

Befestigen ohne zu Versiegeln

Verbesserung des Wasserhaushaltes mit Pflastersteinen

Prof. Dr. Carsten Dierkes



Abbildung 1: Dreilagiger Betonstein mit Speicherschicht | Foto: Godelmann

1 Problematik

Die Klimaveränderung stellt dicht besiedelte urbane Räume vor große Herausforderungen. Die durchschnittliche Temperatur in Deutschland lag in diesem Jahr laut vorläufiger Sommer-Bilanz bei 19,2 °C und damit 2,9 Grad über dem Wert der international gültigen Referenzperiode 1961 bis 1990 [1]. Im Vergleich zur wärmeren Vergleichsperiode 1991 bis 2020 betrug die Abweichung plus 1,6 Grad [1]. Die Anzahl der heißen Tage und Hitzewellen steigt [2]. Aber auch die Starkregen nehmen seit Jahren signifikant zu [3], trifft der Regen auf ausgetrocknete Böden so fließt er bevorzugt oberflächlich in die Entwässerungssysteme ab, er steht damit der Vegetation in den Städten nur begrenzt zur Verfügung. Sturzfluten durch Starkregenereignisse gefährden Infrastruktur und Gebäude. Seit 1970 hat sich die Zahl der schadenrelevanten Ereignisse verdreifacht. Die Schäden lagen 2013 bei etwa 10 Mrd. Euro [4].

Um die Lage in den Städten zu verbessern, sollen das Prinzip „Schwammstadt“ und eine wassersensible Stadtentwicklung zu wichtigen Bausteinen in der klimaresilienten Stadtplanung werden [5]. Beim Prinzip Schwammstadt geht es darum, Niederschlagswasser „wie ein Schwamm“ aufzusaugen, es zu speichern und dann durch Verdunstung und gezielte Bewässerung verzögert wieder abzugeben. Dabei gelten allerdings in unseren gewachsenen Strukturen andere Planungsvoraussetzungen als z.B. in China, wo das Prinzip ursprünglich entwickelt wurde [6].

Das „Aktionsprogramm natürlicher Klimaschutz“ des Bundesministeriums für Forschung (BMUV) setzt hier an, in Kapitel 7.4 heißt es für Siedlungs- und Verkehrsflächen: „Das

Leitbild der „wassersensiblen Stadt“ wird praxisnah und umsetzbar weiterentwickelt, um den Beitrag der Wasserwirtschaft zum Natürlichen Klimaschutz und damit für mehr Stadtnatur sowie die Anpassung an die Klimakrise zu stärken. Ziele sind die Entsiegelung möglichst vieler Flächen und die Speicherung, Versickerung, Verdunstung und Nutzung von Regenwasser im urbanen Raum, ein intakter städtischer Wasserhaushalt geprägt von einer guten Wasserverfügbarkeit für die städtische Vegetation, die Stärkung der Verdunstungskühlung sowie die Verminderung der Risiken durch Überflutung.“ [7]

Immer mehr rückt damit der Wasserhaushalt eines Siedlungsgebietes in den Vordergrund der Überlegungen und Planungen [8]. Dabei gewinnt neben dem Oberflächenabfluss und dem Sickerwasser die Verdunstung an Bedeutung. Ziel der Wasserhaushaltsbilanzierung für Siedlungsgebiete des im Gelbdruck vorliegenden Merkblattes DWA-M 102-4/BWK-M 3-4 [9] ist es daher, einen naturnahen Zustand bezüglich des Wasserhaushaltes zu erhalten.

2 Befestigen ohne zu Versiegeln

Verkehrsflächen für den Kfz-Verkehr tragen mit etwa 32,9 % der gesamten Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland maßgeblich zum Oberflächenabfluss bei [10]. Sie zudem oft dunkel und heizen sich stark auf. Viele Flächen sind zu nahezu 100 % versiegelt, die Ressource Wasser wird in die Kanalisation abgeleitet und steht vor Ort nicht mehr zur Verfügung. Straßen, Parkplätze und Plätze können aber auch ganz anders befestigt werden, so dass sie den Niederschlag speichern, Stadtbäumen zur Verfügung stellen, versickern und verdunsten.

Wasserdurchlässige Verkehrsflächenbefestigungen wurden Anfang der 90er Jahre entwickelt, um das Niederschlagswasser direkt zur Versickerung zu bringen. Der Oberflächenabfluss sollte begrenzt oder ganz vermieden werden, während die Grundwasserneubildung erhöht wird. Da die Beläge laut Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächenbefestigungen (MVV) dauerhaft mindestens 270 l/(s·ha) versickern sollen [11], was in etwa einem 10-minütigen Regen mit einem Wiederkehrintervall von einem Mal in 10 Jahren entspricht, wirken sie abflussdämpfend bei Starkregenereignissen.

Messungen der Jahres-Verdunstung von verschiedenen Pflastersystemen zeigten allerdings lediglich Werte zwischen 11 % und 18 % des Jahresniederschlags [12]. Eine Ausnahme stellten begrünte Rasengittersteine mit bis zu 65 % Jahresverdunstung dar [12]. Der Grund hierfür konnte identifiziert werden. Wenn das Wasser den Belag passiert hat, kann es nicht wieder an die Oberfläche gelangen. In einem Boden sorgen die Kapillarkräfte dafür, dass das Wasser aufsteigt und die Wurzeln der Pflanzen erreicht. In einem Straßenaufbau gibt es keine Kapillarität, da es sonst bei Frost durch gefrierendes Wasser zu Schäden kommen würde. Die Werte der Sickerpflaster sind damit zu gering, um den natürlichen Wasserhaushalt auf einer Pflasterfläche ohne zusätzliche Maßnahmen aufrechtzuerhalten.

Aus diesem Grund wurde in den letzten Jahren daran gearbeitet, Pflastersysteme in Hinblick auf die Verdunstung weiterzuentwickeln. Ziel war es, mit Systemen ohne begrünte Fugen im Jahresmittel Werte bis zu 50 % Gesamtverdunstung zu erreichen. Die Transformation von Verkehrsflächen in wasserdurchlässige Systeme, die die Verdunstung fördern war Ziel dieser Entwicklung.

Eine Lösung des Problems ist ein innovativer Betonstein, der aus drei Lagen besteht. Die oberste Lage bildet ein undurch-

lässiger Beton, der der Gestaltung der Oberfläche dient und nicht empfindlich gegenüber Frost- und Tausalzeinwirkungen ist. Darunter befindet sich ein haufwerksporiger Betonkern, der wie ein Schwamm Wasser speichern kann. Das Wasser gelangt über die Fugen in diese Schicht. Dabei ist es wichtig, dass das Wasser die Poren nicht komplett füllt, da der Stein dann bei Frost beschädigt würde. Stattdessen wurde eine neue Rezeptur entwickelt, die nur an den Wänden der Poren eine Mikrokapillarität aufweist und Wasser anlagert. Ein 8 cm hoher Betonstein kann etwa 10 Liter Wasser pro Quadratmeter speichern. Wenn der Stein durch die Sonneneinstrahlung erwärmt wird, verdunstet das Wasser über die Fugen. Eine dritte, gering durchlässige Schicht an der Unterseite des Steines sorgt zusätzlich dafür, dass das Wasser besser gespeichert wird und nicht unmittelbar versickert. Sie ermöglicht außerdem einen kapillaren Aufstieg von Wasser aus der Bettung in die Speicherschicht.

Das System erfüllt alle geltenden Richtlinien und Regelwerke für Pflasterflächen, ist damit ohne Risiko für Planer und Verarbeiter einsetzbar. Auch ökonomisch ist das System sinnvoll, es entstehen im Vergleich mit der konventionellen Pflasterbauweise keine signifikanten Mehrkosten, im Gesamtgebiet der Stadt ergeben sich Einsparungen, da Kanäle, Regenrückhaltebecken und weitere Bauwerke der Stadtentwässerung kleiner dimensioniert werden bzw. wegfallen können.

3 Anforderungen an den Wasserhaushalt

Durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) des Deutschen Instituts für Bautechnik in Berlin (DIBt) kann seit den 2000er Jahren nachgewiesen werden, dass geprüfte Beläge Schadstoffe aus dem Regenabfluss, die hauptsächlich von den Kraftfahrzeugen emittiert werden, in einem ähnlich hohen Maß zurückhalten können wie die belebte Bodenzone [13]. Damit kann gewährleistet werden, dass das Grundwasser bei der Versickerung von Verkehrsflächenabflüssen langfristig vor schädlichen Einträgen geschützt ist.

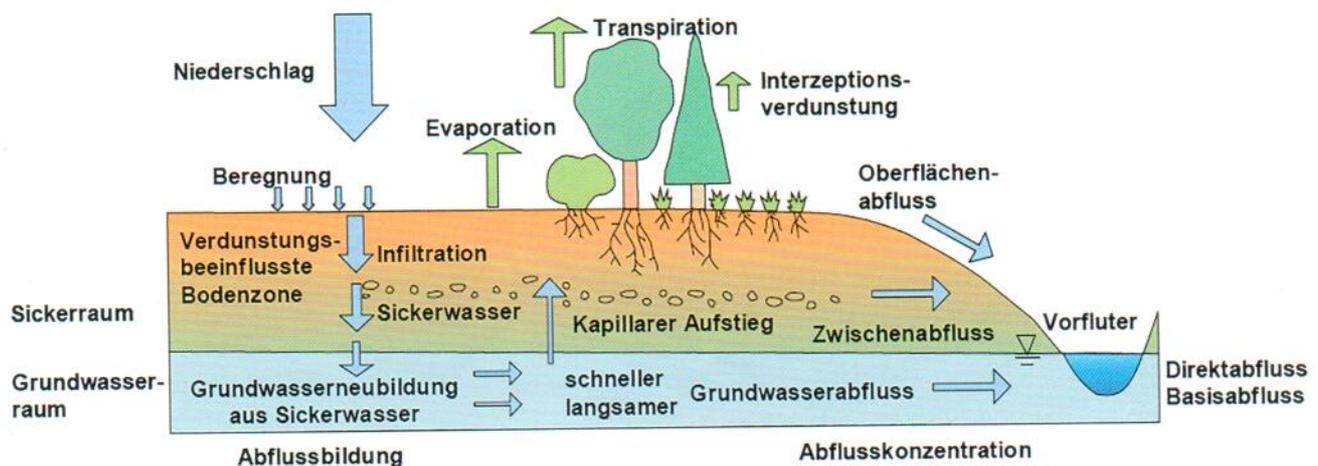


Abbildung 2: Wesentliche Komponenten des Wasserhaushaltes [14]

>>

Gemäß den bauaufsichtlichen Zulassungen müssen geprüfte Systeme im Neuzustand mehr als 540 l/(s.ha) überstaufrei versickern. Nach 10 Jahren Betriebsdauer sollte die Durchlässigkeit erneut geprüft werden. Bei Werten unter 270 l/(s.ha) muss eine Reinigung bzw. Regenerierung der Durchlässigkeit erfolgen. Hierfür existieren geprüfte Systeme auf dem Markt.

Zielsetzung des Merkblatt DWA-M 102-4/BWK-M 3-4 [9] aus quantitativer Sicht ist es, die Veränderung des natürlichen Wasserhaushalts durch Siedlungsaktivitäten so gering zu halten, wie es ökologisch, technisch und wirtschaftlich vertretbar ist. Vorrangig gilt diese Zielsetzung für entwässerungstechnische Neuerschließungen. Sie gilt aber auch bei Sanierungsgebieten, bei denen das Entwässerungssystem überplant werden muss. „Die Einhaltung der Zielsetzung kann durch vergleichende Quantifizierung der relevanten Wasserhaushaltsgrößen (Oberflächenabfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung) im bebauten Zustand und der resultierenden Abweichungen gegenüber dem unbebauten Zustand betrachtet werden“ [9]. Dies erfolgt auf der Basis mittlerer Jahreswerte.

Für die Berechnung des lokalen Wasserhaushalts sind folgende Wasserhaushaltsgrößen relevant (Abbildung 2):

- Direktabfluss RD bestehend aus Oberflächenabfluss $R_{D,o}$ und Zwischenabfluss $R_{D,z}$
- Grundwasserneubildung GWN
- Verdunstung („Evapotranspiration“) ET_a (bestehend aus Evaporation, Transpiration und Interzeptionsverdunstung)

Für jede der Wasserhaushaltskomponenten gibt es einen sogenannten Aufteilungswert:

- a – Aufteilungswert für den Direktabfluss (R_D)
- g – Aufteilungswert für die Grundwasserneubildung (GWN)
- v – Aufteilungswert für die Verdunstung (ET_a)

Die Aufteilungswerte a, g und v nehmen Werte zwischen 0 und 1 an und ergeben in Summe den Wert 1. Es ergibt sich:

$$P_{\text{korr}} = a_F \cdot P_{\text{korr}} + g_F \cdot P_{\text{korr}} + v_F \cdot P_{\text{korr}} \quad 4 \text{ in mm/a} \quad (\text{Gl. 1})$$

Wobei P_{korr} die mittlere korrigierte jährliche Niederschlagshöhe ist. a_F , g_F und v_F sind die flächenspezifischen Aufteilungswerte für die Wasserhaushaltsgrößen. Seitens der Verdunstung gibt es regional unterschiedliche Anforderungen. Diese können aus dem Hydrologischen Atlas Deutschlands [15] oder besser aus regionalen Wasserhaushaltsbilanzen entnommen werden, sofern diese für das Plangebiet vorliegen.

4 Lysimeteranlage zur Ermittlung des Wasserhaushaltes

Lysimeteranlagen haben das Ziel, den Wasserhaushalt von Böden zu ermitteln. Dazu können Sickerwasserabflüsse und Oberflächenabflüsse gemessen werden. In der Regel bestehen die Lysimeter aus abgeschlossenen Versuchswannen. Um möglichst geringe Randeinflüsse zu haben, sollte die Seitenflächen der Lysimeter nicht von der Sonne beschienen werden, also sollte die Konstruktion am besten in den Boden eingebaut werden.

In einer Lysimeteranlage für Sickerpflaster in Fensterbach wurden im Oktober 2020 insgesamt 13 Testflächen eingebaut (Abbildung 5), auf denen Messungen des Oberflächen- und Sickerwasserabflusses durchgeführt wurden. Dabei handelt es sich nicht ausschließlich um wasserdurchlässige Pflasterbeläge, sondern auch um Referenzflächen wie eine Rasenfläche, einen wasserundurchlässigen Asphalt und einen Drainbeton. Als Lysimeter wurden im Bereich der Trag-schicht Wannen aus Edelstahl (Abbildung 3, Abbildung 4) mit einem Metallrost aus verzinktem Stahl eingebaut. Die Abmessung der Auffangwannen betragen 1.000 mm x 1.000 mm. Auf den Gitterrost wurde eine Edelstahlgaze mit einer

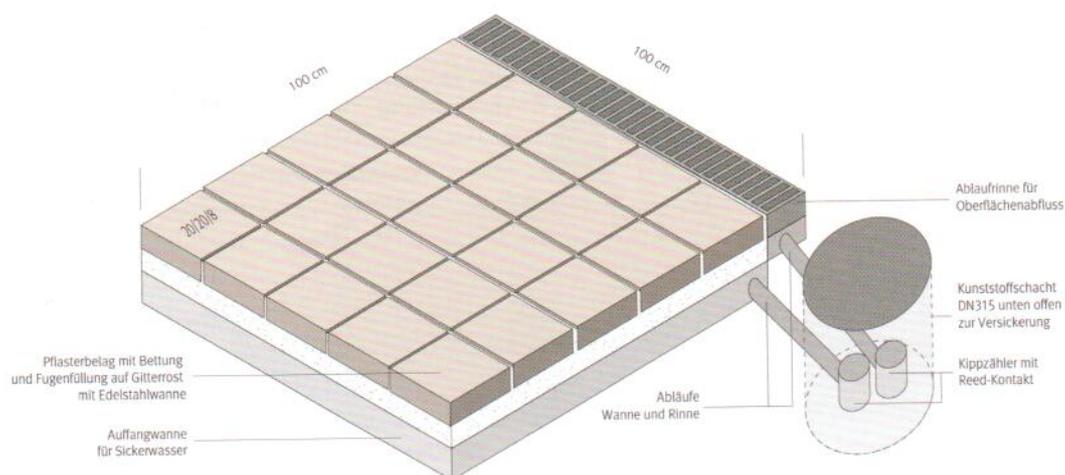


Abbildung 3: Aufbau der Lysimeter



Abbildung 4: Die Versuchsanlage während des Einbaus



Abbildung 5: Blick auf das fertiggestellte Lysimeterfeld

Maschenweite von $63 \mu\text{m}$ verlegt, damit die Feianteile der Bettung nicht ausgewaschen werden.

Auf diese Gaze folgte der Aufbau der 4 cm mächtigen Bettungslage aus einem regelwerkskonformen Split der Kornabstufung 0/5 oder 2/5. Aus den Wannen verläuft eine Rohrleitung DN 40 aus PVC in einen Messschacht DN 400 aus Polypropylen, der ebenerdig eingegraben wurde. Oberflächlich ablaufendes Wasser wird an einer Seite über eine Ablaufrinne aufgefangen und ebenfalls über eine Rohrleitung DN 40 in den Messschacht geführt. Die Testflächen weisen ein Gefälle von 1 % gemäß MVV [11] in Richtung der Ablaufrinne auf. Seitlich sind Edelstahl-Leitbleche angefügt, damit auch bei einem Aufstau kein Wasser seitlich abfließen kann.

In den Messschächten wurden Kippzähler eingebaut. Dabei handelt es sich um modifizierte Regenmesser, bei denen das Wasser über einen Trichter auf eine Kippwaage geleitet wird. Jede Kippbewegung wird über einen Reed-Kontakt an einen Datenlogger übertragen. Dieser speichert jedes Signal mit einem sekundengenauen Zeitstempel. Außerdem wurde ein Regenmesser mit Datenlogger im Bereich des Messfeldes aufgebaut, um die Niederschläge aufzuzeichnen.

5 Erste Ergebnisse der durchgeführten Messungen

Das erste Messjahr erstreckte sich von November 2020 bis Oktober 2021. Der Gesamtniederschlag am Standort betrug über den Messzeitraum 648 mm. Aus den Messwerten des Niederschlages, des Sickerwassers und des Oberflächenabflusses der Flächenbeläge wurden zunächst Tagesdaten gewonnen, da für die Bestimmung der jährlichen Verdunstungsrate keine hochaufgelösten Daten notwendig sind. Die Verdunstung wurde als die Differenz zwischen Niederschlag (P_{korr}) und Sickerwasserabfluss (GWN) + Oberflächenabfluss (OA) über den gesamten Zeitraum berechnet.

Zunächst stellte sich nach Inbetriebnahme der Anlage heraus, dass erwartungsgemäß Feinmaterial aus den Fugenfüllungen und Bettungsmaterialien ausgewaschen wurde. Damit die Kippzähler dadurch nicht blockierten, wurden Siebe in die Sammeltrichter gelegt. Am Anfang setzten sich einige dieser Siebe aufgrund der anfallenden Menge zu und blockierten den Trichter, so dass die Kippzähler übergelaufen sind. Bei einigen Betonsteinen wurde darüber hinaus ein Material ausgewaschen, das die Trichter zugesetzt hat. Es dauerte teilweise mehrere Wochen, bis das Sickerwasser bei allen Anlagen komplett frei von störenden Stoffen war. Daher konnten im ersten Versuchsjahr nicht alle Flächenbeläge und Vergleichsflächen ausgewertet werden.

Zusammenfassend sind die Ergebnisse einiger Flächen ohne Ausfälle der Messtechnik in Abbildung 6 dargestellt. Die Rasenfläche zeigt im ersten Versuchsjahr die höchste Gesamtverdunstung mit etwa 86 %, was vor allem auf den eingebauten feinkörnigen, lokalen Boden zurückzuführen ist. Allerdings zeigt diese Fläche aufgrund ihres geringen Durchlässigkeitsbeiwertes kontinuierlich Oberflächenabflüsse. Ohne Ausbildung einer Mulde ist der Boden nicht dafür geeignet, die Niederschläge komplett zu versickern. Die Rasenfuge zeigt mit fast 60 % die zweithöchste Verdunstung, was sich gut mit den Daten aus einem früheren Forschungsprojekt deckt [12]. Hier wurde ein wasserspeicherndes Substrat in der Fuge eingesetzt, welches zusammen mit der Begrünung für die hohen Werte sorgt. Diese Fläche hat aber in der Praxis den Nachteil, dass sie eine weite Fuge aufweist, die für die Überfahrbarkeit nachteilig ist. Dieser Belag eignet sich daher primär für nicht befahrene Flächen oder Stellplätze. Bei geringen Niederschlägen wie in diesem Jahr trocknet die Vegetation außerdem schnell aus, soll diese erhalten werden bedarf es einer gezielten Bewässerung. Der innovative dreischichtige Stein im Versuchsfeld zeigte eine Gesamtverdunstung von etwa 52 % und hat damit die Zielvorstel-

>>

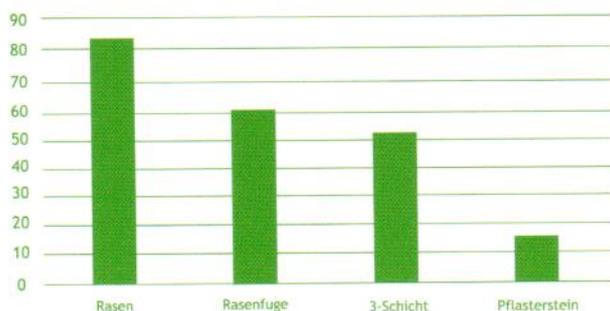


Abbildung 6: Jahresgesamtverdunstung verschiedener Flächenbeläge

lung erreichen können, er kann mit einem Aufteilungswert von 0,5 angesetzt werden. Oberflächenabfluss konnte nicht gemessen werden. Zum Vergleich ist in dem Diagramm auch der Wert für eine konventionelle Fläche aus Sickerpflaster dargestellt, der bei etwa 15 % liegt.

Die Evapotranspiration auf den Flächen ist ein komplexer Vorgang, der von den Niederschlägen (Dauer, Intensität), Trockenzeiten, der Luftfeuchtigkeit, den Temperaturen, der Sonneneinstrahlung und vom Wind abhängt. Detailliertere Auswertungen auch über kürzere Zeiträume sollen nach dem zweiten Messjahr durchgeführt werden.

6 Zusammenfassung

Das Merkblatt DWA-M 102-4/BWK-M 3-4 DWA [9], welches im Gelbdruck vorliegt, fordert für Siedlungsgebiete einen neuen Umgang mit dem Regenwasser. Zielsetzung aus quantitativer Sicht soll ein möglichst geringer Eingriff in den Wasserhaushalt sein. Das bedeutet, dass zukünftig eine Wasserhaushaltsbilanzierung für Siedlungsgebiete durchgeführt werden muss. Damit gelangt die Verdunstung in den Fokus der Planer [8]. Während die bisherigen Methoden der Stadtentwässerung vor allem auf eine Minimierung des Oberflächenabflusses und eine Versickerung des Niederschlagswassers zielen, war die Verdunstung als Zielwert bisher in den Planungsprozesse nur untergeordnet enthalten. Gerade Verkehrsflächen tragen zurzeit nicht signifikant zur Verdunstung bei. Das sollte sich angesichts der klimatischen Situation den Siedlungsgebieten in Zukunft ändern. Die Transformation von Verkehrsflächen in wasserdurchlässige Systeme, die die Verdunstung fördern ist von entscheidender Bedeutung. Wasserdurchlässige Pflaster sind seit den 90er Jahren erprobt, erfüllen alle straßenbautechnischen Regelwerke und können in vielen Bereich eingesetzt werden. Allerdings lag ihre Zielsetzung bis jetzt vor allem auf der Versickerung und der Vermeidung von Oberflächenabfluss.

Um die Verdunstungsrate von wasserdurchlässigen Pflastersystemen zu bestimmen, wurden 13 Lysimeteranlagen gebaut. Das Sickerwasser bei diesen Systemen wird über

unterirdische Wannen unterhalb der Pflasterbettung aufgefangen und über Kippzähler mit Datenloggern bestimmt. Der Oberflächenabfluss wird über seitlich angeordnete Drainagerinnen aufgefangen und ebenfalls über Kippzähler ermittelt. Erste Messungen wurden über den Zeitraum von einem Jahr von November 2020 bis Oktober 2021 durchgeführt. Aus der Differenz zwischen dem Niederschlag und dem Sickerwasser plus Oberflächenabfluss wurde für die Systeme die Verdunstung über den Jahreszeitraum berechnet. Bei einigen Testflächen wurde zunächst sehr viel Feinmaterial aus den Fugenfüllungen und den Bettungen ausgewaschen, bei anderen kam es zu einer Ausfällung aus dem frischen Beton. Diese setzten die Kippzähler über einen gewissen Zeitraum zu, so dass es zu Datenausfällen kam. Im ersten Versuchsjahr konnten daher nur die Daten einiger Testflächen vollständig ausgewertet werden.

Die Rasenfläche mit einem sehr feinkörnigen Boden zeigte im ersten Versuchsjahr die höchste Gesamtverdunstung mit etwa 86 %, allerdings ist sie die einzige Fläche im Programm mit signifikantem Oberflächenabfluss. Die begrünte Rasenfuge zeigt mit fast 60 % die zweithöchste Verdunstung, ist allerdings in ihrem Einsatzbereich limitiert. Der innovative dreischichtige Betonstein liegt bei 52 % und zeigte im ersten Jahr auch bei Starkregen keinen Oberflächenabfluss. Eine herkömmliche Sickerfläche liegt hingegen lediglich bei etwa 15 %. Mit den neuen dreischichtigen Systemen ist es nach den ersten Erkenntnissen möglich, etwa 50 % des Niederschlagswassers aktiv zur Verdunstung zu bringen.

Autor:

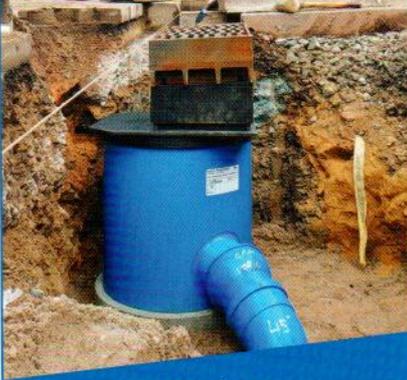
Prof. Dr. Carsten Dierkes
H2O-Research GmbH, Münster
dierkes@h2oresearch.de

Literatur:

- [1] rp-online (2022): Mehr als 800 Stunden schien die Sonne in Deutschland.- https://rp-online.de/panorama/wissen/klima/sommer-2022-hitze-und-trockenheit-als-zeichen-des-klimawandels_aid-75959347
- [2] Umweltbundesamt (2022): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-heisse-tage>
- [3] Kreß, A., Neumeier H., Wiese, P. (2022): Starkregen und Katastrophenschutz für Kommunen - Projekt KLIMPRAX Starkregen.- In Buch: FLORIAN HESSEN Edition: 02/2022, Hessisches Ministerium des Innern und für Sport
- [4] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2015): Die unterschätzten Risiken „Starkregen“ und „Sturzfluten“.- https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/bbk_starkregen.pdf
- [5] Hu, H. (2019): Analysis of Sponge City.- Sustainability in Environment, ISSN 2470-637X (Print) ISSN 2470-6388 (Online)Vol. 4, No. 2, 201

- [6] Uhl, M. (2019): Europäische Städte sind keine Schwämme.- Aqua und Gas Nr. 10, 2021
- [7] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022): Entwurf Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz.- <https://www.bmu.de/download/aktionsprogramm-natuerlicher-klimaschutz>
- [8] Hörnschemeyer, B., Kramer, S., Henrichs M, Uhl, M. (2019): Verdunstung als Zielgröße wassersensitiver Stadtplanung.- KA Korrespondenz Abwasser, Abfall · 2019 (66) · Nr. 11
- [9] DWA (2020): Merkblatt DWA-M 102-4/BWK-M 3-4, Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 4: Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers.- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef
- [10] DESTATIS (2022): Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland am 31.12.2020.- <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-insgesamt.html>
- [11] FGSV (2013): Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen (MVV).- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- [12] Klostermann, P., Coldewey, W.G., Göbel, P. (2012): Entwicklung wasserdurchlässiger und verdunstungsfähiger Pflasterstein-Beläge zum Vermeiden von Niederschlagsabflüssen zur Erhöhung der Evaporation im urbanen Raum.- Abschlussbericht, Entwicklungsprojekt mit Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), Az 23277
- [13] Deutsches Institut für Bautechnik (2015): Zulassungsgrundsätze für Niederschlagswasserbehandlungsanlagen – Teil 1: Anlagen zur dezentralen Behandlung des Abwassers von Kfz-Verkehrsflächen zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- [14] Jankiewicz, P., Neumann, J., Duijnisveld, W.H.M., Wessolek, G., Wycisk P., Hennings, V. (2015): Abflusshöhe – Sickerwasserrate – Grundwasserneubildung – Drei Themen im Hydrologischen Atlas von Deutschland.- Hydrologie und Wasserbewirtschaftung · Mai 2005
- [15] HAD (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Online unter: <https://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/HAD/index.html?lang=de>





2 in 1 – Funke Straßenablauf und INNOLET®

Entwässerung und Reinigung
in perfekter Kombination



INNOLET® für
Trockenabläufe



Weitere Informationen:




Regenwasserbewirtschaftung

Funke Kunststoffe GmbH

info@funkegruppe.de | Tel.: 02388 3071-0

www.funkegruppe.de