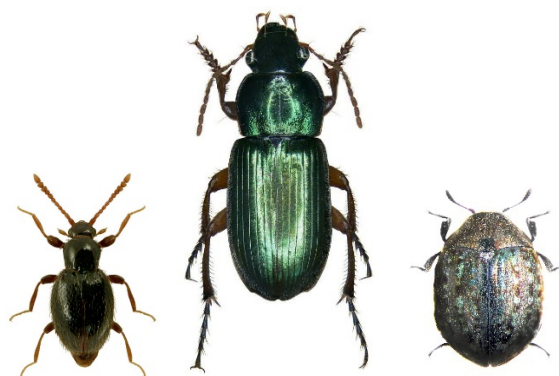
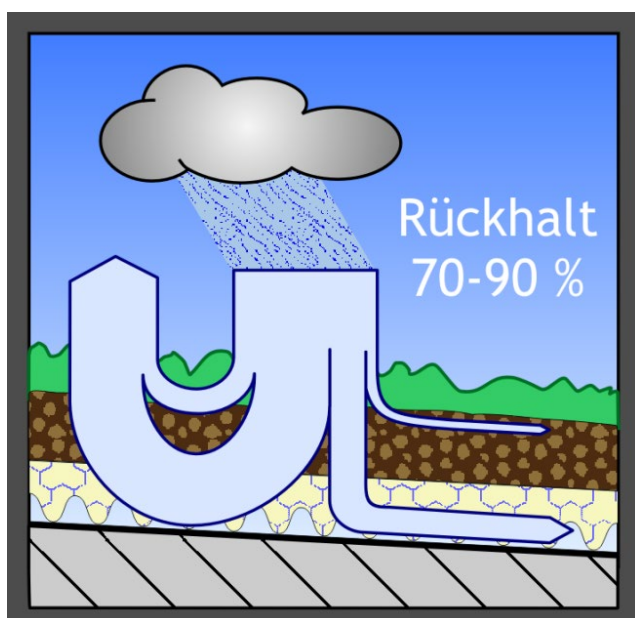


Im Auftrag des Klimafonds  
Stadtwerk Winterthur

# VERTIKAL AUFGESTÄNDERTE, BIFACIALE SOLARMODULE ZUR OPTIMALEN PV- NUTZUNG BEGRÜNTER DÄCHER – WASSERRÜCKHALTUNG UND BIODIVERSITÄT



Forschungsgruppe  
Stadtökologie

Bericht Retentionsmessungen und  
Erfassungen Biodiversität  
Versuchsanlage Eichgut Winterthur

Zürcher Hochschule  
für Angewandte Wissenschaften



Life Sciences und  
Facility Management

IUNR Institut für Umwelt und  
Natürliche Ressourcen

*Dr. Stephan Brenneisen*

*Silvan Oberhänsli*

*Dr. Alexander Szallies*

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
ZHAW

# Vertikal aufgeständerte, bifaciale Solarmodule zur optimalen PV-Nutzung begrünter Dächer – Wasserrückhaltung und Biodiversität

BERICHT RETENTIONSMESSUNGEN UND ERFASSUNGEN  
BIODIVERSITÄT VERSUCHSANLAGE EICHGUT WINTERTHUR

## Impressum

Auftraggeberin      Stadtwerk Winterthur  
Klimafonds  
Untere Schöntalstrasse 12  
8406 Winterthur

Auftragnehmerin    Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW  
Grüntal  
Postfach  
8820 Wädenswil

Projektteam         Dr. Stephan Brenneisen, ZHAW  
Silvan Oberhänsli, ZHAW  
Dr. Alexander Szallies, ZHAW

Titelbild             Retentionsgrafik (Schwarz Landschaftsbau GmbH )

Drei der erfassten Käferarten auf dem Dach Eichgut: *Stenichnus scutellaris*, *Harpalus affinis*, *Cytilus sericeus* (<https://www.zobodat.at>)

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Stadtwerks Winterthur verfasst.

Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

© Juni 2020

Brenneisen 2020

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1	Ausgangslage und Ziele des Projektes	3
<b>2</b>	<b>Methoden und Vorgehen</b>	<b>5</b>
2.1	Versuchsaufbau	5
2.2	Vorgehen	6
2.3	Ökofaunistische Untersuchungen	9
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>10</b>
3.1	Retentionsvermögen	10
3.2	Niederschlagssumme im Vergleich zum Durchschnitt	12
3.3	Ausgewählte Niederschlagsereignisse	13
3.4	Biodiversität	17
3.5	Auswertung zusätzlicher Standorte	20
<b>4</b>	<b>Fazit</b>	<b>26</b>
4.1	Fazit Biodiversität	26
	<b>Literatur</b>	<b>27</b>

# Vertikal aufgeständerte, bifaciale Solarmodule zur optimalen PV-Nutzung begrünter Dächer – Wasserrückhaltung und Biodiversität

## BERICHT RETENTIONSMESSUNGEN UND ERFASSUNGEN BIODIVERSITÄT VERSUCHSANLAGE EICHGUT WINTERTHUR

### 1. Einleitung

In den letzten Jahren hat sich ein Zielkonflikt ergeben bei der Nutzung von Gebäudedächern. Nach der Katastrophe von Fukushima und der in der Folge ausgearbeiteten Energiestrategie des Bundes 2050 werden vermehrt Dachflächen zur Installation von Photovoltaikanlagen verwendet. In der Praxis müssen leider so begrünte Dachflächen oft weichen, wenn nachträglich Solarenergienutzung eingerichtet wird auf einem Dach. Es gilt nun Einrichtungs-Technologien zu entwickeln und aufzuzeigen, dass die Kombinationslösung Dachbegrünung und Solarenergienutzung funktioniert und einen Gewinn darstellt für die Klimaanpassung von Städten durch Niederschlagsretention, die Biodiversität sowie die Energieerzeugung.

In Zusammenhang mit der Niederschlagsretention von Dachbegrünungen stehen auch die damit verbundenen positiven stadtklimatischen Wirkungen, welche bereits von Beins (1991) sowie Höschele & Schmidt (1974) untersucht wurden. Daneben existieren aus dem Bereich des Gartenbaus zahlreiche Untersuchungen zu vegetationstechnischen und landschaftspflegerischen Fragestellungen zur Begrünung von Flachdächern (Liesecke 1998, Köhler 1989, Krupka 1992, Roth-Kleyer 1999).

Die Begrünung von Gebäuden gilt als eine der zentralen Massnahmen um als Ausgleichshabitat im Siedlungsgebiet die Biodiversität zu fördern sowie zur Regulierung des Stadtklimas durch die Verdunstung des gespeicherten Regenwassers. Beide Aspekte sind wesentliche Elemente im Bestreben den ökologischen Ausgleich ausgehend der Forderungen des eidgenössischen Natur- und Heimatschutzes umzusetzen (NHG). Begrünte Dachflächen stellen so seit einigen Jahren bedeutende Massnahmen dar zur Reduktion der Beeinträchtigungen des natürlichen Wasserkreislaufes aufgrund Verbauung und Bodenversiegelung in urbanen Ökosystemen. In vielen Gemeinden und Städten der Schweiz sind Dachbegrünungen heute wesentliche, in Bauordnungen und Zonenreglementen festgelegte Vorgaben.

#### **Dachbegrünungen als Klimaanpassungsmassnahme**

In vielen Studien wurde bereits gezeigt, dass Gebäudebegrünungen eine kühlende Wirkung auf die Umgebungsluft haben und gleichzeitig Energiekosten in Gebäuden reduzieren können, in dem sie als zusätzliche Isolationsschicht das Raumklima stabil halten. Was es jedoch zu beachten gilt, ist dass die durch den Klimawandel immer häufiger auftretenden trockenen Sommer dazu führen, dass die Begrünungen mit der Substratschicht öfters austrocknen und dadurch ihre kühlende Wirkung verlieren. Ausserdem können durch längere Trockenperioden vor allem bei Dächern mit einer dünnen Substratschicht die Vegetation und das damit verbundene Ökosystem geschädigt werden. (Solcerova et al., 2017)

Für die Anwendung in der Praxis sollen die bisherigen Forschungsergebnisse sowie gezielt erarbeiteten Zusatzkenntnisse aufbereitet und vertiefend untersucht werden. Lücken zu den Kenntnissen zur Retentionsoptimierung und dadurch Klimaregulierung von Dachbegrünungen im Kontext der städtischen Wärmeinsel

sowie der Förderung der Biodiversität im Siedlungsraum im Bereich Gebäudebegrünungen und Solar-energienutzungen sollen geschlossen werden.

In den letzten Jahren hat sich gezeigt, dass es sinnvoll ist ungenutzte Flachdächer von Gewerbe- und Verwaltungsgebäuden verstärkt zu nutzen. Dies ermöglicht umfangreichen Zusatznutzen auf bereits bebautem Grund. Aber auch bei Neubauten sollten bereits bei der Planung standortoptimierte Möglichkeiten geprüft werden. Viele Städte in der Schweiz haben verpflichtend in Bauordnungen festgelegt, dass Dächer begrünt werden müssen. Bei der Installation von PV-Anlagen gilt es verschiedene Grundsätze des Zusammenwirkens von PV-Modulen auf die Dachbegrünung und umgekehrt zu berücksichtigen (Norm SIA 312 «Begrünung von Dächern»). Auf diese Weise können die positiven ökologischen Wirkungen von Dachbegrünungen wie für das Stadtklima, die Entlastung der Siedlungsentwässerung sowie die Förderung der Biodiversität verknüpft werden mit einer möglichst optimalen Erzeugung von Solarstrom.

Das Arbeitsgebiet der Forschungsgruppe Stadtökologie umfasst die Bereiche der Biodiversitätsförderung im Siedlungsraum mit naturschutzbiologischen Planungsaspekten urbaner Lebensräume sowie bau- und bio-ökologische Aspekte im Kontext der Gebäudebegrünung. Ergänzend werden insbesondere auch Massnahmen zur Klimaanpassung von Städten entwickelt. Im Kontext der Klimaanpassungen liegt einer der Schwerpunkte beim Regenwassermanagement. Die Aufgaben der Forschungsgruppe Stadtökologie beinhalten dazu Expertenberatungen bei Bund, Städten und Gemeinden sowie die Bearbeitung von Forschungsprojekten mit der Integration deren Ergebnisse in Lehrgefässe und Lerninhalte innerhalb des Bildungsauftrags der ZHAW.

In diesem Kontext verfolgte die von der Forschungsgruppe Stadtökologie betriebene Einrichtung auf dem Dach des Seniorenzentrums Eichgut in Winterthur das Ziel, aussagen über das Retentionspotential ausgewählter Substrattypen sowie -dicken zu erhalten.

### **1.1. Ausgangslage und Ziele des Projektes**

Neben der von der Forschungsgruppe Stadtökologie betriebenen Einrichtung zur Messung der Retention wird in Zusammenarbeit mit der School of Engineering der ZHAW ein neuartiges Projekt zur Stromerzeugung auf Dächern getestet. Dabei werden bifaziale Solarmodule mit einer Dachbegrünung kombiniert. Das spezielle an diesem Pilotprojekt ist die vertikale Anordnung der Solarmodule, die die verfügbare Fläche durch ihre andere Anordnung gegenüber konventionellen Systemen effizienter nutzen soll.

Die vertikale Anordnung der bifacialen PV-Module erfordert eine etwas höhere Balastierung der Moduleinheiten aufgrund der stärkeren Windlasten. Der erhöhte Balast wird durch eine dickere Vegetationstragschicht von 15 cm erzeugt, welche im Gegensatz zur Regelausführung von 10 cm Substratschichtdicken eine erhöhte Wasserrückhaltung ergibt. Mit einer erhöhten Wasserrückhaltung (Retention) wird der Klimaeffekt der Dachbegrünung zu Gunsten des thermisch belastete Stadtklima (städtische Wärmeinsel) verstärkt sowie die Siedlungsentwässerung entlastet. Die höheren Schichtdicken ergeben auch bezüglich des Lebensraumes für die Stadtnatur (Biodiversitätsförderung) bessere Bedingungen dank der Reduktion der Austrocknungsgefahren.

Ausserdem soll eine ökologisch wertvolle Dachbegrünung etabliert werden, die sich nicht negativ auf die Stromproduktion auswirkt. Im Gegenteil: durch die Bepflanzung durch Pflanzen mit hoher Albedo, also einem hohen Rückstrahlvermögen, soll die Stromproduktion dank der Dachbegrünung gar erhöht werden. Auch die Verwendung heller Substrate für die Dachbegrünung soll ihren Teil zu einer hohen Rückstrahlung und damit zu einem Energiemehrertrag beitragen.

Anlagen auf Flachdächern schliessen dabei eine gleichzeitige Begrünung nicht aus – im Gegenteil, die beiden Massnahmen ergänzen sich und bringen Vorteile für die Energiegewinnung sowie für die ökologische Vielfalt. Im schattigen und dadurch auch länger feucht bleibenden Bereich unter den Solaranlagen, können sich andere Pflanzen- und Tierarten ansiedeln als auf den voll besonnten Flächen. Aktuell laufen erste öko-faunistische Untersuchungen ob in den schattigen Bereichen auch für den Naturschutz relevante Arten gefördert werden können, wie bereits schon für Dachbegrünungen nachgewiesen wurde ohne Solaranlagen.

### **Messungen zur Retention und Biodiversität**

Die neben dem Fotovoltaikprojekt von der Forschungsgruppe Stadtökologie der ZHAW IUNR unterhaltene Messeinrichtung besteht aus fünf Testflächen, bei welchen das Wasserrückhaltepotential (Retention) von unterschiedlich hohen Dachbegrünungssubstraten (Vegetationstragschichten) gemessen wird. Die gesammelten Daten sollen Aufschluss über das Retentionsverhalten vom Niederschlagswasser durch die verwendeten Substrate und Substratdicken geben.

## **Wasserrückhaltung / Retention**

Gerade in Städten mit hoher Bodenversiegelung, bzw. wenigen begrünten Dächern kommt es während akuten Niederschlagsereignissen zu Abflussspitzen, welche die Kanalisation überfordern und Überschwemmungen verursachen können (VanWoert et. al., 2005). Um Schäden durch solche extremen Wetterereignisse zu reduzieren oder gar zu vermeiden, ist eine Verringerung der Abflussspitzen, bzw. eine Verzögerung und Verteilung des Abflusses über längere Zeit nötig.

Gründächer wirken puffernd auf den Oberflächenabfluss, da das Substrat selbst eine gewisse Speicherkapazität besitzt. Bei Starkniederschlägen kann das Substrat den Oberflächenabfluss bis zu 4h verzögern und die Kanalisation somit erheblich entlasten (Getter et. al., 2006). Als massgeblich für das Retentionspotenzial des Substrates gilt die Substratdicke. Interessant ist dabei spezifisch bezogen auf die Einrichtung mit den bifazialen Solarmodulen, dass für deren Stabilität eine hohe Gewichtauflage benötigt wird, was durch eine entsprechend hohe Substratschicht erreicht werden kann.

## **Biodiversität**

Eine hohe Substratschicht ist auch biologisch gesehen wertvoll – so entstehen für Pflanzen, sowie Tiere weniger austrocknungsanfällige Lebensräume. Daher wurden auf dem Dach durch die Forschungsgruppe Stadtökologie auch Insektenfallen betreut, um Werte zur Biodiversität zu erheben.

Mit der fortschreitenden Begrünung von Dächern bieten sich mehr und mehr naturnahe Flächen an, die von einer Vielzahl an Organismen erreicht werden können. Zahlreiche Forschungsarbeiten im Bereich Flora und Fauna haben in den letzten Jahren Hinweise geben können, welche Tier- und Pflanzenarten nicht nur auf Dachflächen gelangen, sondern sich dort auch erfolgreich ansiedeln, vermehren und dauerhafte Populationen bilden können. Die Förderung der Biodiversität in Siedlungsräumen kann so durch Dachbegrünungen gezielt umgesetzt und die Bedeutung für den ökologischen Ausgleich und Ersatz im Sinne der Eingriffsregelung in den Naturhaushalt klarer beleuchtet werden. Es konnte z.B. nachgewiesen werden, wie Vögel Dächer systematisch zur Nahrungssuche nutzen oder sogar für bodenbrütende Arten wie den Kiebitz zum Ersatzniststandort geworden sind. Weiter zeigten ökofaunistische Bioindikations-Untersuchungen zu Käfern, Heuschrecken, Wildbienen, Spinnen und anderen Tiergruppen, wie auch seltene und als gefährdet eingestufte Rote Liste Arten vorkommen können. Das Bild verdichtet sich, welche Funktionen begrünte Dachflächen einnehmen können aus biologischer Sicht, d.h. für welche Tiergruppen Eignungen bestehen und welche Bedeutung Dachbegrünungen im Metapopulationsgefüge von Arten einnehmen können. Dachbegrünungen sind – richtig geplant - nicht nur als Trittsteine zu betrachten, sondern auch als mögliche Dauerstandorte, welche bei kleineren Tieren grössere Populationen aufweisen und somit auch als «Quell»-Habitat im Sinne des Metapopulationsprinzips für die Weiterausbreitung von Arten betrachtet werden können und nicht nur als permanente Senke oder gar «biologische Falle»

## 2. Methoden und Vorgehen

### 2.1. Versuchsaufbau

Der Standort der Testanlage befindet sich auf dem Dach des Seniorenzentrums Wiesengrund an der Wülflingerstrasse 7 in Winterthur.



ABBILDUNG 1. STANDORT DER RETENTIONSTESTANLAGE (LINKS) NEBEN DEN BIFAZIALEN SOLARMODULEN (RECHTS).

Die fünf Versuchsflächen besitzen eine Fläche von je 1 m<sup>2</sup>. Es handelt sich um Tröge, die mit unterschiedlichen Substratdicken befüllt wurden. Sie wurden auf dem Dach nach dem folgenden Schema angeordnet:

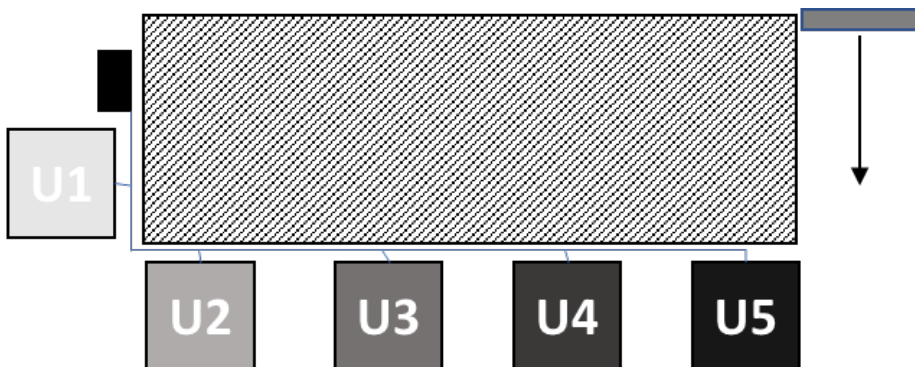


ABBILDUNG 2. SCHEMATISCHE DARSTELLUNG VOM VERSUCHSAUFBAU MIT DEN TRÖGEN U1 BIS U5.

Folgende Substrate werden dabei getestet:

- **U1:** Kies (Referenzwert)
- **U2:** Spezialeinrichtung-PV-Senkrechtständerung: 140 mm Substratdicke
- **U3:** Spezialeinrichtung-PV-Senkrechtständerung: 140 mm Substratdicke
- **U4:** Normaldach-Aufbau: 100 mm Substratdicke
- **U5:** Minimaldach-Aufbau: 80 mm Substratdicke





Die Tröge U2 bis U5 wurde mit einem Gemisch aus Ziegelbruchsubstrat, Kies und Humus befüllt. Trog U1 wurde mit reinem Kies befüllt.

Die Messung der Abflusswerte erfolgte mittels Niederschlagsmessern, die unter den Trögen angebracht wurden (Abbildung 3). Die Daten wurden vor Ort im Minutentakt von einem Datenlogger erfasst und gespeichert. Die Daten wurden regelmässig abgerufen und ausgewertet.



ABBILDUNG 3. EINER DER NIEDERSCHLAGSMESSER, DER DIE ABFLUSSMENGE DER TRÖGE MISST.

## 2.2 Vorgehen Retentionsmessungen

Die Datenerfassung wurde über einen Zeitraum von 2 Jahren durchgeführt. In den Wintermonaten wurden keine Daten erfasst, da der Niederschlag teilweise in Form von Schnee fiel. Die erfassten Daten betreffen die Monate März bis November 2018, sowie Mai bis November 2019. Die erfassten Abflussmengen wurden in Excel und R Studio für den Zeitraum von jeweils einem Monat ausgewertet, ausserdem wurde für einzelne Niederschlagsereignisse (wenige Stunden bis Tage) der Verlauf im Minutentakt erfasst und ausgewertet. So wurden unterschiedliche Verhaltensmuster der Substrataufbauten bei schwachen und starken Niederschlagsereignissen sichtbar gemacht.

### 2.3 Ökofaunistische Untersuchungen

Es werden mit in den Substraten eingegrabenen Becherfallen (10 Becherfallen pro Standort) die Aktivitätsdichten von auf der Bodenoberfläche aktiven Organismen auf den Untersuchungsstandorten erfasst. Bei einzelnen Standorten müssen gesonderte Schutzmassnahmen getroffen werden wegen Rabenkrähen, die oft die Fallen aus dem Boden entfernen (Abbildung 4).



ABBILDUNG 4, 5: (LINKS) BARBERFALLE AUF DEM MESSE GEBÄUDE MIT VOGELSCHUTZ. (RECHTS) BARBERFALLE AUF DEM MESSE GEBÄUDE OHNE VOGELSCHUTZ. FOTOS: DAVID HAUSWIRTH MAI 2017

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Retentionsvermögen

Das Retentionsvermögen wurde für die erwähnten Monate (siehe Kapitel 2.2 Vorgehen) mit der Monatsniederschlagssumme von Winterthur als Referenzwert berechnet (AWEL, 2018 und 2019). Der Retentionswert wurde dafür mittels dem von den Regenmessern erfassten Abfluss der fünf Tröge und der Monatsniederschlagssumme von Winterthur als Referenzwert errechnet. Folgende Grafik (Abbildung 6) zeigt die Auswertung für das Jahr 2018.

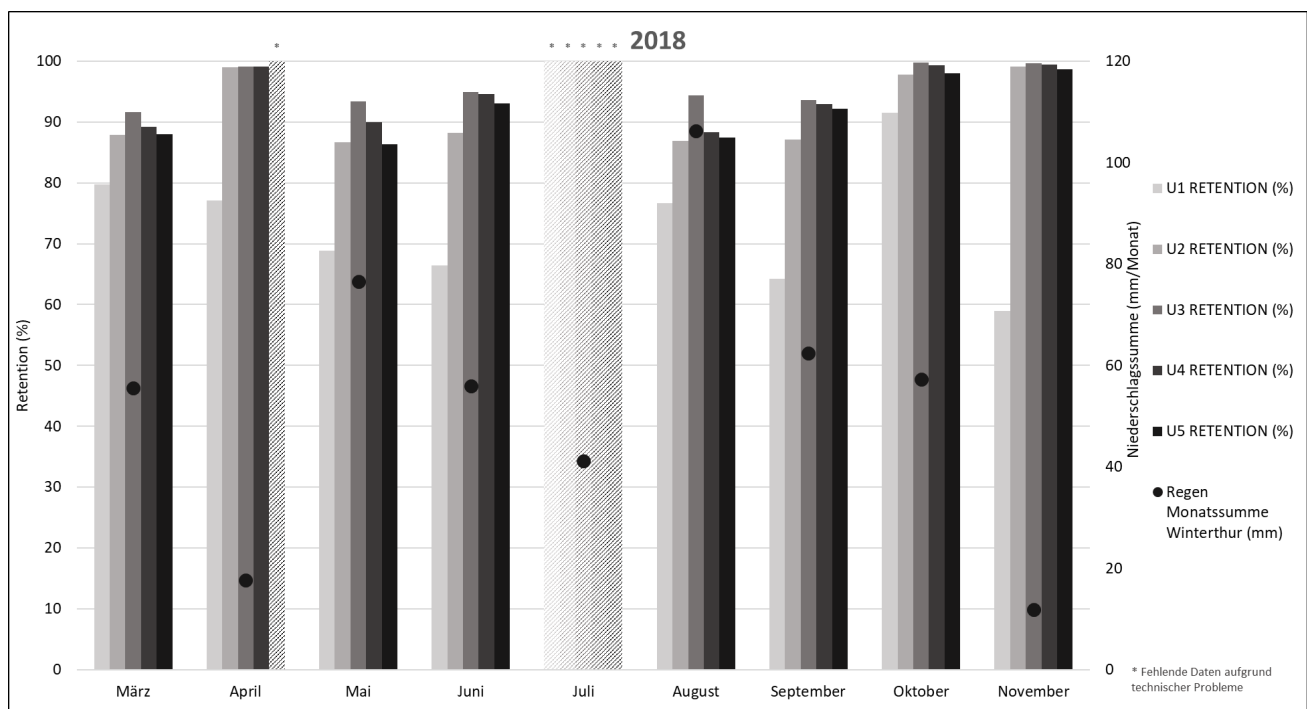


ABBILDUNG 6. RESULTATE DER MONATLICHEN RETENTION (%) BEZOGEN AUF DIE MONATLICHE NIEDERSCHLAGSSUMME (MM) VON MÄRZ BIS NOVEMBER 2018 IN WINTERTHUR.

Im April und Juli konnten aufgrund technischer Probleme nicht alle Daten erfasst werden. Während allen Monaten wurde ein hoher Retentionswert gemessen. Im November wurde eine Retention von annähernd 100 % erreicht. Die Regenmengen in den betrachteten Monaten lagen 2018 unter dem langjährigen Durchschnitt.

Generell wurden praktisch durchgehend für alle Monate hohe Retentionswerte vorgefunden. U3 weist dabei die besten Resultate auf, was vor Beginn des Versuchs schon so erwartet wurde. Je dicker das Substrat, desto höher wird die Retentionskapazität erwartet (Fioretti et. al., 2010). Zweitbeste Werte wurden für die Versuchsfläche U4 (Substratdicke 100 mm), gefolgt von U5 (Substratdicke 80 mm) erreicht.

Einzig die Resultate für U2 folgen nicht den Erwartungen: Die Versuchsfläche U2 (Substratdicke 140 mm) weist gar schlechtere Retentionswerte auf als U5 (Substratdicke 80 mm). Dies könnte sich durch eine unregelmässige Schichtung erklären lassen. Oder das Wasser findet auf der relativ kleinen

Versuchsfläche einen schnellen Abfluss entlang des Trog-Randes, ohne erst die Substratschicht zu durchsickern. Den Erwartungen entsprechend wurde für die Referenzfläche U1 mit dem reinen Kiessubstrat die tiefste Retention gemessen.

Während den Monaten der Datenerfassung 2019 wurden bei U2 bis U4 tiefere Retentionswerte erfasst als im Jahr 2018 (Abbildung 7). Nur die Kiesdach-Fläche U1 zeigt ähnliche Werte wie schon im vorhergehenden Jahr. Die Niederschlagsmenge war höher als in den entsprechenden Monaten des Jahres 2018.

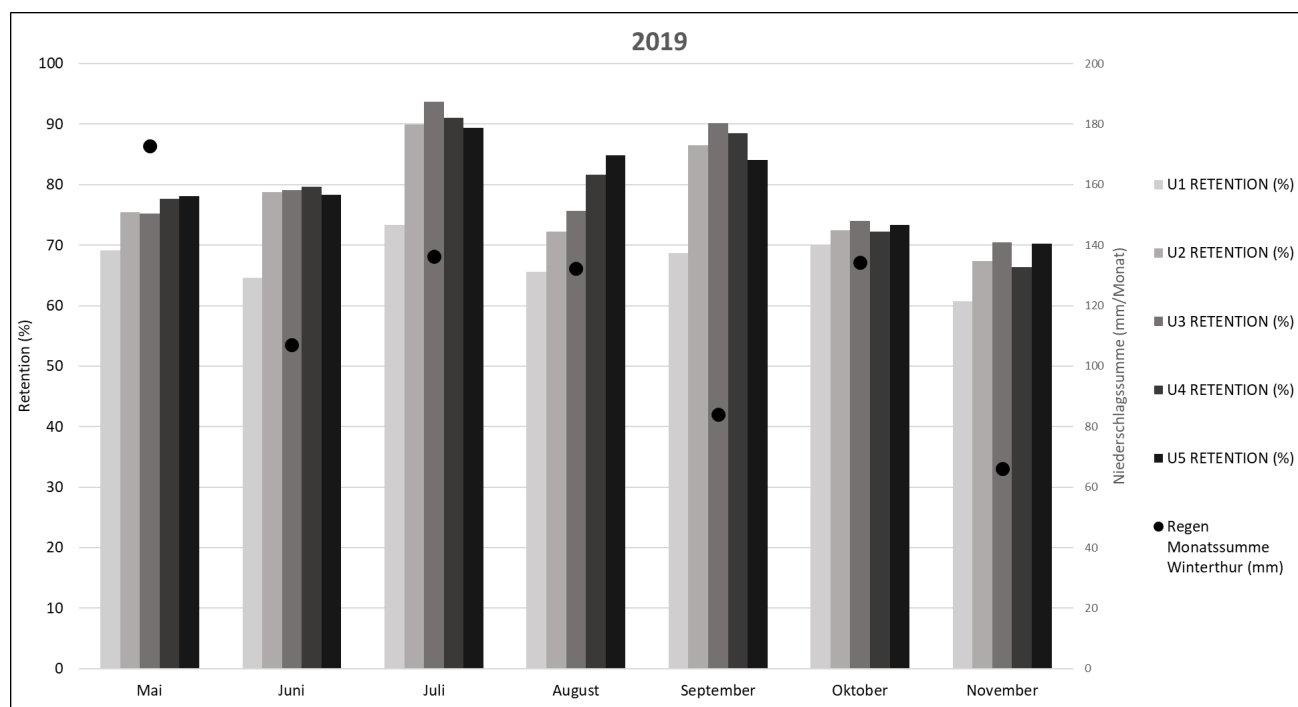


ABBILDUNG 7. RESULTATE DER MONATLICHEN RETENTION (%) BEZOGEN AUF DIE MONATLICHE NIEDERSCHLAGSSUMME (MM) VON MAI BIS NOVEMBER 2019 IN WINTERTHUR.

Bei den monatlich gemessenen Retentionswerten zeigte sich kein eindeutiger Trend zwischen U2 bis U5, entgegen der Annahme, dass die Flächen mit der höheren Substratschicht mehr Wasser zurückhalten würden. Im Monat August wurde gar das Gegenteil gemessen: so lag der gemessene Retentionswert bei U4 (100 mm Substratdicke) und U5 (80 mm Substratdicke) über dem Wert für U2 und U3 (beide 140 mm Substratdicke). Die Kiesdachfläche U1 zeigte in jedem Monat den geringsten Retentionswert.

Eindeutigere Werte finden sich, wenn die Retention im Zeitraum von einzelnen Schwach- und Starkniederschlägen betrachtet wird (Kapitel 3.3).

### 3.2 Niederschlagssumme im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt

Alle Niederschlagsdaten wurden von der Messtation ZH 591 des AWEL in Winterthur bezogen. Der Standort der Messanlage befindet sich 1.2 km südwestlich des Versuchsstandortes.

In den Resultaten zur Retention von 2018 (Abbildung 4) fallen die hohen Werte (zwischen 80 % und 90 % Retention) auf. In vielen Quellen werden Erwartungswerte zwischen lediglich 60 % und 80 % angegeben (Fioretti et. al., 2010; Brenneisen, 2009). Die bei den Testflächen erhobenen hohen Werte wurden für die untersuchte Zeitperiode März bis November 2018 auf die aussergewöhnlich trockenen Bedingungen zurückgeführt. Die Niederschlagssumme aller berücksichtigten Monate lagen teilweise weit unter dem langjährigen Durchschnitt, ersichtlich in Abbildung 8 (climate-data.org, 2018; AWEL, 2018). Die Substrate waren somit oft vor den Niederschlagsereignissen trocken und besaßen somit die maximale Saug- und Retentionskapazität. Auch wiesen viele Niederschlagsereignisse eine kurze Dauer oder geringe Intensität auf, sodass die Sättigung des Substrates nicht immer erreicht wurde.

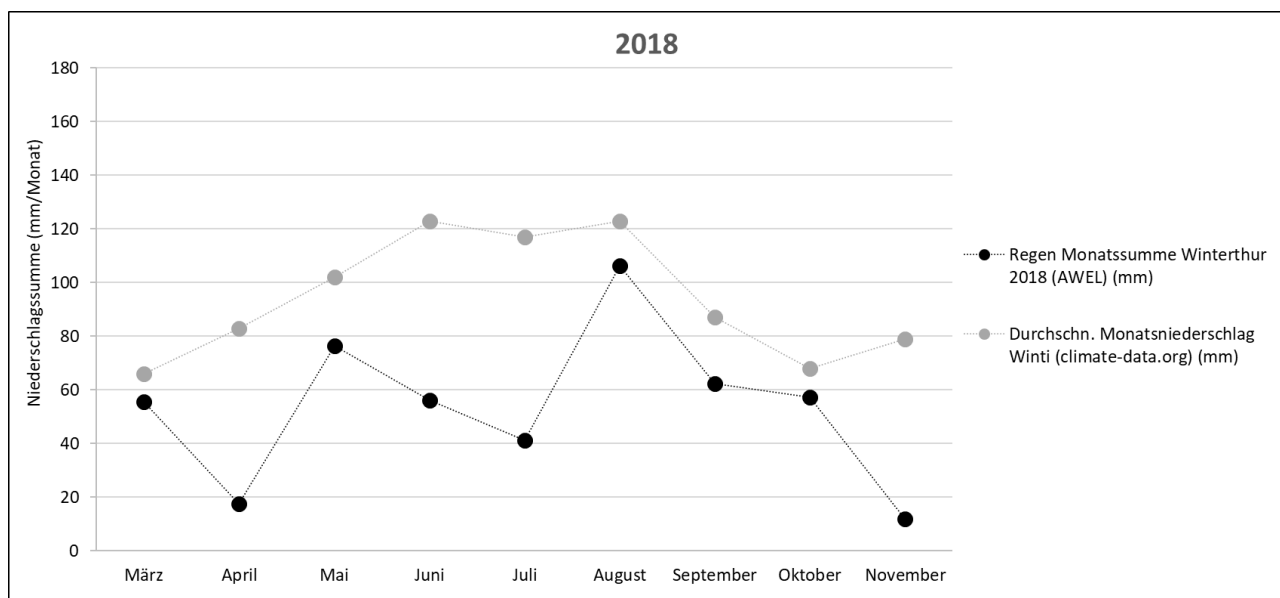


ABBILDUNG 8. NIEDERSCHLAGSSUMME DER MONATE MÄRZ BIS NOVEMBER 2018 IN WINTERTHUR VERGLEICHEN MIT DER LANGJÄHRIGEN MONATLICHEN DURCHSCHNITTSNIEDERSCHLAGSSUMME.

Diese Erklärung wird von den Messresultaten von 2019 unterstützt. So liegen die gemessenen Retentionswerte in allen Monaten des Jahres 2019 bedeutend tiefer im Vergleich mit den Vorjahresmonaten (die Retentionswerte lagen 2019 grösstenteils zwischen 60 % und 80 %) und decken sich somit mit den Erfahrungswerten der Literatur (Fioretti et. al., 2010; Brenneisen, 2009). Die Niederschlagssumme in den gemessenen Monaten liegt 2019 nahe am langjährigen Mittel (Abbildung 9).

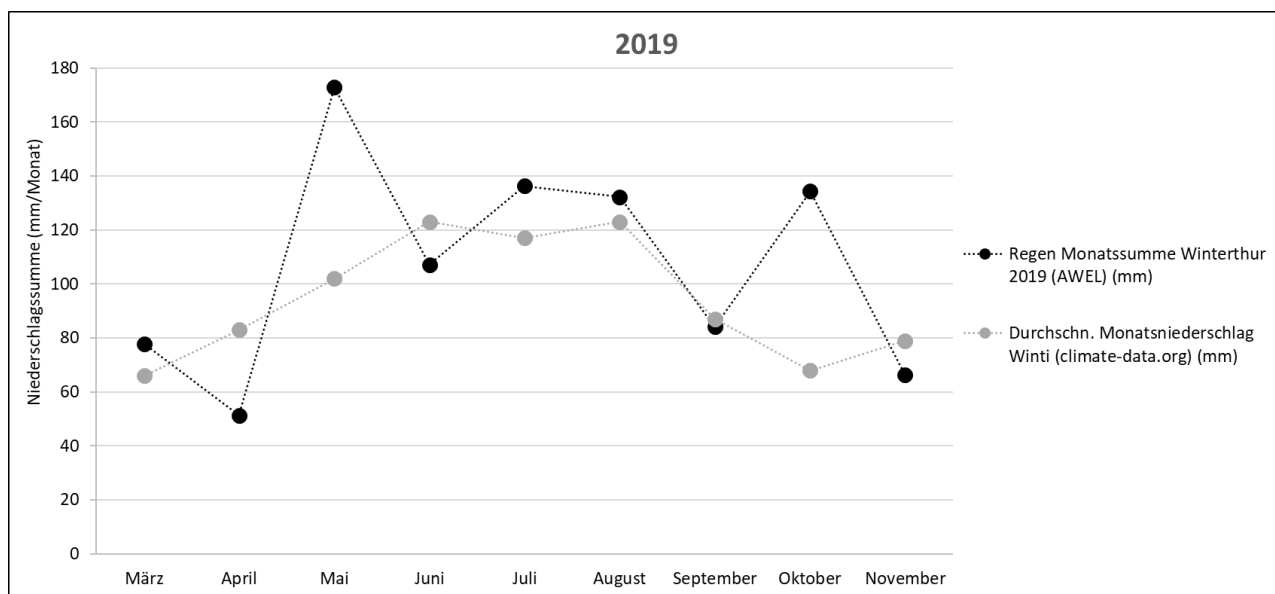


ABBILDUNG 9. NIEDERSCHLAGSSUMME DER MONATE MÄRZ BIS NOVEMBER 2019 IN WINTERTHUR VERGlichen MIT DER LANGJÄHRIGEN MONATLICHEN DURCHSCHNITTSNIEDERSCHLAGSSUMME.

### 3.3 Ausgewählte Niederschlagsereignisse

Exemplarisch werden im Folgenden vier Niederschlagsereignisse genauer betrachtet. Zur Auswertung wurden abgetrennte Niederschlagsereignisse ausgewählt, vor dem Niederschlag standen jeweils einige niederschlagsfreie Tage, nach dem Niederschlagsereignis folgte eine trockene Phase (vgl. Anhang 1 und Anhang 2). Ausserdem unterschieden sich die auserwählten Niederschlagsereignisse in deren Intensität: so wurden die beiden Niederschlagsereignisse vom 16.04.2018 (5.6 l, Abbildung 10) und vom 17.11.2019 (2.7 l, Abbildung 9) als jeweils schwaches Niederschlagsereignis erfasst, während die Niederschlagsereignisse vom 08.06.2018 (28.2 l, Abbildung 10) und vom 15.06.2019 (30.0 l, Abbildung 11) als Starkniederschlagsereignisse bewertet wurden. Die erfassten Daten sind nachfolgend graphisch dargestellt, jeder Messwert entspricht einer Minute.

Nach einer aussergewöhnlich trockenen ersten Aprilhälfte fiel am 16.04.2018 5.6 l Niederschlag am Messstandort in Winterthur (AWEL, 2018). Die Auswertung zeigt, dass nur beim Kiesdachstandort U1 überhaupt ein Abfluss gemessen wurde. Die Wassersättigung der Standorte U2 bis U5 wurde demnach nicht erreicht, der gesamte Niederschlag wurde vom Substrat an den Standorten vollständig zurückgehalten (Abbildung 10).

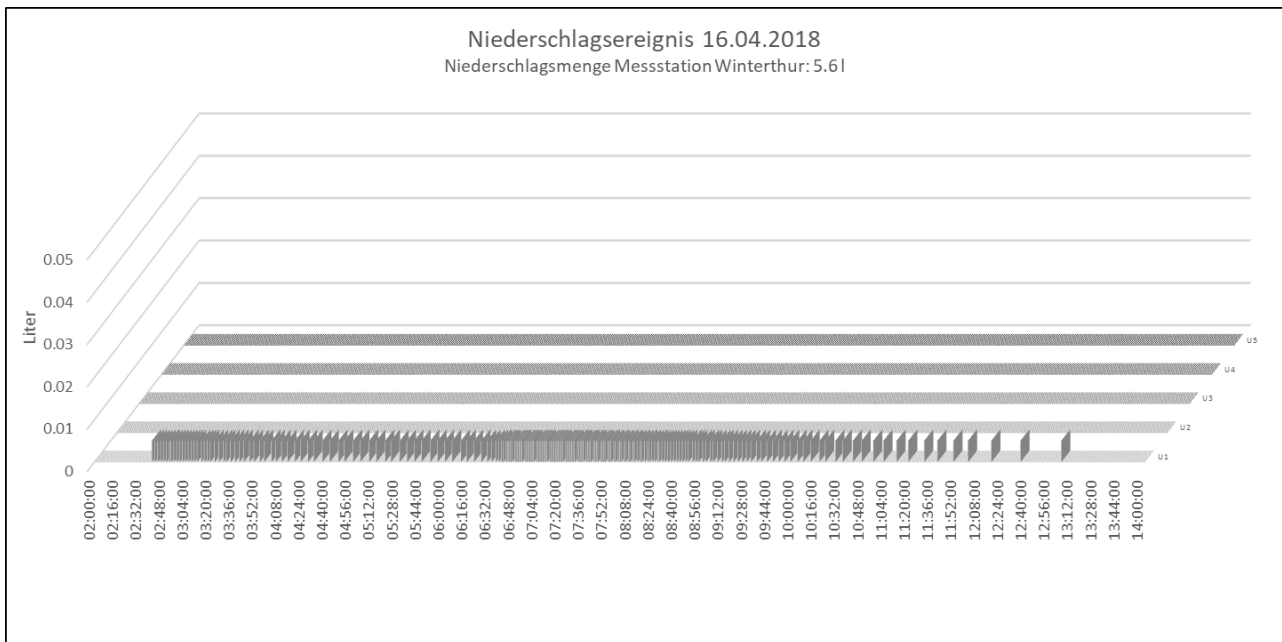


ABBILDUNG 10. ABLAUF EINES SCHWACHEN NIEDERSCHLAGSEREIGNISSES VOM 16.04.2018 IM MINUTENTAKT FÜR DIE VERSUCHSFLÄCHEN U1-U5.

Das schwache Niederschlagsereignis vom 17.11.2019 zeigt ein anderes Bild: am Standort U1 wurde ab 9:43 Uhr Wasserabfluss gemessen. Die Standorte U5 und U4 erreichten die Sättigung ab 11:03 Uhr, respektive 11:35 Uhr, während an den Standorten U2 und U3 erst ab 14:04 Uhr und 14:20 Uhr Abfluss aus den Trögen gemessen wurde. Die beiden Standorte mit der mächtigsten Substratschicht verzögerten den Abfluss somit um mindestens 2:30 h. Dies bei einer geringen Niederschlagsmenge von 2.7 l (Abbildung 11).

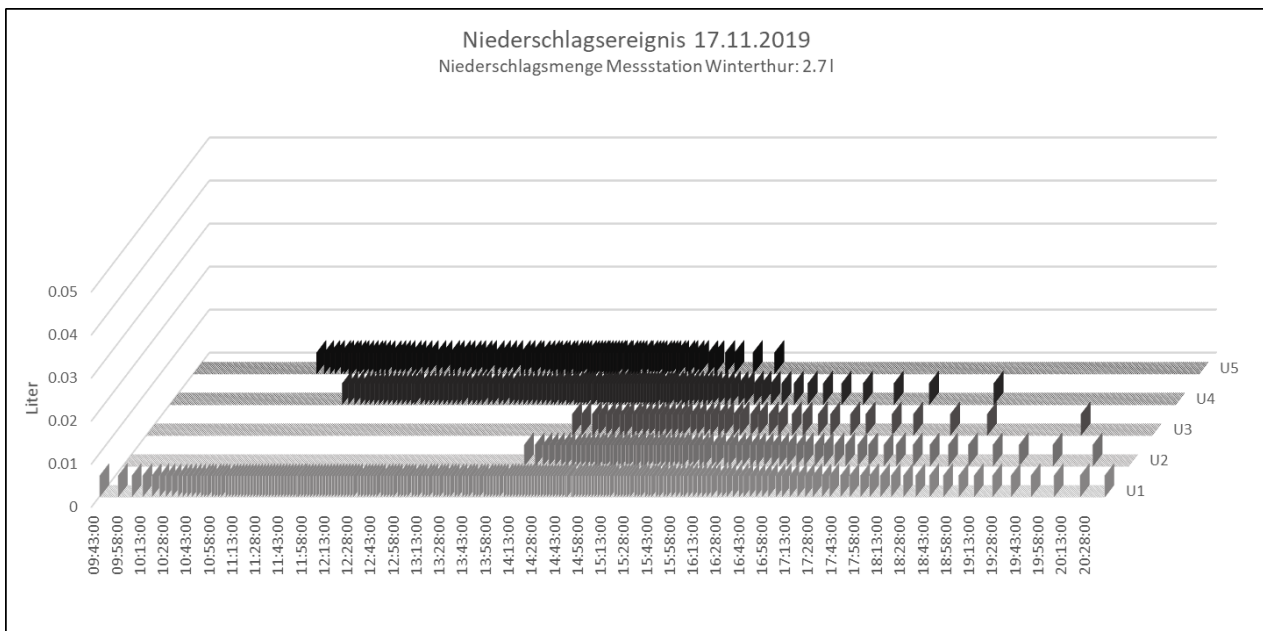


ABBILDUNG 11. ABLAUF EINES SCHWACHEN NIEDERSCHLAGSEREIGNISSES VOM 17.11.2019 IM MINUTENTAKT FÜR DIE VERSUCHSFLÄCHEN U1-U5.

Bei Starkniederschlagsereignissen verhalten sich die Flächen ähnlich, jedoch verringert sich die Verzögerungsdauer des Wasserabflusses. Am 08.06.2018 wurde bei U1 ab 16:28 Uhr der Beginn des Wasserabflusses gemessen. U2 bis U4 verzögerten den Abfluss um eine knappe Stunde (U2 erster Abfluss um 17:22 Uhr, gefolgt von den anderen Flächen wenige Minuten später, Abbildung 12).

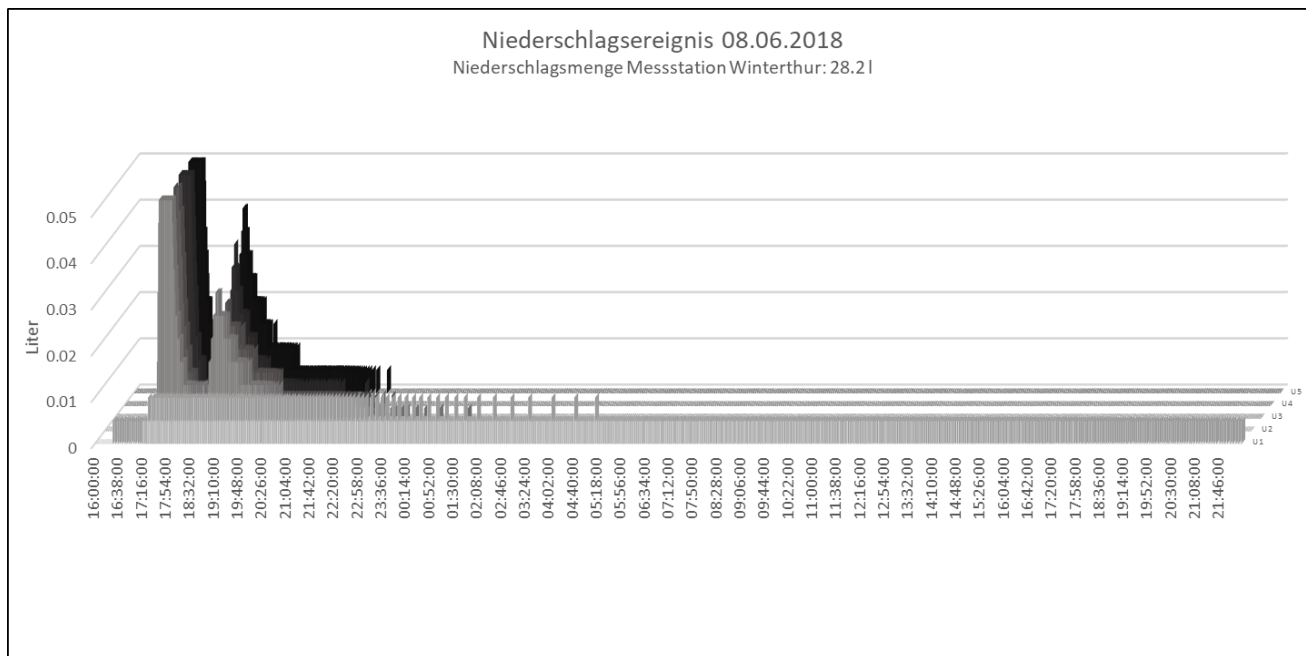


ABBILDUNG 4. ABLAUF EINES STARKEN NIEDERSCHLAGSEREIGNISSES VOM 08.06.2018 IM MINUTENTAKT FÜR DIE VERSUCHSFLÄCHEN U1-U5.

Ein anderes Bild zeigt sich beim Starkniederschlag vom 15.06.2019 (Abbildung 13). Die Verzögerung des Abflusses gegenüber U1 beläuft sich auf lediglich vier (U5) bis sieben (U3) Minuten. Dies weist auf eine bereits vor dem Eintreffen des Niederschlagsereignisses hohe Wassersättigung des Substrats hin. Tatsächlich gab es wenige Tage vorher schon grössere Niederschläge, wodurch das Substrat vermutlich bereits grössere Wassermengen gespeichert hatte.



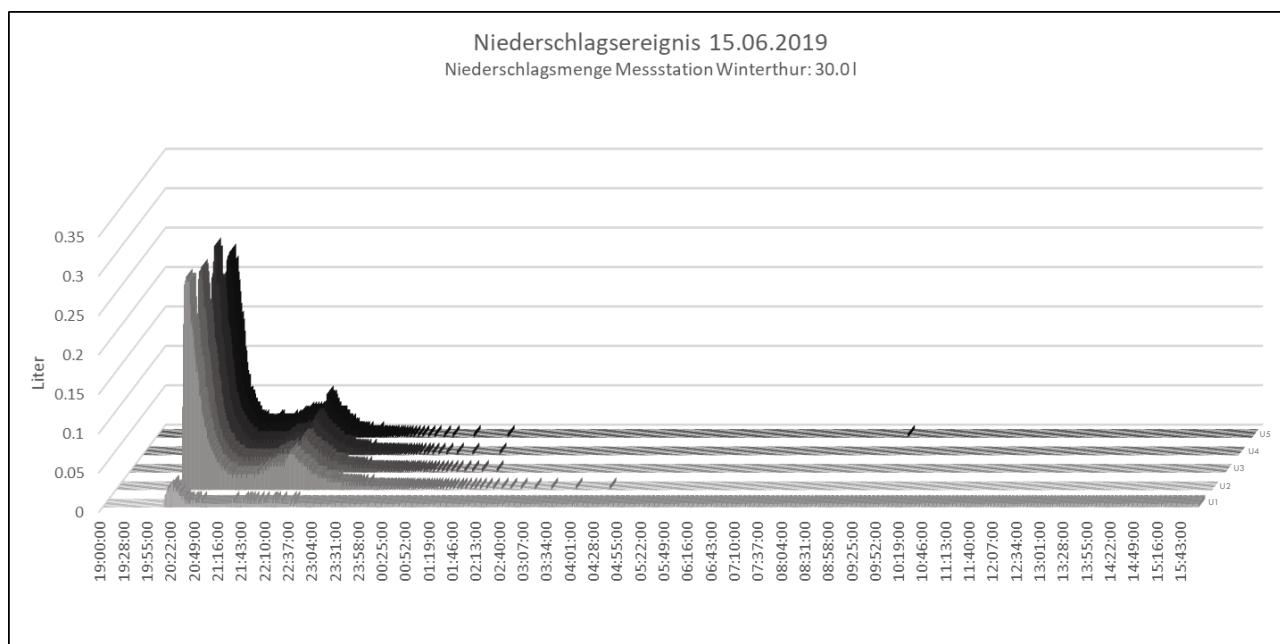


ABBILDUNG 13. ABLAUF EINES STARKNIEDERSCHLAGSEREIGNISSES STARTEND AM 15.06.2019 IM MINUTENTAKT FÜR DIE VERSUCHSFLÄCHEN U1-U5.

Bei Standort U1 ist der Abfluss über eine lange Zeit konstant tief, der langsame Abfluss ist darauf zurückzuführen, dass das Wasser im Trog durch Kies in den Abflusslöchern partiell eingeschränkt wurde.

Die Wassermenge, die an den Standorten U1 bis U5 während den Niederschlagsereignissen gemessen wurde, bestätigt das niedrige Retentionspotential der Kiesfläche U1. Bei allen betrachteten Niederschlagsereignissen resultierte für die Fläche U1 der höchste Abfluss- bzw. der geringste Retentionswert (Tabelle 1).

TABELLE 1. GESAMTABFLUSS UND DARAUS BERECHNETER RETENTIONSWEIT FÜR DIE FLÄCHEN U1 BIS U5 WÄHREND DEN BETRACHTETEN NIEDERSCHLAGSEREIGNISSEN.

		<i>Gesamtabfluss (l)</i>				
<i>Niederschlag (l)</i>		<b>U1</b>	<b>U2</b>	<b>U3</b>	<b>U4</b>	<b>U5</b>
16.04.2018	5.6	1.03	0	0	0	0
08.06.2018	28.2	7.49	4.56	2.97	3.45	4.61
15.06.2019	30	11.945	9.75	8.645	8.44	7.935
17.11.2019	2.7	1.015	0.345	0.205	0.535	0.47
		<i>Retention (%)</i>				
		<b>U1</b>	<b>U2</b>	<b>U3</b>	<b>U4</b>	<b>U5</b>
16.04.2018		81.6	100.0	100.0	100.0	100.0
08.06.2018		73.4	83.8	89.5	87.8	83.7
15.06.2019		60.2	67.5	71.2	71.9	73.6
17.11.2019		62.4	87.2	92.4	80.2	82.6

### 3.4 Biodiversität

Im Rahmen der Untersuchungen zur Biodiversität konnten auf der Versuchsanlage Eichgut insgesamt 14 verschiedene Käferarten nachgewiesen werden durch den Fang von 28 Individuen (Tabelle 2). Zu diesen Erfassungen direkt auf der Versuchsfläche werden Daten im Anschluss diskutiert, welche in einer parallelen Untersuchung in Basel erhoben wurden mit mehrjährigen Installationen von Käferfallen.

TABELLE 2: ERFASSTE KÄFERARTEN UND INDIVIDUENZAHLEN AUF DER VERSUCHSFLÄCHE EICHGUT, WINTERTHUR

Käferart	Anzahl Individuen
<i>Amara aenea</i> (DeG.)	3
<i>Anthicus antherinus</i> (L.)	1
<i>Chaetocnema hortensis</i> (Fourcr.)	1
<i>Cytilus sericeus</i> (Forst.)	1
<i>Elaphropus parvulus</i> (Dej.)	6
<i>Elaphropus quadrisignatus</i> (Duft.)	1
<i>Harpalus affinis</i> (Schrk.)	1
<i>Ischnoptera loti</i> (Kirby)	1
<i>Microlestes minutulus</i> (Goeze)	2
<i>Olibrus affinis</i> (Sturm)	2
<i>Orchestes fagi</i> (L.)	2
<i>Sitona humeralis</i> Steph.	5
<i>Stenichnus scutellaris</i> (Müll. Kunz.)	1
<i>Tachyporus nitidulus</i> F.	1

Auf den Versuchsflächen Eichgut konnten wir die häufigst auftretenden Laufkäfer der bisher in der Schweiz untersuchten Dachfauna nachweisen, die xerophile *Amara aenea* und der auf allerlei anthropomorph geprägten Böden vorkommende *Harpalus affinis*.

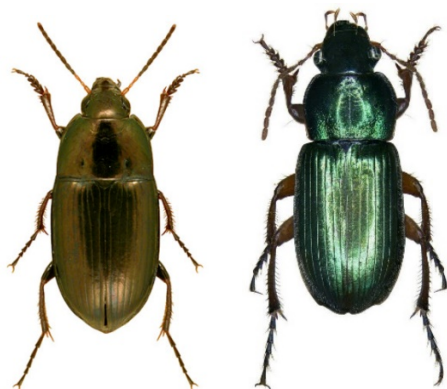


ABBILDUNG 14. ZWEI DER AM REGELMÄSSIGSTEN AUF BEGRÜNTE DÄCHERN ANZUTREFFENDEN LAUFKÄFERARTEN AMARA AENEA UND HARPALUS AFINIS ([HTTPS://WWW.ZOBODAT.AT](https://www.zobodat.at))

Weiterhin kommen die für typischer Weise wenig mit Vegetation bestandene Dächer Uferlaufkäfer *Elaphropus quadrisignatus* und *parvulus* vor. Diese sind auch auf den meisten Dächern anzutreffen, welche wir bisher in der Schweiz untersucht haben. Das Vorkommen dieser Arten weist auf den Pioniercharakter hin, welche begrünte Dachflächen insbesondere in Anfangsphasen, sowie bei dünn-schichtigen Substrataufbauten auch langfristig aufweisen.



ABBILDUNG 15, 16. ZWEI TYPISCHE VERTRETER DER KLEINEN LAUFKÄFERARTEN – ELAPHROPUS QUADRISIGNATUS UND E. PARVULUS - FÜR FLUSSUFER UND OFFENEN ANTHROPOGENEN STÖRFLÄCHEN ([HTTPS://WWW.ZOBODAT.AT](https://www.zobodat.at))

Der Laufkäfer *Microlestes minutulus* ist wie *Amara aenea* ein typisches xerophiles Element von anthropomorphen Stein- und Trockenwiesen. Anspruchsvollere Laufkäferarten wurden auf der Versuchsfläche Eichgut nicht nachgewiesen. Die Anzahl der gefundenen Arten weist darauf hin, dass die Vegetationsdeckung auf dem Winterthurer Dach nur wenige Jahre alt oder sehr wenig mit Vegetation bestanden ist. Dafür spricht auch der xerophile Blütenmulmkäfer *Anthicus antherinus*, ein Charaktertier besonnerter und flachgründiger Dächer.



ABBILDUNG 17: WEITERE ERFASSTE KÄFERARTEN AUF DEN VERSUCHSFLÄCHEN EICHGUT (VON LINKS NACH RECHTS): MICROLESTES MINUTULUS, CYTILUS SERICEUS, TACHYPORUS NITIDULUS, STENICHNUS SCUTELLARIS, OLIBRUS AFFINIS ([HTTPS://WWW.ZOBODAT.AT](https://www.zobodat.at))

Sehr typisch für wenig vegetationsreiche Dächer mit starker Wechselfeuchte ist der Pillenkäfer *Cytillus sericeus*. Die Larven leben vielleicht vom Moos, welches mit extremer Wechselfeuchte auskommt.

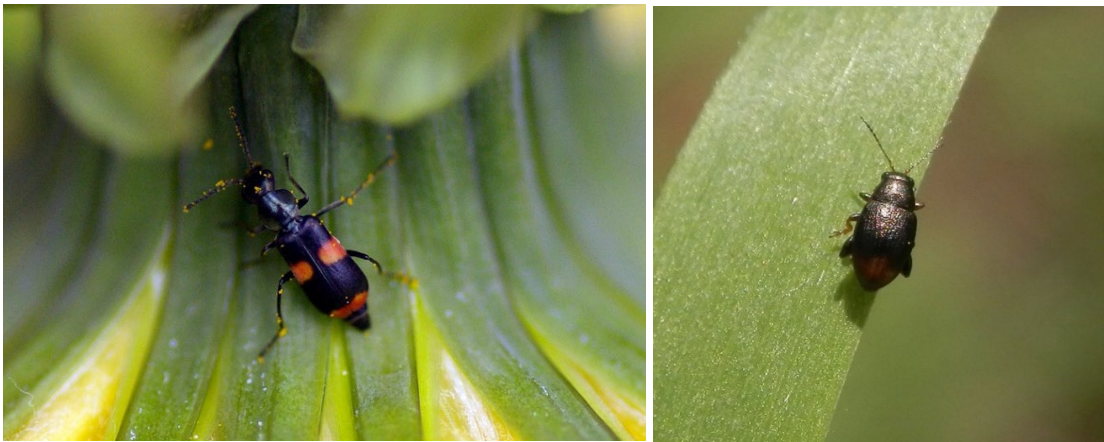


ABBILDUNG 18, 19. DER BLÜTENMULMKÄFER *ANTHICUS ANTHERINUS*, EIN CHARAKTERTIER BESONNTER UND FLACHGRÜNDIGER DÄCHER. *CHAETOCNEMA HORTENSIS* (RECHTS) STELLT EINE WEITERE HÄUFIGE ART AUF DÄCHERN DAR. ([HTTPS://WWW.ZOBODAT.AT](https://www.zobodat.at))

Der Kurzflügler *Tachyporus nitidulus* sowohl als auch der kleine *Stenichnus scutellaris* sind auf halb-feuchten Böden in der Auflage vorkommend. Den letzteren hatten wir noch nicht auf Dächern.

Der Blattkäfer *Chaetocnema hortensis* ist praktisch auf allen Dächern anzutreffen, er lebt in Gräsern. Der Rüsselkäfer *Sitona humeralis* frisst vor allem auf *Medicago* und ist sporadisch auf Dächern verbreitet. *Ischnoptera pioni* lebt an Lotus, dem Hornklee. *Olibrus affinis* am Löwenzahn. Eher angefliegen dürfte der Rüsselkäfer *Orchestes fagi* sein, der an Buche frisst.



ABBILDUNG 20, 21: WEITERE ERFASSTE 3 RÜSELKÄFERARTEN AUF DEN VERSUCHSFLÄCHEN EICHGUT (VON LINKS NACH RECHTS): *SITONA HUMERALIS*, *ORCHESTES FAGI* UND *ISCHNOPTERA PIONI* ([HTTPS://WWW.ZOBODAT.AT](https://www.zobodat.at))

### 3.5 Auswertungen zusätzlicher Standorte

Wichtige zusätzliche Erkenntnisse konnte durch die Auswertung von Daten von 7 Standorten in Basel erzielt werden. Sie sind Basis für die Weiterentwicklung und Auswahl der Fallenstandorte und Untersuchungs-/Auswertungsansätze wie beispielsweise der Versuchsanlage in Winterthur (Eichgut).

Geprüft sollte in einem ersten Ansatz werden, ob sich eine Differenzierung ergibt auf den Standorten bzgl. der Feuchtigkeitsansprüche von Arten. Dazu soll geprüft werden ob sich auch auf Kombinationsdächern von Solaranlagen mit Dachbegrünungen Rote Liste Arten etablieren können – trotz oder unter Umständen sogar wegen der zusätzlichen Beschattungseffekte. Im Folgenden werden exemplarisch vertiefende Tabellen mit den ökologischen Parametern der erfassten Arten aufgezeigt.

In den Becherfallen der ersten Auswertungen wurden insgesamt 1978 Käfer Individuen aus der Familie der Carabiden (Laufkäfer) gefangen. Diese Carabiden konnten 41 verschiedenen Arten zugeteilt werden. In Abbildung 22 sind exemplarisch die vier meist gefangenen Laufkäferarten abgebildet. 9 dieser 41 Arten stehen auf einer Roten Liste der Schweiz, Deutschlands oder von Baden-Württemberg (Tabelle 3). In die Fallen gingen ausserdem noch Käfer aus den Familien der *Chrysomelidae* (Blattkäfer), *Curculionidae* (Rüsselkäfer), *Elateridae* (Schnellkäfer), *Staphylinidae* (Kurzflügel-Käfer) und noch vereinzelt aus weiteren Familien. Für die Untersuchung wurden ausschliesslich die Carabiden ausgewertet, da nur diese in der Schweiz systematisch beurteilt und einer Gefährdung zugeteilt wurden.

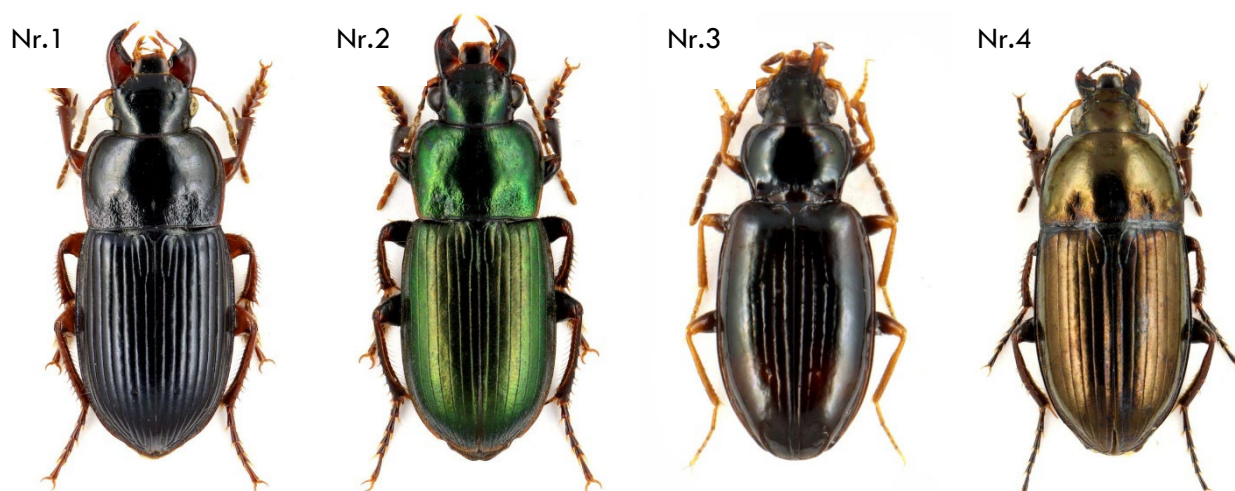


Abbildung 22: Die vier meist erfassten Laufkäferarten: Nr. 1 *Harpalus rubripes* mit 417 Exemplaren, Nr. 2 *Harpalus affinis* mit 267 Exemplaren, Nr. 3 *Elaphropus parvulus* mit 262 Exemplaren sowie Nr. 4 *Amara aenae* mit 218 Exemplaren



Familie der Laufkäfer (Carabidae)		Lebensraumkategorie-Präferenz nach (Luke 2009)	Feuchtigkeits-Präferenz nach (Luke 2009)	Vorlieben nach (Werner A. Merggi 1992)	2014						2015			2016			Summe			
Gattung	Art				Messe offen	Messe PV	Messe Holz	Prodaga PV	Saier PV	Saier genitscht	Universität Kinderspital PV	Messe offen	Messe PV	Messe Holz	Prodaga PV	Universität Kinderspital PV		Messe offen	Messe PV	Messe Holz
Harpalus	attenuatus Steph.	Ruderastandorte	steno-xerophil	lebt an xerothermen Stellen	1	1	11								5	1	1			
Harpalus	disinguendus (Duf.)	Brachen	xerophil	eurytop				1									1			
Harpalus	progreidens Schaub.	Ufer mit Vegetation, Auenwälder	hygrophil	in lichten Auenwälder	2	9	25													
Harpalus	tubripes (Duf.)	Trockenrasen und Magenwiesen, Krautsäume und Feldraine / und Ruderastandorte	mesophil	eurytop, bevorzugt trockene Böden	37	134	115	1	1	1	4	29	9	11	34	13	28			
Harpalus	signaticornis (Duf.)	Brachen / und Ruderastandorte, Getreide	xerophil	keine Angaben											4	2	19			
Harpalus	larius (Panz.)	Brachen, Krautsäume und Feldraine, Trockenrasen und Magenwiesen / und Wiesen	xerophil																	
Loricera	pilicornis (F.)	Raps, Getreide, Kunstwiesen / und Ufer mit Vegetation, Auenwälder	hygrophil	eurytop, wenig xerophil			1	10									15			
Microlestes	minutulus (Goeze)	Krautsäume und Feldraine / und Wiesen	xerophil	hygrophil, Feld und Uferart	2	1	7								1					
Nebria	salina Fairm. & Lab.	Gebüsche, Hecken, gebüscheiche Vorwaldgesellschaften und Waldränder, Kunstwiesen, Getreide	mesophil	offen, mässig feucht	2															
Panaeagus	bipustulatus (Fabricius)	Gebüsche, Hecken, gebüscheiche Vorwaldgesellschaften, Waldränder	xerophil	meist auf recht xerothermen Gelände																
Paradormis	linearis (Olivier)	Gebüsche, Hecken, gebüscheiche Vorwaldgesellschaften, Waldränder, Brachen	mesophil	xerophil bis xerothermophil	2	1														
Paratichys	bistriatus (Duf.)	Gemüseläichen	mesophil	beschattete Böden	1	1														
Poecilus	cupreus (L.)	Raps	mesophil	eurytop																
Pseudophonus	rufipes (Degeer)	Brachen, Gebüsche, Hecken, gebüscheiche Vorwaldgesellschaften, Waldränder / und Ruderastandorte, Klesgruben, Gemüseläichen, Hackfrüchte und Mais	mesophil	eurytop																
Pterostichus	strenuus (Panz.)	Feucht- und Nasswiesen / Auenwälder	hygrophil	hygrophil																
Pterostichus	vernalis (Panz.)	Brachen, Weiden / und Feucht- und Nasswiesen	mesophil	Eurytop, vorliebe feucht und nasse Böden	1	1	2								1	1	2			
Stenolophus	teutonius (Schränk)	Brachen	mesophil	Gewässer																
Synonymus	foveatus (Geoff. in Fourc.)	Krautsäume und Feldraine, Wiesen	xerophil	ausgeprägt xerophil	14	26	60								7	20	23			
Trechus	quadristriatus (Schränk)	Hackfrüchte und Mais	mesophil	eurytop	1															
Total Anzahl Individuen pro Standort					112	278	347	111	109	87	63	130	126	163	101	67	164	28	1978	
Total Anzahl Arten pro Standort					16	17	21	13	11	9	13	10	13	11	9	12	11	21	10	

Tabelle 3 (Fortsetzung): Erfasste Carabiden Arten und Anzahl Individuen nach Standorten und Jahr. Die fette Beschriftung kennzeichnet eine Art auf einer Roten Liste der Schweiz, Deutschland oder Baden-Württembergs. Ergänzend sind Angaben über Feuchtigkeits-Präferenz und Lebensraumkategorie-Präferenz aufgeführt.

Laufkäfer Fänge nach Feuchtigkeits-Präferenz und Standort-Kategorie

An den sieben unterschiedlichen Standorten (in Tabelle 3 ersichtlich) wurden in den Untersuchungsjahren 2014, 2015 und 2016 sechs hygrophile, 16 xerophile, 18 mesophile und eine nicht bestimmbare Art gefangen. Die Verteilung der unterschiedlichen Feuchtigkeits-Präferenz der Carabiden auf die Standorte Gründach mit oder ohne PV-Anlage ergab, dass insgesamt auf den Gründächern mit PV-Anlage mehr hygrophile sowie mehr xerophile Arten vorkommen (siehe Abbildung 23). Mesophile Arten kommen an beiden Standorttypen gleich viele vor.

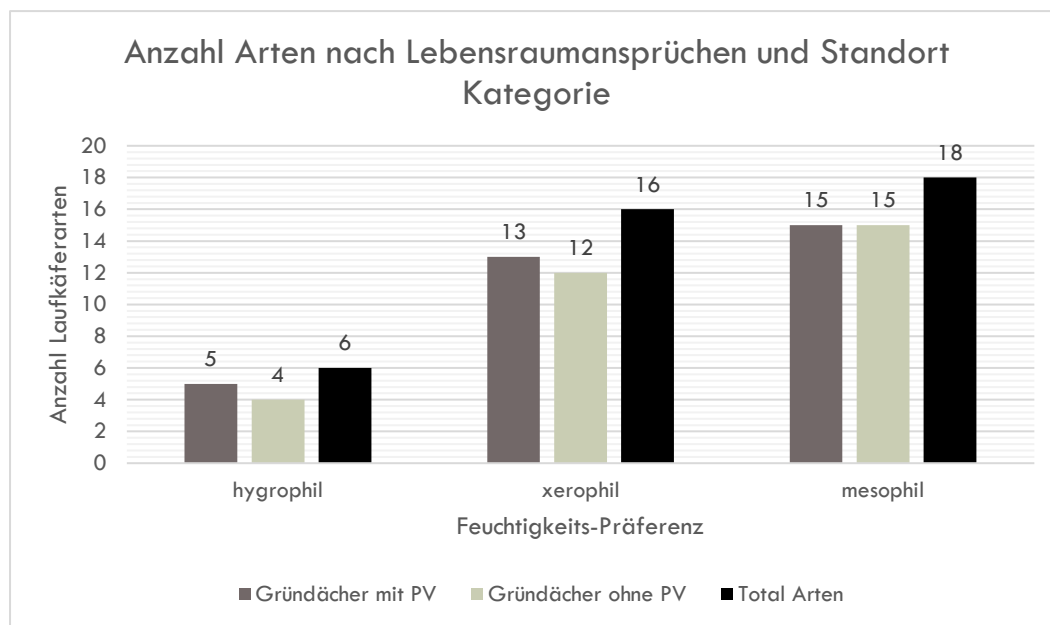


Abbildung 23: Laufkäfer Fänge nach Feuchtigkeits-Präferenz und Standort Kategorie Gründach mit PV-Anlage und Gründach ohne PV-Anlage aus der Daten-Periode 2014-2016. Eine Art, die nur auf die Gattung bestimmt werden konnte, ist hier nicht aufgeführt.

### Laufkäfer-Fänge nach Standort

Die Anzahl der gefangenen Laufkäferarten variiert stark nach Standort siehe Abbildung 24; zwischen fünf Arten auf dem Dach „Sauter“ mit PV Untersuchungsjahr 2014 und 21 Arten auf dem Dach „Messe Holz“ in den Jahren 2014 und 2016. Dies entspricht dem Faktor vier an mehr Arten. Im Untersuchungsjahr 2015 wurden auf allen Untersuchungsflächen bis auf das „Universität Kinderspital PV“ weniger Arten gefunden als im Jahr 2014. Die Anzahl der Laufkäferarten nach Standorttyp Gründach mit oder ohne PV-Anlage ist nicht eindeutig bei allen Gründächern ohne PV höher, jedoch ist eine Tendenz zu dieser Aussage ersichtlich. Wenn man die Dächer „Sauter“ und „Messe“ mit beiden Standorttypen an einem Ort anschaut, ist ersichtlich, dass einzig das „Messe Dach mit PV“ im Jahr 2014 leicht mehr Arten aufweist als der Standort „Messe offen“ 2014 auf demselben Dach.



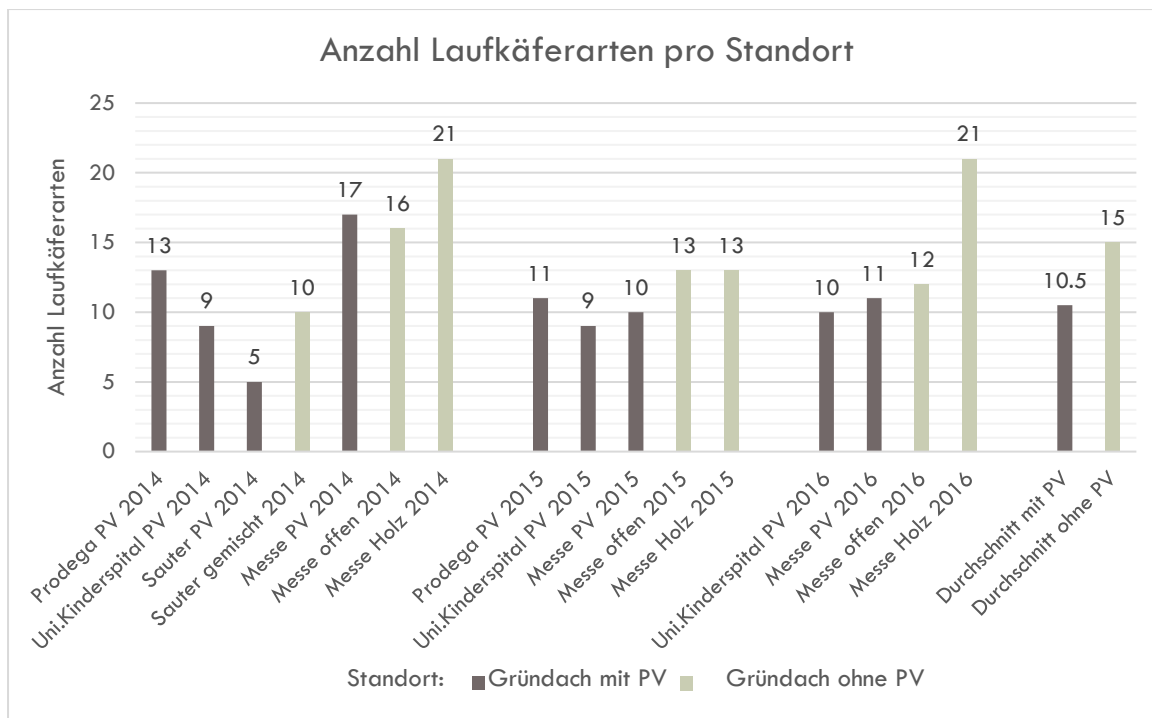


Abbildung 24: Alle Standorte der Untersuchung aufgeteilt in Gründach mit und ohne PV-Anlage über die drei Untersuchungsjahre 2014 bis 2016. Anzahl Laufkäferarten pro Standort.

Der Untersuchungsstandort Universität Kinderspital PV weist eine konstante Anzahl Käferarten auf mit nur sehr leichten Schwankungen im Vergleich zu den untersuchten Standorten auf dem Messe Gebäude. In Tabelle 3 ist ersichtlich, dass es sich bei der konstanten Anzahl Käferarten nicht in jedem Untersuchungsjahr um dieselben Käferarten handelt, sondern dass die Zusammensetzung variiert. Im Durchschnitt gibt es auf Gründächer mit Photovoltaik Anlage 10.5 Arten, hingegen kommen auf Gründächern ohne PV-Anlage im Durchschnitt 15 Arten vor.

### Anzahl Rote Liste Arten nach Standort

Die Anzahl der gefährdeten Arten an einem Standort, ist ein wichtiger Indikator für die Bewertung eines Habitats.

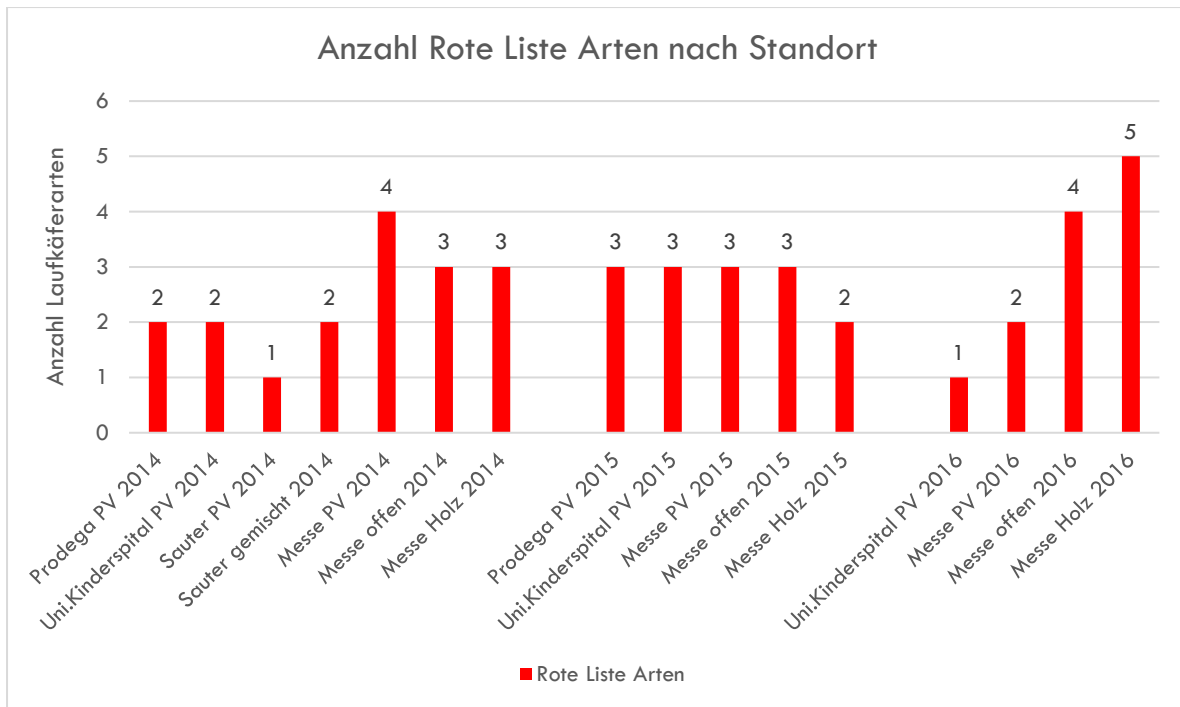


Abbildung 25: Laufkäfer Fänge nach Feuchtigkeits-Präferenz und Standort-Kategorie Gründach mit PV-Anlage und Gründach ohne PV-Anlage aus der Daten-Periode 2014-2016. Eine Art, die nur auf die Gattung bestimmt werden konnte, ist hier nicht aufgeführt.

Am meisten Rote Liste Arten kommen auf dem Standort „Messe Holz“ im Jahr 2016 vor, gefolgt von den Standorten „Messe PV“ im Jahr 2014 und „Messe offen“ im Jahr 2016 mit einer gefährdeten Art weniger. Im Jahr 2015 ist die Anzahl der Laufkäferarten im Vergleich zum Vorjahr und Folgejahr gesunken, die Anzahl der Rote Liste Arten blieb jedoch konstant zu den Vergleichsjahren. Ob es auf Gründächern mit Photovoltaik Anlage mehr Rote Liste Arten gibt, als auf Gründächer ohne Photovoltaik Anlage, lässt sich aufgrund dieser ersten Auswertungen nicht eindeutig sagen. Dies ist zwar der Fall am Standort „Messe PV“ im Jahr 2014 und 2015, jedoch nicht mehr im Jahr 2016. Ebenso wenig trifft dies für den Standort „Sauter“ im Jahr 2014 zu. Damals wies der Standort ohne Photovoltaik Anlage mehr gefährdete Arten auf.

## 4. Fazit

Mit der Testanlage konnte das Verhalten von begrünten Dächern bei Regenereignissen auf einfache Weise veranschaulicht werden. Die Resultate bestätigten die Erwartungen, dass reine Kiesflächen einen tieferen Retentionswert aufweisen, als begrünte Dachflächen mit einem bepflanzungsfähigen Substrat.

Erfreulicherweise konnten sehr hohe Retentionswerte ermittelt werden für die Schichtdicken von 140 mm. Dies unterstreicht die Bedeutung von dickeren Schichtdicken für die Reduktion der negativen Effekte der städtischen Wärmeinsel. Es weist insbesondere auch darauf hin, dass bei der Festlegung von Dachbegrünungen in Baureglementen unbedingt Mindestmasse an Schichtdicken eingefordert werden müssten, um die angestrebten Ziele der Klimaanpassung in Siedlungsgebieten erreichen zu können.

Der Unterschied zu den geringeren Schichtdicken viel in unserer Versuchsreihe allerdings etwas geringer aus als vermutet. Wir gehen davon aus, dass einerseits die relativ hohe Trockenheit höhere Retentionswerte und auch teilweise mögliche Verstopfungen methodische Ungenauigkeiten erzeugen konnten. Eindeutig scheint, dass die begrünten Flächen (U2 bis U5) den Wasserabfluss durch die höhere Wasserspeicherkapazität verringerten und verzögerten.

Eine Verzögerung des Abflusses kann bei Starkniederschlagsereignissen in Siedlungsgebieten mit hohem Versiegelungsgrad einen wesentlichen Beitrag zur Entlastung der Kanalisation beitragen, sofern das Substrat über genügend Wasserkapazität verfügt.

### 4.1 Fazit Biodiversität

Die Ergebnisse der ersten Auswertungen zeigen, dass sich eine Vielzahl von Laufkäferarten auf den begrünten Dächern ansiedeln, darunter auch gefährdete Arten. Von neun Gründächern mit Photovoltaik-Anlage beherbergen vier Dächer zwei oder mehr hygrophile Laufkäferarten. Hingegen weist bei Gründächern ohne Photovoltaik Anlage nur einer von sechs Standorten mindestens zwei hygrophile Laufkäferarten auf.

## LITERATUR

### Gründächer und Retention, Biodiversität

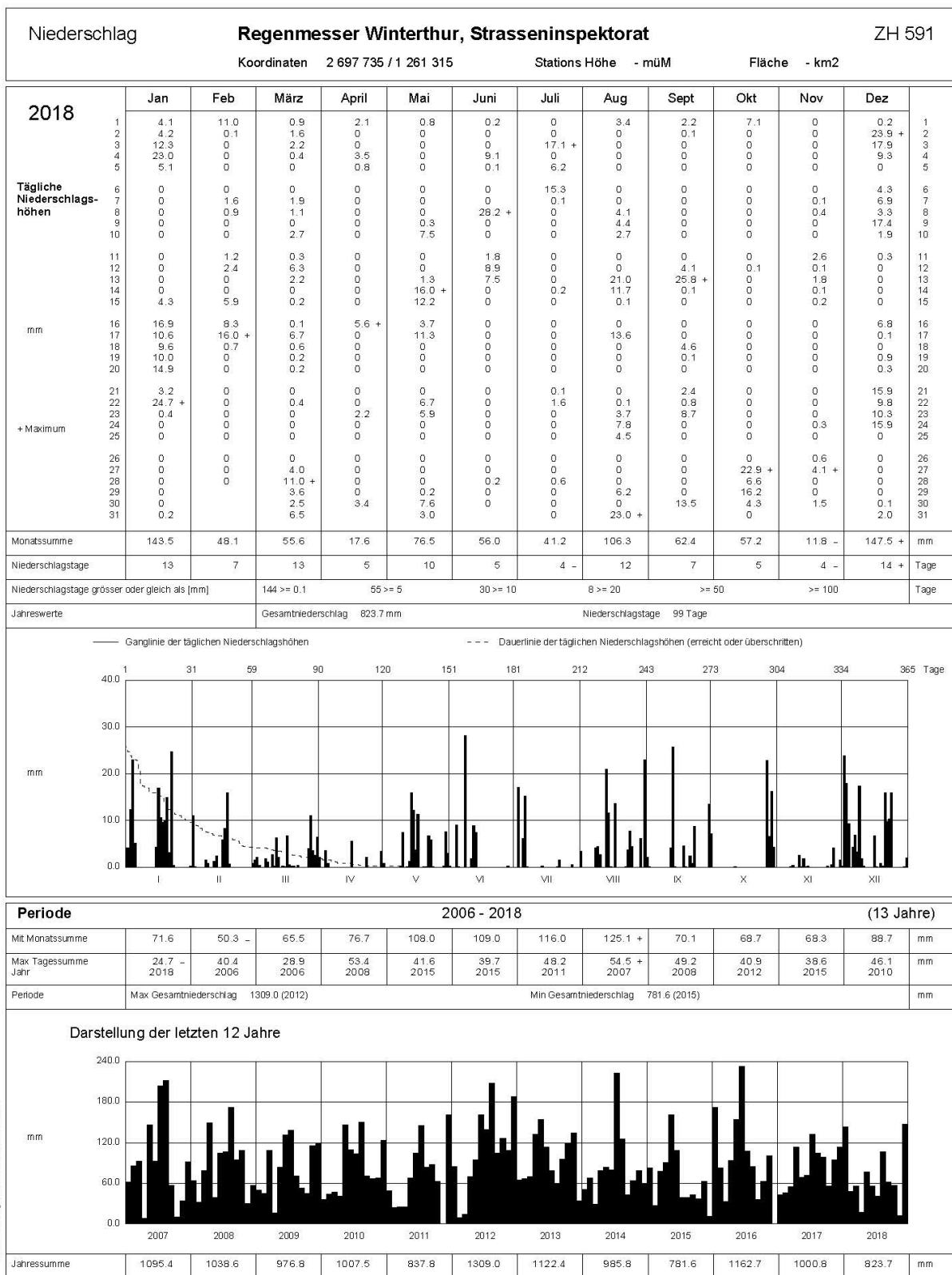
- AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft. (2018). Niederschlagsmessdaten Jahrbücher. <https://awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/wasser/messdaten/niederschlag.html#jahr-b-cher>. Abgerufen am 08.12.2018
- Beins, A. (1991): Mikroklima und Wasserhaushalt von begrünten Dächern und deren ökologische Bedeutung in Siedlungen. Diplomarbeit Geographisches Institut Universität Hannover.
- Brenneisen, S. (2009). Ökologisches Ausgleichspotenzial von Extensiven Dachbegrünungen: Bedeutung des Ersatz-Ökotops für den Arten- und Naturschutz und die Stadtentwicklungsplanung. Selbstverlag der Abteilung Physiogeographie der Universität Basel.
- Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L. G., & Principi, P. (2010). Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and environment*, 45(8), 1890-1904.
- Getter, K. L., & Rowe, D. B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41(5), 1276-1285.
- Höschele, K. & Schmidt, H. (1974): Klimatische Wirkung einer Dachbegrünung. In: *Garten und Landschaft* 74/6: 334-337.
- Jim, C. Y. (2014). Building thermal-insulation effect on ambient and indoor thermal performance of green roofs. *Ecological Engineering*, 69, 265–275. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.04.016>
- Kaufmann, P. (2000): Extensiv begrünte Flachdächer – ein Gewinn für die Siedlungsentwässerung. Bericht über Versuche 1996-1999, Hochschule für Technik und Architektur Burgdorf.
- Köhler, M. (1989): Ökologische Untersuchungen an extensiven Dachbegrünungen. In: *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Essen)*, 18: 249-255.
- Krupka, B. (1992): Dachbegrünungen, Pflanzen- und Vegetationsanwendungen an Bauwerken. Ulmer, Stuttgart: 1-508.
- Liesecke, H.-J. (1996): Extensive Dachbegrünung. In: *Neue Landschaft* 41/5: 354-356, 361-364
- Liesecke, H.-J. (1998): Langzeitentwicklung einer extensiven Dachbegrünung. In: *Stadt und Grün* 47/6: 428-436.
- Pétremand, G., Chittaro, Y., Braaker, S., Brenneisen, S., Gerner, M., Obrist, M.K., Rochefort, S., Szallies, A., Moretti, M. (2017): Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) communities on green roofs in Switzerland: synthesis and perspectives. *Urban Ecosystem*, 20:1-14.
- Roth-Kleyer, S. (1999): Vegetationsentwicklung auf pflegelosen Extensivbegrünungen. In: *Dach und Grün* 8/3: 10-16.

- Severin-Rahmani, C., Sedivy C. (2015). Biodiversitätsförderung auf Dächern. Eine Potenzialanalyse am Beispiel der Schulanlage Looren, Zürich. Fachstelle nachhaltiges Bauen. Stadt Zürich.
- Solcerova, A., van de Ven, F., Wang, M., Rijdsdijk, M., & van de Giesen, N. (2017). Do green roofs cool the air? *Building & Environment*, 111, 249–255.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.021>
- Starry O, Gonsalves S, Ksiazek-Mikenas K, Mac Ivor JS, Szallies A, Brenneisen S (2017) A global comparison of beetle community composition on green roofs. *Urban Naturalist*.
- VanWoert, N. D., Rowe, D. B., Andresen, J. A., Rugh, C. L., Fernandez, R. T., & Xiao, L. (2005). Green roof stormwater retention. *Journal of environmental quality*, 34(3), 1036-1044.

### **Solarenergie**

- Baumann, T., Schär, D., Carigiet, F., Dreisiebner, A., Baumgartner, F. (2016). Performance Analysis of PV Green Roof Systems. 32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2016).
- Meyer, M. (2018). Photovoltaik und Dachbegrünung: eine sinnvolle Kombination? Literaturstudie zum Diskussions- und Forschungsstand der Wissenschaft und Praxis. Bachelorarbeit. Universität Kassel.

ANHANG



Regenmesser - Inbetriebnahme am 1. Januar 2006 auf Flachdach von Nebengebäude.  
Neu Logger - Aufzeichnung mit Kippwaage und geheiztem Auffanggefäss (erhöhte Messgenauigkeit).  
Ersatz für Regenmesser auf altem Gebäude, Aufzeichnung aufgehoben per 31. Dezember 2005.  
(Stationsnummer wurde beibehalten). Der Regenmesser war ab Sommer 2017 an einem provisorischen Standort.

ANHANG 1. DATEN REGENMESSER WINTERTHUR FÜR DAS JAHR 2018 (AWEL, 2018).

Brenneisen 2020

**Vertikal aufgeständerte, bifaciale Solarmodule zur optimalen PV-Nutzung begrünter Dächer – Wasserrückhaltung und Biodiversität**

Niederschlag		Regenmesser Winterthur, Strasseninspektorat											ZH 591		
		Koordinaten 2 697 735 / 1 261 315					Stations Höhe - müM			Fläche - km2					
2019		Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez		
	1	0.1	3.3	8.7	0	0	0	0	0	7.6	3.2	1.4	0.4	1	
	2	2.0	0.7	0	0.5	8.3	0	34.2 +	0	1.6	13.3	4.2	1.9	2	
	3	0	13.3 +	0	0.1	2.0	0	0	0	0.1	0	8.4	0	3	
	4	0	0	1.9	13.4 +	8.1	0	0	0	0	3.5	3.2	0	4	
	5	5.2	0	1.2	0	0.8	0	0	8.9	0	8.6	2.7	0	5	
	6	3.6	0	0	0	0	0	0	36.5 +	1.8	14.1	1.5	0.3	6	
	7	0.1	9.7	1.5	0	0	0	17.4	13.8	0	0.2	3.1	1.1	7	
	8	3.4	0	1.0	0	27.6	0	0	0.1	34.5 +	0.2	12.2	0.2	8	
	9	2.1	0.6	1.6	2.7	1.9	1.9	0	0	0.1	39.2 +	0	7.8	9	
	10	3.6	4.9	15.0	2.8	6.5	35.3 +	0	13.2	0	1.9	0	0.2	10	
	11	0.8	4.9	3.8	0	8.7	13.9	0.6	4.9	0	0	1.4	5.0	11	
	12	2.9	0	0	0	0.1	7.9	2.7	7.0	0	0	0	2.7	12	
	13	16.3 +	0	7.9	1.9	0	0	6.9	0	0	0	0	7.7	13	
	14	7.4	0	14.2	10.2	0	0.3	24.1	0	0	0	0	0.6	14	
	15	0	0	16.6 +	0	0	30.0	0.2	5.1	0	12.7	0.5	0	15	
	16	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	16	
	17	4.0	0	2.8	1.7	3.1	0	0	0	0	0.2	2.7	0	17	
	18	0.8	0	1.3	0	0	0	0	5.4	0	4.1	0	0	18	
	19	0	0	0	0	19.3	0	0	25.2	0	6.1	0	0	19	
	20	0	0	0	0	45.1 +	5.5	0	12.1	0	0	0	5.9	20	
	21	0	0	0	0	13.8	2.5	2.5	0.1	0	0.9	0	3.4	21	
	22	0	0	0	0	3.0	9.6	0	0	0	0	0	8.8	22	
	23	0	0	0	0	0	0.1	0	0	17.6	0	0	7.1	23	
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	2.4	0	0	10.7 +	24	
	25	0	0	0.3	0	12.2	0	0	0	1.8	0	0	4.3	25	
	26	0	0	0	8.5	0	0	0	0	5.8	0	0	1.4	26	
	27	2.7	0	0	7.1	0	0	7.0	0	7.2	0.2	5.0	10.0	27	
	28	0.5	0	0	2.3	4.2	0	32.5	0	3.6	5.5	5.6	0.1	28	
	29	0	0	0	0	8.0	0	0.2	0	0	7.6	13.9 +	0	29	
	30	0	0	0	0.1	0.1	0	0.7	0	0	12.8	0.4	0	30	
31	0.3	0	0	0	0	0	7.3	0	0	0	0	0	31		
Monatssumme		55.8	37.4 -	77.9	51.3	172.8 +	107.1	136.3	132.3	84.1	134.3	66.2	79.6	mm	
Niederschlagstage		11	5 -	13	9	15 +	8	9	10	10	13	13	14	Tage	
Niederschlagstage grösser oder gleich als (mm)		170 >= 0.1		73 >= 5			35 >= 10		11 >= 20		>= 50		>= 100		Tage
Jahreswerte		Gesamtniederschlag 1135.1 mm					Niederschlagstage 130 Tage								
Periode		2006 - 2019											(14 Jahre)		
Mit Monatssumme		2.3	1.8 -	2.1	2.5	3.6	3.6	3.8	4.1 +	2.4	2.4	2.3	2.8	mm	
Max Tagessumme Jahr		24.7 - 2019	40.4 2006	29.9 2006	53.4 2008	45.1 2019	39.7 2015	48.2 2011	54.5 + 2007	49.2 2008	40.9 2012	38.6 2015	46.1 2010	mm	
Periode		Max Gesamtniederschlag 42.7 (2012)					Min Gesamtniederschlag 25.6 (2015)								
Darstellung der letzten 12 Jahre															
Jahressumme		34.0	32.0	33.0	27.3	42.7	37.0	32.3	25.6	38.2	32.9	26.9	37.1	mm	

Regenmesser - Inbetriebnahme am 1. Januar 2006 auf Flachdach von Nebengebäude.  
 Neu Logger - Aufzeichnung mit Kippwaage und geheiztem Auffanggefäss (erhöhte Messgenauigkeit).  
 Ersatz für Regenmesser auf altem Gebäude, Aufzeichnung aufgehoben per 31. Dezember 2005.  
 (Stationsnummer wurde beibehalten). Der Regenmesser war ab Sommer 2017 an einem provisorischen Standort.

**ANHANG 2. DATEN REGENMESSUNG WINTERTHUR FÜR DAS JAHR 2019 (AWEL, 2019).**