

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN  
DEPARTMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT  
INSTITUT UNR



## **SMART?Roofs: Biodiversität und Solaranlagen**

**Einfluss von Photovoltaik Anlagen auf die Biodiversität von  
Gründächern**

**Semesterarbeit 1**

**von**

**David Hauswirth**

Bachelorstudiengang 2015

Studienrichtung Umweltingenieurwesen

Abgabedatum: 29. Juni 2017

Korrektor:

Dr.phil. Geograph Brenneisen, Stephan  
Fachhochschule Wädenswil ZHAW, IUNR

**Keywords:** Carabidae, Green roofs, Photovoltaic, Biodiversity

**Zitiervorschlag:** Hauswirth D. (2017). SMART?Roofs: Biodiversität und Solaranlagen  
Einfluss von Photovoltaik Anlagen auf die Biodiversität von Gründächern.

David Hauswirth

Walther-Hauser-Strasse 16

8820 Wädenswil

Mobil: 077 408 21 32

Mail: hauswdav@students.zhaw.ch

## **Abstract**

Green roofs and photovoltaic power plants are both subsidised by the government. This fact and the development of the solar panel systems lead to a more frequent combination of both.

In this semester project it has been analysed how photovoltaic plants influence the biodiversity of vegetated roofs in the conurbation of Basel, based on trapped ground beetles. The data of four different roofs at seven different locations has been analysed. The focus was laid on the differences of the ground beetle fauna of vegetated roofs with solar PV-panels and vegetated roofs without solar PV-panels. With pitfall traps 41 different species were caught, nine of them are on a red list of Switzerland, Germany or Baden Württemberg. The 41 species were grouped in six hygrophilous, 16 xerophilous, 18 mesophilous and one not classified species.

It was shown, that on half of the vegetated roofs with solar PV-panels more hygrophilous ground beetle species live than on vegetated roofs without solar PV-panels. However the small amount of hygrophilous species relativised the statement. The amount of species on green roofs without solar PV-panels is higher than on green roofs with solar PV-panels but the number of red list species is nevertheless the same. Two roofs reached a share of 30% of red list species. This shows the ecological value of green roofs. Photovoltaic plants are one factor among many others that influence the biodiversity on green roofs. They provide shade and structure. To get more meaningful results, other determinants need to be analysed in depth.

## Zusammenfassung

Dachbegrünungen und Photovoltaik Anlagen (nachfolgend PV-Anlagen) werden von Seiten der Behörden gefördert. Diese Tatsache und die Entwicklung der Panelsysteme führen dazu, dass diese immer öfters kombiniert werden.

In dieser Semesterarbeit wurde untersucht, wie sich PV-Anlagen auf die Biodiversität von begrünten Dächern im Raum Basel anhand von gefangenen Laufkäfern auswirken. Es wurden die Daten von vier verschiedenen Dächern mit sieben unterschiedlichen Standorten analysiert. Der Fokus wurde dabei auf die Unterschiede der Laufkäfer Fauna von Gründächern mit PV-Anlage und Gründächer ohne PV-Anlage gelegt. Mit Hilfe von Becherfallen konnten 41 verschiedene Arten gefangen werden, darunter neun Arten die auf einer Roten Liste der Schweiz, Deutschland oder Baden Württembergs sind. Die 41 Arten konnten in sechs hygrophile, 16 xerophile, 18 mesophile und in eine nicht zuteilbare Art unterteilt werden.

Es konnte festgestellt werden, dass auf der Hälfte der begrünten Dächer mit PV-Anlage mehr hygrophile Arten vorkommen als auf Gründächern ohne PV-Anlage, jedoch mit sehr kleinen Artenzahlen, was diese Feststellung relativiert. Die Anzahl Arten war bei dieser Untersuchung auf begrünten Dächern ohne PV-Anlage tendenziell höher als auf Dächern mit PV-Anlage die Anzahl der Rote Liste Arten war jedoch gleich. Zwei Dächern erreichten einen Anteil von 30% an Rote Liste Arten, was den ökologischen Wert der Dachbegrünungen hervorhebt. PV-Anlagen sind einer unter vielen Faktoren, welche die Biodiversität auf Gründächern beeinflussen. Sie spenden Schatten und erhöhen die Struktur. Um aussagekräftigere Resultate zu erhalten, müssten weitere Faktoren wie Alter des Daches, Begrünungsart und Umgebung mehr berücksichtigt werden.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Aktuelle Situation.....	1
1.2	Forschung.....	2
1.3	Zielsetzung.....	2
1.4	Hypothesen.....	3
2	Theoretische Grundlagen.....	4
2.1	Dachbegrünungen.....	4
2.2	Dachbegrünung mit Photovoltaik Anlage.....	5
2.3	Laufkäfer.....	10
2.4	Bioindikator.....	11
2.5	Bioindikation anhand von Carabidae.....	11
3	Methoden und Material.....	12
3.1	Material.....	12
3.2	Daten Erhebung.....	12
3.3	Lage der Untersuchungsstandorte.....	13
3.4	Standortbeschriebe.....	13
3.5	Zuweisung der Lebensraumvorlieben.....	14
4	Ergebnis.....	15
4.1	Laufkäfer Fänge nach Feuchtigkeits-Präferenz und Standort Kategorie.....	18
4.2	Laufkäfer Fänge nach Standort.....	19
4.3	Laufkäfer Fänge nach Feuchtigkeits-Präferenz und Standort auf dem Messe Gebäude.....	20
4.4	Anzahl Rote Liste Arten nach Standort.....	21
5	Diskussion.....	22
5.1	Überprüfung der Hypothesen.....	22
6	Literaturverzeichnis.....	25

# 1 Einleitung

## 1.1 Aktuelle Situation

Begrünte Dächer gehören mittlerweile zum gewohnten Bild in der Dächerlandschaft der Schweiz. Die angestrebte bauliche Verdichtung der Siedlungen verpflichtet zu Ausgleichsmassnahmen. Aus bautechnischen sowie aus ökologischen Gründen haben sich begrünte Dächer etabliert, denn die entstandenen Eingriffe in die Kreisläufe der Natur von Wasser, Boden, Kleinklima, Pflanzen und Tiere können so verringert werden (A. Beins-Franke & Heeb, 1995).

Gleichzeitig haben PV Anlagen die Ökonische verlassen und können rentabel gebaut werden, was dazu führt, dass sie so grossflächig auf die Dächer drängen ( Kruse, 2010).

Von Seite der Behörden werden begrünte Flachdächer immer häufiger vorgeschrieben. In der Bau- und Zonenordnung der Stadt Zürich steht seit 1991, dass nicht begehbare Bereiche eines Flachdaches ökologisch wertvoll zu begrünen sind, auch dort, wo Solaranlagen installiert werden, jedoch nur wenn dies wirtschaftlich tragbar ist (Bau- und Zonenordnung der Stadt Zürich, 1991). Im Bau- und Planungsgesetz der Stadt Basel ist seit 1999 strenger formuliert, dass ungenutzte Flachdächer mit einer Vegetationstragschicht zu überdecken sind (Bau- und Planungsgesetz (BPG) der Stadt Basel, 1999). Die Stadt Solothurn schreibt im Bau- und Zonenreglement seit 1995 nur, dass sie vorschreiben kann, ungenutzte Flachdächer zu begrünen (Bau- und Zonenreglement der Stadt Solothurn, 2016). So sind die Vorschriften sehr unterschiedlich streng formuliert und führen mehr oder weniger effizient zu einer Förderung von Dachbegrünungen im urbanen Raum.

Seit 2009 werden Photovoltaik Anlagen gemäss dem Energiegesetz (EnG) mit einer Kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) oder seit 2014 mit einer Einmalvergütung gefördert (Energiegesetz (EnG), 2017). Mit der Energiestrategie 2050 die am 21. Mai 2017 vom Volk angenommen wurde, soll der Bau von Photovoltaik Anlagen noch mehr begünstigt und mit Lenkungsabgaben unterstützt werden (UVEK, 2017).

Dies führt zum Konflikt, dass auf ein- und derselben Fläche zwei unterschiedliche Nutzungsformen gefördert werden. Auf der einen Seite ist es wichtig, dass Grünflächen, die immer mehr unter Druck kommen durch Bauten teilweise kompensiert werden können und so ein ökologischer Ausgleich stattfinden kann. Auf der anderen Seite müssen so viele Photovoltaik Anlagen gebaut werden können wie möglich, um die Ziele der Energiestrategie 2050 zu erreichen, um damit die Wende von nicht erneuerbaren auf erneuerbare Energien bewerkstelligen zu können.

Lösungen für diesen Konflikt sind schon vorhanden, indem die ökologische Aufwertung durch

begrünte Dächer mit der Energieproduktion durch Photovoltaik Anlagen kombiniert werden. Nun stellt sich die Frage, welche Auswirkungen Photovoltaik Anlagen auf die begrünten Dächer und umgekehrt welche Auswirkungen Gründächer auf PV-Anlagen haben. Auf letzteres wird in Kapitel 2.2 kurz eingegangen, ist aber nicht Teil dieser Arbeit.

## **1.2 Forschung**

Das Thema PV-Anlagen und ihr Einfluss auf die Biodiversität von Gründächern wird in der Studie (Brenneisen, 2016) untersucht. Ohne Fokus auf PV Anlagen gibt es weitere Studien in der Schweiz, welche die Biodiversität auf Gründächern anhand von Laufkäfern untersuchen z.B. in (Brenneisen, 2003), (Kaupp et al. 2004), (Sonja et al. 2017).

## **1.3 Zielsetzung**

Diese Semesterarbeit setzt sich zum Ziel, den Einfluss von Photovoltaik Anlagen auf die Biodiversität von begrünten Flachdächern zu untersuchen. Es wird untersucht, ob die Beschattung der Dachfläche durch die Photovoltaik Panels einen Einfluss auf die Standortbedingungen hat, welche sich wiederum auf die Artenzusammensetzung der Laufkäfer auswirken könnten. Die Beschattung der Panels begünstigen feuchtere Bedingungen, als an anderen Orten, wo die Sonne ungehindert auf das Gründach brennt. Die Standortbedingungen werden anhand von Laufkäfern untersucht, die sich in spezifischen Milieus besonders wohl fühlen mittels hygrophilen (feuchtigkeitsliebenden) und xerophilen (trockenheitsliebenden) Arten. Dazu werden die Laufkäferdaten von Versuchsflächen aus dem Raum Basel ausgewertet. Die Daten stammen von begrünten Flachdächern mit Photovoltaik Anlage, sowie von vergleichbaren Dächern ohne Photovoltaik Anlage. Anhand der Auswertung der Daten soll ein vermuteter positiver Effekt auf die Biodiversität durch die Photovoltaik Anlagen auf den Gründächern gestärkt oder verworfen werden.

## 1.4 Hypothesen

### Hypothese 1

- H0 Auf allen begrünten Dächern mit Photovoltaik Anlage kommen mehr hygrophile Laufkäferarten vor, als auf vergleichbaren Dächern ohne Photovoltaik Anlage.
- H1 Auf keinen begrünten Dächern mit Photovoltaik Anlage kommen mehr hygrophile Laufkäferarten vor, als auf vergleichbaren Dächern ohne Photovoltaik Anlage.
- H2 Mindestens auf der Hälfte der begrünten Dächern mit Photovoltaik Anlage kommen mehr hygrophile Laufkäferarten vor, als auf vergleichbaren Dächern ohne Photovoltaik Anlage.

### Hypothese 2

- H0 Die Anzahl Arten von Laufkäfern ist auf begrünten Dächern mit einer Photovoltaik Anlage grösser als auf vergleichbaren Dächern ohne Photovoltaik Anlage.
- H1 Die Anzahl Arten von Laufkäfern ist auf begrünten Dächern mit einer Photovoltaik Anlage kleiner als auf vergleichbaren Dächern ohne Photovoltaik Anlage.
- H2 Die Anzahl Arten von Laufkäfern ist auf begrünten Dächern mit einer Photovoltaik Anlage gleich gross wie auf vergleichbaren Dächern ohne Photovoltaik Anlage.

### Hypothese 3

- H0 Auf allen begrünten Dächern mit Photovoltaik Anlage kommen mehr Laufkäferarten vor, die auf der Roten Liste der Schweiz, Deutschland oder Baden Württembergs sind, als auf vergleichbaren Dächern ohne Photovoltaik Anlage.
- H1 Auf allen begrünten Dächern mit Photovoltaik Anlage kommen weniger Laufkäferarten vor die auf der Roten Liste der Schweiz, Deutschland oder Baden Württembergs sind, als auf vergleichbaren Dächern ohne Photovoltaik Anlage.
- H2 Auf allen begrünten Dächern mit Photovoltaik Anlage kommen plus/minus eine Art gleich viele Laufkäferarten vor die auf der Roten Liste der Schweiz, Deutschland oder Baden Württembergs sind, wie auf vergleichbaren Dächern ohne Photovoltaik Anlage.

## 2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel wird auf Dachbegrünungen und im Speziellen auf Dachbegrünungen in Kombination mit Photovoltaik Anlagen eingegangen. Es werden kurz unterschiedliche Systeme vorgestellt und Vor- und Nachteile erläutert. Des Weiteren wird die Familie der Laufkäfer vorgestellt und wie sie im Zusammenhang mit der Beurteilung des Gründaches auf seine Biodiversität stehen.

### 2.1 Dachbegrünungen

Die ersten weltbekannten Dachbegrünungen stammen aus dem 6.Jh. v. Chr., bekannt unter den 'Hängenden Gärten der Seramis' in Babylon. Begrünte Dächer haben besonders an Orten, wo es galt klimatische Einflüsse abzuschirmen, das Haus vor Hitze, Regen, Wind und Sonneneinstrahlung zu schützen, eine lange Tradition. In nordischen Länder wie Island, Norwegen und Schweden wurden die Dächer oft mit Gras- oder Torfsoden bepflanzt. Ähnliche Bauweisen sind auch aus heissen Ländern wie Guatemala und Tansania bekannt. In unseren Breitengraden werden Dachbegrünungen erst seit Beginn der 70er Jahre vermehrt als ökologische, funktionelle und gestalterische Verbesserungen des Wohn- und Arbeitsumfeldes wahrgenommen (A. Beins-Franke & Heeb, 1995). Der ökologische Mehrwert rückt jedoch erst Ende der 90er in den Vordergrund. Durch die zunehmende Verstädterung gehen immer mehr Vegetationsflächen verloren, welche einen Kühleffekt durch Verdunstung auf das städtische Klima haben. Durch die Etablierung von begrünten Flachdächern auf dem Bau gewinnen die ökologischen Massnahmen in der Stadtplanung an Bedeutung. Viele kommunale Baugesetze in der Schweiz beinhalten, dass das Begrünen von Flachdächern vorgeschrieben ist, um den menschlichen Eingriff in den Naturhaushalt durch Bauten möglichst klein zu halten (Brenneisen, 2003).

In der Praxis können Dachbegrünungen generell in drei Begrünungsarten unterteilt werden: In Extensivbegrünung, Einfache Intensivbegrünung und Intensivbegrünung (Tabelle 1) (Ansel & Reidel, 2012).

Tabelle 1: Übersicht Begrünungsarten abgeändert nach (Ansel &amp; Reidel, 2012)

Begrünungsarten im Vergleich			
	Extensivbegrünung	Einfache Intensivbegrünung	Intensivbegrünung
<b>Pflegeaufwand</b>	gering	mittel	hoch
<b>Zusatzbewässerung</b>	nein	periodisch	regelmässig
<b>Pflanzengesellschaften</b>	Moos-/Sedum- bis Gras-/Kraut- Begrünung	Gras-/Kraut- bis Gehölz- Begrünung	Rasen oder Stauden bis Sträucher und Kleinbäume
<b>Aufbaudicke</b>	6-12 cm	12-20 cm	20-65 cm
<b>Gewicht</b>	60-150 kg/m <sup>2</sup>	150-300 kg/m <sup>2</sup>	300-1000 kg/m <sup>2</sup>
<b>Kosten</b>	gering	mittel	hoch
<b>Nutzung</b>	Ökologischer Schutzbelag	Gestaltete Begrünung	Gepflegte Gartenanlage
<b>Bild</b>			

## 2.2 Dachbegrünung mit Photovoltaik Anlage

Stehen Dachbegrünungen in Konkurrenz zu PV-Anlagen?

Man könnte meinen, dass Pflanzen auf dem Dach eher schwer kombinierbar sind mit einer PV-Anlage, da sie wachsen, Schatten geben und so Ertragseinbussen für die Anlage verursachen. Wenn in der Planung und beim Bau nicht aufgepasst wird, können hohe Unterhaltskosten entstehen, sodass sich die PV-Anlage nicht mehr rentiert (Jaus, 2015). Der Markt bietet heute eine breite Palette an Lösungen an, um das Potenzial der Kombination von PV-Anlagen und Dachbegrünungen ausnützen zu können, sodass die Unterhaltskosten im Rahmen bleiben. Eine gute Planung ist jedoch unabdingbar.

## Systeme

Es gibt unterschiedliche Systeme, wie eine PV-Anlage mit einem Gründach kombiniert werden können. Bei allen Systemen hat sich durchgesetzt, dass die Aufständering der Solarmodule die Dachabdichtung nicht durchdringt.

System 1: Die Module werden hoch aufgeständert und der Fuss der Aufständering mit dem Substrat für die Dachbegrünung beschwert (Abbildung 1). Die Beschwerung ist notwendig, weil die aufgeständerten Module mehr Windangriffsfläche bieten (Hächler, 2003). Die Pflanzen können sich bei diesem System gut entfalten, jedoch ist der Energieertrag pro Dachfläche um etwa einen Drittel kleiner als bei System 2. Es kommt zudem zu einem erhöhten Montageaufwand, wenn das System 1 auf ein bestehendes Dach installiert wird, da dies zur Folge hat, dass sämtliches Substrat umgeschaufelt werden muss. („PV & Dachbegrünung | VESE“, 2015)



Abbildung 1: System 1 von BauderSOLAR, der Fuss wird mit Substrat beschwert (Bauder, 2017).

System 2: Die Module werden auf eine vollflächige Abdeckung aus Blech montiert (Abbildung 2). Unter dem Modulfeld befindet sich ein durchwuchsfestes Flies. Diese Konstruktion hat eine geringe Dachauflast und schützt die Panels vor Pflanzenwuchs. Die Begrünung ist jedoch nur noch in Randbereichen möglich und die Retentionsfunktion kann beeinträchtigt sein („PV & Dachbegrünung | VESE“, 2015).



Abbildung 2: System 2 vollflächige Unterkonstruktion aus Blech für die Solarmodule („PV & Dachbegrünung | VESE“, 2015).

System 3 (in Entwicklung): Es wird an einem System geforscht, bei dem Bi-faciale Photovoltaik Module senkrecht aufgeständert werden (Abbildung 3). Diese Konstruktion würde den Pflanzen genug Raum lassen um zu wachsen gleichzeitig wäre eine einfache Pflege des Gründaches möglich. Ob mit einer solchen Anlage ähnliche Energieerträge wie mit einer Anlage mit Südausrichtung erzielt werden können, wird noch erforscht. („PV & Dachbegrünung | VESE“, 2015)



Abbildung 3: System 3 (in Entwicklung) senkrecht aufgeständertes Bi-faciales Photovoltaik Modul („PV & Dachbegrünung | VESE“, 2015).

### Mehr Energie Ertrag?

Eine Vielzahl von Studien zeigt, dass der Energieertrag von Photovoltaik Panels über einem begrünten Dach grösser sein kann, als über einem normalen Dach ohne Begrünung. In der Studie von (Ogaili & Sailor, 2016) konnte ein Energie Mehrertrag von 0.8-1.2% nachgewiesen werden und die Untersuchung von (Hui & Chan, 2011) aus Hongkong zeigte ein Mehrertrag von 8.3%. Diese Resultate wurden jedoch aus kleinen Versuchsanlagen gewonnen, die nur sehr bedingt den Bedingungen in der Praxis entsprechen. Eine Studie von der ZHAW in Winterthur, die eine Versuchsanlage im grösseren Massstab (Abbildung 4) betreibt zeigt, dass die Temperaturunterschiede im Bereich von +/-1.8°C liegen, was einem berechneten

Energiemehrertrag von  $\pm 0.7\%$  entspricht. Diese  $\pm 0.7\%$  mehr Energie Ertrag liegen jedoch in der Ungenauigkeit der Messtoleranz (Baumann et al., 2016). Dies zeigt wie schwierig es ist, den Ertrag von mehr Energie nachzuweisen. Die Überlegung hinter diesen Versuchen ist, da die Leistung herkömmlicher Solarpanels Temperatur abhängig ist, dass die Substratschicht mit der Vegetation durch die Verdunstung von Wasser einen kühlenden Effekt hat. Zusätzlich sind die Solarpanels über einer Dachbegrünung meist höher aufgeständert (System 1 und 3) als herkömmliche Anlagen, was eine bessere Luftzirkulation ermöglicht, dies hat wiederum auch eine kühlende Wirkung. (Ogaili & Sailor, 2016)



Abbildung 4: Versuchsanlage der ZHAW in Winterthur mit einer Leistung von 72kWp (Baumann et al., 2016)

### Probleme mit Kombination

In der Praxis trifft die Kombination von Photovoltaik und Gründach oft auf Ablehnung, weil es genügend Beispiele gibt, bei denen Fehler passiert sind wegen mangelnder Planung. Eine zu dicke Substratschicht kann zu übermäßigem Pflanzenwachstum führen, welche dann Schatten werfen und so den Energieertrag verringern. Die Pflanzen müssen dann ein bis zweimal im Jahr entfernt werden, was zu einem hohen Pflegeaufwand führt, der oft sehr teuer ist („PV & Dachbegrünung | VESE“, 2015).

## 2.3 Laufkäfer

Die Familie der Laufkäfer (Carabidae) unter der Ordnung siehe Abbildung 5 der Käfer enthält weltweit über 26'000 Arten („Fauna Europaea : Taxon Tree“, 2013). In der Schweiz sind 523 Arten bekannt (Luka, 2009). Es ist schwierig, zu den Käfern allgemeingültige Aussagen zu formulieren, weil sich die Käfer allgemein wie auch die Laufkäfer in ihrer Entwicklungsgeschichte sehr unterschiedliche Fähigkeiten angeeignet haben. Dies ermöglicht ihnen alle möglichen ökologischen Nischen zu besiedeln. Viele haben sich auf einen Lebensraum, eine Pflanze oder ein Beutetier spezialisiert. (Harde, Severa, & Möhn, 1988)

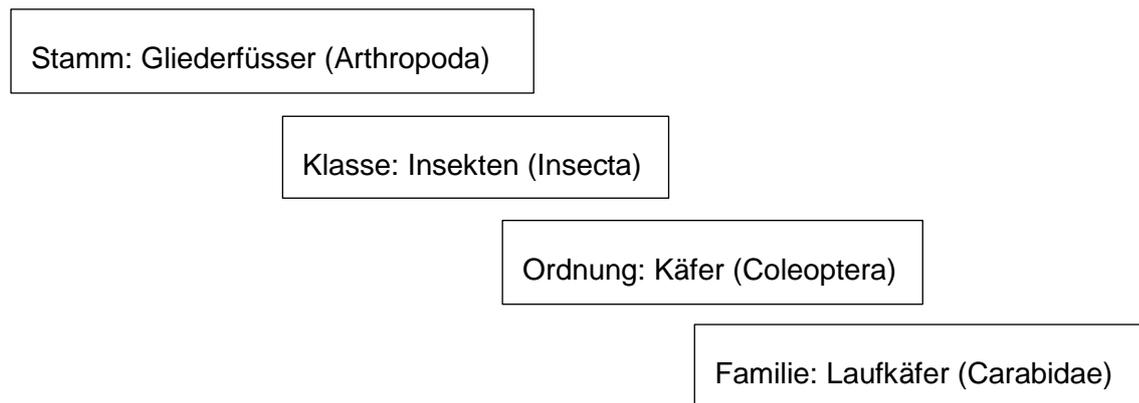


Abbildung 5: Systematik der Laufkäfer („Fauna Europaea : Taxon Tree“, 2013)

### Lebensweise

Die Laufkäfer können eingeteilt werden in brachyptere, nicht flugfähige Arten, die zurückgebildete Flügel haben und macroptere, flugfähige Arten mit entwickelten Flügeln sowie dimorphe Arten, bei denen beides vorkommen kann (Sieren, 1998). Die meisten Laufkäfer in der Schweiz sind jedoch flugfähig und können sich somit gut ausbreiten, weshalb sie auch auf Dächern auffindbar sind. Ein Grossteil ist nachtaktiv, es gibt aber auch Arten, die ihre Aktivität jahreszeitabhängig macht. Laufkäferweibchen legen Eier, aus denen Larven schlüpfen, die sich verpuppen und dann zu Imagines entwickeln. Ein Weibchen kann vier bis mehrere hundert Eier legen. Die Imagines ernähren sich omnivor. Es gibt jedoch viele, die sich hauptsächlich räuberisch ernähren. Über die Ernährung der Larven ist wenig bekannt („Fauna Europaea : Taxon Tree“, 2013).

### Lebensraum

Durch ihre vielen unterschiedlichen Fähigkeiten und Anpassungen kommen die Laufkäfer in allen möglichen Lebensraumkategorien vor. Einige Arten sind eng an Wasser gebunden und benötigen viel Feuchtigkeit zum Überleben wie z. B. der Ufer-Laufkäfer (*Carabus clatratus*), der in Feuchtgebieten und an Ufern anzutreffen ist. Andere wiederum kommen mit sehr trockenen

Bedingungen aus wie der Erz-Kanalkäfer (*Amara aenea*), der auf sehr trockenen Böden in ganz Mitteleuropa lebt (Harde et al. 1988).

## **2.4 Bioindikator**

Ein Bioindikator ist ein Lebewesen oder eine Gemeinschaft von Lebewesen, mit deren Vorkommen oder bei deren Fehlen in einem Lebensraum (Biotop) innerhalb Grenzen bestimmte Faktorenverhältnisse angezeigt werden, z.B. Stickstoffreichtum, Feuchtigkeit, Licht, Wärme oder Luftverschmutzung. Mit diesen Zeigerarten/Indikatororganismen können Messungen und Untersuchungen gespart werden, die sonst über eine längere Zeiträume durchgeführt werden müssten. (Schaefer, 2012) Es wird zwischen wertfreien Indikatoren, welche den Zustand und die Klassifikation anzeigen und Ziel- und Wertindikatoren unterschieden, welche in der Bewertung von Naturschutzgebieten zum Einsatz kommen (Bräunicke & Trautner, 2002).

## **2.5 Bioindikation anhand von Carabidae**

Für die Beurteilung der Standortbedingungen und der Biodiversität auf einem begrünten Dach mit oder ohne PV-Anlage benötigt es einen geeigneten Bioindikator. Die Laufkäfer (Carabidae) sind hervorragende ökologische Bioindikatoren und eignen sich gut für naturschutzrelevante Untersuchungen sowie zur Feststellung der Biodiversität in einem Gebiet (Werner A. Marggi, 1992). Die grosse Anzahl an Individuen und dem Umstand, dass sie einfach mit reproduktiven Methoden zu fangen sind, macht sie zu idealen Zeigerorganismen. Sofern die taxonomischen Kennwerte der Käfer bekannt sind, können Fragestellungen anhand von diesen beantwortet werden.

Die Angaben für die in der Schweiz vorkommenden Carabiden stützten sich hauptsächlich auf quantitative Interpretationen zufällig verfügbarer Informationen und sind oft wenig differenziert. Die Vorkommen stützen sich jedoch auf umfangreiche repräsentative räumliche Primärdaten. Anhand dieser Daten können aussagekräftige Untersuchungen erstellt werden (Luka, 2009).

### 3 Methoden und Material

Ziel dieser Semesterarbeit ist, Daten über die Laufkäfer Fauna (Carabidae) von verschiedenen Flachdächern auszuwerten. Es gilt aufzuzeigen, wie sich die Artenzusammensetzung und Anzahl Arten unterscheidet bei unterschiedlichen Dachgestaltungen (Dachbegrünung, Dachbegrünung mit Solaranlage). Die Daten wurden von Stephan Brenneisen und seinem Team erhoben und stammen aus den Jahren 2014, 2015 und 2016.

#### 3.1 Material

##### Becherfallen / Barberfallen

Becherfallen wie in Abbildung 6 werden häufig zum Fangen von Käfern verwendet, da mit ihnen quantitative Ergebnisse erzielt werden können (Luka, 2009).



Abbildung 6: (links) Barberfalle auf dem Messe Gebäude mit Vogelschutz. (rechts) Barberfalle auf dem Messe Gebäude ohne Vogelschutz. (Fotos: David Hauswirth Mai 2017)

#### 3.2 Daten Erhebung

Auf den Gründächern wurden pro Standorttyp 10 Becherfallen installiert mit einem Abstand von 5 bis 10m damit sich die Fallen nicht gegenseitig beeinflussen (Brenneisen, 2003). Die Fallen wurden im Rhythmus von zwei Wochen kontrolliert und die gefangenen Insekten eingesammelt. Nach jeder Leerung wurden die Becher der Fallen mit einer Flüssigkeit aufgefüllt, die 10% Essigsäure und ein paar Tropfen Geschirrspülmittel enthielt. Die Essigsäure dient der Konservierung und das Geschirrspülmittel vermindert die Oberflächenspannung der Flüssigkeit, damit die Insekten schnell ertrinken (Brenneisen, 2016). Die Fangperioden dauerten immer vom 1. April bis am 31. Oktober in den jeweiligen Jahren der Untersuchung.

### 3.3 Lage der Untersuchungsstandorte

Für die Untersuchung wurden vier verschiedene Dächer in Basel ausgewählt, auf denen sich einer bis drei Standorttypen befanden siehe Abbildung 7. Wichtig für die Wahl der Gründächer war, dass diese mit einer Photovoltaik Anlage kombiniert wurden.

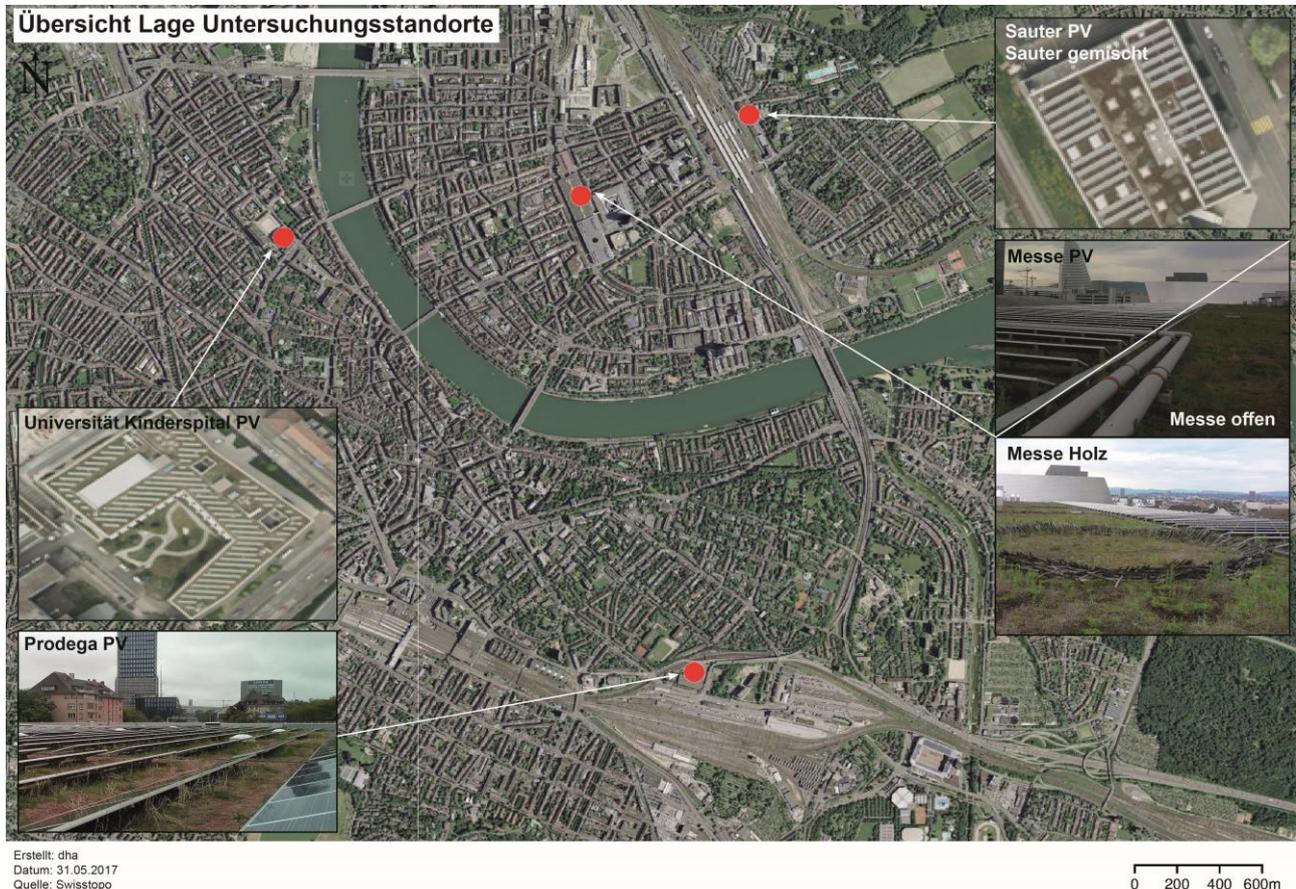


Abbildung 7: Übersichtskarte Standorte Gründächer in Basel (swisstopo, 2017).

### 3.4 Standortbeschriebe

In Tabelle 2 sind zu jedem Standort Faktoren aufgeführt, welche die Habitat Bedingungen auf den begrünten Dächern beeinflussen. Das Jahr der Installation gibt an, wie lange sich die Flora und Fauna auf dem Dach schon entwickeln konnte. Die Flächenangabe in  $m^2$  bestimmt die Grösse des Lebensraums. Die Exposition gibt an, ob das Dach beschattet wird. Die Strukturiertheit zeigt auf, in welchen Massen Strukturen vorhanden sind im Vergleich zu den unterschiedlichen Standorten. Die Vegetation beschreibt die vorherrschende Zusammensetzung der Pflanzen und die durchschnittliche Substratdicke zeigt die potenzielle Wasserspeicherkapazität auf. An allen Standorten befindet sich ein einschichtiges mineralisches Substrat.

Tabelle 2: Nach Standort sind hier Charakteristiken der einzelnen Untersuchungsflächen aufgeführt abgeändert nach (Gerner, 2017).

Standorte	Jahr der Installation	Grösse in (m <sup>2</sup> )	Exposition			Strukturiertheit			Vegetation				Durchschnittliche Substratdicke in (cm)
			sonnig	halb sonnig	schattig	tief	mittel	hoch	Seedum-Kräuter	Moos-Seedum-Kräuter	Sedum-Kräuter-Gras	Kräuter-Gras	
Messe offen	1999	ca.2500	x			x				x			6
Messe PV	1999	ca. 5000		x			x		x				10
Messe Holz	1999	ca. 2700	x				x					x	6.4
Prodega PV	-	ca. 7200	x				x			x			8
Sauter PV	-	ca. 1750	x				x			x			8
Sauter gemischt	-	ca.600	x					x			x		8
Universität Kinderspital PV	1999	ca. 4000		x		x					x		9

### 3.5 Zuweisung der Lebensraumvorlieben

Allen Laufkäferarten wurden eine Lebensraumkategorie-Präferenz und eine Feuchtigkeits-Präferenz zugewiesen. Die Lebensraumkategorie-Präferenz und die Feuchtigkeits-Präferenz wurden dem Buch "Fauna Helvetica Carabidae Ecology – Atlas" entnommen (Luka, 2009). Die Lebensraumkategorien entsprechen den Lebensräumen von (Delarze, Gonseth, & Galland, 1999) aus "Lebensräume der Schweiz". Die Feuchtigkeits-Präferenz ist in die folgenden Kategorien zusammengefasst:

1. xerophil – Bevorzugung von trockenen Standorten
2. mesophil - Bevorzugung von mittleren Umweltbedingungen
3. hygrophil – Bevorzugung von feuchten Standorten

Zusätzlich wurde jeder Art eine Lebensraumvorliebe zugeteilt, die auch eine Feuchtigkeitspräferenz enthält. Diese Lebensraumvorliebe wurde dem Buch "Faunistik der Sandlaufkäfer und Laufkäfer der Schweiz" entnommen (Werner A. Marggi, 1992).

Für die Auswertung der Standort Vorlieben der einzelnen Laufkäferarten wurde nur die Feuchtigkeits-Präferenz nach (Luka, 2009) berücksichtigt. Die Lebensraumvorlieben nach (Werner A. Marggi, 1992) werden in Tabelle 3 als Ergänzung aufgeführt, jedoch nicht für die Auswertung der einzelnen Standortvorlieben der Laufkäfer herbeigezogen.

## 4 Ergebnis

In den Becherfallen wurden insgesamt 1978 Käfer Individuen aus der Familie der Carabiden gefangen. Diese Carabiden konnten 41 verschiedenen Arten zugeteilt werden. In Abbildung 8 sind exemplarisch die vier meist gefangenen Laufkäfer Arten abgebildet. 9 dieser 41 Arten stehen auf einer Roten Liste der Schweiz, Deutschland oder Baden Württembergs (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 (Brenneisen, 2016). Auf die Anzahl der gefangenen Individuen pro Art wird in den Ergebnissen nicht eingegangen, weil sich durch das unterschiedliche Verhalten der Käfer kein repräsentatives Dominanzbild ergeben würde, sondern lediglich das Bild der Aktivitätsdominanz (Gliech, 1992).

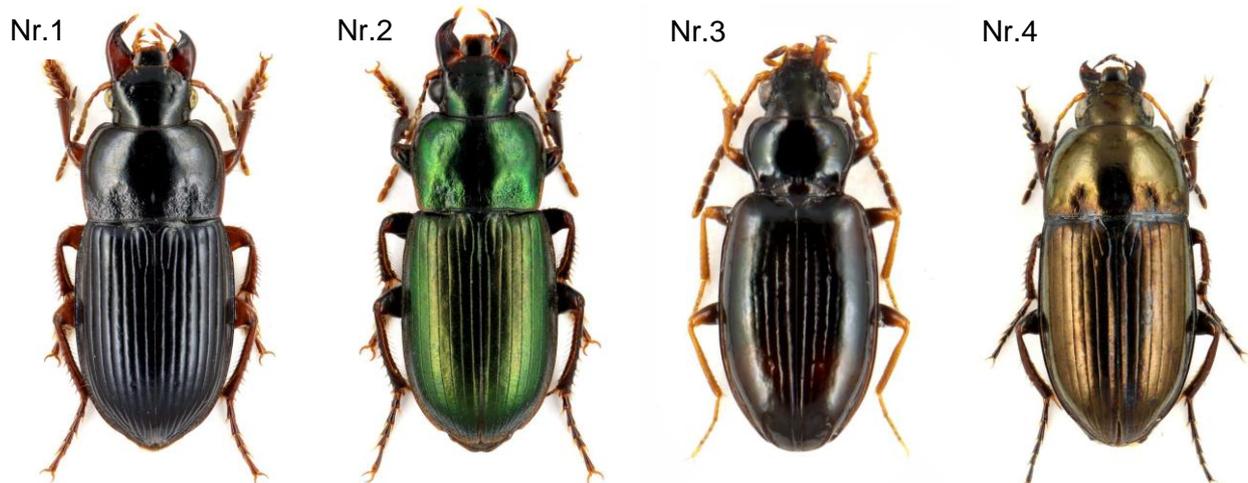


Abbildung 8: Die vier meist gefangenen Laufkäferarten Nr.1 *Harpalus rubripes* 417 Exemplare, Nr.2 *Harpalus affinis* 267 Exemplare, Nr. 3 *Elaphropus parvalus* 262 Exemplare und Nr. 4 *Amara aenae* 218 Exemplare (Götz, 2017).



Tabelle 3: Fortsetzung

Familie der Laufkäfer (Crabidae)		Lebensraumkategorie- Präferenz nach (Luke 2009)	Feuchtigkeits-Präferenz nach (Luke 2009)	Vorlieben nach (Werner A. Marggi 1992)	2014							2015					2016				Summe				
					Messe offen	Messe PV	Messe Holz	Prodega PV	Sauter PV	Sauter gemischt	Universität Kinderspital PV	Messe offen	Messe PV	Messe Holz	Prodega PV	Universität Kinderspital PV	Messe offen	Messe PV	Messe Holz	Universität Kinderspital PV					
Gattung	Art																								
Harpalus	attenuatus Steph.	Ruderalstandorte	steno-xerophil	lebt an xerothermen stellen	1	1	11													5	1	1		22	
Harpalus	distinguendus (Duft.)	Brachen	xerophil	eurytop																		1		1	
Harpalus	progreiens Schaub.	Ufer mit Vegetation, Auenwälder	hygrophil	in lichten Auenwälder	2	9	25						4											40	
Harpalus	rubripes (Duft.)	Trockenrasen und Magerwiesen, Krautsäume und Feldraine / und Ruderalstandorte	mesophil	eurytop, bevorzugt trockene Böden	37	134	115	1	1	1			4	29	9	11				34	13	28		417	
Harpalus	signaticornis (Duft.)	Brachen / und Ruderalstandorte, Getreide	xerophil	keine Angaben			1							2						4	2	19		28	
Harpalus	tardus (Panz.)	Brachen, Krautsäume und Feldraine, Trockenrasen und Magerwiesen / und Wiesen	xerophil	eurytop, wenig xerophil		1	10															15		26	
Loricera	pilicomis (F.)	Raps, Getreide, Kunstwiesen / und Ufer mit Vegetation, Auenwälder	hygrophil	hygrophil, Feld und Uferart																1				1	
Microlestes	minutulus (Goeze)	Krautsäume und Feldraine / und Wiesen	xerophil	xerophil, heliophil	2	1	7						4	3						7	4			28	
Nebria	salina Fairm. & Lab.	Gebüsche, Hecken, gebüschreiche Vorwaldgesellschaften und Waldränder, Kunstwiesen, Getreide	mesophil	offen, mässig feucht		2							2		3									7	
Panagaeus	bipustulatus (Fabricius)	Gebüsche, Hecken, gebüschreiche Vorwaldgesellschaften, Waldränder	xerophil	meist auf recht xerothermen Gelände				1	1															2	
Paradromis	linearis (Olivier)	Gebüsche, Hecken, gebüschreiche Vorwaldgesellschaften, Waldränder, Brachen	mesophil	xerophil bis xerothermophil	2		1																	3	
Paratychus	bistriatus (Duft.)	Gemüseflächen	mesophil	beschattete Böden		1	1	2																4	
Poecilus	cupreus (L.)	Raps	mesophil	eurytop																	1	2		9	
Pseudophonus	rufipes (Degeer)	Brachen, Gebüsche, Hecken, gebüschreiche Vorwaldgesellschaften, Waldränder / und Ruderalstandorte, Kiesgruben, Gemüseflächen, Hackfrüchte und Mais	mesophil	eurytop			1							2									1	5	
Pterostichus	strenuus (Panz.)	Feucht- und Nasswiesen / Auenwälder	hygrophil	hygrophil				1																1	
Pterostichus	vernalis (Panzer)	Brachen, Weiden / und Feucht- und Nasswiesen	mesophil	Eurytop, vorliebe feucht und nasse Böden	1	1	2	16				1	1	1	2	12						1		38	
Stenolophus	teutonius (Schränk)	Brachen	mesophil	Gewässer				1											1				1	4	
Syntomus	foveatus (Geoff. in Fourcr.)	Krautsäume und Feldraine, Wiesen	xerophil	ausgeprägt xerophil	14	26	60				1		7	20	23					18	2	15		186	
Trechus	quadristriatus (Schränk)	Hackfrüchte und Mais	mesophil	eurytop	1					1	2													4	
<b>Total Anzahl Individuen pro Standort</b>					112	278	347	111	109	87	39	63	130	126	163	53	101	67	164	28				1978	
<b>Total Anzahl Arten pro Standort</b>					16	17	21	13	5	10	9	13	10	13	11	9	12	11	21	10					

#### 4.1 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 9). Mesophile Arten kommen an beiden Standorttypen gleich viele vor.

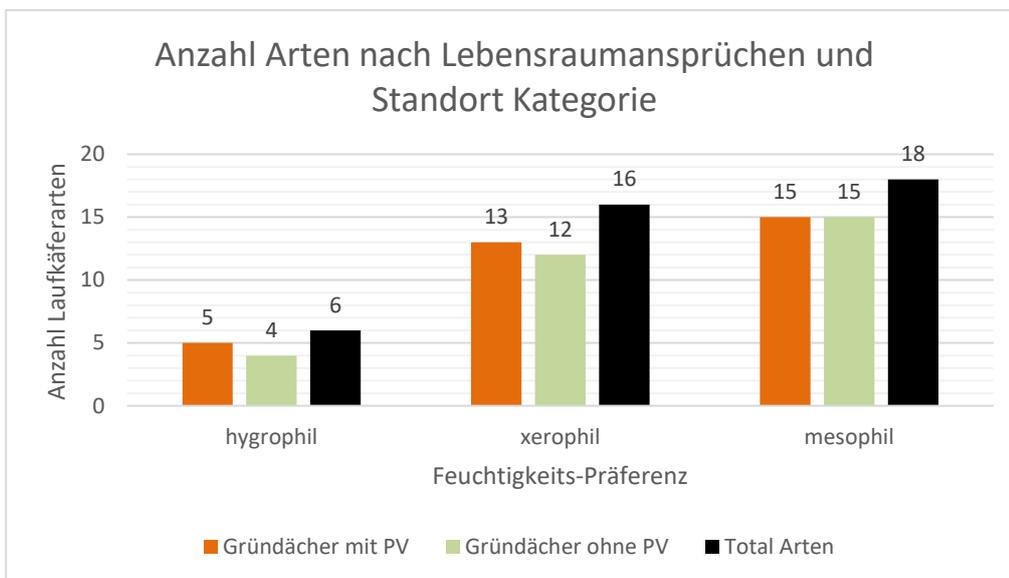


Abbildung 9: Laufkäfer Fänge nach Feuchtigkeits-Präferenz und Standort Kategorie Gründach mit PV-Anlage und Gründach ohne PV-Anlage. Eine Art die nur auf die Gattung bestimmt werden konnte ist hier nicht aufgeführt.

Nicht ersichtlich in Abbildung 9 ist, ob einzelne Käferarten nur auf einem oder beiden Standorttypen vorkommen, diese Information kann Tabelle 3 entnommen werden.

## 4.2 Laufkäfer Fänge nach Standort

Die Anzahl der gefangenen Laufkäferarten variiert stark nach Standort siehe Abbildung 10; 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.

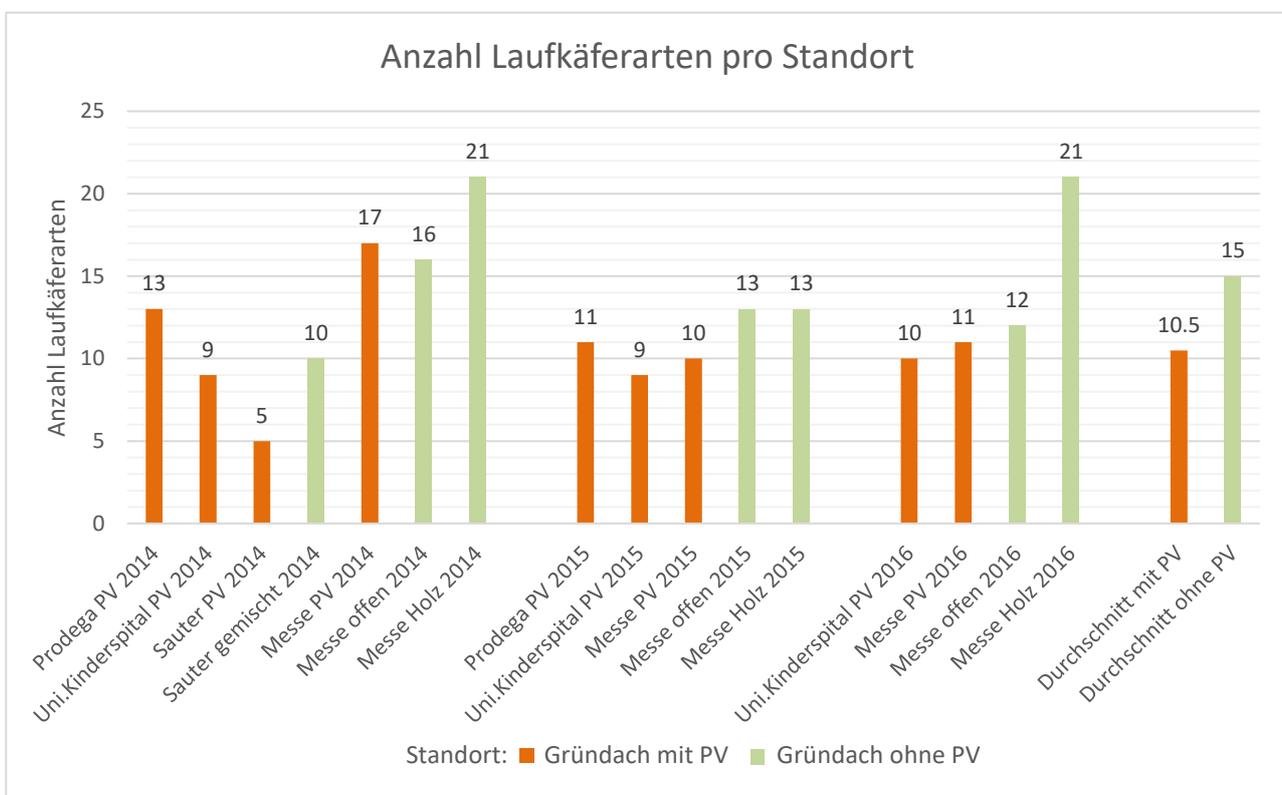


Abbildung 10: Alle Standorte der Untersuchung aufgeteilt in Gründach mit und ohne PV-Anlage über die drei Untersuchungsjahre 2014 bis 2016. Anzahl Laufkäferarten pro Standort.

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. Auf die erhöhte Anzahl Arten beim Standort Messe Holz wird in Kapitel 4.3 eingegangen.

### 4.3 Laufkäfer Fänge nach Feuchtigkeits-Präferenz und Standort auf dem Messe Gebäude

Das Messe Gebäude mit seinen drei Untersuchungsflächen wird an dieser Stelle detaillierter analysiert, da es sich durch die konstante Erhebung der Daten und die unterschiedlichen Standorttypen besonders gut eignet.

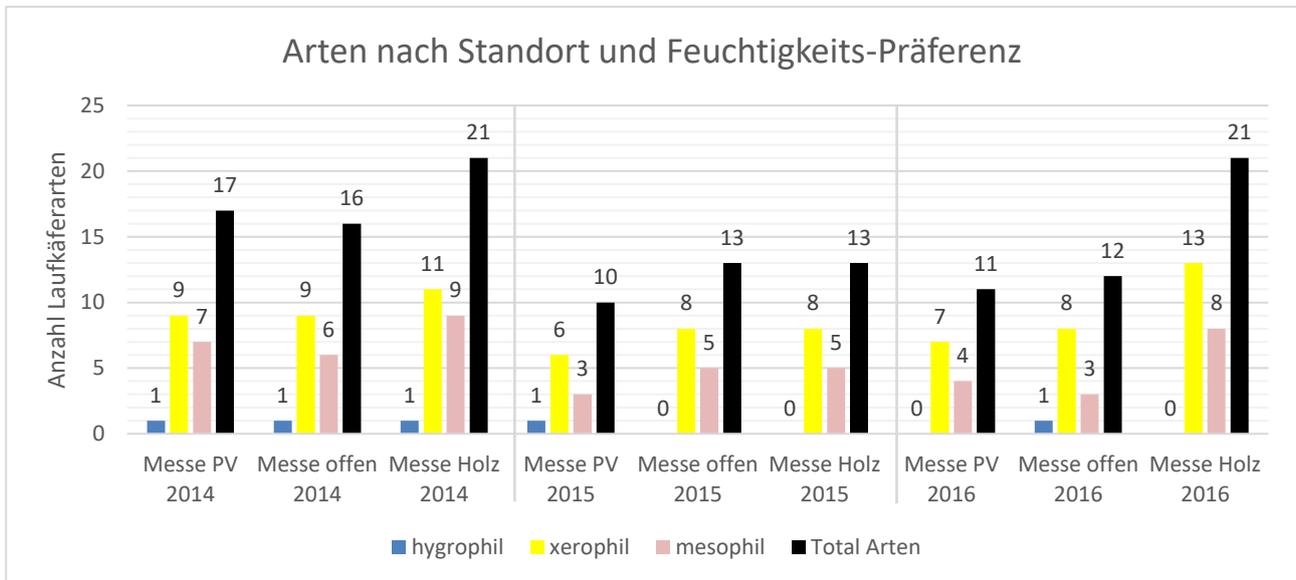


Abbildung 11: Detailauswertung Messe Gebäude über die Jahre 2014 bis 2016 mit Aufteilung der Laufkäferarten nach Feuchtigkeits-Präferenz. Die drei Untersuchten Standorte auf dem Messe Gebäude sind separat aufgelistet nach Messe PV, Messe offen und Messe Holz.

Auf den ersten Blick ist ersichtlich, dass der Standort Messe Holz in den Untersuchungsjahren 2014 und 2016 mit Abstand die höchste Diversität an Arten aufweist. Die Anzahl der hygrophilen Käferarten ist auf dem gesamten Dach des Messe Gebäudes sehr gering. Dies macht eine Aussage zur Frage, ob mehr, weniger oder gleichviele hygrophile Käferarten auf den unterschiedlichen Standorttypen Gründach mit oder ohne PV-Anlage vorkommen sehr schwierig (siehe Abbildung 11). Die xerophilen Käferarten kommen vermehrt auf dem Standorttyp Gründach ohne PV-Anlage vor. Das vermehrte Vorkommen der mesophilen Käferarten variiert von Jahr und Standort und kann somit nicht einem Standorttyp zugeschrieben werden. Im Untersuchungsjahr 2015 wurde an allen Standorten weniger hygro-, xero- sowie mesophile Käferarten gefangen als im Jahr zuvor und danach.

#### 4.4 Anzahl Rote Liste Arten nach Standort

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

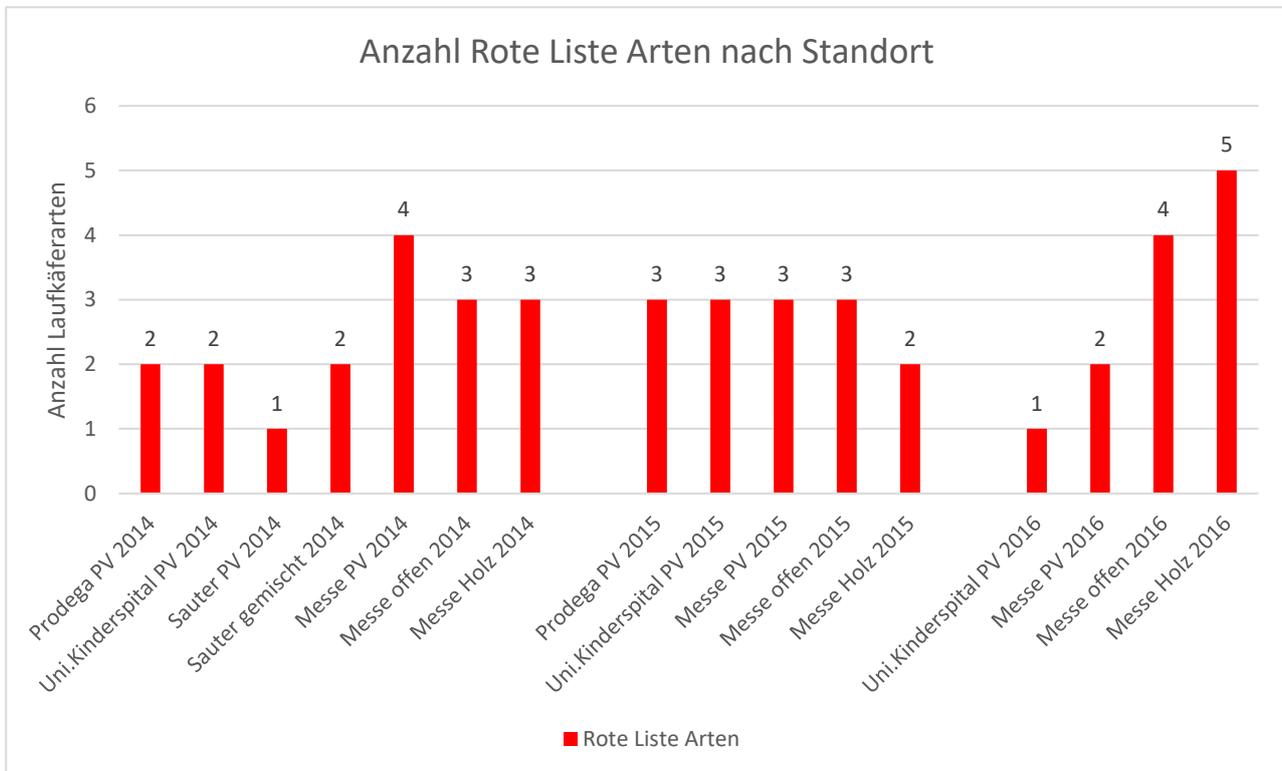


Abbildung 12: Gefährdete Arten die auf einer Roten Liste der Schweiz, Deutschland oder Baden Württembergs stehen nach Standort und Jahr aufgeteilt.

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 wie in Abbildung 10 ersichtlich gesunken, die Anzahl der Rote Liste Arten blieb jedoch konstant zu den Vergleichsjahren siehe Abbildung 12. Ob es auf Gründächern mit Photovoltaik Anlage mehr Rote Liste Arten gibt, als auf Gründächer ohne Photovoltaik Anlage, lässt sich 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. Allgemein ist der Anteil an gefährdeten Arten hoch, betrachtet man die Gesamtartenzahl pro Standort auf Abbildung 10. An einigen Standorten beträgt der Anteil an Rote Liste Arten bis zu 30% an der Gesamtartenzahl z.B. an den Standorten Universität Kinderspital im Jahr 2015 und Messe offen im Jahr 2016.

## 5 Diskussion

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass sich eine Vielzahl von Laufkäferarten auf den begrünten Dächern ansiedeln, darunter auch gefährdete Arten. Der Unterschied der Biodiversität eines Gründaches mit oder ohne Photovoltaik Anlage konnte anhand der Hypothesen aufgezeigt werden. Im folgenden Kapitel werden die einzelnen Hypothesen ausgewertet und kritisch diskutiert.

### 5.1 Überprüfung der Hypothesen

#### Hypothese 1

Die Hypothese 1 H2, wonach mindestens auf der Hälfte der begrünten Dächern mit Photovoltaik Anlage mehr hygrophile Laufkäferarten vorkommen, kann verifiziert werden. 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.

Obwohl die Hypothese 1 H2 verifiziert werden konnte, schmälert die Aussagekraft der Hypothese, dass die Anzahl an gefangenen hygrophilen Laufkäfern sehr klein war. Zudem sind die Angaben über die Feuchtigkeits-Präferenzen der Laufkäfer in unterschiedlicher Literatur verschieden angegeben. In (Luka, 2009) wird z.B. der Laufkäfer *Elaphropus quadrisignatus* (Duft.) als hygrophil bezeichnet, in (Werner A. Marggi, 1992) als eurytop. Diese Diskrepanzen können von unterschiedlichen Beobachtungen oder zu wenig genauen Grunddaten herrühren. Dass die Angaben in der Literatur eher ungenau sind und einer kritischen Betrachtung bedürfen, wurde mir auch vom Käferexperten Dr. Alexander Szallies bestätigt. Eine Möglichkeit, um der Verifizierung der Hypothese mehr Aussagekraft zu verleihen, wäre, sich nicht nur auf die Untersuchung der Laufkäfer zu beschränken sondern noch weitere Familien in die Untersuchung miteinzuschliessen wie in (Brenneisen, 2016). Somit hätte man mehr Arten und Individuen für die Untersuchung.

#### Hypothese 2

Die Hypothese 2 H1, wonach die Anzahl Arten von Laufkäfern auf begrünten Dächern mit einer PV-Anlage kleiner als auf vergleichbaren Dächern ohne PV-Anlage ist kann verifiziert werden. Im Durchschnitt kommen auf Gründächern ohne PV-Anlage 15 Laufkäferarten vor und auf einem Gründach mit PV-Anlage 10.5 Arten.

Die Vergleichbarkeit der Gründächer aufgrund ihres Aufbaues und Alter wurde in dieser Untersuchung vernachlässigt und müsste noch genauer angeschaut werden, damit die externen Faktoren, welche die Anzahl Arten beeinflussen, minimiert werden können. Eine Dachbegrünung mit speziellen Elementen wie Steinhaufen, Totholz oder Hügeln bieten eine strukturreiche Oberfläche. Durch diese Strukturen können mehr Nischen Habitate entstehen, was die Anzahl der

Arten erhöhen kann. Hingegen bietet eine kiesige Oberfläche mit wenig Pflanzen und Futter für die Käfer schlechte Voraussetzungen für eine hohe Arten Zahl. Diese Faktoren erschweren einen Vergleich der ausgewählten Dächer mit und ohne PV-Anlage.

### **Hypothese 3**

Die Hypothese 3 H2, wonach auf allen Gründächern mit oder ohne PV-Anlage plus/minus eine Art gleich viele Arten vorkommen, die auf einer Roten Liste der Schweiz, Deutschland oder Baden Württembergs sind kann verifiziert werden. In Kapitel 4.4 in Abbildung 12 ist ersichtlich das es keine deutlichen Unterschiede gibt in der Anzahl Rote Liste Arten auf einem Gründach mit oder ohne PV-Anlage.

Erstaunlich ist, dass auf fast allen begrünten Dächern mehrere Rote Liste Arten vorkommen. Diese Tatsache gibt den begrünten Dächern mit oder ohne PV-Anlage schon einen erheblichen ökologischen Wert. Im Gegensatz zur Anzahl Arten, ist die Anzahl Rote Liste Arten nicht kleiner auf einem Gründach mit PV-Anlage.

Die Häufung von Rote Liste Arten könnte möglich sein, weil Gründächer Lebensräume bieten, die in der Natur immer seltener werden wie z.B. trockene extensive Standorte. Durch die intensive Nutzung der Naturräume gehen solche immer mehr verloren.

### **Diskussion Methode**

Die Methode der Untersuchung anhand eines Bioindikators wie den Carabiden hat seine Vorteile darin, dass diese Methode schon bei vielen Untersuchungen angewendet wurde und somit erhobene Daten verglichen werden können. Wenn die Kontrollen der Fallen regelmässig und zuverlässig durchgeführt werden, können solide Daten erhoben werden. Krähen und andere Tiere können die Erhebung der Daten beeinflussen und müssen durch Schutzmassnahmen an der Störung der Fallen gehindert werden. Ein weiterer nicht beeinflussbarer Faktor ist das Wetter welches durch starke Niederschläge die Fallen zum Überlaufen bringen und damit die erhobenen Werte beeinflussen kann.

### **Der Einfluss von Photovoltaik Anlagen auf Gründächern**

Die Biodiversität auf Dachbegrünungen hängt von vielen unterschiedlichen Faktoren ab. In Abbildung 13 werden diese in einer Grafik dargestellt. Eine Photovoltaik Anlage ist nur ein Faktor unter der Rubrik Strukturen, welcher die Biodiversität auf Gründächern beeinflusst. Jeder Faktor hat jedoch seine Berechtigung und muss bei einer Untersuchung berücksichtigt werden, damit vergleichbare Werte von unterschiedlichen Dächern entstehen. Der Einfluss einer Photovoltaik Anlage darf jedoch auch nicht unterschätzt werden. Die Schatten spendenden Panels können das Mikroklima sehr wohl beeinflussen und somit unterschiedliche Standorte schaffen.

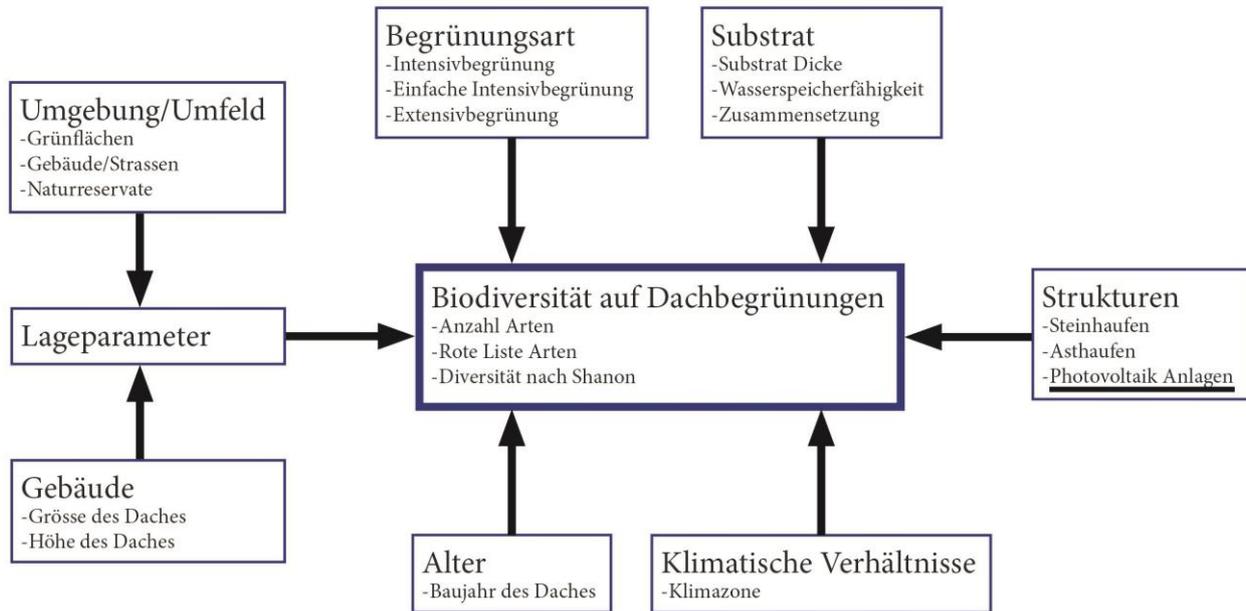


Abbildung 13: Einflüsse, die die Biodiversität auf einem Gründach beeinflussen und bei einer Beurteilung berücksichtigt werden müssen.

Der in der Zielsetzung vermutete positive Effekt auf die Biodiversität von Gründächern mit PV-Anlage kann teilweise gestärkt, jedoch in einem Punkt auch verworfen werden. Mehr hygrophile Arten kommen auf begrüntem Dächern mit PV-Anlage vor, hingegen ist die gesamtarten Anzahl tiefer in dieser Untersuchung. Eine höhere Gewichtung der externen Faktoren wie in Abbildung 13 aufgeführt, könnten dieses Ergebnis verändern. Weiter könnte die Auswertung aller gefangenen Käfer das Resultat von Hypothese 1 stärken. In dieser Untersuchung wurden als Bioindikator nur die Carabiden untersucht.

Der Einfluss einer PV-Anlage auf die Biodiversität anhand eines Bioindikators zu untersuchen, könnte bei einer weiterführenden Untersuchung noch mit physikalischen Untersuchungsparametern ergänzt werden. Die Temperatur am Boden und der Feuchtigkeitsverlauf im Boden könnten zusätzlich erfasst und verglichen werden. Diese Daten gäben einen weiteren Aufschluss über den Einfluss einer PV-Anlage auf einem Gründach. Die Machbarkeit und der Aufwand einer solchen zusätzlichen Datenerhebung müsste noch abgeschätzt werden.

## 6 Literaturverzeichnis

### Bücher

- A. Beins-Franke, & Heeb, J. (1995). Begrünte Dächer: ökologische Nischen und Ausgleichsflächen im Siedlungsraum unter besonderer Berücksichtigung der Extensivbegrünung (Bd. Nr. 216: Gewässerschutz Landschaftsschutz). Bern: BUWAL.
- Ansel, W., & Reidel, P. (2012). Moderne Dachgärten - kreativ und individuell: das Praxisbuch zur Dachbegrünung. München: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Bräunicke, M., & Trautner, J. (2002). Die Laufkäfer der Bodenseeufer: Indikatoren für naturschutzfachliche Bedeutung und Entwicklungsziele (Bd. Band 9). Bern: Haupt.
- Delarze, R., Gonseth, Y., & Galland, P. (1999). Lebensräume der Schweiz: Ökologie, Gefährdung, Kennarten. Thun: Ott.
- Harde, K. W., Severa, F., & Möhn, E. (1988). Der Kosmos-Käferführer: die mitteleuropäischen Käfer ([3. Aufl.] / [überarb. und erw. von Edwin Möhn]). Stuttgart: Franckh.
- Luka, H. (2009). Coleoptera, Carabidae: ecology - atlas (Bd. 24). Neuchâtel: Centre Suisse de Cartographie de la Faune.
- Schaefer, M. (2012). Wörterbuch der Ökologie (5. neu bearb. und erweiterte Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Werner A. Marggi. (1992). Faunistik der Sandlaufkäfer und Laufkäfer der Schweiz: (Cicindelidae & Carabidae), Coleoptera : unter besonderer Berücksichtigung der „Roten Liste“ (Bd. 13). Neuchâtel: Centre Suisse de Cartographie de la Faune.

### Gesetze/Verordnungen

- Bau- und Planungsgesetz (BPG) der Stadt Basel, Pub. L. No. 730.100 (1999).
- Bau- und Zonenordnung der Stadt Zürich, Pub. L. No. 700.100 (1991).
- Bau- und Zonenreglement der Stadt Solothurn, Pub. L. No. 711 (2016).

Energiegesetz (EnG), Pub. L. No. 730.0 (2017).

## **Berichte**

Baumann, T., Schär, D., Carigiet, F., Dreisiebner, A., & Baumgartner, F. (2016, Juni). Performance analysis of PV green roof systems.

Brenneisen, S. (2016). Potential zur Förderung der Biodiversität durch Solar Gründächer (Zwischenbericht).

Gerner, M. (2017). Green Roof Biodiversity Assessment Ground nesting beetles as indicator species for estimating green roof habitat potential. Manuscript forwarded.

Hächler, R. (2003, August 1). Kombination eines begrünten Flachdachs mit einer Photovoltaik Anlage. Bundesamt für Energie.

Hui, S. C., & Chan, S. C. (2011). Integration of green roof and solar photovoltaic systems. In Joint symposium (S. 1–12). Abgerufen von [https://web.hku.hk/~cmhui/JS-2011-samhui\\_fullpaper01.pdf](https://web.hku.hk/~cmhui/JS-2011-samhui_fullpaper01.pdf)

Kaupp, A., Brenneisen, S., Klausnitzer, B., & Nagel, P. (2004). Eco-faunistic characteristics of the beetle fauna of vegetated roofs (Insecta: Coleoptera).

Ogaili, H., & Sailor, D. J. (2016). Measuring the Effect of Vegetated Roofs on the Performance of Photovoltaic Panels in a Combined System. *Journal of Solar Energy Engineering*, 138(6), 061009.

Sieren, E. (1998, Dezember 7). Dokumentation, Bewertung und Beurteilung von Maßnahmen zur Renaturierung von Magerrasen anhand der Zusammensetzung und Dynamik von Laufkäferzönosen (Coleoptera: Carabidae). Technische Universität München, München.

Sonja, B., Brenneisen, S., Chittaro, Y., Gerner, M., Moretti, M., Obrist, M. K., ... Szallies, A. (2017). Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) communities of green roofs in Switzerland: synthesis and perspectives. Manuscript forwarded.

UVEK. (2017). Faktenblatt: Förderung der erneuerbaren Energien.

**Dissertation**

Brenneisen, S. (2003). Ökologisches Ausgleichspotenzial von extensiven Dachbegrünungen: Bedeutung des Ersatz-Ökotops für den Arten- und Naturschutz und die Stadtentwicklungsplanung. Geographisches Institut der Universität Basel, Basel.

**Internet**

Bauder, P. (2017, Februar). Photovoltaik für Gründächer | Systemlösungen von Bauder. Abgerufen 3. Juni 2017, von <http://www.bauder.de/de/photovoltaik/pv-system-fuer-gruendaecher.html>

Fauna Europaea : Taxon Tree. (2013, August 29). Abgerufen 8. Mai 2017, von [http://fauna.naturkundemuseum-berlin.de/taxon\\_tree.php?id=0,1,54070,2,3,4,10993,11003,11004,11013](http://fauna.naturkundemuseum-berlin.de/taxon_tree.php?id=0,1,54070,2,3,4,10993,11003,11004,11013)

Gliech, M. (1992, Oktober). Untersuchung zur Faunistik und Ökologie der Laufkäfer im LSG Briesetal und im NSG Langes Luch. Abgerufen 31. Mai 2017, von <http://www.uniterra.de/diplom/05.html>

Götz, T. (2017, April 25). Laufkäferkartierung Landkreis Konstanz. Abgerufen 31. Mai 2017, von <http://www.tkgoetz.homepage.t-online.de/Laufkaefer.html>

Kruse, J. (2010). Gründach und Photovoltaik. Abgerufen 3. Mai 2017, von <http://www.architekturbuero.kruse.de/index.php/photovoltaik/106-gruendach-und-photovoltaik>

PV & Dachbegrünung | VESE. (2015, April). Abgerufen 4. Mai 2017, von <http://www.vese.ch/pv-dachbegruenung/>

**Vortrag**

Jaus, B. (2015, April). Tecton Pflegeintensive PV-Dächer.

## Abbildungsverzeichnis

Titelbild: Dach Messegebäude in Basel Foto: David Hauswirth, Mai 2017	
Abbildung 1: System 1 von BauderSOLAR, der Fuss wird mit Substrat beschwert (Bauder, 2017).	6
Abbildung 2: System 2 vollflächige Unterkonstruktion aus Blech für die Solarmodule („PV & Dachbegrünung   VESE“, 2015).....	7
Abbildung 3: System 3 (in Entwicklung) senkrecht aufgeständertes Bi-faciales Photovoltaik Modul („PV & Dachbegrünung   VESE“, 2015). .....	8
Abbildung 4: Versuchsanlage der ZHAW in Winterthur mit einer Leistung von 72kWp (Baumann et al., 2016).....	9
Abbildung 5: Systematik der Laufkäfer („Fauna Europaea : Taxon Tree“, 2013) .....	10
Abbildung 6: (links) Barberfalle auf dem Messe Gebäude mit Vogelschutz. (rechts) Barberfalle auf dem Messe Gebäude ohne Vogelschutz. (Fotos: David Hauswirth Mai 2017) .....	12
Abbildung 7: Übersichtskarte Standorte Gründächer in Basel (swisstopo, 2017). .....	13
Abbildung 8: Die vier meist gefangenen Laufkäferarten Nr.1 Harpalus rubripes 417 Exemplare, Nr.2 Harpalus affinis 267 Exemplare, Nr. 3 Elaphropus parvalus 262 Exemplare und Nr. 4 Amara aenae 218 Exemplare (Götz, 2017). .....	15
Abbildung 9: Laufkäfer Fänge nach Feuchtigkeits-Präferenz und Standort Kategorie Gründach mit PV-Anlage und Gründach ohne PV-Anlage. Eine Art die nur auf die Gattung bestimmt werden konnte ist hier nicht aufgeführt. ....	18
Abbildung 10: Alle Standorte der Untersuchung aufgeteilt in Gründach mit und ohne PV-Anlage über die drei Untersuchungsjahre 2014 bis 2016. Anzahl Laufkäferarten pro Standort. ....	19
Abbildung 11: Detailauswertung Messe Gebäude über die Jahre 2014 bis 2016 mit Aufteilung der Laufkäferarten nach Feuchtigkeits-Präferenz. Die drei Untersuchten Standorte auf dem Messe Gebäude sind separat aufgelistet nach Messe PV, Messe offen und Messe Holz.....	20
Abbildung 12: Gefährdete Arten die auf einer Roten Liste der Schweiz, Deutschland oder Baden Württembergs stehen nach Standort und Jahr aufgeteilt.....	21
Abbildung 13: Einflüsse, die die Biodiversität auf einem Gründach beeinflussen und bei einer Beurteilung berücksichtigt werden müssen. ....	24

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Übersicht Begrünungsarten abgeändert nach (Ansel & Reidel, 2012) .....	5
Tabelle 2: Nach Standort sind hier Charakteristiken der einzelnen Untersuchungsflächen aufgeführt abgeändert nach (Gerner, 2017) .....	14
Tabelle 3: 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 Württemburgs. Ergänzend sind Angaben über Feuchtigkeits-Präferenz und Lebensraumkategorie- Präferenz aufgeführt. ....	16