgrasrasen*		*Weidelgrasrasen*		*Weidelgrasrasen*		*Weidelgrasrasen*	
Bodenkennwerte in 0 - 5 cm										
pH ($CaCl_2$)	6.2	*6.3*	6.1	*6.3*	6.1	*6.3*	5.9	*5.8*	6.0	*6.3*
C_{org} (%)	1.67	*2.82*	3.06	*5.62*	6.55	*1.70*	2.87	*1.77*	1.97	*1.57*
N_t (%)	0.09	*0.16*	0.23	*0.45*	0.37	*0.10*	0.18	*0.10*	0.11	*0.08*
C/N	18.5	*17.6*	16.3	*12.5*	17.7	*17.0*	15.9	*17.7*	17.9	*19.6*
Bodenart	schwach toniger Lehm		stark sandiger Lehm		stark schluffiger Sand		mittel lehmiger Sand		mittel lehmiger Sand	
	mittel lehmiger Sand		*stark sandiger Lehm*		*stark sandiger Lehm*		*mittel lehmiger Sand*		*mittel lehmiger Sand*	
mittlere Bodenfeuchte (Vol.-%)	23.54	*26.91*	35.91	*26.91*	29.50	*22.34*	36.51	*20.87*	31.09	*21.70*
Trockenraumdichte (g/cm^3)	1.32	*0.83*	1.01	*0.95*	0.96	*1.32*	0.87	*1.38*	0.92	*1.34*

Für den Aufbau der Parkplätze werden die Rasengittersteine in der Regel auf einem Sandbett verlegt, das auf einer Schottertragschicht aufgebracht ist. Die Gittersteine werden dann mit einer ca. 8 cm mächtigen Mutterbodenschicht verfüllt und mit einer speziellen Rasenmischung begrünt. Bei den untersuchten Füllmaterialien handelt es sich größtenteils um sandige bis sandig lehmige Substrate. Die pH-Werte bewegen sich im mittel bis schwach sauren Bereich. Die Gehalte an organischer Substanz charakterisieren die Rasengittersteinböden als

Flächenbefestigungssteckbriefe



Kopfsteinpflaster

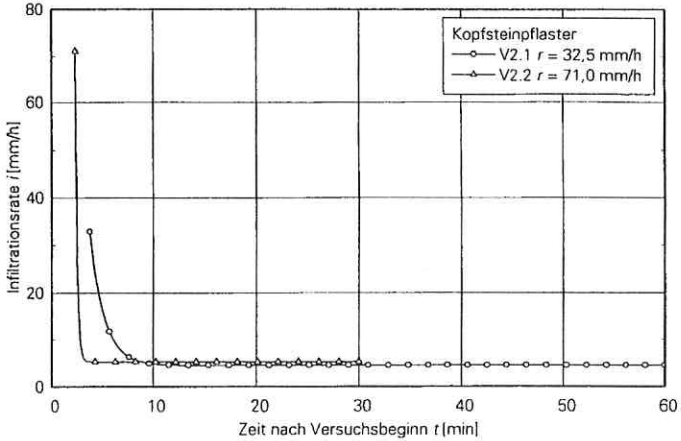
Verwendung:
Straßen, Zufahrten, Plätze, Hofflächen

Bewertung für die gealterten Platten:

Endinfiltrationsrate: 7.1mm/h
Infiltrationskapazität: 19.7 l/(s*ha)
Versickerungseignung: 22 %
Entlastung der Kanalisation: 38 %
Minderung der jährlichen
Niederschlagsversickerung: 30 %

Abflußbeiwerte

Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,16	0,24
20	0,24	0,49	0,58	0,62
30	0,49	0,66	0,72	0,75
40	0,62	0,75	0,79	0,81
50	0,70	0,80	0,83	0,85
60	0,75	0,83	0,86	0,87
70	0,78	0,86	0,88	0,89
80	0,81	0,87	0,89	0,91
90	0,83	0,89	0,91	0,92
100	0,85	0,90	0,92	0,92



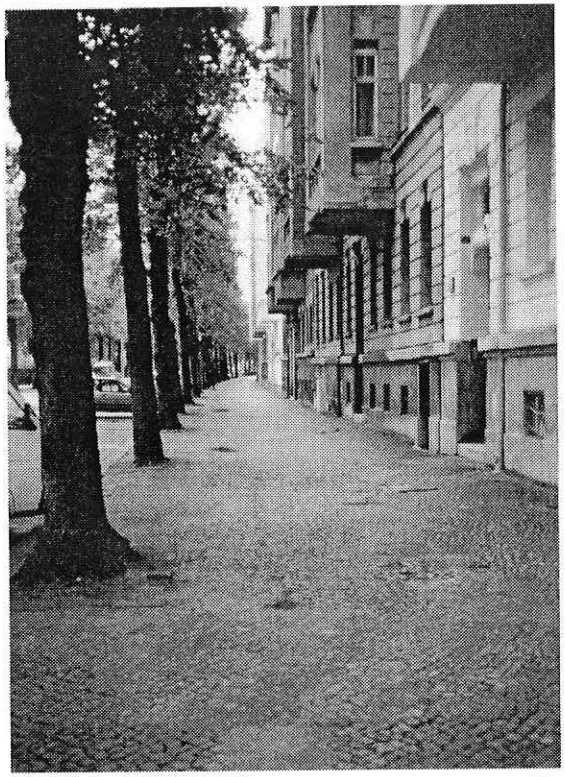
Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate

Mosaikpflaster

Verwendung:
Gehwege und Plätze, Hofflächen

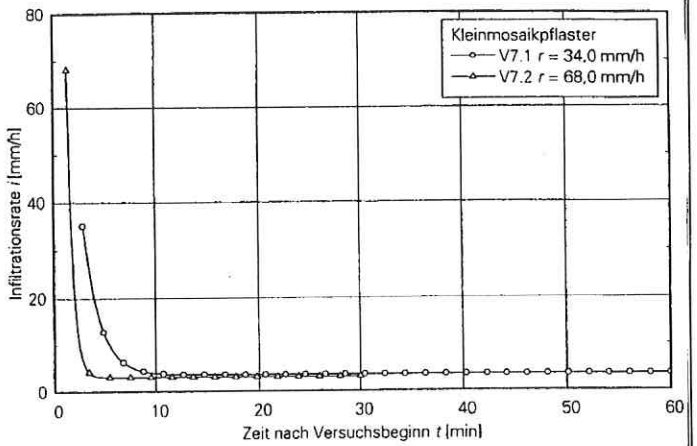
Bewertung für das gealterte Mosaikpflaster:

Endinfiltrationsrate: 4.7 mm/h
Infiltrationskapazität: 13 l/(s*ha)
Versickerungseignung: 22 %
Entlastung der Kanalisation: 38 %
Minderung der jährlichen
Niederschlagsversickerung: 39 %



Abflußbeiwerte

Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,16	0,24
20	0,24	0,49	0,58	0,62
30	0,49	0,66	0,72	0,75
40	0,62	0,75	0,79	0,81
50	0,70	0,80	0,83	0,85
60	0,75	0,83	0,86	0,87
70	0,78	0,86	0,88	0,89
80	0,81	0,87	0,89	0,91
90	0,83	0,89	0,91	0,92
100	0,85	0,90	0,92	0,92



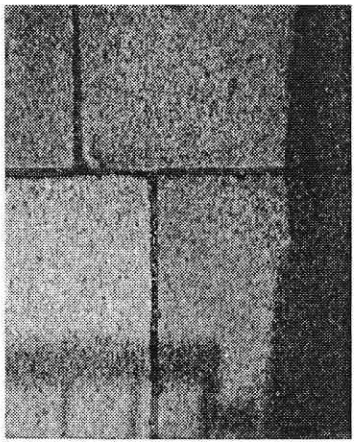
Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate

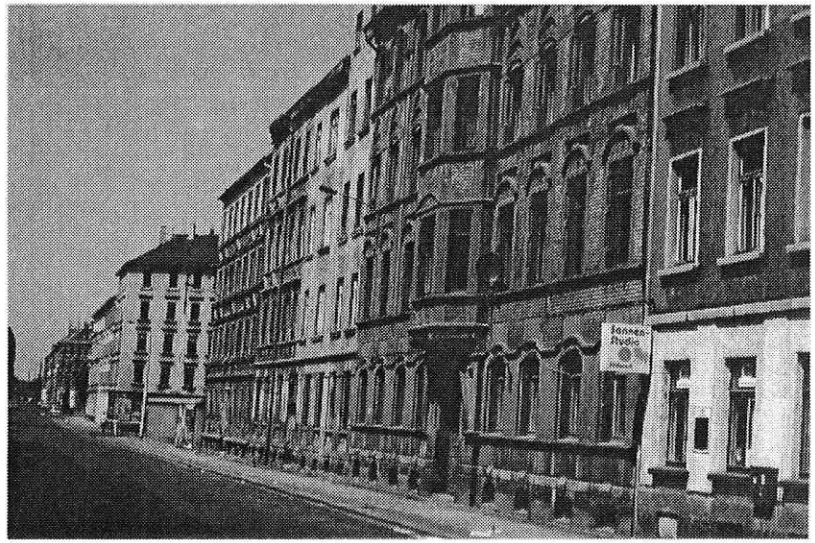
Natursteinplatten

Verwendung:
Gehwege und Plätze

Bewertung für die gealterten Platten:

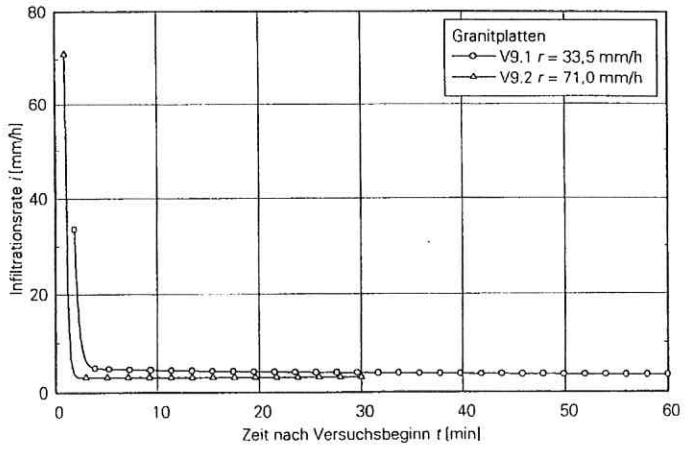
Endinfiltrationsrate: 3.0 mm/h
Infiltrationskapazität: 8.4 l/(s*ha)
Versickerungseignung: 22 %
Entlastung der Kanalisation: 38 %
Minderung der jährlichen
Niederschlagsversickerung: 48 %





Abflußbeiwerte

Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,16	0,24
20	0,24	0,49	0,58	0,62
30	0,49	0,66	0,72	0,75
40	0,62	0,75	0,79	0,81
50	0,70	0,80	0,83	0,85
60	0,75	0,83	0,86	0,87
70	0,78	0,86	0,88	0,89
80	0,81	0,87	0,89	0,91
90	0,83	0,89	0,91	0,92
100	0,85	0,90	0,92	0,92



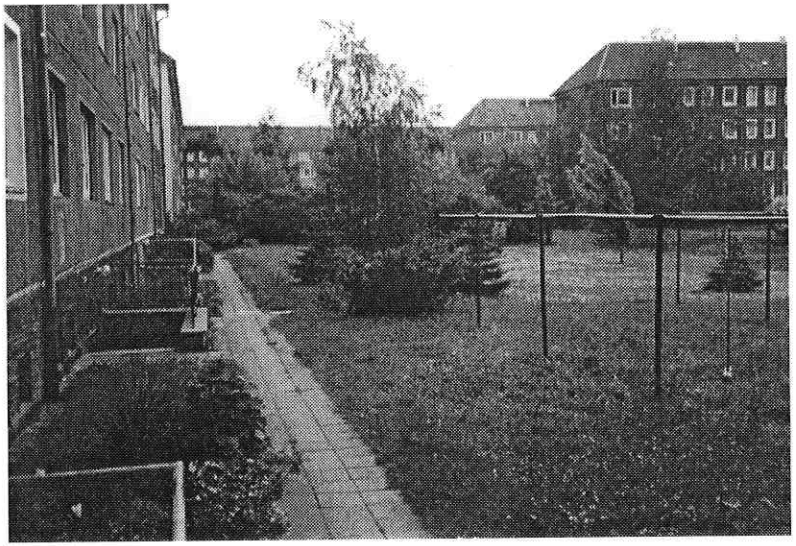
Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate

Betongehwegplatten

Verwendung:
Gehwege und Plätze

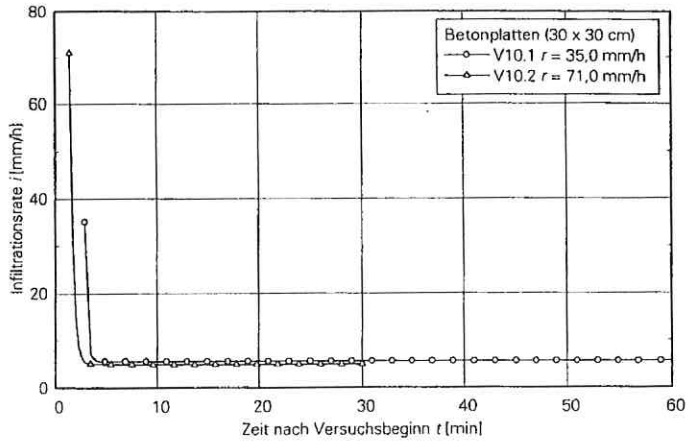
Bewertung für die gealterten Platten:

Endinfiltrationsrate: 5.3 mm/h
Infiltrationskapazität: 14.4 l/(s*ha)
Versickerungseignung: 22 %
Entlastung der Kanalisation: 38 %
Minderung der jährlichen
Niederschlagsversickerung: 34 %



Abflußbeiwerte

Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0.00	0,00	0,16	0,24
20	0,24	0,49	0,58	0,62
30	0,49	0,66	0,72	0,75
40	0,62	0,75	0,79	0,81
50	0,70	0,80	0,83	0,85
60	0,75	0,83	0,86	0,87
70	0,78	0,86	0,88	0,89
80	0,81	0,87	0,89	0,91
90	0,83	0,89	0,91	0,92
100	0,85	0,90	0,92	0,92



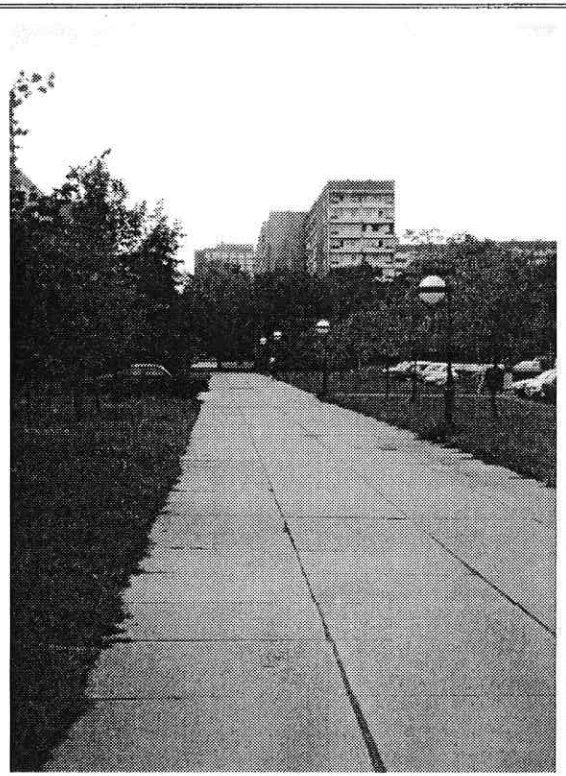
Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate

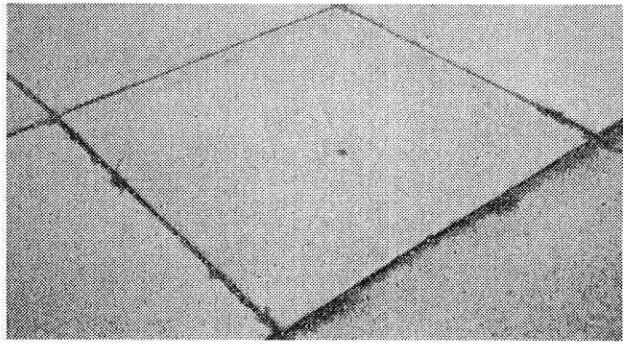
Großformatplatten

Verwendung:
Gehwege und Plätze

Bewertung für die gealterten Platten:

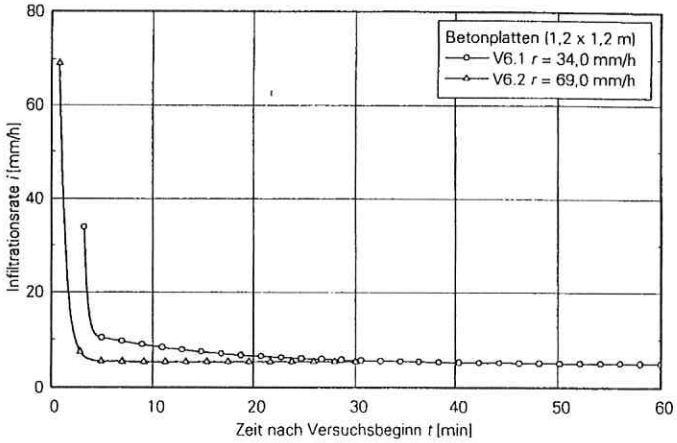
Endinfiltrationsrate: 5.2 mm/h
Infiltrationskapazität: 14.3 l/(s*ha)
Versickerungseignung: 22 %
Entlastung der Kanalisation: 38 %
Minderung der jährlichen
Niederschlagsversickerung: 34 %





Abflußbeiwerte

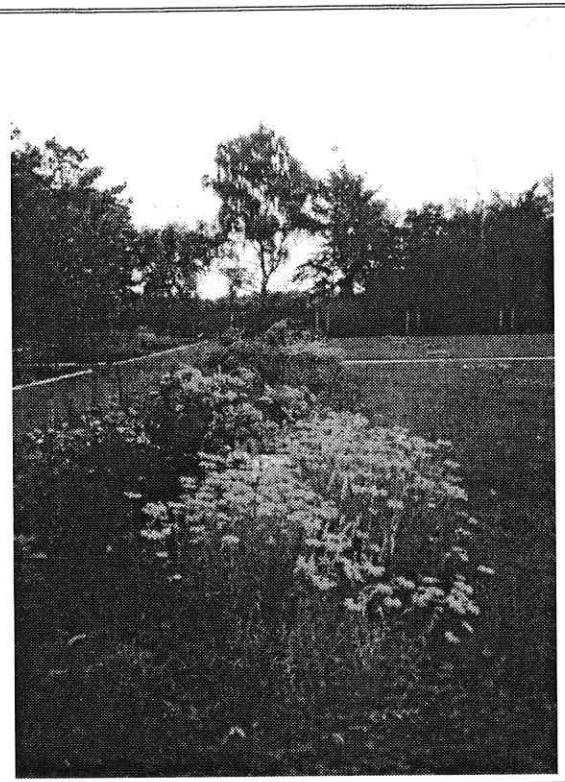
Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,16	0,24
20	0,24	0,49	0,58	0,62
30	0,49	0,66	0,72	0,75
40	0,62	0,75	0,79	0,81
50	0,70	0,80	0,83	0,85
60	0,75	0,83	0,86	0,87
70	0,78	0,86	0,88	0,89
80	0,81	0,87	0,89	0,91
90	0,83	0,89	0,91	0,92
100	0,85	0,90	0,92	0,92

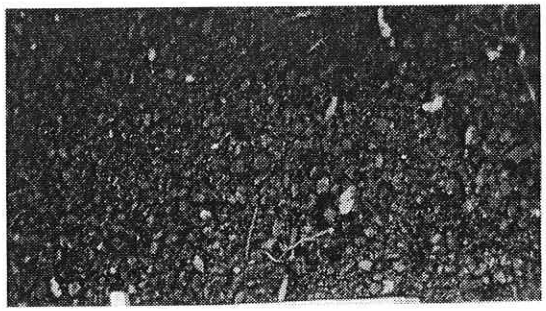


Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate

Wassergebundene Decken

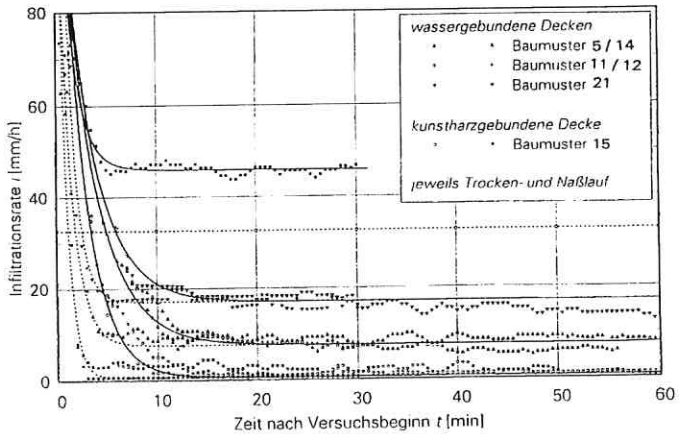
Verwendung:
Fuß- und Radwege vorwiegend in Parkanlagen





Bewertung für die wassergebundenen Decken:

Endinfiltrationsrate: 0.8 - 12.7 mm/h
Infiltrationskapazität: 2.1 - 35.3 l/(s*ha)
Versickerungseignung: 18 - 37 %
Entlastung der Kanalisation: 31 - 65 %
Minderung der jährlichen
Niederschlagsversickerung: 16 - 86 %



Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate

Abflußbeiwerte
(Baumuster 5 und 14)

Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,02
20	0,18	0,40	0,47	0,51
30	0,45	0,60	0,65	0,67
40	0,59	0,70	0,74	0,76
50	0,67	0,76	0,79	0,80
60	0,73	0,80	0,82	0,84
70	0,77	0,83	0,85	0,86
80	0,80	0,85	0,87	0,88
90	0,82	0,87	0,88	0,89
100	0,84	0,88	0,89	0,90

Abflußbeiwerte
(Baumuster 11 und 12)

Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,35	0,54	0,64
20	0,38	0,67	0,77	0,82
30	0,58	0,78	0,85	0,88
40	0,69	0,84	0,89	0,91
50	0,75	0,87	0,91	0,93
60	0,79	0,89	0,92	0,94
70	0,82	0,91	0,93	0,95
80	0,84	0,92	0,94	0,96
90	0,86	0,93	0,95	0,96
100	0,88	0,93	0,95	0,96

Abflußbeiwerte
(Baumuster 21)

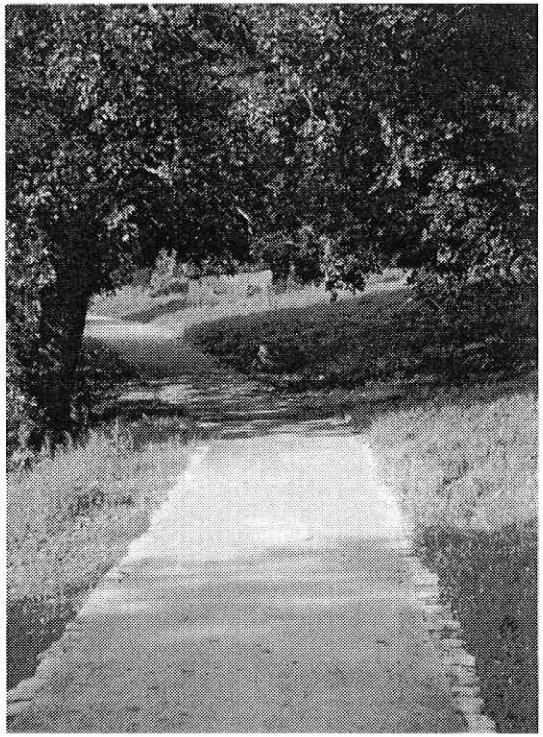
Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,04
30	0,14	0,28	0,33	0,36
40	0,35	0,46	0,50	0,52
50	0,48	0,57	0,60	0,62
60	0,57	0,64	0,67	0,68
70	0,63	0,69	0,71	0,73
80	0,68	0,73	0,75	0,76
90	0,71	0,76	0,78	0,79
100	0,74	0,79	0,80	0,81

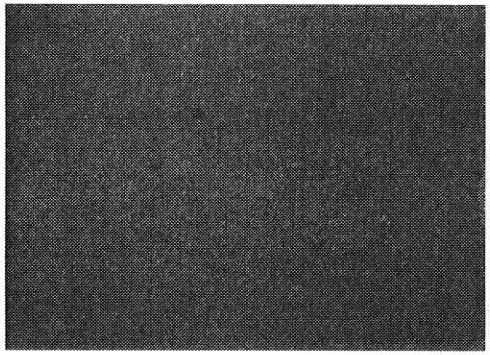
Kunstharzgebundene Decke

Verwendung:
Geh- und Radwege, Schulhöfe, Spielplätze, Hofflächen, Stellflächen, Garageneinfahrten

Bewertung für die kunstharzgebundene Decke:

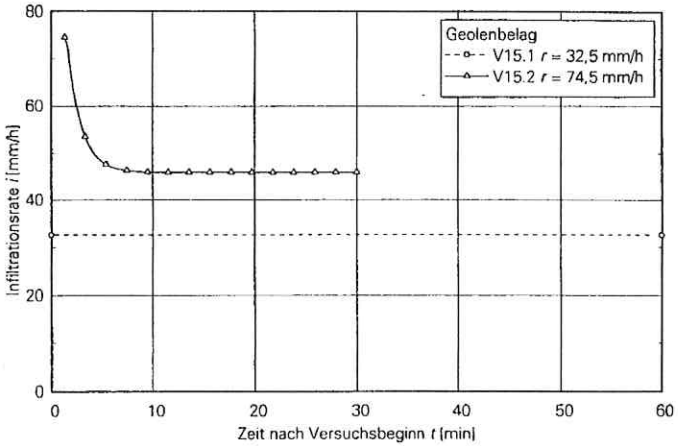
Endinfiltrationsrate: 45.9 mm/h
Infiltrationskapazität: 127.5 l/(s*ha)
Versickerungseignung: 75 %
Entlastung der Kanalisation: 100 %
Minderung der jährlichen Niederschlagsversickerung: 0 %





Abflußbeiwerte

Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,02	0,04	0,05
60	0,13	0,18	0,20	0,21
70	0,25	0,30	0,31	0,32
80	0,35	0,39	0,40	0,41
90	0,42	0,45	0,47	0,47
100	0,48	0,51	0,52	0,52



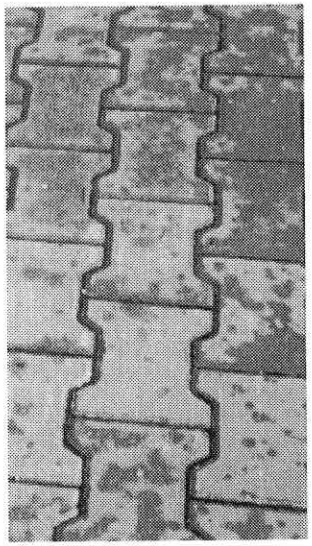
Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate

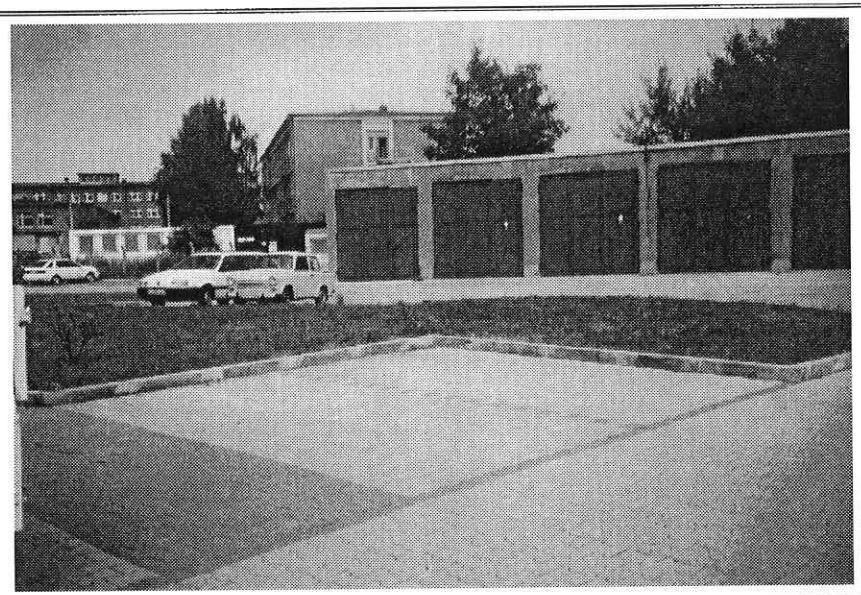
Betonverbundsteine

Verwendung:
stark frequentierte Parkplätze, gewerbliche Nutzflächen, Fuß- und Radwege, Schulhöfe, Wohnstraßen, Einfahrten, stärker belastete Flächen

Bewertung für das neue Verbundpflaster:

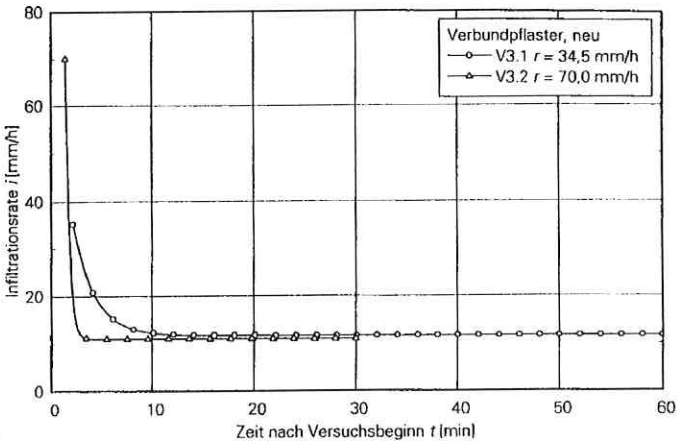
Endinfiltrationsrate: 9.9 mm/h
Infiltrationskapazität: 31.1 l/(s*ha)
Versickerungseignung: 29 %
Entlastung der Kanalisation: 51 %
Minderung der jährlichen Niederschlagsversickerung: 18 %





Abflußbeiwerte

Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,21	0,29	0,33
30	0,32	0,47	0,53	0,55
40	0,49	0,61	0,65	0,67
50	0,59	0,68	0,72	0,73
60	0,66	0,74	0,76	0,78
70	0,71	0,77	0,80	0,81
80	0,74	0,80	0,82	0,83
90	0,77	0,82	0,84	0,85
100	0,79	0,84	0,86	0,87



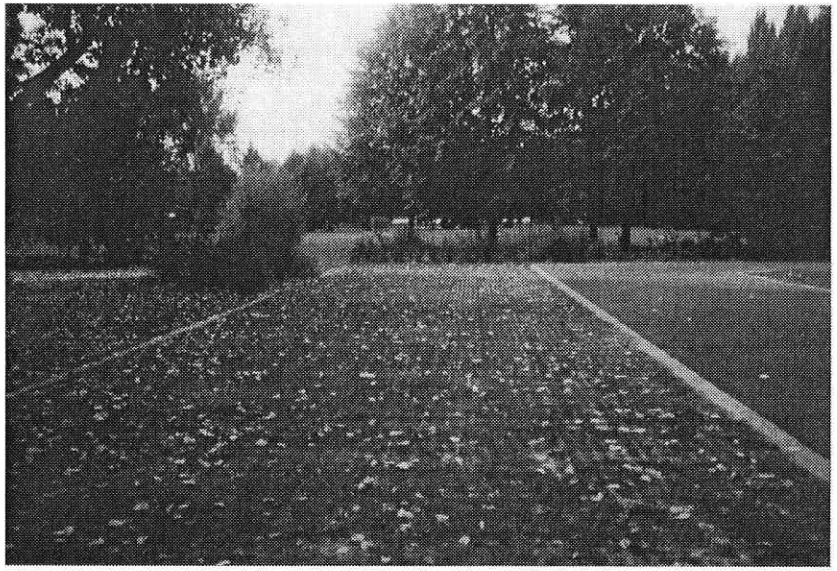
Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate

Rasengittersteine

Verwendung:
gering bis mäßig frequentierte Parkplätze, Stellplätze, Feuerwehrzufahrten, Zufahrtswege, Garageneinfahrten, Randbereiche von Gehwegen

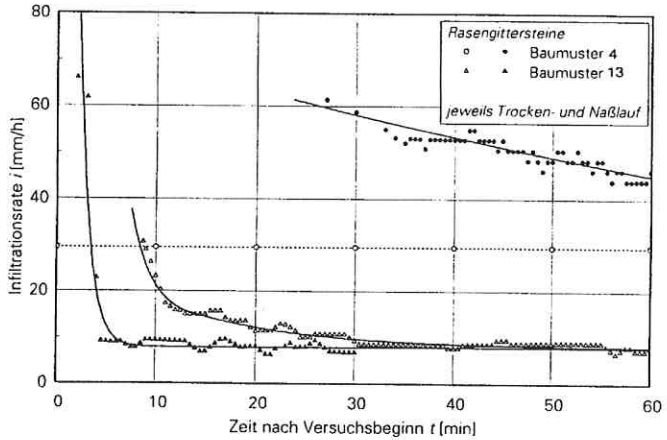
Bewertung für die extensiv genutzten Rasengittersteine:

Endinfiltrationsrate: > 70.0 mm/h
Infiltrationskapazität: > 170 l/(s*ha)
Versickerungseignung: 100 %
Entlastung der Kanalisation: 100 %
Minderung der jährlichen Niederschlagsversickerung: 0 %



Abflußbeiwerte

Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00	0,00
70	0,00	0,00	0,00	0,00
80	0,00	0,00	0,00	0,00
90	0,00	0,00	0,00	0,00
100	0,00	0,00	0,00	0,00



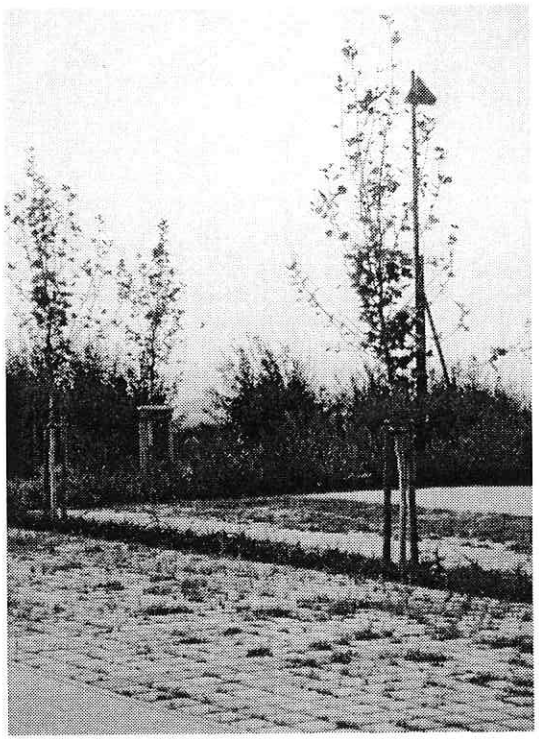
Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate

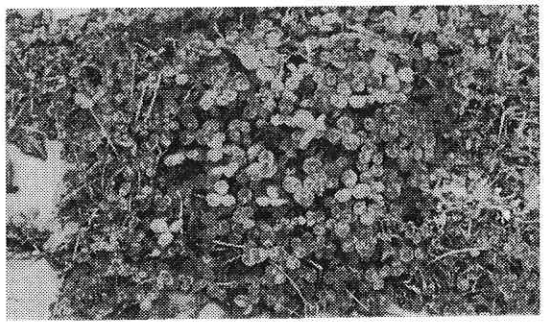
Betonpflaster mit Rasenfugen

Verwendung:
gering bis mäßig frequentierte Parkplätze, Stellplätze,Feuerwehrzufahrten, Zufahrtswege, Garageneinfahrten, Gehwege in Wohnbereichen

Bewertung für das Betonpflaster mit dichtem Bewuchs:

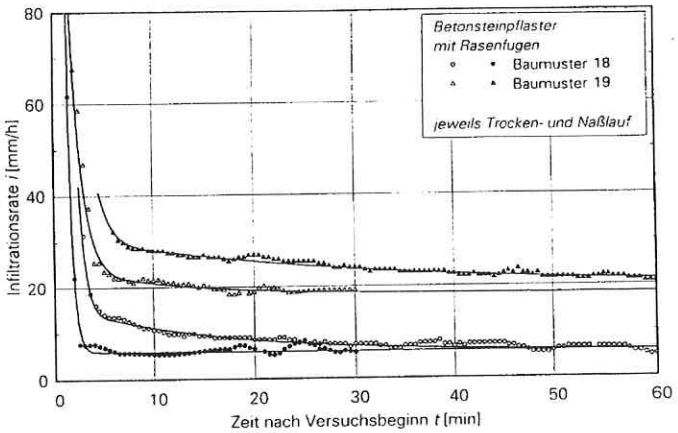
Endinfiltrationsrate: 19.2 mm/h
Infiltrationskapazität: 53.3 l/(s*ha)
Versickerungseignung: 62 %
Entlastung der Kanalisation: 100 %
Minderung der jährlichen Niederschlagsversickerung: 10 %





Abflußbeiwerte

Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,13	0,16	0,18	0,19
60	0,28	0,30	0,31	0,32
70	0,38	0,40	0,41	0,42
80	0,46	0,48	0,49	0,49
90	0,52	0,54	0,54	0,55
100	0,57	0,58	0,59	0,59



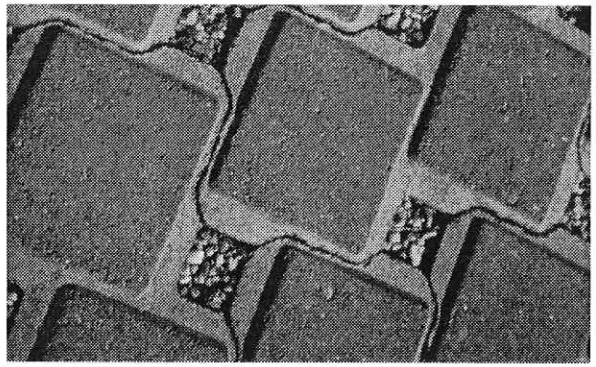
Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate

Betonpflaster mit Sickeröffnungen

Verwendung:
gering bis stark frequentierte Parkplätze, Stellplätze, Feuerwehrzufahrten, Zufahrtswege, Garageneinfahrten

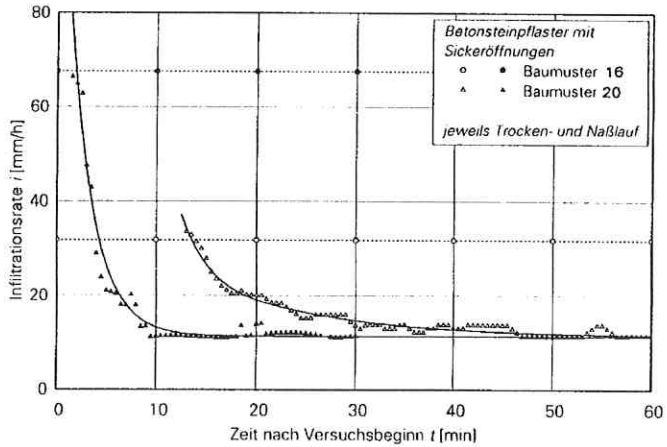
Bewertung für das Betonpflaster mit Feinkies verfüllten Sickeröffnungen:

Endinfiltrationsrate: > 70 mm/h
Infiltrationskapazität: 187.5 l/(s*ha)
Versickerungseignung: 100 %
Entlastung der Kanalisation: 100 %
Minderung der jährlichen Niederschlagsversickerung: 0 %



Abflußbeiwerte

Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00	0,00
70	0,00	0,00	0,00	0,00
80	0,00	0,00	0,00	0,00
90	0,00	0,00	0,00	0,00
100	0,00	0,00	0,00	0,00

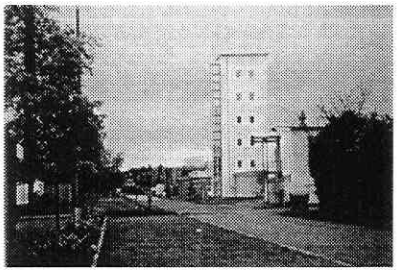


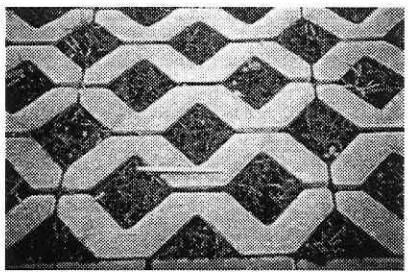
Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate

humos bis stark humos. Ferner zeichnen sich die Böden durch eine sehr geringe Trockenraumdichte aus. Im Mittel sind alle Rasengittersteinböden gut durchfeuchtet. Nur Untersuchungsfläche 1 weist im Vergleich zu den feuchteren Flächen 2 und 4 geringere Bodenwassergehalte auf. Die vormals eingesäte Rasenmischung ist an Standort 3 durch eine typische Trittrasengesellschaft mit *Polygonum aequale, Plantago major, Matricaria discoides* und *Taraxacum officinale* ersetzt worden. Die übrigen Standorte sind noch durch die vormals eingesäten ausdauernden Gräser wie *Lolium perenne* oder *Festuca rubra* sowie durch *Trifolium repens* gekennzeichnet.

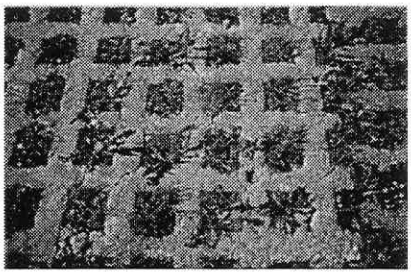
Bei den städtischen Grünflächen handelt es sich um Auftragsböden aus Sandlößmaterial (vgl. STOYE, 1994; SCHULTE, 1996a). Es lassen sich vereinzelt Beimengungen von Ziegeln, Grus und Steinen finden, die aber anteilsmäßig unter 5 % bleiben. Je nach Alter der Grünflächen hat sich ein ca. 5-10 cm mächtiger lehmig-sandiger Ah-Horizont gebildet. Die Böden sind als mittel sauer bis schwach sauer einzustufen. Die Humusgehalte variieren zwischen schwach humos und stark humos. Auch die unversiegelten Böden weisen nur eine sehr geringe bis geringe Trockenraumdichte auf. Das Sandlößmaterial ist weitgehend das Ausgangsmaterial der Böden der Leipziger Tieflandsbucht. Dieser Sandlößgürtel nimmt im Raum Halle-Leipzig und weiter in Nordsachsen eine Breite von 30 km ein. Die Sandlößdecken erreichen eine Mächtigkeit von < 1 m und sind gegenüber dem Löß durch einen höheren Sandanteil (> 20 %) gekennzeichnet. Die typischen Böden aus diesem Substrat sind Parabraunerden-Tschernoseme und Fahlerden/Parabraunerden (ALTERMANN u. RUSKE, 1997a; ALTERMANN et al., 1997b). SCHULTE (1996a, 1996b) stellte in seiner Untersuchung über die Schadstoffbelastung und die Schadstoffmobilität von Leipziger Stadtböden fest, daß der überwiegende Teil der kartierten Böden, bis auf die Auenböden, gleichermaßen aus anthropogen umgelagertem Sandlößmaterial aufgebaut ist.

Die untersuchten Rasenflächen gehören alle zur Pflanzengesellschaft des Bellidetum perennis. Die kennzeichnendste Art dieser Assoziation ist *Bellis perennis*. Ebenfalls mit großer Stetigkeit treten *Taraxacum officinale, Trifolium repens, Cerastium holosteoides, Poa pratensis, Achillea millefolium, Lolium perenne* und *Festuca rubra* auf (GUTTE, 1981). Die Mehrzahl dieser Grünflächen befindet sich in direkter Nachbarschaft zu den ausgewählten Parkplätzen. Nur Rasenfläche 1, ein schmaler Grünstreifen vor einem Laborgebäude, ist durch eine Nebenstraße vom Stellplatzbereich getrennt. Bei der Vergleichsfläche zu Standort 2 handelt es sich um eine ältere, kleinere innerstädtische Grünfläche, die zwischen Parkplatz und Straßenraum liegt. Die benachbarte Grünfläche von Standort 3 dient als großzügiges Abstandsgrün zwischen einer stark befahrenen Straße und dem untersuchten Parkplatz. Die Rasenflächen 4 und 5 gehören zu einer großen städtischen Grünanlage. Sie wurden im Zuge des Parkplatzbaues anthropogen beeinflußt bzw. neu aufgeschüttet. Alle Grünflächen sind durch eine geringe Trittbelastung gekennzeichnet.

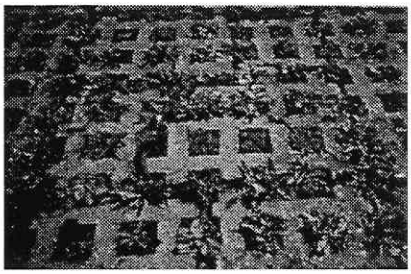




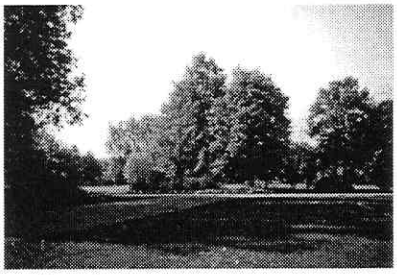
Rasengittersteinparkplatz 1

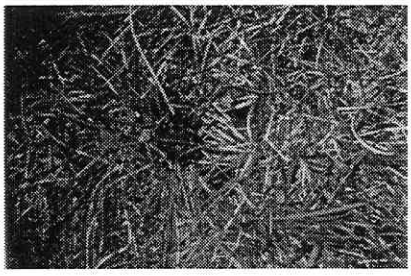


Rasengittersteinparkplatz 2



Rasengittersteinparkplatz 3

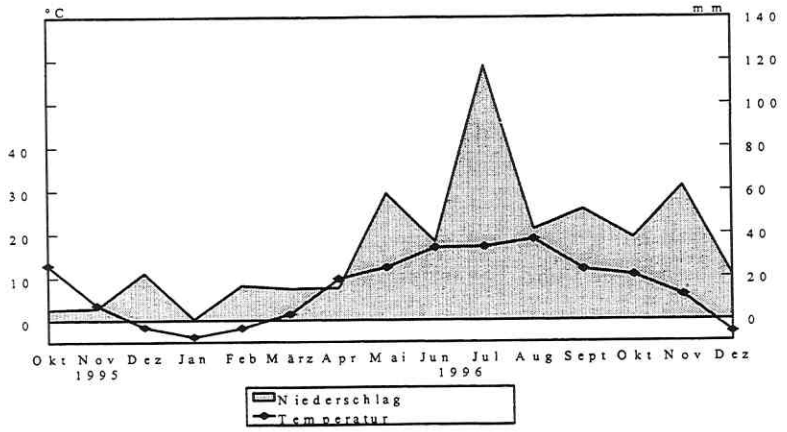




Rasengittersteinparkplatz 4 und 5

Abb. 31: Rasengittersteinparkplätze

In Abbildung 32 sind die Klimadaten für den Untersuchungszeitraum von Oktober 1995 bis Oktober 1996 dargestellt. Die Stadt Leipzig gehört zum Klimabezirk Leipziger Bucht, der dem kontinental beeinflußten Ostdeutschen Binnenlandklima zuzuordnen ist (KLIMAATLAS-DDR, 1953). Das langjährige Mittel für Leipzig beträgt für den Niederschlag 589 mm und für die Temperatur 8.9°C (DWD, 1995). In einer stadtklimatischen Studie von MÜLLER (1997) ergaben die Messungen in verschiedenen Stadtstrukturtypen Leipzigs, daß für die Untersuchungsjahre (Juli 1992 - Juni 1995) die Monate im Mittel niederschlags- und sonnenscheinreicher sowie wärmer waren als die langjährigen Normalwerte. Für 14 Stationen ergaben sich Temperaturmittelwerte von 9.4 bis 10.4°C. Für diese Werte konnte eine deutliche Trennung Stadt-Umland festgestellt und der Wärmeinseleffekt mit den höchsten Werten in der City aufgezeigt werden. Eine detaillierte Differenzierung für die Niederschlagsverhältnisse im Stadtgebiet konnte nicht getroffen werden. Das Untersuchungsjahr 1996 (Abb. 32) war im Durchschnitt trockener, als im dreißigjährigen Mittel. Insbesondere fielen in den Monaten Januar bis April sowie im Juni wesentlich weniger Niederschläge als normal. Dafür war der Monat November wesentlich feuchter als im vorangegangenen Jahr 1995 und im langjährigen Mittel. Die Herbst- und Wintermonate im Jahr 1995 waren ebenfalls niederschlagsärmer als normal. Die Temperaturaufzeichnungen demonstrieren, daß die mittlere Jahrestemperatur 1996 mit 8.0°C deutlich unter dem langjährigen Mittel von 8.9°C lag sowie unter den genannten Temperaturmittelwerten von MÜLLER (1997). Hierfür verantwortlich war der kalte und lange Winter, der sich bis in den März mit Werten knapp über einem 1 °C zog.



Mittel (°C) 1996 : 8.0 Mittel (mm) 1996 : 429
Mittel (°C) 1951-1980: 8.9 Mittel (mm) 1951-1980: 589

Abb. 32 : Klimadiagramm Leipzig-UFZ

3.3.2 Methoden

3.3.2.1 Bodenmikrobiologische Methoden

Probennahme und Probenvorbereitung

Auf den jeweils fünf ausgesuchten Rasengittersteinparkplätzen und Grünflächen erfolgten die Probennahmen für die mikrobiologischen Untersuchungen Ende Oktober/Anfang November 1995, Mitte Mai 1996 und Anfang Oktober 1996. An dem Probenmaterial des ersten Untersuchungstermins wurden zudem die bodenchemischen Untersuchungen durchgeführt. Um eine möglichst gute Vergleichbarkeit mit der Probennahme der zoologischen Untersuchungen zu gewährleisten, wurde die gleiche Beprobungstiefe von 0-5cm gewählt. Hierfür wurden pro Standort 30-40 Einstiche auf einer ca. 100 m^2 großen repräsentativen Fläche getätigt. Die homogenisierten und in Kühltaschen transportierten Proben wurden feldfrisch auf $\leq$ 2mm gesiebt. Anschließend erfolgte die Einstellung eines optimalen Wassergehaltes von 40-60 % der maximalen Wasserhaltekapazität sowie die Lagerung für ca. 2 Wochen in Plastiktüten mit in Pappröhrchen eingebrachten Wattestopfen bei Raumtemperaturen von +15-18°C. Während dieses Zeitraums können leicht verfügbare Kohlenstoffquellen abgebaut werden. Da die Proben nicht immer im Anschluß an die Anpassungszeit analysiert wurden, erfolgte das Einfrieren bei -20°C. Für die folgenden Untersuchungen wurden die Proben bei +4°C im Kühlschrank langsam aufgetaut (MARTENS et al. 1991)

Bestimmung der mikrobiellen Biomasse nach ANDERSON u. DOMSCH (1978) und Bestimmung der Basalatmung

Die stoffwechselaktive lebende Biomasse wurde mittels substratinduzierter Respiration am Infrarot-Gasanalysator nach HEINEMEYER et al. (1989) bestimmt. Dabei werden die Bodenproben mit einer zuvor bestimmten Menge Glucose versetzt und bei +22°C mit Umgebungsluft durchströmt und die CO_2-Abgabe mit einem Infrarot-Gasanalysator und einem Strömungsmeßgerät gemessen. Die mikrobielle Bodenatmung, die bei Einstellung eines Gleichgewichtes zwischen den Organismen und deren Tätigkeit auch als Grundatmung oder basale Atmung bezeichnet wird, wurde ebenfalls am Infrarot-Gasanalyser bestimmt.

Bestimmung der ß-Glucosidaseaktivität nach HOFFMANN u. DEDEKEN (1965), modifiziert

Durch die Aktivität der ß-Glucosidasen wird Cellobiose in Glucose überführt und den Organismen somit eine wichtige Energiequelle zur Verfügung gestellt. Die Bodenproben werden mit dem Substrat ß-Glucosido-Saligenin 3 Stunden bei +37°C inkubiert und aus dem Substrat wird das freigesetzte Saligenin nach Färbung mit 2,6-Dibromchinon-4-Chlorimid kolorimetrisch bestimmt. Dieser Parameter wurde nur im Herbst 1996 untersucht.

Bestimmung der Dimethylsulfoxid-Reduktion nach ALEF u. KLEINER (1989)

Dimethylsulfoxid (DMSO) wird im Boden von fast 95 % aller Mikroorganismen zu Dimethylsulfid (DMS) reduziert. Daher kann diese Reaktion als Parameter zur Bestimmung der mikrobiellen Aktivität in Böden herangezogen werden. Feldfrischer Boden wird nach Zusatz von Dimethylsulfoxid 3 Stunden bei +30°C in einem gasdichten Gefäß inkubiert und anschließend wird die gebildete Menge Dimethylsulfid gaschromatographisch erfaßt.

Metabolischer Quotient (qCO_2)

Der metabolische Quotient kann als Parameter zur Charakterisierung des physiologischen Zustands der Mikroorganismengesellschaft herangezogen werden. Dieser Quotient ergibt sich aus der Basalatmung und der mikrobiellen Biomasse. Über diese qualitative Erfassungsmethode können Einflüsse, die auf die Biomasse wirken, erkannt werden. Als indirektes Maß kann die energetische Effizienz einer Mikroorganismengesellschaft beurteilt werden. Je niedriger der metabolische Quotient ist, desto effizienter sind die mikrobiellen Umsatzleistungen (INSAM u. ÖHLINGER, 1993).

Keimzahlbestimmung

Für die Zählung von Bakterien, Aktinomyzeten und Pilzen wird die Agar-Plattenmethode angewendet. Hierfür wird der Boden in einem Suspensionsmittel dispergiert und ein aliquoter Teil in einem Agarmedium geimpft und solange bebrütet bis jede lebende Zelle eine separate Kolonie gebildet hat.

Leuchtbakterientest LUMIStox® DR..LANGE

Der Leuchtbakterientest mit LUMIStox wird mit dem Leuchtbakterienstamm Vibrio fischeri NRRL-B-11177 durchgeführt. Dieser Biotest dient zur Messung der akuten Bakterientoxizität einer wässerigen Lösung. Die Anwendungsbereiche des Leuchtbakterientests sind breit gefächert. Außer Abwässern werden auch Böden, Holz, Lebensmittel und andere Feststoffe auf ihre Toxizität untersucht. Hierfür wird 10g luftgetrockneter Boden in 40ml Wasser fünf Stunden geschüttelt, anschließend zentrifugiert und dekantiert. Nachfolgend wird der Biotest nach der Vorschrift von DR. LANGE durchgeführt.

3.3.2.2 Bodenzoologische Methoden

Probenahme und Probenvorbereitung

Die Probennahme erfolgte Anfang November 1995, Mitte Mai 1996, Anfang Juli 1996 und Ende September/Anfang Oktober 1996. Im November 1995 wurden je Standort 5 Paralleleinstiche genommen. Die Anzahl wurde dann auf 8 Einstiche an den folgenden Terminen erhöht. Die Beprobungstiefe umfaßte 0-5 cm. Für den Parkplatz 1 und für alle Grünflächen wurden die Bodenkerne mit Bodenzylindern entnommen, die ein Volumen von 130 cm^3 hatten. Für die Rasengittersteinparkplätze 2-5 wurden die Bodenkerne vorsichtig mit einem Messer aus den Gitteröffnungen herausgestochen. Dies war notwendig, da die Öffnungen zu klein waren für eine Stechzylinderentnahme. Diese Proben verfügten über ein Volumen von 100 cm^3. Zudem wurden an entsprechenden Proben gravimetrisch der Bodenwassergehalt (Vol.-%) und die Trockenraumdichten (g/cm^3) bestimmt (vgl. KRETZSCHMAR, 1986).

Zur Austreibung der Tiere wurden die Bodenkerne invers in eine MACFADYEN-High-gradient-funnel Apparatur eingesetzt und einem zehntägigen Temperaturregime unterzogen. Die Temperatur wurde täglich um +5°C erhöht, so daß mit steigender Temperatur die Bodentiere von der wärmeren Probenoberseite in die kühlere und feuchtere Atmosphäre an der Unterseite flüchteten und so in das Auffanggefäß gelangten. Als Auffangflüssigkeit diente eine 5%ige Natriumbenzoat-Lösung, die zur Oberflächenentspannung mit ein paar Spritzern Mirasol versetzt war (mündl. Mitt. EMMERLING). Die Collembolen wurden unter dem Binokular ausgezählt und in Ethanol aufbewahrt.

3.3.2.3 Bodenchemische Methoden

Probennahme und Probenvorbereitung

Die Probennahme für die bodenchemischen Untersuchungen erfolgte gemäß den Ausführungen im Kapitel zu den mikrobiologischen Methoden Anfang November 1995. Das Probenmaterial wurde luftgetrocknet und auf $\leq$ 2mm gesiebt. Folgende Parameter wurden analysiert:

pH-Wert nach KRETZSCHMAR (1986)

10g Feinboden werden mit 25ml 0,01m $CaCl_2$-Lösung 2 Stunden mehrmals aufgeschlämmt und der pH-Wert potentiometrisch mit einer Glaselektrode gemessen.

C_{org} und N_t

Die Bestimmung des Gesamt C- und des N-Gehaltes erfolgte durch die trockene Verbrennung bei 1000°C in einem CHN-1000-Analysator der Firma LECO. Da für die untersuchten Proben keine Carbonatzerstörung notwendig war, stimmen die C_t-Gehalte mit dem Anteil an organischer Substanz (C_{org}) überein.

Schwermetallgesamtgehalte nach DIN 38414, Teil 7 (1983) der Klärschlammverordnung ANONYM (1992)

Die Schwermetalle Cadmium, Chrom, Kupfer, Eisen, Mangan, Nickel, Blei und Zink wurden mittels Königswasseraufschluß extrahiert. Die Messung des Cadmiums erfolgte mittels eines Atomabsorptionsspektrometers mit Graphitrohrofentechnik, die Bestimmung der übrigen Schwermetalle geschah mit einem ICP-Atomemissionsspektrometers (SPECTROFLAME).

Mobile Spurenelemente nach DIN V 19730

Die mobilen Spurenelemente bzw. leicht löslichen Schwermetalle Cadmium, Chrom, Kupfer, Eisen, Mangan, Nickel, Blei und Zink wurden mit 1m Ammoniumnitratlösung extrahiert und analog der Königswasserextraktion gemessen.

PAK aus der EPA-Prioritätenliste
(UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1982)

PAK aus der EPA-Prioritätenliste (ohne Acenaphtylen) wurden mittels einer HPLC (BECKMANN SYSTEM GOLD) mit Fluoreszenzdetektor gemessen. Zuvor wurde der Boden über vier Stunden mit nHexan in einer Soxhlet-Apparatur extrahiert.

Bestimmung der Mineralölkohlenwasserstoffe nach DIN 38409 H18

Feldfrische Proben wurden bei 35°C acht Stunden getrocknet. Die Extraktion der Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) erfolgte mit 1,1,2-Trichlortrifluorethan (F113) und die clean-up-Prozedur an 8g Aluminiumoxid. Die Analytik fand mittels FT-IR-Spektroskopie statt.

3.3.2.4 Statistische Verfahren

Bei der relativ kleinen Stichprobenanzahl von n=5 je Nutzungstyp wurden für die durchgeführten Verfahren nichtparametrische Testverfahren ausgewählt. Diese Tests sind zwar weniger trennscharf, aber bei einem geringen Stichprobenumfang weniger anfällig und robuster. Ferner ist zu beachten, daß die Meso- und Mikrofauna eines Standortes fast immer aggregiert auftritt und somit keine lineare Verteilung aufweist (DUNGER u. SEIFERT, 1997). Der Vergleich zweier unabhängiger Stichproben für die mikrobiologischen und die zoologischen Untersuchungsergebnisse erfolgte anhand des U-Tests von MANN-WHITNEY (SACHS, 1992; SCHÖNWIESE, 1992). Dafür wurden folgende Signifikanzniveaus festgelegt: signifikant $p < 0.05$, sehr signifikant $p < 0.01$ und hochsignifikant $p < 0.001$. Dieser Test wurde für die Rasengittersteinböden und die unversiegelten Böden separat durchgeführt. Zudem wurde getestet, ob sich die jeweils benachbarten Flächen hinsichtlich der bodenbiologischen Parameter unterscheiden. Für jeden einzelnen Standort wurden die Ergebnisse aller Untersuchungstermine zu einer Stichprobe zusammengefaßt, so daß sich ein Datensatz von $n = 3$ für die mikrobiologischen Kenngrößen und ein $n = 4$ für den Vergleich der Abundanzen der Collembolen pro Untersuchungsfläche ergab. Die Analyse von Zusammenhängen zwischen den verschiedenen erfaßten Merkmalen wurde eine Rangkorrelation nach SPEARMANN durchgeführt, um charakteristische Beziehungsgefüge für die Rasengittersteinböden aufzudecken. Je nachdem welche Merkmale korreliert wurden, ergaben sich aufgrund der unterschiedlichen Anzahl der Probennahmetermine verschiedene n-Anzahlen. Infolge des geringen Stichprobenumfangs und der hochangesetzten Signifikanzniveaus wird neben den statistisch abgesicherten Korrelationen auch auf hohe nicht signifikante Korrelationskoeffizienten eingegangen. Zur Unterstützung der statistischen Verfahren werden anhand von Balkendiagrammen die Ergebnisse der jeweiligen Termine und die Mittelwerte besprochen.

3.3.3 Bodenmikrobiologische Aktivitäten

In Abbildung 33 und 34 sind für die Rasengittersteinparkplätze und die Grünflächen die Mittelwerte der mikrobiellen Biomasse für vier Termine dargestellt. Die extensiv genutzten Parkplätze 4 und 5 weisen im Mittel die höchsten Werte für die mikrobielle Biomasse auf. Deutlich hervor heben sich die signifikant niedrigen Gehalte des jüngsten Parkplatzes (Standort 1) gegenüber den Werten der übrigen teilversiegelten Standorte und der benachbarten Grünfläche. Einen Einfluß der Nutzungsintensität auf die mikrobiell aktive Biomasse konnte für die Parkplätze nicht nach gewiesen werden. Die Rasengittersteinböden 3, 4 und 5 zeigen im Vergleich zu ihren Grünflächen aber im Mittel signifikant höhere Gehalte an mikrobieller Biomasse. Für die unversiegelten Böden existieren gesicherte Unterschiede zwischen den Standorten 5, 1, 2 und 3.

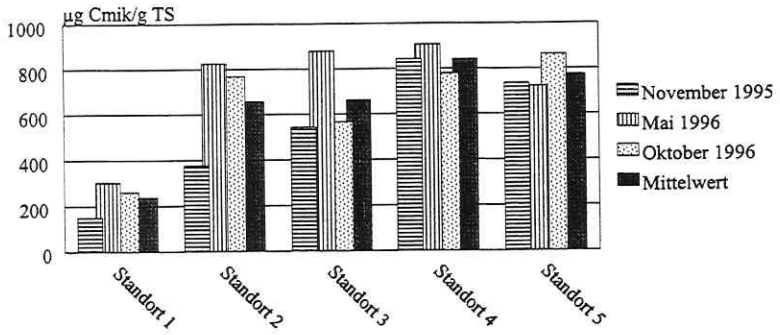


Abb. 33: Mikrobielle Biomasse - Parkplätze

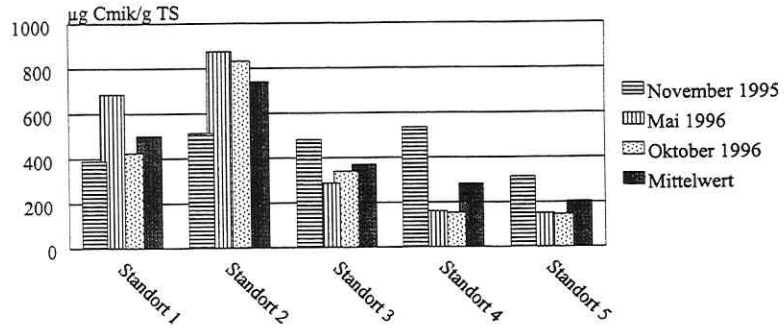


Abb. 34: Mikrobielle Biomasse - Grünflächen

Die Bodenatmung (Abb. 35 und 36) als Parameter zur Charakterisierung der Aktivität der Bodenmikroorganismen weist für die Rasengittersteinböden eine ähnliche Tendenz auf wie die mikrobielle Biomasse.

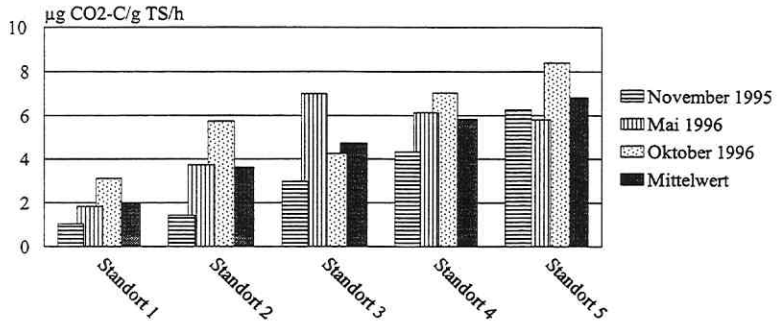


Abb. 35: Basalatmung - Parkplätze

Auch hier weisen die Parkplätze mit der geringsten Nutzungsintensität (4 und 5) die höchsten mittleren Atmungswerte auf. Ein signifikanter Unterschied ergibt sich aber nur für Standort 4 zu Standort 1. Dieser erreicht gemessen an den anderen Rasengittersteinböden ein niedriges Aktivitätsniveau. Auch für diesen Indikator zur Kennzeichnung des allgemeinen mikrobiellen Stoffwechsels der Bodenorganismen konnte eine Auswirkung der unterschiedlichen Kfz-Frequentierung nicht statistisch gesichert festgestellt werden.

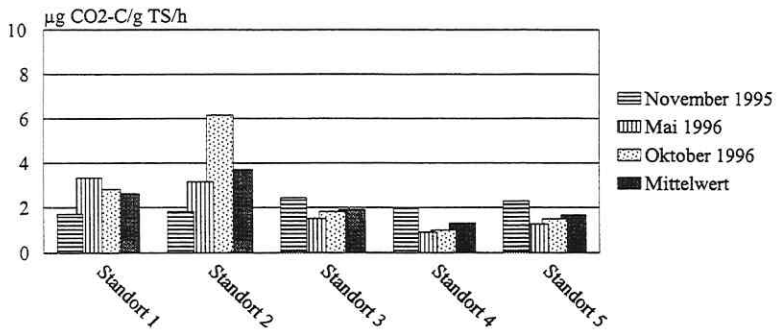


Abb. 36: Basalatmung - Grünflächen

Hinsichtlich der mittleren Werte für die Basalatmung ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Nutzungsform Parkplatz und Grünfläche für die Standorte 3 und 4. Insgesamt verzeichnen die Rasengittersteinböden ein höheres Aktivitätsniveau wie ihre benachbarten un-

versiegelten Böden. Eine Differenzierung innerhalb der untersuchten Grünflächen konnte nicht festgestellt werden. Zur weiteren Charakterisierung der Aktivität der Bodenmikroorganismen ist in Abbildung 37 und 38 die DMSO-Reduktion aufgeführt. Auffallend sind wiederum die niedrigen Werte von Standort 1, die sich im Mittel signifikant von den höheren Werten der Rasengittersteinböden 2, 3 und 4 sowie vom benachbarten unversiegelten Boden unterscheiden. Der Vergleich mit den DMSO-Reduktasen der Grünflächen zeigt, daß die teilversiegelten Flächen 3, 4 und 5 deutlich höhere mittlere Aktivitätswerte aufweisen, die sich für Standort 3 und 4 signifikant absichern lassen. Demgegenüber verfügt die innerstädtische Grünfläche 2 über wesentlich höhere Werte als ihr benachbarter Parkplatz und alle übrigen unversiegelten Böden. Die Standorte 4 und 5 verzeichnen die niedrigsten mittleren Aktivitäten innerhalb der untersuchten Grünflächen, wobei für beide Flächen signifikante Unterschiede zu den Grünflächen 2 und 3 sowie zusätzlich für Standort 5 zur Grünfläche 1 festgestellt wurden.

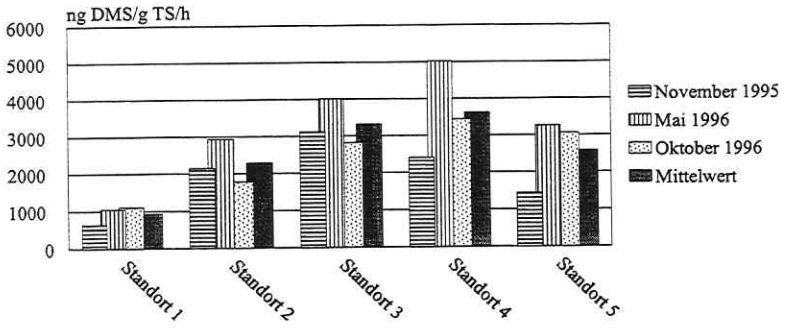


Abb. 37: DMSO-Reduktase - Parkplätze

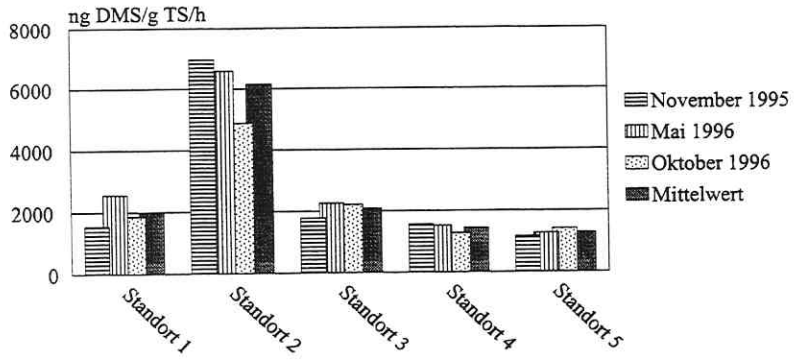


Abb. 38: DMSO-Reduktase - Grünflächen

In Abbildung 39 sind die Ergebnisse für die ß-Glucosidaseaktivität dargestellt, die nur im Oktober 1996 gemessen wurde. Daher konnte kein U-Test durchgeführt werden. Auffällig sind erneut die niedrigen Werte für den jüngsten Rasengittersteinboden (Standort 1). Für die übrigen Parkplatzstandorte lassen sich keine gravierenden Unterschiede hinsichtlich dieses Exoenzym beobachten. Der Vergleich der ß-Glucosidaseaktivität der teilversiegelten Flächen mit ihren benachbarten unversiegelten Standorten erlaubt eine deutliche Nutzungsdifferenzierung für die Flächen 1, 2, 4 und 5. Im Vergleich mit den Grünflächen zeichnen sich die Rasengittersteinböden 4 und 5 durch eine wesentlich höhere bzw. die Standorte 1 und 2 durch eine geringere Aktivität aus.

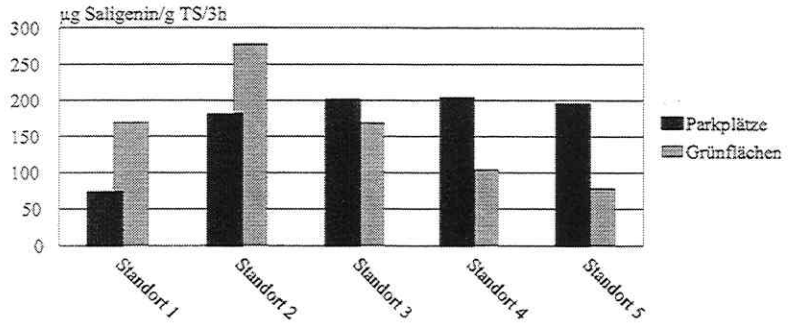


Abb. 39: ß-Glucosidaseaktivität

Der metabolische Quotient als sensitiver Parameter kann zur Kennzeichnung von Entwicklungsstadien und Belastungssituationen von Standorten herangezogen werden. Die Ergebnisse für die Rasengittersteinböden zeigen, daß sowohl Standort 1 aber auch Standort 5 einen verhältnismäßig hohen qCO_2 aufweisen (Abb. 40). Signifikante Unterschiede ergaben sich im Mittel für Standort 5 zu den Standorten 2 und 3.

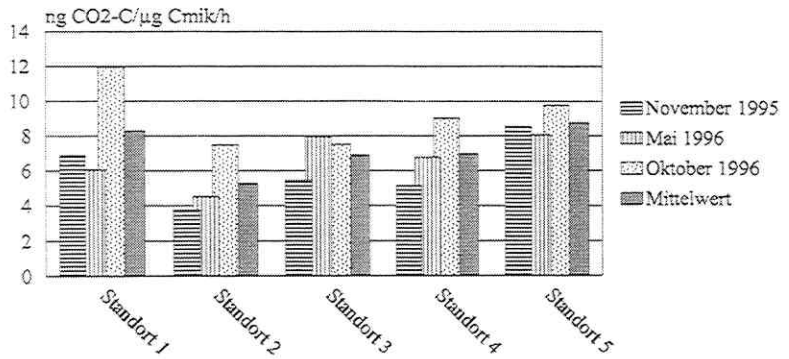


Abb. 40: Metabolischer Quotient - Parkplätze

Der metabolische Quotient läßt aber keine Abstufung hinsichtlich der Nutzungsintensität von den gering zu den stärker frequentierten Parkplätzen erkennen. Gegenüber den teilversiegelten Böden ergeben sich für die unversiegelten Böden (Abb. 41) kleinere Quotienten. Diese Beobachtung läß sich aber nur für die Grünfläche 3 und ihren benachbarten teilversiegelten Boden statistisch abgesichern. Innerhalb der Grünflächen existieren gesicherte Unterschiede zwischen dem höheren qCO_2 des Standorts 5 und den niedrigeren Quotienten der Standorte 3 und 4.

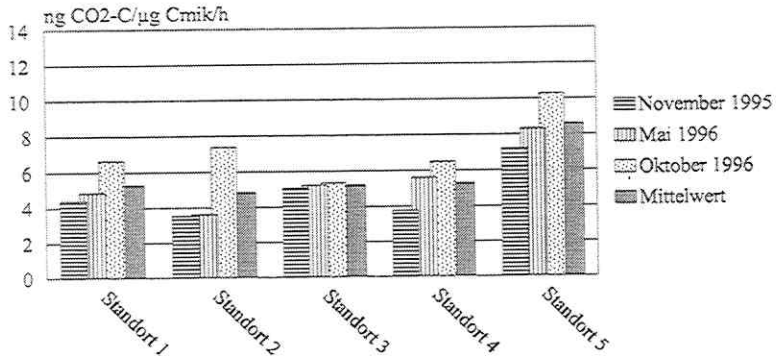


Abb. 41: Metabolischer Quotient - Grünflächen

In Abbildung 42 ist der mikrobielle Kohlenstoff (C_{mic}) auf den organischen Kohlenstoff (C_{org}) bezogen. Die Mikroflora der nur selten genutzten Rasengittersteinböden 4 und 5 zeigt nun deutlich höhere Atmungsaktivitäten gegenüber den stärker frequentierten Standorten 1, 2 und 3. Insbesondere die teilversiegelte Fläche 3 zeichnet sich durch ein besonders niedriges C_{mic}/C_{org}-Verhältnis aus. Aber auch der jüngste Rasengittersteinboden 1 erreicht bei diesem ökophysiologischen Parameter einen verhältnismäßig geringen Wert. Unterschiede, die sich aus der Nutzungsform ergeben, werden vor allem für Standort 3 und 5 sichtbar.

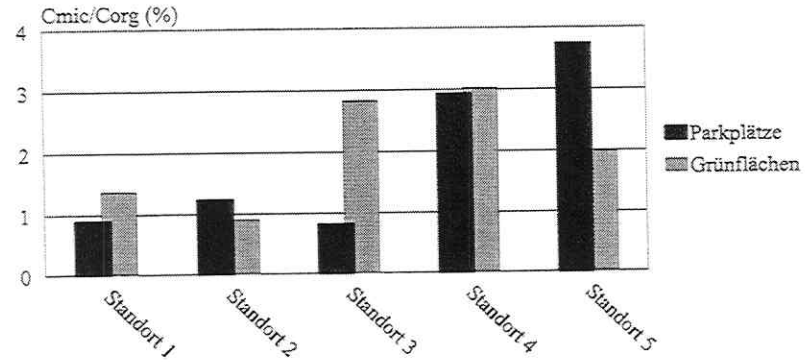


Abb. 42: C_{mic}/C_{org}-Verhältnis

In Abbildung 43 sind für die Untersuchungsflächen die Gruppen der Mikroorganismen in Prozent der Gesamtkeimzahl dargestellt. Da die Bestimmung der Keimzahl immer mit einer hohen Streuung verbunden ist, können die Werte nur als Orientierungswerte angesehen werden. Es zeigt sich aber deutlich, daß in allen untersuchten Böden die Bakterien und die Aktinomyzeten die Träger der mikrobiellen Umsatzleistungen sind. In den schwach sauren Böden ist das Bakterien plus Aktinomyceten/Pilz-Verhältnis sehr groß, so daß von einer intensiven Mineralisation der organischen Substanz in pflanzenverfügbare Stoffe auszugehen ist. Aufgrund der relativ einheitlichen pH-Werte gibt es keine ausschlaggebenden Differenzen im Bakterien/Pilz-Verhältnis für die Böden der unterschiedlichen Nutzungsformen.

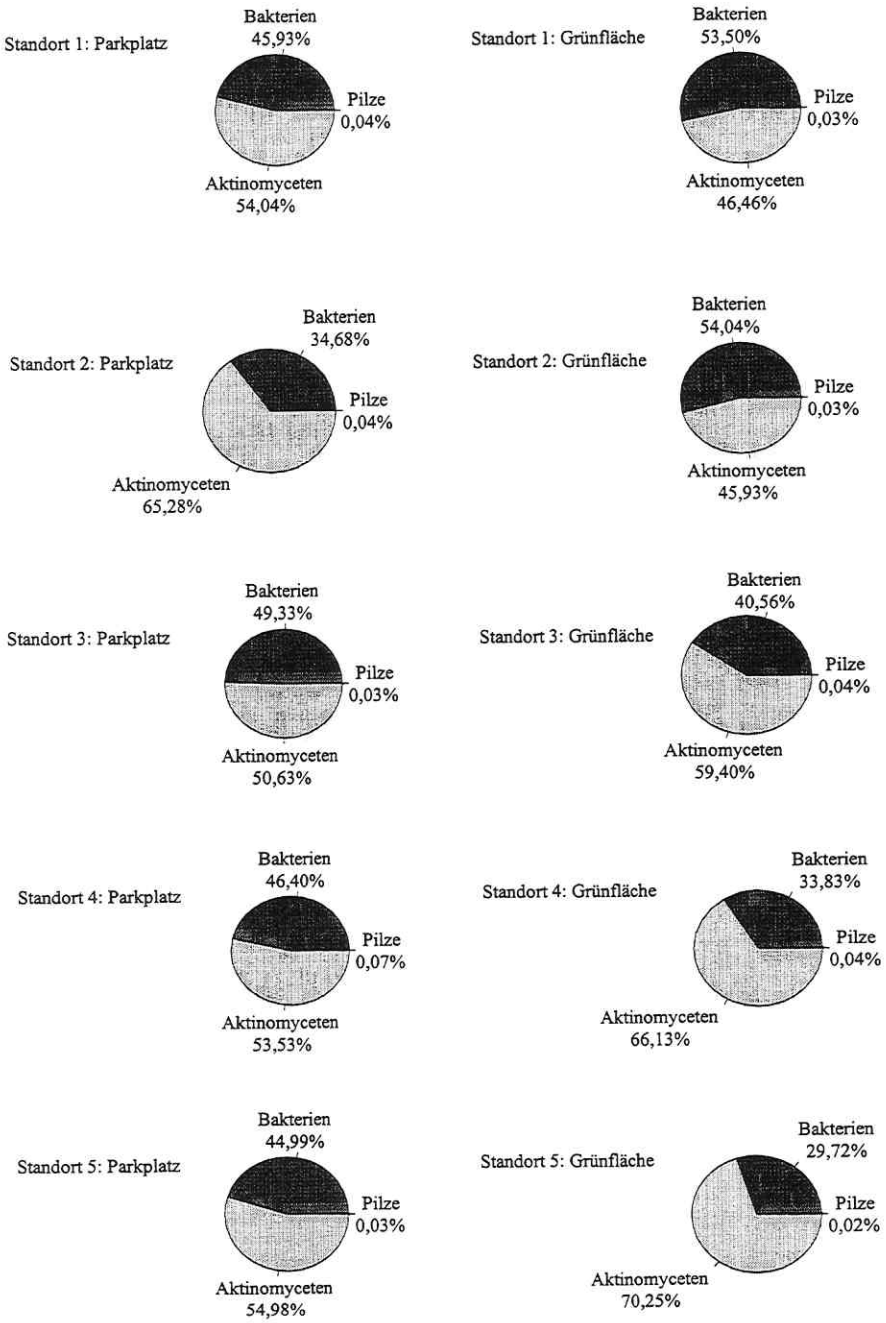


Abb. 43: Gruppen der Mikroorganismen in % der Gesamtkeimzahl

3.3.4 Besiedlungsdichte der Collembolen

Abbildung 44 führt die Besiedlungsdichten der Collembolen für die verschiedenen Rasengittersteinböden auf. Die Abundanzen der Collembolen erreichen im Untersuchungszeitraum Werte zwischen 6188 und 68857 Induviduen/m². Die Werte für die einzelnen Termine variieren dabei stark. Für Standort 1 ergeben sich im Mittel 17555 Individuen/m². Die Abundanzmaxima waren dabei in den Proben vom November 1995 und vom Juli 1996 zu finden. Die Analyse der Proben im September zeigt die geringste Individuendichte mit 9711 Tieren/m². Signifikante Unterschiede in der mittleren Besiedlungsdichte ergeben sich zu den niedrigeren Werten von Standort 3. Standort 2 weist eine mittlere Dichte der Collembolenzönose von 25008 Individuen/m² auf. Hohe Abundanzen mit 53157 Tieren/m² wurden im Juli 1996 erreicht. Für die übrigen Termine schwanken die ermittelten Werte zwischen 13500 und 19375 Individuen/m². Auch Untersuchungsstandort 2 verfügt im Durchschnitt über höhere statistisch abgesicherte Werte als Standort 3.

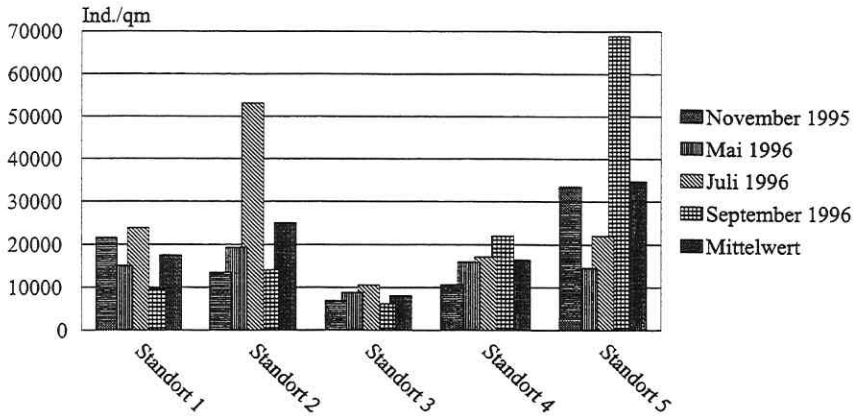


Abb. 44: Abundanzen - Parkpläze

Im gesamten Untersuchungszeitraum werden die niedrigsten Werte für die Besiedlungsdichten der Collembolen vom stärksten frequentierte Parkplatz 3 eingenommen. Damit unterscheidet sich Standort 3 deutlich von den übrigen Flächen. Die Ergebnisse der vier Probennahmen unterliegen einer sehr geringen Schwankung. Die mittlere Abundanz von 8116 Tieren/m² erweist sich dabei im Vergleich zu den anderen Rasengittersteinböden als signifikant geringer. Mit einer mittleren Besiedlungsdichte von 16422 Tieren/m² stellt sich Standort 4 dar. Vom Frühjahr 1996 bis zum Herbst 1996 ist eine leichte Zunahme der Abundanz zu beobachten. Die größte Individuendichte wird im September 1996 erreicht. Für Standort 5 ergibt sich ebenfalls eine Zunahme der Besiedlungsdichte über die vier Untersuchungstermine 1996 mit einem deutlichen Abundanzmaximum im September. Dieser

Standort erzielt mit einer mittleren Abundanz von 34739 Individuen/m² zwar die höchsten Werte, ein signifikanter Unterschied ergibt sich aber nur zu Standort 3.

Die Siedlungsdichten der Collembolen in den fünf unversiegelten Böden zeigt Abbildung 45. Alle mittleren Abundanzen, mit Ausnahme der Werte von Standort 2, erreichen im Vergleich zu den Rasengittersteinböden geringere Werte. Diese Beobachtung läßt sich aber nur für Standort 4 statistisch absichern. Auch die Grünflächen lassen keinen einheitlichen Trend in den Besiedlungsdichten für die vier Untersuchungstermine im Jahr 1996 erkennen. Während sich für Standort 1, 3 und 4 eine Abnahme der Abundanzen zeigt, ergibt sich bei Standort 5 eine eindeutige Zunahme. Besonders zahlreich war die innerstädtische Grünfläche 2 von Collembolen besiedelt. Im November 1995 und im September 1996 wurde ungefähr eine dreimal höhere Collembolendichte als im Mai und Juli 1996 festgestellt. Grünfläche 4 verzeichnet die geringsten mittleren Individuen/m². Ein signifikanter Unterschied besteht zu den Untersuchungsflächen 1 und 2.

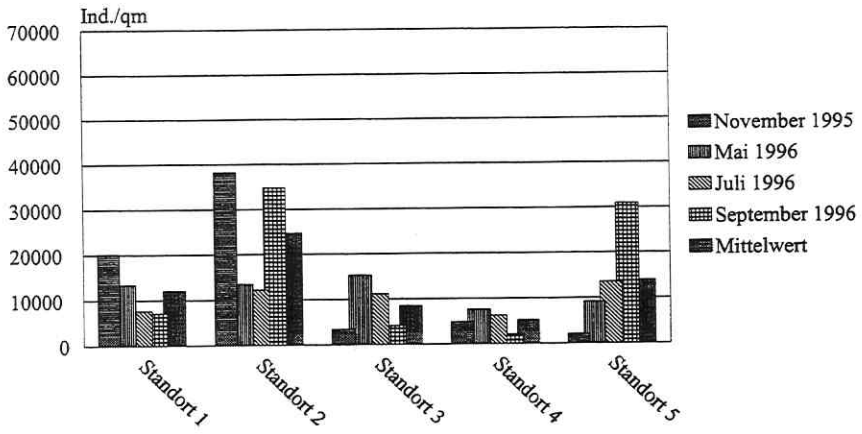


Abb. 45: Abundanzen - Grünflächen

3.3.5 Schadstoffbelastung

Nachfolgend wird auf die Belastung der Standorte mit ausgewählten Schadstoffen eingegangen. Dies sind die Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW), die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) und die Schwermetalle. Bevor die Ergebnisse näher vorgestellt werden, sind in Abbildung 46 die Resultate des Leuchtbakterientests aufgeführt. Dieser aquatische Biotest, der ursprünglich für Wasseruntersuchungen konzipiert wurde, wird in der Praxis in angepaßter Form auch für die Untersuchung von kontaminierten Böden eingesetzt. Als Bewertungskriterium dient die Hemmung der Leuchtkraft von Bakterien. Hemmungswerte über 20 % gelten als ein Indiz für eine Schadstoffbelastung (DR. LANGE, 1993). Dieser Grenzwert wird von fast allen untersuchten Bodenproben überschritten. Die höchste Biolumineszenshemmung mit 36 % zeigt der Boden der Grünfläche 1. Für Standort 2, 4 und 5 ergeben sich für beide Nutzungsformen identische Werte, die aber nur für Standort 5 deutlich über 20 % liegen. Unterhalb dieses Wertes liegen die Testergebnisse bei Standorte 1 und 3.

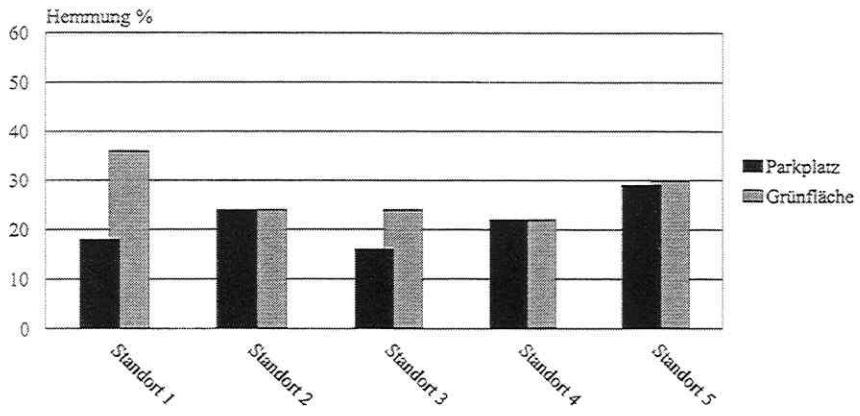


Abb. 46: Leuchtbakterientest

Die Konzentrationen an Mineralölkohlenwasserstoffen sind in Abbildung 47 dargestellt. In 0-5 cm Tiefe werden Werte von 26 - 271 mg/kg in den Rasengittersteinböden und 17 - 43 mg/kg in den unversiegelten Böden erreicht. Besonders auffällig bezüglich der MKW-Gehalte ist der Rasengittersteinboden von Standort 3. Dieser am stärksten genutzte Parkplatz hat 5 mal so hohe Werte wie die anderen teilversiegelten Flächen und hebt sich deutlich von seiner benachbarten Grünfläche ab. Die übrigen Oberböden der Rasengittersteinparkplätze weisen untereinander vergleichbar niedrige Gehalte an Mineralölkohlenwasserstoffen auf. Die Gehaltsunterschiede zwischen den Rasengittersteinböden und den unversiegelten Böden sind sehr gering. Die teilversiegelten Standorte 2, 4 und 5 verfügen nur über unwesentlich höhere Werte an MKW als ihre Nachbarflächen. Allein für Standort 1 ergibt sich eine umgekehrte Schadstoffkonzentration.

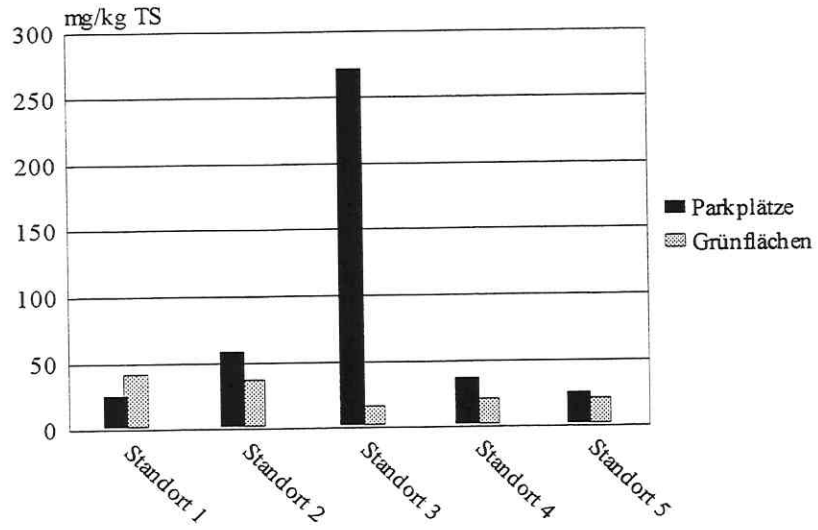


Abb. 47: Mineralölkohlenwasserstoffe

In Abbildung 48 sind die Summen der PAK aus der EPA-Prioritätenliste (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1982) ohne Acenaphtylen dargestellt. Es zeigt sich, daß nicht einer der Rasengittersteinböden die höchsten Gehalte an PAK aufweist, sondern die Grünfläche 1. Hier wird ein Summenwert von 8 mg/kg erreicht. Ferner weist die Grünfläche 2 mit 5 mg/kg einen erhöhten Wert für die 15 untersuchten PAK auf. Auch der unversiegelte Boden von Standort 5 zeigt mit ca. 2 mg/kg einen doppelt so hohen Summenwert an als sein benachbarter Parkplatz. Demgegenüber zeichnen sich die Rasengittersteinböden von Standort 3 und 4 durch höhere PAK-Gehalte wie ihre Nachbarflächen aus. Von allen untersuchten Böden wurde für den jüngsten Parkplatzboden 1 der niedrigste Wert mit 0.2 mg/kg gemessen.

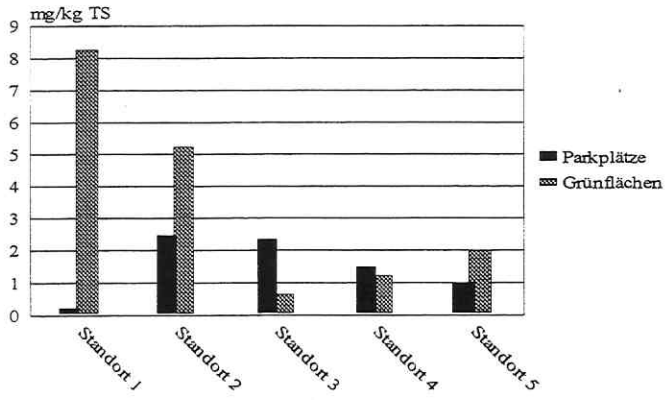


Abb. 48: Summe der PAK aus der EPA-Prioritätenliste (ohne Acenaphtylen)

Abbildung 49 stellt als Bewertungsgrundlage die Summen der zehn PAK des Niederländischen Leitfadens zur Bodenbewertung und Bodensanierung (ANONYM, 1994) dar. Auch für diese 10 PAK ergibt sich ein ähnliches Verteilungsmuster wie für die PAK der EPA-Liste.

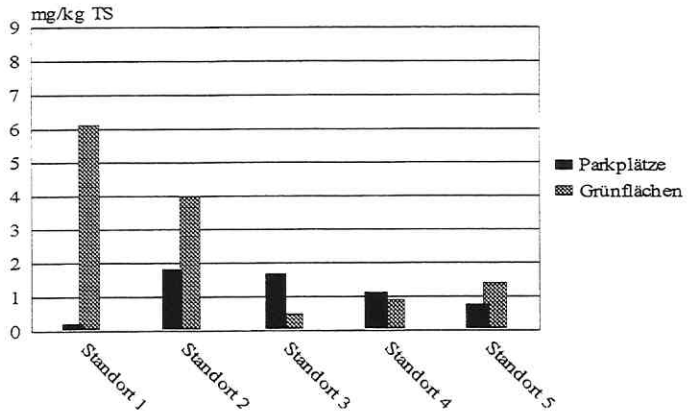


Abb. 49: Summe der PAK nach dem Niederländischen Leitfaden zur Bodenbewertung und Bodensanierung

In Abbildung 50 sind für Benzo(a)pyren (BaP) die ermittelten Werte aufgeführt. Es zeigt sich, daß erneut der unversiegelte Boden von Standort 2 die höchsten Gehalte an diesem Leitparameter für die PAK aufweist. Der benachbarte jüngste Rasengittersteinparkplatz läßt die niedrigste Belastung erkennen. Auffällig ist, daß für den am stärksten frequentierten Parkplatz (Standort 3) kein BaP nachgewiesen werden konnte. Auch die Werte für die übrigen untersuchten PAK mit 5 und mehr Ringen lagen unter der Nachweisgrenze. Abbildung 51 zeigt die Gehalte an Fluoranthen (FA), daß in den hier untersuchten Böden quantitativ am stärksten vertreten ist. Die FA- Konzentrationen reichen in den Böden der Parkplätze von 0.05 bis 0.6 mg/kg. Der Wert für Grünfläche 1 liegt um ein Vielfaches über den Gehalt an Fluoranthen des teilversiegelten Bodens. Auch die innerstädtische Grünfläche (Standort 2) setzt sich noch deutlich mit 1.5 mg/kg vom benachbarten Parkplatz und den übrigen unversiegelten Böden ab.

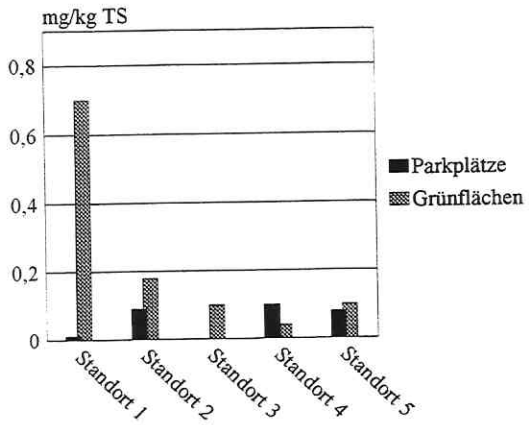


Abb. 50: Benzo(a)-pyren Gehalte

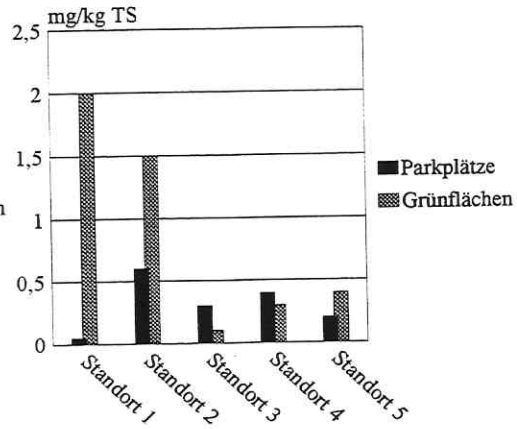


Abb. 51: Fluoranthen Gehalte

Als weitere potentielle Schadstoffgruppe sind in Abbildung 52 die königswasserlöslichen Schwermetallgehalte aufgeführt. Von den Kfz-relevanten Schwermetallen verzeichnet der Rasengittersteinboden mit der größten Nutzungsintensität (Standort 3) im Vergleich zu den übrigen Parkplätzen und der benachbarten Grünfläche merklich erhöhte Werte an Blei (Pb), Cadmium (Cd), Zink (Zn) und Kupfer (Cu). Die geringsten Gehalte an diesen Elementen weist der jüngste Rasengittersteinboden (Standort 1) auf. Für die Schwermetalle Chrom (Cr) und Nickel (Ni) ist ein Unterschied zwischen den geringeren Gehalten der teilversiegelten Flächen 4 und 5 zu den höheren Gehalten der übrigen Flächen zu beobachten. Die unversiegelten Böden der untersuchten Standorte, ausgenommen Standort 1, verfügen über höhere Cr- und Ni-Gehalte als die Parkplatzböden. Die innerstädtische Grünfläche 2 läßt gegenüber ihrer benachbarten teilversiegelten Fläche höhere Pb- und Zn-Gehalte erkennen. Die Verteilung der übrigen Schwermetalle variiert nicht so eindeutig. Ebenso verhält es sich bei den nicht so häufig genutzten Parkplätzen 4 und 5 für die Konzentrationen an Cr, Ni, Cd und Pb, die sich auf einem annähernd gleichen Niveau befinden wie die der Grünflächen. Auffällig ist der sehr hohen Cu-Gehalt von 238 mg/kg des unversiegelten Bodens von Standort 5, der alle Werte der anderen Standorte übertrifft.

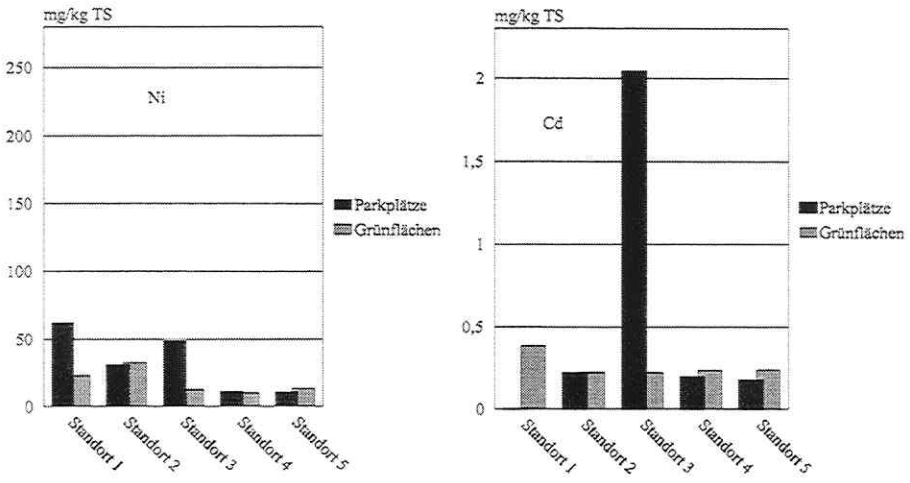
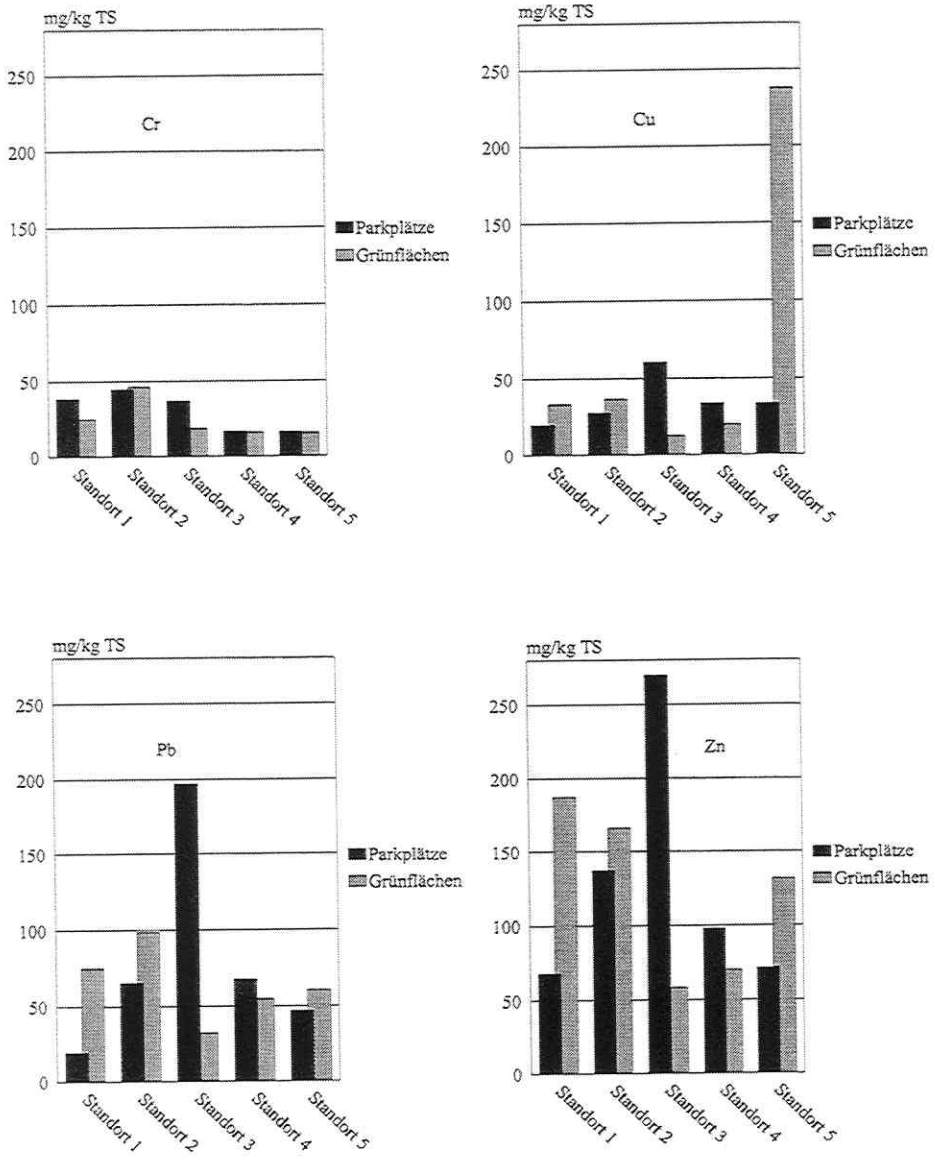


Abb. 52: Königswasserlösliche Schwermetallgehalte



Fortsetzung Abb. 52: Königwasserlösliche Schwermetallgehalte

Die mobilen Schwermetallgehalte wurden mittels einer Ammoniumnitratextraktion bestimmt. In Abbildung 53 sind für ausgewählte Schwermetalle diese Anteile dargestellt. Nicht aufgeführt sind die mobilen Cr- und Pb-Fraktionen, da sich alle Cr-Werte unterhalb der Nachweisgrenze bzw. Pb-Werte unter 0.01 mg/kg befanden. Für die Rasengittersteinböden liegen die mobilen Cu-Gehalte zwischen 0.03 und 0.3 mg/kg. Das mobile Zn erreicht Werte von 0.01 bis 0.3 mg/kg. Die Konzentrationsbereiche für Ni schwanken zwischen 0.01 und 0.07 mg/kg. Werte zwischen 0.001 und 0.01 mg/kg verzeichnet das mobile Cd. Abgesehen von den Cu-Gehalten wird das jeweilige Maximum der oben genannten Werte von Standort 3 erreicht. Die Minima an den mobilen Schwermetallen können, ausgenommen der Ni-Gehalte, dem jüngsten Rasengittersteinboden (Standort 1) zugewiesen werden.

Von den unversiegelten Böden zeigen überwiegend Grünfläche 1 und 2 die höchsten Konzentrationen von mobilen Schwermetallen, die sich auch von den Gehalten ihrer benachbarten teilversiegelten Böden absetzen. Hiervon ausgenommen sind die Ergebnisse für das Schwermetall Kupfer. Grünfläche 5 verzeichnet von allen untersuchten Flächen für dieses Element die höchsten mobilen Anteile mit 0.5 mg/kg. Zudem liegen für diesen Standort und ebenso für Untersuchungsfläche 4 die Ni- und Cd-Werte der unterschiedlichen Nutzungstypen annähert auf dem gleichen Niveau. Demgegenüber sind die Konzentrationen an den mobilen Zn-Anteilen in den versiegelten Böden höher.

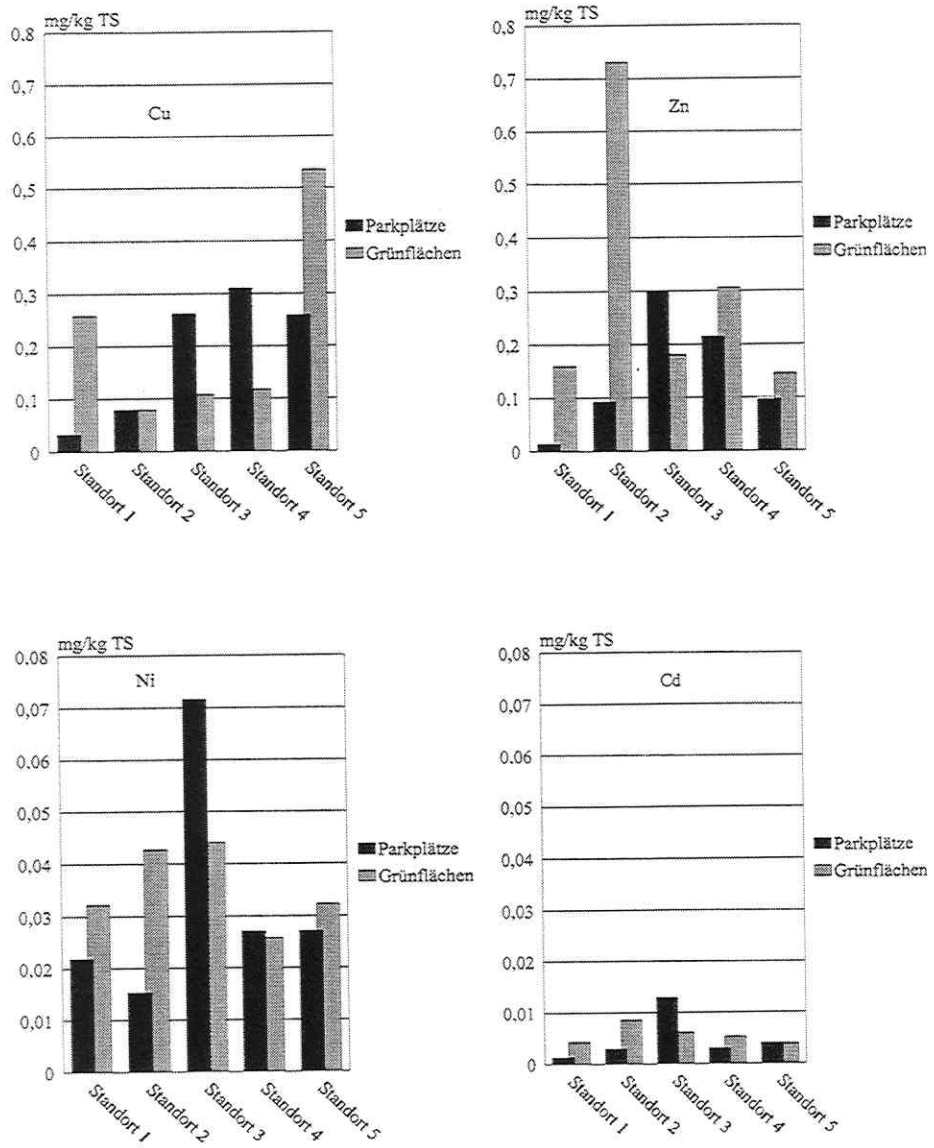


Abb. 53: Ammoniumnitratextrahierbare Schwermetalle

3.3.6 Zusammenhänge zwischen den Parametern

Zur weiteren Charakterisierung der untersuchten Standorte sind in den folgenden Tabellen die SPEARMAN-Rangkorrelationskoeffizienten aufgeführt. Dabei werden sowohl die Rasengittersteine als auch die unversiegelten Böden betrachtet. Die mikrobiologischen Parameter der Rasengittersteine stehen in keinen signifikanten Beziehungen zu den ausgewählten bodenchemischen Kenngrößen. Es lassen sich aber hohe positive bzw. negative Korrelationskoeffizienten für die mikrobielle Biomasse und die DMSO-Reduktase mit der organischen Substanz, dem Gesamtstickstoffgehalt bzw. dem pH-Wert und dem C/N-Verhältnis aufzeigen. Für die Basalatmung kann ein enger negativer Zusammenhang mit dem pH-Wert festgestellt werden. Keine signifikanten Zusammenhänge bestehen zwischen der Besiedlungsdichte der Collembolen und den aufgeführten Parametern. Es zeigen sich aber, daß die Abundanz der Bodentiere mit steigendem C_{org}- und N_t-Gehalt abnimmt und mit zunehmenden C/N-Verhältnis ansteigt.

Tab. 40: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für ausgewählte Parameter der Rasengittersteinböden

	pH-Wert	C_{org}	N_t	C/N
Basalatmung	-0.9000	+0.1000	+0.1000	-0.3000
Mikrobielle Biomasse	-0.7000	+0.7000	+0.7000	-0.9000
DMSO-Reduktase	-0.7000	+0.7000	+0.7000	-0.9000
qCO_2	-0.2000	- 0.2000	- 0.2000	+0.6000
Abundanz Collembolen	+0.0296	-0.7383	-0.7383	+0.6271

n = 5 Signifikanzniveau: * - 0.01 ** - .001

Demgegenüber förderd eine Zunahme der Humus- und Stickstoffgehalte in den unversiegelten Böden (Tab. 41) die Abundanz der Collembolen. Für die mikrobiologischen Kenngrößen ergeben sich enge positive Korrelationen zum Gesamtstickstoff. Diese sind außer für die Basalatmung signifikant. Der metabolische Quotient steht, wie auch die anderen Parameter, in enger Beziehung zum C_{org}-Gehalt, die mit einem negativen Korrelationskoeffizienten von 1.0000 hoch signifikant ist.

Tab. 41: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für ausgewählte Parameter der unversiegelten Böden

	pH-Wert	C_{org}	N_t	C/N
Basalatmung	+0.4104	+0.6000	+0.7182	-0.6000
Mikrobielle Biomasse	+0.3591	+0.9000	**+0.9747***	-0.9000
DMSO-Reduktase	+0.3591	+0.9000	**+0.9747***	-0.9000
qCO_2	-0.2052	**- 1.0000****	**+0.9747***	+0.9000
Abundanz Collembolen	+0.5967	+0.9075	**+0.9239**	-0.7232

n = 5 Signifikanzniveau: * - 0.01 ** - .001

Hingegen besteht zum C/N-Verhältnis ein hoher positiver Zusammenhang. Die übrigen Parameter weisen enge negative Beziehungen zum C/N-Verhältnis auf. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Rasengittersteinböden lassen die Basalatmung, die mikrobielle Biomasse und die DMSO-Reduktase einen schwach positiven Zusammenhang mit dem pH-Wert erkennen.

In Tabelle 42 sind die Rangkorrelationskoeffizienten für die mikrobiellen Parameter untereinander aufgeführt. Darüber hinaus zeigt die Tabelle, ob Beziehungen zur Nutzungsintensität, zur Vegetationsbedeckung und zur Trockenrohdichte bestehen.

Tab. 42: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die mikrobiellen Parameter der Rasengittersteinböden über alle Untersuchungstermine

	Basalatmung	Mikrobielle Biomasse	DMSO-Reduktase	qCO_2	ß-Glucosidase
Basalatmung	+1.0000				
Mikrobielle Biomasse	**+0.7821****	+1.0000			
DMSO-Reduktase	**+0.7714****	**+0.6929***	+1.0000		
qCO_2	+0.3571	+0.0286	-0.0036	+1.0000	
ß-Glucosidase	+0.5754.	+0.4914	+0.9037	-0.2744	+1.000
Nutzungsintensität	-0.3335	-0.3738	-0.0978	-0.2703	-0.2635
Vegetationsbedeckung	+0.3335	+0.3738	+0.0978	+0.2703	+0.2635
Trockenrohdichte	-0.5883	-0.5686	-0.4789	-0.0969	-0.7986

n = 15 (außer für ß-Glucosidase n = 5) Signifikanzniveau: * - 0.01 ** - .001

Zwischen der Basalatmung und der mikrobielle Biomasse sowie den übrigen bodenbiologischen Parametern bestehen positive Zusammenhänge, die sowohl untereinander als auch zur DMSO-Reduktase hoch signifikant sind. Die ß-Glucosidase-Aktivität zeigt enge, wenn auch nicht signifikant positive Beziehungen zur DMSO-Reduktase. Der metabolische Quotient läßt keine Beziehungen zu den übrigen Parametern erkennen. Die Nutzungsintensität übt keinen signifikanten Einfluß auf die mikrobiellen Aktivitäten aus, zeigt aber für alle Parameter einen negativen Korrelationskoeffizienten. Folglich weisen die Korrelationskoeffizienten für die Vegetationsbedeckung positive Vorzeichen auf. Negative Korrelationen ergeben sich mit der Trockenrohdichte.

Überwiegend signifikant positiv fielen die Korrelationen der mikrobiologischen Parameter der unversiegelten Böden (Tab. 43) aus. Eine Ausnahme stellt der metabolische Quotient dar. Dieser sinkt insbesondere signifikant mit steigender mikrobieller Biomasse. Wie auch bei den Rasengittersteinböden, so sind die Beziehungen der mikrobiellen Kenngrößen zur Trockenrohdichte negativ. Ein signifikanter Einfluß konnte aber nur zur DMSO-Reduktase festgestellt werden.

Tab. 43: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die mikrobiellen Parameter der unversiegelten Böden über alle Untersuchungstermine

	Basalatmung	Mikrobielle Biomasse	DMSO-Reduktase	qCO_2	ß-Glucosidase
Basalatmung	+1.0000				
Mikrobielle Biomasse	**+0.8615****	+1.0000			
DMSO-Reduktase	**+0.5952***	**+0.7607****	+1.0000		
qCO_2	-0.2377	**- 0.6179***	-0.5714	+1.0000	
ß-Glucosidase	**+0.9347***	**+0.9885****	+0.8773	-0.1756	+1.000
Trockenrohdichte	-0.4580	-0.4808	**-0.7167***	-0.1501	-0.9275

n = 15 (außer für ß-Glucosidase n = 5) Signifikanzniveau: * - 0.01 ** - .001

Die Rasengittersteinböden (Tab. 44) verzeichnen einen signifikanten Rückgang der Abundanzen der Collembolen bei einer Steigerung der Nutzungsintensität. Dementsprechend steigen die Abundanzen mit zunehmender Vegetationsbedeckung. Zur Trockenrohdichte lassen sich keine Beziehungen erkennen. Demgegenüber erhöht sich für die unversiegelten Böden die Anzahl der Collembolen pro Quadratmeter signifikant mit einer Verringerung der Trockenrohdichte.

Tab. 44: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die Abundanzen der Collembolen mit ausgewählten Parametern über alle Untersuchungstermine

	Abundanz Collembolen Rasengittersteine (n=20)	Abundanz Collembolen unversiegelte Böden (n=20)
Trockenrohdichte	+0.0026	**-0.6464***
Nutzungsintensität	**-0.5981***	-
Vegetationsdichte	**+0.5981***	-

Signifikanzniveau: * - 0.01 ** - .001

Ob eine Beziehung zwischen der Besiedlungsdichte der Collembolen und den mikrobiellen Kenngrößen besteht, kann Tabelle 45 entnommen werden. Es wird deutlich, daß kein signifikanter Zusammenhang besteht. Sowohl bei der Berechnung für die Rasengittersteinböden als auch für die unversiegelten Böden lassen sich keine Beziehungen erkennen. Der höchste Rangkorrelationskoeffizienten von 0.5 wird zwischen der DMSO-Reduktase und der Abundanz der Collembolen für die unversiegelten Böden erzielt.

Tab. 45: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die Abundanzen der Collembolen mit mikrobiellen Parametern über alle Untersuchungstermine

	Abundanz Collembolen Rasengittersteine (n=15)	Abundanz Collembolen unversiegelte Böden (n=15)
Basalatmung	+0.1071	+0.0804
Mikrobielle Biomasse	+0.2000	+0.2143
DMSO-Reduktase	-0.1250	+0.5607
qCO_2	+0.2500	-0.1429
ß-Glucosidase	+0.3207	+0.1756

(ß-Glucosidase n = 5 bzw. n= 10) Signifikanzniveau: * - 0.01 ** - .001

Im Folgenden wird untersucht, ob Beziehungen zwischen den mikrobiellen Kenngrößen, der Abundanz der Collembolen sowie ausgewählten zusätzlichen Parametern mit den Schadstoffgehalten bestehen. Für die Rasengittersteinböden (Tab. 46) zeigen die mikrobielle Biomasse und die DMSO-Reduktase überwiegend positive Beziehungen zu den Schadstoffen. Diese erreichen für die Summe der PAK mittlere und für die Schwermetalle Cd, Cu, Pb und Zn hohe positive Korrelationskoeffizienten. Es werden aber keine signifikanten Zusammenhänge erzielt. Zu den Mineralölkohlenwasserstoffe und den Schwermetallen Cr und Ni ergeben sich nur niedrige positive bzw. negative Koeffizienten. Zwischen der Basalatmung und der Summe der PAK ergibt sich keine Beziehung bzw. zu den MKW ein negativer Korrelationskoeffizient von 0.6. Hohe positive Zusammenhänge bestehen zwischen der Basalatmung und den Cr- und Ni-Gehalten der Böden. Der qCO_2 steigt überwiegend mit Abnahme der Schadstoffgehalte. Es werden aber nur hohe Korrelationskoeffizienten zum Cd- und Cr-Gehalt erreicht. Für die Abundanz der Collembolen ergeben sich keine signifikanten Korrelationen zu den verschiedenen Schadstoffgruppen. Es zeigt sich aber, daß die Besiedlungsdichte mit sinkenden Schadstoffgehalten zunimmt. Hohe negative Korrelationskoeffizienten werden mit den MKW-, Cd-, Pb- und Zn-Gehalten erzielt. Für den organischen Kohlenstoff und den Stickstoff ergeben sich hoch signifikant positive Beziehungen zum Cd- und Zn-Gehalt sowie hohe positive Korrelationskoeffizienten zur Summe der PAK und den Schwermetallen Kupfer und Blei. Überhaupt keine Zusammenhänge lassen sich zum Nickel herstellen und nur sehr geringe zum Chrom. Zwischen den Mineralölkohlenwasserstoffen und den Kohlenstoff- sowie den Stickstoffgehalt ergibt sich ein mittlerer positiver bzw. negativer Korrelationskoeffizient von 0.5.

Tab. 46: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die Summe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (SumPAK), für die Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) und für die königswasserlöslichen Schwermetalle mit ausgewählten Parameter der Rasengittersteinböden

	SumPAK	MKW	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Basalatmung	+0.0000	-0.6669	+0.1000	-0.9000	+0.6000	-0.9000	+0.3000	+0.1000
Mikrobielle Biomasse	+0.6000	+0.1026	+0.7000	-0.2000	+0.8000	-0.3000	+0.9000	+0.7000
DMSO-Reduktase	+0.6000	+0.1026	+0.7000	-0.2000	+0.8000	-0.3000	+0.9000	+0.7000
qCO_2	-0.5000	-0.2052	-0.7000	-0.7000	+0.3000	-0.2000	-0.1000	-0.2000
Abundanz Collembolen	-0.6398	- 0.7091	-0.7383	-0.4333	-0.4825	-0.4107	-0.7813	-0.7383
pH-Wert	-0.1000	+0.5643	-0.2000	+0.8000	-0.7000	+0.8000	-0.5000	-0.2000
C_{org}	+0.9000	+0.5643	**+1.0000****	+0.2000	+0.7000	0.0000	+0.9000	**+1.0000****
Nt	+0.9000	-0.5643	**+1.0000****	+0.2000	+0.7000	0.0000	+0.9000	**+1.0000****
Nutzungsintensität	+0.3689	**+0.9733***	+0.5270	+0.6325	+0.1054	+0.7906	+0.3162	+0.5270
Vegetationsdichte	-0.3689	**-0.9733***	-0.5270	-0.6325	-0.1054	-0.7906	-0.3162	-0.5270

n = 5 Signifikanzniveau: * - 0.01 ** - .001

Mit steigender Nutzungsintensität nehmen auch die Schadstoffgehalte zu. Eine hoch signifikante Beziehung konnte aber nur zu den Mineralölkohlenwasserstoffe belegt werden.

Demzufolge sinkt der Schadstoffgehalt mit zunehmender Vegetationsbedeckung, wobei hoch signifikante Zusammenhänge zu den MKW bestehen. In Tabelle 47 sind die Korrelationskoeffizienten für die mobilen Schwermetalle mit ausgewählten Parametern aufgeführt. Dieser ist zu entnehmen, daß keine signifikanten Beziehungen vorhanden sind. Es ergeben sich aber überwiegend hohe positive Korrelationskoeffizienten mit den mikrobiologischen Kenngrößen. Die Besiedlungsdichte der Collembolen zeigt für alle mobilen Schwermetalle negative Korrelationskoeffizienten. Ebenfalls hohe Korrelationskoeffizienten verzeichnen die chemischen Kenngrößen. Die Nutzungsintensität und die Vegetationsbedeckung stehen in keinem Zusammenhang zu den leichtverfügbaren Schwermetallen.

Tab. 47: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die mobilen Schwermetalle mit ausgewählten Parametern der Rasengittersteinböden

	Cd-mobil	Cu-mobil	Ni-mobil	Pb-mobil	Zn-mobil
Basalatmung	+0.7000	+0.7000	+0.5643	+0.6000	+0.6000
Mikrobielle Biomasse	+0.5000	+0.9000	+0.4617	+0.8000	+0.8000
DMSO-Reduktase	+0.5000	+0.9000	+0.4617	+0.8000	+0.8000
qCO_2	+0.6000	+0.1000	+0.6669	+0.3000	+0.3000
Abundanz Collembolen	-0.1409	-0.4269	-0.1954	-0.4825	-0.4825
pH-Wert	-0.6000	-0.9000	-0.5643	-0.7000	-0.7000
C_{org}	+0.6000	+0.5000	+0.3591	+ 0.7000	+0.7000
Nt	+0.6000	+0.5000	+0.3591	+0.7000	+0.7000
Nutzungsintensität	+0.1054	-0.2635	+0.1081	+0.1054	+0.1054
Vegetationsbedeckung	-0.1054	+0.2635	-0.1081	-0.1054	-0.1054

n = 5 Signifikanzniveau: * - 0.01 ** - .001

Tabelle 48 zeigt für die unversiegelten Böden vorherrschend positive große bis hoch signifikante Beziehungen zwischen den ausgewählten Parametern und den Schwermetallen Cr und Ni.

Tab. 48: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die Summe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (SumPAK), für die Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) und für die königswasserlöslichen Schwermetalle mit ausgewählten Parameter der unversiegelten Böden

	SumPAK	MKW	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Basalatmung	+0.7000	-0.6000	+0.2000	+08000	+0.1000	+0.8000	+0.6000	+0.7000
Mikrobielle Biomasse	+0.5000	-0.6000	-0.2000	**+1.0000****	-0.1000	+0.7000	+0.6000	+0.5000
DMSO-Reduktase	+0.5000	-0.6000	-0.2000	**+1.0000****	-0.1000	+0.7000	+0.9000	+0.6000
qCO_2	-0.6000	+0.2000	0.0000	-0.9000	0.0000	-0.6000	-0.7000	-0.6000
Abundanz Collembolen	-0.6809	-0.3404	-0.0282	+ 0.8934	+0.3122	+0.8511	+0.8652	+0.6809
pH-Wert	+0.4104	-0.4104	-0.1026	+0.3591	+0.7182	+0.8208	+0.6669	+0.4104
Corg	+0.6000	-0.2000	0.0000	+0.9000	0.0000	+0.6000	+0.7000	+0.6000
Nt	+0.5643	-0.4104	-0.1026	**+0.9747****	-0.0513	+0.6669	+0.6669	+0.5643

n = 5 Signifikanzniveau: * - 0.01 ** - .001

Die Basalatmung zeigt eine negative Beziehung zu den Mineralölkohlenwasserstoffen, aber einen hohen positiven Zusammenhang zur Summe der PAK. Die mikrobielle Biomasse und die DMSO-Reduktase weisen ebenfalls negative Beziehungen zu der Stoffgruppe der MKW auf sowie mittlere Korrelationskoeffizienten von 0.5 zu den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen. Im Unterschied zu den teilversiegelten Böden besteht nur ein schwacher negativer Zusammenhang zu den Cd- und Cu-Gehalten der Böden. Für die Dichte der Collembolen ergeben sich mit Ausnahme des Cd positive Korrelationen zu den Schwermetallen, wobei hohe positive Korrelationskoeffizienten für Cr, Ni und Pb erzielt werden. Zwischen den organischen Schadstoffen und der Abundanz der Collembolen fallen die Koeffizienten negativ aus. Die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte weisen hohe signifikante Zusammenhänge zu den Cr- und Ni-Gehalten der Böden auf.

Tabelle 49 verzeichnet für die unversiegelten Böden hohe positive bzw. negative Korrelationskoeffizienten zwischen der mikrobiellen Biomasse sowie der DMSO-Reduktase und den mobilen Cd- bzw. mobilen Cu-Gehalten. Die Abundanz der Collembolen korreliert positiv mit den leichtverfügbaren Schwermetallen. Eine Ausnahme stellt die negative Beziehung zum Kupfer dar. Korrelationskoeffizienten um 0.6 kennzeichnen den Zusammenhang zwischen den mobilen Schwermetallanteilen und dem Corg- sowie N_t-Gehalten der Böden.

Tab. 49: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für die mobilen Schwermetalle mit ausgewählten Parametern für die unversiegelten Böden

	Cd-mobil	Cu-mobil	Ni-mobil	Pb-mobil	Zn-mobil
Basalatmung	+0.2000	-0.2000	+0.4617	-0.2000	0.0000
Mikrobielle Biomasse	+0.7000	-0.7000	+0.4617	+0.2000	+0.6000
DMSO-Reduktase	+0.7000	-0.7000	+0.4617	+0.2000	+0.6000
qCO_2	-0.6000	+0.6000	-0.0513	-0.6000	-0.7000
Abundanz Collembolen	+0.5671	-0.5671	+0.2547	+0.3969	+0.5812
pH-Wert	+0.2052	-0.2052	+0.5000	-0.2052	+0.0513
C_{org}	+0.6000	-0.6000	+0.0513	+ 0.6000	+0.7000
Nt	+0.6669	-0.6669	+0.2632	+0.4104	+0.6669

n = 5 Signifikanzniveau: * - 0.01 ** - .001

Zum Abschluß dieses Kapitels soll noch einmal auf den durchgeführten Leuchtbakterientest eingegangen werden. Für die Mehrzahl der verschiedenen Schwermetalle ergaben sich keine signifikanten Beziehungen oder hohe Korrelationskoeffizienten zu den Ergebnissen des Leuchtbakterientests. In Tabelle 50 sind die Korrelationskoeffizienten für die Hemmungswerte des Biotests mit den untersuchten organischen Stoffgruppen aufgeführt. Der Leuchtbakterientest reagiert nicht positiv auf die Mineralölkohlenwasserstoffe im Boden. Die Rasengittersteinböden zeigen sogar einen deutlich negativen Zusammenhang zwischen den Hemmungswerten und den MKW. Anders verhält es sich bei der Wirkung der PAK auf den Biotest. Die Korrelationskoeffizienten zwischen der Summe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe und den Resultaten des Tests ergeben noch keine signifikanten positiven Beziehungen. Für die unversiegelten Böden weist aber eine Korrelation von 0.7 auf eine Zunahme der Hemmungswerte mit Erhöhung der PAK-Gehalte hin. Signifikante Korrelationskoeffizienten treten auf, wenn nicht die Summe der PAK sondern einzelne Substanzen betrachtet werden.

Tab. 50: SPEARMANN-Korrelationskoeffizienten für den Leuchtbakterientest mit ausgewählten Schadstoffen

	MKW	SumPAK	Ace-naphthen	Benzo(b)-fluranthen	Benzo(k)-fluranthen	Benzo(a)-pyren
Leuchtbakterientest alle Böden	-0.3343	+0.3440	**+0.7531***	**+0.7263***	**+0.7733***	**+0.7968***
Leuchtbakterientest unversiegelten Böden	+0.0549	+0.7135	+0.8232	+0.7135	+0.7135	+0.8781
Leuchtbakterientest Rasengittersteinböden	-0.8737	-0.0230	+0.7792	+0.6904	+0.8745	+0.8745

n= 10 alle Böden, n= 5 Rasengittersteinböden, unversiegelte Böden Signifikanzniveau: * - 0.01 ** - .001

Die aufgeführten Einzelsubstanzen zeigen bei allen untersuchten Böden statistisch abgesicherte positive Beziehungen zu den Ergebnissen des Leuchtbakterientests. Die Biolumineszenzhemmung steigt mit der Zunahme sowohl der niedermolekularen aromatischen Kohlenwasserstoffe (Acenaphthen) als auch mit den übrigen hochmolekularen PAK. Diese Zusammenhänge werden durch hohe positive Korrelationskoeffizienten für die einzelnen Nutzungstypen angedeutet.

3.3.7 Diskussion

Im Rahmen der Diskussion wird auf die mikrobiologischen Eigenschaften und die Besiedlungsdichte mit Collembolen unter besonderer Berücksichtigung der Nutzungsintensität, dem Alter, den Bodenkenngrößen und der Schadstoffbelastung der untersuchten Rasengittersteinböden eingegangen. Dabei werden sowohl die belegten Zusammenhänge zwischen den Parametern aber auch festgestellte Differenzierungsmerkmale für eine Beschreibung der Flächen verwendet. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen die teilversiegelten Flächen. Der Vergleich der Ergebnisse dieser Flächen mit den Resultaten der benachbarten Grünflächen dient vor allem der weiteren Charakterisierung der Rasengittersteinböden.

Mikrobiologische Eigenschaften

In der vorliegenden Untersuchung ergeben sich signifikante Unterschiede in den mikrobiologischen Eigenschaften aufgrund des Altersunterschiedes der Flächen. Der jüngste Rasengittersteinboden 1 verfügt über die niedrigsten Werte für alle untersuchten Kenngrößen. Für die fünf untersuchten Rasengittersteinparkplätze konnte hingegen kein gesicherter Einfluß der Nutzungsintensität für die mikrobiellen Parameter festgestellt werden. Vielmehr erreichten die viel stärker frequentierten Parkplätze 2 und 3 gegenüber den nur zeitweise genutzten Rasengittersteinböden 4 und 5 ein vergleichbares hohes Stoffwechselniveau. Diese erzielten zwar mit die höchsten Werte für die mikrobielle Biomasse, die Basalatmung, die DMSO-Reduktase und die ß-Glucosidaseaktivität, aber diese Beobachtungen waren statistisch nicht absicherbar. Die Rasengittersteinböden bieten den Mikroorganismen anscheinend spezifische Standortbedingungen, die die bodenbiologischen Aktivitätsgrößen weitaus stärker beeinflussen als die Nutzungsintensität. Im Rahmen einer umfangreichen Untersuchung zur Biologie städtischer Böden in Bonn (SCHULTE et al., 1990) beinhalteten die Freiflächentypen einen vergleichbaren Standort, an dem die mikrobiologische Aktivität erfaßt wurde. Anhand der Parameter mikrobielle Biomasse (SIR), Xylanase- und Katalseaktivität konnte ebenfalls für diesen mit Gittersteinen befestigten Parkplatz auf eine gute Zersetzungsaktivität geschlossen werden (WERITZ, 1990).

Insgesamt gesehen liegen die Werte für die mikrobiellen Biomassen über denen von Böden aus agrarisch genutzten Landschaften (ELSNER u. BLUME, 1995; KAISER, et al., 1995). Die ermittelten Gehalte befinden sich z.T. in ähnlichen Größenordnungen, wie sie aus Leipziger Stadtböden unter Rasen- Wiesen- sowie Waldnutzung (SCHULTE, 1995) und in Stadtböden unterschiedlicher Nutzungstypen in Trier und Bonn (WERITZ, 1990) genannt werden. In der zuletzt angeführten Studie wurden auch unversiegelte, vegetationslose und stark verdichtete Parkplätze auf ihre Stoffwechselleistungen hin untersucht. Die älteren Rasengit-

tersteinparkplätze zeigen vergleichsweise höhere mikrobielle Biomassen als diese unbefestigten Parkplätze. Für die Mehrzahl der untersuchten Rasengittersteinböden wurde zudem ein höherer Gehalt an mikrobieller Biomasse festgestellt als in Böden verschiedener technogener Substrate wie Bergematerial, Aschen und Bauschutt (MACHULLA, 1997). Bei Betrachtung der Bodenkenngrößen wird deutlich, daß der Kohlenstoffgehalt, der insbesondere in der am stärksten von Pkws frequentierten Fläche am höchsten ist, einen wichtigen Einflußfaktor für die festgestellten Aktivitäten in diesen teilversiegelten Stadtböden darstellt. Dementsprechend befinden sich die bodenmikrobiellen Eigenschaften des jüngsten Standortes auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Diese Tendenz spiegelt sich auch in den hohen, wenn auch nicht signifikanten Korrelationskoeffizienten für die mikrobielle Biomasse und die DMSO-Reduktase mit dem C_{org}-Gehalt wider. Dieser eminente Faktor für die festgestellten Unterschiede der Stoffwechselleistungen der Bodenflora in den Rasengittersteinböden ist auch mitbestimmend für die z.T. geringeren Werte der benachbarten unversiegelten Böden. Die Werte für die mikrobielle Biomasse lagen für die Rasengittersteinböden 3, 4 und 5 gesichert höher als in den benachbarten Grünflächen. Auch ergaben sich nachweisbar höhere CO_2-Produktionsraten für die teilversiegelten Flächen 3 und 4. In der obengenannten Studie über die Biologie städtischer Böden fand WERITZ (1990) ebenfalls höhere mikrobiologische Aktivitäten im Parkplatz mit Gittersteinen als in der benachbarten Grünfläche.

Die Grünflächen 3, 4 und 5 unterscheiden sich nicht nur von ihren benachbarten teilversiegelten Flächen, sondern auch von den übrigen Grünflächen durch eine niedrigere Stoffwechseldynamik der Mikroflora. Hinzu kommen als differenzierende Bodenkenngrößen eine höhere Trockenraumdichte und ein geringerer C_{org}-Gehalt. Die Korrelationsanalyse erbrachte hoch signifikante positive bzw. negative Beziehungen zwischen den genannten Parametern. Die mikrobielle Biomasse und die Aktivitäten der Mikroorganismen sinken mit der Zunahme der Trockenrohdichte bzw. nehmen mit steigendem C_{org}-Gehalt zu. WERITZ (1990) stelle gleichfalls enge signifikante Korrelationen zwischen Kohlenstoff und SIR in den Nutzungstypen Wiesenbrachen, Parkrasen, Grünflächen und Verkehrsgrünflächen fest. Ebenso wies SCHULTE (1996) hohe signifikant positive Korrelationskoeffizienten zwischen den C_{org}-Gehalten von städtischen Grünflächen und verschiedenen mikrobiellen Parametern nach. In dem BMBF-Verbundprojekt zur Bewertung anthropogener Böden wurden auch von MACHULLA (1997) in Böden aus Bergematerial, Aschen und Bauschutt signifikante Korrelationen zwischen den C_{mik} und C_{org}-Gehalten gefunden. Für die letztgenannten Gruppen konnte aber eine derartige Beziehung nicht mehr bei Böden mit einem Kohlenstoffgehalt größer als 1.4% nachgewiesen werden.

In den unversiegelten Böden weist auch die Basalatmung eine positive Beziehung zum C_{org}-Gehalt auf. Für die Rasengittersteine trifft dieser Sachverhalt nicht zu. Die Böden mit den höchsten C_{org}-Gehalten (Standort 2 und 3) stellen den Mikroorganismen nicht gleichzeitig hö-

here Mengen an verfügbaren organischen Kohlenstoff bereit. Da die Stoffwechseltätigkeiten der Bodenflora aber vor allem durch die C-Verfügbarkeit begrenzt ist (DOMSCH, 1985), läßt dies in der vorliegenden Untersuchung auf eine schlechte Verwertbarkeit der organischen Substanz schließen. Weitere Aufschlüsse über die Höhe der aktiven Humusmatrix lassen sich über das C_{mic}/C_{org}-Verhältnis ableiten (SCHULTEN et al., 1990). Die angedeutete C-Limitierung der Rasengittersteinböden 2 und 3 wird durch das sehr niedrige C_{mik}/C_{org}-Verhältnis gestützt. In Untersuchungen über landwirtschaftlich genutzte Böden (DILLY, 1994; HOFFMANN et al., 1997) wird beschrieben, daß ein niedriges C_{mik}/C_{org}-Verhältnis mit einem hohen metabolischen Quotienten einhergeht. Dieser Sachverhalt trifft in der vorliegenden Untersuchung für den jüngsten Rasengittersteinboden (Standort 1) zu und ist vermutlich auf das frühe Entwicklungsstadium dieses Standortes zurückzuführen. Von WARDLE (1993) und POWLSON (1994) wird das C_{mik}/C_{org}-Verhältnis wie auch von INSAM u. DOMSCH (1988) der metabolische Quotient als sensitive Indikatoren für das Sukzessionsstadium eines Bodens herangezogen. Demgegenüber zeichnen sich die Rasengittersteinböden 2 und 3 durch einen vergleichsweise niedrigen metabolischen Quotienten aus, der sich signifikant von dem höheren Wert des extensiv genutzten Rasengittersteinbodens 5 unterscheidet. Dieser ermittelte niedrige qCO_2 kann auf die notwendige Effizient der Bodenmikroflora im Umgang mit den nutzbaren Kohlenstoffquellen zurückgehen. Einen ähnlichen Effekt beschreiben KANDELER u. EDER (1993), die einen erniedrigten qCO_2 bei Gülledüngung feststellten und dieses auf die kohlenstoffarme Gülle zurückführten.

In Gewerbebracheböden ergab sich nach WERITZ (1990) trotz hoher Kohlenstoffgehalte ebenfalls ein niedriges C_{mik}/C_{org}-Verhältnis. Im Gegensatz zu den Rasengittersteinböden 2 und 3 waren die Mikroorganismen anscheinend nicht in der Lage hohe Umsatzleistungen zu erbringen. Für Altlastsubstrate führt KRAATZ (1995) die hohen metabolischen Quotienten und die niedrigen SIR/C_{org}-Verhältnisse auf eine geringe mikrobielle Verfügbarkeit heterogen zusammengesetzter Kohlenstoffquellen zurück. Auch der kohlenstoffreichste Boden der untersuchten unversiegelten Böden wies ein verhältnismäßig niedriges C_{mik}/C_{org}-Verhältnis auf. Dieser Boden stellte sich aber bei allen untersuchten Parametern als sehr stoffwechselaktiv dar. Hieraus kann gefolgert werden, daß die vorhandenen Kohlenstoffquellen optimal ausgenutzt werden. Offenbar weniger effizient geht die Mikroflora im teilversiegelten Standort 5 mit den verwertbaren Kohlenstoff um. Trotzt eines hohen C_{mik}/C_{org}-Verhältnisses ergibt sich der bereits oben erwähnte hohe qCO_2. Zwar stehen den Mikroorganismen genügend Kohlenstoffverbindungen zur Verfügung, doch werden diese scheinbar zum größten Teil veratmet. Einen signifikant niedrigeren Stoffwechselquotienten zeigte nur der unversiegelte Boden 3 im Vergleich zu seiner benachbarten teilversiegelten Fläche. Die Rasengittersteinböden und die Grünflächen verfügen somit über ein vergleichbares physiologisches Potential der mikrobiellen Biomasse, daß

sich aber aufgrund der Ergebnisse für die übrigen Parameter auf einem unterschiedlichen Niveau befindet. Wird die Verfügbarkeit des organischen Kohlenstoffs in den untersuchten Nutzungstypen betrachtet, so kann diese in den Standorten 1, 2 und 4 als vergleichbar eingeschätzt werden.

Über die ß-Glucosidaseaktivität können weitere Aussagen zur Kohlenstoffversorgung der Flächen getroffen werden. Sie spezifiziert die Mineralisation von polymeren zu molekularen Kohlenstoffverbindungen (DILLY, 1994). Die bereits erwähnte ungünstigere Humusversorgung vom jüngsten Rasengittersteinboden 1 wird durch das Ergebnis für die ß-Glucosidaseaktivität unterstrichen. Diese ist nach BECK (in MARTENS, 1991) als schwache Aktivität zu bewerten. Für die übrigen teilversiegelten Standorte ergaben sich keine gravierenden Unterschiede. Nach der angeführten Bewertung sind diese Böden sehr stark (Ackerböden) bzw. mittel bis stark (Grünlandböden) aktiv. Dementsprechend ergab die statistische Berechnung zwischen der ß-Glucosidaseaktivität und der mikrobiellen Biomasse keine signifikante Beziehung, wie sie aus anderen Untersuchungen beschrieben wird (BECK, 1983, 1989; ALEF et al., 1988). Hingegen zeigten die untersuchten unversiegelten Böden deutliche Unterschiede in ihrer Aktivität und folglich ergab sich auch die angesprochene gesicherte positive Beziehung.

Nach TABATABAI (1992) liegt das Optimum für die ß-Glucosidaseaktivität bei pH 6. Alle untersuchten Böden weisen somit günstige pH-Bedingungen auf, so daß die geringen Aktivitäten vom Rasengittersteinboden 1 und den unversiegelten Böden 4 und 5 nicht durch diesen Faktor erklärt werden. Da nach HAYANO u. TUBAKI (1985) die ß-Glucosidaseaktivität vor allem pilzlichen Ursprungs ist, könnte eine höhere Aktivität darauf hinweisen, daß die mikrobielle Biomasse vor allem aus Pilzen besteht. Die Ergebnisse der Keimzahlen zeigen aber, daß die Träger der mikrobiellen Umsatzleistungen in den Böden der vorliegenden Untersuchung vor allem Bakterien und Aktinomyzeten sind und daß keine großen Unterschiede im Bakterien/Pilz-Verhältnis bestehen. ELSNER u. BLUME (1995) führen ihre absicherbaren Unterschiede bei der ß-Glucosidasaktivität verschiedener Böden auf die unterschiedlichen Humusgehalte dieser Bodenformen zurück. Für den jüngsten Rasengittersteinboden 1 und die unversiegelten Böden 4 und 3 würde dieser Zusammenhang zutreffen. Anderseits zeigt der teilversiegelte Boden mit den höchsten Kohlenstoffgehalten (Standort 3) keine höheren Aktivitäten wie die humusärmeren extensiv genutzten Rasengittersteinböden und nur geringfügig höhere Werte als die benachbarte Grünfläche. Dies läßt wiederum den Schluß zu, daß die organische Substanz nicht vollständig als mikrobiell verwertbarer Kohlenstoff zur Verfügung steht.

Neben der Basalatmung wurde zur Charakterisierung der gesamten aktiven mikrobiellen Biomasse die DMSO-Reduktase herangezogen (ALEF u. KLEINER, 1989). Beim Vergleich der

unterschiedlichen Rasengittersteinböden ergab sich für den jüngsten Standort ein gesichertes stark verringertes DMSO-Reduktionsvermögen gegenüber fast allen übrigen teilversiegelten Flächen und dem benachbarten Standort. Dieses Ergebnis bestätigt das festgestellte niedrige Stoffwechselniveau der jüngeren Fläche 1. Beim Vergleich der Nutzungstypen wiesen wiederum die Rasengittersteinböden 3 und 4 ein signifikant größeres Reduktionsvermögen auf. Hingegen stellte sich die innerstädtische Grünfläche 2 als aktivster Standort dar. Hohe signifikant positive Korrelationskoeffizienten ergaben sich für die Basalatmung und die mikrobielle Biomasse (vgl. ALEF u. KLEINER, 1989; ALEF, 1990; SPARLING u. SEARLE, 1993) mit der DMSO-Reduktase sowohl für die Rasengittersteinböden als auch für die städtischen Grünflächen. Für vergleichbare Grünflächen in Leipzig wies SCHULTE (1995) ebenfalls gesichert positive Zusammenhänge zwischen den genannten Parametern nach. In verschiedenen Acker-, Grünland- und Waldböden fand DILLY (1994) hingegen keine Abhängigkeiten zwischen diesen mikrobiellen Kenngrößen.

Auswirkungen der Schadstoffstoffkonzentrationen auf die untersuchten mikrobiellen Aktivitäten konnten nicht festgestellt werden (vgl. SCHULTE, 1995). Es ergaben sich keine signifikanten Korrelationen zwischen den bodenbiologischen Kenngrößen und den verschiedenen Schadstoffgruppen. Neben dem geringen Stichprobenumfang muß berücksichtigt werden, daß in der Untersuchung die Lebensgemeinschaft aller Bodenmikroorganismen als funktionale Einheit betrachtet wird und somit nicht abgeleitet werden kann, ob Störungen im Stoffwechsel bestimmter Arten aufgetreten sind (vgl. MUNCH, 1996). Die geringsten Gehalte an Mineralölkohlenwasserstoffen, an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und an den meisten Schwermetallen wurden für den jüngsten Rasengittersteinboden 1 gemessen. Für diesen spiegelt sich die erst kurze Expositionszeit gegenüber den erfaßten Schadstoffen wider. Die vergleichsweise höheren Cr- und Ni-Gehalte sind wahrscheinlich auf das tonreichere Füllmaterial zurückzuführen. Dies läßt den Schluß zu, daß die niedrigen biologischen Aktivitäten dieses Standortes vermutlich nicht auf die vorgefundenen Schadstoffkonzentration zurückgehen, sondern auf die genannten anderen Einflußfaktoren. Hierfür spricht auch das vergleichsweise höhere Stoffwechselniveau des stärker frequentierten Rasengittersteinbodens 3 bei einer wesentlich stärkeren Schadstoffbelastung. Dies zeigt sich ferner an den positiven Korrelationskoeffizienten der Schwermetalle Pb, Cd, Zn und Cu sowie der Summe der PAK mit der mikrobiellen Biomasse und der DMSO-Reduktase in den Rasengittersteinböden. Hinzu kommt, daß die Standorte sehr humos sind, was zu einer verstärkten Bindung von den genannten Schwermetallen und den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen führt. Diese Affinität wird durch hohe signifikant positive Beziehungen zwischen Cd und Zn mit dem Kohlenstoffgehalt in den untersuchten Böden belegt.

Der Einfluß der Nutzungsintensität wird für Standort 3 insbesondere durch die Mineralölkohlenwasserstoffe sichtbar und äußert sich für den Nutzungstyp Parkplatz durch hohe posi-

tive signifikant Korrelationskoeffizienten zwischen diesen Kenngrößen. Dabei muß berücksichtigt werden, daß es sich bei den analysierten Proben um Mischproben handelt. Die für Parkplätze typische Bodenbelastung mit Mineralölen durch Tropfverluste der Fahrzeuge kann punktuell viel höher sein. Die ermittelten Gehalte bleiben aber unter denen von Sanierungsleitwerten (HAMBURGER UMWELTBERICHT, 1991; ANONYM, 1994) und liegen weit unter den Werten aus Untersuchungen zum Dieselabbau in realen Altlasten (MARGESIN u. SCHINNER, 1996). Diese zeigten, daß vor allem die autochthone Bodenmikroflora einen bedeutenden Anteil an der Dieseldekontamination hatte.

Untersuchungsfläche 3 grenzt sich zudem deutlich von den anderen Rasengittersteinparkplätzen und der benachbarten Grünfläche durch höhere Gehalte an den Kfz-relevanten Schwermetallen Pb, Zn und Cd ab. Nach den von EIKMANN u. KLOKE (1993) aufgestellten nutzungs- und schutzgutbezogenen Orientierungswerten für (Schad-) Stoffe in Böden überschreitet der Rasengittersteinboden 3 den Bodenwert I für die Gesamtgehalte an Cd, Cu, Ni, Pb und Zn. Damit übertrifft dieser Boden die Normalgehalte der meisten Böden (vgl. ALTERMANN et al., 1997; LABO, 1995) und die standort- und klimabedingte Multifunktionalität dieser Fläche ist nicht mehr sichergestellt (EIKMANN u. KLOKE, 1993). Von den untersuchten Grünflächen wird darüber hinaus auch für das Element Kupfer der BW III Wert für nicht agrarisch genutzte Ökosysteme, landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Flächen für den Obst- und Gemüseanbau überschritten. Diese Geltungsbereiche wurden ausgewählt, da sie u.a. die Wirkungen von Schadstoffen auf Bodenmikroorganismen und Bodentiere beinhalten.

Bei Anwendung der von PRÜESS (1994) aufgestellten Prüfwerte für mobile Spurenelemente in Böden werden von den untersuchten Rasengittersteinböden 3, 4 und 5 die Werte für das mobile Kupfer erreicht. Die mit diesem Wert verbundene Funktionsbeeinträchtigung der Leistungen der Mikroorganismen konnte aber für die Rasengittersteine nicht nachgewiesen werden. Ebenfalls deutlich über diesem Prüfwert liegen alle Grünflächen außer Standort 2. Insbesondere der unversiegelte Boden 5 weist mit 0.5 mg/kg einen erhöhten Wert auf. Für die unversiegelten Böden erbrachte die Korrelationsberechnung zwischen den mobilen Schwermetallen und den bodenbiologischen Kenngrößen keine gesicherten Zusammenhänge. Es zeigte sich aber die Tendenz, daß die mikrobielle Biomasse und die DMSO-Reduktase mit zunehmendem Gehalt an leichtverfügbarem Kupfer abnehmen. So lagen die Werte für die mikrobielle Biomasse in Grünfläche 5 gesichert niedriger als im benachbarten Rasengittersteinboden und den unversiegelten Böden 1, 2 und 3. Der hohe metabolische Quotient vom unversiegelten Boden 5 könnte ebenfalls im Zusammenhang mit der erwähnten Kupferbelastung stehen. In den städtischen Nutzungstypen Ruderalflächen, Wiesenbrachen und Parkrasen wies WERITZ (1990) Beeinträchtigungen der mikrobiellen Aktivitäten durch leichtlösliche Schwermetalle in Kombination mit zum Teil niedrigen pH-Werten nach sowie

in Laborversuchen eine dauerhafte Hemmwirkungen von Cu auf verschiedene mikrobielle Parameter.

Unterschiede in den mikrobiellen Umsatzleistungen der Untersuchungsflächen aufgrund der verschiedenartigen Belastungssituationen mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen konnten nicht abgeleitet werden. Im Gegensatz zu den vorher besprochenen Stoffgruppen verzeichnen aber nicht die älteren und stärker frequentierten Rasengittersteinböden 3 und 2 die höchsten Summenwerte nach der EPA- Prioritätenliste (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1982) oder nach dem Niederländischen Leitfaden zur Bodenbewertung und Bodensanierung (ANONYM, 1994), sondern die unversiegelten Böden 1 und 2. Die genannten Flächen und der Rasengittersteinboden 4 überschreiten den Referenzwert von 1 mg/kg des Niederländischen Leitfadens, womit die multifunktionale Nutzung der Böden beeinträchtigt ist. In verschiedenen Listen zur Bodenbewertung von PAK in Böden (CRÖSSMANN, 1992; LÖLF, 1993; EIKMANN u. KLOKE, 1994; VWV, 1995; SENUMW, 1996) wird dem Benzo(a)pyren (BaP) aufgrund seiner kanzerogenen Wirkung die höchste Umweltrelevanz zugesprochen. In den oben genannten Orientierungswerten von EIKMANN u. KLOKE (1994) sind dementsprechend nur für das Benzo(a)pyren nutzungs- und schutzgutbezogene Werte aufgestellt worden. Die multifunktionale Nutzungsmöglichkeit der Flächen wird ab einem BaP Gehalt von 1 mg/kg in Frage gestellt. Dieser wird aber in der vorliegenden Untersuchung in keinem Fall erreicht. SCHULTE (1996a, 1996b) stellte hingegen in Leipziger Stadtböden, die über einen langen Zeitraum Schadstoffimmissionen ausgesetzt sind, höhere BaP Konzentrationen fest. Diese werden von ihm vor allen Dingen auf den Hausbrand mit Braunkohlefeuerung und untergeordnet auf den Kfz-Verkehr zurückgeführt. Die gemessenen Werte für das Benzo(a)pyren und das Fluoranthen in den Parkplätzen und den angrenzenden Grünflächen liegen aber in Bereichen, wie sie in Untersuchungen zu PAK-Belastungen in straßennahen Böden (FLEISCHMANN u. WILKE, 1991; JONEK u. PRINZ, 1993; TEBAAY et al., 1993; UNGER u. PRINZ, 1997) genannt werden.

Besiedlung mit Collembolen

Wie die Untersuchungen gezeigt haben, werden die Rasengittersteinböden von den Collembolen als Lebensraum angenommen. Über den Untersuchungszeitraum wurden zwischen 6188 und 68857 Individuen/m^2 erfaßt. Damit werden Werte erreicht, die über den von TISCHLER (1965) angegebenen Werten für Ackerböden (5000 bis 20000 Individuen/m^2) liegen und in Bereiche fallen, die für Grünland von DUNGER (1983) (20000 bis 50000 Individuen/m^2) oder von EHRNSBERGER (1993) (80000 Individuen/m^2) genannt werden. Diese vergleichsweise hohen Werte stehen im Einklang mit der Feststellung von KLAUSNITZER (1993), daß bei Untersuchungen der Bodenfauna von urbanen Freiflächen die Collembolen meist eine der individuenreichsten Tiergruppen darstellen und durch die siedlungsbedingten Einflüsse eher

gefördert als gehemmt werden. Sie gehören nach STERZYNSKA (1987) und SCHAEFER (1989) zu den Tiergruppen, die die städtischen Lebensbedingungen gut ertragen können. Einzelne Arten erreichen in urbanen Räumen sogar ihre höchsten Populationsdichten (ARNDT u. PELLMANN, 1996a, 1996b). Nach MÜLLER (1980) dominieren in städtischen Räumen solche Arten, die über eine hohe Reproduktionsrate, eine zeitlich variable Populationsgröße, eine hohe Nachkommenzahl, eine rasche Entwicklung sowie über eine kurze Lebensdauer verfügen. Diese Eigenschaften kommen den Collembolen in den untersuchten Rasengittersteinen sicherlich zugute, um sich dort an die wechselnden Lebensbedingungen rasch anzupassen. Außerdem besiedeln die Collembolen aufgrund ihrer unterschiedlichen Lebensform- und Ernährungstypen die verschiedensten Habitate (WALLWORK, 1976, DUNGER, 1983, PETERSEN, 1982). Diese ubiquitäre Verbreitung ist sicherlich eine weitere Erklärung für ihr z.T. verstärktes Auftreten in den teilversiegelten Flächen.

Zu dieser Auffassung kommt auch KUZNETZOVA (1994). Sie untersuchte hemi- und euedaphische Collembolenzönosen in Böden unter Lindenbäumen entlang eines Gradienten von naturnahen Lindenwälder bis zu einzelnen Straßenbäumen. Die Autorin fand unter urbanen Bedingungen die meisten Collembolen. So lagen die mittleren Besiedlungsdichten in den vergitterten Baumscheiben über 20000 Individuen/m^2. Typisch für die Artenzusammensetzung der städtischen Standorte (Parks, Alleen, Einzelbäume) war ein Wechsel der ökologischen Gruppen im Untersuchungszeitraum. Es ließen sich keine typischen Gesellschaften manifestieren. Vielmehr waren die vorgefundenen Gemeinschaften sehr instabil. Nach KUZNETZOVA (1994) kann das Aufeinanderfolgen verschiedener einzelner dominanter Arten somit als Reaktion auf die rasch wechselnden Umweltbedingungen interpretiert werden und erklärt die durchgehenden hohen Abundanzwerte. Damit können die Collembolen als Tiergruppe insbesondere unter solch extremen Bedingungen eine ständige Präsenz aufweisen. In der vorliegenden Untersuchung kam es nicht zu einer Erfassung der einzelnen Arten. Es ist aber vorstellbar, daß die z.T. hohe Collembolenbesiedlung in den Rasengittersteinböden auf eine mögliche Änderung in der Dominanzstruktur der Collembolenzönosen zurückzuführen ist. Auch SCHULTE et al. (1990) kommen in einer Untersuchung zur Biologie städtischer Böden zu dem Schluß, daß Collembolen anscheinend in der Lage sind, die jeweiligen Standortsituationen differenziert zu nutzen. Sie stellten fest, daß die untersuchten epigäisch lebenden Collembolen den Schwerpunkt ihres Vorkommens in den stärker anthropogen belasteten Standorten haben.

Zwischen den untersuchten Rasengittersteinböden 1, 2, 4 und 5 herrscht in Bezug auf ihre Besiedlungsdichte mit Collembolen eine hohe Übereinstimmung. Ihre Abundanzen bewegen sich auf einem annähernd gleichen Niveau. Dieses Ergebnis schließt auch die jüngste Fläche mit ein und zeigt, daß Collembolen schnell neue Böden besiedeln können (DUNGER, 1990, 1991). Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, daß Collembolen auch durch den

eingebrachten Mutterboden eingeschleppt wurden. Aufgrund des kurzen Untersuchungszeitraums ist nicht zu klären, ob die Entwicklung der Abundanzen für den jüngsten Rasengittersteinboden auf Sukzessionsprozesse oder auf die jahreszeitlichen Schwankungen der Collembolenpopulation zurückgeht. Nur Standort 3 verzeichnet signifikant niedrigere Werte. Die Unterschiede können durch die Strukturierung des Standortes selbst erklärt werden. Für diesen Standort sind die Belastungseinflüsse besonders auffällig. Von den untersuchten Boden- und Standorteigenschaften, die auf die Collembolenabundanz einwirken, erwiesen sich die Nutzungsintensität und die Vegetationsdichte als signifikant. Vergleichende Untersuchungen an Rasengittersteinböden liegen nur aus der wähnten Studie von SCHULTE et al. (1990) vor. In dieser Untersuchung wurden ebenfalls zwei Parkplätze, die mit Rasengittersteinen befestigt sind, auf das Vorkommen von Collembolen untersucht. Die Dichte der Collembolen wurde mit Bodenfallen erfaßt, so daß die Ergebnisse mit den aus Bodenkernen extrahierten Tieren nicht unmittelbar vergleichbar sind. Für beide Standorte wurden aber mittlere Aktivitätsabundanzen von 8 bzw. 42 Individuen pro Fallenperiode angegeben. Es zeigte sich, daß von den betrachteten Faktoren ebenfalls der Deckungsgrad der Vegetation und der Hemerobiegrad des Standortes die Zusammensetzung der Collembolenfauna am stärksten beeinflußten.

Die Korrelationsanalyse zwischen den für die Verbreitung der Collembolen relevanten bodenchemischen Parametern und der Besiedlungsdichte erbrachte keine gesicherten Zusammenhänge. Die statistische Auswertung lieferte aber hohe negative Korrelationskoeffizienten zwischen dem C_{org}-Gehalt und dem Gesamtstickstoffgehalt. Aus anderen Untersuchungen (FILSER et al., 1995) ist eigentlich eine gegensätzliche Beziehung bekannt. Die Abundanzen der Collembolen steigen mit zunehmendem C_{org}- und Stickstoffgehalt sowie mit abnehmenden C/N-Verhältnissen. In der vorliegenden Untersuchung ist diese Tendenz für die unversiegelten Böden zutreffend. Die umgekehrten Beziehungen in den Rasengittersteinböden zwischen den Collembolen und den genannten Bodenkenngrößen erklären sich dadurch, daß einerseits die kohlenstoff- und stickstoffreichste Fläche die geringste Belebtheit mit Collembolen zeigt und andererseits die jüngste kohlenstoff- und stickstoffärmste Fläche vergleichsweise hohe Abundanzen aufweist. Die pH-Werte aller Rasengittersteinböden und auch der unversiegelten Böden bewegen sich im mittel bis schwach sauren Bereich. Damit unterscheiden sich die Rasengittersteinböden von Böden aus technogenen Substraten wie Bauschutt, Aschen oder Schlacken, die aufgrund ihres Carbonatreichtums eine neutrale bis stark basische Reaktion aufweisen (BURGHARDT, 1996). Für einige Collembolenarten wird der Bereich von pH 5.0-6.0 als Optimum angesehen (HUSTON, 1978; EDWARDS, 1977). Insofern leben die Collembolen in allen Flächen in ähnlichen Bodenmilieubedingungen. Standort 3 hebt sich auch nicht signifikant durch seinen mittleren Bodenwassergehalt von den übrigen Rasengittersteinparkplätzen ab. Dieser wichtige Faktor für die Besiedlungsdichte von Collembolen, der auch für Stadtböden unter Wiesennutzung in anderen Städten festgestellt

wurde (WEIGMANN u. STRATIL, 1979; KEPLIN, 1995a, 1995b) kann somit für die festgestellten Abundanzunterschiede auf den teilversiegelten Flächen höchst wahrscheinlich ausgeschlossen werden. Eine tiefergreifende Charakterisierung von Standorten hinsichtlich der Bodenfeuchte, aber auch anderer Standortparameter, läßt sich über die Ermittlung von Habitat- und Feuchtepräferenzen von Collembolenarten vollziehen. Bei einem Vergleich der Struktur, Dynamik und Ökologie epigäischer Collembolen unterschiedlicher Boden- und Vegetationstypen fand WILLER (1995) einen besonders hohen Anteil xerotoleranter Arten auf den innerstädtischen stark überformten Sandböden.

Collembolen ernähren sich als Microphytophage von Algen, Pilzen und saprohytophag von mikrobiell zersetzten Pflanzenteilen. Insbesondere für die euedaphischen und hemiedaphischen Collembolen bildet die mikrobielle Biomasse die potentielle Nahrungsgrundlage (EISENBEIS u. WICHARD, 1984). In den Rasengittersteinböden und den städtischen Grünflächen war es nicht möglich, diese Interaktionen nachzuweisen. Es ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den mikrobiologischen Eigenschaften und der Individuendichte. Auch in speziellen Versuchen zur Interaktion zwischen Bodenmikroflora- und -fauna wurden keine gesicherten Beziehungen zwischen der mikrobiellen Biomasse (KANDELER et al., 1996; MARAUN et al., 1996; MIGGE et al., 1996) sowie verschiedenen Enzymaktivitäten (SCHLATTE et al., 1996) und der Abundanz von Mikroarthropoden festgestellt. Hingegen konnten KANDELER et al. (1996) in einem Mesokosmenexperiment nachweisen, daß die Mesofauna (Collembolen und Milben) durch die Beweidung von Pilzen zu einer höheren Proteaseproduktion beigetragen hatte. In den untersuchten Rasengittersteinen haben anscheinend die Standortfaktoren eine unterschiedliche Wirkung auf die Bodenflora bzw. -fauna. Die Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen wird nicht durch eine Zunahme der Nutzungsintensität verringert, während die Collembolendichte signifikant abnimmt. Hingegen spielt das Alter der Fläche und die damit verbundene Anreicherung von organischem Material für die mikrobiellen Umsatzleistungen eine entscheidende Rolle. Auch in naturnahen Auenböden fand EMMERLING (1993), daß der Faktor Nutzung eine größere Bedeutung auf die Verbreitung der untersuchten saprophagen Bodentiere hatte als die bodenmikrobiologischen Eigenschaften. Dieser geringe Aussagewert ist möglicherweise u.a. darauf zurückzuführen, daß Freilanddaten mit Laborergebnissen und Abundanzen mit Aktivitätsmessungen zusammengeführt worden sind (EMMERLING, 1993). Diese Einschränkungen sind auch für die vorliegende Untersuchung zutreffend. Weiterführende Untersuchungen in Form von Dekompositionsmessungen, wie sie z.B. auf Agrar- und Waldstandorten (EISENBEIS et al., 1996), auf landwirtschaftlich genutzten Flächen (HELLING, 1997), auf Weinbergsböden (EMMERLING et al., 1997) oder in den anthropogen geschaffenen Bergbaufolgelandschaften (KOLK et al., 1997) angewendet werden, könnten in diesen urbanen Böden möglicherweise weitere Hinweise auf das Zusammenwirken von Bodenfauna- und -flora liefern. Nach EISENBEIS (1993, 1994) integrieren diese Messungen die Leistungen beider Organismengruppen.

Die Auswirkungen der Bodenversiegelung in Form von einer starken Belastung durch Tritt und Befahren wird für den Rasengittersteinboden 3 in der Veränderung der Vegetation sichtbar. Diese Streß- und Störungsprozesse fördern das Vorkommen von jeweils charakteristischen ökophysiologischen und morphologischen Lebensformtypen (KURZ, 1996). Anstatt der eingesäten Gräser hat sich dort eine typische Trittpflanzengesellschaft mit *Polygonum aequale*, *Plantago major*, *Matricaria discoides* und *Taraxacum officinale* etabliert. In jeder Gitteröffnung wächst nur eine dieser Pflanzen. Die übrigen nicht so stark frequentierten Standorte sind noch durch die ausdauernden Gräser wie *Lolium perenne* oder *Festuca rubra* sowie durch *Trifolium repens* gekennzeichnet. Der dichte Grasbewuchs sorgt für ein günstiges Mikroklima mit ausgleichenden Feuchte- und Temperaturverhältnissen, so daß die Collembolen vor größeren Temperaturschwankungen geschützt sind (vgl. KEPLIN, 1995a, 1995b). Ferner bilden die Gräser im Gegensatz zu den Pflanzen der Trittrasengesellschaft ein feineres Wurzelwerk aus, so daß vielfältige Habitatstrukturen geschaffen werden. Bei Standort 3 ist das Versiegelungsmaterial durch die karge Vegetation nicht abgedeckt, so daß hohe Bodentemperaturen durch Abstrahlung entstehen können. Zudem bieten hier die Pflanzen den Zersetzerorganismen ein vergleichsweise geringes Nahrungsangebot (SCHULTE et al. 1990). Es erscheint, daß unter diesen Bedingungen die Collembolen nicht so zahlreich sind. Somit zeigt der Nutzungsdruck auf dem stark frequentierten Parkplatz seine Auswirkungen auf die Besiedlungsdichte der Collembolen.

Die Besiedlungsdichte der Rasengittersteinböden war für Standort 4 signifikant höher gegenüber dem benachbarten unversiegelten Boden. Dieser teilversiegelte Boden unterscheidet sich auch signifikant in seinem mittleren Feuchtegehalt und seiner Trockenraumdichte von seiner Nachbarfläche. Mit Ausnahme der innerstädtischen Grünfläche (Standort 2) waren tendenziell mehr Individuen in den teilversiegelten Flächen erfaßt worden als in den städtischen Grünflächen. Die Besiedlungsdichten erreichen auch vergleichbare Größenordnungen wie sie für Grünflächen in Dorsten gefunden worden (KEPLIN, 1995a, 1995b). In den untersuchten unversiegelten Böden führt die Verdichtung des Bodens zu einer signifikant verminderten Individuendichte. KÜHNELT (1989) berichtet aus Wien, daß es früher verboten war in den städtischen Parks die Grünflächen zu betreten. Nach der Aufhebung dieser Vorschrift kam es durch die starke Frequentierung der Rasenflächen zu einer Verdichtung der Oberböden, was eine Verringerung der Besiedlungsdichten und der Arten verschiedener Tiergruppen, u.a. auch der Collembolen, zur Folge hatte. Die negative Wirkung hoher Trittbelastung auf die Belebtheit des Bodens zeigte sich auch deutlich an allen untersuchten Tiergruppen in Bonn (SCHULTE et al., 1990). In einer Untersuchung über die Auswirkungen extensiver Pflegemaßnahmen auf städtischen Grünflächen hinsichtlich der Bodenfauna führt auch KEPLIN (1995a, 1995b) die Konzentration der Mesofauna (Milben und Collembolen) in den oberen Zentimetern auf eine höhere Lagerungsdichte und einen geringeren Grobporenanteil in 4-8 cm Tiefe zurück. Dieser Zusammenhang zwischen erhöhter Trockenraumdichte und dem Rückgang der

Individuendichte ist aus verschiedenen Untersuchungen über landwirtschaftlich genutzte Böden bekannt. So führt nach HEISLER (1993, 1995) die Bodenverdichtung zu Abundanzdepressionen sowie zur Verringerung der Artenzahl von Collembolen (vgl. HEISLER u. KAISER, 1995; SCHRADER u. LINGNAU,1997). Insbesondere die euedaphisch lebenden Tiere leiden stärker unter Verdichtungserscheinungen als die hemiedaphischen oder epedaphischen Arten (LARINK et al., 1994). Der Verlust von hohlraumreichen Strukturen vermindert die Qualität des Lebensraums Boden für die Collembolen als grabunfähige Tiere (DUNGER, 1983).

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Abundanzwerten und den unterschiedlichen Schadstoffgruppen konnte nicht festgestellt werden. Es läßt sich aber die Tendenz ablesen, daß die Individuendichte insbesondere mit sinkenden Gehalten an MKW, Summe der PAK Cd, Pb und Zn in den Rasengittersteinböden zunimmt. Untersuchungen zum Einfluß von Schwermetallen auf Collembolen (BENGTSSON u. RUNDGREN, 1988; LÜBBEN, 1991; FILSER, 1993; FILSER u. HÖLSCHER, 1997; GEISSEN et al., 1997) haben gezeigt, daß erst eine Betrachtung auf dem Artniveau Veränderungen deutlich machen. So können in der vorliegenden Arbeit dahingehende Aussagen nicht getroffen werden. Weiterführende Untersuchungen wären hierfür notwendig. Für eine Bewertung der ökotoxikologischen Wirkung von Benzo(a)pyren auf Bodenorganismen werden von KRATZ et al. (1997) anhand von Untersuchungen an Rieselfeldern eine Vorsorgekonzentration von 0.01 mg/kg Boden vorgeschlagen. Dieser Wert soll als ökologische Sicherheitskonzentration verstanden werden, unterhalb der keine irreversiblen Effekte auf Bodenorganismen und Funktionen zu erwarten sind. Alle untersuchten Flächen in denen B(a)P nachgewiesen werden konnte, überschreiten diesen Wert. Insbesondere ist demnach in Grünfläche 1 und 2 mit einer Beeinträchtigung der Bodenorganismen zu rechnen. Dies konnte anhand der Besiedlungsdichten der Collembolen nicht nachgewiesen werden.

Es ergaben sich aber abgesichert positive Zusammenhänge zwischen dem Benzo(a)pyren und den Hemmungswerten des durchgeführten Leuchtbakterientestes. Hingegen stellte NECKER (1996) in einer umfangreichen Untersuchung fest, daß u.a. PAK-Belastungen nicht durch in Bodeneluaten durchgeführte Biotests anzeigt werden. KLIMANEK u. MÜCKE (1996) betonen, daß der Leuchtbakterientest im Vergleich zum Algentest weniger sensibel auf Bodenbelastungen reagiert. MATEJKO et al. (1995) fanden die deutlichste Reaktion im Leuchtbakterientest bei Vorliegen extremer Schwermetallbelastungen oder organischer Kontaminationen in Verbindung mit Schwermetallen. In der vorliegenden Untersuchung zeigte der Biotest die erhöhten Schwermetallkonzentrationen des am stärksten frequentierten Rasengittersteinbodens 3 nicht an.

4. Zusammenfassung

Anhand drei verschiedener Untersuchungsschwerpunkte wurde die Bodenbeanspruchung durch Versiegelungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Wasserdurchlässigkeit und der bodenbiologischen Aktivität von teilversiegelten Flächen dargestellt.

Die Erhebung der Bodenversiegelung erfolgte in verschiedenen Stadtstrukturtypen in den Städten Leipzig und Dresden. Diese unterschieden sich hinsichtlich ihrer Nutzung, ihrer Baustruktur, ihrer Baualtersklasse, ihrer Baudichte und ihrer Freiraumgestaltung. Die Analyse zum Ausmaß der Bodenversiegelung in ausgewählten Stadtstrukturtypen zeigte, daß die Grundstücke der gründerzeitlichen Blockbebauung, des Stadtzentrums, der neueren Gewerbegebiete und der revitalisierten Industriegebiete am stärksten von Versiegelungsmaßnahmen betroffen sind. Der hohe Versiegelungsgrad wird durch die Hofüberbauung, die Gebäudeflächen und die versiegelten Erschließungsflächen hervorgerufen. Es sind nur wenige Bereiche unversiegelt, so daß kaum Raum für die Niederschlagsversickerung vorhanden ist. Die befestigten Flächen verfügen größtenteils über einen Kanalanschluß. In den gründerzeitlichen Wohnstrukturtypen ergab sich ein hohes Entsiegelungs- und Belagsänderungspotential. Die Detailkartierung erbrachte für die Stadtstrukturtypen gründerzeitliche Blockrandbebauung, Randbebauung der 20/30er Jahre, Zeilenbebauung der 50/60er Jahre, Großwohnsiedlungen der 70/80er Jahre, Villen/Stadthäuser und Doppelhäuser einen vergleichsweise hohen Anteil an unversiegelten Böden. Es zeigte sich aber, daß diese Böden durch Nachverdichtungsmaßnahmen gefährdet sind. In diesen Stadtstrukturtypen sollte die Versickerung der Niederschlagsmengen der Dachflächen und der befestigten Flächen verstärkt gefördert werden.

Die Ergebnisse der Beregnungsversuche, die vor Ort mit einem Sprinklerinfiltrometer durchgeführt wurden, ließen für die älteren Gehwegbefestigungen wie Mosaik- und Kopfsteinpflaster, Granit-, Beton- und Großformatplatten keine gravierenden Unterschiede im Infiltrationsverhalten erkennen. Die vermeintliche Wasserdurchlässigkeit bei diesen Belägen, die sich aus den verschiedenen Fugenanteilen, -formen und -größen ergibt, hat sich mit der Alterung und der damit verbundenen Einwehung von Feinmaterial sowie der Verdichtung durch die Verkehrsbelastung nivelliert. Das Infiltrationsvermögen der neueren Flächenbefestigungen stieg für die begrünten Systeme (Rasengittersteine, Rasenfugenpflaster) mit einer Zunahme der Bewuchsdichte an. Ferner erreichte das Betonpflaster mit Feinkies gefüllten Sickeröffnungen eine hohe Infiltrationsleistung. Die niedrigsten Infiltrationsraten ergaben sich bei den wassergebundenen Decken. Deren Versickerungsleistung hing vom Sand/Skelettanteil bzw. dem Anteil abschlämmbarer Korngrößen in den Deck- und Tragschichten ab. Eine wesentlich höhere Infiltrationskapazität erzielte die kunstharzgebundene Decke. Aufgrund des geringen Alters der

neueren Flächenbefestigungen konnte keine Aussage getroffen werden, ob mit den Jahren eine Verringerung der Wasserdurchlässigkeit auftritt.

Ausgehend von den Meßdaten der Beregnungsversuche wurde ein Bewertungskonzept zur Beurteilung der Wasserdurchlässigkeit verschiedener Flächenbefestigungen entwickelt und anhand von Fallbeispielen erprobt. Als Fallbeispiel wurde ein stark frequentierter Parkplatz herangezogen. Die Anwendung des Bewertungsrahmens „Eignung für eine Flächenversickerung nach ATV A 138" demonstrierte, daß insbesondere das eingesetzte Betonpflaster mit Feinkies gefüllten Sickeröffnungen für diese Art der Niederschlagsversickerung geeignet ist. Die untersuchten begrünten Systeme sowie die wassergebundenen Decken stellten sich im Fallbeispiel als nicht zweckmäßig für eine Befestigung der Stellflächen dar. Als geeignet für die Versickerung der Niederschläge von den Fußwegen erwies sich die kunstharzgebundene Decke. Beim Einsatz des Bewertungsrahmens „Entlastung der Kanalisation nach ATV A 118" zeigte sich, daß eine uneingeschränkte Entwässerung über das Betonpflaster mit Feinkies gefüllten Sickeröffnungen, über die kunstharzgebundene Decke und über die Rasengittersteine mit dichtem Bewuchs erzielt wurde. Von den Bauweisen mit spärlich bewachsenen Rasenfugen und mit verschlämmten Sickeröffnungen sowie den wassergebundenen Decken konnte keine vollständige Entlastung der Kanalisation erreicht werden. Ferner würde eine Änderung der Gehwegbefestigungen in den gründerzeitlichen Quartieren, d.h. der Ersatz von Mosaikpflaster oder Natursteinplatten durch das neue Betonverbundpflaster unter Berücksichtigung der Alterung dieses Belages, keine großen Veränderungen für die Abflußbeiwerte erbringen. Die Anwendung des dritten Bewertungsrahmens "Potentielle Minderung der jährlichen Niederschlagsversickerung" veranschaulichte, daß bei Regenspenden $\leq$ 80 l/(s*ha) die Mehrzahl der untersuchten Flächenbefestigungen einen erheblichen Beitrag zur Aufrechterhaltung der natürlichen Niederschlagsversickerung leisten können.

Auf fünf Parkplätzen, die mit Rasengittersteinen befestigt sind, wurden bodenmikrobiologische und -zoologische sowie bodenchemische Untersuchungen durchgeführt. Die Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen, die über den Werten von Böden aus agrarisch genutzten Landschaften lag, wurde nicht durch eine Zunahme der Nutzungsintensität verringert. Hingegen spielt das Alter der Fläche und die damit verbundene Anreicherung von organischem Material für die mikrobiellen Aktivitäten eine entscheidende Rolle. Höhere Kohlenstoffgehalte und eine geringere Verdichtung sind ferner die bestimmenden Bodenkenngrößen für die höheren Umsatzleistungen der Rasengittersteinböden im Vergleich zu den Aktivitäten der meisten unversiegelten Böden. Dieses unterschiedliche Niveau spiegelt sich aber für die Mehrzahl der Böden nicht im metabolischen Quotienten wider. Wie die Untersuchungen gezeigt haben, werden die Rasengittersteinböden von den Collembolen als Lebensraum angenommen. Es konnte nachgewiesen werden, daß der Nutzungsdruck auf dem stark frequentierten Parkplatz in Form einer

veränderten Vegetationsbedeckung negative Auswirkungen auf die Höhe der Besiedlungsdichte hat. Im Vergleich zu den Grünflächen wurden für die Rasengittersteinböden ähnliche Abundanzwerte ermittelt. Für die Grünflächen zeigte sich aber, daß vor allem eine zunehmende Verdichtung der Böden zu einer Verringerung der Besiedlungsdichten führt. Eine Beeinträchtigung der bodenbiologischen Aktivität der Flächen durch die verschiedenen Schadstoffe konnte nicht belegt werden. Aufgrund der Komplexität der anthropogenen Einflüsse, die auf die untersuchten Standorte einwirken, ist jedoch eine in allen Aspekten schlüssige Beurteilung der Untersuchungsflächen nicht möglich. Es hat aber den Anschein, daß in den untersuchten Stadtböden die Collembolen empfindlicher auf die Streß- und Störungsprozesse reagieren als die Bodenmikroorganismen.

Als **Fazit** der Untersuchungen ist festzuhalten, daß anhand der durchgeführten Detailkartierung die Bodenbeanspruchung durch Versiegelungsmaßnahmen in den untersuchten Stadtstrukturtypen exakt erfaßt werden konnte. Ausgehend von den ermittelten Nutzungs-, Belags- und Entwässerungsarten der Flächen war es möglich Handlungsempfehlungen zum Schutz des Bodens in den Raumstrukturen abzuleiten. Mit Hilfe von Beregnungsversuchen ließen sich Kennwerte für die Wasserdurchlässigkeit von gealterten und neueren Flächenbefestigungen ermitteln. Diese Ergebnisse bildeten die Grundlage für ein Bewertungskonzept zur Beurteilung der Infiltrationsleistung dieser Beläge. Es zeigte sich, daß bei der Bewertung des Niederschlagsrückhaltes von befestigten Flächen die Alterung, die Bauausführung und die zu erwartende Nutzungsintensität sowie das zugrunde gelegte Regenereignis von besonderer Relevanz sind. Hinweise auf die bodenbiologische Aktivität von teilversiegelten Böden erbrachte die Untersuchung von unterschiedlich stark frequentierten Parkplätzen, die mit Rasengittersteinen befestigt sind. Die Besiedlungsdichte der Collembolen sank mit einer Zunahme der Nutzungsintensität. Hingegen erwies sich das Alter der Flächen als ein wichtiges Kriterium für die Stoffwechselaktivitäten der Mikroorganismen.

5. Literaturverzeichnis

ABS ARBEITSFÖRDERUNG, BESCHÄFTIGUNG UND STRUKTURENTWICKLUNG PLAUEN (1994): Flächenversiegelungsanalyse der Stadt Plauen.- (Auftraggeber Umweltamt der Stadt Plauen, unveröffentlicht)

ALEF, K. (1991): Methodenhandbuch der Bodenmikrobiologie.- Landsberg/Lech

ALEF, K. u. KLEINER, D. (1989): Rapid and sensitive determination of microbial activity in soils and in soil aggregates by dimethylsulfoxide reduction.- Biol. Fertil. Soils, 8, S. 349-355

ALTERMANN, M. u. RUSKE, R. (1997): Geologie und Böden.- In: Regeneration und nachhaltige Landnutzung. FELDMANN, R., AUGE, H., FLACHOWSKY, J. KLOTZ, S. u. KRÖNERT, R. (Hrsg.), S. 8 - 12. Leipzig

ALTERMANN, M., FELDMANN, R. u. STEINIGER, M. (1997): Schwermetallgehalte der Böden im mitteldeutschen Ballungsraum - ein Überblick.- (= UFZ-Bericht, Nr. 15), Leipzig

ANDERSON, J.P.E. u. DOMSCH, K.H. (1978) A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils.- Soil. Biol. Biochem., 10, S. 215-221

ANONYM (1992): Klärschlammverordnung - AbfKlärV vom 19. April 1992.-Bundesgesetzblatt, Teil 1,

ANONYM (1994): Niederländische Liste 1994.- In: Bodenschutz - Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G. EINSELE, G. u. HARRESS, H.-M. (Hrsg.), 8936. Berlin

ARNDT, E. u. PELLMANN, H. (1996a): Arthropodengemeinschaften auf Ruderalflächen in Leipzig.- In: Stadtökologie und Stadtentwicklung: Das Beispiel Leipzig. BREUSTE, J. (Hrsg.), S. 261-272. Berlin

ARNDT, E. u. PELLMANN, H. (1996b): Ökologische Charakterisierung von Biotopen im urbanen Raum am Beispiel von Modelltiergruppen.- (= UFZ-Bericht, Nr. 6), Leipzig

ATV ABWASSERTECHNISCHE VEREINIGUNG (Hrsg.) (1977): Richtlinien für die hydraulische Berechnung von Schmutz-, Regen und Mischwasserkanälen.- (= Arbeitsblatt A 118), St. Augustin

ATV ABWASSERTECHNISCHE VEREINIGUNG (Hrsg.) (1990): Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von nicht schädlich verunreinigten Niederschlagswasser.- (= Arbeitsblatt A 138), St. Augustin

BAUGB - Baugesetzbuch (1993).- München

BAYER, T. u. HILZ, M. (1997): Bestimmung der Stadtflächenversiegelung aus hochauflösenden ATM-Flugzeugscanner Aufnahmen.- ESRI, S. 19-20

BENGTSSON, G., ERLANDSSON, A. u. RUNDGREN, S. (1988): Fungal odour attracts soil Collembola.- Soil Biol. Biochem., 20, S. 25-30

BERLEKAMP, L.-R. u. PRANZAS, N. (1990): Erhebung von Bodenversiegelung in Ballungsräumen.- In: Bodenschutz - Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Boden, Landschaft und Grundwasser. ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., EINSELE, G. u. HARRES, H.-M. (Hrsg.), 3355. Berlin

BERLEKAMP, L.-R. u. PRANZAS, N. (1992): Erfassung und Bewertung von Bodenversiegelungen unter hydrologisch-stadtplanerischen Aspekten am Beispiel eines Teilraums von Hamburg.- Dissertation, Hamburg

BERLINER SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ UND FÜR BAU- UND WOHNUNGSWESEN (1993): Gemeinsames Rundschreiben zur Art der Versiegelung von Verkehrs- und Parkplatzflächen und zur Ableitung und Versickerung von Regenwasser außerhalb von Wasserschutzgebieten und in der Schutzgebietszone III.- In: Bodenschutz - Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Boden, Landschaft und Grundwasser. ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., EINSELE, G. u. HARRES, H.-M. (Hrsg.), 8795. Berlin

BEYER, W. (1964): Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve.- Wasserwirtschaft/Wassertechnik, 14, H. 6, S. 165-168

BILLWITZ, K. u. BREUSTE, J. (1980): Anthropogene Bodenveränderung im Stadtgebiet von Halle/Saale.- Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Halle XXIX'80 M, H. 4, S. 25-43

BINNEWIES, W. u. SCHÜTZ, M. (1985): Gutachten über das Versickerungsverhalten Hamburger Gehwegbefestigungen.- (Baubehörde der Freien Hansestadt Hamburg), Hamburg

BISCHOFSBERGER, W., PABST, M. u. SCHULZ, W. (1990): Versickerungsleistung industriell gefertigter Oberflächen.- (Prüfamt für Wasserwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der Technischen Universität München), München

BLUME, H.-P. (1992): Einführung.- In: Handbuch des Bodenschutzes. BLUME, H.-P. (Hrsg.), S. 1-3. Landsberg/Lech

BLUME, H.-P. (1993): Böden.- In: Stadtökologie. SUKOPP, H. u. WITTIG, R. (Hrsg.), S. 154-170. Stuttgart, Jena, New York

BLUME, H.-P. u. RUNGE, M. (1978): Genese und Ökologie innerstädtischer Böden aus Bauschutt.- Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 141, S. 727-740

BLUME, H.-P. u. SUKOPP, H. (1979): Ökologische Bedeutung anthropogener Bodenveränderungen.- Schriftenreihe Vegetationskunde,10, S. 75-89

BLUME, H.-P. u. SCHLEUSS, U. (Hrsg.) (1997): Bewertung anthropogener Stadtböden.- (= Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 38), Kiel

BÖCKER, R. (1985): Bodenversiegelung - Verlust vegetationsbedeckter Flächen in Ballungsräumen.- Landschaft + Stadt, 17, S. 57-61

BÖHME, S. (1986): Zum Zusammenhang von Oberflächenversiegelung und Vegetationsvolumen städtischer Teilgebiete, dargestellt am Beispiel der Stadt Erfurt.- Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, Reihe A: 32, 5/6, S. 232-236

BORGWARDT, S. (1992a): Entsiegeln im Straßenraum.- Das Gartenamt, S. 420-428

BORGWARDT, S. (1992b): Wasserdurchlässigkeit von Pflasterfugen.- Straße + Autobahn, 10, S. 651-657

BORGWARDT, S. (1994a): Zur „Umweltfreundlichkeit" von Oberflächenbefestigungen.- Das Gartenamt, 4, S. 244-249

BORGWARDT, S. (1994b): Entsiegelung im Straßenraum.- Korrespondenz Abwasser, 41, 4, S. 530-540

BORGWARDT, S. (1995a): Untersuchung der Durchlässigkeit von Bodenbelägen in wassergebundener Bauweise.- Wasser & Boden, 47, S. 11-16

BORGWARDT, S. (1995b): Die Versickerung auf Pflasterflächen als Methode der Entwässerung von minderbelasteten Verkehrsflächen.- (= Beiträge zur räumlichen Planung, 41), Hannover

BORGWARDT, S. GERLACH, A. u. KÖHLER, M. (1994): Versickerung auf befestigten Verkehrsflächen.- Planerische Möglichkeiten des Einsatzes wasserdurchlässiger Pflastersysteme.- (SF-Kooperation GmbH, Hrsg.), Bremen

BREUSTE, J. (1986): Methodische Ansätze und Problemlösungen bei der Erfassung der urbanen Landschaftsstruktur und ihrer ökologischen und landeskulturellen Bewertung unter Berücksichtigung von Untersuchungen in Halle/Salle.- Dissertation (B), Universität Halle-Wittenberg

BREUSTE, J. (1994): Flächennutzung als stadtökologische Steuergröße und Indikator.- (= Geobotanisches Kolloquium, 11, S. 67-81), Frankfurt/M

BREUSTE, J. (1996): Grundzüge des Wandels von Umwelt und Stadtstruktur in Leipzig.- In: Stadtökologie und Stadtentwicklung: Das Beispiel Leipzig. BREUSTE, J. (Hrsg.), S. 11-32. Berlin

DEUTSCHER BUNDESTAG (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens.- (= Bundesgesetzblatt, Teil I, 16), Bonn

BUNZEL, A. (1992): Begrenzung der Bodenversiegelung.- (= Difu-Beiträge zur Stadtforschung, 8), Berlin

BURGHARDT, W. (1993): Formen und Wirkung der Versiegelung.- In: Bodenschutz (= Zentrum für Umweltforschung der Westfälischen Wilhelms-Universität, 2, S. 111-125). Münster

BURGHARDT, W. (1996): Boden und Böden in der Stadt.- In: Urbaner Bodenschutz. ARBEITSKREIS STADTBÖDEN DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT (Hrsg.), S. 7-21. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest

CORDSEN, E. (1992): Bodenüberformung und -versiegelung.- In: Handbuch des Bodenschutzes. BLUME, H.-P. (Hrsg.), S. 131-153. Lansberg/Lech

CORDSEN, E., SIEM, H.K., BLUME, H.-P. u. FINNERN, H. (1988): Bodenkarte 1: 20000 Stadt Kiel und Umland.- Mitt. DBG, 56, S. 333-338

CRÖSSMANN, G. (1992): Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in Böden und Pflanzen. Ein Beitrag zur Gefährdungsabschätzung von Altlasten. Band II- Untersuchungsergebnisse.- Kommunalverband Ruhrgebiet

DELLWIG, M. (1988): Untersuchungen an wasserdurchlässigen Belägen für Fahrbahnflächen, Teil 1.- Neue Landschaft, 33, S. 457-461

DEUTSCHER BUNDESTAG (1996): Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Baugesetzbuchs und zur Neuregelung des Rechts der Raumordnung.- (Bau- und Raumordnungsgesetz 1998-BauROG)

DWD -DEUTSCHER WETTERDIENST- (1995): Meteorologisches Gutachten für das Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH.- unveröffentlicht

DEZERNAT FÜR UMWELTSCHUTZ DER STADT DRESDEN (1994): Umweltbericht 1993.- Dresden

DILLY, O. (1994): Mikrobielle Prozesse in Acker-, Grünland und Waldböden.- (= EcoSys - Beiträge zur Ökosystemforschung, Bd. 8), Kiel

DIN 38 409 H18: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H). Bestimmung von Kohlenwasserstoffen (H18). Februar 1981

DR. LANGE (1993): LUMIStox® Leuchtbakterientest.- Kurzanleitung LCK482

DOMSCH, K.H. (1985): Funktion und Belastbarkeit des Bodens aus der Sicht der Bodenmikrobiologie.- (= Materialien zur Umweltforschung)

DUNGER, W. (1983): Tiere im Boden.- Wittenberg Lutherstadt

DUNGER, W. (1990): Ökologische Grundlagen der Besiedlung der Bergbaufolgelandschaften aus bodenzoologischer Sicht.- Abh. Ber. Naturkundemus., Görlitz, 64, S. 59-64

DUNGER, W. (1991): Zur Primärsukzession humiphager Tiergruppen auf Bergbauflächen.- Zool. Jb. Syst., 118, S. 423-447

DUNGER, W. u. SEIFERT, B. (1997): Quantitative Erfassung der Bodenfauna.- In: Methoden der Bodenbiologie. DUNGER, W. u. FIEDLER, H.-J. (Hrsg.), S.317-322. Jena, Stuttgart, Lübeck, Ulm

DUHME, F. u. PAULEIT, S. (1992): Strukturtypenkartierung als Instrument der räumlich-integrativen Analyse und Bewertung der Stadt München. Teil 1: Ziele und Methodik.- Freising

EDWARDS, C.A. (1977): Investigations into the influence of agricultural practice on soil invertebrates.- Ann. Appl. Biol. 87, S. 515-520

EIKMANN, T. u. KOLKE, A. (1993): Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-)stoffe in Böden.- In: Bodenschutz - Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G. EINSELE, G. u. HARRESS, H.-M. (Hrsg.), 3590. Berlin

EISENBEIS, G. u. WICHARD, W. (1985): Atlas zur Biologie der Bodenarthropoden.- Stuttgart, New York

EISENBEIS, G. (1993): Zersetzung im Boden.- In: Bodenmesofauna und Naturschutz (= Informationen zu Naturschutz und Landschaftspflege in Nordwestdeutschland, 6, S. 53-76). Cloppenburg

EISENBEIS, G. (1994): Die Biologische Aktivität von Böden aus zoologischer Sicht.- Braunschw. Naturkdl. Schr., 4, S. 653-658

EISENBEIS, G., LENZ, R. u. HEIBER, T. (1996): Vergleichende Dekompositionsmessungen mit dem Minicontainer-System auf Agrar- und Waldstandorten in Rheinland-Pfalz.- Mitt. DBG, 81, S. 21-24

ELSNER, D.-C. u. BLUME, H.-P. (1995): Eignung verschiedener Methoden zur Untersuchung der mikrobiellen Aktitvitäten in zwei benachbarten Böden.- Mitt. DBG, 75, S. 71-74

EMMERLING, C. (1993): Nährstoffhaushalt und mikrobiologische Eigenschaften von Auenböden sowie die Besiedlung durch Bodentiere unter differenzierter Nutzung und Überschwemmungsdynamik.- Dissertation Universität Trier, (zugl. Berichte aus der Geowissenschaft), Aachen

EMMERLING, C., RITZMANN, P. u. SCHRÖDER, D. (1997): Langzeitwirkung organischer Reststoffe auf bodenbiologische Eigenschaften und den Streuabbau in Weinbergsböden.- Mitt. DBG, 85, II, S. 679-682

FETZER, K. D., KÖNIG, C., LARRES, K., LOBENHOFER, M., PORTZ, L. u. SCHLICKER, P. (1991): Der Aufbau des Bodeninformationssystems des Saarlandes (SAAR-BIS).- Mitt. DBG, 66 S. 783-786

FGSV - FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN UND VERKEHRSWESEN (1986): Empfehlungen für die Anlage von Erschließungsstraßen - EAE 85, Ausgabe 85

FILSER, J. (1992): Dynamik der Collembolengesellschaften als Indikatoren für bewirtschaftsbedingte Bodenbelastungen - Hopfenböden.- Dissertation Universität München, (zugl. Berichte aus der Geowissenschaft), Aachen

FILSER, J. u. HÖLSCHER, G. (1997): Experimental studies on the reactions of Collembola to copper contamination.- Pedobiologia, 41, S. 173-178

FILSER, J., FROMM, H., MOMMERTZ, S., NAGEL, R.F. u. WINTER, K. (1995): Einsatzmöglichkeiten von Regenwürmern, Collembolen und Mikroorganismen als Indikatoren für Bodenzustände.- Mitt. DBG, 75, S. 31-34

FIRMA GALABAU EMSLAND, STADT LINGEN U. FH-OSNABRÜCK LABOR FÜR TECHNIK (1995): Entsiegelungswirkung ausgewählter Oberbauarten für Verkehrsflächen in Abhängigkeit von Witterungsverlauf und Nutzung.- (Beschreibung des Forschungsvorhabens, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt), Osnabrück

FLEISCHMANN, S. u. WILKE, B. M. (1991): PAKs in Straßenrandböden.- Mitt. DBG, 63, S. 99-102

GEISSEN, V., ILLMANN, J., FLOHR, A., KAHRER, R. u. BRÜMMER, G. (1997): Effects of liming and fertilization on Collembola in forest soils in relation to soil chemical parameters.- Pedobiologia, 41, S. 194-201

GISEKE, U., HOLTMANN, K., HUCKE, J., LYNAR, W., MÜLLER, H., REINECKE, A. u. SANDER, R. (1988): Städtebauliche Lösungsansätze zur Verminderung der Bodenversiegelung als Beitrag zum Bodenschutz.- (= Schriftenreihe Forschung des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 456), Bonn-Bad Godesberg

GRENZIUS, R. (1987): Die Böden Berlins (West) - Klassifizierung, Vergesellschaftung, ökologische Eigenschaften.- Dissertation Technische Universität Berlin

GUTTE, P. (1981): Die Vegetation Leipziger Rasenflächen.- Tagungsbericht 1. Leipziger Symposium urbane Ökologie, S. 25-27. Leipzig

HAASE, R. (1986): Regenwasserversickerung in Wohngebieten - Flächenbedarf und Gestaltungsmöglichkeiten.- (= Beiträge zur Räumlichen Planung, 14), Hannover

HADE, J.-D. u. SMITH, D.-R. (1988): Permeability of concrete block pavements.- In: Third international conference of „Concrete Block Paving", S. 217-223, Rom

HAMBURGER UMWELTBERICHT (1991): Vorläufige Leitwerte für die Sanierung von Grundwasser- und Bodenkontaminationen aus Sicht des Grundwasserschutzes - Teil 1- Mineralölkohlenwasserstoffe.- In: Bodenschutz - Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G. EINSELE, G. u. HARRESS, H.-M. (Hrsg.), 8625. Berlin

HEBER, B. (1994): Bodenversiegelung in der Stadt am Beispiel der Stadt Dresden.- In: Tagungsband 1. Leipziger Symposium „Stadtökologie in Sachsen". SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (Hrsg.), S. 92-100. Dresden

HEBER, B. u. LEHMANN, I (1993): Stadtstrukturelle Orientierungswerte für die Bodenversiegelung in Wohngebieten.- (= IÖR -Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. Dresden- Schriften, 05), Dresden

HECK, M., RINK, U. u. WEIGMANN (1995): Blei- und Cadmiumbelastung von Bodentieren in einem immissionsbeeinflußten Forst in der Nähe von Berlin.- Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz, 4, S. 75-85

HEDLUND, K., BODDY, L. u. PRESTON, C.M. (1991): Mycelial response of the soil fungus, Mortierella isabellina, to grazing by Onychiurus armatus (Collembola).- Soil Biol. Biochem., 23, S. 361-366

HEINEMEYER, O., INSAM, H., KAISER, E.-A. u. WALENZIK, G. (1989): Soil microbial biomass and respiration measurements - an automated technique based on infrared gas analysis.- Plant and Soil, 116, S. 191-195

HEISLER, C. (1993): Einfluß von mechanischen Bodenbelastungen (Verdichtung auf Raubmilben und Collembolen in landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen.- In: Bodenmesofauna und Naturschutz (= Informationen zu Naturschutz und Landschaftspflege in Nordwestdeutschland, 6, S. 209-219). Cloppenburg

HEISLER, C. (1995): Collembola and Gamasina - bioindicators for soil compaction.- Acta Zool. Fennica, 196, S. 229-231

HEISLER, C. u. KAISER, E.-A. (1995): Influence of agricultural traffic and crop management on collembola and microbial biomass in arable soil.- Biol. Fertil. Soils, 19, S. 159-165

HELLING, B. (1997): Einfluß der Regenwürmer auf die Stickstoff-Mineralisation und die bodenbiologische Aktivität landwirtschaftlich genutzter Flächen bei verschiedenen N-Düngern.- Dissertation Universität Braunschweig, (zugl. Agrarökologie, 23), Hannover

HOFFMANN, A., FLIESSBACH, A., BODENRIEDER, A. u. MÄDER, P. (1997): Metabolische Aktivität von Bodenmikroorganismenpopulationen in einer Kleegras-Ansaatwiese verschiedener landwirtschaftlicher Anbausysteme im Vergleich zu Dauergrünland.- In: Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau 3.- 4. März 1997. KÖPKE, U. u. EISLE, J.-A. (Hrsg.), S. 91-95. Berlin

HOFFMANN, G. u. DEDEKEN, M. (1965): Eine Methode zur kolorimetrischen Bestimmung der ß-Glucosidaseaktivität in Böden.- Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 108, S. 195-201

INSAM, H. u. ÖHLINGER, R. (1993): Ökophysiologische Faktoren.- In: Bodenbiologische Arbeitsmethoden. SCHINNER, F, ÖHLINGER, H. KANDELER, E. u. MARGESIN, R. (Hrsg.), S. 281-284, 2. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest

JONEK, M. u. PRINZ, R. (1993): Inventur organischer Schadstoffe in Böden Bayerns.- (= GLA-Fachbericht, 9), München

KAISER, E.-A., WICKER, E., MOISER, A.R., MUNCH, J,C. u. HEINEMEYER, O., (1995): Umsatzleistungen der mikrobiellen Biomasse.- Vergleich arider Prärieböden mit semi-humiden Ackerböden.- Mitt. DBG, 75, S. 51-54

KANDELER, E., KAMPICHLER, C., BRUCKNER, A., JÖRGENSEN, R.G. MÖLTER, K. u. ZELLES, L. (1996): Ändern Bodentiere die Gemeinschaftsstruktur der Mikroorganismen und deren Stoffwechselleistungen in Mesokosmen?.- Mitt. DBG, 81, S. 117-120

KEPLIN, B. (1995a): Untersuchungen zur Bodenfauna städtischer Grünflächen unter dem Einfluß verschiedener Pflegemaßnahmen.- Dissertation Universität Münster (zugl. Arbeitsberichte Landschaftsökologie Münster - Mitteilungen der landschaftsökologischen Forschungsstelle Bremen, 6), Münster

KEPLIN, B. (1995b): Effects of extensive management practices on soil fauna of urban lawns.- Acta Zool. Fennica, 196, S. 239-242

KEPLIN, B (1997): Lumbricidenzönosen ausgewählter Stadtbiotope nach Nutzungsänderung.- Naturschutz und Landschaftsplanung, 10, S. 310-313

KIRCHNER, M. (1986): Versiegelung von Parkplätzen.- Garten + Landschaft, 3, S. 46-50

KLAUSNITZER, B. (1993): Ökologie der Großstadtfauna.- Jena, Stuttgart

KLIMAATLAS DER DDR (1953).- Meteorologischer und hydrologischer Dienst der DDR, Berlin

KNEIP, W.D., BRASKAMP, A., SCHEMSCHEIDT, B. u. SPEETZEN, F. (1990): Vier Jahre Stadtbodenkartierung von Hamburg. Probleme und Ergebnisse. Von der Kartierung zur Karte.- Mitt. DBG, 61, S. 97-104

KOLK, A., KEPLIN, B. u. HÜTTL, R.F. (1997): Untersuchungen zum Streuabbau, zur Mikrobiologie und zur Bodenmesofauna auf forstlich rekultivierten Standorten einer Kiefernchronosequenz.- Mitt. DBG, 85, II, S. 537-540

KOPESZKI, H. (1996): Collembolen als aktive Bioindikatoren bei Fragen der Schadstoffbelastung von Waldböden.- Mitt. DBG, 81, S. 259-262

KOWALEWSKI, P, NOBIS-WICHTERDING, H., SIEGERT, G. u. KAMBACH, S. (1984): Entwicklung von Methoden zur Aufrechterhaltung der natürlichen Versickerung von Wasser.- (= Bundesministerium für Forschung und Technologie, T 84-274), München

KRAATZ, M. (1995): Untersuchungen zum Einfluß von bodenmikrobiologischen Aktivitäten und Humifizierungsprozessen auf die Schadstoffdynamik während der mikrobiologischen on-site-Sanierung und Rekultivierung eines mit Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) belasteten Altstandortes.- Dissertation Universität Trier, (zugl. Berichte aus der Geowissenschaft), Aachen

KRATZ, W., BROSE, A. u. PIEPER, S. (1997): Bodenqualitätsziele aus der Sicht der Bodenzoologie. Ökotoxikologische Bewertung von BaP für den Bereich der Vorsorge am Beispiel von Rieselfeldböden.- Mitt. DBG, 85, III, S. 1587-1590

KRETZER, E. u. RUID-RODRIGUEZ, E. (1992): Tropfinfiltrometer für befestigte und unbefestigte Flächen.- Wasser + Boden, 12, S. 805 - 807

KRETZSCHMAR, R. (1986): Kulturtechnisch-Bodenkundliches Praktikum.- 5. Aufl., Kiel

KÜHNLET, W. (1989): Characteristics and development of urban soil fauna.- MAB-Mitteilungen, 30 S. 57-70

KURZ, H. (1996): Besonderheiten urbaner Vegetation.- In: Urbaner Bodenschutz. ARBEITSKREIS STADTBÖDEN DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT (Hrsg.), S. 85-98. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest

KUZNETZOVA, N. (1994): Collembolan guild structure as an indicator of tree planatation conditions in urban areas.- Memorabilia Zollogica, 49, S. 197-205

LABO -BUND-LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ- (1995): Hintergrund- und Referenzwerte für Böden.- In: Bodenschutz - Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G. EINSELE, G. u. HARRESS, H.-M. (Hrsg.), 9006. Berlin

LARINK, O., HEISLER, C., SÖCHTIG, W., LÜBBEN, B. u. WICKENBROCK, L. (1994): Auswirkungen von Bodenverdichtungen auf die Meso- und Makrofauna.- (= Landbauforschung Völkenrode, 147, S. 129-145

LAUKHUF, H. u. BECKER, J. (1986): Entsiegelung von Flächen.- (= Humanisierung im Städtebau-Verkehrswesen, 2), Hannover

LEICHTWEISS-INSTITUT FÜR WASSERBAU DER TU BRAUNSCHWEIG (1989a): Modellversuch zur Ermittlung der Versickerung von Regenspenden für das ESKOO-Betonpflastersystem RIMA.- (= Bericht 675), Braunschweig

LEICHTWEISS-INSTITUT FÜR WASSERBAU DER TU BRAUNSCHWEIG (1989b): Modellversuch zur Ermittlung der Durchlässigkeit von Betonpflastersteinen ESKOO-VANOTON.-(= Bericht 686), Braunschweig

LERSNER, H.v. (1989): Schutz des Bodens als umweltpolitische Aufgabe.- In: Bodenschutz - Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Boden, Landschaft und Grundwasser. ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., EINSELE, G. u. HARRES, H.-M. (Hrsg.), 0125. Berlin .

LIETH, H., KRUSE, M., STEGMAN, S. u. MINTRUP, K. (1989): Untersuchungen über die Quantität und Qualität der Bodenversiegelung eines Teiles der Stadt Osnabrück.- (= Beiträge der Arbeitsgruppe Systemforschung der Universität Osnabrück, 5), Osnabrück

LITZ, N. (1990): Schutz vor weiteren anthropogenen Organika-Einträgen.- In: Handbuch des Bodenschutzes. BLUME, H.-P. (Hrsg.), S. 579-584. Lansberg/Lech

LÖLF (1993): Beurteilung von PCB und PAK in Kulturböden.- (= Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, 7)

LOSCH, S. (1988): Sparsamer und schonender Umgang mit Grund und Boden in der Stadtplanung.- In: Bodenversiegelung im Siedlungsbereich (= Information zur Raumentwicklung., 8/9, S. 485-498), Bonn

LÜBBEN, B. (1991): Auswirkungen von Klärschlammdüngung und Schwermetallbelastung auf die Collembolenfauna eines Ackerstandortes.- Dissertation Universität Braunschweig

MACHULLA, G. (1997): Mikrobielle Aktivitäten.- In: Bewertung anthropogener Stadtböden. (= Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 38, S. 172-196), Kiel

MÄHLENHOFF, S. (1991): Ökologische Folgen der Bodenversiegelung.- Mitteilungen aus der Norddeutschen Naturschutzakademie NNA, 4, S. 6 - 16

MARAUN, M., MAREN, P. u. SCHEU, S. (1996): Sind Oribatiden und Collembolen in der Streu und im Boden eines Buchenwaldes (Fagus sylvatica) durch das Nahrungsangebot (Biomasse der Mikroorganismen) limitiert?.- Mitt. DBG, 81, S. 145-148

MARGESIN, R. u. SCHINNER, F. (1996): Abbau von Mineralölkohlenwasserstoffen in einer realen Altlast.- Mitt. DBG, 81, S. 303-306

MARTENS, R. (1991): Methoden zur quantitativen Bestimmung und Charakterisierung der mikrobiellen Biomasse im Boden.- unveröffentlichtes Manuskript

MATEJKO, C., BACHMANN, U. u. KLIMANEK, E.-A. (1995): Vergleich der Bioindikationsfunktion von Biotests mit unterschiedlich kontaminierten Böden.- Mitt. DBG, 75, S. 87-90

MIES, M. (1988): Rückwirkungen der Bodenversiegelung auf das Stadtklima.- In: Bodenversiegelung im Siedlungsbereich (= Informationen zur Raumentwicklung, 8/9, S. 529-533), Bonn

MIGGE, S., ALBERS, M., MARAUN, M. u. SCHEU, S. (1996): Oribatiden und Collembolen in einem Gradienten von Fichte (Picea abies) zu Buche (Fagus sylvatica): Mikosukzession in alternder Streu und Beziehungen zur mikrobiellen Biomasse.- Mitt. DBG, 81, S. 149-152

MOHS, B. u. MEINERS, H.-G. (1993): Kriterien des Bodenschutzes bei der Ver- und Entsiegelung von Böden, Untersuchungsprogramm Bodenver-entsiegelung. (Umweltbundesamt, Forschungsbericht: 10703007/16), Berlin

MÜLLER, P. C. (1980): Anpassungen und Informationsgehalt von Tiergruppen in Städten.- Verh. Dtsch. Zool. Ges., S. 57-77

MÜLLER, U. (1997): Beziehungen zwischen urbanen Flächenstrukturen und klimatischen Verhältnissen am Beispiel der Stadtregion Leipzig.- (= UFZ-Bericht, 2), Leipzig

MUNCH, J. C. (1996): Neue methodische Ansätze in der Bodenmikrobiologie - neue Möglichkeiten.- Mitt. DGB, 81, S. 3-6

MUNIER, C.-H. (1988): Satellitenfernerkundung zur Erfassung der Bodenversiegelung Berlins.- Stadt + Umwelt, 88, S. 46

MUTH, W. (1989): Sickerfähige Beläge aus Betonpflaster.- Sonderdruck Tiefbau, 6

MUTH, W. (1990): Sickerfähige Pflasterbeläge.- Neue Landschaft, 35, S. 613-625

MUTH, W. (1994a): Regenwasserversickerung von Verkehrsflächen.- Tiefbau-Ingenieurbau-Straßenbau, 5, S. 28-44

MUTH, W. (1994b): Ökologische Flächenbefestigung mit Betonpflaster.- Betonwerk-Fertigteil -Technik, 5, S. 114-123

NECKER, U. (1996): Wirkungsbezogene Bewertung der Schadstoffbelastung von Böden im Hinblick auf deren Lebensraum- und Stoffumsatzfunktion: Konzepte - Sachstand - Ausblick.- Mitt. DBG, 81, S. 267-270

NETZBAND, M (1998): Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung zur Versiegelungskartierung in Siedlungsräumen.- Dissertation Universität Dresden (zugl. IÖR -Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. Dresden- Schriften, 28), Dresden

NOBIS-WICHTERDING, H. (1993): Versickerungsverhalten von Gehbahnbefestigungen- Ergebnisse eines Forschungsvorhabens.- (Manuskript zum Referat, anläßlich des Kongresses „Durchlässigkeit von Verkehrsflächen, Boden- und Grundwasserschutz„)

PAGEL, R. u. HARTGE, K.H. (1992): Auswirkung unterschiedlicher Nutzung und Versiegelung auf den Jahresgang von Temperatur und Feuchte in Stadtböden.- Mitt. DBG, 67, S. 115-118

PAGEL, R., BACHMANN, J. u. HARTGE, K.H. (1993): Auswirkung unterschiedlicher Nutzung und Versiegelung auf den Jahresgang von Temperatur und Feuchte in Stadtböden.- Mitt. DBG, 72, S. 1387-1390

PIETSCH, P. u. KAMIETH, H. (1991): Stadtböden.- Taunusstein

PLUQUET, E. (1992): Schadstoffkataster Bremen.- In: Tagungsband Schutzgut Boden.- BODENÖKOLOGISCHE ARBEITSGEMEINSCHAFT BREMEN, (Hrsg.), S. 113-117. Bremen

POHL, W. (1991): Werte für die Landschafts- und Bauleitplanung - Bodenfunktionszahl - Grünvolumenzahl.- Mitteilungen aus der NNA, 4, S. 2-6

PRANZAS, N. (1994): Methode zur flächenhaften Bestimmung von Entsiegelungspotentialen in Wohngebieten.- Naturschutz und Landschaftsplanung, 26, (3), S. 94-97

PRANZAS, N. (1995): Beeinflussung des urbanen Wasserhaushalts durch Bodenversiegelung.- Korrespondenz Abwasser, 2, S. 242-247

PRÜESS, A. (1994): Einstufung mobiler Spurenelemente in Böden.- In: Bodenschutz - Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G. EINSELE, G. u. HARRESS, H.-M. (Hrsg.), 3600. Berlin

RANFT, F. (1994): Ökologische Modernisierung von Wohnsiedlungen.- Wiesbaden, Berlin

RANFT, F., KREDER, H., KNIPPRATH, K., BRUNS, D., HÜBNER, B. u. PUSTAL, W. (1991a): Bodenbeanspruchung, Bodenrelevante Aspekte und Veränderungspotentiale unterschiedlicher Wohnsiedlungsformen.- (Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht 0339142A ,Kurzfassung), Schorndorf

RANFT, F., KREDER, H., KNIPPRATH, K., BRUNS, D., HÜBNER, B. u. Pustal, W. (1991b): Bodenbeanspruchung, Bodenrelevante Aspekte und Veränderungspotentiale unterschiedlicher Wohnsiedlungsformen.- In: Bodenschutz in der Bauleitplanung. BINE-Projekt-Service, 1992, 8. Eggenstein-Leopoldshafen

REINIRKENS, P. (1990): -Siedlungsböden im Ruhrgebiet- Bedeutung und Klassifikation in urban-industriellen Ökosystem Bochums.- Dissertation Universität Bochum

RENGER, M. (1993): Bodenwasser- und Grundwasserhaushalt.- In: Stadtökologie. SUKOPP, H. u. WITTIG, R. (Hrsg.), S. 154-170. Stuttgart, Jena, New York

RICHTER, F. (1996): Anforderungen an den Untergrund von wasserdurchlässigen Pflaster- und Plattenbelägen.- In: Entsiegelung und Oberflächenwasserversickerung mit durchlässigen Platten- und Pflasterbelägen. FLL-Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.), S. 28-39. Troisdorf

RIDKY, R. (1991): Handbuch Siedlungsökologische Eckwerte zum Bebauungsplan.- Dortmund

RUNGE, I., MOLL, O., KNEIB, W.D., SOLTAU, B., u. BONGARD, B. (1989): Bodenforschung in Ökosystemen verdichteter Siedlungsformen -Forschungsstand und Forschungsbedarf, Teil 1 - Literaturauswertung.- (= KfA u. BMFT- Forschungsvorhaben), Kiel

SACHS, L. (1992): Angewandte Statistik - Anwendung statistischer Methoden.- Berlin

SÄCHSISCHE STAATSKANZLEI (1991): Erstes Gesetz zur Abfallwirtschaft und zum Bodenschutz im Freistaat Sachsen (EGAB).- Sächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt, 22/1991, Dresden

SCHAEFFER, M. (1989): Soil and litter arthropods of green urban spaces.- MAB-Mitt., 30, S. 85-102

SCHERER, V., LEGLER, C., HAUBOLD, W. u. FUHRMANN, L. (1996): Stadtbodenkartierung Dresden/West - Grundlage für die Entwicklung einer bodenökologischen Konzeptkarte.- In: 1. Sächsische Bodenschutztage 1995. STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (Hrsg.), S. 91-100. Dresden

SCHICK, H. u. KREIMES, K. (1993): Der Einsatz von Collembolen als Bioindikator.- In: Bodenmesofauna und Naturschutz (= Informationen zu Naturschutz und Landschaftspflege in Nordwestdeutschland, 6, S. 309-323), Cloppenburg

SCHLATTE, G., KAMPICHLER, C. u. KANDELER, E. (1996): Mikroarthropoden haben anscheinend keinen Einfluß auf die mikrobielle Aktivität in Fichtenstreu-Mikrokosmen.- Mitt. DBG, 81, S. 141-144

SCHNEIDER, J. u. KUES, J. (1990): Erstellung einer bodenkundlichen Konzeptkarte für urbane Ballungszentren - Konzeption des Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung.- Mitt. DBG, 61, S. 135-136

SCHÖNWIESE, C.-D. (1992): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler.- Berlin, Stuttgart

SCHOSS, H.-D. (1977): Die Bestimmung des Versiegelungsfaktors nach Meßtischblatt-Signaturen.- Wasser und Boden, 5, S. 138-140

SCHRAMM, M. (1996): Kennzeichnung von unterschiedlichen Flächenbefestigungen hinsichtlich ihrer hydraulisch-physikalischen Eigenschaften.- In: Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen.- (= UFZ-Bericht, 12, S.III 1-60), Leipzig

SCHRAMM, M., MÜNCHOW, B. u. BREUSTE, J. (1996): Untersuchungen zum Versickerungsverhalten durchlässig befestigter Flächen.- In: Stadtökologie und Stadtentwicklung: Das Beispiel Leipzig. BREUSTE, J. (Hrsg.), S. 319-334. Berlin

SCHRAMM, M. u. MÜNCHOW, B. (1996): Beregnungsversuche zur Ermittlung der Infiltrations- und Abflußcharakteristik neuer und gealterter Flächenbefestigungen.- In: Entsiegelung und Oberflächenwasserversickerung mit durchlässigen Platten- und Pflasterbelägen. FLL-Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.), S. 79-96. Troisdorf

SCHRAMM, M. (1997): Gesamtabflußbeiwerte.- In: Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben „Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen", Leipzig, unveröffentlicht

SCHULTE, G. (1995): Schadstoffhaushalt in Böden verdichteter Siedlungsformen (Stadtböden) - Schadstoffmobilität und ökotoxikologische Wirkung.- Abschlußbericht zum BMBF-Forschungsvorhaben „Stadtökologischer Strukturwandel der Stadtregion Leipzig", Leipzig, unveröffentlicht

SCHULTE, G. (1996a): Stadtböden - Schadstoffbelastung und Schadstoffmobilität.- (= UFZ-Bericht, 11), Leipzig

SCHULTE, G. (1996b): Schadstoffe in Böden verdichteter Siedlungsformen - Stadtböden.- In: Stadtökologie und Stadtentwicklung: Das Beispiel Leipzig. BREUSTE, J. (Hrsg.), S. 295-317. Berlin

SCHULTE, W. (1988): Auswirkungen von Verdichtung und Versiegelung des Bodens auf die Pflanzenwelt als Teil städtischer Ökosysteme.- In: Bodenversiegelung im Siedlungsbereich (= Informationen zur Raumentwicklung, 8/9, S. 505-515), Bonn

SCHULTE, W., FRÜND, H.-C., SÖNTGEN, M., GRAEFE, U., RUSZKOWSKI, B., VOGGENREITER, V. u. WERITZ, N. (1990): Zur Biologie städtischer Böden - Beispielraum Bonn - Bad Godesberg.- (= Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, 35), Bonn

SCHULTEN, H.R. u. LEINWEBER, P. (1991): Influence of long-term fertilization with farmyard manure in soil organic matter: Characteristics of particle-size fractions.- Biology and Fertility of Soils, 12, S. 81-88

SCHULZ, H.-D., POHL, W. u. GROSSMANN (1984): Gutachten: Werte für die Landschafts- und Bauleitplanung, Grünvolumenzahl und Bodenfunktionszahl.-(= Schriftenreihe der Behörde für Bezirksangelegenheiten, Naturschutz und Umweltgestaltung, 9), Hamburg

SEN UMW -SENATSVERWALTUNG FÜR GESUNDHEIT; STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ- (1996): Bewertungskriterien für die stofflicher Belastungen von Böden und Grundwasser in Berlin (Berliner Liste). In: Bodenschutz - Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G. EINSELE, G. u. HARRESS, H.-M. (Hrsg.), 8790. Berlin

SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ DER STADT BERLIN (Hrsg.) (1993): Erläuterungen zu der Karte Versiegelung.- In: Umweltatlas von Berlin, Karte 01.02, 1, Berlin

SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ DER STADT BERLIN (Hrsg.) (1993): Reduzierung und Minimierung der Bodenversiegelung.- (= Umwelt- und Naturschutz für Berliner Gewässer, 13), Berlin

SMU -STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG -FREISTAAT SACHSEN- (1994): Umweltbericht 1994.- Dresden

SÖNTGEN, M. (1988): Auswirkungen von Verdichtungen und Versiegelungen des Bodens auf die Tierwelt.- In: Bodenversiegelung im Siedlungsbereich (= Informationen zur Raumentwicklung, 8/9, S. 517 - 521), Bonn

SPERBER, H. u. HEINRICH-MEYER, H. (1989): Vorstellung eines Schemas zur Erfassung und Bewertung der Ver- und Entsiegelungsintensitäten in Siedlungsbereichen.- Das Gartenamt, 38, S. 294 - 298

STADT LEIPZIG (Hrsg.) (1993): Ortsteilkatalog der Stadt Leipzig.- Leipzig

STADT LEIPZIG (Hrsg.) (1994): Flächennutzungsplan der Stadt Leipzig.- Leipzig

STADT LEIPZIG (Hrsg.) (1995): Umweltbericht der Stadt Leipzig 1995.- Leipzig

STARKE, U, HERBERT, M. u. EINSELE, G., (1991): Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in Boden und Grundwasser - Teil 1 - Grundlagen zur Beurteilung von Schadensfällen.- In: Bodenschutz - Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G. EINSELE, G. u. HARRESS, H.-M. (Hrsg.), 1680. Berlin

STATISTISCHES BUNDESAMT (1998): Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 1998.- Wiesbaden

STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN (1998): Statistisches Jahrbuch Sachsen 1998.- Dresden

STERZYNSKA, M (1987): Structure of springtail (Collembola) communities in urban green of Warsaw.- In: Structure of the fauna of Warswa; effects of the urban pressure on animal communities. (= Mem. Zool., 42, S. 3-18). Warschau

STOYE, H. u. LINGSLEBE, W. (1994): Leipziger Stadtböden.- In: 1. Leipziger Symposium Stadtökologie, Tagungsband. SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (Hrsg.), S. 101-109. Dresden

SUDA, S., YAMANAKA, S., KODAMA, O., HATA, M. u. KUNIMURA, T. (1988): Development and application of permeable paving concrete block.- In: Third international conference of „Concrete Block Paving", S.130 - 133. Rom

SUKOPP, H. (1995): Ökologische Charakterisierung von Großstädten.- In: 1. Leipziger Symposium Stadtökologie, Tagungsband. SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (Hrsg.), S. 62-69. Dresden

TEBAAY, R. H., WELP, G. u. BRÜMMER, G. (1993): Gehalte an Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und deren Verteilung in unterschiedlich belasteten Böden.- Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 156, S. 1-10

TISCHLER, W. (1965): Agrarökologie.- Jena

TROLLDENIER, G. (1986): Einfluß von Kulturmaßnahmen auf das Bodenleben.- Kali-Briefe, 18, S. 371-382

UMWELTBUNDESAMT (1993): Umweltdaten kurz gefaßt.- Berlin

UNGER, M.A. u. PRINZ, D. (1997): Bodenbelastung an Straßen mit Schwermetallen und organischen Fremdstoffen- In: Bodenschutz - Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G. EINSELE, G. u. HARRESS, H.-M. (Hrsg.), 7320. Berlin

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1982): Test-Method-Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. - (= EPA-Method 610, 07)

VWV - VERWALTUNGSVORSCHRIFT BADEN-WÜRTTEMBERG- (1993): Dritte Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetzt über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten anorganischer Schadstoffe im Boden - (VWV Anorganische Schadstoffe vom 24. August 1993)

WALLWORK, J. A. (1976): The distribution and diversity of soil fauna.- London

WEIGMANN, G. u. STRAHL, H. (1979): Bodenfauna im Tiergarten.- In: Ökologisches Gutachten über die Auswirkungen von Bau und Betrieb der BAB Berlin (West) auf den großen Tiergarten. SUKOPP, H. (Hrsg.), S. 54-71. Berlin

WERITZ, N. (1990): Mikrobielle Untersuchungen in Stadtböden unterschiedlicher Nutzung und Schwermetallbelastung zur Charakterisierung der Bodenfunktionalität.- Dissertation Universität Trier

WERITZ, N u. SCHRÖDER, D. (1990): Die Bewertung mikrobieller Aktivitäten in Stadtböden als Beitrag zum städtischen Bodenschutz.- Mitt. DBG, 61, S. 149-152

WESSOLEK, G. (1988): Auswirkungen der Bodenversiegelung auf Boden und Wasser.- In: Bodenversiegelung im Siedlungsbereich (= Informationen zur Raumentwicklung, 8/9, S. 535 - 541), Bonn

WESSOLEK, G. u. FACKLAM, M. (1997): Standorteigenschaften und Wasserhaushalt von versiegelten Flächen.- Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 160, S. 41-46

WESSOLEK, G. u. RENGER, M. (1986): Water regime of Berlin (West).- Mitt. DBG, S. 33-42

WESSOLEK, G., PLATH, R., FACKLAM. M. u. RENGER, M. (1990): Aspekte zum Wasser- und Wärmehaushalt versiegelter Standorte.- Mitt. DBG, 61, S.153 - 158

WILLER, I. (1995): Struktur, Dynamik und Ökologie epigäischer Collembolen unterschiedlicher Boden- und Vegetationstypen.- (= Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, 24, S. 459-463), Frankfurt

WIRTH, W. (1988): Ökologische Grenzen der Versiegelung - Artenverdrängung auf unversiegelten Flächen.- In: Bodenversiegelung im Siedlungsbereich (= Information zur Raumentwicklung., 8/9, S. 523-527), Bonn

WITTIG, R., SUKOPP, H., KLAUSNITZER, B. (1993): Die ökologische Gliederung der Stadt.- In: Stadtökologie. SUKOPP, H. u. WITTIG, R. (Hrsg.), S. 271-318, Stuttgart

WOLFF, R. (1993): Erfassung, Beschreibung und funktionale Bewertung der Eigenschaften von Stadtböden am Beispiel Hamburgs.- Dissertation Universität Hamburg

Tab. 51: Prozentualer Anteil der Nutzungsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (bezogen auf die Blockfläche ohne Verkehrsfläche)

Container	begangen	befahren	ruhender Verkehr	keine Nutzung	Wasserfläche	Gleiskörper	Sonderfläche
Blockbebauung							
0.00	62.74	37.04	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00
0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	44.70	12.54	42.76	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	31.82	64.11	0.00	4.07	0.00	0.00	0.00
0.00	29.12	70.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	72.37	27.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	62.72	1.98	35.07	0.00	0.00	0.00	0.23
umgestaltete Blockbebauung							
0.00	94.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.97
0.00	90.54	0.00	1.31	2.20	0.00	0.00	5.95
offene Blockbebauung							
0.00	78.20	5.53	4.49	11.74	0.00	0.00	0.00
0.00	74.60	6.35	0.00	0.00	0.00	0.00	19.05
0.00	33.04	65.89	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07
0.00	14.09	82.57	3.34	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	40.74	59.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	15.47	78.87	0.00	5.66	0.00	0.00	0.00
Blockrandbebauung							
0.00	97.65	0.32	0.00	0.63	0.00	0.00	0.95
0.00	90.28	8.82	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	66.45	33.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	71.60	27.37	0.00	1.03	0.00	0.00	0.00
0.00	64.20	30.83	4.22	0.75	0.00	0.00	0.00
0.00	74.98	24.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90
Randbebauung der 20/30er Jahre							
0.00	88.60	8.60	2.79	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	93.85	4.28	0.00	0.00	0.00	0.00	1.87
0.00	78.03	19.95	0.00	2.02	0.00	0.00	0.00
0.00	76.25	0.00	0.00	22.41	0.00	0.00	1.34
0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	74.87	25.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	91.05	8.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	94.56	0.00	0.00	1.73	0.00	0.00	3.71
0.00	97.97	0.00	0.00	1.58	0.00	0.00	0.45
Zeilenbebauung der 20/30er Jahre							
0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zeilenbebauung der 50/60er Jahre							
0.00	98.75	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00
0.00	69.50	5.46	24.81	0.00	0.00	0.00	0.22
Villen/Stadthäuser							
0.00	69.92	26.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	49.42	50.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	29.01	61.53	0.00	0.00	0.00	0.00	9.46
0.00	96.58	1.02	0.00	0.00	2.40	0.00	0.00

Fortsetzung Tab. 51: Prozentualer Anteil der Nutzungsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (bezogen auf die Blockfläche ohne Verkehrsfläche)

Container	begangen	befahren	ruhender Verkehr	keine Nutzung	Wasserfläche	Gleiskörper	Sonderfläche
Doppelhäuser							
0.00	51.01	48.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	65.88	34.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	69.53	30.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ehemaliger Dorfkern							
0.83	48.99	8.04	34.17	0.00	0.00	0.00	7.97
Großwohnsiedlung							
0.00	48.17	31.76	4.93	6.29	0.00	0.00	8.86
0.00	59.45	31.95	0.00	6.13	0.00	0.00	2.47
0.00	86.66	0.00	0.00	8.09	0.00	0.00	5.25
0.00	94.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.36
0.00	80.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.18
0.00	95.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.65
innerstädtische Erneuerungsgebiete in Plattenbauweise							
0.00	71.80	1.53	21.47	0.00	0.00	0.00	5.20
0.00	66.20	12.10	20.49	0.21	0.00	0.00	1.00
0.00	96.44	0.00	3.56	0.00	0.00	0.00	0.00
Stadtzentrum							
0.00	19.78	0.00	65.27	1.93	0.00	0.00	13.02
revitalisierter Industriestandort							
0.00	32.15	4.66	62.12	1.07	0.00	0.00	0.00
0.00	7.51	0.00	90.21	2.28	0.00	0.00	0.00
0.00	25.48	46.30	27.07	1.02	0.00	0.13	0.00
neues Gewerbegebiet							
0.00	10.18	58.98	30.64	0.00	0.00	0.00	0.20

Tab. 52: Prozentualer Anteil der Belagsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (bezogen auf die Blockfläche ohne Verkehrsfläche)

gebundene Decken	Groß-format-platten	Natur-stein-platten	Platten-belag	Beton-verbund-steine	Groß- u. Mittel-pflaster	Klein- u. Mosaik-pflaster	unge-bundene Decken	Locker-material	Beton-sicker-pflaster
Blockbebauung									
1.82	0.00	0.00	0.00	80.15	0.88	1.99	6.74	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	66.98	28.07	0.00	0.00	4.95	0.00	0.00
5.47	0.00	0.00	0.00	60.55	33.98	0.00	0.00	0.00	0.00
22.44	0.00	0.00	0.00	65.59	2.31	4.70	4.07	0.00	0.89
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18.13	0.00	0.00	0.10	36.67	8.19	1.09	1.37	1.54	32.91
umgestaltete Blockbebauung									
0.00	91.35	0.00	2.68	0.00	0.00	0.00	0.00	5.97	0.00
19.09	70.46	0.00	2.31	0.00	0.00	0.00	2.20	5.94	0.00
offene Blockbebauung									
6.22	4.84	0.52	33.33	10.36	29.01	0.00	4.49	0.00	11.23
9.13	0.00	0.00	31.73	0.00	34.73	24.60	0.00	0.00	0.00
24.66	0.00	0.00	9.16	11.11	47.76	4.78	2.53	0.00	0.00
15.12	0.00	0.00	4.06	5.34	65.77	0.00	1.94	0.00	7.77
9.46	0.00	0.00	0.00	78.56	0.00	0.00	11.98	0.00	0.00
3.05	13.70	0.00	1.48	43.20	3.56	2.05	27.03	5.93	0.00
Blockrandbebauung									
6.18	0.00	1.43	8.24	74.48	0.00	8.72	0.00	0.95	0.00
7.03	0.30	0.00	3.89	77.12	0.00	10.76	0.00	0.00	0.90
0.28	0.00	0.00	3.67	74.99	0.00	21.06	0.00	0.00	0.00
13.17	0.00	0.00	0.00	81.07	0.00	5.76	0.00	0.00	0.00
7.97	0.00	0.00	0.00	68.54	14.65	0.00	0.00	4.62	4.22
11.51	0.00	0.00	8.13	10.12	60.96	6.40	2.88	0.00	0.00
Randbebauung der 20/30er Jahre									
0.00	0.00	0.00	0.00	70.23	0.00	29.77	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	47.06	0.00	24.60	26.47	1.87	0.00
0.00	0.00	0.00	6.57	88.89	0.00	4.57	0.00	0.00	0.00
2.68	0.00	0.00	8.03	33.11	0.00	34.11	22.11	0.00	0.00
25.26	0.00	2.39	3.18	0.00	47.14	12.89	9.14	0.00	0.00
6.96	0.00	0.00	13.14	0.00	65.86	14.02	0.00	0.00	0.00
11.49	0.00	0.00	0.47	58.27	0.00	25.19	4.08	0.50	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.60	0.00	0.00	28.19	3.55	50.22	2.39	10.04	4.02	0.00
1.57	0.00	0.00	32.74	0.00	53.16	6.89	5.19	0.45	0.00
Zeilenbebauung der 20/30er Jahre									
68.35	0.00	11.52	0.00	0.00	0.00	20.13	0.00	0.00	0.00
Zeilenbebauung der 50/60er Jahre									
0.00	0.00	0.00	13.93	80.07	0.00	0.00	1.36	4.64	0.00
28.03	7.32	0.00	58.45	0.00	0.00	0.00	5.97	0.22	0.00

Fortsetzung Tab. 52: Prozentualer Anteil der Belagsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (bezogen auf die Blockfläche ohne Verkehrsfläche)

gebundene Decken	Groß-format-platten	Natur-stein-platten	Platten-belag	Beton-verbund-steine	Groß- u. Mittel-pflaster	Klein- u. Mosaik-pflaster	unge-bundene Decken	Locker-material	Beton-sicker-pflaster
Villen/Stadthäuser									
13.70	0.00	0.00	7.19	69.24	0.00	3.27	3.33	3.27	0.00
3.51	0.00	0.00	0.00	72.27	2.58	8.93	6.70	0.00	6.01
20.20	3.67	8.31	12.68	0.00	0.00	39.94	15.20	0.00	0.00
6.93	1.03	10.70	0.00	0.00	11.71	69.63	0.00	0.00	0.00
Doppelhäuser									
24.11	0.00	0.00	13.55	54.10	0.00	0.09	0.00	0.00	8.15
7.12	0.00	3.31	86.71	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.00	0.00	3.65	81.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.82
ehemaliger Dorfkern									
49.79	0.00	0.00	1.19	35.34	4.44	0.00	0.00	8.80	0.44
Großwohnsiedlung									
30.40	44.37	0.00	0.00	5.43	2.90	0.00	6.02	10.88	0.00
0.00	48.62	0.00	0.00	42.78	0.00	0.00	6.13	2.47	0.00
0.00	80.57	0.00	0.00	6.09	0.00	0.00	8.09	5.25	0.00
0.00	86.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.59	0.00	0.00
0.00	68.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.44	20.22	0.00
0.00	89.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.73	4.65	0.00
innerstädtisches Erneuerungsgebiet in Plattenbauweise									
21.47	73.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	0.00
62.46	33.21	0.00	0.09	0.86	0.00	0.33	0.00	3.05	0.00
0.00	84.78	0.00	1.26	0.00	0.00	0.00	5.76	6.25	1.95
Stadtzentrum									
51.40	0.00	0.00	0.00	1.15	3.02	3.91	27.50	13.02	0.00
revitalisierter Industriestandort									
20.77	0.00	0.00	18.13	2.06	41.74	0.28	1.30	7.26	8.46
94.99	0.00	0.00	0.00	2.01	0.00	2.21	0.79	0.00	0.00
46.52	0.00	0.00	11.19	32.00	1.86	0.00	0.00	0.38	8.05
neues Gewerbegebiet									
65.27	0.00	0.00	0.60	33.90	0.00	0.17	0.06	0.00	0.00

Tab. 53: Prozentualer Anteil der Entwässerungsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (bezogen auf die Blockfläche ohne Verkehrsfläche)

Kanal-anschluß	bedingter Kanalanschluß	Drainagen	Graben-anschluß	Stau-wasser	Entwässerung unklar	technische Versickerung	natürliche Versickerung
Blockbebauung							
73.47	6.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.54
84.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.24
99.32	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
86.05	6.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.27
97.94	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.89
98.64	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09
63.72	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.82
umgestaltete Blockbebauung							
91.35	2.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.97
17.77	70.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.77
offene Blockbebaung							
60.62	1.21	0.00	0.00	0.00	0.00	11.23	26.94
75.40	5.56	0.00	0.00	0.00	19.05	0.00	0.00
86.36	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.89
89.24	2.53	2.09	0.00	0.00	0.00	0.00	6.14
70.10	7.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.66
45.67	38.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.77
Blockrandbebauung							
68.94	11.25	0.00	0.00	0.00	0.95	0.00	18.86
85.35	13.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90
85.42	12.60	0.00	1.97	0.00	0.00	0.00	0.00
91.36	5.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.88
85.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.24
82.31	12.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.33
Randbebauung der 20/30er Jahre							
70.23	29.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.28
75.40	24.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
87.88	9.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.27
28.76	47.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.41
74.18	10.50	0.00	0.00	0.00	2.59	0.00	12.73
88.29	10.36	0.00	0.00	0.00	1.35	0.00	0.00
67.91	14.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	17.19
88.30	5.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.82
79.55	17.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77	1.96
0.00	12.21	0.00	0.00	1.60	0.61	0.00	85.58
52.25	38.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	9.30
Zeilenbebauung der 20/30er Jahre							
28.68	58.61	0.00	0.00	1.19	0.00	0.00	11.52
Zeilenbebauung der 50/60er Jahre							
4.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	92.53
18.04	31.37	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	49.90
Villen/Stadthäuser							
23.54	41.09	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38	30.18
47.29	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.32
13.63	35.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.52
5.13	12.82	0.00	0.00	2.39	7.34	0.00	72.32

Fortsetzung Tab. 53: Prozentualer Anteil der Entwässerungsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Leipzig (bezogen auf die Blockfläche ohne Verkehrsfläche)

Kanal-anschluß	bedingter Kanalanschluß	Drainagen	Graben-anschluß	Stau-wasser	Entwässerung unklar	technische Versickerung	natürliche Versickerung
Doppelhäuser							
16.07	54.38	0.00	0.00	0.00	9.49	0.00	20.07
1.08	9.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89.56
0.93	16.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	82.20
ehemaliger Dorfkern							
73.86	6.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.98
Großwohnsiedlung							
29.47	13.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.69
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
0.00	15.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.84
0.00	17.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	82.05
0.00	9.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.28
innerstädtische Erneuerungsgebiete in Plattenbauweise							
2.78	52.90	0.00	0.00	0.00	4.52	0.00	39.80
51.78	17.13	0.00	0.00	0.00	0.00	3.05	28.04
1.26	84.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.96
Stadtzentrum							
58.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.17
revitalisierter Industriestandort							
81.43	0.62	0.00	0.00	0.00	7.67	0.00	10.28
97.09	2.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80
72.46	19.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.30
neues Gewerbegebiet							
65.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.68	2.21

Tab. 54: Prozentualer Anteil der Nutzungsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Dresden (bezogen auf die Blockfläche ohne Verkehrsfläche)

Container	begangen	befahren	ruhender Verkehr	keine Nutzung	Wasserfläche	Gleiskörper	Sonderfläche	Tiefgarage
Blockbebauung								
0.00	72.95	27.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	47.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.60	0.00
0.00	45.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.69	0.00
offene Blockbebauung								
0.45	75.36	14.08	2.26	0.00	0.00	0.00	7.85	0.00
0.00	23.77	73.82	0.00	1.66	0.00	0.00	0.75	0.00
Blockrandbebauung								
0.17	49.42	0.19	0.00	0.12	0.02	0.00	50.08	0.00
Randbebauung der 20/30er Jahre								
0.00	91.59	5.59	0.00	0.16	0.00	0.00	2.66	0.00
0.64	99.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.31	99.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00
0.00	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Großwohnsiedlung								
0.00	38.93	29.85	22.33	0.00	0.00	0.00	8.89	0.00
0.00	51.49	12.68	9.34	0.00	0.00	0.00	26.49	0.00
0.00	68.18	8.75	0.00	0.50	0.00	0.00	22.57	0.00
Punkthochhausbebauung								
0.00	61.83	18.05	12.47	2.18	0.00	0.00	5.47	0.00
Wohnpark								
0.00	16.03	56.68	11.74	0.00	5.03	0.00	10.52	0.00
0.00	32.96	20.49	13.70	0.00	0.00	0.00	32.85	6.66
0.00	29.63	2.94	0.00	0.00	0.00	0.00	67.43	0.00

Tab. 55: Prozentualer Anteil der Belagsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Dresden (bezogen auf die Blockfläche ohne Verkehrsfläche)

gebundene Decken	Groß-format-platten	Natur-stein-platten	Platten-belag	Beton-verbund-steine	Groß- u. Mittel-pflaster	Klein- u. Mosaik-pflaster	unge-bundene Decken	Locker-material	Beton - sicker-pflaster	Unter-flurver-siegelung
Blockbebauung										
27.05	0.00	0.00	0.00	0.00	72.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19.36	0.28	0.00	0.00	1.41	9.87	16.47	0.00	52.61	0.00	0.00
17.82	5.08	0.00	0.00	11.43	7.57	3.42	0.00	54.68	0.00	0.00
offene Blockbebauung										
1.06	0.00	0.00	0.00	52.26	3.77	28.51	1.30	13.10	0.00	0.00
12.74	23.78	0.00	0.00	2.60	11.31	3.17	2.35	44.05	0.00	0.00
Blockrandbebauung										
3.26	0.00	0.00	14.31	4.12	6.86	18.01	0.00	53.44	0.00	0.00
Randbebauung der 20/30er Jahre										
17.78	7.92	0.00	0.00	0.00	25.88	7.45	0.94	40.03	0.00	0.00
3.27	0.16	0.00	9.81	0.00	0.00	11.24	0.00	75.52	0.00	0.00
0.00	0.23	0.00	29.13	0.00	0.00	1.86	0.00	68.47	0.31	0.00
26.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.31	0.00	0.00	0.00	0.00
Großwohnsiedlung										
53.09	6.93	0.00	31.18	0.00	0.16	0.90	0.00	7.74	0.00	0.00
24.00	18.35	12.45	1.20	0.53	10.05	1.76	1.03	30.63	0.00	0.00
8.75	49.78	0.00	7.25	0.30	0.00	4.67	0.00	29.25	0.00	0.00
Punkthochhausbebauung										
32.70	0.00	56.18	0.00	0.00	7.35	3.77	0.00	0.00	0.00	0.00
Wohnpark										
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.32	0.00	18.68	0.00	0.00
2.09	0.00	0.00	0.00	44.71	0.00	0.00	0.00	11.59	10.47	31.14
8.97	0.68	0.00	0.00	11.90	0.00	0.00	0.00	13.08	0.00	65.37

Tab. 56: Prozentualer Anteil der Entwässerungsarten an der befestigten Fläche in den Stadtstrukturtypen in Dresden (bezogen auf die Blockfläche ohne Verkehrsfläche)

Kanal-anschluß	bedingter Kanalanschluß	Drainagen	Graben-anschluß	Stau-wasser	Entwässerung unklar	technische Versickerung	natürliche Versickerung
Blockbebauung							
89.34	10.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36.39	2.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.07
27.81	17.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.69
offene Blockbebauung							
57.60	34.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.14
44.25	18.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.89
Blockrandbebauung							
33.97	9.29	0.00	0.00	0.02	0.49	0.00	56.23
Randbebauung der 20/30er Jahre							
11.02	64.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.19
69.14	18.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.37
56.52	42.16	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	1.01
62.92	37.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Großwohnsiedlung							
57.95	20.97	0.00	0.00	2.53	0.00	0.00	18.55
0.00	41.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.61
5.27	0.76	0.00	0.00	0.00	4.23	0.00	89.74
Punkthochhausbebauung							
24.35	75.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wohnpark							
0.00	0.00	0.00	0.00	5.03	53.54	0.00	41.43
48.22	18.93	0.00	0.00	0.00	0.00	31.14	1.71
19.63	12.77	0.00	0.00	0.00	0.00	65.37	2.23

Tab. 57: Gesamtabflußbeiwerte der untersuchten Flächenbefestigungen für verschiedene Intensitätsstufen r (mm/h) und Regenzeiträume t (min)

Gealterte Pflaster- und Plattenbeläge				
Intensität	Regendauer *t* [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,16	0,24
20	0,24	0,49	0,58	0,62
30	0,49	0,66	0,72	0,75
40	0,62	0,75	0,79	0,81
50	0,70	0,80	0,83	0,85
60	0,75	0,83	0,86	0,87
70	0,78	0,86	0,88	0,89
80	0,81	0,87	0,89	0,91
90	0,83	0,89	0,91	0,92
100	0,85	0,90	0,92	0,92

Betonverbundpflaster (sandverfugt)				
Intensität	Regendauer *t* [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,21	0,29	0,33
30	0,32	0,47	0,53	0,55
40	0,49	0,61	0,65	0,67
50	0,59	0,68	0,72	0,73
60	0,66	0,74	0,76	0,78
70	0,71	0,77	0,80	0,81
80	0,74	0,80	0,82	0,83
90	0,77	0,82	0,84	0,85
100	0,79	0,84	0,86	0,87

Kunstharzgebundene Decke (hoher Anfangswassergehalt)				
Intensität	Regendauer *t* [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,02	0,04	0,05
60	0,13	0,18	0,20	0,21
70	0,25	0,30	0,31	0,32
80	0,35	0,39	0,40	0,41
90	0,42	0,45	0,47	0,47
100	0,48	0,51	0,52	0,52

Fortsetzung Tabelle 57: Gesamtabflußbeiwerte der untersuchten Flächenbefestigungen für verschiedene Intensitätsstufen r (mm/h) und Regenzeiträume t (min)

Wassergebundene Decken mit geringem Skelettanteil in der Deckschicht und hohen Anteilen abschlämmbarer Korngrößen in den Deck- und Tragschichten									
hoher Anfangswassergehalt						geringer Anfangswassergehalt			
Intensität	Regendauer *t* [min]					Intensität	Regendauer *t* [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60		*r* [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,35	0,54	0,64		10	0,00	0,00	0,30	0,46
20	0,38	0,67	0,77	0,82		20	0,01	0,49	0,65	0,73
30	0,58	0,78	0,85	0,88		30	0,34	0,66	0,77	0,82
40	0,69	0,84	0,89	0,91		40	0,50	0,74	0,82	0,86
50	0,75	0,87	0,91	0,93		50	0,60	0,80	0,86	0,89
60	0,79	0,89	0,92	0,94		60	0,67	0,83	0,88	0,91
70	0,82	0,91	0,93	0,95		70	0,72	0,85	0,90	0,92
80	0,84	0,92	0,94	0,96		80	0,75	0,87	0,91	0,93
90	0,86	0,93	0,95	0,96		90	0,78	0,89	0,92	0,94
100	0,88	0,93	0,95	0,96		100	0,80	0,90	0,93	0,95

Wassergebundene Decken mit hohem Skelettanteil in der Deckschicht und hohen Anteilen abschlämmbarer Korngrößen in den Deck- und Tragschichten									
hoher Anfangswassergehalt						geringer Anfangswassergehalt			
Intensität	Regendauer *t* [min]					Intensität	Regendauer *t* [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60		*r* [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,02		10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,18	0,40	0,47	0,51		20	0,00	0,05	0,24	0,33
30	0,45	0,60	0,65	0,67		30	0,00	0,36	0,49	0,56
40	0,59	0,70	0,74	0,76		40	0,24	0,52	0,62	0,67
50	0,67	0,76	0,79	0,80		50	0,39	0,62	0,70	0,73
60	0,73	0,80	0,82	0,84		60	0,50	0,68	0,75	0,78
70	0,77	0,83	0,85	0,86		70	0,57	0,73	0,78	0,81
80	0,80	0,85	0,87	0,88		80	0,62	0,76	0,81	0,83
90	0,82	0,87	0,88	0,89		90	0,66	0,79	0,83	0,85
100	0,84	0,88	0,89	0,90		100	0,70	0,81	0,85	0,87

Wassergebundene Decken mit hohem Skelettanteil in der Deckschicht und geringen Anteilen abschlämmbarer Korngrößen in den Deck- und Tragschichten									
hoher Anfangswassergehalt						geringer Anfangswassergehalt			
Intensität	Regendauer *t* [min]					Intensität	Regendauer *t* [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60		*r* [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00		10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,04		20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,14	0,28	0,33	0,36		30	0,00	0,10	0,21	0,27
40	0,35	0,46	0,50	0,52		40	0,08	0,33	0,41	0,45
50	0,48	0,57	0,60	0,62		50	0,27	0,46	0,53	0,56
60	0,57	0,64	0,67	0,68		60	0,39	0,55	0,61	0,63
70	0,63	0,69	0,71	0,73		70	0,48	0,62	0,66	0,69
80	0,68	0,73	0,75	0,76		80	0,54	0,66	0,71	0,73
90	0,71	0,76	0,78	0,79		90	0,59	0,70	0,74	0,76
100	0,74	0,79	0,80	0,81		100	0,63	0,73	0,76	0,78

Fortsetzung Tabelle 57: Gesamtabflußbeiwerte der untersuchten Flächenbefestigungen für verschiedene Intensitätsstufen r (mm/h) und Regenzeiträume t (min)

Rasengittersteine (spärlicher Bewuchs)										
hoher Anfangswassergehalt						geringer Anfangswassergehalt				
Intensität	Regendauer *t* [min]					Intensität	Regendauer *t* [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60		*r* [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00		10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,25	0,36	0,42		20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,26	0,50	0,58	0,62		30	0,00	0,00	0,00	0,02
40	0,45	0,62	0,68	0,71		40	0,00	0,09	0,20	0,26
50	0,56	0,70	0,75	0,77		50	0,06	0,27	0,36	0,41
60	0,63	0,75	0,79	0,81		60	0,22	0,39	0,47	0,51
70	0,68	0,78	0,82	0,84		70	0,33	0,48	0,55	0,58
80	0,72	0,81	0,84	0,86		80	0,41	0,55	0,60	0,63
90	0,75	0,83	0,86	0,87		90	0,48	0,60	0,65	0,67
100	0,78	0,85	0,87	0,88		100	0,53	0,64	0,68	0,71

Rasengittersteine (dichter Bewuchs)										
hoher Anfangswassergehalt						geringer Anfangswassergehalt				
Intensität	Regendauer *t* [min]					Intensität	Regendauer *t* [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60		*r* [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00		10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00		20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00		30	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00		40	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,00	0,00		50	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00	0,00		60	0,00	0,00	0,00	0,00
70	0,00	0,00	0,00	0,00		70	0,00	0,00	0,00	0,00
80	0,00	0,00	0,00	0,00		80	0,00	0,00	0,00	0,00
90	0,00	0,00	0,00	0,00		90	0,00	0,00	0,00	0,00
100	0,00	0,00	0,00	0,00		100	0,00	0,00	0,00	0,00

Betonpflaster mit Rasenfugen (spärlicher Bewuchs)										
hoher Anfangswassergehalt						geringer Anfangswassergehalt				
Intensität	Regendauer t [min]					Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60		*r* [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,13	0,20		10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,27	0,49	0,56	0,60		20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,51	0,66	0,71	0,73		30	0,00	0,14	0,21	0,26
40	0,64	0,75	0,78	0,80		40	0,22	0,35	0,41	0,44
50	0,71	0,80	0,83	0,84		50	0,38	0,48	0,53	0,55
60	0,76	0,83	0,85	0,87		60	0,48	0,57	0,61	0,63
70	0,79	0,85	0,88	0,89		70	0,55	0,63	0,66	0,68
80	0,82	0,87	0,89	0,90		80	0,61	0,68	0,70	0,72
90	0,84	0,89	0,90	0,91		90	0,65	0,71	0,74	0,75
100	0,85	0,90	0,91	0,92		100	0,69	0,74	0,76	0,78

Fortsetzung Tabelle 57: Gesamtabflußbeiwerte der untersuchten Flächenbefestigungen für verschiedene Intensitätsstufen r (mm/h) und Regenzeiträume t (min)

Betonpflaster mit Rasenfugen (dichter Bewuchs)									
hoher Anfangswassergehalt						geringer Anfangswassergehalt			
Intensität	Regendauer t [min]					Intensität	Regendauer t [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60		*r* [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00		10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00		20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00		30	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00		40	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,13	0,16	0,18	0,19		50	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,28	0,30	0,31	0,32		60	0,11	0,11	0,13	0,14
70	0,38	0,40	0,41	0,42		70	0,24	0,24	0,25	0,26
80	0,46	0,48	0,49	0,49		80	0,33	0,33	0,34	0,35
90	0,52	0,54	0,54	0,55		90	0,41	0,41	0,42	0,42
100	0,57	0,58	0,59	0,59		100	0,46	0,47	0,48	0,48

Betonsteinpflaster mit Sickeröffnungen (verschlämmt)									
hoher Anfangswassergehalt						geringer Anfangswassergehalt			
Intensität	Regendauer *t* [min]					Intensität	Regendauer *t* [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60		*r* [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00		10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,14	0,22		20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,04	0,33	0,43	0,48		30	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,28	0,50	0,57	0,61		40	0,11	0,18	0,21	0,23
50	0,43	0,60	0,66	0,69		50	0,28	0,35	0,37	0,38
60	0,52	0,67	0,71	0,74		60	0,40	0,46	0,47	0,49
70	0,59	0,71	0,76	0,78		70	0,49	0,53	0,55	0,56
80	0,64	0,75	0,79	0,80		80	0,55	0,59	0,60	0,61
90	0,68	0,78	0,81	0,83		90	0,60	0,64	0,65	0,66
100	0,71	0,80	0,83	0,84		100	0,64	0,67	0,68	0,69

Betonsteinpflaster mit Sickeröffnungen (Feinkiesfüllung)									
hoher Anfangswassergehalt						geringer Anfangswassergehalt			
Intensität	Regendauer *t* [min]					Intensität	Regendauer *t* [min]			
r [mm/h]	15	30	45	60		*r* [mm/h]	15	30	45	60
10	0,00	0,00	0,00	0,00		10	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00		20	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00		30	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00		40	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,00	0,00		50	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00	0,00		60	0,00	0,00	0,00	0,00
70	0,00	0,00	0,00	0,00		70	0,00	0,00	0,00	0,00
80	0,00	0,00	0,00	0,00		80	0,00	0,00	0,00	0,00
90	0,00	0,00	0,00	0,00		90	0,00	0,00	0,00	0,00
100	0,00	0,00	0,00	0,00		100	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 58: Mikrobielle Biomasse (µg Cmik/g TS/h)

Termin	Parkplatz					Grünfläche				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nov. 1995	149.91	376.43	542.67	841.92	735.40	389.08	513.03	481.16	534.65	315.37
Mai 1996	302.94	825.24	879.07	907.11	723.52	685.58	875.25	288.23	162.00	151.51
Okt. 1996	260.61	767.72	566.35	779.31	862.72	425.25	831.98	339.93	153.40	145.21

Tab. 59: Basalatmung (µg CO_2-C/g TS/h)

Termin	Parkplatz					Grünfläche				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nov. 1995	1.03	1.42	2.97	4.33	6.27	1.71	1.82	2.43	2.00	2.28
Mai 1996	1.84	3.75	7.00	6.15	5.82	3.33	3.16	1.51	0.91	1.26
Okt. 1996	3.12	5.75	4.26	7.04	8.40	2.82	6.15	1.82	1.00	1.49

Tab. 60: DMSO-Reduktase (ng DMS/g TS/h)

Termin	Parkplatz					Grünfläche				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nov. 1995	645.35	2143.06	3119.38	2405.52	1436.36	1552.17	6971.81	1780.03	1559.44	1167.09
Mai 1996	1046.16	2936.10	4014.11	5023.17	3258.60	2559.35	6596.55	2263.56	1523.56	1268.23
Okt. 1996	1106.25	1782.52	2818.61	3436.73	3059.59	1851.79	4870.77	2214.74	1267.27	1416.94

Tab. 61: Metabolischer Quotient (ng CO_2-Cµg/Cmik/h)

Termin	Parkplatz					Grünfläche				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nov. 1995	6.87	3.77	5.44	5.14	8.52	4.39	3.54	5.05	3.74	7.22
Mai 1996	6.07	4.54	7.96	6.77	8.04	4.85	3.61	5.23	5.61	8.31
Okt. 1996	11.96	7.49	7.51	9.03	9.74	6.63	7.39	5.35	6.49	10.26

Tab. 62: ß-Glucosidaseaktivität (µg Saligenin/g TS/3h)

Termin	Parkplatz					Grünfläche				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nov. 1995	72.81	180.31	200.58	203.16	194.78	169.67	277.63	169.23	104.31	78.44

Tab. 63: Cmic/Corg-Verhältnis (%)

Termin	Parkplatz					Grünfläche				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nov. 1995	0.89	1.23	0.82	2.93	3.73	1.37	0.91	2.83	3.02	2.00

Tab. 64: Keimzahlen der Bakterien (*100000), der Aktinomyceten (*100000) und der Pilze (*100)

Mai 1996	Parkplatz					Grünfläche				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Bakterien	17	17	38	13	27	38	40	28	22	22
Aktinomyceten	20	32	39	15	33	33	34	41	43	52
Pilze	13	18	24	20	13	40	24	26	24	18

Tab. 65: Abundanzen Collembolen (Individuen/m^2)

Termin	Parkplatz					Grünfläche				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nov. 1995	21615	13500	6900	10625	33500	20153	38229	3461	4845	2076
Mai 1996	15048	19375	8812	15938	14562	13413	13485	15288	7643	9230
Juli 1996	23845	53157	10563	17125	22000	7644	12211	11153	6249	13509
Sep. 1996	9711	14000	6188	22000	68857	7115	34760	4135	2164	30913

Tab. 66: Hemmungswerte (%) des Leuchtbakterientests

Termin	Parkplatz					Grünfläche				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nov. 1995	18	24	16	22	29	36	24	24	22	30

Tab. 67: PAK-Gehalte (µg/kg)

Termin	Parkplatz					Grünfläche				
Nov. 1995	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Naphthalin	3.0	108.2	435.4	7.2	19.3	36.3	124.2	25.6	30.1	11.9
Acenaphthen	3.7	n.n	n.n	42.7	22.5	394.0	n.n	26.7	39.0	49.3
Fluoren	2.5	81.7	n.n	17.3	1.8	116.8	n.n	6.1	3.3	6.0
Phenanthren	69.4	376.9	602.0	183.8	125.6	1110.9	767.7	79.6	126.7	144.3
Anthracen	3.3	44.3	40.9	18.5	8.6	124.1	114.7	16.2	8.7	49.6
Fluoranthen	49.8	596.6	255.3	391.3	224.4	2043.8	1527.0	129.3	262.0	412.5
Pyren	22.8	432.9	634.3	155.6	126.2	851.5	854.4	103.9	142.9	245.4
Benzo(a)anthracen	13.5	214.3	315.7	85.4	67.5	609.8	522.8	52.9	94.3	155.8
Chrysen	20.9	220.4	16.6	165.3	111.2	969.8	565.0	74.0	134.3	220.1
Benzo(b)fluoranthen	18.7	170.9	n.n	138.7	98.6	765.5	429.7	53.8	117.4	190.9
Benzo(k)fluoranthen	8.9	66.8	n.n	68.7	52.1	422.0	158.8	30.3	63.3	105.4
Benzo(a)pyren	12.8	98.2	n.n	118.9	89.0	729.3	182.7	44.4	103.8	189.8
Dibenz(a,h)anthracen	0.5	9.6	n.n	n.n	5.0	19.4	n.n	2.3	7.9	15.8
Benzo(g,h,i)perylen	7.5	70.0	n.n	96.2	69.2	40.7	n.n	5.0	76.3	156.6
Indeno(1,2,3)pyren	10.4	n.n	n.n	n.n	n.n	24.9	n.n	n.n	n.n	n.n

n.n: nicht nachweisbar

Tab. 68: Summe der Mineralölkohlenwasserstoffe (mg/kg TS)

Termin	Parkplatz					Grünfläche				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Nov. 1995	26	59	271	37	26	43	38	17	22	22

Tab. 69: Königswasserlösliche Schwermetalle (mg/kg)

Termin	Parkplatz					Grünfläche				
Nov. 1995	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Cadmium (Cd)	0.189	0.221	2.039	0.195	0.177	0.387	0.227	0.225	0.240	0.242
Chrom (Cr)	38.41	44.55	36.96	16.59	16.26	24.80	46.23	18.59	16.15	15.64
Kupfer (Cu)	19.79	27.64	60.70	33.61	33.33	33.47	36.69	12.51	20.13	238.10
Nickel (Ni)	62.30	31.36	48.81	11.11	10.68	23.36	32.78	12.64	10.39	13.43
Blei (Pb)	19.40	65.40	197.00	67.60	46.99	75.80	98.90	32.30	54.80	60.60
Zink (Zn)	67.90	137.00	269.70	98.10	71.40	187.50	166.30	58.60	70.50	131.40

Tab. 70: Ammoniumnitratlösliche Schwermetalle (mg/kg)

Termin	Parkplatz					Grünfläche				
Nov. 1995	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Cadmium (Cd)	0.0013	0.0029	0.0129	0.0030	0.0040	0.0043	0.0086	0.0062	0.0053	0.0039
Chrom (Cr)	n.n	n.n	n.n	n.n	n.n	n.n	n.n	n.n	n.n	n.n
Kupfer (Cu)	0.0335	0.0791	0.2622	0.3105	0.2589	0.2596	0.0798	0.1082	0.1175	0.5350
Nickel (Ni)	0.0219	0.0153	0.0716	0.0271	0.0271	0.0323	0.0428	0.0441	0.0258	0.0323
Blei (Pb)	n.n	0.0018	0.0090	0.0025	0.0023	0.0050	0.0103	0.0010	0.0115	0.0013
Zink (Zn)	0.0142	0.0926	0.3002	0.2145	0.0964	0.1596	0.7310	0.1806	0.3063	0.1452

n.n: nicht nachweisbar

Stadtökologische Forschungen

Nr. 1 UFZ-Bericht Nr. 5/1996
Winkler, M.:
Untersuchungen zur gepflanzten Vegetation und ihre ökologische Bedeutung

Nr. 2 UFZ-Bericht Nr. 6/1996
Arndt, E., Pellmann, H.:
Ökologische Charakterisierung von Biotopen im urbanen Raum am Beispiel von Modelltiergruppen

Nr. 3 UFZ-Bericht Nr. 8/1996
Frühauf, M., Breuste, I., Breuste, J., Diaby, K., Sauerwein, M., Zierdt, M.:
Hallesche Kleingärten. Nutzung und Schadstoffbelastung als Funktion der sozioökonomischen Stadtstruktur und physisch-geographischer Besonderheiten.

Nr. 4 UFZ-Bericht Nr. 9/1996
Heinz, V.:
Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten Landsat-TM-Bild

Nr. 5 UFZ-Bericht Nr. 10/1996
Freyer, K., Popp, P., Treutler, H.C., Wagler, D., Schuhmann, G.: Untersuchungen zu Wechselbeziehungen zwischen Immissionen und Flächennutzung auf strukturtypischen Testflächen in Leipzig

Nr. 6 UFZ-Bericht Nr. 11/1996
Schulte, G.:
Stadtböden - Schadstoffbelastung und -mobilität

Nr. 7 UFZ-Bericht Nr. 12/1996
Breuste, J., Keidel, T., Meinel, G., Münchow, B., Netzband, M., Schramm, M .:
Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen

Nr. 8 UFZ-Bericht Nr. 16/1996
Keidel, T.:
Untersuchungen zur Situation des Wohnumfeldes ostdeutscher Großsiedlungen am Beispiel von Leipzig-Grünau

Nr. 9 UFZ-Bericht Nr. 18/1996
Wagler, D.:
Modellierung der Ausbreitung kfz-bedingter Schadstoffe in der Stadt Leipzig

Nr. 10 UFZ-Bericht Nr. 20/1996
Engewald, W., Knobloch T., Asperger A.:
Analytische Untersuchungen zum Schadstoffeintrag durch den Hausbrand - Auswirkungen des gegenwärtigen Strukturwandels auf die urbane Belastungssituation

Nr. 11 UFZ-Bericht Nr. 2/1997
Müller, U.:
Beziehungen zwischen urbanen Flächennutzungsstrukturen und klimatischen Verhältnissen am Beispiel der Stadtregion Leipzig

Nr. 12 UFZ-Bericht Nr. 7/1997
Breuste, J. (Hrsg.):
2. Leipziger Symposium "Ökologische Aspekte der Suburbanisierung"
Tagungsband der Veranstaltung am 13. 6. und 14. 6. 1996 am
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Nr. 13 UFZ-Bericht Nr. 16/1997
Geisler, E.:
Aspekte der Sozialverträglichkeit der Mobilitätsentwicklung in Leipzig

Nr. 14 UFZ-Bericht Nr. 25/1997
Popp, P., Feist, B., Niehus, B., Peklo, G., Thuß, U.:
Vorkommen und Verteilung von toxisch relevanten organischen Komponenten und Schwermetallen in ausgewählten Untersuchungsgebieten

Nr. 15 UFZ-Bericht Nr. 9/1998
Kabisch, S., Bamberg, A.:
Interdependenzen von gebauter, sozialer und natürlicher Umwelt
und deren Einfluß auf Wohnzufriedenheit und Seßhaftigkeit
Quartiersbezogene stadtsoziologische Untersuchungen
in Leipzig-Stötteritz im Rahmen des Themenschwerpunktes
„Sozialräumliche Differenzierung und stadtökologischer Strukturwandel"

Nr. 16 UFZ-Bericht Nr. 14/1998
Wickop, E., Böhm, P., Eitner, K., Breuste, J.:
Qualitätszielkonzept für Stadtstrukturtypen am Beispiel der Stadt Leipzig
- Entwicklung einer Methodik zur Operationalisierung einer nachhaltigen Stadtentwicklung auf der Ebene von Stadtstrukturen

Nr. 17 UFZ-Bericht Nr. 19/1998
Sauerwein, M.:
Geoökologische Bewertung urbaner Böden am Beispiel von Großsiedlungen in Halle und Leipzig - Kriterien zur Ableitung von Boden-Umweltstandards für Schwermetalle und Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe

Nr. 18 UFZ-Bericht Nr. 3/1999
B. Bauer
Mikrometeorologische Analyse und Bewertung kleinräumiger Stadtstrukturen

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Projektbereich Urbane Landschaften
Permoserstraße 15
D-04318 Leipzig
Telefon 0341/235-2843
Telefax 0341/235-2534