

Abschlussbericht TransMiT

Teil B

Strategiekomponente B.II Synergien von Infrastrukturelementen

B 4.4 Messtechnik im Werkhof der Stammestraße 102 und Auswertung der Messreihe (ausgewertete Daten)

Autor*innen:

Leonore Menzel, Vanessa Reder
Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Umwelt und Stadtgrün

Kurzbeschreibung des Einzelkapitels

Für eine effiziente Flächennutzung mit Blau-Grüner-Infrastruktur ist es möglich, ein Gründach zusätzlich mit einer Solaranlage auszustatten. Dabei stellt sich die Frage, ob durch die Solaranlage das Abflussverhalten des Gründachs signifikant verändert wird.

Auf dem Dach eines Werkhofs in Hannover befindet sich eine extensive Dachbegrünung sowie auf einer Teilfläche zusätzlich eine Solaranlage. Zur Untersuchung, ob sich auf diesen beiden Teilflächen Unterschiede im Abflussverhalten bei Niederschlagsereignissen zeigen, wurde an den Fallrohren eine Messtechnik installiert. In diesem Kapitel wird zunächst die Methodik der Messungen erläutert, dann werden die Ergebnisse beschrieben und ausgewertet.

Das Abflussverhalten von Gründach und Gründach mit Solaranlage war bei den beobachteten Niederschlagsereignissen sehr ähnlich, was sich mit Ergebnissen aus anderen Studien deckt und für eine synergetische Nutzung von Dachflächen spricht. Da im Untersuchungszeitraum keine Starkregenereignisse aufgetreten sind, besteht in dieser Hinsicht weiterer Forschungsbedarf. Bei zukünftigen Studien sollten die Erkenntnisse bezüglich technischer, organisatorischer und kommunikativer Herausforderungen aus dem Projekt TransMiT berücksichtigt werden.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	iii
Abbildungsverzeichnis.....	iv
Tabellenverzeichnis.....	v
Abkürzungsverzeichnis.....	vi
1 Einleitung.....	1
2 Methodik.....	2
2.1 Auswahl des Standorts.....	2
2.2 Werkplanung.....	4
2.2.1 Aufgabenstellung.....	4
2.2.2 Hauptfunktion der Messeinrichtung.....	5
2.2.3 Geometrische Hauptabmessungen des Systems	6
2.2.4 Annahmen und Vereinfachungen.....	7
2.2.5 Durchführung der Berechnung	7
2.2.6 Tabellarische Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse.....	8
2.3 Inbetriebnahme der Abflussmessvorrichtung	11
2.4 Testdurchlauf der Messtechnik.....	13
2.5 Außerbetriebnahme	14
2.6 Auswertung der Messdaten.....	14
3 Ergebnisse.....	15
4 Diskussion.....	24
4.1 Interpretation der Ergebnisse	24
4.2 Organisatorische und technische Herausforderungen bei der Umsetzung	24
4.3 Ausblick	25
5 Literaturverzeichnis.....	26

Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	Steckbrief Werkhof Stammestraße [Quelle: TU Dortmund].....	2
Bild 2:	Dachflächen Werkhof Stammestraße [Quelle: LHH FB 67]	3
Bild 3:	Zu bemessene Teildachflächen Werkhof Stammestraße [Quelle: LHH FB 67].....	3
Bild 4:	Technische Zeichnung der Messanordnung [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020].....	4
Bild 5:	Darstellung des abgeleiteten Messsystems inklusive Benennung der Hauptkomponenten [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020].....	5
Bild 6:	Darstellung der geometrischen Hauptabmessungen des Messsystems [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020].....	6
Bild 7:	Verortung der Messtechnik im Werkhof der Stammestraße, Hannover-Linden [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020].....	9
Bild 8:	Abflussmodul DN 100_125 [Quelle: T. Baloun].....	10
Bild 9:	Darstellung Anbringung der Messtechnik [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020].....	11
Bild 10:	Eingebaute Abflussmessvorrichtung [Quelle: LHH, eigenes Foto].....	12
Bild 11:	MID der Abflussmessvorrichtung [Quelle: LHH, eigenes Foto].....	13
Bild 12:	Dachabflüsse am 17.08.2021.....	15
Bild 13:	Dachabflüsse am 22.08.2021.....	16
Bild 14:	Dachabflüsse am 22.-23.08.2021	16
Bild 15:	Dachabflüsse am 27.-28.08.2021	17
Bild 16:	Dachabflüsse am 28.-29.08.2021	17
Bild 17:	Dachabflüsse am 12.10.2021.....	18
Bild 18:	Dachabflüsse am 21.10.2021.....	19
Bild 19:	Dachabflüsse am 03.-05.11.2021	19
Bild 20:	Dachabflüsse am 01.12.2021.....	20
Bild 21:	Dachabflüsse am 04.-05.12.2021	20
Bild 22:	Dachabflüsse am 24.12.2021.....	21
Bild 23:	Dachabflüsse am 29.-30.12.2021	22
Bild 24:	Dachabflüsse am 09.01.2022.....	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der geometrischen Abmessungen [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020].....	6
Tabelle 2: Zusammenfassung der berechneten Volumenströme im Messsystem [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020].....	8
Tabelle 3: Tageswerte Niederschlagsereignisse in Hannover im September 2021 (DWD).....	18
Tabelle 4: Übersicht der erfassten Niederschlagsereignisse und Dachabflüsse.....	23

Abkürzungsverzeichnis

BGL	Bernoulli-Gleichung
BuGG	Bundesverband GebäudeGrün e.V.
DN	Nennweite
DWD	Deutscher Wetterdienst
FB	Fachbereich
GD	Gründach
KGL	Kontinuitätsgleichung
LHH	Landeshauptstadt Hannover
MID	Magnetisch-induktiver Durchflussmesser
PV	Photovoltaik-Anlage
RW	Regenwasser

1 Einleitung

Angesichts häufiger auftretender Starkregenereignisse und der Flächenkonkurrenz im innerstädtischen Bereich nehmen Zwischenspeichervolumina auf Dachflächen einen zunehmend höheren Stellenwert ein. Insbesondere bestehende Gründächer bieten sich zum Nutzen und Inwertsetzen der temporären Abflussverzögerung an. Weitergehende Erkenntnisse zum Abflussverhalten der Gründächer sollten nach Messdatenauswertung Eingang in die Überflutungsvorsorge/Starkregenstrategie der Landeshauptstadt Hannover finden.

2 Methodik

2.1 Auswahl des Standorts

Zur Ermittlung des Rückhaltepoteitals und der Drosselleistung wurden Bestandsdächer in Dortmund und Hannover auf ihre Eignung hin untersucht und ausgewählt. Die Zugänglichkeit zu den Fallrohren war in den meisten Fällen das ausschlaggebende Kriterium. Die Wahl fiel auf ein Universitätsdach in Dortmund und zwei Dachflächen eines städtischen Werkhofs in Hannover.

Werkhof Stammestraße
Landeshauptstadt Hannover
30459 Hannover

- Baujahr 2007
- Extensive Dachbegrünung min 7 cm Substrataufbau
- Abflussbeiwert C = 0,5 (bei einer Dachneigung bis 5° und einer Aufbauhöhe von 6-10 cm)
- Niederschlagsstation Petristraße
- Gebäude 1 mit Solaranlage
 - Kunststoffwannen ConSoLe, 120 Polykristalline Solarmodule mit einer Leistung von 24,6 kWp
- Messstelle: RW-Leitung DN 100 (blechummantelt und gedämmt)
- Anforderungen an die Messtechnik: kein Wasserüberlauf, da die Messtechnik sich im Inneren der Werkstatthallen befindet



Bild 1: Steckbrief Werkhof Stammestraße [Quelle: TU Dortmund]

Die ausgewählten Dachflächen in Hannover wurden begutachtet und der Werkhof Stammestraße (Gründach (GD) sowie Gründach + Photovoltaik-Anlage (PV)) in Augenschein genommen. Die zwei ausgewählten Dachflächen bieten die Möglichkeit, den Nutzen von Gründach und Photovoltaik hinsichtlich Abflussverhalten bei Niederschlagsereignissen zu ermitteln, da auf einer der beiden Dachflächen zusätzlich zum Gründach eine PV-Anlage installiert ist. Die Bepflanzung des Gründachs wurde beim Neubau mit verschiedenen Sorten Sedum erstellt, und mit der Zeit kamen in der Umgebung wachsende Gräser hinzu. Je nach Witterung dominiert mal die eine oder die andere Art (Ewald 2022).

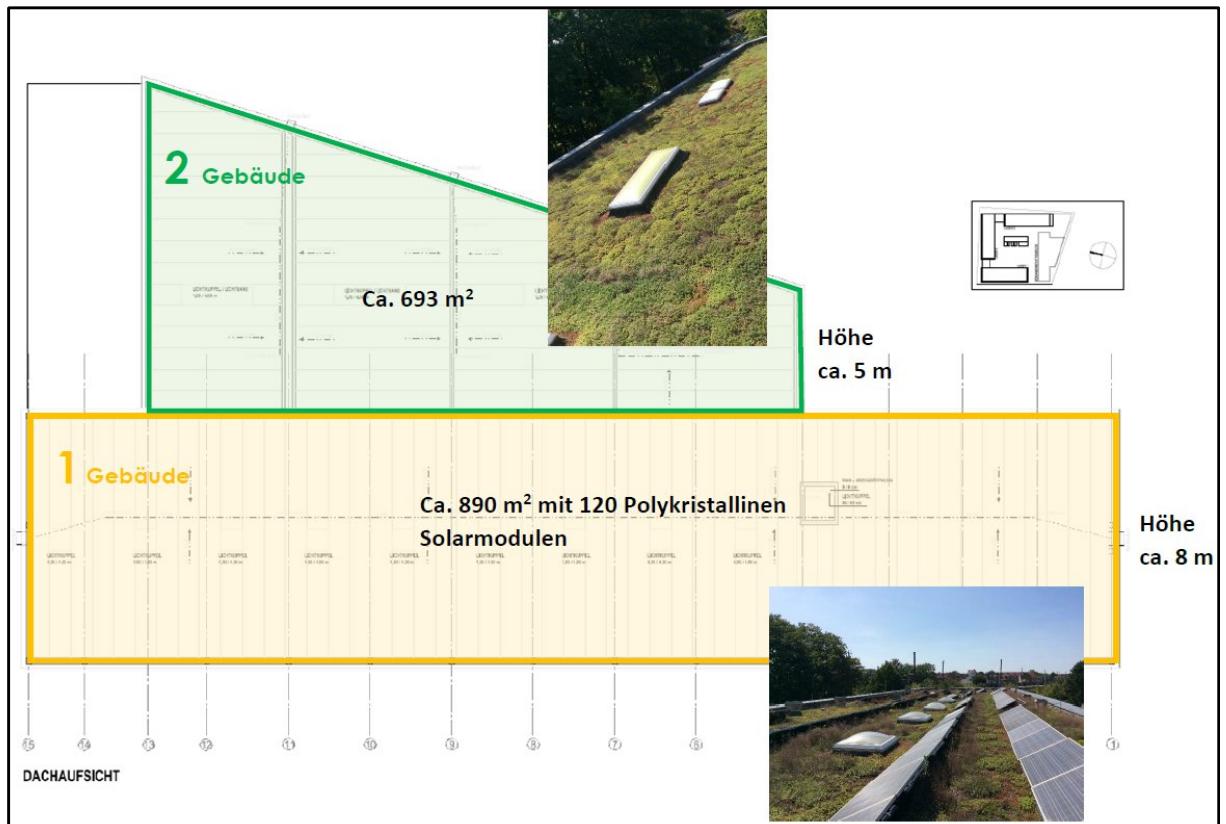


Bild 2: Dachflächen Werkhof Stammestraße [Quelle: LHH FB 67]

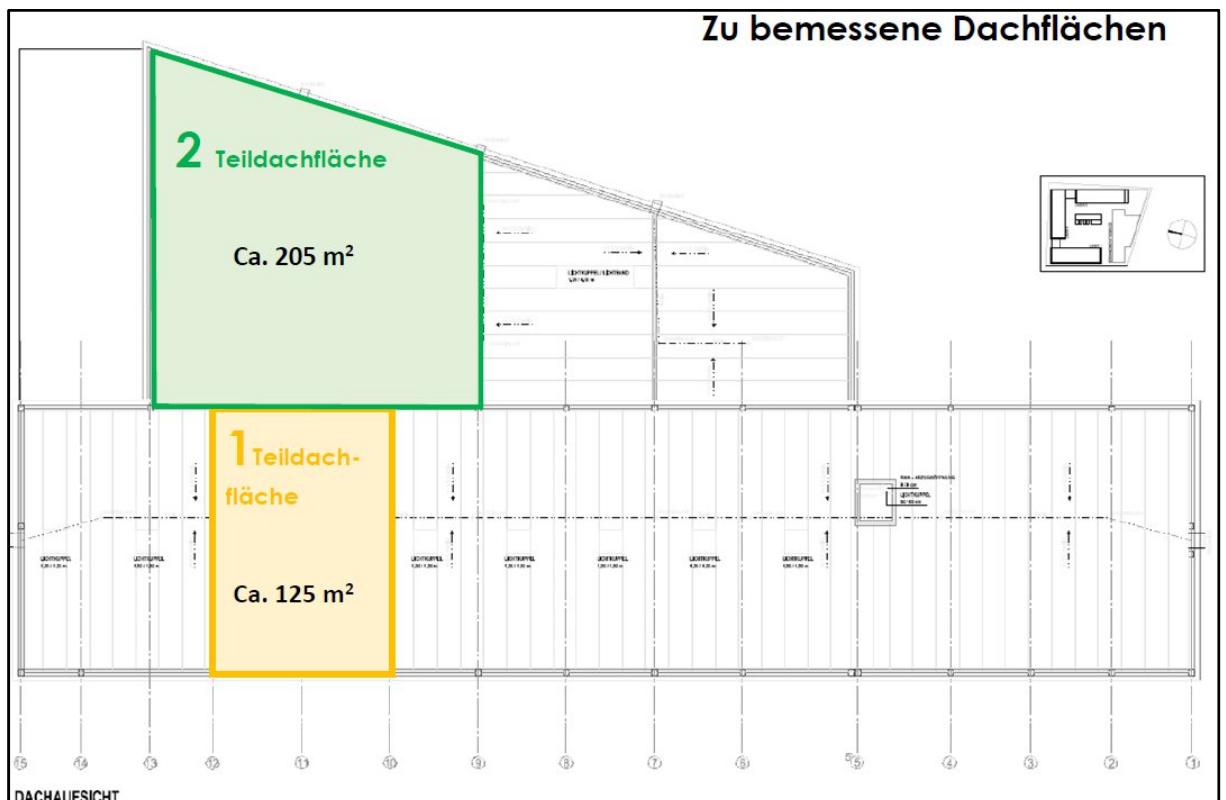


Bild 3: Zu bemessene Teildachflächen Werkhof Stammestraße [Quelle: LHH FB 67]

2.2 Werkplanung

Zur Dimensionierung der Messtechnik wurden historische Niederschlagswassermengen zusammengestellt. Aufgrund der innenliegenden Fallrohre und dem sicherzustellenden Überflutungsschutz handelt es sich um eine Sonderanfertigung der Messtechnik.

2.2.1 Aufgabenstellung

Ziele waren die Ermittlung des sich maximal einstellenden Volumenstroms innerhalb der gegebenen Anordnung, die Bestimmung der Teilvolumenströme sowie die gezielte Anpassung einer Drosselstelle zur Begrenzung eines Teilvolumenstroms. Nach Erfassung der konstruktiven Gegebenheiten und Randbedingungen, erfolgte die Zusammenfassung der Eingangsgrößen etc. für die Berechnungsvorschrift. Es ergab sich ein Gleichungssystem, welches mittels numerischer Lösungsansätze gelöst wurde. Die Berechnungsergebnisse wurden zusammengefasst dargestellt, sowie plausibilisiert.

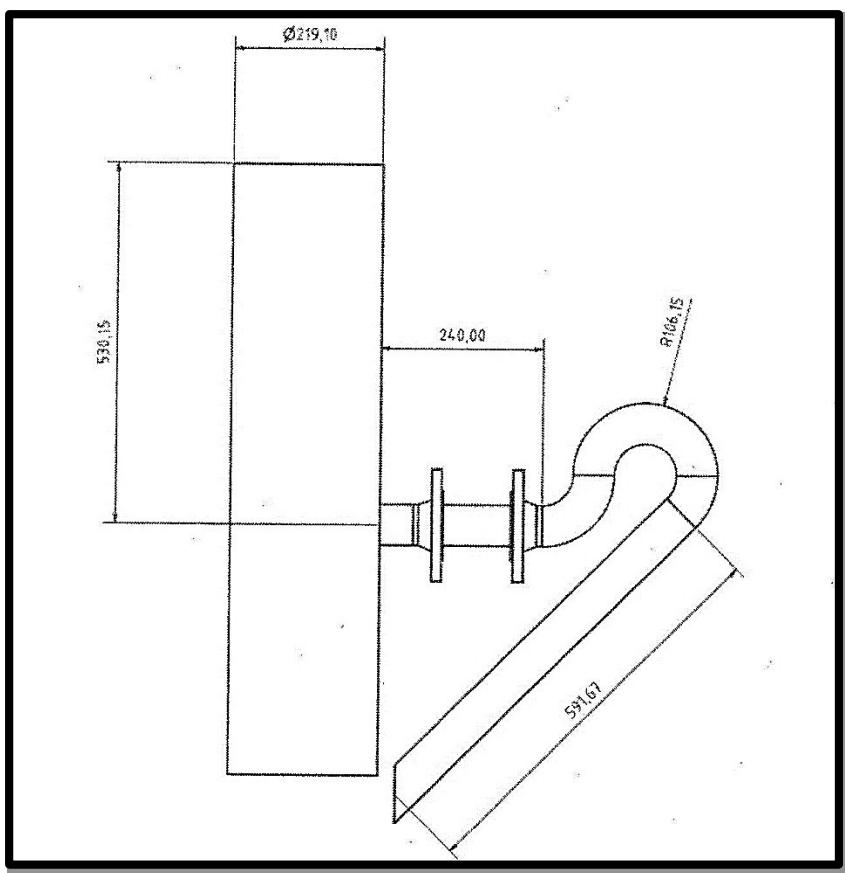


Bild 4: Technische Zeichnung der Messanordnung [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020]

Ausgangspunkt der Betrachtung stellte das in der technischen Skizze (Bild 4) dargestellten System zur Bestimmung der Abflussmenge (Dachentwässerungssystem) dar. Die Skizze zeigt die Hauptabmessungen der Messeinrichtung.

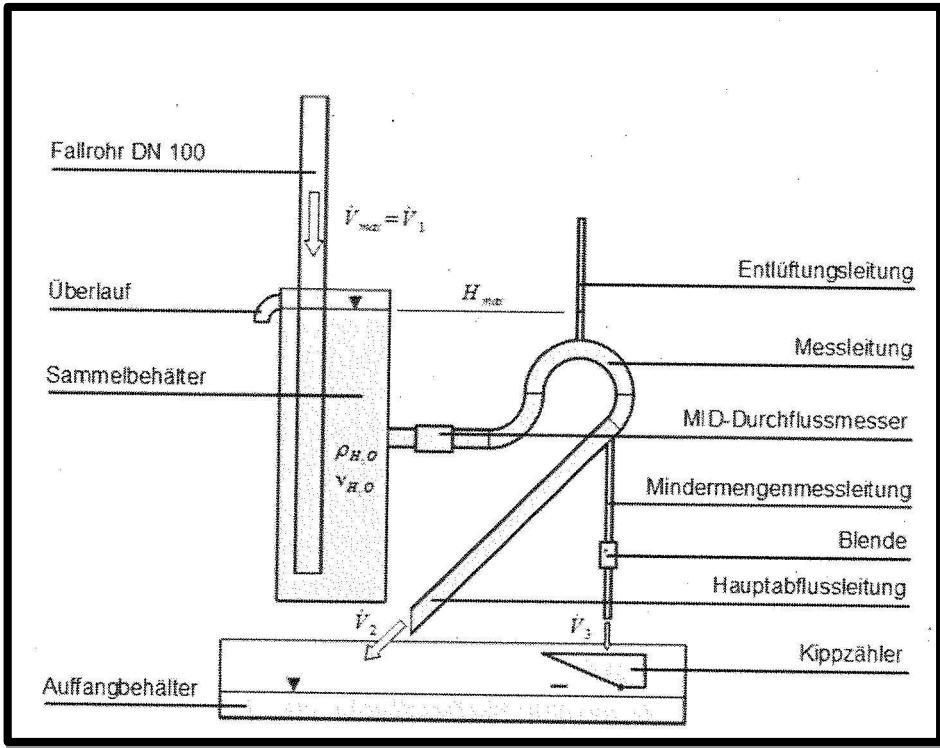


Bild 5: Darstellung des abgeleiteten Messsystems inklusive Benennung der Hauptkomponenten [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020]

Bild 5 zeigt das Messsystem, bestehend aus den Hauptkomponenten eines Sammelbehälters mit seitlich abgehender Messleitung, welches die Grundlage für die durchgeföhrten Berechnungen des maximal möglichen Volumenstroms darstellt.

2.2.2 Hauptfunktion der Messeinrichtung

Es ergab sich folgende Funktionsweise der Messtechnik:

1. Zufluss in das Messsystem vom Dach über das Fallrohr DN 100;
2. Auffangen/Aufstauen sowie grobe Schmutzablagerung im Sammelbecken,
 - a. Begrenzung des Höhenstandes durch Überlauf (oben offener Behälter);
3. Ableitung und Messung des Volumenstromes durch die Messleitung,
 - a. Seitlich vom Sammelbehälter abgehende Messleitung,
 - b. Betrachteter Leitungsinnendurchmesser $D = DN 50 = 55 \text{ mm}$ sowie dazu vergleichend $D = DN 65 = 70 \text{ mm}$;
4. Hauptvolumenstrommessung mittels MID-Durchflussmesser,
 - a. Messsystem ohne Einbauten (gerade Rohrleitung),
 - b. Messsensor muss vollständig gefüllt sein, daher Überstauung mittels Siphonleitung (U-förmige Rohrleitungsführung),
 - c. Entlüftung des Systems an der höchsten Stelle durch einfache Entlüftungsleitung;
5. Aufteilung des Volumenstroms in Hauptabflussleitung V_2 und Mindermengenmessleitung V_3 ;
6. Mindermengenmessung mittels zweiten Messsystems (Kippzähler),

- a. Vorgegebener Leitungsduurchmesser $d = \frac{3}{4}$ Zoll = 21 mm,
 - b. max. Volumenstrom darf $V_{\text{Mindermenge},\max} = V_3 < 1 \text{ m}^3/\text{h}$ nicht überschreiten,
 - c. Volumenstrom mittels Blende;
7. Freier Abfluss in einen offenen Auffangbehälter (bzw. in die Gebäudeabflussleitung).

Der maximale Durchfluss $V_{\max} = V_1$ stellt sich in Abhängigkeit von der maximalen Pegelhöhe im Sammelbehälter H_{\max} in Relation zur Anordnung der Messleitungsaustrittshöhe (welche als Referenzelevation $z = 0 \text{ m}$ verwendet wird) ein. Der max. Volumenstrom wird durch die auftretenden Verluste in den Rohrleitungen und Formstücken (Bögen, Eintritt, Blende) beeinflusst, die Teilvolumenströme sind abhängig von der Anordnung der Verzweigung und der Durchmesser der Teilleitungen.

2.2.3 Geometrische Hauptabmessungen des Systems

Auf Basis der gegebenen Angaben der technischen Skizze (Bild 4) ergaben sich die im folgenden Bild 6 dargestellte Hauptabmessungen.

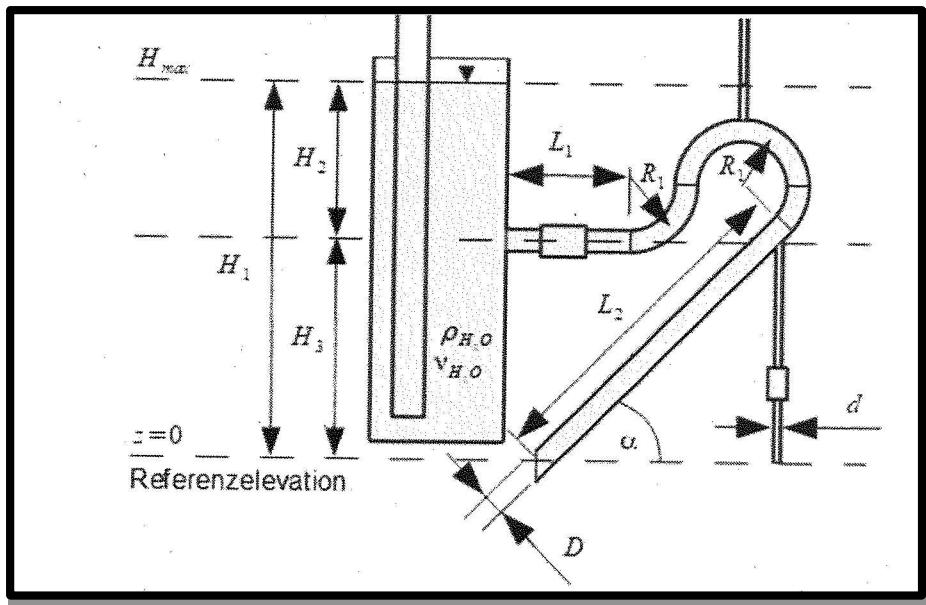


Bild 6: Darstellung der geometrischen Hauptabmessungen des Messsystems [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020]

Die für die Berechnungen verwendeten Zahlenwerte sind in der Tabelle 1 aufgelistet, diese wurden teilweise direkt aus den Angaben der Skizze entnommen und zum Teil berechnet.

Tabelle 1: Zusammenfassung der geometrischen Abmessungen [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020]

Komponente	Abmessung
Durchmesser Messleitung und Hauptabflussleitung	$D = 55 \text{ mm}$ bzw. 70 mm
Durchmesser Mindermengenmessleitung	$d = 21 \text{ mm}$
Krümmungsradius (Bögen)	$R = 76 \text{ mm}$

Anstellwinkel Hauptabflussleitung	$\alpha = 45^\circ$
Länge Messleitung inkl. MID-Sensor	$L_1 = 240 \text{ mm}$
Länge der Hauptabflussleitung	$L_2 = 592 \text{ mm}$
Maximale Höhendifferenz im Messsystem	$H_1 = 948 \text{ mm}$
Überstauhöhe im Sammelbehälter	$H_2 = 530 \text{ mm}$
Höhenunterschied Eintritt –Austritt Messleitung	$H_3 = 418 \text{ mm}$

2.2.4 Annahmen und Vereinfachungen

Folgende Annahmen und Vereinfachungen wurden für die Bestimmungen der Berechnungsvorschriften getroffen:

1. Stationäre System bei maximal befülltem Sammelbehälter: $H_1 = H_{max} = \text{konst.};$
2. „großer“ Behälter, damit verbunden die Vernachlässigung einer Fluidbewegung an der Wasseroberfläche $w_1 \approx 0;$
3. Offenes System, an der Flüssigkeitsoberfläche im Sammelbehälter und am Austritt (aus der Hauptabflussleitung und der Mindermengenmessleitung) herrscht Umgebungsdruck $P_b;$
4. Scharfkantiger Übergang zwischen Behälter und Messleitung (ohne Kantenverrundung);
5. MID-Durchflussmesser besitzt den Durchmesser und die Rauigkeit entsprechend der Messleitung (DN 50 bzw. DN 65);
6. Austritt aus der Hauptabflussleitung und der Mindermengenmessleitung liegen auf der gleichen Höhe (auf der Referenzelevation $z = 0 \text{ m}$);
7. Messleitungseintritt und Anordnung der Verzweigung liegen auf der gleichen Höhe (H_2);
8. Verluste in den Rohleitungskomponenten werden auf Basis der Berechnungsvorschriften für reibungsbehaftete Rohrströmungen und durch empirisch bestimmte Gleichungen ermittelt.

2.2.5 Durchführung der Berechnung

Für die Berechnung des Systems erfolgte die Herleitung der Rechenvorschriften auf Basis der Grundgleichungen zur Erhaltung der Masse (Kontinuitätsgleichung KGL) und der Energie (Bernoulli-Gleichung BGL) unter Berücksichtigung der auftretenden Reibungs- und Strömungsverluste. Die einzelnen Berechnungsschritte wurden wie folgt in Stichpunkten zusammengefasst.

1. Berechnungen des maximalen Volumenstroms:
 - Anwendung BGL zwischen maximalem Pegelstand des Sammelbehälters und Austritt aus der Messleitung;
 - Formulierung der Verlustgleichung für Rohreibung, Bögen, Eintritt etc.;
 - Umstellung nach der gesuchten höhenabhängigen Austrittsgeschwindigkeit;
 - Es ergab sich ein gekoppeltes System aus Austrittsgeschwindigkeit und Verlusten, welches durch einen iterativen Berechnungsablauf gelöst wurde;
 - Auf Basis der bestimmten Austrittsgeschwindigkeit wurde der Volumenstrom mittels KGL berechnet. Als dimensionierende Querschnittsfläche geht an dieser

- Stelle die Summe der Teilquerschnittsflächen von der Hauptabflussleitung und der Mindermengenmessleitung ein;
- Der bestimmte Volumenstrom geht als Randbedingung in die folgend erläuterte Berechnung der Teilvolumenströme ein.
- Bestimmung der Teilvolumenströme:
 - Berechnung als verzweigtes System in Anlehnung an die Berechnung von komplexen Leitungsnetzen aus der Elektrotechnik;
 - Anwendung der Massenerhaltung durch die vorzeichenbehaftete Bilanzierung an den Knotenpunkten;
 - Anwendung der erweiterten BGL zwischen den Knotenpunkten und den Austrittsöffnungen;
 - Berücksichtigung der Verluste durch die Formulierung eines hydraulischen Widerstands;
 - Es ergibt sich ein (nichtlineares) Gleichungssystem, dieses wird linearisiert und aufgelöst;
 - Die Teilvolumenströme ergeben sich in Abhängigkeit vom Eintrittsvolumenstrom, welche Ergebnis des ersten Berechnungsabschnittes ist.
 - Kombination der Berechnungsansätze aus Punkt 1 und 2 zur Berechnung des Gesamtsystems:
 - Die beiden Systeme werden in einem Berechnungsskript unter Zuhilfenahme iterativer Berechnungsschritte und Berechnungsvorschriften (Rohreibung, Verlustterme etc.) in der Software GNU Octave berechnet;
 - Es erfolgte eine manuelle Anpassung des Verlustbeiwertes der Blende, sodass der maximale Volumenstrom in der Mindermengenmessleitung eingehalten wurde.

2.2.6 Tabellarische Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Es erfolgte die Betrachtung der Volumenströme für zwei Nennweiten (DN 50 und DN 65). Nach manueller Anpassung des Verlustbeiwertes der Blende wurde ein Wert von Blende = 2 m³/h für beide Berechnungen festgelegt.

Tabelle 2: Zusammenfassung der berechneten Volumenströme im Messsystem [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020]

Volumenstrom	DN 50	DN 65
$V_{\max} = V_1$	16,8 m ³ /h	25,9 m ³ /h
$V_{\text{Haupt}} = V_2$	15,9 m ³ /h	25,2 m ³ /h
$V_{\text{Mindest}} = V_3$	0,9 m ³ /h	0,7 m ³ /h

Durch das aufgestellte Berechnungssystem lassen sich gute Ergebnisse zur Abschätzung des Volumenstroms erzielen. Zu beachten wäre, dass es infolge der Verluste beim Einströmen aus dem Fallrohr in das Sammelbecken zu einer „Überhöhung“ der Flüssigkeit im Fallrohr kommt. Die Anordnung der Fallrohrleitung, „im Sumpf“ des Sammel- und

Absetzbehälters des Messsystems verursacht Strömungsverluste, die sich in abweichenden Pegelständen zwischen Fallrohr- und Sammelbecken zeigen.

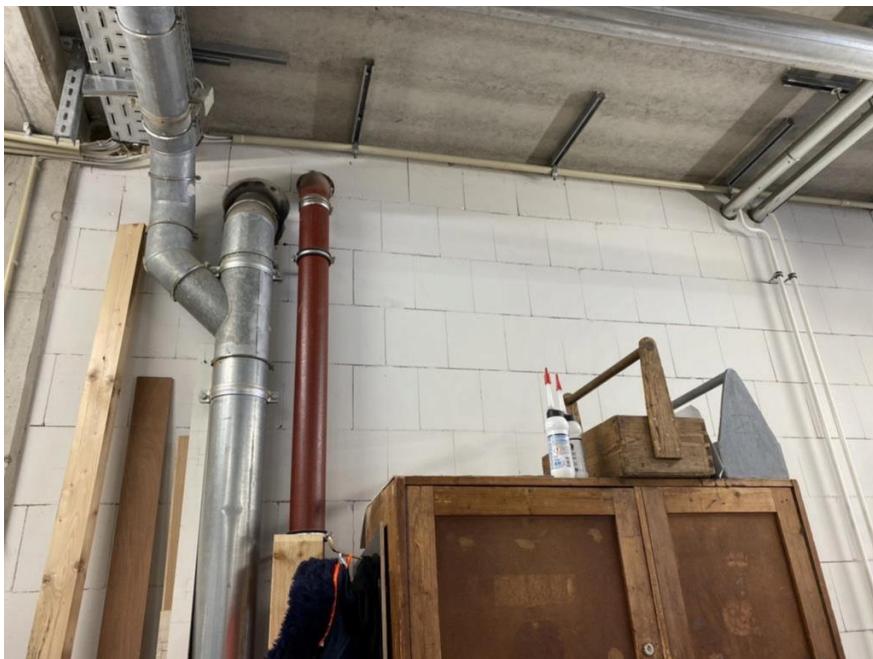


Bild 7: Verortung der Messtechnik im Werkhof der Stammestraße, Hannover-Linden [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020]

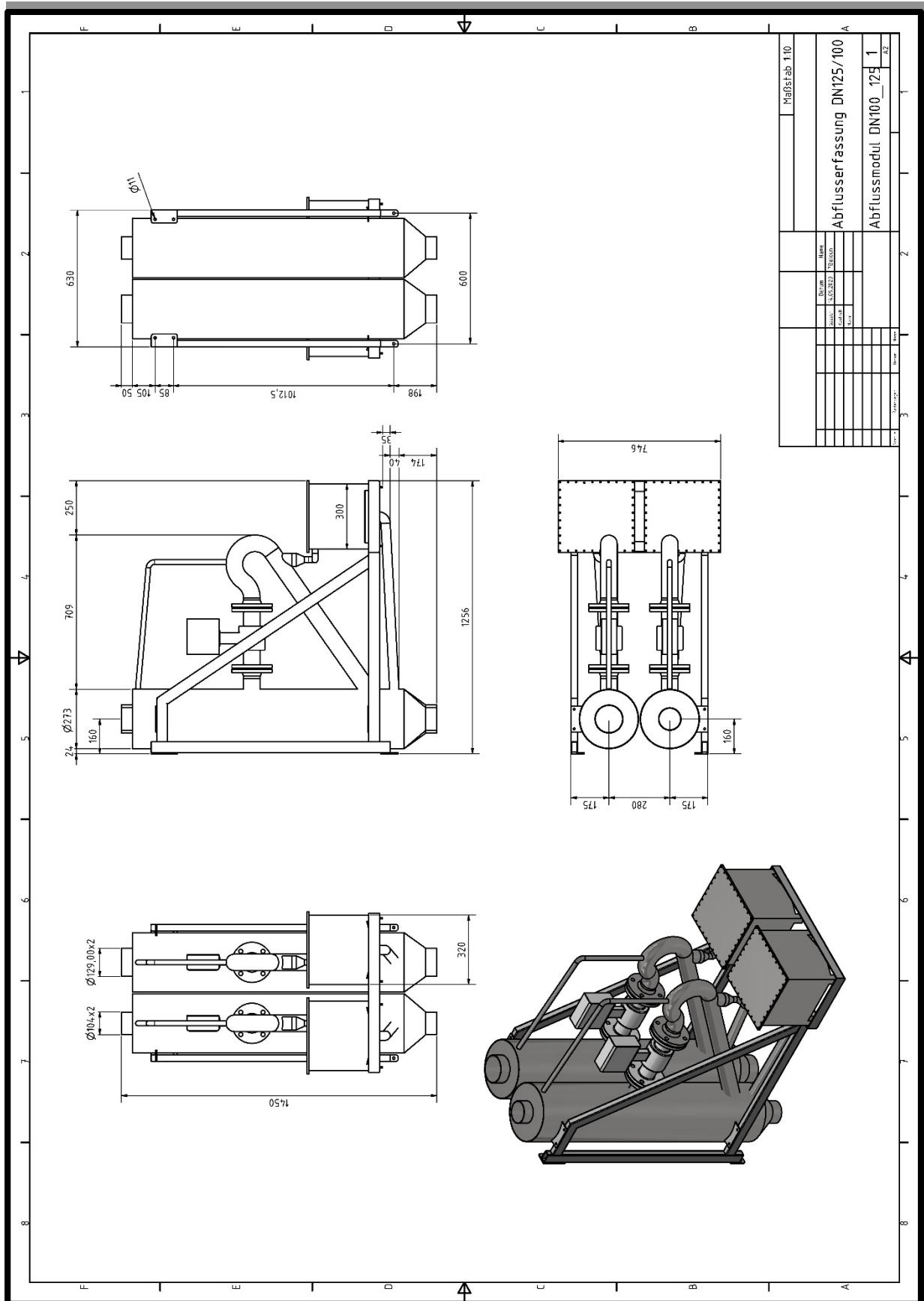


Bild 8: Abflussmodul DN 100_125 [Quelle: T. Baloun]

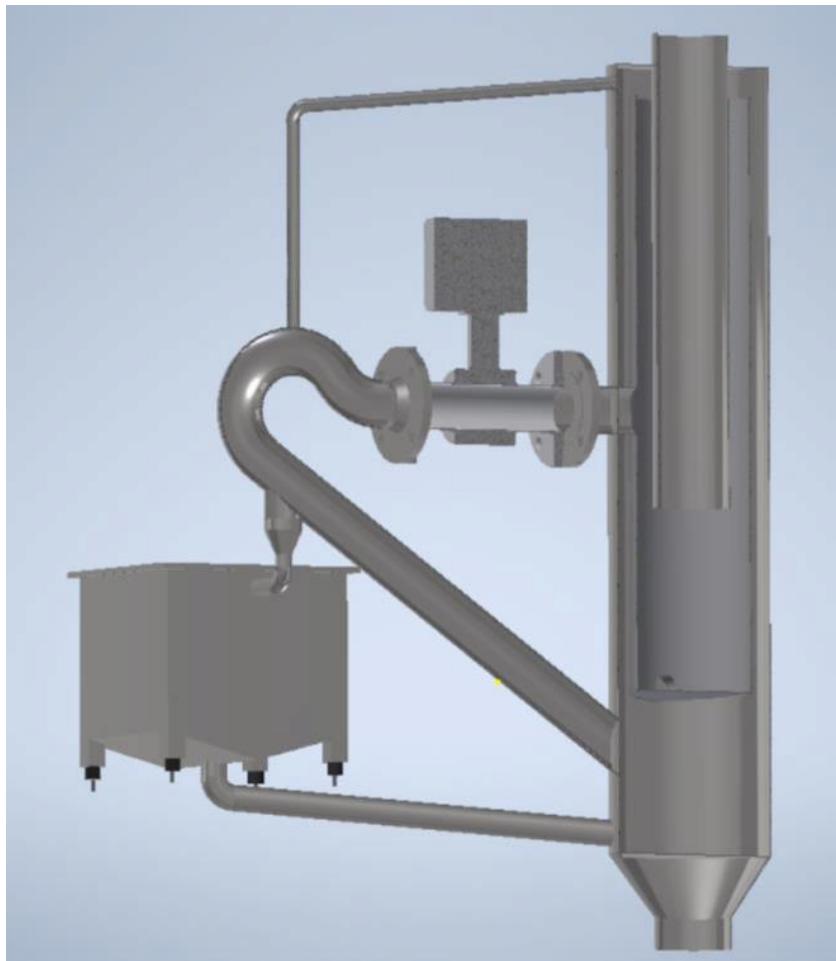


Bild 9: Darstellung Anbringung der Messtechnik [Quelle: T. Baloun, Stand 10.08.2020]

2.3 Inbetriebnahme der Abflussmessvorrichtung

Am 31. März 2021 hat am Nachmittag die Inbetriebnahme der Abflussmessvorrichtung stattgefunden. Anwesend waren ein*e Vertreter*in der Stadtentwässerung Hannover, des Fachbereichs Umwelt und Stadtgrün und der Firma UP „Umweltanalytische Produkte GmbH“.

Zu der Inbetriebnahme gehörte eine ausführliche Funktionsprüfung und Sichtung der angebrachten und installierten Messtechnik. Hierbei sind fehlerhafte Schläuche ausgetauscht worden. Zur Funktionsprüfung war es außerdem erforderlich, die Deckel der Kippzähler zu öffnen, wobei festgestellt wurde, dass beim 100er Abfluss die Wippe nicht richtig in der Auflage saß. Somit wäre der Kippzähler nicht funktionsfähig gewesen. Dieses Problem wurde umgehend behoben.

Es wurden folgende Einstellungen am MID (Magnetisch-induktiver Durchflussmesser) vorgenommen:

- Einheit Volumenstrom l/h (LPH)
- Einheit Volumen (L)
- Skalenendwert 30.000 l/h

Für das Analogausgangssignal bedeutete das:

$$\Delta 400 \text{ mV} \approx 0 \text{ l/h} - 2.000 \text{ mV} \approx 30.000 \text{ l/h} - 1.600 / 30.000: 0,0533 \text{ mV/l/h}$$

Die Konfiguration des Datenloggers erfolgte mithilfe des Programms DeltaLINK.

Es wurde ein Messintervall von 5 min eingestellt. Das Messsignal wurde alle fünf Minuten abgefragt, die Auslöseanzahl der Kippzähler sind auf 5 min aufsummiert worden. Für die Auswertung ist es wichtig, dass solange der Durchfluss unter 35 l/min liegt, der Kippzähler den gesamten Volumenstrom erfasst. Bei größeren Durchflüssen musste der Messwert des MID berücksichtigt werden, die Kipps gaben den Hinweis auf Beginn und Ende des Ereignisses. Die Einstellungen des MID wurden so vorgenommen, dass er wie ein Wasserzähler funktionierte und die gesamte Abflussmenge erfasste. Eine regelmäßige Kontrolle bzw. Auslese des MID ist erfolgt. Aufgrund pandemiebedingter Lieferschwierigkeiten und des zeitweise verhängten Lockdowns konnte der Einbau und die Inbetriebnahme erst später als geplant erfolgen. Daher war der Messzeitraum geringer als ursprünglich im Vorhaben angegeben.



Bild 10: Eingebaute Abflussmessvorrichtung [Quelle: LHH, eigenes Foto]



Bild 11: MID der Abflussmessvorrichtung [Quelle: LHH, eigenes Foto]

2.4 Testdurchlauf der Messtechnik

Am 13. August 2021 hat von 8:00 – 10:00 Uhr der Testdurchlauf der Messtechnik im Werkhof der Stammestraße in Hannover-Linden stattgefunden. Das TransMiT-Projekt wurde durch die Stadtentwässerung Hannover und dem Fachbereich Umwelt und Stadtgrün vertreten. Damit ein erfolgreicher Testdurchlauf gewährleistet werden konnte, war es notwendig eine große Wassermenge durch den Dachablauf beider Teildachflächen durchlaufen zu lassen. Auf beiden Dachflächen mussten Absturzsicherungen nach- und aufgerüstet werden, sodass aufgrund der Arbeitssicherheit kein*e städtische*r Mitarbeiter*in die Dachfläche betreten durfte. Aus diesem Grund ist die Firma Ewald Bedachungen für diese Aufgabe beauftragt worden. Ewald Bedachungen hat zudem die Dachbegrünung des Objektes angelegt und ist für die Pflege zuständig. Bevor die Bewässerung starten konnte, wurde festgestellt, dass der Dachablauf mit einem Ameisenest verstopft war. Auch hier zeigt sich das Erfordernis einer regelmäßigen Sichtung, Pflege und Endstandsetzung einer Dachbegrünung. Im Hinblick auf einen reibungslosen Dachablauf sind diese in regelmäßigen Abständen zu prüfen und ggf. zu reinigen.

2.5 Außerbetriebnahme

Die Abflussmessvorrichtung wurde in der Stammestraße im Werkhof der Landeshauptstadt Hannover, Städtisches Tiefbauamt, eingebaut. In dieser Halle arbeiten täglich Mitarbeiter*innen und halten dort auch ihre Pausen ab. Während der Messungen sind viele Mitarbeiter*innen-Beschwerden eingegangen, dass die Messtechnik viel zu laut sei. Dieses wurde vom TransMiT-Team überprüft und bestätigt. Der Kippzähler verursacht eine sehr hohe und plötzlich auftretende Lautstärke, sodass das Arbeiten dort erschwert wurde. Die für die Mitarbeiter*innen nicht zumutbare Situation sollte mit Hilfe einer Dämmvorrichtung gelöst werden. Das Ergebnis war nicht zufriedenstellend. Der Lärm der Kippzähler konnte nicht unterbunden werden. Nach einer Begehung der internen Arbeitssicherheit ist die Anweisung ausgesprochen worden, den lärmintensiven Kippzähler unverzüglich auszubauen.

Die Messungen konnten aus diesem Grund nicht weiter durchgeführt werden. Die Außerbetriebnahme der Abflussvorrichtung hat am 27. Januar 2022 stattgefunden, sodass die Messtechnik vor Ablauf des Forschungszeitraumes abgebaut wurde und der Messzeitraum nicht wie geplant ein ganzes Jahr betrug. Die restlichen Messergebnisse konnten auf einem USB-Stick sichergestellt und ausgewertet werden.

Für zukünftige Installationen muss zwingend auf eine Geräuschproduktion in Innenräumen geachtet und diese im Vorfeld mit in die Planung aufgenommen werden, um eine reibungslose Messreihe zu garantieren.

2.6 Auswertung der Messdaten

Ausgewertet wurden alle Niederschlagsereignisse, die zu Dachabflüssen mit Spitzen von mindestens 5 l innerhalb von 5 min geführt haben. Es wurde jeweils der zeitliche Verlauf des Dachabflusses betrachtet und zwischen Gründach sowie Gründach mit PV verglichen.

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die aufgezeichneten Messdaten der Kippzähler präsentiert und ausgewertet.

Im Beobachtungszeitraum vom 13.08.2021 bis 27.01.2022 traten 13 Niederschlagsereignisse auf, die zu Dachabflüssen mit Spitzen von 5 l oder mehr innerhalb von 5 min geführt haben und somit in die graphische Auswertung der erfassten Kippzählerdaten einbezogen wurden. Da die beiden betrachteten Teildachflächen unterschiedlich groß sind (Gründach 140 m², Gründach mit PV 125 m²), wurden die Messwerte für bessere Vergleichbarkeit als Abfluss pro angeschlossene Dachfläche ausgewertet (Liter pro Quadratmeter). Zur besseren Einordnung der Messwerte wird die tägliche Niederschlagshöhe laut DWD für Hannover mit angegeben, außerdem der Niederschlag am Vortag sowie in der Vorwoche (Tabelle 4). Diese können das Abflussverhalten vom Gründach mutmaßlich beeinflussen.

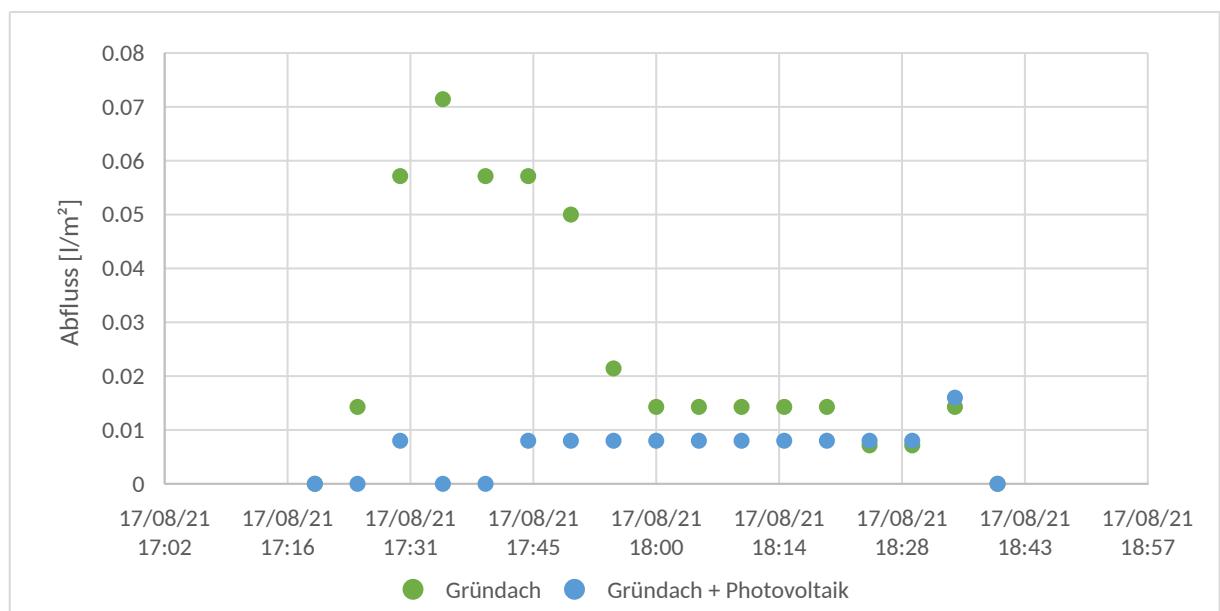


Bild 12: Dachabflüsse am 17.08.2021

Am 17.08.2021 lag die tägliche Niederschlagshöhe bei 3,2 mm (DWD, Hannover). Der Abfluss vom Gründach war deutlich höher als vom Gründach mit PV.

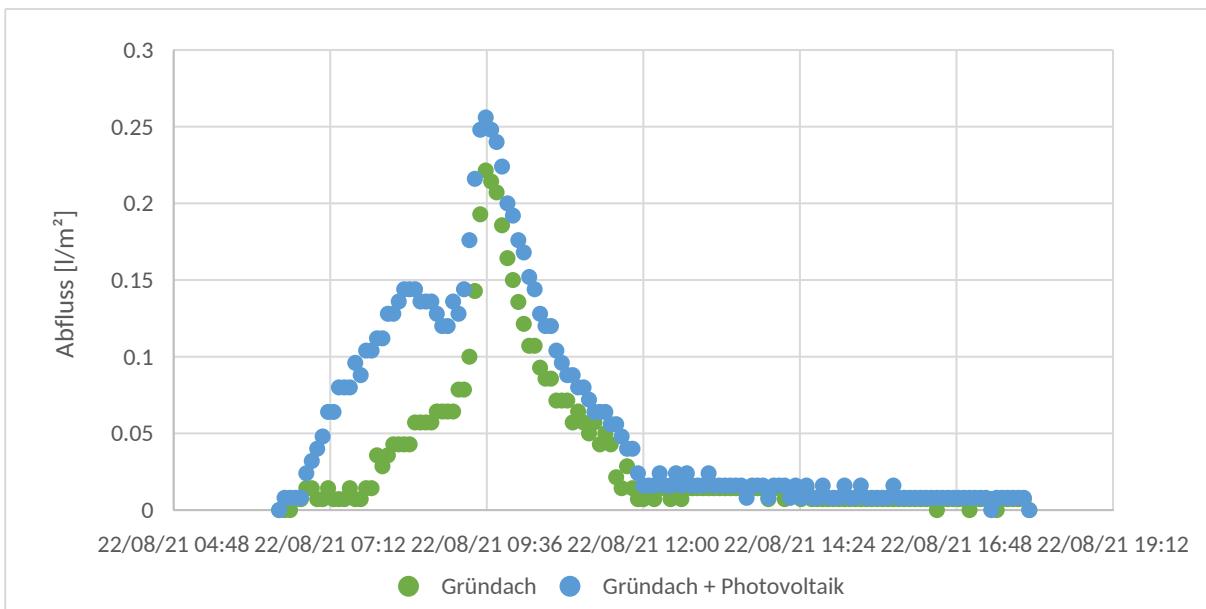


Bild 13: Dachabflüsse am 22.08.2021

Am 22.08.2021 lag die tägliche Niederschlagshöhe bei 16,6 mm (DWD, Hannover). Laut DWD hatte es am Vortag bereits 7,9 mm Niederschlag gegeben und in der Vorwoche insgesamt 30 mm. Der Abfluss vom Gründach war im Vergleich zu Gründach mit PV erst zeitlich verzögert messbar. Außerdem hatte das Gründach mit PV eine höhere Abflussspitze als das Gründach.

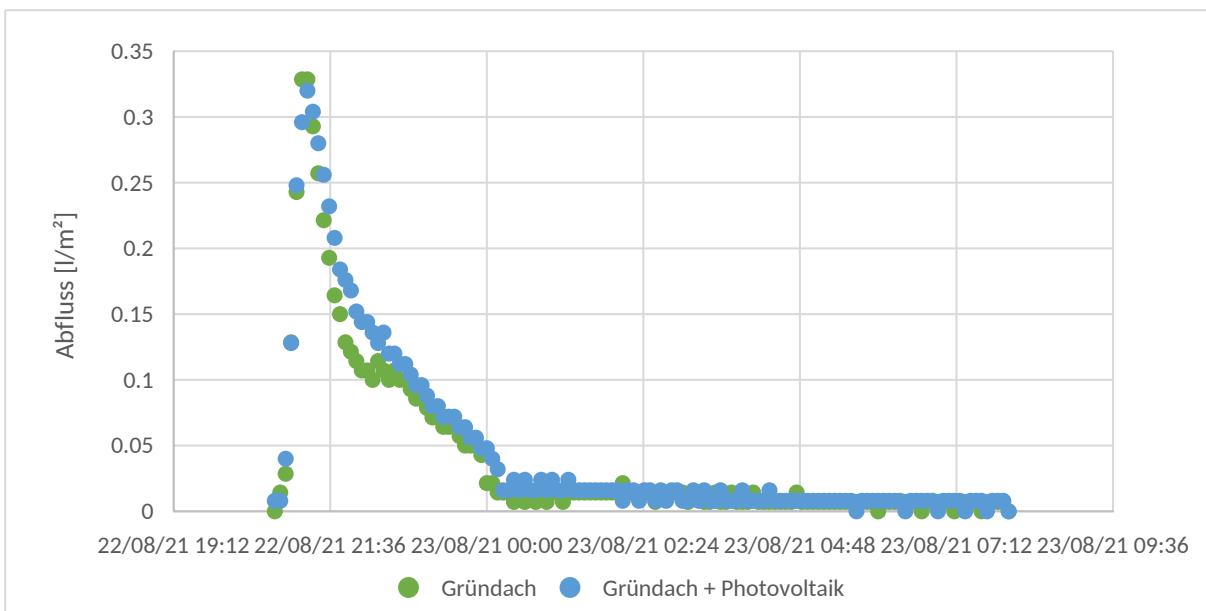


Bild 14: Dachabflüsse am 22.-23.08.2021

Am 22.08.2021 lag die tägliche Niederschlagshöhe bei 16,6 mm und am 23.08.2021 bei 0 mm (DWD, Hannover). Wie in Bild 13 zu erkennen, gab es am 22.08.2021 bereits gegen 9:35 Uhr ein Regenereignis. Der Verlauf der Dachabflüsse ist sehr ähnlich bei Gründach und Gründach mit PV, es ist keine Verzögerung erkennbar. Das Gründach weist eine etwas höhere Abflussspitze auf als das Gründach mit PV.

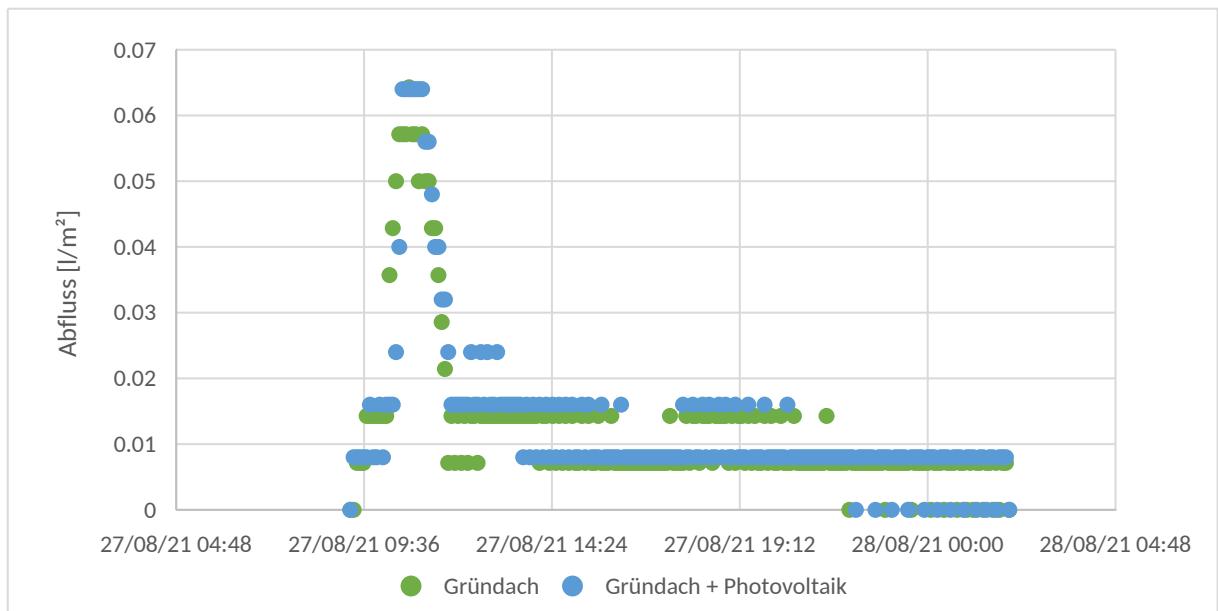


Bild 15: Dachabflüsse am 27.-28.08.2021

Am 27.08.2021 lag die tägliche Niederschlagshöhe bei 9,3 mm (DWD, Hannover). Insgesamt lag der Niederschlag am Vortag bei 0,6 mm und in der gesamten Vorwoche bei 26 mm (DWD). Der Verlauf der Dachabflüsse ist bei Gründach sowie Gründach mit PV sehr ähnlich. Am Vortag (26.08.2021) war bereits leichter Niederschlag ab ca. 12 Uhr aufgetreten (mit Dachabfluss von max. 3 l / 5 min).

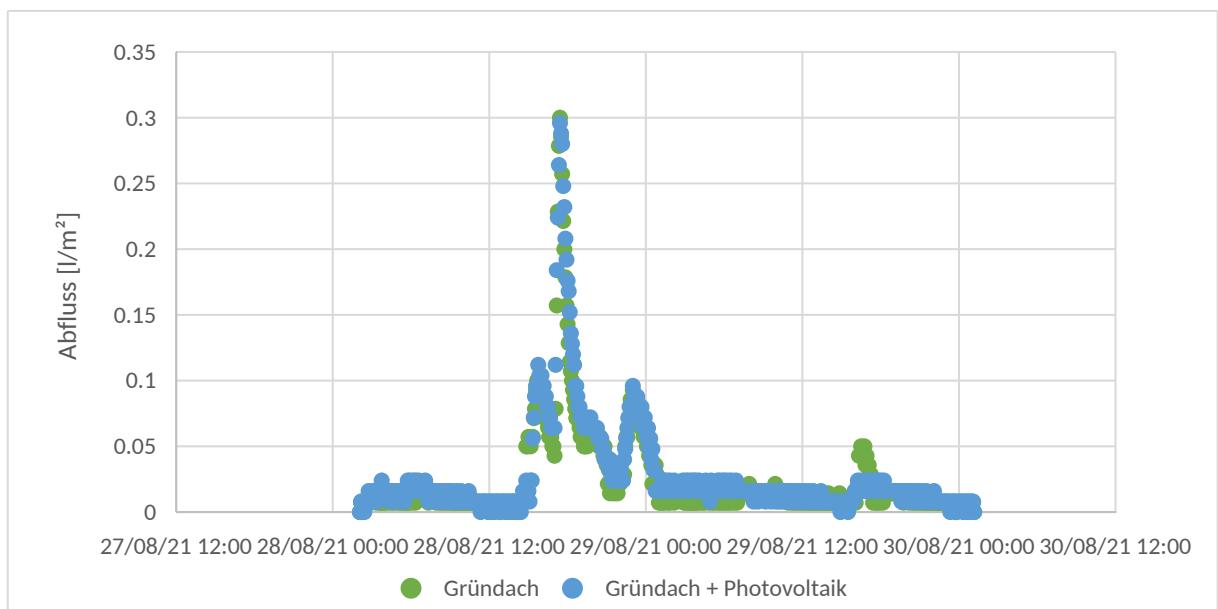


Bild 16: Dachabflüsse am 28.-29.08.2021

Am 28.08.2021 lag die tägliche Niederschlagshöhe bei 15,1 mm und am 29.08.2021 bei 4,6 mm (DWD, Hannover). Am 27.08.2021 gegen 10:45 Uhr gab es wie in Bild 15 zu sehen bereits ein Niederschlagsereignis mit einem Abfluss von max. 9 l / 5 min. Insgesamt hat es

am Vortag: 9,3 mm und in der Vorwoche 35,3 mm geregnet (DWD). Der Verlauf der Dachabflüsse ist bei Gründach sowie Gründach mit PV sehr ähnlich.

Tabelle 3: Tageswerte Niederschlagsereignisse in Hannover im September 2021 (DWD)

Datum	Tägliche Niederschlagshöhe [mm]
09.09.2021	1,9
10.09.2021	0,2
12.09.2021	0,8
15.09.2021	6,7
16.09.2021	0,5
18.09.2021	0,1
23.09.2021	0,5
26.09.2021	8
27.09.2021	5,8
29.09.2021	2,5

Im September 2021 wurden keine Niederschlagsereignisse mit nennenswerten Dachabflüssen aufgezeichnet. Diese Beobachtung steht im Widerspruch zu den Messdaten des DWD in diesem Zeitraum für Hannover, welche durchaus auf signifikante Niederschlagsereignisse hinweisen (Tabelle 3).

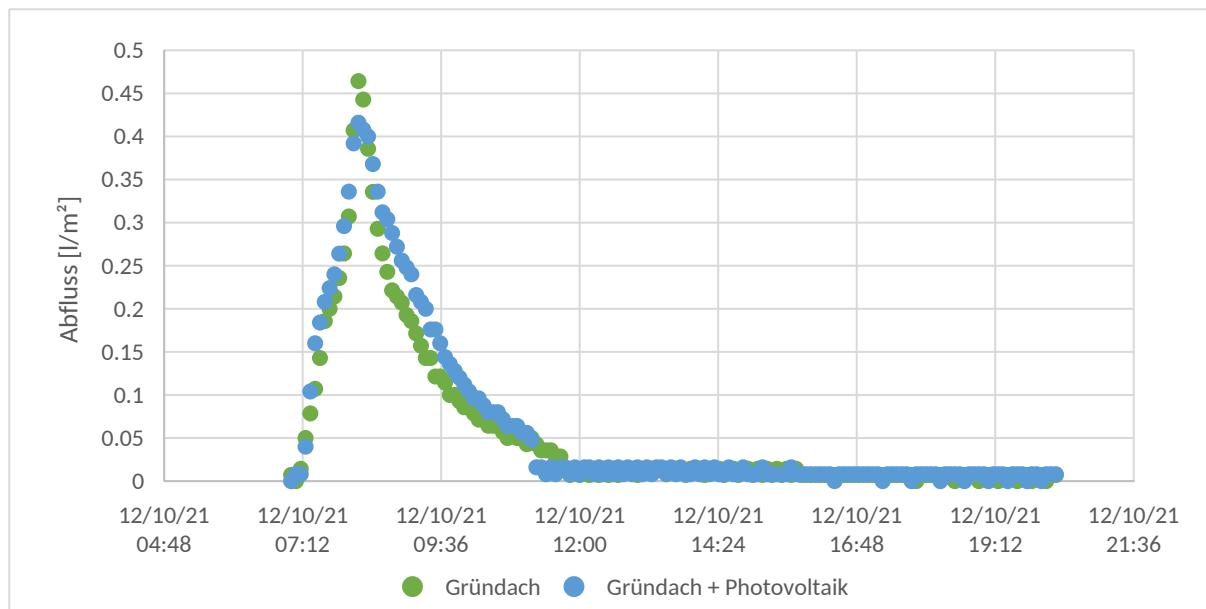


Bild 17: Dachabflüsse am 12.10.2021

Am 12.10.2021 lag die tägliche Niederschlagshöhe bei 1,8 mm (DWD, Hannover). Am Vortag hatte es 4 mm und in der Vorwoche insgesamt 5,3 mm Niederschlag gegeben (DWD). Das Gründach zeigte eine deutlich höhere Abflussspitze als das Gründach mit PV.

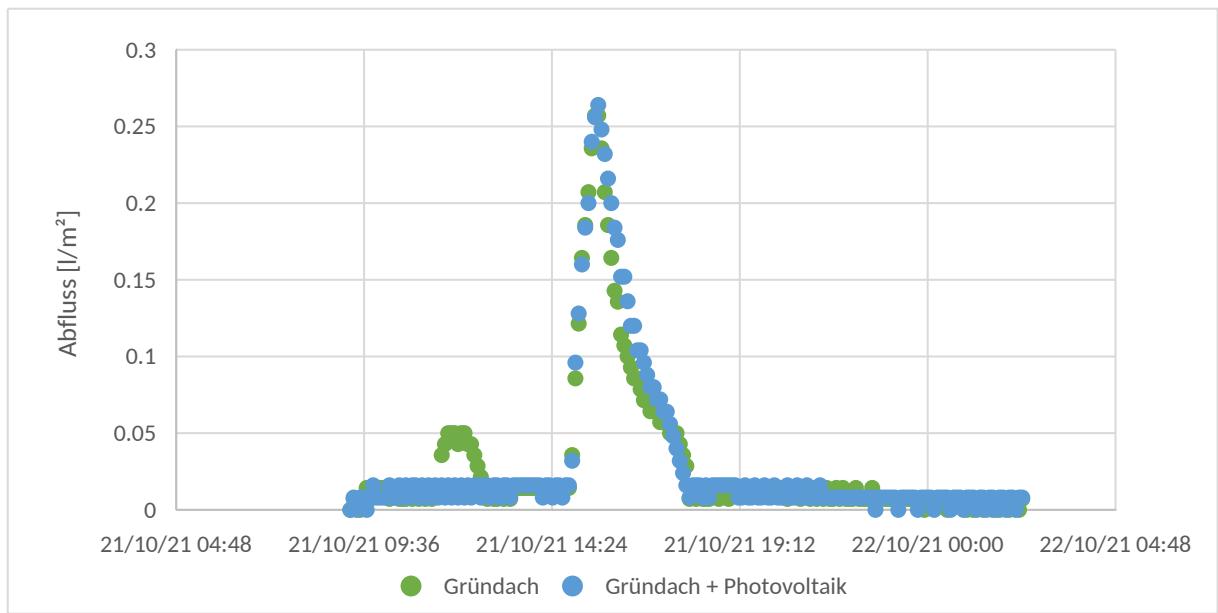


Bild 18: Dachabflüsse am 21.10.2021

Am 21.10.2021 lag die tägliche Niederschlagshöhe bei 6,9 mm (DWD, Hannover). Am Vortag hatte es bereits 7,2 mm Niederschlag gegeben, in der gesamten Vorwoche waren es 9 mm (DWD). Bei dem ersten, schwächeren Regenereignis (ca. 12 Uhr) zeigt nur das Gründach eine Abflussspitze, das Gründach mit Photovoltaik hingegen nicht. Das Gründach mit Photovoltaik zeigte zunächst einen leicht verzögerten Abfluss im Vergleich zum Gründach.

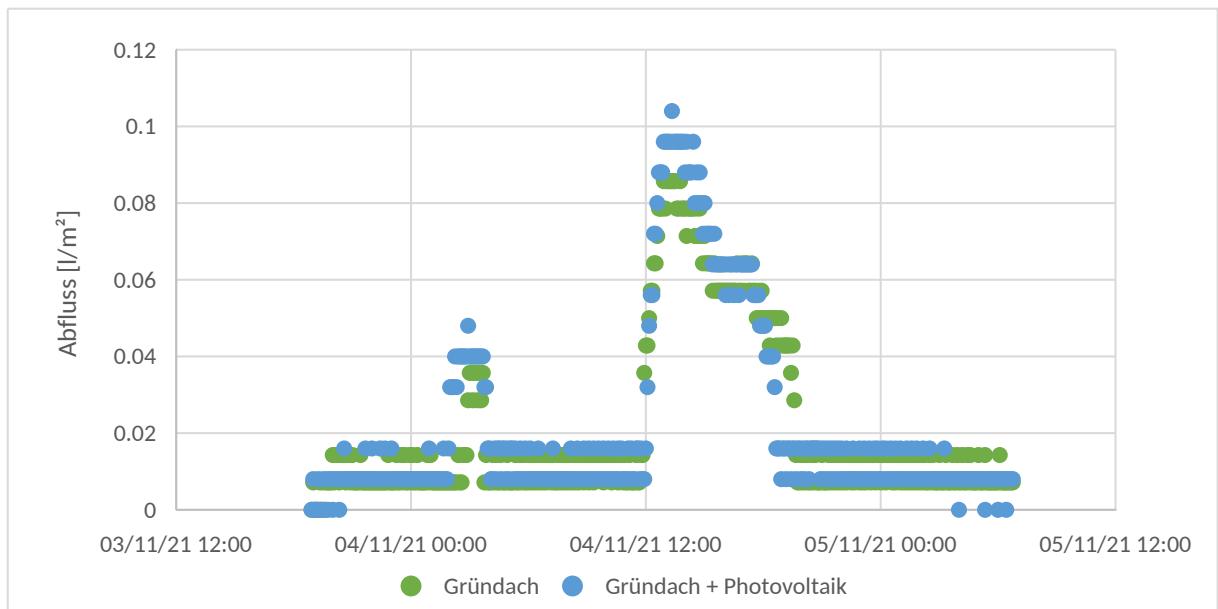


Bild 19: Dachabflüsse am 03.-05.11.2021

Die tägliche Niederschlagshöhe lag am 03.11.2021 bei 6,3 mm, am 04.11.2021 bei 8,2 mm und am 05.11.2021 bei 1,4 mm (DWD, Hannover). Am Vortag hatte es bereits 0,2 mm Niederschlag gegeben, in der Vorwoche waren es 0,3 mm (DWD). Bei diesem insgesamt

ehler schwächeren Regenereignis über einen längeren Zeitraum waren die Abflussverläufe zwischen Gründach und Gründach mit PV sehr ähnlich. Bei dem zweiten, etwas höheren Peak zeigte das Gründach einen leicht verzögerten Ablauf um Vergleich zum Gründach mit PV.

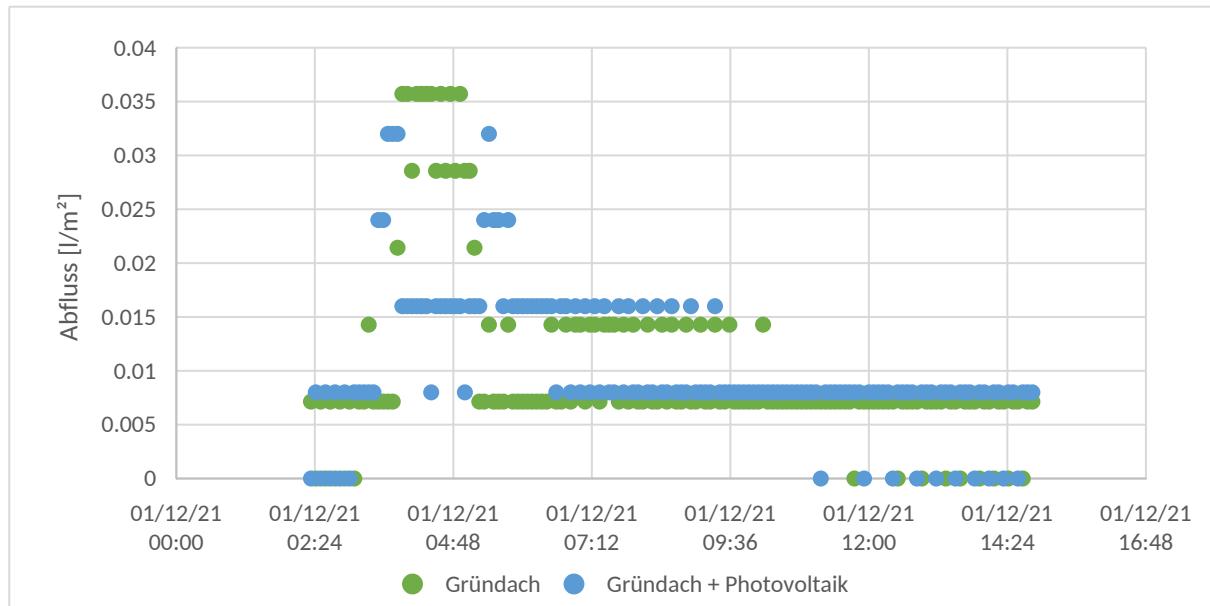


Bild 20: Dachabflüsse am 01.12.2021

Die tägliche Niederschlagshöhe lag am 01.12.2021 bei 1,3 mm (DWD, Hannover). Am Vortag hatte es bereits 5 mm Niederschlag gegeben, in der Vorwoche waren es 9,9 mm (DWD). Das Abflussverhalten zeigt keine deutlichen Unterschiede zwischen Gründach und Gründach mit PV.

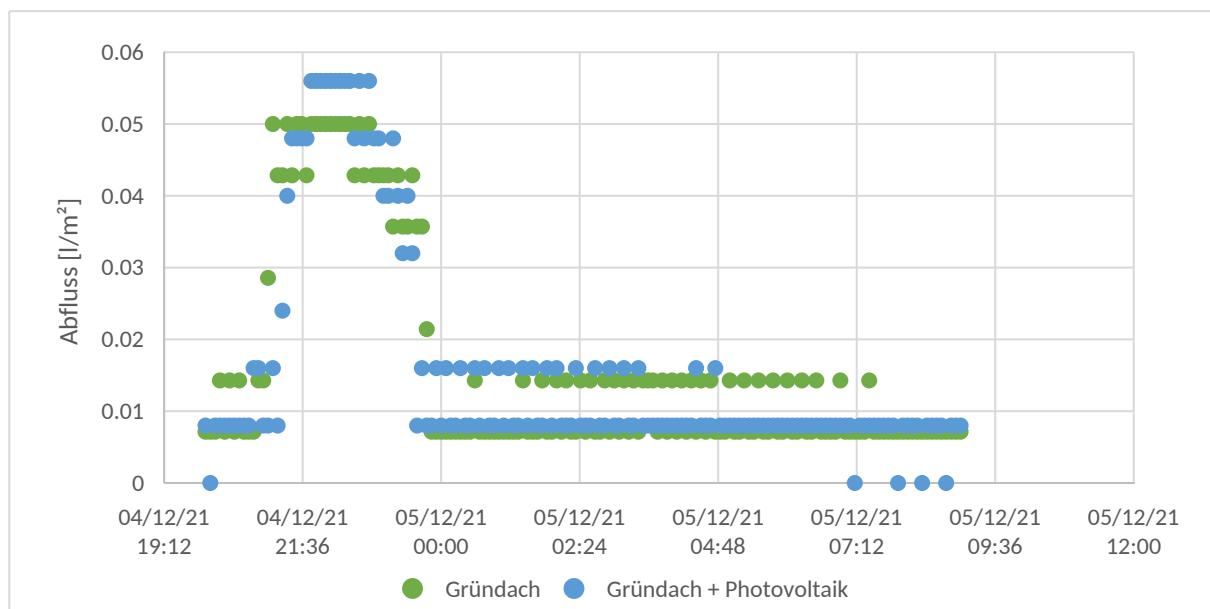


Bild 21: Dachabflüsse am 04.-05.12.2021

Die tägliche Niederschlagshöhe lag am 04.12.2021 bei 6,8 mm und am 05.12.2021 bei 0,0 mm (DWD, Hannover). Am Vortag gab es keinen Niederschlag, in der gesamten Vorwoche waren es 9,4 mm (DWD). Das Abflussverhalten zeigt keine deutlichen Unterschiede zwischen Gründach und Gründach mit PV, wobei das Gründach mit PV eine etwas höhere Abflussspitze zeigt als das Gründach.

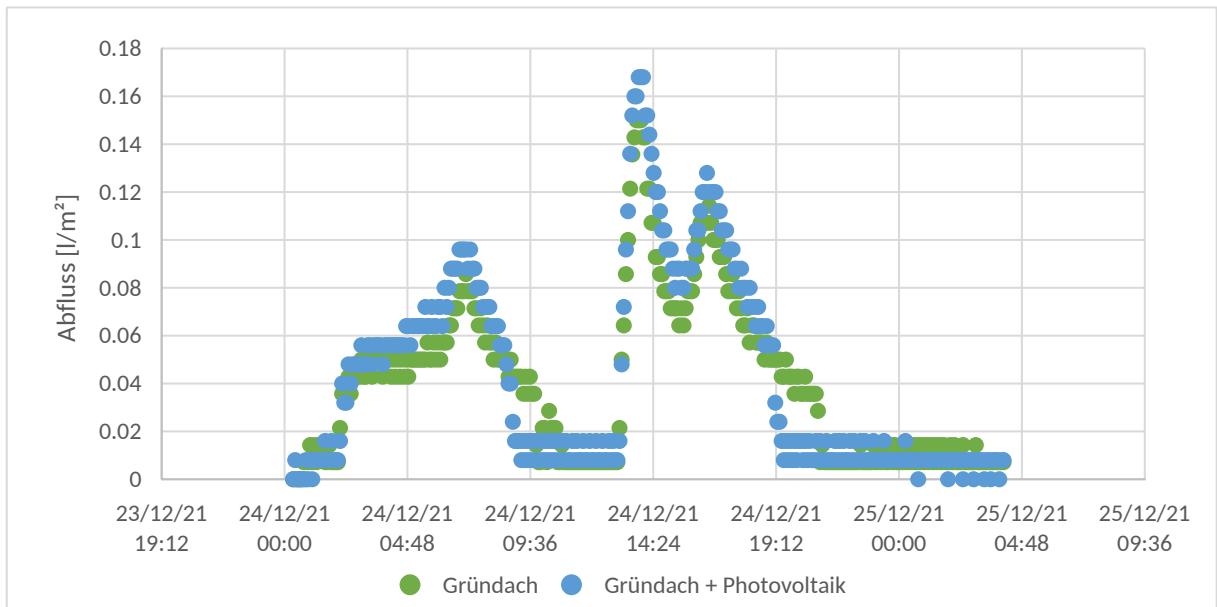


Bild 22: Dachabflüsse am 24.12.2021

Die tägliche Niederschlagshöhe lag am 24.12.2021 bei 9,7 mm und am 25.12.2021 bei 0,0 mm (DWD, Hannover). Am Vortag hatte es bereits 11 mm Niederschlag gegeben, in der gesamten Vorwoche waren es 12 mm (DWD). Die Abflussverläufe zeigen keine deutlichen Unterschiede zwischen Gründach und Gründach mit PV, wobei der Abfluss pro Dachfläche beim Gründach mit PV insgesamt ein etwas höheres Niveau sowie eine höhere Abflussspitze zeigt als das Gründach.

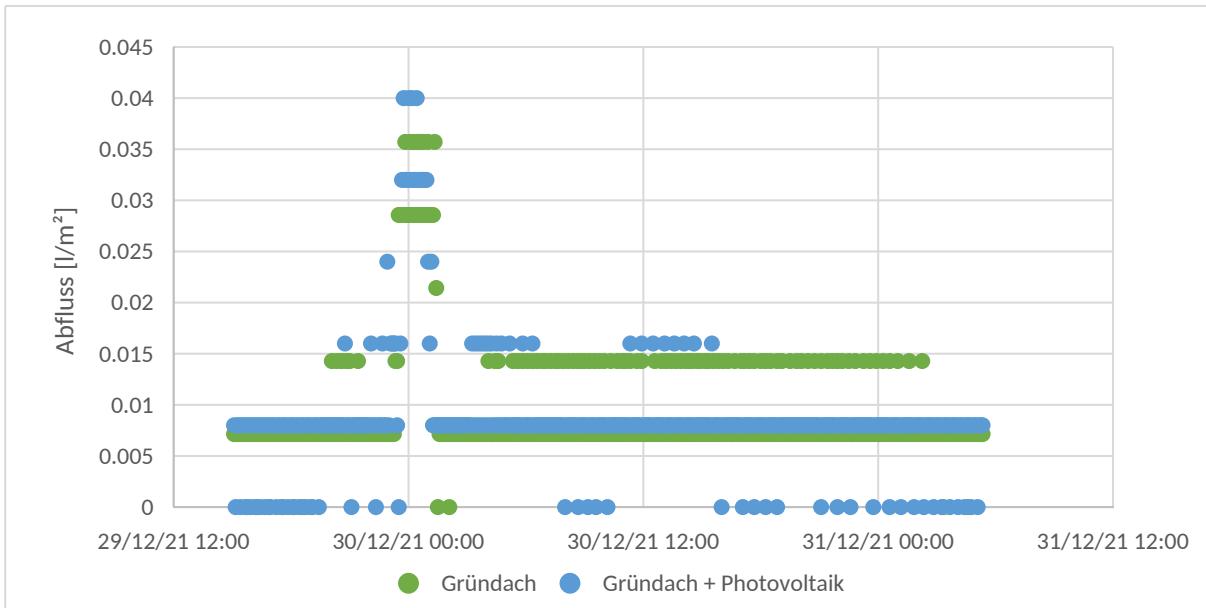


Bild 23: Dachabflüsse am 29.-30.12.2021

Die tägliche Niederschlagshöhe lag am 29.12.2021 bei 3,1mm, am 30.12.2021 bei 2,6 mm und am 31.12.2021 bei 0,7 mm (DWD, Hannover). Am Vortag hatte es bereits 2,8 mm Niederschlag gegeben und in der gesamten Vorwoche 23,8 mm (DWD). Das Abflussverhalten zeigt bei diesem relativ schwachen Niederschlagsereignis keine deutlichen Unterschiede zwischen Gründach und Gründach mit PV, wobei das Gründach mit PV eine etwas höhere Abflussspitze zeigt als das Gründach.

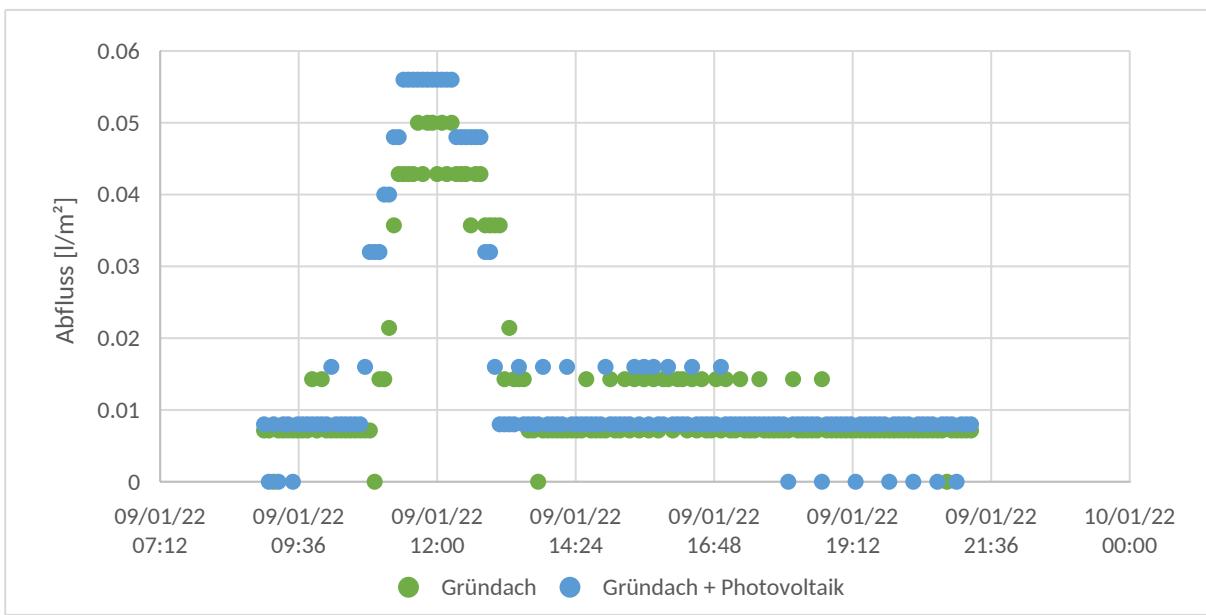


Bild 24: Dachabflüsse am 09.01.2022

Die tägliche Niederschlagshöhe lag am 09.01.2022 bei 6,2 mm (DWD, Hannover). Am Vortag hatte es bereits 0,8 mm Niederschlag gegeben, in der gesamten Vorwoche waren es 10,4 mm (DWD). Bei diesem insgesamt eher schwächeren Regenereignis zeigte das Abflussverhalten ebenfalls keine deutlichen Unterschiede zwischen Gründach und

Gründach mit PV, wobei das Gründach mit PV eine etwas höhere Abflussspitze zeigt als das Gründach.

Tabelle 4: Übersicht der erfassten Niederschlagsereignisse und Dachabflüsse.

Datum	GD Spitze [l / m ² * 5 min]	GD + PV Spitze [l / m ² * 5 min]	höherer Spitzen- abfluss	Verzögterer Abfluss	tägliche Nieder- schlags- höhe in Hannover (DWD) [mm]	Vortag [mm]	Vorwoche [mm]
17.08.21	0,0714	0,0160	GD	nein	3,2		
22.08.21	0,2214	0,2560	GD+PV	GD	16,6	7,9	30
22.- 23.08.21	0,3286	0,3200	GD	nein	16,6	7,9	30
27.08.21	0,0643	0,0640	nein	nein	9,3	0,6	26
28.08.21	0,3000	0,2960	nein	nein	15,1	9,3	35,3
12.10.21	0,4643	0,4160	GD	nein	1,8	4	5,3
21.10.21	0,2571	0,2640	nein	GD+PV	6,9	7,2	9
04.11.21	0,0857	0,1040	GD+PV	nein	8,2	6,3	6,6
01.12.21	0,0357	0,0320	GD	nein	1,3	5	9,9
04.12.21	0,0500	0,0560	GD+PV	nein	6,8	0	9,4
24.12.21	0,1500	0,1680	GD+PV	nein	9,7	11	12
29.12.21	0,0357	0,0400	GD+PV	nein	3,1	2,8	23,8
09.01.22	0,0500	0,0560	GD+PV	nein	6,2	0,8	10,4

Abkürzungen: GD: Gründach. PV: Photovoltaik-Anlage.

Beim Vergleich der Verläufe der Dachabflüsse zeigt sich, dass es keine deutlichen Unterschiede zwischen Gründach und Gründach mit Photovoltaik gibt (Tabelle 4). Die Größenordnung der Spitzenabflüsse ist bei allen aufgezeichneten Niederschlagsereignissen gleich zwischen Gründach und Gründach mit PV. Zeitliche Verzögerungen bei einem der beiden Dächer sind nur selten erkennbar.

4 Diskussion

4.1 Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse können aufgrund einiger Einschränkungen nur unter Vorbehalt interpretiert werden. Der Zustand der Gründächer war ungepflegt, sodass die Vergleichbarkeit in Frage gestellt werden muss. Ein Ameisennest, welches beim Testdurchlauf entdeckt und entfernt wurde, zeigt die Wichtigkeit einer regelmäßigen Pflege der Gründächer, da sonst die Dachabflüsse verstopfen können. Um eine Verschattung der PV-Module zu vermeiden, sollten niedrigwachsende Pflanzenarten verwendet werden. Heimische Saatmischungen, die häufig Gräser enthalten, sind also nur bedingt geeignet für Dachbegrünungen (Mollenhauer 2022).

Des Weiteren ist die mit 13 erfassten Niederschlagsereignissen verhältnismäßig kleine Stichprobe bei der Interpretation der Messdaten zu berücksichtigen. Im Messzeitraum traten nur moderate Regenereignisse auf, sodass keine Aussagen in Bezug auf Starkregen und dessen Einfluss auf das Abflussverhalten von Gründach sowie Solar-Gründach getroffen werden können.

Positiv hervorzuheben ist, dass es sich um ein bereits gut eingewachsenes Gründach im Bestand handelt, welches den maximalen Wasserrückhalt durch maximales Volumen an Substrat und Pflanzen erreichen konnte.

Unter Berücksichtigung der Limitierungen des Datensatzes kann unter Vorbehalt die Schlussfolgerung gezogen werden, dass hinsichtlich Regenwassermanagement eine synergetische Nutzung von Dachflächen mittels Kombination von Dachbegrünung und Photovoltaik möglich ist. Es haben sich bei moderaten Niederschlagsereignissen keine signifikanten Unterschiede zwischen Gründach und Gründach mit PV ergeben, was sich mit anderen Forschungsergebnissen deckt, die Gründächern mit und ohne Solaranlage ein nahezu gleiches Abflussverhalten attestieren (Lösken & Westerholt 2022). Somit ist eine gesonderte Berücksichtigung einer Solaranlage bei bekanntem Abflussbeiwert eines Gründaches nicht erforderlich (Lösken & Westerholt 2022).

4.2 Organisatorische und technische Herausforderungen bei der Umsetzung

Aufgrund der innenliegenden Fallrohre und dem sicherzustellenden Überflutungsschutz verzögerte sich in Hannover die Planungsphase der Dachabflussmessungen. Es handelt sich bei der Messtechnik in diesem Fall um Sonderanfertigungen, wodurch es zu Verzögerungen bei der Installation kam.

Die Auswahl geeigneter Messdienstleister erwies sich als schwieriger als angenommen. Letztlich konnten nur zwei Fachfirmen, die Fa. UP mit Hauptsitz in Ibbenbüren und die Fa. UGT mit Hauptsitz in Müncheberg, konsultiert werden.

Das Auslesen der digital erfassten Messdaten erwies sich ebenfalls als schwierig. Es wurde ein altes Notebook benötigt, weil der Adapter zu tief in das System gegriffen hat und somit das Gerät nicht an das städtische Netz angeschlossen sein durfte. Es wurde letztendlich ein altes privates Notebook genutzt. Außerdem zeigte das Display der Messtechnik eine Fehlermeldung an (Error). Auch die Kommunikation mit dem Messdienstleister stockte im Verlauf des Projekts.

Als größtes Problem stellte sich die Lautstärke der Kippzähler heraus. Diese beeinträchtigte den Betrieb auf dem Werkhof, da es durch das schlagende Geräusch zu erheblicher plötzlicher Lärmbelästigung kam. Das Problem konnte auch mithilfe einer nachträglichen Dämmung nicht behoben werden. Schließlich musste der Kippzähler nach Aufforderung

der Arbeitssicherheit am 27.01.2022 außer Betrieb genommen werden. Danach konnte nur noch der MID weitermessen.

4.3 Ausblick

Weiterer Forschungsbedarf besteht zum Vergleich des Abflussverhaltens von Schwarzdach, Gründach, Gründach mit Solaranlage sowie zu Retentionsdächern.

Darüber hinaus sind längere Messreihen erforderlich, um auch Aussagen über das Abflussverhalten bei Starkregen treffen zu können.

Bei der Planung weiterer Studien sollten die organisatorischen, technischen sowie kommunikativen Herausforderungen berücksichtigt werden, welche sich im Projekt TransMiT gezeigt haben.

5 Literaturverzeichnis

Deutscher Wetterdienst (DWD): Klimadaten Tageswerte. Station Hannover (Stations-ID 2014).

<https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/klarchivtagmonat.html>
Abgerufen am 16.02.2022.

Ewald, Jörg (27.10.2022): Schriftliche Auskunft zur Pflanzenwelt des Gründachs Werkhof
Stammestraße der LHH.

Lösken, Gilbert & Westerholt, Daniel (20.10.2022): Abflussverhalten bei Gründächern mit
Solaranlagen. Ergebnisse verschiedener Untersuchungen. Vortrag beim BuGG-
Fachkongress „Solar-Gründach“ in Berlin und online.

Mollenhauer, Felix (20.10.2022): Erfolgsfaktoren dauerhaft funktionsfähiger Solar-
Gründächer. Grundlagen zur Bau- und Vegetationstechnik, Pflege und Wartung.
Vortrag beim BuGG-Fachkongress „Solar-Gründach“ in Berlin und online.