

Zürcher Hochschule
für Angewandte WissenschaftenSchool of
Engineering
IEFE Institut für Energiesysteme
und Fluid-Engineering

Photovoltaiksysteme in Kombination mit Gründächern

Prof. Dr. Hartmut Nussbaumer
Dozent und Leiter der Forschungsgruppe Photovoltaik

ZHAW, SoE, IEFE, Winterthur
Nationale PV Tagung, 29.03.2022, Bern

Zürcher Fachhochschule

1

Motivation

Gründach

- + Wasserrückhaltung
- + Stadtklimaverbesserung «Urban Heating»
- + Lebensraum, Artenvielfalt
- + Verbesserung Raumklima & Dämmwirkung
- + Optische Aufwertung



Photovoltaik

- + Erneuerbare elektrische Energie



Nationale PV Tagung 2022, Prof. Dr. Hartmut Nussbaumer, PV & Gründach

<https://www.migros.ch/de/news/medienmitteilungen/2016/migros-hat-die-leistungsstaerkste-solaranlage-ausgebaut.htm>

PV & Gründach: Mögliche Lösungen

PV-Module mit schräger Aufständerung



Flächennutzungsgrad PV und Gründach begrenzt (**getrennte** Nutzung, Zugänglichkeit für Wartung, Eigenverschattung):
~50%

Nennbetriebsstunden: ~1100 kWh/kWp*

Jahresertrag: ~110 kWh/m² Dachfläche**



Vorteile: Hohe Nennbetriebsstunden

Nachteile: Aufwendige Wartung

*Winterthur, Azimuth 0°, Neigung 20°, **Flächennutzungsgrad 50%, Wirkungsgrad 20%, monofaziale Module
Zürcher Fachhochschule



Bild: Mit freundlicher Genehmigung der Paul Bauder GmbH & Co. KG

3

PV & Gründach: Mögliche Lösungen

Module flach aufgeständert, mit räumlicher Trennung



Flächennutzungsgrad PV und Gründach begrenzt durch **getrennte** Nutzung, Beispiel jeweils 50%

Nennbetriebsstunden: ~950 kWh/kWp*

Jahresertrag (50% PV): 95 kWh/m² Dachfläche**



Vorteile: Einfache Unterkonstruktion, geringe Windlasten

Nachteile: Aufwendige Wartung, mögl. Beschädigung, Schnee negativ, Nur ein Teil der Dachfläche wird als Gründach verwendet

*Winterthur, Ost/West, Neigung 10°, **Wirkungsgrad 20%, (monofaziale Module)

Zürcher Fachhochschule

Nationale PV Tagung 2022, Prof. Dr. Hartmut Nussbaumer, PV & Gründach



Bildausschnitt:
aus Muntwyler
et. al. Nationale
PV Tagung
2019

Bild: ZHAW PV
Dachanlage
ohne räumliche
Trennung

4

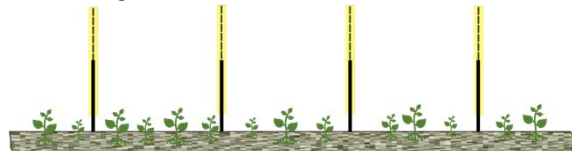
PV & Gründach: Mögliche Lösungen

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften



School of
Engineering
IEFE Institut für Energiesysteme
und Fluid-Engineering

Vertikal angeordnete bifaziale Module



Flächennutzungsgrad PV: 50 - 100%

Nennbetriebsstunden: ~900 kWh/kWp*

Jahresertrag : 90 - 130 kWh/m² Dachfläche

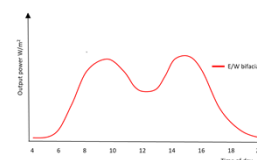
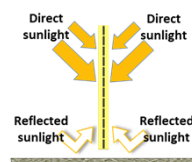
PV, GD

Vorteile: Flächennutzung Gründach 100%, Gute Zugänglichkeit für Wartung, Winterstrom, Schnee positiv, vorteilhaftes Erzeugerprofil (bei Ost/West- Ausrichtung), geringe Verschmutzung

Nachteile: Windlasten, Eigenverschattung

*942 kWh/kWp bei 36.7% Flächennutzungsgrad, Baumann et. al., Solar energy 190, 2019, pp. 139-146. 2019
Zürcher Fachhochschule

Nationale PV Tagung 2022, Prof. Dr. Hartmut Nussbaumer, PV & Gründach



5

PV und Gründach Vertikal angeordnete bifaziale Module, Pilotprojekt

Spezialmodule mit geringer Aufbauhöhe

Flächennutzungsgrad: 36.7%

Spezifischer Ertrag: 942 kWh/kWp



Realisierung 2017

Zürich University
of Applied Sciences



School of
Engineering

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften



Life Sciences und
Facility Management

IUNR Institut für Umwelt und
Natürliche Ressourcen

STADTWERK
WINTERTHUR

Zürich Universities of Applied Sciences and Arts

Klimafonds
Stadtwerk Winterthur



alterszentrum
wiesengrund
mein zuhause

Nationale PV Tagung 2022, Prof. Dr. Hartmut Nussbaumer, PV & Gründach

6

PV und Gründach Vertikal angeordnete bifaziale Module, Pilotprojekt

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften

School of
Engineering
IEFE Institut für Energiesysteme
und Fluid-Engineering

Photovoltaic systems with vertically mounted
bifacial PV modules in combination with green
roofs

Solar Energy, Volume 190, 09/2019

SENKRECHTE SOLARPANELS

Gebäudehülle 04 / 18

Hochstehende Gründachanlage

Eco2friendly Magazin FS 2019

Pionierprojekt
auf dem Eichgut-Dach

TELE Z

Senkrechte Solarpanels
sollen Leistung glätten

Spektrum Gebäudetechnik SGT 2 / 2018

FACHARTIKEL | ERNEUERBARE ENERGIE

Vertikale bifaziale Module auf Dächern

Photovoltaik

bulletin.ch 10 / 2020

Solarenergie

**Senkrechte Solarpanels sollen
Stromproduktion ausgleichen**

Erzeugung & Infrastruktur

Vertikale Solarpaneele –
Gründach und Solaranlage müssen
intelligent kombiniert sein

PV und Gründach Vertikal angeordnete bifaziale Module 2.0 P&D Projekt in Winterthur

„Entwicklung und vergleichender Test eines Gesamtpakets für
bifaziale PV-Systeme auf Gründächern“, BFE, SI/502213

Inhalte:

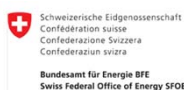
Systemoptimierung:

- Modulaufständerung
- Module in Standardgrößen
- Substrat, Saatgut
- Gesamtlayout (PV-System, Begrünung, Aussehen,...)

Analyse:

- PV-Erträge im Vergleich und Simulation
- Ökologischer Nutzen (Biodiversität, Wasserretention,...)
- Kosten

**Ziel: Entwicklung eines Gesamtpakets PV & Gründach
zur Markteinführung**

Zürich University
of Applied Sciences

School of
Engineering



Realisierung 2021

Zürich Universities of Applied Sciences and Arts

Nationale PV Tagung 2022, Prof. Dr. Hartmut Nussbaumer, PV & Gründach

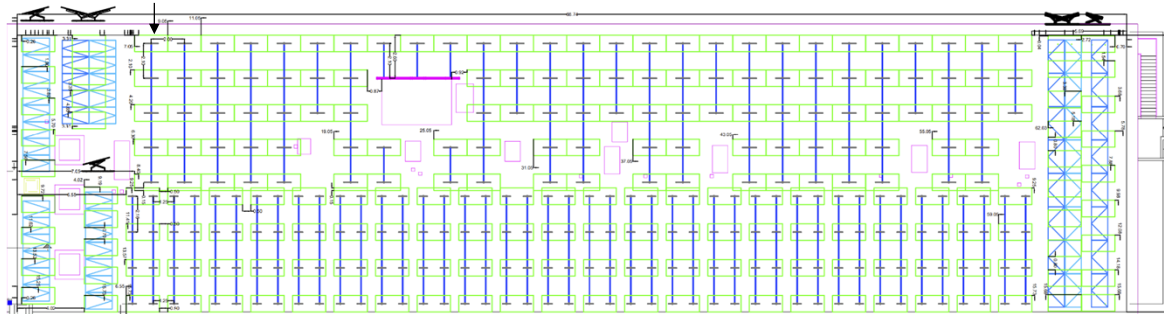
PV und Gründach Vertikal angeordnete bifaziale Module 2.0 P&D Projekt in Winterthur

Zürich University
of Applied Sciences
zhaw School of
Engineering

Energiegründach Mattenbachstrasse 2, 8400 Winterthur

Installierte Leistung: 90 kWp

Systemvergleich: Vertikal bifazial, schräg aufgeständert



Weitere Infos:

<https://www.zhaw.ch/de/forschung/forschungsdatenbank/projekt/detail/projektid/5086/>
<https://www.aramis-a.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=49433>
<https://www.zhaw.ch/de/engineering/ueber-uns/veranstaltungen/veranstaltung/event-news/einweihung-energiegruendach-und-infoveranstaltung-zu-energie-als-chance/>

Zürich Universities of Applied Sciences and Arts

9

Nationale PV Tagung 2022, Prof. Dr. Hartmut Nussbaumer, PV & Gründach

PV & Gründach 3.0?

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften
zhaw School of
Engineering
IEFE Institut für Energiesysteme
und Fluid-Engineering

Bifaziale Module in Kombination mit HSAT

Simple Einachsen-Trackingsysteme, ein Antrieb für mehrere Reihen oder passive Antriebe, wartungsfrei

Flächennutzungsgrad PV: 95 - 100%

Nennbetriebsstunden: ~1000 kWh/kWp

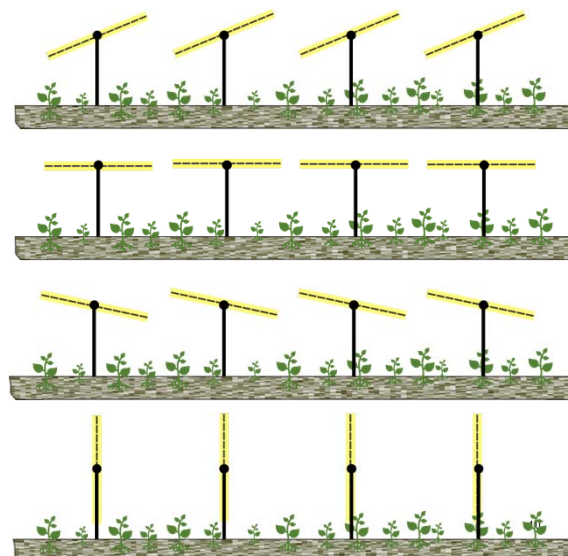
 Jahresertrag : 95 - 200 kWh/m² Dachfläche

PV, GD

Mögliche Vorteile: Flächennutzung Gründach 100%, Höchste Energieerträge pro Fläche möglich, Gute Zugänglichkeit für Wartung, Winterstrom, Schnee positiv, vorteilhaftes Erzeugerprofil (bei Ost/West- Ausrichtung), geringe Verschmutzung

Nachteile: Kosten?

Untersuchung im Forschungsprojekt PV Eye



Zürcher Fachhochschule

Nationale PV Tagung 2022, Prof. Dr. Hartmut Nussbaumer, PV & Gründach

Untersuchung PV auf Flachdächern mit und ohne Gründach, Projekt PV Eye

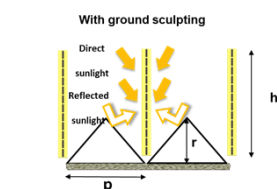
Ziel: Optimierung des Energieertrages **pro Fläche**

PV Systeme: Standard, HSAT, Reflektoren...
Flächennutzungsgrade nahe 100%

Untersuchung des Einflusses von Randeffekten auf den Energieertrag

Unterschiedliche Systeme in direktem Vergleich

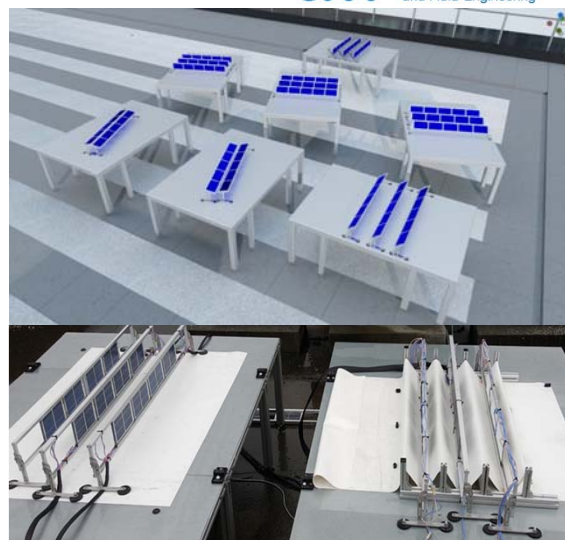
Beispiel:



Energieertrag bei diffuser Sonneneinstrahlung

$$1 \leq \frac{E_{GvBF}(\text{day})}{E_{MonoF}(\text{day})} \leq 1.17$$

Nussbaumer et. al., „Comparative energy yield study of vertically installed bifacial PV modules measured by a miniaturized test rig“, 38th EUPVSEC, 2021



11

Nationale PV Tagung 2022, Prof. Dr. Hartmut Nussbaumer, PV & Gründach

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

Danksagung

PV Team: Dr. Markus Klenk, Selina Pfyffer, Roger Hiltbrand, Alexander Meier

Geförderte BFE - Projekte

Entwicklung und vergleichender Test eines Gesamtpakets für bifaziale PV-Systeme auf Gründächern, SI/502213-01

PV Eye – Systeme auf Flachdächern mit höchsten Energieerträgen pro Fläche, SI/502309-01