

BBSR-  
Online-Publikation  
84/2024

# Adaptive und sensorgestützte Bewässerung extensiver Gründächer

von

Prof. Dr. Elke Meinken  
Dr. Dieter Lohr  
Heinz-Josef Schmitz  
Ralf Walker



# **Adaptive und sensorgestützte Bewässerung extensiver Gründächer**

Optimierung des urbanen Wassermanagements im Hinblick auf  
Niederschlagsrückhalt und Verdunstungskühlung

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wohnen, Stadtentwicklung  
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**ZUKUNFT BAU**  
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-18.05

Projektlaufzeit: 11.2018 bis 03.2022

## IMPRESSUM

### Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)  
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
Deichmanns Aue 31–37  
53179 Bonn

### Fachbetreuer

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung  
Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“  
Guido Hagel  
guido.hagel@bbr.bund.de

### Autorinnen und Autoren

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf  
Prof. Dr. Elke Meinken (Projektleitung)

Dr. Dieter Lohr

Heinz-Josef Schmitz

ZinCo GmbH, Nürtingen  
Ralf Walker

### Redaktion

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf  
ZinCo GmbH, Nürtingen

### Stand

März 2022

### Gestaltung

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf  
ZinCo GmbH, Nürtingen

### Bildnachweis

Titelbild: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

### Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

### Zitierweise

Meinken, Elke; Lohr, Dieter; Schmitz, Heinz-Josef; Walker, Ralf, 2024: Adaptive und sensorgestützte Bewässerung extensiver Gründächer: Optimierung des urbanen Wassermanagements im Hinblick auf Niederschlagsrückhalt und Verdunstungskühlung. BBSR-Online-Publikation 84/2024, Bonn.

ISSN 1868-0097

Bonn 2024

# Inhaltsverzeichnis

|       |                                                                                                                       |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Einleitung .....                                                                                                      | 5  |
| 1.1   | Problemstellung .....                                                                                                 | 5  |
| 1.2   | Lösungsansatz und Vorgehensweise .....                                                                                | 6  |
| 2     | Grundlagen.....                                                                                                       | 7  |
| 2.1   | Messung der Substratfeuchte.....                                                                                      | 7  |
| 2.2   | Evapotranspirationsleistung und stadtklimatische Wirkung extensiver Dachbegrünungen .....                             | 7  |
| 2.3   | Regenwasserretention extensiver Dachbegrünungen .....                                                                 | 8  |
| 2.4   | Wassermanagement von extensiven Dachbegrünungen .....                                                                 | 9  |
| 3     | Eingehende Darstellung der durchgeführten Arbeiten und der gewonnenen Erkenntnisse .....                              | 11 |
| 3.1   | Auswahl und Kalibrierung von Sensoren zur Messung des Wassergehalts von Substraten für extensive Dachbegrünungen..... | 11 |
| 3.1.1 | Material und Methoden .....                                                                                           | 11 |
| 3.1.2 | Ergebnisse .....                                                                                                      | 15 |
| 3.1.3 | Diskussion und Fazit.....                                                                                             | 19 |
| 3.2   | Entwicklung des sensorgestützten, adaptiven Wassermanagementsystems.....                                              | 20 |
| 3.2.1 | Aufbau der Dachbegrünungsmodelle.....                                                                                 | 21 |
| 3.2.2 | Optimierung des Regenwasserrückhalts.....                                                                             | 29 |
| 3.2.3 | Modellierung der Evapotranspiration .....                                                                             | 36 |
| 3.2.4 | Einfluss der Dachbegrünung auf das thermische Milieu .....                                                            | 38 |
| 3.2.5 | Schnittstellen zu Daten aus der Wettervorhersage .....                                                                | 40 |
| 3.2.6 | Funktionsprinzip des Steuerungsalgorithmus.....                                                                       | 42 |
| 3.3   | Validierung des Wassermanagementsystems unter Freilandbedingungen .....                                               | 49 |
| 4     | Ergebnisverwertung.....                                                                                               | 53 |
| 5     | Zusammenfassung und Ausblick.....                                                                                     | 56 |
| 6     | Verzeichnisse .....                                                                                                   | 58 |
| 6.1   | Abbildungsverzeichnis .....                                                                                           | 58 |
| 6.2   | Tabellenverzeichnis.....                                                                                              | 61 |
| 6.3   | Quellenverzeichnis.....                                                                                               | 61 |
| 6.4   | Internetquellen .....                                                                                                 | 66 |
| 7     | Anhang.....                                                                                                           | 67 |
| 7.1   | Ergänzende Daten .....                                                                                                | 67 |
| 7.2   | Technische Datenblätter der Hersteller .....                                                                          | 73 |
| 7.3   | Quellcodes.....                                                                                                       | 97 |

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Dachbegrünungen spielen eine wichtige Rolle in Mitigationsstrategien zur Anpassung des urbanen Raums an die Folgen des Klimawandels (BMUB, 2017 und 2020; UBA, 2020). Die wesentlichen Herausforderungen sind dabei zum einen urbane Sturzfluten in Folge von Starkregenereignissen, deren Intensität und Häufigkeit als Folge der Klimaerwärmung zunehmen wird (Ban et al., 2015; Nikogosian et al., 2021). Durch Dachbegrünungen können stark verdichtete Bereiche teilweise entsiegelt und damit der Regenwasserabfluss verringert bzw. verzögert werden (Ercolani et al., 2018). Zum zweiten kann durch Gebäudebegrünungen das thermische Milieu verbessert werden. Dies gilt insbesondere auf Gebäude- aber auch auf Quartiersebene (Köhler und Kaiser, 2019; Jamei et al., 2021). Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass es sich beim größten Teil der begrünten Dächer um einfach extensive Begrünungen handelt, wenngleich der Anteil intensiv begrünter Dächer kontinuierlich zunimmt (BuGG, 2021). Extensive Dachbegrünungen sind durch geringe Aufbauhöhen und ein geringes Gewicht gekennzeichnet. Zur Begrünung werden trockenheitsadaptierte Stauden, insbesondere Sedumarten, verwendet. Dieser Typus Dachbegrünung kann auf Grund seiner Konzeption nur wenig zum Regenwassermanagement sowie zur Minderung der thermischen Belastung beitragen. Intensivbegrünungen sind in diesem Zusammenhang weit wirkungsvoller (Morakinyo et al., 2017). Allerdings ist nur ein relativ geringer Anteil der existierenden Dachflächen auf Grund der hohen statischen Anforderung für die Etablierung intensiver Begrünungen geeignet (Pfoser et al., 2013). Hinzu kommen die hohen Bau- und Pflegekosten.

In den letzten Jahren wurden deshalb extensive Dachbegrünungen zielgerichtet weiterentwickelt und beispielsweise verdunstungsmaximierte Pflanzengesellschaften selektiert (Walker et al., 2016) oder Retentionselemente als temporäre Wasserspeicher unterhalb der eigentlichen Begrünung entwickelt (Appl, 2016; Brune et al., 2017). Allerdings besteht auch bei solchen Dachbegrünungssystemen zwischen den beiden Aspekten – Wasserrückhalt und Verdunstungskühlung – ein Zielkonflikt: Um einen maximalen Wasserrückhalt, vor allem bei unwetterartigen und lokal eng begrenzten Niederschlagsereignissen, zu erzielen, muss der Wasservorrat in der Vegetationstragschicht möglichst gering sein (Mobilia et al., 2021). Umgekehrt wird für eine maximale Verdunstungs- und damit Kühlleistung eine optimale Wasserversorgung

benötigt (Bousselot et al., 2011; Schmitz et al., 2018, UBA, 2019a). Allerdings bestehen auch Wechselwirkungen zwischen der Bewässerung der Vegetation und deren Verdunstungspotential, wodurch durch eine angepasste Bewässerung der Vegetation der Wasserrückhalt trotz der im Mittel höheren Substratfeuchte unter Umständen sogar gesteigert werden kann (Hill et al., 2017). Im Hinblick auf die Maximierung der Evapotranspiration ist neben dem beschriebenen Zielkonflikt zudem die Frage der effizienten Nutzung der Ressource Wasser weitestgehend noch ungelöst, wie es auch aus dem Entwurf der Bundesregierung zur Nationalen Wasserstrategie >> *...steht die Kreislaufführung von genutztem Trinkwasser oder die Bewirtschaftung von Regenwasser in Gebäuden, Städten und Gemeinden erst am Anfang. Intelligente Systeme, die z. B. Gebäudekühlung, Brauchwasserbereitstellung, Bewässerung von Gärten sowie Dach- und Fassadenbegrünungen kombinieren, sind umsetzbar und sinnvoll, werden jedoch bisher nur in Einzelfällen eingesetzt. Sie werden aber unter den Bedingungen des Klimawandels zunehmend wichtiger ...*<< eindeutig hervorgeht (BMU, 2021).

## 1.2 Lösungsansatz und Vorgehensweise

Ziel des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens war die Entwicklung eines sensorgestützten, adaptiven Wassermanagementsystems für neuartige Extensivdächer, um den Zielkonflikt zwischen Evapotranspiration und Regenwasserrückhalt ressourcenschonend zu lösen. In das Wassermanagementsystem sollten neben vor Ort erfassten Umweltdaten, z.B. der Wassergehalt der Vegetationstragschicht, auch Daten aus der Wettervorhersage sowie zu den für die Bewässerung zur Verfügung stehenden Wasserressourcen (im Retentionselement gespeichertes Regenwasser, Grauwasser, Trinkwasser) einfließen. Kernstück des Systems ist eine adaptive Entscheidungsmatrix, die gewichtet, welches Ziel – Wasserrückhalt, Evapotranspiration, Einsparung von Wasser – aktuell vorrangig ist und die die Be- bzw. Entwässerungsstrategie entsprechend anpasst. Parametrisiert und geprüft werden soll die Entscheidungsmatrix mittels kleinmaßstäblicher Dachbegrünungsmodelle. Zudem ist eine Validierung anhand unter realen Bedingungen gesammelter Daten geplant.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Messung der Substratfeuchte

Für die Messung der Boden- bzw. Substratfeuchte im landwirtschaftlich-gärtnerischen Bereich gibt es zwei Grundprinzipien (Dobriyal et al., 2012): Die Messung des Wasserpotentials und die kapazitive Messung des volumetrischen Wassergehalts. Die Messung des Wasserpotentials erfolgt entweder mittels Tensiometer oder über die Leitfähigkeitsmessung gegenüber einem Gipsblock. Kapazitive Fühler (FDR-/TDR/TDT-Sonden) messen die dielektrischen Eigenschaften. Da allerdings wegen des fehlenden Substratschlusses weder Tensiometer noch Gipsblocksonden für die Anwendung in überwiegend mineralischen und sehr grob strukturierten Dachsubstraten geeignet sind, soll an dieser Stelle nicht weiter auf die Messung des Wasserpotentials eingegangen werden. Bei den kapazitiven Fühlern wird die Dielektrizitätszahl des Bodens bzw. des Substrats, die abhängig vom Anteil der wassergefüllten Poren ist, gemessen. Dies geschieht entweder über die Messung der Laufzeit eines elektromagnetischen Impulses (TDR/TDT-Sonden) oder über die Frequenzverschiebung eines elektrischen Feldes (FDR-Sonden). Kargas et al., (2013) haben gezeigt, dass TDR/TDT- und FDR-Sensoren zwar grundsätzlich für die Messung der Substratfeuchte geeignet sind, aber dass sie substratspezifisch kalibriert werden müssen. Mit der zunehmenden Bedeutung von Dachbegrünungen für das urbane Wassermanagement stieg auch das Interesse an der Messung der Substratfeuchte, da diese hierfür einer der Schlüsselfaktoren ist (Kostadinovic et al., 2021). Allerdings haben diese Sensoren bisher keinen Eingang in die Praxis gefunden.

### 2.2 Evapotranspirationsleistung und stadtklimatische Wirkung extensiver Dachbegrünungen

Wie im Abschnitt 1.1 beschrieben, werden derzeit für extensive Dachbegrünungen überwiegend Sedumarten verwendet, da diese auch längere Trockenheitsperioden unbeschadet überstehen (Bousselot et al., 2011). Daraus kann aber umgekehrt nicht die Schlussfolgerung gezogen werden, dass sie bei ausreichender Wasserversorgung ausgesprochen verdunstungsschwach seien. Zudem haben Untersuchungen gezeigt, dass Sedum-Arten ein Substrat wesentlich stärker austrocknen können als nicht-sukkulente Arten (Bousselot et al., 2011). Gleichwohl haben Messungen von Schmitz et al. (2018) gezeigt, dass eine etablierte Stauden-Gräser-Vegetation rund 25 % mehr Wasser

verdunstet als eine Sedumbegrünung. Damit ist eine gut mit Wasser versorgte Begrünung an einem trocken-heißen Tag in der Lage, die gesamte über die Globalstrahlung eingestrahlte Energie in latente Wärme umzusetzen (Feng et al., 2010). Messungen zur stadtklimatischen Wirkung zeigen, dass sich dies tagsüber insbesondere auf die klimatischen Bedingungen innerhalb des Gebäudes bzw. direkt angrenzender Gebäude bemerkbar macht, während die Wirkung auf das thermische Milieu am Boden - insbesondere bei Begrünungen auf hohen Gebäuden - eher vernachlässigbar ist (Knaus und Haase, 2020; Jamei et al., 2021). Hier sind vor allem Stadtbäume auf Grund ihrer Schattenwirkung sowie die Entsiegelung von Wegeflächen wesentlich effektiver (UBA, 2020; Roll et al., 2021). Allerdings können Dachbegrünungen durch die beschriebene Umwandlung von akuter in latente Wärme zu einer signifikanten Reduktion städtischer Hitzeinseln während der Nachtstunden beitragen (Battista et al., 2016; Peng et al., 2019), da sie verhindern, dass sich die Gebäudehülle während der Tagesstunden aufheizt.

## 2.3 Regenwasserretention extensiver Dachbegrünungen

Bei der Bewertung der Retentionsleistung müssen zwei Aspekte sorgfältig voneinander getrennt werden. Der eine Aspekt ist der Wasserrückhalt bezogen auf die gesamte Niederschlagsmenge und der zweite der Wasserrückhalt bezogen auf ein einzelnes Niederschlagsereignis. In Abhängigkeit von der absoluten Niederschlagsmenge und der Niederschlagsverteilung, vor allem zwischen dem Winter- und Sommerhalbjahr, ist bei extensiven Gründächern ein Wasserrückhalt von 60 bis 90 % der Jahresniederschlagsmenge erreichbar (Uhl und Schiedt, 2008; Nawaz et al., 2015; Hill et al., 2017; Todorov et al., 2018; Kaiser et al., 2019). Unter gemäßigt-humiden Klimabedingungen ist der Wasserrückhalt in den Sommermonaten, bedingt durch die stärkere Evapotranspiration und die damit einhergehende geringere Substratfeuchte, in der Regel höher als in den Wintermonaten (Hill et al., 2017).

Bezogen auf einzelne Niederschlagsereignisse ist eine sehr große Variabilität zu beobachten: Während bei schwachen Niederschlagsereignissen (< 10 mm) der Wasserrückhalt in der Regel zwischen 90 und 100 % beträgt, ist mit steigender Niederschlagsmenge ein kontinuierlicher Rückgang des prozentualen Wasserrückhalts zu beobachten (Volder und Dvorak, 2014; Ercolani et al., 2018; D'Ambrosio et al., 2021). Dies ist durch das begrenzte Wasserspeichervermögen von extensiven Dachbegrünungen einfach zu begründen. Gemäß den FLL-Richtlinien sollte die maximale Wasserkapazität

von Extensivsubstraten zwischen 20 und 65 Vol.-% liegen. Bei einer Substrathöhe von 8 cm ergibt dies eine Wassermenge von 15 bis 50 l/m<sup>2</sup>, wobei hierfür unter praktischen Bedingungen nur etwa 70 % zur Verfügung steht, da die Vegetation bei Wassergehalten unter etwa 30 % der maximalen Wasserkapazität anfängt, unter Trockenstress zu leiden (Bousselot et al., 2011; Berretta et al., 2014; Walker et al., 2016). Hinzu kommt das Drainelement mit einem Speichervolumen von etwa 5 l/m<sup>2</sup>. Damit steht ein maximaler Wasserspeicher von 10 bis 40 l/m<sup>2</sup> zur Verfügung. Darüberhinausgehendes Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen kann nicht gehalten werden. Dies bedeutet, ein signifikanter Wasserrückhalt extensiver Dachbegrünungen ist nur unter sehr trockenen Bedingungen möglich. Unter solchen Bedingungen geht aber die Evapotranspiration sehr stark zurück, was den erwähnten Zielkonflikt nochmals verdeutlicht.

Durch den Einbau von Retentionselementen unterhalb der eigentlichen Begrünung kann das Wasserrückhaltevermögen je nach Aufbauhöhe des Elements um 50 bis 100 l/m<sup>2</sup> erhöht werden. Größere Speichervolumina sind auf Grund der damit verbundenen hydraulischen Drücke aus technischen Gründen nicht realisierbar. Vorteilhaft an den Retentionselementen ist dabei, dass sie keine zusätzliche Belastung für die Gebäudestatik verursachen. Da sie über die Wintermonate entleert werden können, reichen die für die Schneelast benötigten Lastreserven aus.

## 2.4 Wassermanagement von extensiven Dachbegrünungen

Beim Wassermanagement von extensiven Dachbegrünungen stand bisher die "Regenwasserentsorgung" im Vordergrund (UBA, 2019a) und eine Bewässerung von extensiven Dachbegrünungen erfolgte in der Regel nur in der Etablierungsphase (FLL, 2018). Dabei ist mittlerweile schon fraglich, ob selbst trockenheitsadaptierte Sedumdächer zukünftig noch ohne zusätzliche Bewässerung auskommen (Krupka, 2019; Herfort et al., 2021). Sollen verdunstungsstärkere Pflanzen verwendet werden, ist die Installation einer Bewässerung unabdingbar. Die Anbieter von Dachbegrünungssystemen setzen dabei auf im Substrat verlegte Tropfschläuche oder auf saugfähige Vliese bzw. Dochte, die Wasser aus dem Systemunterbau hochziehen. Im Gegensatz zu den Vlies- oder Dochtsystemen kann die Bewässerung über Tropfschläuche gesteuert werden. Bei den derzeit am Markt verfügbaren Systemen erfolgt die Steuerung in der Regel über elektronische Zeitschaltuhren, die u.a. mit Niederschlagssensoren gekoppelt sind und bei

denen die Bewässerung während Regenphasen gestoppt wird. Bei Dochtsystemen besteht das Problem, das fortlaufend Wasser kapillar in das Substrat hochgesaugt wird. Dies kann in regenreicheren Phasen zu einer dauerhaften Vernässung des Substrats und gegebenenfalls zu einer Vegetationsumbildung, v.a. bei eher trockenheitsadaptierten Pflanzen, führen (Optigrün, 2013; ZinCo, 2015; Krupka, 2019).

Ähnlich wie die Bewässerung erfolgt auch die Entwässerung von Dachbegrünungen aktuell vor allem passiv. Die meisten Retentionssysteme zielen dementsprechend auch nicht darauf ab, das Niederschlagswasser dauerhaft zu speichern, sondern nur dessen Abfluss stark zu verzögern. Lediglich bei einem System der Fa. Optigrün ist eine aktive Steuerung des Wasserablaufs aus dem Retentionselement möglich (Sommer und Gößner, 2019). Der zentrale Baustein ist eine elektrisch steuerbare Abflussdrossel. Bei einem vorhergesagten Niederschlagsereignis wird basierend auf der Wettervorhersage und einer hydrologischen Modellierungssoftware die voraussichtlich anfallende Niederschlagsmenge berechnet, die Drossel automatisch geöffnet und die entsprechende Wassermenge aus dem Retentionselement abgelassen. Allerdings ist aus den öffentlich zugänglichen Informationen der Firma Optigrün sowie der Patentschrift (Nr. DE 10 2016 001 187 A1) nicht genau ersichtlich, wie das System arbeitet, also wie die anstehende Niederschlagsmenge prognostiziert oder der aktuelle Wasservorrat im Retentionselement ermittelt wird. Der Patentschrift ist nur zu entnehmen, dass beim Automatikbetrieb Daten *"von einer Wetter-App oder sonstigen Wettervorhersage"* eingebunden werden können. Details, wie diese Einbindung erfolgt und vor allem welche Daten einfließen, sind den Unterlagen nicht zu entnehmen. Eine gezielte Nutzung des Wasservorrats erfolgt nicht. Das Retentionselement ist aber mit Saugdochten kapillar mit der Vegetationstragschicht verbunden (Optigrün, 2020).

### 3 Eingehende Darstellung der durchgeführten Arbeiten und der gewonnenen Erkenntnisse

#### 3.1 Auswahl und Kalibrierung von Sensoren zur Messung des Wassergehalts von Substraten für extensive Dachbegrünungen

Wie im Stand des Wissens dargelegt, ist die Substratfeuchte ein ganz wesentlicher Faktor für das Wasserrückhaltevermögen sowie die Evapotranspirationsleistung einer Dachbegrünung. Die zuverlässige Messung der Substratfeuchte ist daher ein zentraler Baustein eines intelligenten Wassermanagements von extensiven Dachbegrünungen. Allerdings ist über die Messung der Substratfeuchte mit kapazitiven Feuchtefühlern in grob strukturierten, mineralischen Substraten noch recht wenig bekannt. Zwar konnte die grundsätzliche Eignung gezeigt werden, aber es ist nicht bekannt, ob alle Sensoren gleichermaßen geeignet sind bzw. in wiefern das verwendete Dachsubstrat die Eignung beeinflusst. Sicher ist allerdings, dass es für jeden Sensor eine substratspezifische Kalibrierung braucht. Im Rahmen dieses Arbeitspaketes sollten daher geeignete Sensoren für die weiteren Arbeiten ausgewählt und kalibriert werden.

##### 3.1.1 Material und Methoden

###### Feuchtefühler

Basierend auf vorangegangenen Arbeiten und Erfahrungen an der HSWT sowie einer umfangreichen Literatur- und Marktrecherche wurden letztlich vier kapazitive Fühler für die Erprobung ausgewählt. Es handelte sich dabei um zwei FDR- und zwei TDT-Sonden. Drei der Sensoren – EC 5, 10 HS und SMT 100 – sind schwertförmig. Sie messen punktuell, wobei die durch den Sensor erfassten Substratvolumina laut Herstellerangaben von 0,2 bis 1,3 l reichen. Bei der vierten Sonde (AquaFlex TR) handelt es sich um einen Kunststoffschlauch auf dem mehrere einzelne TDT-Sensoren hintereinander angeordnet sind. Ausgegeben wird jeweils ein Mittelwert. Die wesentlichen Merkmale der vier Sensoren sind in Tab. 1 zusammengestellt, die vollständigen technischen Spezifikationen finden sich im Anhang im Abschnitt 7.2. Die bei der Auflösung, dem Messbereich und der Genauigkeit angegebenen volumetrischen Wassergehalte sind Angaben der Hersteller und beziehen sich auf Kalibrierungen für Mineralböden. Sie können daher nicht direkt auf Dachsubstrate übertragen werden.

Tab. 1: Technische Daten der vier verwendeten kapazitiven Feuchtefühler

|                                     | <b>EC-5</b>                     | <b>10 HS</b>                    | <b>SMT 100</b>                                                     | <b>AquaFlex TR</b>                                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <b>Hersteller</b>                   | Decagon                         | Decagon                         | Trübner                                                            | Trübner                                                            |
| <b>Messprinzip</b>                  | FDR                             | FDR                             | TDT                                                                | TDT                                                                |
| <b>Auflösung<br/>[% VWC]</b>        | 0,1                             | 0,08                            | 0,1                                                                | 0,1                                                                |
| <b>Messbereich<br/>[% VWC]</b>      | 0-100                           | 0-57                            | 0-60                                                               | 0-60                                                               |
| <b>Genauigkeit<br/>[% VWC]</b>      | ± 2                             | ± 2                             | ± 1                                                                | ± 2                                                                |
| <b>Temperatur-<br/>bereich [°C]</b> | -40 bis 60                      | -40 bis 50                      | -40 bis 80                                                         | -40 bis 80                                                         |
| <b>Erfasste<br/>Messgrößen</b>      | volumetrische<br>Bodenfeuchte   | volumetrische<br>Bodenfeuchte   | volumetrische<br>Bodenfeuchte,<br>Temperatur,<br>Permittivität (ε) | volumetrische<br>Bodenfeuchte,<br>Temperatur,<br>Permittivität (ε) |
| <b>Ausgangs-<br/>signal</b>         | analog/relativ<br>(250-1000 mV) | analog/absolut<br>(300-1250 mV) | digital<br>(RS 485)                                                | digital<br>(RS 485)                                                |
| <b>Boden-<br/>volumen (l)</b>       | 0,2                             | 1,3                             | 1,2                                                                | 6,0 (mehrere<br>Einzelsensoren<br>als Messband)                    |
| <b>Preis (€)</b>                    | 100,-                           | 135,-                           | 150,-                                                              | 200,-                                                              |

### Dachsubstrate

Für den Versuch wurden vier Dachsubstrate – Sedumteppich, Steinrosenflur, Lavendelheide und Rasenerde – der Fa. ZinCo genutzt. Der Feinanteil und damit die Wasserhaltefähigkeit nimmt bei den vier Substraten in der Reihenfolge Sedumteppich, Steinrosenflur, Lavendelheide und Rasenerde immer weiter zu. Die beiden Substrate Steinrosenflur und Lavendelheide erfüllen alle Anforderungen der FLL-Dachbegrünungsrichtlinien hinsichtlich Luft- und Wasserhaltefähigkeit, Drainfähigkeit und Gehalt an organischer Substanz (Tab. 2) weitgehend und auch die Körnungslinien liegen im Bereich der empfohlenen Spezifikationen (Abb. 27 und Abb. 28 im Anhang). Das Substrat Sedumteppich hat eine zu geringe Wasserkapazität und eine zu große

Wasserdurchlässigkeit und insgesamt ist die Körnung im Vergleich zu den Vorgaben zu grob (Abb. 26). Die Rasenerde hat einen etwas zu hohen Gehalt an organischer Substanz und ein zu geringes Luftvolumen bei maximaler Wasserkapazität. Die Körnungslinie entspricht den Vorgaben (Abb. 29). Zusätzlich zu den vier handelsüblichen Substraten der Fa. ZinCo wurde noch ein fünftes Substrat in die Untersuchungen einbezogen. Es handelte sich dabei um das Substrat Sedumteppich, dem 10 Vol.-% Grüngutkompost (GGK) zugemischt wurden. Damit sollte geprüft werden, wie sich eine Anreicherung organischer Substanz, wie sie bei Dachsubstraten z.B. durch abgestorbene Pflanzenteile erfolgen kann (Yang und Davidson, 2021), auf die Messwerte der Sensoren auswirkt. Durch die Kompostgabe stieg die maximale Wasserkapazität des Substrats deutlich an und die Wasserdurchlässigkeit halbierte sich. Die Körnung wurde durch die Kompostbeimischung zwar feiner, lag aber immer noch außerhalb der Vorgaben (Abb. 30).

Tab. 2: Physikalische Eigenschaften der verwendeten Dachsubstrate im Vergleich zu den Vorgaben der FLL für mehrschichtige Extensivbegrünungen (FLL, 2018)

|                               | <b>Abschlamm-<br/>bare<br/>Bestandteile<br/>[Gew.-%]</b> | <b>max.<br/>Wasser-<br/>kapazität<br/>[Vol.-%]</b> | <b>Luft-<br/>volumen<br/>bei WK<sub>max</sub><br/>[Vol.-%]</b> | <b>Wasser-<br/>durch-<br/>lässigkeit<br/>[mm/min]</b> | <b>Gehalt an<br/>organischer<br/>Substanz<br/>[g/l]</b> |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Vorgaben FLL</b>           | ≤ 15                                                     | 35 - 65                                            | ≥ 10                                                           | 0,6 - 70                                              | ≤ 65                                                    |
| <b>Sedumteppich</b>           | < 1                                                      | 26,3                                               | 35,5                                                           | 298                                                   | 13                                                      |
| <b>Steinrosenflur</b>         | 5                                                        | 42,3                                               | 15,0                                                           | 8,4                                                   | 44                                                      |
| <b>Lavendelheide</b>          | 3                                                        | 54,7                                               | 6,8                                                            | 14,7                                                  | 68                                                      |
| <b>Rasenerde</b>              | 3                                                        | 61,2                                               | 4,1                                                            | 19,3                                                  | 73                                                      |
| <b>Sedumteppich<br/>+ GGK</b> | 3                                                        | 36,9                                               | 24,1                                                           | 131                                                   | 48                                                      |

### Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Als Versuchsgefäße dienten Kunststoffkisten (0,8 m x 0,6 m x 0,3 m), die 15 cm hoch mit Substrat (entspricht 72 l) befüllt wurden. Die Fühler wurden in einer Höhe von 7,5 cm also mittig im Substrat eingebaut (Abb. 1 links). Anschließend wurden die Gefäße mit Lupinen (*Lupinus albus*, 100 g Samen/Kiste = 0,48 m<sup>2</sup>) besät. Lupinen wurden ausgewählt, weil sie sich in den sehr grob strukturierten, überwiegend mineralischen Dachsubstraten gut kultivieren lassen und sehr schnell wachsen. Zudem reagieren sie auf Trockenstress mit deutlichen Welkesymptomen, erholen sich aber nach einer Wassergabe auch wieder sehr gut. Die Versuchsgefäße wurden während des Versuchs kontinuierlich gewogen und die Rohdaten der Feuchtesensoren wurden im fünfminütigen Rhythmus aufgezeichnet. Für die beiden Analogsensoren (EC-5 und 10 HS) wurde ein 16-Bit A/D-Wandler mit einem Messbereich von 0 bis 5 V verwendet. Da das Signal beim EC-5 proportional zur Versorgungsspannung ist, wurde diese zusätzlich aufgezeichnet und das Signal auf eine Versorgungsspannung von 2,5 V normiert. Die Anbindung der Waagen sowie der beiden Digitalsensoren (SMT 100 und AquaFlex TR) erfolgte über eine RS-485-Schnittstelle. Zudem wurden die Gefäße alle fünf Minuten fotografiert, um die Entwicklung von Welkesymptomen genau nachvollziehen zu können (Abb. 1 rechts).



Abb. 1: In das Versuchsgefäß eingebaute Sensoren (links) und gesamter Versuchsaufbau (rechts) bestehend aus dem auf einer Waage stehenden und mit Lupinen bepflanzt Versuchsgefäß, der Kamera zur Dokumentation der Turgeszenz und im Vordergrund dem PC zur Erfassung der Messdaten (Quelle: HSWT)

Der erste Versuchsdurchlauf erfolgte von Mitte Dezember 2018 bis Ende Februar 2019 und der zweite vom 15.03. bis zum 26.04.2019. Beim zweiten Durchlauf wurden die Pflanzen, zusätzlich zur ohnehin stärkeren natürlichen Einstrahlung, belichtet, so dass es bis zum Beginn der Blüte – und damit dem Ende des vegetativen Wachstums – lediglich sechs Wochen dauerte. Nachdem sich die Pflanzen etabliert hatten, wurden die Substrate wiederholt auf maximale Wasserkapazität aufgegossen und anschließend jeweils so lange gewartet, bis die Pflanzen starke Welkesymptome zeigten (Abb. 2). Der erste Versuchsdurchlauf umfasste drei und der zweite sechs Rücktrocknungszyklen.



Abb. 2: Lupinen mit sehr starken Welkesymptomen kurz vor Ende eines Rücktrocknungszyklus (Quelle: HSWT)

### 3.1.2 Ergebnisse

Die Sensorverläufe – insbesondere die absoluten Messwerte an den Extrempunkten, also kurz nach dem Aufgießen und damit bei Wassersättigung des Substrats sowie sobald die Pflanzen deutliche Welkesymptome zeigten – waren in beiden Durchläufen vergleichbar. Da nur im zweiten Durchlauf eine vollständige Erfassung der Gefäßgewichte möglich war und die Pflanzen auf Grund der besseren Lichtbedingungen ein stärkeres Wachstum zeigten, wird im Weiteren nur auf diesen Durchgang eingegangen.

Während des zweiten Versuchsdurchgangs wurden sechs Bewässerungszyklen durchgeführt. Der Gewichtsverlauf bei den jeweils ca. einwöchigen Bewässerungszyklen ist exemplarisch für das Substrat Steinrosenflur in Abb. 3 dargestellt. Das Gewicht stieg jeweils durch die Bewässerung schlagartig an. Um die Substrate möglichst vollständig mit Wasser zu sättigen, wurden die Gefäße mehrfach so stark gegossen, das Drainwasser abließ, dies verursachte die scharfe Spitze bzw. den Doppelpeak am Ende der Bewässerung. Anschließend nahm das Gewicht der Gefäße durch die Wasserverdunstung langsam wieder ab. Der treppenartige Verlauf des Gewichtsverlusts zeigt den Tagesgang der Evapotranspiration. Der vor allem bei den beiden letzten Bewässerungszyklen zu beobachtende Anstieg des Maximalgewichts des Versuchsgefäßes war auf das zunehmende Pflanzengewicht zurückzuführen. Ein vergleichbarer Verlauf war auch bei den vier weiteren Substraten zu beobachten (Abb. 31 bis Abb. 34).

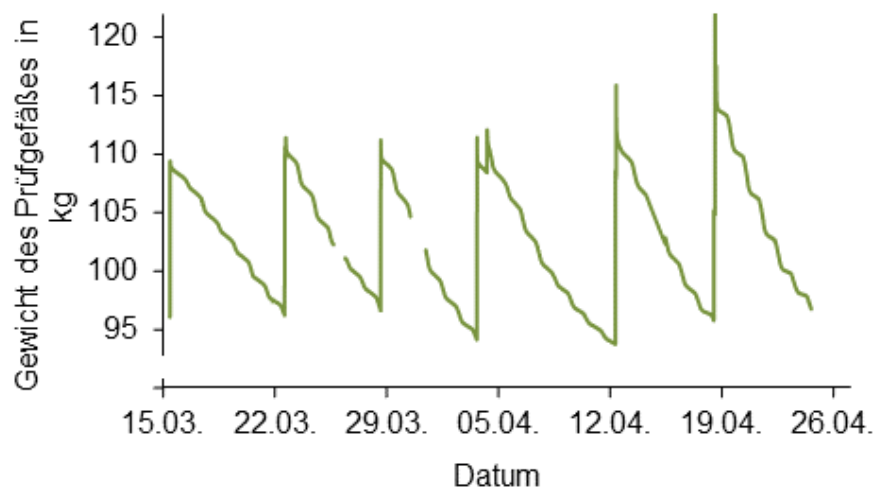


Abb. 3: Gewichtsverlauf im Sensortest im Substrat Steinrosenflur (Quelle: HSWT)

Die Gewichts Differenz zwischen voller Wassersättigung (nach Abfluss des Überschusswassers) und der maximalen Austrocknung spiegelt die Unterschiede in der Wasserkapazität der fünf Substrate wieder. Beim Substrat Sedumteppich lag sie nur zwischen 12 und 14 kg, während es bei Rasenerde bis zu 22 kg waren. Unter der Annahme, dass der Zustand der maximalen Wassersättigung in etwa der unter Laborbedingung bestimmten maximalen Wasserkapazität ( $WK_{\max}$ ; Tab. 2) entsprach, reichte die Spannweite der volumetrischen Wassergehalte bei den beiden Substraten Sedumteppich und Sedumteppich + G GK von etwa 30 bis 100 % von  $WK_{\max}$  und bei den drei übrigen Substraten von 50 bis 100 %. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass in den Wasserverlust natürlich auch die Frischmasseverluste der Pflanzen eingehen.

In Abb. 4 ist der Zusammenhang zwischen dem Gewichtsverlust der Versuchsgefäße und den Rohsignalen – mV bei den beiden Analog- bzw. Counts bei den Digitalsensoren – in den fünf Dachsubstraten zusammengefasst für alle sechs Rücktrocknungszyklen dargestellt, wobei die Signale der beiden Analogsensoren invertiert wurden, um einen vergleichbaren Verlauf wie bei den Digitalsensoren (Signalabnahme mit zunehmender Austrocknung) zu erhalten. Aus den Abbildungen wird zunächst deutlich, dass bei allen Sensoren die Wiederholbarkeit der Messung von der Substratstruktur abhängt: Umso feiner die Substrate werden, umso besser liegen die Messsignale der verschiedenen Rücktrocknungszyklen. Dieser Effekt ist insbesondere beim Vergleich des Substrat Sedumteppich mit und ohne Grüngutkompost zu beobachten. Des Weiteren ist die Substratabhängigkeit der Sensorwerte klar zu erkennen. Während z.B. der 10 HS-Sensor im Substrat Sedumteppich eine Spannweite der Messsignale von -0,6 (ganz trocken) bis -0,75 (ganz nass) hat, beträgt diese beim Rasensubstrat -0,6 bis -1,0. Ähnlich ist es auch bei den drei übrigen Sensoren. Bei den drei punktuell messenden Sensoren (EC-5, 10 HS und SMT 100) ist der Zusammenhang zwischen den Sensorsignalen über einen recht weiten Bereich linear, wobei die Linearität ähnlich wie die Wiederholbarkeit mit feiner werdender Körnung zunimmt. Anders sieht es beim AquaFlex TR-Sensor aus. Bei diesem Sensor ist der Zusammenhang zwischen dem Gewicht der Versuchsgefäße und dem Sensorsignal stufenförmig. Im ganz nassen Bereich ist nur eine schwache Veränderung des Sensorsignals in Abhängigkeit von der Substratfeuchte zu beobachten. Dann nimmt das Sensorsignal über einen gewissen Bereich linear zum Wasserverlust zu. Diesem Bereich folgen wieder ein gewisses Plateau und nochmals ein Bereich mit einer deutlichen Zunahme des Signals. Bei den beiden feinsten Substraten (Lavendelheide und Rasenerde) deutet sich kurz vor Erreichen des Endpunktes der Austrocknung dann nochmals ein Plateau an.

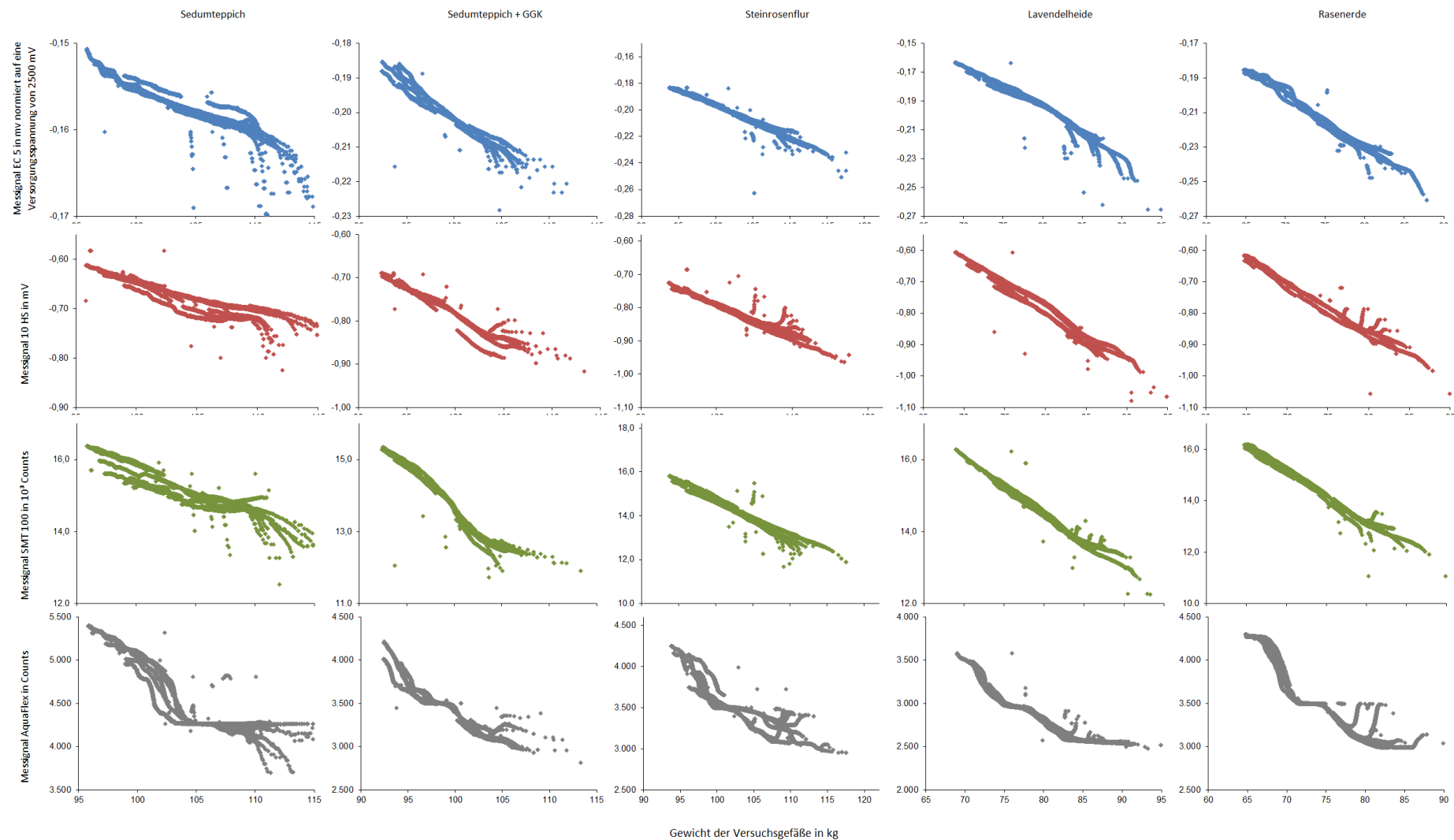


Abb. 4: Korrelation zwischen dem Gewicht der Versuchsgefäße mit den fünf Dachsubstraten und den Messsignalen der vier Fühler (EC-5: blau; 10 HS: rot; SMT-100: grün; AquaFlex TR: grau; Aufzeichnungsintervall = 5 min) während der sechs Bewässerungszyklen (Quelle: HSWT)

### 3.1.3 Diskussion und Fazit

Die Ergebnisse bestätigen die im Abschnitt 2.1 beschriebenen Erfahrungen aus der Literatur: Grundsätzlich ist die Messung der Substratfeuchte in sehr grob strukturierten Dachsubstraten deutlich schwieriger als z.B. in sehr feinen torfbasierten Substraten oder Mineralböden (Dobriyal et al., 2012). Ursächlich hierfür ist der fehlende Substratschluss der Fühler (Bernard, 2018) und es werden in der Regel substratspezifische Kalibrierungen benötigt (Kargas et al., 2013). Die drei punktuell messenden Fühler (EC-5, 10 HS und SMT 100) sind vergleichbar gut zur Feuchtemessung in Dachsubstraten geeignet. Auf Grund des hochgradig linearen Verlaufs der Messsignale im Verhältnis zum Wassergehalt kann für die Sensoren eine sehr einfache, substratspezifische Kalibration mit wenigen auf einen bestimmten Wassergehalt eingestellten Proben erstellt werden, wie sie unter anderem Berretta et al. (2014) oder Sněhota et al. (2021) beschreiben. Beim AquaFlex TR ist dies auf Grund des deutlich nicht linearen Verlaufs nicht möglich. Allerdings hat dieser Sensor gegenüber den drei anderen nur punktuell messenden Sensoren einen entscheidenden Vorteil: Mit der bis zu 3 m langen Sensorkette kann der Wassergehalt in einem sehr großen Substratvolumen ermittelt und dadurch die kleinräumige Heterogenität der Wasserverteilung in begrünten Dächern (Buckland-Nicks et al., 2016; Versini et al., 2020) deutlich besser erfasst werden. Dies macht den Fühler auch preislich interessant: Es handelt sich zwar um den teuersten Einzelfühler (Tab. 1), um aber mit den anderen Fühlern ein vergleichbares Substratvolumen erfassen zu können, müssten 30 EC-5- oder vier bis fünf 10 HS- bzw. SMT 100-Fühler verbaut werden. Zudem hat der Sensor im trockenen Bereich eine besonders große Auflösung, so dass eine feinfühligere Steuerung in diesem pflanzenbaulich besonders relevanten Bereich möglich ist. Aus diesem Grund wurde entschieden, den AquaFlex TR für die Steuerung der Bewässerung in den Dachbegrünungsmodellen zu verbauen. Ergänzend dazu wurden noch SMT 100-Fühler verbaut, um den Verlauf des Substratwassergehaltes kontinuierlich nachvollziehen zu können. Die Entscheidung für den SMT 100 war darin begründet, dass er dasselbe digitale Übertragungsprotokoll nutzt wie der AquaFlex TR, wodurch die Einbindung einfacher war. Zudem sind im Gegensatz zu den beiden Fühlern mit Analogsignal keine zusätzlichen A/D-Wandler notwendig, wodurch die Mehrkosten kompensiert werden, zumal der Fühler zusätzlich zur Substratfeuchte auch die Substrattemperatur ausgibt.

### 3.2 Entwicklung des sensorgestützten, adaptiven Wassermanagementsystems

Kernstück der Forschungsarbeiten dieses Arbeitspakets waren sechs unterschiedlich aufgebaute, mit verschiedenen Sensoren ausgestattete kleinmaßstäbliche Modelle von extensiven Dachbegrünungen, die in einem Gewächshaus an der HSWT aufgebaut wurden (Abb. 5). Mit diesen Modellen wurden Daten über das Wasserrückhaltevermögen sowie die Evapotranspiration in Abhängigkeit vom Wassergehalt im Substrat und den Wetterbedingungen (Einstrahlung, Temperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit) ermittelt und Steuerungsalgorithmen für die Be- und Entwässerung erprobt. Diese Arbeiten bildeten die Grundlage des sensorgestützten, adaptiven Bewässerungsmanagementsystems.



Abb. 5: Dachbegrünungsmodelle kurz nach der Fertigstellung im Sommer 2019 (Quelle: HSWT)

Neben direkt erfassten Daten zur Substratfeuchte und den aktuellen Wetterbedingungen sollten Daten aus der Wettervorhersage in den Regelalgorithmus des Bewässerungsmanagements eingebunden werden. Hierzu wurden über die Open-Data-Plattform des Deutschen Wetterdienstes zur Verfügung gestellte Vorhersagedaten zu Niederschlägen sowie zur Evapotranspiration herangezogen. Im Folgenden werden die technischen Komponenten der Dachbegrünungsmodelle, die Daten der Evapotranspiration und Regenrückhaltungsmessungen sowie die Schnittstellen zur

Einbindung der Wettervorhersage im Detail dargestellt. Anschließend daran wird der Regelalgorithmus des Bewässerungsmanagements erläutert.

### 3.2.1 Aufbau der Dachbegrünungsmodelle

Alle sechs Modelle hatten den gleichen Grundaufbau (Abb. 6): Jedes Modell bestand aus einem Holzkasten mit den Ausmaßen 3,15 m x 2,40 m (= 7,6 m<sup>2</sup>) und einer Höhe von 0,25 m. Der Unterbau unter den Kästen war jeweils mit Wägezellen ausgestattet, so dass das gesamte Modell kontinuierlich gewogen und damit seine Verdunstungsrate ermittelt werden konnte. Im Ablauf wurden zwei Magnetventile verbaut, mit denen das Drainwasser abwechselnd in die beiden wägbaren Auffanggefäße geleitet werden konnte. Somit war es möglich, die Regenwasserabflussmengen über einen weiten Bereich mit einer hohen zeitlichen Auflösung zu erfassen. Je Modell waren im Substrat zwei AquaFlex TR-Fühler (jeweils 3 m lang) und drei SMT 100-Fühler eingebaut. Darüber hinaus wurde im Pflanzenbestand in vier unterschiedlichen Höhen (25, 50, 75 und 100 cm über der Substratoberfläche) Lufttemperatur und Luftfeuchte gemessen. Für die Erfassung der Messdaten sowie die Ansteuerung von Magnetventilen und Stellmotoren wurden modulare, ethernetfähige I/O-Systeme (Advantech ADAM-5000 TCP) genutzt, die mit 16-Bit A/D-Wandler zur Erfassung von Messwerten (ADAM-5017 bzw. ADAM-5017P) sowie Digitalausgängen zur Ansteuerung von Lastschaltrelais (ADAM 5056S) verwendet. Technische Details zu den verbauten Komponenten sind den technischen Datenblättern im Anhang (7.2) zu entnehmen. Bei deren Auswahl wurde darauf geachtet, dass nur solche Bauteile verwendet wurden, die allgemein zugängliche Protokolle (Treiber, Datenaustausch) verwenden, so dass die Algorithmen ohne größeren Aufwand auf andere System übertragen werden können. Gleiches gilt für die Komponenten der Dachbegrünungen selbst.

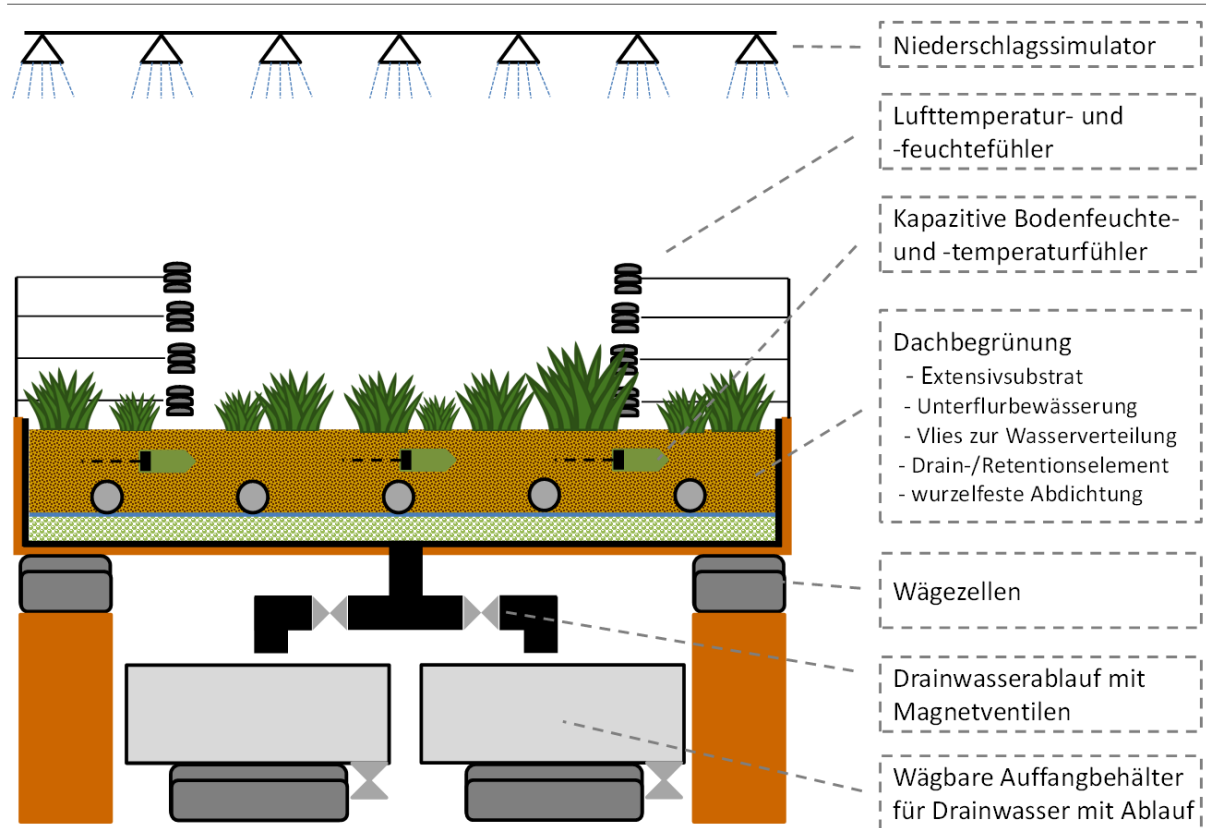


Abb. 6: Schematischer Aufbau der kleinmaßstäblichen Dachbegrünungsmodelle (Quelle: HSWT)

In allen Modellen wurde das Substrat Steinrosenflur, das auch bei den Sensortests (Abschnitt 3.1) verwendet wurde, eingebaut. Allerdings variierte die Substrathöhe zwischen den verschiedenen Modellen. Der weitere Aufbau (Drain- bzw. Retentionsmodule, Unterflurbewässerung) sowie Art der Vegetation wurden von Modell zu Modell systematisch variiert und werden im Folgenden detailliert beschrieben:

### Modell 1

Dieses Modell spiegelt den aktuellen Stand der Dachbegrünung wieder: Oberhalb der wurzelfesten Dachabdichtung, die bei allen Modellen identisch war, kam ein Schutzvlies, ein Drainelement und ein Filtervlies. Die Substrathöhe betrug 6 cm und die Vegetation bestand aus einer Mischung unterschiedlicher *Sedum*-Arten (Tab. 3 im Anhang). Details zu den verwendeten Komponenten sind Abb. 7 sowie den technischen Datenblättern im Anhang (7.2) zu entnehmen.

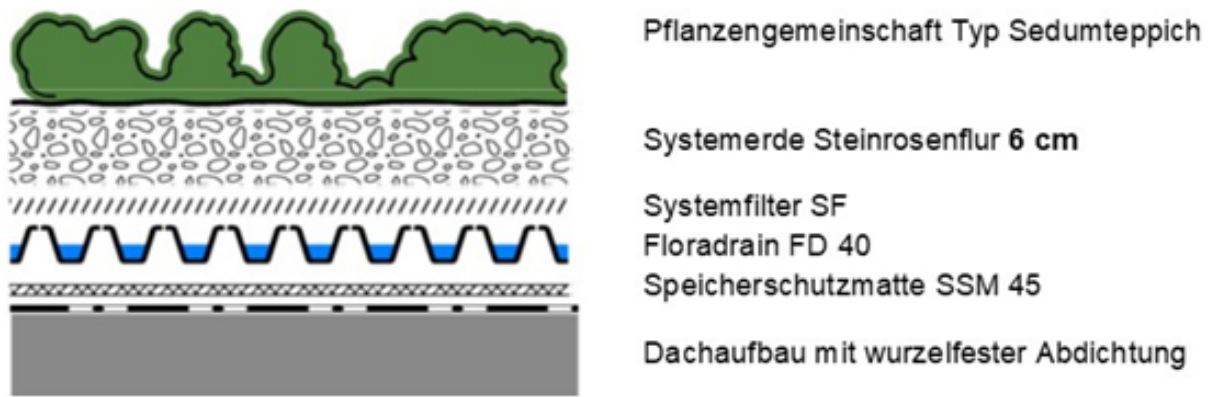


Abb. 7: Schematischer Aufbau der Dachbegrünung im Modell 1 (Quelle: ZinCo)

### Modell 2

Dieses Modell ist eine Weiterentwicklung der derzeit üblichen extensiven Dachbegrünungen mit einem speziellen Fokus auf der Erhöhung der Evapotranspiration (Abb. 8). Im Vergleich zum Modell 1 ist die Substratschicht 2 cm höher. Zudem sind unterhalb der Substratschicht im Abstand von 50 cm Tropfschläuche (Tropferabstand 50 cm) verlegt und anstelle des einfachen Filtervlieses wurde ein spezielles Vlies zur besseren Querverteilung des Wassers (Aquafleece) verlegt. Die Vegetation bestand aus einer Gräser-Stauden-Mischung mit hoher Verdunstungsleistung (Tab. 3 im Anhang), die von der Fa. ZinCo in vorangegangenen Forschungsprojekten u.a. gemeinsam mit der HSWT, entwickelt wurde (Walker et al., 2016; EU 2016).

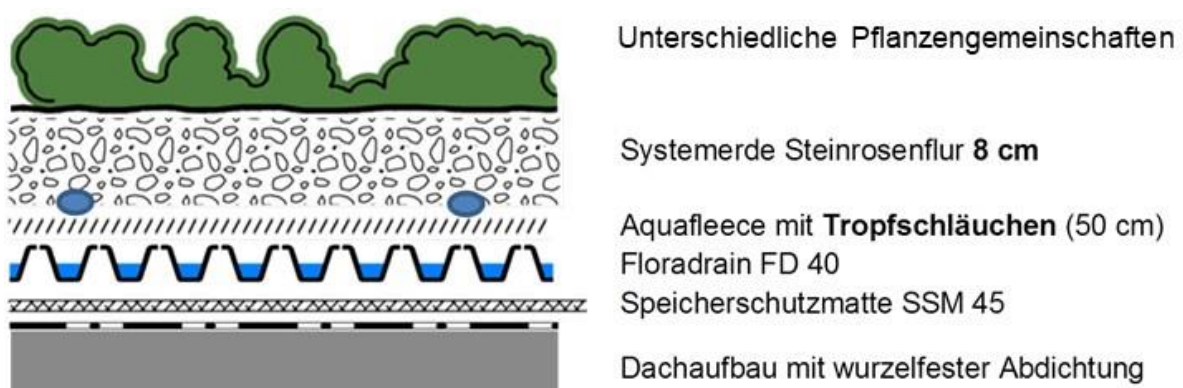


Abb. 8: Schematischer Aufbau der Dachbegrünung in den Modellen 2 bis 4 (Quelle: ZinCo)

### Modell 3

Der Aufbau des Dachbegrünungssystems entspricht exakt dem zuvor beschriebenen Aufbau des Modells 2 (Abb. 8). Der Unterschied zwischen den beiden Modellen besteht in der Vegetation. Anstelle der dort verwendeten heimischen Stauden und Gräser wurden für Modell 3 Gräser und Stauden aus dem Mittelmeerraum verwendet (Tab. 3 im Anhang), die derzeit für die Verwendung in Mitteleuropa nicht ausreichend winterhart sind. Die Idee dahinter ist die direkte Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Mittelmeerraum, wo ein intelligentes Wassermanagement für extensive Dachbegrünung von noch größerer Bedeutung ist wie in Mitteleuropa. Zudem dürften einige der Pflanzen mit dem Fortschreiten des Klimawandels in einigen Jahren zumindest in klimatisch begünstigten Gebieten in Deutschland ausreichend winterhart sein.

### Modell 4

Der Aufbau dieses Modell entspricht ebenfalls dem von Modell 2 (Abb. 8). Gleiches gilt für die Gräser-Stauden-Vegetation (Tab. 3 im Anhang). Der Unterschied besteht in der Steuerung des Drainwasserablaufs. Ergänzend zu den beiden Magnetventilen für die Messung der Abflussmenge (Abb. 6) wurden hier im Abfluss zusätzlich zwei elektrische Kugelventile eingebaut mit denen die Abflussmenge reguliert werden kann. Zudem wurde in einem Steigrohr ein Ultraschallsensor installiert, mit dem der Wasserstand im Unterbau (Drainelement) sowie in der Substratschicht gemessen werden konnte (Abb. 9). Die Idee dahinter war, das Substrat bei Extremniederschlagsereignissen als temporäres Retentionselement zu nutzen.



Abb. 9: In einem Steigrohr montierter Ultraschall-Sensor zur Messung des Wasserstands (Quelle: HSWT)

### Modell 5

Bei diesem Modell handelt es sich um ein Retentionsdach (Abb. 10). Anstelle des Drainelements wie bei den Modellen 1-4, wurde hier ein Retentionselement mit einem Speichervolumen von ca. 100 l/m<sup>2</sup> eingebaut. Bei der Vegetation handelte es sich ebenfalls um die in den Modellen 2 und 4 verwendete Gräser-Stauden-Mischung. Im Unterschied zu den derzeit üblichen passiven Retentionsdächern, in denen das Wasser nicht dauerhaft gespeichert wird, sondern lediglich kontinuierlich sehr langsam abläuft, wurde in diesem Dach eine aktive Abflussregelung mit elektrischen Kugelventilen und einer Füllstandsmessung über einen Ultraschallsensor (siehe Modell 4) verbaut.

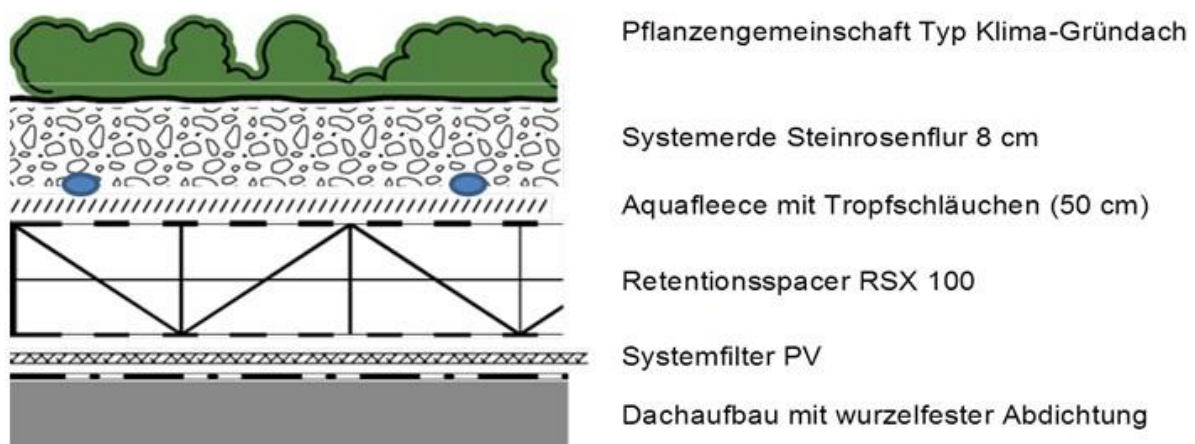


Abb. 10: Schematischer Aufbau der Dachbegrünung in den Modellen 5 und 6 (Quelle: ZinCo)

### Modell 6

Der technische Aufbau, einschließlich der aktiven Abflussregelung, sowie die Vegetation entsprach der von Modell 5. Der Unterschied zwischen den zwei Modellen bestand darin, dass bei diesem Modell das im Retentionselement gespeicherte Wasser über eine Pumpe in die Tropfschläuche eingespeist und damit aktiv für die Bewässerung der Begrünung genutzt werden konnte. Im Verlauf der Vegetationsperiode 2020 kam es in diesem Modell allerdings zu einem Dickmaulrüsslerbefall, der zuerst unerkannt blieb. Trotz der umgehenden Bekämpfung mit Nematoden konnten erhebliche Ausfälle bei den Pflanzen im Winter 2020/21 nicht verhindert werden, weswegen entschieden wurde, das Modell im Frühjahr 2021 vollständig neu zu bepflanzen. Dabei wurde die zuvor stark gräserlastige Vegetation gegen eine mit einem höheren Anteil an Blütenpflanzen ausgetauscht (Tab. 3 im Anhang).

Jedes der sechs Modelle wurde mit einem Niederschlagssimulator ausgestattet. Es handelt sich dabei um einen hängend geführten Wagen mit Seilantrieb, der das Modell in ca. 15 Sekunden einmal überfährt. (Abb. 11). Der Wagen ist mit zehn Tropfschläuchen ausgestattet, die die gesamte Modulbreite überspannten. Durch die Bestückung der zehn über Magnetventile einzeln ansteuerbare Tropfschläuche mit unterschiedlichen Tropfern können verschiedene Wassermengen ausgebracht und damit Niederschlagsintensitäten in einer großen Bandbreite simuliert werden. Die Steuerung der Niederschlagssimulatoren erfolgt über dezentrale auf dem Wagen angebrachte I/O Module, die mit einem zentralen Leitrechner verbunden sind. Über eine eigens entwickelte Software wird ein individuell parametrisierbares Regenszenario an die dezentrale Steuereinheit übertragen und autonom abgearbeitet. Im Niederschlagszenario können beliebig viele Abschnitte definiert und für diese die Intensität und Dauer festgelegt werden. Um eine möglichst gleichmäßige Querverteilung zu erreichen, wurden die Tropfer auf den Strängen mit gleicher Tropfleistung versetzt angeordnet. Werden nicht alle Stränge benötigt, werden nach jedem Richtungswechsel sequentiell Stränge ab- bzw. zugeschaltet.



Abb. 11: Regensimulator mit einem Detailausschnitt der unterschiedlichen Tropfern (rot = Tropfleistung 2 l/h, braun = 4 l/h, schwarz = 12 l/h) auf den insgesamt zehn Tropfbewässerungsschläuchen (Quelle: HSWT)

Die mit dem Niederschlagssimulator möglichen Niederschlagsintensitäten sowie die räumliche Verteilung der Niederschläge wurde unter Realbedingungen ermittelt. Dazu wurde im Gewächshaus eine sechs Meter lange Schienenstrecke aufgebaut, auf der der Niederschlagssimulator – wie später über den Dachbegrünungsmodellen – automatisch hin- und hergefahren wurde. In einem ca. 30 cm breiten Streifen wurden Kunststoffbecher aufgestellt, um das Wasser aufzufangen (Abb. 12). Nach jedem Testdurchlauf wurde die je Becher aufgefangene Wassermenge ermittelt und daraus die Niederschlagsintensität bezogen auf die Modulfläche errechnet.



Abb. 12: Ermittlung der mit dem Niederschlagssimulator möglichen Regenmengen und deren räumliche Verteilung (Quelle: HSWT)

Der Test des Niederschlagssimulators ergab eine relativ gleichmäßige Verteilung der Niederschläge über die Fläche, unabhängig von deren Intensität. In Abb. 13 ist die räumliche Verteilung bei drei unterschiedlichen Niederschlagsintensitäten als Heatmap-Diagramm dargestellt. Die farbigen Rechtecke kennzeichnen die einzelnen Kunststoffbecher (jeweils acht Becher je Segment; sechs Segmente insgesamt). In den blau eingefärbten Bechern, war die aufgefangene Wassermenge höher als der Durchschnitt, bei den rot eingefärbten geringer. Je intensiver die Färbung ist, umso größer ist der Abstand zum Mittelwert. Rechts ist zusätzlich die mittlere Niederschlagsintensität (MW), die Standardabweichung (Stab.) sowie die minimale (Min) und maximale (Max) in einem einzelnen Becher aufgefangene Wassermenge (hochgerechnet auf mm/h) aufgeführt.

2 Stränge mit 2 l/h-Tropfern (65 Überfahrten)



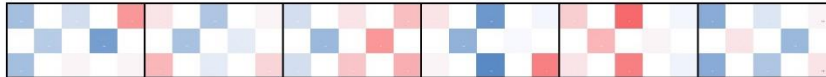
|       |         |
|-------|---------|
| MW    | 7 mm/h  |
| Stab. | 1 mm/h  |
| Min   | 4 mm/h  |
| Max   | 10 mm/h |

2 Stränge mit 2 l/h-Tropfern + 1 Strang mit 4 l/h-Tropfern (50 Überfahrten)



|       |         |
|-------|---------|
| MW    | 21 mm/h |
| Stab. | 2 mm/h  |
| Min   | 17 mm/h |
| Max   | 27 mm/h |

4 Stränge mit 2 l/h-Tropfern + 2 Stränge mit 4 l/h-Tropfern + 1 Strang mit 12 l/h-Tropfern (35 Überfahrten)



|       |         |
|-------|---------|
| MW    | 70 mm/h |
| Stab. | 8 mm/h  |
| Min   | 56 mm/h |
| Max   | 89 mm/h |

Abb. 13: Wasserverteilung (rot = unterdurchschnittlicher Wassermenge, blau = überdurchschnittlicher Wassermenge; je intensiver die Färbung, desto größer der Abstand zum Mittelwert) bei unterschiedlicher Regendauer und -intensität (Quelle: HSWT)

In Szenario 1 mit der sehr geringen Niederschlagsmenge von 7 mm/h reichte der Schwankungsbereich von 4 bis 10 mm/h bezogen auf einen einzelnen Becher. Die größten Abweichungen nach unten bzw. oben konzentrierten sich dabei aber auf einzelne, benachbarte Becher. In der Tendenz war eine leichte systematische Zweiteilung zu erkennen. Links von der Mitte wurde etwas weniger Wasser ausgebracht als rechts davon. Gemittelt für die beiden Hälften machte der Unterschied aber nur etwa 1 mm/h aus.

Beim zweiten Szenario mit einer Niederschlagsmenge von 21 mm/h, was bei einer Dauer von 60 min nach der Definition des Deutschen Wetterdienstes (DWD) bereits ein Starkregenereignis darstellt [1], war die räumliche Verteilung ebenfalls sehr gut. Auch in diesem Fall zeigten in der Regel benachbarte Auffangbecher die höchsten Abweichungen nach unten und nach oben und der leichte systematische Unterschied zwischen den beiden Hälften war ebenfalls zu erkennen.

Beim dritten Szenario mit einer Niederschlagsmenge von 70 mm/h – mehr als 40 mm/h gilt nach DWD bereits als extremer Starkregen – nahm die kleinräumige Schwankung, also die Unterschiede zwischen den Bechern etwas zu, aber es waren keine systematischen Unterschiede mehr zu erkennen. Bei diesem letzten Szenario wurde etwa 60 % der zur Verfügung stehenden Tropferleistung genutzt. Werden alle zehn

Tropfstränge gleichzeitig aktiviert, können Niederschlagsereignisse bis zu 120 mm/h simuliert werden.

### 3.2.2 Optimierung des Regenwasserrückhalts

Im Rahmen dieser Arbeiten wurden mit den sechs Modellen unterschiedliche Regensimulationen durchgeführt, um den Regenwasserrückhalt der unterschiedlichen Systeme zu ermitteln, den Einfluss der Substrathöhe und der Vegetation sowie der Substratfeuchte zu Beginn des Niederschlagsereignisses zu ermitteln. Parallel dazu wurden mit den Modellen 4 bis 6 Regelungsstrategien entwickelt, um den Wasserrückhalt zu optimieren. Die Niederschlagsereignisse reichten dabei von einem leichten Dauerregen bis hin zu absoluten Extremniederschlägen mit erheblichem Schadpotential. Die höchsten Niederschlagsintensitäten lagen bei etwa 100 l/m<sup>2</sup> h, diese Mengen fielen bei der Flutkatastrophe im Ahrtal im Juli 2021 innerhalb eines Tages (Schäfer et al., 2021). In der Regel wurden die Niederschlagssimulationen abgebrochen, sobald der Regenwasserabfluss im Verhältnis zur Niederschlagsmenge konstant war.

Abb. 14 zeigt exemplarisch den Verlauf des Regenwasserabflusses für das Modell 1, der einfachen Extensivbegrünung nach heutigem Stand, bei einem Niederschlagsereignis mit einer Intensität von etwa 60 l/m<sup>2</sup> h. Nach der Definition des DWD handelt es sich dabei um ein extremes Unwetter. Das Substrat war zu Beginn des Niederschlagsereignisses sehr stark ausgetrocknet. Entsprechend der in Abschnitt 3.1.2 beschriebenen Kalibrationen lag der Restwassergehalt des Substrats bei etwa 40 % der maximalen Wasserkapazität. Selbst eine Sedumvegetation beginnt dann bereits unter Trockenstress zu leiden und stellt die Verdunstung fast vollständig ein (Walker et al., 2016). Aus Sicht des Wasserrückhalts sind dies eigentlich optimale Bedingungen. Aber trotzdem beginnt der Regenwasserabfluss bereits gut 15 min nach Beginn des Niederschlagsereignisses. Bis zu diesem Zeitpunkt betrug die kumulierte Niederschlagsmenge etwa 15 mm. Im weiteren Verlauf liegt der Regenwasserabfluss bei etwa 20 mm/h, ist also im Vergleich zum Niederschlag deutlich verlangsamt. Dementsprechend endet der Regenwasserabfluss auch erst gut 45 min nach dem Niederschlagsereignis. Die absolut zurückgehaltene Wassermenge beträgt am Ende rund 15 mm. Dies entspricht in etwa 50 % der maximalen Wasserspeicherkapazität (Substrat + Drainelement) des Dachbegrünungssystems. Diese Ergebnisse bestätigten sich in dieser Form auch bei Niederschlagssimulationen mit geringeren bzw. höheren Intensitäten,

wobei sich ein erheblicher Einfluss der Substratfeuchte zeigte: Je höher die Substratfeuchte zu Beginn des Niederschlagsereignisses war, umso geringer war die Abflussverzögerung sowie der Wasserrückhalt. Diese zeitliche Verzögerung sowie die Abflachung des Regenwasserabflusses wird so auch u.a. von Uhl und Schiedt (2008) sowie Nawaz et al. (2015) beschrieben. In beiden Publikationen wird zudem explizit ebenfalls auf die Bedeutung der Substratfeuchte im Zusammenhang mit dem Wasserrückhalt hingewiesen.

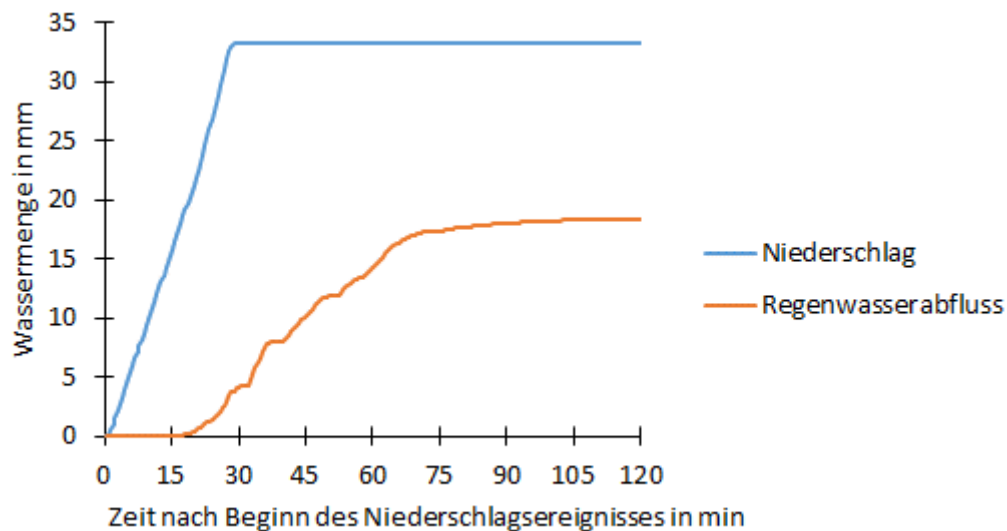


Abb. 14: Zeitlicher Verlauf des Regenwasserabflusses einer einfachen Extensivbegrünung (Modell 1) bei einem unwetterartigen Niederschlagsereignis (Quelle: HSWT)

In Abb. 15 ist im Vergleich dazu der Regenwasserabfluss bei einem vergleichbaren Niederschlagsereignis beim Modell der neuartigen Dachbegrünung mit einer verdunstungsstarken Gräser-Stauden-Vegetation und einer um 2 cm stärkeren Substratschicht dargestellt (Modell 2). Der Feuchtegehalt im Substrat zu Beginn des Niederschlagsereignisses war etwas höher als zuvor für die Sedumbegrünung beschrieben. Zum Teil zeigten die Pflanzen allerdings bereits erhebliche Welkeerscheinungen, eine noch stärkere Austrocknung des Substrats ist also kaum möglich ohne die Vegetation zu schädigen. In diesem Fall beginnt der Regenwasserabfluss gut 20 min nach Beginn des Niederschlagsereignisses bei einer kumulierten Regenmenge von 24 mm. Die weitere Verzögerung des Regenwasserabflusses sowie der absolute Regenwasserrückhalt ist in etwa vergleichbar zum Sedumdach. Auch diese Ergebnisse bestätigten sich bei unterschiedlich starken Niederschlagsszenarien, wobei ein positiver Effekt der stärkeren Substratschicht bei gleicher Substratfeuchte zwar erkennbar, im

Vergleich zu den durch die Substratfeuchte verursachten Schwankungen aber eher unbedeutend war. Dies verdeutlicht nochmals den in Abschnitt 1.1 beschriebenen Zielkonflikt zwischen Maximierung der Evapotranspiration und dem Regenwasserrückhalt. In Bezug auf den Regenwasserrückhalt sind die neuartigen Dachbegrünungen (ZinCo, 2019) mit einer verdunstungsmaximierten Vegetation sogar kontraproduktiv. Diese Pflanzen benötigen einen deutlich höheren Mindestwassergehalt als eine reine Sedumvegetation, wodurch die Erhöhung des Wasserspeichervolumens der gesamten Begrünung durch die Erhöhung der Substratdichte konterkariert wird.

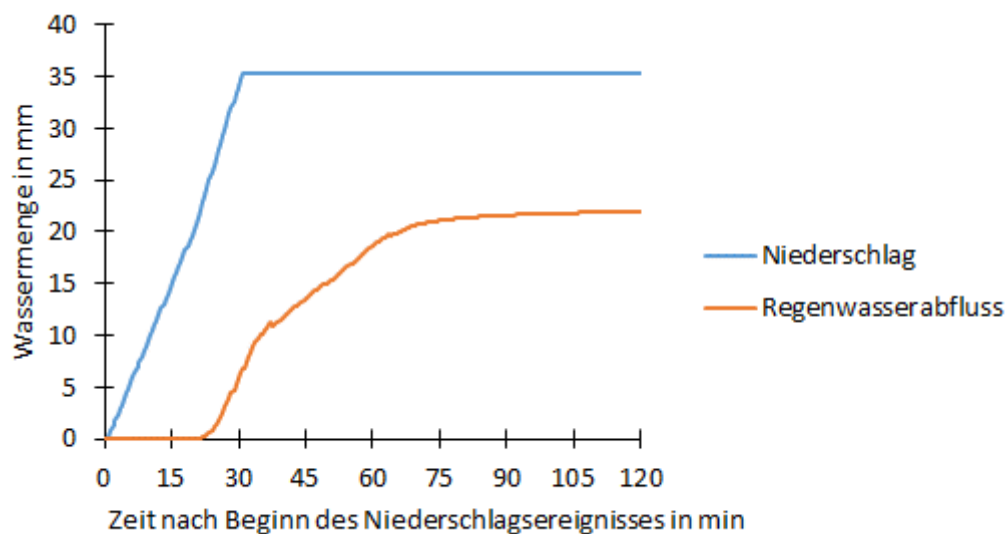


Abb. 15: Zeitlicher Verlauf des Regenwasserablaufs einer neuartigen extensiven Dachbegrünung (Modell 2) bei einem unwetterartigen Niederschlagsereignis (Quelle: HSWT)

Eine deutliche Verbesserung im Hinblick auf die Verzögerung des Regenwasserablaufs kann durch eine aktive Steuerung erzielt werden, bei der das Substrat als temporärer Speicher genutzt wird (Abb. 16). In diesem Fall wurde ein zweistufiges Niederschlagszenario simuliert. Die ersten 20 Minuten betrug die Niederschlagsintensität 30 mm/h und wurde anschließend auf 80 mm/h erhöht. Die gesamte Niederschlagsmenge nach etwas über einer Stunde betrug 74 mm. Solche Niederschlagsereignisse stellen für Deutschland mindestens ein Jahrhundertereignis dar und bergen ein erhebliches Schadenspotential (Junghänel et al., 2021). Zu Beginn des Niederschlagsereignisses waren die Schwellenwerte für die Ablaufregulation 50 bzw. 75 %, was bedeutet, dass die Abflussdrossel solange geschlossen bleibt, solange der Füllstand im Steigrohr weniger als 50 % der maximalen Füllhöhe beträgt. Im Bereich zwischen 50 und 75 % wird die Drossel schrittweise immer stärker geöffnet und ab einem

Füllstand von 75 % ist sie vollständig geöffnet, um ein Überlaufen des Daches zu verhindern. Innerhalb der ersten 45 min des Niederschlagsereignisses ist noch kein Anstieg des Füllstandes im Steigrohr zu beobachten, dann füllt sich das Steigrohr allerdings sehr schnell. Dies ist vermutlich auf die langsame Querverteilung des Wassers im Substrat zurückzuführen. In der Folge wird die Drossel geöffnet und der Regenwasserabfluss setzt ein. Bis zu diesem Zeitpunkt sind allerdings bereits knapp 60 mm Niederschlag gefallen. Nachdem das Niederschlagsereignis beendet war, wurde der untere Sollwert für 120 min auf 75 % angehoben und das Wasser temporär im Substrat gespeichert. Anschließend wurden die Sollwerte auf 0 und 5 % abgesenkt. Danach dauerte es rund zwei Stunden bis das im Substrat gespeicherte Wasser abgeflossen war. Der absolute Wasserrückhalt war bei annähernd identischen Ausgangsbedingungen um den Faktor zwei größer als beim Modell 2, das bis auf die aktive Abflussregulation identisch aufgebaut ist. Dieser Anstieg ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass sich der im Substrat Steinrosenflur in großer Menge enthaltene Ziegelbruch während des zweistündigen Einstaus mit Wasser vollgesogen hat. Wie lange Wasser in diesem Maße im Substrat zurückgehalten werden kann, bis es zu Schädigungen an den Pflanzenwurzeln kommt, konnte in diesem Forschungsvorhaben nicht geklärt werden. Zeiten von vier bis sechs Stunden führten zumindest nicht zu einer sichtbaren Beeinträchtigung der Vegetation, wobei diese Angaben nur für trocken-warme Bedingungen im Anschluss gelten, wodurch das Substrat recht schnell abtrocknen konnte. In Perioden mit feuchtkalter Witterung könnten – zumindest bei wiederholtem Einstau – Schwierigkeiten bei manchen Pflanzen auftreten (Young et al., 2014; Krupka, 2019).

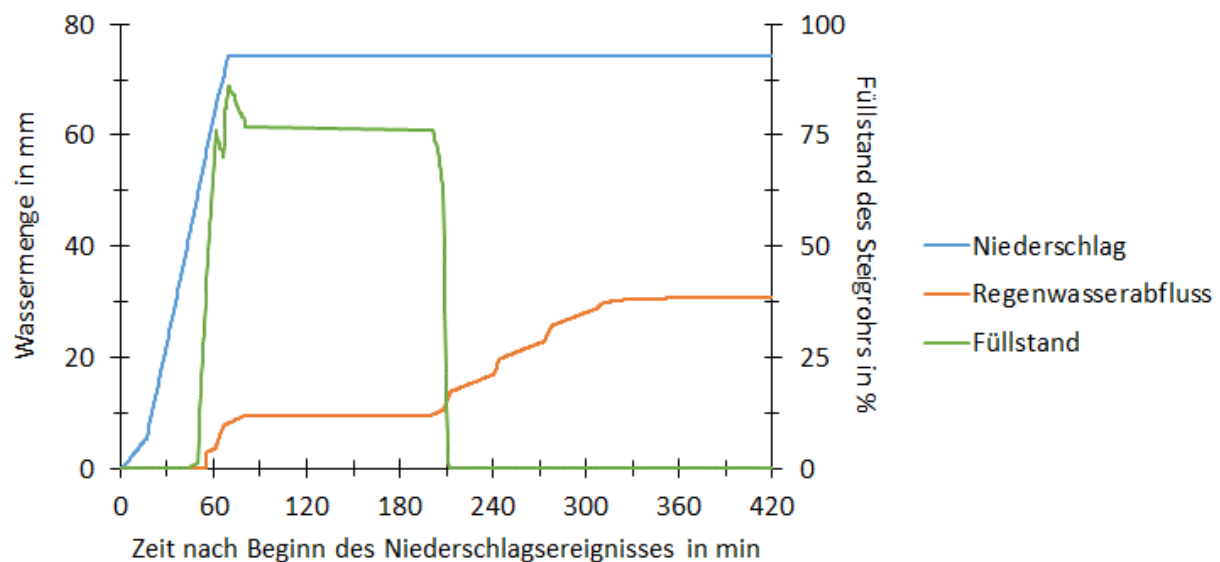


Abb. 16: Zeitlicher Verlauf des Regenwasserabflusses einer neuartigen extensiven Dachbegrünung mit aktiver Abflussregulation (Modell 4) und Nutzung des Substrats als temporärem Speicher bei einem unwetterartigen Niederschlagsereignis (Quelle: HSWT)

Eine weitere substantielle Verbesserung beim Wasserrückhalt kann durch Retentionselemente unterhalb der eigentlichen Dachbegrünung erzielt werden. Je nach Aufbauhöhe können bis zu 80 l Wasser je m<sup>2</sup> zusätzlich gespeichert werden. Sofern ein solches Element vor dem in Abb. 16 gezeigten Szenario vollständig leer gewesen wäre, hätte der gesamte Niederschlag bereits im Retentionselement gespeichert werden können. Abb. 17 zeigt den Regenwasserabfluss aus einem Retentionsdach mit aktiver Abflussregelung, wobei das Substrat nicht als temporärer Speicher genutzt wird. Die Höhe des Retentionselements entspricht 55 % der Gesamthöhe des Dachbegrünungsaufbaus (Retentionselement plus Vegetationstragschicht). Zu Beginn des Niederschlagsereignisses war dieser bereits zu etwa einem Drittel gefüllt, das Substrat aber relativ trocken. Damit stand für den Regenwasserrückhalt ein Speichervolumen im Retentionselement von etwa 45 mm sowie das Substrat zur Verfügung.

Im ersten Schritt wurde ein einstündiges Unwetter mit einer Niederschlagsmenge von 48 mm simuliert. Dadurch steig der Füllstand im Steigrohr auf etwas über 30 % an. Damit betrug das Restspeichervolumen des Retentionselements noch ca. 20 mm und das Substrat war vollständig wassergesättigt. Eine gute Stunde nach Ende des Niederschlagsereignisses wurde die Drossel geöffnet und gut 15 mm Wasser abgelassen, um die Speicherreserve im Retentionselement für ein angekündigtes weiteres

Niederschlagsereignis zu erhöhen. Dieses Niederschlagsereignis führte zu einem steilen Anstieg des Füllstands im Steigrohr, da das Substrat im Gegensatz zum ersten Niederschlagsereignis voll wassergesättigt war und kein Wasser mehr aufnehmen konnte. Dies zeigt nochmals die Bedeutung der Substratfeuchte für den Wasserrückhalt. Kurz vor Ende des Niederschlagsereignisses überschritt der Wasserstand im Steigrohr den unteren Schwellenwert von 50 % und die Ablaufdrossel wurde leicht geöffnet, dadurch kam es zu einem leichten Regenwasserabfluss von etwa 2 mm. Zwei Stunden nach Ende des zweiten Niederschlagsereignisses wurden die Schwellenwerte auf 0 und 5 % abgesenkt und das Retentionselement innerhalb einer halben Stunde vollständig entleert, wodurch wieder das gesamte Speichervolumen zur Verfügung stand. Dieses Beispiel zeigt, dass durch das Retentionselement in Kombination mit einer aktiven Abflussregulation der Regenwasserrückhalt erheblich verbessert werden kann. Im Vergleich zum Einstau in das Substrat sind hier die kurzen Reaktionszeiten besonders hervorzuheben. Bei schauerartigen Niederschlägen kann der Regenwasserablauf durch ein periodisches Öffnen und Schließen der Ablaufdrossel über einen langen Zeitraum gestreckt und starke Ablaufspitzen effektiv gebrochen werden.

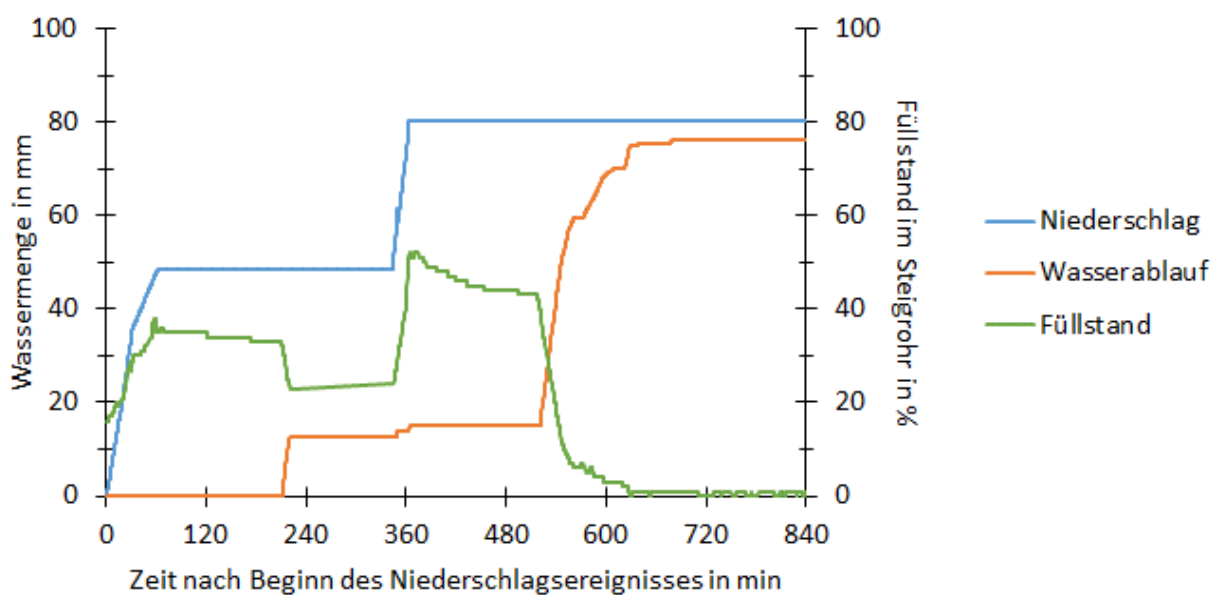


Abb. 17: Zeitlicher Verlauf des Regenwasserablaufs eines Retentionsdachs mit aktiver Abflussregulation (Modell 5) ohne Nutzung des Substrats als temporärem Speicher (Quelle: HSWT)

Im Falle von extrem starken Niederschlägen oder im Falle, dass das Retentionselement nicht rechtzeitig entleert wurde, kann natürlich auch bei einem Retentionsdach das Substrat als zusätzlicher temporärer Speicher genutzt werden (Abb.

18). In diesem Fall wurde ein extremes Unwetter mit einer Niederschlagsmenge von 200 mm innerhalb von weniger als drei Stunden simuliert. Etwa 20 Minuten nach Beginn des Niederschlagsereignisses ist ein Anstieg des Füllstands im Retentionselement zu erkennen, d.h. bei einer einfachen Extensivbegrünung ohne Retentionselement hätte zu diesem Zeitpunkt der Regenwasserabfluss eingesetzt. In der Folge stieg der Füllstand relativ linear an. Nach gut einer Stunde und einer Niederschlagsmenge von etwa 80 mm war das Retentionselement vollständig gefüllt (Füllstand 55 %) und nach weiteren 20 Minuten war auch das Substrat zu etwa zwei Drittel (75 % Füllstand) überstaut, so dass die Ablaufdrossel öffnete und der Niederschlag ungebrems abließ. Nach dem Ende des Niederschlagsereignisses wurden die Schwellenwerte des Ultraschallsensors schrittweise abgesenkt und das im Substrat eingestaute Wasser über einen Zeitraum von etwa zwei Stunden langsam abgelassen. Der Wasserrückhalt durch den Einstau beträgt in etwa 15 bis 20 mm, was etwas weniger ist, als für das in Abb. 16 gezeigte Szenario. Dies ist vermutlich auf die Kombination einer etwas höheren Ausgangsfeuchte des Substrats sowie der kürzeren Einstauzeit, wodurch sich die mineralischen Bestandteile nicht ganz so stark vollsaugen konnten, zurückzuführen. Etwa sechs Stunden nach Ende des Niederschlagsereignisses wurden die Füllstandsschwellenwerte auf null abgesenkt und das im Retentionselement gespeicherte Wasser (gut 80 mm) abgelassen. Der Wasserrückhalt im Substrat lag bei nur etwa 10 mm und entspricht der Wirkung einer einfachen Extensivbegrünung. Aber durch die aktive Steuerung in Verbindung mit dem Retentionselement konnte der Regenwasserrückhalt während des Niederschlagsereignisses etwa verzehnfacht (115 mm) werden. Dieses Beispiel zeigt eindrücklich das enorme Potential von aktiv gesteuerten Retentionsdächern im Hinblick auf die Vorsorge gegenüber urbanen Sturzfluten.

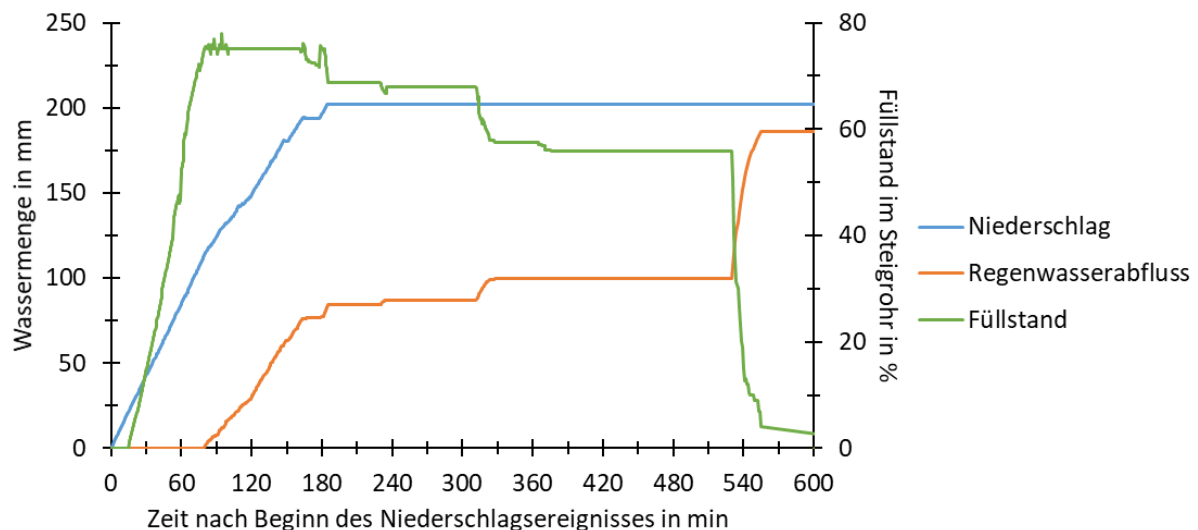


Abb. 18: Zeitlicher Verlauf des Regenwasserabflusses eines Retentionsdachs mit aktiver Abflussregulation (Modell 5) und temporärem Rückstau in das Substrat (Quelle: HSWT)

### 3.2.3 Modellierung der Evapotranspiration

Für die mittelfristige Anpassung der Bewässerungsstrategie werden Informationen über die Evapotranspirationsleistung in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen sowie dem Wasserversorgungszustand benötigt. Auf Grund eines Systemabsturzes bei dem die im Zeitraum April bis Juni 2021 erhobenen Daten verloren gingen und der Hardware-Probleme mit der Schnittstelle zu den Feuchtefühlern, die erst im Winter 2020/2021 behoben werden konnten, stehen hierfür nur relativ wenige geeignete Datensätze zur Verfügung. Abb. 19 (oben) zeigt den Verlauf des Gewichts von Modell 2 sowie das Feuchtesignal der Bodenfeuchtefühler (SMT 100). Die Kurven verlaufen annähernd spiegelbildlich - mit sinkendem Gewicht des Modells durch die Evapotranspiration steigt das Sensorsignal kontinuierlich an. Im unteren Teil der Abbildung ist die gemessene Evapotranspiration im Vergleich zur potentiellen Evapotranspiration (FAO-56-Referenzverdunstung modelliert mit Daten der klimatischen Bedingungen im Gewächshaus) dargestellt. Im ersten Drittel der Grafik – solange die Pflanzen ausreichend mit Wasser versorgt sind (Feuchtesignal des SMT 100 < 16.000) – ist ein eindeutiger Zusammenhang ( $r = 0,90$ ) zwischen der gemessenen und der potentiellen Evapotranspiration zu erkennen, wobei die gemessene Evapotranspiration die modellierte FAO-Referenzverdunstung bei ausreichender Wasserversorgung um etwa den Faktor 1,6 übersteigt. Diese Ergebnisse decken sich mit

Erkenntnissen aus vorangegangenen Untersuchungen (Walker et al., 2016). Steigt das Feuchtesignal des SMT 100 über 16.000, leiden die Pflanzen zunehmend unter Trockenstress und der Zusammenhang zwischen der Globalstrahlung und der Evapotranspiration verschwindet gänzlich. Unter solchen Bedingungen entspricht die gemessene Evapotranspiration im Mittel der Referenzverdunstung. Diese Ergebnisse zeigen im Hinblick auf die Entwicklung von mittelfristigen Bewässerungsstrategien, dass der Wasserverbrauch von Dachbegrünungen auf Grundlage der prognostizierten Evapotranspiration ( $ET_0$ ) modelliert werden kann, solange die Pflanzen ausreichend mit Wasser versorgt sind. Allerdings müssen vegetationsspezifische Anpassungsfaktoren ermittelt werden. Des Weiteren zeigen die Daten, dass die Pflanzen ihre maximale Transpirationsleistung auch noch bei einer relativ geringen Substratfeuchte aufrechterhalten können. Erst wenn das Sensorsignal des SMT 100 über 16.000 Counts steigt, verschwindet der Zusammenhang zwischen der potentiellen Evapotranspiration und dem tatsächlichen Wasserverbrauch der Pflanzen. Dabei scheint es nur einen sehr geringen Übergangsbereich zu geben. Sobald also die kritische Schwelle bezüglich der Substratfeuchte unterschritten ist, bricht die Evapotranspirationsleistung schlagartig ein und die Pflanzen gehen in einen wassersparenden Notfallmodus mit einer von der Witterung unabhängigen Basisverdunstung von ca. 0,5 mm pro Tag.

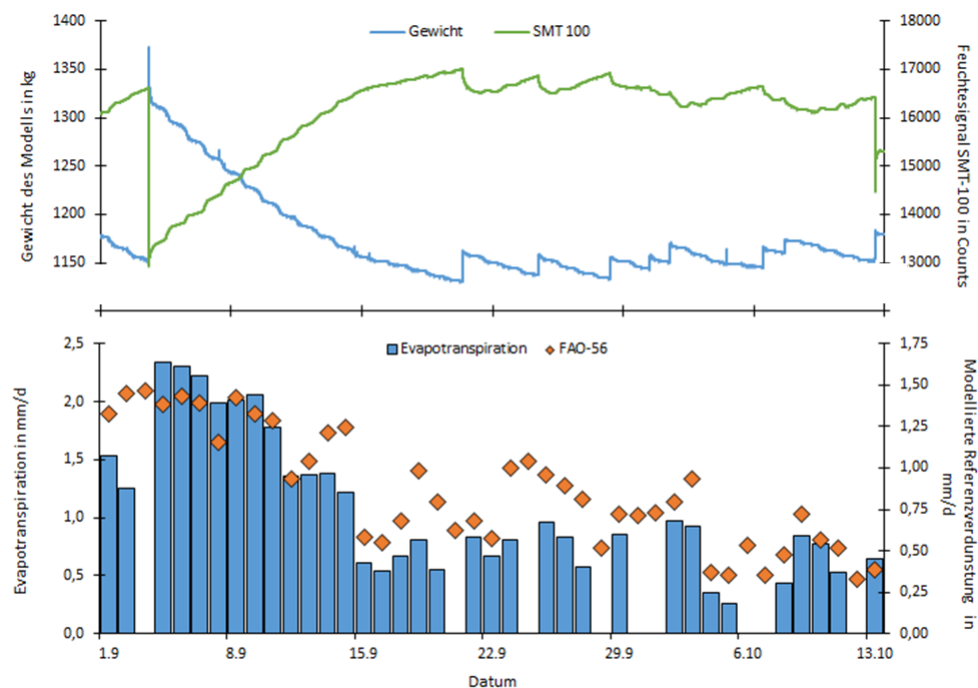


Abb. 19: Einfluss der Substratfeuchte auf die Evapotranspiration einer Gräser-Kräuter-Vegetation im Vergleich zur potentiellen Evapotranspiration (Quelle: HSWT)

### 3.2.4 Einfluss der Dachbegrünung auf das thermische Milieu

Abb. 20 zeigt, wie sich der Wasserversorgungszustand auf die Kühlleistung einer Begrünung mit einer verdunstungsstarken Gräser-Staudenvegetation auswirkt. An den ersten beiden Tagen leiden die Pflanzen bereits unter Trockenstress und können trotz der hohen Temperaturen kaum noch Wasser verdunsten. Am Morgen des dritten Tages wurde ein Niederschlagsereignis simuliert, nach dem das Substrat wieder wassergesättigt war. In den folgenden beiden Tagen liegen die Temperaturen im Substrat sowie unmittelbar oberhalb der Vegetation (25 cm) trotz gleicher bzw. sogar leicht höherer Raumtemperaturen deutlich niedriger als in den zwei Tagen vor dem Niederschlagsereignis. Auf die Lufttemperatur in 1 m Höhe über dem Substrat macht sich der Niederschlag nur am ersten Tag bemerkbar. Dies ist vermutlich vor allem auf die starke Evaporation von an den Blättern haftendem Wasser sowie eine direkte Kühlung der Fühlergehäuse durch das Niederschlagswasser zurückzuführen.

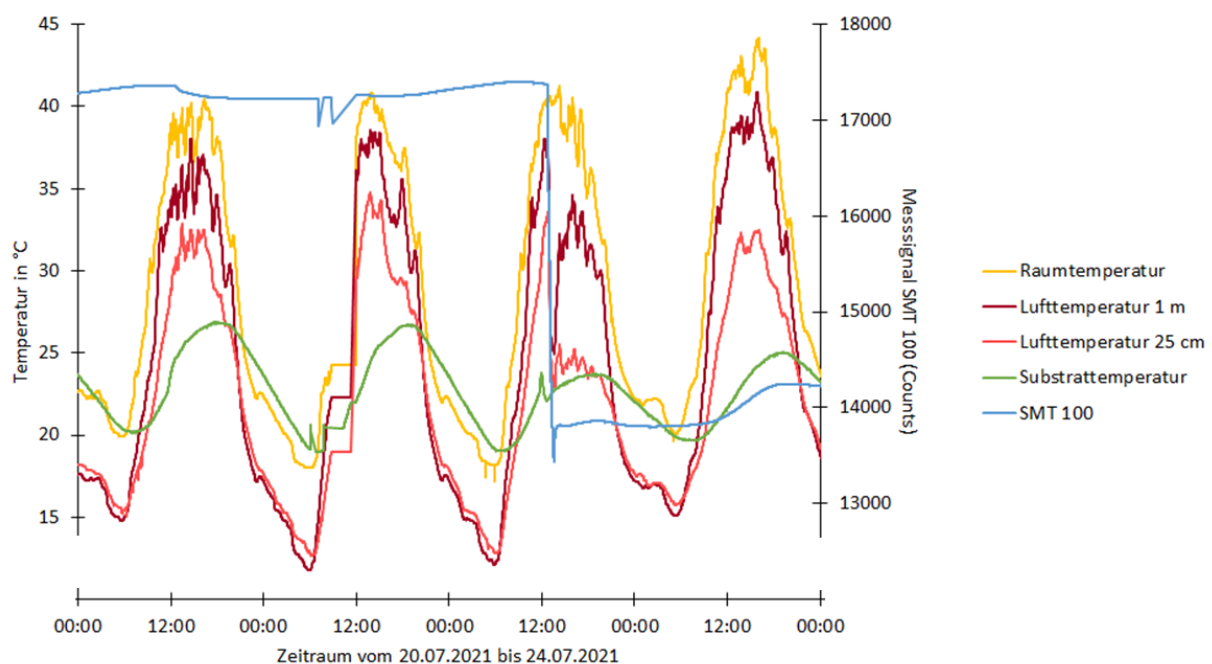


Abb. 20: Luft- und Substrattemperaturen in Abhängigkeit vom Wasserversorgungszustand (SMT 100-Messsignal > 17.000 -> Substrat sehr trocken) bei einer Gräser-Staudenvegetation (Quelle: HSWT)

Der dämpfende Effekt der Wasserversorgung der Begrünung auf die Substrattemperaturen ist auch bei der einfachen Sedumbegrünung (Modell 1) zu beobachten (Abb. 21). Bei einer relativ geringen Substratfeuchte (Signal des SMT 100 >

15.500) sind die Maximalwerte der Luft- und Substrattemperatur annähernd identisch. Nach der Bewässerung am Morgen des 03.09. beträgt der Unterschied zwischen den Maximalwerten der Luft- und der Substrattemperatur dagegen zwischen 8 und 10 °C. Der deutliche Anstieg der Evapotranspiration nach der Bewässerung ist auch am deutlichen Tagesgang des SMT 100-Feuchtesignals zu erkennen. Dies spiegelt sich auch im Verlauf des Tischgewichts wider (Daten nicht dargestellt). Während in knapp 2 ½ Tagen vor der Bewässerung die Evapotranspiration nur etwa 2 mm betrug, waren es im selben Zeitraum danach gut 9 mm. Unter Berücksichtigung der Globalstrahlung ergibt sich für die Tage vor der Bewässerung eine Konvertierungsrate von etwa 60 % im Vergleich zu 95 % für die Tage danach. Bei der ausreichend mit Wasser versorgten Begrünung wird also annähernd die gesamte eingestrahlte Energie in latente Wärme umgesetzt, während es bei mäßigem Trockenstress weniger als zwei Drittel ist. Allerdings war auch bei ausreichender Wasserversorgung der Sedumbegrünung im Gegensatz zur verdunstungsstarken Gräser-Stauden-Vegetation kein bzw. nur ein sehr geringer Unterschied zwischen der Raumtemperatur und der Lufttemperatur 25 cm über der Substratoberfläche zu beobachten.

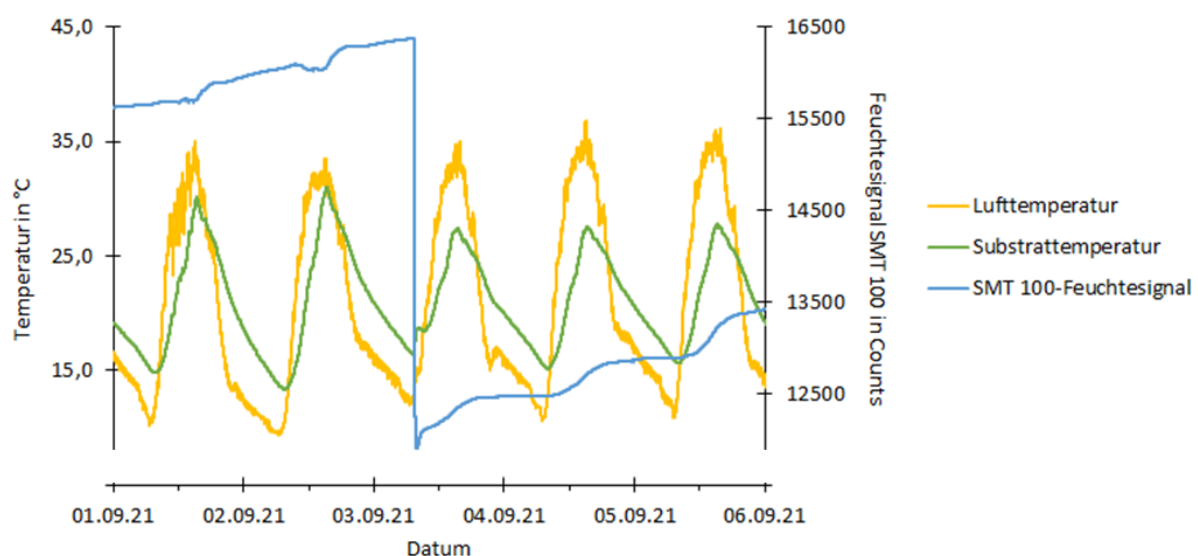


Abb. 21: Luft- und Substrattemperaturen in Abhängigkeit vom Wasserversorgungszustand (SMT 100-Messsignal > 15.500 -> Substrat relativ trocken) bei einer einfachen Sedumbegrünung (Quelle: HSWT)

Die exemplarisch gezeigten Daten zur Kühlwirkung bestätigten sich so über den gesamten Projektzeitraum. Bei einer ausreichenden Wasserversorgung entspricht sowohl bei der Sedumbegrünung als auch bei den unterschiedlichen Stauden-Gräser-

Vegetationen die Kühlwirkung durch die Evapotranspiration der über die Globalstrahlung eingetragenen Energie. Zudem ist bei allen Vegetationstypen ein starker Rückgang der Evapotranspiration mit abnehmender Feuchte im Substrat zu beobachten, wobei die Sedumpflanzen das Substrat stärker austrocknen konnten, als die Gräser und Stauden. Einschränkend ist im Hinblick auf die Beurteilung der Kühlleistung der unterschiedlichen Vegetationsformen allerdings anzumerken, dass die auf die Modelle auftreffende Globalstrahlung durch die Gewächshausbedachung sowie Konstruktionsbestandteile im Dachbereich gegenüber dem Freiland um rund 40 % reduziert wurde. Das bedeutet, dass vermutlich selbst an einstrahlungsreichen Tagen die maximale Verdunstungsleistung der Gräser-Stauden-Begrünungen nicht ausgeschöpft werden konnte und deshalb die Unterschiede zur Sedumbegrünung im Gegensatz zu Messungen unter Freilandbedingungen eher gering waren (Schmitz et al., 2018).

### 3.2.5 Schnittstellen zu Daten aus der Wettervorhersage

#### Daten der statistisch optimierten Punktvorhersage (MOSMIX)

Bei den MOSMIX-Daten handelt es sich um Daten aus numerischen Vorhersagemodellen, die mittels statistischer Verfahren (MOS: Model-Output-Statistics) optimiert werden (DWD, 2021b). Die Daten sind für ca. 5400 Stationen weltweit verfügbar, von denen die meisten in Europa liegen. Die Datensätze beinhalten Vorhersagen zu allen üblichen meteorologischen Wetterdaten wie Sonnenscheindauer, Lufttemperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit sowie Niederschlagsmengen und -wahrscheinlichkeit. Der maximale Vorhersagezeitraum beträgt 240 h. Ein Teil der Daten (MOSMIX-S) wird stündlich und ein Teil (MOSMIX-L) alle sechs Stunden aktualisiert. Die Daten werden auf dem Open-Data-Server des DWD als gezippte KML-Dateien abgelegt, wobei für jede Station ein eigener Ordner existiert. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde nur der MOSMIX-L-Datensatz verwendet.

Die Programmierung der Schnittstelle erfolgte in C#. In regelmäßigen Abständen wird geprüft, ob auf dem Open-Data-Server des DWD eine neue Datei vorhanden ist. Die für den jeweiligen Standort zutreffende Station wird zuvor manuell z.B. auf der Internetseite <https://wetterwarn.de/mosmix/mosmix.html> ausgewählt und die zugehörige Stationsnummer in eine Ressource-Datei eingetragen. Ist eine neue Datei vorhanden, wird diese mittels FTP automatisiert heruntergeladen und entpackt. Die KML-Datei wird anschließend umbenannt und in einen Archiv-Ordner verschoben. Die heruntergeladene

ZIP-Datei wird abschließend gelöscht. Die KML-Datei wird mittels der XmlTextWriter-Klasse geparkt und die enthaltenen Datensätze in einem mehrdimensionalen Array gespeichert. Abschließend werden die benötigten Daten aus dem Array in einer CSV-Datei gespeichert, wobei die Vorhersagezeitpunkte in den Zeilen und die Parameter in den Spalten abgelegt werden. Sobald ein neuer Datensatz vorhanden ist, wird die CSV-Datei automatisch aktualisiert.

### Radarbasierte Niederschlagsdaten (RADVOR)

Neben den MOSMIX-L-Daten wurden Daten der radarbasierten Niederschlagsvorhersage (RADVOR) eingebunden. Dabei handelt es sich um einen binär codierten Datenblock aus 900 mal 900 Rasterpunkten (DWD, 2021a), der im 15-Minutentakt aktualisiert wird. Dabei werden neben Echtzeitdaten zwei Prognosen mit einem Vorlauf von 60 bzw. 120 min herausgegeben. Jeder der 900 x 900 Rasterpunkte deckt dabei eine Fläche von 1 km<sup>2</sup> ab.

Wie bei den MOSMIX-Daten beschrieben, werden die RADVOR-Dateien automatisiert mittels FTP vom Open-Data-Server des DWD heruntergeladen. Die Prozessierung erfolgt mittels eines in das C#-Programm integrierten R-Skripts (Abschnitt 7.3 im Anhang). Das Skript basiert auf dem Package rdwd (Boessenkool, 2020). Der aktuelle Standort wird in Form von GPS-Koordinaten vom Hauptprogramm an das Skript übergeben. Für alle RADVOR-Rasterpunkte innerhalb festgelegter Rechtecke um den Standort herum werden die Niederschlagsmengen in den Echtzeitdaten sowie den beiden Vorhersagen (+60 min und +120 min) ausgelesen und fortlaufend – beginnend beim Rasterpunkt links unten und endend beim Rasterpunkt rechts oben – in einer csv-Datei abgelegt. Die Größe der Rechtecke ist bei den Echtzeitdaten mit 5 x 5 Rasterpunkten (entsprechend einem Bereich von 5 x 5 km um den Standort) am kleinsten und steigt mit zunehmender Vorhersagedauer (10 x 10 bei +60 min und 20 x 20 bei +120 min). In Abb. 22 ist die Auswertung der RADVOR-Daten exemplarisch visualisiert: Oben ist jeweils das Gesamtbild des nationalen Komposits mit einer Ausdehnung von 900 x 900 km zu sehen, die rote Raute markiert den Standort Freising (GPS-Koordinaten: 48.403381, 11.730380). Bei der Grafik unten handelt es sich jeweils um einen vergrößerten Ausschnitt mit drei Rechtecken um den aktuellen Standort, die wie beschrieben ausgewertet werden. Von links nach rechts haben die Bilder eine zeitliche Auflösung von 15 min. Die Farben

kennzeichnen die Niederschlagsintensität von grau (kein Niederschlag) bis grün (15 mm/h in der unteren Reihe).

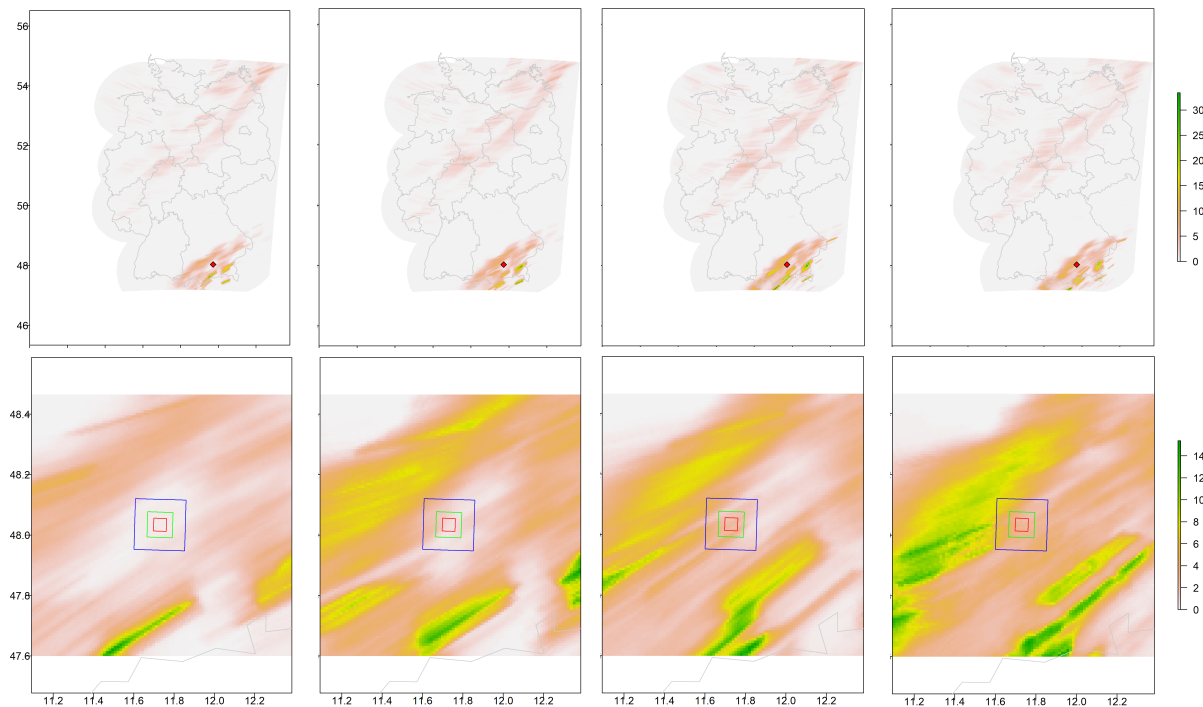


Abb. 22: Auswertung von RADVOR-Daten für den Standort Freising mit einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten, die farbigen Quadrate kennzeichnen Bereiche 2,5, 5 und 10 km um Freising (Quelle: HSWT)

### 3.2.6 Funktionsprinzip des Steuerungsalgorithmus

Der Steuerungsalgorithmus besteht aus zwei Bausteinen. Der erste – und einfachere – Baustein ist die kurzfristige Steuerung des Wasservorrats im Retentionselement zur Optimierung des Regenwasserrückhalts bei lokalen Unwettern. Der zweite Baustein ist das mittelfristige Wassermanagement, das sich wiederum in Strategien zur Ent- und Bewässerung der Dachbegrünung aufteilt. Der Zeithorizont für die lokale Unwettervorhersage beträgt nur wenige Stunden, der für das mittelfristige Wassermanagement einige Tage. Im Folgenden werden Funktionsprinzipien der beiden Bestandteile im Detail erläutert.

#### Kurzfristige Unwettervorsorge

Wie im Abschnitt 3.2.2 gezeigt, kann durch ein aktiv gesteuertes Retentionselement der Regenwasserrückhalt von Dachbegrünungen erheblich verbessert werden. Durch die hohe Flexibilität aufgrund der raschen Entleerung gilt dies

insbesondere im Falle von oft nur kleinräumigen unwetterartigen Niederschlägen im Sommerhalbjahr, die kaum vorhersehbar und überall auftreten können (UBA, 2019b). Die Steuerung basiert auf den Füllstandsmessungen im Retentionselement sowie den RADVOR-Daten. Wie bei der Beschreibung der Schnittstelle ausgeführt, werden die Niederschlagsmengen in den Echtzeitdaten sowie der ein- bzw. zweistündigen Prognose in größer werdenden Arealen ausgelesen. Basierend auf diesen Daten kann ein kurzfristig benötigtes Speichervolumen abgeschätzt werden. Ein möglicher Ansatz wäre die Berechnung der mittleren Niederschlagsmenge sowie deren Streuung. Um statistisch gesehen zwei Drittel der Niederschläge in den 25 Rasterpunkten aufnehmen zu können, wird ein Speichervolumen entsprechend der Summe aus Mittelwert und Standardabweichung benötigt. Mit zunehmendem Vorlauf und zunehmender Rastergröße kann der Prozentsatz der aufnehmbaren Niederschlagsmengen stufenweise gesenkt werden. Hierbei handelt es sich aber nur um einen sehr einfachen Ansatz, der den dahinterliegenden Gedankengang verdeutlichen soll. Eine exakte Parametrierung und Validierung hätte den Rahmen des aktuellen Forschungsvorhabens gesprengt. Einschränkend ist zudem zu sagen, dass die RADVOR-Daten für die breite Öffentlichkeit erst mit einer Verzögerung von 120 min zur Verfügung gestellt werden. Eine direkte Umsetzung in eine praktische Anwendung ist daher mit den über die Open-Data-Plattform zur Verfügung gestellten Daten nicht möglich, allerdings gibt es entsprechende kostenpflichtige Angebote über die eine Realisierung des beschriebenen Grundkonzepts möglich ist.

### Mittelfristiges Entwässerungsmanagement

Das mittelfristige Entwässerungsmanagement ergänzt bei Retentionsdächern mit aktiver Nutzung des Retentionswassers zur Bewässerung (Modell 6) den Steueralgorithmus zur kurzfristigen Unwettervorsorge. Hierfür wird auf die MOSMIX-Daten zurückgegriffen. Genutzt werden die prognostizierten Niederschlagsmengen innerhalb der nächsten 12 Stunden. Der Füllstand des Retentionselements wird dabei so reguliert, dass die innerhalb der nächsten 6 h prognostizierten Niederschlagsmengen vollständig und die im Prognosezeitraum von 6 bis 12 h zur Hälfte im Retentionselement aufgenommen werden können, wobei der Wasserrückhalt als zusätzlicher Sicherheitspuffer betrachtet und deswegen nicht berücksichtigt wird. Soll das System mehr in Richtung Regenwasserrückhalt optimiert werden, können sowohl der Beobachtungszeitraum verlängert als auch das freie Speichervolumen im Verhältnis zur

Niederschlagsmenge erhöht werden sowie der potentielle Wasserrückhalt auf Grundlage der aktuellen Substratfeuchte geschätzt und entsprechend berücksichtigt werden. Das Umgekehrte gilt, wenn die Kühlwirkung bzw. die Regenwasserbewirtschaftung im Vordergrund stehen.

Durch das mittelfristige Entwässerungsmanagement soll vor allem vermieden werden, dass die kurzfristige Unwettervorsorge zu stark regulatorisch eingreifen muss, da in dem Retentionselement erhebliche Mengen Wasser gespeichert werden können und bei großen Dachflächen das Ablassen eines größeren Teils des gespeicherten Wassers in kurzer Zeit selbst zu einer lokalen Überlastung des Kanalnetzes führen könnte. Die kurzfristige Unwettervorsorge ist daher als Ultima Ratio zu sehen.

### Mittelfristiges Bewässerungsmanagement

Der Algorithmus für das mittelfristige Bewässerungsmanagement basiert auf einer Entscheidungsmatrix, die sequentiell abgearbeitet wird. Die einzelnen Einflussgrößen werden mit einem Indexwert versehen und ein aufsummierter Bewässerungsindex berechnet. Die Höhe des Bewässerungsindex entscheidet darüber ob und wenn ja, wie lange die Begrünung bewässert wird. Durch die Gewichtung der Indexwerte für die einzelnen Einflussgrößen ist eine einfache Anpassung an die Hauptstoßrichtung – Regenwasserrückhalt, Beeinflussung des thermischen Milieus, Bewirtschaftung vorhandener Wasserressourcen – möglich. Im Folgenden werden die einzelnen Einflussgrößen der Entscheidungsmatrix sowie die Parametrisierung der Indexwerte im Detail beschrieben:

Aktuelle Substratfeuchte: Für die Substratfeuchtefühler wird ein oberer und ein unterer Schwellenwert definiert. Wird der untere Schwellenwert unterschritten ist die Vegetation ausreichend mit Wasser versorgt (zur Erinnerung, das Signal der Sensoren ist umgekehrt proportional zur Substratfeuchte). In diesem Fall wird der Indexwert für die Bewässerung erniedrigt. Übersteigt das Sensorsignal dagegen den oberen Schwellenwert, also das Substrat ist sehr trocken, wird der Bewässerungsindex erhöht. Bei den Modellen im Forschungsvorhaben wurde jeder der fünf verbauten Sensoren einzeln bewertet und mit einem Wert von 1 versehen, das heißt wenn alle Sensoren den oberen Schwellenwert überschritten haben, beträgt der Bewässerungsindex +5 und wenn alle Sensoren den unteren Schwellenwert unterschritten -5. Um die Wassermanagementstrategie in Richtung Regenwasserrückhalt zu optimieren, müssen der untere Schwellenwert

abgesenkt und/oder der obere Schwellenwert angehoben werden, damit wird die Vegetation erst bei stärkerer Austrocknung bewässert bzw. bereits ab einer relativ geringen Substratfeuchte der Bewässerungsindex gesenkt. Steht dagegen die Optimierung der Evapotranspiration bzw. die Bewirtschaftung von gespeichertem Niederschlags- oder auch von Grauwasser im Vordergrund, wird der obere Schwellenwert abgesenkt und der untere angehoben. Damit wird die Substratfeuchte kontinuierlich auf einem höheren Niveau gehalten, um möglichst durchgängig eine maximale Evapotranspirationsleistung der Dachbegrünung zu erzielen. Die Grenzen der Schwellenwerte ergeben sich dabei aus der Toleranz der Pflanzen sowohl im Hinblick auf die Trockenheitstoleranz als auch bezüglich einer dauerhaft hohen Substratfeuchte.

Zur Verfügung stehende Wasserressource: Dieses Kriterium ist optional. Bei den sechs Dachbegrünungsmodellen kam es nur im Falle von Modell 6 zum Tragen, bei dem sich im Retentionselement befindliches Wasser, wie beschrieben, für die Bewässerung genutzt werden könnte. Jeweils 25 % wassergefülltes Speichervolumen führte zu einer Erhöhung des Bewässerungsindex um einen Punkt, d.h. ein vollständig gefülltes Retentionselement würde die Absenkung des Bewässerungsindex durch ein sehr feuchtes Substrat (vier der fünf Feuchtefühler unterschreiten den unteren Schwellenwert) egalisieren. Für ein eher auf Regenwasserrückhalt optimiertes System können einfach die Volumina abgesenkt werden (z.B. 10 % Volumen = +1), d.h. bereits ein zur Hälfte gefülltes Speichervolumen würde für den genannten Ausgleich ausreichen. Bei einem auf Schonung der Wasserressourcen bedachten Wassermanagement können die Indexwerte auch negativ besetzt werden, dann müssten bei einem sich zunehmend leerenden Speichervolumen die Pflanzen immer stärker unter Trockenstress leiden, damit ein Bewässerungsvorgang gestartet wird. Dies ist insbesondere in niederschlagsarmen Regionen zielführend. Neben der Nutzung des im Retentionselement gespeicherten Niederschlagswassers können in dieser Form auch andere Wasserressourcen in die Wassermanagementstrategie eingebunden werden. Steht beispielsweise Grauwasser zur Verfügung wird der Bewässerungsindex entsprechend stark erhöht und bei Trinkwasser entsprechend gesenkt. Zwar konnten die Modelle im laufenden Projekt nur mit Leitungswasser bewässert werden, um die Auswirkung modellieren zu können wurde für Grauwasser ein Indexwert von +1, für sonstiges Regenwasser von  $\pm 0$  und für Leitungswasser von -1 angesetzt.

Entwicklung des Wasserversorgungszustandes: Um die Entwicklung der Wasserversorgung innerhalb der nächsten 72 h zu modellieren, werden die im Abschnitt 3.2.5 beschriebenen MOSMIX-Daten genutzt, insbesondere die Daten zur Wasserbilanz, also der zu erwartenden Niederschlagsmengen abzüglich der potentiellen Evapotranspiration. Wie in Abb. 19 exemplarisch gezeigt besteht bei ausreichender Wasserversorgung eine enge Korrelation zwischen der potentiellen Evapotranspiration und dem tatsächlichen Wasserverbrauch von Dachbegrünungen. Basierend auf diesem Zusammenhang in Verbindung mit der aktuellen Substratfeuchte und der Wasserkapazität der Dachbegrünung sowie den zu erwartenden Niederschlägen, kann eine Wasserbilanz für die Dachbegrünung innerhalb der nächsten zwei bis drei Tage erstellt werden. Ist diese positiv, d.h. die vorhergesagten Niederschläge übersteigen den modellierten Wasserverbrauch, wird der Bewässerungsindex proportional abgesenkt bzw. im umgekehrten Fall (Wasserverbrauch > Niederschläge) angehoben. Die Absenkung des Bewässerungsindex wurde auf maximal zwei Punkte (Wasserbilanz > 20 mm) begrenzt. Bei einer Wasserbilanz zwischen 10 und 20 mm beträgt die Absenkung einen Punkt. Im Falle einer negativen Wasserbilanz (< 5 mm) wird der Bewässerungsindex je 5 mm um ein Punkt erhöht, wobei die Erhöhung auf maximal 4 Punkte begrenzt ist. Dieser Wert wird erreicht, wenn das Wasserdefizit innerhalb der nächsten drei Tage in etwa der für eine Gräser-Stauden-Vegetation nutzbaren Wassermenge im Substrat von etwa 20 l/m<sup>2</sup> (Abb. 19) überschreitet. Die Begrenzung nach oben wurde eingezogen, um zu vermeiden, dass im Falle einer sehr negativen Wasserbilanz aber einer aktuell noch hohen Substratfeuchte bewässert wird, da hierdurch die Gefahr von unnötigen Wasserverlusten besteht. Die beschriebene Parametrisierung entspricht einer ausgeglichenen Strategie im Hinblick auf Maximierung des Regenwasserrückhalts bzw. der Evapotranspiration. Bei einer im Hinblick auf den Regenwasserrückhalt optimierten Strategie würde auf die Anhebung des Bewässerungsindex und im Falle einer möglichst maximierten Evapotranspiration auf dessen Begrenzung nach oben verzichtet.

Mittelfristige Niederschlagswahrscheinlichkeit: Die mittelfristige Niederschlagswahrscheinlichkeit ist natürlich eng mit der klimatischen Wasserbilanz und damit dem Wasserversorgungszustand der Begrünung verknüpft. Umso höher die Wahrscheinlichkeit für Niederschläge ist und umso höher diese ausfallen, umso wahrscheinlicher ist, dass die Wasserbilanz positiv ist und der Bewässerungsindex

abgesenkt wird. Daher wurden die beiden Kriterien gekoppelt, um eine zu starke Wichtung zu vermeiden. Im Falle einer positiven Wasserbilanz – also die Niederschlagsmenge überschreitet den Wasserverbrauch – wird dieses Kriterium daher übersprungen. Im Falle einer negativen Klimabilanz wird der Bewässerungsindex in Abhängigkeit von der Wahrscheinlichkeit für Niederschläge mit einer Intensität von mehr als 5 mm innerhalb von 6 Stunden schrittweise abgesenkt, wobei jeweils die nächsten 48 Stunden betrachtet werden. Innerhalb der ersten 24 Stunden wird der Bewässerungsindex um einen Punkt gesenkt, wenn die Wahrscheinlichkeit über 50 % liegt und um einen halben Punkt bei einer Wahrscheinlichkeit über 25 %. Im Prognosezeitraum von zwischen 24 und 48 Stunden werden die Kriterien für die Wahrscheinlichkeit auf 75 bzw. 50 % angehoben. Der Parameter wirkt sich vor allem bei einer hohen Wahrscheinlichkeit einzelner aber intensiverer Regenereignisse aus, da er bei ergiebigem Dauerregen zumeist gar nicht berücksichtigt wird, da in solchen Fällen die klimatische Wasserbilanz in der Regel deutlich positiv ist.

Aktuelle thermische Belastung: Auf Grundlage der Globalstrahlung, der Lufttemperatur und der Luftfeuchte sowie der Windgeschwindigkeit wird der THWS-Index (Steadman, 1994) berechnet. Im Optimalfall werden hierfür Daten einer eigenen bzw. einer sehr nahegelegenen Wetterstation genutzt. Alternativ wäre auch eine Berechnung aus den MOSMIX-Daten möglich, wobei in diesem Fall die MOSMIX-S-Daten eingebunden werden müssen, da diese stündlich zur Verfügung gestellt werden. Der THWS-Index stellt ein Maß für die gefühlte Temperatur und damit die thermische Belastung dar und wird nach folgender Formel auf Basis der aktuellen Lufttemperatur und -feuchtigkeit, der Globalstrahlung sowie der Windgeschwindigkeit berechnet:

$$THWS = T + 0.348 * S - 0.7 * W + \left( \frac{0.7 * Q}{W + 10} \right) - 4.25$$

$$Q = \text{effektive Globalstrahlung} = \left( \frac{0.5 * G}{7} \right) + \frac{G}{28}$$

$$S = \text{Sättigungsdefizit} = \frac{rF}{100} * 6.105 * \exp\left(\frac{(17.27 * T)}{(237.7 + T)}\right)$$

$$T = \text{Lufttemperatur in } ^\circ\text{C}$$

$$W = \text{Windgeschwindigkeit in m/s}$$

$$G = \text{Globalstrahlung in W/m}^2$$

$$rF = \text{relative Luftfeuchte in \%}$$

Bei der Berechnung der effektiven Globalstrahlung (Q), also dem Anteil der Globalstrahlung, der die Körperoberfläche erwärmt, wurde basierend auf den vom DWD

veröffentlichten Einstrahlungsdaten für die Jahre 2018 bis 2021 näherungsweise angenommen, dass in Deutschland die diffuse Globalstrahlung 50 % der gesamten Globalstrahlung ausmacht. Umso höher der THWS-Index und damit umso stärker die thermische Belastung ist, umso stärker wird der Bewässerungsindex erhöht. Im Rahmen des für die Steuerung der Modelle parametrisierten Entscheidungsmatrix wurde bei THWS-Werten über 25 °C der Bewässerungsindex je 5 °C Anstieg um einen Punkt erhöht. Sinkt der THWS-Index auf Werte von 20 bzw. 15 °C wird der Bewässerungsindex entsprechend abgesenkt. Neben der Einbindung des THWS-Indexes ist natürlich auch die Einbindung anderer thermischer Indizes denkbar. Interessant könnten insbesondere Indizes wie der PVM bzw. der SSI sein, die die thermische Belastung innerhalb begrünter Gebäude (Van Hoof, 2008) bzw. in der Nacht beschreiben (Pepi, 1987; Gumprecht, 1995), da, wie im Stand des Wissens dargelegt, vor allem das Gebäude selbst durch die Absenkung der Substrattemperatur und der Umwandlung der eingestrahnten Sonnenenergie in latente Wärme (Abb. 20 und Abb. 21) profitiert und die größten stadtklimatischen Effekte bei der Reduktion städtischer Hitzeinseln nachts zu erwarten sind. Im Hinblick auf die Minderung der nächtlichen Hitzeinseln könnten dabei neben aktuellen Wetterdaten auch Prognosewerte aus dem MOSMIX-Datensatz genutzt werden.

Steuerung der Bewässerung: Je nach Modell (Nutzung des Wassers im Retentionselement ja oder nein) sowie der Einbindung unterschiedlicher Wasserressourcen (Regen-, Grau- oder Trinkwasser), kann der aufsummierte Bewässerungsindex unterschiedliche Maximalwerte erreichen. Für ein einfaches Gründach ohne Nutzung des Wassers im Retentionselement beträgt dieses Maximum 18 Punkte (5 Punkte bei einem sehr trockenen Substrat, 4 Punkte bei einer Wasserbilanz für die nächsten 72 h < -20 mm, 4 Punkte bei einer geringen Niederschlagswahrscheinlichkeit und 4 Punkte bei einem THWS-Index > 45 °C). Bei aktiver Nutzung des Wassers im Retentionselement steigt dieses Maximum um fünf (volles Retentionselement und Vorhandensein von Grauwasser) auf 23 Punkte. Für die Bemessung wird der aktuelle Indexwert durch diesen Maximalwert geteilt und die maximale Bewässerungszeit nach der ein erhöhtes Risiko für das Auftreten von Drainwasser besteht (20 Minuten für die Modelle 2 bis 6) prozentual verkürzt. Gleiches gilt für die Sperrzeit von 2 h zwischen zwei Bewässerungsgängen. Die Sperrzeit entspricht dabei in etwa der Zeit, die benötigt wird, bis sich das Wasser nach einer Bewässerung einigermaßen gleichmäßig im Substrat verteilt hat.

### 3.3 Validierung des Wassermanagementsystems unter Freilandbedingungen

Ursprünglich war vorgesehen, dass die Validierungsversuche auf einem bestehenden Gründach mit einer verdunstungsstarken Gräser-Stauden-Vegetation an der HSWT erfolgen sollte. Allerdings wäre auf dieser Fläche aus technischen Gründe keine exakte Erfassung des Regenwasserablaufs möglich gewesen. Hinzu kommt, dass das Gebäude in einem wenig versiegelten bzw. verdichteten Areal liegt und vor allem in den Nachmittagsstunden beschattet wird. Vom Projektpartner – der ZinCo GmbH - wurde daher die Idee eingebracht, mobile Sensorplattformen zu entwickeln, mit denen die Wasserbilanz unter realen Bedingungen erhoben werden kann. Die ZinCo GmbH wollte die Sensorplattformen auf von ihr begrünten Dächern in unterschiedlichen urbanen Kontexten aufstellen.

Die ZinCo GmbH baute für die Sensorplattformen sechs, jeweils einen Quadratmeter große, Wannen, die unterschiedlich begrünt wurden (Abb. 23 links). Die Vegetationsformen reichten von einfachen Sedum-Begrünungen über Sedum-Gräser-Mischungen bis hin zu verdunstungsstarken Gräser-Stauden-Pflanzungen. Der Systemaufbau der Begrünungen entsprach dabei dem Aufbau von Modell 2 (einfaches Drainelement, Unterflurbewässerung mit Wasserverteilstvlies, Substrat Steinrosenflur mit einer Schichtdicke von 8 cm). Die HSWT entwickelte die Unterkonstruktion sowie die Elektronik für die Datenerfassung der Sensorplattformen. Dabei mussten insbesondere die Aspekte Wetterfestigkeit, Transportfähigkeit und eine möglichst autarke Arbeitsweise berücksichtigt werden. Im Winter 2019/20 wurde ein erster Prototyp fertiggestellt (Abb. 23 rechts), der all diese Anforderungen erfüllte. Er kann auf einer Europalette befestigt und einfach verzurrt werden. Zudem ist die gesamte Konstruktion kranbar. Die Stromversorgung wird über ein Solarpanel mit Speicherbatterie sichergestellt. Die Hardware zur Datenerfassung basiert auf einem AVR-Mikrokontroller und die Daten werden zum einen lokal gespeichert, können aber auch drahtlos (LORA, WLAN) in eine SQL-Datenbank übertragen und von dort in Echtzeit abgerufen werden. Somit ist ein vom Aufstellungsort weitgehend unabhängiger Betrieb möglich, es wird lediglich ein Wasseranschluss für die Unterflurbewässerung benötigt.



Abb. 23: Prototyp der solar betriebenen Sensorplattform mit einfacher Sedumvegetation (links) und Detailansicht der modularen Unterkonstruktion (rechts) mit den Wägezellen sowie der Elektronik und dem Batteriespeicher (Quelle: HSWT)

Auf Grund der coronabedingten Einschränkungen im Frühjahr 2020, durch die die Arbeiten an der HSWT für etwa drei Monate annähernd zum Erliegen kamen, musste der Aufbau der übrigen fünf Sensorplattformen zurückgestellt werden und auch der Prototyp konnte nur bedingt getestet werden. Daher waren die Sensorplattformen erst zu Beginn der Vegetationsperiode 2021 betriebsbereit. Auf Grund der weiterhin herrschenden Reise- und Kontaktbeschränkungen konnten die Plattformen zudem in dieser Vegetationsperiode nicht wie geplant von der ZinCo GmbH in unterschiedlichen urbanen Kontexten aufgestellt werden, weswegen die Messungen nur am Standort Weihenstephan durchgeführt werden konnten. Allerdings waren die Sommermonate – insbesondere Juli und August – hier ungewöhnlich kühl und niederschlagsreich (Abb. 24). So lag die Niederschlagsmenge in diesen zwei Monaten gut 40 % über dem Mittel der letzten 20 Jahre, während umgekehrt die Globalstrahlung um rund annähernd 70 % reduziert war. Dies machte sich auch in einer deutlich erhöhten klimatischen Wasserbilanz von etwa 40 mm im Mittel über die beiden Monate im Vergleich zu den sonst üblichen knapp 20 mm bemerkbar.

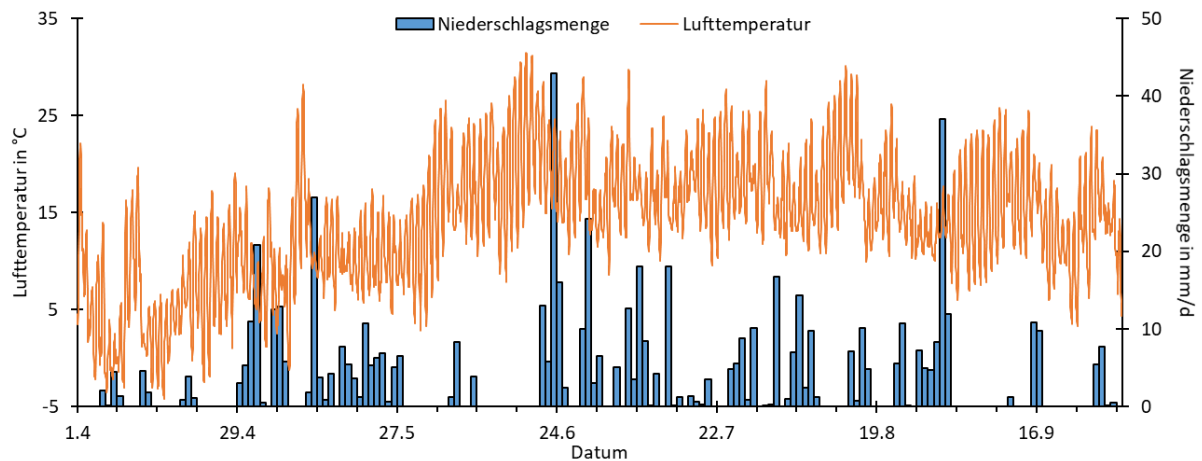


Abb. 24: Lufttemperatur in 2 m Höhe und tägliche Niederschlagsmengen am Standort Weihenstephan im Zeitraum vom 01.04. bis 30.09.2021 (Quelle: HSWT)

Bedingt durch das einstrahlungsarme und niederschlagsreiche Wetter waren die Sensorplattformen durchgängig ausreichend bis hoch mit Wasser versorgt, so dass eine Validierung der mittelfristigen Bewässerungsstrategie nicht möglich war. Zwar gab es von Ende Mai bis Mitte Juni eine etwa dreiwöchige Periode mit höheren Temperaturen und geringeren Niederschlägen, zu diesem Zeitpunkt waren die Pflanzen jedoch - auch bedingt durch das sehr kalte Frühjahr - noch zu wenig entwickelt. Allerdings bestätigten die Messungen mit den Sensorplattformen die während der Entwicklung der Steuerungsalgorithmen gewonnenen Erkenntnisse zum Wasserrückhaltevermögen sowie zum Zusammenhang zwischen der potentiellen Evapotranspiration und dem Wasserverbrauch von Dachbegrünungen trotzdem. Abb. 25 zeigt exemplarisch die Substratfeuchte sowie den Verlauf des Gewichts einer der Sensorplattformen mit einer Gräser-Stauden-Vegetation in Abhängigkeit von der kumulierten Niederschlagsmenge. Zu Beginn des Beobachtungszeitraums ist das Substrat schon sehr hoch mit Wasser versorgt (Signal des SMT 100 ca. 12.500 Counts). Die ersten kleineren Niederschlagsmengen (ca. 7 mm) können vom Substrat aber noch vollständig aufgenommen werden und werden während des folgenden Tages (29.08.) durch die Vegetation wieder verdunstet. Dementsprechend liegen das Gewicht des Modells sowie die Substratfeuchte am 29.08. abends wieder auf dem Niveau vor den Niederschlägen. Bei genauer Betrachtung der absoluten Gewichtszunahme der Dachbegrünungsmodelle und der kumulierten Niederschläge fällt eine gewisse Diskrepanz zwischen den beiden Werten auf. Die Gewichtszunahme der Modelle liegt systematisch höher als die Niederschlagsmenge im gleichen Zeitraum. Ursächlich hierfür ist zum einen Haftwasser an der Unterkonstruktion

der Sensorplattformen sowie zum anderen eine windbedingte Unterschätzung der erfassten Niederschlagsmenge (Allerup und Madsen, 1980). In der Nacht vom 29. auf den 30.08. kommt es zu einem ergiebigen Niederschlagsereignis mit einer Regenmenge von etwa 35 mm innerhalb von 12 h. Diese Regenmengen kann das Substrat nur zu einem kleinen Teil aufnehmen. Nach Ende der Niederschläge ist zu erkennen, dass das Substrat innerhalb einer relativen kurzen Zeitspanne vollständig entwässert. Dies entspricht ebenfalls den in den Abb. 14 und Abb. 15 gezeigten Daten für die Dachbegünungsmodelle 1 und 2.

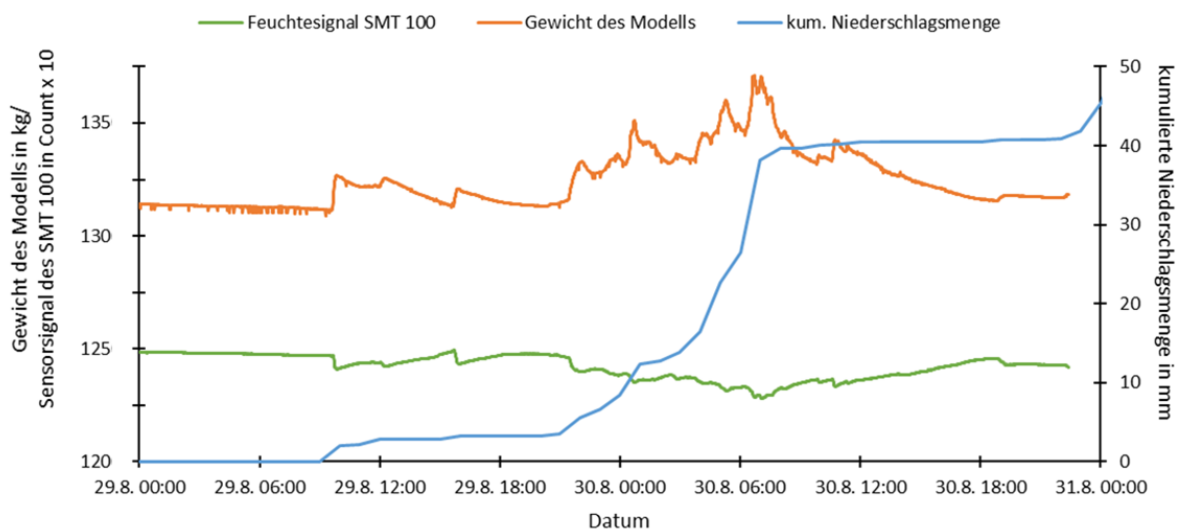


Abb. 25: Verlauf des Wassergehalts (Gewicht des Modells bzw. Substratfeuchte) in Abhängigkeit von der kumulierten Niederschlagsmenge vom 29. bis 31.08.2021 (Quelle: HSWT)

Weitere Erkenntnisse Dritter im Hinblick auf die technologischen Entwicklungen sind nicht bekannt geworden. Allerdings haben die in den letzten Monaten zunehmenden gesellschaftlichen Diskussionen im Bereich urbane Hochwasservorsorge sowie nachhaltige Wassernutzung die Aktualität des Forschungsansatzes nochmals untermauert. So ist ein Punkt des Aktionsplans im gerade vorgestellten Entwurf für eine nationale Wasserstrategie, das Leitbild der „wassersensiblen Stadt“ weiterzuentwickeln und in Umsetzung zu bringen (BMU, 2021).

## 4 Ergebnisverwertung

Die Ergebnisverwertung seitens der HSWT fokussiert sich auf die Publikation der gewonnenen Erkenntnisse. Dabei werden sowohl die Fachöffentlichkeit als auch die Allgemeinheit adressiert. Bereits während der Bauphase wurde das Forschungsvorhaben Gruppen von Fachbesuchern vorgestellt. Während der eigentlichen Projektphase vom Frühjahr 2020 bis zum Herbst 2021 war dies auf Grund der pandemiebedingten Einschränkungen an der HSWT nur noch in sehr geringem Umfang möglich. Unter anderem wurden eine Delegation der thailändischen Khon Kaen Universität sowie Masterstudierende aus dem Network Africa-Projekt der HSWT durch die Versuche geführt.

Des Weiteren wurde das Projekt im Rahmen von Posterbeiträgen bzw. Kurzvorträgen auf mehreren Tagungen vorgestellt:

- Schmitz, H.-J., Lohr, D., Walker, R., Meinken, E.: Optimierung des urbanen Wassermanagements durch Gründächer. Posterbeitrag auf dem 7. FLL Forschungsforum Landschaft vom 06. bis 07.03.2020 in Nürtingen.
- Lohr, D., Schmitz, H.-J., Walker, R., Meinken, E.: Dachbegrünungen als Baustein der Klimafolgenanpassung: Verbesserung der Überflutungs- und Hitzevorsorge durch ein IoT-basiertes Wassermanagement. Posterbeitrag und Kurzvortrag auf der INUAS-Konferenz 2021 – Urbane Transformationen: Ressourcen vom 03. bis 05.03.2021 (Online).
- Schmitz, H.-J., Lohr, D., Walker, R., Meinken, E.: Optimierung des urbanen Wassermanagements extensiver Gründächer im Hinblick auf Niederschlagsrückhalt und Verdunstungskühlung. Posterbeitrag auf dem Bundeskongress Gebäudegrün vom 23. bis 24.11.2021 (Online).
- Lohr, D., Schmitz, H.-J., Walker, R., Meinken, E.: IoT based water management system for extensive green roofs to mitigate urban floods. Posterbeitrag und Kurzvortrag auf der 15<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage (ICUD) vom 25. bis 28.10.2021 (Online).
- Lohr, Dieter; Schmitz, Heinz-Josef; Meinken, Elke: Development of an adaptive and sensor-based water management for extensive green roofs.

Vortrag auf dem 2. International symposium on greener cities: improving ecosystem services in a climate-changing world (greencities2022) im Rahmen des 31. International Horticultural Congress (IHC2022) vom 14. bis 20.08.2022 in Angers (Frankreich).

- Schmitz, Heinz-Josef; Jüttner, Ivonne; Lohr, Dieter; Meinken, Elke: Suitability of dielectric soil moisture sensors for measuring the water supply status of green roofs. Posterbeitrag auf dem 2. International symposium on greener cities: improving ecosystem services in a climate-changing world (greencities2022) im Rahmen des 31. International Horticultural Congress (IHC2022) vom 14. bis 20.08.2022 in Angers (Frankreich).

Zu den Tagungsbeiträgen auf der INUAS-Tagung sowie dem ICUD- und dem IHC-Symposium wurden peer-reviewte Beiträge für die Tagungsbände verfasst. Weitere Veröffentlichungen insbesondere in wissenschaftlichen Journals geplant. Um hierfür weitere Daten zu generieren, sollen die Messungen mit den sechs Dachbegrünungsmodellen über das Projektende hinaus fortgeführt werden.

Neben diesen fachspezifischen Veröffentlichungen wurde das Projekt im Rahmen von zwei Fernsehbeiträgen der Allgemeinheit vorgestellt. Im Oktober 2019 brachte der Bayerische Rundfunk einen Beitrag in der Abendschau und im Mai 2021 wurde zudem ein längerer Beitrag für die ARD-Sendung "W wie Wissen" aufgezeichnet, der seit dem 12.06.2021 in der ARD-Mediathek abrufbar ist (<https://www.daserste.de/information/wissen-kultur/w-wie-wissen/videos/Garten-auf-dem-Dach-video-100.html>).

Neben der Veröffentlichung der Erkenntnisse spielt der Praxistransfer eine wesentliche Rolle. Der Quellcode der Entscheidungsmatrix sowie die Schnittstellen zur Einbindung der MOSMIX- und RADVOR-Daten werden allen Interessierten kostenlos zur freien Nutzung zur Verfügung gestellt. Die ZinCo GmbH hat bereits verstärktes Interesse an der Weiterentwicklung des Systems bis zur Praxisreife angemeldet. In einem Nachfolgeprojekt an der HSWT soll ein Demonstrator auf dem Dach eines Neubaus etabliert und die Hard- und Softwarekomponenten bis zur Praxisreife weiterentwickelt werden. Dessen ungeachtet möchte die ZinCo GmbH die Validierungsmessungen mit den mobilen Sensorplattformen in der anstehenden Vegetationsperiode fortführen. Dabei sollen zum einen realitätsnahe Daten zur Wasserbilanz neuartiger, extensiver

Dachbegrünungen erhoben werden, die unter anderem für die Umsetzung der im Entwurf zur Nationalen Wasserstrategie (BMU, 2021) formulierten Ziele zur Wiederherstellung natürlicher Wasserkreisläufe in urbanen Gebieten benötigt werden. Zum zweiten sollen die Sensorplattformen dabei gleichzeitig dem Wissenstransfer dienen, um sowohl die Allgemeinheit aber insbesondere Kommunen für das Thema einer wassersensiblen Stadt zu sensibilisieren und den Beitrag von begrünten Dächern dazu vorzustellen.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein adaptives, sensorgestütztes Be- und Entwässerungsmanagementsystem für neuartige, extensive Dachbegrünungen entwickelt. Die Datengrundlage der Steuerung bildet zum einen die aktuelle Substratfeuchte, die – wie gezeigt werden konnte – mittels kapazitiver Feuchtefühler mit hoher Präzision gemessen werden kann. Hinzu kommen aktuelle Wetterdaten (Lufttemperatur und -feuchte, Einstrahlung, Windgeschwindigkeit) und Daten der kurz- und mittelfristigen Wettervorhersage sowie Informationen zu den verfügbaren Wasserressourcen. Das Kernstück des Wassermanagementsystems bildet eine Entscheidungsmatrix, in der die genannten Einflussgrößen bewertet und eine an die aktuellen Begebenheiten angepasste Be- und Entwässerungsstrategie abgeleitet wird. Mittels der Parametrisierung der Einflussgrößen bzw. deren Gewichtung kann der Zielkonflikt zwischen maximalem Regenwasserrückhalt und maximaler Evapotranspiration gelöst werden.

Das erste Kriterium der Entscheidungsmatrix ist der Wasserversorgungszustand der Begrünung, der über die Substratfeuchtefühler erfasst wird. Soll eine möglichst hohe Evapotranspirationsleistung erreicht werden – sei es um einen hohen Kühleffekt zu erreichen oder auch zum Zweck einer nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung –, wird eine höhere Substratfeuchte angestrebt und entsprechend stärker bewässert. Falls der Regenwasserrückhalt maximiert werden soll oder falls nur wenig Wasser zur Verfügung steht, kann das Substrat möglichst trocken gehalten werden ohne die Vegetation nachhaltig zu schädigen. Mit dem aktuellen Wasserversorgungszustand verknüpft ist die kurz- bis mittelfristige Entwicklung des Wasservorrats im Substrat. Dieser wird auf Grundlage der für die nächsten Tage vorhergesagten potentiellen Evapotranspiration sowie Modellen zur Verdunstungsleistung der extensiven Dachbegrünungen in Abhängigkeit von der Substratfeuchte prognostiziert. Des Weiteren wird die Bewässerungsintensität von den zur Verfügung stehenden Wasserressourcen (im Retentionselement gespeichertes Regenwasser, sonstiges Regenwasser, Grauwasser, Trinkwasser) sowie der aktuellen thermischen Belastung der Menschen in der unmittelbaren Umgebung beeinflusst.

Neben dem Bewässerungsmanagement wurden auch Strategien zur Entwässerung entwickelt. Dazu zählen zum einen Steuerungsalgorithmen zur rechtzeitigen Entleerung

von Retentionselementen bei anstehenden Niederschlägen. Um vor allem auf kleinräumige, unwetterartige Niederschläge reagieren zu können, wurde ein Auswertalgorithmus für radarbasierte Niederschlagsvorhersagen (RADVOR-Daten) entwickelt. Diese Kurzzeitvorsorge wird durch mittelfristige Niederschlagsdaten aus der numerischen Wettervorhersage (MOSMIX) ergänzt. Der zweite Baustein sind Regelalgorithmen zur aktiven Steuerung des Regenwasserablaufs während Niederschlagsereignissen. Hier konnte gezeigt werden, dass die Nutzung des Substrats als temporärer Speicher ein erhebliches Potential vor allem bei wiederholten, kurzen aber sehr heftigen Niederschlagsereignissen hat. Ohne aktive Steuerung haben die derzeit üblichen Dachbegrünungssysteme nur einen relativ geringen Nutzen im Hinblick auf den Regenwasserrückhalt.

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens gewonnenen Erkenntnisse und entwickelten Konzepte können den Nutzen von Dachbegrünungen für das urbane Wassermanagement deutlich erhöhen und dazu beitragen, urbane Gebiete besser gegen die Herausforderungen des Klimawandels zu wappnen.

## 6 Verzeichnisse

### 6.1 Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 1: In das Versuchsgefäß eingebaute Sensoren (links) und gesamter Versuchsaufbau (rechts) bestehend aus dem auf einer Waage stehenden und mit Lupinen bepflanzten Versuchsgefäß, der Kamera zur Dokumentation der Turgeszenz und im Vordergrund dem PC zur Erfassung der Messdaten (Quelle: HSWT) ..... | 14 |
| Abb. 2: Lupinen mit sehr starken Welkesymptomen kurz vor Ende eines Rücktrocknungszyklus (Quelle: HSWT) .....                                                                                                                                                                                               | 15 |
| Abb. 3: Gewichtsverlauf im Sortentest im Substrat Steinrosenflur (Quelle: HSWT) .....                                                                                                                                                                                                                       | 16 |
| Abb. 4: Korrelation zwischen dem Gewicht der Versuchsgefäße mit den fünf Dachsubstraten und den Messsignalen der vier Fühler (EC-5: blau; 10 HS: rot; SMT-100: grün; AquaFlex TR: grau; Aufzeichnungsintervall = 5 min) während der sechs Bewässerungszyklen (Quelle: HSWT) .....                           | 18 |
| Abb. 5: Dachbegrünungsmodelle kurz nach der Fertigstellung im Sommer 2019 (Quelle: HSWT) .....                                                                                                                                                                                                              | 20 |
| Abb. 6: Schematischer Aufbau der kleinmaßstäblichen Dachbegrünungsmodelle (Quelle: HSWT) .....                                                                                                                                                                                                              | 22 |
| Abb. 7: Schematischer Aufbau der Dachbegrünung im Modell 1 (Quelle: ZinCo) .....                                                                                                                                                                                                                            | 23 |
| Abb. 8: Schematischer Aufbau der Dachbegrünung in den Modellen 2 bis 4 (Quelle: ZinCo) .....                                                                                                                                                                                                                | 23 |
| Abb. 9: In einem Steigrohr montierter Ultraschall-Sensor zur Messung des Wasserstands (Quelle: HSWT) .....                                                                                                                                                                                                  | 24 |
| Abb. 10: Schematischer Aufbau der Dachbegrünung in den Modellen 5 und 6 (Quelle: ZinCo) .....                                                                                                                                                                                                               | 25 |
| Abb. 11: Regensimulator mit einem Detailausschnitt der unterschiedlichen Tropfern (rot = Tropfleistung 2 l/h, braun = 4 l/h, schwarz = 12 l/h) auf den insgesamt zehn Tropfbewässerungsschläuchen (Quelle: HSWT) .....                                                                                      | 26 |

|                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 12: Ermittlung der mit dem Niederschlagsimulator möglichen Regenmengen und deren räumliche Verteilung (Quelle: HSWT) .....                                                                                                                             | 27 |
| Abb. 13: Wasserverteilung (rot = unterdurchschnittlicher Wassermenge, blau = überdurchschnittlicher Wassermenge; je intensiver die Färbung, desto größer der Abstand zum Mittelwert) bei unterschiedlicher Regendauer und -intensität (Quelle: HSWT).....   | 28 |
| Abb. 14: Zeitlicher Verlauf des Regenwasserablaufs einer einfachen Extensivbegrünung (Modell 1) bei einem unwetterartigen Niederschlagsereignis (Quelle: HSWT) .                                                                                            | 30 |
| Abb. 15: Zeitlicher Verlauf des Regenwasserablaufs einer neuartigen extensiven Dachbegrünung (Modell 2) bei einem unwetterartigen Niederschlagsereignis (Quelle: HSWT).....                                                                                 | 31 |
| Abb. 16: Zeitlicher Verlauf des Regenwasserablaufs einer neuartigen extensiven Dachbegrünung mit aktiver Abflussregulation (Modell 4) und Nutzung des Substrats als temporärem Speicher bei einem unwetterartigen Niederschlagsereignis (Quelle: HSWT)..... | 33 |
| Abb. 17: Zeitlicher Verlauf des Regenwasserablaufs eines Retentionsdachs mit aktiver Abflussregulation (Modell 5) ohne Nutzung des Substrats als temporärem Speicher (Quelle: HSWT).....                                                                    | 34 |
| Abb. 18: Zeitlicher Verlauf des Regenwasserablaufs eines Retentionsdachs mit aktiver Abflussregulation (Modell 5) und temporärem Rückstau in das Substrat (Quelle: HSWT) .....                                                                              | 36 |
| Abb. 19: Einfluss der Substratfeuchte auf die Evapotranspiration einer Gräser-Kräuter-Vegetation im Vergleich zur potentiellen Evapotranspiration (Quelle: HSWT) .                                                                                          | 37 |
| Abb. 20: Luft- und Substrattemperaturen in Abhängigkeit vom Wasserversorgungszustand (SMT 100-Messsignal > 17.000 -> Substrat sehr trocken) bei einer Gräser-Staudenvegetation (Quelle: HSWT) .....                                                         | 38 |
| Abb. 21: Luft- und Substrattemperaturen in Abhängigkeit vom Wasserversorgungszustand (SMT 100-Messsignal > 15.500 -> Substrat relativ trocken) bei einer einfachen Sedumbegrünung (Quelle: HSWT) .....                                                      | 39 |

|                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 22: Auswertung von RADVOR-Daten für den Standort Freising mit einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten, die farbigen Quadrate kennzeichnen Bereiche 2,5, 5 und 10 km um Freising (Quelle: HSWT).....                                   | 42 |
| Abb. 23: Prototyp der solar betriebenen Sensorplattform mit einfacher Sedumvegetation (links) und Detailansicht der modularen Unterkonstruktion (rechts) mit den Wägezellen sowie der Elektronik und dem Batteriespeicher (Quelle: HSWT) ... | 50 |
| Abb. 24: Lufttemperatur in 2 m Höhe und tägliche Niederschlagsmengen am Standort Weißenstephan im Zeitraum vom 01.04. bis 30.09.2021 (Quelle: HSWT) .....                                                                                    | 51 |
| Abb. 25: Verlauf des Wassergehalts (Gewicht des Modells bzw. Substratfeuchte) in Abhängigkeit von der kumulierten Niederschlagsmenge vom 29. bis 31.08.2021 (Quelle: HSWT).....                                                              | 52 |
| Abb. 26: Körnungslinie gemäß FLL für das Substrat Sedumteppich im Vergleich zu den FLL-Empfehlungen (2018) für Dachsubstrate für mehrschichtige Extensivbegrünungen (Quelle: HSWT)) .....                                                    | 67 |
| Abb. 27: Körnungslinie für das Substrat Steinrosenflur im Vergleich zu den FLL-Empfehlungen (2018) für Dachsubstrate für mehrschichtige Extensivbegrünungen (Quelle: HSWT).....                                                              | 67 |
| Abb. 28: Körnungslinie für das Substrat Lavendelheide im Vergleich zu den FLL-Empfehlungen (2018) für Dachsubstrate für mehrschichtige Extensivbegrünungen (Quelle: HSWT) .....                                                              | 68 |
| Abb. 29: Körnungslinie für das Substrat Rasenerde im Vergleich zu den FLL-Empfehlungen (2018) für Dachsubstrate mehrschichtige Extensivbegrünungen (Quelle: HSWT).....                                                                       | 68 |
| Abb. 30: Körnungslinie für das Substrat Sedumteppich mit 10 Vol.-% Grüngutkompost (GGK) im Vergleich zu den FLL-Empfehlungen (2018) für Dachsubstrate für mehrschichtige Extensivbegrünungen (Quelle: HSWT).....                             | 69 |
| Abb. 31: Gewichtsverlauf im Sensortest im Substrat Sedumteppich (Quelle: HSWT) .....                                                                                                                                                         | 69 |
| Abb. 32: Gewichtsverlauf im Sensortest im Substrat Lavendelheide (Quelle: HSWT).....                                                                                                                                                         | 70 |
| Abb. 33: Gewichtsverlauf im Sensortest im Substrat Rasenerde (Quelle: HSWT) .....                                                                                                                                                            | 70 |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 34: Gewichtsverlauf im Sensortest im Substrat Sedumteppich mit GGK (Quelle: HSWT) ..... | 71 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## 6.2 Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1: Technische Daten der vier verwendeten kapazitiven Feuchtefühler .....                                                                                   | 12 |
| Tab. 2: Physikalische Eigenschaften der verwendeten Dachsubstrate im Vergleich zu den Vorgaben der FLL für mehrschichtige Extensivbegrünungen (FLL, 2018) ..... | 13 |
| Tab. 3: Pflanzenarten und -anzahl/Art in den verschiedenen Modellen.....                                                                                        | 72 |

## 6.3 Quellenverzeichnis

- Allerup, P. & Madsen, H. (1980). Accuracy of point precipitation measurements. *Hydrology Research*, 11(2), 57-70.
- Appl, R. (2016). Alles unter Kontrolle. *Dachbaumagazin* 7-8/2016, 42-45.
- Ban, N., Schmidli, J. & Schär, C. (2015). Heavy precipitation in a changing climate: Does short-term summer precipitation increase faster?. *Geophysical Research Letters*, 42(4), 1165-1172.
- Battista, G., Pastore, E. M., Mauri, L. & Basilicata, C. (2016). Green roof effects in a case study of Rome (Italy). *Energy Procedia*, 101, 1058-1063.
- Bernard, C. (2018). Suitability of two sensor technologies to monitor spatio-temporal patterns of soil moisture on extensive green roofs. MSc-Thesis Universität Liège.
- Berretta, C., Poë, S. & Stovin, V. (2014). Moisture content behaviour in extensive green roofs during dry periods: The influence of vegetation and substrate characteristics. *Journal of Hydrology*, 511, 374-386.
- BMUB (2017). Weißbuch Stadtgrün. Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
- BMUB (2020). Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. Grünbuch Stadtgrün. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
- BMU (2021). Nationale Wasserstrategie - Entwurf des Bundesumweltministeriums. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Arbeitsgruppe WR I 1-w.

- Brune, M., Bender, S. & Groth, M. (2017). Gebäudebegrünung und Klimawandel: Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch klimawandeltaugliche Begrünung. Climate Service Center Germany (GERICS).
- Boessenkool, B. (2020). rdwd: Select and Download Climate Data from DWD (German Weather Service). R package version 1.2.9.
- Bousselot, J. M., Klett, J. E. & Koski, R. D. (2011). Moisture content of extensive green roof substrate and growth response of 15 temperate plant species during dry down. *HortScience*, 46(3), 518-522.
- Buckland-Nicks, M., Heim, A. & Lundholm, J. (2016). Spatial environmental heterogeneity affects plant growth and thermal performance on a green roof. *Science of the Total Environment*, 553, 20-31.
- BuGG (2021). BuGG-Marktreport Gebäudegrün 2021. Bundesverband GebäudeGrün e.V.-Berlin.
- D'Ambrosio, R., Longobardi, A., Balbo, A. & Rizzo, A. (2021). Hybrid Approach for Excess Stormwater Management: Combining Decentralized and Centralized Strategies for the Enhancement of Urban Flooding Resilience. *Water*, 13(24), 3635.
- DWD (2021a). RADOLAN/RADVOR: Hoch aufgelöste Niederschlagsanalyse und –vorhersage auf der Basis quantitativer Radar- und Ombrometerdaten für grenzüberschreitende Fluss-Einzugsgebiete von Deutschland im Echtzeitbetrieb Beschreibung des Kompositformats Version 2.5.3. Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie.
- DWD (2021b). Verfahrensbeschreibung (MOS, MIX). Deutscher Wetterdienst.
- Dobriyal, P., Qureshi, A., Badola, R. & Hussain, S. A. (2012). A review of the methods available for estimating soil moisture and its implications for water resource management. *Journal of Hydrology*, 458, 110-117.
- Ercolani, G., Chiaradia, E. A., Gandolfi, C., Castelli, F. & Masseroni, D. (2018). Evaluating performances of green roofs for stormwater runoff mitigation in a high flood risk urban catchment. *Journal of Hydrology*, 566, 830-845.
- EU (2016). Final Report Summary - GREEN ROOF SYSTEMS: Collaborative research and development of green roof system technology. Marie Curie Industry Academia Partnership Programme, Grant agreement ID: 230636.
- Feng, C., Meng, Q. & Zhang, Y. (2010). Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and buildings*, 42(6), 959-965.

- FLL (2018). Dachbegrünungsrichtlinien - Richtlinie für Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn.
- Gumprecht, B. (1995). Summers of Discontent: Some Places are Just too Hot and Humid for Livin'. *Weatherwise*, 48(2), 32-35.
- Herfort, S., Pflanz, K., Kappis, C., Mann, G., Tschuikowa, S., Bechstein, F. & Maß, V. (2021). Gründachpflege. BBSR-Online-Publikation 29/2021.
- Hill, J., Drake, J., Sleep, B. & Margolis, L. (2017). Influences of four extensive green roof design variables on stormwater hydrology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(8), 04017019.
- Jamei, E., Chau, H. W., Seyedmahmoudian, M. & Stojcevski, A. (2021). Review on the cooling potential of green roofs in different climates. *Science of The Total Environment*, 148407.
- Junghänel, T., Bissolli, P., Daßler, J., Fleckenstein, R., Imbery, F., Janssen, W., Kaspar, F., Lengfeld, K., Leppelt, T., Rauthe, M.; Rauthe-Schöch, A., Rocek, M., Walawender, E. & Weigl, E. (2021). Hydro-klimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet „Bernd“ vom 12. bis 19. Juli 2021. Bericht aus dem Geschäftsbereich Klima und Umwelt des DWD; Stand 21.07.2021.
- Kaiser, D., Köhler, M., Schmidt, M. & Wolff, F. (2019). Increasing evapotranspiration on extensive green roofs by changing substrate depths, construction, and additional irrigation. *Buildings*, 9(7), 173.
- Kargas, G., Ntoulas, N. & Nektarios, P. A. (2013). Moisture content measurements of green roof substrates using two dielectric sensors. *HortTechnology*, 23(2), 177-186.
- Knaus, M. & Haase, D. (2020). Green roof effects on daytime heat in a prefabricated residential neighbourhood in Berlin, Germany. *Urban Forestry & Urban Greening*, 53, 126738.
- Köhler, M. & Kaiser, D. (2019). Evidence of the climate mitigation effect of green roofs—a 20-year weather study on an Extensive Green Roof (EGR) in Northeast Germany. *Buildings*, 9(7), 157.
- Kostadinović, D. M., Dimitrijević-Jovanović, D., Vučićević, B. S., Jovanović, M. P. & Konjikušić, S. M. (2021). Smart capacitive moisture sensor calibration in mineral wool and green roof soil substrate. *Thermal Science*, 25(3 Part A), 1827-1836.

- Krupka, B.W. (2019). Extensive und intensive Dachbegrünungen: Klimaextreme und deren Auswirkung auf die Vegetation. *GebäudeGrün* 2/2019, 19-25.
- Mobilia, M., D'Ambrosio, R., Claverie, R. & Longobardi, A. (2021). Substrate soil moisture impact on green roof performance for an experimental site in Tomblaine, France. *International Conference on Computational Science and Its Applications*, 563-570.
- Morakinyo, T. E., Dahanayake, K. K. C., Ng, E. & Chow, C.L. (2017). Temperature and cooling demand reduction by green-roof types in different climates and urban densities: A co-simulation parametric study. *Energy and Buildings*, 145, 226-237.
- Nawaz, R., McDonald, A. & Postoyko, S. (2015). Hydrological performance of a full-scale extensive green roof located in a temperate climate. *Ecological Engineering*, 82, 66-80.
- Nikogosian, C., Winterrath, T., Walawander, E., Fischer, I., Schmitz-Kröll, D. & Wischott, V. (2021). Klassifikation meteorologischer Extremereignisse zur Risikoversorge gegenüber Starkregen für den Bevölkerungsschutz und die Stadtentwicklung. Projekt der Strategischen Behördenallianz „Anpassung an den Klimawandel“. Abschlussbericht.
- Optigrün (2013). Schadensfallsammlung Dachbegrünung - Fehler erkennen, Fehler vermeiden, Richtig planen. Auszüge aus DER DACHBEGRÜNER 2008-2012, Optigrün GmbH, Krauchenwies-Göggingen.
- Optigrün (2020). Systemschnitt "Optigrün Retentionsdach Drossel extensiv" (Rev, 2; Stand 04.05.2020).
- Peng, L. L., Yang, X., He, Y., Hu, Z., Xu, T., Jiang, Z. & Yao, L. (2019). Thermal and energy performance of two distinct green roofs: Temporal pattern and underlying factors in a subtropical climate. *Energy and Buildings*, 185, 247-258.
- Pepi, J.W. (1987). The Summer Simmer Index, *Weatherwise*, 40:3, 143-145.
- Pfoser, N., Jenner, N., Henrich, J., Heusinger, J., Weber, S., Schreiner, J. & Kanashiro, C. U. (2013). Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Technische Universität, Darmstadt.
- Roll, O., Halbig, G. & Buchholz, S. (2021). Messungen und Computersimulationen für eine klimaangepasste Stadtplanung. Klimawirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen in der Stadt Bonn. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 255.

- Schäfer, A., Mühr, B., Daniell, J., Ehret, U., Ehmele, F., Küpfer, K., ... & Kunz, M. (2021). Hochwasser Mitteleuropa, Juli 2021 (Deutschland): 21. Juli 2021–Bericht Nr. 1 „Nordrhein-Westfalen & Rheinland-Pfalz“.
- Schmitz, H.-J., Jauch, M., Krummradt, I., Walker, R., Lohr, D. & Meinken, E. (2018). Increasing evapotranspiration of extensive roof greenings by using plants with high transpiration rates and irrigation with grey water. *Acta Hort.* 1215, 53-56.
- Sněhota, M., Hanzlíková, J., Sobotková, M. & Moravcik, P. (2021). Water and thermal regime of extensive green roof test beds planted with sedum cuttings and sedum carpets. *Journal of Soils and Sediments*, 21(5), 2089-2101.
- Sommer, H. & Gößner, D. (2019). Begrünte Dächer gezielt einsetzen: Regenwassermanagement auf hohem Niveau. *GebäudeGrün* 2/2019, 15-18.
- Steadman R.G. (1994). Norms of apparent temperature in Australia. *Aust Met Mag.* 43, 1–16.
- Todorov, D., Driscoll, C. T. & Todorova, S. (2018). Long-term and seasonal hydrologic performance of an extensive green roof. *Hydrological processes*, 32(16), 2471-2482.
- UBA (2019a). Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten. *Texte 111/2019*, Umweltbundesamt, Dessau.
- UBA (2019b). Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Umweltbundesamt, Dessau.
- UBA (2020). Klimaanpassung in der räumlichen Planung. Umweltbundesamt, Dessau.
- Uhl, M. & Schiedt, L. (2008). Green roof storm water retention–monitoring results. In 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, UK (Vol. 31).
- Van Hoof, J. (2008). Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all?. *Indoor air*, 18(3), 182-201.
- Versini, P. A., Stanic, F., Gires, A., Schertzer, D. & Tchiguirinskaia, I. (2020). Measurements of the water balance components of a large green roof in the greater Paris area. *Earth System Science Data*, 12(2), 1025-1035.
- Volder, A. & Dvorak, B. (2014). Event size, substrate water content and vegetation affect storm water retention efficiency of an un-irrigated extensive green roof system in Central Texas. *Sustainable Cities and Society*, 10, 59-64.

- Walker, R., Schenk, D., Jauch, M., Krummradt, I., Schmitz, H.-J., Lohr, D. & Meinken, E. (2016). Optimierung der Evapotranspirations- und Kühlleistung extensiver Dachbegrünungen durch gezielte Nutzung von Grauwasser. Abschlussbericht über das unter dem AZ 28577-23 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte Forschungsprojekt.
- Yang, Y. & Davidson, C. I. (2021). Green Roof Aging Effect on Physical Properties and Hydrologic Performance. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 7(3), 04021007.
- Young, T., Cameron, D. D., Sorrill, J., Edwards, T. & Phoenix, G. K. (2014). Importance of different components of green roof substrate on plant growth and physiological performance. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), 507-516.
- ZinCo (2015). Grundlagen Vegetationstechnik. Planungshilfen, ZinCo GmbH, Nürtingen
- ZinCo (2019). Dachbegrünung 4.0 - Systeme für die Dachnutzung der Zukunft. Planungshilfen, ZinCo GmbH, Nürtingen

## 6.4 Internetquellen

[1] [https://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen\\_aktuell/kriterien/warnkriterien.html](https://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen_aktuell/kriterien/warnkriterien.html)

## 7 Anhang

### 7.1 Ergänzende Daten

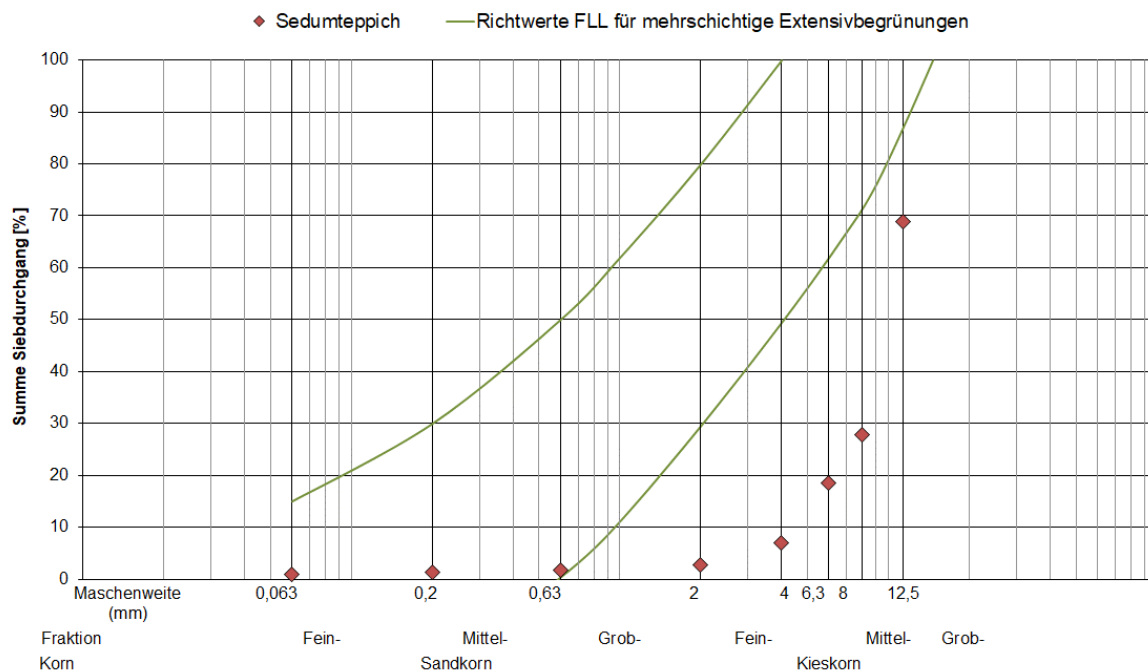


Abb. 26: Körnungslinie gemäß FLL für das Substrat Sedumteppich im Vergleich zu den FLL-Empfehlungen (2018) für Dachsubstrate für mehrschichtige Extensivbegrünungen (Quelle: HSWT)

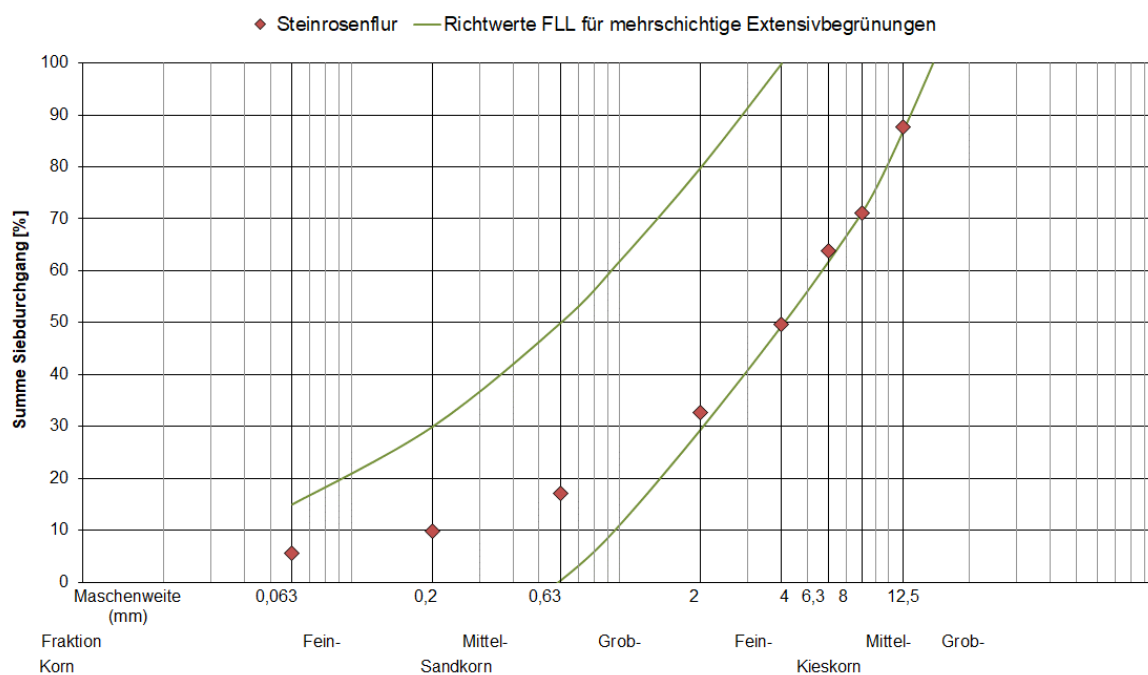


Abb. 27: Körnungslinie für das Substrat Steinrosenflur im Vergleich zu den FLL-Empfehlungen (2018) für Dachsubstrate für mehrschichtige Extensivbegrünungen (Quelle: HSWT)

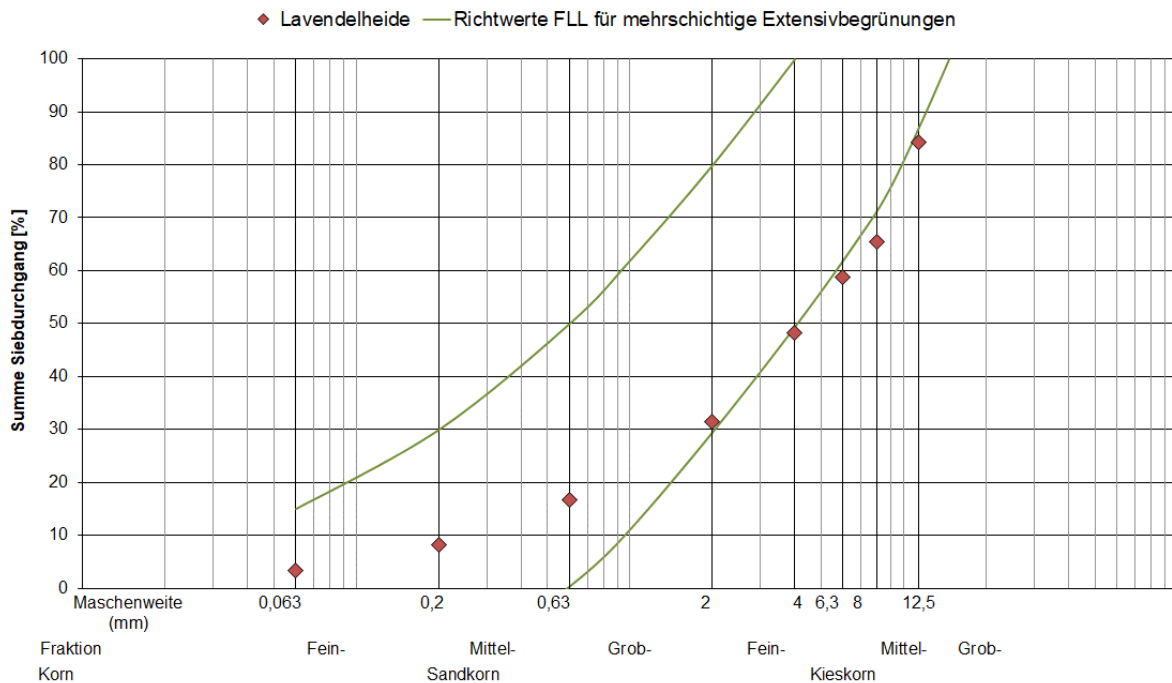


Abb. 28: Körnungslinie für das Substrat Lavendelheide im Vergleich zu den FLL-Empfehlungen (2018) für Dachsubstrate für mehrschichtige Extensivbegrünungen (Quelle: HSWT)

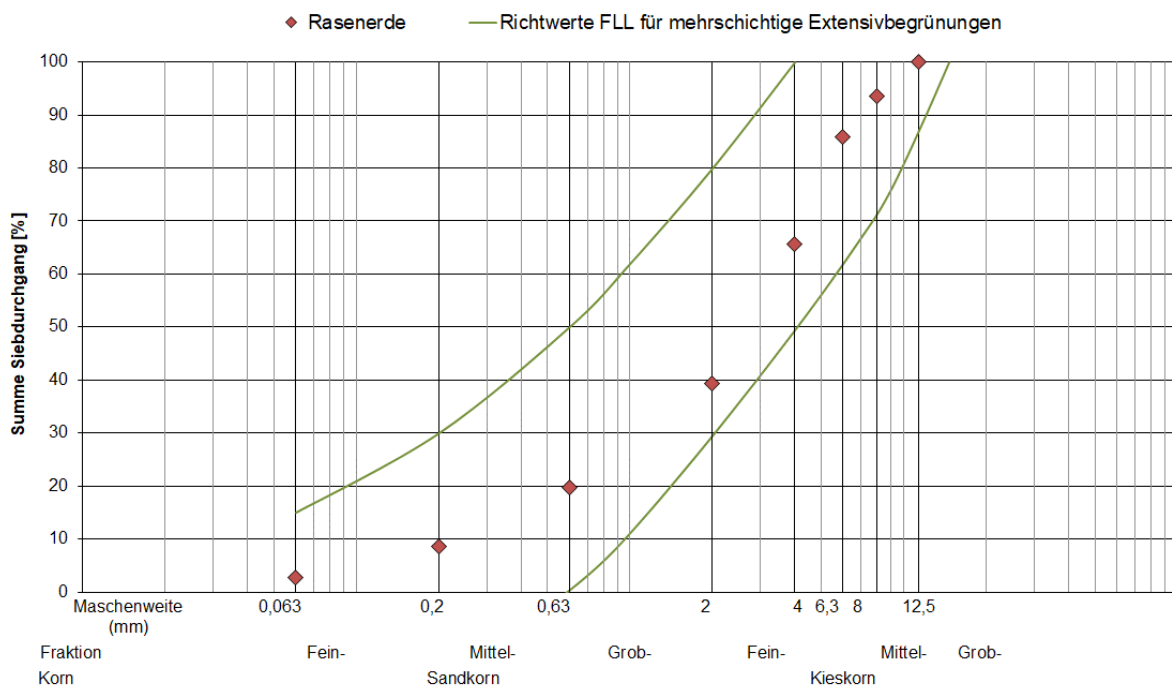


Abb. 29: Körnungslinie für das Substrat Rasenerde im Vergleich zu den FLL-Empfehlungen (2018) für Dachsubstrate mehrschichtige Extensivbegrünungen (Quelle: HSWT)

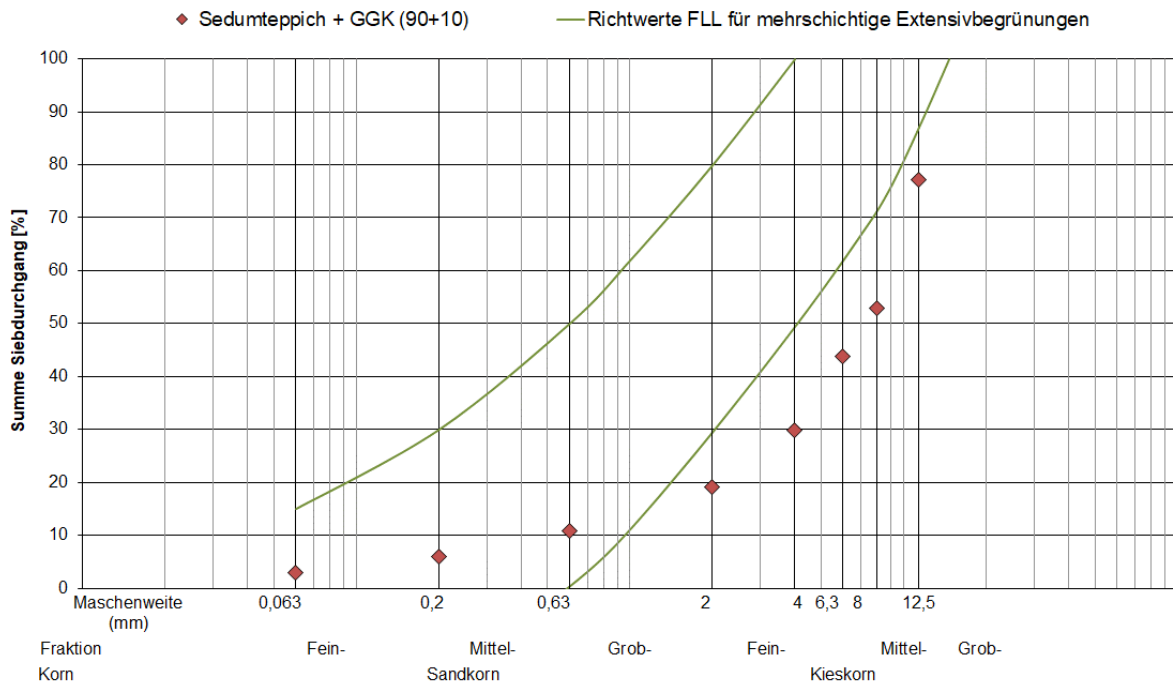


Abb. 30: Körnungslinie für das Substrat Sedumteppich mit 10 Vol.-% Grüngutkompost (GGK) im Vergleich zu den FLL-Empfehlungen (2018) für Dachsubstrate für mehrschichtige Extensivbegrünungen (Quelle: HSWT)

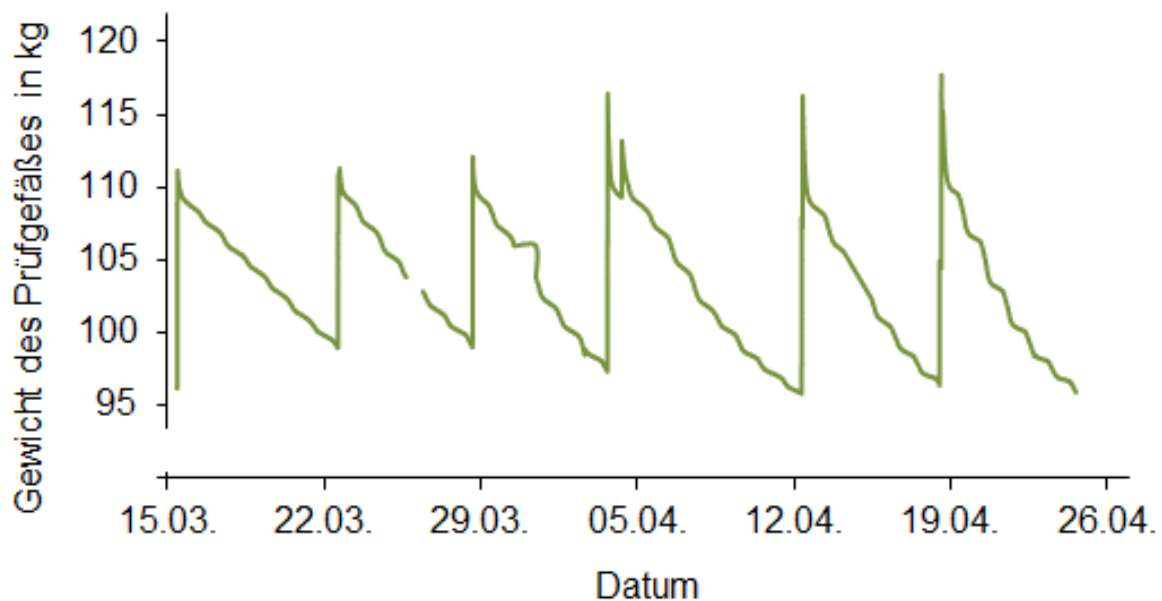


Abb. 31: Gewichtsverlauf im Sensortest im Substrat Sedumteppich (Quelle: HSWT)

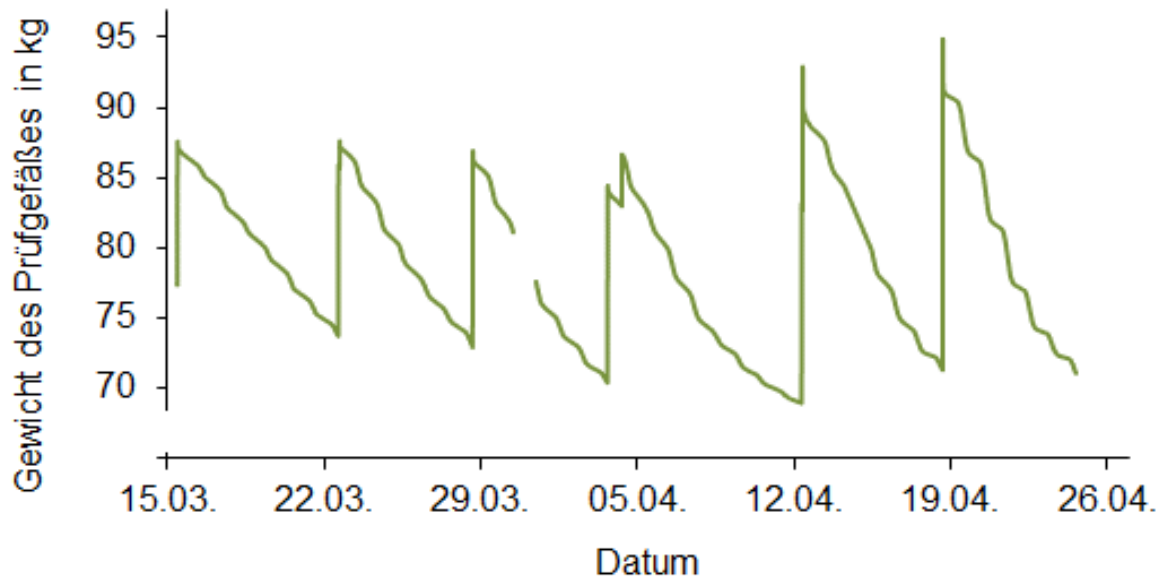


Abb. 32: Gewichtsverlauf im Sensortest im Substrat Lavendelheide (Quelle: HSWT)

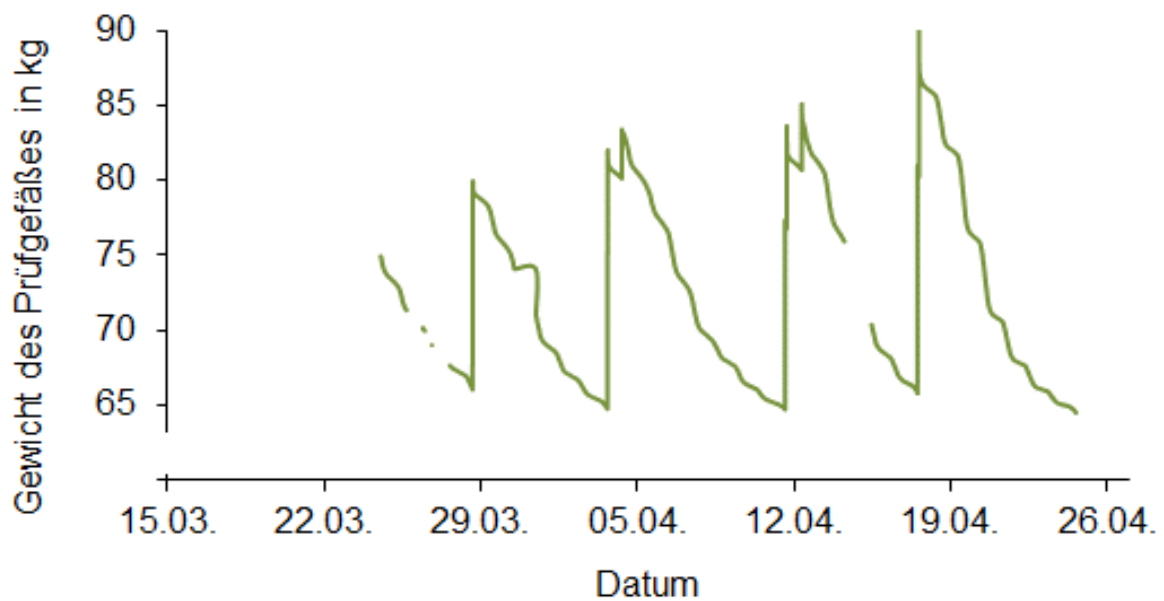


Abb. 33: Gewichtsverlauf im Sensortest im Substrat Rasenerde (Quelle: HSWT)

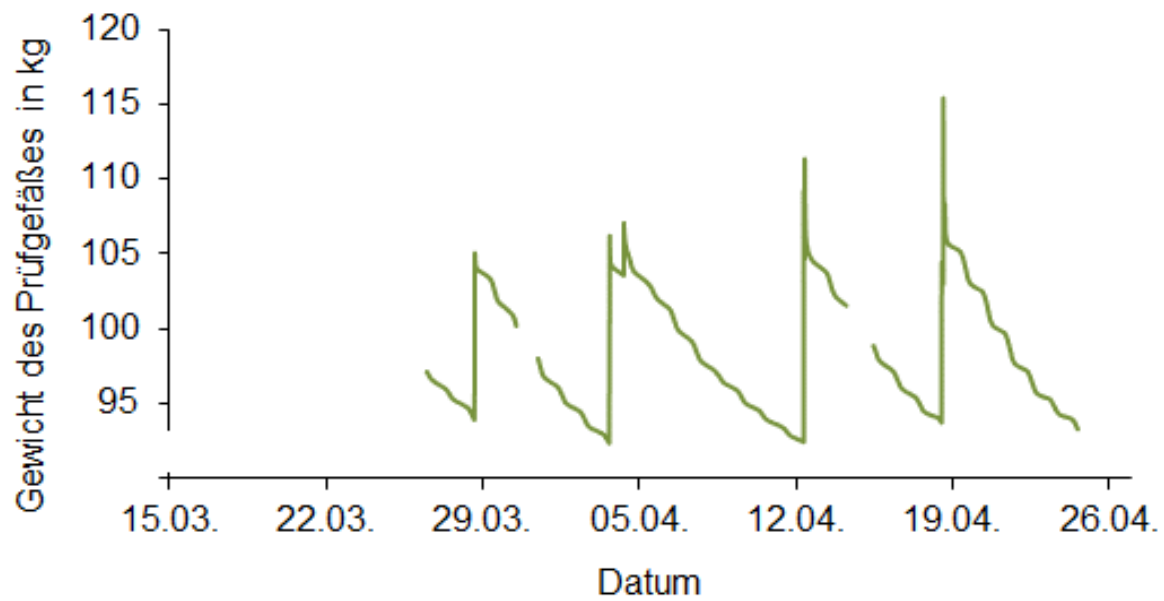


Abb. 34: Gewichtsverlauf im Sortentest im Substrat Sedumteppich mit GSK (Quelle: HSWT)

Tab. 3: Pflanzenarten und -anzahl/Art in den verschiedenen Modellen

| Modell    | Pflanzenarten und -anzahl/Art (insgesamt jeweils 82 Pflanzen/Modell)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | <b>Bepflanzung Sedumteppich</b><br>15 <i>Phedimus floriferus</i> Weihenstephaner Gold, 13 <i>Phedimus hybridus</i> Immergrünchen, 15 <i>Phedimus spurius</i> Rosa, 12 <i>Sedum album</i> Coral Carpet, 15 <i>Sedum reflexum</i> , 12 <i>Sedum sexangulare</i> ,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2 und 4-6 | <b>Bepflanzung "Klima-Gründach" – Gräser und Kräuter</b><br>14 <i>Bergenia cordifolia</i> , 15 <i>Briza media</i> , 15 <i>Carex buehneri</i> , 10 <i>Carex flacca</i> , 5 <i>Euphorbia seguieriana</i> ssp. <i>nicotiana</i> , 5 <i>Euphorbia palustris</i> Teichlaterne, 5 <i>Geranium pratense</i> Johnsons Blue, 4 <i>Hemerocallis minor</i> , 4 <i>Inula ensifolia</i> , 5 <i>Sanguisorba officinalis</i> Tanna                                                                                                                                                                                    |
| 3         | <b>Bepflanzung Mediterran</b><br>9 <i>Achillea millefolium</i> , 4 <i>Agapanthus umbellatus</i> , 8 <i>Aristea ecklonii</i> , 4 <i>Calamagrostis x acutiflora</i> Overdam, 8 <i>Carex testacea</i> , 9 <i>Falkia repens</i> , 8 <i>Dietes bicolor</i> , 4 <i>Hemerocallis</i> Theresa Hall, 4 <i>Lythrum salicaria</i> , 8 <i>Pennisetum alopecuroides</i> Little Bunny, 8 <i>Phyla nodiflora</i> , 8 <i>Stipa tenuissima</i>                                                                                                                                                                          |
| 6         | <b>Neupflanzung am 27.5.2021</b><br>8 <i>Leucanthemum vulgare</i> 'Maikönigin', 9 <i>Geranium palustre</i> , 4 <i>Persicaria bistorta</i> , 6 <i>Achillea millefolium</i> 'Cassis', 9 <i>Glechoma hederata</i> Variegata, 6 <i>Stachys officinalis</i> Rosea, 6 <i>Hemerocallis x cultorum</i> 'Stella de Oro', 4 <i>Petasites hybridus</i> , 5 <i>Bergenia cordifolia</i> , 2 <i>Deschampsia ces.</i> , 6 <i>Imperata cylindrica</i> , 2 <i>Briza media</i><br><b>Restbestände von erster Bepflanzung:</b><br>10 <i>Carex flacca</i> , 4 <i>Hemerocallis minor</i> , 1 <i>Sanguisorba officinalis</i> |

## 7.2 Technische Datenblätter der Hersteller

### EC-5

#### Specifications

| <u>Measurement</u>    |                                                                                                                      |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Measurements taken    | Volumetric water content                                                                                             |
| Range                 | 0-60% VWC                                                                                                            |
| Accuracy              | VWC: Using Standard calibration: $\pm 5\%$ typical on mineral soils, $\pm 1-2\%$ with soil site specific calibration |
| Time                  | 10 ms (milliseconds)                                                                                                 |
| Power                 |                                                                                                                      |
| Power Requirements    | 2.5-5V DC @ 10mA<br>Stable excitation voltage required                                                               |
| Operating Conditions  |                                                                                                                      |
| Operating Temperature | 0°C to +50°C                                                                                                         |
| Interface             |                                                                                                                      |
| Frequency             | 70MHz                                                                                                                |
| Output Range          | 375 mV (dry soil) to 1000 mV (saturated)                                                                             |
| Mechanical            |                                                                                                                      |
| Connector Types       | 3.5 mm "stereo" plug or stripped and tinned lead wires                                                               |
| Cable Length          | 5m standard                                                                                                          |
| Dimensions            | Dimensions 8.9 x 1.8 x 0.7 cm                                                                                        |

10 HS

## Specifications

| <u>Measurement</u>     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Range:                 | Apparent dielectric permittivity ( $\epsilon_a$ ) : 1 (air) to 50<br>Soil volumetric water content : 0 – 0.57 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> (0 -57% VWC)                                                                                                                                                                                                                            |
| Accuracy:              | Apparent Dielectric Permittivity ( $\epsilon_a$ ) : $\pm 0.5$ from ( $\epsilon_a$ ) of 2 to 10, $\pm 2.5$ from ( $\epsilon_a$ ) of 10 to 50 (VWC)<br>VWC: Using standard calibration equation: $\pm 0.05$ m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ( $\pm 5\%$ VWC) typical in mineral soils. Using soil site specific calibration, $\pm 0.02$ m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ( $\pm 2\%$ VWC) |
| Resolution:            | ( $\epsilon_a$ ): 0.1 from $\epsilon_a$ of 1 to 30, 0.2 from ( $\epsilon_a$ ) of 30 to 50<br>VWC: 0.0008 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> (0.08% VWC) in mineral soils from 0 to 0.50 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> (0-50% VWC)                                                                                                                                                       |
| Time                   | 10 ms (milliseconds)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Power                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Power requirements:    | 3VDC @ 12mA to 15 VDC @ 15 mA<br>On board voltage regulator allows 10HS sensor to be used with any excitation voltage above 3V                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Operating Conditions   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Operating Temperature: | 0 – 50°C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Interface              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Frequency:             | 70 MHz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Output:                | 300 (dry soil) – 1250 (saturated) mV, independent of excitation voltage                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Mechanical             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Connector Types        | 3.5 mm "stereo" plug or stripped and tinned lead wires                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Cable Length           | 5 m standard                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Dimensions             | Dimensions 14.5 x 3.3 x 0.7 cm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

SMT 100**SPEZIFIKATIONEN**

|                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Messgenauigkeit:</b>                 | <p>Volumetrischer Wassergehalt (VW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>» Bei Werkskalibrierung bis zu <math>\pm 3\%</math> (VW) in mineralischen Böden mit mittlerer Salinität von 0 to 50% VW</li> <li>» Bei bodenspezifischer Kalibrierung bis zu <math>\pm 1\%</math> (VW)</li> </ul> <p>Temperatur</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>» Typisch <math>\pm 0,2^{\circ}\text{C}</math>, max. <math>\pm 0,4^{\circ}\text{C}</math> über den gesamten Messbereich</li> <li>» Analogversion <math>\pm 0,8^{\circ}\text{C}</math></li> </ul> <p>Zusätzliche Messwerte</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>» Rohdaten</li> <li>» Dielektrische Permittivität</li> </ul> |
| <b>Auflösung:</b>                       | 0,1% im volumetrischen Wassergehalt oder besser<br>0,01 $^{\circ}\text{C}$ oder besser (analoge Version 0,2 $^{\circ}\text{C}$ )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Messbereich:</b>                     | <p>0 bis 60% volumetrischer Wassergehalt<br/>(bis zu 100% volumetrischer Wassergehalt mit eingeschränkter Genauigkeit)</p> <p>Temperatur: -40 to +80<math>^{\circ}\text{C}</math> (analoge Version -40 to +60<math>^{\circ}\text{C}</math>)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Schnittstellenvarianten:</b>         | <p>RS485 mit TBUS<br/>RS485 mit Modbus<br/>RS485 mit ASCII<br/>SDI-12<br/>Analog: 0 - 10 V (andere Spannungsbereiche auf Anfrage)<br/>4 - 20 mA (nur volumetrischer Wassergehalt)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Stromversorgung:</b>                 | <p>4-24 V DC, bis zu 40 mA während der Messung<br/>(Analoge Version 12 - 24 V DC für 0 - 10 V Ausgangssignal)<br/>(4 - 20 mA Version 12 - 32 V DC)<br/>Messzeit digitale Versionen: weniger als 50 ms<br/>Messzeit analoge Versionen: weniger als 500 ms</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Kabellänge:</b>                      | 10 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Abmessungen:</b>                     | ca. 18,2 cm x 3 cm x 1,2 cm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Kompatibilität mit Datenloggern:</b> | <p>Jeder Datenlogger mit geeigneter Stromversorgung und RS485 Schnittstelle (TBUS, Modbus, ASCII), SDI-12, Analogeingang oder 4 -20 mA Eingang</p> <p>Kostenlose PC Logger Software auf Anfrage</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

AquaFlex TR**SPEZIFIKATIONEN**

**Genauigkeit Feuchtemessung:** +/- 3% VWC im Messbereich von 0...50%  
ca. +/- 5% im Messbereich von 50...100%  
ca. +/- 2% mit spezieller Kalibrierung

**Genauigkeit Temperaturmessung:** typisch  $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$  (Analogversion  $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ )

**Auflösung:** Feuchtemessung: 0,1%VWC  
Temperaturmessung: 0,1 $^{\circ}\text{C}$  (analoge Version 0,2 $^{\circ}\text{C}$ )

**Schnittstellenvarianten:** RS485 mit TBUS  
RS485 mit Modbus  
RS485 mit ASCII  
Analog: 0 - 10 V (andere Spannungsbereiche auf Anfrage)

**Stromversorgung:** 4-24 V DC, max. 40 mA während der Messung  
(analoge Version 12 - 24 V DC für 0 - 10 V Ausgangssignal)

**Kabel:** Anschlusskabel: 10 m TrueFlex, 4 adrig, hochflexibel  
Messkabel: 3 m Spezialmesskabel, PE Mantel, extrem robust

**Abmessungen:** Gehäuse (ohne Befestigungslaschen): ca. 50 x 50 x 20 mm  
Gehäuse (mit Befestigungslaschen): ca. 67 x 50 x 20 mm

**Kompatibilität mit Datenloggern:** Datenlogger TrueLog100 von TRUEBNER oder jeder andere geeignete Datenlogger mit RS-485 Schnittstelle (T-Bus, Modbus, ASCII) oder Analogeingang

Kostenlose PC Logger Software auf Anfrage

## Systemerde Sedumteppich

# Produktdatenblatt Systemerde „Sedumteppich“

Art.-Nr. 611101 / 611201 / 611301



Vegetationssubstrat für extensive Dachbegrünungen in ein- oder mehrschichtiger Bauweise.



### Technische Daten

#### Systemerde „Sedumteppich“

Auf der Basis von Zincolit® (speziell aufbereitete Tonziegel) hergestelltes, überwiegend mineralisches Substrat, angereichert mit Zincohum (Substratkompost mit Faserstoffen). Speziell geeignet für Extensivbegrünungen in Ein- oder Mehrschichtbauweise mit Pflanzenarten der ZinCo Pflanzenliste „Sedumteppich“. Das Aufbringen der Pflanzen kann mittels Sprossenaussaat im Trocken- oder Nasssaattverfahren oder als Pflanzung (z. B. ZinCo Kleinballenpflanzen KB 100) erfolgen. Für eine artgerechte Pflanzenentwicklung empfehlen wir unseren Langzeitdünger ZinCo Pflanzenfit® 4 M (siehe gesondertes Datenblatt).

Lieferbar im Big Bag, als offene Ware und im Silozug.

Es ist mit einem Verdichtungsfaktor von 1,12 zu kalkulieren, das heißt, je Quadratmeter und cm einzubauendes Substrat müssen 11,2 l bestellt werden.

#### Lieferform

im Big Bag  
lose im Kipper  
im Silo

#### Art.-Nr.

611101  
611201  
611301

### Merkmale

- Recyclingprodukt
- hohe Wasserdurchlässigkeit
- hoher Luftgehalt – auch bei Wassersättigung
- frostbeständig und strukturstabil
- blasbar
- Die Basiskomponente Zincolit® steht unter ständiger Kontrolle des Labors Dr. Meyer-Spasche



### Chemisch-physikalische Eigenschaften

| Parameter                                 | Richtwerte             |
|-------------------------------------------|------------------------|
| Volumengewicht *                          |                        |
| - trocken                                 | 1120 g/l (+/- 100 g/l) |
| - bei max. Wasserkapazität                | 1400 g/l (+/- 100 g/l) |
| max. Wasserkapazität                      | ca. 28 Vol. %          |
| Wasserdurchlässigkeit mod. K <sub>f</sub> | 60–400 mm/min          |
| pH-Wert (in CaCl <sub>2</sub> )           | 7,0–8,5                |
| Salzgehalt (Wasserextrakt)                | < 2,5 g/l              |
| Organische Substanz                       | < 40 g/l               |
| Verdichtungsfaktor                        | ca. 1,12               |

\* Auf Anfrage sind auch Leichtvarianten lieferbar, dabei verringert sich das Gewicht um ca. 200 g/l.

Technische Änderungen und Druckfehler vorbehalten • Erstausgabe 01/2003, Stand 01/2016

ZinCo GmbH  
Lise-Meitner-Straße 2 · 72622 Nürtingen  
Telefon 07022 9060-600  
info@zinco.de · www.zinco.de

Leben auf dem Dach



Systemerde Steinrosenflur

# Produktdatenblatt

## Systemerde „Steinrosenflur“

Art.-Nr. 6001 / 612101 / 612201 / 612301



Vegetationssubstrat für Extensivbegrünungen in mehrschichtiger Bauweise.

**Technische Daten****Systemerde „Steinrosenflur“**

Auf der Basis von Zincolit® Plus (speziell aufbereitete Tonziegel mit ausgewählten Zuschlagstoffen) hergestelltes Substrat, angereichert mit Zincohum (Substratkompost mit Faserstoffen).

Speziell geeignet für Extensivbegrünungen in Mehrschichtbauweise mit Pflanzenarten der Pflanzenliste „Steinrosenflur“. Die Etablierung der Vegetation kann mittels Pflanzung (z. B. ZinCo Flachballenpflanzen FB 50) oder als Trockenansaat (ZinCo Samenmischungen „Kräuterflur“, „Blütenwiese“ oder „Gräserdach“) erfolgen.

Für eine artgerechte Pflanzenentwicklung empfehlen wir unseren Langzeiddünger ZinCo Pflanzenfit® 4 M (siehe gesondertes Datenblatt).

Lieferbar im 20 l-Sack, im Big Bag, als offene Ware und im Silozug.

Es ist mit einem Verdichtungsfaktor von 1,2 zu kalkulieren, das heißt, je Quadratmeter und cm einzubauendes Substrat müssen 12 l bestellt werden.

**Lieferform**

20 l-Sack  
im Big Bag  
lose im Kipper  
im Silo

**Art.-Nr.**

6001  
612101  
612201  
612301

**Merkmale**

- Recyclingprodukt
- gutes Wasserspeichervermögen
- hoher Luftgehalt – auch bei Wassersättigung
- frostbeständig und strukturstabil
- blasbar
- Die Basiskomponente Zincolit® steht unter ständiger Kontrolle des Labors Dr. Meyer-Spasche

**Chemisch-physikalische Eigenschaften**

| Parameter                                 | Richtwerte             |
|-------------------------------------------|------------------------|
| Volumengewicht *                          |                        |
| - trocken                                 | 1000 g/l (+/- 100g/l)  |
| - bei max. Wasserkapazität                | 1400 g/l (+/- 100 g/l) |
| max. Wasserkapazität                      | ca. 40 Vol. %          |
| Wasserdurchlässigkeit mod. K <sub>f</sub> | 0,6–70 mm/min          |
| pH-Wert (in CaCl <sub>2</sub> )           | 6,5–8,0                |
| Salzgehalt (Wasserextrakt)                | < 2,5 g/l              |
| Organische Substanz                       | < 65 g/l               |
| Verdichtungsfaktor                        | ca. 1,2                |

\* Auf Anfrage sind auch Leichtvarianten lieferbar, dabei verringert sich das Gewicht um ca. 200 g/l.

Technische Änderungen und Druckfehler vorbehalten • Erstausgabe 05/2000, Stand 01/2016

ZinCo GmbH  
Lise-Meitner-Straße 2 · 72622 Nürtingen  
Telefon 07022 9060-600  
info@zinco.de · www.zinco.de

Leben auf dem Dach



Systemerde Lavendelheide

# Produktdatenblatt

## Systemerde „Lavendelheide“

Art.-Nr. 6020 / 614101 / 614201 / 614301



Vegetationssubstrat für Intensivbegrünungen in mehrschichtiger Bauweise.

**Technische Daten****Systemerde „Lavendelheide“**

Auf der Basis von Zincolit® Plus (speziell aufbereitete Tonziegel mit ausgewählten Zuschlagstoffen) hergestelltes Substrat, angereichert mit Zincohum (Substratkompost mit Faserstoffen).

Speziell geeignet für Intensivbegrünungen mit Pflanzenarten der ZinCo Pflanzenliste „Lavendelheide“ bzw. bei höherer Substratschüttung\* auch für Sträucher und Bäume. Die Etablierung der Vegetation erfolgt mittels Pflanzung (z. B. mit ZinCo Flachballenpflanzen FB 50).

Intensivbegrünungen sollten zumindest während andauernder Trockenperioden bewässert werden. Für eine artgerechte Pflanzenentwicklung empfehlen wir unseren Langzeitdünger ZinCo Pflanzenfüt® 4 M (siehe gesondertes Datenblatt).

Lieferbar im 20 l-Sack, im Big Bag, als offene Ware und im Silozug.

Es ist mit einem Verdichtungsfaktor von 1,25 zu kalkulieren, das heißt, je Quadratmeter und cm einzubauendes Substrat müssen 12,5 l bestellt werden.

**Lieferform**

20 l-Sack  
im Big Bag  
lose im Kipper  
im Silo

**Art.-Nr.**

6020  
614101  
614201  
614301

**Merkmale**

- Recyclingprodukt
- gutes Wasserspeichervermögen
- hoher Luftgehalt – auch bei Wassersättigung
- frostbeständig und strukturstabil
- blasbar
- Die Basiskomponente Zincolit® steht unter ständiger Kontrolle des Labors Dr. Meyer-Spasche

**Chemisch-physikalische Eigenschaften**

| Parameter                                 | Richtwerte             |
|-------------------------------------------|------------------------|
| Volumengewicht **                         |                        |
| - trocken                                 | 1000 g/l {+/- 100 g/l} |
| - bei max. Wasserkapazität                | 1500 g/l {+/- 100 g/l} |
| max. Wasserkapazität                      | ca. 50 Vol. %          |
| Wasserdurchlässigkeit mod. K <sub>i</sub> | 0,3–30 mm/min          |
| pH-Wert (in CaCl <sub>2</sub> )           | 6,5–8,0                |
| Salzgehalt (Wasserextrakt)                | < 2,0 g/l              |
| Organische Substanz                       | < 90 g/l               |
| Verdichtungsfaktor                        | ca. 1,25               |

\* Bei Substrathöhen von > 35 cm ist zusätzlich das Untersubstrat Zincolit® Plus einzubauen.

\*\* Auf Anfrage sind auch Leichtvarianten lieferbar, dabei verringert sich das Gewicht um ca. 200 g/l.

Technische Änderungen und Druckfehler vorbehalten • Erstausgabe 05/2000, Stand 01/2016

ZinCo GmbH  
Lise-Meitner-Straße 2 · 72622 Nürtingen  
Telefon 07022 9060-600  
info@zinco.de · www.zinco.de

Leben auf dem Dach



## Systemerde Rasen

# Produktdatenblatt Systemerde „Rasen“

Art.-Nr. 615101 / 615201 / 615301



Vegetationssubstrat für Rasenansaat, Rollrasen und für den Systemaufbau „Sommerwiese“ in mehrschichtiger Bauweise geeignet.

### Technische Daten

#### Systemerde „Rasen“

Auf der Basis von Lava, Bims bzw. anderen fein kornabgestuften mineralischen Schüttstoffen und gütegesicherten organischen Bestandteilen hergestelltes Substrat. Speziell geeignet für das Anlegen von Rasenflächen bzw. bei höherer Substratschüttung\* auch für Strauch-, Stauden- und Baumpflanzungen. Die Etablierung der Vegetation erfolgt mittels Rollrasen oder ggf. Ansaat. Rasenflächen sollten bei Trockenheit regelmäßig bewässert werden. Für eine artgerechte Pflanzenentwicklung empfehlen wir einen geeigneten Pflanzendünger.

Lieferbar im Big Bag, als offene Ware und im Silozug.

Es ist mit einem Verdichtungsfaktor von 1,35 zu kalkulieren, das heißt, je Quadratmeter und cm einzubauendes Substrat müssen 13,5 l bestellt werden.

#### Lieferform

im Big Bag

lose im Kipper

im Silo

#### Art.-Nr.

615101

615201

615301

### Merkmale

- hohes Wasserspeichervermögen
- hoher Luftgehalt – auch bei Wassersättigung
- frostbeständig und strukturstabil
- fein abgestufte Körnung
- pH-neutral



### Chemisch-physikalische Eigenschaften

| Parameter                                 | Richtwerte             |
|-------------------------------------------|------------------------|
| Volumengewicht                            |                        |
| - trocken                                 | 950 g/l (+/- 100 g/l)  |
| - bei max. Wasserkapazität                | 1400 g/l (+/- 100 g/l) |
| max. Wasserkapazität                      | ca. 45 Vol. %          |
| Wasserdurchlässigkeit mod. K <sub>f</sub> | 0,3–30 mm/min          |
| pH-Wert (in CaCl <sub>2</sub> )           | 6,5–8,5                |
| Salzgehalt (Wasserextrakt)                | < 2,5 g/l              |
| Organische Substanz                       | < 90 g/l               |
| Verdichtungsfaktor                        | ca. 1,35               |

\* Bei Substrathöhen von > 35 cm ist zusätzlich das Untersubstrat Zincolit® Plus einzubauen.

Technische Änderungen und Druckfehler vorbehalten • Erstausgabe 07/2003; Stand 03/2016

ZinCo GmbH  
Lise-Meitner-Straße 2 · 72622 Nürtingen  
Telefon 07022 9060-600  
info@zinco.de · www.zinco.de

Leben auf dem Dach



Wägebalken
**BOSCHE**  
 WÄGETECHNIK

 **Wiegebalken WBS & WBL**

**Funktionen & Merkmale**

- ▶ Massive Stahlkonstruktion - feuerverzinkt, extrem biegesteif
- ▶ Geringe Konstruktionshöhe
- ▶ Robuster Industriestecker - geschützt verbaut
- ▶ Gummigedämpfte, gegen Stöße geschützte Wägezellen
- ▶ Wägesensoren laserverschweißt, hermetisch verdichtet in Schutzklasse IP68
- ▶ Einfache Montage
- ▶ Mobil einsetzbar durch geringes Eigengewicht
- ▶ Robust und überlastsicher
- ▶ Anzeige nach Wahl
- ▶ Kundenspezifische Längen möglich
- ▶ Als Selbstbausatz geeignet für:
  - Tierwaagen
  - BIG-BAG Waagen
  - Plattformwaagen
  - Behälterwaagen – Tankwaagen
  - Langmaterialwaagen
  - uvm.



+49 (0) 5491.999.689.0  
[www.bosche.eu](http://www.bosche.eu)

# BOSCHE

## WÄGETECHNIK

### ► Wiegebalken WBS & WBL

#### Bosche Wiegebalken der Serie WB

Wiegebalken mit einer passenden Anzeige stellen ein komplettes Wiegekomponentensystem für stationäre und mobile Anwendungen dar.

Das System besteht aus einer Anzeige ihrer Wahl und aus zwei hochwertigen, verzinkten Balken mit integrierten Wägezellen. Der Rohrrahmen bietet eine hohe Festigkeit, sodass die Waage eine Nutzlast von 3 Tonnen bei verteilter Last gewährleistet. Die extrem niedrige Konstruktionshöhe von 90 mm (WBS), bzw. 115 mm (WBL) lässt ein problemloses Aufbringen einer Eigenkonstruktion zu. So ermöglichen die Wiegebalken den Bau einer eigenen, kundenspezifischen Waage. Das geringe Eigengewicht garantiert einfaches, schnelles Wiegen an wechselnden Standorten. Die Wiegebalken bieten eine solide Möglichkeit Lasten und starre Konstruktionen (Rollbahnen, Behälter, Kisten, etc.) exakt und kostengünstig zu wiegen.

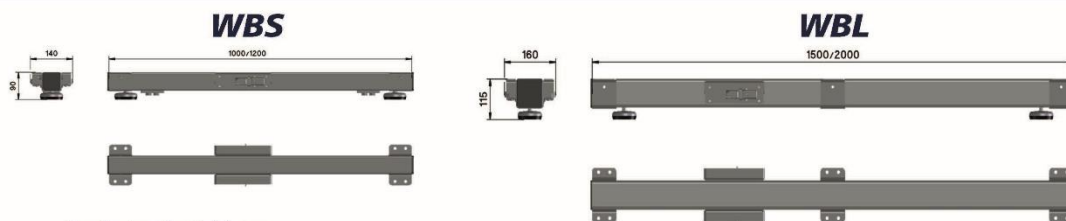
#### Konstruktion

Länge: 1000 mm, 1200 mm (WBS), 1500 mm, 2000 mm (WBL)  
Standardmäßiger Wägebereich: 600 kg, 1500 kg, 3000 kg  
Die Wiegebalken haben eine flache, robuste Konstruktion aus verzinktem Stahl. Für präzises Wiegen sorgen vier hochwertige, laserverschweißte DMS-Wägezellen. Wie bei allen Bosche Waagen sind auch hier alle Wägezellenkabel geschützt im Rahmen verlegt.

Der robuste Industriestecker der Wiegebalken ist geschützt untergebracht und das Quick-Lock-System der Verbindungsstecker garantiert eine schnelle und sichere Verbindung. Die Verbindung mit der Anzeige erfolgt über ein 5 m langes, geschirmtes Kabel.

#### Wägetechnik

Das Anzeigegerät kann je nach Kundenwunsch und Anforderungen gewählt werden.



Das System besteht aus:

- 2 Wiegebalken mit integrierten Wägezellen
- Kabelverbindungen
- Waagenanzeige

### ► Kombinierbare Anzeigen

|                                                   |                                                           |                                                  |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                                                   |                                                           |                                                  |
| <p>Waagenanzeige SWI<br/>für einfaches Wiegen</p> | <p>Waagenanzeige MWI<br/>für komplexe Wägeanwendungen</p> | <p>Wägecontroller CSW<br/>für Behälterwaagen</p> |

+49 (0) 5491.999.689.0  
[www.bosche.eu](http://www.bosche.eu)

BOSCHE GmbH & Co. KG  
Reselager Rieden 3  
49401 Damme

## Wägezellen

# BOSCHE

WÄGETECHNIK

## ► Plattform-Wägezelle H44A

### Eichfähige Single Point Wägezellen für Plattformwaagen

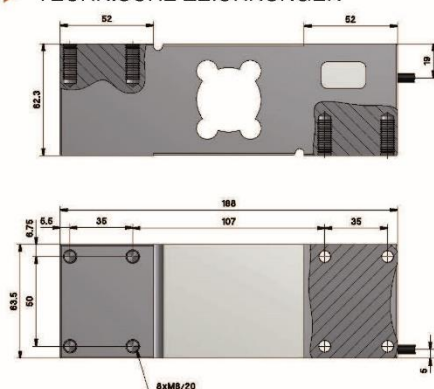
Die H44A ist eine Plattformwägezelle aus Aluminium. Sie eignet sich für mittlere und größere Plattformwaagen mit einer Wägezelle und für Handelswaagen der Klasse III. Die Wägezelle H44A ist bis 3000D nach OIML, R60 eichfähig und liefert auch im Langzeiteinsatz äußerst präzise und reproduzierbare Messergebnisse.

Standardmäßig sind die H44A Wägezellen auf Eckenlastempfindlichkeit geprüft und optimiert. So entstehen auch dann keine Messfehler, wenn die Plattform nur in einer Ecke belastet wird. Die Wägezelle ist vergossen und erfüllt die Anforderungen der Schutzklasse IP65.

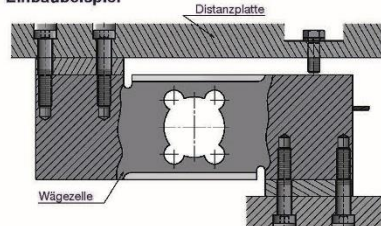
### ► TECHNISCHE DETAILS

|                                                                                                               |                 |                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Genauigkeitsklasse nach OIML R 60                                                                             |                 | C3                                |
| Nennlast ( $E_{max}$ )                                                                                        | kg              | 100, 150, 200, 250, 300, 500, 750 |
| Anzahl der Teilungswerte ( $n_{10}$ )                                                                         |                 | 3000                              |
| Nennkennwert ( $C_n$ ) / Kennwerttoleranz                                                                     | mV/V            | $2,0 \pm 0,2$                     |
| Kennwert vom relativen Mindestteilungswert d. WZ ( $Y = E_{max} / v_{min}$ )                                  | % von $E_{max}$ | 7 000                             |
| Mindestvorlast ( $E_{min}$ )                                                                                  |                 | 0                                 |
| Grenzlast ( $E_g$ )<br>Bruchlast ( $E_b$ )                                                                    | % von $E_{max}$ | 150<br>300                        |
| Empfohlene Speisespannung ( $U_{ref}$ )<br>Maximal zulässige Speisespannung ( $U_V$ )                         | V               | 5 - 12<br>15                      |
| Nullabgleich                                                                                                  | % v. $C_n$      | $\pm 0,2$                         |
| Eingangswiderstand ( $R_{i0}$ ) bei Referenztemperatur<br>Ausgangswiderstand ( $R_o$ ) bei Referenztemperatur | $\Omega$        | $404 \pm 10$<br>$350 \pm 3$       |
| Isolationswiderstand                                                                                          | M $\Omega$      | > 2 000                           |
| Nenntemperaturbereich ( $B_T$ )                                                                               | °C              | - 10 ... + 40                     |
| Schutzart nach (DIN 40.050 / EN 60529)                                                                        |                 | IP65                              |
| Gebrauchstemperaturbereich ( $B_{tu}$ )                                                                       | °C              | - 30 ... + 70                     |
| Kabellänge                                                                                                    | m               | 1,8                               |
| Werkstoff                                                                                                     |                 | Aluminium                         |
| Maximale Plattformgröße                                                                                       | mm              | 300 x 300                         |

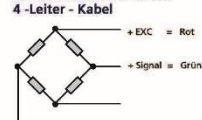
### ► TECHNISCHE ZEICHNUNGEN



### Einbaubeispiel



### Elektrischer Anschluss



+49 (0) 5491.999.689.0  
www.bosche.eu

BOSCHE GmbH & Co. KG  
Reselager Rieden 3  
49401 Damme

## Wägetransmitter/Messumformer

# BOSCHE

WÄGETECHNIK

## ► Wägetransmitter WTS

Der WTS ist ein vielseitiger digitaler DMS-Messverstärker für schnelle Wiedergabe genauer Gewichtswerte. Dieser Wägetransmitter wandelt (mit einem 24-bit A/D Wandler) die Ausgangssignale der angeschlossenen Wägezellen in einen stabilen Gewichtswert. Der Gewichtsgeber WTS ist eine preiswerte Lösung für gängige wägetechnische Standardaufgaben.

Die verfügbare Schnittstellenvielfalt ermöglicht eine einfache und sichere Integration von Wiegensystemen an jedes Automatisierungssystem. Der Messverstärker bietet sowohl analoge als auch digitale Ausgänge welche stabile Gewichtsdaten liefern. Zwei frei programmierbare Relaisausgänge und zwei digitale Logikeingänge sind ebenfalls serienmäßig vorhanden. Der integrierter 16-bit

Analogausgang liefert proportional zum Gewicht ein Signal (wählbar 0-20mA, 4-20mA, 0-10V, 0-5V), welches in einer SPS eingebunden werden kann. Die Kommunikation erfolgt über eine RS-485 Schnittstelle. Die hohe Messrate von bis zu 80 Messungen pro Sekunde sichert die gleichmäßige Analogperformance. Der WTS Messumformer für Hutprofilschienenmontage verfügt über eine 6-stellige Anzeige und vier Bedientasten, über die alle Einstellungen vorgenommen werden können. Durch die gut lesbare helle Anzeige kann der Gewichtswert direkt vor Ort kontrolliert werden. Der Wägetransmitter kann optional im Kunststoffgehäuse mit Kabelverschraubungen geliefert werden.

### ► TECHNISCHE DETAILS

|                                                 |                                                                                        |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Versorgungsspannung                             | 12 - 24 VDC $\pm$ 10%                                                                  |
| A/D Wandler                                     | 24 bit (16.000.000 Teile)                                                              |
| Wägezellenspeisung                              | 5 V DC / 120 mA                                                                        |
| Leistung                                        | 5 W                                                                                    |
| Versorgungsspannung der Eingänge                | 5 - 24 VDC                                                                             |
| Max. Zählerschritte                             | $\pm$ 999999 (mit Messbereich $\pm$ 10mV = Empf. 2mV/V)                                |
| Linearität                                      | < 0,01 % vom Bereich                                                                   |
| Temperaturdrift (des Analogausgangs)            | 0,0005 (0,003) % vom Bereich / °C                                                      |
| Anzahl der Wägezellen ( parallel angeschlossen) | Max. 8 $\hat{=}$ 350 $\Omega$ oder 16 $\hat{=}$ 700 $\Omega$ (bei 4-Leitertechnik)     |
| Messbereich                                     | $\pm$ 19,5 mV                                                                          |
| Max. Empfindlichkeit der Wägezellen             | $\pm$ 3 mV                                                                             |
| Max. Konvertierungen pro Sekunde                | 80 Konvertierungen/s.                                                                  |
| Display                                         | 6 Ziffern, 7 Segmente, LED rot + 6 Status LED's                                        |
| Dezimalstellen                                  | 0-4; 0,01, 0,001, 0,0001                                                               |
| Auflösung Anzeige - einstellbare Inkremente     | $\times$ 1 x 2 x 5 x 10 x 20 x 50 x 100                                                |
| Tastatur                                        | 4 Tasten zur Steuerung der Waagenfunktionen                                            |
| Digitalfilter                                   | 0,080...7,5 sek                                                                        |
| Wandlungsrate                                   | 5 - 80 Hz                                                                              |
| 2 x digitale optisch isolierte Eingänge         | 5 - 24VDC PNP                                                                          |
| 1 x Analogausgang; optisch isoliert, 16 bit     | 0-20 mA / 4-20 mA bei max. 300 $\Omega$<br>0-10 V DC / 0-5 V DC bei min. 10 k $\Omega$ |
| 2 x logische Relais-Ausgänge                    | max. 115 VAC / 60mAC                                                                   |
| Serielle Schnittstellen                         | 1 x RS485                                                                              |
| Baudrate                                        | 2.400, 4.800, 9.600, 19.200, 38.400, 115.200                                           |
| Betriebstemperatur                              | - 20 ... + 60 °C                                                                       |
| Lagertemperatur                                 | - 30 ... + 80 °C                                                                       |
| Feuchtigkeit                                    | max. 85% r.F, nicht kondensierend                                                      |
| Abmessung (B x T x H)                           | 123 x 92 x 50 mm                                                                       |

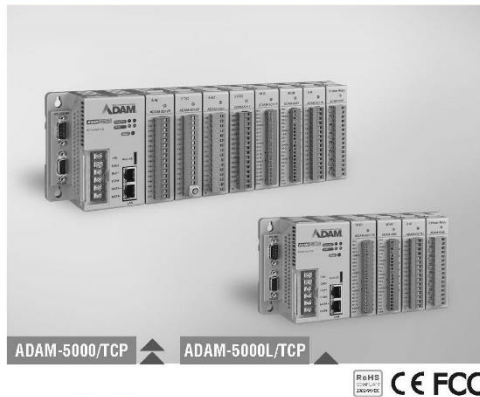
+49 (0) 5491.999.689.0  
www.bosche.eu

BOSCHE GmbH & Co. KG  
Reselager Rieden 3  
49401 Damme

## Ethernetfähiges I/O-Modul (ADAM 5000/TCP)

# ADAM-5000L/TCP ADAM-5000/TCP

**4-slot Distributed DA&C System for Ethernet**  
**8-slot Distributed DA&C System for Ethernet**



### Features

- Cortex M4 CPU
- 10/100Base-T auto-negotiation high-speed communication port
- Supports Modbus/TCP for easy integration
- Supports UDP event handling function
- Up to 100 m communication distance w/o repeater
- Allows remote configuration via Ethernet
- Allows concurrent access for 16 host PCs
- 4 I/O slots for up to 64 points and 8 I/O slots for up to 128 points data monitoring and control
- 1500 V<sub>DC</sub> isolation for Ethernet communication
- Built-in watchdog timer for system auto-reset
- Windows utility
  - I/O modules configuration and calibration
  - Network auto searching
  - Data stream setting
  - Current status monitoring and alarm trigger
- Provides C and .NET class library to develop applications
- Support GCL function for easy I/O interlocking logic

### Introduction

The ADAM-5000L/TCP and ADAM-5000/TCP are both Ethernet-based I/O systems. Without a repeater, the ADAM-5000L/TCP and ADAM-5000/TCP can cover a communication distance up to 100 m. This allows remote configuration via Ethernet and sixteen PCs can simultaneously access the data. The ADAM-5000L/TCP and ADAM-5000/TCP are the solutions for easy configuration and efficient management. It is an ideal and cost-effective solution for eAutomation architecture.

### Specifications

#### Control System

- **CPU** Cortex M4
- **I/O Slots** ADAM-5000L/TCP: 4  
ADAM-5000/TCP: 8
- **Memory** Flash ROM: 1 MB
- **Operating System** Real-time OS
- **LED Indicators** Power (3.3 V)  
RUN  
Communication (Link, Active, 10/100 Mbps, Tx, Rx)
- **Storage** 1 x MicroSD slot

#### Communications (Ethernet)

- **Data Transfer Rate** Up to 100 Mbps
- **Event Response Time** < 5 ms
- **Interface** 2 x RJ-45 sharing one MAC Address
- **Wiring** UTP, category 5 or greater

#### Communications (Serial)

- **Comm. Distance** RS-485: 1.2 km (4000 feet)  
RS-232: 15 m
- **Comm. Protocol** Modbus/RTU
- **Data Transfer Rate** Up to 115.2 kbps
- **Interface** 1 x DB9-M for RS-485  
1 x DB9-F for RS-485  
1 x DB9-F for RS-232 (System Monitoring)
- **Max. Nodes** 15 (in RS-485 daisy-chain network for Remote I/O connection)

#### Power

- **Power Consumption** 4.0 W @ 24 V<sub>DC</sub> (ADAM-5000L/TCP)  
(not including I/O modules)  
5.0 W @ 24 V<sub>DC</sub> (ADAM-5000/TCP)  
(not including I/O modules)
- **Power Input** Unregulated 10 ~ 30 V<sub>DC</sub>

#### Software

- **API** VS.NET Class Library
- **Windows Utility** Network setting, I/O configuration & calibration, data stream, alarm setting
- **Modbus/TCP OPC Server**

#### Protection

- **Communication Line Isolation** 3,000 V<sub>DC</sub>
- **I/O Module Isolation** 3,000 V<sub>DC</sub>
- **LAN Communication** 1,500 V<sub>DC</sub>
- **Overvoltage Protection** Yes
- **Power Reversal Protection** Yes

#### General

- **Certification** CE, FCC class A
- **Connectors** 1 x DB9-M/DB9-F/screw terminal for RS-485 (communication)  
1 x DB9-F for RS-232 (internal use)  
1 x Screw-terminal for power input  
2 x RJ-45 for LAN
- **Dimensions (W x H x D)** ADAM-5000L/TCP: 231 x 110 x 75 mm  
ADAM-5000/TCP: 355 x 110 x 75 mm
- **Enclosure** ABS+PC
- **Mounting** DIN-rail, wall

#### Environment

- **Operating Humidity** 5 ~ 95%, non-condensing
- **Operating Temperature** -10 ~ 70°C (14 ~ 158°F)
- **Storage Temperature** -25 ~ 85°C (-13 ~ 185°F)

### Ordering Information

- **ADAM-5000L/TCP** 4-slot Ethernet-based Distributed DA & C System
- **ADAM-5000/TCP** 8-slot Ethernet-based Distributed DA & C System

Online Download [www.advantech.com/products](http://www.advantech.com/products)

**ADVANTECH**

All product specifications are subject to change without notice

Last updated : 5-May-2015

A/D-Wandler mit 16-Bit Analog-Eingängen (ADAM 5017/5017P)

# ADAM-5013

# ADAM-5017

# ADAM-5017P

**3-ch RTD Input Module****8-ch Analog Input Module****8-ch Analog Input Module with Independent Input Range****Specifications****General**

- **Certification** CE
- **Connectors** 1 x Plug-in screw terminal (#14 ~ 22 AWG)
- **Enclosure** ABS+PC
- **Power Consumption** 1.1 W (max.)

**RTD Input**

- **Accuracy**  $\pm 0.1\%$  or better
- **Bandwidth** 13.1 Hz @ 50 Hz  
15.72 Hz @ 60 Hz
- **Channels** 3
- **CMR @ 50/60 Hz** 150 dB
- **Input Connections** 2, 3 or 4 wire
- **Input Impedance** 2 M $\Omega$
- **Input Type** PT100 or Ni RTD
- **NMR @ 50/60 Hz** 100 dB
- **Resolution** 16-bit
- **RTD Types and Temperature Ranges**

| IEC RTD 100 ohms |        |    |           |
|------------------|--------|----|-----------|
| Pt               | -100°C | to | +100°C    |
| Pt               | 0°C    | to | +100°C    |
| Pt               | 0°C    | to | +200°C    |
| Pt               | 0°C    | to | +600°C    |
|                  |        |    | a=0.00385 |
| JIS RTD 100 ohms |        |    |           |
| Pt               | -100°C | to | +100°C    |
| Pt               | 0°C    | to | +100°C    |
| Pt               | 0°C    | to | +200°C    |
| Pt               | 0°C    | to | +600°C    |
|                  |        |    | a=0.00392 |
| Ni RTD           |        |    |           |
| Ni               | -80°C  | to | +100°C    |
| Ni               | 0°C    | to | +100°C    |
- **Sampling Rate** 10 samples/sec. (total)
- **Span Drift**  $\pm 0.01^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$
- **Zero Drift**  $\pm 0.015^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$

**Protection**

- **Isolation Voltage** 3000 V<sub>DC</sub>

**Ordering Information**

- **ADAM-5013** 3-ch RTD Input Module

**Specifications****General**

- **Certification** CE, FM
- **Connectors** 1 x Plug-in screw terminal (#14 ~ 22 AWG)
- **Enclosure** ABS+PC
- **Power Consumption** 1.25 W (max.)

**Analog Input**

- **Accuracy** Voltage mode:  $\pm 0.1\%$  or better  
Current mode:  $\pm 0.2\%$  or better
- **Bandwidth** 13.1 Hz @ 50 Hz  
15.72 Hz @ 60 Hz
- **Channels** 8 differential
- **CMR @ 50/60 Hz** 92 dB min.
- **Input Impedance** Voltage: 2 M $\Omega$   
Current: 120  $\Omega$  (Build-in 120  $\Omega$  resistor for Current Input)
- **Input Range**  $\pm 150$  mV,  $\pm 500$  mV,  $\pm 1$  V,  $\pm 5$  V,  $\pm 10$  V,  $\pm 20$  mA
- **Resolution** 16-bit
- **Sampling Rate** 10 samples/sec. (total)
- **Span Drift**  $\pm 25$  PPM/ $^\circ\text{C}$
- **Zero Drift**  $\pm 6$   $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$

**Protection**

- **Isolation Voltage** 3,000 V<sub>DC</sub>
- **Fault and Overvoltage Protection** Withstands overvoltage up to  $\pm 35$  V

**Note:** The voltage difference between any two pins must not exceed  $\pm 15$  V

**Ordering Information**

- **ADAM-5017** 8-ch Analog Input Module

**Specifications****General**

- **Certification** CE, FCC Class A
- **Connectors** 1 x Plug-in terminal block (#14 ~ 22 AWG)
- **Enclosure** ABS+PC
- **Power Consumption** 1.25 W (max.)

**Analog Input**

- **Accuracy** Voltage mode:  $\pm 0.1\%$  or better  
Current mode:  $\pm 0.2\%$  or better
- **Channels** 8 (differential, each channel can be configured with different range)
- **CMR @ 50/60 Hz** 92 dB min.
- **Input Impedance** Voltage: 800K  $\Omega$   
Current: 120  $\Omega$  (Build-in 120  $\Omega$  resistor for Current Input)
- **Input Range** 0 ~ 150 mV, 0 ~ 500 mV, 0 ~ 1 V, 0 ~ 5 V, 0 ~ 10 V, 0 ~ 15 V,  $\pm 150$  mV,  $\pm 500$  mV,  $\pm 1$  V,  $\pm 5$  V,  $\pm 10$  V,  $\pm 15$  V,  $\pm 20$  mA, 4 ~ 20 mA
- **Resolution** 16-bit
- **Sampling Rate** 10 samples/sec. (total)
- **Span Drift**  $\pm 25$  ppm/ $^\circ\text{C}$
- **Zero Drift**  $\pm 6$   $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- **High Common Mode** 200 V<sub>DC</sub>

**Protection**

- **Over Voltage Protection**
- **Built-in TVS/ESD Protection**
- **Isolation Voltage** 3,000 V<sub>DC</sub>

**Note:** Does not support ADAM-5510KW series

**Ordering Information**

- **ADAM-5017P** 8-ch Analog Input Module w/ Ind. Input Range

All product specifications are subject to change without notice

Online Download [www.advantech.com/products](http://www.advantech.com/products)

ADVANTECH

Last updated : 28-Aug-2013

A/D-Wandler mit Digitalausgängen (ADAM 5056S)

# ADAM-5056/D/S

## ADAM-5056SO

## ADAM-5057S

**16-ch Digital Output Module**  
**16-ch Source-type Isolated**  
**Digital Output Module with LED**

**32-ch Isolated Digital Output Module**



### Specifications

#### General

- **Certifications** CE, FCC class A (ADAM-5056S only)
- **Connectors**
  - ADAM-5056/5056D 1 x Plug-in screw terminal (# 14 ~ 22 AWG)
  - ADAM-5056S 1 x Plug-in screw terminal (# 14 ~ 28 AWG)
- **Enclosure** ABS+PC
- **LED Indicators**
  - ADAM-5056D On: output logic level "1"  
Off: output logic level "0"
  - ADAM-5056S On: active  
Off: inactive
- **Power Consumption**
  - ADAM-5056: 0.53 W (max.)
  - ADAM-5056D: 0.84 W (max.)
  - ADAM-5056S: 0.6 W (max.)

#### Digital Output

- **Channels** 16
- **Digital Output**
  - ADAM-5056/5056D Open collector to 30 V, 100 mA max. load
  - ADAM-5056S Open collector to 40 V, 200 mA max. load (sink)
- **Operating Voltage** ADAM-5056/5056D: 30 V max
- **Power Dissipation** 300 mW for each channel
- **Protection (Only for ADAM-5056S)**
  - Optical Isolation 2500 V<sub>DC</sub>
  - Overvoltage Protection 70 V<sub>DC</sub>
  - Power Dissipation 300 mW

### Ordering Information

- **ADAM-5056** 16-ch Digital Output Module
- **ADAM-5056D** 16-ch Digital Output Module with LED
- **ADAM-5056S** 16-ch Sink Type Iso. DO Module w/ LED



### Specifications

#### General

- **Certifications** CE, FCC class A
- **Connectors** 1 x Plug-in screw terminal (# 14 ~ 28 AWG)
- **Enclosure** ABS+PC
- **LED Indicator** On: active  
Off: inactive
- **Power Consumption** 0.6 W (Max.)

#### Digital Output

- **Channels** 16
- **Digital Output** 10 ~ 35 V<sub>DC</sub>
- **Current** 200 mA max. (per channel)
- **Power Dissipation** Channel : 1 W max.  
Total : 2.2 W (8 channels)

#### Protection

- **Optical Isolation** 2,500 V<sub>DC</sub>
- **Overvoltage Protection** 70 V<sub>DC</sub>

### Ordering Information

- **ADAM-5056SO** 16-ch Source Type Iso. DO Module w/ LED



### Specifications

#### General

- **Certifications** CE, FCC class A
- **Connectors** 1 x 40 pin (wiring line)
- **Enclosure** ABS+PC
- **LED Indicator** On: active  
Off: inactive
- **Power Consumption** 1W (Max.)

#### Digital Output

- **Channels** 32
- **Digital Output** Must connect with 2 units of ADAM-3920R

#### Protection

- **Optical Isolation** 2,500 V<sub>DC</sub>
- **Overvoltage Protection** 70 V<sub>DC</sub>

#### Relay Spec. of ADAM-3920R

- **Contact Rating** 10A @ 250 V<sub>AC</sub>  
10A @ 30 V<sub>DC</sub>
- **Contact Resistance** 100 mΩ
- **Operation Time** 15 ms
- **Relay Type SPST** (Form A)
- **Release Time** 5 ms max
- **Life Expectancy** 1.7 x 10<sup>6</sup> at related load
- **Insulation Resistance** 1GΩ @ 500 V<sub>DC</sub>
- **Power Input** +24 V<sub>DC</sub>
- **Mounting** DIN 35 rail, wall, rack (with mounting kit)

**Note:** ADAM-5057S must connect with 2 units of ADAM-3920R via PCL-10220

**Note:** only for ADAM-5550 Series

### Ordering Information

- **ADAM-5057S** 32-ch Digital Output Module
- **ADAM-3920R** 20-pin Flat Cable Wiring Relay Board
- **PCL-10220** 40-pin IDC to two 20-pin IDC cable, 1m

## Messfühler für Lufttemperatur und -feuchte (DKRF4001-P-10-2080-AK)

Driesen + Kern GmbH



### Mikro-Module für Feuchte & Temperatur

DKRF4001/DKRF4002 (CMOS-UART) für OEM-Anwendungen



Mikro-Module mit Steckleiste ①, Löt pads ② oder Anschlussklemme ③

#### Mikromodule

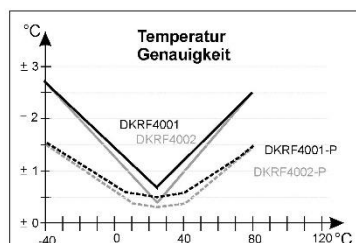
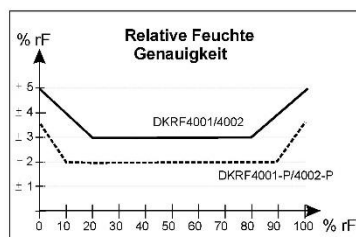
Die Mikromodule DKRF4001 und DKRF4002 wurden speziell für OEM-Anwendungen entwickelt. Das Modul DKRF4001 hat zwei kalibrierte, lineare Spannungsausgänge für 0...1, 0...5, 0...10 VDC. Das Modul DKRF4002 hat eine CMOS-UART-Schnittstelle zur digitalen Datenübertragung. Zur Kommunikation werden Standardparameter gemäß seriellen Protokoll verwendet (9600 baud, 8, N, 1; voll-duplex, bidirektional). Die Sensormodule eignen sich für Messungen zwischen 0...100% rF und Temperaturen zwischen -20...+80°C.

#### Schutz durch Filterkappe

Die Module eignen sich auch für den Einsatz unter rauen Umgebungsbedingungen. Die standardmäßig verbaute Filterkappe bietet einen zusätzlichen Schutz für den Sensor gegen Staub und Flüssigkeit.

#### Optionale Anschlussklemme

Die Standard-Version des Mikromoduls wird mit Löt pads geliefert. Als Option steht auch eine Version mit Anschlussklemme oder Steckleiste zur Verfügung.

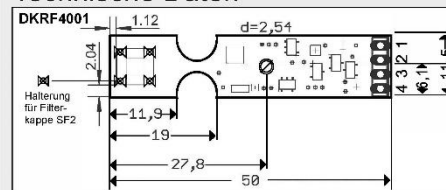


#### Bestellbezeichnung

Die folgende Bestellcodierung gilt für die DKRF4001/4002-Module: **DKRF MOD-AA-MB-C**

|                      |                                       |
|----------------------|---------------------------------------|
| - MOD = Ausgang      |                                       |
| 4001                 | = Analogausgang, Standardgenauigkeit  |
| 4001P                | = Analogausgang, erhöhte Genauigkeit  |
| 4002                 | = Digitalausgang, Standardgenauigkeit |
| 4002P                | = Digitalausgang, erhöhte Genauigkeit |
| - AA = Analogausgang |                                       |
| 01                   | = 0... 1 VDC                          |
| 05                   | = 0... 5 VDC                          |
| 10                   | = 0...10 VDC                          |
| 00                   | = kein Analogausgang                  |
| - MB = Messbereich   |                                       |
| 2080                 | = Messbereich -20...+80°C             |
| xxxx                 | = Sondereinstellung                   |
| - C = Anschluss      |                                       |
| STD                  | = mit Löt pads                        |
| AK                   | = mit Anschlussklemme                 |
| SL                   | = Steckleiste                         |

#### Technische Daten



| Anschluss DKRF4001     | Anschluss DKRF4002     |
|------------------------|------------------------|
| Pin 4: GND             | Pin 4: GND             |
| Pin 3: +U <sub>s</sub> | Pin 3: +U <sub>s</sub> |
| Pin 2: rFout           | Pin 2: RX Module       |
| Pin 1: Tout            | Pin 1: TX Module       |

Kontaktierung: Lötfläche, Raster 1,27 mm  
Optional Pins od. Anschlussklemmen  
Höhe: H = 4 mm ohne Filterkappe

#### Relative Luftfeuchte DKRF 4001/DKRF4002

Messbereich: 0...100% rF, nicht kondensierend  
Genauigkeit: siehe Grafik  
Auflösung der D/A-Wandlung: 0,04% rF

#### Temperatur DKRF 4001

Messbereich: -20...+80°C  
Genauigkeit: ±0,6°C @ 25°C Standard  
±0,4°C @ 25°C nur DKRF4001-P  
Auflösung der D/A-Wandlung: 0,04°C

#### Temperatur DKRF4002

Messbereich: -20...+80°C  
Genauigkeit: ±0,4°C @ 25°C Standard  
(±0,3°C @ 25°C nur DKRF4002-P)

Analogausgang DKRF4001: 0...1V / 0...5V / 0...10V

#### Versorgung

DKRF4001:  
Ausgang: 0...1 V 3,0...30 VDC, 3 mA  
Ausgang: 0...5 V 6,0...30 VDC, 3,5 mA  
Ausgang: 0...10 V 12...30 VDC, 4 mA  
Versorgung DKRF4002: 5,0...30 VDC, 400 µA

Optionale Ausgangsgrößen: Taupunkt, abs. Feuchte

Driesen+Kern GmbH  
Am Hasselt 25  
D-24576 Bad Bramstedt

www.driesen-kern.de  
www.driesen-kern.com

Tel. +49 (0) 4192 8170-0  
Fax +49 (0) 4192 8170-99  
info@driesen-kern.de



Technische Änderungen vorbehalten/ DKRF4001\_DKRF4002-DB-DE-V1.0

## Ultraschall-Sensor

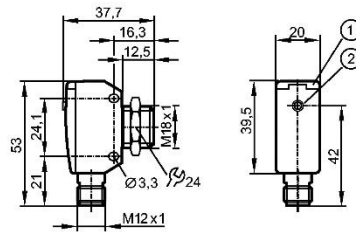


### UGT580

UGQ00300E1KG/US



Ultrasonic sensors



- 1: LEDs  
2: teach button



#### Product characteristics

Ultrasonic diffuse-reflection sensor

Cube

Connector

Teach function

#### Electrical data

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| Electrical design           | DC PNP     |
| Operating voltage [V]       | 10...30 DC |
| Current consumption [mA]    | < 35       |
| Protection class            | III        |
| Reverse polarity protection | yes        |
| Power-on delay time [s]     | 0.1        |
| Converter frequency [kHz]   | 300        |

#### Inputs

|       |     |
|-------|-----|
| Teach | yes |
|-------|-----|

#### Outputs

|                          |                                               |
|--------------------------|-----------------------------------------------|
| Output function          | 1 x NO / NC programmable + 1 x current output |
| Current rating [mA]      | 100                                           |
| Voltage drop [V]         | 2.2                                           |
| Short-circuit protection | yes                                           |
| Overload protection      | yes                                           |
| Analogue output          |                                               |
| current output [mA]      | 4...20                                        |
| Max. load [Ω]            | 500                                           |
| Switching frequency [Hz] | 8                                             |

#### Range

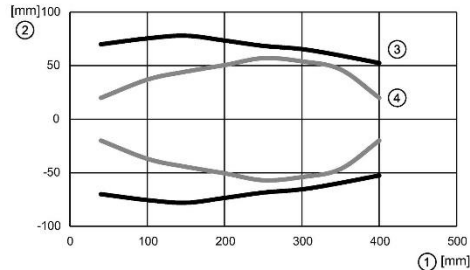
|                    |     |
|--------------------|-----|
| Sensing range [mm] | 300 |
| blind zone [mm]    | 40  |

**UGT580**

UGQ00300E1KG/US

**Ultrasonic sensors**

Response curve



1: Distance; 2: Sound beam; 3: Target 100 x 100 mm; 4: Target Ø 25 mm

|                                                   |                                                                                                                  |                                                                                                    |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Angle of aperture                                 | [°]                                                                                                              | ± 7                                                                                                |
| Max. deviation from the 90° angle sensor / object | [°]                                                                                                              | ± 4                                                                                                |
| Accuracy / deviations                             |                                                                                                                  |                                                                                                    |
| Notes on the accuracy / deviation                 | The indicated values are reached after a warm-up time of ≥ 20 minutes                                            |                                                                                                    |
| Temperature compensation                          |                                                                                                                  | yes                                                                                                |
| Hysteresis                                        | [%]                                                                                                              | < 1                                                                                                |
| Switch-point drift                                | [%]                                                                                                              | ± 2                                                                                                |
| Linearity error                                   | [%]                                                                                                              | ≤ 1                                                                                                |
| Resolution                                        | [mm]                                                                                                             | 3                                                                                                  |
| Repeatability                                     | [%]                                                                                                              | < 0.7                                                                                              |
| Environment                                       |                                                                                                                  |                                                                                                    |
| Ambient temperature                               | [°C]                                                                                                             | -20...70                                                                                           |
| Protection                                        |                                                                                                                  | IP 67                                                                                              |
| Tests / approvals                                 |                                                                                                                  |                                                                                                    |
| EMC                                               | EN 61000-4-2 ESD:<br>EN 61000-4-3 HF radiated:<br>EN 61000-4-4 Burst:<br>EN 61000-4-6 HF conducted:<br>EN 55011: | 4 kV CD / plastics<br>8 kV AD / metal<br>3 V/m<br>2 kV<br>3 V<br>class A                           |
| Vibration resistance                              | EN 60068-2-6 Fc                                                                                                  | (10-55) Hz 1 mm amplitude,<br>oscillation period 5 min., 30 min.<br>per axis at resonance or 55 Hz |
| Shock resistance                                  | EN 60068-2-27 Ea                                                                                                 | yes                                                                                                |
| Mechanical data                                   |                                                                                                                  |                                                                                                    |
| Housing materials                                 | 1.4542; PBT; polyamide; Epoxid-Glaskeramik                                                                       |                                                                                                    |
| Weight                                            | [kg]                                                                                                             | 0.095                                                                                              |
| Displays / operating elements                     |                                                                                                                  |                                                                                                    |
| Display                                           | Switching status 1 LED yellow<br>Echo LED 1 LED green                                                            |                                                                                                    |
| Electrical connection                             |                                                                                                                  |                                                                                                    |
| Connection                                        | M12 connector                                                                                                    |                                                                                                    |

Speicherschutzmatte

# Produktdatenblatt

## Speicherschutzmatte SSM 45

Art.-Nr. 2045



Wasser- und nährstoffspeichernde Synthesefasermatte zum Einsatz als Schutzlage unter Dachbegrünungen, Kieseinschüttungen, Plattenbelägen etc.

**Technische Daten****Speicherschutzmatte SSM 45**

hochwertige Fasermatte aus Polyester/Polypropylen.

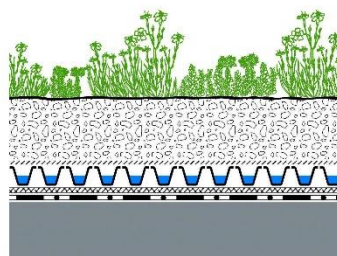
|                                           |                          |
|-------------------------------------------|--------------------------|
| Dicke:                                    | ca. 5 mm                 |
| Flächenmasse:                             | ca. 470 g/m <sup>2</sup> |
| Farbe:                                    | braun meliert            |
| Wasserspeicherkapazität:                  | ca. 5 l/m <sup>2</sup>   |
| Schutzwirkung gemäß EN ISO 13428:         | Restdicke ≥ 25 %         |
| <b>Streifenzugprüfung nach DIN 53857:</b> |                          |
| Zugkraft längs:                           | > 5,5 kN/m               |
| Dehnung längs:                            | > 75 %                   |
| <b>CBR-Test nach EN ISO 12236:</b>        |                          |
| Durchstoßkraft:                           | > 2000 N                 |
| Geotextilrobustheitsklasse:               | 3                        |
| <b>Abmessungen:</b>                       |                          |
| Rollenbreite                              | ca. 2,00 m               |
| Rollenlänge                               | ca. 50,00 m              |

**Merkmale**

- mechanisch belastbar
- mit geprüfter Schutzwirkung nach EN ISO 13428
- wasser- und nährstoffspeichernd
- verrottungsbeständig
- biologisch neutral
- bitumen- und polystyrolverträglich
- hergestellt aus Recyclingfaser
- schnell und einfach zu verlegen

**Beispiel**

„Extensive Dachbegrünung Typ Steinrosenflur gemäß ETA-13/0668“



Pflanzebene  
z. B. Typ „Steinrosenflur“

Systemerde „Steinrosenflur“

Systemfilter SF

Floradrain® FD 25

Speicherschutzmatte SSM 45

Dachaufbau mit wurzelfester Abdichtung

**Vorschlag für Ausschreibung**

Hochwertige, verrottungsfeste Synthesefasermatte mit geprüfter Schutzwirkung nach EN ISO 13428, Dicke ca. 5 mm, Flächenmasse ca. 470 g/m<sup>2</sup>, Geotextilrobustheitsklasse 3, liefern und nach Herstellervorschrift als Schutzlage gegen

mechanische Beschädigung auf der Dachabdichtung verlegen.

Fabrikat: ZinCo Speicherschutzmatte SSM 45  
Lieferrachweis: ZinCo GmbH,  
Telefon: 07022 9060-600

ZinCo GmbH  
Lise-Meitner-Straße 2 · 72622 Nürtingen  
Telefon 07022 9060-600  
info@zinco.de · www.zinco.de



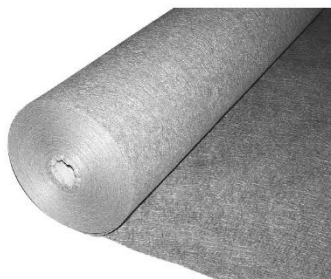
Leben auf dem Dach

Technische Änderungen und Druckfehler vorbehalten • Erhebungszeitraum 08/1994, Stand 10/2021

## Systemfilter

# Produktdatenblatt Systemfilter SF

Art.-Nr. 2100–2102



Geotextil aus vernadeltem und thermisch verfestigtem Polypropylen, einsetzbar als Filtervlies über Dränelementen bei normaler mechanischer Beanspruchung.



0799-CPD-74

### Merkmale

- mechanisch belastbar
- vielseitig einsetzbar
- beständig gegen alle in der Natur vorkommende Säuren und Alkalien
- chemisch und biologisch neutral
- besonders hoher Wasserdurchgang
- einfach und schnell zu verlegen
- verrottungsbeständig

### Technische Daten

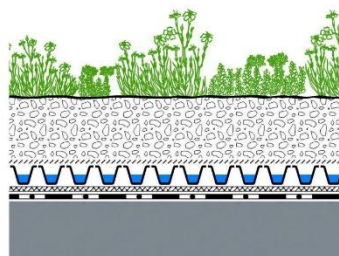
#### Systemfilter SF

Vernadeltes und thermisch verfestigtes Filtervlies aus Polypropylen.

|                                                             |                                           |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Dicke:                                                      | ca. 0,60 mm                               |
| Flächenmasse:                                               | ca. 100 g/m <sup>2</sup>                  |
| Farbe:                                                      | grau                                      |
| Stempeldurchdruckkraft nach EN ISO 12236:                   | ca. 1100 N                                |
| Geotextilrobustheitsklasse:                                 | 2                                         |
| Streifenzugprüfung (200 mm) nach EN ISO 10319:              | ca. 7,0 kN/m                              |
| Bruchdehnung längs/quer:                                    | ca. 40% / 55%                             |
| Wasserdurchlässigkeit (H <sub>50</sub> ) nach EN ISO 11058: | ca. 70 l/(m <sup>2</sup> ·s) (≥ 0,07 m/s) |
| Öffnungsweite (O <sub>90</sub> ) nach EN ISO 12956:         | ca. 95 µm                                 |
| Abmessungen:                                                |                                           |
| Länge                                                       | ca. 100,00 m                              |
| Breite                                                      | ca. 2,00 m                                |
| Art.-Nr.                                                    | 2100                                      |
| Länge                                                       | ca. 10,00 m                               |
| Breite                                                      | ca. 1,00 m                                |
| Art.-Nr.                                                    | 2102                                      |
| Breite                                                      | ca. 2,00 m                                |
| Art.-Nr.                                                    | 2101                                      |

### Beispiel

„Extensive Dachbegrünung Typ Steinrosenflur gemäß ETA-13/0668“



Pflanzebene  
„Steinrosenflur“

Systemerde „Steinrosenflur“, ca. 80 l/m<sup>2</sup>

**Systemfilter SF**

Floradrain® FD 25

Speicherschutzmatte SSM 45

Dachaufbau mit wurzelfester Abdichtung



### Vorschlag für Ausschreibung

Vernadeltes und thermisch verfestigtes Vlies aus Polypropylen; Flächenmasse ca. 100 g/m<sup>2</sup>, Stempeldurchdruckkraft nach EN ISO 12236: ca. 1100 N, Geotextilrobustheitsklasse 2, Wasserdurchlässigkeit (H<sub>50</sub>) nach EN ISO 11058: ca. 70 l/(m<sup>2</sup>·s), Öffnungsweite (O<sub>90</sub>)

nach EN ISO 12956: ca. 95 µm, liefern und nach Herstellervorschrift verlegen.

Fabrikat: ZinCo Systemfilter SF  
Lieferscheinweis: ZinCo GmbH,  
Telefon: 07022 9060-600

ZinCo GmbH  
Lise-Meitner-Straße 2 · 72622 Nürtingen  
Telefon 07022 9060-600  
info@zinco.de · www.zinco.de

Leben auf dem Dach



Technische Änderungen und Druckfehler vorbehalten • Erhaltungssatz 08/1994, Stand 11/2021

Aquafleece

# Produktdatenblatt

## Aquafleece AF 300

Art.-Nr. 2120



Vlies aus Polyacrylfasern, aufkaschiert auf reißfestem Bändchengewebe aus PP, zum Einsatz bei bewässerten Extensivbegrünungen, mit doppelter Funktion:

1. Bei Bewässerung wird das Wasser infolge der Kapillarität flächig verteilt und
2. nach Wassersättigung kann Niederschlag (nahezu) ungehindert passieren.

**Technische Daten****Aquafleece AF 300**

stark kapillar-wirksames Vlies insbesondere zum Einsatz in Verbindung mit Tropfschläuchen des Typs 500-L2 bei bewässerten Extensivbegrünungen.

Vlies:

Material: 100 % Polyacrylfaser  
Farbe: grün  
Wasseraufnahmevermögen: ca. 3–4 l/m<sup>2</sup>

Bändchengewebe:

Material: Polypropylen  
Farbe: schwarz  
Streifenzugprüfung (200 mm) nach EN ISO 10319 längs / quer: ca. 19,0 / 15,0 kN/m  
Bruchdehnung längs / quer: ca. 21 / 17 %  
Wasserdurchlässigkeit: ca. 20 l/(m<sup>2</sup>·s)

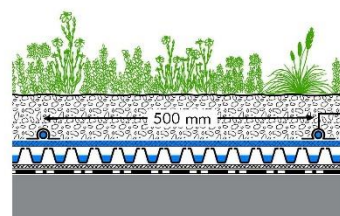
Flächenmasse (gesamt): ca. 300 g/m<sup>2</sup>  
Dicke (gesamt): ca. 2,4 mm  
Rollenbreite: ca. 2,10 m  
Rollenlänge: ca. 50,00 m

**Merkmale**

- durch hohe Kapillarität schnelle Wasserverteilung
- filterstabil
- reißfest durch Unterlage aus stabilem Bändchengewebe
- einsetzbar in Verbindung mit Tropfschläuchen des Typs 500-L2 bei bewässerten extensiven Dachbegrünungen
- die Tropfschläuche sind per Klettband auf dem Vlies fixierbar
- einfach und schnell zu verlegen
- verrottungsbeständig

**Beispiel**

„Bewässerte Extensivbegrünung“ mit Aquafleece AF 300



Pflanzengemeinschaft „Steinrosenflur“ oder „Blütenwiese“

Systemerde „Steinrosenflur“, ab 8 cm

Tropfschlauch 500-L2, befestigt mittels Klettsystem

Aquafleece AF 300

Dränelement (z.B. Floradrain® oder Floraset®)

entspr. Schutzmatte

Dachaufbau mit wurzelfester Abdichtung

**Vorschlag für Ausschreibung**

Kapillar-wirksames Vlies aus Polyacrylfasern, Wasseraufnahmevermögen ca. 3–4 l/m<sup>2</sup>, aufkaschiert auf einem Bändchengewebe aus Polypropylen, Wasserdurchlässigkeit ca. 20 l/(m<sup>2</sup>·s), Reißfestigkeit (längs/quer) ca. 19,0 / 15,0 kN/m; Flächenmasse gesamt

ca. 300 g/m<sup>2</sup>; Dicke gesamt ca. 2,4 mm; liefern und nach Herstellervorschrift verlegen.

Fabrikat: Aquafleece AF 300  
Lieferscheinweis: ZinCo GmbH,  
Telefon: 07022 9060-600

Technische Änderungen und Druckfehler vorbehalten • Erstausgabe 01/2017

ZinCo GmbH  
Lise-Meitner-Straße 2 · 72622 Nürtingen  
Telefon 07022 9060-600  
info@zinco.de · www.zinco.de



Leben auf dem Dach

## Drainelement

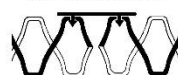
# Produktdatenblatt Floradrain® FD 40

Art.-Nr. 3040



Profiliertes Drän- und Wasserspeicherelement aus RC-Polyolefin zum Einsatz bei intensiven und extensiven Begrünungen auf Dächern mit und ohne Gefälle.

Kunststoffverbinder



www.zinco.de/epd



### Technische Daten

#### Floradrain® FD 40

Drän- und Wasserspeicherelement aus tiefgezogenem RC-Polyolefin.

|                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| Material:                        | Polyolefin, hauptsächlich PE |
| Farbe:                           | dunkelgrau                   |
| Höhe:                            | ca. 40 mm                    |
| Flächenmasse:                    | ca. 2,1 kg/m <sup>2</sup>    |
| Durchmesser Diffusionsöffnungen: | ca. 2 mm                     |
| Wasserspeichervermögen:          | ca. 5 l/m <sup>2</sup>       |
| Verfüllvolumen:                  | ca. 17 l/m <sup>2</sup>      |

|                                              |                           |
|----------------------------------------------|---------------------------|
| Druckbelastung bei 10% Stauchung unverfüllt: | ca. 135 kN/m <sup>2</sup> |
| mit Splitt verfüllt:                         | ca. 235 kN/m <sup>2</sup> |

Wasserabfluss in Bahnebene nach DIN EN ISO 12958:

|                  |                 |
|------------------|-----------------|
| bei 1 % Gefälle: | ca. 1,5 l/(s·m) |
| bei 2 % Gefälle: | ca. 2,1 l/(s·m) |
| bei 3 % Gefälle: | ca. 2,6 l/(s·m) |

Abmessungen: ca. 0,95 x 2,12 m (= ca. 2 m<sup>2</sup>)  
(auch als Rollenware mit und ohne Vlieskaschierung lieferbar)

Zubehör:

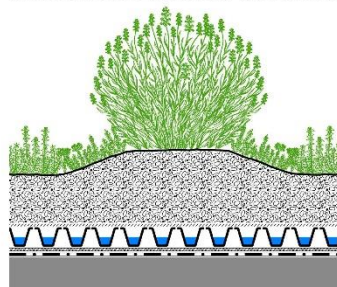
Verbinder aus Kunststoff Art.-Nr. 9620  
(zum Eindrücken in die Diffusionsöffnungen)

### Merkmale

- universelles Element für Extensiv- und Intensivbegrünungen
- hohe Drainageleistung
- auch bei Dächern ohne Gefälle einsetzbar
- wasserspeichernd, auch bei Gefälle
- trittstabil, auch unter Gehbelägen
- biologisch neutral
- einfach und schnell zu verlegen
- Plattenverbinder als Zubehör erhältlich

### Beispiel

„Einfache Intensivbegrünung Typ Lavendelheide gemäß ETA-13/0668“



Pflanzebene „Lavendelheide“

Systemerde „Lavendelheide“, ca. 120 l/m<sup>2</sup>

Systemfilter SF

Floradrain® FD 40

Speicherschutzmatte SSM 45

Dachaufbau mit wurzelfester Abdichtung



### Vorschlag für Ausschreibung

Drän- und Wasserspeicherelement aus RC-Polyolefin, Flächenmasse ca. 2,1 kg/m<sup>2</sup>, Höhe ca. 40 mm, mit Wasserspeichermulden und Öffnungen zur Belüftung und Diffusion sowie unterseitigem Mehrschichtkanalsystem, max. Druckbelastung (unverfüllt) 135 kN/m<sup>2</sup>, Wasserableit-

vermögen geprüft nach DIN EN ISO 12958, liefern und nach Herstellervorschrift verlegen.

Fabrikat: ZinCo Floradrain® FD 40  
Liefernachweis: ZinCo GmbH,  
Telefon: 07022 9060-600

ZinCo GmbH  
Lise-Meitner-Straße 2 · 72622 Nürtingen  
Telefon 07022 9060-600  
info@zinco.de · www.zinco.de

Leben auf dem Dach



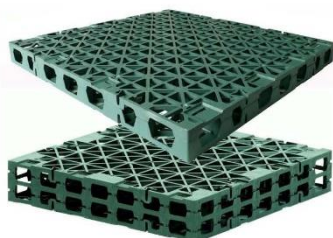
Technische Änderungen und Druckfehler vorbehalten • Herausgabe 08/1994, Stand 10/2021

Retentionselement (RSX 100)

# Produktdatenblatt

## Retentions-Spacer RSX 65 / RSX 100

Art.-Nr. 3402 / 3403



Leistungsfähige Spacer-Elemente aus Polypropylen zum Einsatz auf Dachflächen ohne Gefälle, insbesondere bei Retentions-Dächern mit erhöhter Belastung (z. B. Geh- und Fahrbeläge).



Die Spacer-Elemente lassen sich durch Verbinder miteinander fixieren.

**Merkmale**

- zur Schaffung von Retentionsraum auf Decken und Dachflächen ohne oder mit geringem Gefälle
- speziell entwickelt für den Einsatz bei erhöhter Belastung (z. B. Gehbeläge, Fahrbeläge oder hohe Substratschüttungen)
- hohes Einstauvolumen
- großzügiges Kanalsystem für Belüftung und Drainage
- biologisch und chemisch neutral
- auf Anfrage auch in größeren Höhen lieferbar

**Technische Daten**

**Retentions-Spacer RSX 65** Art.-Nr. 3402  
Hochbelastbares Spacer-Element aus Polypropylen, hergestellt im Spritzguss-Verfahren mit einem Hohlraumvolumen von mehr als 95 %.

Material: 100 % Polypropylen  
Farbe: grün  
Länge x Breite: ca. 0,60 m x 0,60 m  
Höhe: ca. 65 mm  
Flächenmasse: ca. 6,2 kg/m<sup>2</sup>  
Maximales Einstauvolumen: ca. 60 l/m<sup>2</sup>

Druckbelastung nach DIN EN ISO 25619-2: bis 50 t/m<sup>2</sup>

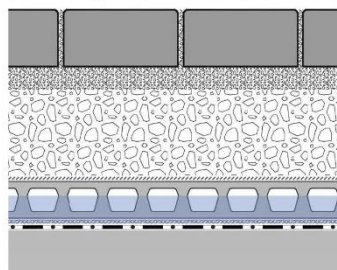
**Retentions-Spacer RSX 100** Art.-Nr. 3403  
Wie oben, jedoch  
Höhe: ca. 100 mm  
Flächenmasse: ca. 6,5 kg/m<sup>2</sup>  
Maximales Einstauvolumen: ca. 95 l/m<sup>2</sup>

Auf Anfrage auch in 80 oder 150 mm Höhe lieferbar, bei gleicher Druckbelastbarkeit und gleichem prozentualen Hohlraumvolumen.

**Zubehör:**  
**Verbinder aus Kunststoff,** Art.-Nr. 9622  
(Bedarf 4 Stk./Element  $\hat{=}$  ca. 11 Stk./m<sup>2</sup>)

**Beispiel**

„Fahrbelag mit Retentions-Spacer RSX 65“



Pflasterbelag im Splittbett

Schottertragschicht

Systemfilter PV

Retentions-Spacer RSX 65

Systemfilter PV

Dachaufbau mit Abdichtung / WU-Beton

**Vorschlag für Ausschreibung**

Spacer-Elemente, im Spritzgussverfahren hergestellt aus Polypropylen, Höhe ca. 65 mm / 100 mm, mit innen liegendem Hohlraumsystem, Hohlraumanteil > 95 %, maximales Einstauvolumen ca. 60 l/m<sup>2</sup> / 95 l/m<sup>2</sup>, Druckbelastbarkeit nach DIN EN

ISO 25619-2 bis 50 t/m<sup>2</sup>, liefern und nach Herstellervorschrift verlegen.

Fabrikat: ZinCo Retentions-Spacer RSX 65 / RSX 100  
Lieferrachweis: ZinCo GmbH,  
Telefon: 07022 9060-600

Technische Änderungen und Druckfehler vorbehalten • Erstausgabe 09/2017; Stand 09/2020

ZinCo GmbH  
Lise-Meitner-Straße 2 · 72622 Nürtingen  
Telefon 07022 9060-600  
info@zinco.de · www.zinco.de

Leben auf dem Dach



Tropfschlauch 500-L2

# Produktdatenblatt

## Tropfschlauch 500-L2

Art.-Nr. 9350 / 9410



Robuster Tropfschlauch mit integrierten, druckkompensierenden Tropfern im Abstand von 500 mm.



Klettband zum fixieren der Tropfschläuche auf dem Aquafleece AF 300

### Merkmale

- Robuster Tropfschlauch geeignet für den Einsatz in Dachbegrünungen
- Im Schlauch integrierte, druckkompensierende Tropfer mit hohem Selbstreinigungseffekt
- Gleichmäßige Wasserverteilung von Schlauchanfang bis -ende
- Hochbeständig gegenüber mechanischer Beschädigung, Wurzeleinwuchs und Verstopfung
- UV-beständig auch gegen direkte Sonneneinstrahlung

### Technische Daten

#### Tropfschlauch 500-L2

Art.-Nr. 9350

Tropfschlauch mit integrierten Tropfern für die Bewässerung von Dachbegrünungen in Verbindung mit dem Aquafleece AF 300.

|                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| <b>Material Schlauch und Tropfer:</b> | Polyethylen              |
| <b>Material Membrane:</b>             | Silikon                  |
| <b>Schlauchdurchmesser</b>            | außen: ca. 16,0 mm       |
|                                       | innen: ca. 13,7 mm       |
| <b>Tropferabstand:</b>                | ca. 500 mm               |
| <b>Tropferleistung:</b>               | ca. 1,6 l/h              |
| <b>Druckkompensation:</b>             | zwischen 0,4 und 2,5 bar |

|                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| <b>Lieferform:</b> | Rollen à 200 m       |
|                    | 36 Rollen je Palette |

#### Klettband

Art.-Nr. 9410

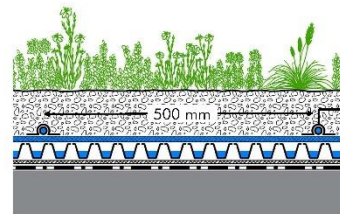
zum fixieren der Tropfschläuche 500-L2 auf dem Aquafleece AF 300.

|                |                          |
|----------------|--------------------------|
| <b>Farbe:</b>  | schwarz                  |
| <b>Breite:</b> | ca. 5,0 cm               |
| <b>Länge:</b>  | ca. 12,0 cm je Teilstück |

Das Klettband wird auf Rollen à 25 m geliefert, welche im Abstand von 12 cm perforiert sind (ergibt 208 Stück/Rolle).

### Beispiel

#### „Bewässerte Extensivbegrünung“ mit Aquafleece AF 300



Pflanzengemeinschaft „Steinrosenflur“ oder „Blütenwiese“

Systemerde „Steinrosenflur“, ab 8 cm

Tropfschlauch 500-L2, befestigt mittels Klettsystem Aquafleece AF 300

Dränelement (z.B. Floradrain® oder Florasep®) entspr. Schutzmatte

Dachaufbau mit wurzelfester Abdichtung

### Vorschlag für Ausschreibung

Tropfschlauch mit innenliegenden Tropfern für die Bewässerung von Dachbegrünungen, Außendurchmesser ca. 16 mm, Tropferabstand 500 mm, Tropferleistung ca. 1,6 l/h, druckkompensierend zwischen 0,4 und 2,5 bar, liefern und gemäß Vorgaben

auf dem Aquafleece AF 300 mittels Klettband fixieren.

Fabrikat: ZinCo Tropfschlauch 500-L2  
Lieferrachweis: ZinCo GmbH,  
Telefon: 07022 9060-600

ZinCo GmbH  
Lise-Meitner-Straße 2 · 72622 Nürtingen  
Telefon 07022 9060-600  
info@zinco.de · www.zinco.de



Leben auf dem Dach

Technische Änderungen und Druckfehler vorbehalten • Erstausgabe 01/2017

## 7.3 Quellcodes

### R-Skript zur Prozessierung der RADVOR-Daten

```

# if (!require("raster")) install.packages("raster")
# if (!require("rgdal")) install.packages("rgdal")
# if (!require("rlang")) install.packages("rlang")
# if (!require("dplyr")) install.packages("dplyr")
# if (!require("rdwd")) install.packages("rdwd")
# if (!require("ggplot2")) install.packages("ggplot2")
# if (!require("remotes")) install.packages("remotes")
# if (!require("utils")) install.packages("utils")
# if (!require("gridExtra")) install.packages("gridExtra")
# if (!require("dwdradar")) remotes::install_github("brry/dwdradar", force=TRUE)

library(rdwd)
library(raster)
library(sp)
library(rgdal)
library(rlang)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(utils)
library(gridExtra)

size.x <- 5
size.y <- 5

project_and_plot <- function(x, xl, yl, q1, q2,q3, main1=NULL, main2=NULL,
main3=NULL, ...)
{
  l <- xl[1] + xl[2] + yl[1] + yl[2]
  x <- projectRasterDWD(x, proj = stereo, extent = ext, targetproj = "ll", quiet
= TRUE)
  x <- x[[1]] # plot only the first layer, if applicable

  if(l == 0) {
    raster::plot(x, las = 1)
    raster::plot(ort.lonlat, pch = 23, cex = 1, col = "black", bg = "red",
add=TRUE)
  }else{
    raster::plot(x, las = 1, xlim = xl, ylim = yl)
    raster::plot(as(q1, 'SpatialPolygons'), lwd=1, border='red', add=TRUE)
    raster::plot(as(q2, 'SpatialPolygons'), lwd=1, border='green', add=TRUE)
    raster::plot(as(q3, 'SpatialPolygons'), lwd=1, border='blue', add=TRUE)
  }

  addBorders(de="grey80", eu=NA)

  return(invisible(x))
}

```

```

arg = commandArgs(trailingOnly = TRUE) # Ermöglicht die Übergabe von Parametern

if(identical(arg, character(0)))

path <- unlist(strsplit(arg, ";"))[1]
file <- unlist(strsplit(arg, ";"))[2]

y <- as.numeric(unlist(strsplit(arg, ";"))[3]) #Breitengrad Standort
x <- as.numeric(unlist(strsplit(arg, ";"))[4]) # Längengrad Standort

#Raster-Daten (Extent, stereographische und sphärische Projektion)
ext <- c(-523.9632, 377.0378, -4659.146, -3758.145)
stereo <- CRS("+proj=stere +lat_0=90 +lat_ts=90 +lon_0=10 +k=0.93301270189
+ x_0=0 +y_0=0 +a=6370040 +b=6370040 +to_meter=1000 +no_defs")
lonlat <- CRS("+proj=longlat +ellps=sphere +a=6370040 +b=6370040")

#Ortskoordinaten einlesen und umwandeln
ort.lonlat <- data.frame(lon=x, lat=y)
coordinates(ort.lonlat) <- c("lon", "lat")
proj4string(ort.lonlat) <- lonlat
ort.stereo <- geom(spTransform(ort.lonlat, stereo))

#Bin-Dateien einlesen und rastern
rad_000 <- readDWD(paste0(path, "bin/", file, "_000.gz"), quiet=FALSE)
rad_060 <- readDWD(paste0(path, "bin/", file, "_060.gz"), quiet=FALSE)
rad_120 <- readDWD(paste0(path, "bin/", file, "_120.gz"), quiet=FALSE)

projRaster_000 <- projectRasterDWD(rad_000$dat, proj = stereo, extent = ext,
targetproj = NULL, quiet = TRUE)
projRaster_060 <- projectRasterDWD(rad_060$dat, proj = stereo, extent = ext,
targetproj = NULL, quiet = TRUE)
projRaster_120 <- projectRasterDWD(rad_120$dat, proj = stereo, extent = ext,
targetproj = NULL, quiet = TRUE)

z.x<-ort.stereo[2]
z.y<-ort.stereo[3]

#Niederschlagsdaten am aktuellen Standort in einem size.x * size.y km² großen
Bereich mit dem Standort im Zentrum

ext_120 <- extent(z.x-(size.x*2), z.x +(size.x*2),z.y-(size.y*2),z.y+(size.y*2))
rain_120 <- extract(projRaster_120, ext_120)
write.csv2(rain_120, paste0(path, "csv/", file, "_120.csv"))

ext_060 <- extent(z.x-size.x, z.x +size.x,z.y-size.y,z.y+size.y)
rain_060 <- extract(projRaster_060, ext_060)
write.csv2(rain_060, paste0(path, "csv/", file, "_060.csv"))

ext_000 <- extent(z.x-(size.x/2), z.x +(size.x/2),z.y-(size.y/2),z.y+(size.y/2))
rain_000 <- extract(projRaster_000, ext_000)
write.csv2(rain_000, paste0(path, "csv/", file, "_000.csv"))

```