



# Gebäude Begrünung Energie

Potenziale und Wechselwirkungen

Abschlussbericht, 31.08.2013



Im Rahmen der Forschungsinitiative ZukunftBAU des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Technische Universität Darmstadt  
 Fachbereich Architektur  
 Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung, Prof. Dr. J. Dettmar  
 Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen, Prof. M. Hegger

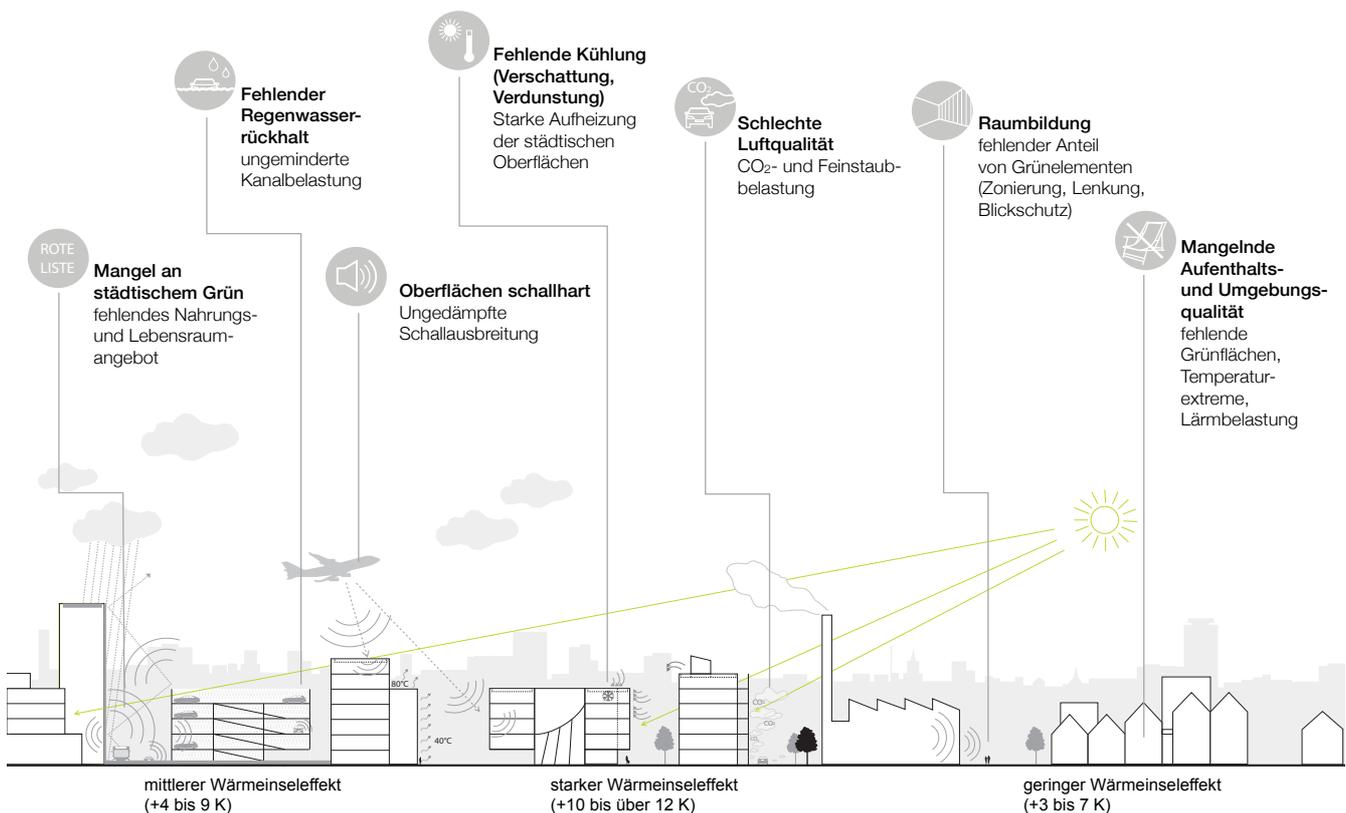
In Kooperation mit  
 Technische Universität Braunschweig  
 Institut für Geoökologie  
 Abteilung Klimatologie und Umweltmeteorologie, Prof. S. Weber

**Autoren**  
 Nicole Pfoser, Dipl.-Ing. (Projektleitung)  
 Nathalie Jenner, Dipl.-Ing.  
 Johanna Henrich, Dipl.-Ing.  
 Jannik Heusinger, B. Sc.  
 Prof. Dr. Stephan Weber

**Mitarbeiter**  
 Johannes Schreiner, B. Sc.  
 Carlos Unten Kanashiro, B. Sc.

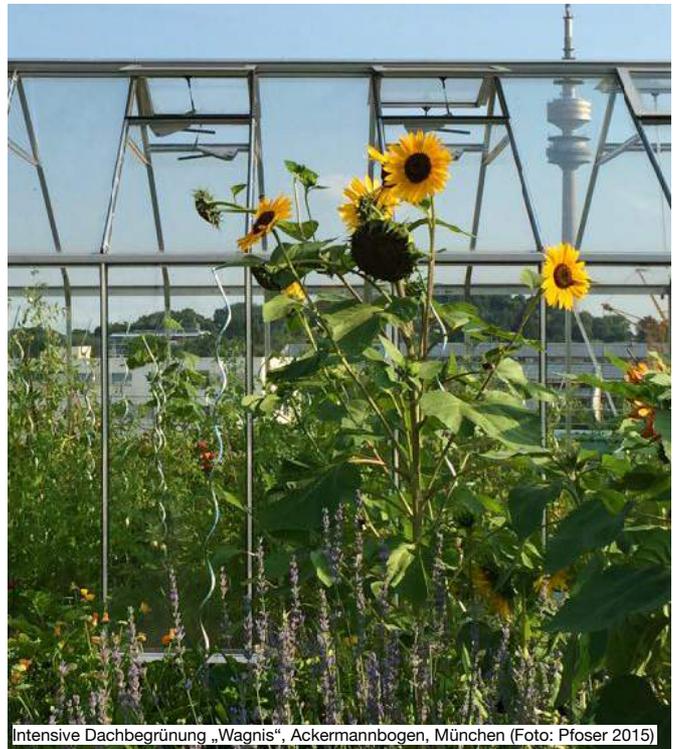


## Status quo / Stadtklima





Magistratsabteilung 48, Wien (Foto: Nicole Pfoser 2012)

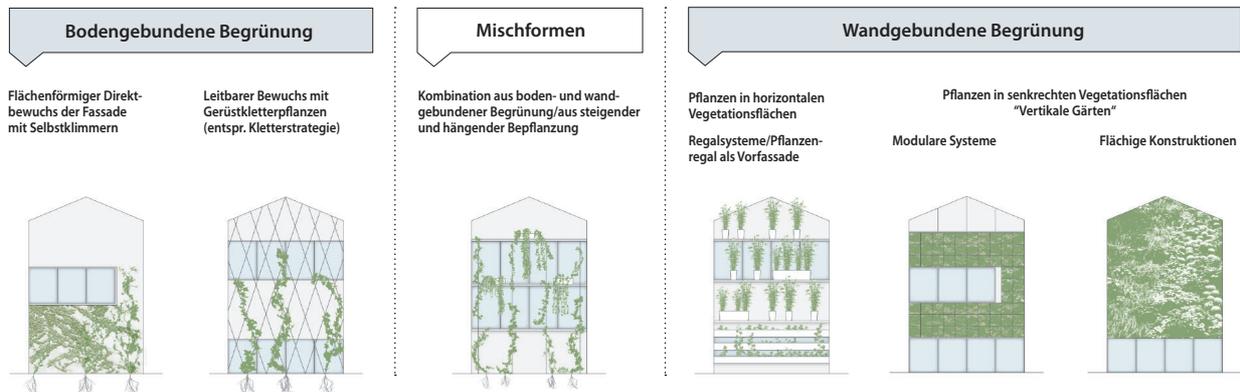


Intensive Dachbegrünung „Wagnis“, Ackermannbogen, München (Foto: Pfoser 2015)

## Grüne Chance Leistungsfaktoren der Gebäudebegrünung

Kühlung, Verschattung, Strahlungs- und Witterungsschutz, Minderung von Temperaturextremen, Wasserrückhalt, Bindung und Filterung von Staub und Luftschadstoffen, Schallabsorption, Biodiversität, Gestaltungspotenzial

## Fassadenbegrünung: Unterscheidung der Begrünungsformen / Pflanzenauswahl



Pfarrhaus Paulusgemeinde Darmstadt



Alpine Finanz, Opfikon, CH, © Jakob AG

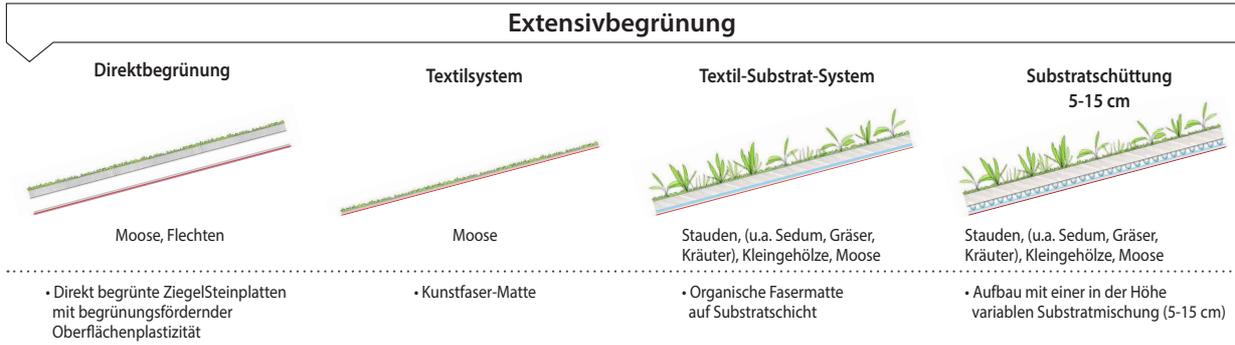


Stacking Green, Saigon, Vietnam, © vtnaa, Photographers: Hiroyuki Oki



BHV Homme, Paris

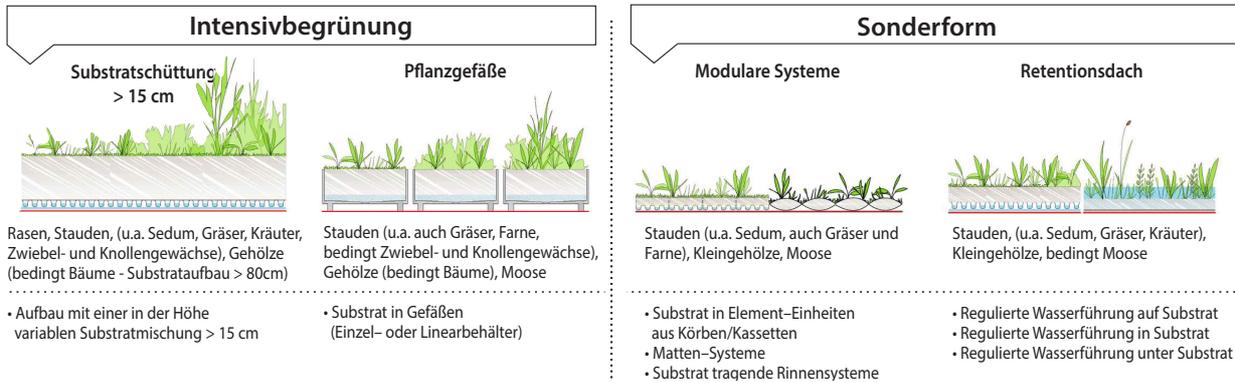
# Dachbegrünung: Unterscheidung der Begrünungsformen / Pflanzenauswahl



Naturnah gestaltete Vegetationsformen, die sich weitgehend selbst erhalten und weiterentwickeln. Mit geringem Aufwand herstellbar und zu unterhalten.



# Dachbegrünung: Unterscheidung der Begrünungsformen / Pflanzenauswahl



Mit bodengebundenen Freiräumen vergleichbar (Nutzung und Gestaltungsvielfalt). Die Pflanzenauswahl stellt hohe Ansprüche an den Schichtaufbau. Nur durch intensive Pflege und regelmäßige Wasser- und Nährstoffversorgung dauerhaft zu erhalten.



Hinweis: Die in dieser Präsentation gezeigten Fotografien und Darstellungen sind nicht frei von Rechten Dritter.



Smart is green (Photo: © CHRISTIAN HACKER FOTODESIGN for zillerplus)

## Energieeffizienz und Energiegewinnung am Gebäude Gebäudebegrünung und Energie: Wirkung auf das Gebäude

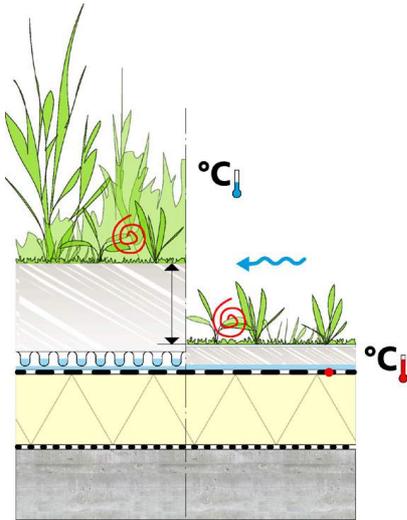
### Die fünf Energiethemen

Energiethemen	Passiv	Aktiv Gebäudetechnik
	Energiebedarf minimieren	Energieversorgung optimieren
 Wärme	Wärme erhalten	Wärme effizient gewinnen
 Kälte	Überhitzung vermeiden	Wärme effizient abführen
 Luft	natürlich lüften	effizient maschinell lüften
 Licht	Tageslicht nutzen	Kunstlicht optimieren
 Strom	Strom effizient nutzen	Strom dezentral gewinnen

Die wesentlichen Maßnahmen bei Sanierung und Neubau basieren auf zwei aufeinanderfolgenden Schritten

1. Energieverluste minimieren
  - passive Strategien stärken
2. Erneuerbare Energien erschließen
  - aktive Systeme optimieren
  - regenerative Energiequellen erschließen

## Gebäudeoptimierung • Wärmehaltung



Intensive/extensive Dachbegrünung  
(© Nicole Pfoser, 2013)

<sup>1</sup> Unterstützung des Dämmeffekts, Darstellung der Einflussfaktoren: vorhandene Dämmstärke, beruhigte Luftschicht, Volumen / Blattmasse, Substratschicht des Dachaufbaus (Höhe, Material, Wassersättigung bzw. Luftschicht bei Drainage)



Dachbegrünung Stadel FFM (© Keller & Keller Landschaftsarchitekten)



Erhöhung der Dämmwirkung um 3-10% <sup>1</sup>



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Ressourcenschonung,  
Reduktion Wärmeverluste der  
Gebäudehülle



**Aufenthaltsqualität**  
Temperausgleich,  
geringere Wind-/Feuchte-/  
mechanische Belastung  
der Gebäudehülle



**Kosten-Vorteile**  
Materialschutz/Reduktion  
Dämmstärke,  
Energieeinsparung

## Gebäudeoptimierung • Wärmehaltung



(c) Susanita www.fotosearch.de Stock Photography



<sup>1</sup> Vergleich Wärmedurchgang Putzfassade/wandgebundenes Begrünungselement, ungedämmt (Scharf, B./Pitha, U./Oberarzbacher, S. 2012)

Magistratsabteilung 48, Wien (g4c.nea.at/wp-content/uploads/2014/11/1.6.4.png)

Reduktion Wärmedurchgang 0,19 W/(m²K) <sup>1</sup>



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Winterlicher Lebensraum und  
Nahrungsangebot Fauna,  
Ressourcenschonung (Materialschutz/  
Reduktion Dämmung)

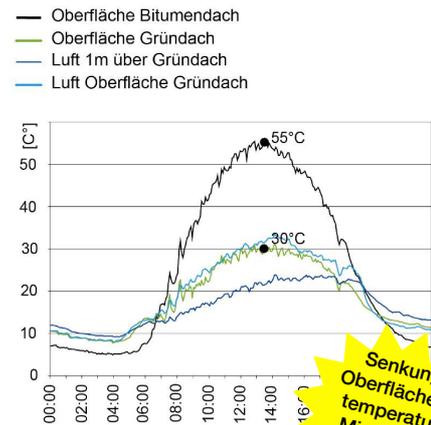
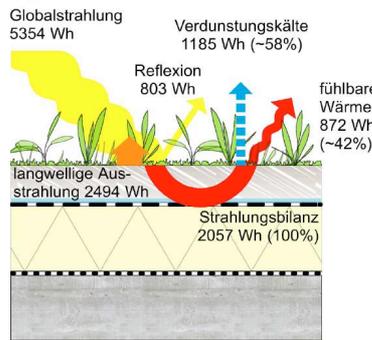
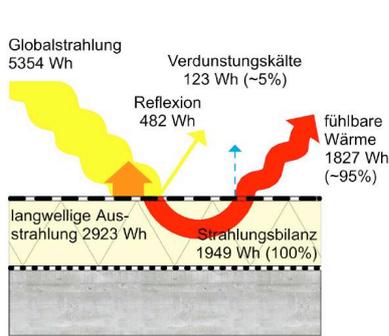


**Aufenthaltsqualität**  
Temperausgleich



**Kosten-Vorteile**  
Reduktion Wärmeverluste der  
Gebäudehülle/  
geringere Wind-/Feuchtebelastung

## Gebäudeoptimierung • Kühlung / Natürliche Lüftung



Kühlung durch Verdunstung von Pflanzen und Oberflächenwasser, verminderte Sonneneinstrahlung und Reflexion. Umwandlung von 58 % der Strahlungsbilanz in Verdunstungskälte. Energiebilanz im Tagesmittel. Vergleich eines unbegrünten und eines begrünerten Daches (TU Darmstadt, FGee, FGe+f nach: Schmidt, M. (2003))

Temperaturverlauf Oberflächen-temperaturmessung (Juni) extensiv begrüntes Flachdach, Vergleich Bitumendach, UFA-Fabrik, Berlin-Tempelhof (nach Schmidt, M. (2003))



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Temperaturregulierung:  
Verschattung,  
Verdunstungskühlung

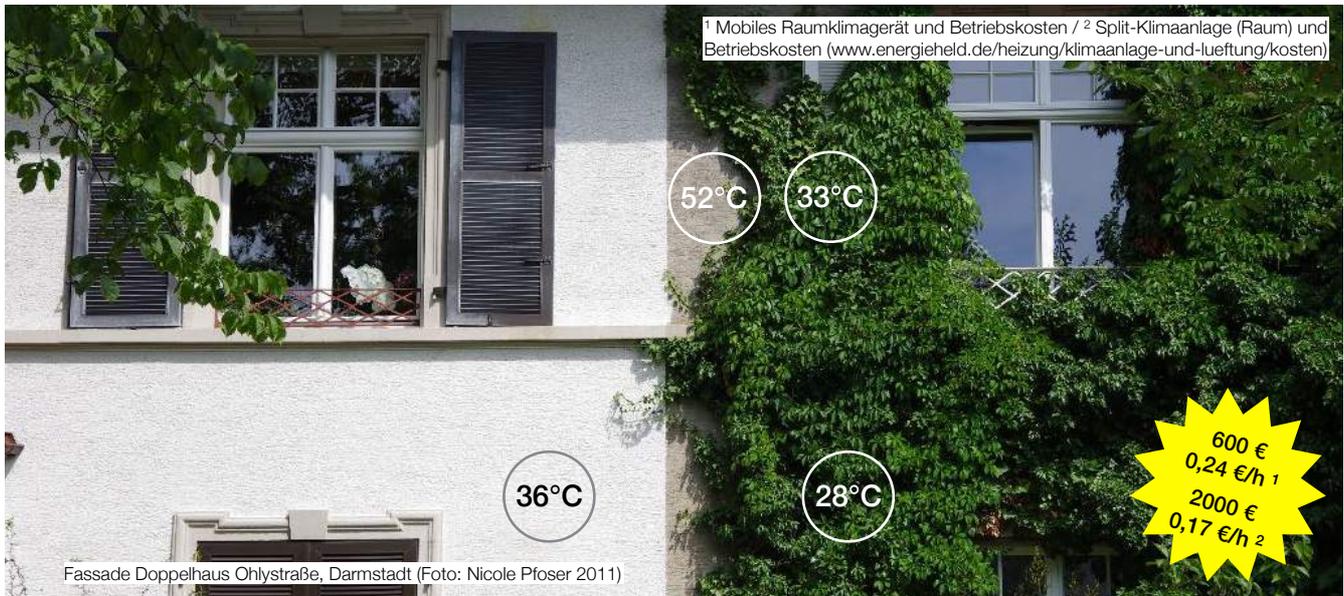


**Aufenthaltsqualität**  
Sommerliche Umgebungskühlung,  
Kühlung der Gebäudeoberflächen,  
Materialschutz (UV-Strahlung/  
mechanische Belastung)



**Kosten-Vorteile**  
Substitution technischer Systeme  
(Klima-/Lüftungsanlage),  
Material-Lebensdauer

## Gebäudeoptimierung • Kühlung



Fassade Doppelhaus Ohlystraße, Darmstadt (Foto: Nicole Pfoser 2011)



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Sommerliche Umgebungskühlung,  
Kühlung der Gebäudeoberflächen



**Aufenthaltsqualität**  
Temperaturregulierung:  
Verschattung,  
Verdunstungskühlung



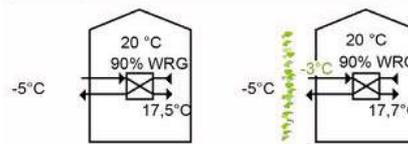
**Kosten-Vorteile**  
Substitution technischer Systeme  
(Klima-/Lüftungsanlage)

## Gebäudeoptimierung • Natürliche Lüftung / Gebäudekühlung

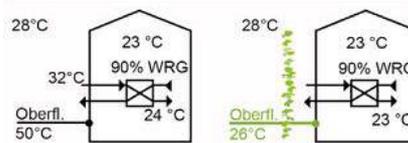


### Dezentrale Lüftung + Gebäudebegrünung

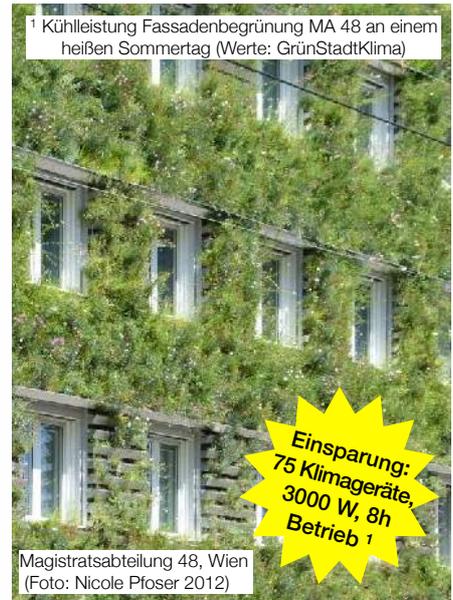
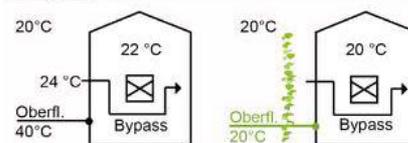
Wintertag



Sommertag



Übergangszeit



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Ressourcenschonung durch Unterstützung/Substitution technischer Klima-Systeme



**Aufenthaltsqualität**  
Verbesserung Luftqualität, Luftreinigung/Luftbefeuchtung, Umgebungskühlung, Pufferwirkung



**Kosten-Vorteile**  
Luftvorkonditionierung durch natürliche Temperaturregulierung und Staubfiltration

## Gebäudeoptimierung • Licht / Sonnenschutz



<sup>1</sup> Primärenergiebedarf Kühlen: Technischer Sonnenschutz 39-49 kWh/m<sup>2</sup>/a vs. Fassadenbegrünung 22 kWh/m<sup>2</sup>/a, <sup>2</sup> Wartung/Reparatur technischer Sonnenschutz 16.525 €/a vs. Fassadenbegrünung 1.300 €/a (Institut für Physik der Humboldt-Universität Berlin Adlershof (Marco Schmidt))



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Ressourcenschonung (Substitution technischer Verschattung/Reduktion künstliche Innenraumbelichtung)



**Aufenthaltsqualität**  
Verschattungswirkung, Blendschutz, Blickschutz, Ausblickqualität/ Licht- und Schattenspiel



**Kosten-Vorteile**  
Substitution technischer Systeme, Einsparung Wartung technischer Verschattung/Windwächter/ Reduktion Kunstlicht

## Gebäudeoptimierung • Elektrische Energie

<sup>1</sup> Leistungssteigerung PV/Dachbegrünung vs. BPV/Bitumendach (ZinCo GmbH), <sup>2</sup> Wert: Possmann Frankfurt/Main



**Erhöhung Wirkungsgrad PV: 4-5 %<sup>1</sup>**



**6000 €/a Kühlkosteneinsparung<sup>2</sup>**



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Ressourcenschonung (Kunstlichteinsparung, PV-Wirkungsgradsteigerung, natürliche Prozesskühlung)



**Positive Effekte**  
Energieeinsparung durch Unterstützung/Vermeidung technischer Verbraucher



**Kosten-Vorteile**  
Steigerung Wirkungsgrad PV, Kühlenergie-Einsparung (z.B. Kosteneinsparung Prozesskühlung), Energiebeitrag durch Biomasse

## Gebäudeoptimierung • Grauwasser

Aus Grau wird Grün - Optimierung der Evapotranspirations- und Kühlleistung extensiver Dachbegrünungen durch gezielte Nutzung von Grauwasser (Hochschule Weihenstephan-Triesdorf/ZinCo GmbH, unter: [www.hswt.de/forschung/wissenstransfer/2014/juni-2014/grauwasser.html](http://www.hswt.de/forschung/wissenstransfer/2014/juni-2014/grauwasser.html))

Vergleichbares Wachstum von Carex flacca bei Bewässerung mit Leitungswasser (li.) und Grauwasser (re.)



Vergleichbares Wachstum von Bergenia cordifolia bei Bewässerung mit Leitungswasser (li.) und Grauwasser (re.)

**Einsparung systemabhängig**



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Ressourcenschonung (Trinkwassereinsparung/ Grundwasserschutz), Verdunstungsleistung



**Aufenthaltsqualität**  
Bauteil- und Umgebungskühlung, Wasser als Gestaltungselement



**Kosten-Vorteile**  
Trinkwasserersparnis, Einsparung Kühltechnik/-kosten, Reinigung (Grauwasserklärung), Regenwasserrückhalt

## Umfeldverbesserung • Regenwasserrückhalt



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Verdunstungsleistung,  
Umgebungskühlung, Reinigung  
des Wassers



**Aufenthaltsqualität**  
Zusätzliche Kühlwirkung,  
Gebäudekühlung im Sommer



**Kosten-Vorteile**  
Reduzierte Kanalbelastung/  
Niederschlagswassergebühr,  
Einsparung Leitungswasser

## Gebäudeoptimierung „Material/Ökobilanz“

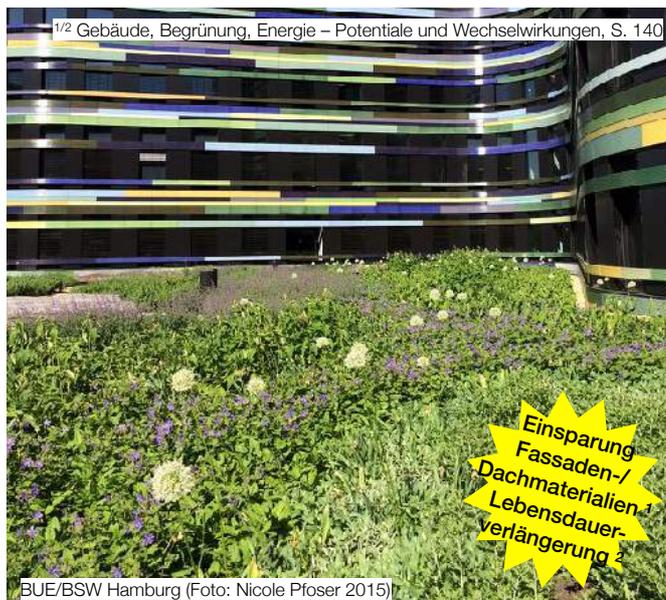


Foto: [www.energiesparhaus.at/denkwerkstatt/allgemein\\_a.asp?Thread=36144](http://www.energiesparhaus.at/denkwerkstatt/allgemein_a.asp?Thread=36144)



Sturm- und Hagelschaden ([www.badische-zeitung.de/anzeige/richtig-versichert--75992331.html](http://www.badische-zeitung.de/anzeige/richtig-versichert--75992331.html))

## Gebäudeoptimierung • Material/Ökobilanz



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Kohlenstoffspeicherung,  
O<sub>2</sub>-Produktion,  
Filterung von Feinstäuben



**Aufenthaltsqualität**  
Substitution aufwändiger  
Sichtfassaden durch Naturelement



**Kosten-Vorteile**  
Material-Ökonomie,  
Materialschutz (UV, Δt)/  
Verlängerung der Lebensdauer,  
Reduktion Energiebedarf

### Kosten / Nutzen Eigentümer

Einsparungen durch Begrünung

- Heiz-/Kühlenergie
- Wartung technischer Systeme
- Bauteilschutz / Renovierungskosten



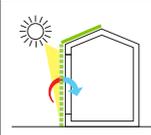
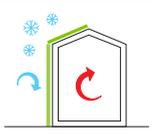
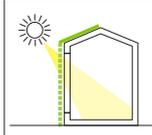
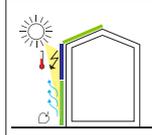
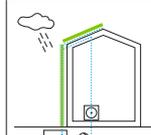
Pflegekosten, Wartung

Bodengebundene Begrünungen,  
einfache wandgebundene  
Begrünungen, Mischformen  
extensive Dachbegrünung



Zusätzlich mögliche Kostenersparnis  
durch Substitution von Fassaden-/Dach-  
materialien, Kühltechnik und  
technischen Verschattungssystemen

# Gebäudeoptimierung • Zusammenfassung

BEDARF	°C Temperatur	☀️ Licht	🌀 Lüftung	⚡ Elektrische Energie	💧 Wasser	♻️ Material/ Ökobilanz	
MASSNAHME	 Adiabate Kühlung	 Wärmehaltung/ Pufferwirkung	 Außen liegender Sonnenschutz	 Vorkonditionierung natürliche/kontrollierte Lüftung	 Umweltenergie	 Grauwassernutzung/ -reinigung	 CO <sub>2</sub> -Bilanz
WIRKUNG GEBÄUDE- BEGRÜNUNG	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Vermeidung Aufheizung Gebäudeoberflächen/ Innenraum/Absorber durch Verschattung/ Verdunstungsleistung der Pflanzen</li> <li>+ Reduktion Wärmeverluste der Gebäudehülle</li> <li>+ geringere Windbelastung</li> <li>+ geringere Feuchte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Blendschutz durch Verschattung</li> <li>+ Funktionsübernahme technischer Systeme</li> <li>+ Pflanzenabhängig</li> <li>+ transluzent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Luftreinigung</li> <li>+ Luftbefeuchtung</li> <li>+ Kühlung der Zuluft im Sommer</li> <li>+ ggf. Pufferwirkung der Zuluft im Winter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Wirkungsgradsteigerung technischer Systeme</li> <li>+ Unterstützung aktiver und passiver Energiegewinnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Trinkwassersparnis</li> <li>+ Kühlwirkung</li> <li>+ Schadstoff-Filterung</li> <li>+ Gestaltungselement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Kohlenstoff-Speicherung</li> <li>+ O<sub>2</sub>-Produktion</li> <li>+ Energiebedarfsreduktion</li> <li>+ Filterung von Feinstäuben</li> <li>+ Bautenschutz/Verlängerung der Lebensdauer</li> </ul>	
<b>EINSPARUNG ZUGEWINN</b>	Einsparung Kühlkosten	Reduktion Wärmedurchgang	Reduktion Primär- energie, Einsparung Wartungskosten technischer Systeme	Unterstützung/ Entfall Klimageräte	Leistungssteigerung Photovoltaik, Einsparung Kühlenergie, Biomassegewinnung	Einsparung systemabhängig	Einsparung Fassaden/ Dachmaterialien, Lebens- dauerverlängerung



## Gebäudebegrünung - Wirkung auf das Umfeld und den Stadtraum

## Umfeldverbesserung • Vermeidung von Überhitzung



Lufttemperatur 28,1-31,7 °C > Lufttemperaturdifferenz = min. 1,2 °C  
(Gebäude, Begrünung, Energie – Potentiale und Wechselwirkungen, S. 188 ff.)

### Auswirkungen städtischer Überhitzung

- Gesundheitsprobleme
- Reduktion der Arbeitsleistung
- Energieverbrauch (Klimaanlagen etc.)
- Hitzeschäden (Verkehrswege, Bauwerke, Motoren...)
- Ausfälle öffentlicher Verkehrsmittel
- Auswirkungen auf den Tourismus
- Stadtfucht und Belastung der Naherholungsgebiete
- ...



Stadthaus M1 Freiburg, © Jakob AG



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Verdunstungsleistung,  
Umgebungskühlung,  
Ressourcenschonung



**Aufenthaltsqualität**  
Minderung sommerlicher Hitze  
und Reflektion

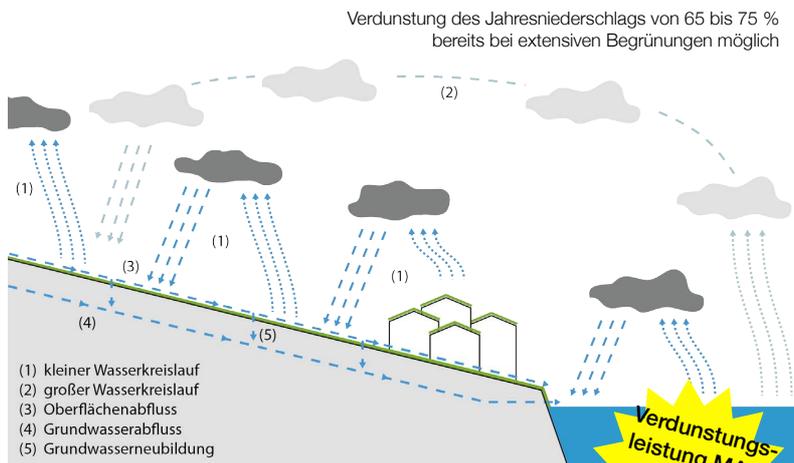


**Kosten-Vorteile**  
Materialschutz infolge Minderung der  
Temperaturrextreme/UV-Belastung

## Umfeldverbesserung • Regenwasserverdunstung



<sup>1</sup> Verdunstungsleistung 850 m<sup>2</sup> Grünfassade MA48 (Werte: GrünStadtKlima)



Verdunstung des Jahresniederschlags von 65 bis 75 % bereits bei extensiven Begrünungen möglich



Links: Magistratsabteilung 48, Wien (Foto: Nicole Pfoser 2012), Rechts: Kleiner und großer Wasserkreislauf. Die Reduktion der Verdunstung an Land führt zur Verringerung der Niederschläge (TU Darmstadt, FGee/FGe+f, nach: Kravcik, M. et al. (2007))



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Reduktion versiegelter Flächen,  
Erhöhung der Verdunstungsrate,  
Beitrag zu regionalen  
Niederschlägen



**Aufenthaltsqualität**  
Kühlung des Stadtraums



**Kosten-Vorteile**  
Reduktion Starkregenereignisse/  
Sturm und Hagelschäden,  
Kanalentlastung

## Umfeldverbesserung • Reduktion der Luftbelastung



Fassadengarten über Parkhaus-Zufahrt (Optigrün)



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Kohlenstoffspeicherung,  
O<sub>2</sub>-Produktion,  
Filterung von Feinstäuben

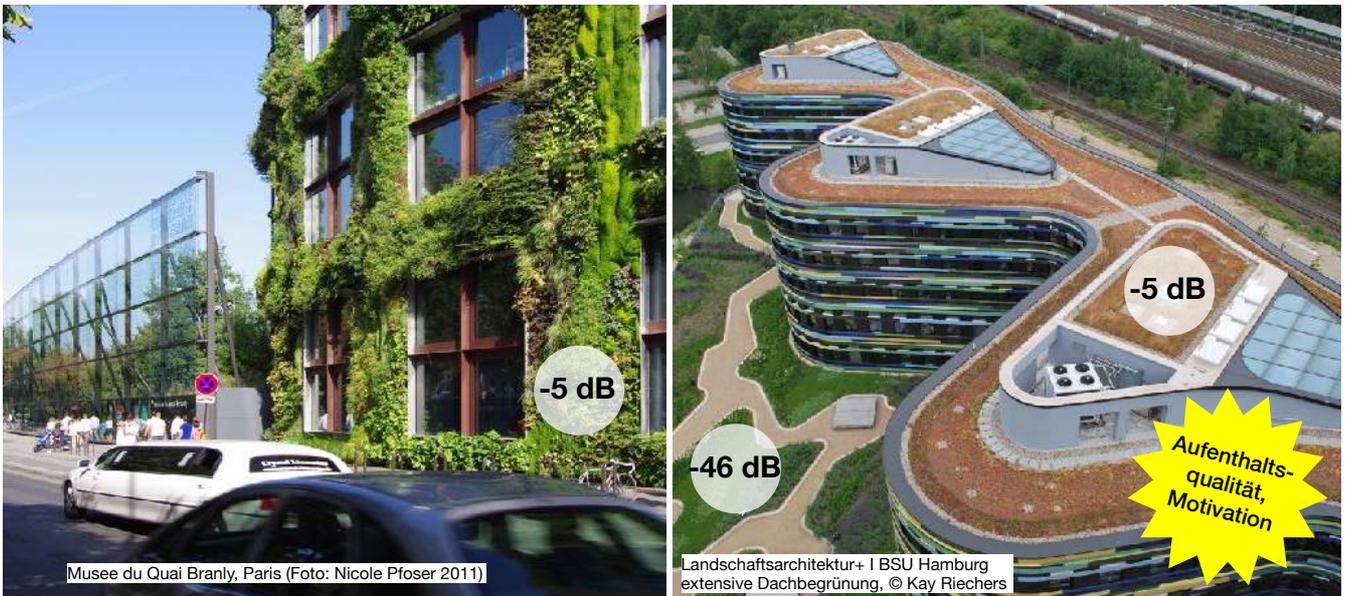


**Aufenthaltsqualität**  
Verbesserung Luftqualität,  
visuelle Umweltqualität



**Kosten-Vorteile**  
Oberflächenschutz Materialien  
(Instandhaltung/thermische  
Belastung/chemische  
Beanspruchung)

## Umfeldverbesserung • Minderung Lärmbelastung



Musee du Quai Branly, Paris (Foto: Nicole Pfoser 2011)

Landschaftsarchitektur+ IBSU Hamburg  
extensive Dachbegrünung, © Kay Riechers



**Ökologie / Umweltaspekte**  
als begrünte Maßnahme/  
reduzierte Umweltbelastung

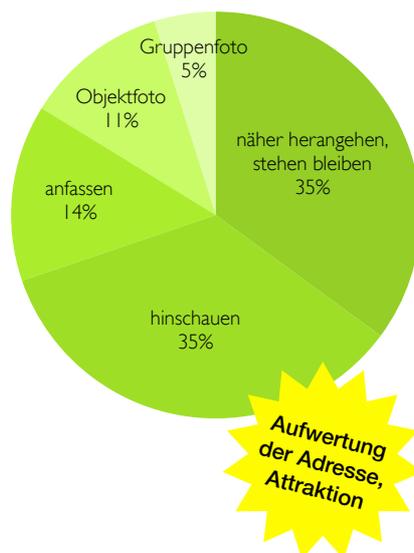


**Aufenthaltsqualität**  
Lärminderung durch Absorptions-  
und Reflektionsleistung,  
Reduktion der Gebäude-Transmission



**Kosten-Vorteile**  
Passanten-, Besucherfreundlichkeit  
(Gesundheit, Sicherheit),  
Aufenthalts- und  
Kommunikationsqualität

## Umfeldverbesserung • Akzeptanz



Fassadengebundene begrünte Nordfassade des Musée du Quai Branly in Paris.  
 Sonntag, 21. August 2011, 15-16.30 Uhr, sonnig, 35,6 °C. Summe Passanten (P): 1156  
 Auswertung: 90 Minuten Analyse des Passantenverhaltens (© Nicole Pfoser 09/2011)

## Umfeldverbesserung • Akzeptanz



**Ökologie / Umweltaspekte**  
 Schaffung zusätzlicher Grünflächen,  
 Nutzungsangebot und  
 Lebensraum Fauna



**Aufenthaltsqualität**  
 Gestaltungsvielfalt (Raumbildung,  
 Gliederung, Lenkung), Kühlwirkung,  
 Lärmreduktion,  
 Verbesserung Luftqualität



**Kosten-Vorteile**  
 Aufwertung der Adresse, Attraktion,  
 Fernwirkung, Corporate Identity,  
 psychologische/medizinische/  
 soziale Vorteile

## Umfeldverbesserung • Biodiversität



unbezahlbar  
...



**Ökologie / Umweltaspekte**  
Erweiterung der Nahrungs- und Lebensraumangebote



**Aufenthaltsqualität**  
Vielfalt/natürliches Gestaltungspotential



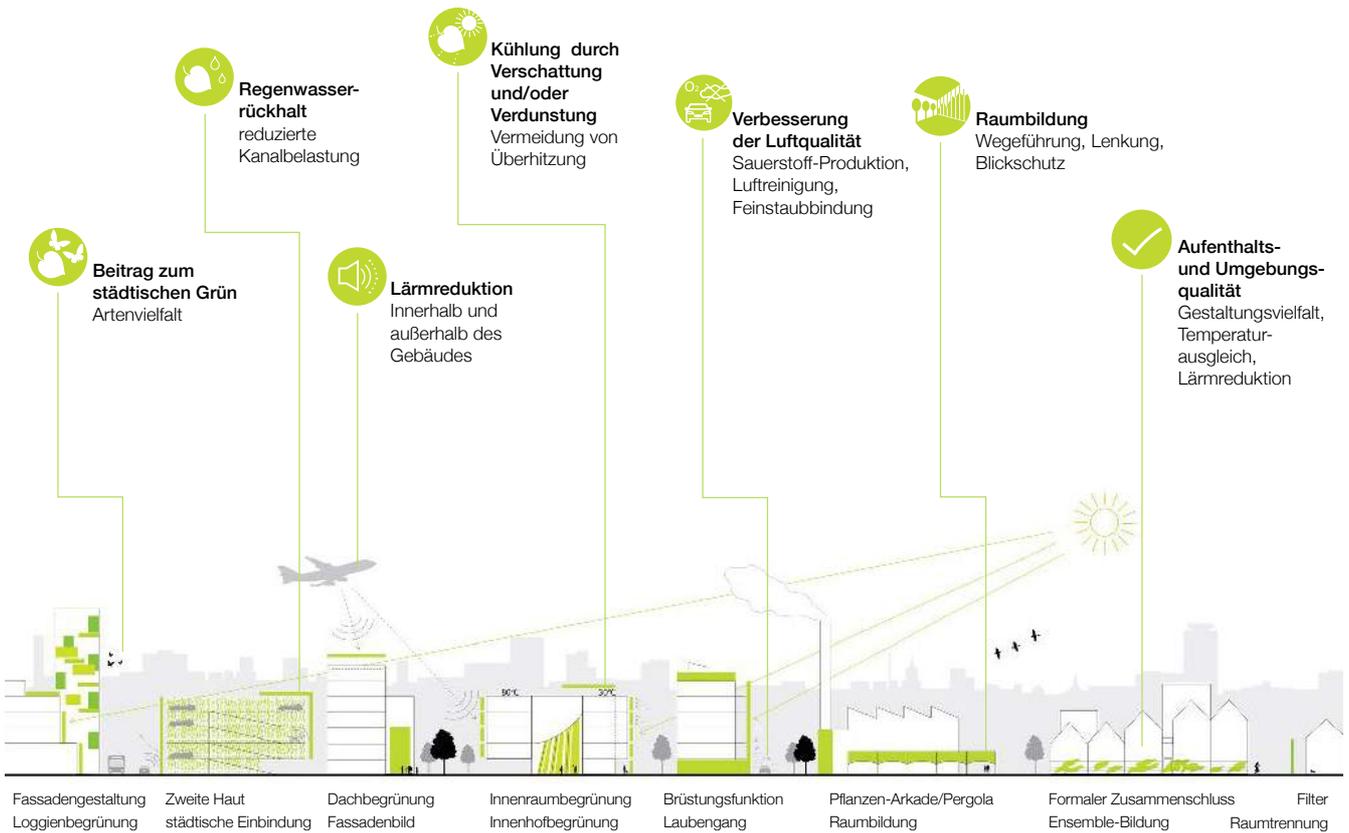
**Kosten-Vorteile**  
Vorbeugung Artensterben (z.B. Sicherung Nahrungskette/ Bestäubung)

## Umfeldverbesserung • Zusammenfassung

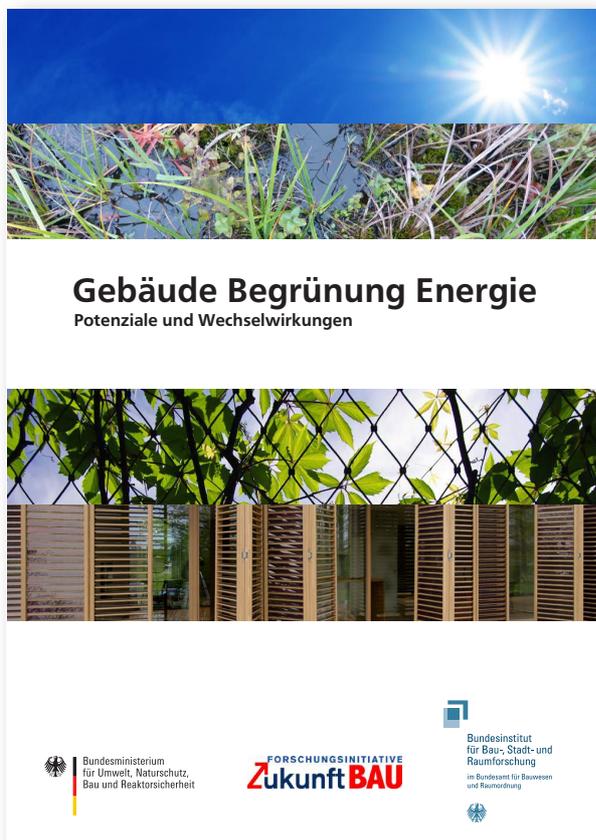
BEDARF	Wasser		Vermeidung von Überhitzung	Reduktion der Luftbelastung	Akzeptanz	Minderung der Lärmbelastung	Biodiversität	
MASSNAHME	<p>Regenwasser-Rückhalt      Regenwasser-verdunstung</p>		<p>Adiabate Kühlung und Verschattung</p>	<p>Photosynthese und Feinstaubbindung</p>	<p>Aufwertung von Gebäuden und Freiraum</p>	<p>Schallabsorption Minderung Schallreflektion</p>	<p>Erweiterung Lebensraum für Flora und Fauna</p>	
WIRKUNG GEBÄUDE-BEGRÜNUNG	+ Wasserrückhalt durch Minderung des Abflussbeiwerts + Verhinderung hoher Belastung der Kanalisation		+ Reduktion versiegelter Flächen + Erhöhung der Verdunstungsrate + Umgebungskühlung	+ Kühlung durch Verdunstung und Verschattung + Minderung städtischer Wärmeinseln	+ Kohlenstoffspeicherung + Sauerstoffproduktion + Feinstaubbindung und Verstoffwechslung von Luftschadstoffen + Oberflächenschutz	+ Verbesserung der Aufenthaltsqualität + Steigerung der Akzeptanz + Corporate Identity + Fernwirkung	+ Lärminderung im Außenraum + Reduktion Transmission Gebäude	+ trägt zur lokalen Artenvielfalt bei + Erweiterung Nahrungs- und Lebensraum
EINSPARUNG ZUGEWINN	reduzierte Niederschlagswassergebühr		Reduktion Starkregenereignisse / Sturm und Hagelschäden, Kanalentlastung	Schutz Material/ Klima/Gesundheit	Schutz Material/ Gesundheit	Attraktivität	Gesundheit, Sicherheit, Aufenthalts- und Kommunikationsqualität	Artenschutz

Hinweis: Die in dieser Präsentation gezeigten Fotografien und Darstellungen sind nicht frei von Rechten Dritter.

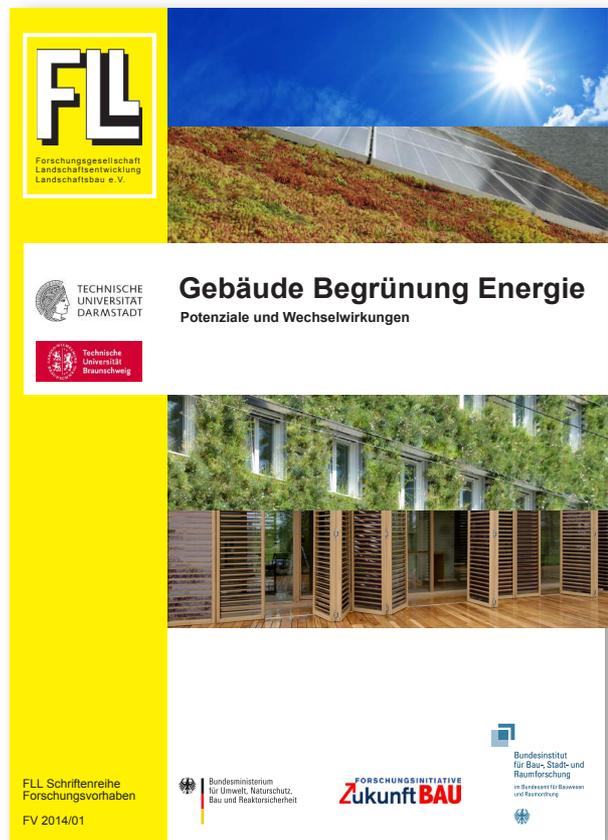
# Motivation • Gebäudeoptimierung / Umfeldverbesserung



© Nicole Pfoser/Beat Mürner (2015)



Kostenfreier Download unter: <http://www.baufachinformation.de/literatur/Gebäude-Begrünung-Energie/2013109006683>



Veröffentlichung des Leitfadens als Broschüre unter: <http://www.fll.de/shop/bauwerksbegrueung.html>

Hinweis: Die in dieser Präsentation gezeigten Fotografien und Darstellungen sind nicht frei von Rechten Dritter.