



Landeshauptstadt
München
**Referat für Klima-
und Umweltschutz**

Kombinationslösungen PV über Grün für multifunktionale Dächer

Fachforum Bauzentrum 5.11.2024
Photovoltaik und Gründach

Sabine Gehring

Referat für Klima- und Umweltschutz, LHM

Wo kommen wir her?

- Kombination PV über Grün mit geringen Substratstärken
- Getrennte Realisierung von Gründach und PV
- Keine Festsetzung für PV
- Wirtschaftlichkeit und Statik als ausschlaggebendes Kriterium für PV

Reines PV-Dach



Quelle: iStock, Tsvetan Ivanov

PV auf Kiesdach



Quelle: iStock, tsirika

Reines Gründach



Quelle: RKU

PV über Sedum-Gründach



Quelle: iStock, Marcus Lindstrom

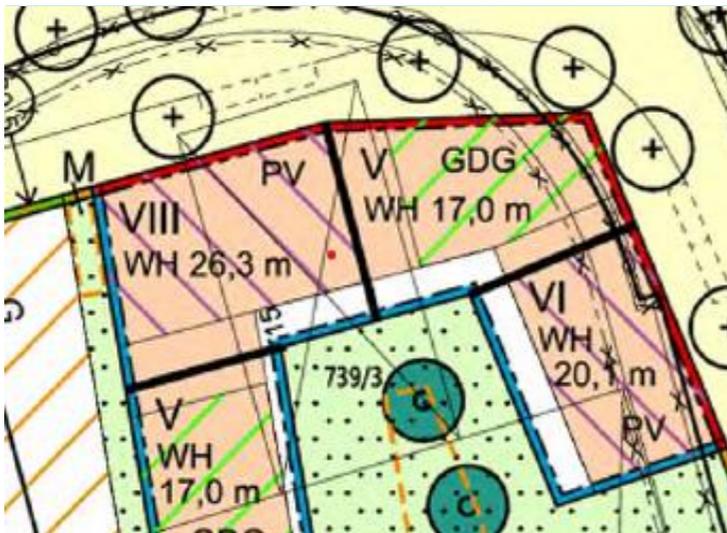


Neue Anforderungen für eine Kombination

Nutzungskonkurrenzen erfordern eine multifunktionale Dachflächennutzung

- > Stadtwachstum und Flächenkonkurrenz führen zu höheren Dichten in der Bebauungsplanung und die Dächer spielen als Erholungs- und Freizeitflächen eine immer größere Rolle
- > Dachflächen stehen ebenfalls im Fokus für Klimaanpassungsmaßnahmen, für die Erzeugung von Energie, als Nahrungs- und Ergänzungshabitate für Flora und Fauna sowie für sonstige Nutzungsansprüche (Erholung, Sport, Technik). Daher ist das Ziel, möglichst viele Nutzungsansprüche miteinander zu kombinieren.
- > Sowohl für die Umsetzung von Dachbegrünung als auch für die Nutzung der Dächer für Photovoltaik bestehen Stadtratsbeschlüsse (Klimanotstandsbeschluss, Klimaanpassungskonzept, Biodiversitätsstrategie, Schwammstadt, solarer Masterplan...)
- > Im Bebauungsplan sind Ziele für die Dachbegrünung und für Photovoltaik festgelegt. Sie sind in der Regel nur durch die Kombination erreichbar.
- > Die Anforderungen an klimaneutrale Gebäude (gesetzliche Anforderungen, Zertifizierungskriterien) sowie die entsprechenden Förderkriterien lassen sich oftmals nur durch die Kombination beider Belange erfüllen

Wo stehen wir?



Dachflächennutzung

- Als Erholungsflächen können 4 m²/EW auf dem Dach als Gemeinschaftsdachgärten errichtet werden.

Stadtklima

- Gründächer sind mit Substratstärken von mind. 20 cm umzusetzen.

Regenwassermanagement

- Niederschlagswasser ist auf dem Grundstück zu versickern.
- Starkregenereignisse müssen bewältigt werden.

Biodiversität

- Gründächer sind mit artenreicher Gras-Kraut Vegetation mit möglichst heimischen Arten zu bepflanzen.

Photovoltaik

- Auf dem Dach sind Photovoltaikmodule zu installieren.

Wo wollen wir hin?

Kombination Dachbegrünung mit PV mit hoher ökologischer Funktionserfüllung



Quelle: iStock, Jenson

Kombination Dachgarten mit PV für eine multifunktionale Nutzung



Quelle: GridParity AG

Kombination von PV und Gründach

Herausforderungen für das Gründach

- > Die Überdachung durch Solarmodule verändert die Standortbedingungen für die Pflanzen auf dem Dach:
- > Inhomogener Regenwassereintrag: unter den Solarmodulen erfolgt kein Regenwassereintrag, dafür an den Modultraufen verstärkter Wasser- und Nährstoffeintrag. Eine Verteilung des Niederschlagswassers über die gesamte Dachfläche ist deshalb (ggf. zusätzlich) sicherzustellen.
- > Teilverschattung des Substrates unter den Solarmodulen: je geringer der Abstand der Solarmodule zur Substratschicht, umso weniger Licht kann unter die Solarmodule gelangen. Das Pflanzenwachstum wird dadurch eingeschränkt. Auch benötigen die meisten Pflanzen Besonnung, um Blüten zu bilden.



Quelle: RKU

Kombination von PV und Gründach

Herausforderungen für das Gründach

- > Übliche Saatmischungen für reine Dachbegrünungen benötigen vollsonnige Standorte. Aufgrund der Teilverschattung ist ein anderes Artenspektrum bei der Pflanzenauswahl notwendig.
- > Die Funktion als Nahrungshabitat für blütenbesuchende Insekten ist bei geringen Abständen der Solarmodule zur Substrat- bzw. Vegetationsschicht stark eingeschränkt. Fluginsekten benötigen „Offenlandcharakter“ um die Dachbegrünung als Nahrungshabitat zu nutzen.
- > Die Pflege des Gründaches wird durch die Solarmodule deutlich erschwert. Dies umso mehr, je geringer der Abstand der Solarmodule zur Substratschicht gewählt wird.



Quelle: RKU, schattenliebende Pflanzenauswahl

Kombination von PV und Gründach

Herausforderungen für die Photovoltaiknutzung

- > Um Besonnung und Belichtung für die Vegetation sowie auch eine Pflege des Gründaches zu ermöglichen, sind Abstände zwischen den Solarmodulreihen vorzusehen. Daher ist die Flächeneffizienz geringer als bei einem reinen Solardach.
- > Häufig ist eine Teilverschattung der Solarmodule durch Pflanzenaufwuchs trotz Pflegemaßnahmen nicht vollständig zu vermeiden. Teilverschattung führt technologiebedingt bei Photovoltaikmodulen zu überproportionalen Ertragsverlusten.
- > Semitransparente Solarmodule (Transparenz der Module bei ca. 20 – 30%) erhöhen die Belichtung der Vegetation unter den Modulen, verringern aber den Wirkungsgrad und Ertrag der Anlage.



Quelle: iStock, Marcus Lindstrom



Quelle: RKU

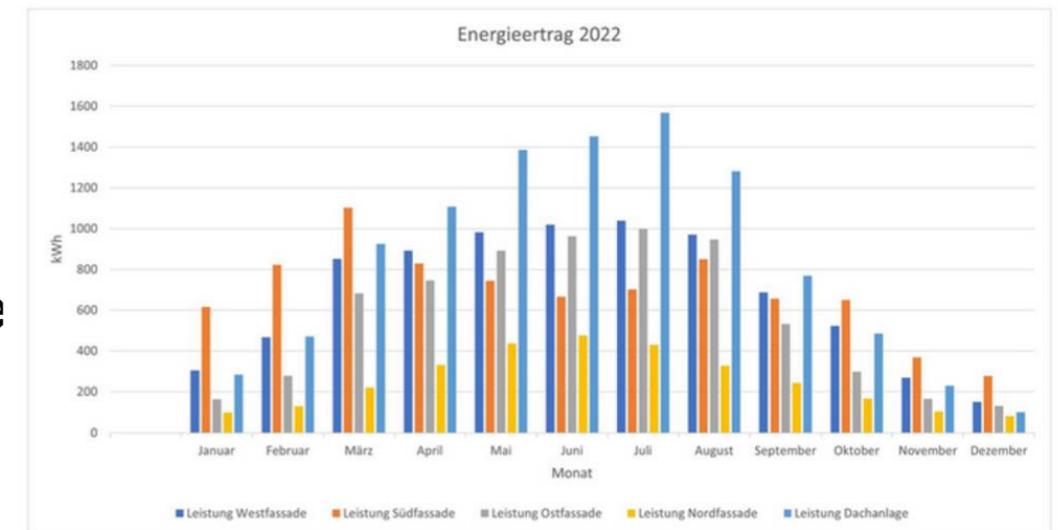


Quelle: iStock, Marina Lohrbach

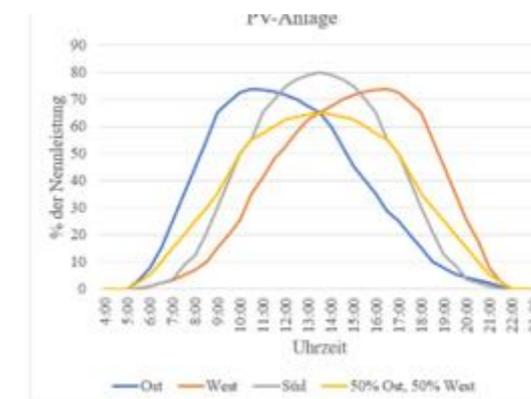
Kombination von PV und Gründach

Herausforderungen für die Photovoltaiknutzung

- > Je höher die Gesamtkonstruktion der PV-Anlage auf dem Dach ausfällt, desto stärker sind die Windsog-Kräfte sowie auch die Schneesackbildung zu berücksichtigen.
- > Auf dem Markt vorherrschende Unterkonstruktionssysteme für PV über Grün sind hinsichtlich Wirtschaftlichkeit für geringe Substratstärken und niedrige Abstände zur Substratoberkante optimiert.
- > Der Fokus bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung einer PV-Anlage liegt noch auf dem Gesamtertrag der Anlage und weniger auf einer Optimierung hinsichtlich Eigenverbrauch (Optimierung von Erzeugung und Verbrauch im Tages- und Jahresgang).



© Michael Jung, Gramm Profilvertechnik GmbH



Quelle: IfaS nach
Deutsche Gesellschaft
für Sonnenenergie, 2013)

Kombination von PV und Gründach

Synergien durch die Kombination

- Im Vergleich zu nicht begrünten Gebäudeoberflächen kann Begrünung zu einer Kühlung der Module führen und dadurch die Solarerträge geringfügig positiv beeinflussen.
- Die Ballastierung der PV-Anlage erfolgt bei Kombinationsvarianten in der Regel durch das Substrat. Je mehr Substrat, umso stabiler ist das System.
- Die unterschiedlichen Standortbedingungen durch verschattete und besonnte Bereiche können zu einer größeren Habitatvielfalt beitragen. Einschränkungen ergeben sich jedoch bei vollschattigen Flächen.
- In Hitzeperioden kann durch die Verschattung des Substrates die Feuchtigkeit im Substrat länger gehalten werden. Das Substrat trocknet dadurch nicht so schnell aus.
- Hochaufgeständerte PV-Anlagen, z.B. in Pergola-Bauweise, tragen aufgrund der Schattenwirkung und guten Belichtung zu einer günstigen bioklimatischen Situation auf dem Dach bei.
- Die Kombination ermöglicht eine multifunktionale Dachflächennutzung.

Kombination PV und Gründach

Ziele für die Kombination



Damit die Dachbegrünung die ökologischen Ziele und gleichzeitig die PV-Anlage die energiewirtschaftlichen Ziele erfüllen kann, sollte:

- die **Dachbegrünung** ausreichend Sonnenlicht und Feuchtigkeit erhalten
- und eine ausreichende Substratstärke aufweisen,
- die **PV-Anlage** eine effiziente Größe erreichen
(größere zusammenhängende möglichst verschattungsfreie Flächen),
- möglichst auf den Bedarf im Gebäude bzw. Quartier ausgerichtet
- sowie nicht durch den Pflanzenaufwuchs beeinträchtigt werden.

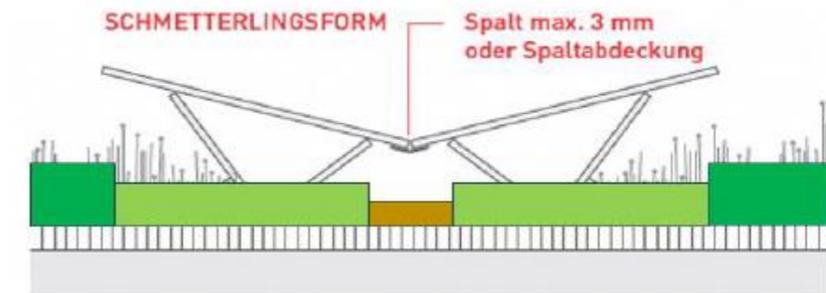
Durch nachfolgende Stellschrauben kann die Kombination an die Anforderungen bzw. Ziele des jeweiligen Projektes angepasst werden.

Stellschrauben für die Kombination

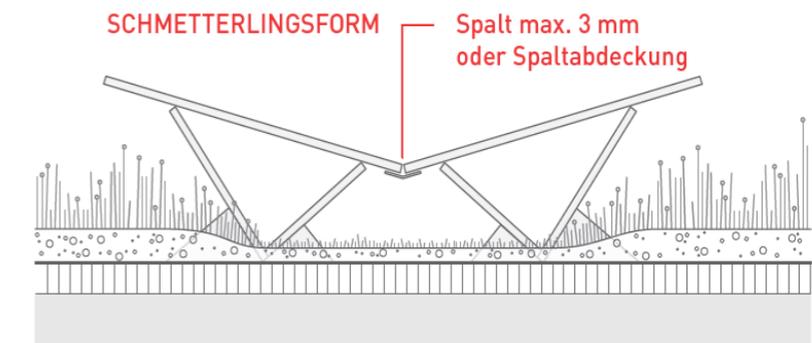
Substrat und Pflanzenauswahl

Das Dachbegrünungssubstrat ist ausschlaggebend für die Wasserspeicherfähigkeit und die Bepflanzung. Je größer die Substratschichtdicke, um so mehr Niederschlagswasser kann gespeichert werden und es kann sich eine artenreiche Gras-Kraut-Vegetation mit höheren Verdunstungsleistungen etablieren.

- Im Neubau ist in München eine Substratschichtdicke von 20cm für eine extensive Dachbegrünung umzusetzen.
- Erfolgt kein gleichmäßiger Niederschlagseintrag ins Substrat, ist eine Verteilung des Regenwassers unter der Substratschicht notwendig.
- Bei hohem Schattenanteil ist eine standortangepasste Vegetation zu wählen.
- Durch die Zusammensetzung des Substrats, durch den Einsatz zusätzlicher Retentionsschichten oder die Modellierung der Substratschicht kann der Pflanzenaufwuchs sowie die ökologische Wirkung ebenfalls gesteuert werden.

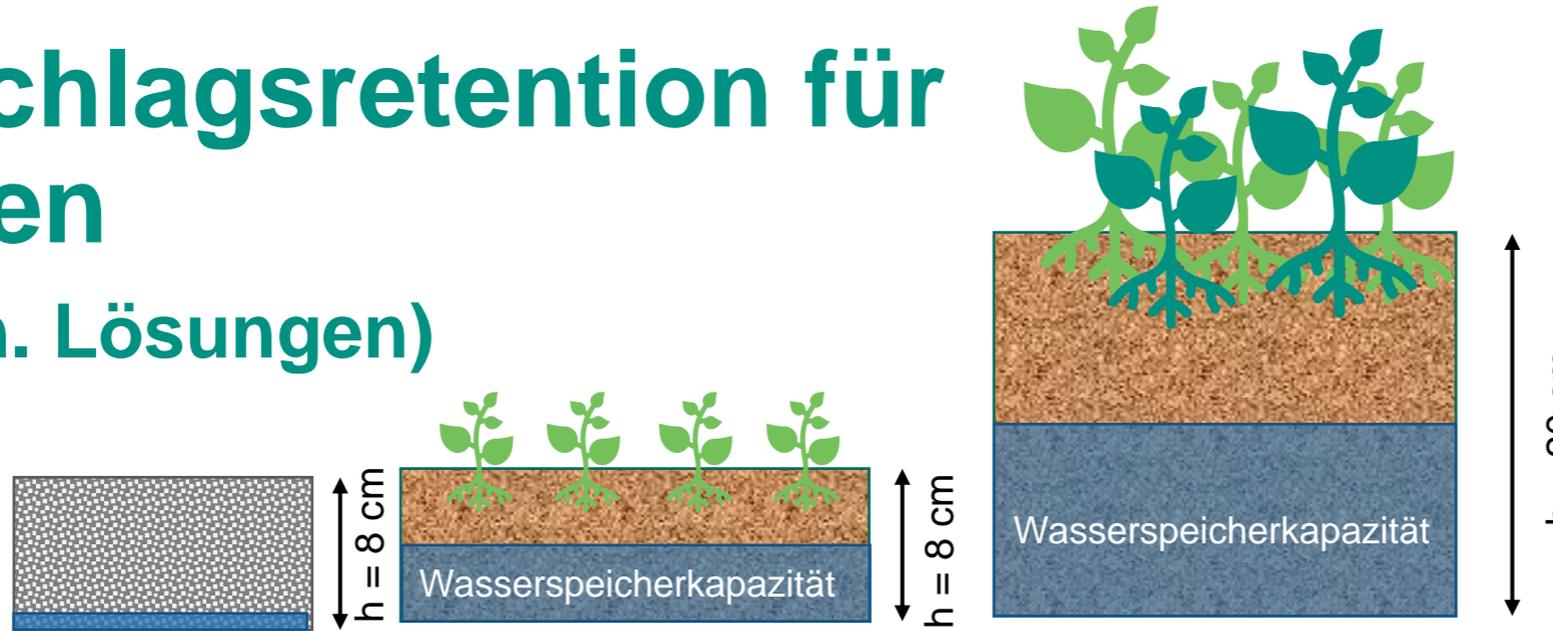


Graphik (RKU) symbolisiert unterschiedliches Substrat



Quelle: Fotograf - Christian Reinhard wurde veröffentlicht im Ratgeber Gründach und Photovoltaik, Vorarlberg, S. 11 - Schmetterlingsform

Niederschlagsretention für Dacharten (ohne techn. Lösungen)



Zum Vergleich eine Auswahl Starkregenereignisse:

- Simbach (31.05. – 1.6.16): ca. 180 mm
- Braunsbach (29.5.16) : ca. 105 mm
- Ahrtal (13.7 -15.7.21): ca. 150 mm
- Meckpom/ Brandenburg (29.6 – 1.7.2021): ca. 175 mm
- München (29.5. – 2.6.24): ca. 135 mm

	Kies	Gründach 8 cm	Gründach 20 cm
Wasserrückhalt (jährlich)	?	50 % :: ca. 500 Liter / m ²	60 % :: ca. 600 Liter / m ²
Wasserspeicherkapazität	Spanne von 5 – 10 %	Spanne von 30 – 65 % Annahme: 50 % :: 40 Liter / m²	Spanne von 30 – 65 % Annahme: 50 % :: 100 Liter / m²
Abflussverzögerung	kaum bis keine	hoch	höher

Anmerkung: Größen sind abhängig von Substrathöhe, Substratart, Vegetation, Witterung, Klima

- Wasserrückhalt, -speicherung und Abflussverzögerung können technisch modifiziert werden.
- Beispiel Schule Theodor-Heuß-Platz: 4300 m² Dachfläche: **Wasserrückhalt 20 cm vs 8 cm: 430.000 Liter** jährlich mehr Wasserrückhalt auf dem Dach (bei Niederschlagssumme von ca. 1000 mm/Jahr). Entspricht **270.000 kWh** Verdunstungsleistung pro Jahr.

Referenz: FLL (2018), Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2009)

Stellschrauben für die Kombination

Höhe der Aufständering

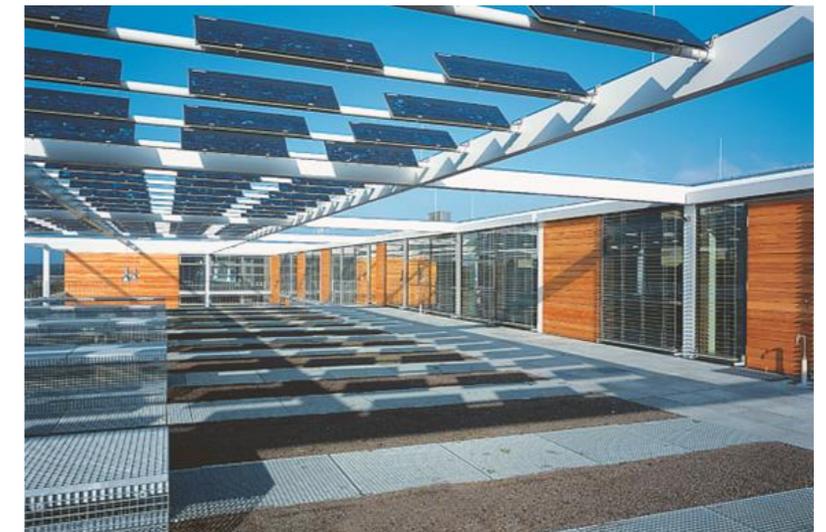
Wird ein zu geringer Abstand zwischen Modulunterkante und Substratoberfläche gewählt, besteht die Gefahr der Überwucherung der PV-Anlage durch das Grün und auch die Pflege des Gründaches unter und zwischen den Modulreihen ist erschwert. Es wird daher ein Mindestabstand von 40cm zwischen Modulunterkante und Substrat empfohlen. Dadurch wird auch für ein besseres Lichtangebot und Pflanzenwachstum unter den Modulen gesorgt. Je höher die Aufständering ausfällt, um so größer ist die Nutzungsvielfalt darunter.



Quelle: RKU



Quelle: RKU, Überdeckung von Technikflächen



Quelle: Grundschule Hildegard-von-Bingen-Anger; Landeshauptstadt München, Referat für Bildung und Sport, Baureferat Hochbau (Projektleitung); Fotograf: Florian Holzherr, Gauting

Stellschrauben für die Kombination

Flächeneffizienz und Aufständervarianten

Reihenabstände und Aufständervariante entscheiden über die Größe der PV-Anlage, die auf einem Dach realisiert werden kann. Empfohlen wird für eine hohe Flächeneffizienz eine Aufständervariante in Ost-West-Richtung (Schmetterlingsform oder senkrechte Module) oder eine vollständige Überdachung in Pergolen-Bauweise.



Quelle: ZinCo AG Kirchberg



Quelle: RKU



Quelle: RKU

Varianten-Gegenüberstellung



		<p>Quelle: https://www.soltop.eu/</p>	<p>Quelle: https://www.optigruen.de/</p>	<p>Quelle: https://www.solyco.com/</p>
<p>Vollbelegung auf Kies</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ost-West-Ausrichtung • 10 Grad Neigung • 2 cm Spaltenabstand • 25 cm Reihenabstand <p>PV-Anlage</p> <ul style="list-style-type: none"> • PV-Modul: • IBC-MonoSol 400 CS10-HC • Modulanzahl: 416 • Leistung 166 kWp <p>56% PV-Modulfläche (2m²*416) bezogen auf die Bruttodachfläche (1499m²)</p>	<p>50% Vollbelegung auf Kies</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ost-West-Ausrichtung • 10 Grad Neigung • 2 cm Spaltenabstand • 25 cm Reihenabstand <p>PV-Anlage</p> <ul style="list-style-type: none"> • PV-Modul: • IBC-MonoSol 400 CS10-HC • Modulanzahl: 216 • Leistung 98 kWp <p>29% PV-Modulfläche bezogen auf die Bruttodachfläche</p>	<p>Belegung PV über Grün Variante Reihenabstand von 100cm inkl. SÜD-Ausrichtung</p> <ul style="list-style-type: none"> • SÜD-Ausrichtung • 25 Grad Neigung • 2 cm Spaltenabstand • 100 cm Reihenabstand <p>PV-Anlage</p> <ul style="list-style-type: none"> • PV-Modul: • IBC-MonoSol 400 CS10-HC • Modulanzahl: 272 • Leistung 109 kWp <p>36% PV-Modulfläche bezogen auf die Bruttodachfläche</p>	<p>Belegung PV über Grün Variante Reihenabstand von 60cm</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ost-West-Ausrichtung • 20 Grad Neigung • 2 cm Spaltenabstand • 60 cm Reihenabstand <p>PV-Anlage</p> <ul style="list-style-type: none"> • PV-Modul: • IBC-MonoSol 400 CS10-HC • Modulanzahl: 380 • Leistung 152 kWp <p>51% PV-Modulfläche bezogen auf die Bruttodachfläche</p>	<p>Belegung PV über Grün mit Bifazialen-Modulen (Wirkungsgrad 100/80 Prozent)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ost-West-Ausrichtung • 90 Grad Neigung • 80 cm Reihenabstand <p>PV-Anlage</p> <ul style="list-style-type: none"> • PV- Bifaziale-Modul: • L-TG 42n.3/160 • Modulanzahl: 633 • Leistung 101 kWp <p>Bei Betrachtung des Wirkungsgrades 100/80% 63% PV-Modulfläche (0,834*1,8*633) bezogen auf die Bruttodachfläche (1499m²)</p>

Typ: Hoher Schmetterling



Quelle: RKU

- Gute Kombinationslösung für klassische Anwendungsfälle von Dachbegrünung (20cm) und PV
- Hohe Flächeneffizienz für PV möglich, Ost-West-Aufständerung notwendig
- Heterogene Niederschlagszufuhr, dadurch Wasserverteilsystem unter PV erforderlich
- Viel Schatten; im Außenrand (voll-) sonnig / halbschattig
- Biodiversitätselemente eingeschränkt zwischen PV möglich
- Angepasste Pflanzenauswahl notwendig
- Abstand der Modulunterkante zum Substrat sollte mind. 40cm betragen
- Benötigte Gesamthöhe: mind. 1,60 m über Substrat

Typ: Senkrechte bifaziale Module



Quelle: SINN Power GmbH



Quelle: ZinCo AG Kirchberg

- Gute Kombinationsmöglichkeit von Dachbegrünung und PV für klassische Anwendungsfälle
- Leichte Nachrüstbarkeit auf Bestandsgründächern
- Ökologische Funktionen werden kaum eingeschränkt:
 - Sowohl besonnte als auch beschattete Bereiche je nach Tageszeit, hohe biologische Vielfalt
 - Bei arten- und strukturreicher Bepflanzung sehr hohe Eignung für blütenbesuchende Insekten wegen annähernd Freilandverhältnissen
 - Optimale Niederschlagswasserzufuhr und Verteilung, hohe Verdunstungsleistung möglich
- Ertragsspitzen am Morgen und am Abend, dadurch gute Ergänzung zur Mittagsspitze
- Vergleichsweise gute Ertragsleistung im Winter
- Benötigte Gesamthöhe: mind. 1,0 m, dabei sollte der Abstand der Modulunterkante zum Substrat mind. bei 40cm liegen

Typ: Pergola



Quelle: GridParity AG



Quelle: GridParity AG



Quelle: iStock, kynny



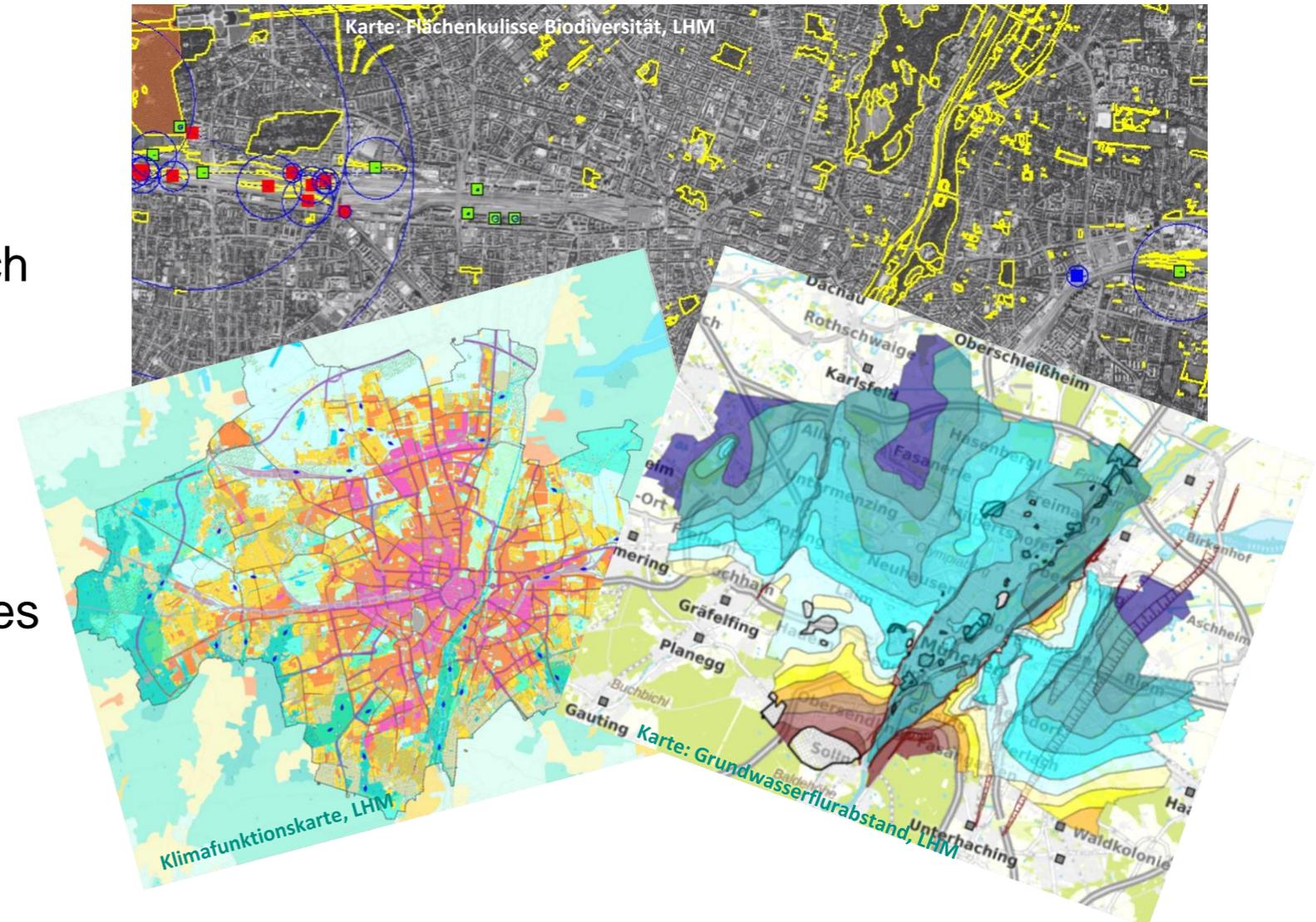
Quelle: Grundschule Hildegard-von-Bingen-Anger; Landeshauptstadt München, Referat für Bildung und Sport, Baureferat Hochbau (Projektleitung); Fotograf: Florian Holzherr, Gauting

- Hohe Flächeneffizienz für PV Nutzung
- Heterogene Niederschlagszufuhr bei vollflächiger Überdeckung, dadurch Wasserverteilsystem unter PV erforderlich
- Mäßiger Schatten; im Außenrand (voll-) sonnig / halbschattig
- Semitransparente Module erhöhen die Lichtdurchlässigkeit
- Bei arten- und strukturreicher Bepflanzung hohe Eignung für blütenbesuchende Insekten
- Habitatelemente können unter den Modulen gut integriert werden
- Hohe Aufenthaltsqualität durch Verschattung
- Gute Kombinationslösung für Gemeinschaftsdachgärten und Überdachung von Technikflächen
- Benötigte Gesamthöhe: mind. 2,5m

Kombinationslösung versus Spezialdach

Besondere Herausforderungen am Standort sind zu berücksichtigen

- > Biodiversitätsdach: notwendig als Trittsteinbiotop oder Nahrungsergänzungshabitat
- > Intensives Gründach: in stadtklimatisch hoch belasteten Bereichen und bei hoher Versiegelung
- > Retentionsdach: hoher Grundwasserstand oder Entlastung des Kanalnetzes
- > Solardach: Bestandsdächer, deren Statik keine Kombination zulässt



Dachbegrünung und Photovoltaik Kombinationslösungen und Wirkzusammenhänge

Fachinformation des Referates für Klima- und Umweltschutz

Dokumentation und Download unter:

<https://stadt.muenchen.de/infos/solarenergie.html>

Ansprechpartner: RKU I-2, Sachgebiet Umweltvorsorge
in der Räumlichen Planung

blp-uvp.rku@muenchen.de



Landeshauptstadt
München
**Referat für Klima-
und Umweltschutz**

Vielen Dank!