

Ⓟ *Auswirkungen von Gründach-  
anlagen auf den Energieertrag von  
Photovoltaikanlagen*

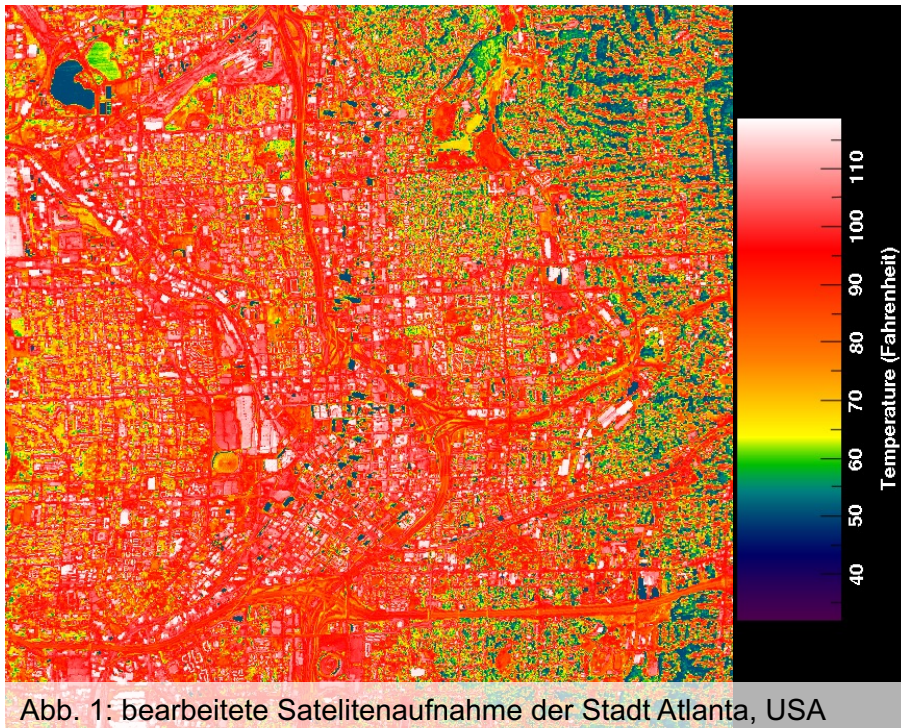
*Wilhelm Oswald – Projektmanager*

*Mieterstrom*

**polarstern**

p

## Hintergrund: Die grundsätzlichen Herausforderungen



- Klimatische Herausforderungen:
  - „Heat Island Effect“ führt zu hohen (innerstädtischen) Temperaturen
  - Regenwassermanagement notwendig aufgrund versiegelter Flächen
- Energetische Herausforderungen:
  - Hohe Konzentration an Letztverbrauchenden
  - Wenig Fläche und Möglichkeiten erneuerbarer Erzeugungsanlagen



## Hintergrund: Lösungsmöglichkeiten



Abb. 2: Gründach der Konrad-Celtis-Schule, München



Abb. 3: Photovoltaikanlage auf dem Dach der Konrad-Celtis-Schule, München

- Optimale Nutzung der Flächen zur Begegnung der Herausforderungen:
  - **Gründachanlagen** verbessern das Stadtklima
  - **Photovoltaikanlagen** erzeugen die Energie da, wo sie verbraucht wird
- Kombination der Technologien lange Zeit umstritten, aber mittlerweile problemlos möglich

p

## Vorgehensweise: Definition der Parameter – Temperatur

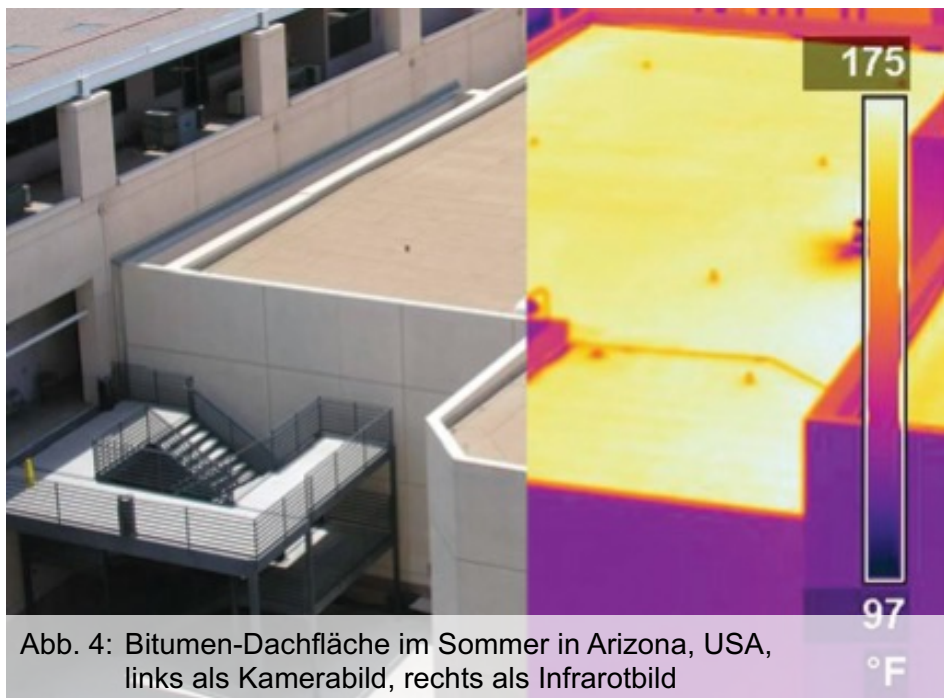


Abb. 4: Bitumen-Dachfläche im Sommer in Arizona, USA, links als Kamerabild, rechts als Infrarotbild

- Kies- oder Bitumendächer erreichen unter Sonneneinstrahlung hohe Oberflächentemperaturen von bis zu 90°C
- Umgebungstemperatur bei Testbedingungen von Solarzellen betragen 25°C
- Ausgangsleistung von Photovoltaikmodulen sinkt mit steigender Temperatur bei Mehrzahl der Solarzellentechnologien





## Vorgehensweise: Definition der Parameter – Staubkonzentration / Albedowert



Abb. 5: Staubablagerung auf einem Photovoltaikmodul

- Erhöhte Feinstaubkonzentration in urbanen Regionen
- Staublagerungen auf Photovoltaikanlagen führen zu schlechtem Reflexionsverhalten und somit geringerer Ausgangsleistung
- Albedowert des Daches wirkt sich auf die Schwachlichtstrahlung aus
- Reflexionen des Daches ermöglichen intensivere Einstrahlungswerte

p

## Ergebnisse: Einfluss des Gründachs – Temperatur

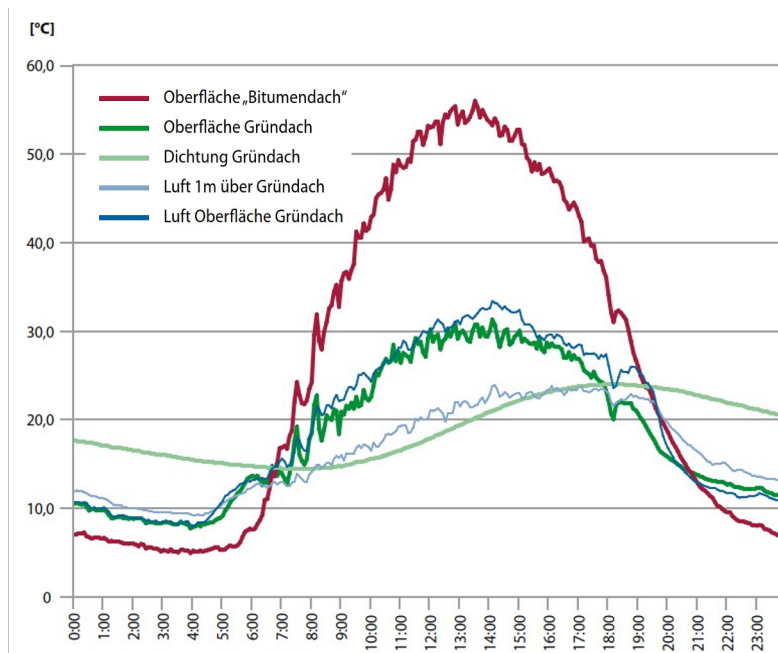
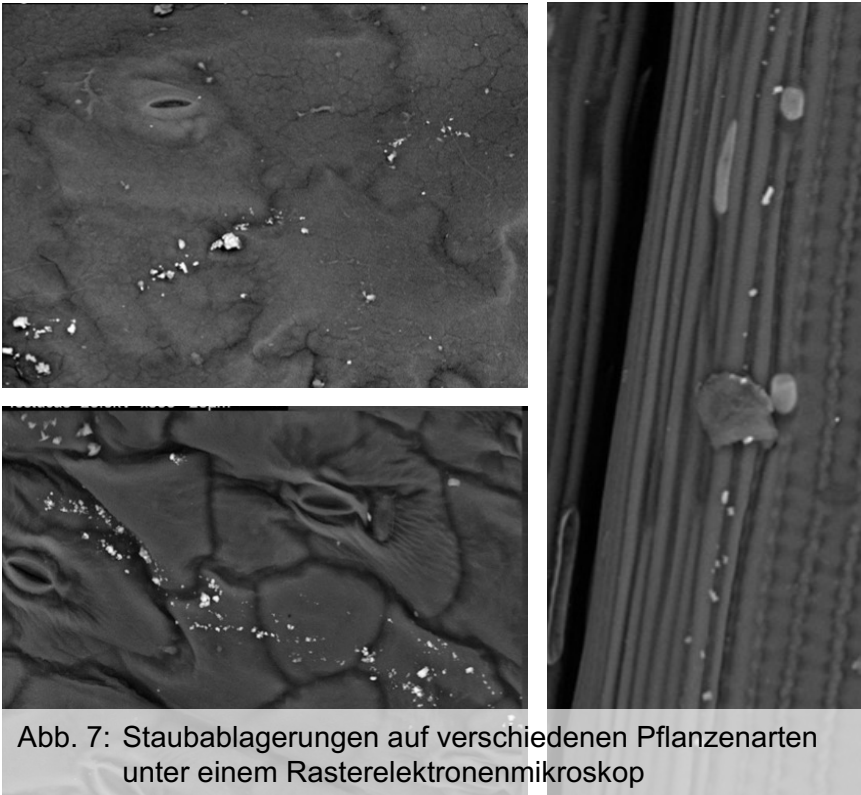


Abb. 6: Temperaturverlauf von einem Grün- und Bitumendach auf der Ufa-Fabrik in Berlin

- Beeinflussung der Temperatur durch biologische und physikalische Prozesse der Pflanzen
- Maßgeblich ist die Evapotranspiration der Pflanzen
- Dieser Prozess entzieht der Umgebung Energie und hat so kühlende Effekte
- Oberflächentemperatur eines Gründachs so wesentlich kühler – dadurch weniger Temperaturverluste der Photovoltaikanlage

## Ergebnisse: Einfluss des Gründachs – Staubkonzentration



- Vergrößerte Dachoberfläche durch die Pflanzen des Gründachs
- Erhöhte Staubbindung durch Ablagerung auf den Pflanzen, Gründach wirkt als passiver Luftfilter
- Schätzungen gehen von 2 kg gebundenen Feinstaub pro m<sup>2</sup> Gründach aus

p

## Ergebnisse: Einfluss des Gründachs – Albedowert

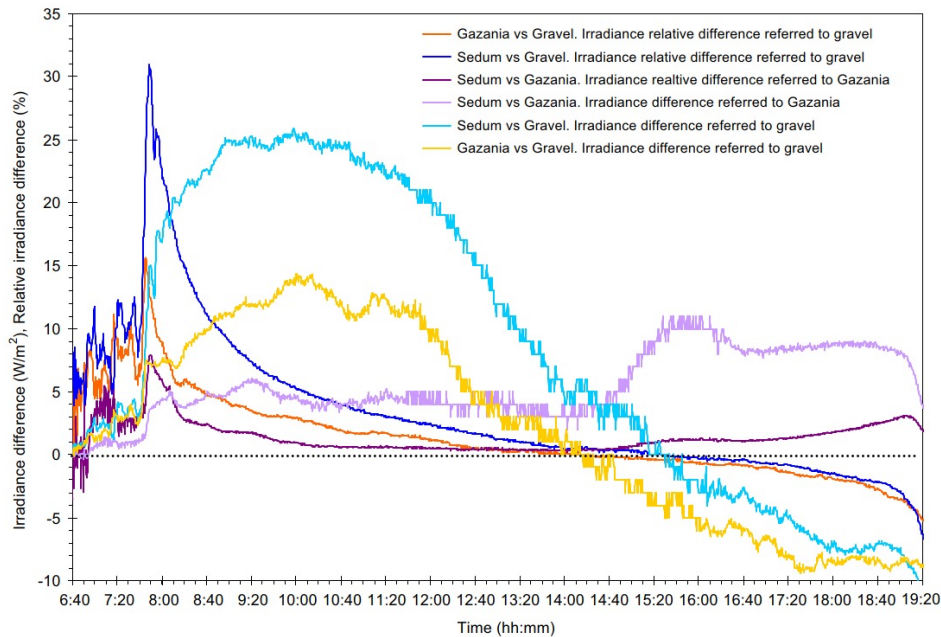


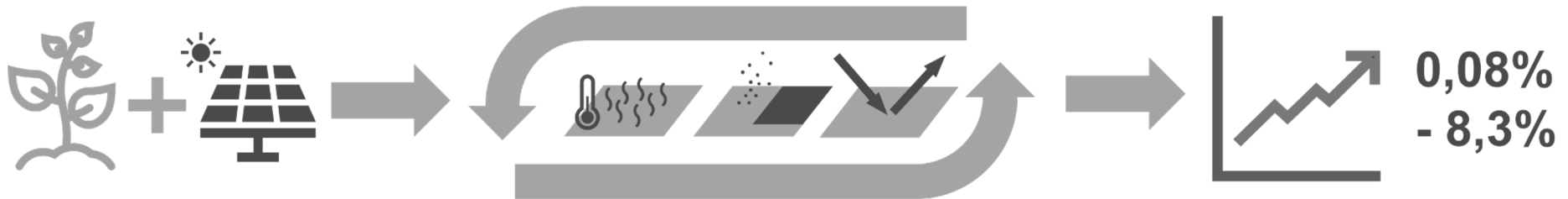
Abb. 8: Vergleich der Einstrahlungsstärke zw. Sedum- und Gazanien-Gewächsen untereinander und mit einem Kiesdach

- Erhöhter Oberfläche und hoher Albedowert der Pflanzen führen zu einer 32% höheren Strahlungsintensität
- Ausgangsleistung wird dadurch um ca. 3% erhöht



p

## Zusammenfassung: Auswirkungen auf den Energieertrag



- Grundsätzlich ist Kombination aus Gründach und PV synergetisch, Gründach hat positive Auswirkungen auf die Photovoltaikanlage
- Dabei wirken aber nicht nur die Kühlungseffekte, sondern ebenso die Staubbinding und der erhöhte Albedowert als komplexe Einheit zusammen
- Faktoren und Parameter bedingen sich oftmals gegenseitig, sodass keine scharfe Abgrenzung zwischen den Einflüssen des jeweiligen Faktors erfolgen kann
- in Versuchen konnten Steigerungen der Ausgangsleistung von 0,08% bis 8,3% durch das Gründach ermittelt werden

p

## Zusammenfassung: Limitationen und offene Forschungsfelder



Abb. 10+11: Versuchsaufbauten von Lamnatou und Chemisana in Lleida, Spanien



Abb. 12: Versuchsaufbau von Osma-Pinto und Ordóñez-Plata in Santander, Kolumbien

- stark variierende Versuchsaufbauten und unterschiedliche klimatische Regionen führen zu nicht vergleichbaren Ergebnissen
- Offenes Forschungsfeld sind die Auswirkungen der Staubbinding auf die Staubablagerung auf den Photovoltaikmodulen

p

## Umsetzung in der Praxis: Gründach und Photovoltaik in Kombination



Abb. 13+14: mögliche integrierte Unterkonstruktion für die Kombination Photovoltaik und Gründach des Herstellers Contec

- Umsetzung durch die integrierte Halterung als Festkörperdrainage
- Photovoltaik und Gründach können so vollkommen ohne Beeinträchtigung kombiniert werden

## Literatur: Teil 1

- [1] N. Pfoser, N. Jenner, J. Henrich, J. Heusinger und S. Weber, „Gebäude Begrünung Energie: Potenziale und Wechselwirkungen“. Abschlussbericht, 31.08.2013, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, 2013.
- [2] N. Pfoser, „Fassade und Pflanze: Potenziale einer neuen Fassadengestaltung“. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, 2016. [Online]. Verfügbar unter: [https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/5587/1/Dissertation\\_Pfoser.pdf](https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/5587/1/Dissertation_Pfoser.pdf)
- [3] Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V., Hg., 14. Internationales FBB Gründachsymposium 2016: Vortragsreihe zu aktuellen Themen der Dachbegrünung, 5. Aufl. Saarbrücken: Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.: Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V., 2016. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/buggsymposien/Gruendachsymposium/14\\_FBB\\_Gruendachsymposium\\_2016.pdf](https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/buggsymposien/Gruendachsymposium/14_FBB_Gruendachsymposium_2016.pdf)
- [4] H.-G. Wagemann und H. Eschrich, Photovoltaik: Solarstrahlung und Halbleitereigenschaften, Solarzellenkonzepte und Aufgaben ; mit 20 Übungsaufgaben, 2. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2010.
- [5] „Solarenergie und Dachbegrünung“, 2016. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.zinco.de/sites/default/files/2016-02/Solarenergie\\_Dachbegruenung.pdf](https://www.zinco.de/sites/default/files/2016-02/Solarenergie_Dachbegruenung.pdf)
- [6] M. Wietschel, S. Ullrich, P. Markewitz, F. Schulte und F. Genoese, Energietechnologien der Zukunft. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.
- [7] J. K. Kaldellis und P. Fragos, „Ash deposition impact on the energy performance of photovoltaic generators“, Journal of Cleaner Production, Jg. 19, Nr. 4, S. 311–317, 2011, doi: 10.1016/j.jclepro.2010.11.008.
- [8] K. Styszko et al., „An analysis of the dust deposition on solar photovoltaic modules“ (eng), Environmental science and pollution research international, Jg. 26, Nr. 9, S. 8393–8401, 2018, doi: 10.1007/s11356-018-1847-z.
- [9] A. Scherba, D. J. Sailor, T. N. Rosenstiel und C. C. Wamser, „Modeling impacts of roof reflectivity, integrated photovoltaic panels and green roof systems on sensible heat flux into the urban environment“, Building and Environment, Jg. 46, Nr. 12, S. 2542–2551, 2011, doi: 10.1016/j.buildenv.2011.06.012.
- [10] K. L. Getter und D. B. Rowe, „The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development“, HortSci, Jg. 41, Nr. 5, S. 1276–1285, 2006, doi: 10.21273/HORTSCI.41.5.1276.
- [11] „Green Roofs“ in Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. Draft., U.S. Environmental Protection Agency, Hg., 2008. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing\\_urban\\_heat\\_islands\\_ch\\_3.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_3.pdf)
- [12] S. C. M. Hui und S. Chan, Integration of green roof and solar photovoltaic systems, 2011.
- [13] C. Lamnatou und D. Chemisana, „Photovoltaic-green roofs: a life cycle assessment approach with emphasis on warm months of Mediterranean climate“, Journal of Cleaner Production, Jg. 72, S. 57–75, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.03.006.

## Literatur: Teil 2

- [14] C. Arkar, S. Domjan, D. Majkovič, J. Šumi und S. Medved, „Hydrological and thermal response of green roofs in different climatic conditions“, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Jg. 323, S. 12063, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/323/1/012063.
- [15] R. G. Allen, Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rom, 1998. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.fao.org/3/X0490E/x0490e00.htm#Contents>
- [16] A. F. Speak, J. J. Rothwell, S. J. Lindley und C. L. Smith, „Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city“, Atmospheric Environment, Jg. 61, S. 283–293, 2012, doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.07.043.
- [17] T. Litschke und W. Kuttler, „On the reduction of urban particle concentration by vegetation - a review“, Meteorologische Zeitschrift, Jg. 17, Nr. 3, 2008.
- [18] S. Peck und M. Kuhn, „Design Guidelines for Green Roofs“, Ontario Association of Architects; Candada Mortgage and Housing Corporation, Toronto, Ottawa, 2003. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/design\\_guidelines\\_for\\_green\\_roofs.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/design_guidelines_for_green_roofs.pdf). (Zugriff am: 20. Juli 2021).
- [19] Umweltbundesamt, Feinstaub-Belastung. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/feinstaub-belastung#feinstaubkonzentrationen-in-deutschland> (Zugriff am: 24. Juli 2021).
- [20] C. Lamnatou und D. Chemisana, „A critical analysis of factors affecting photovoltaic-green roof performance“, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Jg. 43, S. 264–280, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.11.048.
- [21] G. Osmá-Pinto und G. Ordóñez-Plata, „Measuring the effect of forced irrigation on the front surface of PV panels for warm tropical conditions“, Energy Reports, Jg. 5, S. 501–514, 2019, doi: 10.1016/j.egyr.2019.04.010.



## Bildverzeichnis

- Abb. 1: M. Carlowicz, *Ecosystem, Vegetation Affect Intensity of Urban Heat Island Effect*. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/terra/news/heat-islands.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/terra/news/heat-islands.html) (Zugriff am: 7. August 2021).
- Abb. 2: eigene Aufnahme
- Abb. 3: eigene Aufnahme
- Abb. 4: „Cool Roofs“ in Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. Draft., U.S. Environmental Protection Agency, Hg., 2008. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-compendium>
- Abb. 5: Photon International GmbH, Forschung: Ertragsminderung von Solaranlagen durch Wüstenstaub. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.photon.info/de/news/forschung-ertragsminderung-von-solaranlagen-durch-wuestenstaub> (Zugriff am: 31. Juli 2021).
- Abb. 6: C. Steffan, M. Schmidt und M. Köhler, *Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung: Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung : Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung*. Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2010.
- Abb. 7: A. F. Speak, J. J. Rothwell, S. J. Lindley und C. L. Smith, „Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city“, *Atmospheric Environment*, Jg. 61, S. 283–293, 2012, doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.07.043.
- Abb. 8: C. Lamnatou und D. Chemisana, „A critical analysis of factors affecting photovoltaic-green roof performance“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Jg. 43, S. 264–280, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.11.048.
- Abb. 9: P. Hamel, *Sedum clavatum*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.cactusfleuri.ca/produit/sedum-clavatum/> (Zugriff am: 7. August 2021).
- Abb. 10: C. Lamnatou und D. Chemisana, „Evaluation of photovoltaic-green and other roofing systems by means of ReCiPe and multiple life cycle-based environmental indicators“, *Building and Environment*, Jg. 93, S. 376–384, 2015, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.06.031.
- Abb. 11: C. Lamnatou und D. Chemisana, „Evaluation of photovoltaic-green and other roofing systems by means of ReCiPe and multiple life cycle-based environmental indicators“, *Building and Environment*, Jg. 93, S. 376–384, 2015, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.06.031.
- Abb. 12: G. Osma-Pinto und G. Ordóñez-Plata, „Measuring the effect of forced irrigation on the front surface of PV panels for warm tropical conditions“, *Energy Reports*, Jg. 5, S. 501–514, 2019, doi: 10.1016/j.egyr.2019.04.010.
- Abb. 13: Contec AG, Broschüre: *Contec.Greenlight*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.contec-de.com/de/index.php?section=Downloads&download=106> (Zugriff am: 7. August 2021).
- Abb. 14: Contec AG, Datenblatt: *Contec.Greenlight*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.contec-de.com/de/index.php?section=Downloads&download=25> (Zugriff am: 7. August 2021).