



Bestimmung der Pflasterdurchlässigkeit - VUBA

Aura Innovationszentrum

28. Juni 2023

Led by:

 UNIVERSITY OF HULL | ENERGY AND ENVIRONMENT INSTITUTE

Funded by:

 **European Union**
European Regional
Development Fund



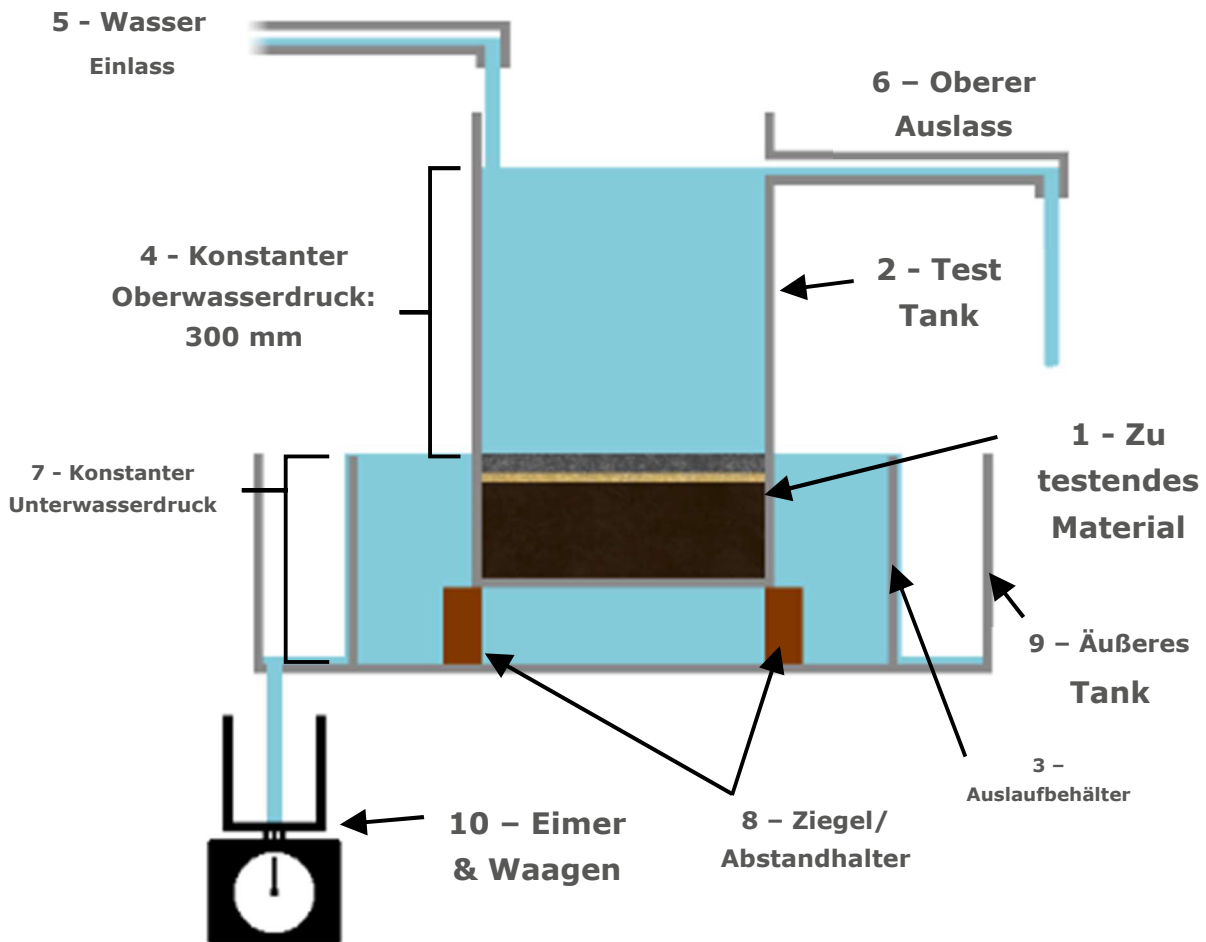
Dieser Bericht fasst das Design und die Nutzung eines Permeameters zusammen, um die Durchlässigkeit von zwei Arten von Pflasterbelägen zu bestimmen. Anschließend wird die Formulierung eines numerischen Grundwasserströmungsmodells beschrieben, um die Auswirkungen unterschiedlicher durchlässiger Pflaster auf den Abfluss in einer typischen Straße zu untersuchen.



Inhalt

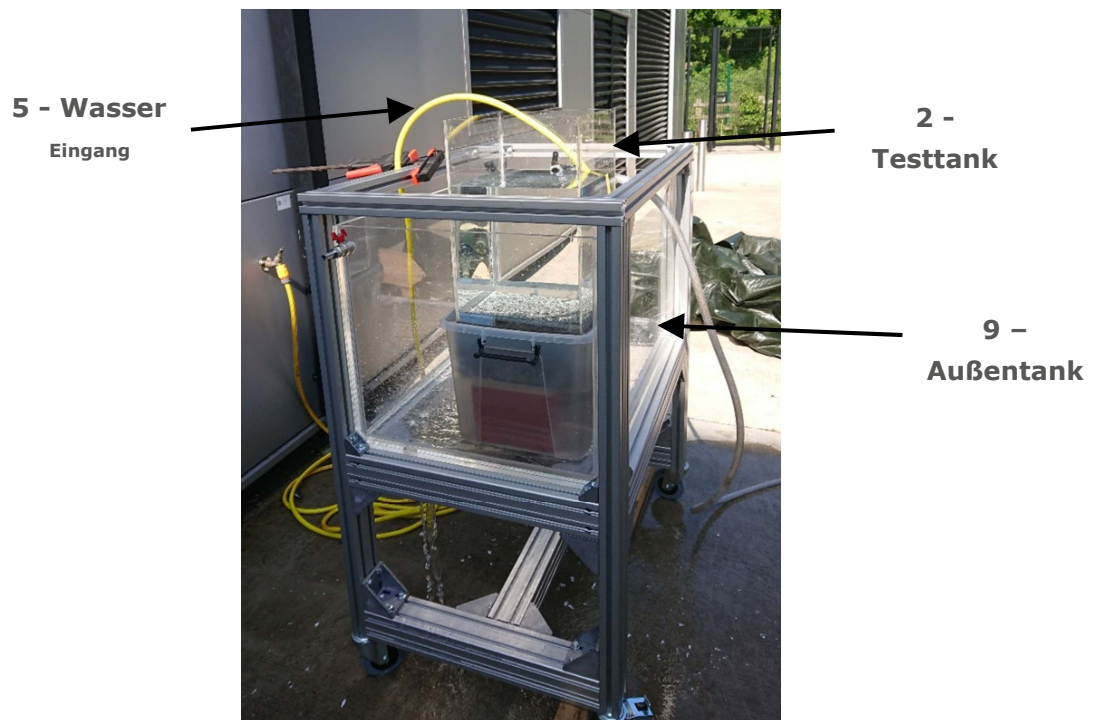
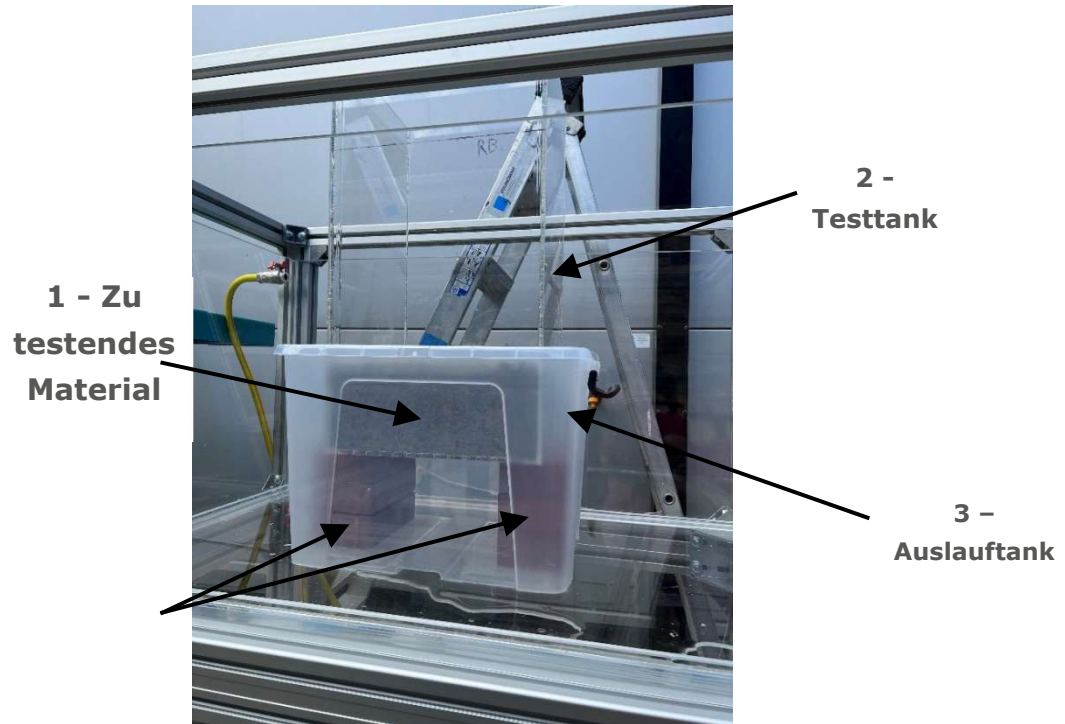
1 Physikalische Modellierung	3
1.1 Aufbau	3
1.2 Testmethode	6
1.3 Ergebnisse	8
2 Numerische Modellierung	9
2.1 Modelleinrichtung.....	9
2.2 Ergebnisse	10

1 Physikalische Modellierung



1.1 Aufbau

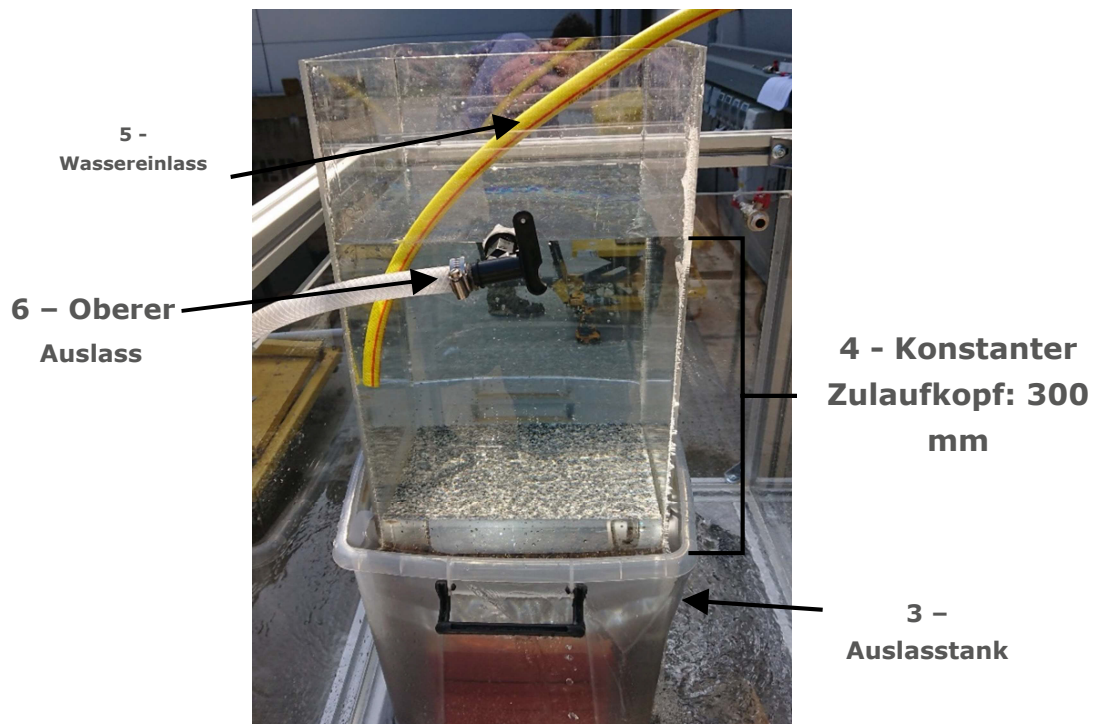
Der Prüfstand besteht aus einem inneren Prüftank, der Wasser über dem Materialmuster hält, einem Auslasstank zur Aufrechterhaltung des Wasserstands stromabwärts und einem Außentank, um den Abfluss zu erfassen und messbar zu machen. Diese Anordnung basiert auf der Norm BS EN 12697-19:2020, die sich auf Bitumenmischungen – Prüfmethode bezieht, insbesondere Teil 19: Durchlässigkeit von Proben.



Um die Durchlässigkeit des Probenmaterials (1) zu testen, ist ein konstanter hydraulischer Druck notwendig. Dieser entsteht durch den Unterschied zwischen zwei Wasserständen – dem Wasserstand über dem Probenmaterial im Prüftank (2) und dem Wasserstand im Auslassbehälter (3), in dem sich der Prüftank befindet. Der obere Wasserstand (4) wird 300 mm über der Oberseite des Probenmaterials gehalten, indem ständig Wasser aus einem Schlauch (5) in den Prüftank geleitet wird und überschüssiges Wasser durch einen 300 mm über der Oberfläche des Probenmaterials gebohrten Auslass (6) abfließen kann. Der untere Wasserstand (7) wird gehalten, indem der Auslassbehälter (3) vollständig gefüllt wird und überschüssiges Wasser über den Rand läuft. Der Wasserstand sollte mit der Oberseite des Probenmaterials ausgerichtet werden, indem der Prüftank auf Ziegeln oder anderen wasserdichten Abstandshaltern (8) angehoben wird, die so positioniert werden sollten, dass sie so wenige der Perforationen im Boden des Prüftanks (2) wie möglich abdecken. Wasser, das aus dem Auslassbehälter (3) läuft, wird in einem äußeren Tank (9) mit einem Loch oder Hahn am Boden gesammelt und mit einem Eimer und einer Waage (10) gemessen.

Für dieses Setup war es wichtig: -

- Der Wassereinlass (5) muss eine ausreichende Durchflussrate haben, um den Probenfluss zu übertreffen und so den Testtank füllen zu können.
- Der Hahn oder das Loch am Boden des Außentanks muss groß genug sein, um schnell das gesamte Wasser, das in den Außentank gelangt, abzulassen



1.2 Prüfverfahren

1. Das zu testende Straßenbaumaterial wird am Boden des Prüftanks montiert.
2. Der Prüftank wird in den Auslaftank gehoben, und das Testgerät wird wie oben gezeigt aufgebaut,
3. Das Wasser wird in den oberen Teil des Prüftanks geleitet, um die unteren und oberen Tanks auf die erforderlichen Pegel zu füllen. Sobald die Pegel erreicht sind, kann der Zufluss so verringert werden, dass er gerade ausreicht, um den oberen Pegel zu halten. Während dieser Zeit kann das Wasser ungehindert aus dem äußeren Tank abfließen.
4. Der Durchfluss durch die Anlage wird für 10 Minuten aufrechterhalten, um das Probenmaterial zu sättigen.
5. Vor jedem Test wird der Eimer gewogen, um seine Trockenmasse zu bestimmen. Anschließend wird er unter den Auslass des äußeren Tanks gestellt, um das gesamte durch das System fließende Wasser aufzufangen, und ein Timer wird gestartet. Nach einer bestimmten Zeit (meistens 30 oder 60 Sekunden) wird der Eimer entfernt, erneut gewogen und seine gefüllte Masse bestimmt.
6. Dieser Test wird mehrfach pro Probenmaterial wiederholt, um die Genauigkeit des Endergebnisses zu verbessern.

7. Um die Permeabilität zu berechnen, muss die Fließrate aus der Wassermasse und der Messzeit berechnet werden: -

Q = Fließrate (m³ s⁻¹)

m_{filled} = Eimermasse bei voller Füllung (kg)

$$Q = \frac{m_{filled} - m_{dry}}{\rho t}$$

m_{dry} = Eimergewicht, wenn leer (kg)

ρ = Dichte des Wassers (kg m⁻³; angenommen = 1)

t = Zeit zum Befüllen des Eimers

Als nächstes wird die Durchlässigkeit aus der Durchflussrate berechnet:-

K_z = Permeabilität (m s⁻¹)

Q = Fließrate (m³ s⁻¹)

$$K_z = \frac{Ql}{hA}$$

h = Höhenunterschied zwischen oberem und unterem Wasserspiegel (m; = 0,3 in diesem Aufbau)

l = Dicke des Probenmaterials (m)

A = Fläche der Probe (m²; = 0,3 x 0,3 = 0,09 m in diesem Aufbau)

1.3 Ergebnisse

Für jeden Pflastertyp wurde der obige Test 10 Mal wiederholt und das Mittelwert-Ergebnis berechnet: -

Pflastertyp	Berechneter Mittelwert Durchlässigkeit (m/s)	Standardabweichung	Standardabweichung in %
Pflastersteine	1,05 x 10 ⁻⁴	1,692 x 10 ⁻⁶	1,61
Harzgebunden Permeabel	1,98 x 10 ⁻³	5,239 x 10 ⁻⁵	2,65

Die Norm BS EN 12697 gibt an, dass die Durchlässigkeit beim Testen von porösem Asphalt typischerweise zwischen 0,5 x 10⁻³ m/s und 3,5 x 10⁻³ m/s liegt. Dieser Wert bezieht sich nur auf die Durchlässigkeit der bituminösen Mischung und berücksichtigt keine Anforderungen an die Unterlage oder Auswirkungen der eingebauten Durchlässigkeit.

Zusammenfassend zeigen diese Experimente, dass ein typisches Vuba-Harzgebundenes Produkt, das im Vergleich zu einer archetypischen Pflastersteininstallation mit entsprechenden Unterbodenstrukturen getestet wurde, einen gemessenen vertikalen Durchlässigkeitskoeffizienten von etwa 19 Mal mehr als traditionelles Pflasterstein aufweist.

2 Numerische Modellierung

2.1 Modellaufbau

Ein numerisches Modell wurde in USGS Modflow 6.3 erstellt, einem weit verbreiteten, quelloffenen Modell zur Berechnung des Grundwasserflusses, entwickelt vom U.S. Geological Survey. Zur Darstellung einer Straße hatte das Modell eine Größe von 20 x 200 m und wurde mit einer Gitterauflösung von 1 m simuliert. Vertikal wurde das Modell in 8 Schichten unterteilt, wobei die oberste Schicht 0,15 m maß und die getesteten Pflaster- und Trägermaterialien darstellte. Darunter war jede Schicht 1,5-mal so dick wie die vorherige (eine Maßnahme zur Erhaltung der Modellstabilität), sodass eine Gesamttiefe von 7,875 m modelliert wurde.

Die Permeabilität des Materials der obersten Schicht wurde auf den in Abschnitt 1 für jede Pflasterart ermittelten Wert eingestellt. Die unteren Schichten hatten eine Permeabilität von $1 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$. 10 Minuten nach Beginn des Modells fielen etwa 37,5 mm Niederschlag über 35 Minuten, mit einem Spitzenwert von 90 mm/Stunde. Dies entspricht einer intensiven Regenperiode für Großbritannien, liegt jedoch unter der höchsten jemals aufgezeichneten Regenintensität (80 mm über 30 Minuten; siehe Met Office 2023). Das Modell war in der Lage, das Versickern des Niederschlags durch die oberen, ungesättigten Bodenschichten und den Wasserfluss, nachdem er den Grundwasserspiegel erreicht hat, zu simulieren, jedoch nicht die Oberflächenwasserströmungen. Jegliches Wasser, das nicht in das Pflaster einsickerte, wurde sofort aus dem Modell entfernt, wodurch effektiv eine Straße modelliert wurde, in der ein effizientes Entwässerungssystem Oberflächenwasser schnell entfernt.

Um die Reaktion des Pflasters auf das Regenereignis zu bewerten, wurde das Volumen des vom Bodenoberfläche abgewiesenen Wassers sowie die Flussrate des Wassers, das durch die Modellgrenzen durch Grundwasserabfluss das Modell verlässt, aufgezeichnet.

2.2 Ergebnisse

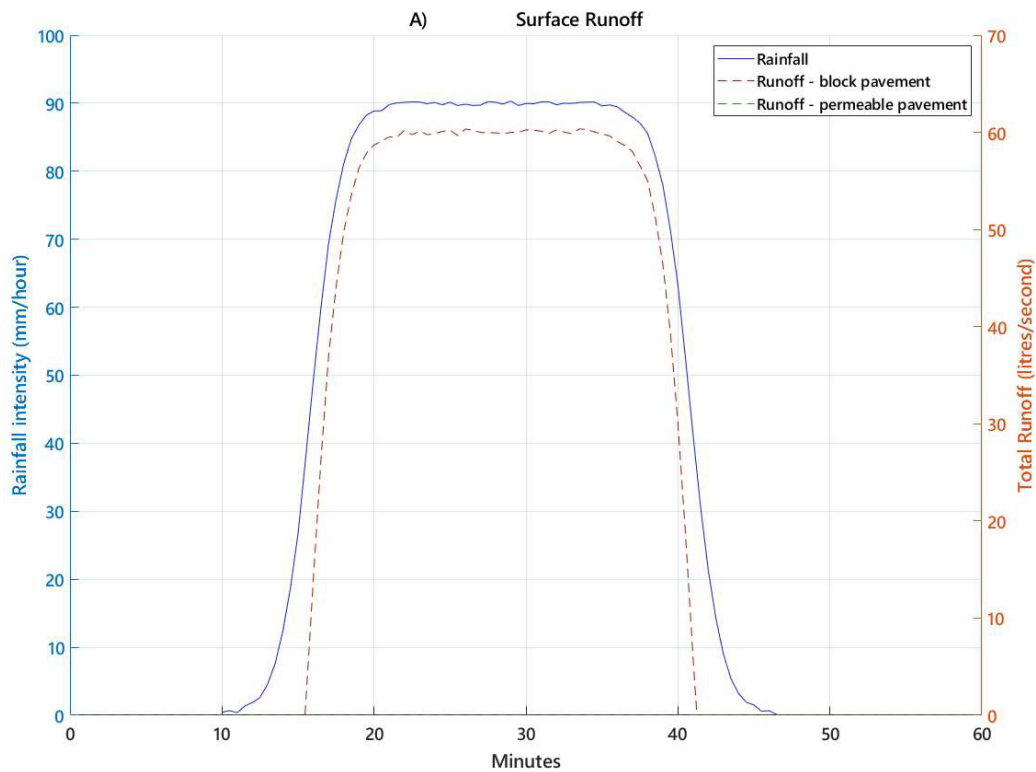


Abbildung 1: Hydrograph des gesamten Abflusses im Modell, zusammen mit der Niederschlagsintensität dargestellt.

Während des Regenereignisses verursachte der gepflasterte Belag ein Abfließen von insgesamt 82.000 Litern von der Oberfläche des Belags, mit einer maximalen Rate von ca. 60 l/sek. (siehe Abbildung 1). Der durchlässige Belag hingegen führte in dieser Simulation zu keinem Abfluss, da der gesamte Niederschlag in den Boden eindringen konnte.

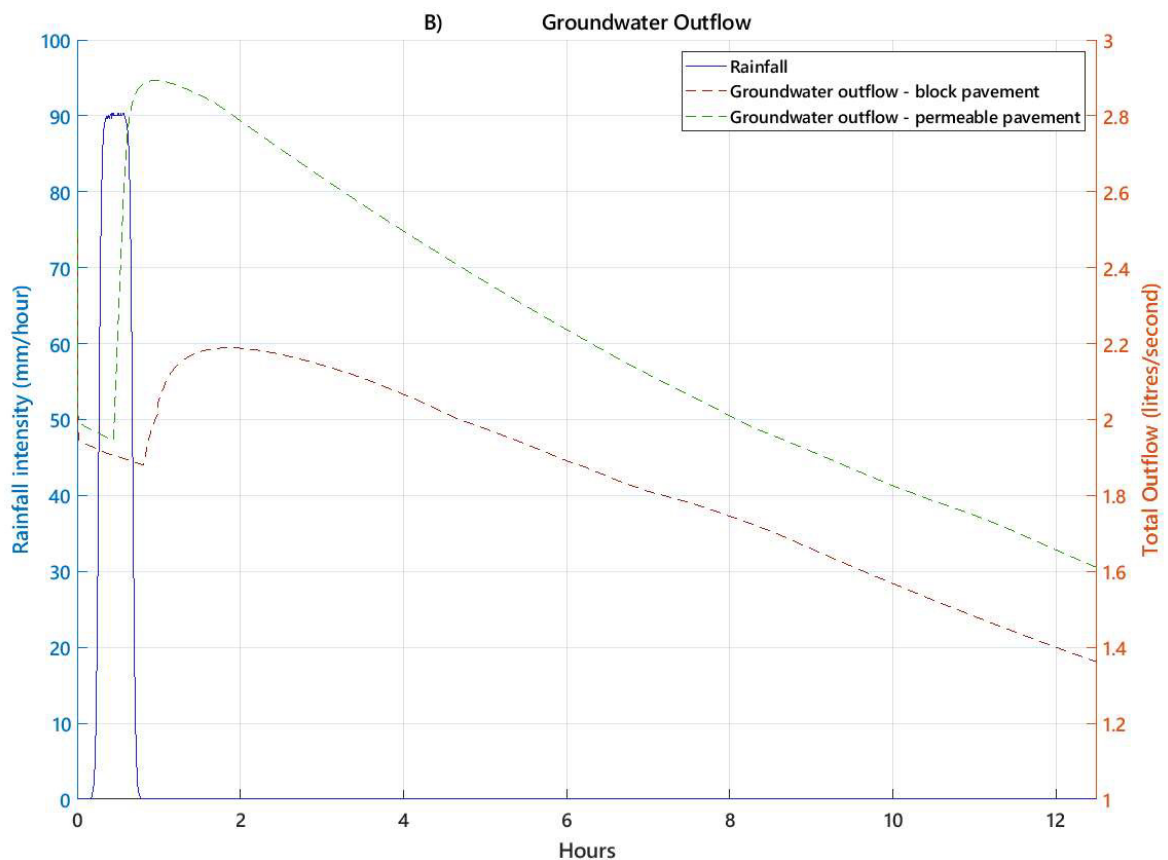


Abbildung 2: Diagramm des gesamten Grundwasserausflusses aus dem Modell, zusammen mit der Niederschlagsintensität dargestellt.

Abbildung 2 zeigt, dass durchlässiger Belag einen höheren Grundwasserfluss von den Grenzen des Modells erzeugt. Dies ist zu erwarten, da Regenwasser schneller durch den Belag eindringt und so mehr Niederschlag das Grundwasser erreicht (oder unterirdische Abflüsse, falls diese vorhanden wären). Beachten Sie, dass dieses Modell davon ausgeht, dass jeglicher Abfluss sofort von Oberflächenabflüssen erfasst und entfernt wird. Sollte dies nicht der Fall sein, könnte Regenwasser auf der Oberfläche als Pfützen gespeichert werden und nach dem Regenereignis langsam ins Grundwasser versickern, was möglicherweise zu einem längeren, niedrigeren Spitzenwert im Grundwasserausfluss für Pflastersteine führen könnte.



3 Referenzen

Met Office, 2023, Extremwetterereignisse in Großbritannien (Niederschlag);
<https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/maps-and-data/uk-climate-extremes> -
Zugriff am 20.06.2023



Flood Innovationszentrum

Aura Innovationszentrum
Bridgehead Gewerbepark,
Meadow Rd, Hessle, Großbritannien. HU13 0GD

01482 464700

floodinnovation.co.uk

SHAPING THE FUTURE OF FLOOD INNOVATION

Led by:

 UNIVERSITY OF HULL | ENERGY AND ENVIRONMENT INSTITUTE

Funded by:

 **European Union**
European Regional
Development Fund