

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt

„Prüfung wasserdurchlässiger Flächenbeläge nach mehrjähriger Betriebsdauer“



Auftraggeber und Förderer:

**Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz des
Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV)**

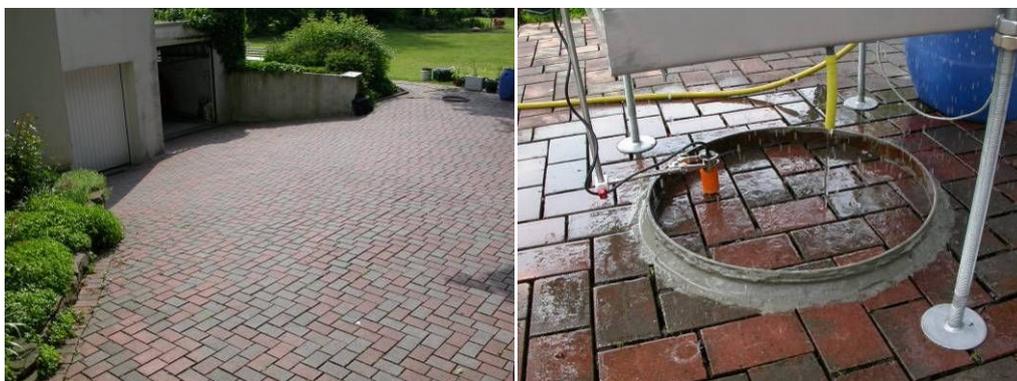


Bearbeitung durch:

**Fachhochschule Bochum – Fachgebiet
Siedlungswasserwirtschaft**



**IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur,
Gelsenkirchen**



Projektlaufzeit: Januar 2004 bis Januar 2005

AUFTRAGGEBER

Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV)
Schwannstr. 3
40476 Düsseldorf

PROJEKT BETEILIGTE

Fachhochschule Bochum
Fachbereich Bauingenieurwesen, Siedlungswasserwirtschaft
Prof. Dr.-Ing. Bernd Nolting
Lennershofstr. 140
44801 Bochum
www.fh-bochum.de/fb2/faecher/siwawi/labor
bernd.nolting@fh-bochum.de

IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur
Dr.-Ing. Bert Bosseler
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen
www.ikt.de
info@ikt.de

PROJEKTLEITUNG

Prof. Dr.-Ing. Bernd Nolting (FH Bochum)

PROJEKTBEARBEITUNG

Dipl.-Ing. (FH) Oliver Schönberger (FH Bochum)
Dipl.-Ing. (FH) Kathrin Harting (IKT)
Dipl.-Ing. Pawel Gabryl (FH Bochum)

Bochum, den 01.02.2005

Prof. Dr.-Ing. Bernd Nolting

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Zielstellung	3
2	Vorgehensweise.....	4
3	Wasserdurchlässiges Pflaster	7
3.1	Pflasterarten	7
3.2	Einsatzbereiche	8
3.3	Anforderungen an die Herstellung.....	9
3.4	Anforderungen an Einbau, Untergrund, Betrieb und Wartung	10
3.4.1	Einbau.....	10
3.4.2	Durchlässigkeit des Untergrundes	13
3.4.3	Betrieb und Wartung von Versickerungsanlagen	14
3.5	Bemessungsgrundlagen zur Versickerungsleistung von Flächenbelägen	17
3.6	Versickerungsleistung wasserdurchlässiger Beläge nach Herstellerangabe	19
4	Methoden zur Prüfung der Wasserdurchlässigkeit von Belägen	20
4.1	Vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung der Infiltrationsrate.....	20
4.2	Bestimmung der Infiltrationsrate mittels Tropfinfiltrometer.....	20
5	Datenerhebung bei der Bezirksregierung Arnsberg	24
5.1	Auswertung der erfassten Sammelanträge	25
5.2	Auswertung der erfassten Einzelmaßnahmen.....	27
6	Auswahl und Prüfung der wasserdurchlässigen Beläge.....	29
6.1	Auswahl der zu prüfenden Flächen	29
6.2	Durchführung der In-situ-Prüfungen	31
6.3	Laborprüfungen.....	36
6.3.1	Funktion der Beregnungsanlage.....	36
6.3.2	Durchgeführte Prüfungen	39
7	Ergebnisse.....	49
7.1	In-situ-Untersuchungen.....	49
7.1.1	Prüfreihe 1: Sickerleistung drei unterschiedlicher Steinarten mit verschiedenen Randbedingungen	51
7.1.2	Prüfreihe 2: Sickerleistung abhängig von der Nässung des Belages	61
7.1.3	Prüfreihe 3: Sickerleistung vor und nach Reinigungsmaßnahmen.....	62
7.2	Ergebnisse der Labor-Untersuchungen.....	65
7.2.1	Prüfungen mit Beregnungsanlage und Tropfinfiltrometer, Vergleichbarkeit der Messverfahren	65
7.2.2	Einfluss der Fuge auf die Durchlässigkeit des Gesamtsystems bei hauf- werksporigen Belägen.....	67

7.2.3	Auswirkung von Reinigungsversuchen auf die Infiltrationsrate.....	69
7.2.4	Infiltrationsraten eines Belages mit Einbaufehler	71
7.3	Abschließende Bewertung	72
8	Zusammenfassung und Fazit.....	75
9	Literatur.....	78
10	Abbildungsverzeichnis	81
11	Tabellenverzeichnis	85
12	Anhang: Übersicht der untersuchten Steinsysteme und der Infiltrationsraten der untersuchten Flächen	86

1 Veranlassung und Zielstellung

Zur Verbesserung der ökologischen Situation ist die möglichst weitgehende Versickerung des in Siedlungsgebieten anfallenden Niederschlagswassers Ziel der NRW-Landespolitik. Seit 1997 wurde daher vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW) im Rahmen der „Initiative ökologische und nachhaltige Wasserwirtschaft NRW“ eine Vielzahl von Einzelmaßnahmen zur Entsiegelung bisher versiegelter Flächen finanziell gefördert. Diese Fördergelder können Privatpersonen, sonstige juristische Personen privaten Rechts, Gemeinden, Gemeindeverbände, Zweckverbände und sonstige juristische Personen des öffentlichen Rechts beantragen, soweit sie als Nutzungsberechtigte für das jeweilige Grundstück gelten. Die Zuwendungshöhe beläuft sich auf 15 €/m² entsiegelter Fläche (vgl. [2]).

Seitdem in Nordrhein-Westfalen Flächenentsiegelungen durch den Einbau von wasserdurchlässigen Flächenbelägen vom Land unterstützt werden, sind Fördermittel in Höhe von ca. 42 Mio. Euro an die Bürger ausgezahlt worden. Diese Fördergelder des Landes werden sowohl auf Vorlage einer Rechnung über den Einbau des Belages durch eine Fachfirma angewiesen als auch auf Grundlage einer Rechnung über entsprechende Belagskosten, wenn der Belag in Eigenleistung des Grundstückseigentümers eingebaut wurde. Die Zweckbindungsfrist für die Zuschüsse beträgt zehn Jahre. Eine Überprüfung der Leistungsfähigkeit des wasserdurchlässigen Belages ist während dieser Frist auf Aufforderung des Landes daher grundsätzlich möglich. Unklar war bisher, ob eine beim Neubau ausreichende Sickerleistung auch nach mehrjährigem Bestehen des Belages noch vorhanden ist.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde überprüft, ob und inwieweit bestehende wasserdurchlässige Flächenbeläge nach mehrjähriger Nutzungsdauer ihre Funktion erfüllen. Dazu wurden bestehende Beläge, die durch das Land NRW gefördert wurden, ausgewählt und vor Ort auf ihren Aufbau und ihre tatsächliche Versickerungsfähigkeit untersucht. Ziel dabei war es, den Zustand der Beläge zu erfassen und daraus die Eignung unterschiedlicher Belagsarten für die Regenwasserversickerung unter verschiedenen Randbedingungen abzuleiten. Insbesondere sollten dabei die Fragestellungen, inwieweit ein sachgerechter Einbau der Beläge durch eine Fachfirma oder eine Privatperson garantiert werden kann, wie sich die Alterung eines Belages auf die Versickerungsleistung auswirkt und ob eine Reinigung der Beläge während der Betriebsdauer erforderlich ist, betrachtet werden.

2 Vorgehensweise

Das Forschungsprojekt, das in Zusammenarbeit der Fachhochschule Bochum mit dem IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur in Gelsenkirchen bearbeitet wurde, kann in 3 Projektphasen unterteilt werden. Die erste Projektphase beinhaltet die Auswertung des Datenbestandes bei der Bezirksregierung in Arnsberg. Während der zweiten Projektphase wurden bestehende geförderte Flächen vor Ort ausgewählt und geprüft. In der dritten Projektphase wurden Laborversuche mit der Beregnungsanlage für wasserdurchlässige Flächenbeläge des IKT durchgeführt. Die drei Projektphasen des Forschungsprojektes werden im Folgenden erläutert:

Projektphase 1

In der ersten Projektphase wurden vorhandene Akten über geförderte Entsiegelungsmaßnahmen gesichtet, ausgewertet und analysiert. Da ca. 2/3 aller vom Land geförderten Entsiegelungsmaßnahmen im Bereich der Bezirksregierung Arnsberg liegen (Fördersumme 12,4 Mio. € von insgesamt 19,9 Mio. €), wurde das Projekt auf diesen Einzugsbereich (Abb. 1) begrenzt. Aus der Abb. 2 kann die Verteilung der Fördermittel in den Jahren 1999 bis 2003 in NRW entnommen werden.



Abb. 1: Gebiet der Bezirksregierung Arnsberg

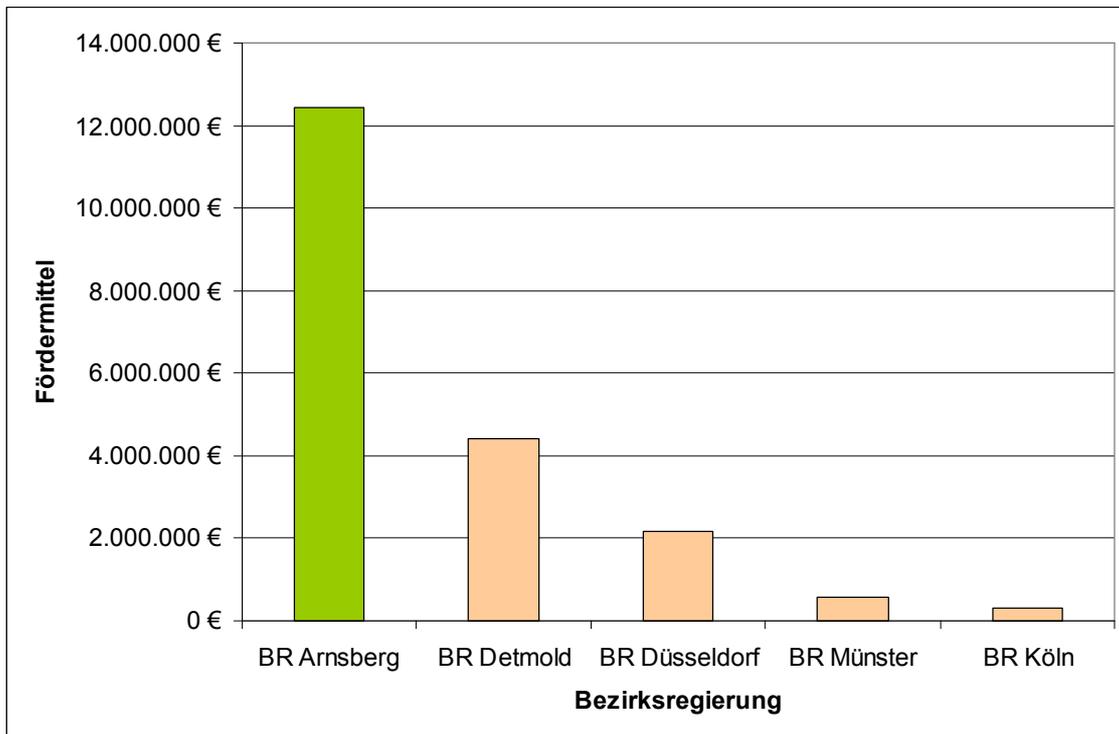


Abb. 2: Verteilung der Fördermittel in den Jahren 1999 bis 2003 in NRW

In der Projektphase 1 wurden sämtliche „Sammelanträge“ der Jahre 1997 bis 1999 der Bezirksregierung Arnsberg ausgewertet. Sammelanträge enthalten zahlreiche von den Förderungsempfängern gestellte „Einzelanträge“ einer Kommune. Um Flächen nach mehrjähriger Nutzungsdauer untersuchen zu können, wurden lediglich die ersten drei Jahre des Förderprogramms berücksichtigt. Alter, Art, Größe, Einbau und Nutzung der Flächen wurden aufgenommen. Diese Datenerhebung diente als Basis zur Auswahl von Prüfflächen für Projektphase 2.

Projektphase 2

Innerhalb der Projektphase 2 wurden zunächst Vor-Ort-Inaugenscheinnahmen bestehender Entsiegelungsmaßnahmen durchgeführt. Anschließend wurden ausgewählte entsiegelte Flächen mit Hilfe eines Tropfinfiltrometers hinsichtlich ihrer Versickerungsleistung geprüft.

Bei der Auswahl der Flächen wurden Randbedingungen, wie Alter und Lage der Flächen, ihre Nutzungsart und mögliche Reinigungen und Wartungen berücksichtigt.

Im Rahmen der In-situ-Versickerungsversuche wurden der Aufbau und die Beschaffenheit der gesamten Fläche aufgenommen. Insbesondere wurden dabei Art, Lage, Größe, Gefälle, Vegetation, Alter, Einbau, augenscheinliche Verschmutzungen, Nutzungsart sowie Zu- und Abläufe bestimmt. Außerdem wurden die Wetterverhältnisse der Tage an und vor den Versuchen notiert. Anschließend wurden abhängig von den Randbedingungen die Anzahl und die Stellen der Prüfungen zur Versickerungsleistung der Beläge bestimmt.

Projektphase 3

In der Projektphase 3 wurden ergänzende Laborversuche mit der Beregnungsanlage für wasserdurchlässige Flächenbeläge des IKT und dem Tropfinfiltrimeter durchgeführt. Dabei wurden gezielt Fragestellungen aufgegriffen, die sich im Rahmen der In-situ-Prüfungen der Projektphase 2 ergeben hatten, und Laborversuche mit entsprechenden Randbedingungen simuliert. So wurde beispielsweise in einen neuwertigen haufwerksporigen Betonstein Sand eingefegt, um die Auswirkung von aufgetretenen Einbaufehlern auf die Versickerungsleistung des Belags im Labor zu testen. Darüber hinaus wurden auch Teilflächen aus bestehenden Beläge, die vor Ort nur sehr geringe Versickerungsleistungen aufwiesen, ausgebaut und Reinigungsversuchen unterzogen.

3 Wasserdurchlässiges Pflaster

3.1 Pflasterarten

Da es eine Vielzahl von Pflastersystemen gibt, die eine Versickerung von Niederschlagswasser zulassen, sollen die Unterschiede im Folgenden kurz dargestellt werden. Dabei lassen sich die Beläge in drei Gruppen einteilen.

Haufwerksporige Steine

Haufwerksporige Steine aus Beton, die z.T. auch als Filtersteine, Porensteine, Sickersteine oder wasserdurchlässige Steine bezeichnet werden, ermöglichen die Regenwasserversickerung durch ein hohlraumreiches Gefüge des Steins selbst. Aufgrund spezieller Betonzusammensetzung und Verdichtung kann das Porenvolumen gezielt eingestellt werden. Diese Pflastersteine können sowohl einschichtig als auch zweischichtig mit Kern- und Vorsatzbeton hergestellt werden [1].



Abb. 3: Beispiel eines einschichtigen Filtersteins



Abb. 4: Beispiel eines zweischichtigen Filtersteins

Sickerfugensteine

Bei Pflastersystemen mit aufgeweiteten Fugen (Sickerfugen) erfolgt die Versickerung ausschließlich über die Fugen. Sickerfugensteine werden oft über angeformte Abstandshalter hergestellt (siehe Abb. 5), sie sind allerdings auch mit separaten Abstandshaltern erhältlich. Weiterhin werden die notwendigen „Fugenräume“ durch Sickeröffnungen (Einbuchtungen am Stein) realisiert. Als wasserdurchlässiges Fugenfüllmaterial werden i.d.R. Splitt oder grober Brechsand verwendet. [1]



Abb. 5: Beispiel eines Sickerfugensteins mit angeformten Abstandshaltern

Rasengittersteine

Bei Rasengittersteinen erfolgt die Versickerung durch die meist quadratischen Öffnungen im Steinsystem. Als Füllmaterial wird neben der Rasensaat auch grober Brechsand oder Splitt verwendet [1].



Abb. 6: Anwendungsbeispiel Rasengittersteine mit Splittfüllung

3.2 Einsatzbereiche

Wasserdurchlässige Beläge sind dort einsetzbar, wo es hydrogeologische und bodenmechanische Bedingungen zulassen. Eine Erlaubnis nach § 7 des Wasserhaushaltsgesetzes ist für die Versickerung von gering verschmutztem Regenwasser über durchlässige befestigte Flächen nicht erforderlich. Das Sickerwasser muss demnach unschädlich sein, so dass eine Gefährdung des Grundwassers ausgeschlossen ist. Bei der Versickerung durch eine Verkehrsfläche fehlt im Gegensatz zu anderen Versicke-

ungsmaßnahmen die belebte Oberbodenschicht als biologisch aktiver Filter zum Abbau von Schadstoffen. Voraussetzungen für eine Versickerung durch Pflasterbeläge sind deshalb [1]:

- Kein Umgang mit und keine Lagerung von wassergefährdenden Stoffen
- Einbau nur in den Bauklassen V und VI (bemessungsrelevante Beanspruchung $B \leq 0,3$ Mio. äquivalente 10-t-Achsübergänge nach RStO 01 [3])
- Flurabstand zur Grundwasseroberfläche $\geq 2,0$ m
- Mächtigkeit des durchlässigen Untergrundes $> 1,0$ m
- Kein Taumittleinsatz
- Keine Anwendung in Trinkwasserzonen (außer Rad- und Gehwege in Schutzzone III)

3.3 Anforderungen an die Herstellung

Haufwerksporige Steine

Wasserdurchlässige Pflastersteine aus haufwerksporigem Beton (vgl. Abschnitt 3.1) müssen bei der Lieferung bzw. im Alter von 28 Tagen nach der „Richtlinie für die Herstellung und Güteüberwachung von wasserdurchlässigen Pflastersteinen aus haufwerksporigem Beton“ des Bundesverbands Deutsche Beton- und Fertigteilindustrie folgend aufgeführten Anforderungen entsprechen [6]:

Beschaffenheit: Vorsatz und Kernbeton müssen durchgehende Poren aufweisen und untrennbar miteinander verbunden sein. Die Steine müssen frei von Rissen und mit ebenen Seitenflächen hergestellt sein.

Formen und Maße: Wasserdurchlässige Pflastersteine werden mit einer Mindest-Nennhöhe von 6 cm hergestellt. Die zulässigen Abweichungen von den Herstellmaßen betragen für die Länge und Breite ± 3 mm und für die Höhe ± 5 mm.

Wasserdurchlässigkeit: Die Wasserdurchlässigkeit muss zum Zeitpunkt der Auslieferung im Mittel von 5 Steinen mind. $5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s betragen, um die maßgebende Regenspende von 270 l/(s·ha) versickern zu können.

Druckfestigkeit: Die Druckfestigkeit, ermittelt an 5 Steinen, muss im Mittel mind. 40 N/mm² betragen, wobei kein Einzelwert unter 35 N/mm² liegen darf.

Widerstand gegen Frost: Die Abwitterung infolge Frosteinwirkung, ermittelt an 5 Steinen, darf im Mittel höchstens 0,5 Massenprozent betragen, wobei kein Einzelwert über 0,8 Massenprozent liegen darf.

Güteüberwachung: Die Einhaltung der genannten Anforderungen ist im Herstellerwerk durch eine Überwachung zu prüfen. Diese Prüfung ist zum einen im Rahmen der Eigenüberwachung und zum anderen durch die Fremdüberwachung durch die Länder-Güteschutz-Gemeinschaften des „Bund Güteschutz Beton- und Stahlbetonfertigteile e.V.“ oder durch eine amtliche Materialprüfungsanstalt

durchzuführen. Mindestens zweimal pro Jahr sind die Ergebnisse der Eigenüberwachung durch die Fremdüberwachung zu prüfen und stichprobenartige Prüfungen durchzuführen.

Sickerfugensteine und Rasengittersteine

Pflastersteine aus Beton mit Sickeröffnungen und/oder aufgeweiteten Fugen sind i.d.R. gefügedichte Produkte. Sie unterliegen den Anforderungen der DIN 18501. Seltener anzutreffen sind in gleicher Weise ausgebildete Platten nach DIN 485. Rasengittersteine oder ähnliche Produkte können im weiteren Sinne den Platten zugerechnet werden und sind nach der Richtlinie des Bundes Güteschutz Beton- und Stahlbetonfertigteile (BGB) e. V. für „nicht genormte Betonprodukte - Anforderungen und Prüfungen“ herzustellen. Der erforderliche Durchlässigkeitsbeiwert k_f des Bettungs- und Fugenmaterials hängt bei Sickerfugensteinen vom Anteil der Sickeröffnungen und Fugen ab und wird wie folgt berechnet: $k_f = (5,4 \cdot 10^{-5} \cdot 100) / \text{Anteil Fugen und Sickeröffnungen in \%}$ [m/s]

Bei Rasengittersteinen muss der Durchlässigkeitsbeiwert k_f des Bettungsmaterials $k_f > 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s betragen und ist im Rahmen der Eignungsprüfung nach DIN 18130 nachzuweisen [7]. Rasengittersteine (auch Rasenkammersteine) werden wegen ihres großen Hohlraumanteils und ihrer Abmessung nicht nach der Pflasternorm DIN 18501 bzw. Plattenorm DIN 485 geprüft, sondern sollten nach der Richtlinie des Bundes Güteschutz Beton- und Stahlbetonfertigteile für nicht genormte Betonzeugnisse hergestellt und Güteüberwacht werden [1].

3.4 Anforderungen an Einbau, Untergrund, Betrieb und Wartung

3.4.1 Einbau

Die beim Einbau zu berücksichtigenden Aspekte sind im Folgenden exemplarisch für die Erstellung eines versickerungsfähigen Pflaster-Aufbaus nach einem „Leitfaden für private Hauseigentümer“ [8] beschrieben:

- Ein minimales Gefälle von etwa 1 % sollte für die Pflasterfläche eingehalten werden, damit Regenwasser bei Starkregenereignissen oberflächlich abfließen kann. Angrenzende Grünflächen eignen sich gut zur Aufnahme dieses Wassers.

Die nach den geltenden Vorschriften für wasserundurchlässige Verkehrsflächen nach RStO [3] vorgesehene Querneigung von 2,5 bis 3 % kann bei durchlässigen Belägen bis auf 1 % verringert werden, um die Verweildauer des Niederschlagswassers zu erhöhen und die Versickerung zu begünstigen, wenn es die vorgesehene Nutzung (Verkehrssicherheit, Entwässerungskomfort) erlaubt. Dies können private Verkehrsflächen, Fahrflächen mit geringem und langsamem Verkehr, Parkflächen oder Lagerflächen sein. Bei Starkregenereignissen kann es in solchen Fällen zu vorübergehender Pfützenbildung kommen. Bei einem Gefälle von 2,5 % verringert sich die Versickerungsleistung um etwa 50 % gegenüber ebener Flächen (vgl. Merkblatt Regenversickerung durch Pflasterflächen [1]). Mit

zunehmendem Gefälle der Verkehrsfläche nimmt der Oberflächenabfluss zu. Folglich ist die Ausführung von Flächen mit mehr als 5 % Gefälle nicht empfehlenswert [1]. Bei Gefälle > 5 % findet die Versickerung nur noch in geringerem Maße statt. Es besteht die Gefahr von Erosion und Ausspülungen im Bereich von Bettung und Fugen. Gefällose Pflasterungen sollten vermieden werden, da sich durch Verlegetoleranzen und Betrieb Senken bilden können, die zum Verschlämmen neigen [1], [7].

- Von der geplanten Höhe der Pflasterfläche wird der Boden in 40 bis 50 cm Stärke abgetragen. Die Sohle sollte eben sein und das gleiche Gefälle wie die zu erstellende Pflasteroberfläche aufweisen. Mit einer Rüttelplatte wird die Sohle verdichtet. Die Standfestigkeit der Fläche ist dann gegeben, wenn ein schwerer Pkw keine Fahrspuren hinterlässt.
- Als Tragschicht-Material sind Schotter oder Kies der Körnung 0/32, 0/45 oder 0/56 geeignet. Der Feinkornanteil mit der Korngröße < 0,063 bzw. < 0,09 sollte höchstens 5 Massenprozent sein. Durch den geringen Feinanteil wird eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit erzielt. Auf die fertig gestellte Sohle wird das Tragschicht-Material eingebaut.
- Die Tragschicht-Dicke ergibt sich aus der Dicke des Gesamtaufbaus (zu entnehmen aus RStO [3]) abzüglich der Dicke des Pflasters sowie der Dicke des Pflasterbettes im verdichteten Zustand. Auch die Tragschicht-Oberfläche sollte das gleiche Gefälle aufweisen wie die Pflasterfläche. Die Tragschicht ist in zwei Lagen je ca. 20 cm einzubauen und mit der Rüttelplatte zu verdichten.
- Auf die Tragschicht wird 4 bis 5 cm Bettungsmaterial, ein Splitt der Körnung 1/3 oder 2/5, aufgebracht und mit Lehren profilgerecht abgezogen. Etwa 1 cm Setzung des Bettungsmaterials durch den anschließenden Rüttelvorgang ist zu berücksichtigen. Die Bettung sollte gegenüber der Tragschicht filterstabil sein, um Auswaschungen zu verhindern.
- Die Pflastersteine werden im gewünschten Verband verlegt. Auf eine ausreichende Fugenbreite von mind. 3 bis 5 mm zwischen den Steinen ist zu achten. Splitt der Körnung 1/3 oder 2/5 wird in die Fugen der Pflasterfläche eingefegt. Überschüssiges Fugenmaterial wird abgekehrt.
- Sand sollte nicht für die Füllung der Fugen verwendet werden, weil sonst dessen Feinkornanteile die Poren von Pflaster aus haufwerksporigen Betonsteinen verstopfen und die Durchlässigkeit der Pflasterfläche herabsetzen kann. Die Durchlässigkeit des Materials für die Verfüllung der Sickeröffnungen und/oder aufgeweiteten Fugen sollte $k_f = (5,4 \cdot 10^{-5} \cdot 100) / \text{Anteil Fugen und Sickeröffnungen in \% [m/s]}$ betragen.
- Die saubere und trockene Pflasterdecke wird mit der Rüttelplatte abgerüttelt. Danach sind die Fugen nochmals mit Fugenmaterial vollständig zu füllen. Auf ein Einschlämmen sollte verzichtet werden.

Der unterschiedliche Aufbau bzw. die unterschiedlichen Schichtdicken für wasserdurchlässigen Boden unter wasserdurchlässigen Sickersteinen in den Bereichen von leichtem Verkehr, von Zufahrten und von Pkw-Stellplätzen sind in Abb. 7 dargestellt. Abb. 8 zeigt den Schicht- bzw. Regelaufbau bei einer wasserdurchlässig hergestellten Pflasterdecke. Die Anforderungen (wie z.B. die einzubauenden Materialien und die zugehörigen k_f -Werte) an den Untergrund und an die jeweiligen Schichten sind den Abbildungen zu entnehmen.

Für **wasserdurchlässigen Boden** und für Flächen mit nur leichtem Verkehr (Fußwege, Radwege) schlagen wir folgenden Aufbau vor:

Im Bereich von **Zufahrten** (z. B. zu Tiefgaragen):

Im Bereich von **Pkw-Stellplätzen** oder sonstigen Flächen mit mittelschwerem Verkehr:



Abb. 7: Aufbau für wasserdurchlässigen Boden im Bereich von leichtem Verkehr, von Zufahrten und von Pkw-Stellplätzen [9]

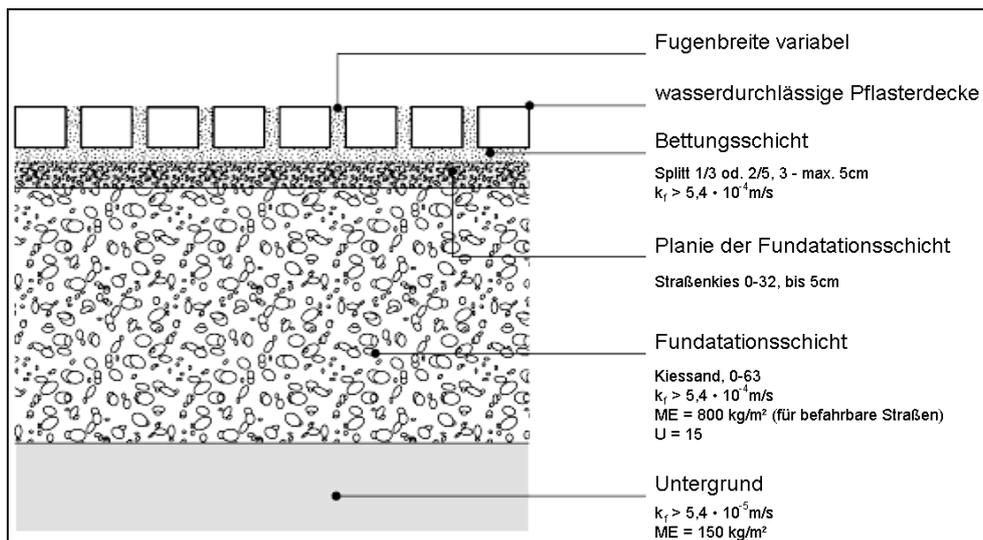


Abb. 8: Schichtaufbau bei wasserdurchlässiger Pflasterdecke [4]

3.4.2 Durchlässigkeit des Untergrundes

Die Leistung wasserdurchlässiger Flächenbeläge ist u.a. vom Durchlässigkeitsbeiwert k_f des Bodens abhängig. Eine Regenspende von 270 l/(s·ha) erfordert einen Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens von $k_f \geq 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s, wobei berücksichtigt wird, dass in Ober- sowie Unterbau und im Untergrund luftgefüllte Poren die Wasserdurchlässigkeit um bis zu 50% verringern können [34]. Seine sorgfältige Bestimmung ist daher von Bedeutung. Im Folgenden werden als Beispiel zwei Verfahren zur Abschätzung bzw. Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes k_f kurz dargestellt.

Überschlägige Abschätzung mit Hilfe der Bodenansprache

Über eine Klassifizierung des Bodens (Bodenansprache nach DIN 4022-1) kann dem Boden überschlägig ein Durchlässigkeitsbeiwert k_f zugeordnet werden: Für das Benennen und Beschreiben der Bodenarten werden entsprechende Unterscheidungsmerkmale angegeben (u.a. die Bestimmung der Korngröße, -form und -rauigkeit sowie der Farbe und Konsistenz, Durchführung von Auswasch-, Trockenfestigkeits-, Schüttel-, Knet-, Reibe-, und Schneideversuchen). Diese ermöglichen im Allgemeinen eine hinreichend zutreffende Einordnung der Bodenart wie z.B. in sandiger Kies, Feinsand oder schluffiger Ton [18]. Erfahrungswerte für den Durchlässigkeitsbeiwert k_f von Lockergesteinen sind in Abb. 9 dargestellt.

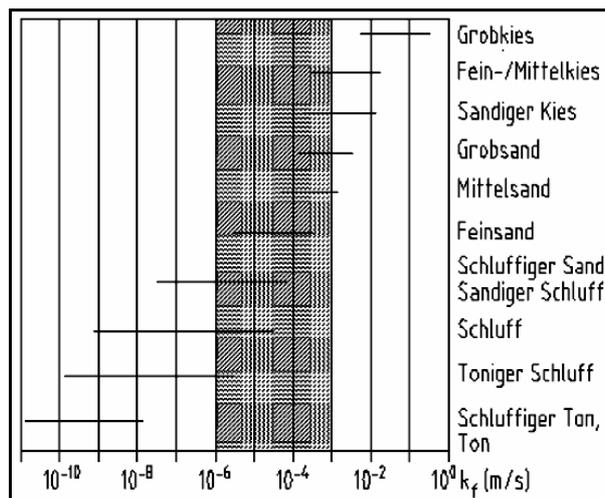


Abb. 9: Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte von Lockergesteinen und entwässerungstechnisch relevanter Versickerungsbereich (grau unterlegt) [10]

Feldmethoden zur Bestimmung der Durchlässigkeit des Bodens

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Durchlässigkeitsbeiwerte k_f sind Feldmethoden (Versickerungsversuche). Im Folgenden wird als Beispiel die „Schurfversickerung“ dargestellt.

Die Schurfversickerung kann laut „Kommentierung zum Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen“ [7] bei untergeordneten Baumaßnahmen als vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit zum Einsatz kommen. Dabei wird am zu untersuchenden Standort eine Grube mit den Maßen 50 x 50 x

50 cm ausgehoben. Um Verschlammungen zu verhindern, wird die Grubensohle mit Kies oder groben Sand bedeckt. Anschließend werden 5 Liter Wasser in die Grube eingefüllt und die Zeit protokolliert, die das Wasser zur vollständigen Versickerung benötigt. Dieser Vorgang ist solange zu wiederholen, bis das Wasser dreimal hintereinander die gleiche Zeit zur Versickerung benötigt. Der ermittelte k_f -Wert muss wegen der Anwendung dieses sehr einfachen Verfahrens durch 10 dividiert werden, um einen bemessungsrelevanten k_f -Wert zu erhalten. Die erforderliche Durchlässigkeit von $5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s ist erreicht, wenn 5 l Wasser in 37 Sekunden versickern.

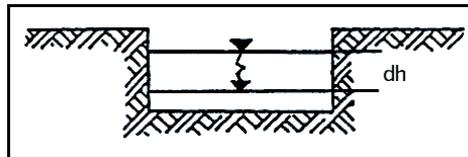


Abb. 10: Schurfversickerung – Schemaskizze [20]

3.4.3 Betrieb und Wartung von Versickerungsanlagen

Gemäß dem ATV-DVWK-Arbeitsblatt 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ sollen versickerungsfähige Flächenbeläge regelmäßig auf ihren Zustand kontrolliert werden. Zur Vorbeugung und Beseitigung einer Verschlammung und Selbstdichtung sind insbesondere Laubeinträge aus dem Versickerungsbereich zu entfernen. Bei versickerungsfähigen Flächen werden die Aufstellung eines Betriebsplanes und die Führung eines Betriebsbuches empfohlen. Bei Schadensfällen auf wasserdurchlässig befestigten Flächen, bei denen wassergefährdende Flüssigkeiten wie z.B. Öl ausgetreten sind, ist unverzüglich die zuständige Wasserbehörde zu informieren. Bei einem Nutzungswechsel, z.B. in Gewerbegebieten, sollte überprüft werden, ob der vorhandene versickerungsfähige Flächenbelag aus qualitativer Sicht weiterhin den Anforderungen genügt [10].

Folgende Maßnahmen sind laut dem Merkblatt „Regenversickerung durch Pflasterflächen“ der Bauberatung Zement und der Broschüre „Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung“ [11] zur Aufrechterhaltung der Versickerungsfähigkeit wasserdurchlässiger Flächenbeläge durchzuführen:

- Reinigung der Oberfläche
- Beseitigung von Schäden, Absackungen und Löchern
- Mahd des Grases, Entfernen von Unkraut
- Entfernung von Moosschichten in Fugen und evtl. Erneuerung der Fugenfüllung
- Beseitigung von Schlammablagerungen zwischen den Fugen / in den Zwischenräumen
- Reinigung durch Druckwäschen / Absaugen von Pflastersteinen aus haufwerkporigem Beton

Reinigung

Eine Reinigung der wasserdurchlässigen Flächenbeläge durch Saugkehrmaschinen wird im „Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen“ empfohlen, um die Wasserdurchlässigkeit möglichst lange zu erhalten. Während im Jahre 2001 sich diese Spezialmaschinen noch im Entwicklungsstadium befanden [7], sind derzeit bereits Spezialfahrzeuge auf dem Markt verfügbar. Bei dem in Abb. 13 dargestellten Fahrzeug wird der Belag durch rotierende Wasserhochdruckstrahlen und zusätzlich durch Absaugen des Wassers inkl. der Schmutzpartikel und des Fugenmaterials gesäubert. Diese Spezialfahrzeuge sind allerdings aufgrund ihrer Größe i.d.R. nicht für den Einsatz auf kleineren, privaten Flächen geeignet. Zur Reinigung privater Flächen, wie z.B. Terrassen, Hofflächen, Gehwegen, etc., kommen oft Hochdruckreiniger zum Einsatz kommen. Als Zubehör sind spezielle Bodenwäscher erhältlich, an deren Unterseite zwei rotierende Hochdruckdüsen angebracht sind. Als Spritzschutz dient ein umlaufender Bürstenkranz (vgl. Abb. 11 und Abb. 12). Bei der Reinigung mit diesen Geräten können oberflächliche Verschmutzungen der Steine und meist auch Teile der Fugenfüllungen ausgespült werden. Die Hochdruckreiniger werden auch in Kombination mit Saugern angeboten, die an den Bodenwäscher angeschlossen werden. Damit soll verhindert werden, dass die Schmutzpartikel in die Steine eingespült werden und diese zusetzen.



Abb. 11: Hochdruckreiniger mit 135 bar, Bodenwäscher \varnothing 30 cm



Abb. 12: Hochdruckreiniger und Bodenwäscher im Einsatz



Abb. 13: Spezialfahrzeug zur Reinigung von Belägen
(durch Wasserhochdruck und Saugvorrichtung) [27]

3.5 Bemessungsgrundlagen zur Versickerungsleistung von Flächenbelägen

Im „Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen“ [7] ist die Bemessungsregenspende für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen mit 270 l/(s•ha) festgelegt. Bei Infiltrationsmessungen sollte daher die Versickerungsleistung des Belages mindestens der Bemessungsregenspende von 270 l/(s•ha) entsprechen.

Als statistische Grundlage für örtliche Regenspenden dienen die so genannten Reinfeld'schen Regenreihen. Hierbei ist für verschiedene Orte die Regenspenden $r_{15(1)}$ (ein Regen, der 15 Minuten andauert und einmal im Jahr auftritt) aufgezeichnet (vgl. Tabelle 1, [28]). Die Umrechnung der jeweiligen örtlichen Regenspende in Regen anderer Häufigkeit und Dauer erfolgt nach den „Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung“ [33] mit dem Zeitbeiwertverfahren. Hierzu wird der $r_{15(1)}$ mit dem dazugehörigen Zeitbeiwert $\varphi_{10(0,2)}$ multipliziert (vgl. Tabelle 2). Nach ATV-DVWK-A 138 kann von einem Durchschnittswert für den $r_{15(1)}$ von 120 l/(s•ha) ausgegangen werden, der einmal ($n=1$) im Jahr überschritten wird. Das Arbeitsblatt nennt als Bemessungsgrundlage für flächenhafte Versickerung ohne Speichermöglichkeit einen 10-min-Regen $r_{10(0,2)}$ mit $n = 0,2$ (eine Überschreitung von einmal in 5 Jahren). Die Regenspende $r_{15(1)}$ erhöht sich daher nach dem Zeitbeiwertverfahren (vgl. Tabelle 2) um den Faktor 2,25 auf $r_{10(0,2)} = 120 \text{ l/(s•ha)} \cdot 2,25 = 270 \text{ l/(s•ha)}$.

Anschaulicher ist eine Wasserhöhe, die ein Regen ohne Versickerung und Verdunstung auf einer horizontalen Fläche erzeugt. Aus der Umrechnung folgt:

$$r_{10(0,2)} = 270 \text{ l/(s•ha)} = 1,62 \text{ mm/min}$$

Die während eines Regenereignisses anfallende Wassermenge ist das Produkt aus Regenspende und Regendauer:

$$1,62 \text{ mm/min} \cdot 10 \text{ min} = 16,2 \text{ mm}$$

Liegt die örtlich maßgebende Regenspende über der Bemessungsregenspende von 270 l/(s•ha), wird empfohlen den entsprechend höheren Wert anzusetzen (vgl. Tabelle 3) [7].

Tabelle 1: Regenspenden $r_{15(1)}$ [l/(s•ha)]

Ort	$r_{15(1)}$
Köln	97
Hamburg	105
Bochum	111
Dortmund	112
Frankfurt am Main	112
Dresden	113
Berlin	127
München	131

Tabelle 2: Zeitbeiwerte φ zur Umrechnung eines $r_{15(1)}$ nach RAS-Ew

Regendauer in min	Zeitbeiwerte φ für Häufigkeit n [1/a]			
	0,1	0,2	0,5	1,0
5	3,827	3,059	2,228	1,714
10	2,820	2,254	1,642	1,263
15	2,232	1,784	1,300	1,000
30	1,374	1,098	0,800	0,615
60	0,776	0,621	0,452	0,348
90	0,541	0,433	0,315	0,242

Regenspenden nach KOSTRA-Daten des Deutschen Wetterdienstes

Statt der Reinhold'schen Regenreihen werden heutzutage i.d.R. die genaueren KOSTRA-Daten [28] des Deutschen Wetterdienstes angewendet. Die Kartendarstellungen des KOSTRA-Atlas „Starkniederschlagshöhen für Deutschland“ erlauben es dem Anwender, Niederschlagshöhen in mm und -spenden in $l/(s \cdot ha)$ für ca. 5.000 Rasterflächen mit einer Größe von 71,5 km² in Abhängigkeit von der Niederschlagsdauer und Wiederkehrzeit (Jährlichkeit) für beliebige Orte zu bestimmen. Die für die durchgeführten Versickerungsversuche relevanten Werte können direkt als maßgebliche Regenspende $r_{10(0,2)}$ aus Tabellen entnommen werden (s. Tabelle 3). Liegt die maßgebliche Regenspende über der Bemessungsregenspende von 270 $l/(s \cdot ha)$, ist die Bemessungsregenspende entsprechend zu erhöhen. Unterschreitet die örtliche Regenspende diesen Wert, beträgt die maßgebliche Regenspende weiterhin 270 $l/(s \cdot ha)$ (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Regenspende $r_{10(0,2)}$ der untersuchten Orte nach KOSTRA-Atlas

Objekt	Ort	$r_{10(0,2)}$	Objekt	Ort	$r_{10(0,2)}$
1	Bochum	226,1	13	Olpe	232,2
2	Dortmund	226,1	14	Olpe	232,2
3	Dortmund	222,8	15	Bergkamen	235,6
4	Dortmund	235,6	16	Kamen	235,6
5	Bergkamen	235,6	17	Herne	226,1
6	Dortmund	226,1	18	Lingen	254,5
7	Dortmund	235,6	19	Sundern	245,0
8	Bergkamen	235,6	20	Ense	272,7
9	Dortmund	239,4	21	Erwitte	245,0
10	Bergkamen	235,6	22	Erwitte	245,0
11	Bochum	226,1	23	Anröchte	262,2
12	Arnsberg	272,7	24	Erwitte	245,0

3.6 Versickerungsleistung wasserdurchlässiger Beläge nach Herstellerangabe

Hersteller von wasserdurchlässigen Flächenbelägen geben für ihre Produkte oft maximale Versickerungsleistungen der Steinsysteme an. Anhand von Angaben aus Prospekten, Katalogen, Gutachten und Informationen aus dem Internet wurden die Versickerungsleistungen von 23 Steinsystemen gesammelt und in Abb. 14 dargestellt (vgl. Anhang):

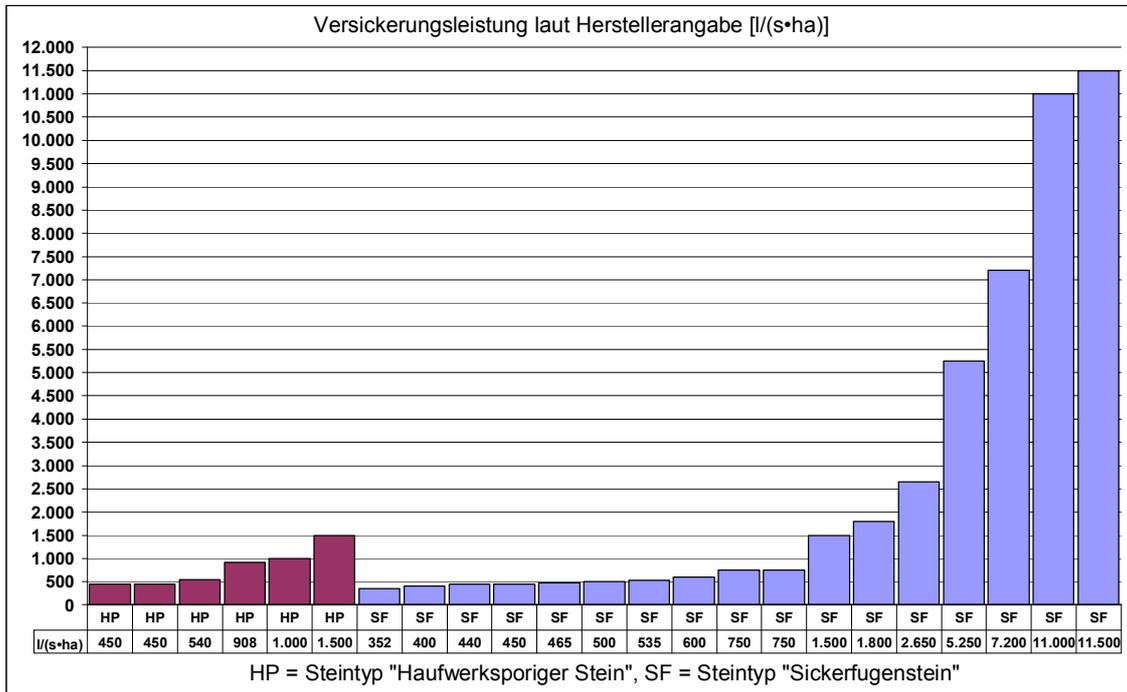


Abb. 14: Versickerungsleistung der verschiedenen Steintypen laut Herstellerangabe

Insgesamt konnten zu sechs Systemen haufwerksporiger Steine und zu 17 Systemen von Sickerfugensteinen Informationen über die Versickerungsleistung ermittelt werden. Demnach geben die Hersteller die Versickerungsleistung der haufwerksporigen Steine mit Werten zwischen 450 und 1.500 l/(s*ha) an. Bei den Sickerfugensteinen liegen die Versickerungsleistungen zwischen 352 und 11.500 l/(s*ha). Zu beachten ist, dass den Prüfungen der Versickerungsleistung keine einheitliche Norm zugrunde gelegt ist.

4 Methoden zur Prüfung der Wasserdurchlässigkeit von Belägen

4.1 Vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung der Infiltrationsrate

Bei untergeordneten Baumaßnahmen kann ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit der Flächenbeläge angewendet werden. Bei diesem Verfahren wird ein Metallring mit ca. 0,25 m² Fläche auf den zu prüfenden Belag aufgesetzt und abgedichtet. In den Metallring werden fünf Liter Wasser eingefüllt und die Zeit gemessen, in der das Wasser vollständig versickert (vgl. Abb. 15). Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis sich eine gleich bleibende Versickerungsrate einstellt. Die geforderte Durchlässigkeit von $k_f \geq 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s ist dann erreicht, wenn nach min. 60 Minuten kontinuierlicher Befüllung eine Wassermenge von fünf Litern innerhalb von max. 37 Sekunden vollständig versickert ist. Die Prüfung ist dreimal zu wiederholen und aus diesen das arithmetische Mittel zu bilden [7].



Abb. 15: Befüllen des Rings beim vereinfachten Verfahren [7]

4.2 Bestimmung der Infiltrationsrate mittels Tropfinfiltrometer

Mit Hilfe eines Stahlringes ($d = 54$ cm), der umlaufend mit Schnellzement auf der zu prüfenden Belagsfläche abgedichtet wird, ist eine definierte Testfläche von ca. 0,25 m² abgegrenzt (Abb. 16, Nr. 4). Die Testfläche wird über eine Beregnungseinheit (Plexiglaskasten 75 cm x 75 cm) mit 625 Injektionsnadeln an der Unterseite, der über eine Tauchpumpe (Abb. 16, Nr. 1a) mit Wasser befüllt wird, beregnet. Um eine laterale Bewegung des im Ring versickernden Wassers zu vermeiden, wird auch der an die Testfläche grenzende Bereich des Belages bewässert. Mit Hilfe eines kapazitiven Sensors (Abb. 16, Nr. 5) und einer speziellen Software wird die Beregnung der Prüffläche durch An- und Ausschalten der Pumpe so reguliert, dass ein möglichst konstanter Wasserfilm von einigen Millimetern Höhe auf die Prüffläche aufgebracht wird. Der Zufluss zur Beregnungseinheit wird bei dem im Rahmen der Untersuchungen verwendeten Tropfinfiltrometers mit Hilfe eines vor den Zulauf des Plexiglaskastens geschalteten Durchflussmessgerätes (Abb. 16, Nr. 2) bestimmt.

Mit dem zuvor beschriebenen Aufbau des Tropfinfiltrometers können Regenintensitäten bis ca. 800 l/(s•ha) simuliert werden. Da auf dem heutigen Markt wasserdurchlässige Beläge mit weitaus höheren Versickerungsleistungen angeboten werden, wurde das hier verwendete Tropfinfiltrometer mit einer zusätzlichen Pumpe (Abb. 16, Nr. 1b) und einem weiteren Durchflussmessgerät ausgestattet. Über einen mittig an der Unterseite des Plexiglaskastens positionierten Zulauf (Abb. 16, Nr. 6) wird das Wasser mittels eines Schlauches direkt auf die Prüffläche gegeben. Durch den gleichzeitigen Betrieb beider Pumpen kann eine Regenintensität bis maximal 3.300 l/(s•ha) erzeugt werden.

Ein Überstau der Prüffläche sowie ein vertikaler Wasserdruck werden bei der Tropfinfiltrometer-Methode möglichst gering gehalten und damit weitestgehend realistische Niederschlagsbedingungen sichergestellt. Die Infiltrationsrate in l/(s•ha) ergibt sich aus der Menge des Zuflusses zur Testfläche unter Berücksichtigung der Versuchszeit und der Größe der Fläche. Die minütige Erfassung der aufaddierten Wasserzugabe zur Testfläche, die Steuerung der Pumpen sowie die zeitgleiche Berechnung der mittleren Infiltrationsraten in l/(s•ha) werden über eine speziell für dieses Gerät entwickelte Software gesteuert.

In einer Grafik kann der zeitliche Verlauf der mittleren Infiltrationsraten des geprüften Belages in l/(s•ha) in Abhängigkeit der Versuchszeit als Kurve dargestellt werden. Typische Verläufe werden in Kapitel 7.1 beschrieben. Die Infiltrationsrate $i_{(10)}$ nach 10 Minuten Versuchszeit kann als potentiell aufnehmbare Regenspende $r_{(10)}$ in l/(s•ha) ausgelegt werden. Die Infiltrationsrate nach 60-minütiger Beregnung $i_{(60)}$ bzw. ein konstanter Wert entspricht der Wasseraufnahmefähigkeit im wassergesättigten Zustand und kann daher als Durchlässigkeitsbeiwert k_f in m/s interpretiert werden [7].

Vorteile des beschriebenen Verfahrens liegen zum einen darin, dass die Testfläche nicht durch konstruktive Maßnahmen verändert wird. Zum anderen kann durch die Beregnung mittels Injektionsnadeln ohne signifikanten Überstau der Testfläche ein weitestgehend natürliches Regenereignis simuliert werden.

- ① Zwei Tauchpumpen im Wasservorratsbehälter
- ② Gedückerter Durchflussmesser (Flügelradmesser, Messgenauigkeit $\pm 3\%$)
- ③ Plexiglas-Wanne mit 625 Injektionsnadeln an der Unterseite
- ④ Stahlring, $\varnothing = 54\text{ cm}$, Fläche ca. $0,25\text{ m}^2$, Höhe ca. 5 cm
- ⑤ Näherungssensor zur Bestimmung des Wasserstandes

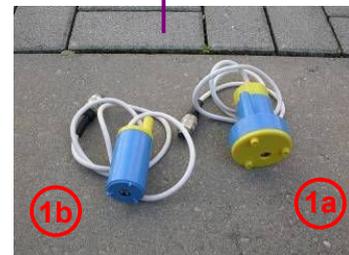
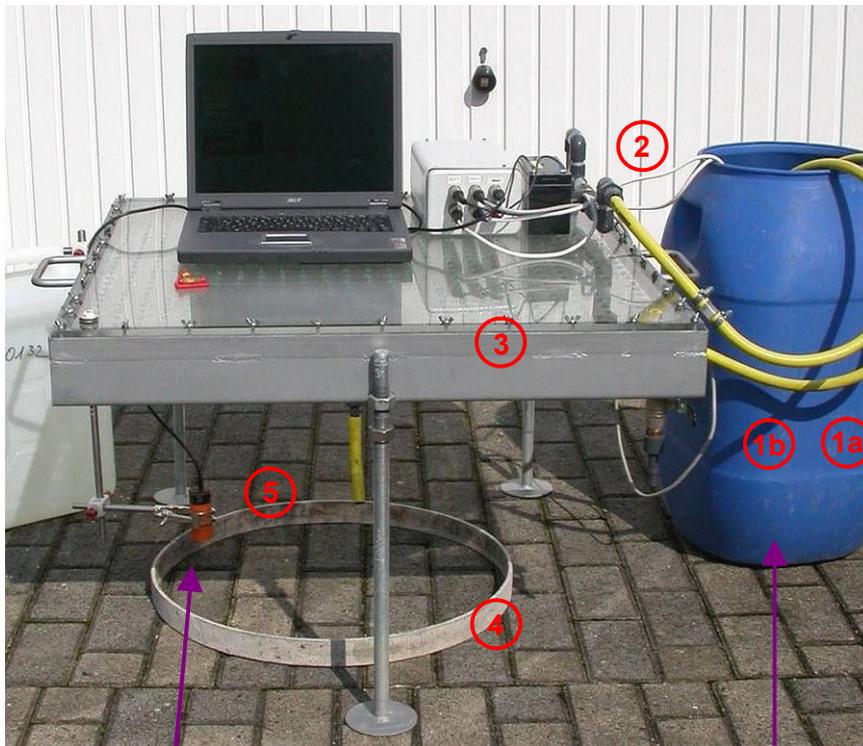


Abb. 16: Aufbau des Tropfinfiltrimeters

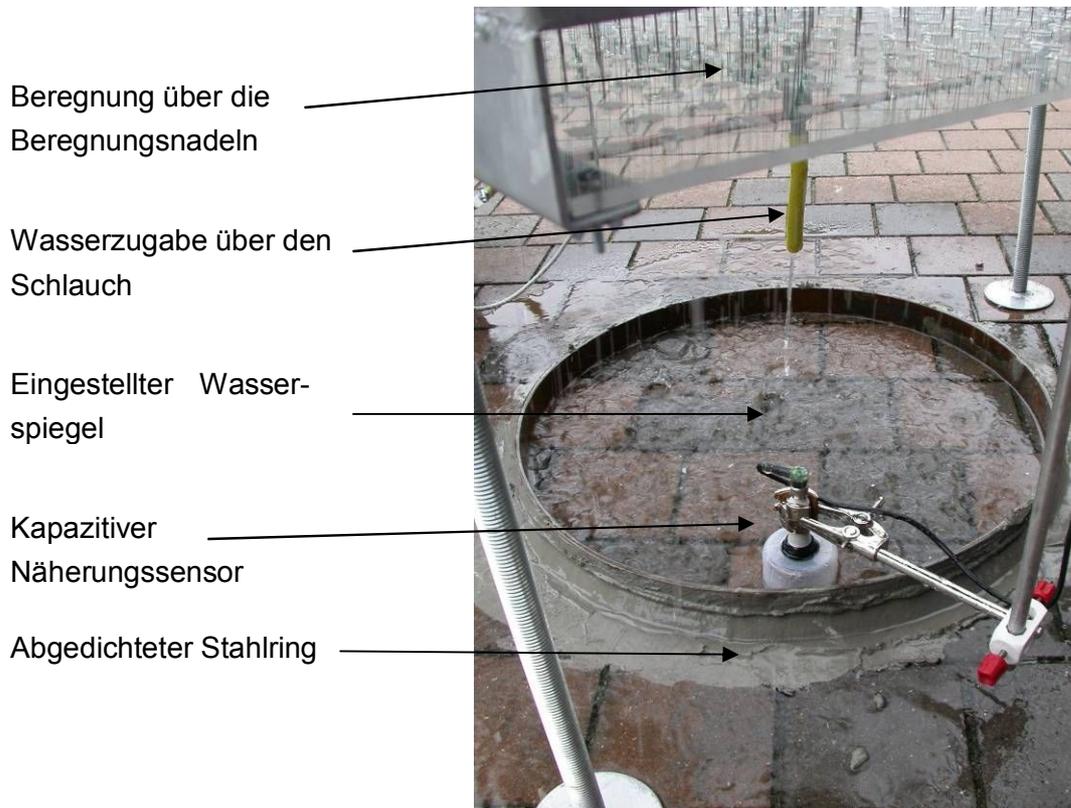


Abb. 17: Beregnung der Testfläche

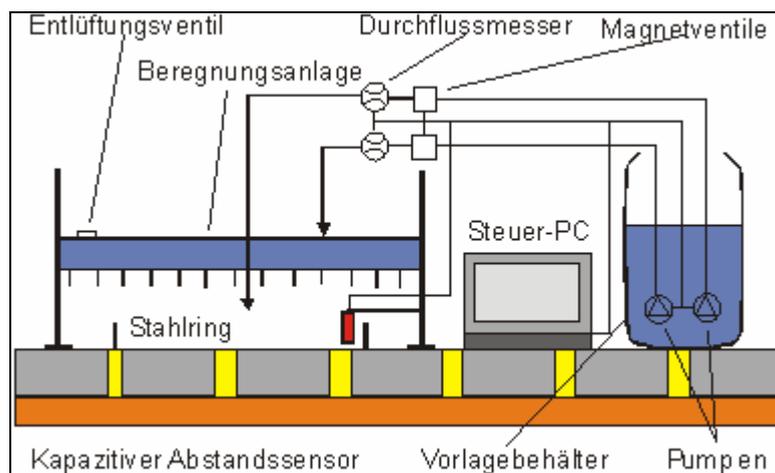


Abb. 18: Schematische Funktionsskizze des Tropfinfiltrimeters

Abb. 18 zeigt in schematischer Darstellung die Funktionsweise und die Bauteile des Tropfinfiltrimeters. Alle wichtigen Anlagenteile sind in der Skizze benannt.

5 Datenerhebung bei der Bezirksregierung Arnsberg

Bürger, die Fördermittel zur Entsiegelung in Anspruch nehmen möchten, müssen dafür beim zuständigen Amt ihrer Kommune einen Antrag stellen. Diese „Einzelanträge“ werden dort gesammelt und zu bestimmten Stichtagen an die Bezirksregierung weitergeleitet. Zusammen bilden diese einzelnen Anträge bei der Bezirksregierung einen „Sammelantrag“, so dass ein Sammelantrag eine Vielzahl von Einzelanträgen einer Stadt enthält. So beinhaltete z.B. ein Sammelantrag der Stadt Warstein ca. 120 Einzelanträge. Aus der Liste der Sammelanträge kann jeweils nur die Stadt als Zuwendungsempfänger und das Gesamfördervolumen der jeweiligen Anträge entnommen werden.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden insgesamt 667 Sammelanträge bezüglich ihrer Herkunft und ihres Fördervolumens erfasst und dienen als Basis für die weitere Auswahl der repräsentativen Einzelanträge.

Tabelle 4: Exemplarischer Auszug aus der Liste der Sammelanträge

Kennziffer	Empfänger	Betrag [DM]
596 / 98	Schmallenberg	285.990,00
173 / 99	Warstein	278.400,00
213 / 98	Unna	243.142,50
043 / 99	Schmallenberg	226.575,00
173 / 98	Rüthen	215.361,30
635 / 98	Werl	205.860,00
136 / 99	Lünen	192.000,00
595 / 98	Olsberg	177.330,00
313 / 98	Bad Berleburg	173.301,00
249 / 99	Soest	169.893,00
509 / 98	Ense	168.015,00
116 / 99	Wilnsdorf	156.943,00

Bei der weiteren Auswertung wurden insbesondere die Sammelanträge mit einem hohen Förderbetrag berücksichtigt, da hier eine entsprechend große Anzahl von Einzelmaßnahmen erwartet werden konnte. Aus den 667 Sammelanträgen wurden 382 Einzelanträge detailliert in eine Datenbank aufgenommen. Maßgeblich für die Aufnahme der einzelnen Maßnahmen in die Datenbank waren die Vollständigkeit und die Qualität der Angaben im Antragsformular. In der Datenbank wurden dabei folgende Informationen erfasst:

- Name und Anschrift der Zuwendungsempfänger bzw. der Eigentümer
- Zeitraum der Baumaßnahme
- Höhe der Förderung
- Größe der entsiegelten Fläche
- Nutzung der entsiegelten Fläche
- Art des Flächenbelages (haufwerksporiger Stein, Sickerfugenstein, Rasengitterstein)
- Hersteller des Flächenbelages
- Fugenausbildung
- Untergrund / Bodenart lt. Förderantrag
- k_f -Wert lt. Förderantrag
- Ausführung der Baumaßnahme (Eigenleistung / Fachfirma)
- Sonstige Bemerkungen

Bei der Aktensichtung zeigte sich, dass qualitative Unterschiede hinsichtlich der Informationsgüte bei den Förderanträgen bestehen. Waren mit den Anträgen auch Rechnungen und detaillierte Lagepläne vorzufinden, konnten umfassende Angaben ermittelt werden. Da sich aber viele Angaben (z.B. Steinart / Hersteller / Ausführender der Baumaßnahme etc.) auch bei vollständigen Unterlagen nicht immer ermitteln ließen, wurden Anfragen bei Städten und Kommunen per Telefon und per E-Mail durchgeführt, um diese Lücken möglichst weitgehend zu schließen.

Auf der Basis des aufgestellten Kriterienkatalogs wurden repräsentative Maßnahmen für die nachfolgenden Untersuchungen ausgewählt. Zusätzlich wurden Gespräche mit den zuständigen Sachbearbeitern der Städte und Kreise geführt, um Empfehlungen zu möglicherweise interessanten Objekten einzuholen.

5.1 Auswertung der erfassten Sammelanträge

Sämtliche bei der Bezirksregierung Arnsberg verfügbaren Sammelanträge aus den Jahren 1997, 1998 und 1999 wurden Ihrer Zugehörigkeit entsprechend nach Kreisen bzw. Städten in einer Datenbank erfasst (vgl. Tabelle 5). Abb. 19 zeigt die prozentuale Verteilung der Anzahl an Sammelanträgen in den einzelnen Kreisen der Bezirksregierung Arnsberg. Es ist ersichtlich, dass es bezüglich der ausgezahlten Fördergelder innerhalb der Bezirksregierung Arnsberg erhebliche Unterschiede gibt. Allein auf die drei Kreise Soest, Siegen-Wittgenstein und den Hochsauerlandkreis entfallen insgesamt 64 % der geförderten Maßnahmen. In den Kreis Unna und den Märkischen Kreis sind 10 % bzw. 11 % der Fördergelder geflossen. Die übrigen sieben Städte und Kreise erhielten lediglich 1 % bis 5 % der Fördergelder (vgl. Tabelle 5).

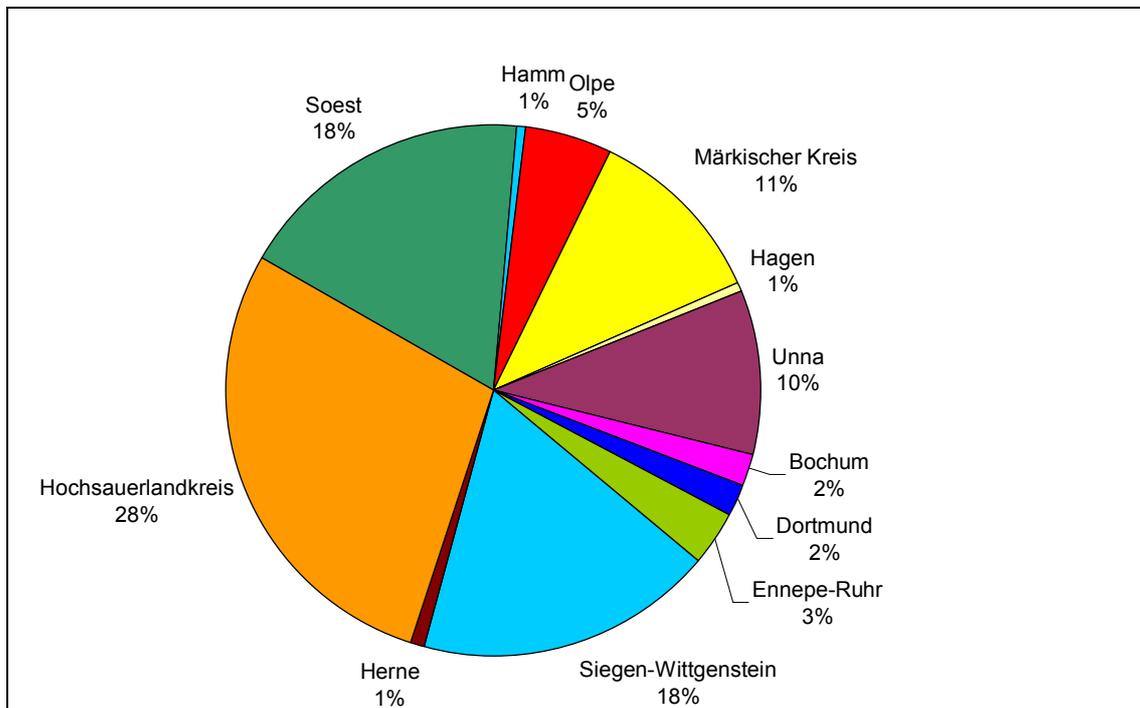


Abb. 19: Prozentualer Anteil der Sammelanträge in den Kreisen der BR Arnsberg

Tabelle 5: Anzahl der Sammelanträge der jeweiligen Kreise

Kreis / Stadt	Anzahl der Sammelanträge
Soest	120
Hamm	5
Olpe	35
Märkischer Kreis	74
Hagen	3
Unna	67
Bochum	12
Dortmund	14
Ennepe-Ruhr	21
Siegen-Wittgenstein	122
Herne	4
Hochsauerlandkreis	190
Σ	667

5.2 Auswertung der erfassten Einzelmaßnahmen

Die 382 erfassten Einzelmaßnahmen wurden hinsichtlich der Größe der entsiegelten Flächen, der verwendeten Steinarten (Sickerfugenstein, Haufwerksporiger Stein, Rasengitterstein) und der Bauausführung (in Eigenleistung oder durch eine Fachfirma) ausgewertet.

Eine Betrachtung der Häufigkeitsverteilung der Größe der entsiegelten Flächen (Abb. 20) zeigt, dass die Entsiegelungsmaßnahmen in 85 % der Fälle auf kleinen Flächen bis zu 300 m² realisiert wurden. Nur mit wenigen Ausnahmen wurden die Förderanträge von Privatpersonen gestellt, sodass sich die Flächennutzungen überwiegend auf Garageneinfahrten und kleinere Hofflächen beschränkten.

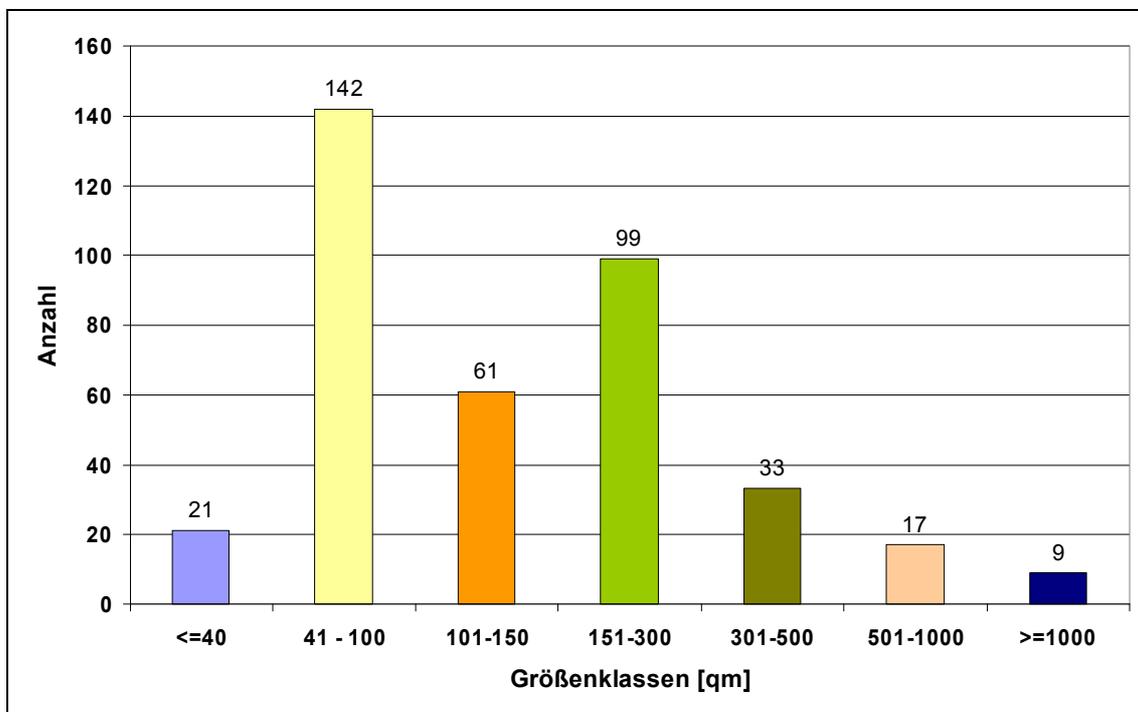


Abb. 20: Häufigkeitsverteilung der entsiegelten Flächengröße (Stichprobenumfang n=382)

Die Verteilung der Versickerungssysteme – Sickerfugenstein, Rasengitterstein und Haufwerksporiger Stein – zeigt, dass bei 100 der 382 Maßnahmen (26 %) Sickerfugensteine zum Einsatz kamen, in 123 Fällen (32 %) wurden zur Entsiegelung haufwerksporige Steine verwendet und bei nur 13 Maßnahmen (3 %) wurden Rasengittersteine eingebaut (vgl. Abb. 21). Bei 146 erfassten Datensätzen liegen keine detaillierten Angaben vor, da sich in diesen Fällen nur die Angabe „Ökostein“ aus den Förderanträgen entnehmen ließ.

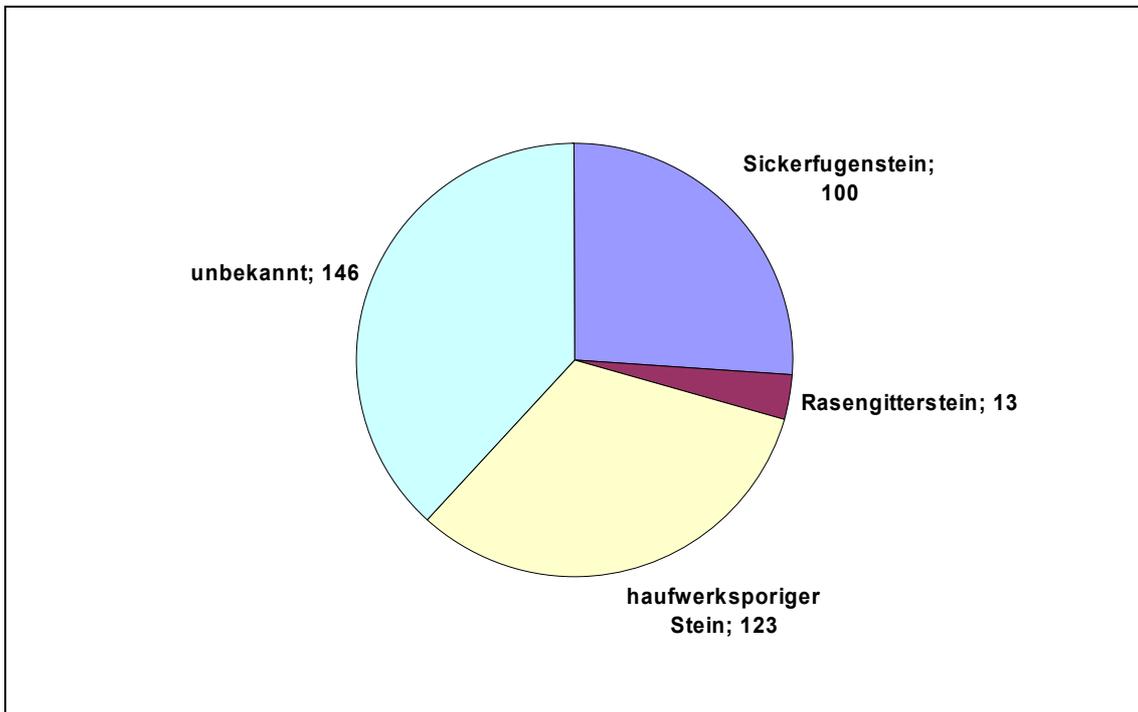


Abb. 21: Verteilung der verwendeten Steinarten (Stichprobenumfang n=382)

Bezüglich der Bauausführung lag bei 217 von 382 Einzelanträgen die Information vor, ob die Entsiegelung in Eigenleistung oder durch eine Fachfirma umgesetzt wurde. Demnach wurden die Maßnahmen annähernd zu gleichen Anteilen von einer privaten Person oder einer Fachfirma (28 % bzw. 26 %) ausgeführt (Abb. 22). Bei 46% der erfassten Maßnahmen lagen keine Angaben vor.

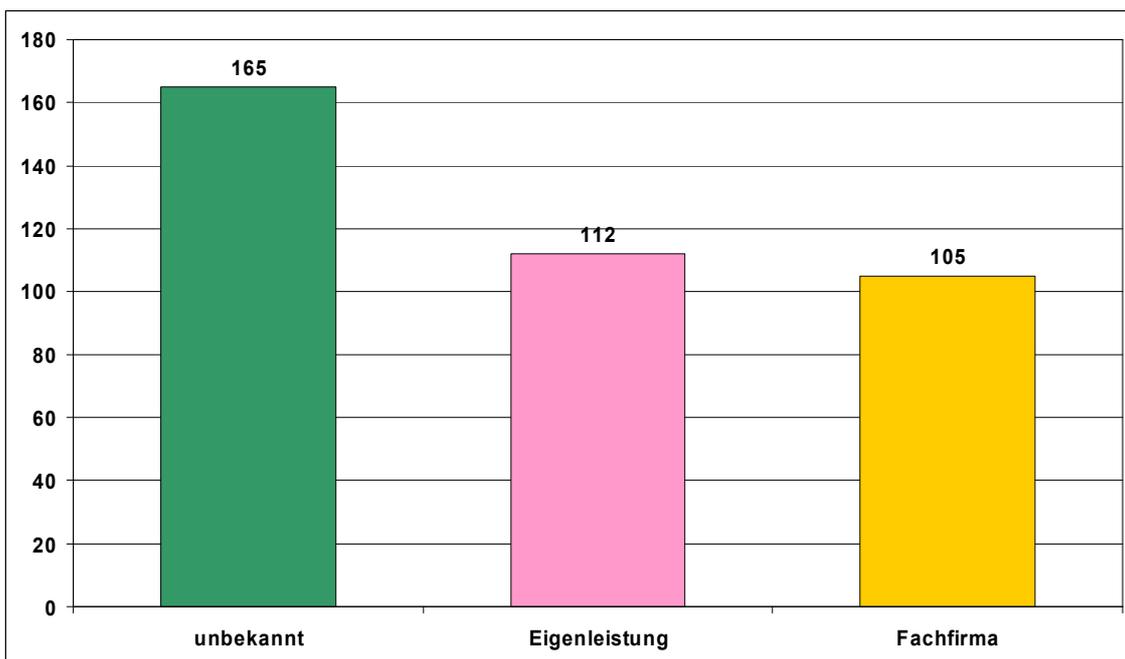


Abb. 22: Anzahl der Ausführungen durch Eigenleistung / Fachfirma (Stichprobenumfang n=382)

6 Auswahl und Prüfung der wasserdurchlässigen Beläge

Im Rahmen des Vorhabens wurden zunächst Flächen für Vor-Ort-Inaugenscheinnahmen mit Hilfe der Informationen der Datenbank ausgewählt. In einem zweiten Schritt wurden auf Basis der Ortsbegehungen interessante Objekte für Infiltrationsprüfungen bestimmt. Im Folgenden werden Einzelheiten zur Auswahl der Objekte erläutert.

6.1 Auswahl der zu prüfenden Flächen

Auf Basis der im Rahmen des Projektes erstellten Datenbank zu den Fördermaßnahmen wurden 90 Maßnahmen für eine Ortsbegehung ausgewählt (Tabelle 6). Bei der Auswahl waren Randbedingungen, wie das Alter (zwischen 4 und 7 Jahren) der Flächen, die verwendeten Steinsysteme und die Ortslage, entscheidend. Neben variierenden Randbedingungen war eine weite Verteilung der Maßnahmen auf das Gebiet der Bezirksregierung Arnsberg von Bedeutung.

Tabelle 6: Übersicht der durchgeführten Vor-Ort-Inaugenscheinnahmen

<input type="checkbox"/> Anröchte (2 Objekte)	<input type="checkbox"/> Herdecke (2 Objekte)
<input type="checkbox"/> Arnsberg (6 Objekte)	<input type="checkbox"/> Herne (6 Objekte)
<input type="checkbox"/> Balve (1 Objekt)	<input type="checkbox"/> Kamen (5 Objekte)
<input type="checkbox"/> Bergkamen (5 Objekte)	<input type="checkbox"/> Lingen (1 Objekt)
<input type="checkbox"/> Bochum (13 Objekte)	<input type="checkbox"/> Olpe (5 Objekte)
<input type="checkbox"/> Dortmund (8 Objekte)	<input type="checkbox"/> Sundern (9 Objekte)
<input type="checkbox"/> Ense (10 Objekte)	<input type="checkbox"/> Wetter (3 Objekte)
<input type="checkbox"/> Erwitte (5 Objekte)	<input type="checkbox"/> Wilnsdorf (7 Objekte)
	<input type="checkbox"/> Witten (2 Objekte)

Im Rahmen der Ortsbegehungen der 90 Objekte wurden die in die Datenbank aufgenommenen Informationen geprüft und ggf. geändert oder ergänzt. Insbesondere wurden der eingebaute Steintyp (der z.T. von den Anträgen abwich) sowie Zustand, Nutzungsart, Zugänglichkeit und Verschmutzung der Flächen aufgenommen. Darüber hinaus wurde geklärt, ob der Grundstückseigentümer einer Infiltrationsprüfung seiner Fläche zustimmte.

Anschließend wurden 24 Objekte für Infiltrationsmessungen mit dem Tropfinfiltrimeter ausgewählt, sodass verschiedene Randbedingungen bezüglich augenscheinlicher Verschmutzungen, angrenzender Vegetationen im Bereich der Beläge, Nutzungsart (Fußgängerwege, Lkw-Zufahrten, Pkw-Stellplatz, Terrassen etc.) und Reinigungen während des Nutzungszeitraumes vorlagen. Darüber hinaus waren die Steinarten (haufwerksporiger Stein, Sickerfugenstein, Rasengitterstein) als Auswahlkriterium von

Bedeutung. Während der folgenden Infiltrationsmessungen wurden detaillierte Objektskizzen angefertigt, in die folgende Informationen aufgenommen wurden:

- Steinsystem, Fugenbreite, Fugenmaterial
- Gefälle der Fläche
- Zu- und Abläufe
- Alter, umliegende Vegetation und Verschmutzung der Flächen
- Nutzungsart, Allgemeinzustand der Fläche
- Reinigungsmaßnahmen in der Nutzungsdauer
- Wetterbedingungen vor und während der Infiltrationsprüfung
- Einbau durch Fachfirma oder Privatperson
- Ggf. Erfahrungen des Zuwendungsempfängers

An den 24 Objekten wurden insgesamt 49 Versickerungsversuche durchgeführt, wobei entsprechend der Abb. 23 drei Versuche an Rasengittersteinen, 17 Versuche an Sickerfugensteinen sowie 29 Versuche an haufwerksporigen Steinen ausgeführt wurden.

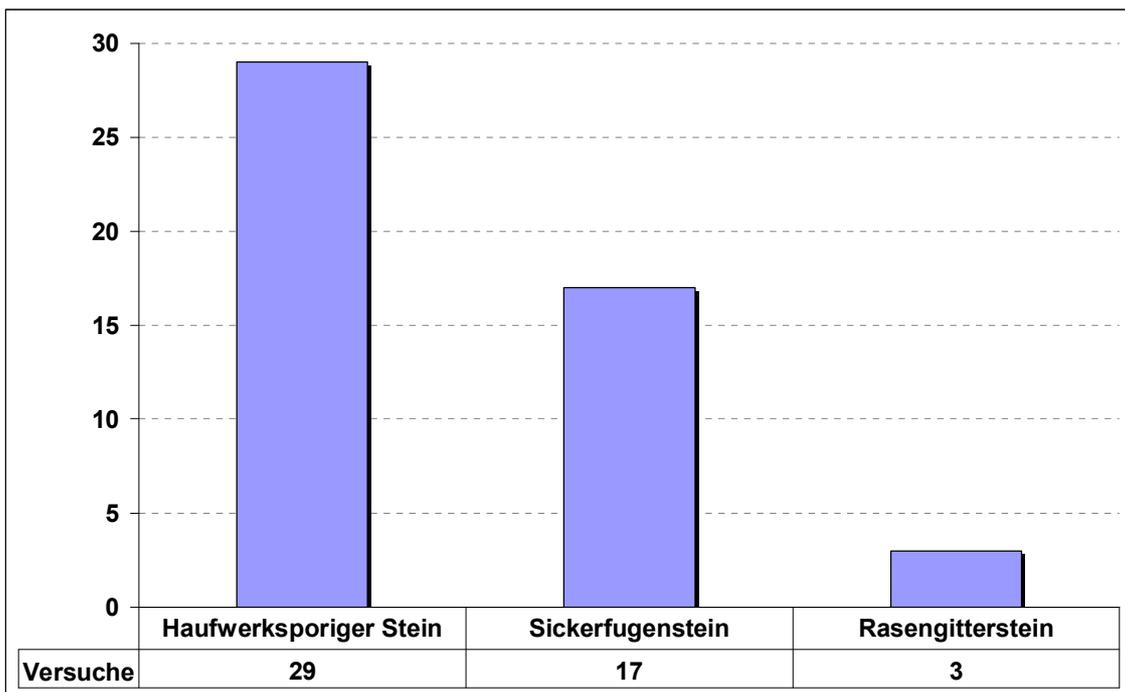


Abb. 23: Anzahl der durchgeführten Versuche der verschiedenen Flächenbeläge

Bei nur wenigen Ortsbegehungen war es nicht möglich, mit den Grundstückseigentümern in Kontakt zu treten, wie z.B. bei einem verlassenem Firmengelände (Abb. 24). Oft standen Grundstückseigentümer dem Forschungsvorhaben mit Interesse gegenüber und waren zu Gesprächen sowie zum Informationsaustausch bereit (Abb. 24).

Einige Grundstückseigentümer aber lehnten eine Inaugenscheinnahme und die Durchführung eines Versickerungsversuches direkt ab.



Abb. 24: Verlassenes Firmengelände (li.), Kontakt zu den Grundstückseigentümern (re.)



Abb. 25: Typische Beispiele für zu Versickerungsversuchen ausgewählte Flächen

6.2 Durchführung der In-situ-Prüfungen

Zunächst wurde mit dem Zuwendungsempfänger, der einer Infiltrationsmessung seines Flächenbelages zugestimmt hatte, ein Termin für eine Prüfung vereinbart. Dies geschah recht kurzfristig, da am Tag der Prüfung trockene Wetterbedingungen vorliegen sollten.

Abhängig davon, ob die entsiegelte Fläche unterschiedliche Verschmutzungen aufwies, wurden entsprechend verschiedene Stellen für eine Infiltrationsprüfung ausgewählt. So wurden an zahlreichen Objekten zwei bis drei Stellen mit für die Fläche typischer Verschmutzung geprüft. Durch diese Vorgehensweise war ein direkter Vergleich zwischen verunreinigten und sauberen Stellen möglich (vgl. Abb. 26 und Abb. 27). Verunreinigungen und Vermoosungen wurden vor allem auf Flächen, die sich im Schatten bzw. unter Bäumen und Sträuchern befinden, vorgefunden. Darüber hinaus war bei der Auswahl der zu prüfenden Stelle darauf zu achten, dass die Prüffläche möglichst wenig Gefälle aufwies, damit sich im Stahring ein möglichst gleichmäßiger Wasserfilm einstellen konnte (vgl. Abb. 28).



Abb. 26: Optisch sauberer Flächenbelag



Abb. 27: Verschmutzter Flächenbelag, vermooste Fugen



Abb. 28: Beispiel von zwei für die Prüfung ungeeigneter Flächen mit großem Gefälle

Leichte Schwimmstoffe, wie z.B. Blätter und Tannennadeln, wurden vor dem Versickerungsversuch von der ausgewählten Stelle entfernt, um eine Beeinflussung des Wasserstandsensors zu vermeiden. Anschließend wurde der Stahlring auf den Flächenbelag aufgelegt und mit Blitzzement abgedichtet. Das Tropfinfiltrometer wurde waagrecht über dem Stahlring positioniert und der Sensor ausgerichtet. Für die Versuchsdurchführung wurden Trink- bzw. Frischwasser (Abb. 29) verwendet, um ein Verstopfen der feinen Beregnungsnadeln des Tropfinfiltrometers zu vermeiden.



Abb. 29: Befüllen des Vorratsbehälters



Abb. 30: Entfernung des Blitzzementes

Die Versickerungsversuche wurden so lange durchgeführt, bis sich eine nahezu konstante Infiltrationsrate einstellte. Im Anschluss an die Prüfungen wurden Zementrückstände vom Belag entfernt (vgl. Abb. 30).

Hinsichtlich ihrer Zielsetzung können die durchgeführten Versickerungsversuche in drei Prüfreihe eingeteilt werden:

1. Prüfung der Sickerleistung an drei unterschiedlichen Steinarten mit verschiedenen Randbedingungen (39 Prüfungen)
2. Prüfung der Sickerleistung abhängig von der Nässung des Belages/ Untergrundes (4 Prüfungen)
3. Prüfung der Sickerleistung vor und nach Reinigungsmaßnahmen (6 Prüfungen)

Innerhalb der ersten Prüfreihe wurde der größte Anteil der Prüfungen (insgesamt 39) an verschiedenen Steinsystemen mit unterschiedlichen Verschmutzungsgraden sowie weiteren Randbedingungen (wie z.B. Nutzungsart und Vegetationen im Bereich der Beläge) durchgeführt. Während der zweiten Prüfreihe wurde anhand von vier Prüfungen untersucht, ob die Infiltrationsrate eines Belages durch die Vor-Nässung des Belages und des Untergrundes beeinflusst wird. In der abschließenden dritten Prüfreihe wurden die Versickerungsleistungen der jeweiligen Flächenbeläge vor und nach einer Reinigung ermittelt.

Übersicht der 49 Prüfflächen

Eine Übersicht zu den untersuchten Prüfflächen ist Tabelle 7 zu entnehmen. In dieser Tabelle und auch den weiteren Ausführungen wurden die folgenden Kürzel zur Bezeichnung der unterschiedlichen Steinsysteme verwendet:

- Steinsystem **H** (⇒ **haufwerksporige** Betonsteine)
 - Steinsystem **H g** (einschichtiger Aufbau bzw. zweischichtiger Aufbau mit **g**rober Vorsatzschicht)
 - Steinsystem **H f** (zweischichtiger Aufbau mit **f**einer Vorsatzschicht)
- Steinsystem **S** (⇒ **S**ickerfugensteine)
- Steinsystem **R** (⇒ **R**asengittersteine)

Die oben beschriebenen Kürzel wurden nun für jedes Steinprodukt durch eine Ziffer ergänzt, sodass den Ausführungen entnommen werden kann, wie viele unterschiedliche Steinprodukte geprüft wurden. Abb. 31 zeigt eine beispielhafte Darstellung verschiedener untersuchter Steintypen. Tabelle 7 zeigt eine Übersicht der Randbedingungen der untersuchten Flächen, sortiert nach Steinsystem und nach Alter.

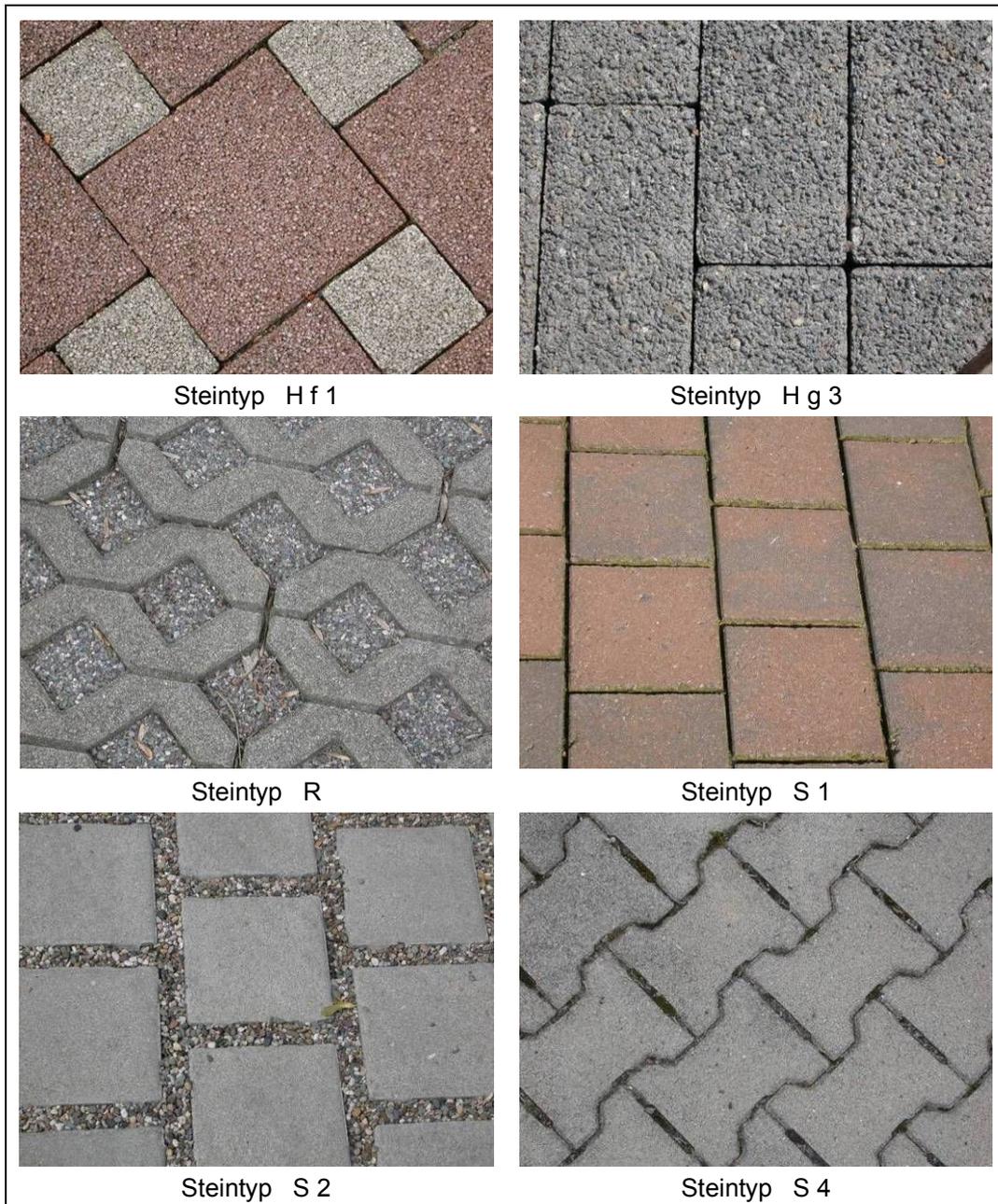


Abb. 31: Beispielhafte Darstellung der untersuchten Steintypen

Tabelle 7: Übersicht der 49 Prüfflächen

Stein-system	Objekt-Nr.	Ort	Alter [a]	Größe [m ²]	Nutzung	Anzahl der Prüfflächen
H f 1	3	Dortmund	4,5	150	Garagenhof, Stellplätze	2
H f 1	19	Sundern	5	281	Stellplätze	2 + 2 *
H f 1	13	Olpe	6	95	Garagenzufahrt, Stellplätze	1
H f 1	16	Kamen	7	95	Einfahrt, Eingangsbereich	1
H f 2	12	Arnsberg	6	740	Zufahrt, Stellplätze	2
H f 3	17	Herne	4,5	553	Garagenhof	2
H f 4	21	Erwitte	5	472	Hofffläche	3 + 2 *
H f 4	24	Erwitte	6	287	Hofffläche, Stellplätze	2
H f 5	23	Anröchte	5	121	Stellplätze, Terrasse	2
H g 1	6	Bochum	5	200	Schulhof	2
H g 2	7	Dortmund	6	202	Hofffläche	2
H g 3	10	Bergkamen	6	224	Stellplätze	2
H g 4	15	Bergkamen	5	150	Garageneinfahrt, Terrasse	2
H g 5	5	Bergkamen	6	1.900	Hofffläche, Stellplätze	2
R	2	Dortmund	6	185	Einfahrt, Hof	1
R	5	Bergkamen	6	1.900	Stellplätze	1
R	12	Arnsberg	6	740	Stellplätze	1
S 1	4	Dortmund	5	300	Garagenhof, Stellplätze	1
S 1	8	Bergkamen	5	96	Einfahrt, Hof	1
S 1	9	Dortmund	5	100	Garagenzufahrt, Stellplätze	1
S 1	22	Erwitte	5	175	Hofffläche, Stellplätze	3
S 1	18	Lingen	10	~ 30	Stellplätze	2
S 2	1	Bochum	6	410	Garagenhof, Stellplätze	2
S 3	14	Olpe	6	427	Stellplätze	1
S 4	20	Ense	4	380	Hofffläche, Stellplätze	2
S 5	11	Bochum	6	333	Garagenhof, Stellplätze	2

* = Prüfung der Versickerungsleistung vor/nach Reinigung

6.3 Laborprüfungen

Die Laborprüfungen mit der Beregnungsanlage des IKT dienten dazu, während der Projektphase 2 entstandene Fragestellungen zu klären bzw. Ergebnisse zu bestätigen. Die folgenden Ausführungen geben zunächst einen Einblick in die Funktion der Beregnungsanlage. Anschließend werden die im Rahmen dieses Vorhabens durchgeführten Laborprüfungen erläutert. Die Ergebnisse sind in Kapitel 7.2 dargestellt.

6.3.1 Funktion der Beregnungsanlage

Aufbau und Funktion der Beregnungsanlage werden in Abb. 32 und Abb. 33 verdeutlicht. Das im Vorlagebehälter (Abb. 32, Nr. 1) gespeicherte Wasser wird über eine Schlauchpumpe (Nr. 2) in den Zulauf (Nr. 6) der Anlage gefördert. Die Fördermenge der Pumpe wird mit Hilfe eines nachgeschalteten MID (MID Zulauf, Nr. 3) bestimmt und über ein PC-Programm reguliert. Zum Füllen der Anlage sowie zur Simulation starker Regenereignisse mit einer Intensität von mehr als 800 l/(s•ha) kann der Zulauf zusätzlich über einen Anschluss an das Wasserversorgungsnetz (Nr. 5) gespeist werden.

Ein Wasserfilter (Nr. 4) reinigt das Wasser von groben Schwebstoffen, um ein Verstopfen der Beregnungsdüsen zu vermeiden. Über einen Schlauch wird das Wasser dem eigentlichen Beregnungssystem, einer Acrylwanne mit 625 Kanülen (Abb. 1 Nr. 7, Abb. 34), zugeführt. Das Wasser tropft über die Kanülen auf den Prüfbelag mit einer Fläche von 1 m², der zuvor außerhalb der Anlage in den entnehmbaren Wechselrahmen (Abb. 32, Nr. 8, Abb. 34) eingebaut wurde. Das Beregnungswasser durchsickert den Belag und gelangt über den Boden des Wechselrahmens, ein Feinsieb aus Edelstahl, in einen Auffangtrichter (s. Abb. 33).

Dieser Aufbau der Anlage ermöglicht es, das Verhalten eines Flächenbelages bei unterschiedlich starken Regenereignissen zu simulieren, um Aussagen zum Oberflächenabfluss und zum Sickerverhalten eines Belages zu treffen.

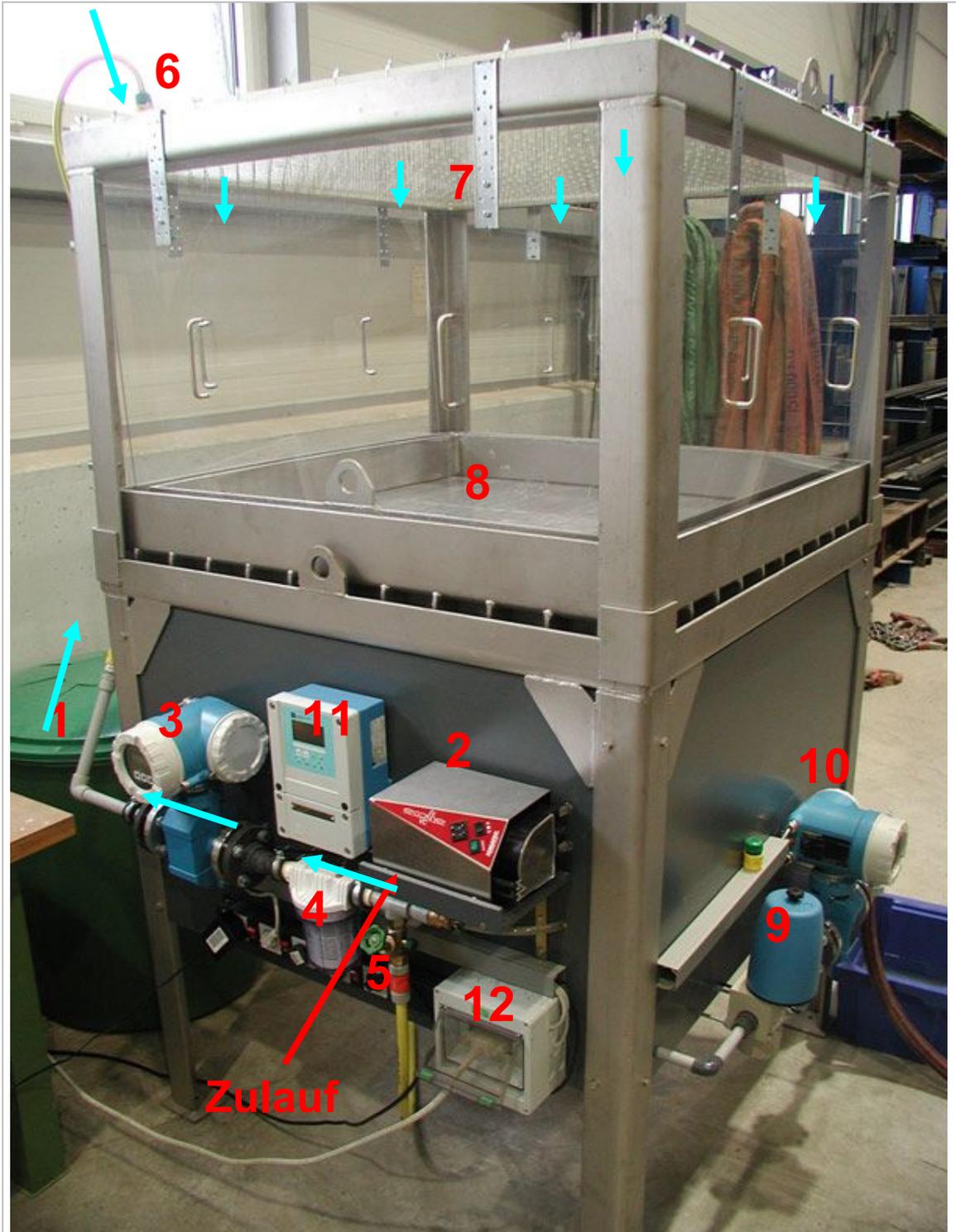


Abb. 32: Prüfanlage für wasserdurchlässige Flächenbeläge im IKT

1) Vorlagebehälter 2) Schlauchpumpe 3) MID Zulauf 4) Grobfilter 5) Parallele Wasserversorgung aus dem Netz 6) Zulauf Beregnungsanlage 7) Acrylwanne mit 625 Kanülen 8) Wechselrahmen, in den der Probekörper eingebaut wird (1,0x1,0 m) 9) pH-Sonde und Temperaturfühler (Ablauf) 10) MID Ablauf 11) Messwertumformer der pH-Sonde 12) Zentralstecker für die Datenübertragung zum PC

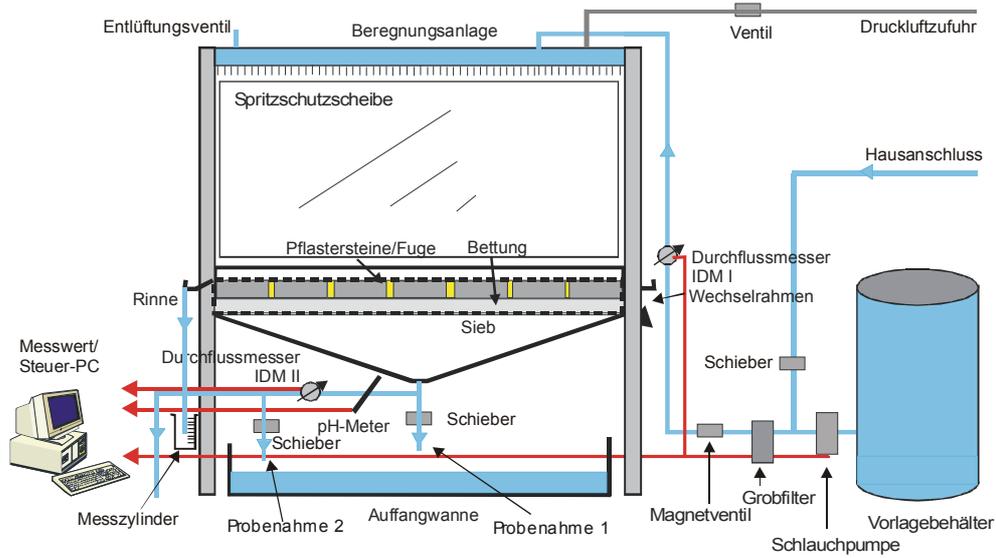


Abb. 33: Aufbau der Versuchsapparatur für die Prüfung wasserdurchlässiger Flächenbeläge

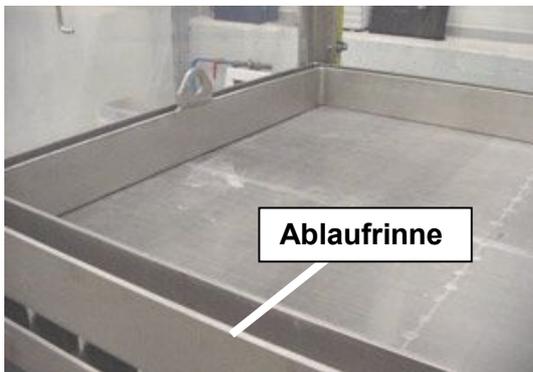


Abb. 34: Wechselrahmen mit Feinsieb aus Edelstahl und Ablaufrinne für von der Steinoberfläche ablaufendes Wasser



Abb. 35: Acrylwanne mit Edelstahlkanülen

6.3.2 Durchgeführte Prüfungen

Spezielle Fragestellungen, die sich während der Projektphase 2 ergaben, waren:

- a) welchen Einfluss hat das Zusetzen des Steins bzw. der Fugen auf die Versickerungsleistung eines haufwerksporigen Belages,
- b) kann durch eine Reinigung eines verschmutzten Belages mit einem handelsüblichen Verfahren die Versickerungsleistung verbessert bzw. wiederhergestellt werden und
- c) wie wirkt sich der Einbaufehler „Einschlämmen von Sand als Fugenmaterial in einen haufwerksporigen Stein“, der bei den Untersuchungen vor Ort zweimal vorgefunden wurde, auf die Versickerungsleistung aus?

Um der Fragestellung a) nachzugehen wurden aus zwei bestehenden Flächen, die bei den Tropfinfiltrationsmeter-Untersuchungen sehr geringe Infiltrationsraten aufwiesen und deren Eigentümer einer Entnahme von Steinen zustimmten, jeweils Steine von rund 1 m² ausgebaut (s. Tabelle 8: Belag I und II). Diese wurden anschließend im Labor mit neuem Fugenmaterial in einen Stahlwechselrahmen (Fläche: 1 m²) eingebaut und sowohl mit der Prüfanlage als auch mit dem Tropfinfiltrationsmeter auf ihre aufnehmbare Regenspende geprüft. Darüber hinaus wurde im Rahmen einer Diplomarbeit [40] auch die Wasserdurchlässigkeit einzelner Steine bestimmt.

In Ergänzung zu den Reinigungsversuchen der In-situ-Untersuchungen (Projektphase 2) wurden auch die vor Ort entnommenen Steine nach dem Einbau in den Wechselrahmen mittels Hochdruckreiniger mit Wasser gesäubert und anschließend auf ihre Infiltrationsrate geprüft (s. Fragestellung b).

Bei den In-situ-Untersuchungen mit dem Tropfinfiltrationsmeter wurden zwei Objekte vorgefunden, bei denen haufwerksporige Steine entgegen der Herstelleranleitung mit Sand als Fugenfüllung verlegt wurden (vgl. Anhang, Objekt 16 und 17). Diese wiesen auch bei augenscheinlich sauberen Steinen geringe Infiltrationsraten auf. Daher wurde im Rahmen der Laborprüfungen ein neuwertiger haufwerksporiger Stein in einen Wechselrahmen (ebenfalls 1 m² Fläche) eingebaut und mit der Prüfanlage und dem Tropfinfiltrationsmeter auf seine aufnehmbare Regenspende geprüft (s. Tabelle 8: Belag III). Anschließend wurde Sand in den Belag eingeschlämmt und die Prüfung wiederholt, um den möglichen Einfluss des simulierten Einbaufehlers auf das Versickerungsverhalten des Belages zu bestimmen (Fragestellung c).

Darüber hinaus ermöglichten die oben beschriebenen Prüfungen einen Vergleich der Ergebnisse aus den Prüfungen mit der Berechnungsanlage und dem hier verwendeten Tropfinfiltrationsmeter als Basis der Versuchsauswertungen.

Insgesamt wurden bei den drei unterschiedlichen Belägen je fünf Einzelprüfungen vorgenommen. Tabelle 8 gibt einen Überblick zu den Einzelprüfungen, die im nachfolgenden Text detailliert beschrieben werden.

Tabelle 8: Übersicht zu den Laborprüfungen

Belag		Prüfung
I	Haufwerksporiger Stein (Ausbau in Erwitte), Alter: 5 Jahre	1. Prüfanlage: Sickerleistung des Belages nach Einbau mit neuem Fugenmaterial (Prüffläche: 1 m ²) 2. Prüfanlage: Sickerleistung des Belages nach Einbau mit neuem Fugenmaterial (Prüffläche: Bereich des Infiltrationsrings)
II	Haufwerksporiger Stein (Ausbau in Sundern), Alter: 5 Jahre	3. Tropfinfiltrrometer: Infiltrationsrate des Belages mit neuem Fugenmaterial 4. Prüfanlage: Sickerleistung des Belages nach Reinigung 5. Tropfinfiltrrometer: Infiltrationsrate des Belages nach Reinigung
III	Neuer haufwerksporiger Stein	1. Prüfanlage: Sickerleistung des neuwertigen Belages (Prüffläche: 1 m ²) 2. Prüfanlage: Sickerleistung des neuwertigen Belages (Prüffläche: Bereich des Infiltrationsrings) 3. Tropfinfiltrrometer: Infiltrationsrate des neuwertigen Belages 4. Prüfanlage: Sickerleistung des Belages mit simuliertem Einbaufehler 5. Tropfinfiltrrometer: Infiltrationsrate des Belages mit simuliertem Einbaufehler

6.3.2.1 Belag I

Beim Belag I handelt es sich um einen haufwerksporigen Betonstein, der vor rund 5 Jahren auf einem Hofgelände einer Baufirma in einer Zufahrt mit Stellfläche verlegt wurde (s. Abb. 38). Ca. 90 % der rund 500 m² großen Fläche wiesen keine augenscheinlichen Verschmutzungen (s. Abb. 36) und eine Infiltrationsrate über 3.200 l/(s·ha) auf. Dagegen waren Bereiche, die als Zufahrt einer Lagerfläche der Baufirma mit Schottergrund genutzt werden, z.T. deutlich durch eingefahrene Feinpartikel verschmutzt (s. Abb. 37). Im Übergangsbereich zwischen gepflasterter Hoffläche und Schotterplatz, wo sowohl die haufwerksporigen Steine als auch die Fugen vollständig durch Feinpartikel zugesezt waren, lag die Infiltrationsrate bei 0 l/(s·ha).

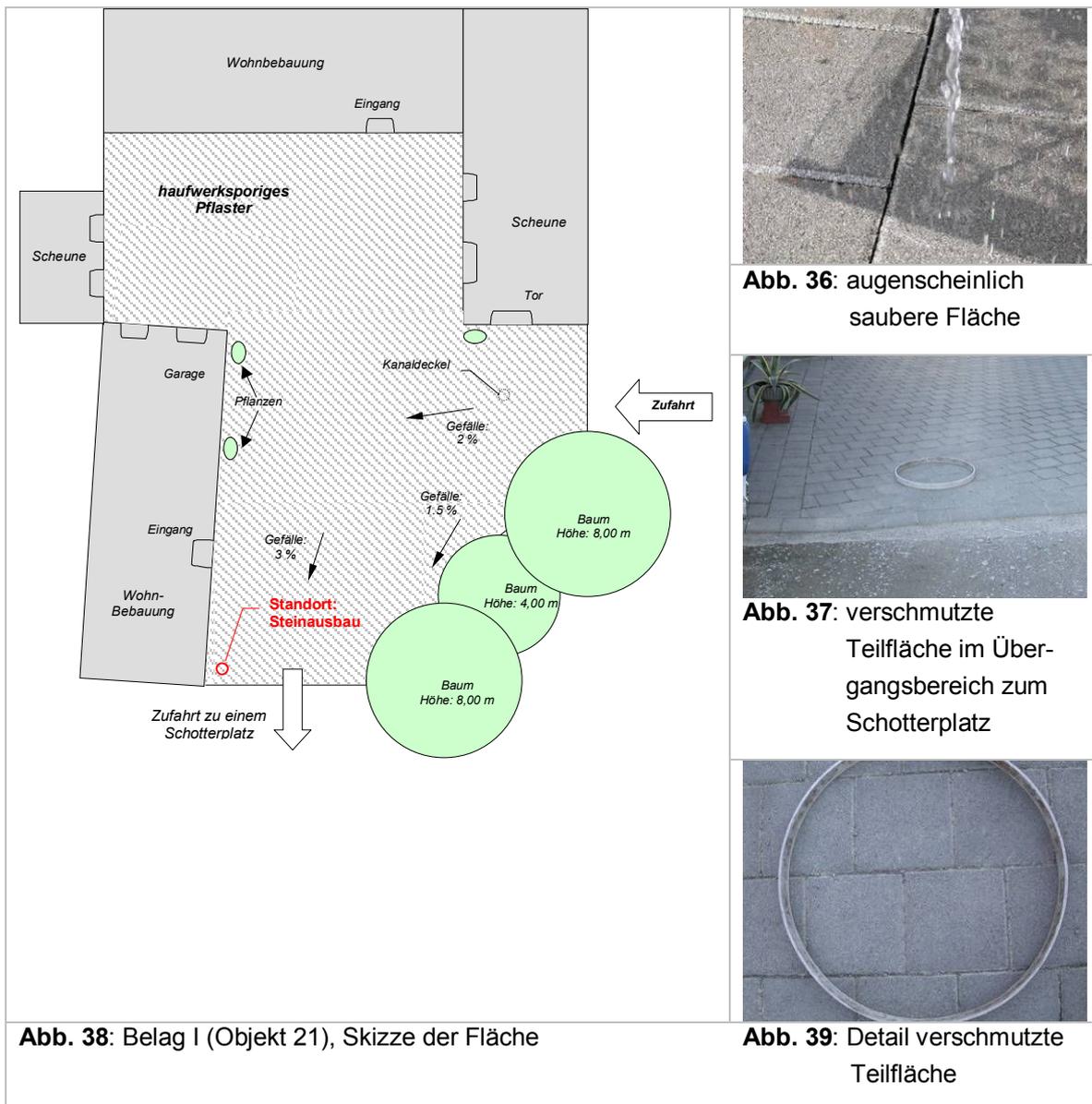


Abb. 38: Belag I (Objekt 21), Skizze der Fläche

Abb. 39: Detail verschmutzte Teilfläche

Aus dem stark verschmutzten, nahezu wasserundurchlässigen Übergangsbereich zum Schotterplatz wurde eine Steinfläche von rund 1 m² entnommen, um diese mit neuen Bettungs- und Fugenmaterialien im Labor zu prüfen. Wie sich beim Ausbau der Steine

zeigte, waren die Fugen vollständig mit Feinpartikeln (Gemisch aus Erde, Staub und lehmartigen Bestandteilen) zugesetzt (s. Abb. 40).



Abb. 40: Ausbau von 1 m² Belag, Schmutzpartikel der Fuge (rechts)

Für den Einbau des Belages (s. Abb. 42 bis Abb. 44) im Labor wurde zunächst Kalksplitt mit der Körnung 2-5 mm als Bettungsmaterial in den Wechselrahmen eingefüllt und anschließend mit einem Brett zu einer 4 cm hohen Schicht abgezogen. Vor dem Einbau der Steine wurden grobe Schmutzablagerungen auf den seitlichen Fugenflächen (s. Abb. 41) entfernt. Anschließend wurden die Steine, entsprechend dem Belag vor Ort, versetzt in den Wechselrahmen eingesetzt, allerdings ohne Gefälle. Die Fugen wurden mit einem Kalksplitt der Körnung 1-3 mm verfüllt. Um den Splitt in den Fugen zu verdichten, wurde der Belag mit Kantholz und Hammer geklopft und anschließend weiterer Splitt eingefegt.



Abb. 41: Ablagerungen in der Fugenfläche



Abb. 42: Einfüllen und Abziehen des Bettungssplitts



Abb. 43: Setzen der Steine



Abb. 44: Einfegen und Verdichten des Fugensplitts

Prüfung 1: Prüfanlage - Sickerleistung des Belages nach Einbau mit neuem Fugenmaterial (Prüffläche: 1m²)

Bei der Prüfung 1 wurde der Belag durchgängig mit steigenden Beregnungsintensitäten von 100 l/(s·ha) bis 700 l/(s·ha) beregnet. Dabei wurde bei jeder Beregnungsstufe die Pfützen- und Abflussbildung des Belages beobachtet sowie die Menge des in der seitlichen Rinne des Wechselrahmens abfließenden Wassers in ml/min (s. Abb. 45) bestimmt. Die Ablaufrinne nimmt zum einen Spritzwasser von den Steinen und zum anderen den möglichen Oberflächenabfluss der 1 m² großen Fläche auf. Jede Beregnungsintensität wurde so lange beibehalten, bis sich ein konstanter Rinnenabfluss einstellte.



Abb. 45: Ablaufrinne (links) und Auffangen des Wassers der Ablaufrinne (rechts)

Prüfung 2: Prüfanlage - Sickerleistung des Belages nach Einbau mit neuem Fugenmaterial (Prüffläche: Bereich des Infiltrationsrings)

Um eine bessere Vergleichsmöglichkeit zu den Prüfungen vor Ort zu schaffen, wurde der Belag zusätzlich mit dem Infiltrationsring unter der Prüfanlage des IKT beregnet (s. Abb. 46). Wie sich bei der Prüfung 1 gezeigt hatte, stellte sich gerade im Mittelbereich der 1 m² großen Prüffläche, in dem auch der Ring für die Infiltrationsring-Messung platziert wurde, ein stärkerer Wasserstau ein. Der Belag wurde, wie auch bei der Prüfung 1, mit steigenden Intensitäten beregnet. Dabei wurde der entstehende Wasserstand innerhalb des Rings aufgenommen. Jede Beregnungsintensität wurde so lange beibehalten, bis sich ein konstanter Wasserstand einstellte, mindestens jedoch 75 min.



Abb. 46: Aufbringen des Rings (links) und Beregnung (rechts)

Prüfung 3: Tropfinfiltrometer - Infiltrationsrate des Belages mit neuem Fugenmaterial



Um weitere Vergleichsmöglichkeiten zur Prüfung vor Ort zu schaffen und darüber hinaus einen Vergleich zwischen der Prüfanlage und dem Tropfinfiltrometer zu ermöglichen, wurde das Tropfinfiltrometer über dem waagrecht ausgerichteten Wechselrahmen platziert (s. Abb. 47) und der Belag entsprechend der In-situ-Untersuchungen (vgl. Kap. 6.2) geprüft.

Abb. 47: Tropfinfiltrometer-Einsatz im Rahmen der Laborprüfungen

Prüfung 4: Prüfanlage - Sickerleistung des Belages nach Reinigung

Der Belag wurde mit einem handelsüblichen Reinigungsgerät, das auch z.T. von den Grundstückseigentümern als verwendetes System genannt wurde, gesäubert. Reinigungsprinzip bei diesem System ist ein Aufsatz mit rotierenden Spüldüsen, der mit einem herkömmlichen Hochdruckreinigungsgerät kombiniert wird (vgl. auch Kapitel 3.4.3). Durch eine rund 3-minütige Anwendung des Gerätes und eine zusätzliche Reinigung mit der Hochdruckpistole konnten die Steinoberflächen sichtbar gesäubert werden.



Abb. 48: Reinigung des Belages mittels Bürstenaufsatz und Wasserhochdruck

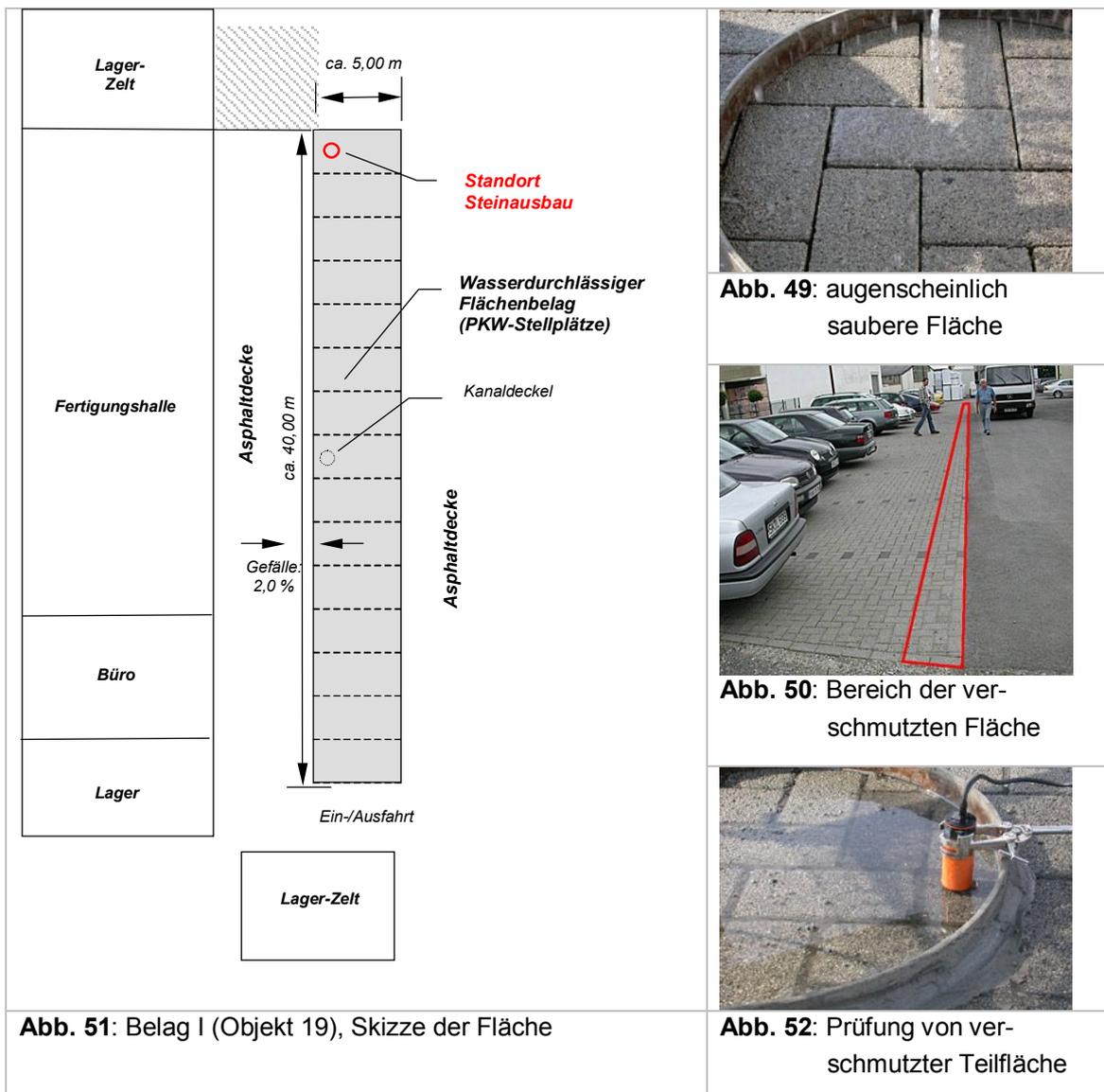
Nach der Reinigung wurde der Belag erneut mit variablen Beregnungsstärken beregnet. Da der Reinigungsaufsatz nicht in den Randbereichen der Fläche angewendet werden konnte, wurde auch bei dieser Prüfung der Infiltrationsring mittig auf die Fläche aufgebracht und die sich im Ring bildenden Wasserstände dokumentiert. Der Versuchsablauf entspricht der Prüfung 2.

Prüfung 5: Tropfinfiltrometer - Infiltrationsrate des Belages nach Reinigung

Entsprechend der Prüfung 3 wurde die Infiltrationsleistung des gereinigten Belages mit dem Tropfinfiltrometer bestimmt.

6.3.2.2 Belag II

Der Belag II, ein haufwerksporiger Betonstein, wurde vor rund 5 Jahren zur Befestigung von 15 PKW-Stellplätzen (ca. 280 m²) eingesetzt. Die Stellplätze grenzen beidseitig an asphaltierte Flächen und wurden mit einem Gefälle von ca. 2 % Richtung Gebäude verlegt (s. Abb. 51). Der zwischen Gebäude und Parkplatz liegende asphaltierte Bereich entwässert mit entgegen gesetztem Gefälle in Richtung des Parkplatzes. In dem Grenzbereich zwischen Parkplatz und Asphaltfläche, wo sich das Regenwasser beider Flächen sammeln kann (s. Abb. 50), waren auf einem Streifen von ca. 50 cm Breite sowohl die Steine als auch die Fugen mit Feinpartikeln zugesetzt. Der restliche Bereich der Fläche, rund 90 %, wies augenscheinlich keine Verschmutzungen auf. Darüber hinaus waren in den sauberen Bereichen die Fugen nicht verfüllt. Prüfungen mit dem Tropfinfiltrrometer vor Ort ergaben Infiltrationsraten von $i_{10} = 60 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ bzw. $i_{60} = 40 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ im verschmutzten Bereich und $i_{10} > 2.800 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ im augenscheinlich sauberen Bereich.



Der Ausbau einer Teilfläche von 1 m² für die nachfolgenden Laborprüfungen fand im stark verschmutzten Randbereich der Stellplätze statt (vgl. Abb. 50, Abb. 53 bis Abb. 56). Entsprechend dem Belag I wurde auch dieser haufwerksporige Stein mit neuen Bettungs- und Fugensplitten in den Wechselrahmen der Prüfanlage eingebaut (s. Abb. 57), wobei Schmutzpartikel (Erde, z.T. Moos) auf den Fugenflächen der Steine (s. Abb. 54) entfernt wurden.



Abb. 53: Ausgetragenes Fugenmaterial



Abb. 54: z.T. verschmutzte Fugenfläche



Abb. 55: Ausbau der Steine



Abb. 56: Unterschiedliche Färbung des alten und neuen Pflasters



Abb. 57: Eingebauter Belag im Wechselrahmen

Entsprechend dem Belag I wurden auch am Belag II insgesamt fünf Prüfungen mit der Prüfanlage und dem Tropfinfiltrimeter durchgeführt (s. Kapitel 6.3.2.1).

6.3.2.3 Belag III

Am dritten Prüfbelag wurde der Einbaufehler nachgestellt, der bei den In-situ-Untersuchungen der Objekte 16 und 17 aufgetreten war. Statt eines Feinsplitts (z.B. 1-3 mm) waren die Fugen dieser Beläge mit Sand verfüllt worden. In der Folge waren die Körner des Sandes in die Poren des Betonsteins eingetragen worden, was zu einer Minderung der Wasserdurchlässigkeit führen kann. Bei einem der Beläge, der nach Angaben des Eigentümers einmal pro Jahr mittels Wasserhochdruck gereinigt wird, wies der Stein selbst keine augenscheinliche Verschmutzung auf, jedoch waren die Fugen zugesetzt. Die Infiltrationsrate lag bei diesem Belag (Alter: 7 Jahre) bei $i_{10} = 470 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ und $i_E = 440 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Der zweite Belag, mit einem Alter von 4,5 Jahren, wies auf augenscheinlich sauberen Flächen Infiltrationsraten von nur $i_{10} = 210 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ und $i_E = 170 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ auf.

Zur Simulation des Einbaufehlers wurde in einen haufwerksporigen Betonstein mit einem zweischichtigen Aufbau aus Kern und Vorsatz (s. Abb. 58) Sand eingeschlämmt. In insgesamt fünf Prüfungen, im Folgenden erläutert, wurde das Versickerungsverhalten des sauberen und des verschmutzten Belages getestet.



Abb. 58: Ansicht und Aufbau des haufwerksporigen Steins

Abb. 59: Belag III eingebaut

Prüfung 1: Prüfanlage - Sickerleistung des neuwertigen Belages

(Prüffläche: 1 m^2)

Im Rahmen der Prüfung I wurde der saubere Belag mit Hilfe der Prüfanlage mit Beregnungsintensitäten von 100 bis $1.000 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ beregnet und dabei die Oberflächenabfluss- oder Pfützenbildung beobachtet (s. auch Belag I, Prüfung 1).

Prüfung 2: Prüfanlage - Sickerleistung des neuwertigen Belages

(Prüffläche: Bereich des Infiltrationsrings)

Entsprechend den Ausführungen zum Belag I (Prüfung 2) wurde der saubere Belag zusätzlich mit dem aufgebrachtten Infiltrationsring unter der Prüfanlage des IKT beregnet.

Prüfung 3: Tropfinfiltrometer – Infiltrationsrate des neuwertigen Belages

Bei der Prüfung 3 wurde die Infiltrationsrate des sauberen Belages mittels Tropfinfiltrometer ermittelt (s. auch Belag I, Prüfung 3).

Prüfung 4: Prüfanlage - Sickerleistung des Belages mit simuliertem Einbaufehler

Vor den weiteren Prüfungen wurde ca. 250 g Sand in den Belag im Bereich des Infiltrationsrings eingefegt (s. Abb. 60). Anschließend wurde der Belag mit variablen Beregnungsintensitäten zwischen 100 l/(s•ha) und 400 l/(s•ha) mit der Prüfanlage beregnet. Dabei wurde der entstehende Wasserstand innerhalb des Rings ermittelt.



Abb. 60: Einfegen von Sand

Prüfung 5: Tropfinfiltrometer - Infiltrationsrate des Belages mit simuliertem Einbaufehler

Im Rahmen der Prüfung 5 wurde die Infiltrationsrate des mit Sand verschmutzten Belages mit dem Tropfinfiltrometer ermittelt.

7 Ergebnisse

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der In-situ-Untersuchungen mit dem Tropfinfiltrimeter erläutert und nachfolgend die Ergebnisse der Laboruntersuchungen mit der Anlage des IKT dargestellt.

7.1 In-situ-Untersuchungen

Während der Versickerungsversuche wurden in einminütigen Intervallen folgende Daten aufgezeichnet:

- die Versuchszeit in Minuten,
- die von der Pumpe 1 geförderte aufsummierte Wassermenge in Litern,
- die von der Pumpe 2 geförderte aufsummierte Wassermenge in Litern und
- die aus den vorherigen Daten berechnete mittlere Infiltrationsrate in $l/(s \cdot ha)$.

Die mittleren Infiltrationsraten wurden anschließend in Abhängigkeit der Versuchszeit in ein Diagramm übertragen, um den zeitlichen Verlauf der Infiltrationsrate bzw. der aufnehmbaren Regenspende des geprüften Belages in $l/(s \cdot ha)$ darzustellen.

Bei der graphischen Darstellung der Ergebnisse der In-situ-Tests ergaben sich i.d.R. zwei typische Verläufe der Kurven. Abb. 61 zeigt eine charakteristische Kurve der Infiltrationsrate eines wasserdurchlässigen Belages, dessen mittlere Infiltrationsrate zu Beginn des Versuches hoch liegt und dann mit fortschreitender Prüfzeit immer weiter abnimmt, bis sie schließlich nahezu konstant verläuft (Endinfiltrationsrate i_E). Zu Beginn der Prüfung verfügt der noch trockene Belag über eine hohe Wasseraufnahmefähigkeit, die mit zunehmender Wassersättigung des Belages und des Untergrundes abnimmt.

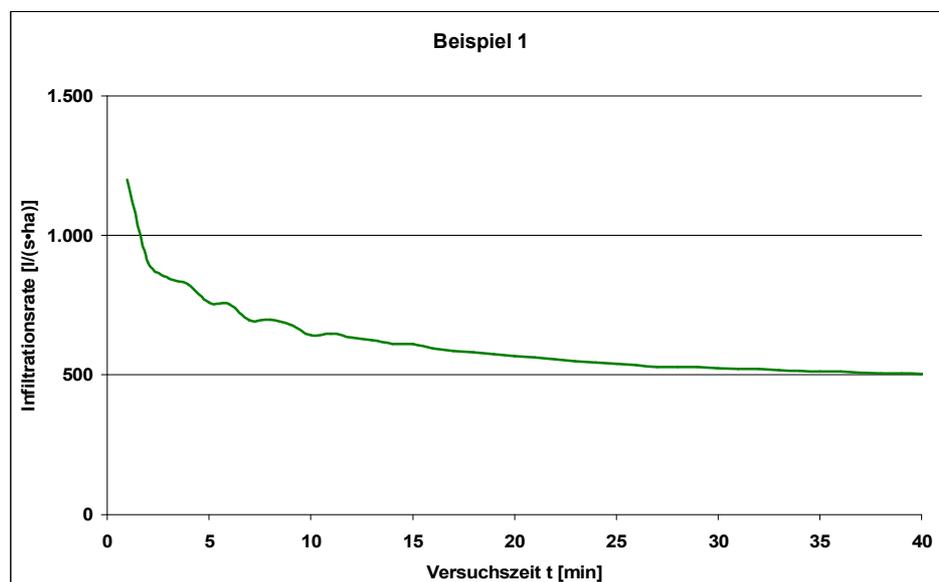


Abb. 61: Beispiel 1 zum typischen Verlauf einer Infiltrationsrate eines wasserdurchlässigen Belages

Bei stark wasserdurchlässigen Belägen, deren aufnehmbare Regenspende über der maximalen Beregnungsintensität des Gerätes liegt, ist es nicht möglich, einen Wasserfilm auf die Prüffläche aufzubringen. Bei der Prüfung wird daher eine nahezu konstante Infiltrationsrate aufgezeichnet, die nicht die tatsächliche Infiltrationsrate des Belages, sondern die Leistungsgrenze des Gerätes darstellt. Die maximal aufnehmbare Regenspende der Beläge liegt in diesen Fällen über der aufgezeichneten Infiltrationsrate. Die maximale Beregnungsintensität des verwendeten Tropfinfiltrimeters lag zu Beginn der Untersuchungen (Objekte 1 bis 8) bei ca. 1.500 l/(s·ha). Anschließend konnte die Leistungsgrenze durch den Austausch einer Pumpe auf ca. 3.000 l/(s·ha) erhöht werden.

Bei der graphischen Darstellung ergibt sich eine nahezu konstante Linie (vgl. Abb. 62). Schwankungen bzw. Steigungen oder Gefälle in der Kurve können durch unstetiges Pumpen oder eine abnehmende Akku-Leistung des Gerätes entstehen. Die Leistungsgrenze des Gerätes wird durch Faktoren wie z.B. Akkuleistung und Wasserstand im Wasservorratsbehälter beeinflusst und variiert daher von Versuch zu Versuch.

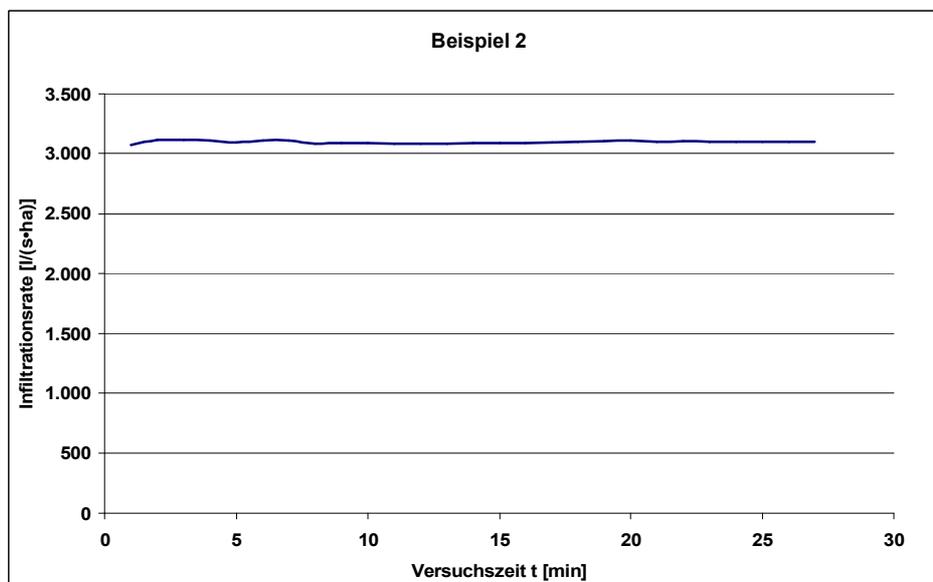


Abb. 62: Beispiel 2 zum typischen Verlauf einer Infiltrationsrate eines wasserdurchlässigen Belages

Im Folgenden werden die Ergebnisse der insgesamt 49 Versickerungsversuche der In-situ-Untersuchungen, gegliedert nach den drei Prüfreihe (vgl. 6.2), dargestellt.

7.1.1 Prüfreihe 1: Sickerleistung drei unterschiedlicher Steinarten mit verschiedenen Randbedingungen

Innerhalb der ersten Prüfreihe fanden 39 Prüfungen der Sickerleistung unterschiedlicher Steinarten mit verschiedenen Randbedingungen statt. Berücksichtigt wurden dabei vor allem Beläge mit unterschiedlichen Verschmutzungsgraden, meist bedingt durch die Nutzungsart und die Vegetationen im Bereich der Beläge. Im Folgenden sind die Ergebnisse der Infiltrometer-Prüfungen getrennt nach Steinarten aufgeführt.

7.1.1.1 Rasengittersteine (Steinsystem R)

Da Prüfungen an Rasengittersteinen im Rahmen der Prüfungen an drei Objekten (s. Abb. 63 und Abb. 64) stets Infiltrationsraten über der Leistungsgrenze des Gerätes lieferten und selbst beim Ausleeren des Wasservorratsbehälters mit ca. 50 Liter (vgl. Abb. 16) das Wasser unmittelbar versickerte, wurden keine weiteren Prüfungen an Rasengittersteinen durchgeführt. Die tatsächlichen Infiltrationsraten dieser Beläge (Alter jeweils sechs Jahre) liegen oberhalb der ermittelten Werte der Tabelle 9, dementsprechend auch deutlich über der geforderten Mindestsickerleistung von 270 l/(s•ha).

Tabelle 9: Infiltrationsraten der geprüften Rasengittersteine

Objekt-Nr.	Fugenverfüllung	Einbau	Nutzung	Verschmutzung	Wetter vor Versuch	Reinigung	I_{10} l/(s•ha)	I_{20} l/(s•ha)	I_E l/(s•ha)
2	Splitt	Eigenleistung	Einfahrt, Hof	Tannennadeln	trocken	Entfernen der Tannennadeln	>1.500	>1.500	>1.500
5	Splitt	Fachfirma	Stellplätze	keine	trocken	keine	>1.400	>1.400	>1.400
12	Splitt	Fachfirma	Stellplätze	keine	trocken	keine	>2.800	>2.800	>2.800

I_{10} Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s•ha), I_{20} Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s•ha), I_E End-Infiltrationsrate in l/(s•ha)



Abb. 63: Untersuchte Fläche am Objekt 2



Abb. 64: Untersuchte Fläche am Objekt 12

7.1.1.2 Haufwerksporige Betonsteine (Steinsystem H)

Da haufwerksporige Betonsteine zum einen mit einem einschichtigen groben Aufbau bzw. zweischichtigem Aufbau mit grober Vorsatzschicht und zum anderen mit zweischichtigem Aufbau mit feiner Vorsatzschicht erhältlich sind, werden diese zwei Steinarten in den folgenden Ausführungen getrennt betrachtet.

Einschichtiger grober Aufbau bzw. zweischichtiger Aufbau mit grober Vorsatzschicht (Steinsystem H g)

Im Rahmen der Prüfreihe 1 wurden insgesamt vier verschiedene haufwerksporige Steintypen mit grobem Aufbau an vier Objekten geprüft. Bei allen Objekten wies die Fläche unterschiedliche Verschmutzungsgrade auf, sodass jeweils ein verschmutzter und ein augenscheinlich sauberer Prüfbereich ausgewählt werden konnte. Bei allen Prüfbereichen lagen die Infiltrationsraten nach 10 Minuten I_{10} über der Bemessungsgrenze von 270 l/(s•ha) (vgl. Tabelle 10). Allerdings lagen die Infiltrationsraten der sauberen Prüfbereiche bei den Objekten 5, 7 und 10 über denen der verschmutzten Bereiche. Beim Objekt 10 wies der saubere Prüfbereich mehr als das 2,5-fache der Infiltrationsrate des verschmutzten Bereiches auf. Wie Abb. 65 verdeutlicht, liegt die Infiltrationsrate des sauberen Prüfbereiches bei Objekt 7 mindestens 10 % oberhalb des verschmutzten Bereiches (Leistungsgrenze des Gerätes hier ca. 1.500 l/(s•ha)), bei Objekt 15 mindestens 14 % (Leistungsgrenze des Gerätes hier ca. 2.900 l/(s•ha)). Da bei beiden Prüfungen am Objekt 5 die Leistungsgrenze des Gerätes erreicht wurde, kann bezüglich des unterschiedlichen Sickerungsverhaltens abhängig von der Verschmutzung keine Aussage getroffen werden.

Tabelle 10: Infiltrationsraten der geprüften haufwerksporigen Steine mit grobem Aufbau

Steintyp	Objekt-Nr.	Fugenverfüllung	Einbau	Nutzung	Alter [a]	Ver- schmut- zung	Wetter vor Ver- such	Rei- ni- gung [1/a]	I ₁₀ l/(s•ha)	I ₂₀ l/(s•ha)	I _E l/(s•ha)
H g 2	7	keine	Fach-Firma	Hoffläche	6	keine	trocken	1	>1.500	>1.500	>1.500
H g 2	7	keine	Fach-Firma	Hoffläche	6	leicht vermoost	trocken	1	1.360	1.170	1.000
H g 3	10	keine	Eigen-leistung	Stellplätze	6	keine	trocken	**	>3.400*	>3.300*	>3.300*
H g 3	10	keine	Eigen-leistung	Stellplätze	6	Steine & Fugen	trocken	**	1.360	1.200	1.000
H g 4	15	keine	Eigen-leistung	Garagen-einfahrt, Terrasse	5	keine	trocken	keine	>2.900	>2.900	>2.900
H g 4	15	keine	Eigen-leistung	Garagen-einfahrt, Terrasse	5	Steine & Fugen vermoost	trocken	keine	2.550	2.500	2.450
H g 5	5	keine	Fach-Firma	Hoffläche, Stellplätze	6	keine	trocken	keine	>1.590*	>1.530*	>1.400*
H g 5	5	keine	Fach-Firma	Hoffläche, Stellplätze	6	Fugen vermoost	trocken	keine	>1.440*	>1.470*	>1.400*

I₁₀ Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s•ha), I₂₀ Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s•ha),
I_E End-Infiltrationsrate in l/(s•ha)

* Schwankung der Leistungsgrenze (gerätebedingt), ** Entfernung von Unkraut und Moos

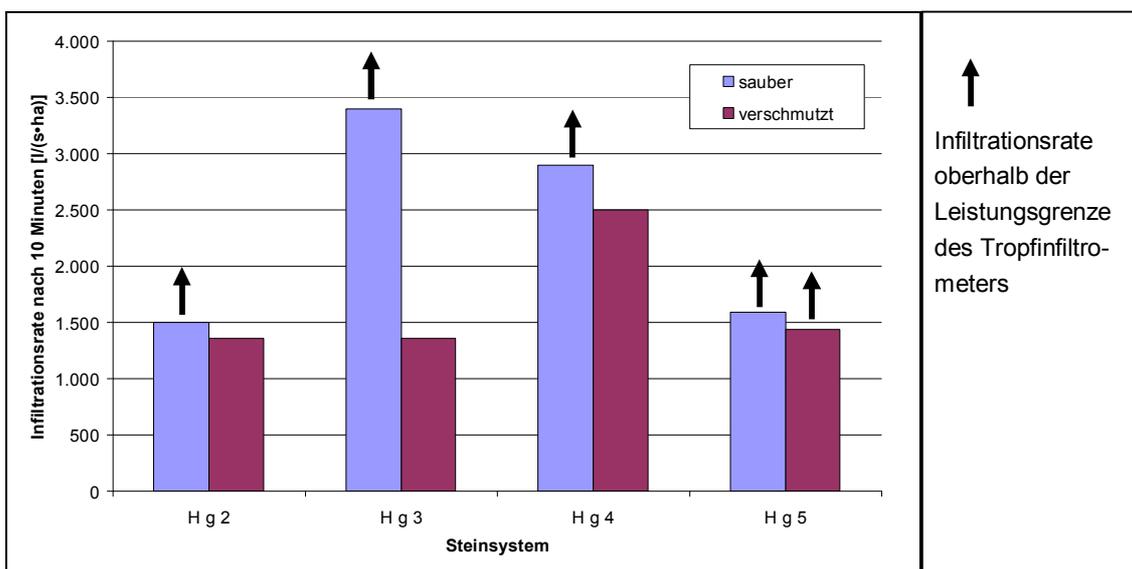


Abb. 65: Infiltrationsrate I₁₀ sauberer und verschmutzter Flächen haufwerksporiger Steine mit grobem Aufbau



Abb. 66: vermooste Fläche am Objekt 15



Abb. 70: saubere Fläche am Objekt Nr. 15



Abb. 67: verschmutzte Fläche am Objekt 10



Abb. 71: saubere Fläche am Objekt 10



Abb. 68: vermooste Fläche am Objekt 5



Abb. 72: saubere Fläche am Objekt 5



Abb. 69: vermooste Fläche am Objekt 7



Abb. 73: herausgenommener Stein am Obj. 7

Zweischichtiger Aufbau mit feiner Vorsatzschicht (Steinsystem H f)

Von haufwerksporigen Steinen mit feiner Vorsatzschicht wurden während der ersten Prüfreihe insgesamt fünf verschiedene Steintypen an acht Objekten geprüft. Bei vier der acht Objekte lagen die Infiltrationsraten i_{10} der verschmutzten Bereiche unterhalb von 270 l/(s•ha) (s. Tabelle 11: Objekte 3, 17, 19 und 21). Trotzdem sind in der Gesamtbetrachtung sämtliche Flächen, ausgenommen Objekt 3 und 17, als ausreichend versickerungsfähig zu bewerten, da die verschmutzten Bereiche nur bis ca. 10 % der Gesamtflächen ausmachten.

Bei Objekt 19 wies der an eine asphaltierte Fläche angrenzende Bereich eines wasserdurchlässig gestalteten Parkplatzes starke Verschmutzungen durch eingetragene feine Schmutzpartikel auf. Offensichtlich führten folgende Randbedingungen zu der Verschmutzung: Zum einen grenzt die Fläche an einen mit Pkw befahrenden Schotterplatz und zum anderen befindet sich die verschmutzte Fläche in einem abgesenkten Bereich, sodass vermehrt Feinpartikel in diesen Bereich eingeschlämmt bzw. eingefahren werden (s. Abb. 79). Hier lag die Versickerungsrate bei $i_{10} = 60$ l/(s•ha), während der unverschmutzte Bereich eine Infiltrationsrate von $i_{10} > 2.800$ l/(s•ha) aufwies.

Der verschmutzte Bereich des Objekts 21 lag ebenfalls in einem an eine Schotterfläche angrenzenden Bereich (vgl. Abb. 76). Die Schotterfläche dient als Lagerplatz einer Baufirma, sodass Feinpartikel der Schotterfläche durch Fahrzeuge in den Bereich eingetragen wurden. Darüber hinaus waren Fahrspuren in dem Bereich ersichtlich. In diesem Bereich fand keine Versickerung statt. In einem weniger verschmutzten Bereich, bei dem Fugen und Steine nur leicht zugesetzt waren, lag i_{10} bei 1.200 l/(s•ha) und in einem augenscheinlich sauberen Bereich bei > 3.200 l/(s•ha).

Beim Objekt 3 ist eine ausreichende Sickerleistung des Belages fragwürdig. Bei etwa der Hälfte der Fläche, die in einem Schattenbereich zwischen Garage und Hauswand lag, waren Fugen und Steine deutlich durch Schmutzpartikel und Moos zugesetzt (vgl. Abb. 75). Die Infiltrationsrate i_{10} betrug nur 90 l/(s•ha). Im sauberen Bereich lag i_{10} bei 1.500 l/(s•ha).

Sowohl bei Objekt 16 (vgl. Abb. 80) als auch bei Objekt 17 konnte ein nicht fachgerechter Einbau festgestellt werden. Hier wurde als Fugenverfüllung Sand verwendet, der zu einem Zusetzen der Porenräume des Steines führen kann. Die Infiltrationsraten nach 10 Minuten lagen beim Objekt 17 mit 210 l/(s•ha) bei einer augenscheinlich sauberen bzw. mit 120 l/(s•ha) bei einer stark verschmutzten Fläche unter dem geforderten Wert von 270 l/(s•ha). Bei Objekt 16 jedoch lag die Infiltrationsrate i_{10} mit 470 l/(s•ha) noch über dem geforderten Wert von 270 l/(s•ha) (vgl. Abb. 80).

Insgesamt gilt für sämtliche Objekte der Tabelle 11, dass augenscheinlich saubere Flächen eine höhere Wasserdurchlässigkeit (meist sehr deutlich) als verunreinigte Flächen aufwiesen.

Tabelle 11: Infiltrationsraten der geprüften haufwerksporigen Steine mit feiner Vorsatzschicht

Steintyp	Objekt-Nr.	Fugenverfüllung	Einbau	Nutzung	Alter [a]	Ver- schmut- zung	Wetter vor Versuch	Rei- ni- gung [1/a]	I ₁₀ l/(s•ha)	I ₂₀ l/(s•ha)	I _E l/(s•ha)
H f 1	3	keine	Eigenleistung	Garagen-Hof, Stellplätze	4,5	keine	Regen	keine	>1.500	>1.500	>1.500
H f 1	3	keine	Eigenleistung	Garagen-Hof, Stellplätze	4,5	Steine & Fugen vermoost	Regen	keine	90	70	60
H f 1	19	keine	Fachfirma	Stellplätze	5	Steine & Fugen zugesetzt	trocken	keine	60	50	40
H f 1	19	keine	Fachfirma	Stellplätze	5	keine	trocken	keine	>2.800	>2.800	>2.800
H f 1	13	Splitt	Eigenleistung	Garagen-Zufahrt, Stellplätze	6	Steine & Fugen gering	trocken	1	1.370	1.240	750
H f 1	16	Sand *	Eigenleistung	Einfahrt, Eingangsbereich	7	Fugen zugesetzt	trocken	1	470	460	440
H f 2	12	keine	Fach-Firma	Zufahrt, Stellplätze	6	keine	trocken	keine	>3.000	>3.000	>3.000
H f 2	12	keine	Fach-Firma	Zufahrt, Stellplätze	6	Fugen vermoost	trocken	keine	1.340	1.260	1.100
H f 3	17	Sand *	Fach-Firma	Garagenhof	4,5	keine	trocken	keine	210	200	170
H f 3	17	Sand *	Fach-Firma	Garagenhof	4,5	Steine & Fugen	trocken	keine	120	120	100
H f 4	21	Splitt	Fach-Firma	Hofffläche	5	keine	Regen	keine	>3.200	>3.200	>3.200
H f 4	21	Splitt	Fach-Firma	Hofffläche	5	Steine & Fugen gering	Regen	keine	1.200	1.100	900
H f 4	21	Splitt	Fach-Firma	Hofffläche	5	Steine & Fugen zugesetzt	Regen	keine	0	0	0
H f 5	23	Splitt	Eigenleistung	Stellplätze, Terrasse	5	keine	trocken	keine	1.140	840	480
H f 5	23	Splitt	Eigenleistung	Stellplätze, Terrasse	5	Steine & Fugen	trocken	keine	690	600	400

I₁₀ Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s•ha), I₂₀ Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s•ha),

I_E End-Infiltrationsrate in l/(s•ha)

* nicht fachgerechter Einbau

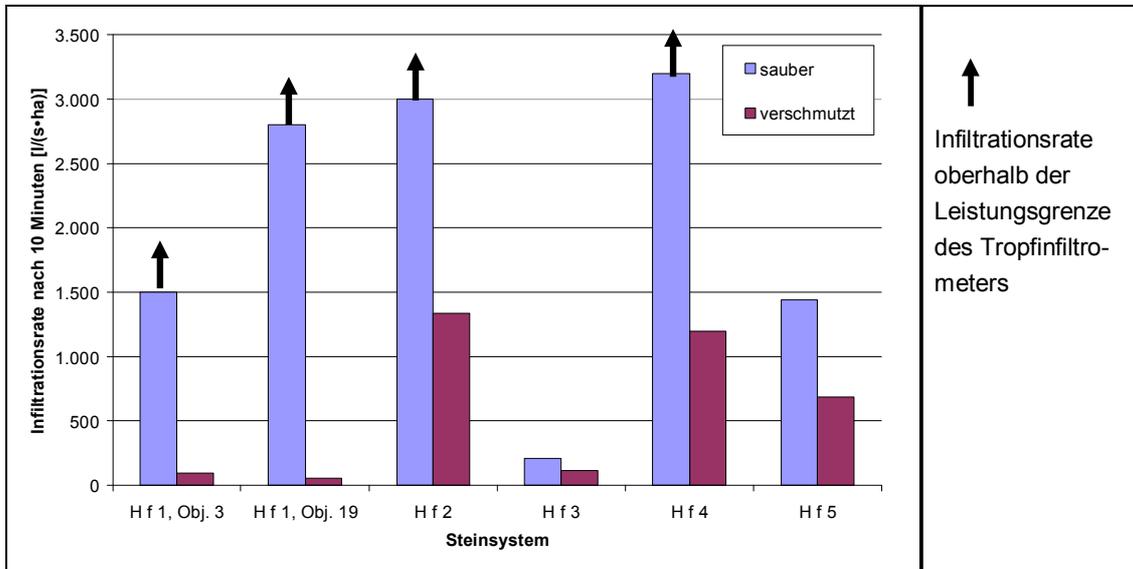


Abb. 74: Infiltrationsrate I_{10} sauberer und verschmutzter Flächen haufwerksporiger Steine mit feiner Vorsatzschicht



Abb. 75: stark vermooste Fläche am Objekt 3



Abb. 77: saubere Fläche am Objekt 3



Abb. 76: zugeseetzte Fläche am Objekt 21



Abb. 78: saubere Fläche am Objekt 21



Abb. 79: Objekt 19: zugesetzter Bereich (li.), Eingeschlammtes (Mitte), sauberer Bereich (re.)



Abb. 80: Objekt 16: Prüf-Fläche (li.), Versickerungsversuch (Mitte), heraus gespülter Sand (re.)

7.1.1.3 Sickerfugensteine (Steinsystem S)

Im Rahmen der ersten Prüfreihe wurden insgesamt fünf verschiedene Steintypen an neun Objekten geprüft (vgl. Abb. 82 bis Abb. 85). Bei sieben der neun untersuchten Objekte lagen die Infiltrationsraten der Prüf-Bereiche, sowohl der verschmutzten als auch der augenscheinlich saubereren, meist deutlich über dem Grenzwert von 270 l/(s•ha) (vgl. Tabelle 12). Hier lagen die Infiltrationsraten verschmutzter Bereiche unter denen augenscheinlich sauberer Bereiche eines Objektes.

Beim Objekt 22 dagegen wies ein augenscheinlich sauberer Bereich, der allerdings in einer Fahrspur (leichte Absenkung) lag, mit $i_{10} = 100$ l/(s•ha) eine niedrigere Wasserdurchlässigkeit als der verschmutzte Bereich mit $i_{10} = 1.200$ l/(s•ha) auf. Ebenfalls lag beim Objekt 18 (Parkplätze, die zu Versuchszwecken mit unterschiedlichen Belagsarten versehen wurden [38]) die Wasserdurchlässigkeit einer Fahrspur mit $i_{10} = 140$ l/(s•ha) unter der eines nicht abgesenkten Bereiches mit $i_{10} = 460$ l/(s•ha).

Beim Steintyp „S 5“ handelt es sich um einen Sonderfall: Diese Entsiegelungsmaßnahme wurde durch in größerem Abstand angeordnete Steine aus Kopfsteinpflaster mit Splitt als Fugenfüllmaterial realisiert. Es konnten Versickerungsleistungen nach 10 Minuten von 1.430 l/(s•ha) bei einer saubereren Fläche und 640 l/(s•ha) bei einer stark vermoosten Fläche ermittelt werden (vgl. Abb. 85).

Tabelle 12: Infiltrationsraten der geprüften Sickerfugensteine

Stein- typ	Ob- jekt- Nr.	Fugen- ver- füllung	Einbau	Nutzung	Al- ter [a]	Ver- schmut- zung	Wet- ter vor Ver- such	Rei- ni- gung [1/a]	I_{10} l/(s•ha)	I_{20} l/(s•ha)	I_E l/(s•ha)
S 1	4	Splitt	Fach- Firma	Garagen- Hof, Stellplätze	5	keine	tro- cken	1-2	740	680	650
S 1	8	Splitt	Eigen- leistung	Einfahrt, Hof	5	Fugen zugesetzt	tro- cken	eine, 2003	930	680	440
S 1	9	keine	Fach- Firma	Garagen- zufahrt, Stellplätze	5	Keine	tro- cken	keine	>3.100	>3.100	>3.100
S 1	22	Splitt	Eigen- leistung	Hoffläche, Stellplätze	5	keine (Fahrspur)	tro- cken	keine	100	90	70
S 1	22	Splitt	Eigen- leistung	Hoffläche, Stellplätze	5	Fugen vermoost	tro- cken	keine	1.200	740	500
S 1	18	Splitt	Fach- firma	Stellplatz (Boxmitte)	10	Fugen vermoost	tro- cken	keine	460	400	300
S 1	18	Splitt	Fach- firma	Stellplatz (Fahrspur)	10	Fugen vermoost	tro- cken	keine	140	170	150
S 2	1	Splitt	Fach- Firma	Garagen- Hof, Stellplätze	6	Keine	tro- cken	keine	>3.000	>3.000	>3.000
S 2	1	Splitt	Fach- firma	Garagen- Hof, Stellplätze	6	Fugen vermoost	tro- cken	keine	950	1.000	1.000
S 3	14	Splitt	Fach- firma	Stellplätze	6	Fugen vermoost	tro- cken	keine	2.280	2.320	2.300
S 4	20	Splitt	Fach- Firma	Hoffläche, Stellplätze	4	Keine	tro- cken	keine	>2.500	>2.500	>2.500
S 4	20	Splitt	Fach- firma	Hoffläche, Stellplätze	4	Fugen, gering	tro- cken	keine	1.330	1.350	950
S 5	11	Splitt	Eigen- leistung	Garagen- Hof, Stellplätze	6	keine	tro- cken	keine	1.430	1.380	1.300
S 5	11	Splitt	Eigen- leistung	Garagen- Hof, Stellplätze	6	Fugen, stark vermoost	tro- cken	keine	640	570	500

I_{10} Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s•ha), I_{20} Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s•ha),
 I_E End-Infiltrationsrate in l/(s•ha)

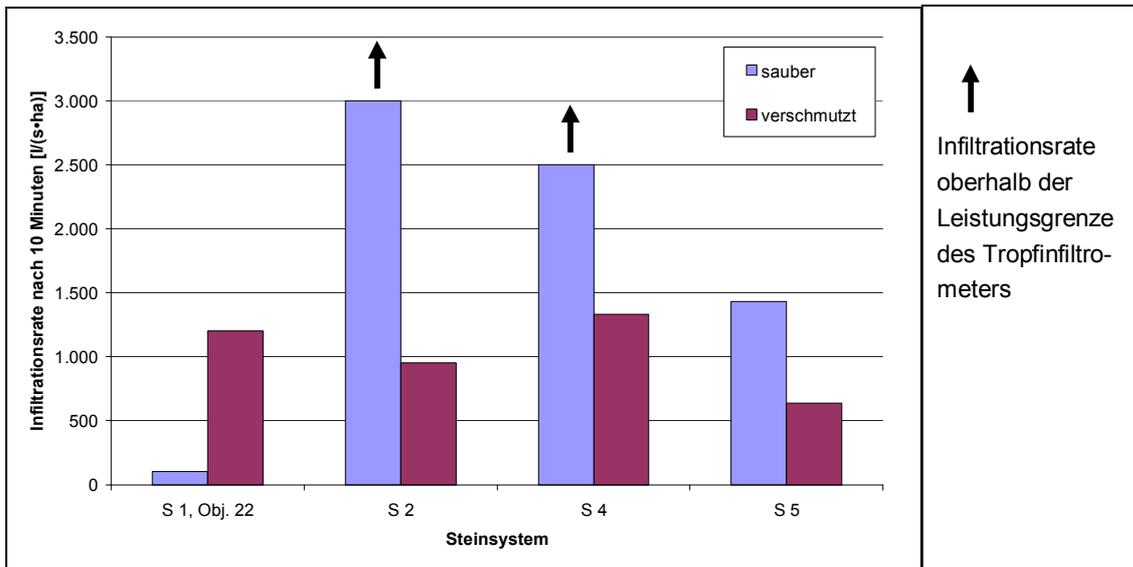


Abb. 81: Infiltrationsrate I_{10} sauberer und verschmutzter Flächen von Sickerfugensteinen



Abb. 82: Objekt 1: sauberer Bereiche (li., Mitte), stark vermooste Fugen (re.)



Abb. 83: Sickeröffnungen Obj. 20

Abb. 84: Untersuchte Fläche am Objekt 9



Abb. 85: Objekt 11: Kopfsteinpflaster (li.), sauberer Bereich (Mitte), vermooster Bereich (re.)

7.1.2 Prüfreihe 2: Sickerleistung abhängig von der Nässung des Belages

Im Rahmen der zweiten Prüfreihe wurden zwei unterschiedliche Beläge jeweils nach mehreren trockenen Tagen und nach mehreren Regentagen auf ihre Infiltrationsrate geprüft (s. Abb. 87 bis Abb. 90), um einen möglichen Einfluss des Wassergehalts des Belages auf das Prüfergebnis zu ermitteln. Die Prüfungen fanden an exakt den gleichen Stellen statt. Wie Tabelle 13 und Abb. 86 entnommen werden kann, lagen sowohl bei dem geprüften haufwerksporigen Stein als auch beim Sickerfugenstein die Infiltrationsraten des genässten Belages mit $i_{10} = 210$ bzw. $260 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ weit unter den Infiltrationsraten des vor Prüfung trockenen Belages mit $i_{10} = 1.030$ bzw. $1.200 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Somit betragen die Sickerleistungen der genässten Beläge nur 20 % bzw. 22 % der Sickerleistung der trockenen Beläge. Demnach scheint der Wassergehalt der Prüffläche einen starken Einfluss auf die Infiltrationsleistung eines Belages haben zu können.

Tabelle 13: Infiltrationsraten der geprüften Flächen abhängig von der Nässung des Belages

Steintyp	Objekt-Nr.	Fugenverfüllung	Einbau	Nutzung	Alter [a]	Ver-schmut-zung	Belag genässt	Rei-ni-gung	I_{10} l/(s·ha)	I_{20} l/(s·ha)	I_E l/(s·ha)
H g 1	6	Splitt	Fach-Firma	Schulhof	5	Steine & Fugen	nein	keine	1.030	930	600
H g 1	6	Splitt	Fach-Firma	Schulhof	5	Steine & Fugen	ja	keine	210	200	160
S 1	22	Splitt	Eigen-leistung	Hofffläche, Stellplätze	5	Fugen vermoost	nein	keine	1.200	740	500
S 1	22	Splitt	Eigen-leistung	Hofffläche, Stellplätze	5	Fugen vermoost	ja	keine	260	280	280

I_{10} Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s·ha), I_{20} Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s·ha), I_E End-Infiltrationsrate in l/(s·ha)

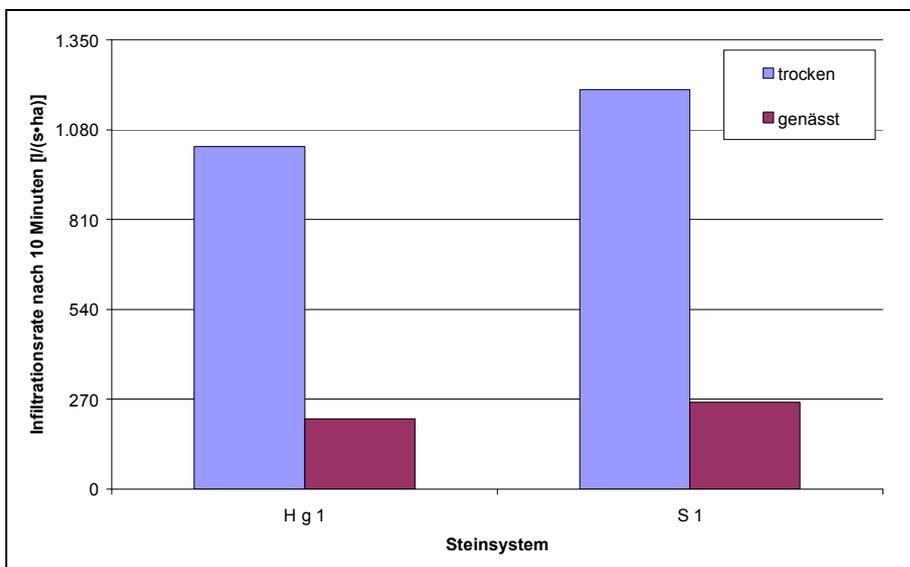


Abb. 86: Infiltrationsrate I_{10} genässter und trockener Flächen



Abb. 87: trockene Fläche am Objekt 6



Abb. 89: genässte Fläche am Objekt 6



Abb. 88: trockene Fläche am Objekt 22



Abb. 90: genässte Fläche am Objekt 22

7.1.3 Prüfreihe 3: Sickerleistung vor und nach Reinigungsmaßnahmen

Während der dritten Prüfreihe wurden an drei Objekten, bei denen sich die Eigentümer zu Reinigungsversuchen bereit erklärt hatten, je zwei Versuche – vor und nach einer Hochdruckreinigung – durchgeführt. Zur Reinigung wurden dabei handelsübliche Geräte ausgewählt, die zum einen von den im Rahmen des Vorhabens befragten Grundstückseigentümern eingesetzt werden und zum anderen im Fachhandel ausgeliehen werden können. Als Reinigungsgeräte kamen am Objekt 24 ein Hochdruckreiniger (vgl. Abb. 93) und an den Objekten 19 und 21 ein Hochdruckreiniger mit Bodenwäscher (vgl. Abb. 92 und Kapitel 3.4.3) zum Einsatz. Die Leistung der Hochdruckreiniger lag bei 120 bis 150 bar am Gerät. Beim Objekt 24 (vgl. Tabelle 14 und Abb. 91) waren vor der Reinigung die Fugen und Steine vermoost. Die Infiltrationsrate lag bei $i_{10} = 2.300 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Durch die Reinigung mittels Wasserhochdruck konnte das Moos aus den Fugen und von der Oberfläche der Steine entfernt werden. Die Infiltrationsleistung lag anschließend bei $i_{10} > 2.700 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Bei den Objekten 19 und 21 waren sowohl die Steine als auch die Fugen stark durch Feinpartikel zugesetzt. Beim Objekt 19 sind aufgrund der Lage Feinpartikel eingeschwemmt worden (vgl. Kapitel 7.1.1.2). Die an einen Schotterplatz grenzende Fläche des Objektes 21 war durch eingefahrene Feinpartikel komplett zugesetzt worden (vgl. Kapitel 7.1.1.2). Die Infiltrationsraten lagen vor den Reinigungsmaßnahmen bei $i_{10} = 150 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ am Objekt 19 und bei $i_{10} = 0 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ am Objekt 21. Durch die Reinigung konnten die Infiltrationsraten beim Objekt 19 auf $i_{10} = 230 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ und beim Objekt 21 auf $i_{10} = 10 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ erhöht werden.

Somit konnte bei den stark verschmutzten Bereichen der Flächen an den Objekten 19 und 21 auch durch eine Reinigung mittels Wasserhochdruck keine ausreichende

Sickerleistung hergestellt werden. Offensichtlich sind bei diesen Belägen Feinpartikel in tiefere Bereiche des Steines eingetragen worden, die nicht mit Wasserhochdruck entfernt werden konnten. Nach Angaben von Herstellern [39] von wasserdurchlässigen Pflastersteinen und Reinigungsgeräten ist es wichtig, dass haufwerksporige Steine rechtzeitig gereinigt werden, bevor sie vollständig zugesetzt sind. Nur so können mit entsprechenden Reinigungsgeräten Feinpartikel aus den Steinen entfernt werden. Die Reinigungsgeräte sollten neben Hochdruckdüsen auch Saugvorrichtungen aufweisen, die verhindern können, dass Schmutzpartikel tiefer in den Stein eingespült werden.

Tabelle 14: Infiltrationsraten der geprüften haufwerksporigen Steine mit feiner Vorsatzschicht abhängig von einer Reinigung

Objekt-Nr.	Fugenverfüllung	Einbau	Nutzung	Alter [a]	Ver- schmut- zung	Wetter vor Versuch	Reini- gung	I_{10} l/(s•ha)	I_{20} l/(s•ha)	I_E l/(s•ha)
24	keine	Eigenleistung	Hofffläche, Stellplätze	6	Steine & Fugen vermoost	trocken	vor	2.300	2.450	2.100
24	Keine	Eigenleistung	Hofffläche, Stellplätze	6	Keine nach Reinigung	trocken	nach	>2.700*	>2.750*	>2.650*
19	Keine	Fachfirma	Stellplätze	5	Steine & Fugen stark	Regen	vor	150	160	130
19	keine	Fachfirma	Stellplätze	5	augenscheinlich keine	Regen	nach	230	240	240
21	Splitt	Fach-Firma	Hofffläche	5	Steine & Fugen stark	Regen	vor	0	0	0
21	Splitt	Fach-Firma	Hofffläche	5	augenscheinlich keine	Regen	nach	10	10	10

I_{10} Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s•ha), I_{20} Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s•ha),

I_E End-Infiltrationsrate in l/(s•ha)

* Schwankung der Leistungsgrenze (gerätebedingt)

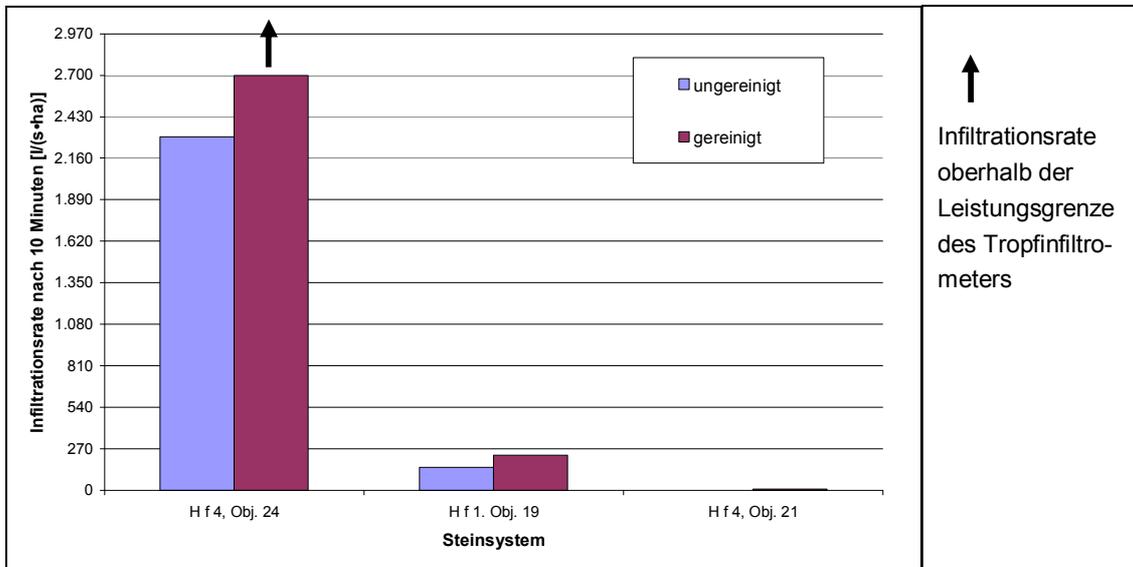


Abb. 91: Infiltrationsrate I_{10} gereinigter und ungereinigter Flächen haufwerksporiger Steine mit feiner Vorsatzschicht



Abb. 92: Objekt 21: zugesezte Fläche (li.), Hochdruckreinigung (Mitte), gereinigte Fläche (re.)



Abb. 93: Objekt 24: verschmutzte Fläche (li.), Hochdruckreinigung (Mi.), gereinigte Fläche (re.)

7.2 Ergebnisse der Labor-Untersuchungen

7.2.1 Prüfungen mit Beregnungsanlage und Tropfinfiltrometer, Vergleichbarkeit der Messverfahren

Grundsätzlich weisen die Prüfanlage für Flächenbeläge und das Tropfinfiltrometer unterschiedliche Funktionsweisen auf. Beim Tropfinfiltrometer wird die maximal von der Prüffläche aufnehmbare Wassermenge ermittelt, indem ein möglichst geringer, gleich bleibender Wasserstand auf eine Prüffläche von ca. 0,25 m² aufgebracht wird. Über die Wassermengen, die innerhalb eines Zeitintervalls zur Aufrechterhaltung dieses Wasserstands zugegeben werden, kann eine mittlere Infiltrationsrate des Belages in l/(s·ha) berechnet werden.

Bei der Prüfanlage dagegen wird die 1 m² große Prüffläche direkt mit einer bestimmten Regenintensität in l/(s·ha) beregnet. Dabei können dann das entstehende Spritzwasser, der Oberflächenabfluss der 1 m² großen Fläche und das Entstehen von Sickerwasser gemessen und beobachtet werden. Während beim Tropfinfiltrometer die Wasserzugabe dem Sickerverhalten des Belages angepasst wird, wird bei der Prüfanlage eine bestimmte Regenintensität aufgebracht, um das Sickerverhalten des Belages beobachten zu können. D.h. es wird geprüft, ob ein Belag eine vorgegebene Regenintensität überstaufrei versickern kann, da in der Realität bei Überstau Oberflächenabfluss eintritt.

Wie eine Gegenüberstellung der Laborprüfungen zeigt, können nur annähernd vergleichbare Ergebnisse erzielt werden (vgl. Tabelle 15). Da der Belag bei Prüfungen mit der Beregnungsanlage stets über lange Zeiträume bis zu mehreren Stunden beregnet wurde und daher von einer vollständigen Durchnässung des Belages ausgegangen werden kann, lassen sich grundsätzlich nur die Endinfiltrationsraten der Infiltrationsmeter-Prüfungen mit den Werten der Prüfanlage vergleichen.

Tabelle 15: Übersicht der Prüfergebnisse der Laborprüfungen

Belag	Infiltrationsrate nach Tropfinfiltrometer [l/(s·ha)]	Aufnehmbare Regenintensität nach Prüfanlage [l/(s·ha)]	
		Ringfläche 0,25 m ² *	Gesamtfläche 1 m ²
Belag I - ungereinigt	i ₁₀ = 150 i ₆₀ = 140	ca. 160*	> 700
Belag I - gereinigt	i ₁₀ = 300 i ₆₀ = 320	ca. 400*	—
Belag II – ungereinigt	i ₁₀ = 1.660 i ₆₀ = 1.560	> 1.000	> 1.000
Belag II – gereinigt	i ₁₀ = 2.140 i ₆₀ = 1.500	> 1.000	—
Belag III - Neuzustand	i ₁₀ = 1.150 i ₆₀ = 950	ca. 950 *	> 1.000
Belag III - Einbaufehler	i ₁₀ = 320 i ₆₀ = 290	ca. 300 *	—

*Regenintensität bei bis zu 5 mm Wasserfilm

Insbesondere können Unterschiede in den Messergebnissen entstehen, wenn der Belag auf einer Fläche von 1 m² unterschiedliche Eigenschaften aufweist. Beim Belag I (verschmutzter Stein, Alter: 5 Jahre) zeigte sich, dass gerade die im mittleren Bereich verlegten Steine offensichtlich weniger durchlässig waren. Während von der Gesamtfläche auch bei 700 l/(s•ha) Beregnung kein Abfluss entstand, waren im mittleren Bereich der Fläche schon bei 270 l/(s•ha) einige Fugen überstaut und die Steine waren mit einem deutlichen Wasserfilm bedeckt (s. Tabelle 16).

Messungen mit dem Tropfinfiltrimeter, bei denen durch den Infiltrationsring nur die mittige Fläche geprüft wurde und zudem ein Wasserfluss von den inneren auf die äußeren Steine verhindert wurde, ergaben eine Infiltrationsrate von nur $i_{60}=140$ l/(s•ha) (vgl. Tabelle 17). Vor diesem Hintergrund wurde der Belag ein weiteres Mal mit der Prüfanlage getestet, wobei die Wasserstände im Infiltrationsring beobachtet wurden. Bei einer Beregnung von 160 l/(s•ha) war die Fläche komplett mit einem Wasserfilm von 2-4 mm überstaut (vgl. Tab. 4). Demnach liegt die aufnehmbare Regenspende des Mittelbereiches mit 160 l/(s•ha) in der Größenordnung der mit dem Tropfinfiltrimeter ermittelten Infiltrationsrate mit $i_{60}=140$ l/(s•ha).

Wie Tabelle 15 zeigt, ergaben weitere Prüfungen mit dem Infiltrationsring am Belag III ebenfalls annähernd vergleichbare Ergebnisse. Die Endinfiltrationsraten waren im Neuzustand des Belages mit $i_{60}=950$ l/(s•ha) identisch. Die Endinfiltrationsraten nach dem Einfegen von Sand wichen mit $i_{60}=290$ l/(s•ha) (Tropfinfiltrimeter) und ca. 300 l/(s•ha) (Prüfanlage) nur geringfügig (minimal) voneinander ab (vgl. Tabelle 15). Ein Vergleich der Prüfungen des Belages II ist nicht möglich, da die Versickerungsleistung des Belags oberhalb der maximal einstellbaren Beregnungsintensität der Anlage lag.

Tabelle 16: Belag I vor der Reinigung - Oberflächenabfluss und Wasserstau abhängig von der Beregnungsintensität (Prüfung 1)

Beregnungsstärke [l/(s·ha)]	Spritzwasser [ml/min]	Wasserstau, Pfützenbildung	Oberflächenabfluss [l/min]	
100	28 (4,7 % des Zulaufs)	Steine mit minimalem Wasserfilm bedeckt	—	 Wasserfilm bei 270 l/(s·ha)
200	64 (5,3% des Zulaufs)	ca. 5 % der Fugen überstaut (Mitte der Fläche); Steine mit geringem Wasserfilm bedeckt	—	
270	86 (5,3% des Zulaufs)	ca. 15 % der Fugen überstaut (Mitte der Fläche) ;Steine mit deutlichem Wasserfilm bedeckt	—	
300	105 (5,8% des Zulaufs)	ca. 15 % der Fugen überstaut (Mitte der Fläche); Steine mit deutlichem Wasserfilm bedeckt	—	
400	150 (6,3% des Zulaufs)	ca. 15 % der Fugen überstaut (Mitte der Fläche); Steine mit deutlichem Wasserfilm bedeckt	—	
500	180 (6% des Zulaufs)	Wasserstau im inneren Bereich der Fläche	—	
600	220 (6,1% des Zulaufs)	deutlicher Wasserstau im inneren Bereich der Fläche	—	
700	240 (5,7 % des Zulaufs)	deutlicher Wasserstau im inneren Bereich der Fläche	—	

Tabelle 17: Belag I vor der Reinigung – Wasserstände im Infiltrationsring abh. von der Beregnungsintensität (Prüfung 2)

Beregnungsstärke [l/(s·ha)]	Wasserfilm/-stand im Ring	
	Steine	Fugen
100	Steine mittig mit minimalem Wasserfilm bedeckt	ca. 20 % der Fugen überstaut
150	Steine mittig mit geringem Wasserfilm bedeckt	ca. 40 % der Fugen überstaut
160	Steine mit Wasserfilm von 2 – 4 mm bedeckt	100 % der Fugen überstaut
170	Steine mit Wasserfilm von 4 – 6 mm bedeckt	100 % der Fugen überstaut
180	Steine mit Wasserfilm von 6 – 8 mm bedeckt	100 % der Fugen überstaut
200	Wasserstand stetig ansteigend	100 % der Fugen überstaut

7.2.2 Einfluss der Fuge auf die Durchlässigkeit des Gesamtsystems bei haufwerksporigen Belägen

Auch bei haufwerksporigen Betonsteinen, die das Wasser überwiegend durch den Stein selbst versickern sollen, kann die Wasserdurchlässigkeit der Fuge eine wichtige Bedeutung für die Versickerungsleistung des Gesamtsystems haben. Insbesondere der Belag II wies mit erneuertem Fugenmaterial (Fugenbreite von 4-5 mm) eine deutlich höhere Wasserdurchlässigkeit auf (s. Abb. 94). Während die Infiltrationsrate

verschmutzter Bereiche (Schmutzpartikel in Stein und Fuge sowie vermooste Fugen) vor Ort bei $i_{60} = 50 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ lag, ergab sich bei den Laborprüfungen mit der Prüfanlage einer Versickerungsleistung von $> 1.000 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Die Vergleichsprüfung mit dem Tropfinfiltrometer lieferte eine Infiltrationsrate von $i_{60} = 1.560 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Bei dem Belag I (Fugenbreite von 2-4 mm) konnte durch die Erneuerung des Fugen- und Bettungsmaterials keine ausreichende Sickerleistung hergestellt werden. Die Infiltrationsrate vor Ort lagen bei $i_{60} = 0 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Nach dem Wiedereinbau ergaben die Laborprüfungen eine Versickerungsleistung von $160 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ (Prüfanlage mit Infiltrationsring) und eine Infiltrationsrate $i_{60} = 140 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ mit dem Tropfinfiltrometer (s. Abb. 95).

Die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit fünf einzelner Steine bestätigte, dass bei den Laborprüfungen der zwei Beläge die Versickerungsleistung allein auf die Fugen zurückzuführen ist. Bei beiden Steinsystemen wiesen die stark zugesetzten Steine einen k_f -Wert von 0 m/s auf [40].

Beim Belag II, der aufgrund der Abmessung der Steine (10x20 cm) einen höheren Fugenteil als der Belag I (20x20 cm) besitzt, scheint die Fuge einen deutlich höheren Einfluss auf das Versickerungsverhalten des Systems zu haben.

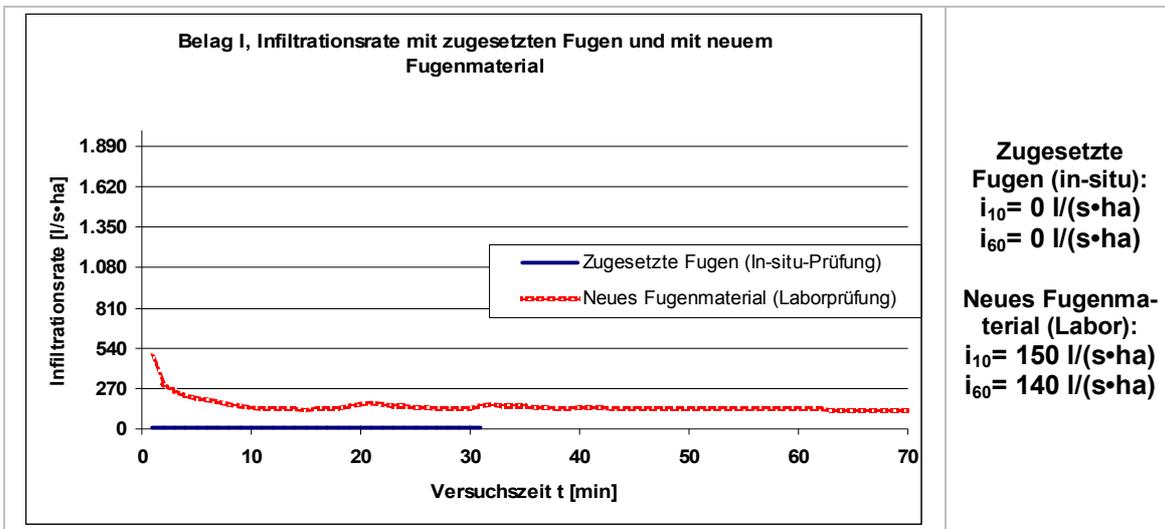
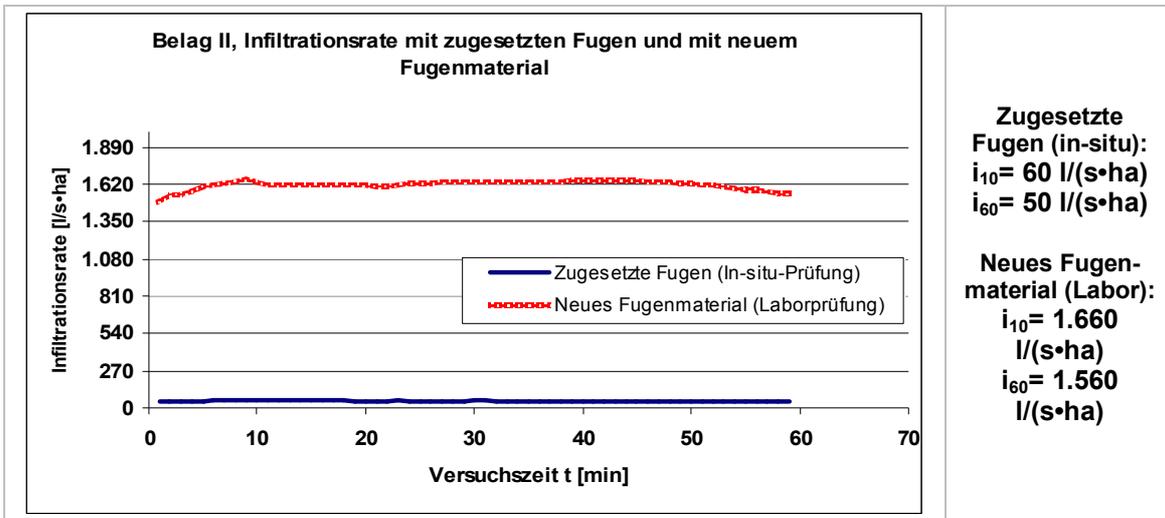


Abb. 94: Belag I, Infiltrationsrate bei der In-situ-Prüfung und der Laborprüfung



Zugesetzte Fugen (in-situ):
 $i_{10} = 60 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$
 $i_{60} = 50 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$

Neues Fugenmaterial (Labor):
 $i_{10} = 1.660 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$
 $i_{60} = 1.560 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$

Abb. 95: Belag II, Infiltrationsrate bei der In-situ-Prüfung und der Laborprüfung

7.2.3 Auswirkung von Reinigungsversuchen auf die Infiltrationsrate

Wie unter Kapitel 7.2.2 beschrieben, wurden die Versickerungsleistungen der Beläge bereits durch den Wiedereinbau mit neuen Fugen- und Bettungsmaterialien erhöht. Durch eine zusätzliche Reinigung mittels eines speziellen Aufsatzes (vgl. Kap. 6.3.2.1) sollten darüber hinaus die Steine gereinigt werden. Wie die Abb. 36 bis Abb. 38 zeigen, wurden entsprechend den In-situ-Reinigungsversuchen (vgl. Kap. 6.2) sowohl Schmutzpartikel aus dem Stein als auch teilweise Fugenmaterialien ausgespült, die anschließend wieder verfüllt werden müssen.



Abb. 96: Ausgespültes Schmutzwasser, Belag I



Abb. 97: Ausgespülter Fugensplitt, Belag II



Abb. 98: Gesäuberte Fläche Belag II

Wie die Abb. 99 zeigt, konnte die Infiltrationsrate des Belages I durch die Reinigung der Steine von $i_{60} = 140 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ auf $i_{60} = 320 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ mehr als verdoppelt werden. Beim Belag II dagegen, der bereits nach dem Wiedereinbau mit neuem Fugenmaterial eine hohe Infiltrationsrate von $i_{60} = 1.560 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ aufwies, blieb die End-Infiltrationsrate nach der Reinigung mit $i_{60} = 1.500 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ nahezu identisch (Abb. 100). Allerdings lag die Infiltrationsrate zu Beginn des Versuches mit $i_{10} = 2.140 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ deutlich über dem Ergebnis vor der Reinigung mit $i_{10} = 1.660 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Ob dieser Effekt jedoch allein auf die Reinigung des Belages zurückzuführen ist oder unterschiedliche Nässungen des Belages einen Einfluss hatten, kann nicht abschließend geklärt werden.

Insgesamt bestätigen die Laboruntersuchungen die In-situ-Versuche mit den Reinigungsgeräten. Durch die Reinigung eines verschmutzten Belages in Form von Wasserhochdruckreinigungen, mit denen der Stein gesäubert und zusätzlich zumindest die oberste Schicht des Fugenmaterials ausgetragen wird, kann die Versickerungsleistung eines Belages verbessert werden. Insbesondere bei stark verschmutzten Bereichen, die den Untersuchungen zufolge meist in Senken oder unterhalb von Bäumen auftreten, kann das Ausspülen/Aussaugen stark verschmutzter bzw. vermooster Fugen zur Aufrechterhaltung bzw. Wiederherstellung der Wasserdurchlässigkeit hilfreich sein.

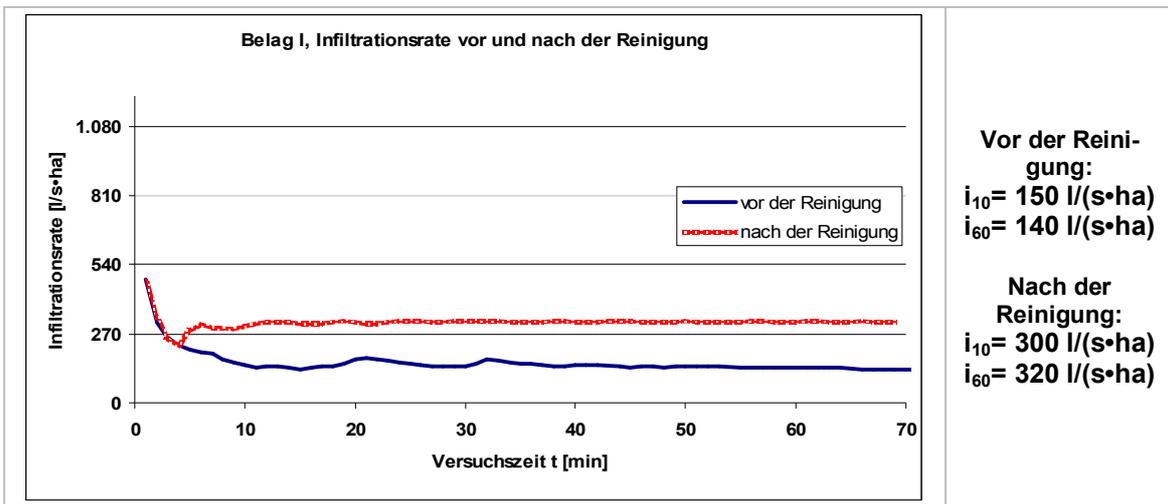


Abb. 99: Belag I, Infiltrationsrate vor und nach der Reinigung

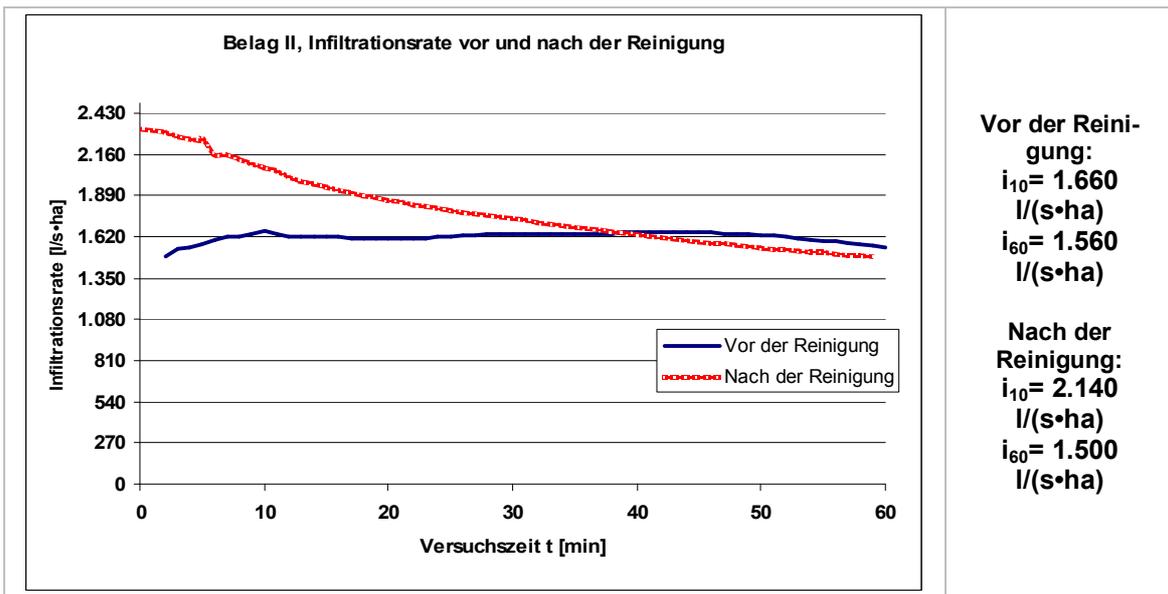


Abb. 100: Belag II, Infiltrationsrate vor und nach der Reinigung

7.2.4 Infiltrationsraten eines Belages mit Einbaufehler

Die Simulation eines Einbaufehlers bestätigte, dass die Versickerungsleistung eines haufwerksporigen Steins durch Einfegen von Sand herabgesetzt werden kann. Durch 250 g Sand, die im Bereich des Infiltrationsrings ($\sim 0,25 \text{ m}^2$) in den neuen Belag eingebracht wurden, verminderte sich die Infiltrationsrate des Belags um rund 2/3 (s. Abb. 101). Die Infiltrationsrate nach 10-minütiger Prüfungen lag mit $i_{10} = 320 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ rund 72 % niedriger als die des sauberen Belages mit $i_{10} = 1.150 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Die Endinfiltrationsrate lag mit $i_{60} = 290 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ rund 70 % unterhalb der ursprünglichen Rate mit $i_{60} = 930 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$.

Bei der Verlegung eines wasserdurchlässigen Belages ist daher auf die Anwendung der Einbauanleitung des Herstellers zu achten.

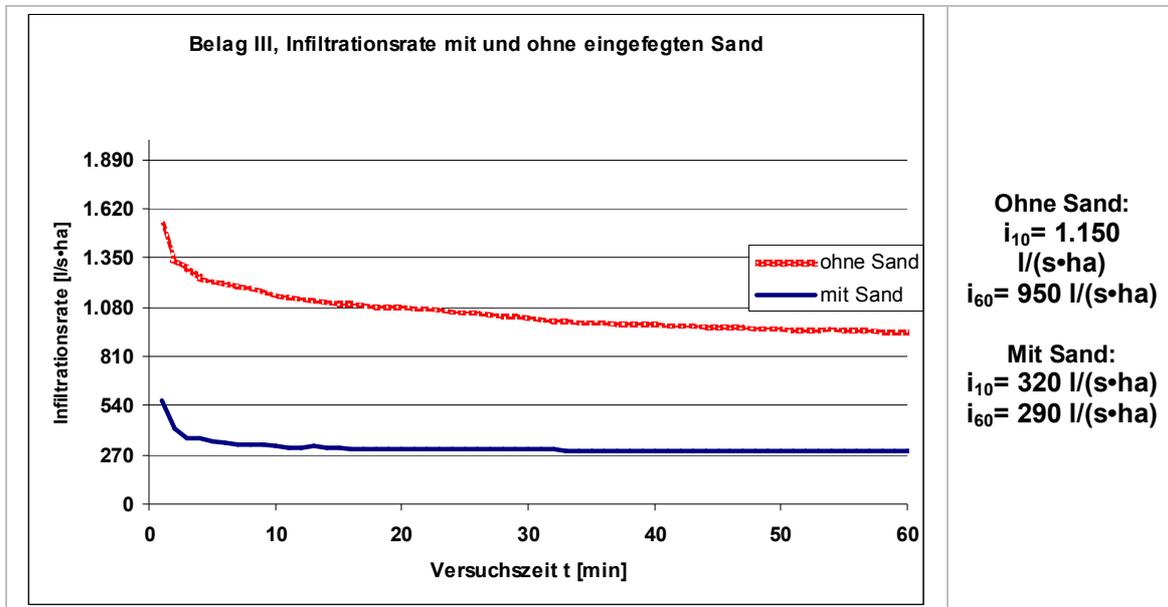


Abb. 101: Belag III; Infiltrationsrate mit und ohne Sand

7.3 Abschließende Bewertung

Aus den Infiltrometer-Prüfungen an insgesamt 49 Testflächen und den ergänzenden Laborprüfungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Von insgesamt 23 Entsiegelungsmaßnahmen, die durch das Land NRW gefördert und im Rahmen dieses Vorhabens auf ihre Wasserdurchlässigkeit überprüft wurden, können 21 Objekte (ca. 90 %) als ausreichend wasserdurchlässig bezeichnet werden. Die vor 4 bis 7 Jahren entsiegelten Flächen wiesen meist Infiltrationsraten auf, die deutlich über der geforderten aufnehmbaren Regenspende von 270 l/(s•ha) lagen. Bei zwei der 21 Objekte wiesen einzelne Bereiche, die augenscheinlich stark durch Schmutzpartikel zugesetzt waren (Lage in einer Senke bzw. an einen Schotterplatz grenzend), geringe Infiltrationsraten von 0 bzw. 60 l/(s•ha) auf. Bei einem weiteren Objekt wurde in einer Fahrspur eine Infiltrationsrate von 100 l/(s•ha) ermittelt. Da die Bereiche geringer Durchlässigkeit nur 5-10 % der Gesamtfläche ausmachten und saubere Bereiche Infiltrationsraten von 1.200 l/(s•ha) bis über 3.200 l/(s•ha) aufwiesen, ist insgesamt von einer ausreichenden Wasserdurchlässigkeit dieser Objekte auszugehen.
- Bei zwei der 23 Objekte ist eine ausreichende Durchlässigkeit nicht vorhanden bzw. zweifelhaft. Ein Objekt, bei dem feiner Sand in einen haufwerksporigen Stein eingeschlämmt wurde (Einbaufehler), wies auch in sauberen Bereichen eine geringe Infiltrationsrate von 210 l/(s•ha) auf. Bei einem weiteren Objekt waren auf ca. 50 % der Fläche Steine und Fugen zugesetzt bzw. vermoost. Hier lag die Infiltrationsrate bei 90 l/(s•ha). Die Durchlässigkeit des Belages ist somit fragwürdig.
- Die ermittelte Infiltrationsrate eines Belages ist abhängig vom Wassergehalt des Belages und des Untergrunds. Demnach wird das Prüfergebnis eines Infiltrometer-Tests durch Regenereignisse in den Tagen vor der Prüfung beeinflusst. Dies bestätigten Prüfungen an zwei Objekten, bei denen identische Stellen nach Regen- und nach Trockentagen geprüft wurden. Die trockenen Beläge wiesen mit 1.030 l/(s•ha) bzw. 1.200 l/(s•ha) eine deutlich höhere Wasserdurchlässigkeit auf als die genässten Beläge, deren Infiltrationsrate sogar mit 210 l/(s•ha) und 260 l/(s•ha) unterhalb der geforderten 270 l/(s•ha) lag.
- Den Untersuchungen zufolge sind sowohl Rasengittersteine als auch Sickerfugen- und haufwerksporige Steine grundsätzlich auch nach einer Betriebszeit von mehreren Jahren für die Versickerung von Niederschlagswasser geeignet. Aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen vor Ort (wie Verschmutzung, Nutzung, Untergrundverhältnisse) können zwischen den verschiedenen Steinsystemen keine Unterschiede in einer Eignung festgelegt werden. Grundsätzlich sind, je nach Verschmutzung des Belages, Reinigungen während der Nutzungsdauer zu empfehlen.

- Ein maßgeblicher Faktor, der die Durchlässigkeit eines Belages stark beeinflussen kann, ist der Verschmutzungsgrad des Belages. Dieser wird überwiegend durch Lage und Art der Nutzung der Fläche, weniger jedoch durch das Alter, beeinflusst. So waren Bereiche der untersuchten Beläge, die überwiegend im Schatten bzw. unterhalb von Vegetationen liegen, oft vermoost und mit Feinpartikeln zugesetzt. Dagegen wiesen andere Bereiche derselben Beläge meist keine augenscheinlichen Verschmutzungen auf und lieferten i.d.R. höhere Versickerungsraten. Ebenfalls wiesen Bereiche, in die nutzungsbedingt Feinpartikel eingetragen wurden (z.B. Fahrspuren im Übergangsbereich zu einer Schotterfläche) z.T. deutlich geringere Infiltrationsraten als saubere Bereiche auf. Verschmutzungen durch Feinpartikel sowie eine vermehrte Moosbildung wurden des Weiteren auch in Senken, in denen sich vermehrt Wasser ansammelt, beobachtet.
- Durch Reinigung der Fugen und ggf. der Steine (bei haufwerksporigen Steinen) mit geeigneten Reinigungsgeräten kann die Wasserdurchlässigkeit eines Belages verbessert bzw. erhalten werden. Insbesondere scheinen Geräte geeignet zu sein, die neben rotierenden Spüldüsen auch eine Saugvorrichtung besitzen, die ein Einspülen der Schmutzpartikel in das Innere des Steines vermeiden sollen. Ausgetragenes Fugenmaterial sollte durch neues ersetzt werden, um die Rückhaltefähigkeit des Belages bezüglich Schadstoffen aufrecht zu halten.
- In welchen Abständen eine Reinigung sinnvoll ist, hängt überwiegend von der Nutzung und der Vegetation der angrenzenden Flächen ab, die die Neigung zur Verschmutzung des Belages maßgeblich beeinflussen. Grundsätzlich sollte eine Reinigung rechtzeitig erfolgen, bevor die Steine komplett zugesetzt bzw. die Schmutzpartikel zu tief in den Stein eingetragen werden und Reinigungsgeräte mit Saugvorrichtung weniger effektiv eingesetzt werden können.
- Bei den geprüften Belägen konnte nicht festgestellt werden, dass ein Einbau eines wasserdurchlässigen Belages durch eine Privatperson einen negativen Einfluss auf die Sickerleistung des Belages hat. Dagegen waren in zwei Fällen Einbaufehler durch Fachfirmen ausgeführt worden, indem Sand als Fugenmaterial in einen haufwerksporigen Stein eingefegt worden war. Dies kann die Sickerleistung des Steines deutlich herabsetzen. Bei der Verlegung eines wasserdurchlässigen Belages ist daher auf die Anwendung einer Einbauanleitung des Herstellers zu achten.
- Auch bei haufwerksporigen Belägen kann die Wasserdurchlässigkeit der Fugen, abhängig vom Fugenteil, einen deutlichen Einfluss auf die Durchlässigkeit des Gesamtsystems haben.

Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen können die Auswirkungen der Randbedingungen auf die Durchlässigkeit wasserdurchlässiger Flächenbeläge in Tabelle 18 zusammengefasst werden.

Tabelle 18: Auswirkungen der Randbedingungen auf die Durchlässigkeit eines Belages

Einflussfaktor	Auswirkung auf die Wasserdurchlässigkeit
Alter	Mit zunehmendem Alter werden Schmutzpartikel in den Belag eingetragen, die die Wasserdurchlässigkeit vermindern können. Die Stärke der Verschmutzung hängt allerdings in erster Linie nicht vom Alter des Belages, sondern vorrangig von der Nutzung und der Lage (bzgl. Sonneneinstrahlung und Vegetation) ab.
Verschmutzung	Schmutzpartikel, wie z.B. Staub und Vermoosung, können die Wasserdurchlässigkeit erheblich mindern.
Nutzung	Die Nutzungsart, wie z.B. das Befahren der wasserdurchlässigen Fläche mit Fahrzeugen, kann zu einem Eintrag von Schmutzpartikeln führen und ggf. Setzungen des Belages verursachen. Dies kann die Durchlässigkeit herabsetzen.
Vegetation und Sonneneinstrahlung	Beläge unterhalb von Bäumen oder Sträuchern sowie in Schattenlage wiesen oft vermehrten Moosbewuchs oder Verschmutzungen durch Laub, Blüten, Pollenstaub oder Nadeln auf. I.d.R. wiesen diese Flächen geringere Infiltrationsraten als die angrenzenden sauberen Flächen auf.
Reinigung	Durch eine Reinigung des Belages (inkl. der Fugen) kann die Durchlässigkeit eines Belages erhöht bzw. erhalten werden.
Nässung des Belages	Der Wassergehalt eines Belages (also die Wetterlage vor einem Infiltrometer-Test) kann die Infiltrationsrate deutlich beeinflussen.
Einbau (Eigenleistung/Fachfirma)	Grundsätzliche Unterschiede zwischen dem Einbau durch eine Fachfirma oder eine Privatperson mit Auswirkung auf die Wasserdurchlässigkeit eines Belages wurden nicht beobachtet. Ein Einbaufehler in Form von Einfegen eines feinen Sandes in einen haufwerksporigen Stein kann die Wasserdurchlässigkeit mindern.

8 Zusammenfassung und Fazit

Seit 1997 wird die Entsiegelung von wasserundurchlässig befestigten Flächen vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW) im Rahmen der „Initiative ökologische und nachhaltige Wasserwirtschaft NRW“ finanziell gefördert. Seitdem sind Fördermittel, die sich auf 15 €/m² entsiegelter Fläche belaufen, in Höhe von ca. 42 Mio. Euro an die Bürger bzw. an Kommunen und Verbände ausgezahlt worden.

Diese Fördergelder des Landes werden sowohl auf Vorlage einer Rechnung über den Einbau des Belages durch eine Fachfirma angewiesen als auch auf Grundlage einer Rechnung über entsprechende Belagskosten, wenn der Belag in Eigenleistung des Grundstückseigentümers eingebaut wurde. Die Zweckbindungsfrist für die Zuschüsse beträgt zehn Jahre. Eine Überprüfung der Leistungsfähigkeit des wasserdurchlässigen Belages ist während dieser Frist auf Aufforderung des Landes daher grundsätzlich möglich. Unklar war bisher, ob eine beim Neubau ausreichende Sickerleistung auch nach mehrjährigem Bestehen des Belages noch vorhanden ist.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde überprüft, ob und inwieweit bestehende wasserdurchlässige Flächenbeläge nach mehrjähriger Nutzungsdauer ihre Funktion erfüllen. Dazu wurden bestehende Beläge, die durch das Land NRW gefördert wurden, ausgewählt und vor Ort auf ihren Aufbau und ihre tatsächliche Versickerungsfähigkeit untersucht. Ziel dabei war es, den Zustand der Beläge zu erfassen und daraus die maßgeblichen Randbedingungen abzuleiten, welche die Wasserdurchlässigkeit eines Belages während der Nutzungsdauer beeinflussen. Insbesondere sollten dabei die Fragestellungen, inwieweit ein sachgerechter Einbau der Beläge durch eine Fachfirma oder eine Privatperson garantiert werden kann, wie sich die Alterung eines Belages auf die Versickerungsleistung auswirkt und ob eine Reinigung der Beläge während der Betriebsdauer erforderlich ist, betrachtet werden.

In einer ersten Projektphase wurde dazu der Datenbestand zu den Fördermaßnahmen der Bezirksregierung in Arnsberg, hier liegen ca. $\frac{2}{3}$ aller vom Land NRW geförderten Entsiegelungsmaßnahmen, aufgenommen und ausgewertet. Speziell wurden dabei Informationen wie Alter, Art, Größe und Nutzung der Flächen in eine Datenbank aufgenommen.

Innerhalb der Projektphase 2 wurden zunächst Vor-Ort-Inaugenscheinnahmen bestehender Entsiegelungsmaßnahmen durchgeführt. Anschließend wurden ausgewählte entsiegelte Flächen mit Hilfe eines Tropfinfiltrimeters hinsichtlich ihrer Versickerungsleistung geprüft. Im Rahmen der In-situ-Versickerungsversuche wurden der Aufbau und die Beschaffenheit der gesamten Fläche aufgenommen. Je Objekt wurden abhängig von dem Erscheinungsbild bezüglich unterschiedlicher Verschmutzungen der Fläche Anzahl und Stellen zur Prüfung der Versickerungsleistung festgelegt.

In der Projektphase 3 wurden ergänzende Laborversuche mit der Beregnungsanlage des IKT und dem Tropfinfiltrimeter durchgeführt. Dabei wurden gezielt Fragestellungen aufgegriffen, die sich im Rahmen der In-situ-Prüfungen der Projektphase 2 ergeben hatten und in Laborversuchen mit entsprechenden Randbedingungen simuliert. Beispielsweise wurde ein aufgetretener Einbaufehler nachgestellt, um die Auswirkung auf die Versickerungsleistung im Labor zu testen.

Wie die Untersuchungen zeigten, können von insgesamt 23 Entsiegelungsmaßnahmen, die durch das Land NRW gefördert wurden, 21 Objekte (ca. 90 %) als ausreichend wasserdurchlässig bewertet werden. Meist lagen die Infiltrationsraten der vor 4 bis 7 Jahren entsiegelten Flächen deutlich über der geforderten aufnehmbaren Regenspende von $270 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{ha})$. Bei zwei der 23 Objekte ist eine ausreichende Durchlässigkeit nicht vorhanden bzw. zweifelhaft. Eines der Objekte wies einen Einbaufehler auf, beim anderen Objekt waren rund 50 % der Fläche augenscheinlich zugesetzt bzw. vermoost. Bei diesen Flächen lag die Infiltrationsrate unter $270 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{ha})$.

Ein maßgeblicher Faktor, der die Durchlässigkeit eines Belages stark beeinflussen kann, ist der Verschmutzungsgrad des Belages. Dieser wird überwiegend durch Lage und Art der Nutzung der Fläche, weniger jedoch durch das Alter beeinflusst. So waren Bereiche der untersuchten Beläge, die überwiegend im Schatten bzw. unterhalb von Vegetationen liegen, oft vermoost und mit Feinpartikeln zugesetzt. Dagegen wiesen andere Bereiche derselben Beläge meist keine augenscheinlichen Verschmutzungen auf und lieferten i.d.R. höhere Versickerungsraten. Ebenfalls wiesen Bereiche, in die nutzungsbedingt Feinpartikel eingetragen wurden (z.B. Fahrspuren im Übergangsbereich zu einer Schotterfläche), z.T. deutlich geringere Infiltrationsraten als saubere Bereiche auf.

Durch Reinigung der Fugen und ggf. der Steine (bei haufwerksporigen Steinen) mit geeigneten Reinigungsgeräten kann die Wasserdurchlässigkeit eines Belages verbessert bzw. erhalten werden. In welchen Abständen eine Reinigung sinnvoll ist, hängt überwiegend von der Nutzung und der Vegetation der angrenzenden Flächen ab, die die Neigung zur Verschmutzung des Belages maßgeblich beeinflussen. Grundsätzlich sollte eine Reinigung rechtzeitig erfolgen, bevor die Steine komplett zugesetzt bzw. die Schmutzpartikel zu tief in den Stein eingetragen werden und Reinigungsgeräte mit Saugvorrichtung weniger effektiv eingesetzt werden können.

Bei den geprüften Belägen konnte nicht festgestellt werden, dass ein Einbau eines wasserdurchlässigen Belages durch eine Privatperson einen negativen Einfluss auf die Sickerleistung des Belages hat. Dagegen waren in zwei Fällen Einbaufehler durch Fachfirmen ausgeführt worden, indem Sand als Fugenmaterial in einen haufwerksporigen Stein eingefügt worden war. Dies kann die Sickerleistung des Steines deutlich herabsetzen. Bei der Verlegung eines wasserdurchlässigen Belages ist daher auf die Anwendung der Einbauanleitung des Herstellers zu achten.

Den Untersuchungen zufolge sind sowohl Rasengittersteine als auch Sickerfugen- und haufwerksporige Steine grundsätzlich auch nach einer Betriebszeit von mehreren

Jahren für die Versickerung von Niederschlagswasser geeignet. Damit eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit dauerhaft aufrecht erhalten bleibt, sind allerdings regelmäßige Reinigungen der Fläche zu empfehlen.

9 Literatur

- [1] Bauberatung Zement: Merkblatt Regenversickerung durch Pflasterflächen, 2003
- [2] MURL: Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen im Rahmen der „Initiative ökologische und nachhaltige Wasserwirtschaft in NRW“, Gültigkeitsbereiche: vom 18. Dezember 1996 bis 31. Dezember 1999 und 22. September 1999 bis 31. Dezember 2005
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, RStO 01: Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Köln 2001
- [4] HSR Hochschule für Technik Rapperswil: Technikseiten in der Landschaftsarchitektur, Wegebau, <http://www.hsr.ch>
- [5] Fachvereinigung Betonprodukte für Straßen-, Landschafts- und Gartenbau e.V.: Versickerungsfähige Pflastersysteme aus Beton, 2002
- [6] Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteilindustrie: Richtlinie für die Herstellung und Güteüberwachung von wasserdurchlässigen Pflastersteinen aus haufwerksporigem Beton, April 1996
- [7] Fachvereinigung Betonprodukte für Straßen-, Landschafts- und Gartenbau e.V.: Kommentierung zum Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen, März 2001
- [8] Fachvereinigung Betonprodukte für Straßen-, Landschafts- und Gartenbau e.V.: Leitfaden für private Hauseigentümer – Grundstücksflächen umweltgerecht befestigen mit versickerungsfähigen Pflastersystemen aus Beton
- [9] Adolf Blatt GmbH & Co. KG, Kirchheim/Neckar: Der wasser- und luftdurchlässige Bodenbelag, Stuttgarter Sickerstein
- [10] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: ATV-DVWK-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, 2002
- [11] MUNLV: Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung – Zukunftsfähige Wasserwirtschaft in Industrie- und Gewerbegebieten, Oktober 2001
- [12] Wiederspahn, M.: Versickerung von Niederschlagswasser aus geowissenschaftlicher Sicht. – Schriftenreihe Bundesverband Deutscher Geologen, Geophysiker und Mineralogen, Heft 15, Bonn, 1997
- [13] Publikation des Landratsamtes Ortenaukreis: Naturverträgliche Niederschlagswasserbewirtschaftung, www.ortenaukreis.de
- [14] DIN 19682-7: Felduntersuchungen - Teil 7: Bestimmung der Infiltrationsrate mit dem Doppelzylinder-Infiltrimeter, 1997

- [15] DIN 19683-9: Physikalische Laboruntersuchungen - Teil 9: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in wassergesättigten Stechzylinderproben, 1998
- [16] DIN 18130-1: Baugrund, Untersuchungen von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts, Teil 1: Laborversuche, Mai 1998
- [17] DIN 18130-2: Baugrund, Untersuchungen von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts, Teil 2: Feldversuche, Oktober 2003
- [18] DIN 4022-1: Baugrund und Grundwasser, Benennen und Beschreiben von Boden und Fels, September 1987
- [19] Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Erkundungsmethoden online, www.nlfb.de, 2001
- [20] Gartung, E.; Neff, H.: Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., 1999
- [21] Stecker, A.: Open-End-Test zur Ermittlung der Infiltrationsrate. Zeitschrift für Stadtentwässerung und Gewässerschutz, Heft 33, Hannover, 1995
- [22] Bentz, A.; Martini, H. J.: Lehrbuch der Angewandten Geologie. Band II, Teil 2: Geowissenschaftliche Methoden, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1969
- [23] Richter, D.: Ingenieur- und Hydrogeologie; Berlin, Walther de Gruyter, 1989
- [24] W/T Georingenieure, www.wt-georingenieure.de
- [25] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: ATV-DVWK-A 117: Bemessung von Regenrückhalteräumen, 2001
- [26] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: ATV-DVWK-M 153: Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser, 2000
- [27] Betonwerke Heinrich Klostermann GmbH & Co. KG: Die sickerfähige Pflasterbauweise
- [28] Deutscher Wetterdienst – DWD: Starkniederschlagshöhen für die Bundesrepublik Deutschland, Offenbach 1997
- [29] Muth, W.: galabeton, Sickeraktive Flächenbefestigungen, Hydrovario – der Wasseraktivstein
- [30] Informationsstelle Beton-Bauteile: Hydroaktive Betonpflastersysteme, Bonn, 1997
- [31] Abwassertechnische Vereinigung ATV: Richtlinien für die hydraulische Berechnung von Schmutz-, Regen- und Mischwasserkanälen, Arbeitsblatt A 118, St. Augustin 1977
- [32] Abwassertechnische Vereinigung ATV: Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von nicht schädlich verunreinigtem Niederschlagswasser, Arbeitsblatt A 138, St. Augustin 1990

- [33] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung, Köln 1987
- [34] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, ZTVE-StB 94, Köln 1997
- [35] DIN-1986-2, Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 2: Ermittlung der Nennweiten von Abwasser- und Lüftungsleitungen, 1995
- [36] Muth, W.: Regenwasserversickerung von Verkehrsflächen; Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau (TIS) 36, Heft 5, S. 28-44, 1994
- [37] Nix, A.: Bund Deutscher Landschaftsarchitekten BDLA Landesgruppe Nordrhein-Westfalen: Wasserdurchlässige Wegebeläge, 1996
- [38] Forschungsvorhaben "Entsiegelungswirkung verschiedener Oberbauarten modellhaft an einem Parkplatz in Abhängigkeit von Witterungsverlauf und Nutzung" (Kooperationsvorhaben der FH Osnabrück, der Fa. GaLaBau EMSLAND GmbH & Co. KG und der Stadt Lingen (Ems); gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt), abgeschlossen 1999
- [39] Mündliche Auskunft Fa. Heinrich Klostermann GmbH und Fa. Kärcher AG, Januar 2005
- [40] Duksa, C.: Baustoffkundliche Untersuchungen und Prüfung der Wasserdurchlässigkeit von haufwerksporigen Betonsteinen, Fachhochschule Bochum, Januar 2005

10 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 : Gebiet der Bezirksregierung Arnsberg.....	4
Abb. 2 : Verteilung der Fördermittel in den Jahren 1999 bis 2003 in NRW.....	5
Abb. 3 : Beispiel eines einschichtigen Filtersteins.....	7
Abb. 4 : Beispiel eines zweischichtigen Filtersteins	7
Abb. 5 : Beispiel eines Sickerfugensteins mit angeformten Abstandshaltern	8
Abb. 6 : Anwendungsbeispiel Rasengittersteine mit Splittfüllung	8
Abb. 7 : Aufbau für wasserdurchlässigen Boden im Bereich von leichtem Verkehr, von Zufahrten und von Pkw-Stellplätzen [9]	12
Abb. 8 : Schichtaufbau bei wasserdurchlässiger Pflasterdecke [4]	12
Abb. 9 : Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte von Lockergesteinen und entwässerungstechnisch relevanter Versickerungsbereich (grau unterlegt) [10]	13
Abb. 10 : Schurfversickerung – Schemaskizze [20]	14
Abb. 11 : Hochdruckreiniger mit 135 bar, Bodenwäscher Ø 30 cm.....	15
Abb. 12 : Hochdruckreiniger und Bodenwäscher im Einsatz.....	15
Abb. 13 : Spezialfahrzeug zur Reinigung von Belägen (durch Wasserhochdruck und Saugvorrichtung) [27]	16
Abb. 14 : Versickerungsleistung der verschiedenen Steintypen laut Herstellerangabe19	
Abb. 15 : Befüllen des Rings beim vereinfachten Verfahren [7]	20
Abb. 16 : Aufbau des Tropfinfiltrimeters.....	22
Abb. 17 : Berechnung der Testfläche	23
Abb. 18 : Schematische Funktionsskizze des Tropfinfiltrimeters.....	23
Abb. 19 : Prozentualer Anteil der Sammelanträge in den Kreisen der BR Arnsberg ...	26
Abb. 20 : Häufigkeitsverteilung der entsiegelten Flächengröße (Stichprobenumfang n=382).....	27
Abb. 21 : Verteilung der verwendeten Steinarten (Stichprobenumfang n=382).....	28
Abb. 22 : Anzahl der Ausführungen durch Eigenleistung / Fachfirma (Stichprobenumfang n=382).....	28
Abb. 23 : Anzahl der durchgeführten Versuche der verschiedenen Flächenbeläge	30
Abb. 24 : Verlassenes Firmengelände (li.), Kontakt zu den Grundstückseigentümern (re.)	31
Abb. 25 : Typische Beispiele für zu Versickerungsversuchen ausgewählte Flächen...	31
Abb. 26 : Optisch sauberer Flächenbelag.....	32

Abb. 27 : Verschmutzter Flächenbelag, vermooste Fugen.....	32
Abb. 28 : Beispiel von zwei für die Prüfung ungeeigneter Flächen mit großem Gefälle	32
Abb. 29 : Befüllen des Vorratsbehälters.....	32
Abb. 30 : Entfernung des Blitzementes	32
Abb. 31 : Beispielhafte Darstellung der untersuchten Steintypen.....	34
Abb. 32 : Prüfanlage für wasserdurchlässige Flächenbeläge im IKT.....	37
Abb. 33 : Aufbau der Versuchsanordnung für die Prüfung wasserdurchlässiger Flächenbeläge.....	38
Abb. 34 : Wechselrahmen mit Feinsieb aus Edelstahl und Ablaufrinne für von der Steinoberfläche ablaufendes Wasser	38
Abb. 35 : Acrylwanne mit Edelstahlkanülen	38
Abb. 36 : augenscheinlich saubere Fläche	41
Abb. 37 : verschmutzte Teilfläche im Übergangsbereich zum Schotterplatz	41
Abb. 38 : Belag I (Objekt 21), Skizze der Fläche.....	41
Abb. 39 : Detail verschmutzte Teilfläche	41
Abb. 40 : Ausbau von 1 m ² Belag, Schmutzpartikel der Fuge (rechts)	42
Abb. 41 : Ablagerungen in der Fugenfläche.....	42
Abb. 42 : Einfüllen und Abziehen des Bettungssplitts	42
Abb. 43 : Setzen der Steine.....	42
Abb. 44 : Einfügen und Verdichten des Fugensplitts.....	42
Abb. 45 : Ablaufrinne (links) und Auffangen des Wassers der Ablaufrinne (rechts).....	43
Abb. 46 : Aufbringen des Rings (links) und Beregnung (rechts).....	43
Abb. 47 : Tropfinfiltrations-Einsatz im Rahmen der Laborprüfungen.....	44
Abb. 48 : Reinigung des Belages mittels Bürstenaufsatz und Wasserhochdruck.....	44
Abb. 49 : augenscheinlich saubere Fläche	45
Abb. 50 : Bereich der verschmutzten Fläche	45
Abb. 51 : Belag I (Objekt 19), Skizze der Fläche.....	45
Abb. 52 : Prüfung von verschmutzter Teilfläche.....	45
Abb. 53 : Ausgetragenes Fugenmaterial.....	46
Abb. 54 : z.T. verschmutzte Fugenfläche.....	46
Abb. 55 : Ausbau der Steine.....	46
Abb. 56 : Unterschiedliche Färbung des alten und neuen Pflasters	46
Abb. 57 : Eingebauter Belag im Wechselrahmen.....	46

Abb. 58 : Ansicht und Aufbau des haufwerksporigen Steins	47
Abb. 59 : Belag III eingebaut	47
Abb. 60 : Einfegen von Sand	48
Abb. 61 : Beispiel 1 zum typischen Verlauf einer Infiltrationsrate eines wasserdurchlässigen Belages	49
Abb. 62 : Beispiel 2 zum typischen Verlauf einer Infiltrationsrate eines wasserdurchlässigen Belages	50
Abb. 63 : Untersuchte Fläche am Objekt 2	51
Abb. 64 : Untersuchte Fläche am Objekt 12	52
Abb. 65 : Infiltrationsrate I_{10} sauberer und verschmutzter Flächen haufwerksporiger Steine mit grobem Aufbau	53
Abb. 66 : vermooste Fläche am Objekt 15	54
Abb. 67 : verschmutzte Fläche am Objekt 10	54
Abb. 68 : vermooste Fläche am Objekt 5	54
Abb. 69 : vermooste Fläche am Objekt 7	54
Abb. 70 : saubere Fläche am Objekt Nr. 15	54
Abb. 71 : saubere Fläche am Objekt 10	54
Abb. 72 : saubere Fläche am Objekt 5	54
Abb. 73 : herausgenommener Stein am Obj. 7	54
Abb. 74 : Infiltrationsrate I_{10} sauberer und verschmutzter Flächen haufwerksporiger Steine mit feiner Vorsatzschicht	57
Abb. 75 : stark vermooste Fläche am Objekt 3	57
Abb. 76 : zugesetzte Fläche am Objekt 21	57
Abb. 77 : saubere Fläche am Objekt 3	57
Abb. 78 : saubere Fläche am Objekt 21	57
Abb. 79 : Objekt 19: zugesetzter Bereich (li.), Eingeschlämmtes (Mitte), sauberer Bereich (re.)	58
Abb. 80 : Objekt 16: Prüf-Fläche (li.), Versickerungsversuch (Mitte), heraus gespülter Sand (re.)	58
Abb. 81 : Infiltrationsrate I_{10} sauberer und verschmutzter Flächen von Sickerfugensteinen	60
Abb. 82 : Objekt 1: sauberer Bereiche (li., Mitte), stark vermooste Fugen (re.)	60
Abb. 83 : Sickeröffnungen Obj. 20	60
Abb. 84 : Untersuchte Fläche am Objekt 9	60

Abb. 85 : Objekt 11: Kopfsteinpflaster (li.), sauberer Bereich (Mitte), vermooster Bereich (re.)	60
Abb. 86 : Infiltrationsrate I_{10} genässter und trockener Flächen.....	61
Abb. 87 : trockene Fläche am Objekt 6.....	62
Abb. 88 : trockene Fläche am Objekt 22.....	62
Abb. 89 : genässte Fläche am Objekt 6.....	62
Abb. 90 : genässte Fläche am Objekt 22.....	62
Abb. 91 : Infiltrationsrate I_{10} gereinigter und ungereinigter Flächen haufwerksporiger Steine mit feiner Vorsatzschicht	64
Abb. 92 : Objekt 21: zugesetzte Fläche (li.), Hochdruckreinigung (Mitte), gereinigte Fläche (re.).....	64
Abb. 93 : Objekt 24: verschmutzte Fläche (li.), Hochdruckreinigung (Mi.), gereinigte Fläche (re.).....	64
Abb. 94 : Belag I, Infiltrationsrate bei der In-situ-Prüfung und der Laborprüfung	68
Abb. 95 : Belag II, Infiltrationsrate bei der In-situ-Prüfung und der Laborprüfung	69
Abb. 96 : Ausgespültes Schmutzwasser, Belag I.....	69
Abb. 97 : Ausgespülter Fugensplitt, Belag II	69
Abb. 98 : Gesäuberte Fläche Belag II.....	69
Abb. 99 : Belag I, Infiltrationsrate vor und nach der Reinigung.....	70
Abb. 100 : Belag II, Infiltrationsrate vor und nach der Reinigung.....	70
Abb. 101 : Belag III; Infiltrationsrate mit und ohne Sand	71

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 : Regenspenden $r_{15(1)}$ [l/(s·ha)]	17
Tabelle 2 : Zeitbeiwerte φ zur Umrechnung eines $r_{15(1)}$ nach RAS-Ew	18
Tabelle 3 : Regenspende $r_{10(0,2)}$ der untersuchten Orte nach KOSTRA-Atlas	18
Tabelle 4 : Exemplarischer Auszug aus der Liste der Sammelanträge	24
Tabelle 5 : Anzahl der Sammelanträge der jeweiligen Kreise	26
Tabelle 6 : Übersicht der durchgeführten Vor-Ort-Inaugenscheinnahmen	29
Tabelle 7 : Übersicht der 49 Prüfflächen	35
Tabelle 8 : Übersicht zu den Laborprüfungen	40
Tabelle 9 : Infiltrationsraten der geprüften Rasengittersteine	51
Tabelle 10 : Infiltrationsraten der geprüften haufwerksporigen Steine mit grobem Aufbau	53
Tabelle 11 : Infiltrationsraten der geprüften haufwerksporigen Steine mit feiner Vorsatzschicht	56
Tabelle 12 : Infiltrationsraten der geprüften Sickerfugensteine	59
Tabelle 13 : Infiltrationsraten der geprüften Flächen abhängig von der Nässung des Belages	61
Tabelle 14 : Infiltrationsraten der geprüften haufwerksporigen Steine mit feiner Vorsatzschicht abhängig von einer Reinigung	63
Tabelle 15 : Übersicht der Prüfergebnisse der Laborprüfungen	65
Tabelle 16 : Belag I vor der Reinigung - Oberflächenabfluss und Wasserstau abhängig von der Beregnungsintensität (Prüfung 1)	67
Tabelle 17 : Belag I vor der Reinigung – Wasserstände im Infiltrationsring abh. von der Beregnungsintensität (Prüfung 2)	67
Tabelle 18 : Auswirkungen der Randbedingungen auf die Durchlässigkeit eines Belages	74

12 Anhang: Übersicht der untersuchten Steinsysteme und der Infiltrationsraten der untersuchten Flächen

Stein-system	Objekt-Nr.	Fugen-material	Alter [a]	Größe [m ²]	Gefälle [%]	Einbau (lt. Eigentümer)	Nutzung	Verschmutzung	Wetterlage vor Versuchsdurchführung	Häufigkeit der Reinigung (lt. Eigentümer)	I ₁₀ [l/(s•ha)]	I ₂₀ [l/(s•ha)]	I _E [l/(s•ha)]
R	2	Splitt	6	185	0	Eigenleistung	Einfahrt, Hof	Tannennadeln auf der Fläche	3 trockene Tage	Entfernen der Tannennadeln	> 1.500	> 1.500	> 1.500
R	5	Splitt	6	1.900	2,5	Fachfirma	Stellplätze	keine	3 trockene Tage	keine	> 1.400	> 1.400	> 1.400
R	12	Splitt	6	740	0	Fachfirma	Stellplätze	keine	3 trockene Tage	keine	> 2.800	> 2.800	> 2.800

Stein-system	Objekt-Nr.	Fugen-material	Alter [a]	Größe [m ²]	Gefälle [%]	Einbau (lt. Eigentümer)	Nutzung	Verschmutzung	Wetterlage vor Versuchsdurchführung	Häufigkeit der Reinigung (lt. Eigentümer)	I ₁₀ [l/(s•ha)]	I ₂₀ [l/(s•ha)]	I _E [l/(s•ha)]
H g 1	6*	Splitt	5	200	2,5	Fachfirma	Schulhof	Steine und Fugen zugesetzt	3 trockene Tage	keine	1.030	930	600
H g 1	6*	Splitt	5	200	2,5	Fachfirma	Schulhof	Steine und Fugen zugesetzt	3 Tage Regen	keine	210	200	160
H g 2	7	-	6	202	3	Fachfirma	Hofffläche	keine	3 trockene Tage	1 x pro Jahr	> 1.500	> 1.500	> 1.500
H g 2	7	-	6	202	3	Fachfirma	Hofffläche	Steine und Fugen leicht vermoost	3 trockene Tage	1 x pro Jahr	1.360	1.170	1.000
H g 3	10	-	6	224	3,0 - 5,0	Eigenleistung	Stellplätze	keine	3 trockene Tage	Entfernen von Unkraut und Moos	> 3.400	> 3.400	> 3.400
H g 3	10	-	6	224	3,0 - 5,0	Eigenleistung	Stellplätze	Steine und Fugen zugesetzt	3 trockene Tage	Entfernen von Unkraut und Moos	1.360	1.200	1.000
H g 4	15	-	5	150	2	Eigenleistung	Garageneinfahrt, Terrasse	keine	3 trockene Tage	keine	> 2.900	> 2.900	> 2.900
H g 4	15	-	5	150	2	Eigenleistung	Garageneinfahrt, Terrasse	Steine und Fugen vermoost	3 trockene Tage	keine	2.550	2.500	2.450
H g 5	5	-	6	1.900	2,5	Fachfirma	Hofffläche, Stellplätze	keine	3 trockene Tage	keine	> 1.590	> 1.530	> 1.400
H g 5	5	-	6	1.900	2,5	Fachfirma	Hofffläche, Stellplätze	Fugen vermoost	3 trockene Tage	keine	> 1.440	> 1.470	> 1.400

* Es wurden zwei Prüfungen an derselben Stelle durchgeführt, um die Auswirkung einer Reinigung bzw. der Nässung des Belages zu erfassen.

I₁₀ Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s•ha), I₂₀ Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s•ha), I_E End-Infiltrationsrate in l/(s•ha)

Stein-system	Objekt-Nr.	Fugen-material	Alter [a]	Größe [m²]	Gefälle [%]	Einbau (lt. Eigentümer)	Nutzung	Verschmutzung	Wetterlage vor Versuchsdurchführung	Häufigkeit der Reinigung (lt. Eigentümer)	I ₁₀ [l/(s•ha)]	I ₂₀ [l/(s•ha)]	I _E [l/(s•ha)]
H f 1	3	-	4,5	150	2,5	Eigenleistung	Garagenhof, Stellplätze	keine	3 Tage Regen	keine	> 1.500	> 1.500	> 1.500
H f 1	3	-	4,5	150	2,5	Eigenleistung	Garagenhof, Stellplätze	Steine zugesetzt, Fugen vermoost	3 Tage Regen	keine	90	70	60
H f 1	19	-	5	281	2	Fachfirma	Stellplätze	Steine und Fugen stark zugesetzt	3 trockene Tage	keine	60	50	40
H f 1	19	-	5	281	2	Fachfirma	Stellplätze	keine	3 trockene Tage	keine	> 2.800	> 2.800	> 2.800
H f 1	19*	-	5	281	2	Fachfirma	Stellplätze	Steine und Fugen stark zugesetzt	an den Vortagen Regen	keine	150	160	130
H f 1	19*	-	5	281	2	Fachfirma	Stellplätze	keine nach Reinigung im Rahmen des Vorhabens	an den Vortagen Regen	im Rahmen des Vorhabens durchgeführt	230	240	240
H f 1	13	Splitt	6	95	2,5 - 10	Eigenleistung	Garagenzufahrt, Stellplätze	Steine und Fugen leicht zugesetzt	3 trockene Tage	1 x pro Jahr	1.370	1.240	750
H f 1	16	Sand	7	95	2	Eigenleistung	Garageneinfahrt, Eingangsbereich	Steine sauber, Fugen zugesetzt	3 trockene Tage	1 x pro Jahr	470	460	440
H f 2	12	-	6	740	0	Fachfirma	Zufahrt, Stellplätze	keine	3 trockene Tage	keine	> 3.000	> 3.000	> 3.000
H f 2	12	-	6	740	0	Fachfirma	Zufahrt, Stellplätze	Fugen vermoost	3 trockene Tage	keine	1.340	1.260	1.100
H f 3	17	Sand	4,5	553	3,5	Fachfirma	Garagenhof	Steine und Fugen zugesetzt	3 trockene Tage	keine	120	120	100
H f 3	17	Sand	4,5	553	3,5	Fachfirma	Garagenhof	keine	3 trockene Tage	keine	210	200	170

* Es wurden zwei Prüfungen an derselben Stelle durchgeführt, um die Auswirkung einer Reinigung bzw. der Nässung des Belages zu erfassen.

I₁₀ Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s•ha), I₂₀ Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s•ha), I_E End-Infiltrationsrate in l/(s•ha)

Stein-system	Objekt-Nr.	Fugen-material	Alter [a]	Größe [m ²]	Gefälle [%]	Einbau (lt. Eigentümer)	Nutzung	Verschmutzung	Wetterlage vor Versuchsdurchführung	Häufigkeit der Reinigung (lt. Eigentümer)	I ₁₀ [l/(s•ha)]	I ₁₀ [l/(s•ha)]	I ₁₀ [l/(s•ha)]
H f 4	21*	Splitt	5	472	1,5 - 3,0	Fachfirma	Hofffläche	Steine und Fugen stark zugesetzt	am Vortag starker Regen	unregelmäßig	0	0	0
H f 4	21*	Splitt	5	472	1,5 - 3,0	Fachfirma	Hofffläche	keine nach Reinigung im Rahmen des Vorhabens	am Vortag starker Regen	im Rahmen des Vorhabens durchgeführt	10	10	10
H f 4	21	Splitt	5	472	1,5 - 3,0	Fachfirma	Hofffläche	Steine und Fugen leicht vermoost	am Vortag starker Regen	unregelmäßig	1.200	1.100	900
H f 4	21	Splitt	5	472	1,5 - 3,0	Fachfirma	Hofffläche	keine	am Vortag starker Regen	unregelmäßig	> 3.200	> 3.200	> 3.200
H f 4	24*	-	6	287	3,0 - 4,0	Eigenleistung	Hofffläche, Stellplätze	leicht verschmutzt, Fugen vermoost	3 trockene Tage	alle 2 Jahre	2.300	2.450	2.100
H f 4	24*	-	6	287	3,0 - 4,0	Eigenleistung	Hofffläche, Stellplätze	keine nach Reinigung im Rahmen des Vorhabens	3 trockene Tage	im Rahmen des Vorhabens durchgeführt	> 2.700	> 2.750	> 2.650
H f 5	23	Splitt	5	121	1,5 - 3,5	Eigenleistung	Stellplätze, Terrasse	Steine und Fugen stark zugesetzt	2 trockene Tage	keine	690	600	400
H f 5	23	Splitt	5	121	1,5 - 3,5	Eigenleistung	Stellplätze, Terrasse	keine	2 trockene Tage	keine	1.140	840	480

* Es wurden zwei Prüfungen an derselben Stelle durchgeführt, um die Auswirkung einer Reinigung bzw. der Nässung des Belages zu erfassen.

I₁₀ Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s•ha), I₂₀ Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s•ha), I_E End-Infiltrationsrate in l/(s•ha)

Stein-system	Objekt-Nr.	Fugen-material	Alter [a]	Größe [m ²]	Gefälle [%]	Einbau (lt. Eigentümer)	Nutzung	Verschmutzung	Wetterlage vor Versuchsdurchführung	Häufigkeit der Reinigung (lt. Eigentümer)	I ₁₀ [l/(s·ha)]	I ₂₀ [l/(s·ha)]	I _E [l/(s·ha)]
S 1	4	Splitt	5	300	1,5 - 3,0	Fachfirma	Garagenhof, Stellplätze	keine	3 trockene Tage	1 bis 2 x pro Jahr	740	680	650
S 1	8	Splitt	5	96	1	Eigenleistung	Einfahrt, Hof	Fugen zugesetzt	3 trockene Tage	eine Reinigung 2003	930	680	440
S 1	9	-	5	100	3	Fachfirma	Garagenzufahrt, Stellplätze	keine	3 trockene Tage	keine	> 3.100	> 3.100	> 3.100
S 1	22	Splitt	5	175	0 - 3,0	Eigenleistung	Hofffläche, Stellplätze	keine (Fahrspur)	2 trockene Tage	keine	100	90	70
S 1	22*	Splitt	5	175	0 - 3,0	Eigenleistung	Hofffläche, Stellplätze	Fugen vermoost	2 trockene Tage	keine	1.200	740	500
S 1	22*	Splitt	5	175	0 - 3,0	Eigenleistung	Hofffläche, Stellplätze	Fugen vermoost	nach Regentagen	keine	260	280	280
S 1	18	Sand	10	~ 15	2,5	Fachfirma	Stellplätze	Fugen vermoost (Fahrspur)	3 trockene Tage	keine	140	170	150
S 1	18	Splitt	10	~ 15	2,5	Fachfirma	Stellplätze	Steine verschmutzt, Fugen vermoost	3 trockene Tage	keine	460	400	300
S 2	1	Splitt	6	410	0	Fachfirma	Garagenhof, Stellplätze	Fugen vermoost	3 trockene Tage	keine	950	1.000	1.000
S 2	1	Splitt	6	410	0	Fachfirma	Garagenhof, Stellplätze	keine	3 trockene Tage	keine	> 3.000	> 3.000	> 3.000
S 3	14	Splitt	6	427	2,5	Fachfirma	Stellplätze	Fugen stark vermoost	3 trockene Tage	keine	2.280	2.320	2.300
S 4	20	Splitt	4	380	ca. 5,0	Fachfirma	Hofffläche, Stellplätze	Sickeröffnungen leicht vermoost	3 trockene Tage	keine	1.330	1.350	980
S 4	20	Splitt	4	380	ca. 5,0	Fachfirma	Hofffläche, Stellplätze	keine	3 trockene Tage	keine	> 2.500	> 2.500	> 2.500
S 5	11	Splitt	6	333	1,5 - 3,0	Eigenleistung	Garagenhof, Stellplätze	keine	3 trockene Tage	keine	1.430	1.380	1.300
S 5	11	Splitt	6	333	1,5 - 3,0	Eigenleistung	Garagenhof, Stellplätze	Fugen stark vermoost	3 trockene Tage	keine	640	570	500

* Es wurden zwei Prüfungen an derselben Stelle durchgeführt, um die Auswirkung einer Reinigung bzw. der Nässung des Belages zu erfassen.

I₁₀Infiltrationsrate nach 10 Minuten in l/(s·ha), I₂₀ Infiltrationsrate nach 20 Minuten in l/(s·ha), I_E End-Infiltrationsrate in l/(s·ha)