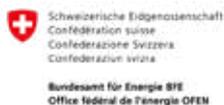


GreenPV

Lösungsansätze zur optimalen Fassadengestaltung
mit Photovoltaik und Begrünung im Hinblick auf den Klimawandel



Mit Unterstützung von



ZUSAMMENFASSUNG PROJEKT "GREENPV"

Der Anstieg der Jahresmitteltemperatur in der Schweiz bei ungebremst steigenden Treibhausmissionen beträgt laut NCCS 3.3–5.4 °C bis zum Ende des 21. Jahrhunderts¹. Diese Entwicklung wird grosse Auswirkungen auf die Hitzebelastung in urbanen Räumen haben. Für die Minderung des städtischen Wärmeinseleffekts sind Begrünungen von grosser Relevanz, da sie zur Abkühlung der Aussenluft beitragen. Die Hitzebelastung beeinflusst auch die Behaglichkeit in Innenräumen und erhöht damit den Energiebedarf für die aktive Kühlung. Dieser zusätzliche Energiebedarf wird vorwiegend dann anfallen, wenn die Solarstrahlung am intensivsten ist. Die zeitliche Koinzidenz spricht deshalb dafür, dass der Energiebedarf für die Kühlung durch die Stromerzeugung mit PV-Anlagen gedeckt wird. Die Energiestrategie 2050 sieht dazu PV-Fassaden als Massnahme zur Erhöhung der Stromproduktion im Winter vor². Der Druck, auch Fassaden mit PV-Elementen zu belegen, wird dadurch immer grösser. Gleichzeitig werden durch das knappe Platzangebot in städtischen Gebieten Fassaden als Flächen für Begrünungen immer relevanter.

Während das Potenzial von Dachflächen bereits vermehrt genutzt wird, werden Begrünungen und Photovoltaik an Fassaden nur selten eingesetzt. Das Projekt GreenPV untersucht deshalb die Hemmnisse und die Akzeptanz von Begrünungen und PV-Anlagen an Fassaden. Zudem wird der Einfluss von verschiedenen Fassadensystemen auf das Mikroklima sowie die Energiebilanz im Gebäude betrachtet. Dieser Einfluss wird dem Potential der Energieerzeugung gegenübergestellt und es werden Synergien aufgezeigt. Es wird analysiert, was die entscheidenden Faktoren für eine gesamtheitliche Optimierung der Gebäudefassade im Hinblick auf den Klimawandel sind, wie eine Fassade mit PV und Begrünungen für Mensch, Energie und Umwelt optimal gestaltet werden kann und wie die Anwendung einer solchen Fassade im Gebäudepark gefördert werden kann.

Die Studie zeigt, dass Fassadenbegrünungen die Oberflächentemperaturen an der Fassade und die Physiological Equivalent Temperature (PET) in der Umgebung deutlich senken. Neben der Kühlung können Fassadenbegrünungen die Biodiversität fördern, die Luftqualität durch die Bindung von Schadstoffen und die Sauerstoffproduktion

verbessern, die Schallausbreitung im Strassenraum mindern und zur Regenwasserretention beitragen. Ebenso verbessern Gebäudebegrünungen die Aufenthaltsqualität und tragen zur Attraktivität der Aussenräume bei. Auch PV-Fassaden bieten viele Vorteile, so erzeugen sie Elektrizität und weisen bei einer sinnvollen Anordnung sowohl eine positive Ökobilanz als auch positive Lebenszykluskosten auf. Zwar heizen sich PV-Module an der Oberfläche stärker auf als die Referenzfassade, die Simulationen mit der Quartierklimamodellierung (QKM)³ zeigen aber, dass aufgrund der kleinen solaren Rückstrahlung durch die tiefen Albedo-Werte sowie durch die Umwandlung eines Teils der Einstrahlung in elektrische Energie kein negativer Einfluss auf die PET in der Umgebung identifizierbar ist.

Die Betrachtung der Stromproduktion im Tagesverlauf verdeutlicht, dass es sinnvoll ist, PV-Module an Süd-, Ost- und Westfassaden an nicht beschatteten Flächen zu platzieren, um so die Stromproduktion über den gesamten Tag sicherzustellen und den Eigenverbrauch zu erhöhen. Im Winter kann zudem mit einer südorientierten PV-Fassade mehr Strom produziert werden als mit einer PV-Dachanlage, was die Wichtigkeit von PV-Fassaden dieser Ausrichtung unterstreicht. Hinsichtlich der Ökobilanz (LCA) und der Lebenszykluskosten (LCC) ist eine Anordnung der PV-Module an Flächen mit einem hohen Stromerzeugungspotential essenziell. Bei einer schlechten Anordnung mit einer zu tiefen Stromproduktion können weder die Umweltauswirkungen noch die Kosten kompensiert werden. Je höher die Stromproduktion, desto eher und desto schneller kann die graue Energie der Erstellung amortisiert werden und desto grösser ist der ökonomische Vorteil über den gesamten Lebenszyklus. Mit Blick auf die Lebenszykluskosten ist eine PV-Dachanlage zwar wirtschaftlicher als eine PV-Fassade mit opaken Modulen, jedoch können beide Systeme ökonomisch rentabel sein.

Die Analyse zeigt, dass sich die beiden Systeme gut kombinieren lassen. Das grösste Stromerzeugungspotential haben PV-Fassaden ohne Verschattung, was zumindest in Städten eher in den höheren Geschossen der Fall ist. Begrünungen leisten nahe am Menschen den grössten Mehrwert, wodurch eine Platzierung in den unteren, in

Städten oft beschatteten, Geschossen Sinn macht. Verglichen mit horizontalen Grünflächen und Bäumen verfügbaren Fassadenbegrünungen zwar über eine kleinere Kühlleistung, können jedoch an Orten mit knappen Platzverhältnissen angewendet werden, wo kein Platz für andere

Begrünungen ist. Generell ist es wichtig, dass Grünräume und PV-Anlagen arealübergreifend geplant und die jeweiligen Systeme bewusst eingesetzt werden, um von deren Vorteilen zu profitieren.

Take-Home Messages

- PV-Fassaden zahlen sich bei einer sinnvollen Anordnung der Module sowohl ökonomisch als auch ökologisch (hinsichtlich der THGE) aus. Obwohl die jährliche Stromproduktion einer unverschatteten, nach Süden ausgerichteten Fassadenanlage um 20 % geringer ist als die einer Dachanlage (Winkel 5° nach Süd orientiert), erzeugt sie im Winter 43 % mehr Strom.
- Fassadenbegrünungen rentieren sich ökonomisch für private Investoren/innen nicht, jedoch profitiert die Allgemeinheit aufgrund der vielfältigen qualitativen Vorteile (Hitzeminderung, Steigerung der Biodiversität, Verbesserung der Luftqualität, Reduktion von Lärmbelastungen, Regenwasserretention, höhere Attraktivität des öffentlichen Raums). Mit Blick auf das Gebäude verschlechtert sich die Ökobilanz nur geringfügig.
- Verglichen mit horizontalen Grünflächen und Bäumen verfügen Fassadenbegrünungen über eine kleinere Kühlleistung, sie können jedoch an Orten mit knappen Platzverhältnissen angewandt werden, wo kein Platz für andere Begrünungen vorhanden ist. Den grössten Kühleffekt erreichen Begrünungen an besonnten und windarmen, vom städtischen Wärmeinseleffekt betroffenen Standorten.
- PV-Fassaden heizen sich in den Sommermonaten zwar stärker auf (höhere Oberflächentemperaturen), auf die PET in der Umgebung haben sie jedoch keinen negativen Einfluss und können diese sogar positiv beeinflussen.
- Durch die gezielte Kombination von Begrünungen und PV an der Fassade lassen sich mit einem geringfügigen Mehraufwand an Lebenszykluskosten (ca. 9 % im Vergleich zur Referenzfassade) die Ökobilanz bedeutend verbessern (Reduktion der TGHE um mehr als ein Viertel), der städtische Wärmeinseleffekt reduzieren und die Aufenthaltsqualität trotz der zunehmenden städtischen Verdichtung erhalten.

¹ NCCS (2022). Schweizer Klimaszenarien CH2018. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien/zahlen-und-fakten/temperatur.html>

² BFE (2020). Wintersturm für die Schweiz. Link: https://www.bundespublikationen.admin.ch/cshop_mimes_bbl/14/1402EC7524F81EEA9B9D6AD5F6F3E465.pdf

³ Bei QKM handelt es sich um eine schnellrechnende und interaktive Simulationssoftware, welche an der Hochschule Luzern (HSLU) entwickelt wurde.

●	EINFÜHRUNG	
	EMPFEHLUNGEN ZUR SYSTEMWAHL	6
	FOKUSTHEMEN	10
●	BEGRÜNUNGEN	
	VORTEILE	14
	HEMMNISSE UND SYSTEMVERGLEICH	16
	FOKUSTHEMEN	18
	FALLBEISPIEL	26
●	PHOTOVOLTAIK	
	VORTEILE	30
	HEMMNISSE UND SYSTEMVERGLEICH	32
	FOKUSTHEMEN	34
	FALLBEISPIEL	38
●	VERTIEFUNG BEGRÜNUNG UND PV	
	EINFLUSS DER SYSTEME	42
	ÜBERSICHTSTABELLE	43
	QUALITATIVER ASPEKTE IM DETAIL	46
	QUANTITATIVE ASPEKTE IM DETAIL	56
	KOMBINATION BEGRÜNUNG UND PV	76
	POSITIVE FAKTOREN AUF DIE WIRKUNG	80
	GESTALTUNG	82
●	ZUSAMMENFASSUNG PROJEKT GREENPV	83
●	CHECKLISTE FÜR DIE PLANUNG	88
	KONTAKTSTELLEN	92

EMPFEHLUNGEN ZUR SYSTEMWAHL

Für die **Gestaltung einer Fassade mit Begrünungen und PV** konnten im Rahmen der Studie **Empfehlungen** erarbeitet werden, welche in diesem Teil der Broschüre zusammengefasst sind. Es werden **Hinweise** gegeben, was bei der **Planung** zu beachten ist und wie die **Systeme gezielt an der Fassade** eingesetzt werden können, um den grössten Mehrwert (ökonomisch, ökologisch und sozial) zu erreichen.

VORTEILE, HEMMNISSE UND SYSTEMVERGLEICH

Ein **allgemeiner Überblick zu begrüneten und PV-Systemen** wird geschaffen und grundlegende Informationen vermittelt. Die **Vorteile von Begrünungen und PV-Anlagen** werden aufgezeigt und die unterschiedlichen **Systeme (Dach, Fassade, Aussenraum)** miteinander verglichen. Ebenso werden mögliche **Herausforderungen** genannt und gegenübergestellt.

FOKUSTHEMEN

Fehlende Erfahrungen und Unsicherheiten im Umgang mit den Systemen sind eines der Hemmnisse, warum Begrünungen und PV im Fassadenbereich nicht häufiger umgesetzt werden. Die in diesem Abschnitt aufbereiteten Informationen zu den Themen **Brandschutz, Pflege- und Instandhaltung** sowie zur **Gestaltung** sollen die Akteure dabei unterstützen, Lösungen für mögliche Herausforderungen zu finden und eine hohe Effizienz der Systeme sicherzustellen.

FALLBEISPIELE

Anhand von **guten Fallbeispielen aus der Praxis** wird aufgezeigt, wie Fassadenbegrünungen und PV-Fassaden realisiert werden können, wie mit den Fokusthemen umgegangen wurde und welche Erkenntnisse gewonnen werden konnten. Ausgewählt wurde der Hauptsitz der Firma Sky Frame in Frauenfeld (Fassadenbegrünung) sowie die Sanierung eines Hochhauses in der Holenackerstrasse in Bern (PV-Fassade).

VERTIEFUNG BEGRÜNUNG UND PV

Der Einfluss der Fassadensysteme auf die verschiedenen qualitativen und quantitativen Aspekte wird in diesem Abschnitt beschrieben. Eine **Übersichtstabelle** fasst die wichtigsten Erkenntnisse der Analyse zusammen und stellt den Einfluss von begrüneten und PV-Fassaden für jeden Aspekt gegenüber. Dadurch ist schnell erkennbar, welches Fassadensystem in Abhängigkeit von der Orientierung und Geschossigkeit das grösste Potential für Mensch, Umwelt und Energie leistet. Die **Grundlagen, Annahmen und Berechnungen**, auf welchen die Bewertungen basieren, werden anschliessend je Aspekt erläutert und grafisch aufbereitet. Die wichtigsten Informationen sind bewusst knapp gehalten, detaillierte Hintergrundinformationen sind im technischen Bericht der Studie zu finden.

CHECKLISTE FÜR DIE PLANUNG

Die Checkliste greift alle zuvor behandelten Themenfelder nochmals auf und gibt Empfehlungen, was bei der Planung von Fassadenbegrünungen und PV-Fassade in den einzelnen Phasen gemäss SIA 112:2014 zu beachten ist.

ZUSAMMENFASSUNG PROJEKT GreenPV

In der Zusammenfassung werden alle Kapitel nochmals in einem kurzen Abschnitt zusammengefasst.

Lesehinweis Broschüre

Die verschiedenen Themenbereiche der Broschüre sind farblich gekennzeichnet, um die Orientierung in der Broschüre zu erleichtern und das schnelle Auffinden der relevanten Informationen zu ermöglichen.

Oben rechts auf jeder (Doppel-)Seite ist gekennzeichnet, ob sich die Inhalte auf Begrünungen, PV oder beide Systeme beziehen.

EMPFEHLUNGEN ZUR SYSTEMWAHL



STANDORT ALS ZENTRALER FAKTOR

Der Standort ist in der Regel eine **nicht direkt beeinflussbare** Komponente. Standortsspezifische Faktoren wie die Umgebung, der architektonische und freiräumliche Kontext und die Denkmalpflege sollen berücksichtigt und die Fassadengestaltung darauf abgestimmt werden.

Auch ist bei der **Standortanalyse** das **Potential der Fassadenflächen** zu evaluieren. Dabei sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen wie Exposition, Verschattungen, Lärmsituation, Klima und vorhandene Grünflächen. Bei Neubauprojekten kann eine **objektspezifische und optimale Fassadengestaltung** erreicht werden, bei Sanierungen ist auf das vorhandene Flächenpotential zu fokussieren.



FACHLEUTE FRÜHZEITIG EINBEZIEHEN

Fachleute für Fassadenbegrünungen sowie PV-Fassaden sind bereits in den **frühen Planungsphasen** zu konsultieren und bei der **Entscheidungsfindung** einzu beziehen. So können **wichtige Hinweise** zu Effizienz, Statik, Brandschutz, Unterhalt- und Pflege, Platzbedarf und Zugänglichkeit wie auch Denkmalschutz eingeholt und die **Realisierbarkeit** der Systeme abklärt werden. Auch können Personen mit Expertise bei der **Wahl des geeigneten Fassadensystems** unter Berücksichtigung der zuvor definierten Projektziele unterstützen sowie typische «Stolpersteine» aufzeigen.

Der frühe Einbezug von Fachpersonen ist zudem auch für die **Kostenplanung** sowie die **Wirtschaftlichkeit** ein wesentlicher Faktor (bspw. Standardgrößen bei PV-Modulen verwenden, da dies den Preis stark beeinflusst oder die richtige Pflanzenwahl bei Fassadenbegrünungen). Des Weiteren sind mögliche Schnittstellen zu anderen Gewerken von Beginn an zu berücksichtigen und zu koordinieren, bspw. müssen Sanitärinstallationen genügend Wasser für Begrünung bereitstellen können.



PROJEKTZIELE KLAR DEFINIEREN

Zu Beginn eines Projekts sollen **gemeinsam mit den Bauverantwortlichen** die **Ziele klar definiert** werden. Dabei sollten Bauherrschaften zunächst die Vorteile der verschiedenen Fassadensysteme aufgezeigt werden (**Sensibilisierung**). Die Mehrwerte von Begrünung und PV mit Blick auf **Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt** sind zu diskutieren und ein gemeinsamer **Entscheid über die Systemwahl** zu treffen.

Dabei sind ebenso Abwägungen zum Einsatz von Begrünungen und PV auf dem **Dach** sowie in der **Umgebung** unabdingbar (was macht an der Fassade / auf dem Dach / in der Umgebung Sinn?). Auch hier gilt es, Vor- und Nachteile zu betrachten und ein **nachhaltiges Gesamtkonzept** zu definieren (ökologisch, ökonomisch und sozial).



GESCHOSS- UND FASSADENSPEZIFISCHE PLANUNG

Jeder **Kontext** stellt andere Anforderungen. Für den Einsatz von **PV-Modulen** ist die **Umgebung** (u.a. Nachbargebäude, Berge, Bäume) entscheidend, da diese zur **Verschattung der Module** führt und somit die Effizienz negativ beeinflussen kann. PV-Module sollten deshalb primär an **Fassadenflächen ohne Verschattung** eingesetzt werden. Aber auch für **Fassadenbegrünungen**, wo die Verschattung kaum eine Rolle spielt, ist eine **geschoss- und fassadenweise Planung** unabdingbar, um den höchsten Mehrwert zu erzielen:

- **Reduzierung von Lärm:** Nähe zur Lärmquelle entscheidend, vor allem in städtischen Gebieten relevant (Verkehrslärm, Baulärm etc.).
- **Verbesserung der Luftqualität:** Nähe zur Emissionsquelle entscheidend, höchstes Potential in den unteren Geschossen (\leq Höhe von 4.5 m).
- **Hitzeminderung:** Der kühlende Effekt (Verdunstungskühlung) von Begrünungen kann durch ein hohes Grünvolumen und eine grosse Substratdicke verstärkt werden.
- **Regenwasserretention:** Berücksichtigung der Wetterseite, höchstes Potential in der Schweiz i.d.R. im Westen.
- **Förderung der Biodiversität:** Grünflächen sind vor allem in städtischen Gebieten oft partiell angeordnet, Fassadenbegrünungen können als Verbindungselement („Grüngürtel, Grünkorridor“) dienen, höchstes Potential diesbezüglich i.d.R. in den unteren Geschossen.
- **Steigerung der Aufenthaltsqualität:** höchstes Potential in städtischen Gebieten, wo zunehmend verdichtet wird und nur wenig Grünräume vorhanden sind. Grösster Mehrwert in den unteren Geschossen, da die Nähe zum Menschen gegeben ist.



LOW-TECH UND HIGH-TECH

Bei der Fassadenplanung können sowohl Low-Tech- als auch High-Tech-Konzepte berücksichtigt und zielführend sein.

Low-Tech-Lösungen zeichnen sich i.d.R. durch eine höhere Anpassungsfähigkeit und Langlebigkeit sowie durch niedrigere Fehleranfälligkeit aus. Sie sind im **Unterhalt** bzw. im **Betrieb** weniger anspruchsvoll. Zudem sind sie i.d.R. **weniger materialintensiv** und führen so gesamtlich zu einer besseren System-Ökobilanz. Tendenziell führen **Low-Tech-Ansätze zu ökonomischen und ökologischen Vorteilen**. Aufgrund all dieser Vorteile ist in erster Linie der Einsatz von Low-Tech-Lösungen zu bevorzugen. Bei Begrünungen entspricht die bodengebundene Fassadenbegrünung normalerweise einer Low-Tech-Lösung.

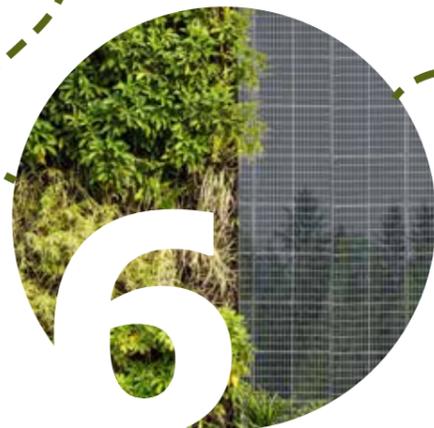
Die Kombination mit **High-Tech-Komponenten** im Bereich der Automatisierung und beim Energiemanagement (Speicherung, Lastmanagement...) kann aber zu einer bedeutenden **Optimierung des Gesamtsystems** führen. Bei der Planung ist abzuwägen, welche Systeme wo sinnvoll sind.



KOMBINATION DER SYSTEME

Werden Begrünungen und PV kombiniert, können **Synergien** entstehen und **Vorteile** genutzt werden. So kann bspw. der kühlende Effekt von Begrünungen (**Verdunstungskühlung**) dazu genutzt werden, die Effizienz der PV-Module zu steigern.

Des Weiteren bietet die Kombination der Systeme viele gestalterische Vorteile und kann die Ästhetik des Gebäudes sowie des Aussenraums positiv beeinflussen.



PV-MODULE SINNVOLL EINSETZEN

Aus **ökologischen und ökonomischen Gründen** sollten PV-Module sinnvoll eingesetzt werden. Dadurch können der **Erstellungsaufwand** (Graue Energien und graue Treibhausgasemissionen) und die **anfänglichen Investitionskosten** schnell amortisiert werden. Entscheidende Aspekte sind dabei insbesondere die **Orientierung** (Süd-, Ost- und Westfassade) sowie die Verschattung von Fassadenflächen. Des Weiteren können die **Nutzungszeiten des Gebäudes** sowie **zukünftige Entwicklungen** (bspw. künftig höherer Verbrauch durch Elektromobilität, Wärmepumpe etc.) bei der Planung einer PV-Fassade berücksichtigt werden.

Ebenso sind folgende **Aspekte** bei der Planung einzubeziehen:

- **Ästhetische Aspekte**
- **Kosten-Nutzen-Verhältnis**
- **Ausrichtung und Dimensionierung der Anlage** anhand der Projektziele (Winterstrom, Gesamtbilanz, Eigenverbrauchsoptimierung, etc.)



BEGRÜNUNGEN: POTENTIAL STEIGERN

Bei der Planung von Fassadenbegrünungen kann vor allem die **Wahl der Pflanzen und Substrate** einen wichtigen Beitrag leisten, um die **positive Wirkung** mit Blick auf verschiedene Aspekte sowie die **Langlebigkeit der Systeme** zu erhöhen.

Dabei sollte folgendes beachtet werden:

- Künftige klimatische Bedingungen am Standort berücksichtigen (Hitzebeständigkeit, Wetterextreme etc.)
- Verschiedene, klimaangepasste und wenn möglich einheimische Pflanzenarten fördern die Artenvielfalt (Biodiversität)
- Ein hohes Grünvolumen sowie eine hohe Pflanzendichte anstreben. Dies fördert die Aufnahme von Luftschadstoffen, die Verdunstungskühlung sowie die Lärmabsorption
- Ein hohes Substratvolumen fördert die Regenwasserretention (Infiltration), wodurch bei Starkregenereignissen das Kanalnetz entlastet wird
- Begrünungen in Strassennähe / an den unteren Geschossen verbessern das Mikroklima und steigern das Wohlbefinden sowie die Gesundheit des Menschen
- Die Pflanzen- und Systemwahl birgt ebenso ein hohes gestalterisches Potential, da sich Begrünungen mit der Zeit und auch saisonal verändern können

Ein Austausch mit Fachleuten wird empfohlen.

FOKUSTHEMEN GESTALTUNG

GESTALTUNGSMÖGLICHKEITEN

Mit Begrünungen und PV können Aussenräume gestaltet werden. Die Wirkung kann auf ganz unterschiedlichen Ebenen wahrgenommen werden: Stadtraum, Gebäude und Element.⁴

Stadtraum
Raumbildung, Lenkung, Wirkung im Aussenraum

Gebäude
Massstab, Proportion, Rhythmus, Modularität, Kubatur, Ebenen, Kontrast

Element

PV-Modul: Muster, Farbe, Transparenz

Pflanze: Struktur/Textur, Wuchsverhalten, Belaubungs-/Blüh- und Fruchtphase, Laub-/Blüten-/Fruchtfarbe

Stadtraum

PV- und begrünte Elemente können in städtischen Gebieten zur Raumbildung verwendet werden, diesen teilen, zonieren oder auch ergänzen. Räume können gelenkt werden, als Wegführung, Zentrierung der Aufmerksamkeit oder Blickpunkt dienen. Die Wirkung im Stadtraum kann vielfältig sein, z.B. kann eine begrünte oder PV-Fassade als Alleinstellungsmerkmal dienen oder in einem Ensemble die Wirkung des gesamten Raumes beeinflussen.



Abb. 1: MFO Park Zürich, der Kletterpflanzenpark dient als raumbildendes Element mit Bauwerkscharakter im öffentlichen Raum (© Jakob AG)

Gestaltungsebene: Stadtraum

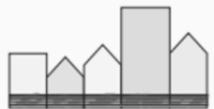
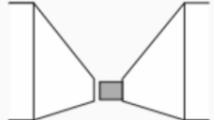
Ensemble-Bildung, plastische Gestaltung	Schichtung, Tiefe	Gliederung, Verkürzung der Längswirkung	Blicklenkung, Begrenzung, Verkürzung der Tiefe
			

Abb. 2: Gestaltungsmöglichkeiten und Wirkung von Begrünungen und PV-Modulen auf Ebene Stadtraum (© N. Pfoser)

Gebäude

Am Gebäude kann durch den Einsatz von PV- und begrünten Elementen die Gestalt in vielfältiger Weise beeinflusst werden. Massstab, Proportion, Rhythmus und Modularität sind zu verändernde Parameter, welche die Gestaltung des Gebäudevolumens mitbestimmen.

Durch einen gezielten Einsatz der Elemente an Fassaden kann gewissen Flächen Ausdruck verliehen werden und bspw. öffentliche und privaten Räume von einander getrennt werden. Kontraste werden zwischen dem Gebäude und den eingesetzten Elementen geschaffen.

Gestaltungsebene: Gebäude

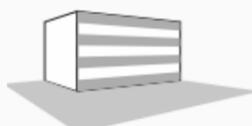
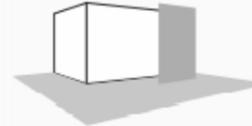
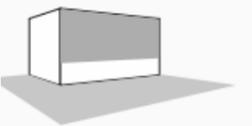
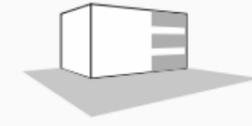
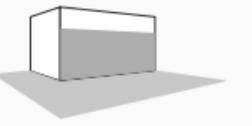
Richtungslos, statisch	Horizontale Gliederung, Längung	Sichtschutz, Sonnenschutz	Öffnung der Basis, Eingangssituation
			
Zurücknehmen der Basis, Stärkung oberer Abschluss	Vertikale Gliederung, Überhöhung	Privatheit (Balkone, Loggien)	EG-Abschottung, Stärkung der Basis
			

Abb. 3: Gestaltungsmöglichkeiten und Wirkung von begrünten und PV-Elemente auf Ebene Gebäude (© N. Pfoser, verändert)



Abb. 4: Mehrfamilienhaus in Altstetten, PV-Module an den Balkonen bieten Privatsphäre und schaffen gleichzeitig eine horizontale Gliederung der Fassade (© Kämpfen Zinke + Partner AG)



Abb. 5: Sanierung Bürogebäude Die Mobiliar in Bern, PV-Module vor den Fenstern als Sicht- und Sonnenschutz, gleichzeitig strukturieren die vertikalen Elemente die Fassade (© Kaspar Martig)

PFLEGE

ALLGEMEINE INFORMATION

Integrativer Planungsprozess

Egal ob bei PV- oder begrünten Fassaden, Fachpersonal sollten bereits in den frühen Planungsphasen hinzugezogen werden. In interdisziplinärer Zusammenarbeit können Potentiale und Herausforderungen gemeinsam evaluiert und objektspezifische Konzepte ausgearbeitet werden. Spätere Unterhaltsarbeiten und Betriebskosten können so gesenkt werden.

Zugänglichkeit

Die Zugänglichkeit zu allen wartungsbedürftigen Teilen des Fassadensystems ist von Beginn weg einzuplanen. Dies gilt auch für die Platzreserve der möglicherweise benötigten Hubeinrichtung und dessen Zufahrt.

Langlebige und effiziente Systeme

Eine regelmässige Pflege- und Instandhaltung von PV- und begrünten Fassaden ist nicht nur essentiell für die Lebensdauer und die Effizienz der Systeme, sondern auch aus optischer und brandschutztechnischer Sicht. Entsprechende Unterhaltsarbeiten sind durch Pflege- und Wartungsverträge frühzeitig zu definieren und detailliert auszuschreiben.

Dokumentation

Gemäss Pflege- und Wartungsvertrag sind entsprechende Arbeiten während der Betriebsphase regelmässig durchzuführen. Art und Zeitpunkt der Arbeiten sind sorgfältig und langfristig nachvollziehbar zu dokumentieren.



Abb. 6: Pflege- und Instandhaltungsarbeiten bei begrünten (oben, © Helix Pflanzensysteme GmbH) und PV-Fassaden (unten, © Hägni AG)

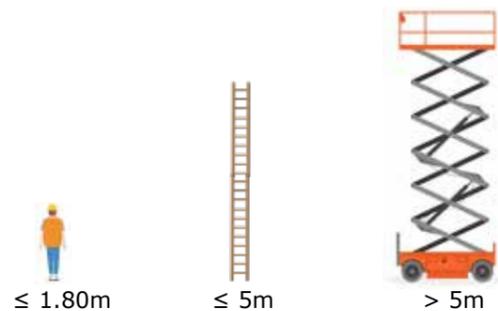


Abb. 7: Notwendige Einrichtungen für Pflege- und Wartungsarbeiten. Zugänglichkeit und Platzbedarf ist bereits bei der Planung zu berücksichtigen

BRANDSCHUTZ

VORSCHRIFTEN UND REGELWERKE

Die Brandschutzvorschriften der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (**VKF**) bilden die gesetzliche Grundlage für die Ausführung des Brandschutzes in Gebäuden und sind rechtlich verbindlich. Für die Umsetzung der Brandschutzvorschriften gibt die VKF verschiedene **Merkblätter** heraus, auch für Gebäudebegrünungen und für Solaranlagen existiert je ein solches. Die Merkblätter können auf www.bsvonline.ch heruntergeladen werden.



Abb. 8: Hunzikerplatz in Zürich, die Fassadenbegrünung wird in regelmässigen Abschnitten unterbrochen, sodass eine Brandausbreitung über die gesamte Fassade verhindert wird (© Roger Frei)

Brandschutzanforderungen nehmen mit zunehmender **Gebäudehöhe** zu. Abbildung 9 gibt einen Überblick, wie Gebäude gemäss VKF eingeteilt und welche Anforderungen an die Gebäudefassade gestellt werden.

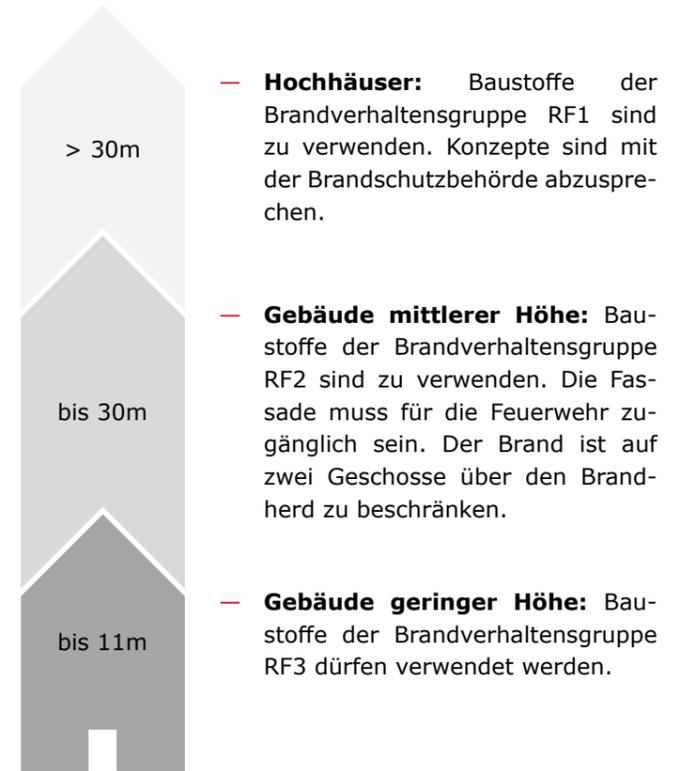


Abb. 9: An den Brandschutz werden je nach Gebäudehöhe verschiedene Anforderungen gestellt. Gemäss VKF wird unterschieden zwischen Gebäuden geringer Höhe (bis 11 m), mittlerer Höhe (bis 30 m) und Hochhaus (über 30 m)

Brandschutzmassnahmen

- **Bauliche Massnahmen:** Dazu gehören u.a. Schutzabstände zwischen den Gebäuden, Abschottungen, Materialvorgaben, Notausgänge oder Fluchtwege.
- **Organisatorische Massnahmen:** Dazu gehören u.a. Kontrollen und Qualitätssicherung von Massnahmen und Einrichtungen (Unterhalt von baulichen und technischen Einrichtungen) oder auch Evakuierungskonzepte.
- **Technische Massnahmen:** Dazu gehören u.a. Brandmelde- und Feuerlöschanlagen oder Sicherheitsbeleuchtungen (Systeme, welche im Brandfall zur Begrenzung beitragen).
- **Abwehrende Massnahmen:** Dazu gehören u.a. aktive und passive Massnahmen der Feuerwehr (d.h. Löscharbeiten, Evakuierungen etc.)

VORTEILE BEGRÜNUNGEN

LÄRMREDUKTION

Begrünungen weisen aufgrund ihrer strukturierten Oberfläche einen **hohen Schallabsorptionsgrad** auf. Dadurch wird nur ein gewisser Teil des eintreffenden Schalls in die Umgebung reflektiert und die **Lärmbelastung** kann **reduziert** werden. Insbesondere in städtischen Gebieten kann hier ein Mehrwert geleistet werden.



Abb. 10: Grüner Stadtraum (© AdobeStock)

FÖRDERUNG DER BIODIVÄRSITÄT

Durch Begrünungen werden **neue Lebensräume** geschaffen und ein positiver Beitrag zur **Artenvielfalt** geleistet. Einen besonderen Mehrwert kann erreicht werden, wenn Grünflächen in Städten **durch Grünelemente verbunden werden** (bspw. Grüngürtel, Grünkorridore) oder als Trittsteinbiotope dienen.



Abb. 11: Bosco Verticale (© Claudia Luperto / Strut Architekten)

REGENWASSERMANAGEMENT

Begrünungen können über die Substratschicht anfallendes **Regenwasser aufnehmen** (Infiltration). Dieses wird anschliessend nach und nach mittels **Verdunstung** wieder an die Atmosphäre abgegeben. Dies hat nicht nur einen **kühlenden Effekt** (Verdunstungskühlung) auf die Umgebung, sondern führt auch zu einer **Retention**, wodurch der Abfluss von Niederschlagsspitzen verzögert und das **Kanalisationsnetz entlastet wird**.



Abb. 12: extensives Gründach (© AdobeStock)

KÜHLUNG DURCH VERDUNSTUNG

Begrünungen haben einen **kühlenden Effekt**, da sie das aufgenommene Wasser mittels Verdunstung wieder an die Umgebung abgeben. Durch diese Aspekte kann nicht nur das **Mikroklima** verbessert, sondern auch ein positiver Beitrag zur **Minderung des städtischen Wärmeinseleffekts** geleistet werden. Ein gutes Umgebungs-klima unterstützt eine **effiziente Nachtauskühlung** der Innenräume.

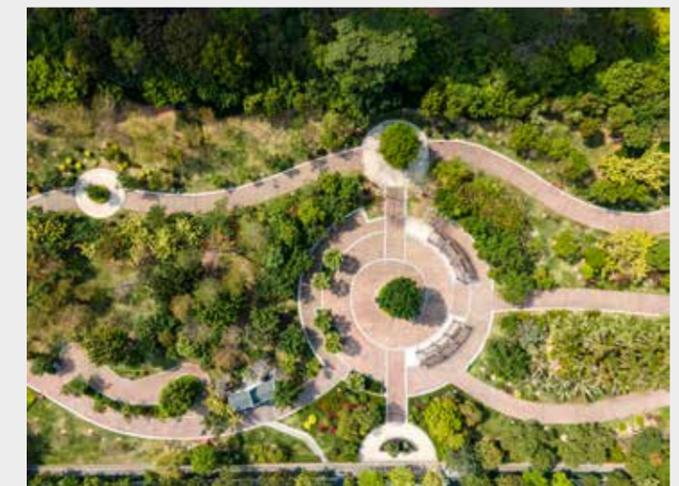


Abb. 13: Stadtpark (© AdobeStock)

VERBESSERUNG DER LUFTQUALITÄT

Begrünungen können einen positiven Beitrag zur **Steigerung der Luftqualität** leisten. Dies insbesondere in städtischen Gebieten, wo es durch verschiedene Emissionsquellen (Baustellen, Verkehr etc.) zu einer höheren Schadstoffbelastung der Luft kommen kann. Begrünungen können nachweislich dazu beitragen Feinstaub, Stickstoffdioxid und Schwefeldioxid zu reduzieren, CO₂ und Ozon zu binden sowie Sauerstoff zu produzieren.

AUFENTHALTSQUALITÄT STEIGERN

Für die **Aufenthaltsqualität** in Städten sind Grünflächen unabdingbar. Die **positiven Wirkungen** können dabei sowohl physisch als auch psychologisch sein. Grünflächen können u.a. **Stress reduzieren**, die **Gesundheit fördern** wie auch die **Produktivität** und **Kreativität steigern**. Ebenso dienen sie als **soziale Treffpunkte**, fördern **sportliche Aktivitäten** und **Bewegung**.

WÄRMESCHUTZ UND ENERGIEBILANZ

Der **sommerliche Wärmeschutz** wird insbesondere in Zeiten des **Klimawandels** immer bedeutender. Begrünungen können als natürlicher Sonnenschutz eingesetzt werden (**Verschattungswirkung der Pflanzen**). **Sommergrüne Pflanzen** verlieren zudem ihre Blätter im Winter, wodurch solare Wärmegewinne in dieser Jahreszeit kaum eingeschränkt werden.

LANGFRISTIGER ÖKONOMISCHER VORTEIL

Begrünungen an Dach, Fassade oder im Aussenraum können nicht nur einen deutlichen **Beitrag zur Nachhaltigkeit** in Zeiten des Klimawandels leisten, sondern auch die **Attraktivität einer Immobilie** deutlich steigern.⁵

Ein grüner Arbeits- und Wohnort zieht das Interesse von Arbeitnehmern und Mieterinnen an. Die Resultate sind eine **gute Vermietbarkeit** und **langfristige Mietverhältnisse**. Dies führt langfristig zu ökonomischen Vorteilen.

HEMMNISSE

SYSTEMVERGLEICH

REGELMÄSSIGE PFLEGE

Begrünungen erfordern eine regelmässige Pflege, um das **Erscheinungsbild und die Sicherheit** zu gewährleisten. Bei Fassadenbegrünungen ist bspw. ein Überwachsen von Brandschutzabschnitten zu vermeiden, um im Brandfall eine Ausbreitung der Flammen zu vermeiden. Bei Stadtbäumen muss u.a. sichergestellt werden, dass keine Äste auf Personen herabfallen.



Abb. 14: Begrünungen benötigen eine regelmässige Pflege (links, © AdobeStock) (rechts, © newhome, Jürg Zulliger)

DIE WUCHSZEIT BEEINFLUSST DAS POTENTIAL VON BEGRÜNUNGEN

Pflanzen benötigen Zeit um sich zu entwickeln. Dadurch können Begrünungen ihr hohes Potential erst nach einer gewissen Zeit vollumfänglich ausschöpfen. Je nach System und Pflanzenart kann dies **mehrere Jahre bis Jahrzehnte** dauern. Bestehende Grünelemente, wie Bäume oder Grünflächen, sollten deshalb bei Bauprojekten soweit wie möglich erhalten bleiben.

Bei den wandgebundene Fassadenbegrünungen sind Systeme vorhanden, welche bereits bewachsen montiert werden und ihr Potential somit sofort entfalten können.

- + durch ein hohes Substratvolumen kann Regenwasser gut aufgenommen werden
- + zusätzliche Dämmwirkung (geringere U-Werte)
- + Schutz vor Witterungseinflüssen und geringere thermische Schwankungen wirken sich positiv auf die Lebensdauer der Dachkonstruktion aus
- + Ausgleich Naturraum: Gebäude beanspruchen Teile der natürlichen Topografie, durch Begrünungen der Dachfläche kann dies wieder zur Verfügung gestellt werden
- + gute Zugänglichkeit für Pflege und Instandhaltung bei Flachdächern
- + eine Kombination von Begrünungen und PV ist auf Dächern gut umsetzbar (Synergien nutzen)

BEGRÜNTE DÄCHER



- höhere Investitionskosten als ein Standarddach (Kosten variieren je nach Dachbegrünung)
- die zusätzliche Auflast kann bei einer Nachrüstung statische Nachweise oder konstruktive Verstärkungen erfordern (graue CO₂-Emissionen)
- intensive Dachbegrünungen können eine zusätzliche Bewässerung erfordern, bei extensiven Dachbegrünungen ist dies i.d.R. nicht notwendig
- Dachbegrünungen sind insbesondere zu Beginn anfällig für invasive Neophyten, ebenso können sich Gehölze ansammeln. Eine regelmässige Pflege kann ungewünschte Besiedlungen und Schäden vermeiden
- bei Durchwurzelung können Schäden an der Dachabdichtung auftreten, aufwendige Reparaturarbeiten können anfallen. Regelmässige Kontrollen können dies verhindern

- + geringer Platzbedarf
- + bei wandgebundenen Begrünungen wird kein Bodenanschluss benötigt
- + zusätzliche Dämmwirkung (geringere U-Werte)
- + Schutz vor Witterungseinflüssen und geringere thermische Schwankungen wirken sich positiv auf die Lebensdauer der Fassadenkonstruktion aus
- + Fassadenbegrünungen können als architektonisches Element eingesetzt werden (vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten, Wirkung auf Gebäude und Stadtraum)

FASSADENBEGRÜNUNGEN



- insbesondere wandgebundene Begrünungen können zu hohen Investitionskosten führen
- bei hohen Gebäuden kann die Pflege- und Instandhaltung aufwendig sein, genügend Platz bspw. für Hebebühnen ist einzuplanen
- konstruktive Verstärkungen können erforderlich sein (graue CO₂-Emissionen)
- hoher Wasser- und Nährstoffbedarf bei wandgebundenen Systemen
- Bei falscher Planung, Ausführung oder Pflege kann es zu Schäden an der Fassade kommen (regelmässige Kontrolle)
- noch nicht weit verbreitet, fehlende Erfahrungen und Unsicherheiten mit den Systemen (Planung, Ausführung, Pflege)

- + begehbbare Grünräume, wie bspw. Stadtparks, dienen als Naherholungsraum
- + Kombination von Bäumen, Hecken und Staudenpflanzungen wie auch Wiesenflächen schaffen eine hohe Lebensraumvielfalt
- + hohe Ökosystemleistung: Bäume spenden Schatten und unversiegelte Oberflächen lassen Wasser versickern
- + i.d.R. gute Zugänglichkeit, was die Pflege und den Unterhalt erleichtert
- + i.d.R. keine zusätzliche Bewässerung notwendig

BEGRÜNUNGEN IM AUSSENRAUM (BÄUME UND GRÜNFLÄCHEN)



- hoher Platzbedarf, was insbesondere in städtischen Gebieten eine Herausforderung darstellen kann
- Aussetzung an schädlichen Umwelteinflüssen wie Salz und Hundeurin

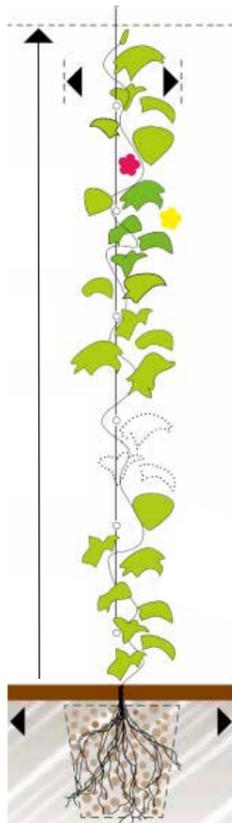


Abb. 15: Grünräume und Elemente sind für die Aufenthaltsqualität in städtischen Gebieten unabdingbar (© AdobeStock)

FOKUSTHEMEN GESTALTUNG

Gestaltungsebene: Pflanze

- ① Wuchshöhe, max. Wuchshöhe < Höhe der Rankhilfe



- ② Wuchsbreite, Pflanzenabstand
③ Wuchsleistung, Höhenwachstum pro Jahr
④ Ranktyp & Kletterhilfen: Dimensionierung, Rasterweiten, Abstand zur Wand etc.
⑤ Form & Farbe: Pflanzenfarbe, Blattform, Blüten- und Fruchtfarbe
⑥ Belaubungsphase: immergrün, sommergrün, wintergrün
⑦ Textur/Struktur

Abb. 16: Gestaltungsmöglichkeiten auf Ebene Pflanze (© N. Pfoser)



Abb. 18: Stücki Einkaufszentrum in Basel, verschiedenen Pflanzenarten, Blattformen und Blattfarben, saisonale Veränderung durch Blütezeit und Blütenfarbe (© Beat Breitenfeld)



Abb. 19: Stadtgärtnerei Zürich, gestaltetes Vegetationsbild (Textur, Struktur, Farbspiel) mit Stauden in flächiger, linearer sowie punktueller Anordnung (© NNBS)

Saisonale Veränderung

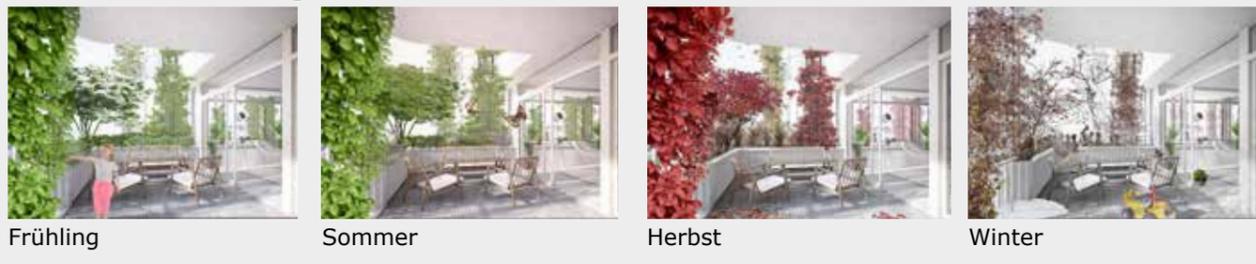


Abb. 17: Gartenhochhaus Aglaya in Risch-Rotkreuz, Visualisierung saisonale Veränderung der Begrünung (© Roger Ingold)

Gestaltungsebene: Systemwahl und Kletterhilfe



Abb. 20: Verschiedene Fassadenbegrünungssysteme, welche eine spezifische Gestaltung ermöglichen (oben links: bodengebundene Fassadenbegrünung mit einem Seilsystem als Kletterhilfe © Adobe Stock, oben rechts: bodengebundene Fassadenbegrünung mit einem Selbstklimmer © Adobe Stock, unten links: bodengebundene Fassadenbegrünung mit einem Stahlgitter als Kletterhilfe © Livio Keiser, unten rechts: wandgebundene Fassadenbegrünung © Adobe Stock)

PFLEGE

FASSADENBEGRÜNUNG PFLEGE MASSNAHMEN

Fassadenbegrünungen können ebenso lang bestehen wie das Gebäude selbst. Ein fachgerechter Einbau, eine regelmäßige sowie fachgerechte Pflege und Wartung ist hierfür essenziell.

Bodengebundene Begrünungen

Pflegemaßnahmen im Überblick⁶

- Rückschnitt und ggf. Einflechten oder Aufbinden in die Kletterhilfen
- Vom Bewuchs freizuhalten: Fenster, Fensterläden, Dächer, Fallrohre, Blitzableiter, Markisen und Luftaustrittsöffnungen
- Entfernen von abgestorbenen Pflanzenteilen
- Ggf. düngen, bei Schädlingsbefall Behandlung
- Kletterhilfen kontrollieren



Abb. 22: Wandgebundene Begrünung sind regelmäßig zu pflegen, dadurch kann ein Überwachsen von Fassadenöffnungen verhindert werden (© Yvonne Kavermann)

Wandgebundene Begrünungen

Pflegemaßnahmen im Überblick⁶

- Rückschnitt
- Vom Bewuchs freizuhalten: Fenster, Fensterläden, Dächer, Fallrohre, Blitzableiter, Markisen und Luftaustrittsöffnungen
- Entfernen von abgestorbenen Pflanzenteilen
- Ersetzen von ausgefallenen Pflanzen
- Wartung der Wasser- und Nährstoffversorgungsanlage
- Vor dem Winter: Frostsicherung der Bewässerungsanlage
- Düngen (falls nicht automatisiert)



Abb. 21: Bodengebundene Begrünung, ein Überwachsen der Fenster kann durch eine entsprechende Pflege verhindert werden

VERGLEICH⁷ BODENGEBUNDEN

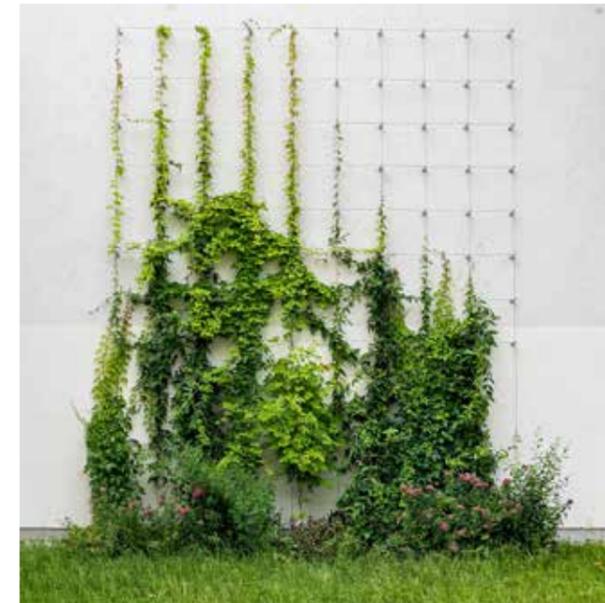


Abb. 23: Bodengebundes System (© Robert Marktl)

Sichtkontrolle mindestens 1 – 2 x pro Jahr

Bewässerung nach Bedarf (abhängig von Pflanzenart und Standort), kann manuell oder mechanisch über ein Bewässerungssystem erfolgen

Einmal im Frühjahr Düngen, um das Wachstum zu unterstützen (jedoch abhängig von der Pflanzenart)

Rückschnitt der Pflanzen, Bewuchs von Konstruktionsanschlüssen, Fenstern, Rohren etc. entfernen

Lenken, Anbinden oder Einflechten von Trieben in Kletterhilfen, Entfernung von abgestorbenen Pflanzenteilen

Wartung von technischen Einrichtungen (wenn vorhanden), ggf. systembedingte Wartungsarbeiten an Kletterhilfen

WANDEGEBUNDEN

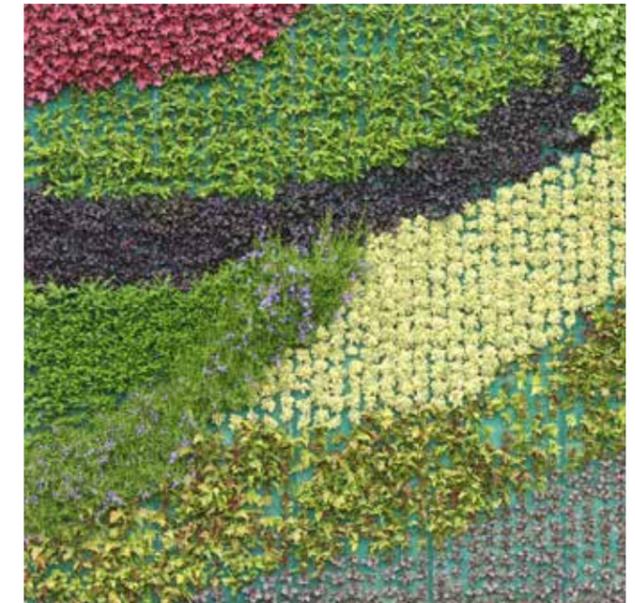


Abb. 24: Flächiges Fassadenbegrünungssystem



Pflege- und Wartungsdurchgänge mindestens 2 x pro Jahr



Bewässerung je nach System, Pflanzenart und Standort: flächiges System ca. 1 – 2.5 l pro Tag je m² und modulares System ca. 5 – 7 l pro Tag je m², typischerweise mit einem automatischen Bewässerungssystem



Düngung je nach Substrat, Feststoffdüngerzugabe oder Flüssigdünger über Bewässerungsanlage



Rückschnitt von Vegetation, Form- und Erziehungs-schnitte z. B. bei Gehölzen



Entfernung von Fremdvegetation und abgestorbenen Pflanzenteilen, Entfernen und Ersetzen von ausgefallener Vegetation, ggf. Substrat ergänzen und austauschen



Wartung von technischen Einrichtungen, ggf. systembedingte Wartungsarbeiten an der Konstruktion

PFLEGE

BEGRÜNTE FASSADE WICHTIGE ASPEKTE

Die **System- und Pflanzenwahl** ist entscheidend für die Lebensdauer sowie den späteren Pflege- und Wartungsaufwand.

Standortanalyse und Pflanzenwahl⁸

- Regelmässige Verschattung durch Bauwerke, Bäume etc. (erwartete Anbauten berücksichtigen)
- Klimazone (Winterhärte)
- Himmelsrichtung (N-S-O-W)
- Vorherrschende Windrichtung und -stärke
- Erreichbarkeit und Platzbedarf für Pflege / Wartung (Leiter, Hebebühne etc.)
- Pflanzenstandort im Regenschatten
- Aufheizen von dunklen Wandoberflächen
- Regelmässige Sonnenlichtreflexion durch benachbarte helle Oberflächen, Glas etc.

Bautechnik und Systemwahl⁸

- Denkmalschutz und Sanierungsbedürftigkeit der Fassade (Bestand)
- Statische Gegebenheiten, Abstimmung der Begrünungsform (boden- bzw. wandgebunden)
- Wuchsausbreitung (bspw. unter Fenstern, Fallrohren, Flächen aktiver Solargewinnung etc.)
- Leitungswasseranschluss (Wassereignung prüfen) / Regenwasserbevorratung (Zisterne, Platzbedarf)
- Frostfreie Unterbringung der Bewässerungsanlagen-technik, ggf. mit Nährstoffdosieranlage
- Abführung von überschüssigem Wasser (ggf. Abklärungen mit Stadtwerken)
- Energieversorgung für Geräte zur Pflege und Wartung (Kabel- / Leitungsführung)

Nachhaltiges Wassermanagement

Konzepte zur Regen- und Grauwassernutzung sind von Beginn an zu berücksichtigen.



Ø 1200 | Niederschlag pro m² pro Jahr⁹ in der Schweiz, Regenwasser kann in Zisternen, Tonnen etc. gesammelt werden



Ø 375 | Grauwasser pro Tag¹⁰ (4 Personen Haushalt), kann i.d.R. ohne zusätzliche Aufbereitung zur Bewässerung genutzt werden



Abb. 25: Rosensteinviertel in Stuttgart, Versorgung der Fassadenbegrünung mittels gespeichertem Regenwasser und aufbereitetem Grauwasser (© J. Rettig).

Frostschutz sicherstellen

Bei der Wasserversorgung von Fassadenbegrünungen sind Massnahmen zum Frostschutz vorzusehen. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten:



Bei sommergrüner Bepflanzung kann die Wasserversorgung im Winter abgestellt werden.



Automatische Entleerung der Leitungen bei einer Aussentemperatur von + 4 °C. Dies wird durch Sensoren geregelt.

Auch bei der Pflanzenwahl sollte das Thema Frost berücksichtigt werden. Pflanzenarten sind so zu wählen, dass diese den verschiedenen klimatischen Bedingungen über das ganze Jahr standhalten.

Genügend Abstand zwischen Seilen

Werden Seile als Kletterhilfe eingesetzt, sollten diese i.d.R. in mind. 1 m Abstand zueinander angeordnet werden. Dadurch verkürzen sich die Pflegeintervalle und die Begrünung ist einfacher zu pflegen (besser zugänglich).



Abb. 26: Insbesondere in Strassenräumen kann der benötigte Platz für die Substratschicht bei bodengebundenen Systemen zum Ausschlusskriterium werden (© Roger Ingold).

Massnahmen zur Schädlingsprävention

Damit Fassadenbegrünungen nicht zur Quelle von Schädlingen werden, sind bei der Planung u.a. folgende Aspekte zu beachten¹¹:

- Regelmässiger Unterhalt, saubere Ausführung
- Fassadenbegrünungen nicht bis unter das Vordach oder aufs Dach wachsen lassen (Mader und Siebenschläfer können sonst zu Unterschlüpfen im Dach kommen)
- Bei vorgehängten Fassadenabdeckungen Defekte und fehlende Abschlussbleche vermeiden (Mäuse können über Spalten in die Isolation hinter der Fassadenabdeckung gelangen und so auch in Wohnungen in oberen Geschossen gelangen)
- Stehendes Wasser vermeiden, dies kann als Brutstätte von einheimischen und exotischen Mücken führen

Platzbedarf Substratschicht

Ein wichtiger Aspekt bei der Planung von bodengebundenen Fassadenbegrünungen ist der notwendige Platz für die Substratschicht.



In der Regel wird **ca. 1 m³ Boden für 10 - 12 m² begrünte Fassade** benötigt.

Je grösser der Substrataufbau, desto geringer ist der spätere Bewässerungsaufwand sowie die Notwendigkeit der Nährstoffzufuhr.

BRANDSCHUTZ

BEGRÜNTE FASSADEN: WICHTIGE ASPEKTE

Durch verschiedene Versuche an begrünten Fassaden, z.B. durch die Stadt Wien, konnte man folgende Erkenntnisse gewinnen¹²:

- Praktisch keine seitliche Branderweiterung
- Vertikale Branderweiterung durch kurzzeitige „Durchzündung“ möglich
- Vertikale Brandweiterleitung über hölzerne Pflanzenteile nicht beobachtbar
- Sekundärbrandgefahr durch abfallende Teile nicht gegeben



Abb. 28: Abgestorbene Pflanzenreste erhöhen die Brandgefahr und sind regelmässig zu entfernen (© gartenjournal.net)

Verschiedene Faktoren spielen für das Brandverhalten von begrünten Fassaden eine Rolle:

Pflanzenart

Die Brennbarkeit ist abhängig vom Wassergehalt, dem Anteil von ätherischen Ölen und ob die Pflanze laubabwerfend ist.

Instandhaltung und Pflege

Je dicker die Grünschicht, desto mehr abgestorbenes Pflanzenmaterial kann an der Fassade vorliegen. Durch regelmässige Pflege und Entfernung von abgestorbenen Pflanzenteilen kann der Brandschutz sichergestellt werden.

Substratwahl

Bezüglich Brandschutz sind Substrate mit vorwiegend mineralische Bestandteilen zu bevorzugen.



Abb. 27: Brandversuch mit einem troggebundenen System. Pflanzenart: Blauregen (© NODER „Begrünte Fassaden aus brandschutztechnischer Sicht“, 2019)

BRANDSCHUTZMASSNAHMEN FÜR FASSADENBEGRÜNUNGEN

Für die Brandschutzmassnahmen wird empfohlen, sich an den Vorschlägen des VKF-Merkblattes für Gebäudebegrünungen zu orientieren. Dieses Merkblatt enthält Vorschläge zur baulichen und organisatorischen Umsetzung von Gebäudebegrünungen, es weist jedoch keinen Vorschriftenstatus auf.¹³

Die Brandschutzmassnahmen werden darin je nach Gebäudehöhe unterschieden¹³:

QSS 1 (Gebäude geringer Höhe)

Keine zusätzlichen Massnahmen notwendig

QSS2 (Gebäude mittlerer Höhe)

- Pflege und Instandhaltungskonzept
- Feuerwehrtugänglichkeit gewährleistet
- Ranksysteme, Pflanzgefässe und Unterkonstruktionen müssen aus RF1-Baustoffen bestehen
- eine der in Abb. 29 und 30 aufgezeigten Konstruktionsmassnahmen soll erfüllt sein

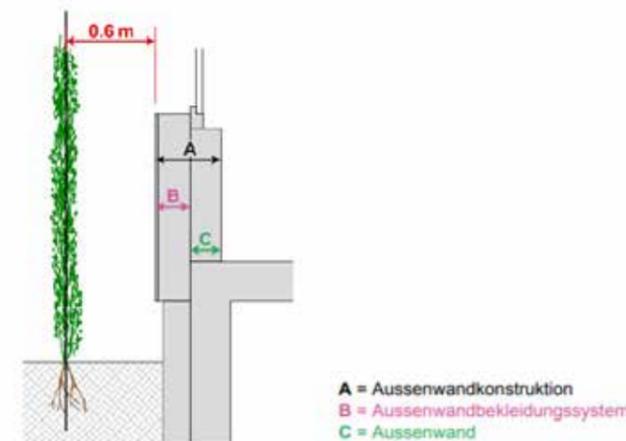


Abb. 29: Mindestens 0.6 m Abstand von Ranksystem zur Aussenwandkonstruktion (© VKF Brandschutzmerkblatt Gebäudebegrünungen, 2024)

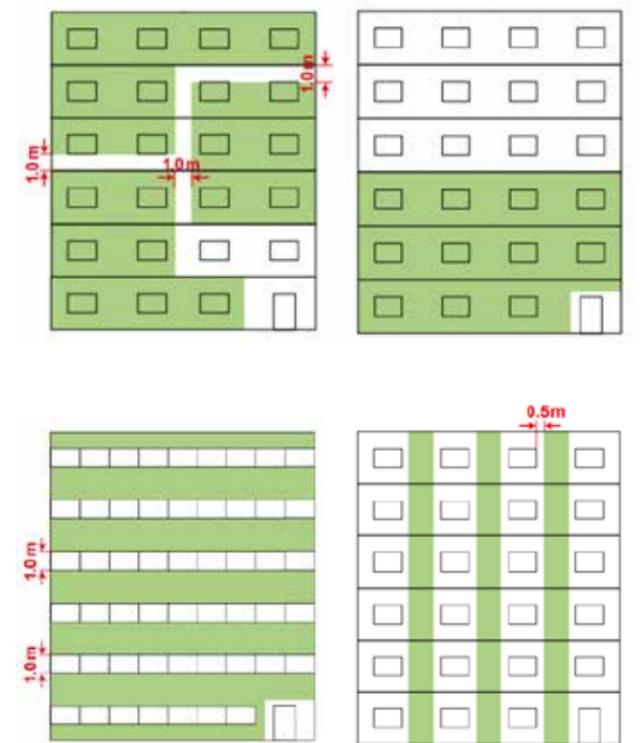


Abb. 30: Erstreckung über maximal 3 Geschosse, Teilflächenabstand mindestens 1 m, Abstand zu Fenstern mindestens 0.5 m, an feuerwiderstandsfähiger Aussenwand oder Sprinkleranlagen in mit Öffnung angrenzenden Räumen (© VKF Brandschutzmerkblatt Gebäudebegrünungen, 2024)

Hochhäuser

Bei Hochhäusern sind Fassadenbegrünungen im Rahmen eines Standardkonzeptes nicht möglich. Die Anwendung von Nachweisverfahren im Brandschutz zur Beurteilung von Brandgefahr, Brandrisiko oder zur Nachweisführung konzeptioneller Ansätze ist bei der Erfüllung der Schutzziele der Brandschutznorm und bei einer ganzheitlichen Betrachtungsweise zulässig und wird von der Brandschutzbehörde geprüft.

FALLBEISPIEL FASSADENBEGRÜNUNG

HAUPTSITZ SKY-FRAME IN FRAUENFELD¹⁴

Projektart

Neubau Headquarter

Gebäudenutzung

Gewerbe, Produktions- und Verwaltungsgebäude

Planungs- und Bauzeit

2013 Planung, 2012–2014 Realisierung

Begrünungssystem, Exposition

Trogsystem, ohne Kletterhilfe, vorgefertigte Stahlbecken auf Tragkonstruktion. Südfassade, Begrünung über 3 Stockwerke, dient als ‚brise soleil‘, 13 bepflanzte Tablare auf einer Länge von 64 m und einer Höhe von 17 m, insgesamt ca. 1100 m² begrünte Fassadenfläche

Kosten für die Fassadenbegrünung

Bepflanzung mit Substrat 450'000 CHF
Unterhalt: 10 - 20 CHF/m²a



Abb. 32 : Hauptsitz Sky-Frame in Frauenfeld (© Claudia Luperto)

Pflanzen- und Substratwahl

Das Fassadenbild wird durch eine wiesenartige Vegetation mit sechs Gräserarten, strukturstarke Leitstauden und gezielt gesetzten Farbtupfern gestaltet. Die eingesetzten Pflanzenarten wurden standortgerecht ausgewählt und sind überwiegend immergrün, nur am Ende des Winters zeigt sich das Fassadenbild für ca. 3 Wochen reduziert. Anschliessend fangen die verschiedenen Geophyten (Zwiebelpflanzen) an zu blühen und setzen im Frühling Akzente (Pflanzenarten: verschiedene Irisarten, Schachbrettblumen, Narzissen, Tulpen sowie Blau- und Milchstern). Die Zwiebelpflanzen vermehren sich dabei seit dem zweiten Jahr selbst.

Als Substrat wurde ein rein mineralisches HF-Substrat gewählt, da dieses ein geringes Gewicht hat, gute Durchlüftungseigenschaften aufweist und auch nach längerer Zeit nicht schwindet (kein nachfüllen notwendig).



Abb. 31: Umsetzung der Fassadenbegrünung (© Roger Ingold)

Gestaltungskonzept Fassadenbild

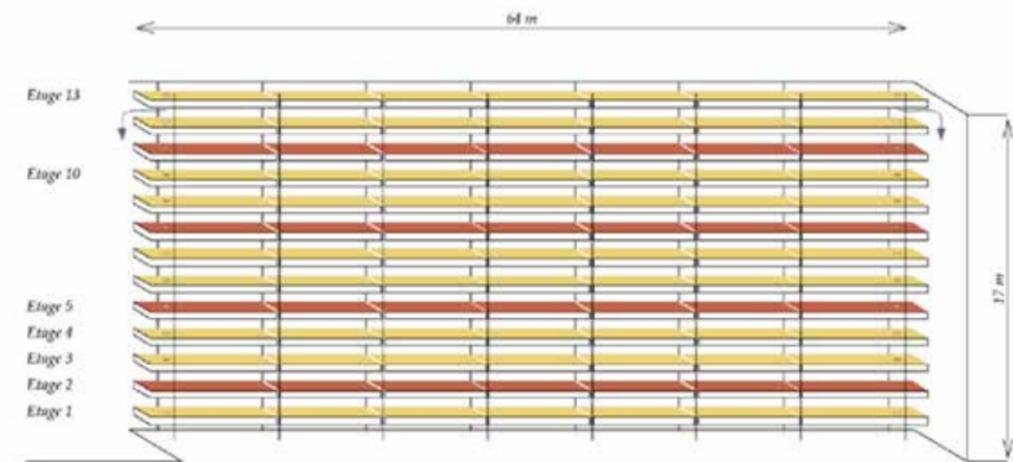


Abb. 33: Abfolge der Farb- und Wiesenbänder (© dergartenbau Ausgabe 20/2016)



Abb. 34: Konstruktion und Vegetationsbild des Farb- und Wiesenbandes (© dergartenbau Ausgabe 20/2016)



Abb. 35: Für die Fassadenbegrünung wurden vor allem Gräser und Stauden gewählt (© Roger Ingold)

Brandschutz

Durch die horizontalen Tröge entstehen Brandabschnitte, welche im Brandfall die Ausbreitung des Feuers verhindern.

Bewässerungssystem, Wasserbedarf

Die Wasser- und Nährstoffversorgung erfolgt im Bedarfsfall automatisch, hierfür wurde ein Bewässerungsrohr in die Drainageebene auf dem Boden der Stahlgefäße verlegt. Dieses regelt den Wasserhaushalt des Substrats. Überschüssiges Wasser wird über die Ab- und Überläufe am Ende der Tablette abgeleitet. Der freie Wasserfluss wird mittels Kontrollschächten kontrolliert.



Der Wasserbedarf liegt während der Vegetationsphase bei ca. 25 - 30 l pro m².

Aufwand für Pflege- und Instandhaltung

- Kontinuierliche Pflegebegleitung durch Fachpersonen
- 2 Pflegedurchgänge pro Jahr
- Starker Rückschnitt der Pflanzen im Frühling, ausdünnen der Gräser, unpassende oder intensive Pflanzen werden entfernt, für die gesamte Fassade bedeutet dies ca. 2 Tage Arbeit mit einem Team von 3 - 4 Personen
- Zweiter Pflegedurchgang Ende Sommer, hier werden die Blütenstände der Leitstauden und Gräser erhalten und prägen das Fassadenbild im Winter
- Kontrolle der technischen Systeme übernimmt der Hauswart



Abb. 38: Blick von innen nach aussen (© Markus Bühler)

Good-Practice

Die Fassadenbegrünung funktioniert generell sehr gut. Die Pflanzen entwickeln sich positiv und auch die Wirkung als ‚brise soleil‘ hat sich bestätigt. Die Bepflanzung spendet Schatten und verringert ungewollte Lichtreflexionen. Auch seitens Mitarbeitenden, Firmenpartnern sowie im Umfeld kamen durchweg positive Rückmeldungen.



Abb. 36: Zweimal im Jahr ist ein Pflegedurchgang der Fassadenbegrünung notwendig (© Roger Ingold)



Abb. 37: Der Rückschnitt der Pflanzen füllt einen kleinen Transporter (© Roger Ingold)

Lessons-Learned, Erfahrungswerte mit dem Begrünungssystem

- Pflege und Begleitung der Bepflanzung ist insbesondere in den ersten zwei Jahren essenziell
- Ein zusätzlicher, dritter Pflegedurchgang Anfang Juni hätte den Vorteil, dass die welken Blätter der Geophyten bereits beseitigt werden könnten, störende Anflugarten vor dem Absamen entfernt werden könnten und die Wartung und Reinigung der Kontrollschächte in kürzeren Abständen erfolgen könnte
- Einige der Pflanzenarten weisen ein schnelles Wurzelwachstum auf, welche sich in Ab- und Überläufen sowie Kontrollschächten verorten können – Diese sind regelmässig zu kontrollieren und zu entfernen, um Schäden und Verstopfungen zu vermeiden
- Technische Einrichtungen wie bspw. Steuergeräte sind zu überwachen, da Fehlinformationen zu einer falschen Wasserzufuhr führen können, was die Pflanzen schädigen und zum Absterben führen kann
- Ungewollter Fremdbewuchs muss frühzeitig entfernt werden, damit diese nicht invasiv werden und sich ungewollt vermehren
- Auch verschiedene Tierarten kommen im Begrünungssystem vor, so haben sich kleinere Spinnen und Schneckenarten bereits nach kurzer Zeit angesiedelt

VORTEILE PV-SYSTEME



HOHE EIGENVERBRAUCHSQUOTE

Solarenergie kann **direkt vor Ort** produziert und genutzt werden. Dies macht den Verbraucher **unabhängiger von Preisschwankungen**. Gut geplante, eigenverbrauchs-optimierte Anlagen bieten dementsprechend eine hohe Eigenverbrauchsquote. Durch die Stromproduktion über PV-Fassaden kann auch in den Wintermonaten nachhaltige Energie lokal generiert werden.



Abb. 39: MFH Brütten (© 3S Swiss Solar Solution)



KEIN ZUSÄTZLICHER FLÄCHENBEDARF

Ein weiterer Vorteil des Einsatzes von PV liegt darin, dass vorhandene Flächen genutzt werden und **keine zusätzliche Nutzfläche** benötigt wird. PV-Anlagen können am Gebäude platziert werden und Freiflächen (unbebautes Land) für andere Nutzungen verwendet werden.



Abb. 40: AUE Basel (© Daisuke Hirabayashi / jessenvollenweider)



STROMPRODUKTION OHNE LÄRM UND ABGASE

PV-Anlagen ermöglichen eine Stromproduktion, ohne Lärm- oder Schadstoffemissionen zu verursachen. Dadurch können PV-Anlagen auch **in Siedlungsgebieten eingesetzt** werden, ohne die Aufenthaltsqualität negativ zu beeinflussen.



Abb. 41: Glaserhaus in Affoltern im Emmental (© Christoph Heilig)



WARTUNGSARM

Da PV-Anlagen keine beweglichen Teile haben, sind sie sehr **wartungsarm** und weisen eine **lange Lebensdauer von 30 - 40 Jahren** auf. Lediglich der Wechselrichter muss ca. alle 15 Jahre gewechselt werden.



Abb. 42: NEW Blauhaus (© Robert Mehl / kadawittfeldarchitektur)



NACHHALTIGE STROMPRODUKTION

Photovoltaik ist eine **erneuerbare Energiequelle**. Dabei wird die **vorhandene Solarenergie vor Ort** zur Stromerzeugung genutzt.

Die **Energieperspektiven 2050+**¹⁵ haben die Entwicklung des Energiesystems der Schweiz zur Gewährleistung von Netto-Null-Treibhausgasemissionen und einer sicheren Energieversorgung im Jahr 2050 analysiert und schlagen einen **raschen und massiven Ausbau der erneuerbaren Energien** in der Schweiz vor. **PV-Fassaden** sollen diesbezüglich einen **wichtigen Beitrag** leisten: Ziel ist es, die installierte Leistung von PV in den nächsten 30 Jahren um den **Faktor 13** zu steigern.



LANGFRISTIG ÖKONOMISCHE VORTEILE

PV-Systeme sind eine nachhaltige Investition, die die **Chance auf Amortisation** hat. Einsparungen durch die Nutzung von Solarstrom im Betrieb (**Eigenverbrauch**) und **Vergütungen** für die Einspeisung ins Netz führen dazu, dass sich eine PV-Anlage rentieren kann. **Energiekosten werden sofort gesenkt** und die anfänglichen Investitionskosten amortisieren sich bei sinnvoll eingesetzten Modulen mit einem hohen Wirkungsgrad über die Lebensdauer.

Zudem kann eine PV-Anlage den **Wert einer Immobilie steigern** und zu einer besseren Vermietbarkeit und weniger Leerstandszeiten führen.



POSITIVE ÖKOBILANZ & REZYKLIERBARKEIT

Für die Erstellung der PV-Module fällt **graue Energie** an, diese ist nicht zu vernachlässigen. Jedoch wird im Betrieb Strom produziert, was zu einer Einsparung des Energieverbrauchs des Gebäudes führt. **Sinnvoll eingesetzte PV-Module** mit einem **hohen Wirkungsgrad** führen so über den Lebenszyklus zu einer positiven Ökobilanz.

Zudem haben PV-Module ein hohes **Recyclingpotential**, da über **75 %**¹⁶ **wiederverwert**et werden können. In der Schweiz ist die Rücknahme und Aufbereitung der Rohstoffe durch eine vorgezogene Recyclinggebühr (vRG) gesichert.



ARCHITEKTONISCHES GESTALTUNGSMITTEL

PV-Module gibt es mittlerweile in den **verschiedensten Ausführungen** (Farben, Texturen, Mustern, Transparenzgrad...). Dadurch können diese als **architektonisches Gestaltungsmittel** eingesetzt werden. Zu beachten ist, dass aus ökonomischen und ökologischen Gründen dennoch ein hoher Wirkungsgrad anzustreben ist.

Für das **Stadtbild** und die **Gestaltung von Aussenräumen** spielen Gebäude eine wichtige Rolle. Somit haben PV-Systeme ein hohes Potential, attraktive Aussenräume mit einer **hohen Aufenthaltsqualität** zu gestalten.

HEMMNISSE

SCHWANKUNGEN BEI DER ENERGIEPRODUKTION

Die Energieproduktion über PV-Anlagen unterliegt **tages- und jahreszeitlichen sowie wetterbedingten Schwankungen**. Lange Perioden ohne Sonneneinstrahlung reduzieren zudem den Selbstversorgungsgrad.



Abb. 43: Verschattungen von PV-Modulen sollten vermieden werden (© Kingsgate House, London / P. Bonomo)

VERSCHATTUNGEN & BEGRENZTES PLATZANGEBOT

Eine **ungünstige Ausrichtung** sowie eine **Verschattung** durch benachbarte Objekte oder topografische Elemente verursachen **starke Ertragsminderungen** und können eine Anlage unrentabel machen. Nicht alle Gebäudeflächen eignen sich somit für den Einsatz von Photovoltaikanlagen.



Abb. 44: Verschmutzungen können den Stromertrag mindern, eine regelmäßige Reinigung ist empfehlenswert (© Adobe-Stock)

HOHE INVESTITIONSKOSTEN

Trotz sinkenden Preisen für PV-Anlagen können die **anfänglichen Investitionskosten hoch** sein. Diese Kosten können sich jedoch im Laufe der Zeit durch die Einsparungen im Betrieb amortisieren.

DEGRADATION

PV-Module verlieren im Laufe der Zeit an Leistung (Degradation). Der Ertrag nimmt ungefähr zwischen 0.15 %¹⁷ und 0.4 %¹⁸ pro Jahr ab, wobei die Degradationswerte je nach PV-Modul variieren.

ABHÄNGIGKEIT VON EINSPEISEVERGÜTUNGEN

Wird der überschüssige Strom ins Netz eingespeist, sind **Rentabilität und Amortisationsdauer** abhängig von der aktuellen Einspeisevergütung.

REINIGUNG

PV-Anlagen sollen bei **Verschmutzung** gereinigt werden, um **Ertragsminderungen** zu vermeiden. Die Häufigkeit ist abhängig vom Verschmutzungsgrad, zu häufige Reinigungen verursachen hohe Kosten.

SYSTEMVERGLEICH

PHOTOVOLTAIK-DACH

- höhere jährliche Stromproduktion +
- geringere ästhetische Ansprüche bei Dachanlagen, Standardmodule können problemlos eingesetzt werden (geringere Kosten, höhere Effizienz) +
- einfacher Zugang zur Anlage bei Flachdächern +
- Kombination von Begrünung und PV einfacher umsetzbar als bei Fassaden +
- Brandschutz weniger problematisch als bei hohen Fassaden +
- Gefahr von Hagelschäden -
- horizontale oder geneigte Anlagen verschmutzen schneller (Staubablagerungen, Schmutzansammlungen) und können im Winter mit Schnee bedeckt werden. -
- begrenztes Flächenangebot, insbesondere bei hohen Gebäuden -
- Nutzungskonflikt: Dachflächen können nicht mehr oder nur noch begrenzt als Aufenthaltsbereiche oder für die Platzierung von technischen Anlagen genutzt werden -



PHOTOVOLTAIK-FASSADE

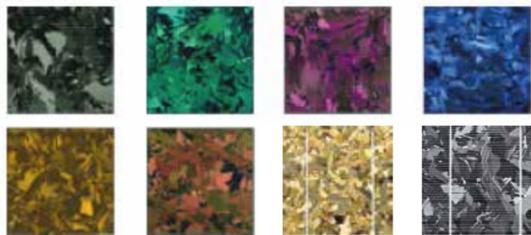
- Winterstromproduktion: über eine Südfassade ohne Verschattung kann in den Wintermonaten mehr Strom als über eine flach aufgeständerte Dachanlage produziert werden +
- bei einer sinnvollen Anordnung der Module kann der Stromertrag im Tages- und Jahresvergleich ausgeglichener sein als bei Dachanlagen +
- vertikale Anlagen verschmutzen weniger schnell und bleiben im Winter schneefrei +
- Fassaden verfügen über ein bisher ungenutztes Flächenpotential +
- PV-Fassaden werden meist als hinterlüftete Fassaden eingebaut, wodurch auf oberste Fassadenschicht verzichtet werden kann +
- keine zusätzliche Nutzfläche notwendig +
- geringeres jährliches Stromerzeugungspotential -
- i.d.R. höhere Investitionskosten -
- Reinigung und Instandhaltung: die Zugänglichkeit ist insbesondere bei hohen Fassaden erschwert und muss bei der Planung berücksichtigt werden (Platz für Hebebühnen etc.) -
- derzeit fehlt es bei Hochhäusern an standardisierten Brandschutzanforderungen für PV-Fassaden, was ein individuelles Brandschutzkonzept pro Objekt fordert. Fachpersonen sollen einbezogen werden . -

Gestaltungsebene: PV-Modul

① Farbe



② Muster



③ Transparenz



Abb. 45: Gestaltungsmöglichkeiten auf Ebene PV-Modul
(© SI Module GmbH, ertex solartechnik GmbH, friSolar)



Abb. 46: Transparente, farbige PV-Module gestalten die Fassade des SwissTech Convention Center in Lausanne (© Mediacom EPFL)



Abb. 47: Wohngebäude in Zürich, Solaris 416, opake PV-Fassade und Dach, einheitliche Farbwahl der verwendeten Module (© Beat Bühler)



Abb. 48: Wohngebäude in Zürich, Höngg, opake PV-Module gestalten die Fassade des Wohngebäudes (© Kämpfen Zinke + Partner AG)



Abb. 49: Amt für Umwelt und Energie in Basel, individuell gestaltete PV-Module geben dem Gebäude seinen Ausdruck (© AUE)

PV-FASSADEN: WICHTIGE ASPEKTE

PV-Fassaden können im Allgemeinen als wartungsarm eingestuft werden. Eine regelmässige Kontrolle der Komponenten, sowie bei Bedarf eine Reinigung der Module, sollte jedoch durchgeführt werden, um allfällige Schäden frühzeitig zu erkennen und eine Minderung des Ertrags zu verhindern.

Vertikale Ausrichtung als Vorteil

Die vertikale Ausrichtung der PV-Module bringt den Vorteil, dass diese in den Wintermonaten schneefrei bleiben. Ebenso verschmutzen die Anlagen durch ihre vertikale Ausrichtung weniger, da sich weniger Staubablagerungen und Schmutz (Laubfall, Tierkot u.a.) ansammeln. Mögliche Schmutzquelle (bspw. Verkehrstaub, Pollenflug durch Rapsfelder, etc.) sollten jedoch zu Beginn der Planung bei der Standortanalyse berücksichtigt werden.

Demontierbarkeit

Die PV-Module sind so zu befestigen, dass diese leicht demontiert und bei Bedarf ersetzt werden können. Ersatzmodule sollten eingeplant und gegebenenfalls eingelagert werden.



Abb. 50: Eine gute Demontierbarkeit der einzelnen Module erleichtert den Ersatz bei Schäden und Defekten (© AdobeStock)



Abb. 51: PV-Module sind i.d.R. wartungsarm, eine regelmässige Reinigung der Anlage ist jedoch wichtig, um ein ansprechendes Erscheinungsbild und eine hohe Effizienz zu erreichen (© ADU Service Gruppe)

Reinigung der Anlage

Zum Schutz der PV-Module und der Umwelt ist bei der Reinigung folgendes zu beachten:

- Reinigung mit demineralisiertem Wasser (Fleckenbildung bei Leitungswasser)
- Keine Verwendung von Putzmitteln (Umweltschutz und Beschädigung von Beschichtung)
- Keine Verwendung von Hochdruckreinigern oder harten Bürsten (Verkratzen der Beschichtung)

Aktuelle Entwicklungen gehen in Richtung selbstreinigende Oberflächen, welche die Verschmutzung von PV-Modulen verhindern. Dadurch könnte sich der Instandhaltungsaufwand künftig weiter reduzieren.

BRANDSCHUTZ

PV-FASSADEN: WICHTIGE ASPEKTE & BRANDSCHUTZMASSNAHMEN

Der Brandschutz bei PV-Anlagen ist im VKF-Brandschutzmerkblatt Solaranlagen geregelt. Da aktuell kein Standard-Technik-Papier zum Thema Brandschutz für PV an Fassaden vorhanden ist, dient das Übergangsdokument für Planung und Brandschutznachweis "Brandschutz für hinterlüftete Photovoltaikanlagen an Fassaden" bis am 31.12.2024 als Leitfaden.¹⁹

Für Gebäude bis zu einer Gesamthöhe von 30 m dürfen für Aussenwandbekleidungs-systeme brennbare Bauprodukte verwendet werden.

Für **Gebäude geringer Höhe** gibt es somit keine besonderen Einschränkungen¹⁹.

Bei **Gebäuden mittlerer Höhe** erreichen PV-Module die Anforderungen an die zu verwendeten Baustoffe. Zusätzlich sind jedoch Massnahmen zu ergreifen, um den Brand auf zwei Geschosse oberhalb des Brandgeschosses zu beschränken¹⁹ (gemäss VKF, Abb. 52). Um die vertikale Übertragung von Feuer zu verhindern, ist die **Fassade in entsprechende Brandabschnitte zu unterteilen**. Dies kann bspw. durch den Einsatz von Metallprofilen oder der Verwendung von belüfteten Hohlraumabschottungen erfolgen (Abb. 52).



Abb. 53: Auch bei über 30 m hohen Gebäuden können PV-Fassaden angewendet werden. Objektspezifische Lösungen sind in Zusammenarbeit mit Fachexperten zu entwickeln (© Malley Phare CCHE, Prilly/Lausanne)

Bei **Hochhäusern** (Höhe > 30 m) sind laut VKF RF1 Baustoffe zu verwenden (Abb. 53). Da PV-Module nicht dieser Kategorie zugeordnet werden, ist mit einer Fachperson ein individuelles Brandschutzkonzept auszuarbeiten. Dieses soll bereits in frühen Planungsphasen erstellt werden.

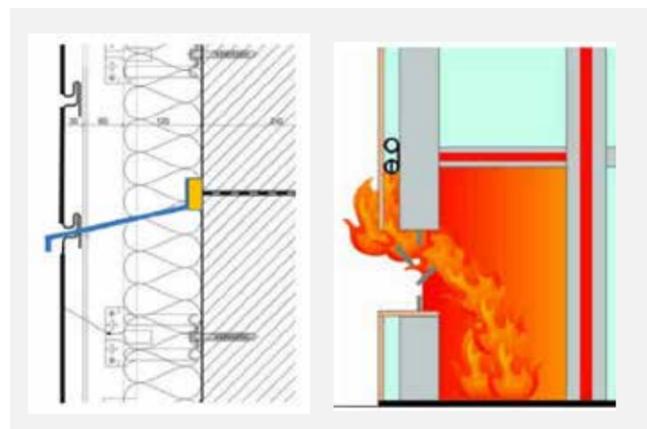


Abb. 52: Bauliche Massnahmen, um im Brandfall die vertikale Ausbreitung von Feuer zu verhindern: Metallprofile (links) oder belüftete Hohlraumabschottungen (rechts). (© Solarwall, Pierre-Olivier Cuche)

PRAXISBEISPIELE



Abb. 54: Sky-Frame, Frauenfeld (© Markus Bühler)



Abb. 55: Therapiezentrum Utrecht (© Miriam Hodel)



Abb. 56: Einkaufszentrum, Basel (© Beat Breitenfeld)



Abb. 57: Hunzikerplatz, Zürich (© mr.wgnr)



Abb. 58: Boutique-Hotel, Wien (© HRS)



Abb. 59: Parkhaus, Glostrup (© Sandra Rietveld)

Nationale und internationale Beispiele für Fassadenbegrünungen und PV-Fassaden: Um die Brandausbreitung zu vermeiden wurden ganz unterschiedliche Konzepte verfolgt.



Abb. 60: Sanierung Hochhaus Aegerterstrasse in Biel. Um die Anforderungen an Hochhausfassaden zu erfüllen, wurden an der Aegertenstrasse spezielle Fassadenmodule verbaut (© 3S Solar Plus)

Umgesetzte Brandschutzmassnahmen:

- Fenster erlauben keinen Brandübertritt nach aussen
- Aussenwand mit einem Feuerwiderstand von 90 Minuten
- Reduzierung der Brandlast: Kabel sind einzeln in nicht brennbaren Rohren verlegt.

FALLBEISPIEL PV-FASSADE

HOCHHAUS HOLENACKERSTRASSE 65 IN BERN¹⁹

Projektart

Sanierung Hochhaus, Baujahre 1979–1986

Gebäudenutzung

Wohngebäude

Planungs- und Bauzeit

2022–2023

Bestehende Fassadenkonstruktion

Zweischalige Betonwand mit mineralischer Kerndämmung (11.5 cm), tragbare Innenwand (20 cm), vorgehängte Kunststeinelemente mit Rudolf-Struktur

Photovoltaikanlage

Modultyp AVANCIS SKALA 135 W, Bronze 3001

Modulfelder 4 x 162 Module

Wechselrichter 2 x HUAWEI SUN2000-40KTL-M3

Ausrichtung Südwest/Südost

Investitionskosten für die PV-Anlage

Gesamtkosten CHF 1.1 Mio, ergibt CHF 1400/m²



Abb. 62: Hochhaus Holenackerstrasse 65 in Bern (© Elektroplanung Schneider AG)

Projektbeschreibung

Im Rahmen der umfassenden Sanierung des Hochhauses erwog die FAMBAU Genossenschaft die Installation einer PV-Fassade. Nach der technischen und wirtschaftlichen Analyse verschiedener Optionen (u.a. PV Module auf den Balkonfronten) wurde folgende Lösung gewählt: Drei Modulfelder mit je 162 Modulen an den in Richtung Südwesten ausgerichteten Fassadenbänder und in weiteres Modulfeld mit 162 Modulen an der Südostfassade (vgl. Abb. 61, Abb. 62). An den nördlich ausgerichteten Fassadenabschnitten wurden aufgrund der fehlenden Sonneneinstrahlung keine Modulfelder realisiert.

Gewählt wurde das rahmenlose Glas-Glas Modul SKALA. Dieses wurde bereits bei vergleichbaren Fassaden eingesetzt. Entscheidende Kriterien waren zudem die Ästhetik, die Leistungskennwerte, der Windlastnachweis, Erfahrungswerte und die Bewilligungsfähigkeit.



Abb. 61: Visualisierung der PV-Anlage (© ReinhardPartner Architekten und Planer AG)

BRANDSCHUTZ

Schutzziele

Gestützt auf Art. 8 der Brandschutznorm²⁰ wurden in Abstimmung mit der Brandschutzbehörde folgende Schutzziele spezifiziert:

- Ein Brand der PV-Anlage darf sich max. über zwei Etagen an der Fassade ausdehnen
- Ein Feuer darf sich nicht horizontal ausbreiten
- Nach stromlossschalten der PV-Anlage muss ein Brand selbstständig löschen
- Feuer ausserhalb des Gebäudes darf die Fassaden nicht in Brand setzen
- Es dürfen keine Bauteile herunterfallen
- Ein Brand an der Fassade darf die Einsatzkräfte nicht behindern
- Sicherstellen der Schutzziele im Betrieb (Wartung und Unterhalt)
- Eine Brandausbreitung innerhalb der bestehenden Fassadenkonstruktion darf nicht stattfinden bzw. darf nicht in eine Zwischenebene gelangen

Tab.1: Brandrisiken und Massnahmen für das Hochhaus Holenackerstrasse 65 in Bern (© Haultle Anderegg + Partner AG, BVG-Stiftung der Marti-Unternehmungen, FAMBAU Genossenschaft)

Brandrisiken	Massnahmen
Beschädigung durch Blitzschlag	PV-Anlage wird an Blitzschutzsystem angeschlossen, welches allenfalls erweitert wird. Interner Überspannungsschutz als Massnahme gegen indirekte Einschläge.
Brandausdehnung an der Fassade, verursacht durch das PV-Modul und/oder Elektroinstallationen	Segmentierung über eine Brandabschottung nach jedem zweiten Geschoss. Ausgehend von der geringen Brandlast und den Ergebnissen aus dem Brandversuch kann angenommen werden, dass sich ein Brand nicht über die Schottung ausbreitet (Abb. 66).
Brand ausgehend von einem PV-Modul und/oder der Elektroinstallation	Die Fassadenwände weisen mind. einen Feuerwiderstand von EI 60-RF1 auf.
Allfälliger Brand der PV-Anlage hat Einfluss auf die Fugenausbildung	Verstärkung der horizontalen Elementfugen: Ersatz des bestehenden Gummiprofils durch eine Silikonfuge vom Typ «Gomastit Firesil 90» (Abb. 64).
Brand im Zwischenraum der bestehenden vorgehängten Fassade	Nicht möglich, da keine Brandlasten und Zündquellen vorhanden sind. Brand oder Raucheintritt wird durch die Silikonfuge verhindert. Um das unabhängige Ausdehnen der Verankerung der PV-Anlage zu ermöglichen, sind die Bohrungen (10 mm) in den Kunststeinelementen grösser als die Verschraubung (7 mm).
Brand der PV-Verkabelung	Elektrokabel werden von den Modulen direkt in einen der beiden nicht brennbaren vertikalen Kabelkanäle geführt. Jede horizontale Durchdringung wird durch einen Kunststoffring geschützt. Auf gleicher Ebene wie die Brandabschottung, werden die vertikalen Kabel abgeschottet. (Abb. 63)
Brennbares Kabelmaterial	Kabel sind halogenfrei (Klasse a2) und weisen keine Brandfortleitung auf. Sie entsprechen der Brandverhaltensklasse RF3 cr.
Brennbare Steckerverbindungen	Der Stecker ist flammhemmend, weist kein brennendes Abtropfen auf und erfüllt die Anforderung UL 94 V (Test des senkrechten Verbrennens).

FALLBEISPIEL

Tab.1 Fortsetzung

Brandrisiken	Massnahmen
Brand der PV-Module durch Kurzschluss oder andere Brandeinwirkungen	Folien innerhalb der PV-Module sind beidseitig durch Verbundgläser (ESG) geschützt. Durch die geringe Brandlast und die geringe Brandleistung der Folie werden keine weiteren Baustoffe entzündet.
Absturz von PV-Modulen	Jedes Modul wird mechanisch an vier Stellen befestigt. Die Unterkonstruktion ist mechanisch auf die Grundkonstruktion (Beton) befestigt.
Externes Feuer setzt die PV-Anlage in Brand	Die PV-Anlage ist ab dem 2. OG installiert, wo sich keine Öffnungen in der Fassade mehr befinden. Wo sich Öffnungen im 1. OG befinden, wird ein Sicherheitsabstand von 1.5 m gewährleistet, womit die Vorgaben von 90 cm eingehalten werden.
Brand aus der Wohnung beeinflusst die PV-Anlage	Der Kabelkanal, welcher vertikal entlang der PV-Anlage verläuft, schützt die Module. Zudem ist die PV-Anlage von Gebäudeöffnungen 90° abgewinkelt oder mindestens 2.5 m horizontal entfernt.
Überspannung im Ereignisfall	Mit dem DC-Lasttrennschalter kann der Strom unterbrochen werden.
Einschränkung der Einsatzkräfte durch den Brand	Der Zugang zum Gebäude ist jederzeit gegeben. Im Bereich des Hauptzuganges ist keine PV-Anlage vorhanden.
Unbemerkte Schäden an der PV-Anlage	Periodische Kontrollen werden von der Bauherrschaft durchgeführt. Die Leistungsdaten der Anlage werden überwacht



Abb. 63: Kabelkanäle aus feuerfestem Metall (Stahl verzinkt oder CNS) und vertikale Schienen der Unterkonstruktion, auf welchen die Module befestigt werden. Die Kabelkanäle dienen auch zur Brandabschottung (© Silvia Domingo Irigoyen)

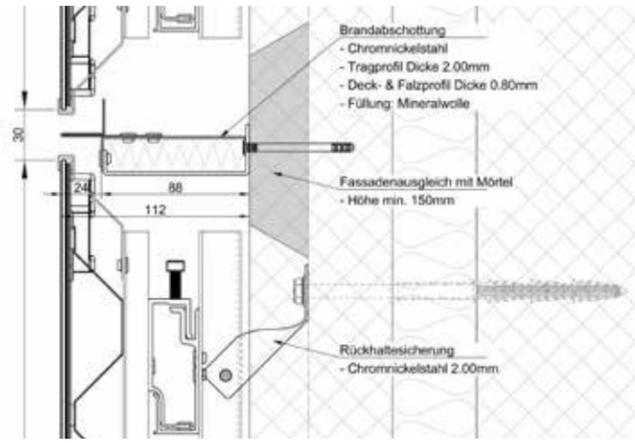


Abb. 65: Technische Zeichnung der vertikalen Brandabschottung (© Swiss Fassaden Technik AG)



Abb. 64: Horizontale Elementfuge zwischen den vorgehängten Betonelementen der Fassade (© Silvia Domingo Irigoyen)

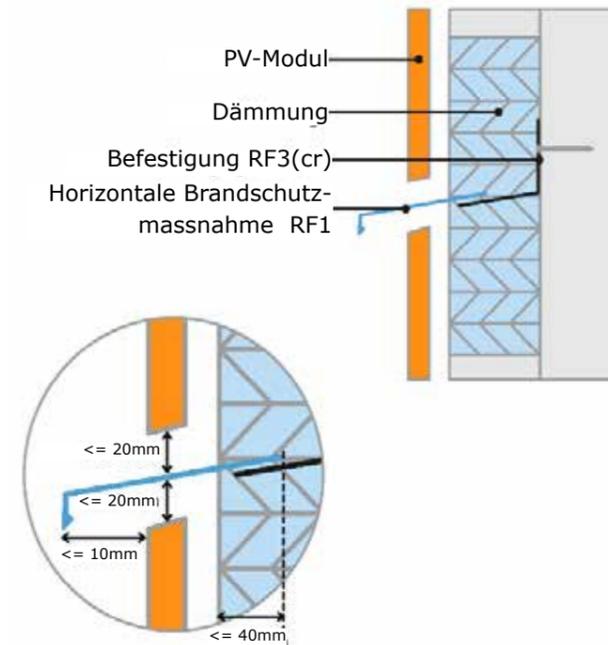


Abb. 66: Schematische Darstellung einer horizontalen Brandabschottung durch ein mit Mineralwolle befülltes Chromnickelstahlelement (© GVB, verändert)



Abb. 67: Fertig installierte Brandabschottung zwischen zwei Modulen (© Silvia Domingo Irigoyen)

Optimierungspotenzial

Gemäss dem Entwurf des Leitfadens für PV-Anlagen an Hochhausfassaden sollte eine Brandabschottung mindestens 1 cm über die Modulfeldkante herausragen. Weiter wird diese Unterbrechung des Hinterlüftungsraum bei jedem Geschoss empfohlen.

Mit grösseren und effizienteren Modulen könnte die Wirtschaftlichkeit der Anlage erhöht werden. So könnte der Materialaufwand für die Befestigung minimiert werden und mehr Strom produziert werden.

Ein Löschanlagenkonzept für das Gebäude würde die Bewilligung der Anlage erleichtern.



Lessons-Learned, Erfahrungswerte mit dem PV-System

- Die Wahl eines geeigneten und möglichst einheitlichen Fassadenabschnitts mit genügend Abstand zu Fassadenöffnungen erleichtert die Bewilligung der PV-Anlage.
- Eine brandschutztechnische Unterteilung der Modulfelder ist zwingend und im besten Fall nach jedem Geschoss einzubringen.
- Brandsichere Kabelkanäle an den Seiten der Modulfelder dienen als zusätzlichen Schutz gegen die horizontale Brandausbreitung an der Fassade

EINFLUSS DER SYSTEME

QUALITATIVE & QUANTITATIVE ASPEKTE

In diesem Abschnitt wird der Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme auf qualitative und quantitative Aspekte aufgezeigt. Die Übersichtstabelle fasst zu Beginn alle Erkenntnisse der qualitativen und quantitativen Aspekte zusammen. Auf den nachfolgenden Seiten wird auf die einzelne Aspekte detaillierter eingegangen, wie auch eine stockwerks- und orientierungsspezifische Bewertung abgegeben.

Qualitative Aspekte

- Biodiversität
- Attraktivität der Aussenräume
- Regenwasserrückhalt
- Lärm in Städten
- Luftqualität

Zur Beurteilung der qualitativen Aspekte wurde zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt und die wichtigsten Grundlagen aus verschiedenen Studien zusammengetragen.

Quantitative Aspekte

- Thermisches Wohlbefinden in Innenräumen: Temperatur und Überhitzungsstunden
- Betrieb des Gebäudes: Wärme, Kälte und Stromverbrauch
- Stromproduktion der PV-Fassade, Solarpotential und saisonale Betrachtung
- Erstellung und Betrieb: Gesamtheitliche Ökobilanz
- Ökonomische Betrachtung: Initial- und Lebenszykluskosten
- Mikroklima: Temperatur an der Fassade und Einfluss auf das Umgebungsklima

Zur Beurteilung der quantitativen Aspekte wurden Simulationen, Berechnungen und Messungen durchgeführt. Die wichtigsten Erkenntnisse sind je Aspekt zusammengetragen. Sind Simulations- bzw. Berechnungsergebnisse dargestellt, beziehen sich diese auf den achtgeschossigen Neubau (Abbildung 68), unter den im Rahmen der Studie getroffenen Annahmen.

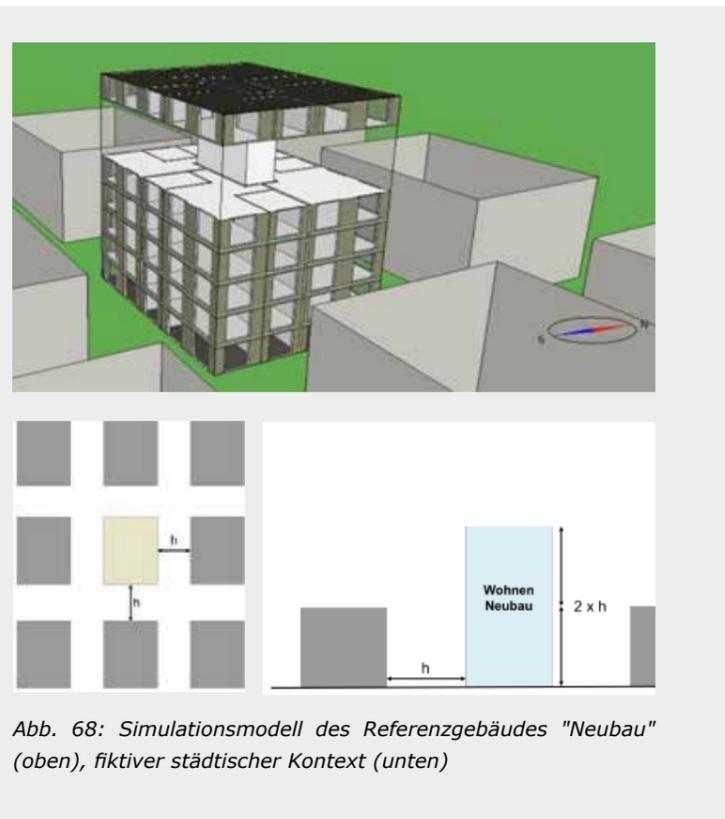


Abb. 68: Simulationsmodell des Referenzgebäudes "Neubau" (oben), fiktiver städtischer Kontext (unten)

Bewertung

Bei allen qualitativen wie auch quantitativen Aspekten wurde eine Bewertung der Fassadensysteme im Vergleich zur Referenzfassade (hinterlüftete Fassade mit Faserzementplatten) durchgeführt. Diese Bewertung ist für jeden Aspekt am Beispiel des Referenzgebäudes "Neubau" (Abbildung 68) grafisch aufbereitet, um das Potential der Systeme in den verschiedenen Orientierungen und Geschossen schnell abschätzen zu können.

Der Einfluss der Systeme wird mittels der Farbskala in Abbildung 69 dargestellt.

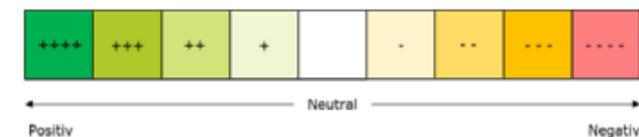


Abb. 69: Farbskala für die Bewertung der gewählten Aspekte

ÜBERSICHTSTABELLE

Qualitative Aspekte	Fassadenbegrünung		PV-Fassade	
	bodengebunden (sommergrün, Wuchshöhe bis 3. OG)	wandgebunden (immergrün, modulares System, ganze Fassade)	opak	transparent
Bewertung im Vergleich zur Referenzfassade (Faserzementplatten hinterlüftet)				
Biodiversität – dargestellt ist das Potenzial zur Förderung von neuen Lebensräumen und der Artenvielfalt, die Gefahr durch Spiegelungen wurde bei den PV-Fassaden berücksichtigt				
EG	+++	++++	-	-
1.OG	+++	++++	-	-
2.OG	+++	++++	-	-
3.OG	+++	++++	-	-
≥ 4.OG	neutral	++++	-	-
Attraktivität der Aussenräume – bewertet wurde das Gestaltungspotenzial der Fassadensysteme durch Farbe, Muster, Transparenzgrade, Blühzeiten, etc.				
EG	+++	++++	neutral	+
1.OG	+++	++++	neutral	+
2.OG	++	+++	neutral	+
3.OG	++	+++	neutral	+
≥ 4.OG	neutral	++	neutral	+
Regenwasserrückhalt – das Potenzial von Begrünungen ist an den Wetterseiten Nord/Nord-West/West am grössten				
EG	++++	++++	neutral	neutral
1.OG	+++	++++	neutral	neutral
2.OG	+++	++++	neutral	neutral
3.OG	+++	++++	neutral	neutral
≥ 4.OG	neutral	++++	neutral	neutral
Lärm in Städten – beurteilt wurde das Potenzial in einer engen Strassenschlucht mit starkem Strassenverkehr (~ 80 dB, sehr laut)				
EG	+++	++++	-	-
1.OG	+++	++++	-	-
2.OG	+++	++++	-	-
3.OG	++	+++	neutral	neutral
≥ 4.OG	neutral	++	neutral	neutral
Luftqualität – beurteilt wurde das Potenzial in einer engen Strassenschlucht mit starkem Strassenverkehr				
EG	+++	++++	neutral	neutral
1.OG	++	+++	neutral	neutral
2.OG	+	+	neutral	neutral
3.OG	+	+	neutral	neutral
≥ 4.OG	neutral	neutral	neutral	neutral

Legende:

- + geringer Einfluss
- ++ mittlerer Einfluss
- +++ hoher Einfluss
- ++++ sehr hoher Einfluss
- +++++ positiver Einfluss
- negativer Einfluss

ÜBERSICHTSTABELLE

Quantitative Aspekte Bewertung im Vergleich zur Referenzfassade (Faserzementplatte hinterlüftet)	Fassadenbegrünung				PV-Fassade			
	bodengebunden		wandgebunden		opake Module		transparente Module	
	verschattet	nicht verschattet	verschattet	nicht verschattet	verschattet	nicht verschattet	verschattet	nicht verschattet
Thermisches Wohlbefinden im Innenraum: Temperaturen und Überhitzungsstunden – die Bewertung wurde basierend auf den Neubau bezogen, bei Altbauten mit einer schlecht gedämmten Gebäudehülle kann der Einfluss grösser sein.								
Nord	+	+	+	+	neutral	neutral	neutral	neutral
Ost	+	+	+	++	neutral	neutral	neutral	neutral
Süd	+	+	+	++	neutral	neutral	neutral	neutral
West	+	+	+	++	neutral	neutral	neutral	neutral
Betrieb des Gebäude: Wärme, Kälte und Stromverbrauch – maximales Potenzial an der Ost- > Süd- > West- > Nordfassade.								
Nord	+	+	+	+	neutral	neutral	neutral	neutral
Ost	+	+	+	+	neutral	neutral	neutral	neutral
Süd	+	+	+	+	neutral	neutral	neutral	neutral
West	+	+	+	+	neutral	neutral	neutral	neutral
Jährliches Stromerzeugungspotential – maximales Potenzial auf dem Dach > an der Süd- > Ost- > West- > Nordfassade.								
Nord	neutral	neutral	neutral	neutral	++	++	+	+
Ost	neutral	neutral	neutral	neutral	++	+++	+	++
Süd	neutral	neutral	neutral	neutral	++	++++	+	+++
West	neutral	neutral	neutral	neutral	++	+++	+	++
Winterstrom – maximales Potenzial an der Südfassade > auf dem Dach > an der Ost- / West- > Nordfassade.								
Nord	neutral	neutral	neutral	neutral	+	+	+	+
Ost	neutral	neutral	neutral	neutral	+	++	+	++
Süd	neutral	neutral	neutral	neutral	+	++++	+	++++
West	neutral	neutral	neutral	neutral	+	++	+	++
Erstellung: Graue Treibhausgasemissionen (THGE) – im Vergleich zur Referenzfassade wird bei einer bodengebundenen Fassadenbegrünung zusätzliches Material benötigt und die anderen Systeme sind emissionsintensiver als eine Faserzementplatte.								
Nord	-	-	--	--	----	----	----	----
Ost	-	-	--	--	----	----	----	----
Süd	-	-	--	--	----	----	----	----
West	-	-	--	--	----	----	----	----

Legende:
 + geringer Einfluss ++ mittlerer Einfluss +++ hoher Einfluss ++++ sehr hoher Einfluss
 ++++ positiver Einfluss ---- negativer Einfluss

Quantitative Aspekte Bewertung im Vergleich zur Referenzfassade (Faserzementplatte hinterlüftet)	Fassadenbegrünung				PV-Fassade			
	bodengebunden		wandgebunden		opake Module		transparente Module	
	verschattet	nicht verschattet	verschattet	nicht verschattet	verschattet	nicht verschattet	verschattet	nicht verschattet
Erstellung und Betrieb: gesamtheitliche Ökobilanz (LCC) – in Bezug auf THG mit einer 30-jährigen Amortisationszeit.								
Nord	-	-	--	--	--	+	---	neutral
Ost	-	-	--	--	++	+++	++	+++
Süd	-	-	--	--	+++	++++	++	+++
West	-	-	--	--	++	+++	+	+++
Investitionskosten – der verschiedenen Systeme im Vergleich, alle Fassadensysteme führen zu höheren Investitionskosten im Vergleich zur Referenzfassade								
Nord	-	-	----	----	----	----	----	----
Ost	-	-	----	----	----	----	----	----
Süd	-	-	----	----	----	----	----	----
West	-	-	----	----	----	----	----	----
Lebenszykluskosten (LCC) – Investitions-, Instandhaltungs-, Unterhalts- und Betriebskosten inkl. Restwert mit einer 30-jährigen Betrachtungsdauer...								
Nord	--	--	----	----	neutral	neutral	--	--
Ost	--	--	----	----	neutral	+	--	-
Süd	--	--	----	----	neutral	+	--	-
West	--	--	----	----	neutral	+	--	-
Temperatur an der Fassade (Sommerfall, südexponiert) – bezogen auf die maximalen Abweichungen an einem milden, sonnigen Tag (Messergebnisse, nur südexponiert durchgeführt)								
Süd	nicht gemessen	+++	nicht gemessen	+++	nicht gemessen	--	nicht gemessen	-
Einfluss auf das Umgebungsklima (Sommerfall) – bezogen auf die PET-Differenzen an einem Hitzetag (QKM-Simulation)								
Nord	+	+	++	++	+	+	neutral	neutral
Ost	+	+	++	+++	+	+	neutral	+
Süd	+	++	++	++++	+	+	neutral	+
West	+	+	++	+++	+	+	neutral	+

Legende:
 + geringer Einfluss ++ mittlerer Einfluss +++ hoher Einfluss ++++ sehr hoher Einfluss
 ++++ positiver Einfluss ---- negativer Einfluss

QUALITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

BIODIVERSITÄT

Fokus der Studie

Biodiversität ist die Voraussetzung für eine gesunde und natürliche Entwicklung aller Lebewesen und Ökosysteme. Die Betrachtung der Biodiversität erfolgt i.d.R. auf drei Ebenen: Lebensräume, Arten und genetische Vielfalt. Fassadenbegrünungen und die Kombination mit PV können hier einen positiven Beitrag zur Steigerung der Biodiversität leisten.²¹

Situation in der Schweiz

Die Schweiz beherbergt eine grosse biologische Vielfalt, welche u.a. durch die auf die abwechslungsreiche vielfältige Topografie, die grossen Höhenunterschiede mit ihren entsprechenden klimatischen Gegensätzen oder auch die extensive Nutzung des Kulturlands bis Mitte des letzten Jahrhunderts zurückzuführen ist. Trotzdem wird der aktuelle Zustand vom Bundesamt für Umwelt als unbefriedigend eingeschätzt. Insbesondere in Städten ist die Biodiversität aufgrund des hohen Bebauungsgrads, der umfangreichen Infrastruktur und dem hohen Anteil versiegelter Flächen eingeschränkt.²¹

Potential von Fassadenbegrünungen

- Grüne Fassaden schaffen zusätzliche Lebensräume und leisten einen positiven Beitrag für die lokale Artenvielfalt
- Der Einsatz verschiedener Pflanzenarten erhöht die positive Wirkung
- Fassadenbegrünungen können Grünflächen erweitern und Lebensräume verbinden («Grüngürtel», «Grünkorridor»)
- Grüne Fassaden können verschiedene Funktionen übernehmen, bspw. als Fress-, Nist- oder Fangplatz.

Die Kombination von PV und Begrünungen schafft ein zusätzliches Potential: Durch die Verschattung der Module können verschiedene Lebensräume mit unterschiedlichem Mikroklima entstehen.²²

Bewertung der Fassadensysteme

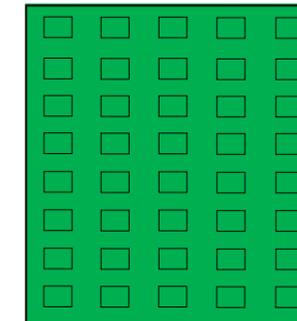
Die nachfolgende Grafik zeigt den Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme im Vergleich zur Referenzfassade auf den Aspekt «Biodiversität».



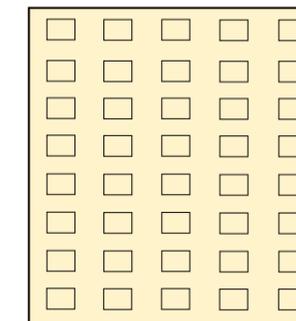
bodengebundene Begrünung
(sommergrün,
Wuchshöhe bis zum 3.OG)



wandgebundene Begrünung
(immergrün)



opake PV-Module



transparente PV-Module

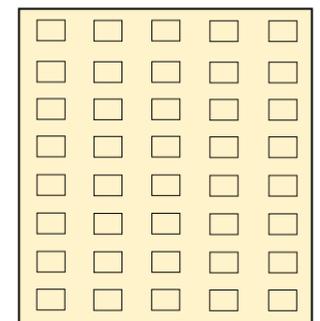


Abb. 72: Einfluss von begrünten und PV-Fassaden auf den Aspekt Biodiversität



Abb. 70: Verschiedene Funktionen einer Fassadenbegrünung für die Tierwelt (© Nicole Pfoser)



Abb. 71: Fassadenbegrünung als Nistplatz (© Roger Ingold)

Zusammenfassung

1. Fassadenbegrünungen können einen positiven Beitrag zur Förderung der Biodiversität leisten, insbesondere in städtischen Gebieten ist ein hohes Potential vorhanden.
2. PV-Fassaden bergen die Gefahr der Blendung, was bspw. für Vögeln negativ sein kann.
3. In Kombination mit Begrünung können PV-Module aber dazu beitragen, Lebensräume mit unterschiedlichem Mikroklima entstehen zu lassen.
4. Sommergrüne Pflanzen wirken nur saisonal, während immergrüne Pflanzenarten (i.d.R. bei wandgebunden Systemen) ganzjährig einen Effekt haben.
5. Bodengebundene Systeme sind in ihrer Wuchshöhe begrenzt, während wandgebundene Systeme i.d.R. in diversen Höhen eingesetzt werden können.

QUALITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

ATTRAKTIVITÄT DER AUSSENÄUßERE

Fokus der Studie

Gebäude und Aussenräume gestalten Städte und sind essenzielle Bestandteile für deren Aufenthalts- und Wohnqualität. Begrünungen und PV an Fassaden haben einen Einfluss auf den architektonischen Ausdruck des Baukörpers sowie die Lebensqualität in Städten.

Situation in der Schweiz

Aufgrund des hohen Angebots von Städten, welche Arbeitsplatz, Kultur, Freizeit und vieles mehr vereinen, zieht es immer mehr Menschen in urbane Gebiete. Dies könnte sich künftig noch verstärken.

Mit der zunehmenden Verdichtung von Städten gilt es umso mehr, eine hohe Aufenthaltsqualität sicherzustellen, um mögliche soziale Spannungen zu vermeiden, bspw. durch die Schaffung von Grünräumen, welche für Wohlbefinden und Gesundheit von Menschen essenziell sind.

→ [Weitere Informationen unter «Good-Practice: Gestaltung»](#)

Potential von Begrünungen

- Wohlbefinden und Gesundheit von Menschen steigern, Wahrnehmung der Natur mit allen Sinnen
- Stressreduktion
- Fördert sportliche Aktivitäten und Bewegung
- Steigert die Produktivität und Kreativität
- Grünräume dienen als soziale Treffpunkte
- Fassadenbegrünungen können als architektonisches Gestaltungsmittel eingesetzt werden
- Fassadenbild im Wandel: Blühzeiten, Wachstum der Pflanzen etc.

Potential von PV

- Einsatz als architektonisches Gestaltungsmittel
- Verschiedene Farben, Muster sowie Transparenzgrade bieten eine hohe gestalterische Vielfalt



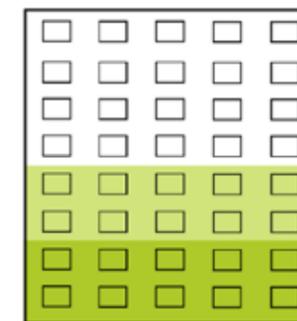
Abb. 73: Grünflächen in städtischen Gebieten (© AdobeStock)

Bewertung der Fassadensysteme

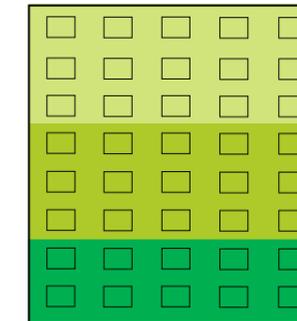
Die nachfolgende Grafik zeigt den Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme auf den Aspekt «Attraktivität der Aussenräume» im Vergleich zur Referenzfassade.



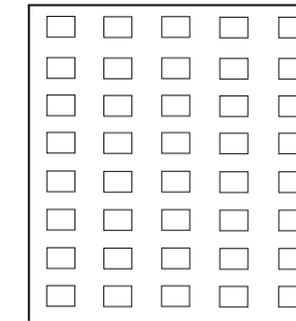
bodengebundene Begrünung
(sommergrün,
Wuchshöhe bis zum 3.OG)



wandgebundene Begrünung
(immergrün)



opake PV-Module



transparente PV-Module

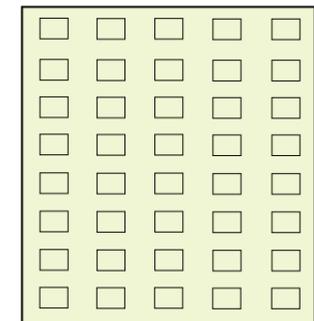


Abb. 74: Einfluss von begrünter und PV-Fassaden auf den Aspekt Attraktivität der Aussenräume

Zusammenfassung

1. Fassadenbegrünungen haben ein hohes Potential zur Gestaltung attraktiver und lebenswerter Aussenräume.
2. Das grösste Potential haben Begrünungen in den Bereichen, die nahe am Menschen sind (i.d.R. in den unteren Geschosse). An der Fassade können grüne Flächen gezielt eingesetzt werden und einen gestalterischen Mehrwert auf verschiedenen Ebenen leisten (Stadtraum, Baukörper, wechselndes Fassadenbild etc.).
3. PV-Module können insbesondere als architektonisches Gestaltungsmittel eingesetzt werden. Bei opaken Modulen gibt es verschiedene Farben und Muster. Im Vergleich zur Referenz (Faserzementplatte) sind hier ähnliche Möglichkeiten vorhanden. Transparente Module haben hier einen zusätzlichen Gestaltungsaspekt (Transparenzgrad).
4. Sommergrüne Pflanzen verändern sich mit der Jahreszeit stark und verlieren ihre Blätter in den Wintermonaten. Immergrüne Pflanzen behalten ihr Blattwerk über das ganze Jahr (Fassadenbild bleibt weitestgehend erhalten). Bodengebundene Systeme sind zudem in ihrer Wuchshöhe begrenzt.

QUALITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

REGENWASSERRÜCKHALT

Fokus der Studie

Durch die Versiegelung von Bodenflächen, was insbesondere in Städten ein ausgeprägtes Phänomen darstellt, nimmt die Durchlässigkeit und Porosität der Oberflächen ab. Das anfallende Regenwasser kann nicht mehr versickern, der oberflächliche Abfluss steigt und wird in die Kanalisation geleitet. Dies kann zum Einen zu einer hohen Belastung der Kanalisation führen, andererseits werden die Niederschläge dem lokalen Wasserkreislauf entzogen, wodurch die Verdunstungs- und Grundwasserneubildungsrate sinkt.²³

Situation in der Schweiz

Seit der ersten Arealstatistikerhebung 1985 hat der Anteil der gesamten versiegelten Fläche in der Schweiz um 39.9 % zugenommen. Dies liegt an der Zunahme von Wohnflächen und Verkehrswegen sowie am Strukturwandel in der Landwirtschaft.²⁴ Besonders in Städten nehmen die versiegelten Flächen einen Grossteil der Bodenfläche ein.

Potential von Fassadenbegrünungen

Pflanzen und Grünflächen können anfallendes Regenwasser aufnehmen, das Kanalnetz entlasten und natürliche Wasserkreisläufe fördern.



Abb. 75: Oberflächenabfluss, Versickerung und Verdunstungsrate bei natürlichen Böden (links) und versiegelten Flächen (rechts). (© DGNB)

Massnahmen zum Regenwassermanagement

Es gibt verschiedene Massnahmen, für einen guten Umgang mit anfallenden Regenwasser in Städten. Dazu gehört u.a.

- Bodenflächen entsiegeln
- Nutzung von wasserdurchlässigen Belägen
- Einsatz von Begrünungen (Bäume und Sträucher, Grünflächen, Fassaden- und Dachbegrünungen)



Abb. 76: Aufnahme und Verdunstung von Regenwasser über Bäume, Fassaden- und Dachbegrünungen (© Milosovicova 2010)

Bewertung der Fassadensysteme

Die nachfolgende Grafik zeigt den Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme im Vergleich zur Referenzfassade auf den Aspekt «Regenwasserrückhalt».

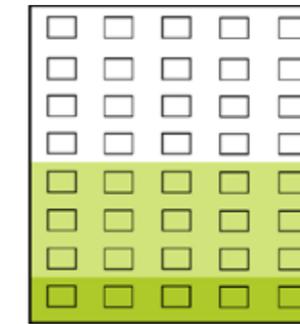


bodengebundene Begrünung

(sommergrün, Wuchshöhe bis zum 3.OG)

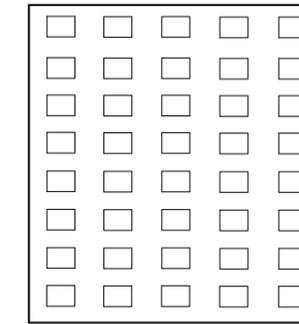


Nord/West



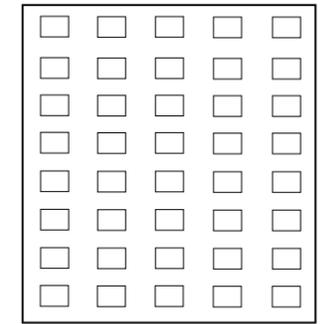
Süd/Ost

opake PV-Module



alle Orientierungen

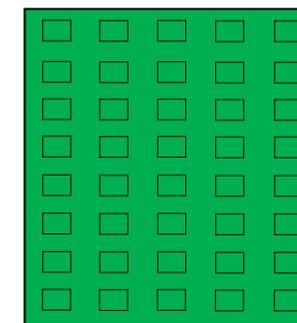
transparente PV-Module



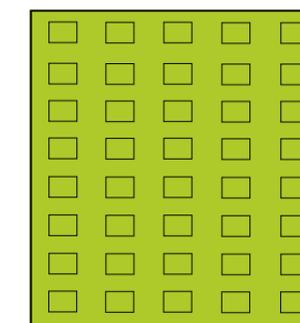
alle Orientierungen

wandgebundene Begrünung

(immergrün)



Nord/West



Süd/Ost

Abb. 77: Einfluss von begrünter und PV-Fassaden auf den Aspekt Regenwasserrückhalt

Zusammenfassung

1. Fassadenbegrünungen können einen positiven Beitrag zur Infiltration von Regenwasser leisten. Das grösste Potential entsteht an den Wetterseiten (Schweiz: Nord/Nord-West).
2. Während wandgebundenen Systeme die gleiche Wirkung an der ganzen Fassade erzielen können, liegt das grösste Potential zur Infiltration bei bodengebundenen Systemen in Bodennähe (Substratschicht ist für die Infiltration entscheidend).
3. PV-Fassaden können diesbezüglich keinen Mehrwert leisten.

QUALITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

LÄRM IN STÄDTEN

Fokus der Studie

Gebäudefassaden können einen Einfluss auf die Schallausbreitung im Aussenraum haben. In dieser Studie wird der Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme in einer engen Strassenschlucht untersucht.

Situation in der Schweiz

Laut dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) sind in der Schweiz ca. 1 Million Menschen von lästigem oder schädlichem Lärm betroffen, 90 % davon leben in Städten oder Agglomerationen. Hauptursache ist insbesondere Strassenlärm.

Schallabsorption verschiedener Oberflächen

Oberflächen können die eintreffenden Schallwellen absorbieren bzw. dämpfen und/oder reflektieren. Sie leisten somit einen entscheidenden Beitrag zur Schallausbreitung im Aussenraum. Im Allgemeinen kann unterschieden werden zwischen akustisch harten, glatten und akustisch weichen, unebenen/porösen Oberflächen.

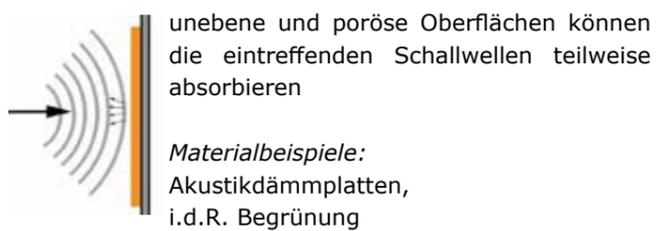
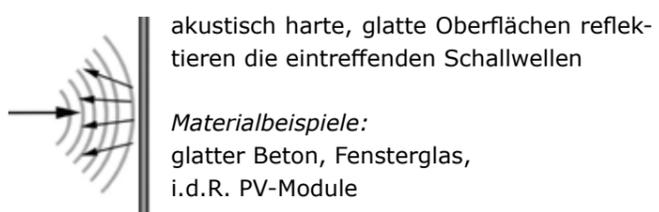


Abb. 78: Wirkungsweise von Schallreflexion und Schallabsorption im Vergleich, inkl. Materialbeispiele

Typische Emissionsquellen und deren Schallpegel²⁵

Uhr ticken	20 dB (kaum hörbar)
Gespräch	50 dB (eher leise)
Büro	60 dB (mässig laut)
Strassenverkehr	80 dB (sehr laut)
Bauarbeiten	100 dB (sehr laut bis unerträglich)
Flugverkehr	120 dB (unerträglich)

Schallausbreitung in Strässenräumen

Das Potential zur Schallabsorption ist abhängig von der Nähe zur Emissionsquelle. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Schallausbreitung am Beispiel einer Strasse in einer Häuserschlucht.

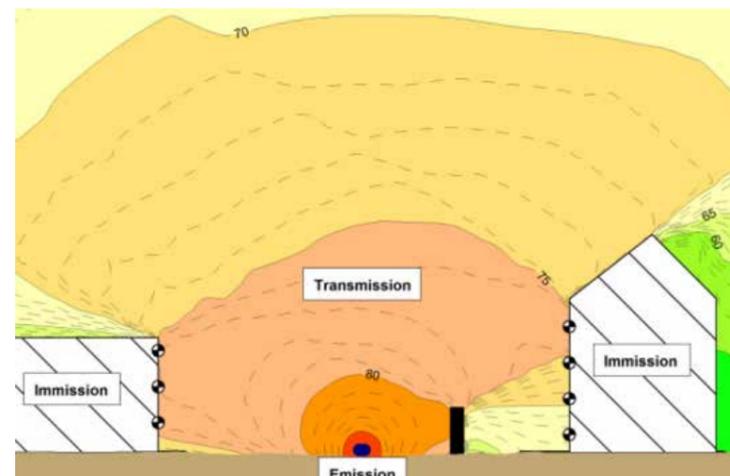
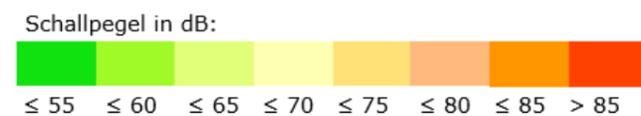
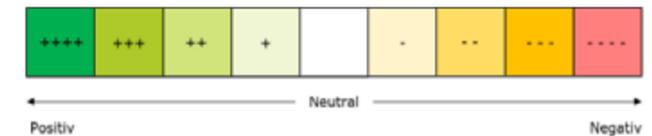


Abb. 79: Schallausbreitung am Beispiel einer Strasse in einer Häuserchlucht, Pegelklassen in 5 dB-Stufen (© Berliner Leitfaden - Lärmschutz in der verbindlichen Bauleitplanung 2017)

Bewertung der Fassadensysteme

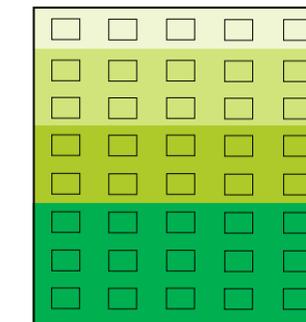
Die nachfolgende Grafik zeigt den Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme auf den Aspekt «Lärm in Städten» im Vergleich zur Referenzfassade, dargestellt am Beispiel einer engen Strassenschlucht.



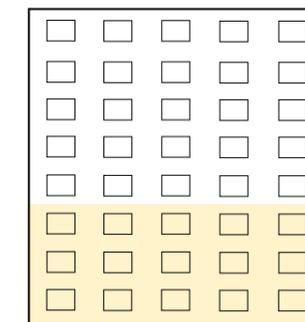
bodengebundene Begrünung
(sommergrün,
Wuchshöhe bis zum 3.OG)



wandgebundene Begrünung
(immergrün)



opake PV-Module



transparente PV-Module

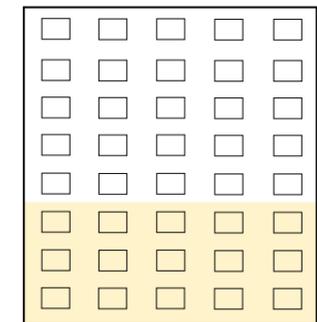


Abb. 80: Einfluss von begrünter und PV-Fassaden auf den Aspekt Lärm in Städten.

Zusammenfassung

- Fassadenbegrünungen können einen positiven Beitrag zur Reduktion von Lärm in Städten leisten.
- PV-Module haben eine akustisch harte, glatte Oberfläche, weshalb Schallwellen zu einem grossen Teil reflektiert werden.
- Die Nähe zur Emissionsquelle ist entscheidend: Die positive Wirkung von Begrünungen ist grösser unmittelbar an der Emissionsquelle (i.d.R. in den unteren Geschossen), während der negative Reflektionseffekt von PV-Modulen kleiner ist in höherer Entfernung vom Lärm (i.d.R. in den oberen Geschossen).
- Pflanzenarten, welche für bodengebundene Systeme eingesetzt werden, sind i.d.R. sommergrün, weshalb der positive Effekt in den Wintermonaten geringer ist.
- Werden für Fassadenbegrünung immergrüne Pflanzenarten gewählt (i.d.R. bei wandgebundenen Systemen), so besteht der positive Effekt ganzjährig.

QUALITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

LUFTQUALITÄT

Fokus der Studie

Der Einfluss von Begrünungen auf die Reduktion von Luftschadstoffen, wie Ozon, Feinstaub, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid sowie CO₂ und das Potential zur O₂-Produktion wurde betrachtet.

Situation in der Schweiz

Laut dem Bundesamt für Umwelt, hat sich die Luftqualität in der Schweiz seit Mitte der 1980er-Jahre stetig verbessert. Die Grenzwerte für Feinstaub, Stickstoffdioxid sowie Schwefeldioxid werden nicht oder nur an vereinzelten Orten überschritten. Der Grenzwert für Ozon wird hingegen in vielen Teilen der Schweiz überschritten. Hinzu kommt die Belastung der Luft durch CO₂ bspw. durch den Strassenverkehr.

Potential von Fassadenbegrünungen

(Werte aus der Literatur^{26,27})

□ Ozon-Bindung	0.5 – 4.4 g/m ² a
□ Feinstaub	0.3 – 2.7 g/m ² a
□ Stickstoffdioxid	0.25 – 2.25 g/m ² a
□ Schwefeldioxid	0.45 g/m ² a
□ CO ₂ -Bindung	2.3 kg CO ₂ /m ² a
□ O ₂ -Produktion	1.7 kg O ₂ /m ² a

Das Potential kann dabei in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren stark variieren, u.a. Pflanzenart, Grünvolumen, Schadstoffbelastung, Nähe zur Emissionsquelle etc.

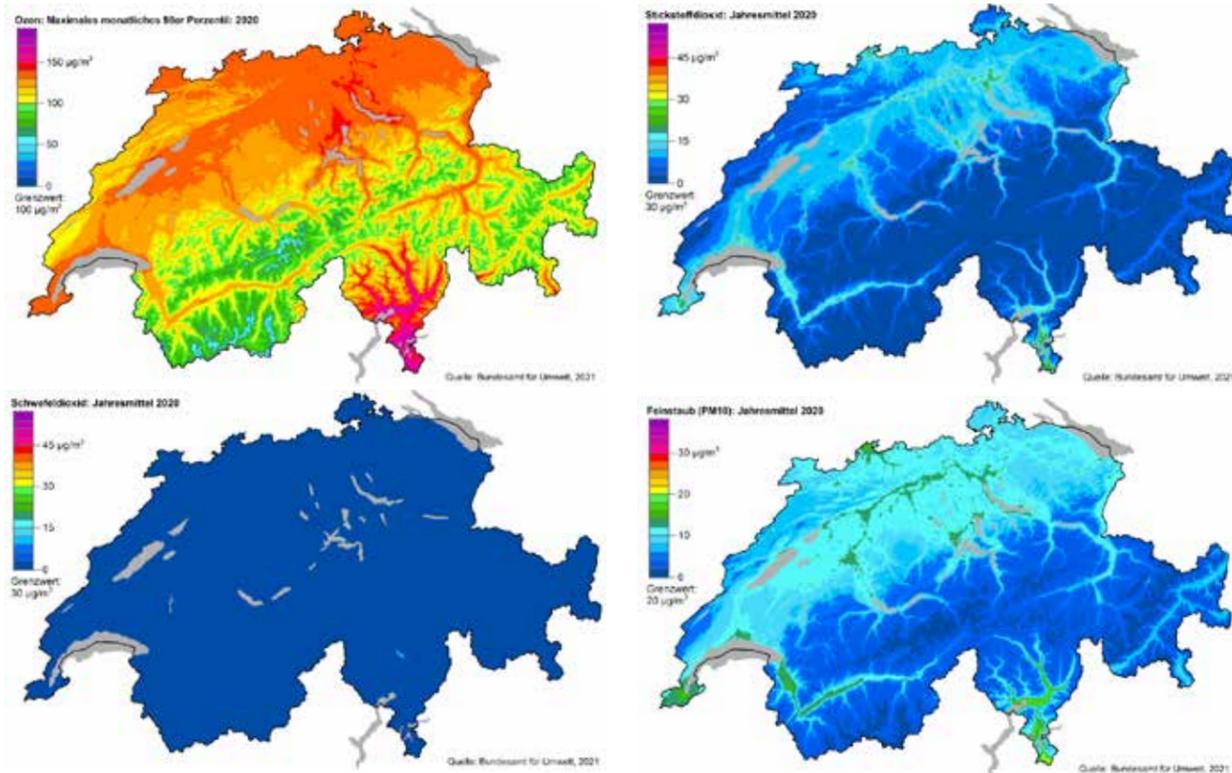


Abb. 81: Karten Feinstaub (PM10), Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid und Ozon in der Schweiz, Jahresmittel für das Jahr 2020 (© BAFU)

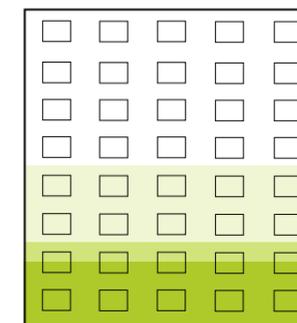
Bewertung der Fassadensysteme

Die nachfolgende Grafik zeigt den Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme auf den Aspekt «Luftqualität» im Vergleich zur Referenzfassade, dargestellt am Beispiel einer engen Strassenschlucht.



bodengebundene Begrünung

(sommergrün,
Wuchshöhe bis zum 3.OG)

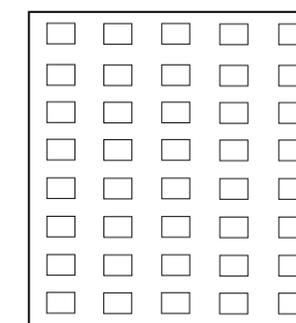


wandgebundene Begrünung

(immergrün)



opake PV-Module



transparente PV-Module

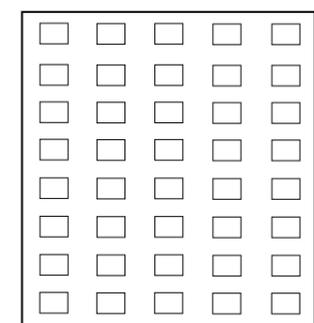


Abb. 82: Einfluss von begrünten und PV-Fassaden auf den Aspekt Luftqualität

Zusammenfassung

1. Fassadenbegrünungen können einen positiven Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität leisten.
2. PV-Module können keinen direkten Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität beitragen. Durch die Nutzung von Solarenergie können jedoch CO₂-Emissionen vermieden werden (indirekt positiver Einfluss).
3. Die Nähe zur Emissionsquelle ist entscheidend: Der positive Einfluss von Begrünungen kann in Strassenschluchten vor allem bis zu einer Höhe von ≤ 4.5 m erfolgen.
4. In engen Strassenquerschnitten kann es durch dichte Baumstrukturen dazu kommen, dass es zu einem Stau von Luftschadstoffen unterhalb der Baumkrone kommen kann (Luftzirkulation wird eingeschränkt). Fassadenbegrünungen können in einem solchen Kontext zielführender sein.
5. Sommergrüne Pflanzen wirken nur saisonal, während immergrüne Pflanzenarten (i.d.R. bei wandgebundenen Systemen) ganzjährig einen Effekt haben.

QUANTITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM INNENRAUM: TEMPERATUREN UND ÜBERHITZUNGSSTUNDEN

Fassadenbegrünungen können einen positiven Effekt auf das thermische Wohlbefinden von Innenräumen nehmen. Insbesondere in den Sommermonaten trägt eine Begrünung dazu bei, die Temperaturen und Überhitzungsstunden zu senken.

Situation in der Schweiz

Durch den Klimawandel wird die Hitzebelastung in Zukunft steigen, insbesondere in Städten können sich Hitzeinseln mit Extremtemperaturen bilden. Dies hat auch einen Einfluss auf das Innenraumklima. Es ist mit einem Anstieg der Innenraumtemperaturen zu rechnen. Hitzetage könnten künftig je nach Region bis zu viermal so häufig auftreten (Abbildung 84). Gebäude müssen auf das zukünftige Klima angepasst geplant werden.

Einfluss von Fassadenbegrünungen auf das Innenraumklima

- Verbesserter Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade (geringerer U-Wert): Je schlechter die Fassade gedämmt ist, desto grösser ist der Effekt der Begrünung
- Verdunstungskühlung über Pflanzen und Substrat senkt die Temperatur an der Fassade, was ebenso zu einer Minderung der Innenraumtemperatur führt
- Begrünungen können zu einer Verschattung der Fensterflächen führen, was die in einen Raum einfallende solare Strahlung reduziert (Abbildung 83)

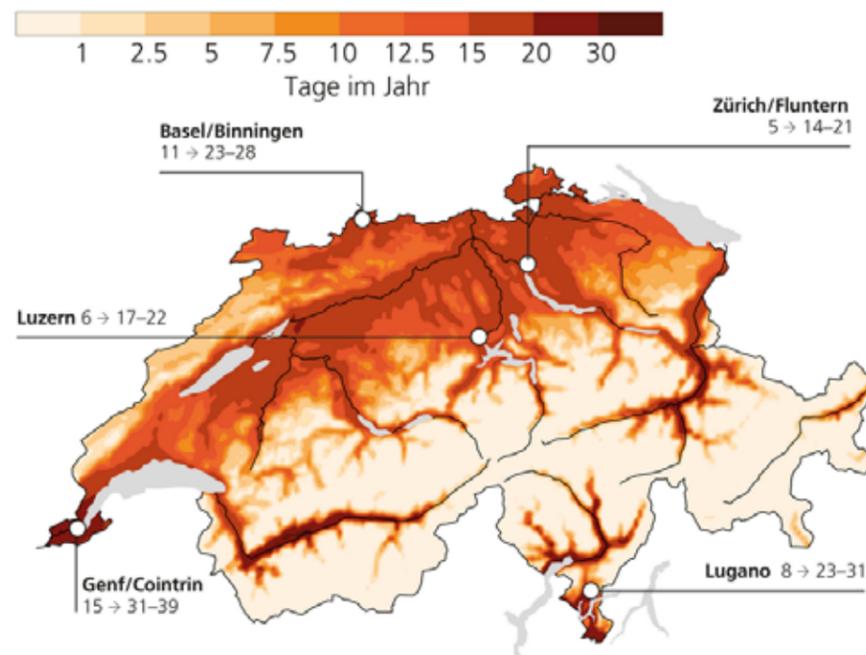
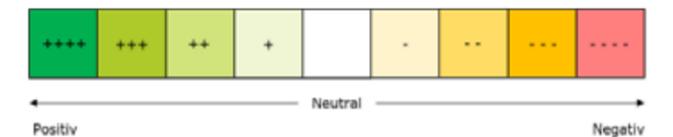


Abb. 83: Triemli Spital in Zürich (© Hannes Henz Architekturfotograf)

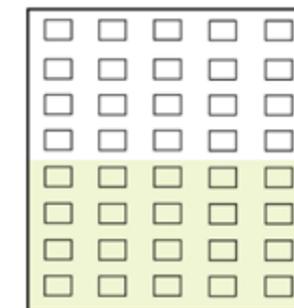
Abb. 84: Änderung der Anzahl Hitzetage (Temperaturen über 30 °C), Prognose 2060 ohne Klimaschutzmassnahmen, dargestellt ist der Vergleich gegenüber 1981-2010 (30-jähriges Mittel) (© National Center for Climate Services NCCS)

Bewertung der Fassadensysteme

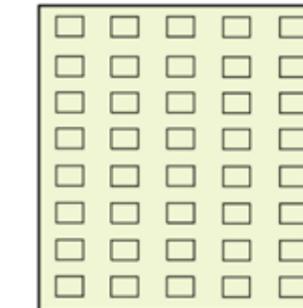
Die nachfolgende Grafik zeigt den Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme auf den Aspekt «Thermisches Wohlbefinden im Innenraum: Temperaturen und Überhitzungsstunden» im Vergleich zur Referenzfassade.



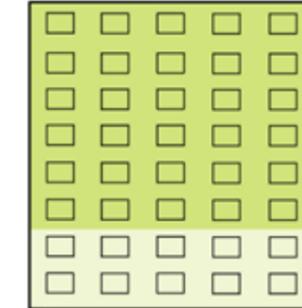
bodengebundene Begrünung
(Wuchshöhe bis zum 3.OG, alle Ausrichtungen)



wandgebundene Begrünung
(Ausrichtung Nord)



wandgebundene Begrünung
(Ausrichtung Ost, Süd und West)



transparente und opake PV-Module (alle Ausrichtungen)

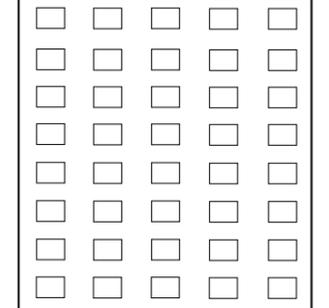


Abb. 85: Einfluss von begrünten und PV-Fassaden auf das Innenraumklima

Zusammenfassung

1. Fassadenbegrünungen wirken sich positiv auf die Innenraumtemperatur und die Anzahl Überhitzungsstunden aus. Bei einem Neubau mit einer gut gedämmten Fassade ist dieser Effekt jedoch als gering einzustufen.
2. Die wandgebundene Fassadenbegrünung ist generell effektiver als die bodengebundene Bepflanzung. Die Wirkung ist in den Orientierungen Ost, Süd und West ab dem 2. OG am grössten, da die Verschattung durch die Nachbargebäude geringer ist und somit mehr Solarstrahlung auf die Fassaden trifft.
3. Auf eine detaillierte Analyse der PV-Fassaden wurde verzichtet. Obwohl die Temperatur an den Modulen höher sein kann, hat dies kaum Auswirkungen auf den Innenraumkomfort, insbesondere bei einem guten Gebäudestandard.

Bemerkung:

Sollen die thermischen Eigenschaften des Gebäudes verbessert werden, ist jedoch zu bedenken, dass eine (zusätzliche) Dämmung der Aussenhülle effektiver ist als eine Fassadenbegrünung und entsprechend bevorzugt werden sollte.

QUANTITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

BETRIEB DES GEBÄUDES: WÄRME, KÄLTE UND STROMVERBRAUCH

Fassadenbegrünungen haben einen Einfluss auf den Heizwärme- und Klimakältebedarf sowie den Heizwärme- und Klimakälteleistungsbedarf.

Situation in der Schweiz

Der Klimawandel führt zu steigenden Durchschnittstemperaturen in den kommenden Jahrzehnten (Abbildung 86), was wiederum zu einer grösseren Anzahl an Kühlgradtagen, also Stunden, in denen Gebäude gekühlt werden müssen, führen wird. Dadurch ist zu erwarten, dass mehr Kühlgeräte installiert werden, was den Energiebedarf für die Gebäudekühlung weiter erhöhen wird. Um den Energiebedarf für die Heizung und Kühlung zu senken, sind zukunftsnahe Lösungen gefragt.

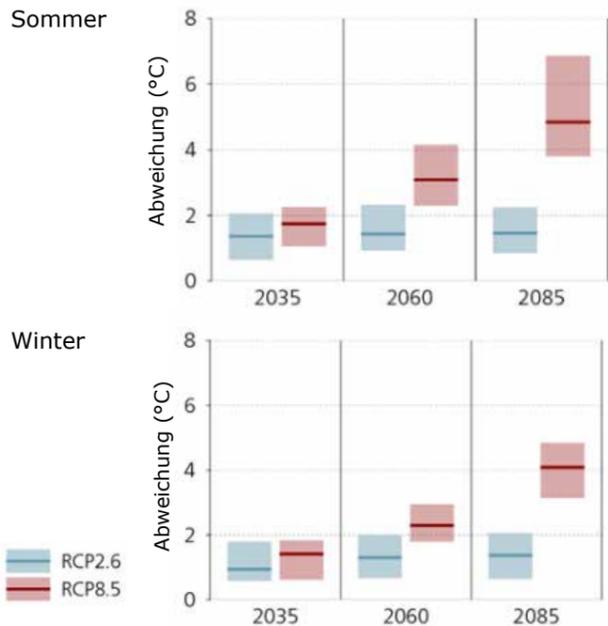


Abb. 86: Änderung der mittleren Temperatur gegenüber heute (Normperiode 1981 bis 2010) für die Jahreszeiten Winter (Dezember bis Februar) und Sommer (Juni bis August) aufgrund von Klimasimulationen für die Emissionsszenarien RCP2.6 und RCP8.5. (© Klimaszenarien CH2018)

Einfluss von Fassadenbegrünungen auf den Energiebedarf im Gebäudebetrieb

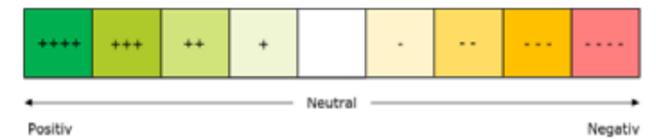
- Sommerfall: Begrünungen wirken sich positiv auf den Klimakältebedarf und den Klimakälteleistungsbedarf aus.
- Winterfall: Bei gut gedämmten Gebäuden mit einem hohen Fensteranteil (Neubauten), führt die Begrünung aufgrund der Beschattung und der dadurch verminderten solaren Einstrahlung zu einem Anstieg des Heizwärme- bzw. des Heizwärmeleistungsbedarfs. Bei schlecht gedämmten Gebäuden mit einem geringeren Fensterflächenanteil (Altbauten), wirkt die Begrünung positiv (geringerer Energie- und Leistungsbedarf).

Allgemein gilt

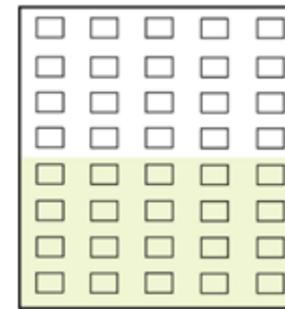
- Verbesserter Wärmedurchgangskoeffizient der Fassade (geringerer U-Wert) hat insbesondere bei Gebäuden mit einer schlecht gedämmten Hülle einen spürbaren positiven Effekt auf den Energiebedarf. Zur Verbesserung der thermischen Eigenschaften der Hülle ist eine (zusätzliche) Dämmung jedoch deutlich effektiver.
- Eine Verschattung der Fensterflächen durch Begrünungen kann die solaren Einträge mindern. In den Sommermonaten ist dies positiv, in den Wintermonaten jedoch zu vermeiden. Sommergrüne Pflanzen können hier eine gute saisonale Lösung darstellen.

Bewertung der Fassadensysteme

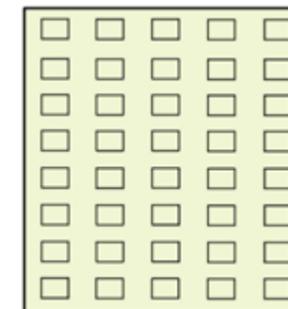
Die nachfolgende Grafik zeigt den Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme auf den Aspekt «Betrieb des Gebäudes: Wärme, Kälte und Stromverbrauch» im Vergleich zur Referenzfassade.



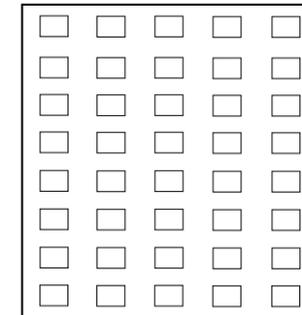
bodengebundene Begrünung
(Wuchshöhe bis zum 3. OG, alle Ausrichtungen)



wandgebundene Begrünung
(alle Ausrichtungen)



opake PV-Module
(alle Ausrichtungen)



transparente PV-Module
(alle Ausrichtungen)

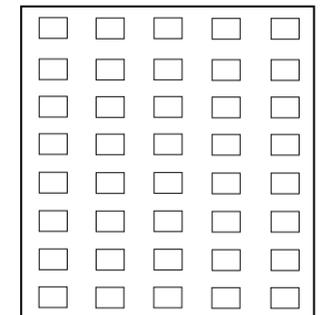


Abb. 87: Einfluss von begrünter und PV-Fassaden auf den Energiebedarf und den Leistungsbedarf

Zusammenfassung

1. Der Einfluss der Fassadenbegrünungen ist aufgrund der guten thermischen Hülle sehr gering, insbesondere bei der bodengebundenen Begrünung.
2. Beide Begrünungen führen beim betrachteten Neubau zu einer Reduktion des Energiebedarfs und des Leistungsbedarfs im Sommer, jedoch zu einer Erhöhung im Winter. Insgesamt ist der Effekt über das Jahr gesehen aber leicht positiv, da die Kühlung in Zukunft mehr Gewicht haben wird.
3. Aufgrund des geringen Effekts der Begrünungen wurde auf eine farbliche Abstufung in den Geschossen und Orientierungen verzichtet. Die positive Wirkung wird aber insbesondere an Fassadenflächen mit direkter Sonneneinstrahlung am grössten sein.
4. Der Einfluss der PV-Fassaden kann im Vergleich zur Referenzfassade (hinterlüftete Fassade mit Faserzementplatten) als neutral bewertet werden.

QUANTITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

STROMPRODUKTION DER PV-FASSADE, SOLARPOTENTIAL UND SAISONALE BETRACHTUNG

Das Stromerzeugungspotential von PV-Modulen ist abhängig vom Wirkungsgrad, der Orientierung und davon, ob Fassadenflächen durch Nachbargebäude, natürliche oder topografische Elemente verschattet werden (Abbildung 88).

Situation in der Schweiz

Die Energiestrategie 2050 fördert den Ausbau der erneuerbaren Energien. Bis zum Jahr 2050 sollen über 40 Prozent des zukünftigen Strombedarfs durch Photovoltaik gedeckt werden.²⁸ PV-Fassaden ermöglichen zudem eine Steigerung der bisher zu geringen inländischen Stromproduktion im Winter und können künftig einen wichtigen Beitrag im Hinblick auf die Energiestrategie 2050 leisten.

Strompotential von PV-Fassaden

- Höchstes Potential in den Ausrichtungen Süd, dann Ost, dann West (in dieser Reihenfolge) und an nicht verschatteten Bereichen der Fassade.
- An einer Nordfassade und an verschatteten Bereichen der Fassade (untere Geschosse) können ebenso Erträge erzielt werden, diese sind jedoch deutlich geringer.

Jährliches Stromerzeugungspotential von PV-Modulen (Wirkungsgrad 20%)

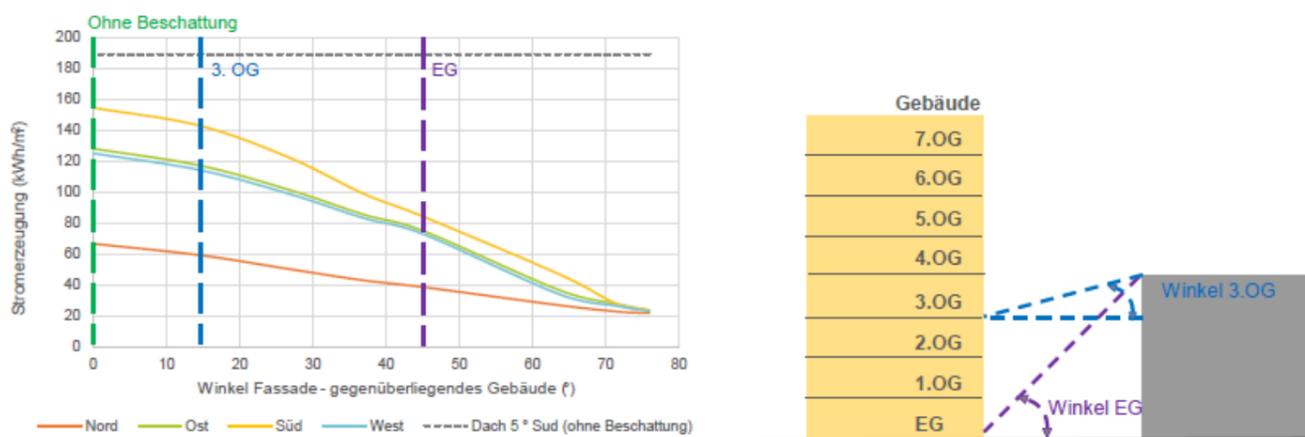


Abb. 88: Jährliche Stromerzeugung in kWh/m² an einer Fassade (vertikale Fläche, 90 °) in den vier Ausrichtungen Nord, Ost, Süd und West. Eine Verschattung durch Nachbargebäude wurde mitberücksichtigt und wurde durch den Winkel zwischen den beiden Gebäudefassaden dargestellt (die blau-gestrichelte Linie stellt den Winkel im 3. OG und die lila-gestrichelte Linie den im EG dar, Annahme: beide Fassaden sind parallel zueinander). Zum Vergleich wurde ebenso die jährliche Stromerzeugung über ein Flachdach mit nach Süden ausgerichteten Modulen mit einem Winkel von 5° dargestellt (grau-gestrichelte Linie).

Saisonale Betrachtung

Neben einer ganzjährigen Betrachtung sollte bei PV-Fassaden ebenso eine saisonale Analyse des Stromerzeugungspotential stattfinden. Abbildung 89 zeigt das Stromerzeugungspotential von PV-Modulen (Wirkungsgrad 20 %) in Abhängigkeit von der Orientierung und einer möglichen Verschattung (Geschossigkeit).

Im Herbst und Winter kann über eine Südfassade ab dem 3. OG ein höherer Stromertrag als über eine PV-Dachanlage erreicht werden. Im Sommer und Frühling ist das Stromerzeugungspotential über das Dach höher als an der Fassade.

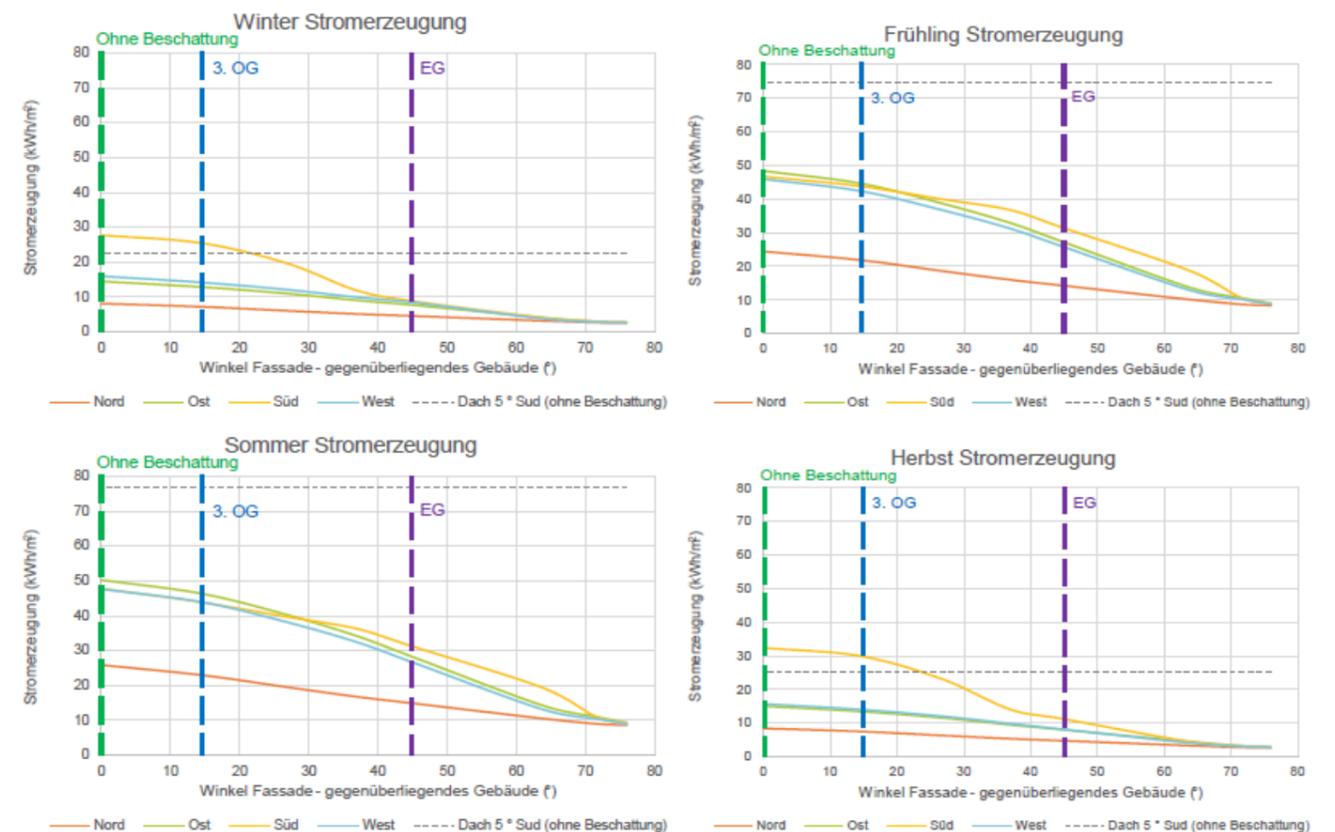


Abb. 89: Saisonale Stromerzeugung in kWh/m² an einer Fassade (vertikale Fläche, 90 °) in den vier Ausrichtungen Nord, Ost, Süd und West. Eine Verschattung durch Nachbargebäude wurde mitberücksichtigt und wurde durch den Winkel zwischen den beiden Gebäudefassaden dargestellt (die blau-gestrichelte Linie stellt die saisonale Stromerzeugung im 3. OG und die lila-gestrichelte Linie die im EG dar, Annahme: beide Fassaden sind parallel zueinander). Zum Vergleich wurde ebenso die saisonale Stromerzeugung über ein Flachdach mit nach Süden ausgerichteten Modulen mit einem Winkel von 5° dargestellt (grau-gestrichelte Linie).

QUANTITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

Betrachtung im Tagesverlauf

Durch eine gezielte Anordnung der PV-Module an der Gebäudefassade kann ein höherer und gleichmässiger Ertrag über den Tag erreicht werden. Eine Ostfassade erhält die grösste Sonneneinstrahlung am Morgen, eine Westfassade am Nachmittag. Eine Nordfassade erhält über den Tag i.d.R. nur eine diffuse Strahlung, ausgenommen ist der Zeitraum um die Sommersonnenwende, wo am frühen Morgen und am späten Nachmittag direkte

Sonneneinstrahlung auf die Fassade treffen kann. Eine Südfassade kann – ebenso wie eine Dachfläche – den ganzen Tag über eine direkte Sonneneinstrahlung erhalten, insbesondere zur Mittagszeit ist diese am intensivsten. Durch eine gezielte Anordnung der PV-Module an der Fassade kann die Stromerzeugung im Winter (Südfassade) und der Eigenverbrauch über den Tag (Ost- und Westfassade) erhöht werden.

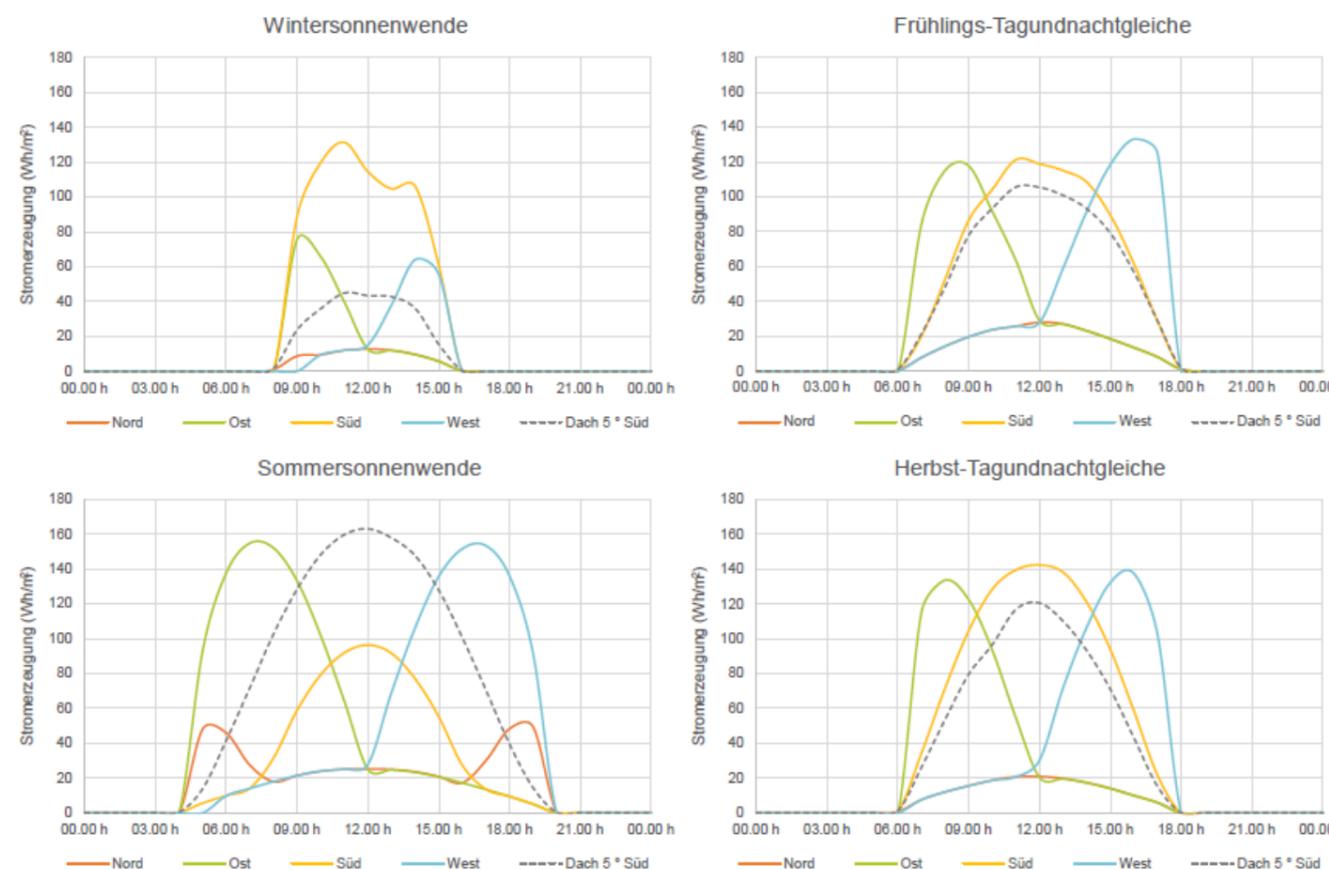
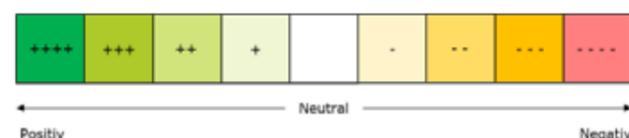


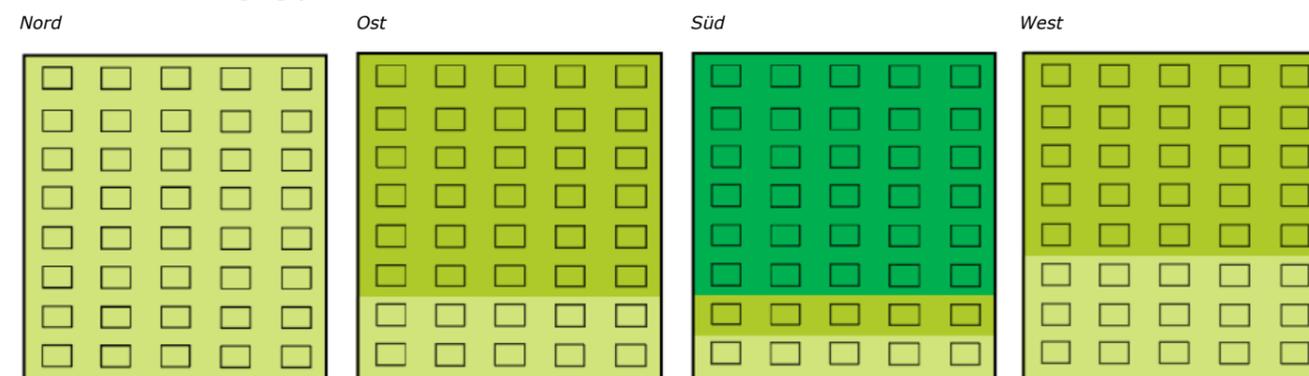
Abb. 90: Stromerzeugungspotential im Tagesverlauf in Wh/m² an einer Fassade (vertikale Fläche, 90 °) in den vier Ausrichtungen Nord, Ost, Süd und West ohne Verschattung (Kontext/Nachbargebäude wurden nicht mitberücksichtigt). Dargestellt sind vier Zeiten des Jahres, dazu gehört der Zeitraum um die Wintersonnenwende, die Frühlings-Tagundnachtgleiche, die Sommersonnenwende und die Herbst-Tagundnachtgleiche. Zum Vergleich wurde ebenso ein Flachdach mit nach Süden ausgerichteten PV-Modulen mit einem Winkel von 5 ° dargestellt.

Bewertung der Fassadensysteme

Die nachfolgende Grafik zeigt das Stromerzeugungspotential einer PV-Fassade (Wirkungsgrad 20 %) über das Jahr sowie in den Wintermonaten im Vergleich zur Referenzfassade. Die Bewertung erfolgte anhand der Berechnungsergebnisse für die jährliche Stromerzeugung (Abbildung 88) sowie für den Winterstrom (Abbildung 89, links oben).



Jährliches Stromerzeugungspotential



Winterstrom

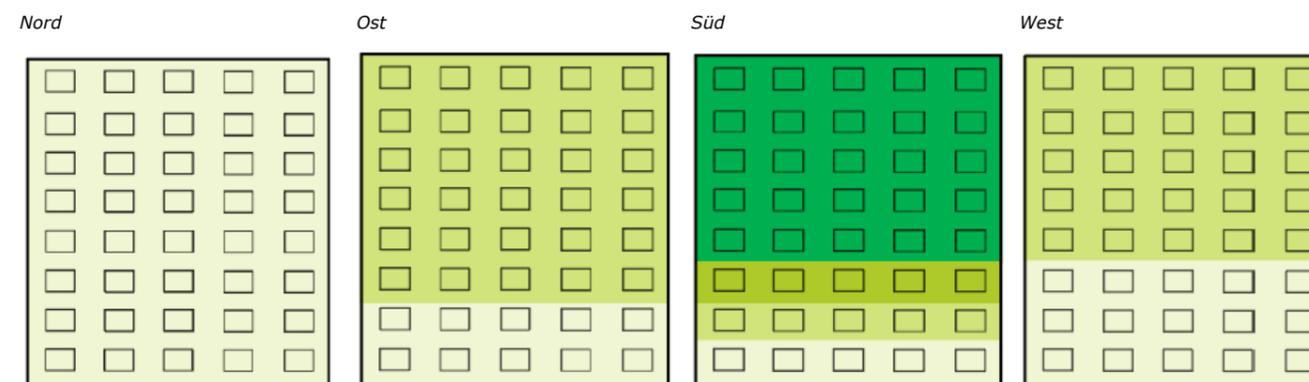


Abb. 91: Jährliches Stromerzeugungspotential und Winterstrom von PV-Fassaden in verschiedenen Orientierungen und Geschossen.

QUANTITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

ERSTELLUNG UND BETRIEB: GESAMTHEITLICHE ÖKOBILANZ (LCA)

Eine Ökobilanz betrachtet die Umweltbeeinträchtigung von dem gesamten Lebensweg eines Produkts, d.h. von der Rohstoffgewinnung und der Herstellung über den Transport und die Nutzung bis zur Entsorgung. Fassadensysteme können je nach System die Ökobilanz eines Gebäudes stark beeinflussen.

Ökobilanz der Fassadensysteme

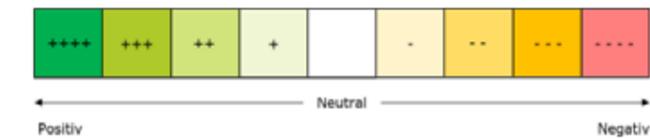
Bei der Erstellung, dem Unterhalt sowie dem Betrieb führen Fassadenbegrünungen sowie PV-Fassaden zu einer Umweltbelastung. Abbildung 92 zeigt die THGE (Treibhausgasemissionen), PEne (nicht erneuerbare Primärenergie) und UBP'21 (Umweltbelastungspunkte) der im Rahmen der Studie analysierten Systeme.

Empfehlungen für die Systemwahl

- Wenig materialintensive Systeme und eine bewusste Materialwahl (wo möglich, wiederverwendbare oder nachwachsende Materialien einsetzen)
- Systeme mit geringem Konstruktionsaufwand bevorzugen (Statik)
- PV-Systeme: hoher Wirkungsgrad und eine gezielte Anordnung der Module (Orientierungen Süd, Ost und West ohne Verschattungen)

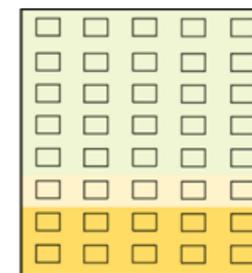
Bewertung der Fassadensysteme

Die nachfolgende Grafik zeigt den Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme auf den Aspekt «Gesamtheitliche Ökobilanz» im Vergleich zur Referenzfassade. Dargestellt ist der Einfluss bezogen auf die THGE für Erstellung, Unterhalt und Betrieb.

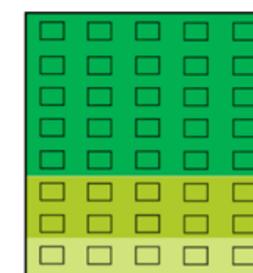


opake PV-Module

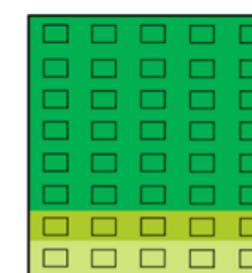
Nord



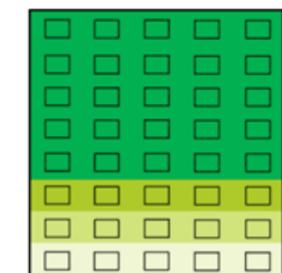
Ost



Süd

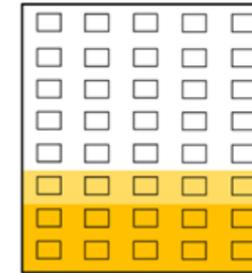


West

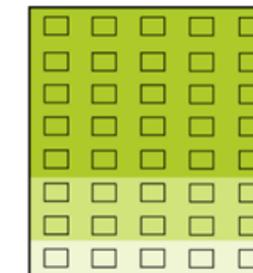


transparente PV-Module

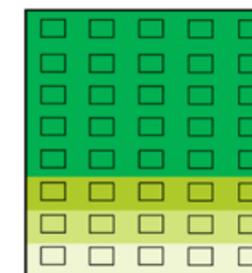
Nord



Ost



Süd



West

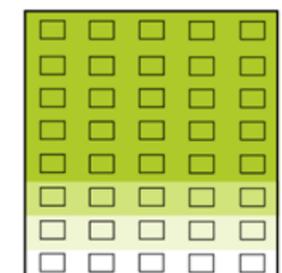
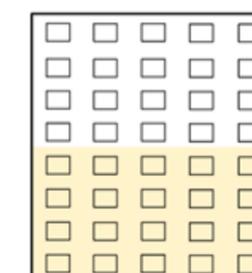


Abb. 93: THGE für die Erstellung, den Unterhalt und den Betrieb der vier Fassadensystemen

bodengebundene Begrünung

(Wuchshöhe bis zum 3.OG, alle Ausrichtungen)



wandgebundene Begrünung

(alle Ausrichtungen)

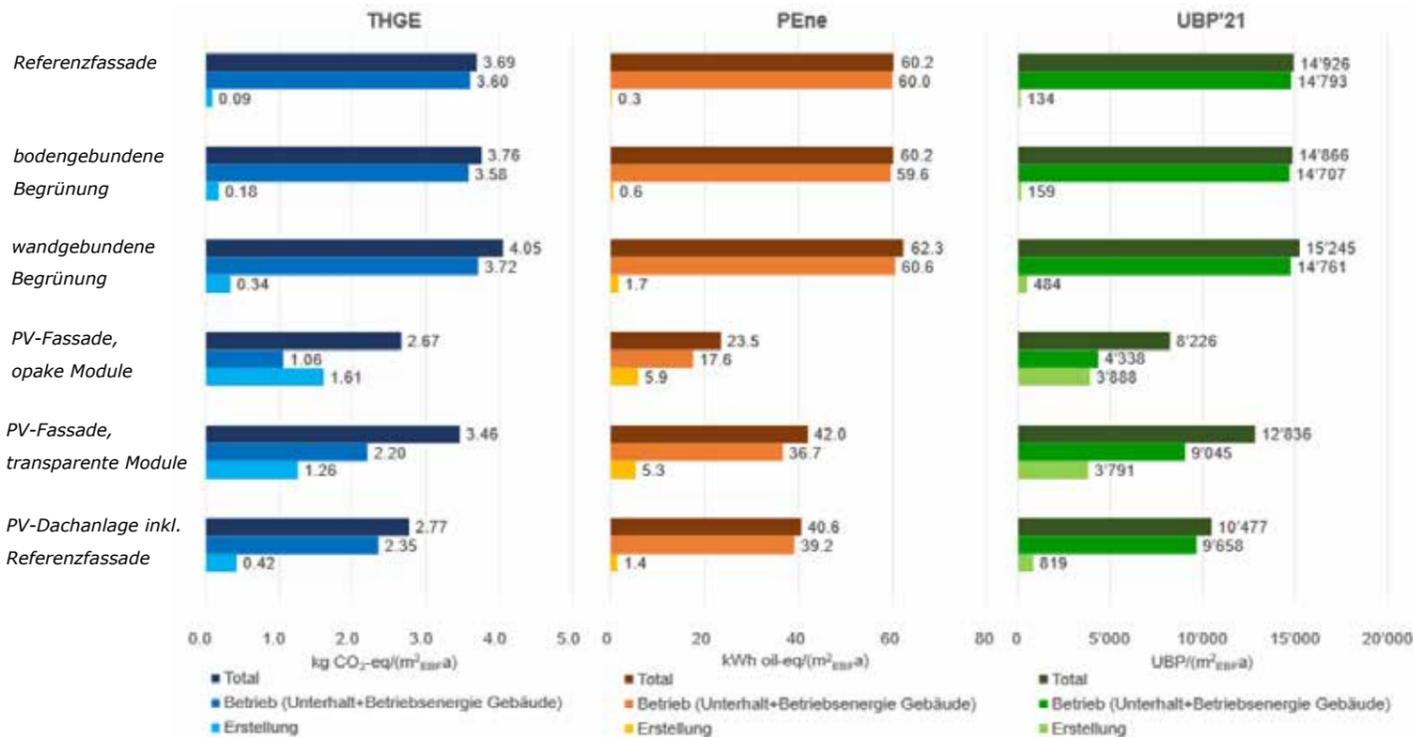
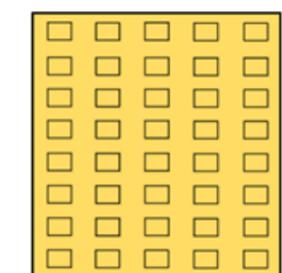


Abb. 92: Treibhausgasemissionen (links), nicht erneuerbare Primärenergie (Mitte) und Umweltbelastungspunkte (rechts) der Referenzfassade, der verschiedenen Fassadensysteme sowie der PV-Dachanlage (inkl. Referenzfassade). Dargestellt sind die Ergebnisse für den achtgeschossigen Neubau. Betrachtungszeitraum: 30 Jahre.

Zusammenfassung

- Die bodengebundene Begrünung führt nur zu geringfügig höheren THGE als die Referenzfassade (geringfügig höherer Materialaufwand für das System).
- Die wandgebundene Begrünung hat einen höheren Konstruktionsaufwand als das bodengebundene System und führt deshalb zu etwas höheren THGE.
- Bei den PV-Systemen amortisieren sich die Umweltauswirkungen der opaken Module schneller als die transparenten (höherer Wirkungsgrad).
- Eine gezielte Anordnung ist für die Amortisation entscheidend: Je höher der Stromertrag im Betrieb, desto besser.

QUANTITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

ÖKONOMISCHE BETRACHTUNG: INITIAL- UND LEBENSZYKLUSKOSTEN (LCC)

Bei der Wahl eines Fassadensystems ist eine ökonomische Betrachtung unabdingbar. Neben den Initialkosten sollten bei Entscheidungen ebenso die Lebenszykluskosten miteinbezogen werden. Lebenszykluskosten ergeben sich aus der Summe aller Kosten, die ein Produkt von der Erstellung über den Betrieb bis hin zur Entsorgung verursacht.

Ökonomische Betrachtung der Fassadensysteme

Abbildung 94 zeigt die Kosten, die über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren für die in dieser Studie betrachteten Fassadensysteme anfallen. Unterschieden wurden Investitions-, Instandsetzungs- und Unterhaltskosten sowie die Kosten im Betrieb.

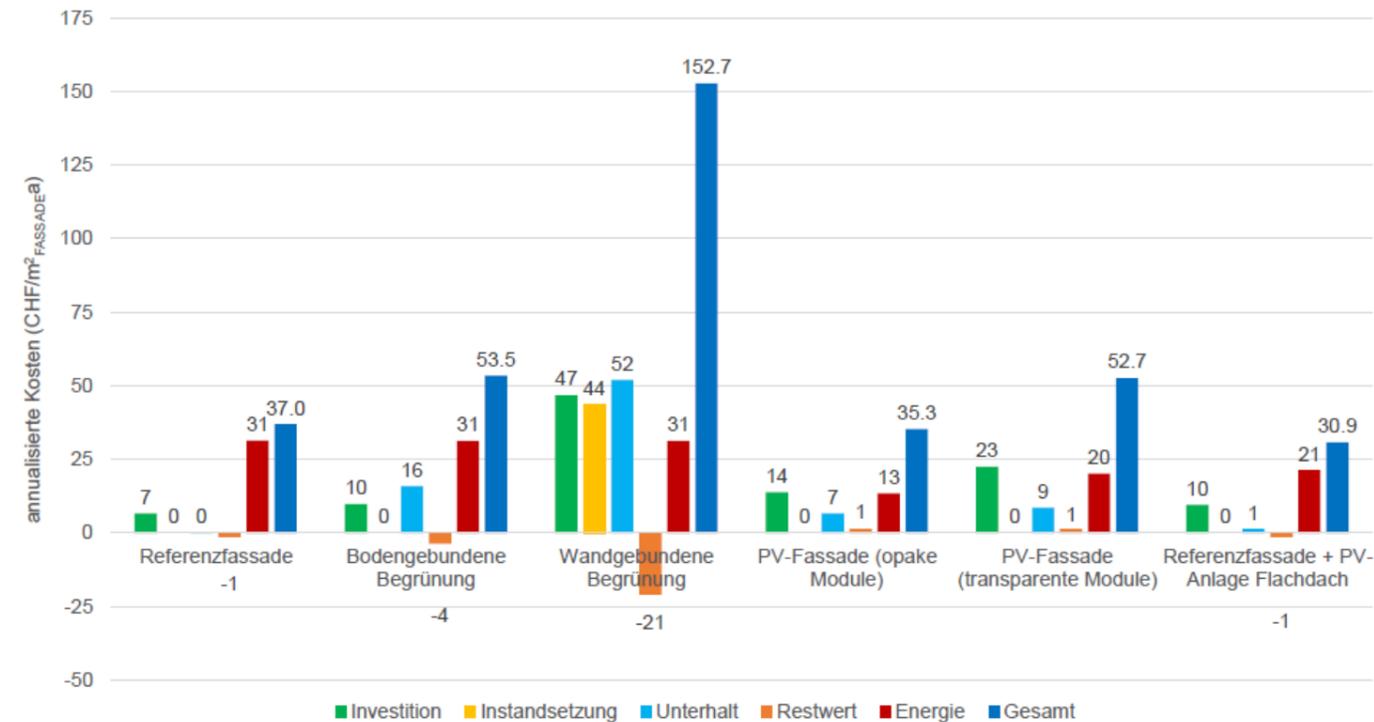


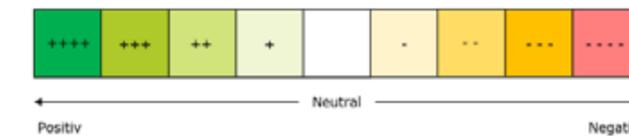
Abb. 94: Annualisierte Kosten (Barwert) der fünf untersuchten Fassadensysteme und der PV-Dachanlage über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren, dargestellt sind die Ergebnisse für das Referenzgebäude «Neubau».

Empfehlungen für die Systemwahl

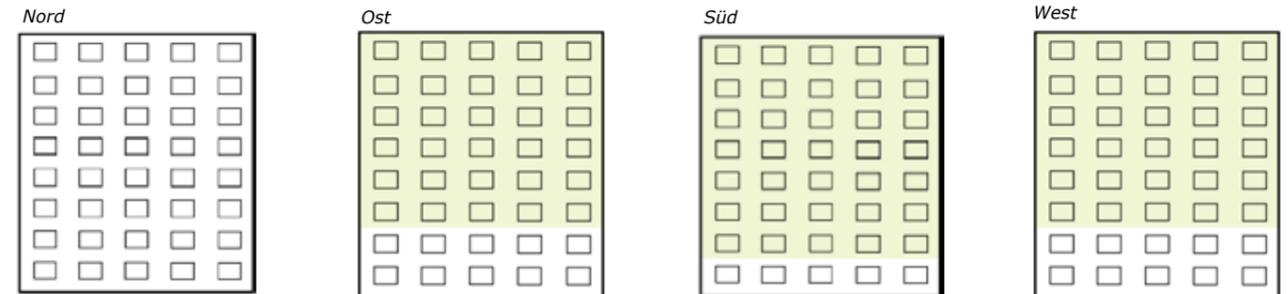
- Fassadenbegrünungen: System- und Pflanzenwahl ist entscheidend, Pflege- und Instandhaltungsarbeiten sind bereits bei der Planung zu berücksichtigen, gute Zugänglichkeit sollte gewährleistet sein.
- PV-Systeme: Standardmodule mit hohem Wirkungsgrad verwenden, auf eine gezielte Anordnung der Module achten (Orientierungen Süd, Ost und West ohne Verschattungen).

Bewertung der Fassadensysteme

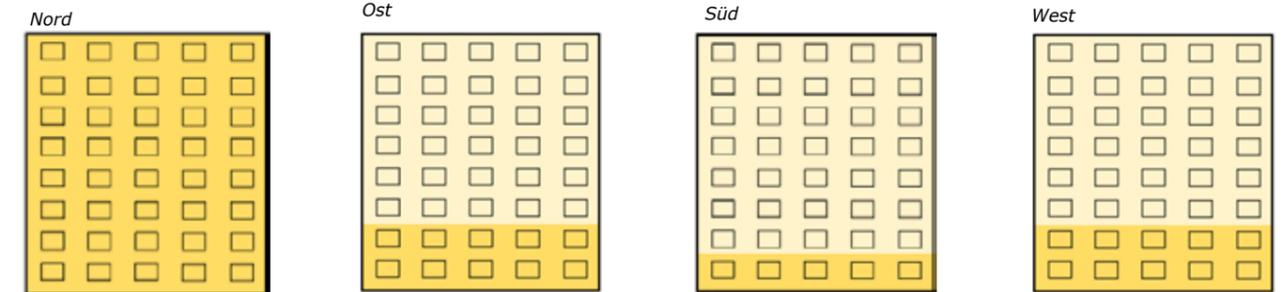
Die nachfolgende Grafik zeigt den Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme auf Lebenszykluskosten (LCC) im Vergleich zur Referenzfassade.



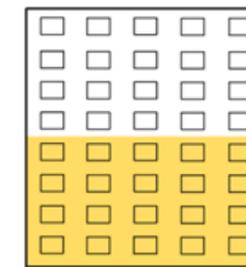
opake PV-Module



transparente PV-Module



bodengebundene Begrünung
(Wuchshöhe bis zum 3.OG, alle Ausrichtungen)



wandgebundene Begrünung
(alle Ausrichtungen)

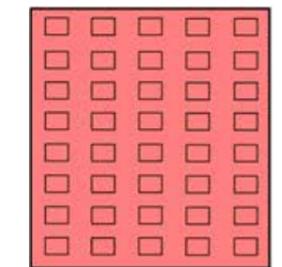


Abb. 95: Investitions- und Lebenszykluskosten der verschiedenen Fassadensysteme im Vergleich zur Referenzfassade

Zusammenfassung

1. Die bodengebundene Begrünung führt nur zu geringfügig höheren Investitionskosten, hinzu kommen im Vergleich zur Referenzfassade aber laufende Kosten für den Unterhalt.
2. Die wandgebundene Begrünung ist das kostenintensivste der betrachteten Systeme.
3. Die opake PV-Fassade kann die anfänglich hohen Kosten über den Lebenszyklus amortisieren, wenn die Module an Flächen mit hohem Solarpotential angeordnet werden.
4. Die transparenten Module führen über den Lebenszyklus zu etwas höheren Kosten als die Referenz, insbesondere an Flächen mit geringem Solarpotential.

QUANTITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

TEMPERATUREN AN DER FASSADE

Fassadensysteme können einen Einfluss auf die Temperaturen an der Fassade nehmen. Um diesen Aspekt zu quantifizieren, wurden am Campus der Hochschule Luzern Technik & Architektur in Horw ein Prüfstand mit vier Fassadensystemen (bodengebundene und wandgebundene Begrünung, opake und transparente PV-Module) errichtet (Abbildung 96). Zusätzlich wurde ein nasser Schwamm als ideales Verdunstungskühlungselement aufgebaut.

Messinfrastruktur

Mittels Messungen wurde der Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme auf die Temperaturen an der Fassade (Oberflächentemperaturen) sowie auf die Temperaturen hinter den Fassadensystemen (Temperatur an der Gebäudefassade) über das gesamte Jahr untersucht. Die Messinfrastruktur wurde an der Südfassade der Vega-Halle errichtet. Die Referenzfassade ist eine gut gedämmte (Dämmstärke ca. 40 cm) hinterlüftete Fassade mit einer Aussenwandbekleidung aus Aluminiumblechen.

Ablauf der Messungen

Die Messungen fanden täglich im Zeitraum von Ende August 2022 bis Ende Januar 2023 statt. In diesen 5 Monaten konnten verschiedene Messdaten an insgesamt 147 Tagen gesammelt werden. Die Messdaten wurden anschliessend Tages- und Wittertypen zugeordnet und kategorisiert.

Messergebnisse

Abbildung 97 und 98 zeigen die Messergebnisse für einen milden, sonnigen Tag. Dargestellt sind die Oberflächentemperaturen sowie die Temperaturen an der Gebäudefassade (hinter den Fassadenprototypen) im Tagesverlauf. Abbildung 99 und 100 zeigt die Messergebnisse für einen bewölkten Wintertag.



Abb. 96: Fassadenprüfstand auf dem Campus der HSLU in Horw

milder, sonniger Tag ☀️

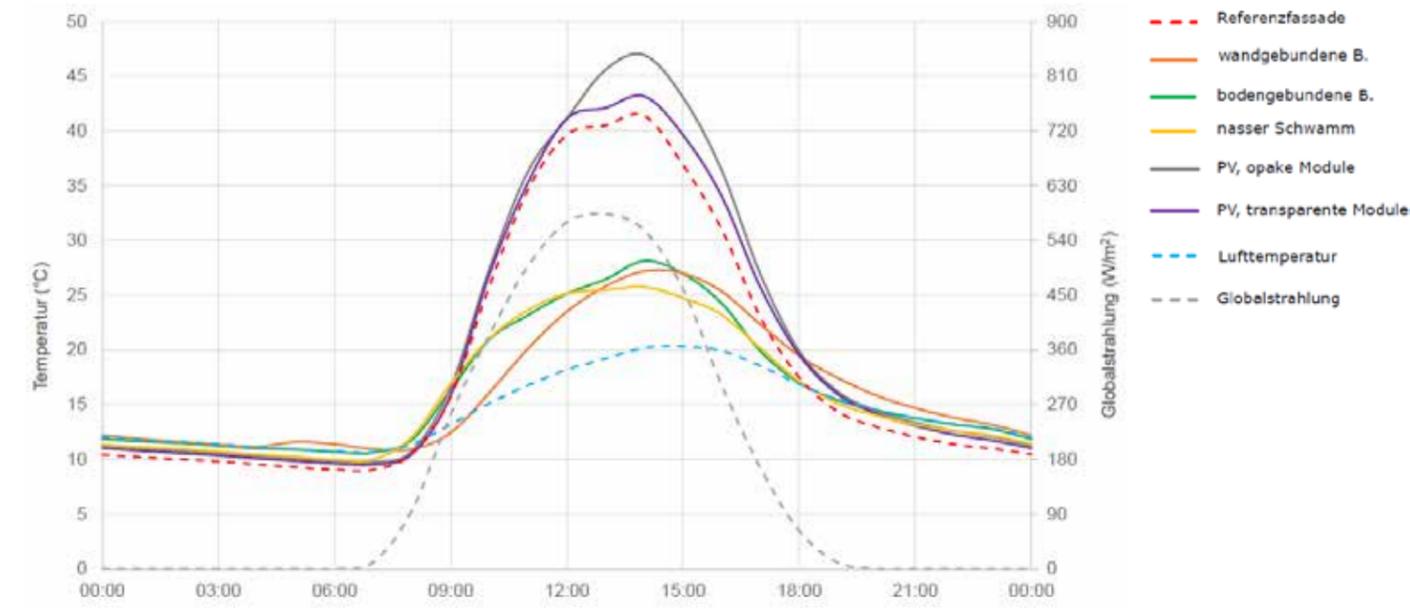


Abb. 97: Oberflächentemperaturen an der Messreferenzfassade und den Fassadenprototypen an einem milden, sonnigen Tag.

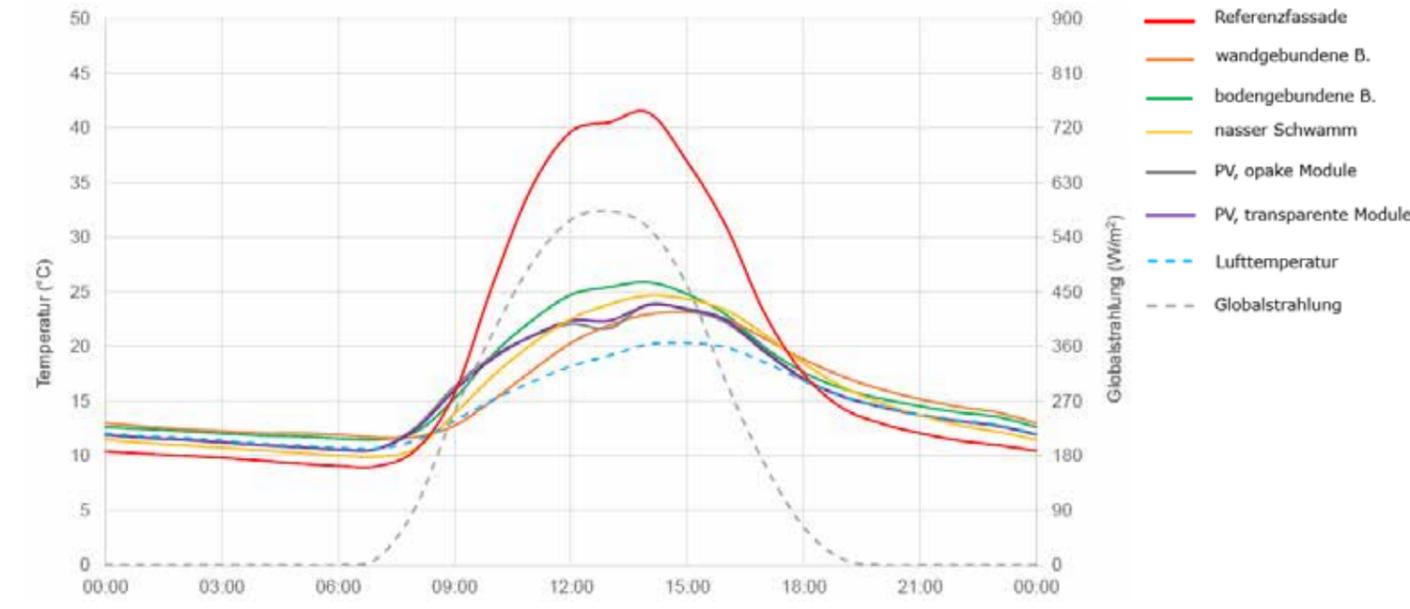


Abb. 98: Temperaturen an der Gebäudefassade (hinter den Fassadenprototypen) an einem milden, sonnigen Tag.

QUANTITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

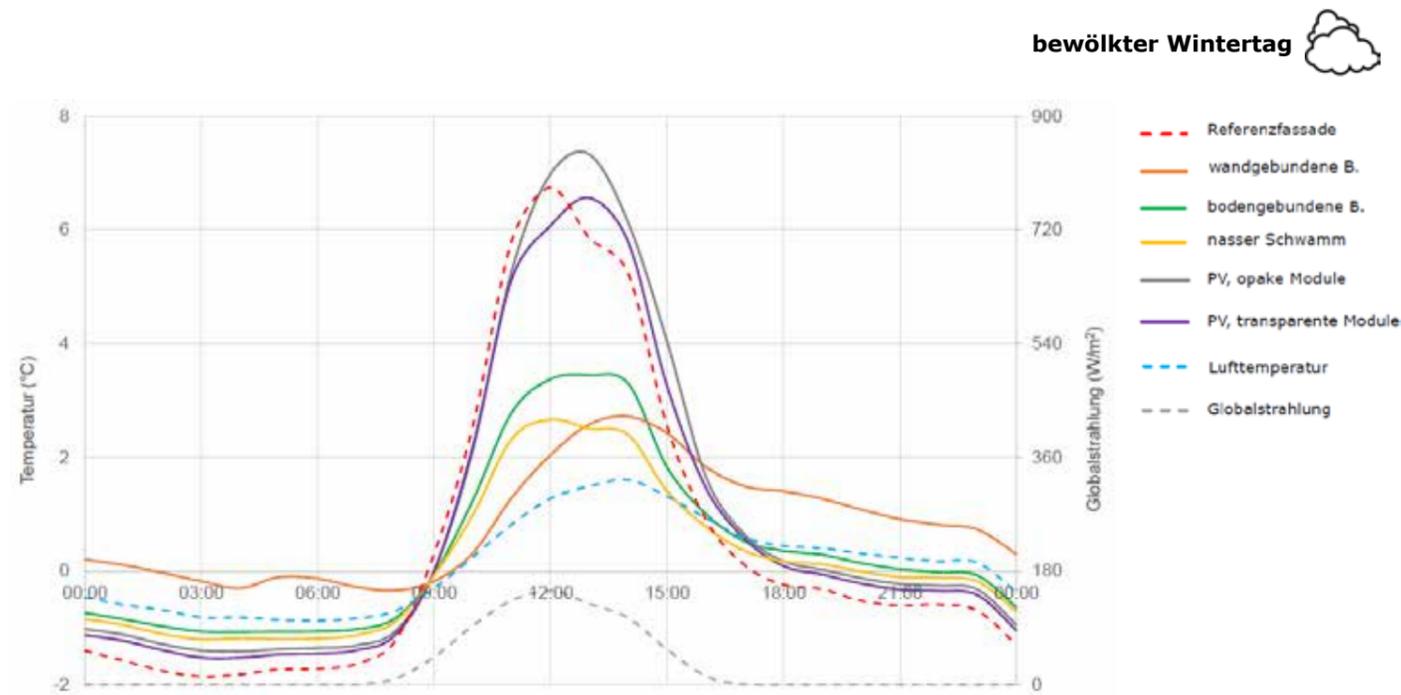


Abb. 99: Oberflächentemperaturen an der Messreferenzfassade und den Fassadenprototypen an einem bewölkten Wintertag.

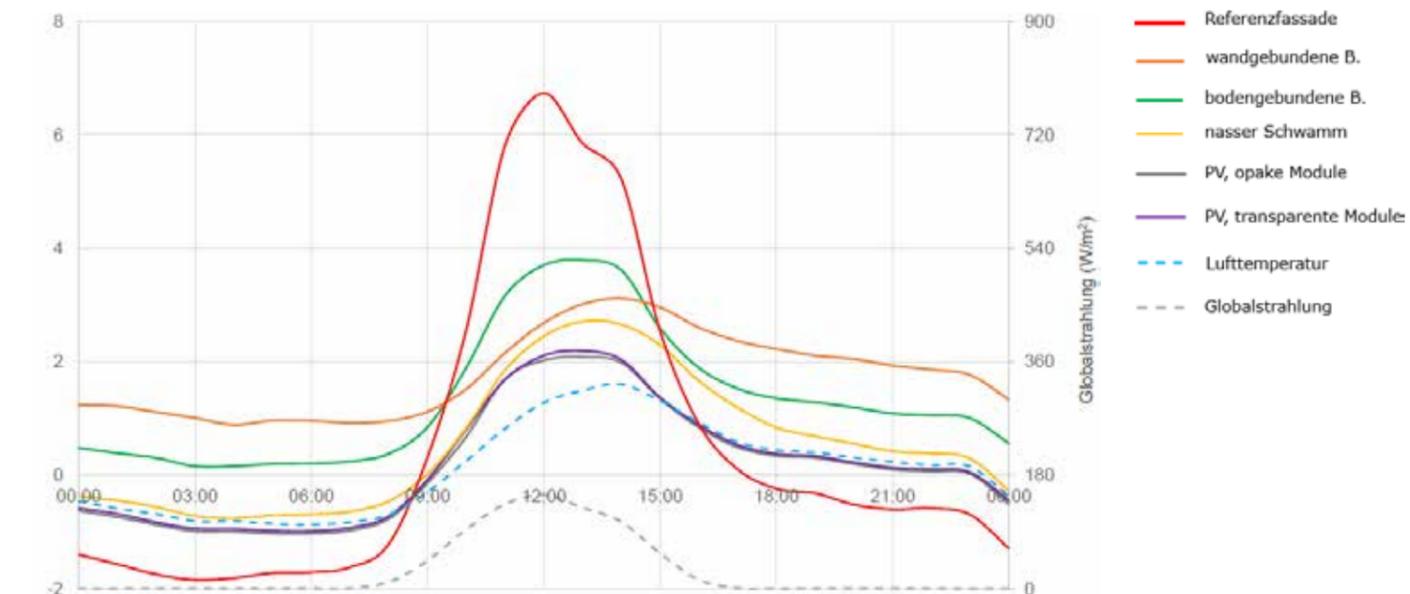


Abb. 100: Temperaturen an der Gebäudefassade (hinter den Fassadenprototypen) an einem bewölkten Wintertag.

milder, sonniger Tag ☀

Einfluss auf die Oberflächentemperaturen

- ◇ Die PV-Systeme erwärmen sich stärker als die Referenzfassade. Die Temperatur der opaken Module liegt dabei höher als die der transparenten Module.
- ◇ Die Begrünungen verhindern das Aufheizen: Im Vergleich zur Messreferenzfassade können hier Temperaturdifferenzen (ΔT_{max}) von -13.9 °C bei der bodengebundenen Begrünung und -14.9 °C bei der wandgebundenen Begrünung verzeichnet werden. Dieser positive Effekt kann sich an heißen, sonnigen Tagen weiter verstärken.
- ◇ Im Tagesverlauf weisen die PV-Systeme die grössten Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht auf, die Fassadenbegrünungen die geringsten – insbesondere das wandgebundene System.

Einfluss auf die Temperaturen an der Gebäudefassade (hinter den Fassadenprototypen)

- ◇ Auf die Temperaturen an der Gebäudefassade haben alle Fassadensysteme aufgrund ihrer Verschattungswirkung einen positiven Einfluss. Die Wirkung von opaken und transparenten Modulen ist dabei ähnlich temperaturmindernd.
- ◇ Bei den Begrünungen ist der Effekt beim wandgebundenen System höher (100 % Verschattung), da das bodengebundene System die Solarstrahlung teilweise durchlässt (Durchlassgrad abhängig von der Blattdichte der verwendeten Pflanzen).
- ◇ Alle Fassadensysteme reduzieren die Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht.

Einfluss auf die Oberflächentemperaturen

- ◇ Die opaken und transparenten PV-Fassaden verhalten sich im Tagesverlauf ähnlich wie die Messreferenzfassade, wobei sich die Systeme über den Tag etwas stärker erwärmen und in der Nacht etwas langsamer abkühlen.
- ◇ Die Fassadenbegrünungen (bodengebunden und wandgebunden) verhindern das Aufheizen der Fassade tagsüber und mindern das Abkühlen der Fassade in der Nacht, wodurch geringere Temperaturschwankungen im Tagesverlauf entstehen.

Einfluss auf die Temperaturen an der Gebäudefassade (hinter den Fassadenprototypen)

- ◇ Alle Fassadenprototypen mindern die Temperaturschwankungen im Tagesverlauf im Vergleich zur Referenzfassade (ohne zusätzliches System): Die Temperaturen an der Gebäudefassade (hinter den Fassadenprototypen) steigen tagsüber weniger stark an (Verschattung) und sinken in der Nacht weniger stark ab (zusätzliche Schicht).
- ◇ Die geringsten Temperaturschwankungen im Tagesverlauf und im Mittel die höchsten Temperaturen werden bei den Fassadenbegrünungen verzeichnet, insbesondere beim wandgebundenen System.

QUANTITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

QUARTIERKLIMAMODELLIERUNG

Fassadensysteme haben nicht nur einen Einfluss auf die Temperaturen an der Fassade, sondern auch auf die Temperaturen in der näheren Umgebung. Um diesen Einfluss zu quantifizieren, wurden Simulationen mit der an der HSLU am Institut für Gebäudetechnik und Energie entwickelten Software «Quartierklimamodellierung» durchgeführt.

Messgrösse für die Behaglichkeit im Aussenraum

Die PET (psychologisch äquivalente Temperatur) beschreibt das thermische Empfinden einer «Standardperson», welche eine mittlere thermische Empfindlichkeit repräsentiert. Für das thermische Empfinden sind vor allem Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und die direkte Sonneneinstrahlung relevant.²⁹

Annahmen für die Simulationen

Das Gebäude wurde im städtischen Kontext simuliert. Die umliegenden Gebäude wurden jedoch mit einer geringeren Höhe angenommen, um eine direkte Sonneneinstrahlung auf die Fassade zu erhalten (Abbildung 101). Die Betrachtung erfolgte anhand eines sonnigen Sommertags (Hitzetag) im Jahr 2020 in Zürich. Die detaillierten Annahmen zur Simulation sind im GreenPV-Bericht zu finden.

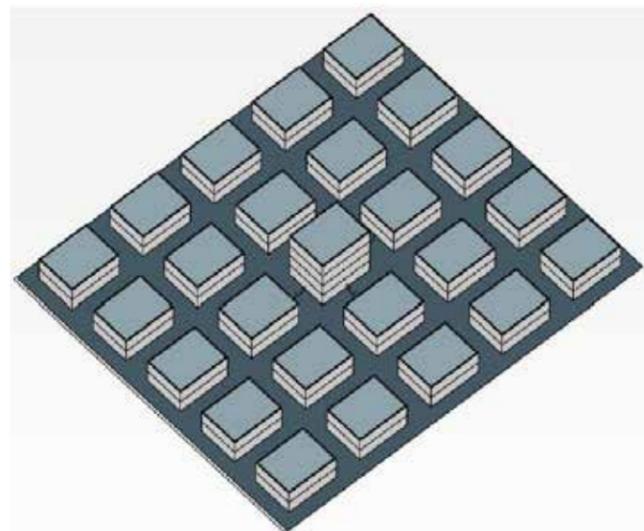


Abb. 101: Simulationsmodell des Gebäudes inkl. Umgebung

Einfluss der Fassadensysteme auf die PET in 1 m Abstand zur Fassade

- Die Fassadenbegrünungen können die PET im Mittel um bis zu 2.1 °C (bodengebundene Begrünung) und 4.1 °C (wandgebundene Begrünung) senken.
- Die PV-Systeme führen zwar an der Fassade zu höheren Oberflächentemperaturen, jedoch wirkt sich dies nicht negativ auf die PET in der näheren Umgebung aus. Die einfallende Solarstrahlung wird in Strom umgewandelt, zudem wird diese durch die geringe Albedo der dunklen PV-Module weniger in die Umgebung reflektiert.
- Alle betrachteten Fassadensysteme haben somit einen positiven Einfluss auf die PET im Areal, verglichen mit der Referenzfassade.

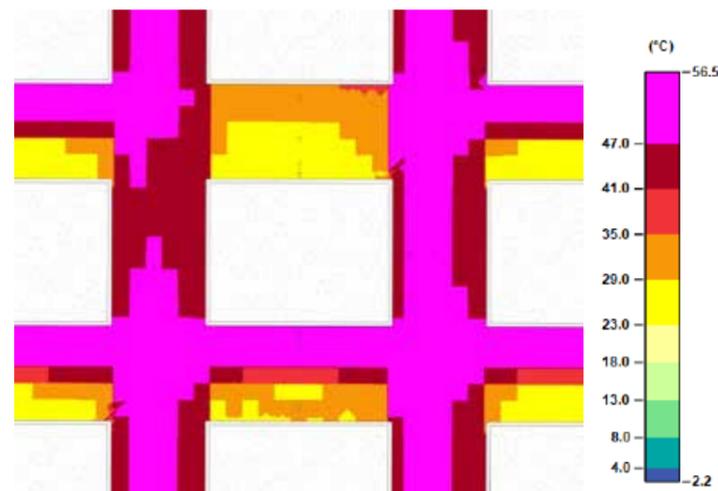


Abb. 102: Ausgangslage: PET im Areal um 12:00 Uhr mit der Referenzfassade (hinterlüftete Fassade mit Faserzementplatten)

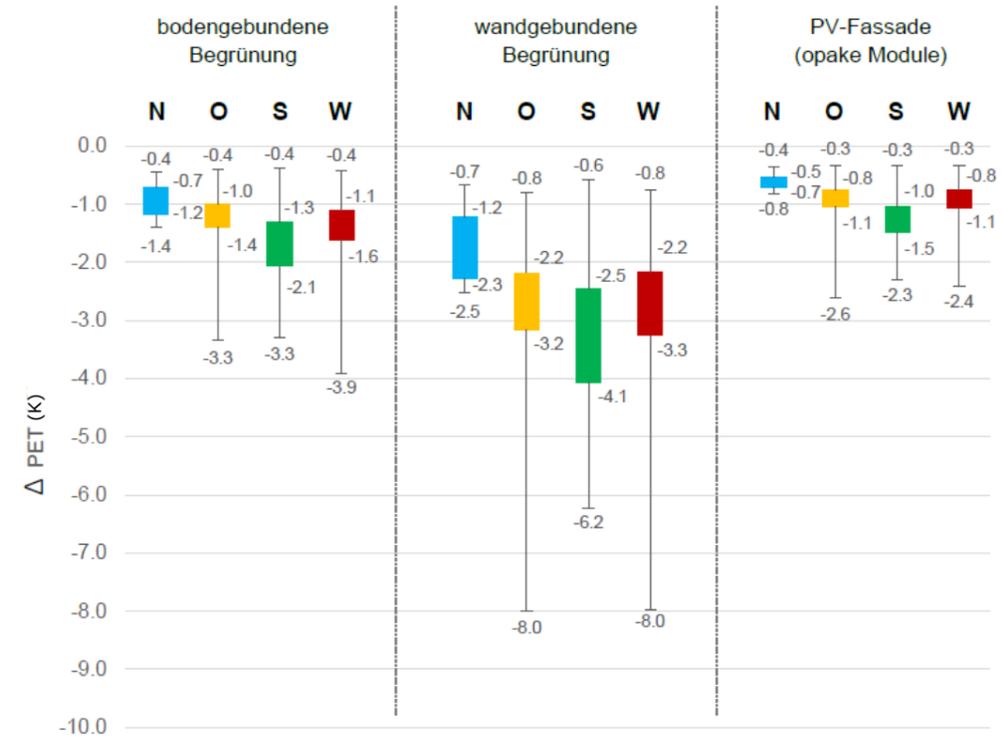


Abb. 103: Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme auf die PET an einem Messpunkt in 1 m Abstand zur Fassade. Dargestellt ist die PET-Differenz im Vergleich zur Referenzfassade an einem sonnigen Sommertag (Hitzetag) in den verschiedenen Orientierungen. Die schwarze Linie zeigt die Minimal- und Maximalwerte, welche im Tagesverlauf erreicht werden. Die Balken zeigen den Tages-Mittelwert. Annahme Wind: 1 m/s in «günstiger» und «ungünstiger» Windrichtung.

Einfluss der Fassadensysteme auf die PET im Tagesverlauf

- Der grösste Effekt tritt bei direkter Sonneneinstrahlung auf. Die Wirkung ist somit abhängig von der Orientierung und der Tageszeit.
- Die Systeme wirken somit an der Ostfassade insbesondere am Morgen (grösster Effekt um 9:00 Uhr) und an der Westfassade insbesondere am Nachmittag (grösster Effekt um 15:00 Uhr).
- Die Südfassade erhält über einen längeren Zeitraum direkte Sonnenstrahlung, d.h. diese Fassade beginnt bereits am Vormittag zu wirken, hat den grössten Effekt um die Mittagszeit (ca. 12:00 Uhr) und kann auch am Nachmittag noch einen positiven Einfluss auf die PET nehmen.

QUANTITATIVE ASPEKTE IM DETAIL

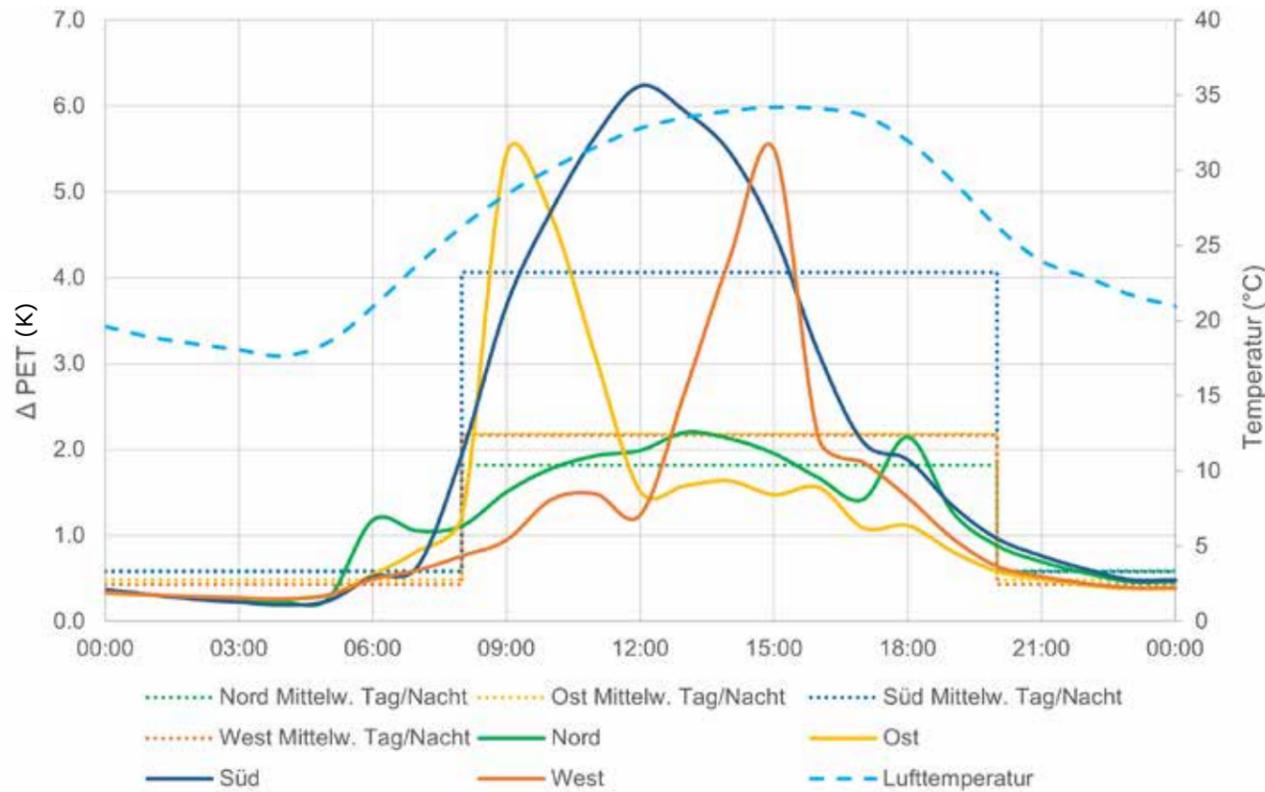


Abb. 104: Einfluss der wandgebundenen Begrünung auf die PET in 1 m Abstand zur Fassade. Dargestellt ist die PET-Differenz im Vergleich zur Referenzfassade an einem sonnigen Sommertag (Hitzetag). Annahme Wind: 1 m/s, Windrichtung: Nord -> Süd

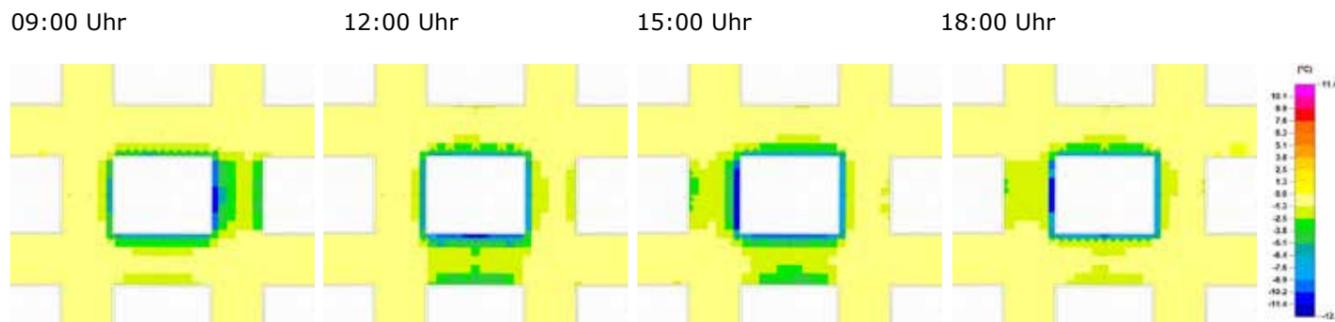


Abb. 105: Einfluss der wandgebundenen Begrünung auf die PET im Areal. Dargestellt ist die PET-Differenz im Vergleich zur Referenzfassade zu verschiedenen Tageszeiten an einem sonnigen Sommertag (Hitzetag). Annahme: kein Wind, Abstand zwischen den Gebäuden: 11.60 m

Einfluss der Fassadensysteme auf die PET im Areal

- Der Einfluss der Fassadensysteme auf die PET ist unmittelbar an der Fassade am grössten und nimmt mit zunehmendem Abstand deutlich ab (Abbildung 105 zeigt ein Beispiel für die wandgebundene Begrünung, die übrigen Fassadensysteme verhalten sich analog).
- Windstärke und Windrichtung können die Wirkung der Fassadensysteme auf die PET deutlich beeinflussen. Bei einer Windrichtung parallel zur Fassade wird der Effekt der Fassadensysteme auf die PET deutlich gemindert. Typische Windrichtungen sollten diesbezüglich bei der Planung berücksichtigt werden, insbesondere wenn Begrünungen zur Hitzeminderung eingesetzt werden. Zudem können windgeschützte Bereiche, wie bspw. Innenhöfe, einen guten Einsatzbereich für Begrünungen darstellen.



Abb. 107: Begrünungen können in windgeschützten Bereichen ihre Wirkung besonders gut ausspielen (© AdobeStock)

Gesamtheitliches Grünkonzept zur Hitzeminderung

- Es gibt eine Vielzahl von Begrünungsmassnahmen, jede davon bietet gewisse Vorteile. Bei der Planung sollten somit nicht nur Fassadebegrünungen, sondern auch begrünte Dächer, Rasenflächen, Bäume etc. in Betracht gezogen werden.
- Bäume haben ein hohes Potential zur Hitzeminderung, neben dem kühlenden Effekt durch die Verdunstung wirken sie zudem als Schattenspender.
- Rasenflächen haben ein hohes Potential zur Infiltration (Regenwasseraufnahme), was die Verdunstungsleistung positiv beeinflusst. Entscheidend für die Wirkung ist hier die absolute Fläche.
- Fassadenbegrünungen sind insbesondere in städtischen Gebieten eine gute Option, da sie sehr platzsparend sind und häufig da eingesetzt werden können, wo andere Begrünungen nicht möglich sind.

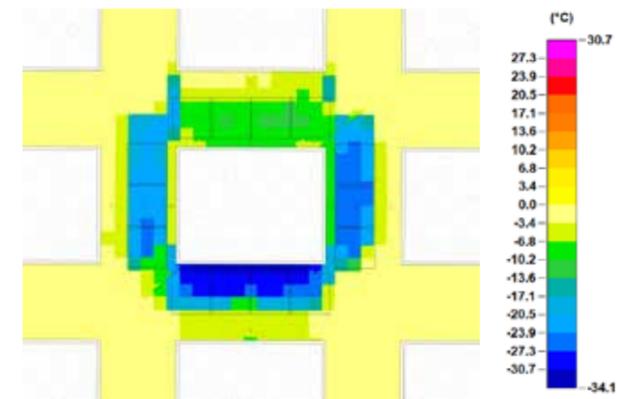


Abb. 106: Einfluss von Bäumen auf die PET im Areal. Dargestellt ist die PET-Differenz im Vergleich zur Referenzsituation mit Asphaltfläche um 12:00 Uhr an einem Hitzetag

KOMBINATION BEGRÜNUNG & PV

Erkenntnisse der qualitativen und quantitativen Analyse

Begrünungen und PV bieten an der Fassade verschiedene Vorteile. Begrünungen können insbesondere einen qualitativen Mehrwert im Aussenraum leisten, dazu gehören u.a. eine bessere Aufenthaltsqualität, eine höhere Biodiversität und ein besseres Regenwassermanagement. Hinzu kommt das Potential zur Hitzeminderung, welches insbesondere in Städten mit Blick auf den Klimawandel immer mehr an Bedeutung gewinnen wird. Aber auch die Stromerzeugung über PV-Fassaden wird in Zukunft immer wichtiger werden und eine relevante Massnahme zur nachhaltigen Energieversorgung der Schweiz darstellen. **Durch eine Kombination von PV und Begrünung an der Fassade könnten die Vorteile beider Systeme miteinander vereint werden.**

Die beiden Systeme konkurrenzieren sich dabei i.d.R. nicht: **Fassadenbegrünungen erzielen nahe am Menschen** angeordnet den grössten Effekt, d.h. in den meisten Fällen sind das die unteren Bereiche/Geschosse des Gebäudes. **PV-Module** sollten hingegen an **Fassadenflächen mit hohem Stromerzeugungspotential** angeordnet werden, d.h. also an Süd-, Ost- und Westfassaden ohne Verschattung. Dies betrifft i.d.R. vor allen die oberen Geschosse des Gebäudes, da insbesondere in städtischen Gebieten meist die unteren Geschosse durch Nachbargebäude verschattet werden.

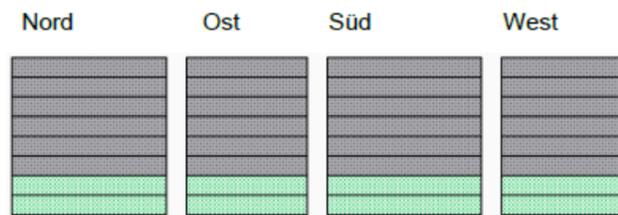
Systemkombinationen

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde im Rahmen der Studie ebenfalls die Kombination der verschiedenen Systeme am Gebäude untersucht. Rechts sind die verschiedenen Szenarien, welche Begrünungen und PV an der Fassade gezielt kombinieren (Szenario 1 bis 3) oder PV-Module optimiert anordnen (Szenario 4).

Bei der Fassadenbegrünung wurde dabei jeweils ein bodengebundenes System angenommen, da dieses geringere Umweltbelastungen aufweist und kostengünstiger ist als ein wandgebundenes System.

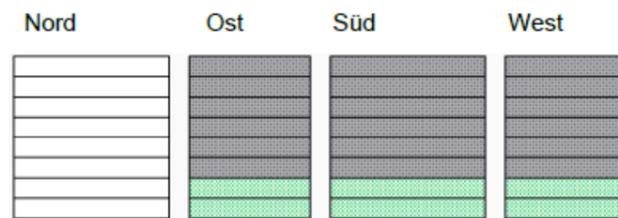
Bei der PV-Fassade wurden die opaken Module gewählt, da diese aufgrund des höheren Wirkungsgrads ebenso ökologische und ökonomische Vorteile bieten.

Szenario 1: oben PV, unten Grün, alle Fassaden



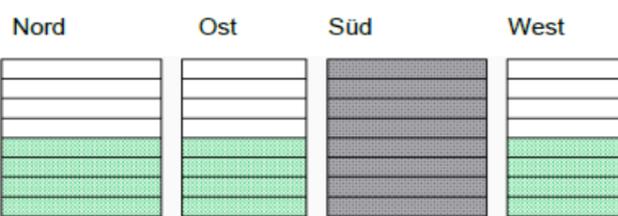
Bodengebundene Begrünung: EG und 1. OG, alle Fassaden
PV-Module (opak): übrige Geschosse, alle Fassaden

Szenario 2: oben PV, unten Grün, ohne Nordfassade



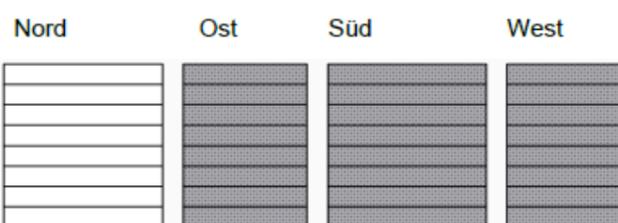
Bodengebundene Begrünung: EG und 1. OG, O / S / W
PV-Module (opak): übrige Geschosse, O / S / W
Referenzfassade: gesamte Nordfassade

Szenario 3: Süd PV, andere Grün



Bodengebundene Begrünung: EG bis 3. OG, N / O / W
PV-Module (opak): gesamte Südfassade

Szenario 4: Fokus Energieproduktion



PV-Module (opak): gesamte Ost-, Süd- & Westfassade
Referenzfassade: gesamte Nordfassade

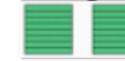
Referenzfassade



Bodengebundene Begrünung



Wandgebundene Begrünung



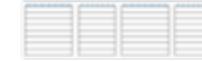
PV-Fassade (opake Module)



PV-Fassade (transparente Module)



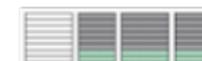
Referenzfassade + PV-Dachanlage



Sz. 1 „oben PV / unten Grün“ alle Fassaden



Sz. 2 „oben PV / unten Grün“ ohne Nordfassade



Sz. 3 „Süden PV / andere Grün“ alle Geschosse (Grün bis 3. OG)



Sz. 4 „Fokus Energieproduktion“ PV alle Geschosse ohne Nordfassade

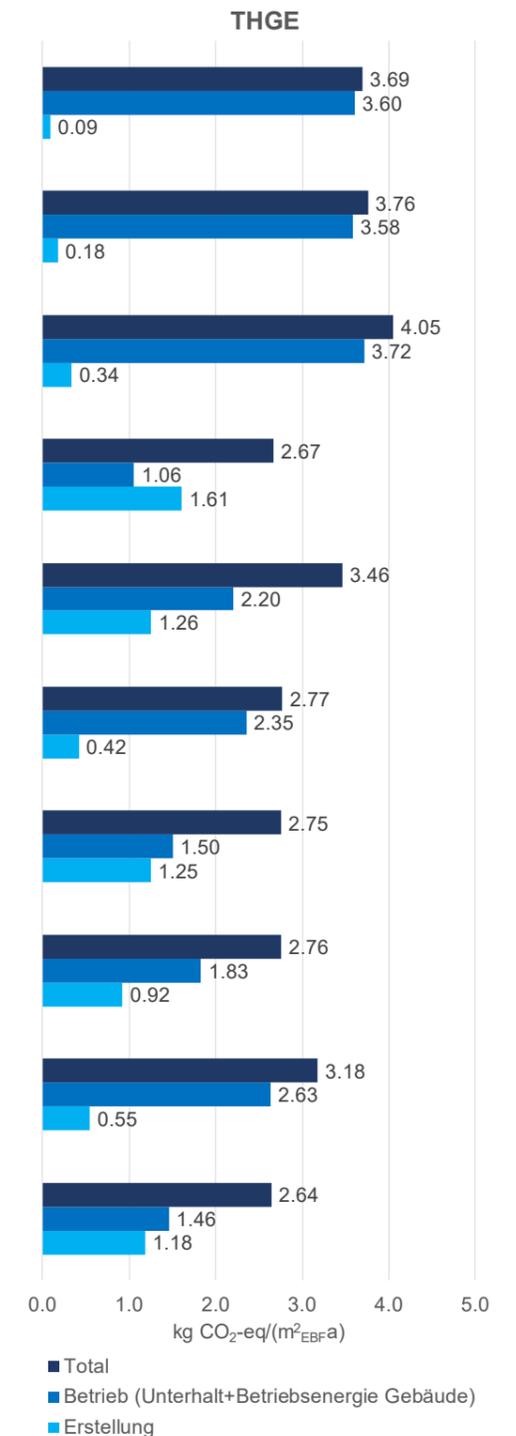


Abb. 108: Treibhausgasemissionen der Referenzfassade (hinterlüftete Fassade mit Faserzementplatten), der verschiedenen Fassadensysteme, der PV-Dachanlage inkl. Referenzfassade sowie die vier Szenarien. Dargestellt sind die Ergebnisse für das Referenzgebäude «Neubau».

KOMBINATION BEGRÜNUNG & PV

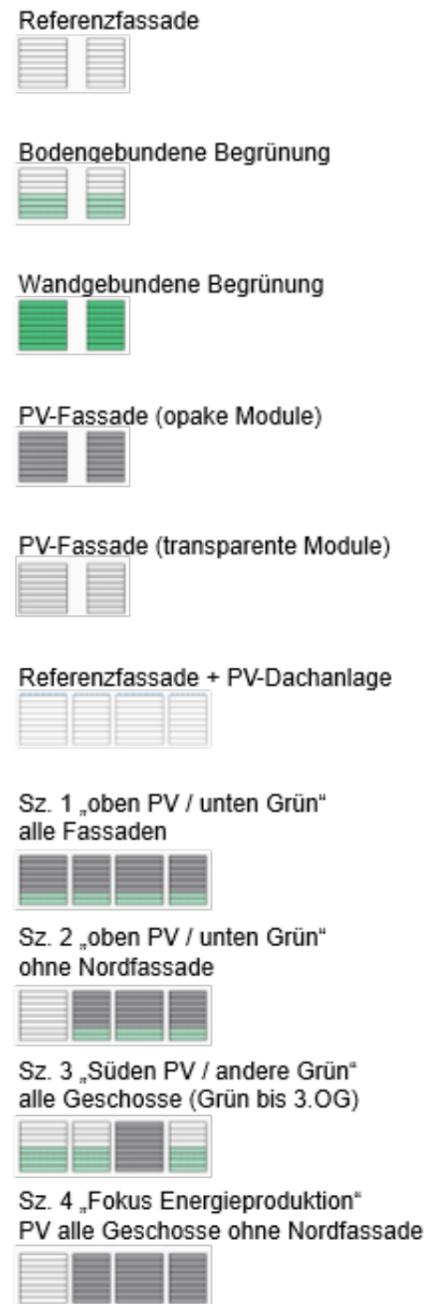
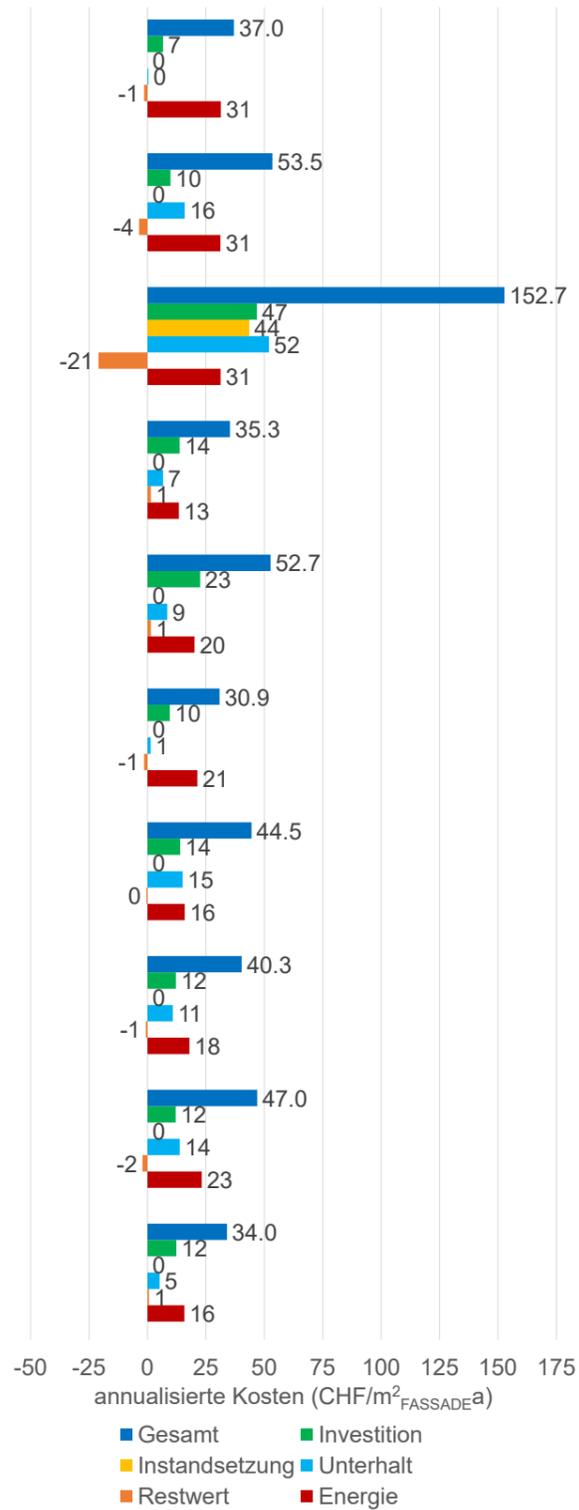


Abb. 109: Annualisierte Kosten (Barwert) der Referenzfassade (hinterlüftete Fassade mit Faserzementplatten), der verschiedenen Fassadensysteme, der PV-Dachanlage inkl. Referenzfassade sowie die vier Szenarien. Dargestellt sind die Ergebnisse für einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren für das Referenzgebäude «Neubau».



Ökobilanz (THGE) und Lebenszykluskosten der Szenarien

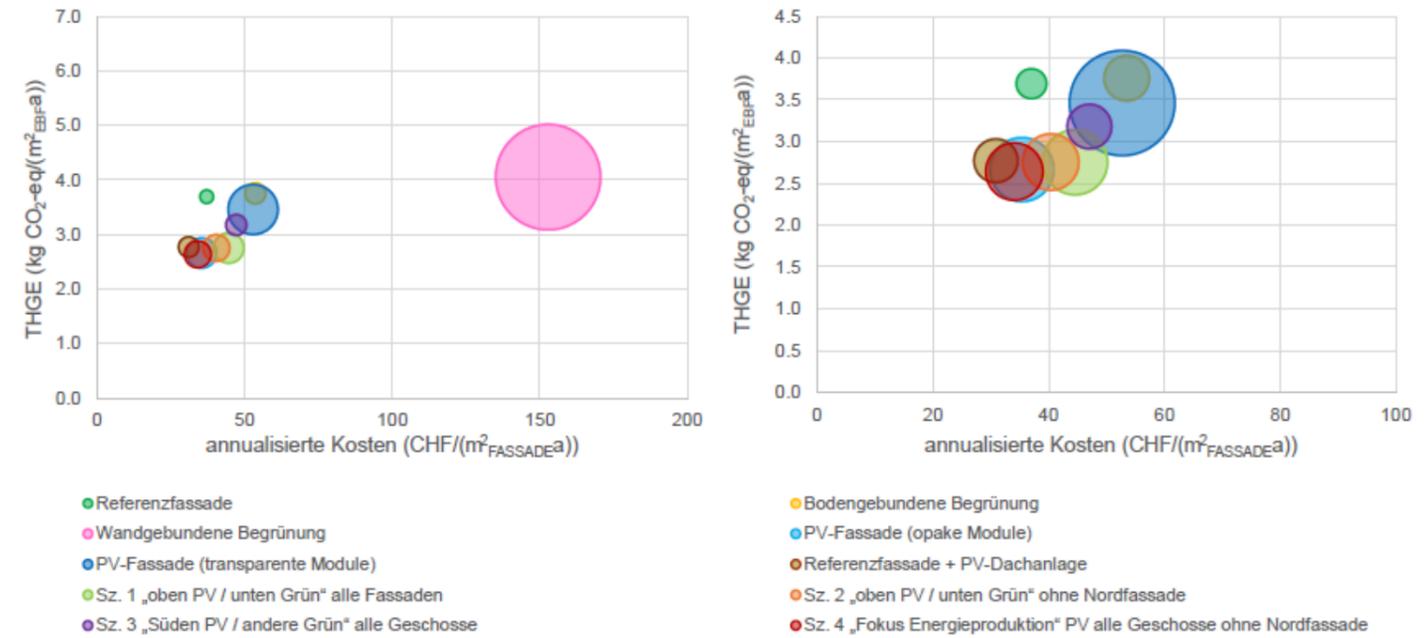


Abb. 110: THGE und annualisierte Kosten während der 30-jährigen Betrachtungsperiode (links: alle Varianten; rechts: vergrößerte Darstellung ohne die wandgebundene Begrünung). Die Grösse des Kreises zeigt die Investitionskosten. Dargestellt sind die Ergebnisse für das Referenzgebäude «Neubau».

Ökonomischer Mehrwert

- Eine gezielte Anordnung der PV-Module führt zu geringeren Lebenszykluskosten, als wenn die gesamte Fassade mit PV belegt wird.
- Eine gezielte Kombination von Begrünung und PV führt nur zu einem geringen Anstieg der Lebenszykluskosten im Vergleich zur Referenzfassade.
- Bei Entscheidungen sollten ebenso nicht quantifizierbare Aspekte, wie eine höhere Attraktivität der Immobilie durch Begrünungen und PV³⁰, eine bessere Vermietbarkeit und langfristige Mietverhältnisse (weniger Leerstandszeiten), mit einbezogen werden.

Ökologische Vorteile

Durch eine gezielte Anordnung der PV-Module bzw. durch die Kombination von Begrünung und PV an der Fassade können die THGE über den Lebenszyklus im Vergleich zur Referenzfassade gesenkt werden.



Abb. 111: Die Kombination von PV und Begrünung lohnt sich im Hinblick auf viele Aspekte (© Anna Fredl)

POSITIVE FAKTOREN AUF DIE WIRKUNG VON BEGRÜNUNG & PV

🔊 Lärm in Städten

- + hohe Pflanzendichte
- + hohes Grünvolumen
- + kleine Blattstrukturen
- + locker gelagerte Substrate
- + Nähe zur Emissionsquelle (i.d.R. in den unteren Geschossen)
- + Entfernung zur Emissionsquelle (i.d.R. in den oberen Geschossen)
- + Kombination mit Begrünung

🌬️ Luftqualität

- + hohe Blattdichte
- + hoher Bedeckungsgrad
- + ausreichende Wasserversorgung
- + Nähe zur Emissionsquelle (i.d.R. in den unteren Geschossen)

🌿 Biodiversität

- + einheimische Pflanzenarten
- + standortangepasste Pflanzen
- + Mischkulturen (verschiedene Pflanzenarten) anstatt Monokulturen mit nur einer Art
- + Einsatz als Verbindungselement von Grünflächen («Grüngürtel»)
- + Kleinststrukturen
- + Kombination mit transparenten PV-Modulen (Verschattung -> anderes Mikroklima)

💧 Regenwasserrückhalt

- + hohe Substratschicht (Infiltration)
- + hohes Grünvolumen (Verdunstungsleistung)
- + Wetterseiten Nord/Nord-West

🌿 Attraktivität der Aussenräume

- + verschiedene Pflanzenarten
- + Blühzeiten und Farben
- + Nähe zum Menschen bzw. Aufenthaltsbereichen (i.d.R. in den unteren Geschossen)
- + Gestaltungsmöglichkeiten: Muster, Farben, Transparenzgrade...
- + Kombination mit Begrünung

🏠 Thermisches Wohlbefinden in Innenräumen & Betrieb des Gebäudes (Wärme, Kälte und Stromverbrauch)

- + hohes Grünvolumen / Substratvolumen
- + hoher Bedeckungsgrad
- + Verschattung der Fenster im Winter vermeiden
- + grösster Effekt bei unsanierten Altbauten (hohe U-Werte)

☀️ Stromerzeugungspotential

- + Kombination von Begrünung + PV (Verdunstungskühlung -> Effizienzsteigerung)
- + hoher Wirkungsgrad
- + Verschattung vermeiden
- + Orientierung: Süd, dann Ost und West
- + Langlebigkeit und effiziente Systeme anstreben (Instandhaltung und Unterhalt)

☀️ Winterstrom

- + hoher Wirkungsgrad
- + Steile bis vertikale Anordnung
- + Verschattung vermeiden
- + Südorientierung
- + Langlebigkeit und effiziente Systeme anstreben (Instandhaltung und Unterhalt)

♻️ Erstellung (Graue Treibhausgasemissionen)

- + wiederverwendbare und nachwachsende Materialien (z.B.: Stahl, Holz...) für die Unterkonstruktion verwenden
- + Konstruktionsaufwand reduzieren, Mehraufwand Statik beachten
- + technische Elemente nur wo nötig
- + lokale Unternehmen bevorzugen
- + wiederverwendbare und nachwachsende Materialien (z.B.: Stahl, Holz...) für die Unterkonstruktion verwenden
- + Produktedeclarationen vergleichen/lokale Produkte bevorzugen
- + Langlebige und robuste Systeme (Demontierbarkeit garantieren und Ersatzmodulen einplanen)

🏠 Erstellung und Betrieb: gesamtheitliche Ökobilanz (LCA)

- + wenig materialintensive Systeme, bewusste Materialwahl
- + hohes Grünvolumen
- + rasche Amortisation durch hohe Effizienz
- + Verschattung vermeiden
- + Orientierung: Süd, dann Ost und West
- + Kombination mit Mobilität & Wärmeerzeugung, evtl. Speicherung



🌡️ Temperatur an der Fassade, Einfluss auf das Umgebungsklima (Sommer)

- + hohes Grünvolumen/Substratvolumen
- + ausreichende Wasserversorgung
- + Orientierung: Ost, dann Süd und West
- + gute Luftzirkulation
- + Kombination mit Begrünung

⚙️ Ökonomische Betrachtung: Initial- und Lebenszykluskosten (LCC)

- + Systeme mit geringem Pflege- und Instandhaltungsaufwand
- + robuste Pflanzen und Systeme (lange Lebensdauer, Anfälligkeit reduzieren)
- + Mögliche Fördermittel abklären
- + Standardmodule verwenden
- + Einfachheit der Anlage
- + Optimierung der Erträge
- + robuste Systeme mit geringer Anfälligkeit

KOMBINATION VON BEGRÜNUNG UND PV

Eine Kombination von verschiedenen Fassadensystemen kann mit Blick auf verschiedene Aspekte (Effizienz, Gestaltung etc.) Vorteile bringen. In einem urbanen Kontext werden tiefe Bereiche von Gebäuden oft verschattet, weshalb sich eine Anbringung von PV-Modulen nur in seltenen Fällen lohnt. Module an exponierten Flächen haben eine geringere Amortisationszeit. Beschattete Bereiche, wie auch die Nordfassade, können sich für eine Fassadenbegrünung eignen. Strassennahe Bereiche profitieren besonders, da dort die Aufenthaltsqualität gesteigert wird und sich positiv aufs Stadtklima auswirkt.



Abb. 112: SolarDecathlon 21/22 Eingabe von Local+. Bei der Fassadengestaltung wurden PV und begrünte Flächen klar voneinander getrennt (© team-localplus)



Abb. 113: Hortus, Allschwil bei Basel, bewegliche, horizontale PV-Module an der Aussenfassade (links) produzieren Strom und dienen als Sonnenschutz, im Innenhof (rechts) wurde die Fassade begrünt (© Herzog & de Meuron)



Abb. 114: SolarDecathlon 21/22 Eingabe von CoLLab, das Rankgerüst an der Fassade wird sowohl für PV-Module als auch Begrünung genutzt (© Lukas Fischer, HFT Stuttgart)

AUSGANGSLAGE

Laut dem National Center for Climate Services NCCS könnte die Jahresmitteltemperatur in der Schweiz bei ungebremst steigenden Treibhausemissionen um 3.3 - 5.4 °C bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ansteigen³¹. Diese Entwicklung könnte künftig massive Auswirkungen auf den Energiebedarf (insbesondere die Kühlung) und die Behaglichkeit (Zunahme von Hitzetagen) von Gebäuden haben.

Der Kältebedarf wird vorwiegend dann anfallen, wenn die Solarstrahlung am intensivsten sein wird. Diese zeitliche Koinzidenz spricht dafür, dass der Energiebedarf für die Kühlung durch die Stromerzeugung mit PV-Anlagen gedeckt wird. Der Druck bzw. die Notwendigkeit – zusätzlich zu den Dachflächen – auch Fassaden mit PV-Modulen zu belegen, wird dadurch immer grösser.

Klimageräte produzieren Kälte für die Innenräume, führen dabei aber die entzogene Wärme nach aussen. Dieser Wärmeübertrag auf die Aussenluft ist nicht vernachlässigbar und kommt zum städtischen Wärmeinseleffekt hinzu. Dieser allein kann die Überhitzungsstunden in ungekühlten Innenräumen in Zukunft um 50 % ansteigen lassen.³² Grünflächen sind deshalb im urbanen Gebiet äusserst wichtig. Die Vorteile von Begrünungen sind vielfältig, vor allem leisten sie aber einen wesentlichen Beitrag zur Abkühlung der Aussenluft. Bei knappen Platzverhältnissen stellen Begrünungen an Gebäuden dabei eine sinnvolle Variante zu anderen Grünelementen (Bäumen, Rasenflächen etc.) dar.

Während die Vorteile von Begrünungen und PV-Systemen im Dachbereich bereits vermehrt genutzt werden, bleibt das hohe Potential von Gebäudefassaden bisher weitestgehend ungenutzt. Der bewusste Umgang mit Fassadenoberflächen als Potential im Hinblick auf den Klimawandel kommt in der heutigen Architektursprache nicht genügend zum Ausdruck.

ZIELE DES PROJEKTS

Mit diesem Projekt wurde den Hemmnissen und der Akzeptanz hinsichtlich des Einsatzes von Begrünungen und PV an Gebäudefassaden nachgegangen. Dabei wurden Hinweise zum Einfluss von verschiedenen Fassadensystemen auf das Mikroklima am Gebäude sowie die Energiebilanz im Gebäude gegeben und diese dem Potential der Energieerzeugung gegenübergestellt sowie Synergien aufgezeigt. Bei der Abwägung der Systeme bzw. bei der Bestimmung der optimalen Fassadengestaltung spielen finanzielle, energetische, gestalterische, soziale und umweltbezogene Aspekte eine Rolle. Der Einfluss von Begrünungen und PV-Systemen auf diese entscheidenden Faktoren wurde analysiert und anschliessend Empfehlung für eine gesamtheitliche Optimierung der Gebäudefassade im Hinblick auf den Klimawandel erarbeitet. Dadurch soll künftig eine hohe Akzeptanz für die Systeme sichergestellt und so deren Anwendung gefördert werden.

VORGEHENSWEISE

Zur Ermittlung der Lösungsansätze wurde im partizipativen Diskurs und basierend auf bestehenden und laufenden Forschungsprojekten und -erkenntnissen sowie neuen Untersuchungen gearbeitet. Das Projekt baut deshalb auf einer Untersuchung auf drei Ebenen auf: theoretische Grundlagen und Berechnungen, dem Einbezug von relevanten Stakeholdern und Messungen an Prototypen.

KLIMADATEN, REFERENZGEBÄUDE UND FASSADENSYSTEME

Die Quantifizierung der Auswirkungen der Fassadenbegrünungen auf das Aussen- und Innenklima sowie der Stromerzeugung von PV-Anlagen und deren Kosten- und Umweltauswirkungen hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, wie z. B. dem Standort, der Geometrie des Gebäudes und der Umgebung sowie der Bauweise des Gebäudes und den Eigenschaften der analysierten Systeme.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Betrachtungen wurden mit Blick auf ein künftiges Klimaszenario durchgeführt. Als Referenz in dieser Studie wurde die Periode 2060 und das Szenario RCP 8.5 verwendet, was einem extremen Treibhausgaszenario entspricht. Dadurch konnte die Bedeutung und das Potential von Begrünungsmassnahmen und PV-Systemen verdeutlicht werden. Als Referenzstandort wurde die Stadt Zürich verwendet. Mit der Klimastation Zürich Kaserne wurde auch der städtischen Wärmeinseleffekt in den Simulationen berücksichtigt.

In der Studie wurden insgesamt drei Referenzgebäude («Neubau», «Altbau» und «sanierter Altbau») betrachtet, wobei sich der «Altbau» und der «sanierter Altbau» lediglich in den thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle unterscheiden. Abbildung 115 zeigt den 8-geschossigen «Neubau» (links) sowie den 4-geschossigen «Altbau»/«sanierter Altbau» im städtischen Kontext (fiktives Quartier, Gebäudekubatur analog dem jeweiligen Referenzgebäude, Gebäudehöhe und -abstand analog dem Referenzgebäude «Altbau»/«sanierter Altbau»). Als Referenzfassade wurde bei allen Referenzgebäuden eine hinterlüftete Fassade mit Faserzementplatten angenommen.

Es wurden insgesamt zwei Typologien von Fassadenbegrünungen (bodengebunden und wandgebunden) sowie zwei Typologien von PV-Fassaden (transparente und opake Module) betrachtet.

Detailliertere Informationen zu den beschriebenen Punkten sind im Bericht dieser Studie zu finden.

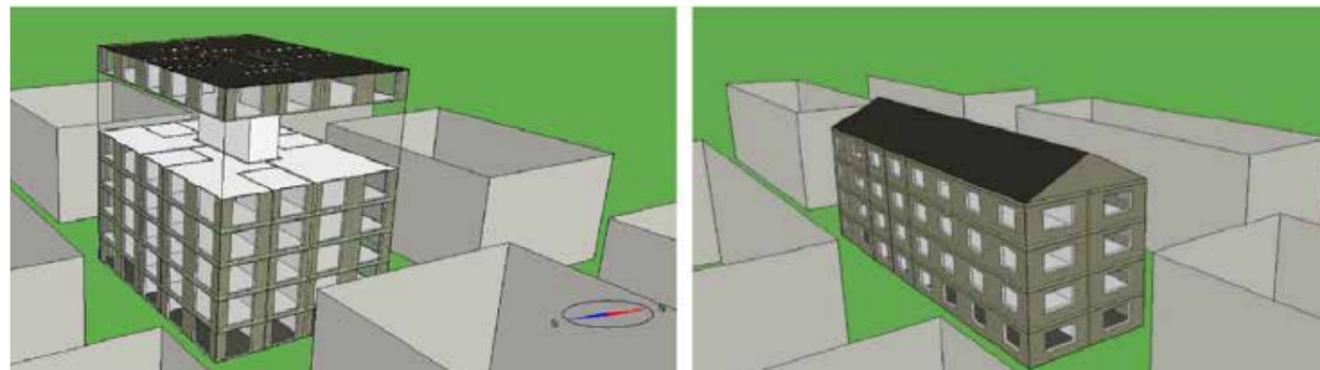


Abb. 115: Simulationsmodelle der Referenzgebäude im städtischen Kontext, links: Referenzgebäude «Neubau», rechts: Referenzgebäude «Altbau» und «sanierter Altbau» (gleiche Geometrie, gleicher Kontext)

BEWERTETE ASPEKTE

Die Beurteilung der verschiedenen Fassadensysteme erfolgte anhand verschiedener qualitativer und quantitativer Aspekte.

Qualitative Aspekte:

- Lärm in Städten
- Luftqualität
- Biodiversität
- Regenwasserrückhalt
- Attraktivität der Aussenräume

Quantitative Aspekte:

- Thermisches Wohlbefinden in Innenräumen: Temperatur und Überhitzungsstunden
- Betrieb des Gebäudes: Wärme, Kälte und Stromverbrauch
- Stromproduktion der PV-Fassade, Solarpotential und saisonale Betrachtung
- Betrieb und Erstellung: gesamtheitliche Ökobilanz (LCA)
- Ökonomische Betrachtung: Initial- und Lebenszykluskosten (LCC)
- Mikroklima: Temperatur an der Fassade und Einfluss auf die nähere Umgebung

ERKENNTNISSE DER QUALITATIVEN ANALYSE

Die Analyse hat gezeigt, dass insbesondere Fassadenbegrünungen einen positiven Mehrwert auf die untersuchten Aspekte leisten und nahe am Menschen den grössten Einfluss nehmen können. Im betrachteten städtischen Kontext ist somit der Effekt von Begrünungen speziell in den unteren Geschossen am grössten. Die PV-Fassaden verhalten sich auf die Aspekte meist ähnlich wie die Referenzfassade. Bei einigen Aspekten, wie bspw. Lärm in Städten oder Biodiversität, ist eine PV-Fassade im betrachteten Kontext sogar leicht negativ zu bewerten.

ERKENNTNISSE DER QUANTITATIVEN ANALYSE

Fassadenbegrünungen können auf das thermische Wohlbefinden im Innenraum sowie auf den Energiebedarf des Gebäudes einen positiven Einfluss nehmen. Dieser Einfluss ist jedoch beim «Neubau» als gering bis sehr gering zu bewerten. Bei Gebäuden mit einer schlecht gedämmten Hülle kann dieser Effekt grösser sein. Mit Blick auf die Ökobilanz (LCA) führen die bodengebundene und vor allem die wandgebundene Begrünung zu etwas höheren Umweltauswirkungen als die Referenzfassade. Hinsichtlich der Lebenszykluskosten (LCC) führt eine bodengebundene Begrünung zu höheren Kosten als die Referenzfassade (Investitionskosten sind geringfügig höher, hinzu kommen jedoch laufende Kosten für die Pflege der Begrünung während der Betriebsphase). Die wandgebundene Begrünung ist von den betrachteten Fassadensystemen das mit Abstand kostenintensivste System.

PV-Systeme leisten einen positiven Beitrag zur Stromproduktion über die Fassade, wobei der Effekt stark von der Orientierung, dem Wirkungsgrad und einer möglichen Beschattung der Module abhängt. Dies spiegelt sich auch bei der Ökobilanz (LCA) wieder: Je höher die Gewinne im Betrieb, desto schneller können die anfänglich hohen Umweltauswirkungen amortisiert werden. PV-Module mit einer schlechten Positionierung an der Fassade können z.T. die anfänglichen THGE über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren nicht kompensieren.

Auch hinsichtlich der Lebenszykluskosten (LCC) ist ein hoher Wirkungsgrad und eine Anordnung der Module an Flächen mit einem hohen Stromerzeugungspotential essenziell. Transparente Module können die anfänglichen Kosten auch durch die Gewinne im Betrieb über die Betrachtungsperiode nicht amortisieren. Opake Module können bei einer gezielten Anordnung über den Lebenszyklus ökonomische Vorteile erzielen.

→ Detaillierte Informationen zu den qualitativen und quantitativen Aspekten sind in dieser Broschüre unter «Einfluss der Systeme: qualitative und quantitative Aspekte» zu finden.

ERKENNTNISSE DER MESSUNGEN

Mittels Messungen wurde der Einfluss der Fassadensysteme auf die Temperaturen an der Fassade quantifiziert. Die Messergebnisse zeigten, dass durch die Fassadenbegrünungen die Temperatur an der Fassade an einem milden, sonnigen Tag im Vergleich zur Messreferenzfassade deutlich gesenkt werden konnten: Die Oberflächentemperaturen der bodengebundenen Begrünung lagen bis zu 13.9 °C und die der wandgebundenen Begrünung bis zu 14.9 °C tiefer als die Referenz. Die PV-Fassaden heizten sich hingegen mehr auf und erreichten bis zu 5 °C (opake Module) höhere Oberflächentemperaturen als die Messreferenzfassade. An heissen Sommertagen könnte sich dieser Effekt weiter verstärken.

ERKENNTNISSE DER QUARTIERKLIMAMODELLIERUNG (QKM)

Mittels QKM wurde der Einfluss der verschiedenen Fassadensysteme auf die nähere Umgebung untersucht. Anhand der PET (psychologisch äquivalente Temperatur) wurde analysiert, wie die empfundene Temperatur im Aussenraum in verschiedenen Abständen zur Fassade durch die Systeme beeinflusst wird.

Dabei konnte festgestellt werden, dass PV-Module zwar an der Fassade zu höheren Oberflächentemperaturen führen, die Umgebung jedoch nicht negativ beeinflussen. Das liegt einerseits daran, dass die einfallende Strahlung teilweise in Strom umgewandelt wird, andererseits haben die Module eine geringe Albedo (geringe Reflexion der einfallenden Strahlung in die Umgebung).

ZUSAMMENFASSUNG

Bei den Fassadenbegrünungen konnte aufgezeigt werden, dass der kühlende Effekt am stärksten direkt an der Fassade spürbar ist und mit zunehmendem Abstand zur Fassade abnimmt. Die Wirkung der Begrünungen kann zudem durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden: Bei direkter Sonneneinstrahlung ist der positive Effekt auf die PET am grössten, durch Wind kann der unmittelbare Effekt der Begrünung gemindert werden. Im Vergleich zu anderen Begrünungselementen, wie bspw. Bäumen, ist der Effekt einer Fassadenbegrünung geringer. Dies liegt insbesondere daran, dass ein Baum neben dem kühlenden Effekt (Verdunstungskühlung) ebenso Schatten spendet, wodurch die PET zusätzlich positiv beeinflusst wird. Ebenso wurde der Vergleich zu einer Rasenfläche (der asphaltierte Strassenraum wurde durch eine begrünte Fläche ersetzt) hergestellt. Auch hier konnte ein grösserer Effekt im Vergleich zur Fassadenbegrünung erreicht werden, dies ist insbesondere auf die höhere Substratschicht (Boden) und der deutlich grösseren Grünfläche (m²) zurückzuführen. Allgemein kann gesagt werden, dass Bäume von den drei betrachteten Grünelementen am effektivsten sind. In städtischen Gebieten ist jedoch häufig das Platzangebot begrenzt, weshalb Fassadenbegrünungen eine gute Option darstellen.

KOMBINATION VON BEGRÜNUNG & PV

Die Vergleich der qualitativen und quantitativen Analyse zeigte, dass sich die Systeme an der Fassade i.d.R. nicht konkurrenzieren: Fassadenbegrünungen erzielen nahe am Menschen angeordnet den grössten Effekt, d.h. in den meisten Fällen sind das die unteren Bereiche/Geschosse des Gebäudes. PV-Module sollten hingegen an Fassadenflächen mit hohem Stromerzeugungspotential angeordnet werden, d.h. also an Süd-, Ost- und Westfassaden ohne Verschattung. Dies betrifft i.d.R. vor allen die oberen Geschosse des Gebäudes, da insbesondere in städtischen Gebieten meist die unteren Geschosse durch Nachbargebäude verschattet werden. Eine Kombination von Begrünung und PV an der Fassade ist somit gut umsetzbar und kann die Vorteile beider Systeme miteinander vereinen.

Eine Bewertung von verschiedenen Systemkombinationen (Begrünung und PV) hinsichtlich LCA und LCC hat zudem gezeigt, dass eine Kombination ebenso ökologisch als auch ökonomisch empfehlenswert ist.

→ Detaillierte Informationen zu den Messergebnissen, QKM-Simulationen sowie den Systemkombinationen sind im Schlussbericht von GreenPV zu finden.

BEDEUTUNG VON BEGRÜNUNG & PV IM STÄDTISCHEN UND LÄNDLICHEN KONTEXT

Die Urbanität eines Standorts sollte bei einer Wahl der passenden Fassadensysteme und der Gebäudegestaltung berücksichtigt werden. So wird es in städtischen Gebieten im Vergleich zu umliegenden ländlichen Gebieten in den Sommermonaten deutlich wärmer (städtischer Wärmeinseleffekt). Mit Blick auf den Klimawandel wird sich dies künftig noch weiter verschärfen. Der Bedarf nach Kühlung wird somit insbesondere im städtischen Kontext an Bedeutung gewinnen, Begrünungen können hier eine wichtige Massnahme darstellen und eine Fassadengestaltung mit Begrünungen und PV-Anlagen in Kombination ist empfehlenswert. In ländlichen Gebieten ist i.d.R. mehr Platz für Grünflächen im Aussenraum vorhanden, zudem gibt es dort keinen städtischen Wärmeinseleffekt. Dies spricht dafür, Fassaden in ländlichen Gebieten bei einer entsprechenden Eignung als PV-Fassade zu verwenden. Zu beachten gilt es, dass die Fassaden der oft weniger hohen Gebäude im ländlichen Raum allenfalls durch Bäume beschattet werden könnten.

ERWEITERUNG DER SYSTEMGRENZE: GESAMTHEITLICHE GESTALTUNG MIT GRÜN & PV

Bei der Planung von Gebäuden und Arealen sollte immer eine gesamtheitliche Gestaltung stattfinden. PV und Grün können somit nicht nur an der Fassade, sondern auch auf Dachflächen und im Aussenraum (bspw. Grünflächen, Bäume etc.) eingesetzt werden. Die verschiedenen Systeme bieten dabei diverse Vorteile, die miteinander kombiniert werden sollten.

Um eine effiziente Stromproduktion über das ganze Jahr zu erzielen, sollten PV-Module sowohl auf dem Dach als auch an der Fassade angeordnet werden oder sogar arealübergreifende Lösungen in Betracht gezogen werden. Auch die Kombination verschiedener Grünelemente, d.h. von Fassadenbegrünungen, Dachbegrünungen, Bäumen und Rasenflächen kann verschiedene Vorteile miteinander verbinden. Welche Begrünungen vor Ort eingesetzt werden, ist anhand verschiedener Gegebenheiten abzuwägen, dazu gehören u.a. das verfügbare Platzangebot, statische Voraussetzungen, Zugänglichkeit etc.

HEMNMISSE UND MASSNAHMEN ZUR STEIGERUNG DER AKZEPTANZ VON BEGRÜNUNGEN & PV IM FASSADENBEREICH

Derzeit finden sowohl Begrünungen als auch PV-Anlagen an der Fassade kaum Anwendung. Gebäudefassaden bieten jedoch ein hohes Potential, welches vermehrt genutzt werden sollte. Bei der Umsetzung von begrünten und PV-Fassaden gibt es jedoch einige Hemmnisse, welche Planende, Bauherrschaften und Investoren/innen davon abhalten, diese Systeme vermehrt umzusetzen. Dazu gehören insbesondere die folgenden:

- hohe Initialkosten sowie zusätzliche Kosten für Pflege- und Instandhaltung bei Begrünungen
- erhöhter Planungsaufwand, fehlende Erfahrungen, Mangel an guten Beispielen und theoretischen Grundlagen
- Unsicherheit bei Planenden und Investoren/innen bezüglich der Langzeitbetrachtung (z.B. Unklarheiten zu gesetzlichen Vorgaben, Förderungen und Preisentwicklungen)
- Brandschutz: klare Vorgaben und explizite Lösungsansätze bei mittleren Gebäuden und Hochhäusern fehlen derzeit
- Denkmalschutz, fehlende Richtlinien, Zielkonflikt Kultur – Energie – Wohlbefinden/Hitzeminderung im Aussenraum
- fehlende Erfahrungen und Unklarheiten bei Ausführung und Unterhalt, Fachkräftemangel, Engpass Lieferungen (bei PV Abhängigkeit von Importprodukten)

- Attraktivität und Ästhetik, fehlende Akzeptanz insbesondere bei PV-Systemen, fehlende Kontrolle des Fassadenbilds bei Begrünungen
- Unterhalt und Betrieb (Nutzungsphase), Zugänglichkeit insbesondere bei hohen Fassaden (Platz für Hebebühne etc.), laufende Pflege- und Instandhaltung insbesondere bei Fassadenbegrünungen
- Baulicher Kontext, fehlender Bodenanschluss, ungeeignete Architektur bzw. Volumetrie (Eigenbeschattungen, Vor- und Rücksprünge etc.)

Im Rahmen der Studie wurden diese Hemmnisse genauer betrachtet und Massnahmen/Empfehlungen zur Steigerung der Akzeptanz formuliert. Eine der Massnahmen bzw. erarbeiteten Hilfsmittel für die Zielgruppe der Planenden und Bauherrschaften ist diese Broschüre.

BROSCHÜRE «GREENPV»

Um die Akteure im Umgang mit den neuen Herausforderungen zu unterstützen und Unsicherheiten zu reduzieren, wurden in dieser Broschüre die wichtigsten Grundlagen, Kennwerten und gute Fallbeispiele aus der Praxis zu begrünten und PV-Fassaden zusammengetragen.

CHECKLISTE FÜR DIE PLANUNG

Fassadenplanung mit Begrünung und PV
Handlungsempfehlungen für die Phasen der SIA 112:2014

	1 Strategische Planung	2 Vorstudien	3 Projektierung	4 Ausschreibung	5 Realisierung	6 Bewirtschaftung
GRUNDLAGEN:						
Bezug zu übergeordneten Zielen, Leitbildern oder Planungen des Quartiers, der Gemeinde, des Kantons erstellen und dokumentieren, z.B. Energierichtpläne, Klimawandelkarten, Richtlinien zu Stadtklima oder Grünkorridore						
Identifizieren und Berücksichtigen von Gesamt- oder Quartierkonzepten, die für die Fassadengestaltung im Hinblick auf gezielte Förderung energetischer und stadtklimatischer Schwerpunkte sowie Begrünungszielen relevant sind						
Sensibilisieren und Informieren der Bauherrschaft über die Vor- und Nachteile der verschiedenen Fassadensysteme. Informationsfluss zu Projektentscheidungstragenden sicherstellen						
Abklären rechtlicher Gegebenheiten (Einschränkungen und Vorgaben) <ul style="list-style-type: none"> - Bewilligungsverfahren und -fähigkeit vorabklären (kritische Punkte: Denkmalschutz, Erscheinungsbild, Brandschutz, Fassadenspiegelung, Vogel-/Tierschutz...) - PV: Konditionen von potenziellen Netzbetreiber prüfen (Anschlussgesuch) 						
ZIELSETZUNG:						
Gemeinsames Definieren von Zielen, welche mit der Fassade verfolgt werden sollen (z.B. in Bezug auf Aussen- und Innenraumqualität, Energiegewinnung, Biodiversität, (Regen-)Wassermanagement, sozialer Austausch, Identifikation)						
Aufstellen eines Gebäudehülle-Energiekonzepts, Priorisieren folgender Aspekte: <ul style="list-style-type: none"> - Energieproduktion (Strom oder Wärme) und Energiereduktion (Wärmedämmung, Sonnenschutz beweglich / fix oder baulich / natürlich z.B. durch Begrünung) - PV: maximaler jährlicher Solarstromertrag / maximaler Winterstromertrag - PV: Eigenverbrauchdeckung: quantitative / zeitliche Übereinstimmung - PV: Option Speicherung (Batterie, Kombination mit Elektromobilität oder Wärmepumpe) 						
Aufstellen eines Gebäudehülle-Begrünungskonzepts, Priorisieren folgender Aspekte: <ul style="list-style-type: none"> - Möglichkeiten vergleichen von Umgebung, Dach und Fassade - Fassade: Verbesserung des Aussenklimas, Beschattung der Fassade oder von Aussen- / Innenbereichen - Fassade: Gestaltungsoptionen (z.B. Naturbezug, Farbe, saisonale Veränderung) 						
Langfristigkeit der Betrachtung als Basis für die Wirtschaftlichkeitsrechnung festlegen						

Farblich markierte Texte beziehen sich nur auf folgende Systeme: - Fassadenbegrünung - PV-Fassade

Fassadenplanung mit Begrünung und PV
Handlungsempfehlungen für die Phasen der SIA 112:2014

	1 Strategische Planung	2 Vorstudien	3 Projektierung	4 Ausschreibung	5 Realisierung	6 Bewirtschaftung
STANDORT:						
Analyse der Bauparzelle heute und mit Blick auf die Zukunft Themen: Luftqualität, Stadtbild, Klima, Sonnenstrahlung, Ausrichtung, Verschattung, Gebäudenutzungszeiten je nach Fassadenseite und Geschoss, Beziehung zu umliegenden Gebäuden, Versorgungsmöglichkeiten, Notwendigkeit von Erholungsbereichen, Treffpunkten...						
Beurteilen von Bedarf und Eignung von Begrünungs- und PV-Systemen						
GEBÄUDE:						
Ermitteln von Flächenpotentialen an der Fassade. Wo stehen Flächen grundsätzlich zur Verfügung. Wo kommen welche Systeme in Frage?						
Durchführen einer Variantenprüfung: <ul style="list-style-type: none"> - Optionen für Fassaden und Dachsystemen (Kosten / Nutzen) - Anwendung von Begrünungs- und PV-Systemen in der Fassade (nur PV, nur Grün, Kombination) - Kostenanalyse/ Grobkostenrechnung im Vergleich zu einer konventionellen Fassade unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus der Anlage, von allfälligen lokalen Einspeisevergütungen und Subventionen 						
Klären der technischen Machbarkeit (Fassadeneigenschaften, Statik)						
Prüfen der Versorgungs- und Instandhaltungsanforderungen (Platzbedarf, Zugänglichkeit, Notwendigkeit von Hebeeinrichtungen etc.)						
FASSADENBEGRÜNUNG:						
Vorabklärungen unter Berücksichtigung des gewünschten Fassadenbilds <ul style="list-style-type: none"> - Boden- oder wandgebundene Systeme - Direktbewuchs der Fassade oder Kletterhilfen (entsprechende Überprüfung der Aussenwandeignung) - Berücksichtigung der Wuchszeit je nach Systemwahl - Immergrüne oder sommergrüne Pflanzen (Saisonale Betrachtung, Sommer – Begrünung als Verschattungselement, Winter – laubabwerfende Begrünung erlaubt Wärmegewinne über transparente Bauteile, Nordfassade immergrüne Pflanzen empfehlenswert) 						
Bestimmen der statischen Anforderungen je nach System und bei Bedarf Massnahmen zur Erfüllung der Tragfähigkeit ergreifen. Nachweise vorbereiten						
Pflanzenvorauswahl nach heutigen und künftigen Standortfaktoren (Wasser, Licht, Wärme, chemische- u. mechanische Faktoren) in Absprache mit Fachleuten						

CHECKLISTE FÜR DIE PLANUNG

Fassadenplanung mit Begrünung und PV
Handlungsempfehlungen für die Phasen der SIA 112:2014

	1 Strategische Planung	2 Vorstudien	3 Projektierung	4 Ausschreibung	5 Realisierung	6 Bewirtschaftung
FASSADENBEGRÜNUNG:						
Nötigenfalls Erarbeitung eines Konzepts zur Bewässerung						
- Abklärung des Bewässerungsbedarf unter Berücksichtigung des Klimawandels (Temperaturspitzen, mögliche temporäre Knappheit)						
- Verwendung von Regenwasser- und/oder Grauwasser						
Evaluation von sensorbasierter, bedarfsgerechter Steuerung (v.a. bei wandgebundenen Systemen)						
Massnahmen zur Schädlingsprävention berücksichtigen						
PV-FASSADE:						
Vorabklärung unter Berücksichtigung des gewünschten Fassadenbilds						
- Gestaltung mit opaken, transparenten, geeigneten Elementen						
- Evaluation von PV-Elementen als fixer Sonnenschutz						
- Integration im gesamtheitlichen Farbkonzept						
Abklärung der Abmessungen von Standardmodulen in der Planung (Senkung der Kosten)						
Anlagenlayout definieren und zeichnen. Projektbeschreibung verfassen						
Detailfragen klären für heutige und künftige Ansprüche (Statik, Montagesystem, Wechselrichter, Leitungsführung, Einspeisekonzept, Mess- und Abrechnungskonzept, Schnittstellen zu Dachdecker, Spengler, Gebäudetechnik, Elektromobilität)						
BRANDSCHUTZ:						
Erarbeitung eines Konzepts zum Brandschutz						
- Beachten der gültigen Normen und Richtlinien auf kantonaler- und Bundesebene						
- Individuelles Schutzkonzept unter Konsultation von Fachleuten erstellen						
- Besprechung und Abnahme des Konzepts durch zuständige Behörde						
Sicherstellen eines korrekten Betriebs:						
Nötigenfalls regelmässige Bewässerung und Pflege (Entfernung von Totholz) zur Sicherstellung des Brandschutzes sowie eines attraktiven Fassadenbildes						
Sicherstellen eines korrekten Betriebs:						
Regelmässige Überprüfung der Komponenten / Anlage						

Farblich markierte Texte beziehen sich nur auf folgende Systeme: - Fassadenbegrünung - PV-Fassade

Fassadenplanung mit Begrünung und PV
Handlungsempfehlungen für die Phasen der SIA 112:2014

	1 Strategische Planung	2 Vorstudien	3 Projektierung	4 Ausschreibung	5 Realisierung	6 Bewirtschaftung
UMSETZUNG						
Material- und Pflanzenwahl unter Berücksichtigung des ökologischen Impacts (z.B. Ökobilanz der System-Komponenten, Einfluss auf die Umgebung, Wasser- und Nährstoffversorgung)						
Festlegung technischer Details unter Berücksichtigung der Zirkularität (z.B. Demontierbarkeit, Recyclbarkeit, Wiederverwendungsmöglichkeit)						
Spezifische Ziele zum klimawandelgerechten Bauen in den allgemeinen Bedingungen von Ausschreibungen festhalten						
INBETRIEBNAHME:						
Erfüllen der erforderlichen Prüfungen (Strom, allfällige Bewässerungssysteme)						
Meldung der Inbetriebnahme an Behörden, Feuerwehr sowie den lokalen Netzbetreiber						
Instruktion von Bauherrschaft, FM-Beauftragten resp. technischem Personal						
WARTUNG UND INSTANDHALTUNG:						
Erarbeitung eines Konzepts zur Wartung und Instandhaltung						
- Zugänglichkeit der Fassade einplanen (z.B. Hebebühne, Fassadenlift...)						
- Platzbedarf und Bodentragfähigkeit für Gerüste und Hebebühnen prüfen						
- Zusammenarbeit mit Fachpersonal (Fassadenreinigungsspezialisten, Gärtner)						
Erarbeitung und Sicherstellung des Monitoring-Konzepts						
- Erfassen der Stromproduktion						
- Systematische Störungsmeldungen, periodische Kontrollen nach NIV						
Ablesung und Verarbeitung der Daten						
An Bewirtschaftung durch Fachpersonal und Instruktion von FM-Beauftragten denken						
- Wartungsvertrag						
- Regelmässige Reinigung						
- Reparaturen im Fehlerfall (Wechselrichter, Softwareupdates, Bewässerungssystem)						
- Ersatz von Systemkomponenten (Halterungen, degradierte PV-Module, beschädigte Pflanzen)						
Abgabe der Anlage an einen Recycling-Betrieb im Falle eines Rückbaus						
DOKUMENTATION:						
Dokumentation aller Aspekte der Projektierungs- und Realisierungsphase: Pläne, Berichte, technische Datenblätter, Wartungsplan.						
Dokumentation der Wartungstermine sowie aller durchgeführten Arbeiten						

KONTAKTSTELLEN

BUND

Pronovo AG

Förderprogramme für erneuerbare Energien des Bundes
Dammstrasse 3
5070 Frick
T +41 0848 014 014
info@pronovo.ch
pronovo.ch

STADT ST. GALLEN

Umwelt und Energie

Vadianstrasse 8
9001 St.Gallen
T +41 71 224 56 76
umwelt.energie@stadt.sg.ch
www.umwelt.stadt.sg.ch

Stadtgrün

Neugasse 3
9004 St.Gallen
T +41 71 224 56 32
stadtgruen@stadt.sg.ch
stadtgruen.stadt.sg.ch

STADT ZÜRICH

Energieberatung Stadt Zürich - Förderprogramm Solaranlagen

Klimabüro
Beatenplatz 2
8001 Zürich
T +41 44 412 24 24
portal.energie-foerderung.ch/zs

Grün Stadt Zürich - Förderprogramm und Beratung

Naturschutz und Stadtökologie
Beatenplatz 2
8001 Zürich
GSZ-Foerderprogramme@zuerich.ch
www.stadt-zuerich.ch/gsz

Umwelt und Gesundheitsschutz Fachstelle Schädlingsprävention

Eggbühlstrasse 23
8050 Zürich
T +41 44 412 28 38
ugz-schaedlingspraevention@zuerich.ch
stadt-zuerich.ch/schaedlingspraevention
Sprechstunden (telefonisch erreichbar):
Montag bis Freitag, 13:30-14:30 Uhr

Ein Projekt der

Hochschule Luzern

Institut für Gebäudetechnik und Energie
Technik & Architektur
Technikumstrasse 21
6048 Horw

www.hslu.ch

Autoren und Autorinnen:

Büttner Sina, Domingo Irigoyen Silvia, Keiser Livio,
Settembrini Gianrico, Sotnikov Artem, Arnold Killian

Mit Unterstützung von