



Dachbegrünung und Photovoltaik – Konkurrenz auf dem Dach?

Fachinformation des Referates für Klima- und Umweltschutz

Moderne Dachlandschaften müssen multifunktional sein

Der durch anthropogene Treibhausgasemissionen verursachte Klimawandel stellt Städte vor große Herausforderungen. Zum einen gilt es, die weitere Erwärmung durch ein Ende des Ausstoßes von Treibhausgasen schnellstmöglich zu begrenzen, zum anderen müssen sich die Städte auch an die Folgen des Klimawandels, wie zunehmende Hitzeperioden und Starkregenereignisse, bestmöglich anpassen. Auch der weltweite Verlust von biologischer Vielfalt (Biodiversität) wirkt sich auf die Städte aus, die eine zunehmend wichtigere Rolle beim Schutz von bedrohten Tier- und Pflanzenarten spielen. Vor diesem Hintergrund hat die Landeshauptstadt München Strategien zum Klimaschutz, zur Klimaanpassung und zum Biodiversitätserhalt entwickelt. Allen Strategien ist gemein, dass es für die Umsetzung der Maßnahmen geeignete Flächen innerhalb des Stadtgebietes bedarf. Aufgrund des starken Wachstums der Stadt München stehen jedoch immer weniger Flächen zur Verfügung. In der Folge sind in den letzten Jahren die Dachflächen vermehrt in den Fokus der Aufmerksamkeit gerückt.

Ein wichtiger Aspekt der Klimaschutzstrategie ist die Umstellung der Wärme- und Stromerzeugung auf erneuerbare Energien. Dabei spielt die lokale Solarenergienutzung aufgrund der guten Voraussetzungen und mangels Alternativen in München eine zentrale Rolle. Die Dachflächen von circa 41 Millionen Quadratmetern stellen das größte und am besten nutzbare Flächenpotenzial im Stadtgebiet für Photovoltaikanlagen dar.

Die Klimaanpassungsstrategie setzt auf Maßnahmen zur Verbesserung der Grünausstattung, auf den Erhalt klimawirksamer Flächen und auf das Schwammstadt-Prinzip. Die Dachbegrünung ist dabei ein essenzieller Baustein im Bereich der Gebäudebegrünung, da sie sowohl hinsichtlich Regenrückhalt als auch hinsichtlich des Stadtklimas einen wichtigen Beitrag leistet. Bereits im Jahr 2015 betrug die Fläche von Gründächern in München ungefähr 3,1 Millionen Quadratmeter. Für den Erhalt der Biodiversität ist die Bewahrung naturnaher Flächen zwar prioritär, aber aufgrund von Flächenverlusten am Boden sowie zur Erreichung einer biologischen Durchlässigkeit und Vernetzung der Lebensräume können entsprechend gestaltete Dachflächen als Lebens- und Nahrungsraum fungieren.

Der Nutzungsdruck auf die Dachflächen wird durch weitere Beschlüsse des Stadtrats zur Ausweisung von Flächenanteilen für Gemeinschaftsdachgärten sowie für Sport- und Freizeitaktivitäten verstärkt.

Aus diesem Grund ist es erforderlich, die verschiedenen Nutzungsansprüche bestmöglich miteinander zu vereinbaren. Die Kombination von Photovoltaikanlagen mit Dachbegrünung oder Gemeinschaftsdachgärten ist eine gute Möglichkeit, mehreren Nutzungsansprüchen gerecht zu werden und eine gute Flächeneffizienz zu erreichen. Allerdings zeigt sich in der Praxis, dass es keine allgemeingültige Ausführungsvariante gibt, die sowohl für die Dachbegrünung als auch die Kombination mit Photovoltaik gilt, und die allen Ansprüchen vollumfänglich gerecht wird. Eine erfolgreiche Umsetzung wird nur dann erreicht, wenn vorab und für jeden Einzelfall spezifisch die Ziele klar definiert und die entsprechenden Parameter bei der Ausführung berücksichtigt werden.

Die Funktionsleistungen einer Dachbegrünung sowie insbesondere von Kombinationslösungen von Photovoltaikanlagen auf Dachbegrünungen sind derzeit noch nicht ausreichend wissenschaftlich erforscht. Es zeigt sich aber, dass Standard-Kombinationssysteme mit geringen Substratstärken in der Praxis bislang nicht die gewünschten Leistungen beziehungsweise Funktionen in Hinblick auf die Ziele der Klimaschutz- und Klimaanpassungskonzepte sowie der Biodiversitätsstrategie der Landeshauptstadt München erfüllen.

Das Referat für Klima- und Umweltschutz verfolgt daher das Ziel, mit dem vorliegenden Dokument die wissenschaftlichen Erkenntnisse aus Untersuchungen zu Dachbegrünung und Solarenergienutzung zusammenzustellen, um Hinweise für eine gute Umsetzung in der Praxis zu geben. Es werden Kombinationsvarianten vorgestellt, die eine multifunktionale Dachflächennutzung ermöglichen und bestmöglich dazu beitragen, dass die Landeshauptstadt München ihre Klimaschutz-, Klimaanpassungs- und Biodiversitätsziele erreicht.

Das vorliegende Dokument gliedert sich in drei Abschnitte: In den Kapiteln 1 bis 3 werden die für die Dachflächen relevanten fachlichen Aspekte und Wirkungszusammenhänge bezüglich Solarenergienutzung, Klimaanpassung und Biodiversität erläutert. In Kapitel 4 erfolgt dann eine Synthese der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln, die für eine gelungene Kombination von Photovoltaik und Dachbegrünung zu berücksichtigen sind. Außerdem werden technische Möglichkeiten zur Kombination vorgestellt. In kurzen Steckbriefen werden abschließend die verschiedenen Kombinationslösungen hinsichtlich der fachlichen Belange bewertet, da jede Kombinationslösung ihre spezifischen Besonderheiten hat, die bei der Ausführung für den jeweiligen Einzelfall zu berücksichtigen sind.

Bei den nachfolgenden Ausführungen handelt es sich um eine Fachinformation und nicht um einen technischen Leitfaden für Kombinationsvarianten. Die Planungshinweise und die vorgestellten Kombinationsvarianten beziehen sich in der Regel auf Neubauvorhaben und berücksichtigen die Ziele in der Bebauungsplanung in München für die Gestaltung und Nutzung von Dächern, auch wenn teilweise Hinweise für Bestandsnachrüstungen gegeben werden. Bei den Kombinationslösungen handelt es sich um drei verschiedene Unterkonstruktionslösungen und Aufständervarianten, die nach Marktrecherche des Referats für Klima- und Umweltschutz und Gesprächen mit verschiedenen Konstruktionshersteller*innen aktuell auf dem Markt angeboten werden. Auch wenn hier generelle Vorschläge für eine gelungene Kombination von Dachbegrünung und Solarenergienutzung gegeben werden, muss berücksichtigt werden, dass jedes Projekt eigene Ansprüche hat, die auch je nach Lage und Umgebung im Stadtgebiet über die vorgeschlagenen Kombinationsvarianten hinaus Einzellösungen bedürfen. Die in den Steckbriefen dargestellten Spezialdächer liefern hierfür entsprechende Informationen.

Inhalt

1. Solardach	5
-----	-----
Gesetzliche Grundlagen und Stadtratsbeschlüsse	6
Fachliche Grundlagen und Wirkungszusammenhänge	7
Empfehlungen und Planungshinweise	9
2. Gründach	10
-----	-----
Gesetzliche Grundlagen und Stadtratsbeschlüsse	11
Fachliche Grundlagen und Wirkungszusammenhänge	12
Empfehlungen und Planungshinweise Gründach bezüglich Stadtklima, Regenwassermanagement und biologischer Vielfalt	21
3. Biodiversitätsgründach	23
-----	-----
Gesetzliche Grundlagen und Stadtratsbeschlüsse	24
Fachliche Grundlagen und Wirkungszusammenhänge	24
Empfehlungen und Planungshinweise	26
4. Kombination von Dachbegrünung und Photovoltaik	27
-----	-----
Herausforderungen bei der Kombination von Dachbegrünung und Photovoltaik	28
Synergien bei der Kombination von Dachbegrünung und Photovoltaik	30
Stellschrauben und Kombinationsvarianten	31
Sonderfälle und Berücksichtigung der Umgebung	34
5. Steckbriefe	36
-----	-----
6. Quellenverzeichnis	38
-----	-----



Solardach

1

Gesetzliche Grundlagen und Stadtratsbeschlüsse

Um die Klimaschutzziele zu erreichen und unabhängig von fossilen Energieimporten zu werden, kommt dem Ausbau der Solarenergie – neben der Windkraft die wichtigste Stromerzeugungsquelle der Zukunft – eine zentrale Rolle zu. Vonseiten des Bundes und der Länder wurden die gesetzlichen Rahmenbedingungen so angepasst, dass der Ausbau der Solarenergie in Deutschland erleichtert und beschleunigt wird.

So wurden mit dem Beschluss des Solarpaket 1 in dem Paragraf 4 des Erneuerbare Energie Gesetz (EEG 2023) erstmals konsequent Ausbauziele für Wind- und Solarenergie festgeschrieben. Der PV-Zubau soll sich hälftig auf Dach- und Freiflächenanlagen verteilen, um auch dem Anliegen verbrauchsnahe Stromerzeugung und Flächenschonung durch Solaranlagen auf Dächern, an Gebäuden und auf sonstigen versiegelten Flächen Rechnung zu tragen. Auch im bayerischen Klimaschutzgesetz wird dem Ausbau erneuerbarer Energien eine besondere Bedeutung zugemessen. Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von erneuerbaren Energien sowie den dazugehörigen Nebenanlagen liegen im überragenden öffentlichen Interesse und dienen der öffentlichen Sicherheit. Zudem wurde mit der Einführung des Artikel 44a¹ der Bayerischen Bauordnung (BayBO) eine PV-Pflicht für Nichtwohngebäude eingeführt.

Der Münchner Stadtrat hat am 19. Dezember 2019 den Klimanotstand ausgerufen und verfolgt mit dem Bayerischen Versöhnungsgesetz II das Ziel, bis 2035 die Klimaneutralität für München zu erreichen. Für die Umsetzung der Ziele wurde ein Fachgutachten Klimaneutralität beauftragt, dessen Endbericht den notwendigen Ausbau der

Photovoltaik skizziert. Der Ausbau der Nutzung der Solarenergie wurde als einer der zentralen Hebel identifiziert, um die Treibhausgasemissionen der Stadt wesentlich reduzieren zu können. Bei der Errichtung städtischer Gebäude sind die vorhandenen Flächen daher bestmöglich für Photovoltaikanlagen zu nutzen.

Mit dem „Masterplan solares München“ wurde vom Münchner Stadtrat eine Leitlinie für den generellen Ausbau der Solarenergienutzung in München verabschiedet. Der ambitionierte Plan sieht vor, mittelfristig rund 25 Prozent des Münchner Stromverbrauchs mit Strom innerstädtischer Photovoltaikanlagen zu decken.

Dafür ist eine Modulfläche erforderlich, die circa 20 Prozent der nutzbaren Siedlungsfläche entspricht. Beim PV-Ausbau stehen vor allem Dächer im Fokus. Zusätzliches Potenzial bieten aber auch Fassadenflächen, Balkone sowie Überdachungen von Abstellflächen und Parkplätzen. Heruntergebrochen auf kleinere Einheiten wie etwa Quartiere, Immobilienbestände, einzelne Wohnanlagen oder Gebäude kann die vorgenannte Kennzahl umgerechnet werden auf alternative Kennzahlen: In stark verdichteten Siedlungsgebieten ist im Mittel eine Modulfläche erforderlich, die ungefähr der Hälfte der Brutto-Dachfläche entspricht.

Im Rahmen der Bauleitplanung werden durch den vom Stadtrat beschlossenen Klimafahrplan die Ziele des Klimaschutzes bei jedem Bebauungsplanverfahren berücksichtigt und durch eine Pflicht zur Realisierung von Solaranlagen umgesetzt. Über Energiekonzepte sind für Neubauquartiere die für Photovoltaik geeigneten Flächen zu identifizieren und eine realisierbare Modulfläche zu ermitteln. Hierbei soll darauf hingewirkt werden, dass die PV-Flächenziele des Masterplans solares München erfüllt werden.

¹ Für die Eigentümer*innen von Nichtwohngebäuden ist in Art. 44a Abs. 2 BayBO eine zeitlich gestaffelte Pflicht geregelt, Anlagen in angemessener Erzeugung zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie auf hierfür geeigneten Dachflächen zu errichten und zu betreiben. Satz 2 erstreckt die Pflichten nach Satz 1 auch auf die Fälle der vollständigen Erneuerung der Dachhaut bei Bestandsbauten, wenn mit dieser ab dem 1. Januar 2025 begonnen wird. Eine angemessene Auslegung liegt vor, wenn die Modulfläche mindestens einem Drittel der geeigneten Dachfläche entspricht. Dachflächen sind nach Art. 44a Abs. 1, S. 3 BayBO insbesondere nicht geeignet, soweit sie der Belichtung oder Be- und Entlüftung dienen.

In Art. 44a Abs. 4 BayBO wurde für Wohngebäude eine Soll-Bestimmung in die Bayerische Bauordnung (BayBO) aufgenommen. Die Soll-Bestimmung für Wohngebäude tritt im Jahr 2025 mit folgender Regelung in Kraft: „Die Eigentümer von Wohngebäuden [...] sollen sicherstellen, dass Anlagen in angemessener Auslegung zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie auf den hierfür geeigneten Dachflächen errichtet und betrieben werden.“

Im Art. 44a Abs. 3 der BayBO ist festgehalten, dass Art. 44a Abs. 1 und 2 BayBO nicht anzuwenden sind auf: Gebäude mit einer Dachfläche bis zu 50 m², Wohngebäuden dienende Gebäude oder Gebäudeteile wie Garagen, Carports oder Schuppen, unterirdische Bauten, Gewächshäuser, Tragflughallen, Zelte und vorübergehend aufgestellte oder benutzbare Gebäude.

Fachliche Grundlagen und Wirkungszusammenhänge

Photovoltaik-Anlagen wandeln die solare Einstrahlung durch den photoelektrischen Effekt in Solarzellen in elektrischen Strom um. Hierfür benötigen die PV-Module zwingend eine direkte Sichtbeziehung zur Sonne. Der (Nenn-) Wirkungsgrad dieser Umwandlung beträgt mit heute am Markt üblichen Modulen rund 22 Prozent. Aufgrund der technologischen Weiterentwicklung steigt der Modulwirkungsgrad aktuell um rund einen Prozentpunkt pro Jahr stetig an. Aufgrund der üblichen elektrischen Verschaltung („Reihenschaltung“) der Zellen und Module in einer PV-Anlage ist der Ertrag von PV-Anlagen extrem empfindlich hinsichtlich (Teil-) Verschattungen: schon die Verschattung einzelner Modulbereiche oder Zellen innerhalb einer Anlage kann den Gesamtertrag überproportional reduzieren. Unter Berücksichtigung von Ausrichtung und Neigung (wie in Abbildung 1 dargestellt) sowie Anlagentechnik (performance ratio) kann in München mit einem Jahresertrag von rund tausend Kilowattstunden pro Kilowatt-Peak (kWh/kWp) installierter Nennleistung gerechnet werden.²

Bei nach Süden ausgerichteten, unverschatteten Anlagen mit einem optimalen Neigungswinkel von ungefähr 35 Grad (um im Mittel eine überwiegend senkrechte Sonneneinstrahlung zu ermöglichen) kann ein Jahresertrag von circa 1.100 kWh/kWp erwartet werden, bei flach aufgeständerten Ost-West-Systemen ein Ertrag von durchschnittlich 950 kWh/kWp und bei senkrecht nach Ost oder

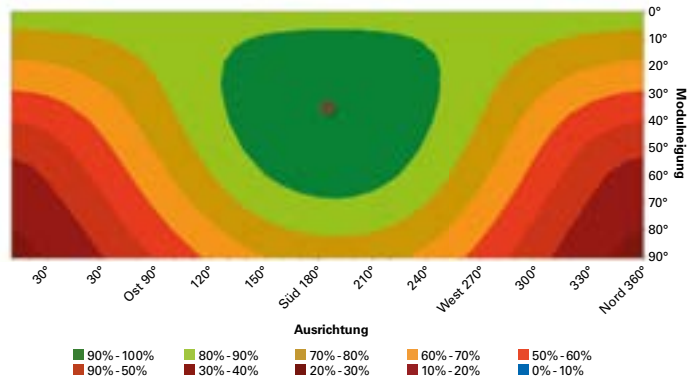


Abbildung 2: Prozentanteil vom maximal möglichen Ertrag in Abhängigkeit der Ausrichtung der PV-Anlage in Deutschland (Quelle: IfaS)

West ausgerichteten Modulen circa 500kWh/kWp. In Abbildung 3 werden die Ertragsauswirkung je nach Ausrichtung und Neigung der PV-Modulfläche dargestellt.

Neben dem reinen Ertrag ändert sich durch die Ausrichtung der Module aber auch der Zeitpunkt der Stromerzeugung. So erzielen PV-Module mit optimaler Ausrichtung zur Mittagszeit, PV-Module nach Osten ausgerichtet vormittags und nach Westen ausgerichtete PV-Module nachmittags ihr Ertragsmaximum (siehe Abbildung 3). Bei senkrecht aufgeständerten bifazialen Modulen (PV-Module mit unterschiedlichen Wirkungsgraden, die beidseitig aktiv sind) mit Ost-West-Ausrichtung wird der Effekt verstärkt. Gleichzeitig wird durch die Tatsache, dass beide Modulseiten aktiv sind, der Ost-West-Ertrag kombiniert. Hierbei ist drauf zu achten, dass ausreichend Abstand eingehalten wird, damit sich die Module nicht gegenseitig verschatten. Durch

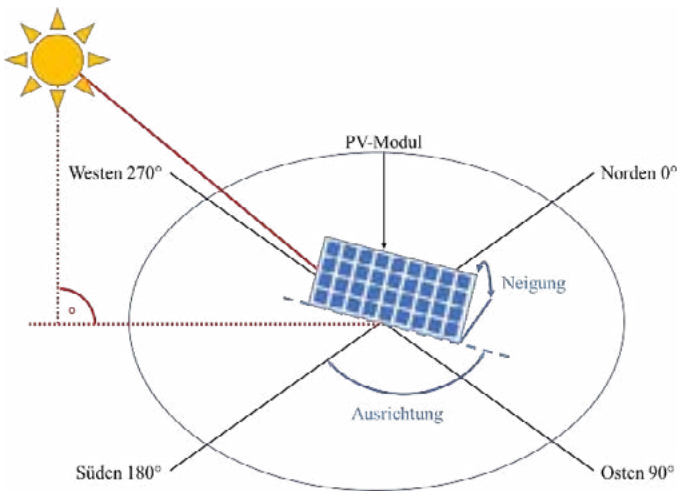


Abbildung 1: Ausrichtung einer PV-Anlage (Quelle: Dickmann 2020)

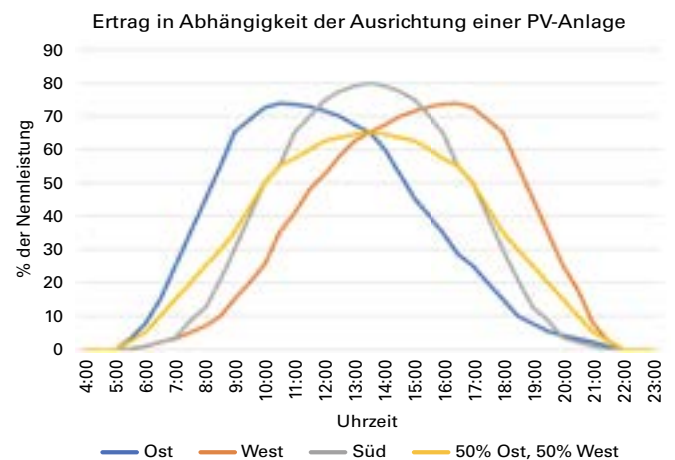


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Neigungs- und Ausrichtungswinkel bei solaren Technologien (Quelle: IfaS nach Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, 2013)

² Mit kWh/kWp wird der Ertrag (Elektrische Arbeit) pro installierter PV-Modulleistung entsprechend der Rahmenbedingungen (Ausrichtung, Winkel, Standort, etc) angegeben.

Kombination von unterschiedlich ausgerichteten PV-Modulflächen kann eine gleichmäßigere Stromproduktion und somit eine höhere solare Deckung des benötigten Stromes erzielt werden.

Aufgrund der stetigen Entwicklung der Solar-technik ist PV-Strom mittlerweile sehr preiswert und umso wirtschaftlicher je mehr des erzeugten Stromes in räumlicher Nähe (innerhalb eines Grundstückes) direkt vermarktet beziehungsweise genutzt werden kann. Dadurch wird immer wichtiger, dass neben dem PV-Ertrag auch der zeitliche Strombedarf betrachtet wird und die PV-Anlage entsprechend des Strombedarfes geplant wird. Durch eine Kombination von unterschiedlichen Ausrichtungen der PV-Module kann darüber hinaus eine weitestmögliche gleichmäßige Stromproduktion erzielt werden.

Die Technik hat sich in den vergangenen Jahrzehnten als robust erwiesen, sodass bei den Anlagen heutzutage von einer Lebensdauer von mindestens 30 bis 40 Jahren ausgegangen werden kann. Demgegenüber liegt die sogenannte energetische Amortisationszeit von Photovoltaiksystemen bei rund ein bis zwei Jahren, sodass der Energieertrag rund zwanzigfach höher ist als der Energieaufwand der Herstellung.

Solarmodule sind überwiegend schwarz und absorbieren bei senkrechter Einstrahlung etwa 90 bis 95 Prozent des eingestrahnten Sonnenlichts (entsprechend Strahlungsalbedo von 5 bis 10 Prozent). Derzeit werden ungefähr 22 Prozent des Sonnenlichts in Strom, der Rest (ca. 70 bis 75 Prozent) in Wärme umgewandelt. Aufgrund der geringen thermischen Masse der Solarmodule speichern Solarmodule nur wenig Wärme, sodass sich diese tagsüber schnell aufheizen und nachts schnell abkühlen. PV-Anlagen als „hinterlüftete zweite Dachhaut“ reduzieren somit den sommerlichen Wärmeeintrag ins Gebäude und können gegebenenfalls als zusätzlicher winterlicher Wärmeschutz dienen. Trotz der geringen Albedo können Solarmodule bei flachem Sonnen-Einstrahlwinkel zu Reflexionen führen. Eine übermäßige Belästigung der Nachbar*innen sollte durch planerische Berücksichtigung vermieden werden. Anti-Reflexschichten auf den Modulen oder Strukturierungen der Glasoberflächen können diese Effekte abmildern.

Flächenbedarf zum Erreichen des PV-Ausbauziels

Der jährliche Strombedarf Münchens lag in der Vergangenheit bei etwa 6 bis 7 TWh und wird im Zuge der Energiewende aufgrund der Stromwende im Bereich Mobilität und Wärme auf mehr als das Doppelte steigen. Die Landeshauptstadt München hat sich zum Ziel gesetzt, dass rund 25 Prozent des Strombedarfes Münchens durch innerstädtische Photovoltaikanlagen erzeugt werden. Um ein Viertel des Strombedarfes mittels innerstädtischer PV-Anlagen zu erzeugen, bedarf es bei einem durchschnittlichen Ertrag von circa 800kWh/kWp einer installierten PV-Leistung von circa 4 GWp. Unter Annahme eines (langfristigen) durchschnittlichen Flächenbedarfs von 4 m²/kWp (Modulwirkungsgrad von 25 Prozent) wird eine Modulfläche von etwa 16 Millionen Quadratmetern, also 16 Quadratkilometern, beziehungsweise rund 5 Prozent der Gesamtfläche Münchens benötigt. Einen überwiegenden Teil der erforderlichen Fläche werden Dachflächen ausmachen.

Anordnung der PV-Module

Wie in den Grundlagen dargestellt, sollten PV-Module nach Möglichkeit an oberster Stelle und frei von Störelementen (Dachaufbauten) angeordnet werden. Lediglich vereinzelnde technische Anlagen wie zum Beispiel Antennen und Blitzfangeinrichtungen müssen aus technischen Gründen oberhalb von PV-Anlagen angeordnet werden.

In der Anfangszeit der PV-Nutzung wurden PV-Module auf Flachdächern in der Regel mit einer Neigung von 35 Grad und nach Süden hin aufgeständert. Hintergrund dieser Auslegung war, dass aufgrund der hohen Investitionskosten ein möglichst hoher spezifischer Ertrag (kWh/kWp) für eine tragfähige Wirtschaftlichkeit bei Vollein- speisung erreicht werden sollte. Da mittlerweile der Eigenverbrauch des Solarstroms im Gebäude im Vordergrund steht und die PV-Kosten stark gefallen sind, wird heute die PV-Anlage eher dahingehend optimiert, dass der Gesamtertrag und die zeitliche Erzeugung des Solarstroms eng mit dem Verbrauch gekoppelt werden. Damit lässt sich ein möglichst hoher Deckungsgrad für die Energieverbräuche im Gebäude erreichen. Dies gelingt

auf Flachdächern ohne Substrat und Begrünung mit „Rücken-an-Rücken-Anordnungen“ mit einem flachen Neigungswinkel von typischerweise um die 10 Grad. Unabhängig von der Ausrichtung der Modulreihen (Ost-West, Nord-Süd, oder jeder beliebige Winkel dazwischen) wird bei dieser Modulanordnung eine hohe Flächenausnutzung und in München ein nahezu identischer spezifischer Ertrag von etwa 950 kWh/kWp erreicht. In Kombination mit Gründächern ist diese Anordnung unter anderem aufgrund der benötigten Gründachpflege und der damit einhergehenden Pflegegänge nicht möglich. Hierauf wird in diesem Positionspapier später noch vertiefter eingegangen. PV-Anlagen an Fassaden, Einhausungen oder Gründach-Systeme mit senkrecht stehenden, bifazialen Modulen erzielen zwar viel geringere spezifische Jahreserträge (kWh/kWp), sind aber trotzdem wertvoll, da diese Systeme auch Strom in Mangelzeiten (abends und morgens, im Winter bei tiefstehender Sonne) liefern können und somit zu einer höheren PV-Deckungsrate führen.

Zudem können PV-Module mittels PV-Pergolen über Sozialflächen, Dachgärten oder Dachaufbauten wie zum Beispiel Gebäudetechnik überbaut werden. Hierfür gibt es architektonisch ansprechende Beispiele sorgfältig geplanter PV-Anlagen, die zudem für eine homogene Dachlandschaft und eine zeitgemäße Solarästhetik sorgen. Zum Nachbar*innenschutz können PV-Anlagen von der Gebäudeaußenkante zurückgesetzt werden.

Die Anordnung der Solarflächen in der obersten, der Sonne zugewandten Ebene kann oftmals positive Effekte durch die Verschattung darunter liegender Bauteile oder Elemente haben: die Verschattung reduziert (UV-) Strahlungs- und Hitzeeintrag, und kann dadurch beispielsweise die Lebensdauer darunterliegende Elemente verlängern (z. B. bei darunter liegenden Dachabdichtungen), den Energieverbrauch reduzieren (z. B. weniger Kühlbedarf in Gebäuden), Austrocknung reduzieren (z. B. für Bepflanzungen) oder ein günstigeres Bioklima schaffen (z. B. bei Aufenthaltsbereichen unter Pergolen).

Empfehlungen und Planungshinweise

- Solar-Potenziale sollen gemäß dem Richtwert des Masterplans solares München genutzt werden: Als Hilfestellung für Planende können folgende Richtwerte herangezogen werden: 20 Prozent Modulfläche bezogen auf Grundstücksfläche oder 50 Prozent Modulfläche bezogen auf Grundfläche Hochbau bzw. Brutto-Dachfläche.
- PV-Anlagen sollen möglichst hoch und verschattungsfrei angeordnet werden. Eine ansprechende architektonische Gestaltung im Hinblick auf ein gutes Stadtbild ist anzustreben. PV-Anlagen eignen sich insbesondere gut als Einhausung für technische Anlagen auf Dächern.
- PV-Anlagen auf Flachdächern sollen immer – unabhängig davon, ob diese mit oder ohne Begrünung unter den PV-Flächen realisiert werden – so ausgeführt werden, dass das Regenwassermanagement im Vergleich zu einer reinen Begrünung weitgehend gleichwertig ist.³ Verdunstungskühlung ist insbesondere für PV vorteilhaft. Die Verschattung durch PV-Module verstetigt die Verdunstungskühlung auch bei länger anhaltenden Trockenperioden, da die maximal möglichen Verdunstungsraten reduziert werden.
- Durch Kombination unterschiedlich ausgerichteter PV-Modulflächen kann eine gleichmäßigere Stromproduktion und somit eine höhere solare Deckung des benötigten Stromes erzielt werden. Aufgrund der Langlebigkeit der Technologie ist besonders darauf zu achten, dass die Standfläche beziehungsweise die Dachabdichtung vor Bewitterung, Temperaturschwankungen und UV-Strahlung gut geschützt wird. Dies gelingt besonders gut mit wasserspeichernden Schüttungen, und notfalls im Bestand auch mit leichten Retentionsmatten oder reflektierenden Beschichtungen.
- Die stetige technische Weiterentwicklung der Solarenergienutzung hinsichtlich der Montagevarianten ist insbesondere bei der langfristig wirkenden Bauleitplanung zu bedenken. Zukünftige Technologien, die zu einer besseren Berücksichtigung von Belangen führen, dürfen nicht verhindert werden.

³ z. B. PV nicht über Rollkies-Flächen; besser: Kiessand oder extensive Begrünung oder zusätzliche Retentionsschicht.



Gründach

2

Gesetzliche Grundlagen und Stadtratsbeschlüsse

Gründächer sind bereits seit Jahren vor dem Hintergrund des Klimawandels und des Verlustes an biologischer Vielfalt ein Bestandteil kommunaler Strategien, um die ökologischen Funktionen in verdichteten Siedlungsräumen zu stärken. Auch in München wird aufgrund des fortschreitenden Klimawandels und des städtischen Wärmeinselleffekts Dachbegrünung als wichtige Klimaanpassungsmaßnahme betrachtet. München hat die Potenziale von Gründächern als effektive Klimaanpassungsmaßnahme bereits frühzeitig erkannt und deren Umsetzung in zahlreichen Beschlüssen festgehalten:

- Bayerisches Versöhnungsgesetz II / Grundsatzbeschluss zur „Klimaneutralen Stadtverwaltung 2030“ und weitere Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität München 2050 (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 16525): München ist bei städtischen Neubauten Vorbild. Bei städtischen Neubauten und Sanierungen sind zur Verbesserung des Stadtklimas und zur Förderung der Biodiversität am Gebäude Flachdächer mit einer Substratschichtdicke von 15 bis 25 Zentimetern zu begrünen.
- Projekt „Grüne Stadt der Zukunft II“, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung- Projektabschluss, Ergebnisse 2022/2023 und Ausblick (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 12679): Verstetigung der Projektergebnisse und der Anwendung der entwickelten Kriterien (z.B. zur Dachbegrünung) über den städtebaulich-landschaftsplanerischen Wettbewerb hinaus. Von der stadtklimatischen Ersteinschätzung bis zum Satzungsbeschluss.
- Grundsatzbeschluss I – Umsetzung Klimaziele München, Erlass einer Klimasatzung, Erlass einer Klimaratssatzung (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 03533): Zeigt Handlungsspielräume und Leitsätze für die künftige Klimastrategie auf, damit sich München zu einer widerstands- und anpassungsfähigen Stadt entwickelt. Als Schwammstadt soll München der Klimaerwärmung trotzen, die städtische Wärmeinsel soll unter anderem durch Dachbegrünung reduziert werden.
- Klimaneutrales München bis 2035 (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 03873): Zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2035 sollen Klimaschutz und Klimaanpassung in allen Planungsverfahren und -schritten konsequent eingebracht und berücksichtigt werden. Ein Klimafahrplan ist bei allen städtebaulichen Planungen und Bebauungsplanverfahren anzuwenden, die Erstellung eines Klimaresilienzkonzeptes ist verpflichtend. In allen Bebauungsplanverfahren sollen Festsetzungen (z. B. Dachbegrünung) im Sinne der Klimaanpassung festgelegt werden, soweit rechtliche, technische und nutzungsbedingte Gründe nicht dagegensprechen.
- Maßnahmenkonzept Anpassung an den Klimawandel in der Landeshauptstadt München (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 06819) und Monitoringbericht Klimaanpassungskonzept (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 02817): Ausbau von Dachbegrünung auf Gebäuden und Erhöhung der Resilienz.
- Fortschreibung des Klimaanpassungskonzepts I (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 07027): Untersuchung und Einführung intensiver Dachbegrünung und Entwicklung einer Handreichung und Planungsempfehlungen für die Kombination von Photovoltaik und Begrünung.
- Anpassung an den Klimawandel – Klimafunktionskarte Landeshauptstadt München (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 01810): Die Klimafunktionskarte stellt die bioklimatische Situation in den Siedlungsbereichen dar. Der Vegetationsanteil (z. B. Dachbegrünung) soll insbesondere in bioklimatisch belasteten Siedlungsbereichen erhöht werden.
- Einbindung des „Schwammstadt-Prinzips“ in Prozesse der Stadtplanung (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 06625): Das Schwammstadt-Prinzip ist in Planungsprozessen, insbesondere Planungswettbewerben, frühzeitig und verstärkt zu berücksichtigen. Dachbegrünungen sind eine wichtige Maßnahme zur Umsetzung des Schwammstadt-Prinzips.

- Grün- und Freiflächenversorgung in der Bebauungsplanung – Orientierungswerte (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 04273): Beschluss zu Orientierungswerten zur Grün- und Freiflächenversorgung, wovon 4 Quadratmeter auf dem Dach nachgewiesen werden können.
- Freiflächengestaltungssatzung der Landeshauptstadt München seit 1996: Flachdächer oder geeignete Dächer sollen ab einer Gesamtfläche von 100 Quadratmetern flächig und dauerhaft begrünt werden. Flachdächer von Garagen und Tiefgarageneinfahrten sind zu begrünen.

Die großen Herausforderungen des Klimawandels, wie zunehmende Hitzeperioden und häufigere Starkregenereignisse bei gleichzeitig länger anhaltenden Trockenphasen, können durch Gründächer mit entsprechenden Substratschichten abgemildert werden. Bei höheren Substratmächtigkeiten als bisher bei extensiver Dachbegrünung üblich, kann mehr Niederschlag gespeichert und verdunstet werden, und artenreichere Vegetation mit höherer Blattmasse ist möglich. Bei extensiver Begrünung sind daher im Neubau mindestens 20 Zentimeter Substratschicht optimal, um die ökologischen Funktionen zu erfüllen. In Kombination mit intensiv begrünten Dächern mit Substratschichten von 40 Zentimetern und darüber hinaus, können damit auf den Dächern zusätzliche Lebensräume geschaffen oder auch zur Nutzung als zusätzliche Freiräume in hochversiegelten Bereichen zur Verfügung gestellt werden.

Durch einen hohen Versiegelungsgrad in städtischen Bereichen ist das Bodengefüge stark verdichtet und der Wasserhaushalt in der Regel gestört, sodass sich der Oberflächenabfluss erhöht und eine geringe Verdunstung und Grundwasserneubildung vorliegen. Ziele der Landeshauptstadt München sind folglich zunehmend die Umsetzung eines dezentralen Regenwasser-managements nach dem Schwammstadt-Prinzip (Regenwasserrückhalt, Verdunstung, Versickerung, Speicherung) und die Schaffung eines gesunden Stadtklimas. Dachbegrünungen bilden dabei einen wesentlichen Baustein in Bezug auf das Regenwassermanagement.

Fachliche Grundlagen und Wirkungszusammenhänge

Stadtklima

Gründächer und Verdunstung

Vitale Gründächer weisen eine natürliche Kühlwirkung auf, da sie mit bis zu 75 Prozent den Großteil der absorbierten Sonnenenergie in einen latenten Wärmestrom (Evapotranspiration oder „Verdunstung“) umwandeln und damit die „Verdunstungskühlung“ fördern. Nur ein kleiner Teil der absorbierten Strahlung wird im Vergleich zu konventionellen Dächern in einen fühlbaren Wärmestrom umgewandelt, welcher zu einer Zunahme der Lufttemperatur führt.⁴ (Abbildung 4).

Je dicker die Substratschicht und je höher deren Wasserspeicherkapazität und je intensiver die Begrünung (hoher Blattflächenindex) und diverser die Pflanzenauswahl, desto höher und lang-anhaltender ist die Kühlwirkung.⁵ Sowohl für extensive als auch für intensive Gründächer

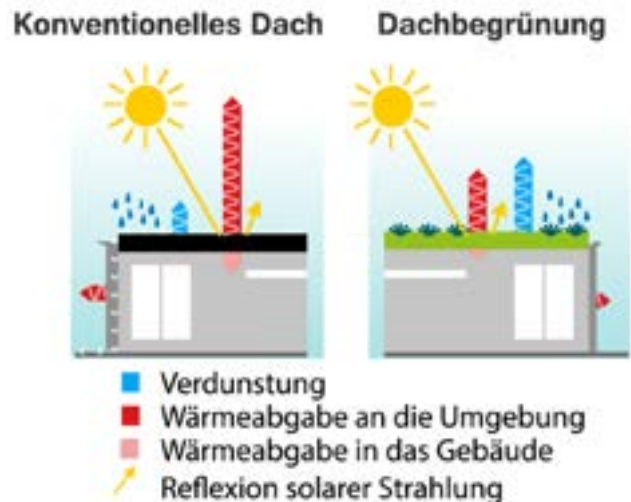


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Flachdaches ohne und mit Dachbegrünung. Der rote Pfeil stellt einen fühlbaren Wärmestrom (Lufttemperaturzunahme), der blaue einen latenten Wärmestrom („Verdunstungskühlung“) dar (aus DWD (2015).

⁴ Skoryi et al., 2022; Zonato et al., 2021

⁵ Dietzel et al., 2022; FLL, 2018; Skoryi et al., 2022; Zonato et al., 2021

konnte bei genügend Wasserverfügbarkeit ermittelt werden, dass der latente Wärmestrom größer als der fühlbare Wärmestrom ist, allerdings ist aufgrund der höheren Bewuchsintensität (Blattflächenindex, Höhe, Stomatawiderstand) die Verdunstungsrate und somit die Kühlwirkung von struktur- und artenreichen Gründächern mit beispielweise Gras-Kraut höher als für eine Begrünung mit Sedum-Moos-Kräuter. ^{6 7}

Beispiel

Bei einer Substratschichtdicke von 30 Zentimetern können ca. 90 Millimeter ($\hat{=}$ 90 Liter pro Quadratmeter) Regenwasser gespeichert werden und den Pflanzen zur Verfügung stehen (Annahme nutzbare Feldkapazität nFK des Substrates: $nFK = 0,3 \text{ m}^3/\text{m}^3 = 30 \%$). Bei einer realen Verdunstung während autochthoner Wetterlagen im Sommer von ca. 4 Millimetern pro Tag ($\hat{=}$ ca. 2,4 kWh „Verdunstungskühlung“) über Gras könnten die Pflanzen auch während einer maximal möglichen Dauer einer Trockenperioden von durchschnittlich 21 Tagen in München transpirieren (siehe LfU). Danach steht noch Wasser im Substrat (unterhalb des Welkpunktes) für die Evaporation zur Verfügung. Bei einer Substratschichtdicke von nur 7 Zentimetern können ca. 21 Liter Wasser pro Quadratmeter, bei 20 Zentimetern können ca. 60 Liter Wasser pro Quadratmeter pflanzenverfügbar gespeichert werden.

Austauscharme Hochdruckwetterlagen mit alpinen Pumpen treten an etwa 30 Prozent der Sommertage auf und gehen häufig mit hohen Lufttemperaturen, geringer Windgeschwindigkeit und hohen Hitzebelastungen einher.⁸ Die Verdunstungsraten und somit das Potenzial für die Verdunstungskühlung hängen stark vom Wetter

beziehungsweise dem Mikroklima (Lufttemperatur undfeuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung), der Wasserverfügbarkeit, der Pflanzenauswahl und dem Bedeckungsgrad der Vegetation ab. Die durchschnittliche Evapotranspiration beträgt zwischen 4 und 6 Litern pro Quadratmeter am Tag während der Sommermonate in den mittleren Breiten und für eine Begrünung mit autochthonen Pflanzen aus Gräsern und Kräutern. Zu Spitzenzeiten können auch mehr als 7 Liter pro Quadratmeter verdunsten.⁹

Gründächer und mikro- beziehungsweise stadtklimatische Wirkung

Gut geplante und vitale Gründächer mit entsprechenden Verdunstungsraten weisen eine ähnliche Klimawirkung wie Grün- und Freiflächen auf Bodenniveau auf, da sie ein ähnliches Bowen-Verhältnis (Verhältnis fühlbarer zu latenter Wärmestrom) aufzeigen. Für eine klimaangepasste Stadtentwicklung sollte ein Bowen-Verhältnis von weniger als 1 angestrebt werden, was bei Gründächern mit ausreichend Wasserverfügbarkeit gegeben ist. Die „Verdunstungskälte“ bewirkt dabei, dass sich vitale Gründächer tagsüber kaum aufheizen (siehe Abbildung 5), während konventionelle Dächer hohe Oberflächentemperaturen von mehr als 50 Grad Celsius erreichen können.¹⁰ Einzelne Gründächer führen im Vergleich zu herkömmlichen Dächern mess- und modellierbar zu einer Reduktion der Lufttemperatur um 1 bis 2 Grad Celsius an Sommertagen und im direkten Umfeld.¹¹

Seit wenigen Jahren kann auch der Einfluss von Gründächern auf gesamtstädtischer Ebene modelliert werden. Aktuelle Studien zeigen, dass durch eine flächenhafte Umsetzung von Dachbegrünung ein gesamtstädtisch positiver Einfluss auf das Stadtklima erwartbar ist.¹² Zudem könnte der Zeitraum an heißen Tagen mit hoher oder sehr hoher Hitzebelastung reduziert werden.¹³

⁶ Skoryi et al., 2022

⁷ O'Carroll et al., 2022

⁸ Mühlbacher et al., 2020

⁹ Jahnafar et al., 2020

¹⁰ Bevilacqua et al., 2017; Kuttler, 2011; Pfoser, 2016

¹¹ DWD, 2015; GEO-NET Umweltconsulting GmbH, 2010

¹² Bevilacqua et al., 2017; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023; Rosenzweig et al., 2006; Skoryi et al., 2022; Wang et al., 2022

¹³ Wang et al., 2022

Gründächer und Trockenperioden

Eine Trockenperiode ist ein mehr oder weniger langer Zeitraum mit einem Tagesniederschlag von weniger als 1 Millimeter. Während der Referenzperiode von 1991 bis 2020 traten in München in den Sommerhalbjahren insgesamt 682 Trockenperioden mit einer Dauer von mehr als 2 Tagen auf. Eine der längsten Trockenperioden mit 30 Tagen wurde während dem Sommerhalbjahr im Jahr 2007 in München gemessen. 5 Prozent der Trockenperioden halten länger als 12 Tage an, 1 Prozent länger als 15 Tage. Die in der Vergangenheit beobachtete und zukünftig erwartbare maximale Dauer von Trockenperioden im Raum München beträgt im Mittel 21 Tage.¹⁴ Im Sinne der Klimavorsorge soll der Substrataufbau so gewählt werden, dass die Verdunstung einer Dachbegrünung für diese Dauer erhalten bleibt, ähnlich zu der Anforderung für Straßenbäume in München. Durch das hohe Volumen der Baumgruben von 36 Kubikmetern¹⁵ können Münchner Straßenbäume mehr als 20 Tage ohne sonstige Wasserzufuhr schadlos überstehen.

Die Wasserspeicherkapazität und nutzbare Feldkapazität, also das pflanzenverfügbare Wasser, hängen maßgeblich von der Substratschichtdicke und dem verwendeten Substrat ab.¹⁶ Ausgehend von im Mittel maximal 21 Tagen langen Trockenperioden und einer nutzbaren Feldkapazität von 30 Prozent für das Substrat der Dachbegrünung sowie einer realen Verdunstung von 4 Millimetern am Tag über Kraut-Gras¹⁷ ergibt sich eine Mindestsubstratmächtigkeit von 28 Zentimetern. Berücksichtigt man zudem, dass klimawandelbedingt die Wasserverfügbarkeit für Pflanzen im Sommer um bis zu 15 Millimeter verringert sein kann,¹⁸ wäre eine Mindestsubstratschichtdicke von ungefähr 33 Zentimetern notwendig. Gründächer mit geringerer Substratmächtigkeit können auch künstlich bewässert oder mit Wasserretentionsboxen unter dem Substrat ausgestattet werden, um so die Kühlwirkung während außergewöhnlich langanhaltenden Trockenperioden zu fördern und zu erhalten.

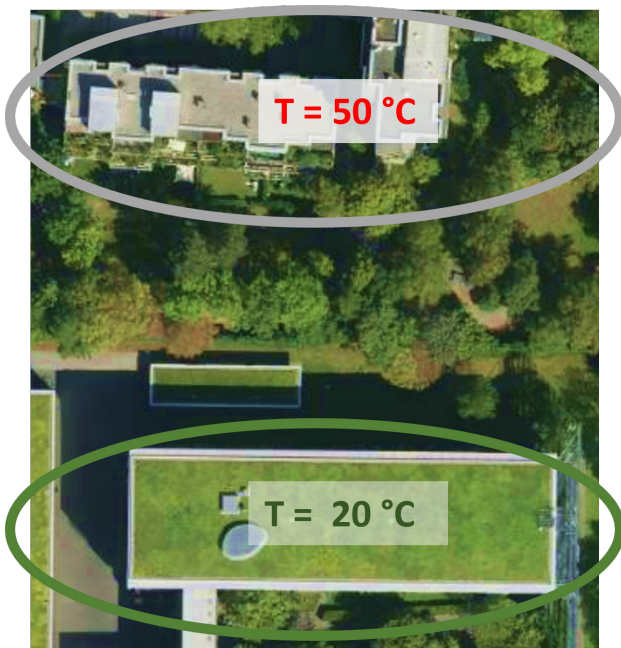


Abbildung 5: Luftbild eines Kies- und eines Gründaches (links) in München und Tagesgang der Oberflächentemperaturen während eines Sommertages für verschiedene Dacharten aus Kuttler (2011).

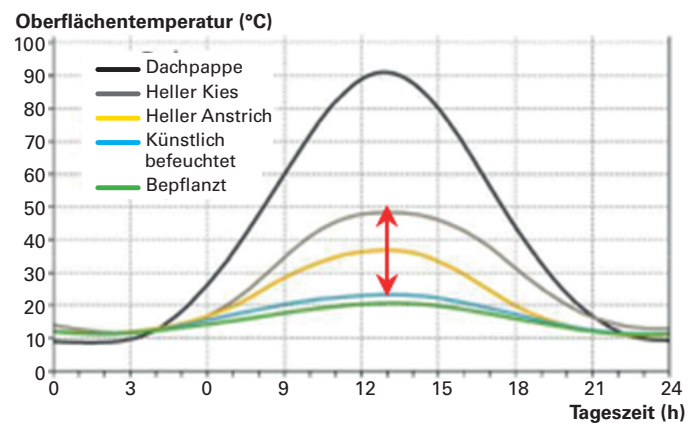


Abbildung 6: Oberflächentemperaturen von Dachabdeckungen mit schwarzer Dachpappe, heller Kiesschüttung, hellem Anstrich und künstlich befeuchteten Substraten. Quelle: (41), verändert.

¹⁴ Klimawandelszenario RCP 8.5; LfU

¹⁵ ZTV-Vegtra-Mü

¹⁶ Almaaitah et al., 2022

¹⁷ Jahanfar et al., 2020

¹⁸ Thober et al., 2018

Regenwassermanagement

Gründächer als Bestandteil des Regenwassermanagement

Das Hauptziel im nachhaltigen Regenwassermanagement ist eine Annäherung an einen natürlichen Wasserhaushalt. Der natürliche Wasserhaushalt setzt sich aus der Verdunstung, der Grundwasserneubildung und dem Abfluss zusammen. Die Verdunstung stellt hierbei mit einem Anteil von etwa 55 Prozent den Hauptbestandteil dar, gefolgt von der Grundwasserneubildung mit circa 35 Prozent und dem Abfluss mit exakt 10 Prozent (Werte für München¹⁹). Daher liegt der Fokus bei der Umsetzung des Schwammstadt-Prinzips auf der Förderung der Verdunstung.

Sowohl eine Kombination aus Vegetationselementen mit expliziten Regenwasserspeicherelementen als auch eine reine Dachbegrünung ohne zusätzliche Retentionsschicht können laut Literatur als wichtiger Bestandteil des Regenwassermanagements betrachtet werden.²⁰ Auch Dächer ohne zusätzliche Speicherelemente leisten einen Beitrag zur Regenwasserretention, da bereits geringe Substratschichtdicken zu messbaren Effekten (Speicherung, Reduktion Abfluss) führen.²¹

Wichtige Funktionen begrünter Dächer sind die Wasserretention, welche zu einer Erhöhung der Verdunstungsrate führt,²² die Reduktion des Wasserabflusses aus Niederschlägen, die pflanzenverfügbare Speicherung des zurückgehaltenen Niederschlagswassers und die Verzögerung des Abflusses überschüssigen Wassers bei Starkregenereignissen.²³ Exakte Angaben zur durchschnittlichen Wasserretention von Dachbegrünung sind schwierig, da sich die vorhandenen Studien aufgrund verschiedener Ausgangs- und Witterungsbedingungen kaum vergleichen lassen. Für das Wasserspeichervermögen von Dachbegrünungen sind insbesondere folgende Parameter ausschlaggebend:

- Mächtigkeit und Art sowie Qualität des Substrats bzw. maximale Wasserkapazität/Wasserspeicherfähigkeit
- aktueller Wassergehalt des Substrats
- Art der Bepflanzung/Pflanzenauswahl/Artenzusammensetzung
- Deckungsgrad der Bepflanzung
- regionale Verteilung, Häufigkeit und Stärke der Niederschläge; Standortgegebenheiten
- Alter der Dachbegrünung und Neigung des Daches
- Optional: Anstau/temporäre Speicherung, Niederschlag in zusätzlicher Schicht, Drosselabfluss zur Steuerung der Retentionsleistung

Der Schichtaufbau eines Gründachs kann je nach Bauwerk, Dachkonstruktion und Art der Begrünung variieren. Im Regelfall besteht die Dachbegrünung aus folgenden Elementen:

Bepflanzung beziehungsweise Saatgut, Substratschicht, Filtervlies, Drainage-Element, Trenn- und Schutzvlies. Darauf folgt der Dachaufbau, in der Regel bestehend aus: Wärmedämmung, Dachabdichtung, Trenn- und Schutzlage, Betondecke. Die Speicherung von Niederschlagswasser erfolgt über die Substratschicht und das Drainage-Element.

Grundsätzlich lassen sich drei verschiedene Formen der Wasserretention auf Dächern unterscheiden:

- Regulierte Wasserführung unter Substrat (Retentionsdach / über Dränschicht),
- regulierte Wasserführung im Substrat
- und regulierte Wasserführung auf / über Substrat (diese Variante wird selten ausgeführt).

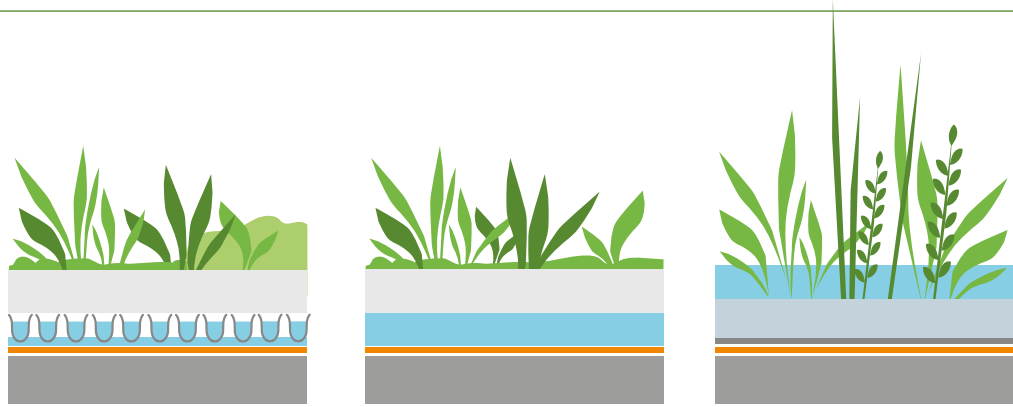
¹⁹ NatUrWB Referenz für München, © HyFr- Max Schmit, 2023

²⁰ Andenaes et al., 2018; Shafique et al., 2016

²¹ Bengtsson et al., 2004

²² Cirkel et al., 2018, Goessner et al., 2021

²³ Carpenter et al., 2016, Shafique et al., 2016



Regulierte Wasserführung	unter Substrat	unter Substrat	unter Substrat
Abflussbeiwert	0,01 – 0,3	0,3	Entfällt, da nur Notüberlauf

Abbildung 7: Systematische Darstellung Feuchte-Dachtypen

Zur Entwässerung auf dem Dach dienen Drän-schichten, über welche überschüssiges Wasser zur Entwässerungseinrichtung geleitet wird. Diese können auch zur zusätzlichen Wasserspeicherung herangezogen werden (z. B. Wasserretentionsboxen), den Wurzelraum vergrößern und Wurzeln zusätzlich belüften sowie die unter ihr liegende Schicht vor Beschädigung durch Wassereintritt schützen.

Allen Flächen auf dem Dach (z. B. Terrasse, Kies, Grünfläche) werden Abflussbeiwerte zugeteilt,

welche beispielsweise in der DIN 1986-100 festgelegt sind.²⁴ Die vorhandenen Regelwerke zur Ermittlung des Abflussbeiwertes beziehen sich derzeit in der Regel auf die Substratstärke sowie die Dachneigung.²⁵ Der Abflussbeiwert gibt den Teil einer Niederschlagsmenge an, der nach dem Regenereignis abläuft. Durch Retentionsdächer können sich Abflussbeiwerte verringern.²⁶ Je niedriger der Wert ist, desto höher ist also das Wasserspeichervermögen der Dachbegrünung. Zum Vergleich: Der Referenzwert von 1 beschreibt ein undurchlässiges Dachmaterial.

Art der Flächen	cs-Werte, Tabelle 9 DIN 1986-100	cs-Werte, FLL Dachbegrünungsrichtlinien
Intensivbegrünung Aufbau > 30 cm, Neigung < 5%	0,2	
Extensivbegrünung Aufbau > 10 cm, Neigung < 5%	0,4	
Extensivbegrünung Aufbau < 10 cm, Neigung < 5%	0,5	
Extensivbegrünung, Neigung > 5%	0,7	
Bei > 6 – 10 cm, Neigung < 5%		0,5
Bei > 10 – 15 cm, Neigung < 5%		0,4
Bei > 15 – 25 cm, Neigung < 5%		0,3
Bei > 25 – 50 cm, Neigung < 5%		0,2

Tabelle: Auszug Übersicht Spitzenabflussbeiwerte nach DIN 1986-100 Tabelle 9 und FLL-Dachbegrünungsrichtlinien (detaillierte Tabelle siehe Anhang).

²⁴ Beim Abflussbeiwert ist wichtig zu unterscheiden, ob er sich auf die mittlere jährliche Niederschlagsmenge (mittlerer oder statischer Abflussbeiwert) oder einzelne Regenereignisse (Spitzenabflussbeiwert) bezieht. Zur Starkregenvorsorge ist der Spitzenabflussbeiwert heranzuziehen. Nach DIN 1986-100 (vgl. hier Tabelle 1, in DIN 1986-100 nach Tabelle 9) sowie nach FLL (FLL 2018, Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen) liegt der Spitzenabflussbeiwert Cs ab einer Substratdicke von mehr als 10 Zentimetern bei circa 0,4 und bei Intensivbegrünung ab ungefähr 30 Zentimeter Substratstärke bei 0,2 (ausgehend von einer Dachneigung ≤ 5°).

²⁵ DIN EN 12056-Teil 3 ergänzt durch DIN 1986-100 sowie die FLL-Richtlinie zur Dachbegrünung; Tabelle Spitzenabflussbeiwerte: siehe Anhang.

²⁶ Förster et al., 2021

Die Wirkung extensiver Gründächer mit einer vergleichsweise geringen Substratschicht ist begrenzt.²⁷ Bei einer Substratstärke von weniger als 10 Zentimetern liegt der Spitzenabflussbeiwert bei etwa 0,8 bis 0,5.²⁸ Bei einer Substratstärke von 20 Zentimetern ist in Anlehnung an die Tabellenwerte von einer merklichen Verringerung des Spitzenabflussbeiwerts auszugehen ($c_s = 0,3$) und somit von einem deutlich höheren Wasserspeichervermögen auf dem Dach.

Dächer mit Drosselablauf gehen zusätzlich noch über den Abflussbeiwert hinaus, indem sie die Abflussgeschwindigkeit definieren, sodass der Abflussbeiwert theoretisch noch weiter reduziert werden könnte (z. B. 1 bis 10 Liter pro Sekunde).

Mit zunehmendem Gefälle erfolgt eine schnellere Wasserabführung. Nach FLL 2018 sollte dies ab einer Dachneigung von mehr als 5 Grad (ca. 8,8 Prozent Gefälle) durch einen Schichtaufbau mit höherem Wasserspeichervermögen und geringerer Dränleistung oder durch eine Vegetationsform mit geringerem Wasserbedarf ausgeglichen werden.

Wasserspeicherkapazität

Die Wasserspeicherkapazität bezeichnet die Gesamtmenge an Wasser, die ein Boden maximal speichern und binden kann. Ist der Maximalwert erreicht, fließt das überschüssige Wasser ab. Sie ist abhängig von der Bodenart (Korngrößen),

von Porenanteil und Porengrößenverteilung, von Humusart und Humusgehalt sowie von der Art der Tonminerale und Bodengefüge. Dementsprechend ist die Wasserspeicherkapazität der Substratschicht auf einem Dach von der Beschaffenheit des Substrats abhängig.

Im Durchschnitt hat eine Standard-Systemlösung ein Speichervolumen von 20 bis 40 l/m². Die Wasserspeicherung beträgt bei höheren Substratschichten zwischen 50 und 100 l/m², in Einzelfällen auch darüber.

Wasserrückhalt

Nach FLL²⁹ ist unter Berücksichtigung verschiedener Substrathöhen eine Wasserrückhaltung von bis zu 90 Prozent möglich (intensive Dachbegrünung).³⁰ Im Mittel liegt der Wasserrückhalt bei circa 50 bis 60 Prozent des Niederschlags (extensive Dachbegrünung).³¹

Gemäß FLL 2018 wird die prozentuale Wasserrückhaltung als Differenz aus der Menge der gefallenen Niederschläge und der abgeflossenen Wassermenge im jährlichen Durchschnitt ermittelt. Dementsprechend ergibt sich der Jahresabflussbeiwert ψ_a als Verhältnis der jährlichen Regenabflusssumme zum jährlichen Regenvolumen. Die jährliche Wasserrückhaltung hängt von der Bauweise, von der Substratdicke, von der stoffspezifischen Wasserspeicherkapazität sowie der Wasserdurchlässigkeit ab.

Nr.	2	2	3
1	Begrünungsart	Aufbaudicke (cm)	Wasserrückhaltung im Jahresmittel (%)
2	Extensivbegrünung	2 – 4	40
		> 4 – 6	45
		> 6 – 10	50
		> 10 – 15	55
		> 15 – 20	60
3	Intensivbegrünung	15 – 25	60
		> 25 – 50	70
		> 50	≥ 90

Tabelle 1: Anhaltswerte für die prozentuale jährliche Wasserrückhaltung bei Dachbegrünungen in Abhängigkeit von der Aufbaudicke aus Schüttstoffen (Tabelle aus FLL-Dachbegrünungsrichtlinien, 2018, S. 60) *

*Die Angaben beziehen sich auf Standorte mit 650 bis 800 Millimeter Jahresniederschlag und jeweils mehrjährigen Ermittlungen. In Regionen mit geringeren Jahresniederschlägen ist die Wasserrückhaltung höher und in Regionen mit höheren Jahresniederschlägen entsprechend geringer. In München lag der langjährige Jahresmittelwert für Niederschlag zwischen 1991 bis 2020 bei 940 Millimetern.

²⁷ Burkhardt, M. et al., 2020

²⁸ vgl. auch Anhang Tabelle Übersicht Spitzenabflussbeiwerte

²⁹ FLL 2014, Gebäude Begrünung Energie, Potenziale und Wechselwirkungen

³⁰ Busker et al., 2022

³¹ Schmauck 2019, BfN

Einfluss der Pflanzenauswahl und des Deckungsgrads auf die Wasserretention

Als besonders effektiv erwiesen sich bei verschiedenen Studien Pflanzenmischungen aus Gras-Kraut-Bepflanzungen und Hülsenfrüchtlern, während die größten Durchflussmengen bei Fett-hennen-Monokulturen sowie Moos gemessen wurden.³²

Der Deckungsgrad bestimmt den Anteil, welchen eine Pflanze in horizontaler Ausdehnung bedeckt in Bezug auf eine anzunehmende Gesamtfläche beziehungsweise Flächeneinheit. Je höher der Deckungsgrad durch die Bepflanzung auf der Dachfläche ausfällt, desto besser fällt die Feuchtespeicherung in der Pflanzschicht aus. Zudem weisen Dachflächen mit höheren Deckungsgraden niedrigere Temperaturen auf. Aus mehreren Arten aufgebaute Systeme ergeben eine bessere Niederschlagsretention, Evapotranspiration und Kühlleistung und können somit einen positiven Effekt auf den Wasserhaushalt erzielen.

Als Beispiel empfiehlt sich die Verwendung von Flachballenpflanzen langlebiger und robuster Arten, welche als Grundgerüst mit einer Pflanzdichte von weniger als 20 Pflanzen pro Quadratmeter verwendet werden sollten. In dieses Grundgerüst sollten zur Erhöhung des Deckungsgrads krautige Arten eingebracht werden, wodurch die Retention und Verdunstung gefördert werden. Bei verschiedenen Versuchen erwiesen sich Bestände mit hohen Anteilen an Goldfettthebe als nicht optimal geeignet, um Wasser im Substrat zu speichern.³³

Dies bestätigte die Vermutung, dass die Pflanzenauswahl eine erhebliche Rolle bei der Wasserretention von Gründächern spielt.

Standortvoraussetzungen und Niederschlagsmuster

Die Stadt München weist je nach Lage im Stadtgebiet unterschiedliche Voraussetzungen bezüglich der Entwässerungsmöglichkeiten auf. Zur Analyse beziehungsweise ersten Einschätzung der Möglichkeiten zur Entwässerung in Planungsgebieten werden verschiedene, für München relevanten Pläne herangezogen.³⁴

In Gebieten mit hohen Grundwasserständen (z. B. Aubing, Lochhausen, Langwied, Feldmoching, Johanneskirchen, Lerchenau und einigen Bereichen entlang der Isar) ist die Versickerung erschwert, da viele Versickerungsmaßnahmen wegen der Gefahr eines dauerhaften Einstaus nicht umgesetzt werden können (z.B. Rigolen, Versickerungsschächte).

Je höher der Versiegelungsgrad, desto höher ist der Anteil des Oberflächenabflusses. Dies stellt vor allem bei Starkregenereignissen eine Überflutungsgefahr dar, da das Wasser nicht versickern kann und sich in Senken und Gefährdungsbereichen schnell ansammelt. In München gilt die Vorgabe, dass Niederschlagswasser grundsätzlich nicht in den städtischen Kanal eingeleitet werden darf.³⁵ In Gebieten mit einer hohen Versiegelungsdichte kann durch eine Dachbegrünung durch den Regenwasserrückhalt eine deutliche Verringerung des Oberflächenabflusses erreicht werden.

Der Jahresniederschlag in München beträgt im langjährigen Mittel (1991-2020) 940 Millimeter³⁶ und fällt durch die Alpennähe höher aus als in weiten Teilen Bayerns. In Regionen mit höheren Jahresniederschlägen fällt die Wasserrückhaltung geringer aus als in Regionen mit niedrigeren Werten.³⁷

³² Franzaring et al., 2014, Vanuytrecht et al., 2014

³³ Franzaring et al., 2014

³⁴ Plan des Mittleren Hochwasserstandes in München (MHGW-Plan), erstellt von Dr. Blasy – Dr. Overland beratende Ingenieure GbR (2022), beauftragt durch die Landeshauptstadt München Versiegelungsgrad pro Baublock in München 2019 (abrufbar unter <https://geoportal.muenchen.de/portal/master/#>) Fachplan Boden (2007), Karte Bodenfunktionsbewertung: Potenzial für Retention von Starkniederschlägen

Plan zur Beurteilung der Versickerungsfähigkeit des Untergrundes im Stadtgebiet München 2004, Dr. Blasy – Dr. Overland beratende Ingenieure GbR, beauftragt durch LHM

³⁵ Entwässerungssatzung München, 2018

³⁶ Climate Data Center, Deutscher Wetterdienst 2024

³⁷ FLL-Dachbegrünungsrichtlinien, 2018

Anstau und temporäre Speicherung

Begrünte Dachflächen können über das übliche Maß hinaus als Retentionsraum genutzt werden. Durch den Einbau einer zusätzlichen Schicht zur Wasserrückhaltung unter der Substratschicht verbessert sich die hydrologische Leistung von herkömmlichen Gründächern.³⁸ Vor allem Wasserretentionsboxen (WRB) kommen inzwischen häufiger zum Einsatz. In ihnen kann anfallendes Niederschlagswasser permanent gespeichert werden (Dauereinstau). Darüber hinaus können sie als temporärer Rückhalteraum zur Abflussverzögerung dienen. Zudem können WRB während der Sommerzeit die Oberflächentemperatur verringern.³⁹ Die verzögerte Abgabe des Wassers erfolgt durch eine Drosselösung. Der permanente Wasserspeicher ist in der Regel von der Drossel unabhängig.

Eine weitere Lösung stellt beispielsweise ein System dar, bei welchem die Dränelemente mit einem Mäandermuster ausgestattet sind. Am Ende des Musters befindet sich das Abflusselement, was zusätzlich zu einer Abflussverzögerung führt. Hierbei wird ein Spitzenabflussbeiwert von $C_s=0,1$ erreicht.

Verschiedene Hersteller*innen bieten zudem intelligent gesteuerte Retentionsdächer und Drosseln an. Hierbei handelt es sich um eine EDV-gesteuerte Entwässerung, die mit einer Wetter-App verbunden ist (Regen-Vorhersage) und in Abhängigkeit der Wettervorhersage funktioniert. Es wird ein definierter Regenwasserabfluss erzeugt, zur Schaffung eines exakt so großen Retentionsvolumens, wie dies zum Rückhalt eines bevorstehenden Regenereignisses benötigt wird. Steht beispielsweise ein Starkregenereignis bevor, so werden die Speicherkörper zuvor automatisch entleert. Das System verfügt zudem über eine Wasserbilanzsteuerung, bei welcher je nach Erfordernis der Prozentsatz an Verdunstung, Grundwasserneubildung und Abfluss im System eingestellt werden kann (z. B. 81 Prozent Verdunstung, 19 Prozent Grundwasserneubildung und 0 Prozent Abfluss).

Ein ähnliches Konzept bietet die „Intelligente Zisterne.“ Herkömmliche Regenwasserzisternen sollen in der Regel möglichst gefüllt sein, um den Wasserbedarf abdecken zu können. Der Nachteil hierbei ist, dass bei stärkeren Niederschlagsereignissen dann häufig kein Speichervolumen mehr zur Verfügung steht. Intelligente Zisternen werden basierend auf Wettervorhersagen rechtzeitig entleert, sodass Starkregenabflüsse gepuffert werden können. Das in der Zisterne gesammelte Wasser wird mittels Saugpumpe zu den gewünschten Bewässerungsstellen (z. B. zur Dachfläche) gefördert.

Wasserhaushaltsbilanz und Dimensionierung Dachbegrünung

Die Dimensionierung und erforderliche Leistung von Versickerungsanlagen im Allgemeinen kann mithilfe von Simulationen zur Wasserhaushaltsbilanz berechnet werden.⁴⁰

Damit können beispielsweise versiegelte Flächen, natürliche / durchlässige Flächen, Gründächer (extensiv, intensiv), Zisternen, Flächenversickerung, Mulden, Rigolen sowie Mulden-Rigolen-Systeme und viele mehr modelliert werden.

Ein einfaches Wasserbilanz-Modell ist mit dem Programm WABILA (DWA-Software) abbildbar.

Auch gibt es Programme, welche die Möglichkeit der Modellierung wasserwirtschaftlicher Systeme bieten beziehungsweise zur Bemessung einzelner Regenwasserbewirtschaftungsanlagen bis hin zu komplexen Entwässerungssystemen dienen, wie etwa „STORM“ (hydrologisches Wasserhaushalts- und Stoffstrommodell). So ist die Berechnung der Kühlleistung von Schwammstadtelementen beziehungsweise die Ermittlung der Verdunstungsleistung eines Gründachs möglich. Die Modellierung der Evapotranspiration erfolgt bei „STORM“ laut Herstellerangaben nach Penmann. Außerdem können beispielsweise Speicher- und Abflussvorgänge von Zisternen simuliert werden.

³⁸ Busker et al., 2022

³⁹ Shafique et al., 2016; Busker et al., 2022

⁴⁰ Beispiel siehe Freiham-Nord (1.RA): Gutachten zu Versickerung, Verdunstung und GW-Neubildung, erstellt von der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker GmbH

Biologische Vielfalt

Gründächer können als Ergänzung einen wichtigen Lebens- und Nahrungsraum darstellen. Untersuchungen zeigen, dass Gründächer von verschiedenen Tierartengruppen als Lebensraum genutzt werden können, insbesondere von Insektenarten (z. B. Laufkäfer, Ameisen, Wildbienen, Spinnen, Asseln, Heuschrecken),⁴¹ aber auch von Vögeln und sogar Landschnecken.⁴² Auf entsprechend gestalteten Dächern können – wie Untersuchungen gezeigt haben – sogar manche seltene beziehungsweise bestandsbedrohte Arten vorkommen.⁴³ Besonders wichtig ist jedoch die Produktion von Biomasse, wie etwa Insektenbiomasse, als Nahrungsgrundlage unter anderem für Vögel.⁴⁴

Die Lebensraumqualität von Gründächern hängt jedoch ähnlich wie der mögliche Begrünungstyp eng mit der Substratstärke zusammen. „Standardlösungen“ mit 10 Zentimetern Substratstärke und dementsprechend etwa nur 7 Zentimetern nutzbarem Lebensraum haben „extreme“ Standortverhältnisse (Hitze bzw. Frost, Trockenheit, Strukturarmut) zur Folge und bieten daher Lebensraum für nur wenige Arten. Hinzu kommt eine starke Windeinwirkung besonders auf höheren Dachflächen, was die Lebensmöglichkeiten insbesondere für Fluginsekten einschränkt und die Austrocknung verstärkt. Ganz allgemein steigt die Lebensraumqualität mit der Substratstärke sowie der Substrat- und Strukturvielfalt der Flächen.⁴⁵ Je nach Zielsetzung beziehungsweise Zielarten können im Einzelfall aber auch geringe Substratauflagen vorteilhaft sein (etwa wenn gezielt xerothermophile Arten gefördert werden sollen). Auch die Zusammensetzung und der Nährstoffgehalt des Substrats sind ganz entscheidend dafür, welche Art von Vegetation gedeihen kann – und bestimmen damit auch den Wert für dort lebende Kleintiere.

Weitere Parameter, die ganz wesentlich die Möglichkeiten für die Ansiedlung und das Überleben von Pflanzen- und Tierarten beeinflussen, sind phasenweise eingeschränkte direkte Sonneneinstrahlung (etwa durch Verschattung durch angrenzende höhere Gebäude), wie auch der Lichtgenuss bei Kombination mit PV, der je nach Bauweise von annähernd Freilandverhältnissen bis diffusem Restlicht reichen kann.⁴⁶

Die Lebensraumfunktion der begrünten Dachfläche kann nicht losgelöst vom räumlichen Kontext hergestellt oder bewertet werden, da sie maßgeblich vom Umfeld und damit der Isolation beziehungsweise der Erreichbarkeit der Dachflächen durch Organismen bestimmt wird.⁴⁷ Dachflächen sind in der Regel nicht groß genug, um eigenständig überlebensfähige Populationen zu erhalten. Sie können dennoch als Lebensraum oder Habitatkomponente (z. B. Nahrungshabitat) für Teilpopulationen fungieren und entfalten ihre positive Wirkung vor allem, wenn ein guter Austausch von Individuen, Pollen oder Samen beziehungsweise ein Besuch zur Nahrungsaufnahme aus benachbarten Flächen möglich ist. Unter Kapitel 3 Biodiversitätsgründach wird der derzeitige Erkenntnisstand zur Wirkung und Optimierung von Dachflächen als Lebensraum für Tiere und Pflanzen und daraus abzuleitende Empfehlungen dargestellt.

⁴¹ Schmauck, 2014; Joshi, M, Teller, J, 2021

⁴² McKinney et al., 2019

⁴³ Kyrö, K. et al., 2018; Pétremand, G. et al., 2018

⁴⁴ Brenneisen, S. 2003

⁴⁵ Vandegrift, D. et al., 2019; Schmauck, S., 2014; Knapp, S. et al., 2019

⁴⁶ Knapp et al., 2019

⁴⁷ Passaseo et al., 2021

Empfehlungen und Planungshinweise Gründach bezüglich Stadtklima, Regen- wassermanagement und biologischer Vielfalt

- Gründächer sollten vermehrt in hochverdichteten Gebieten gebaut werden, in denen eine bioklimatische Verbesserung der Umgebung sowie die Abmilderung des Wärmeinseleffektes in München besonders wichtig sind.
- Eine vitale Dachbegrünung mit entsprechender Substratmächtigkeit kann die bioklimatische Situation in überwärmten städtischen Gebieten verbessern, indem insbesondere die Verdunstungskühlung aber auch die Gebäudeverschattung gefördert wird. Dachflächen sollen nach Möglichkeit
 - großflächig begrünt, mit möglichst hohem Substrataufbau,
 - und mit standortgerechten und klimaresilienten Stauden, (Nutz-) Pflanzen, Sträuchern sowie gegebenenfalls Bäumen begrünt und bepflanzt werden.
- Dachbegrünung mit struktur- und artenreicher Bepflanzung (Gras- / Krautvegetation mit höheren Stauden und hohem Blattflächenindex oder mit Beteiligung von Gehölzen) ist aus stadtklimatischer Sicht zu bevorzugen, da höhere Verdunstungsleistungen und durch einen höheren Substrataufbau auch mehr pflanzenverfügbares Wasser für Trockenperioden erreicht werden können. Zur Förderung der Biodiversität können fallweise hingegen Formen extensiver Dachbegrünung Vorrang haben.
- Dachflächen, auf denen keine intensive Begrünung möglich ist, sollen extensiv begrünt (Substrathöhe von mindestens 20 Zentimetern) und mit Gras-Kraut Vegetation bepflanzt werden.
 - Auch für einen verbesserten Regenrückhalt empfiehlt sich eine Substratstärke von mindestens 20 Zentimetern oder gegebenenfalls – sofern nicht anders möglich – eine Kombination einer geringeren Substratstärke mit einer zusätzlichen Retentionsschicht, beispielsweise durch Wasserretentionsboxen, da bei einer Substratstärke von weniger als 10 Zentimetern der Spitzenabflussbeiwert c_s bei circa 0,8 bis 0,5 liegt und erst bei einer Substratschichtdicke von 20 Zentimetern auf 0,3 sinkt.
 - Zur Förderung der Feuchtespeicherung und Verdunstung empfiehlt sich eine möglichst strukturreiche Bepflanzung mit relativ hohem Deckungsgrad. Monokulturen sowie Fetthennen-Bepflanzungen sollten aufgrund einer höheren Durchflussrate, geringeren Wasserspeicherung und Verdunstungsraten sowie des geringen Wertes für die biologische Vielfalt vermieden werden.
 - Zur Steigerung der Biodiversität ist auf eine hohe Vielfalt an Pflanzenarten unter Verwendung eines möglichst breiten Spektrums an heimischen Arten mit einem hohem Struktureichtum und jahreszeitlich gestrecktem Blütenangebot zu achten.
 - Begrünung reduziert die Temperaturschwankungen des Dachmaterials und sorgt für eine längere Lebensdauer.
 - Extensiv begrünzte Dachflächen können in der Regel mit Photovoltaikmodulen überdeckt werden, dabei sollte für eine hinreichende Verdunstungsleistung darauf geachtet werden, dass eine
 - ausreichende Besonnung,
 - ausreichende Möglichkeit zur Pflege der Vegetation,
 - sowie ausreichende Wasserversorgung und Verteilung von Regenwasser im Substrat gewährleistet ist und keine Belange des Artenschutzes entgegenstehen (z. B. Förderung xerothermophiler Arten).

Dies ist vor allem durch eine entsprechende höhere Aufständigung und durch Abstände zwischen den PV-Modulreihen sicherzustellen (vgl. Kapitel 4).

- Um ein Trockenfallen der Vegetation von extensiver Dachbegrünung während längerer Hitzeperioden zu vermeiden, kann für eine verbesserte Wasserversorgung gesorgt werden – etwa durch eine zusätzliche Retentionsschicht oder durch künstliche Bewässerung.
- Auch die Überdeckung durch PV-Module unterstützt eine länger anhaltende Feuchte und Wasserverfügbarkeit im Substrat, hat allerdings – je nach Bauweise in unterschiedlichem Maße – Auswirkungen auf biologische Vielfalt und die maximal möglichen Verdunstungsraten. Bei einer großflächigen Überdeckung durch PV-Module sollte die Transparenz der Module etwa 20 bis 30 Prozent betragen, um ein gesundes Pflanzenwachstum zu gewährleisten. Zudem ist eine angepasste Pflanzenauswahl notwendig.⁴⁸
- Nach Möglichkeit sollten PV-Reihen orthogonal zum Neigungswinkel des Flachdachs realisiert werden, da so die Durchfeuchtung unterhalb von PV-Modulen gefördert wird (Wasser fließt entlang des Neigungswinkels).

Hinsichtlich Regenwassermanagement sind noch folgende Punkte zu beachten:

- In Gebieten mit hohen Grundwasserständen ist eine Dachbegrünung mit Schwerpunkt auf Regenrückhalt sinnvoll. Der Niederschlag bleibt somit verstärkt auf dem Dach im Substrat und wird von Pflanzen aufgenommen. Durch das Rückhaltevermögen wird ein Anteil des Niederschlages gebunden beziehungsweise zeitverzögert abgegeben und auch der lokale Grundwasserspiegel steigt dadurch nicht so schnell an.
- Auch in Gebieten mit einer hohen Versieglungsdichte bietet sich eine Dachbegrünung mit Schwerpunkt Wasserretention besonders an, da durch eine Dachbegrünung der Regenwasserrückhalt ermöglicht wird und eine deutliche Verringerung des Oberflächenabflusses erreicht werden kann.
- Sofern im jeweiligen Planungsgebiet ein Gutachten zum Regenwassermanagement erstellt wird, empfiehlt es sich, zugunsten der Nachvollziehbarkeit der Verdunstungsleistung der Maßnahmen sowie zur Dimensionierung der erforderlichen Retentionsleistung ein Wasserhaushalts-Modell auf dem Dach erstellen zu lassen.

⁴⁸ Zluwa, 2021



Biodiversitäts- gründach

3

Gesetzliche Grundlagen und Stadtratsbeschlüsse

Naturschutzgesetzgebung

Laut Bundesnaturschutzgesetz, §1 „Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege“, sind nach Absatz (1) „Natur und Landschaft ... auf Grund ihres eigenen Wertes und als Grundlage für Leben und Gesundheit des Menschen auch in Verantwortung für die künftigen Generationen im besiedelten und unbesiedelten Bereich nach Maßgabe der nachfolgenden Absätze so zu schützen, dass die biologische Vielfalt (Satz 1) ... auf Dauer gesichert sind; der Schutz umfasst auch die Pflege, die Entwicklung und, soweit erforderlich, die Wiederherstellung von Natur und Landschaft (allgemeiner Grundsatz)“. Zur Entwicklung der Natur im besiedelten Bereich gehört unter anderem auch die Entwicklung von Lebensräumen auf Dächern.

Biodiversitätsstrategie München

Der Münchner Stadtrat hat Ende 2018 die „Biodiversitätsstrategie München“ beschlossen,⁴⁹ die strategische Handlungsschwerpunkte der Landeshauptstadt München in insgesamt 20 Handlungsfeldern enthält. Im Handlungsfeld „Freiflächengestaltung und Gebäudebegrünung“ ist unter anderem eine Erhöhung der Standards bezüglich Naturnähe auch für Dachbegrünungen das Ziel. Auch wenn Dachbegrünungen naturnahe Flächen nicht ersetzen können, stellen begrünte Dächer einen Lebensraum für Tiere und Pflanzen in der Stadt dar und fördern die „biologische Durchlässigkeit“ dicht bebauter Stadtbereiche.

Hinweise zur Eingriffsregelung

Begrünte Dächer können bei entsprechender Ausführung eine sinnvolle Minimierungsmaßnahme zur teilweisen Vermeidung von Beeinträchtigungen des Naturhaushalts im Sinne der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung darstellen. Eine Anerkennung als Ausgleichsmaßnahme ist fachlich hingegen nicht möglich, da die ökologischen Funktionen von Habitaten selbst bei optimaler Gestaltung und Pflege nicht vollumfänglich von Gründächern geleistet werden können, auch weil hier überhaupt nur einem vergleichsweise eingeschränkten Organismenspektrum Lebensraum geboten wird. Eine Festsetzung von begrünten Dächern als Ausgleichsmaßnahme ist zudem im

Rechtsvollzug problematisch. Die Funktion der natur- und gegebenenfalls artenschutzrechtlichen Kompensation ist auf einer Ausgleichsfläche absolut vorrangig. Dächer sind jedoch zwangsweise Gebäudebestandteile und somit Teil von überbauten (versiegelten) Grundstücksteilen und haben hauptsächlich naturschutzfremde Funktionen. Ausgleichsflächen sind so lange zu erhalten, wie der Eingriff wirkt, also das Gebäude besteht. Technische Gebäudeausstattungen – auch die von Gründächern – haben eine begrenzte Lebensdauer, die in der Regel kürzer ist als die der Gebäude. Eingriffe in Dachflächen mit festgesetzten Ausgleichsfunktionen würden deshalb nach den derzeit geltenden Ausführungsbestimmungen für die Eingriffskompensation in vielen Fällen neue Kompensationspflichten verursachen. Die Sanierung eines undichten Dachs unter Entfernung der Dachbegrünung würde dadurch verteuert und verkompliziert.

Fachliche Grundlagen und Wirkungszusammenhänge

Der Begriff „Biodiversitätsgründach“ sollte aus Sicht des Referats für Klima- und Umweltschutz nur für solche Gründächer verwendet werden, die aufgrund ihrer Gestaltung, Ausstattung (hoher Struktur- und Pflanzenartenvielfalt) und Pflege einen erheblichen und dauerhaften Gewinn für die biologische Vielfalt erwarten lassen.

Nähere Anforderungen speziell an Biodiversitätsgründächer beziehungsweise Kriterien dafür, in welchen Fällen beziehungsweise Räumen im Hinblick auf biologische Vielfalt maximal optimierte „Biodiversitätsgründächer“ besonders erforderlich sind, sind Anlage Biodiversitätsgründächer zu entnehmen.

Verschiedene nachfolgend aufgeführte Faktoren sind maßgeblich für den Grad der Funktionserfüllung im Hinblick auf Lebensraum- und Vernetzungsfunktionen:

Substratstärke

- Auf geringen Substratstärken gedeihen vor allem Fetthennen-Fluren oder Moose (extensive Begrünung). Wegen der raschen Austrocknung beschränkt sich die Bepflanzung hier meist auf verschiedene, überwiegend fremdländische Fetthennen-Arten mit wasserspeichernden Organen

⁴⁹ Sitzungsvorlage 14-20 / V 13218

(Sukkulenten) beziehungsweise deren Zuchtformen, deren Blätter und Triebe allenfalls von wenigen Insekten-Arten genutzt werden können. Derartige Dachbegrünungen dienen Blütenbesuchern nur als Nahrungshabitat.⁵⁰

Ab 15 bis 20 Zentimeter lassen sich Gräser und Stauden etablieren. Auch trockenheits- und frostempfindliche Bodentiergruppen können hier auf Dauer (über Jahre hinweg) überleben und sich Nährstoffkreisläufe und Nahrungsbeziehungen bilden.⁵¹ Spezielle Anforderungen an Schichtdicke und Art des Substrats stellen bodennistende Tiere, zu denen unter anderem viele Hautflügler gehören, darunter zahlreiche Wildbienen. Schlüssel- und begrenzender Faktor für das Vorkommen von Wildbienenarten sind vielfach die Nistmöglichkeiten, vor allem bei bodennistenden Arten. In München sind das gut die Hälfte der über 200 beheimateten Arten. Die für ein Überleben der Überwinterungsstadien erforderliche Tiefe liegt beispielsweise bei der besonders artreichen Gattung der Sandbienen je nach Art meist zwischen 10 und 60 Zentimetern.⁵²

- Variationen der Substrathöhen schaffen Strukturvielfalt und damit verbunden eine höhere Habitatvielfalt.⁵³
- Noch größere Substratstärken erlauben eine relativ freie Pflanzenauswahl bis hin zu Gehölzen.⁵⁴

Substratqualität

- Die Substratqualität (in Kombination mit der Tiefgründigkeit des Wurzelraums) beeinflusst unmittelbar, welche Pflanzenarten sich ansiedeln können beziehungsweise gepflanzt und erfolgreich etabliert werden können. Wesentliche Faktoren sind Nährstoffgehalt und -verfügbarkeit sowie Reaktion (kalk-/basenreich versus kalk-/basenarm).
- Für bodennistende Insekten spielt neben der Substratstärke auch die Gefügestabilität der Substrate eine Schlüsselrolle, die vom Feinkornanteil abhängt. Aus Gewichtsgründen werden auf Dächern vorwiegend leichte und häufig auch technische Materialien eingesetzt. Da diese

entweder nicht grabbar oder wenig bindig sind, sind solche Dränschichten (z. B. Dränmatten aus Kunststoff, Schüttungen aus Blähton oder Lava) als Lebensstätte für Wildbienen und viele Arten der Bodenfauna (Asseln, Würmer, Schnecken oder Hundertfüßer) nicht geeignet.⁵⁵

- Auch die längerfristige Wasserspeicherfähigkeit dieser Substrate ist häufig gering, was bei längeren Trockenperioden zu Beeinträchtigungen bei trockenheitsempfindlichen Arten führt. Im Gegenzug ist Dauerfeuchte in tieferen Bereichen insbesondere für bodennistende Stechimmen problematisch wegen der Verpilzungsgefahr der Brut. Durch Aufhügelungen mit sandig-lehmigem Substrat lassen sich günstige Nistplatzangebote schaffen.⁵⁶ Die Entwicklung geschlossener Moosdecken, etwa bei Staunässe, kann die Anlage von Bodennestern ebenfalls weitgehend verhindern.
- Über die Eignung verschiedener Substrate für die Überwinterung epigäischer (im Sommer auf der Bodenoberfläche oder in der Krautschicht lebender) Kleintiere wie Lauf-, Kurzflügel- oder Rüsselkäfer scheinen noch kaum Erkenntnisse vorzuliegen, die sich verallgemeinern lassen. Rückzugsmöglichkeiten in den Boden (Grabbarkeit) sind jedoch Voraussetzung für die Existenz dauerhafter Vorkommen.

Pflanzenauswahl

- Die Vielfalt der Pflanzenarten/Vegetation hat den stärksten Einfluss auf das Vorkommen von Insekten:⁵⁷ Je größer die Artenvielfalt der Bepflanzung, umso größer und jahreszeitlich diverser wird bei entsprechender Artenauswahl das Angebot für Phytophage (nahrungsökologisch an Pflanzen gebundene Tiere, die vielfach Spezialisierungen auf bestimmte Pflanzenfamilien, -gattungen oder -arten aufweisen).
- Mit höherwüchsigen Pflanzen können weitere Habitatqualitäten geschaffen werden wie etwa schattige Bereiche, Nistmöglichkeiten für Insekten in Stängeln von Pflanzen, Strukturen für den Netzbau von Webspinnen oder Ansitzwarten für Vögel.

⁵⁰ Schmauck 2019

⁵¹ Mann, G. 1996, Schmauck 2019, Knapp et al. 2019

⁵² Westrich, P., 2022

⁵³ Mann, G., 1996

⁵⁴ Dachbegrünungsrichtlinie der FLL, Schmauck 2019

⁵⁵ Brenneisen et al., 2014

⁵⁶ Brenneisen et al., 2014

⁵⁷ Schmauck 2019

- Aufgrund der kleinklimatischen Bedingungen bestehen Ähnlichkeiten zwischen den Verhältnissen auf Gründächern und den naturschutzfachlich wertvollen Münchner Heideflächen. Hier besteht dementsprechend die Chance, einem Teil der heimischen Pflanzenarten mögliche Lebensräume auf dem Dach zur Verfügung zu stellen und Begrünungen mit lokalem Saatgut oder Soden zu fördern. Die LWG hat hierzu Vorschläge mit Artenlisten erarbeitet.⁵⁸
- Bei der Auswahl der Pflanzenarten sind generell gebietsheimische Pflanzenarten soweit möglich aus regionalen oder lokalen Herkünften zu bevorzugen. Durch gebietsheimische Arten können hierauf spezialisierte Tierarten gefördert werden. Unbedingt zu vermeiden ist die Verwendung von Saatmischungen, die invasive Pflanzenarten beinhalten (z. B. Kaukasus-Fetthenne in Mischungen für die extensive Dachbegrünung).⁵⁹ Dies muss keinen völligen Verzicht auf fremdländische Arten bedeuten, wenn diese beispielsweise aufgrund des Blütenbaus (besonders attraktiv für Insekten sind Korb- und Schmetterlingsblütler) Blütenbesuchern Nahrung bieten. Wegen des geringen Wertes für an den Blättern fressende oder saugende Nahrungsspezialisten sollten sie aber nur auf Dachflächen mit eingesetzt werden, die gut einsehbar sind und für Bewohner*innen attraktiv gestaltet werden sollen.

Ergänzende Habitatstrukturen

Als Alternative speziell für bodennistende Wildbienen sind Substratkisten denkbar. Nach Brenneisen et al. (2014) wurden in Versuchsanordnungen Substrate ab 20 Zentimetern Schichtdicke von Wildbienen genutzt. Nicht bekannt ist bisher der Bruterfolg (Verluste wegen Durchfrierens im Winter?).⁶⁰

Auch weitere künstliche Substrat- und Strukturaneicherungen (z. B. Anhäufungen von Substrat, Steinsatz mit offenen Fugen, Sand- oder Kiesbeete, Nisthilfen, bei intensiv genutzten Dachgärten auch Vogeltränken und Vogelhäuschen) können positive Effekte auf die Artenvielfalt am Dach haben.⁶¹

Pflege

Eine adäquate Dachflächenpflege (ein- bis zweimalige Mahd pro Jahr, Mahd mit Abfahrt des Mähguts, Entfernen problematischer Arten, wie unerwünschter Gehölze oder invasiver Arten) fördert nicht nur die Artenvielfalt (z. B. Schneckenartenvielfalt⁶²), sondern ist für die langfristige Funktionserfüllung essenziell.

Empfehlungen und Planungshinweise

Um die biologische Vielfalt auf Gründächern zu fördern sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Substratstärken von 25 Zentimetern wenigstens in Teilbereichen (mit Modellierung auf Teilflächen, s.o.), um eine hohe Strukturvielfalt und Rückzugsmöglichkeiten für frost- und trockenheitsempfindliche Tierarten zu gewährleisten. Ideal geeignet sind Bereiche mit einem gewissen Regenschutz durch überstehende Gebäudeteile bei gleichzeitig guter Besonnung,
- Variationen der Substratstärke, beispielsweise durch Verzicht auf das Ausplanieren des Substrates, durch gezielten Wechsel der Schichtdicken oder Substratanhügelungen, um ein vielfältiges Mikrorelief zu schaffen und dadurch geeignete Habitatbedingungen für ein möglichst breites Artenspektrum bereitstellen,
- die Verwendung von natürlichen, ausreichend bindigen erdig-sandigen beziehungsweise sandig-lehmigen Substraten und/ oder die Verwendung von unterschiedlichen Substratqualitäten mit einem ausreichenden Anteil an feinkörnigen und bindigen Substraten,
- eine hohe Vielfalt an Pflanzenarten unter Verwendung eines möglichst breiten Spektrums an heimischen Arten mit einem hohem Strukturreichtum und jahreszeitlich gestrecktem Blütenangebot,
- ergänzende Habitatstrukturen, die die Artenvielfalt erhöhen können,
- extensive (naturschonende) aber kontinuierliche Pflege.

⁵⁸ Mann, G. 1996, Schmauck 2019, Knapp et al. 2019

⁵⁹ Westrich, P., 2022

⁶⁰ Mann, G., 1996

⁶¹ Dachbegrünungsrichtlinie der FLL, Schmauck 2019

⁶² Brenneisen et al., 2014



Kombination von Dachbegrünung und Photovoltaik

4

Die vorangegangenen Kapitel haben gezeigt, welche wichtige Bedeutung die Dachflächen für die Solarenergienutzung, das Stadtklima, das Regenwassermanagement und die Biodiversität haben. Darüber hinaus werden Dachflächen auch für andere Nutzungen (Dachgärten, Sportflächen etc.) dringend benötigt, und auch Geräte für die Haustechnik werden oftmals auf den Dächern untergebracht. Aufgrund der Flächenknappheit auf dem Boden müssen in Neubaugebieten zunehmend auch Freiflächen auf den Dächern geplant werden, um die Orientierungswerte für die Grün- und Freiflächenversorgung nachzuweisen.⁶³ Es ist daher unumgänglich, die verschiedenen Belange bestmöglich miteinander zu kombinieren, um die begrenzte Fläche optimal zu nutzen.

Die Landeshauptstadt München hat darauf in der Planungspraxis bereits reagiert und setzt in den Bebauungsplänen in der Regel fest, dass Photovoltaik und Dachbegrünung bei Neubauten standardmäßig zu kombinieren sind. Dabei soll die Kombination übereinander erfolgen und mit einer Substratschichtdicke von 20 Zentimetern ausgeführt werden.

Da die verschiedenen Belange zum Teil unterschiedliche Ansprüche an die Ausgestaltung der Dächer haben, ergeben sich in der Umsetzung jedoch diverse Herausforderungen, um eine für alle Ansprüche ausreichend geeignete Kombination zu erreichen. Gleichzeitig gibt es aber auch Synergien, die zeigen, dass von einer Kombination, bei einer guten Umsetzung, alle Nutzungen profitieren können.

Auf diese Aspekte wird in den folgenden Abschnitten eingegangen.

Herausforderungen bei der Kombination von Dachbegrünung und Photovoltaik

Um gute Umsetzungsmöglichkeiten für die Kombination von Dachbegrünung und Photovoltaik zu erarbeiten, ist es zunächst notwendig, sich über die Besonderheiten und Hürden in der Praxis bewusst zu sein:

- Solarflächen über Begrünung verändern die Standortbedingungen für die Pflanzen und somit das Artenspektrum geeigneter Pflanzen sowie daran gebundener Kleintiere. Solarflächen führen in der Regel zu einem inhomogenen Regenwassereintrag (keine direkte Beregnung unter Solarflächen, erhöhter Regenwasser- und Nährstoffeintrag an den Traufkanten) sowie zu stark variierendem Licht- und Nährstoffangebot.
- Bezüglich der Feuchteverhältnisse erzeugen Solaranlagen gemäß FLL⁶⁴ einerseits einen Regenschatten für die darunterliegende Vegetationsfläche, andererseits fließt an der Vorderkante der Module das Niederschlagswasser ab und die erhöhte Wassermenge führt zu einem feuchteren Standort. Hierdurch kommt es zu einem stärkeren Pflanzenwachstum, das einen erhöhten Pflegeaufwand zur Folge haben kann.

⁶³ In München gelten seit 2023 neue Orientierungswerte für die Grün- und Freiflächenversorgung. Innerhalb des Mittleren Rings werden pro Einwohner*in 15 Quadratmeter und außerhalb des Mittleren Rings 20 Quadratmeter der Bebauungsplanung zugrunde gelegt. Die Orientierungswerte sind als Summe der nutzbaren öffentlichen und privaten Grün- und Freiflächen zu verstehen. Davon dürfen bis zu 4 Quadratmeter auf Gebäuden (z. B. Dächern) nachgewiesen werden.

Aufgrund des steigenden Baudrucks und der zunehmenden Flächenkonkurrenz in München werden diese Orientierungswerte in den letzten Jahren bedingt auch über die Umsetzung von gemeinschaftlich nutzbaren Dachgärten realisiert. Neben der extensiven Dachbegrünung spielt in München bei Neuplanungen im Rahmen von Wohnbebauungsplänen daher auch die Dachgartennutzung mit den entsprechenden intensiven Begrünungsmaßnahmen eine zunehmend wichtige Rolle. Diese können dazu beitragen, eine angemessene Freiflächenversorgung in den Quartieren zu ermöglichen und müssen bei der (Über-)Planung von Dachflächen mitberücksichtigt werden.

⁶⁴ Dachbegrünungsrichtlinien, Kap. 8.14, S. 54

- Photovoltaikmodule über einem Gründach führen zu (Teil-) Verschattung des Bodens und der Vegetation. Die Funktion als Nahrungshabitat für blütenbesuchende Insekten kann bei übermäßiger Verschattung sogar bei Fetthennen-Fluren entfallen, da diese wegen mangelnder Besonnung nicht zur Blüte kommen. Zudem verändern Photovoltaikmodule das Strömungsfeld. Beide Effekte haben einen Einfluss auf die (potenziell mögliche) Verdunstung, welche im Vergleich zu einem reinen Gründach und während autochthoner Wetterlagen im Sommer immer geringer ist. Dabei ist die Evapotranspiration abhängig vom vertikalen Abstand der Modulunterkante zum Substrat, der Länge der PV-Module, dem Abstand zwischen den PV-Modulen und dem Neigungswinkel.^{65 66}
- Wie in Kapitel 3 beschrieben, ist die erzielbare Artenvielfalt, insbesondere bei der Kleintierfauna unter PV-Anlagen, meist deutlich reduziert und stark von der Bauweise abhängig. Als Habitate eher ungeeignet sind stark beschattete Bereiche und niedrig installierte Module (weniger als 60 Zentimeter vertikaler Abstand zur Substratoberfläche). Der Mehrwert für die Förderung der Artenvielfalt gegenüber PV-Dächern ohne Begrünung ist dabei je nach Bauweise der PV-Anlage und der realisierbaren Begrünungsart sehr unterschiedlich und sehr von einer entsprechend guten Ausführung und Pflege abhängig. Bifaziale Module und Pergola-Bauweise haben kaum Einschränkungen zur Folge, während aufgeständerte Schrägmodule eine – je nach Bodenabstand – diesbezüglich unterschiedlich starke Einschränkungen für die Pflanzenauswahl und mögliche Artenvielfalt zur Folge haben.
- Vielfach ist eine Teilverschattung der Solarflächen durch Pflanzenaufwuchs trotz Pflegemaßnahmen nicht vollständig vermeidbar. Technologiebedingt führt bei Photovoltaikmodulen eine Teilverschattung auch einzelner Zellen zu überproportionalen Ertragsverlusten.
- Der erhöhte Aufwand und die erhöhte Erschwernis bei der Pflege für die Begrünung erfordern ausreichend Platz für die Pflege beziehungsweise die Pflegenden. Immer gefordert ist eine Mindesthöhe der Solaranlage über einer Begrünung. Sofern die Höhe der Solaranlage geringer ist als Stehhöhe und die Module nicht senkrecht aufgeständert werden, erfordert die Kombination eine Verringerung der Solarfläche durch Pflege/Wartungsgänge.
- Die Wachstums-Anforderungen der Begrünung bezüglich des Lichtangebots für die Pflanzen reduzieren in der Regel die Solarfläche. Ein Kompromiss zwischen gesundem Pflanzenwachstum und photovoltaischer Energiegewinnung kann durch eine Transparenz der PV-Module von 20 bis 30 Prozent erreicht werden.⁶⁷
- Bei den derzeit am Markt vorherrschenden Unterkonstruktionssystemen für PV über Begrünungen wird das Dachflächenpotential meist zu weniger als der Hälfte genutzt. Dies kann beispielsweise dazu führen, dass Förderkriterien (z. B. für KfW40 Plus) mit einer PV-Anlage über Dachbegrünung nicht erfüllt werden.
- Durch die Anforderungen aus der Kombination von PV mit Begrünung können Material- und kostenoptimierte PV-Unterkonstruktionen nicht sinnvoll eingesetzt werden. PV-Unterkonstruktionen, mit denen ein größerer Abstand (mindestens 40 Zentimeter) zwischen Substratoberkante und Modulunterkante realisiert werden, sind teurer als kostenoptimierte PV-Unterkonstruktionen. Dies beeinträchtigt die Wirtschaftlichkeit und erfordert gegebenenfalls eine gesonderte Förderung.

⁶⁵ Jahanfar et al., 2020

⁶⁶ Eine Studie des „Green Roof Innovation Testing Lab“ in Toronto hat den Einfluss von Photovoltaikmodulen über einem Gründach mit 20 cm Substratschichtdicke auf die Evapotranspiration mithilfe eines Lysimeters gemessen und ein Modell entwickelt, um die Evapotranspiration unterhalb von PV-Modulen zu berechnen (Jahanfar et al., 2020). Die Photovoltaikmodule sind nach Süden ausgerichtet, mit 30° Neigungswinkel und einem vertikalen Abstand von 40 cm (Modulunterkante – Substrat). Die Evapotranspiration wurde für ein reines Gründach mit gleichem Aufbau und Bepflanzung gemessen (siehe Versuchsaufbau in Jahanfar et al., 2020 am Ende des Dokumentes). Beide Gründächer sind zudem bewässert, um den Einfluss bei hinreichender nutzbarer Feldkapazität zu bestimmen. Für die Begrünung wurde eine Saatgutmischung mit autochthonen Pflanzen (Gräser und Stauden) genutzt.

Der Vergleich für diesen Versuchsaufbau zeigt, dass bei reinen Gründächern die Evapotranspiration ca. doppelt bis dreifach so hoch ist, wie bei Gründächern direkt unterhalb eines PV-Modules. Dies führt zu Änderungen in den anderen und abhängigen Strömen (Jahanfar et al., 2020). Für das Sommerhalbjahr ist die Verdunstung direkt unterhalb von einem Photovoltaikmodul ungefähr konstant (1,5 – 2 mm / Tag).

⁶⁷ Zluwa, 2021

- Zusätzliche Anforderungen durch die erhöhte Traglast (zum Beispiel auch durch Schneesackbildung) auf die Gebäudestatik sind zu beachten.
- Je höher der Abstand von der Substratoberkante zur Modulunterkante mit Ausnahme der senkrecht aufgeständerten Module ist, desto höher ist der entstehende Windsog, welcher eine höhere Ballastierung notwendig macht (hier sind aber auch Synergien mit der Dachbegrünung zu beachten, da diese als Ballastierung dienen kann).
- Inwieweit Flächen unter PV für die Überwinterung von Insekten in Frage kommen, ist nicht bekannt. Jedoch ist dies wenig wahrscheinlich.
- Im Vergleich zu nicht begrünten Gebäudeoberflächen (z. B. Bitumendächern) kann Begrünung zu einer Kühlung der Modul- bzw. Zelltemperatur von PV-Modulen führen. Dies kann die Solarerträge leicht positiv beeinflussen.
- Da die reinen PV-Module sehr viel leichter im Vergleich zu den Dachlasten einer Begrünung sind, spielt deren Mehrgewicht bei begrünten Dachaufbauten in der Regel eine untergeordnete Rolle, zumal der Begrünungsaufbau bei vielen PV-Systemen über Begrünung als Ballast gegen die Windkräfte verwendet wird.⁶⁸
- PV-Anlagen auf Dächern werden meist ballastiert. Daraus können sich Synergieeffekte mit der Begrünung ergeben (generell weisen größere Substratstärken ein höheres Potenzial für die Biodiversität auf; vgl. Kapitel 3 Absatz „Substratstärke“).

Synergien bei der Kombination von Dachbegrünung und Photovoltaik

Neben den genannten Herausforderungen gibt es aber auch Synergien, die bei der Kombination von Dachbegrünung und Photovoltaik zu verzeichnen sind:

- Solarflächen über Begrünung verändern die Standortbedingungen und schaffen dadurch andere Lebensbedingungen für Flora und Fauna im Vergleich zu Dachbegrünungen ohne Solarmodule. Die Schaffung unterschiedlich besonnener/ beschatteter oder regengeschützter Bereiche kann einerseits zu einer Mehrung der Habitatvielfalt auf dem Dach führen. Durch mehrere, in Kapitel 3 beschriebene Faktoren ist die erzielbare Artenvielfalt, insbesondere bei der Kleintierfauna, andererseits meist deutlich reduziert (vgl. Herausforderungen) und stark von der Bauweise abhängig.

- Für die Solaranlagen ergibt sich kein Nachteil durch regenwassersensibles Management der Unterlage.
- Bei der Kombination von Photovoltaik und Dachbegrünung übereinander bleibt das Substrat unterhalb der Module länger feucht und trocknet während Hitzeperioden nicht so schnell aus. Dadurch könnten Pflanzen überleben und sich wieder ausbreiten.

PV-Anlagen – beispielsweise in der Pergola-Bauweise – können aufgrund der Schattenwirkung für eine günstigere bioklimatische Situation auf dem Dach sorgen, etwa bei der Kombination von Dachgärten und semitransparenten Photovoltaikanlagen.

⁶⁸ Die hohen Lastanforderungen für begrünte Dächer sind überwiegend der Anforderung an Dachbegrünung zuzuschreiben. Inwiefern deren Mehraufwendungen (Kosten und graue Energie) in Bezug auf die zu erreichenden Ziele angemessen sind, ist hinsichtlich der Mehr-Wirkung der Begrünung abzuwägen und nicht in Bezug auf PV.

Stellschrauben und Kombinationsvarianten

Aus der fachlichen Diskussion zu den Kombinationsmöglichkeiten von Dachbegrünung und Photovoltaik ergeben sich im Wesentlichen drei Parameter, die für ein gutes Gelingen der Kombinationslösungen von zentraler Bedeutung sind:

- Substrat und Pflanzenauswahl

Um für Flora und Fauna auf den Dachflächen gute Entwicklungs- und Lebensbedingungen herzustellen, die Wasserretention und die Kühlleistung zu verbessern ist eine Substratschichtdicke von mindestens 20 Zentimetern notwendig. Das Substrat dient in der Regel auch als Ballastierung für PV-Anlagen. Die höhere Substratschicht bringt jedoch die Herausforderung mit sich, dass die Pflanzen sehr hoch wachsen können und die Photovoltaikflächen überwuchern und damit verschatten.

Das Wasser sollte gerade von den stärker durchfeuchteten Traufkantenbereichen zur Wasserversorgung der unter den Modulen im Regenschatten befindlichen Vegetation geleitet werden.

Eine Lösung, um die Überwucherung der PV-Module durch zu starken Pflanzenaufwuchs zu verhindern und gleichzeitig den Pflegeaufwand im Rahmen zu halten, besteht darin, das Substrat nicht gleichmäßig mit 20 Zentimetern aufzutragen, sondern eine Modellierung mit unterschiedlichen Substrathöhen durchzuführen, welche im Mittel 20 Zentimeter betragen. An sensiblen Stellen (z. B. an Traufkanten, wo durch den erhöhten Wassereintrag ein besonders schnelles Pflanzenwachstum zu erwarten ist), kann die Substratschicht geringer ausgeführt werden, unterhalb der Module und in den Zwischengängen bieten sich Spielräume für eine höhere Substratschicht an. Dies führt auch zu struktureicheren Lebensbedingungen und Verbesserungen für die Biodiversität.

Die Verwendung ausläuferbildender Pflanzen kann hilfreich sein, um eine durchgängige Vegetationsdecke trotz PV-Überdeckung zu erzielen (keine direkte Beregnung unter schräg oder waagrecht installierten Solarflächen, erhöhter Regenwasser- und Nährstoffeintrag an Tropfkanten).

Nicht zu hoch werdende krautige (heimische) Pflanzen aus Unkraut- beziehungsweise Ruderal-Gesellschaften können unter PV toleriert werden, da hier der optische Eindruck in der Regel keine Rolle spielt.

- Höhe der Aufständering

Verstärktes Pflanzenwachstum bedingt einen erhöhten Pflegeaufwand, sofern der Abstand zwischen Substratoberkante und Modulunterkante den Pflanzenaufwuchs nicht berücksichtigt wird. Standardmäßig werden bei Solar-Gründächern die PV-Module aufgrund der Windlast sehr nah über der Substratoberkante angebracht. Pflegearbeiten auf dem Dach sind somit oftmals beschwerlich und nur in gebückter Haltung möglich. Zudem begrenzt die geringe Aufständering den Lichteinfall und hemmt damit die gewünschte Pflanzenentwicklung unter den Modulen.

Die Aufständering sollte daher in einer ausreichenden Höhe stattfinden, damit Pflegegänge leichter durchzuführen sind und genügend Licht auf die Dachfläche fällt. Es sollte mindestens ein Abstand von 40 Zentimetern zur Substratoberkante eingehalten werden.

- PV-Flächennutzungsfaktor (kWp/m²)

Um eine Dachbegrünung in ihren ökologischen Funktionen zu unterstützen, sollte für genügend nicht überdeckte Bereiche oder eine hohe Aufständering gesorgt werden. Große Reihenabstände führen jedoch wiederum zur Verkleinerung der PV-Anlagen und schränken somit den erzielbaren Solarertrag ein. Lückig angebrachte, hoch installierte Module, zum Beispiel PV-Module in Anordnung nach Form eines Schmetterlings und nicht in Form eines „Sattels“, oder auch semitransparente Module können die

notwendige Lichtversorgung der Pflanzen ermöglichen und gleichzeitig die Flächeneffizienz der PV-Anlage erhöhen. Eine besonders hohe Flächennutzungsfaktor (installierte PV-Leistung pro Quadratmeter Dachfläche (kWp/m²)) zeigen PV-Anlagen in Pergola-Bauweise, da hier eine Überdeckung der Gesamtfläche möglich und gleichzeitig eine Dachbegrünung nur mäßig eingeschränkt wird. Für die Besiedelbarkeit durch Insekten bedeutet der Mangel an direkter Besonnung und der mangelnde Offenlandcharakter bei gängigen Kombinationsvarianten Einschränkungen.

Als Alternativen sind senkrecht installierte bifaziale Module oder Pergola-Bauweise geeignet. Diese beiden Konstruktionen bieten auch die Möglichkeit einer Kombination von Photovoltaikdach und Biodiversitätsdach.

Resultierend aus den genannten Stellschrauben bieten sich in erster Linie die folgenden Kombinationsvarianten an:

- Höhere Schmetterlingsaufständigung

Die in Ost-West-Richtung aufgestellten PV-Module haben sich in den letzten Jahren als besonders geeignete und flächeneffiziente PV-Belegung der Dächer herausgestellt. Hierbei hängt der PV-Flächennutzungsfaktor (kWp/m²) im Wesentlichen von der Größe und Anzahl der Pflegegänge zwischen den Modulreihen ab. Auch in der Kombination mit Dachbegrünung ist sie eine klassische Umsetzungsvariante. Allerdings ergeben sich bei flachen Aufständigungsvarianten verschiedene Probleme wie schlechte Belichtungsverhältnisse unter den Modulen und Regenschatten. Daher herrschen unter den Modulflächen ungünstige Wachstumsbedingungen für die Begrünung und auch die Pflege der Begrünung wird durch den niedrigen Abstand zwischen Substrat und Modulen erschwert. Im Traufbereich der Module kommt es dagegen durch den verstärkten Wasser- und Nährstoffeintrag zu höherem Pflanzenwuchs, sodass ohne aufwendige Pflege die Gefahr einer Überwucherung der Anlage besteht.

Insbesondere bei höheren Substratstärken ergibt sich eine deutliche Verbesserung der Kombination, wenn zwischen Traufkante der Module und der Substratoberkante ein größerer Abstand gewählt wird. Zu empfehlen sind dabei mindestens 40 Zentimeter, wobei die positiven Auswirkungen für die Begrünung und die Biodiversität mit höheren Abständen weiter zunehmen. Zudem bietet die Aufstellung in der Schmetterlings- und nicht in der Sattelform Vorteile bei der Pflege und ermöglicht einen höheren Sonnenanteil unterhalb der PV-Module. Als zusätzliche Variante bieten sich auch Substratmodellierungen unter der PV-Anlage an. Im Leitfaden Voralberg wird diese Möglichkeit beschrieben. Ziel ist eine verringerte Substratstärke an den Modultraufen bei der Aufstellung in Schmetterlingsform und dafür höhere Substratschichten unter den Modulen und in den Zwischenräumen zur Verbesserung der ökologischen Funktionen der Dachbegrünung.

Für eine möglichst gleichmäßige Durchfeuchtung des Substrats ist jedoch zusätzlich eine geregelte Wasserverteilung im Substrat notwendig. PV-Reihen orthogonal zum Neigungswinkel der Flachdächer fördert eine Durchfeuchtung unterhalb der PV-Module, da überschüssiges Wasser entlang des Neigungswinkels fließt. Aufgrund der hohen Aufständigung ist eine Belichtung der Begrünung gegeben, die durch semitransparente Glas-Glas-Module noch gesteigert werden kann. Die Verschattung der Module bewirkt, dass geringere Verdunstungsraten möglich sind und somit Wasser bei langen Trockenperioden den Pflanzen zur Verfügung steht. Dies bedingt verbesserte Bedingungen für das Pflanzenwachstum und hat damit Einfluss auf die Verdunstungsleistung der Begrünung. Dennoch bieten die Dachbegrünungen unter PV selbst bei arten- und strukturreicher Bepflanzung sich an den Pflanzen entwickelnden Insekten wegen geringer Flächenanteile mit direkter Besonnung kaum Entwicklungsmöglichkeiten sowie eingeschränkte Anflugmöglichkeiten für blütenbesuchenden Insekten. Auch sind Biodiversitätselemente bei dieser Kombinationsvariante nur eingeschränkt umsetzbar.

Die Dachbegrünung mit 20 Zentimetern Substrat bildet die Ballastierung für das System.

- Senkrechte/bifaziale Module:

Senkrecht stehende, bifaziale Solarmodule haben sich in letzter Zeit zunehmend auf dem Markt und auf den Dächern etabliert. Es handelt sich um semitransparente Glas-Glas-Module, die beidseitig Strom produzieren können (Rückseite mit reduziertem Wirkungsgrad von circa 80 Prozent im Vergleich zur Vorderseite). Durch die senkrechte Aufständigung tritt keine Windsogwirkung (abhebender Kräfte) auf, was zu einer geringen Ballastanforderung führt. Der Abstand der Modulreihen wird im Wesentlichen durch die Höhe der Modulaufständigung definiert, da die Module sich möglichst nicht gegenseitig verschatten sollten. Der PV-Flächennutzungsfaktor (kWp/m^2) ist geringer als etwa bei der Schmetterlingsvariante da größere Reihenabstände benötigt werden. Jedoch besitzt diese Aufständigungsvariante einen Vorteil dadurch, dass sie Ertragsspitzen am Morgen und am Abend aufweist und damit die Mittagsspitzen anderer Systeme ergänzt.



Abbildung 7: PV-Anlagen mit senkrecht/bifazialen PV-Modulen sowie in einem kleinen Bereich PV-Module in Schmetterlingsform aufgeständert. (Quelle: Zinco)

Die ökologischen Funktionen des Gründachs werden mit dieser Kombinationsvariante kaum eingeschränkt: Es gibt je nach Tageszeit sowohl besonnte als auch beschattete Bereiche, was eine strukturreiche und vielfältige Bepflanzung ermöglicht und damit die biologische Vielfalt erhöhen kann. Das Niederschlagswasser wird optimal verteilt und eine hohe Verdunstungsleistung wird gefördert solange Feuchtigkeit im Substrat ist.

Diese Variante wird bevorzugt im Alpenraum (z. B. in der Schweiz) umgesetzt, da sie auch im Winter bei niedrigem Sonnenstand gegenüber schräg aufgeständerten Varianten den Vorteile besitzt, dass die Anlage durch Schnee nicht bedeckt wird und somit zum einen weiter Strom erzeugen kann und zum anderen wie bei den PV-Grundlagen erläutert, die Sonneneinstrahlung senkrecht auf die Modulfläche trifft.

Auch bei dieser Variante sollte ein höherer Abstand der Modulunterkante zur Substratoberkante gewählt werden (mindestens 40 Zentimeter), um Teilverschattungen durch Pflanzenaufwuchs zu vermeiden. Neben den Unterkonstruktionen, die auf dem Gründach installiert werden können, sind auch Solarbrüstungen oder Balkonsolarmodule eine gute Ergänzung zu PV-Dachanlage

- Pergola-Lösung:

Bei der Pergola-Lösung handelt es sich um eine hoch aufgeständerte PV-Anlage über Dachbegrünung und Sozialflächen, und diese ist besonders für die Kombination mit Dachgärten geeignet. Auch Technikflächen lassen sich damit sehr gut überbauen. Die Solarmodule können flächendeckend angeordnet werden, dadurch ergibt sich ein hoher Flächennutzungsfaktor (kWp/m^2), da auf Pflegegänge verzichtet werden kann.

In der Regel kommen semitransparente Glas-Glas-Module zum Einsatz, die keine Vollverschattung zur Folge haben, unter denen jedoch die Aufenthaltsqualität gesteigert wird.

Durch den hohen Abstand zwischen PV-Anlage und Dachoberfläche erhält die Bepflanzung darunter mehr Licht (durch lateralen Lichteinfall bei nach Süden, Osten bzw. Westen offener Ausführung randlich auch direktes Sonnenlicht). Zudem ist eine höhere Begrünung bis hin zu Sträuchern oder eine Gartennutzung möglich. In Bezug auf Fledermäuse und bestimmte Insekten ist noch nicht abschließend geklärt, ob eine sensorische Fallenwirkung entstehen kann, wenn die Module völlig waagrecht auf dem Pergola-Dach angeordnet sind. Daher wäre eine angewinkelte Bauweise vorzuziehen.⁶⁹ Für eine möglichst gleichmäßige Durchfeuchtung des Substrats ist jedoch eine geregelte Wasserverteilung im Substrat beziehungsweise eine aktive Bewässerung unter der PV-Anlage notwendig. Sofern diese gewährleistet ist, bieten Pergola-Systeme für das Regenwassermanagement, das Stadtklima und die biologische Vielfalt auf dem Dach gute Voraussetzungen, die vor allem auch durch semitransparente Module (Transparenz sollte 20 bis 30 Prozent betragen) gesteigert werden kann. Für die Pflegbarkeit ergeben sich keine Einschränkungen.

Gerade in Städten kann mit der Pergola-Konstruktion der Nutzungskonflikt auf den Dächern entschärft und die Dächer multifunktional genutzt werden. Auch eine Kombination mit intensiver Dachbegrünung ist mit dieser Variante möglich. Die Pergola-Konstruktion sollte eine Stehhöhe von mindestens 2 Metern aufweisen.

Die Kombinationsvarianten werden mit ihren Eigenschaften im nachfolgenden Kapitel „Steckbriefe“ zusammengefasst und visualisiert.

Sonderfälle und Berücksichtigung der Umgebung

Die oben erläuterten Parameter sind immer im Gesamtzusammenhang mit der Umgebung des Planungsgebiets zu betrachten. Für den Großteil der Fälle stellen sie jedoch die wichtigsten Stell-schrauben dar, um eine optimale Lösung für die Kombination von Dachbegrünung und PV an den jeweiligen Standorten zu finden. Es gibt jedoch Konstellationen, in denen einzelnen Funktionen der Vorrang eingeräumt werden sollte:

Vorrang Funktion für Klimaanpassung/ Regenwassermanagement

Ist in der Umgebung eine starke Unterversorgung mit Grün- und Vegetationsflächen und somit eine ausgeprägte städtische Wärmeinsel zu verzeichnen oder ist eine Versickerung des Niederschlagswasser auf dem Boden nur sehr eingeschränkt möglich (z. B. wegen hoher Versiegelung oder hohem Grundwasserstand) sind gegebenenfalls reine Gründächer mit intensiver Dachbegrünung notwendig, um eine Wasserretention zu ermöglichen und somit die Verdunstung zu fördern und die bioklimatische Situation zu verbessern. Insbesondere in Bereichen mit ungünstiger bis weniger günstiger bioklimatischer Situation (laut Stadtklimaanalyse der Landeshauptstadt München) soll auf einen hohen Anteil (intensiv) begrünter Dachflächen geachtet werden, um so durch höhere Verdunstung das Bowen-Verhältnis und somit die städtische Wärmeinsel zu reduzieren.

Bezüglich des Vorrangs des Regenwassermanagements wurde auf den Einfluss der Umgebung bereits im Grundlagenteil hingewiesen. Eine pauschale Lösung für alle Planungsgebiete ist nicht möglich, da sich die Voraussetzungen für ein nachhaltiges Regenwassermanagement je nach Lage im Münchener Stadtgebiet zu stark unterscheiden (nach Norden steigt z. B. der Grundwasserspiegel stark an). Aus planerischer Sicht ist es daher sinnvoll, lokale Unterschiede bei der Festlegung von Dachbegrünung zur Förderung des Schwammstadt-Prinzips zu berücksichtigen:

⁶⁹ Szabadi et al., 2023; Greif & Siemers, 2010; Greif et al., 2017

- In Gebieten mit hohen Grundwasserständen, vor allem im Norden, Nordosten und Nordwesten des Stadtgebietes (z. B. Aubing, Lochhausen, Langwied, Feldmoching, Johanneskirchen, Lerchenau und in einigen Bereichen entlang der Isar) ist eine Dachbegrünung mit Schwerpunkt Regenrückhalt sinnvoll. Der Niederschlag bleibt somit verstärkt auf dem Dach im Substrat und wird von Pflanzen aufgenommen. Durch das Rückhaltevermögen wird ein Anteil des Niederschlages gebunden beziehungsweise zeitverzögert abgegeben. Das Kanalnetz wird somit entlastet und auch der lokale Grundwasserspiegel steigt dadurch nicht so schnell an.
- In Gebieten mit einer hohen Versiegelungsdichte wird das Kanalnetz durch Dachbegrünung stark entlastet. Bei hoher Versiegelung strömt das Niederschlagswasser über die Oberfläche ins Kanalnetz ab und steht lokal nicht mehr für alternative Nutzungen, wie zur Verdunstung oder Bewässerung, zur Verfügung. Auch ist bei Starkregenereignissen das Kanalnetz schnell überlastet. Eine Dachbegrünung mit Schwerpunkt Wasserretention würde auch hier zu einer Entlastung des Kanalnetzes und örtlicher Versickerungsanlagen führen sowie eine dezentrale Regenwassernutzung vor Ort ermöglichen.
- Eine konkrete Dimensionierung der für ein naturnahes Niederschlagsmanagement notwendigen Flächen und Rückhaltevolumina sollte in sensiblen Gebieten durch eine externe Begutachtung durchgeführt werden. Dabei gilt es insbesondere naturnahe Maßnahmen, die auch einen Mehrwert für lokale Wasserbilanz schaffen, gegenüber technischen Versickerungsmaßnahmen vorzuziehen.
- wenn Dächer eine Brücken- beziehungsweise Trittsteinfunktion zwischen naturnahen Lebensräumen in einem Umfeld übernehmen sollen, das entsprechende Flächen in ebener Lage nicht aufweist (v. a. im stark versiegelten Innenstadtbereich),
- wenn Dächer in stärker durchgrüneten Stadtrandlagen oder in Nachbarschaft zu hochwertigen Biotopflächen Stützungs- und Habitaterweiterungsfunktion übernehmen sollen (Gestaltung des Gründachs hängt von den Ansprüchen der vorrangig zu stützenden Arten ab).

Steht im erstgenannten Fall die Erhöhung der „Durchlässigkeit der Stadtmatrix“ für weniger mobile Kleintierarten und eine auszeichnende „Biomasseproduktion“ als Nahrungsgrundlage für beispielsweise Vögel als Zielsetzung im Vordergrund, können Dachbegrünungen mit spezieller Ausgestaltung außerhalb des Zentrums gegebenenfalls Artenschutzfunktionen übernehmen. Hierfür eignen sich vor allem größere Dachflächen. Das Kriterium der räumlichen Lage spielt die Schlüsselrolle bei der Zielstellung.⁷⁰ Im Allgemeinen sind in Bereichen mit geringer Ausstattung mit grüner Infrastruktur (z. B. in stark versiegelter Innenstadt) Arten leichter zu etablieren, je mehr Lebensraumfunktionen die Dachfläche anbieten kann (Nahrungs-, Nist- und Überwinterungsmöglichkeiten). In Bereichen, in denen relevante Habitatstrukturen im Umfeld der Dächer in ausreichendem Maße vorhanden sind, können Gründächer aber auch ohne Nistplatzangebote oder Überwinterungsmöglichkeiten ein wertvoller Baustein für ein breites und kontinuierliches Nahrungsangebot sein. Ist mehr Grün in der Umgebung des Daches vorhanden, ist eine höhere Artenvielfalt auf dem Dach möglich.⁷¹

Vorrang Funktion für Biodiversität

In Bezug auf den Erhalt und die Förderung der Biodiversität lassen sich zwei Fallkonstellationen unterscheiden:

Vorrang Funktion reines Solardach

Bezogen auf Flachdächer, können im Bestand in vielen Fällen auch reine Solardächer die beste Lösung sein, wenn aus statischen Gründen die Traglastreserve begrenzt und damit eine Dachbegrünung nicht umsetzbar ist.

⁷⁰ Im Rahmen der vom Referat für Klima- und Umweltschutz mit Unterstützung der Technischen Universität München und der Hochschule Weihenstephan-Triessdorf geplanten „Flächenkulisse Biodiversität“, welche die für den Erhalt und die Förderung der Biodiversität Münchens erforderlichen Flächen darstellen soll, sollen Bereiche definiert werden, in denen Biodiversitätsdächer beider Kategorien bevorzugt entstehen sollen

⁷¹ Knapp et al., 2019

Steckbriefe

5

Wie bereits im Eingangskapitel erwähnt, gibt es keine Standardausführung oder pauschale Lösung, um eine multifunktionale Nutzung der Dächer zu ermöglichen und gleichzeitig alle gewünschten Ziele zu erfüllen. Die im vorangegangenen Kapitel dargestellten Kombinationsvarianten sind dazu geeignet, Solarenergienutzung und eine Dachbegrünung mit höheren Substratstärken zu vereinbaren und so die Einhaltung der städtischen Ziele für Klimaschutz, Klimaanpassung und Biodiversität zu unterstützen. Dennoch unterscheiden sich die vorgestellten Kombinationslösungen bei der jeweiligen Funktionserfüllung und Zielerreichung. Einige Kombinationsvarianten weisen zum Beispiel eine bessere Flächeneffizienz hinsichtlich der Solarenergienutzung auf, andere bieten für die

ökologische Funktionserfüllung bessere Voraussetzungen. Viele Kombinationssysteme können zudem auch durch zusätzliche Wasserretentionsmaten hinsichtlich des Regenwassermanagements aufgewertet werden. Um einen schnellen Überblick zu geben, welche Vor- und Nachteile hinsichtlich Photovoltaiknutzung, Wasserretention, Stadtklima und Biodiversität bestehen, sind diese in den nachfolgenden Steckbriefen zusammengefasst. Neben Kombinationsvarianten werden zum Vergleich auch das reine PV-Dach, das Biodiversitätsdach und das Gründach beschrieben. Für die Umsetzung gilt es, die jeweils für den vorliegenden Einzelfall geeignete Variante zu finden, die sowohl die Ansprüche des jeweiligen Projekts als auch die Lage und Umgebung im Stadtgebiet berücksichtigt.

Hoch aufgeständerte PV-Anlage über Dachbegrünung, Sozialflächen, Dachgarten oder ähnlichem (Stehhöhe ca. 2 Meter), flächendeckend angeordnete Solarmodule (mehr als 80 Prozent), ausreichende Modulneigung für Selbstreinigung (Neigungswinkel größer als 10 Grad); je nach Ausführung gegebenenfalls niedrige Windlasten; semi-transparente Glas-Glas-Module für bessere Belichtung; als Verschattungselemente geeignet, aber auch lichtdurchlässig für eine vielfältige Bepflanzung; Die Module können auch mit größeren oder kleineren Abstand installiert werden und somit auch für Sonne und Niederschlag durchlässig sein; Dachbegrünung mit 20 Zentimetern Substrat als Ballast, jedoch dann zusätzliches Wasserverteilsystem oder aktive Bewässerung unter PV-Anlage notwendig.



Photovoltaik

Hohe Flächeneffizienz, da die Gesamtfläche für PV nutzbar.



Regenwasser- management

Wasserverteilsystem unter PV erforderlich; Annäherung an natürlichen Wasserkreislauf, da hohe Verdunstungsleistung durch Vegetation; Wasserretention bzw. -speicherung möglich durch hohe Substratstärke, geringere Speicherung und Retention als Retentionsdach; Drosselement/regulierter Abfluss empfehlenswert, um dies zu verbessern.



Biodiversität

Mäßiger Schatten; im Außenrand (voll-)sonnig/halbschattig, Biodiversitätselemente unter PV möglich; Bei arten- und strukturreicher Pflanzung hohe Eignung für blütenbesuchende Insekten.



Stadtklima

Hoher Blattflächenindex und Vegetationsbedeckungsgrad durch strukturreiche Bepflanzung in den Randbereichen (insbesondere außerhalb des Kernschattens) möglich; Im Kernschatten bei geringer Lichtdurchlässigkeit angepasste Pflanzenauswahl notwendig.



Reduzierte Besonnung, abhängig von Transparenz der PV-Module. Daher hohe latente Wärmeströme in Teilbereichen („Verdunstungskühlung“) zur Reduktion der städtischen Wärmeinsel möglich.

Heterogene Niederschlagszufuhr. Durch die Verteilung des Niederschlags im Substrat (zusammen mit geringeren Verdunstungsraten unter der PV) wird eine hohe Wasserverfügbarkeit gewährleistet und damit der latente Wärmestrom auch während Trockenperioden erhalten.

Bio-Klima: Hohe Aufenthaltsqualität durch Verschattung bei semi-transparenten PV-Modulen.

Fazit

Sehr gute Kombinationslösung für Dachbegrünung und Photovoltaik. Aufgrund der hohen Aufständering kaum Einschränkung in der Nutzbarkeit weder für die Begrünung noch für weitere Nutzungen (technische Anlagen, Sport, Spiel, Freizeit). Die PV-Anlage kann größtmöglich dimensioniert werden. Wasserverteilung im Substrat notwendig.

Technische Daten

Zielwert Masterplan solares München (20 Prozent Modulflächen bezogen auf die Grundstücksfläche ¹)	Zielwert wird erreicht	Gesamtlichtanteil auf der Substratoberkante (Sollwert min. 30 Prozent)	Sollwert von 30 Prozent erreichbar
Substrathöhe	Min. 20 cm ggf. inkl. Substratmodellierung (pflanzenverfügbares Wasser von ca. 60 l/m ²)	Abstand Modulunterkante Substratoberkante	Je nach Abstandbedarf für Sozialflächen, Dachgärten oder Technikfläche ausführbar.
Spitzenabflussbeiwert	Nach den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien/nach Tabelle 9 DIN 1986-100 Bei 20 cm Substrat $cs = ca. 0,3$	Wasserretention	Gut kombinierbar
Habitatmodule	Gut kombinierbar		

Städtebau/ Ästhetik

Einschränkung gibt es hinsichtlich der Gesamthöhe des Systems z. B. aufgrund von Abstandsflächen und muss mit der lokalen Baubehörde abgestimmt werden.

Pflege und Wartung

Gute Pfleg- und Nutzbarkeit aufgrund der Stehhöhe, es sind keine Einschränkungen zu erwarten.

Besondere Merkmale

Ideal für die Kombination/Überbauung von Technik- und Sozialflächen sowie Dachgärten; Hoher PV-Ertrag möglich; Gleichmäßige Regenwasserverteilung erforderlich.

Variationen

PV über Sozial- und Gartenflächen

Hier können in Teilbereichen, z. B. über dem begrünten Dachgarten senkrecht aufgeständerte bifaziale Module mit der Pergola kombiniert werden, sodass deutlich mehr Licht und Regen auf die Dachoberfläche bzw. auf das Substrat fällt.

Hinweis: Für Regenwassermanagement und Stadtklima ist diese Variante besonders förderlich.



1) Auf Siedlungsflächen, die als Wohnbauflächen, Industrie- und Gewerbeflächen, als Flächen gemischter Nutzung und Flächen besonderer funktionaler Prägung ausgewiesen sind, gilt ein Richtwert von 20% PV-Modulfläche bezogen auf die Grundstücksfläche. 40% der Siedlungsfläche können dabei unberücksichtigt bleiben, da an vielen Stellen z. B. Denkmalschutz oder sonstige zwingende stadtplanerische Belange der PV-Nutzung entgegenstehen.

Senkrecht stehende, bifaziale Solarmodule (Rückseite mit reduziertem Wirkungsgrad von ca. 80 Prozent im Vergleich zur Vorderseite); semi-transparente Glas-Glas-Module; keine abhebenden Kräfte, daher geringe Ballastanforderung; System wird auf die Dachbegrünung aufgestellt, daher vor allem auch für eine Nachrüstung von vorhandenen Dachbegrünungen geeignet. Für eine Substratschicht von 20 Zentimetern sollte ein Abstand der Modulunterkante zur Substratoberkante von mindestens 40 Zentimetern gewählt werden.



Photovoltaik

Bei senkrechter Ost-West-Aufständigung wird die Vorder- und Rückseite der Module genutzt; Ertragsspitzen am Morgen und am Abend, daher hoher Eigenverbrauch und gute Ergänzung zur Mittagsspitze sowie ein höherer Ertrag in den Wintermonaten möglich; sehr leichte Nachrüstbarkeit auf Bestandsgründächern, da relativ leicht und geringe Windsogkräfte.



Regenwasser- management

Annäherung an natürlichen Wasserkreislauf, da hohe Verdunstungsleistung durch Vegetation; Wasserretention bzw. -speicherung möglich durch hohe Substratstärke; geringere Speicherung und Retention als Retentionsdach; Drosselement/ regulierter Abfluss empfehlenswert, um dies zu verbessern; Keine eigene Wasserverteilung im Substrat notwendig (im Vergleich zu anderen PV-Kombinationssystemen). Gleichmäßige Durchfeuchtung des Substrates bei Niederschlag.



Biodiversität

Sowohl besonnte als auch beschattete Bereiche je nach Tageszeit; im Außenrand (voll-)sonnig; Biodiversitätselemente zwischen PV möglich. Bei arten- und strukturreicher Pflanzung sehr hohe Eignung für blütenbesuchende Insekten wegen annähernden Freilandverhältnissen.



Stadtklima

Hoher Blattflächenindex und Vegetationsbedeckungsgrad durch strukturreiche Bepflanzung möglich.
Besonnung der Vegetation variiert im Tagesverlauf, da Module senkrecht angeordnet sind. Dadurch hoher latenter Wärmestrom („Verdunstungskühlung“) zur Reduktion der städtischen Wärmeinsel.
Gewährleistung hoher Wasserverfügbarkeit und damit Erhalt eines hohen latenten Wärmestroms auch während Trockenperioden. Zudem optimale Niederschlagswasserzufuhr und Verteilung im Substrat.



Fazit

Gute Kombinationslösung für Dachbegrünung und Photovoltaik, da die ökologischen Belange der Dachbegrünung kaum eingeschränkt werden. Ertrag der Anlage fällt etwas geringer aus als bei den beiden anderen Kombinationsvarianten. Das System ist aufgrund der geringen statischen Anforderungen auch gut für die Nachrüstung von Bestandsdächern mit Dachbegrünung geeignet.

Technische Daten

Zielwert Masterplan solares München (20 Prozent Modulflächen bezogen auf die Grundstücksfläche ¹⁾)	Zielwert wird erreicht	Gesamtlichtanteil auf der Substratoberkante (Sollwert min. 30 Prozent)	Mehr als 50 Prozent möglich
Substrathöhe	Min. 20 cm gegebenenfalls inkl. Substratmodellierung (pflanzenverfügbares Wasser von ca. 60 l/m ²)	Abstand Modulunterkante Substratoberkante	Mindestabstand 40 cm
Spitzenabflussbeiwert	Nach den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien/ nach Tabelle 9 DIN 1986-100 Bei 20 cm Substrat $c_s = \text{ca. } 0,3$	Wasserretention	Gut kombinierbar

Städtebau/ Ästhetik

Keine Einschränkung aufgrund der flachen Aufständering zu erwarten.

Pflege und Wartung

Erhöhter Aufwand und schwierigere Pflege aufgrund der niedrigen Aufständering; häufigere Pflege erforderlich wegen geringerem Abstand zwischen Modultraufe und Substrat.

Variationen

PV-Brüstung / Balkonmodul

Senkrechte Solarmodule sind als Solarbrüstung oder Balkonsolarmodule auch eine gute Ergänzung zu den Dachanlagen. Durch PV-Brüstungen kann der PV-Leistungsverlust im Gebäuderandbereich um etwa die Hälfte reduziert werden.

Hinweis: bei typischen Abmessungen eines Wohngebäudes (im Beispiel 12 mal 30 Meter) beträgt der Attikabereich (ca. 2 Meter) etwa 22 Prozent der Brutto-Dachfläche.



1) Auf Siedlungsflächen, die als Wohnbauflächen, Industrie- und Gewerbeflächen, als Flächen gemischter Nutzung und Flächen besonderer funktionaler Prägung ausgewiesen sind, gilt ein Richtwert von 20% PV-Modulfläche bezogen auf die Grundstücksfläche. 40% der Siedlungsfläche können dabei unberücksichtigt bleiben, da an vielen Stellen z. B. Denkmalschutz oder sonstige zwingende stadtplanerische Belange der PV-Nutzung entgegenstehen.

Hoch aufgeständerte PV-Module auf einer Unterkonstruktion in Schmetterlingsform (mit einem Mindestabstand von 40 bis 60 Zentimetern über Substratoberkante) in Ost-West-Ausrichtung. Begrünung ist mit 20 Zentimetern Substrat vorgesehen. Diese Anordnung in Schmetterlingsform inkl. Wartungsgänge führt zu einer hohen Flächeneffizienz der PV-Anlage. Für eine möglichst gleichmäßige Durchfeuchtung des Substrats ist eine geregelte Wasserverteilung z. B. durch Dränelemente im Substrat notwendig. Aufgrund der hohen Aufständerung und Wartungsgängen am First ist eine Belichtung der Begrünung gegeben, durch semi-transparente Glas-Glas-Module ist eine Verbesserung der Lichtdurchlässigkeit für die Begrünung unter den Solarmodulen zu erzielen. Die Dachbegrünung mit 20 Zentimetern Substrat bildet die Ballastierung für das System (zusätzliche Ballastierung zur Stabilisierung des Systems möglich).



Photovoltaik

Je nach Anordnung (Aufständerungswinkel, Reihenabstand, Ausrichtung) der Modulreihen ist eine hohe Flächeneffizienz möglich.



Regenwasser- management

Wasserverteilsystem unter PV erforderlich; Annäherung an natürlichen Wasserkreislauf, da hohe Verdunstungsleistung durch Vegetation; Wasserretention bzw. -speicherung möglich durch hohe Substratstärke; geringere Speicherung und Retention als Retentionsdach; Drosselement/regulierter Abfluss empfehlenswert, um dies zu verbessern.



Biodiversität

Viel Schatten; im Außenrand (voll-)sonnig/halbschattig; Biodiversitätselemente eingeschränkt zwischen PV möglich; auch bei arten- und strukturreicher Pflanzung mäßige Eignung für blütenbesuchende Insekten wegen zu viel Schatten (beschränkt auf höhere Randbereiche).



Stadtklima

Hoher Blattflächenindex und Vegetationsbedeckungsgrad durch strukturreiche Bepflanzung im Randbereich (außerhalb des Kernschattens) möglich; Im Kernschatten angepasste Pflanzenauswahl notwendig. Diverse Besonnungssituationen. Daher hohe latente Wärmeströme in Teilbereichen („Verdunstungskühlung“) zur Reduktion der städtischen Wärmeinsel möglich. Heterogene Niederschlagszufuhr. Durch die Verteilung des Niederschlags im Substrat (zusammen mit geringeren Verdunstungsraten unter der PV) wird eine hohe Wasserverfügbarkeit gewährleistet und damit der latente Wärmestrom auch während Trockenperioden erhalten.



Fazit

Gute Kombinationslösung für Dachbegrünung und Photovoltaik. Durch Substratmodellierung kann das System sowohl hinsichtlich Statik als auch hinsichtlich Pflegeaufwand optimiert werden. Dieses Kombinationssystem erfüllt die ökologischen Belange der Dachbegrünung und bringt einen guten PV-Ertrag pro Quadratmeter.

Technische Daten

Zielwert Masterplan solares München (20 Prozent Modulflächen bezogen auf die Grundstücksfläche ¹)	Zielwert wird erreicht	Gesamtlichtanteil auf der Substratoberkante (Sollwert min. 30 Prozent)	Mindestabstand 40 cm
Substrathöhe	Min. 20 cm gegebenenfalls inkl. Substratmodellierung (pflanzenverfügbares Wasser von ca. 60 l/m ²)	Abstand Modulunterkante Substratoberkante	ca. 10 bis 20 cm
Spitzenabflussbeiwert	Nach den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien/nach Tabelle 9 DIN 1986-100 Bei 20 cm Substrat $cs = ca. 0,3$	Wasserretention	Gut kombinierbar

Städtebau/ Ästhetik

Die Höhe der Anlage ist zu berücksichtigen, ist jedoch aufgrund des Abstandes zur Außenkante i.d.R. unproblematisch. Pflege und Wartung

Pflege und Wartung

Pflege erfolgt durch ein bis zwei Pflegegänge pro Jahr. Aufgrund der höheren Aufständering wird das Mähen unter den Modulen erleichtert.

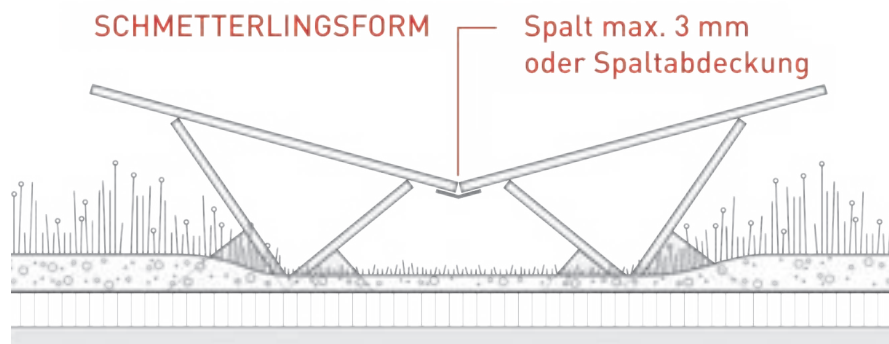
Besondere Merkmale

Großer PV-Ertrag möglich; gleichmäßige Regenwasserverteilung erforderlich.

Variationen

Beeinflussung des Pflanzenwachstums durch Substratmodellierung:

Unmittelbar vor der Unterkante der Module ist wenig Substrat (ca. 6 bis 8 cm) auszubringen, in den Bereichen unter bzw. hinter den Modulen kann die Substrathöhe deutlich höher sein (15 bis 20 cm). So können sich auf engem Raum verschiedene Vegetationstypen ausprägen, ohne die Stromproduktion zu beeinträchtigen.



1) Auf Siedlungsflächen, die als Wohnbauflächen, Industrie- und Gewerbeflächen, als Flächen gemischter Nutzung und Flächen besonderer funktionaler Prägung ausgewiesen sind, gilt ein Richtwert von 20% PV-Modulfläche bezogen auf die Grundstücksfläche. 40% der Siedlungsfläche können dabei unberücksichtigt bleiben, da an vielen Stellen z. B. Denkmalschutz oder sonstige zwingende stadtplanerische Belange der PV-Nutzung entgegenstehen.

Photovoltaik-Gründach mit niedriger Substratschicht



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

Gängige Umsetzungsvariante: PV-Module werden flach mit niedrigem Modulabstand zur Oberfläche über niedriger Substratstärke (5 bis 10 Zentimeter) aufgeständert und mit einer Sedum-Moosmischung bepflanzt; PV-Module werden in Einzelreihen (Südausrichtung) oder doppelreihig in Ost-West-Richtung (Schmetterling) aufgeständert; Begrünung kann als Ballastierung für die PV-Anlage dienen.



Pflanzen überwuchern PV Anlage bei zu geringem Abstand

Photovoltaik

Je nach Ausführung kann eine hohe Flächeneffizienz erreicht werden. PV-Anlage kann durch das Gründach ballastiert werden. Durch den niedrigen Abstand zwischen PV-Modul und Substratoberkante wächst Unkraut bevorzugt an Modulunterkanten und führt zu Ertragseinbußen durch Verschattung. Zudem ist die Pflege aufwändig und häufig nötig.



Regenwasser- management

Retention und Verdunstung möglich, jedoch relativ geringe Verdunstungsleistung durch geringe Substratstärke und niedrigwüchsige trockenresistente Bepflanzung. Geringe Abflussverzögerung und geringe Speicherung sowie Retention. Drossel-element/ regulierter Abfluss empfehlenswert, um dies zu verbessern.



Biodiversität

Nur in geringem Umfang Wachstumsmöglichkeit für Pflanzen und daher auch kaum Nahrungsmöglichkeit für Tiere. Nist- oder Überwinterungsmöglichkeit ist nicht vorhanden, da die Substrat-schichtdicke nicht für Brutgänge von Insekten ausreicht, im Sommer zu stark aufheizt und im Winter vollständig durchfriert.



Stadtklima

Niedriger Blattflächenindex, aber hoher Vegetationsbedeckungsgrad möglich; Trockenresistente Sedum-Moos-Kräuter Bepflanzung mit geringer Verdunstungsleistung und unter den Modulen im Kernschatten gehemmtes Pflanzenwachstum. Daher nur moderate latente Wärmeströme in Teilbereichen („Verdunstungskühlung“) zur Reduktion der städtischen Wärmeinsel möglich. Heterogene Niederschlagszufuhr. Bei Verteilung des Niederschlags im Substrat (zusammen mit geringeren Verdunstungsraten unter der PV) wird eine moderate Wasserverfügbarkeit gewährleistet. Damit kann der latente Wärmestrom während Trockenperioden erhalten bleiben.



Fazit

Kostengünstige Gesamtlösung für Begrünung und PV-Anlage. Allerdings ohne großen ökologischen Mehrwert für Stadtklima und Biodiversität. Aufgrund der Reihenabstände für Pflege und Besonnung ist auch der PV-Ertrag eingeschränkt. Die Wasserspeicherkapazität ist ebenfalls begrenzt, sofern nicht mit zusätzlicher Retentionsschicht verbunden.

Technische Daten

Zielwert Masterplan solares München (20 Prozent Modulflächen bezogen auf die Grundstücksfläche ¹⁾)	Zielwert kann erreicht werden.	Gesamtlichtanteil auf der Substratoberkante (Sollwert min. 30 Prozent)	Sollwert von 20 bis 30 Prozent nicht erreichbar
Substrathöhe	5 bis 10 cm (pflanzenverfügbares Wasser von ca. 15 bis 30 l/m ²)	Abstand Modulunterkante Substratoberkante	ca. 10 bis 20 cm
Spitzenabflussbeiwert	Nach den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien/nach Tabelle 9 DIN 1986-100 cs = ca. 0,7- 0,5	Wasserretention	Gut kombinierbar
Habitatmodule	Sehr beschränkt möglich		

Städtebau/ Ästhetik

Keine Einschränkung aufgrund der flachen Aufständering zu erwarten.

Pflege und Wartung

Erhöhter Aufwand und schwierigere Pflege aufgrund der niedrigen Aufständering; häufigere Pflege erforderlich wegen geringerem Abstand zwischen Modultraufe und Substrat.

1) Auf Siedlungsflächen, die als Wohnbauflächen, Industrie- und Gewerbeflächen, als Flächen gemischter Nutzung und Flächen besonderer funktionaler Prägung ausgewiesen sind, gilt ein Richtwert von 20% PV-Modulfläche bezogen auf die Grundstücksfläche. 40% der Siedlungsfläche können dabei unberücksichtigt bleiben, da an vielen Stellen z. B. Denkmalschutz oder sonstige zwingende stadtplanerische Belange der PV-Nutzung entgegenstehen.

Klassisches Photovoltaik-Flachdach



Ballastarme PV-Anlage ins Ost-West-Ausrichtung auf Bitumenbahnen ohne nennenswerten Reihenabstand.



Photovoltaik

Sehr leichte und kostengünstige Lösung, sehr hohe Flächenausnutzung, geringer Wartungsaufwand.



Regenwasser- management

Nicht vorhanden, entspricht Vollversiegelung.



Biodiversität

Nicht vorhanden



Stadtklima

Gleicht einer vollversiegelten Fläche; hohe Oberflächentemperaturen und sehr hohe fühlbare Wärmeströme tagsüber; trägt zur städtischen Wärmeinsel bei.



Fazit

Hohe PV-Flächen-Effizienz, aber erfüllt keine ökologischen Funktionen.

Technische Daten

Zielwert Masterplan solares München (20 Prozent Modulflächen bezogen auf die Grundstücksfläche ¹)	Zielwert können erreicht werden.	Gesamtlichtanteil auf der Substratoberkante (Sollwert min. 30 Prozent)	Keine Einschränkung
Substrathöhe	Kein Substrat vorhanden	Abstand Modulunterkante Substratoberkante	5 cm
Spitzenabflussbeiwert	Nach Tabelle 9 DIN 1986-100 cs = 1,00	Wasserretention	Nicht möglich
Habitatmodule	Nicht möglich		

Städtebau/ Ästhetik

Keine Einschränkung aufgrund der flachen Aufständering zu erwarten.

Pflege und Wartung

Keine Pflege nötig.

Variationen

PV auf hellem Untergrund

- Höhere Albedo der Unterlage
- Dadurch geringerer Wärmeeintrag (fühlbarer Wärmestrom) in die Atmosphäre



PV-Anlage auf Rollkies

- Kiesschicht schützt die Dachhaut
- Kann mit Wasserretentionselementen kombiniert werden



1) Auf Siedlungsflächen, die als Wohnbauflächen, Industrie- und Gewerbeflächen, als Flächen gemischter Nutzung und Flächen besonderer funktionaler Prägung ausgewiesen sind, gilt ein Richtwert von 20% PV-Modulfläche bezogen auf die Grundstücksfläche. 40% der Siedlungsfläche können dabei unberücksichtigt bleiben, da an vielen Stellen z. B. Denkmalschutz oder sonstige zwingende stadtplanerische Belange der PV-Nutzung entgegenstehen.

Spezial-Dach – Biodiversitäts- gründach

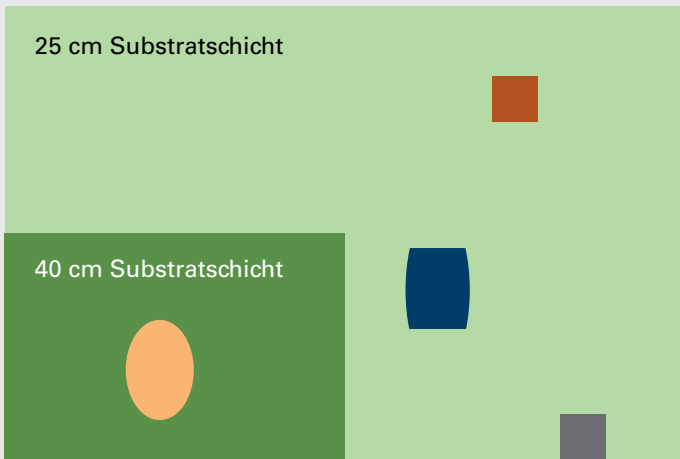


Landeshauptstadt
München
**Referat für Klima-
und Umweltschutz**

Dach mit extensiver Dachbegrünung von mindestens 25 Zentimetern Auflage; auf 25 Prozent der Fläche Substrat-Anhügelungen von mindestens 40 Zentimetern mit Habitatelementen wie Wasserstellen oder Nisthilfen (siehe Anlage Biodiversitätsgründach). Artenreiche heimische Bepflanzung mit jahreszeitlich gestrecktem Blütenangebot um als Lebens- und Nahrungsraum zu dienen.



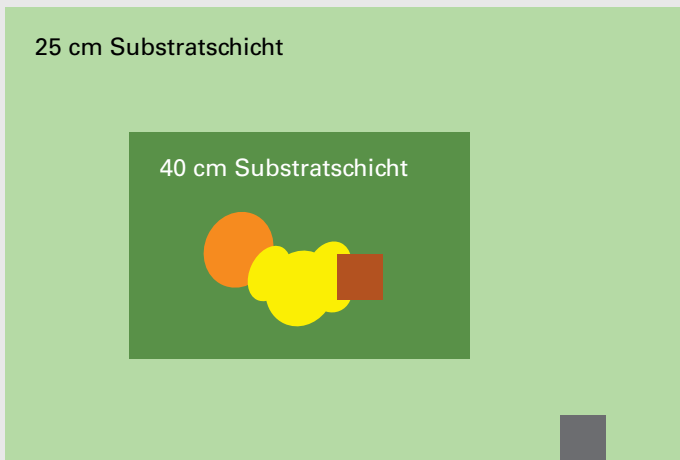
Beispiele für Habitatelemente: Wasserstelle; arten- und strukturreiche heimische Vegetation und Totholz



■ Gesamte Gründachfläche mit 25 cm Substratschichtdicke
■ Habitatmodulfläche mit 40 cm Substratschichtdicke (25 % der Gründachfläche)

Habitatelemente (2 pro 50 m²)

- Habitatelement a
- Habitatelement b
- Habitatelement c
- Habitatelement d



■ Gesamte Gründachfläche mit 25 cm Substratschichtdicke: 400 m²
■ Habitatmodulfläche mit 40 cm Substratschichtdicke: 100 m² (25 %)

Habitatelemente (2 pro 50 m²) → bei 400 m² insgesamt 4 Habitatelemente

- Nisthilfen für Insekten
- arten- und strukturreiche Bepflanzung von pollen- und nektarreichen heimischen Stauden
- Substratanhügelungen aus Kies-/Sand-/Lehm
- Nisthilfe für Vögel

Photovoltaik

Nicht vorgesehen



Regenwassermanagement

Annäherung an natürlichen Wasserkreislauf, da hohe Verdunstungsleistung durch Vegetation; hohe Wasserretention bzw. -speicherung möglich durch hohe Substratstärke, Reduzierung Abfluss (cs bei 25 cm = ca. 0,3; cs bei 40 cm = ca. 0,2). Je nachdem, ob Drosselement/ regulierter Abfluss ggf. etwas geringere Speicherung und Retention als Retentionsdach.



Biodiversität

(voll-)sonnig; die hohen Substratschichtdicken ermöglichen einer vielfältigen heimischen Pflanzenauswahl das Wachstum. Die zusätzliche Verwendung von ausreichend bindigem Substrat ermöglicht Insekten die Überwinterung und Eiablage; von den verschiedenen, an die örtlichen Gegebenheiten angepassten zusätzlichen Habitatelementen profitiert die Biodiversität.



Stadtklima

Hoher Blattflächenindex und Vegetationsbedeckungsgrad durch strukturreiche Bepflanzung möglich. Bestmögliche Besonnung der Vegetation und dadurch hoher latenter Wärmestrom („Verdunstungskühlung“) zur Reduktion der städtischen Wärmeinsel. Gewährleistung hoher Wasserverfügbarkeit und damit Erhalt eines hohen latenten Wärmestroms auch während Trockenperioden. Zudem optimale Niederschlagswasserzufuhr und Verteilung im Substrat.



Fazit

Biodiversitätsgründach dient als zusätzlicher Lebens- und Nahrungsraum (insbesondere als Trittsteinbiotop ergänzend zur Umgebung) der Förderung der Artenvielfalt.

Technische Daten

Zielwert Masterplan solares München (20 Prozent Modulflächen bezogen auf die Grundstücksfläche ¹⁾)	Nicht vorgesehen	Anlage insbesondere auf:	Sonnigen Standorten
Substrathöhe	Generell min. 25 cm; auf 25 Prozent der begrünter Dachfläche: min. 40 cm (pflanzenverfügbares Wasser von ca. 86 l/m ²)		
Spitzenabflussbeiwert		Wasserretention	Nicht kombinierbar
Pflanzenverwendung	Arten- und strukturreiche Mischung aus Kräutern und Gräsern aus ein- und mehrjährigen, heimischen Arten.		
Substratarten:	Substratmodellierung erwünscht, u. a. mit Berücksichtigung von grabbarem Substrat für Insekten (lehmig-bindig).		
Beispiele für Habitat-elemente:	(temporäre) Wasserstellen, lehmige Mulden; Substratanhügelungen aus unterschiedlichem Material; Nisthilfen.		

Städtebau/ Ästhetik | Bzgl. Höhenentwicklung und Gestaltungsrichtlinien keine Einschränkung zu erwarten.

Pflege und Wartung | Pflege erfolgt durch ein- bis zweimalige Mahd pro Jahr mit Mähgutabfuhr.

Besondere Merkmale | Begrünte Dächer sind aus Sicht des Artenschutzes sowohl in stark versiegelten und dicht bebauten Bereichen als auch in durchgrünter Stadtrandlagen oder angrenzend zu hochwertigen Biotopflächen sinnvoll. Sie verbessern dabei entweder die „Durchlässigkeit der Stadtmatrix“ oder erfüllen sogar eine erweiterte Habitatfunktion (vgl. Anlage Biodiversitätsgründach).

Variationen

Biodiversitätsgründach bei xerothermophilen Arten

Dach mit extensiver Dachbegrünung als Trockenstandort mit entsprechender Pflanzenauswahl zur gezielten Förderung xerothermophiler Arten z.B. zur Biotopvernetzung.

Hinweis: Hinsichtlich Stadtklima und Regenwassermanagement ist diese Variante weniger förderlich.



Biodiversitätsgründach bei Gehölzen

Intensivbegrünung mit Beteiligung von Gehölzen (ggf. für Biotopverbund Gehölze relevante Flächen).

Hinweis: Für Regenwassermanagement und Stadtklima ist diese Variante optimal.



1) Auf Siedlungsflächen, die als Wohnbauflächen, Industrie- und Gewerbeflächen, als Flächen gemischter Nutzung und Flächen besonderer funktionaler Prägung ausgewiesen sind, gilt ein Richtwert von 20% PV-Modulfläche bezogen auf die Grundstücksfläche. 40% der Siedlungsfläche können dabei unberücksichtigt bleiben, da an vielen Stellen z. B. Denkmalschutz oder sonstige zwingende stadtplanerische Belange der PV-Nutzung entgegenstehen.

Spezial-Dach – Standard-Gründach extensiv (20 cm Substrat)



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

Gründach mit einer Substratschichtdicke von mindestens 20 Zentimetern und Einsatz von Wasserretentionsboxen als Drainelemente; zusätzlich Speicherung des Niederschlagswassers durch Drossel möglich, je nach Anforderung nutzbar als dauerhafter Wasserspeicher beziehungsweise temporär als Rückhalteraum zur Abflussverzögerung; idealerweise intelligente Ablaufdrossel (App-gesteuert). Bei Vorhersage eines Regenereignisses, welches die Speicherkapazitäten in den Retentionsboxen überschreitet, wird nur so viel Regenwasser wie notwendig vorher abgeführt, um den bevorstehenden Niederschlag komplett zurückzuhalten. Struktureiche Vegetation mit Kraut-Gras-Bewuchs.



Beispiele für eine blütenreiche extensive Dachbegrünung

Photovoltaik

Nicht vorgesehen

Regenwasser- management

Annäherung an natürlichen Wasserkreislauf, da hohe Verdunstungsleistung bei feuchtem Substrat. Aufgrund des Drosselabflusses, Gewährleistung hoher bzw. maximaler Wasserverfügbarkeit auch während Trockenperioden. Reduktion des Trinkwasserverbrauchs, da wenig bis keine Bewässerung notwendig ist. Die programmierbare Drossel leistet eine geringere Abflussgeschwindigkeit und damit einen Beitrag zum Überflutungsschutz.

Biodiversität

Die Substratschichtdicke von 20 Zentimetern ermöglicht es einigen Pflanzenarten zu wachsen. So können struktureiche Pflanzbestände entstehen. Dadurch ist auch das Nahrungsangebot für Insekten gut. Höhere Substratstärken würden eine relativ freie Pflanzenwahl ermöglichen und wären daher noch besser für die Biodiversität. Sonnige Standorte können artenreiche Tier- und Pflanzenbestände beherbergen. Wegen guter Wasserspeicherfähigkeit sind die Substrate für Insekten i. d. R. nicht als Nistplatz und zur Überwinterung geeignet. Weitere Habitatelemente wären erforderlich, um den Bedarf an Nist- und Überwinterungsplätzen zu decken.

Stadtklima

Hoher Blattflächenindex und Vegetationsbedeckungsgrad durch struktureiche Bepflanzung (Gras-Kraut, Stauden). Bestmögliche Besonnung der Vegetation und dadurch sehr hoher latenter Wärmestrom („Verdunstungskühlung“) zur Reduktion der städtischen Wärmeinsel. Gewährleistung hoher bzw. maximaler Wasserverfügbarkeit und damit Erhalt eines hohen latenten Wärmestroms auch während Trockenperioden. Zudem optimale Niederschlagswasserzufuhr und Verteilung im Substrat.



Fazit

Extensives Gründach mit hoher Wasserspeicherkapazität, um auch längere Trockenzeiten zu überdauern. Für im Substrat nistende Insekten aufgrund der hohen Wasserspeicherkapazität nicht geeignet.

Technische Daten

Zielwert Masterplan solares München (20 Prozent Modulflächen bezogen auf die Grundstücksfläche ¹⁾)	–	Gesamtlichtanteil auf der Substratoberkante (Sollwert min. 30 Prozent)	Keine Einschränkung
Substrathöhe	Min. 20 cm (pflanzenverfügbares Wasser von ca. 60 l/m ² unter Annahme von 30 Prozent nutzbarer Feldkapazität)	Abstand Modulunterkante Substratoberkante	–
Spitzenabflussbeiwert	Nach den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien/nach Tabelle 9 DIN 1986-100 Bei 20 cm Substrat $cs = ca. 0,3$; durch zusätzliche Retentionsschicht $cs = ca. 0,2$	Wasserretention	Zusätzliche Wasser-Retentionsbox notwendig, um hinreichenden Gesamtwasserspeicher für Trockenperioden zu erreichen.
Habitatmodule	Sehr beschränkt möglich		

Städtebau/ Ästhetik

Retentionsbox optisch nicht sichtbar, da unterhalb der Substratschicht; Gründach entsprechend Vorgaben. Bezüglich der Höhenentwicklung und Gestaltungsleitlinien keine Einschränkung zu erwarten.

Pflege und Wartung

Pflege Gründach erfolgt i.d.R. durch ein bis zwei Pflegegänge pro Jahr. Bzgl. Retentionsbox/ Drosselwartung und Reinigung gemäß Herstellerangaben.

Besondere Merkmale

Bereiche mit ungünstiger bis weniger günstiger bioklimatischer Situation.

Variationen

Intensives Gründach

Dach mit intensiver Dachbegrünung mit min. 40 Zentimetern Substratschichtdicke, wie große Sträucher, Stauden und kleine oder mittelgroße Bäume; dadurch höherer Blattflächenindex und höhere Verdunstungsraten (latenter Wärmestrom).



Dachgarten

Anbau von Gemüse, Beerensträuchern und kleinen Obstbäumen. Hohe Aufenthaltsqualität durch verschattete Bereiche (z. B. semi-transparente PV-Pergola, begrünte Pergola oder Kombination daraus).

Hinweis: Für Regenwassermanagement und Stadtklima ist diese Variante besonders förderlich.



1) Auf Siedlungsflächen, die als Wohnbauflächen, Industrie- und Gewerbeflächen, als Flächen gemischter Nutzung und Flächen besonderer funktionaler Prägung ausgewiesen sind, gilt ein Richtwert von 20% PV-Modulfläche bezogen auf die Grundstücksfläche. 40% der Siedlungsfläche können dabei unberücksichtigt bleiben, da an vielen Stellen z. B. Denkmalschutz oder sonstige zwingende stadtplanerische Belange der PV-Nutzung entgegenstehen.

Quellen- verzeichnis

6

1. Klimaschutz/Solarenergienutzung

- §2 EEG 2023, https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/___2.html
- §4 EEG 2023, https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/___4.html
- Solarpakete 1 (<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/tipps-fuer-verbraucher/solarpaket-photovoltaik-balkonkraftwerke-2213726>) abgerufen am 4.09.2024
- Gemäß BayKlimaG Art. 2 Abs. 5 Satz 2 liegen „die Errichtung und der Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von erneuerbaren Energien (...) im überragenden öffentlichen Interesse und dienen der öffentlichen Sicherheit.“ Dies ist nahezu gleichlautend zu §2 EEG 2023: „Bis die Stromerzeugung im Bundesgebiet nahezu treibhausgasneutral ist, sollen die erneuerbaren Energien als vorrangiger Belang in die (...) durchzuführenden Schutzgüterabwägungen eingebracht werden“. Auf das Hinweisschreiben des Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz vom 24.02.2023 wird verwiesen.
- Art. 44a BayBO <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayBO-44a>
- Art. 2 (5) BayKlimaG 2023, <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayKlimaG-2>
- Bayerisches Versöhnungsgesetz II / Grundsatzbeschluss zur „Klimaneutralen Stadtverwaltung 2030“ und weitere Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität München 2050 (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 16525)
- Beschlussvorlage zur Bekanntgabe Fachgutachten Klimaneutralität München 2035 / 2030 (Stadtverwaltung) (Sitzungsvorlage 20-26 / V 07446)
- Masterplan solares München (Sitzungsvorlage 20-26 / V 09135)

2. Gründach

Beschlüsse:

- Freiflächengestaltungssatzung der Landeshauptstadt München seit 1996
- Maßnahmenkonzept Anpassung an den Klimawandel in der Landeshauptstadt München (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 06819) und Monitoringbericht Klimaanpassungskonzept (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 02817)
- Anpassung an den Klimawandel – Klimafunktionskarte Landeshauptstadt München (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 01810)
- Bayerisches Versöhnungsgesetz II / Grundsatzbeschluss zur „Klimaneutralen Stadtverwaltung 2030“ und weitere Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität München 2050 (Sitzungsvorlage Nr. 14-20 / V 16525)
- Projekt „Grüne Stadt der Zukunft II“, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung- Projektabschluss, Ergebnisse 2022/2023 und Ausblick (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 12679)
- Grün- und Freiflächenversorgung in der Bebauungsplanung – Orientierungswerte (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 04273)
- Einbindung des „Schwammstadt“-Prinzips in Prozesse der Stadtplanung (Sitzungsvorlagen Nr. 20-26 / V 02590)
- Klimaneutrales München bis 2035 – Ziele und Umsetzungsstrategie des Referats für Stadtplanung und Bauordnung (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 03873)
- Grundsatzbeschluss I – Umsetzung Klimaziele München, Erlass einer Klimaschutzsatzung, Erlass einer Klimaratssatzung (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 03533)
- Grundsatzbeschluss II; Klimaneutrales München 2035 und klimaneutrale Stadtverwaltung 2030 (Sitzungsvorlage Nr. 20-26/V 05040)
- Fortschreibung des Klimaanpassungskonzepts I (Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 07027)

Almaaitah, T., Drake, J., Joksimovic, D., 2022. Impact of design variables on hydrologic and thermal performance of green, blue-green and blue roofs. *Blue-Green Systems* 4, 135–155. <https://doi.org/10.2166/bgs.2022.016>

Ansel, W., Zeidler, J., Esch, T., 2015. Fernerkundliche Identifizierung von Vegetationsflächen auf Dächern zur Entwicklung des für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes aktivierbaren Flächenpotenzials in den Städten. *AZ* 30299.

Bevilacqua, P., Mazzeo, D., Bruno, R., Arcuri, N., 2017. Surface temperature analysis of an extensive green roof for the mitigation of urban heat island in southern mediterranean climate. *Energy and Buildings* 150, 318–327. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.081>

Dietzel, S., Rojas-Botero, S., Fischer, C., Kollmann, J., 2022. Aufwertung urbaner Straßenränder als Anpassung an den Klimawandel und zur Förderung bestäubender Insekten. *ANLiegen Natur* 44, 31-42.

DWD, 2015. Urbane Räume nachhaltig gestalten.

FLL, 2018. Dachbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltungen von Dachbegrünungen.

GEO-NET Umweltconsulting GmbH, 2010. Untersuchungen zum Klimawandel in Berlin.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023. *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1st ed. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

Jahanfar, A., Drake, J., Gharabaghi, B., Sleep, B., 2020. An experimental and modeling study of evapotranspiration from integrated green roof photovoltaic systems. *Ecological Engineering* 152, 105767. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105767>

Kuttler, W., 2011. Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen. *Environmental Sciences Europe* 23:21.

Mühlbacher, G., Koßmann, M., Sedlmeier, K., Winderlich, K., 2020. Stadtklimatische Untersuchungen der sommerlichen Temperaturverhältnisse und des Tagesgangs des Regionalwindes (“Alpines Pumpen”) in München.

O’Carroll, D.M., Eloisa Sia, M., Staniec, M., Voogt, J.A., Lundholm, J.T., Smart, C.C., Robinson, C.E., 2023. Influence of vegetation type and climatological conditions on evapotranspiration from extensive green roofs. *Journal of Hydrology* 617, 128951. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128951>

Pfoser, N., 2016. *Fassade und Pflanze – Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*. Dissertation TU Darmstadt.

Rosenzweig, C., Graffan, S., Parshall, L., 2006. *Green roofs in the New York metropolitan region: research report*. Columbia University center for climate systems research and NASA Goddard institute for space studies 59.

Skoryi, M., Buchholz, S., Büscher, O., Wolff, F., Mann, G., 2022. Analyse der thermischen Wirkung von Dachbegrünung mittels Stadtklimamodellierung. Endbericht Projekt ADAM (DBU Fördernummer Az 34690/01) Deutschen Bundesstiftung Umwelt.

Thober, S., Marx, A., Boeing, F., 2018. Auswirkungen der globalen Erwärmung auf hydrologische und agrarische Dürren und Hochwasser in Deutschland. *Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)*.

Wang, X., Li, H., Sodoudi, S., 2022. The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort. *Building and Environment* 217, 109082. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109082>

Zluwa, I., 2021. *Photovoltaic Landscapes- Kombinationsmöglichkeiten von Bauwerksbegrünung und Photovoltaik* (Dissertation). Universität für Bodenkultur, Wien.

Zonato, A., Martilli, A., Gutierrez, E., Chen, F., He, C., Barlage, M., Zardi, D., Giovannini, L., 2021. Exploring the Effects of Rooftop Mitigation Strategies on Urban Temperatures and Energy Consumption. *JGR Atmospheres* 126. <https://doi.org/10.1029/2021JD035002>

3. Regenwassermanagement:

- Andenaes et al. (2018): Performance of Blue-Green Roofs on Cold Climates: a Scoping Review. BUILDINGS, Vol. 8, No. 4
- Andenaes et al. (2021): Risk Reduction Framework for Blue-Green Roofs. Buildings 2021, 11, 185. <https://doi.org/10.3390/buildings11050185>
- Baunetz Wissen (2023), <https://www.baunetzwissen.de/flachdach/fachwissen/gruendaecher/draenschichten-bei-dachbegruenungen-156269> zuletzt aufgerufen am 08.02.2023
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, eine Behörde im Geschäftsbereich
- des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen, Mittlerer Jahresniederschlag in Bayern, Periode 1961 – 1990, 1. Auflage, April 1998 https://www.lfu.bayern.de/wasser/hydrometeorologische_parameter/hydrometeorologie_auswertung/niederschlag/index.htm , zuletzt aufgerufen am 24.06.2024
- bdla (2020), Broschüre Überflutungsnachweis, Zu den Leistungen und der Vergütung für einen Nachweis zur Sicherheit gegen Überflutung oder für eine kontrollierte schadhlose Überflutung von Grundstücken nach DIN 1986-100
- Bengtsson et al. (2004): Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden, Nordic Hydrology, Vo. 36 No 3 pp 259-268, IWA Publishing 2005
- Burkhardt, M. et al. (2020), Ratgeber Regenwasser. Ratgeber für Kommunen und Planungsbüros. Donaueschingen: Mall GmbH, S.18f.
- Busker et al. (2022): Blue-green roofs with forecast-based operation to reduce the impact of weather extremes, Journal of Environmental Management 301 (2022) 113750
- Carpenter et al. (2016), Water quantity and quality response of a green roof to storm events: Experimental and monitoring observations, Environmental Pollution, 2018, 664-672. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.056>
- Cirkel et al. (2018): Evaporation from (Blue-) Green Roofs: Assessing the Benefits of a Storage and Capillary Irrigation System Based on Measurements and Modeling, WATER, Vol. 10, No.9, https://www.researchgate.net/publication/327660635_Evaporation_from_Blue-Green_Roofs_Assessing_the_Benefits_of_a_Storage_and_Capillary_Irrigation_System_Based_on_Measurements_and_Modeling/stats
- DWA (2017), Wasserbilanz-Expert – Handbuch, Software zum Arbeitsblatt DWA-A 102 (Entwurf), Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer
- DWA-M 102-4/BWK-M 3-4 (2022), Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 4: Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers
- FLL (2018), Dachbegrünungsrichtlinien, Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünung
- FLL (2014), Gebäude Begrünung Energie, Potenziale und Wechselwirkungen
- Förster et al. (2021): Unprecedented Retention Capabilities of Extensive Green Roofs – New Design Approaches and Open-Source Model. Frontiers in water [Online]. DOI: 10.15488/11768
- Franzaring et al. (2014), Hrsg: LUBW, Untersuchungen zur Kühlwirkung und der Niederschlagsretention der extensiven Dachbegrünungsvegetation
- Goessner et al. (2021): Evapotranspiration Measurements and Assessment of Driving Factors: A Comparison of Different Green Roof Systems during Summer in Germany. LAND, Vol. 10, No.12
- InnoAqua GmbH & Co. KG (2023), <https://www.innoaqua.de/software/storm/>, Softwarelösungen zur Überflutungsmodellierung, Regenwasserbewirtschaftung und für das Wasserinfrastruktur-Management. Zuletzt aufgerufen am 31.08.2023
- Optigrün international AG (2023), <https://www.optigruen.de/>, Gründach-Systeme & Regenwassermanagement, zuletzt aufgerufen am 31.08.2023
- Optigrün international AG (2023), Solargründach, <https://www.optigruen.de/systemloesungen/solargruendach/uebersicht-solargruendach/> zuletzt aufgerufen am 29.12.2022
- Professur für Hydrologie- Albert-Ludwigs Universität Freiburg i.Br. (2023), Max Schmit, NatUrWB, Referenzwert für die naturnahe urbane Wasserbilanz (NatUrWB) für einzelne Gebiet in Deutschland, <https://www.naturwb.de/>, zuletzt aufgerufen am 27.08.2024
- Richter, M. (2022): Retentionsgründächer als multifunktionale blau-grüne Infrastrukturen – Ergebnisse eines Langzeitmonitorings in Hamburg. Conference: Aqua Urbanica 2022, Glattfelden, https://www.researchgate.net/publication/366158219_Retentionsgrundacher_als_multifunktionale_blaugruene_Infrastrukturen_-_Ergebnisse_eines_Langzeit-Monitorings_in_Hamburg
- Schmauck, S. (2014), Hrsg. BfN, Dach- und Fassadenbegrünung – neue Lebensräume im Siedlungsbereich
- Shafique et al. (2016): The potential of green-blue roof to manage storm water in urban areas. Nature Environment and Pollution Technology, Vol. 15, S. 715 – 718.
- Sponge Cities – Wassersensible und klimaangepasste Städte, Webinar Fränkische-Optigrün Februar 2022, Prof. Dr. Heiko Sieker; IPS Hoppegarten
- Statistisches Amt der Landeshauptstadt München (2021), Münchner Statistik, 4. Quartalshft, Jahrgang 2021, Niederschläge in München von 1955 bis 2020
- StMUV Bayern (2020), Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (Hrsg): Wassersensible Siedlungsentwicklung – Empfehlungen für ein zukunftsfähiges und klimaangepasstes Regenwassermanagement in Bayern, www.bayika.de/bayika-wAssets/docs/aktuelles/2021/Leitfaden_Wassersensible_Siedlungsentwicklung.pdf
- Vanuytrecht et al. (2014), Runoff and vegetation stress of green roofs under different climate change scenarios
- Zinco GmbH (2024), Das Dach als Wasserspeicher – Umdenken gewünscht, <https://www.zinco.de/presse/das-dach-als-wasserspeicher-umdenken-gewuenscht>, Zuletzt aufgerufen am 24.06.2024

4. Biologische Vielfalt/Biodiversitätsgründach

Bundesnaturschutzgesetz, §1

Biodiversitätsstrategie München Sitzungsvorlage 14-20 /V 13218

Brenneisen, S., Oertli, S., Käppeli, S. & Schneider, R. im Auftrag für Pro Natura (2014). Förderung gefährdeter Wildbienen auf Flachdächern – Forschungsprojekt im Mandat für Pro Natur.

Dachbegrünungsrichtlinie der FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (2018). Dachbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltungen von Dachbegrünungen. Broschüre.

Greif, S. & B.M. Siemers (2010): Innate recognition of water bodies in echolocating bats. *Nat. Commun.* 1, 107. <https://doi.org/10.1038/ncomms1110>.

Greif, S., Zsebok, S., Schmieder, D. & B.M. Siemers (2017): Acoustic mirrors as sensory traps for bats. – *Science* 357, 1045–1047. <https://doi.org/10.1126/science.aam7817>.

Grimshaw-Surette, H. (2020). The effect of green roof characteristics on pollinator communities. Master's thesis. Halifax, Nova Scotia.

Joshi, M. Y., & Teller, J. (2021). Urban integration of green roofs: Current challenges and perspectives. *Sustainability*, 13(22), 12378.

Knapp, S., Schmauck, S., & Zehnsdorf, A. (2019). Biodiversity impact of green roofs and constructed wetlands as progressive eco-technologies in urban areas. *Sustainability*, 11(20), 5846.

Kyrö, K., Brenneisen, S., Kotze, D. J., Szallies, A., Gerner, M., & Lehvavirta, S. (2018). Local habitat characteristics have a stronger effect than the surrounding urban landscape on beetle communities on green roofs. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 122-130.

LWG 2005

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (2005). Dächer – grün und lebendig. Veitshöchheim.

Mann, G. 1996. Faunistische Untersuchungen von drei Dachbegrünungen in Linz. *ÖKO.L* 18/3, 3-14.

Mann, G. (1998). Vorkommen und Bedeutung von Bodentieren (Makrofauna) auf begrünten Dächern in Abhängigkeit von der Vegetationsform. Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaft an der Fakultät für Biologie der Eberhard-Karls-Universität Tübingen.

McKinney, M. L., Gladstone, N. S., Lentz, J. G., & Jackson, F. A. (2019). Land snail dispersal, abundance and diversity on green roofs. *PLoS One*, 14(11), e0221135.

Passaseo, A., Rochefort, S., Pétremand, G., & Castella, E. (2021). Pollinators on Green Roofs: Diversity and Trait Analysis of Wild Bees (Hymenoptera: Anthophila) and Hoverflies (Diptera: Syrphidae) in an Urban Area (Geneva, Switzerland). *Cities and the environment*, 14(2), 1.

Pétremand, G., Chittaro, Y., Braaker, S., Brenneisen, S., Gerner, M., Obrist, M. K., ... & Moretti, M. (2018). Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) communities on green roofs in Switzerland: synthesis and perspectives. *Urban ecosystems*, 21(1), 119-132.

Schmauck, S. (2019). Dach- und Fassadenbegrünung – neue Lebensräume im Siedlungsbereich: Fakten, Argumente und Empfehlungen. Deutschland/Bundesamt für Naturschutz.

Szabadi, K. L., Kurali, A., Rahman, N. A. A., Froidevaux, J. S.P., Tinsley, E., Jones, G., Görföl, Estok, P. & S. Zsebok (2023): The use of solar farms by bats in mosaic landscapes: Implications for conservation. – *Global Ecology and Conservation* 44: 1-12.

Vandegrift, D. A., Rowe, D. B., Cregg, B. M., & Liang, D. (2019). Effect of substrate depth on plant community development on a Michigan green roof. *Ecological Engineering*, 138, 264-273.

Westrich, P. (2022). Faszination Wildbienen – Verbesserung der Nistmöglichkeiten. URL: https://www.wildbienen.info/artenschutz/nisthilfen_06.php (abgerufen am 19.08.2024)

Impressum

Herausgeberin:

Landeshauptstadt München
Referat für Klima- und Umweltschutz
Bayerstr. 28a, 80335 München
muenchen.de/rku

Bildnachweis:

Titelmotiv iStock, franswillemblok
Seite 5: iStock, tsirika
Seite 10: Optigruen international AG
Seite 23: Bundesverband GebäudeGrün e.V.
Seite 27: ZinCo AG Kirchberg
Seite 33: ZinCo AG Kirchberg

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier, das mit dem Blauen Engel ausgezeichnet ist.
Stand: September 2024