

MASTER'S THESIS

Ecological, economic and energy-related effects of facade greenery – developing a model of evaluation

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Entwicklung eines Modells zur Bewertung der ökologischen, ökonomischen und energetischen Auswirkungen fassadengebundener Begrünungssysteme

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer
Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Jutta Hollands

Matr.Nr.: 1429297

unter der Anleitung von
Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. **Azra Korjenic**
Univ.Ass. Mag.rer.nat. **David Tudiwer**

Institut für Hochbau und Technologie
Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13, A-1040 Wien

Wien, im Dezember 2017

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit und auf dem Weg dorthin fachlich sowie persönlich unterstützt haben. Es war mir ein besonderes Anliegen durch diese Arbeit einen Beitrag zur Weiterentwicklung innovativer ökologischer Baukonstruktionen in Form von Vertikalbegrünungen zu leisten.

Mein Dank gilt Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Azra Korjenic und Univ.Ass. Mag.rer.nat. David Tudiwer. Nicht zuletzt durch ihre Hilfsbereitschaft, ihr Engagement und ihre kompetente Betreuung konnte ich diese Arbeit motiviert beginnen, erstellen und abschließen.

Besonders möchte ich mich bei meinen Eltern und meiner Schwester bedanken, auf deren Unterstützung ich zu jeder Zeit zählen konnte. Herzlichen Dank für eure Geduld, euren Rückhalt und eure Motivation!

Auch für jegliche Unterstützung durch meine gesamte Familie, meinen Freund sowie meine Freundinnen und Freunde möchte ich mich von Herzen bedanken. Ihr alle habt durch eure Hilfe in großen und kleinen Momenten, von fern und nah zum Gelingen dieser Arbeit und dem erfolgreichen Abschluss meines Studiums beigetragen.

Kurzfassung

Fassadengebundene Begrünungssysteme können einen Beitrag zu einer umweltfreundlichen Stadtentwicklung leisten, sowohl im Rahmen von Bestandssanierungen als auch durch direkte Integration in den Neubau. Als multifunktionale Systeme verbessern sie nicht nur die bauphysikalischen und energetischen Eigenschaften des Gebäudes und tragen als Schadstofffilter zu einer Verbesserung der Luftqualität bei, sondern bewirken auch eine Attraktivierung des Stadtbildes. Anknüpfend an eine bereits abgeschlossene Diplomarbeit am Forschungsbereich, die sich mit der Bewertung der ökologischen Auswirkungen von Vertikalbegrünung anhand einer Lebenszyklusanalyse beschäftigt, werden in dieser Arbeit auch die ökonomischen Auswirkungen untersucht. Betrachtet werden die bodengebundene Fassadenbegrünung und drei fassadengebundene Begrünungssysteme: das modulare, das troggebundene und das Matten-Begrünungssystem. Für jedes System wird ein gesamter Lebenszyklus von der Herstellung über den Betrieb bis zur Entsorgung betrachtet.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Modells, mit welchem objektbezogen abgeschätzt werden kann, mit welchem ökonomischen Aufwand, ökologischen Nutzen sowie energetischer Einsparung zu rechnen ist. In einer Kosten-Nutzen-Analyse erfolgt eine Unterteilung der Auswirkungen jeweils in persönliche und soziale, um einerseits den Effekt auf die Hauseigentümerin bzw. den Hauseigentümer direkt sowie andererseits den volkswirtschaftlichen Nutzen bewerten zu können. Die hierzu notwendige monetäre Bewertung der Umweltauswirkungen erfolgt nach unterschiedlichen Methoden in Abhängigkeit der individuellen Ausgangssituation. So berechnet sich die Energieeinsparung durch die Begrünung unter anderem in Abhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten der Bestandskonstruktion sowie des Gebäudestandorts. Die Auswirkungen durch die Verbesserung der Luftqualität werden anhand des *willingness to pay*-Konzepts indirekt ermittelt. Zur Bewertung der Kosten und Nutzen über den gesamten Lebenszyklus des Systems zum heutigen Zeitpunkt wird die Kapitalwertmethode herangezogen.

Um das Modell vorzustellen und seine Möglichkeiten aufzuzeigen, werden abschließend vier denkbare Anwendungsfälle untersucht. Hierbei werden sowohl die ökonomischen als auch die ökologischen Auswirkungen erläutert. Dabei wird deutlich, dass nach derzeitigem Stand des Wissens keine Aussage über die Wirtschaftlichkeit dieser drei Begrünungssysteme getroffen werden kann. Denn für eine Vielzahl der Nutzen ist bisher lediglich eine qualitative Bewertung möglich, welche bisher nicht im Modell berücksichtigt wird. Es bedarf daher weiterer Forschung bezüglich dieser Auswirkungen und nachfolgender Entwicklung des Modells.

Abstract

Façade greening systems can contribute to an environmental friendly urban development, both in the context of retrofitting of existing buildings and through direct integration in new constructions. As multifunctional systems, they not only improve the building physics and energy consumption of the building, but also contribute to air quality improvement as pollutant filters, making the cityscape more attractive. Following on from a diploma thesis in this research area, which deals with the assessment of the ecological effects of vertical greening through a life cycle analysis, in this work also the economic effects are investigated. The study focuses on the ground-bound façade greening and the following three living wall systems: the modular, the trough-bonded and the matted greening system. For each system, a complete lifecycle from manufacture over operation to disposal is considered.

The aim of this work is to develop a model, which can be used to estimate the economic efforts, the ecological benefits and energy savings to be expected. In a cost-benefit analysis, the effects are subdivided into personal and social ones in order to be able to assess the effect on the owner of the building on the one hand and the national economic benefits on the other. The monetary assessment of the environmental impacts required for this purpose is carried out according to different methods depending on the individual situation. Thus, the energy savings achieved by greening are calculated, inter alia, depending on the heat transition coefficient of the existing structure and the building location. The effects of improving the air quality are determined indirectly using the *willingness to pay*-concept. The capital value method is used to evaluate the costs and benefits over the entire life cycle of the system at the present time.

In order to present the model and to demonstrate its possibilities, four conceivable application cases are examined. Both the economic and ecological effects are explained. It becomes clear, that according to the current state of knowledge it is not possible to make a statement on the economic viability of these three greening systems. Since for a large number of benefits, only a qualitative evaluation is possible, which has not been taken into account in the model so far. Further research is therefore needed on these effects and the subsequent development of the model.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen der vertikalen Begrünung	3
2.1	Vorteile der vertikalen Begrünung	3
2.2	Nachteile der vertikalen Begrünung	4
2.3	Rechtliche Grundlagen	4
2.4	Bautechnische Grundlagen	5
2.5	Vegetationstechnische Grundlagen	6
3	Methodik	8
4	Untersuchte Begrünungssysteme	10
4.1	Bodengebundene Fassadenbegrünung	10
4.2	Modulares Begrünungssystem	13
4.3	Troggebundenes Begrünungssystem	16
4.4	Matten-Begrünungssystem	19
5	Entwicklung des Modells	22
5.1	Annahmen	24
5.2	Einschränkungen	25
5.3	Erweiterungspotential	25
6	Ökonomische Auswirkungen	27
6.1	Persönliche Kosten	29
6.1.1	Errichtung	29
6.1.2	Instandhaltung, Wartung und Pflege	30
6.1.3	Entsorgung	32
6.2	Soziale Kosten	33
6.2.1	Subventionen	33
6.3	Persönliche Nutzen	33
6.3.1	Immobilienwertsteigerung	33
6.3.2	Energieeinsparung	35
6.3.3	Langlebigkeit	43
6.3.4	Subventionen	43

Inhaltsverzeichnis

6.4	Soziale Nutzen	44
6.4.1	Stickoxid-Reduktion	45
6.4.2	Kohlenstoffdioxid-Reduktion	45
6.4.3	Lärm-Reduktion	46
6.4.4	Feinstaub-Reduktion	49
7	Ökologische Auswirkungen	52
7.1	Grundlagen der Lebenszyklusanalyse	52
7.2	Lebenszyklusanalyse der Begrünungssysteme	53
7.2.1	Lebenszyklusanalyse für das modulare Begrünungssystem	53
7.2.2	Lebenszyklusanalyse für das troggebundene Begrünungssystem	54
7.2.3	Lebenszyklusanalyse für die bodengebundene Fassadenbegrünung	54
7.2.4	Lebenszyklusanalyse für das Matten-Begrünungssystem	54
8	Variantenstudie und Auswertung	57
8.1	Variante A	57
8.1.1	Ausgangssituation Variante A	58
8.1.2	Ergebnisse Variante A	59
8.2	Variante B	64
8.2.1	Ausgangssituation Variante B	65
8.2.2	Ergebnisse Variante B	66
8.3	Variante C	70
8.3.1	Ausgangssituation Variante C	70
8.3.2	Ergebnisse Variante C	71
8.4	Variante D	75
8.4.1	Ausgangssituation Variante D	75
8.4.2	Ergebnisse Variante D	77
8.5	Auswertung und Vergleich der Varianten	79
9	Fazit und Ausblick	87
	Abbildungsverzeichnis	92
	Tabellenverzeichnis	93
A	Berechnung der durch Lärm Betroffenen in Wien 2012	94
B	Berechnung der Kühlgradtage	96

C Allgemeine Angaben zur Berechnung	103
D Ergebnisse Variante A	109
E Ergebnisse Variante B	133
F Ergebnisse Variante C	137
G Ergebnisse Variante D	141
Literatur	149

1 Einleitung

Laut Weltgesundheitsorganisation gibt es jährlich mehr als zwei Millionen Tote durch Luftverschmutzung [93]. Darüberhinaus entstehen rund 80 % der globalen CO₂-Emissionen in Großstädten aufgrund der dichten Besiedlung und der Anzahl hoher Gebäude [30]. Ferner wird die Zahl der Menschen, welche in Städten leben, nach einer Prognose der UN aus dem Jahr 2014 bis zum Jahr 2050 auf 66 % ansteigen [87]. Auch die Bevölkerungszahl der Stadt Wien ist bereits stark gestiegen und wächst weiter. So lebten im Jahr 2016 mit rund 1,8 Millionen Menschen rund 160.000 Menschen mehr in Wien als im Jahr 2009. Nach Prognosen der Magistratsabteilung 23 - Wirtschaft, Arbeit und Statistik werden bereits im Jahr 2029 mehr als zwei Millionen Menschen in der Stadt Wien leben [46]. Um ausreichend Wohnraum in der Stadt zu bieten, werden auch in Zukunft immer mehr Grünflächen weichen müssen. Doch gerade diese bestimmen die Lebensqualität der Menschen in der Stadt maßgeblich. Neben ästhetischen Vorteilen und positivem Einfluss auf das menschliche Wohlbefinden trägt Begrünung in der Stadt als Schadstofffilter zudem zur Verbesserung der Luftqualität bei. In Summe weist die Stadt Wien historisch bedingt durch den sozialen Wohnungsbau im roten Wien und durch große umliegende Grünflächen wie den Wiener Wald rund 50 % gewidmete Grünflächen auf. Das entspricht rund 19.000 ha. Doch diese liegen nicht unbedingt in den Wohngebieten. Ziel ist es nach dem Stadentwicklungsplan STEP 2025 der Magistratsabteilung 18 [45] bezogen auf den Stadtteil, 13 m² Grün- und Freiraum pro Einwohner/in aufzuweisen. Im internationalen Vergleich liegt die Stadt Wien damit im Mittelfeld. In Paris stehen 13 m² pro Person zur Verfügung. In New York sind es 23 m² pro Person und in London sogar 27 m² pro Person bezogen auf die Stadt [37]. Aufgrund der zukünftigen Nachverdichtung der Stadt wird es notwendig sein, auch Bereiche, in denen bisher kein Platz für Begrünung schien, zu nutzen. Hierzu bieten sich in großen Städten besonders die Fassadenflächen an. In Wien stehen rund 12.000 ha Fassadenfläche zur Verfügung, wobei nach Schätzungen auf rund 60 % eine Begrünung technisch umsetzbar ist [66]. Vertikale Begrünung eignet sich sowohl zum Nachrüsten bestehender Gebäude als auch zur direkten Integration in den Neubau. Der Forschungsbereich Bauphysik und Schallschutz am Institut für Hochbau und Technologie verfolgt das Ziel, die Gesamteffizienz von Gebäuden zu erhöhen. Hierbei werden energetische, ökologische sowie ökonomische Aspekte berücksichtigt. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts werden auch die Auswirkungen von fassadengebundenen Begrünungssystemen untersucht. Anknüpfend an die Diplomarbeit von Maria Pamminer [61], die sich mit den ökologischen Auswirkungen der Vertikalbegrünung beschäftigt hat, werden

in der vorliegenden Arbeit auch die ökonomischen Auswirkungen untersucht. In einem weiteren Schritt werden sowohl ökologische als auch ökonomische Auswirkungen der Vertikalbegrünungssysteme gemeinsam ausgewertet. Bisherige vergleichbare Arbeiten anderer Einrichtungen betrachten lediglich einen Aspekt oder untersuchen die Auswirkungen an anderen Standorten. Das Ziel dieser Arbeit ist es, Aussagen speziell für den Standort Wien und die in Österreich vorhandenen Begrünungssysteme individuell treffen zu können. Rund 68 % der Gebäude in Wien befanden sich im Jahr 2011 in Privatbesitz [73]. Vertikalbegrünungen bieten jeder Eigentümerin/jedem Eigentümer die Möglichkeit, einen Beitrag zum Umweltschutz in der Stadt zu leisten. Mit Hilfe des Modells kann objektbezogen abgeschätzt werden, mit welchem ökonomischen Aufwand, ökologischen Nutzen sowie energetischer Einsparung zu rechnen ist. Diese Diplomarbeit zeigt darüberhinaus auf, welche Auswirkungen der Vertikalbegrünung noch nicht quantifiziert darstellbar sind, aber dennoch großes Potential bieten.

2 Grundlagen der vertikalen Begrünung

Im folgenden Kapitel werden die vertikale Begrünung im Allgemeinen dargestellt, technische Grundlagen erklärt sowie Potentiale und Herausforderungen erläutert.

Die vertikale Begrünung umfasst alle Begrünungen an vertikalen Flächen wie zum Beispiel an Fassaden von Gebäuden, aber auch an freistehenden Wänden wie beispielsweise Lärmschutzwänden. Es wird in bodengebundene und fassadengebundene Begrünung unterschieden, wobei der Fokus dieser Arbeit auf den fassadengebundenen Systemen liegt. Bei dieser Art der Begrünung besteht kein direkter Kontakt der Pflanzen zum Boden, sondern der gesamte Lebensraum der Pflanze sowie die Pflanze selbst befinden sich an der Fassade [65]. Dieses System wird auch als *Living Wall System* bezeichnet [64]. Bodengebundene Begrünung hingegen weist direkten Kontakt zum Erdreich auf. Diese Art der Begrünung ist nur bei ausreichendem Platz am Boden umsetzbar.

2.1 Vorteile der vertikalen Begrünung

Vertikale Begrünung bringt eine Vielzahl von Vorteilen mit sich. Auf die Einzelheiten dieser positiven Eigenschaften wird in den Kapiteln *5 Entwicklung des Modells* und *6 Ökonomische Auswirkungen* näher eingegangen.

Einerseits gibt es positive Auswirkungen auf das Gebäude und dessen Eigenschaften. So werden die bauphysikalischen Eigenschaften der Fassade verbessert. Durch den zusätzlichen Aufbau wird die Wärmedämmung der Fassade erhöht und durch die Verschattung der Fassade sowie durch Verdunstung trägt die Begrünung zur natürlichen Kühlung im Inneren und im Außenbereich des Gebäudes bei. Die Begrünung leistet dadurch einen Beitrag zur Verbesserung des Mikroklimas. Andererseits wirkt sich die Begrünung auch positiv auf die Umwelt aus. Sie bietet demnach nicht nur Schutz für die Bausubstanz vor Witterungseinflüssen, sondern wertet diese auch auf. So wird die Attraktivität des Gebäudes selbst sowie die Aufenthaltsqualität im gesamten Umfeld erhöht und Lebensraum für Tiere in der Stadt erhalten beziehungsweise geschaffen.

Des Weiteren wirkt die Grünfassade als Schadstofffilter. Die Pflanzen binden schädliche Luftinhaltsstoffe und Staub, sie produzieren außerdem durch die Photosynthese nicht nur Sauerstoff, sondern binden auch CO₂. Nicht zuletzt können begrünte Fassaden zur Lärmreduzierung beitragen.[65][22]

2.2 Nachteile der vertikalen Begrünung

Den vielen Vorteilen der vertikalen Begrünung stehen auch Nachteile gegenüber. So sind die Kosten der Errichtung eines Systems zur vertikalen Begrünung meist hoch. Ebenso bedarf eine grüne Fassade Wartung und Pflege, was ebenso Kosten verursacht. Inwieweit sich diese Mehrkosten durch das Einsparungspotential amortisieren, ist projektabhängig und wird in der vorliegenden Diplomarbeit untersucht.

Darüberhinaus ist zu beachten, dass die Basisvoraussetzung für alle Begrünungen eine intakte Bausubstanz und Gebäudehülle ist [65]. Sollte diese Voraussetzung nicht erfüllt sein, kann es bei mangelnder Pflege und Wartung zu Bauschäden kommen, deren Behebung zu weiteren Aufwendungen führt. Dem Vorteil Lebensraum für Tiere in der Stadt zu schaffen steht teilweise gegenüber, dass auf diese Weise auch Kleinsttiere wie Insekten leichter in das Gebäude gelangen.

2.3 Rechtliche Grundlagen

Als erste Voraussetzung ist das Einverständnis der Hauseigentümerin beziehungsweise des Hauseigentümers notwendig. Des Weiteren sind wie bei jedem Bauvorhaben auch bei der vertikalen Begrünung die Bauordnung sowie alle damit verbundenen Verordnungen, Erlässe und Zulassungen in ihren aktuellen Versionen einzuhalten. Hierzu sind unter anderem sowohl produktspezifische Hinweise des Herstellers zu beachten, als auch die in Kapitel 2.4 erläuterten *Bautechnischen Grundlagen*. Handelt es sich um eine denkmalgeschützte Fassade, muss das zuständige Denkmalamt unbedingt miteinbezogen werden. Auch den eventuellen Ansprüchen des Urheberrechts bezüglich der künstlerischen und architektonischen Gestaltung des Gebäudes, sowie dem Nachbarschaftsrecht ist zu genügen.[65][22]

In Österreich ist keine Norm oder Richtlinie für vertikale Gebäudebegrünung vorhanden. Projektbezogen ist daher zu entscheiden, welche Richtlinie oder Norm heranzuziehen ist. Verbindliche Vorgaben enthält allerdings die deutsche Richtlinie der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. *Richtlinie zur Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen*[29]. Laut dem Leitfaden von *die umweltberatung* [22] sind ferner unter anderem folgende Normen relevant:

- ÖNORM B 2241 – Gartengestaltung und Grünflächenbau
- ÖNORM L 1040 – Pflanzen-Vegetationstechnische Arbeiten
- ÖNORM L 1041 – Erhaltungspflege

2.4 Bautechnische Grundlagen

Um die Funktionalität und die schadensfreie Installation und Nutzung der Begrünung zu gewährleisten, müssen bestimmte bautechnische Voraussetzungen erfüllt sein. Zu diesen zählen unter anderem brandschutztechnische Anforderungen sowie Anforderungen an die Tragfähigkeit der Fassade.

Brandschutz An die Fassade werden je nach Gebäudeklasse verschiedene brandschutztechnische Anforderungen gestellt, die besonders die verwendeten Materialien betreffen. Es sind daher nur nicht brennbare beziehungsweise schwer entflammbare Materialien zu verwenden, welche den Brandschutzbestimmungen der *ÖNORM EN 13501 – Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihren Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten* und *ÖNORM B 3806 – Anforderungen auf Brandverhalten von Bauprodukten und Baustoffen* entsprechen. Besonders bei Begrünungssystemen, bei denen hinterlüftete Fassaden entstehen, ist auf die mögliche Kaminwirkung zu achten, die im Brandfall die Ausbreitung des Feuers beschleunigen kann [65]. Die Auswahl der Pflanzen und des Substrats beziehungsweise des Substratersatzes soll unter anderem unter dem Aspekt der Minimierung der Brandlast erfolgen.

Bewässerung Je nach Begrünungssystem und in Abhängigkeit von der Pflanzenwahl sind verschiedene Voraussetzungen für die Bewässerung zu erfüllen. Für die bodengebundene Begrünung ist oft kein zusätzliches Bewässerungssystem notwendig. Durch die direkte Verbindung der Pflanzen zum gewachsenen Boden werden diese ausreichend durch Niederschlagswasser und Luftfeuchtigkeit versorgt. Es gilt *ÖNORM L 1112 - Anforderungen an die Bewässerung von Grünflächen*.

Für fassadengebundene Begrünungssysteme stellt sich die Bewässerung hingegen etwas komplexer dar. Aufgrund der vertikalen Lage ist besonders die Wahl des Substrats beziehungsweise des Substratersatzes entscheidend. Durch Verdunstung geben die Pflanzen Feuchtigkeit an die Umgebung ab, welche sie nicht allein durch Niederschlag und Luftfeuchtigkeit wieder aufnehmen können. Auch die Substratmenge ist aus statischen Gründen sowie in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit des Systems begrenzt. Daher ist ein automatisches Bewässerungssystem notwendig, welches die Pflanzen je nach Bedarf ganzjährig bewässert. Hierzu wird in der Regel ein Niederdrucksystem mit Tropfschläuchen verwendet, welche durch frostsichere Leitungen angeschlossen sind. Auch eine Ausführung als Kreislaufsystem mit Anschluss an das Regenwassersystem ist möglich. Die Zu-

gabe von Düngungsmitteln kann ebenso über dieses Bewässerungssystem erfolgen. Nach dem Leitfaden für Fassadenbegrünung der Stadt Wien [65] ist die Intensität der Bewässerung besonders abhängig von der Pflanzenwahl sowie der Verdunstungsintensität, welche wiederum durch die Windstärke und -richtung sowie die Exposition beeinflusst wird. Pflanzen weisen Unterschiede bezüglich des Nährstoffbedarfs, der Frostresistenz sowie der Staunässeverträglichkeit auf. Darüberhinaus ist die Wasserspeicherfähigkeit des Substrates beziehungsweise des Substratersatzes entscheidend dafür, wie viel Wasser über das Bewässerungssystem hinzugefügt werden muss.

Lasteinwirkung Vertikale Begrünung verursacht sowohl horizontale als auch vertikale Lasten, die auf die Fassade einwirken. Anzusetzen ist der maßgebende Lastfall im wasser-gesättigten Zustand unter der Berücksichtigung der einwirkenden Schnee- und Eislasten. Aus der Windeinwirkung können sich hohe horizontale Kräfte ergeben. Durch eine entsprechende Unterkonstruktion ist die Einleitung aller Kräfte in die Tragkonstruktion zu gewährleisten. Für die Planung sind daher Kenntnisse über die Windverhältnisse sowie über die Schnee- und Eisexposition notwendig. Entscheidend ist außerdem der Typ der bestehenden Fassade, ob es sich zum Beispiel um ein Wärmedämmverbundsystem oder eine Massivwand handelt.[65]

2.5 Vegetationstechnische Grundlagen

Die richtige Wahl der Pflanzen und des Substrats sind entscheidend für den Begrünungserfolg. Deswegen muss diese Wahl projektabhängig getroffen werden.

Pflanzen Verschiedene Pflanzen werden unterschiedlichen Ansprüchen gerecht. So sind Gräser und Kräuter beispielsweise besonders verdunstungseffizient, Moos hingegen weist eine gute Staubbinding auf. Auch dem künstlerischen Anspruch muss die Pflanzenauswahl genügen. Entscheidend für die Auswahl der Pflanzen ist aber besonders der Standort der zu begrünenden Fassade. In Abhängigkeit von der Exposition ergeben sich geeignete Pflanzenarten und deren Ansprüche. So ist es möglich, dass Gräser an der Südfassade aufgrund der höheren Sonneneinstrahlung doppelt so viel Wasser benötigen wie solche in westlicher Ausrichtung. Aufgrund der starken Sonneneinstrahlung und der hohen Temperaturen eignen sich nur wenige Pflanzen für die südliche Exposition. Bestimmte Kräuter und Sedumarten bieten sich für die fassadengebundene Begrünung an. An der Nordfassade müssen die ausgewählten Pflanzen eine schattige und feuchte Lage vertragen. Moose sind für diese Exposition geeignet.[65] Bei der Wahl der Pflanzen handelt es sich also um eine

objektbezogene Entscheidung, welche wie erwähnt ausschlaggebend für den Projekterfolg ist.

Substrat Aus den Ansprüchen der Pflanzen ergeben sich die Anforderungen an das Substrat beziehungsweise den Substratersatz und dessen Zusammensetzung. Für fassadengebundene Systeme werden meist Lava, Bims, Blähton, Blähschiefer oder Ziegelsplit verwendet. Um allen durch die Rahmenbedingungen gegebenen Anforderungen zu genügen, muss das Substrat unter anderem folgende Eigenschaften aufweisen [65]:

- hohe Formstabilität
- geringes Gewicht
- hohe und gleichmäßige Wasserspeicherfähigkeit
- gute Aufnahmefähigkeit für Nährstoffe
- frei von Schädlingen, Krankheitserregern und Samenverunreinigungen
- kein zu hoher Feinanteil

Als Substratersatz dienen durchwurzelbare Materialien wie Geotextile, Steinwolle oder auch Vliese. Diese weisen ein geringeres Gewicht als die Substrate auf. Geotextile bestehen beispielsweise aus Polyamid (PA), Polyester (PET), Polypropylen (PP) oder auch Polyethylen hoher Dichte (PEHD). Bei Vliesen wird in Natur- und Synthefaservlies unterschieden, wobei Synthefaservlies aufgrund seiner höheren Beständigkeit vermehrt eingesetzt wird. Es ist bei allen genannten Materialien auf die UV-Beständigkeit besonders in oberflächennaher Lage zu achten.[65]

3 Methodik

Um das Ziel dieser Diplomarbeit zu erreichen, ein Modell zu entwickeln, das in der Lage ist, sowohl die ökonomischen als auch die ökologischen Auswirkungen verschiedener Begrünungssysteme zu bewerten, wird ein Literaturstudium vorgenommen und auf Daten aus verschiedenen Studien, Untersuchungen und Simulationen zurückgegriffen. Die Daten werden standortbezogen beurteilt und ausgewertet, sowie Ergebnisse verschiedener Arbeiten verglichen. Das entwickelte Modell soll Aussagen für den Standort Wien treffen. Untersuchungen, welche am Standort Wien und mit den betrachteten Begrünungssystemen durchgeführt wurden, werden daher am stärksten gewichtet und bilden die Basis des Modells. Hierzu dienen insbesondere Erkenntnisse aus den Untersuchungen, die im Rahmen des GrünPlusSchule@Ballungszentren-Projekts an einem Gymnasium und Realgymnasium im siebten Wiener Gemeindebezirk durch die TU Wien durchgeführt wurden. An dieser Schule, welche ihre Schwerpunkte auf Biologie, Informatik und Ökologie gesetzt hat, wurden verschiedene Begrünungssysteme installiert und mit Messeinrichtungen versehen, welche auch derzeit kontinuierlich ausgewertet werden.

In den einzelnen Unterkapiteln wird auf die jeweiligen relevanten Studien verwiesen und die Entscheidung der Auswahl begründet. Es wird darauf hingewiesen, dass es sich um eine Verallgemeinerung handelt, welche allerdings für den Vergleich der Systeme untereinander und zu einer ersten Einschätzung vollkommen ausreichend ist.

Die Daten bilden die Basis für den nächsten Schritt, in dem in Microsoft Excel die Entwicklung des Modells vorgenommen wird. Das Modell berücksichtigt alle erläuterten Einflussfaktoren und stellt einen Vergleich von vier Begrünungssystemen in Abhängigkeit der eingegebenen Parameter dar.

Zur Beurteilung der ökonomischen Auswirkungen der Gebäudebegrünung wird die Methode der Kosten-Nutzen-Analyse verwendet. Diese wird nach dem Vorbild der von Perini und Rosasco durchgeführten Untersuchungen *Cost-benefit analysis for green facades and living wall systems* durchgeführt [64]. Dabei werden die Auswirkungen der Gebäudebegrünung auf die Umwelt nach unterschiedlichen Methoden monetär bewertet. Ein bewusster Einsatz der Methode der Kosten-Nutzen-Analyse ist wichtig, da eine Vergleichbarkeit der Einflussfaktoren sowie der Auswirkungen nicht immer gegeben ist. Ebenso können lediglich die Einflüsse innerhalb bestimmter Systemgrenzen miteinbezogen werden. Problematisch ist zudem, dass eine monetäre Bewertung und damit eine Unterordnung jeder Auswirkung in das *Über-System* Wirtschaftlichkeit nicht für alle Auswirkungen umsetzbar

ist. Dennoch ist die Kosten-Nutzen-Analyse ein nützliches Werkzeug, um die gesamtwirtschaftlichen Kosten zu minimieren und somit zur Wohlstandsoptimierung beizutragen und derart als Entscheidungshilfe zu dienen.[36]

Die Bewertung der ökologischen Auswirkungen erfolgt anhand einer Lebenszyklusanalyse nach dem Vorbild der Diplomarbeit von Maria Pamminer [61]. Hierbei werden die Umweltauswirkungen der Begrünungsmodelle für deren gesamten Lebenszyklus von der Herstellung über die Nutzung bis zur Entsorgung untersucht. Anhand von vier Indikatoren werden die graue Energie in der Herstellungsphase, die rote Energie in der Phase der Nutzung sowie die CO₂-Bindung untersucht.

4 Untersuchte Begrünungssysteme

Im Folgenden sollen vier für den Standort Wien übliche Begrünungssysteme vorgestellt, sowie deren Aufbau, Funktionsweise und die eingebauten Materialien dargestellt und beschrieben werden. Neben den fassadengebundenen Systemen wird außerdem kurz die bodengebundene Fassadenbegrünung betrachtet.

4.1 Bodengebundene Fassadenbegrünung

Bodengebundene Fassadenbegrünung wird unterteilt in direkte und indirekte Begrünung, welche beide im natürlich gewachsenen Boden vor der Fassade gepflanzt werden und somit in der Regel kein zusätzliches Bewässerungssystem benötigen.

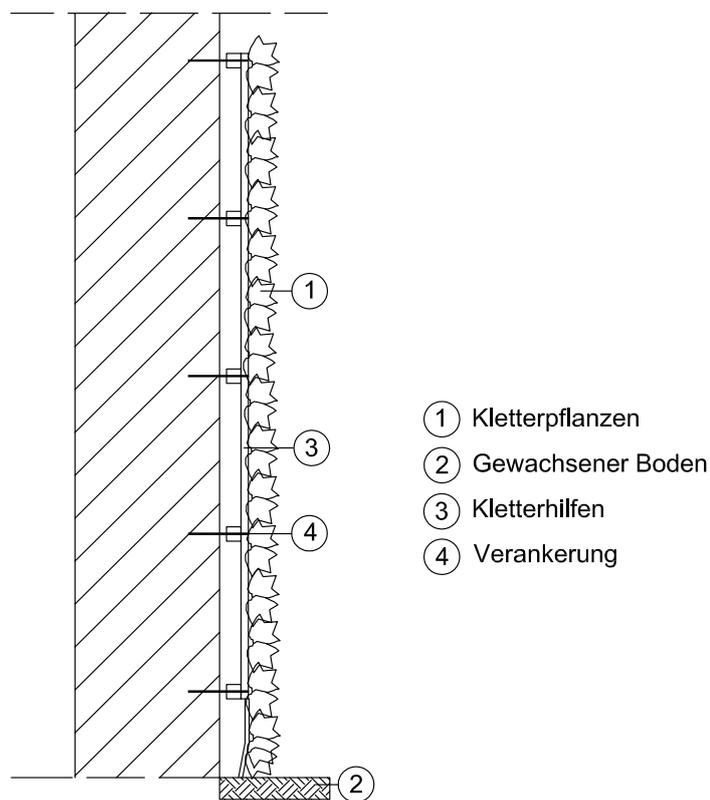


Abbildung 1: Bodengebundene Fassadenbegrünung mit Kletterhilfe – Aufbau

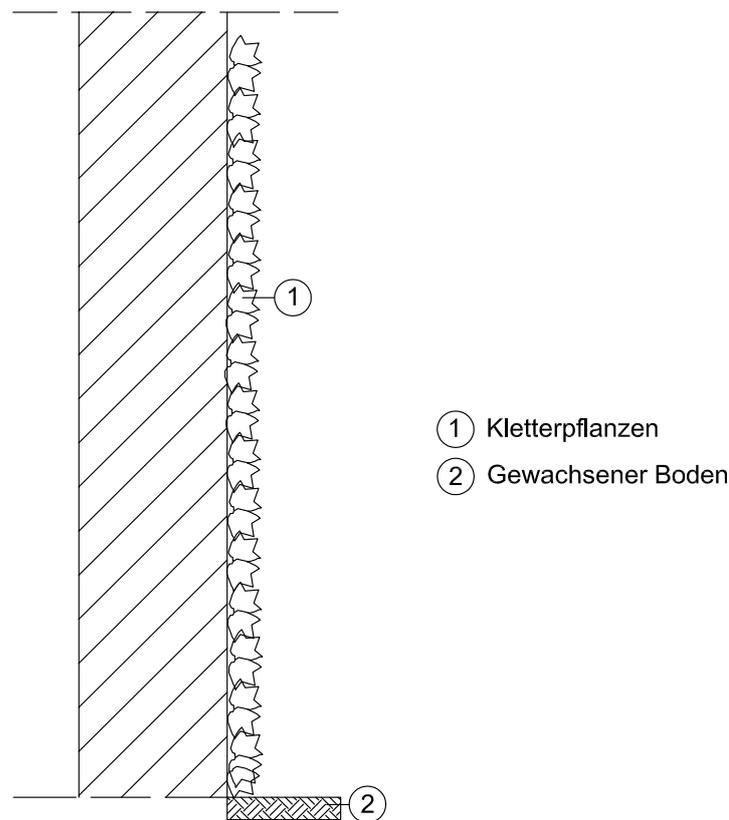


Abbildung 2: Bodengebundene Fassadenbegrünung ohne Kletterhilfe – Aufbau

Bei der direkten Begrünung handelt es sich um direkt auf der Fassade und ohne zusätzliches Rankgerüst wachsende Kletterpflanzen. Zu diesen Selbstklimmern gehören unter anderem Efeu *Hedera helix* und Wilder Wein *Veitchii*. Efeu ist eine immergrüne Pflanze, Wilder Wein hingegen verliert seine Blätter im Winter nach der rötlichen Färbung im Herbst. Der Pflegeaufwand dieser Fassadenbegrünung beschränkt sich auf den einmal im Jahr notwendigen Schnitt. Aufgrund des direkten Kontakts der Pflanzen mit der Fassade ist eine intakte Bausubstanz besonders wichtig, da sonst Bauschäden entstehen können. Schadhafte Mauerwerk sowie Wärmedämmverbundsysteme und sehr glatte Oberflächen sind nicht geeignet für die direkte Begrünung. Auch bei geeigneten Oberflächen kann für selbstklimmende Pflanzen nach Erreichen einer bestimmten Höhe und einem damit verbundenen Gewicht eine Unterstützung durch Verankerungen notwendig sein. Die Begrünungshöhe kann bei direkter Begrünung in Abhängigkeit der gewählten Pflanze bis zu 24 m betragen. Bis zu dieser Höhe beträgt der jährliche Triebzuwachs ungefähr 1 – 2 m.[65][79] Bei der indirekten Begrünung werden die bodengebundenen Pflanzen durch ein Rankgerüst unterstützt, welches an der Fassade verankert ist. Dieses Rankgerüst kann aus Holz oder Stahl beziehungsweise Edelstahl bestehen und jegliche Formen annehmen, um

Untersuchte Begrünungssysteme

die Pflanzen auf diese Art in eine bestimmte Richtung zu lenken. Eine Wartung oder Instandsetzung der Rankhilfen ist nach zwanzig Jahren notwendig.[79]



Abbildung 3: links: Bodengebundene Fassadenbegrünung mit wildem Wein im 2. Bezirk nahe Prater zu Beginn des Herbstes
rechts: Bodengebundene Fassadenbegrünung mit wildem Wein in einem Innenhof im 4. Bezirk – Übergang zwischen rötlicher Färbung im Herbst und blattlosem Zustand im Winter



Abbildung 4: Bodengebundene Fassadenbegrünung mit Efeu in der Nähe von Aachen, Deutschland

4.2 Modulares Begrünungssystem

Das modulare Begrünungssystem besteht aus einzelnen Begrünungselementen aus Aluminium in Sandwich-Bauweise. Die Kassetten mit einer Standardabmessung von 60x100 cm werden mittels Einhangschiene auf der Unterkonstruktion oder direkt auf der Fassade befestigt und wirken so wie eine hinterlüftete, vorgehängte Fassade. Die Füllung der Elemente besteht aus vier Lagen: der Deckschicht, der Ausgleichsschicht, dem Vegetationssubstrat und dem Kapillarsaugvlies. Die Vorderseite des Fassadenkorbs aus Aluminium ist gelocht und enthält Aussparungen für die Pflanztöpfe aus Kunststoff. Durch die verwendeten Materialien ist das gesamte System witterungs- und feuerbeständig. Der Aufbau des Sandwich-Elements weist eine Dicke von 6 cm auf und hat ein Gewicht von 83 kg/m² im wassergesättigten Zustand.[55][56][57]



Abbildung 5: Modulares Begrünungssystem in einem Schulhof in der Kandlgasse im 7. Bezirk (links: Mai 2017; rechts: November 2017)

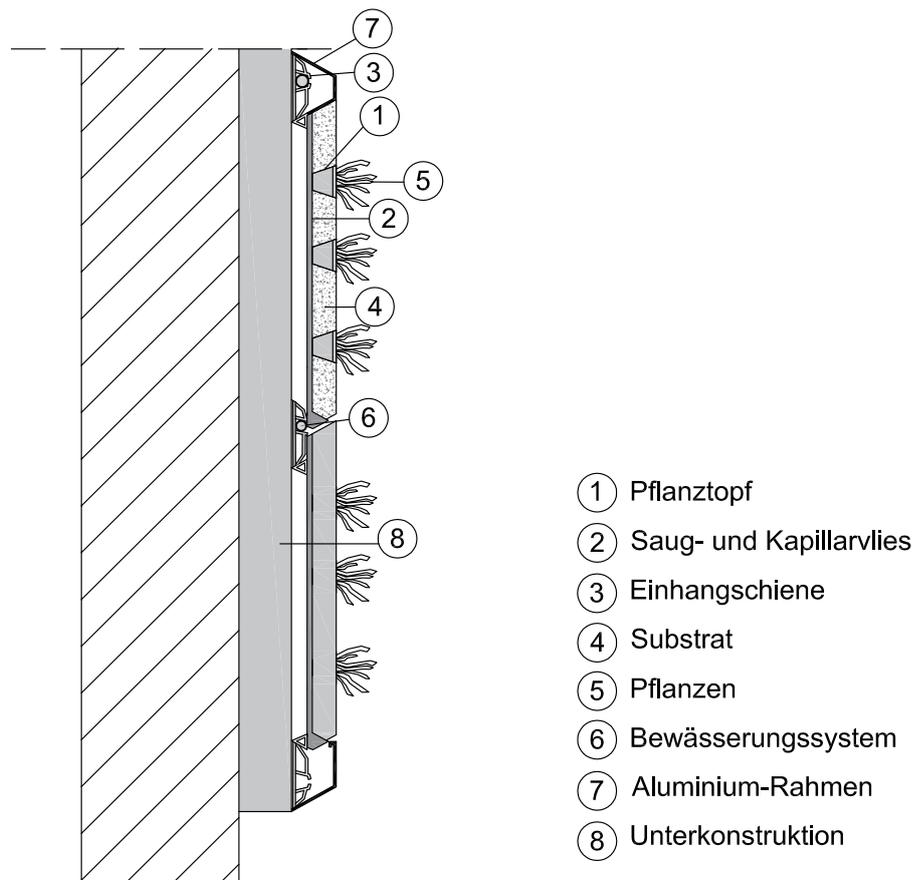


Abbildung 6: Modulares Begrünungssystem – Aufbau

Aufbau

1. Pflanztopf

Die Pflanztöpfe aus Kunststoff sind im Fassadenkorb vormontiert. In das Standardelement können so 18 Pflanzen eingesetzt und bei Bedarf ausgetauscht werden. Die Wurzelballen stehen auf diese Art in direktem Kontakt zum Vlies.

2. Saug- und Kapillarvlies

Das vorgefertigt im Fassadenkorb integrierte Vlies speichert und verteilt das Wasser gleichmäßig. Es ist zugfest und nach Angaben eines Herstellers dieses Systems unverrottbar.

3. Einhangschiene

An der Rückseite jedes Fassadenelementes befindet sich eine Einhangschiene aus Aluminium zur Befestigung an der Unterkonstruktion beziehungsweise an der Bestandswand. Die Verankerung ist thermisch getrennt und die spezielle Profilgeome-

Untersuchte Begrünungssysteme

trie ermöglicht eine Führung der Bewässerungsschläuche. Die Einhangschiene erhöht den Aufbau des Systems um 4 cm.

4. Substrat

Das Substrat bildet die Deckschicht und setzt sich je nach Bedürfnis der gewählten Pflanzen und abhängig vom Standort und der gewünschten Farbe aus Lava, Blähschiefer, Tuff oder Bims zusammen.

5. Pflanzen

Als Pflanzen eignen sich besonders verschiedene Stauden und Gräser. Diese werden standortabhängig zusammengestellt.

6. Bewässerungssystem

Die automatische Bewässerung erfolgt über Tropfschläuche. Über diese wird auch die Zugabe von Nährstoffen reguliert. Der Wasserbedarf liegt im Jahresmittel bei 2.5 – 3 Liter/m² und ist abhängig von den lokalen Begebenheiten. Um die Bewässerung auch im Winter bei Frost sicherzustellen, ist ein leerlaufendes System notwendig.

7. Aluminium-Rahmen

Zur Einfassung der Fassadenelemente dient eine Rahmenkonstruktion aus Aluminium mit Ecken und Seitenteilen sowie einem Abdeckblech am oberen Ende und einer Entwässerungsrinne an der Unterseite.

8. Unterkonstruktion

Die Unterkonstruktion dient angepasst an die baulichen Gegebenheiten zur Befestigung des Begrünungssystems an der Bestandswand. Somit kann das troggebundene Begrünungssystem an allen Fassadenarten angebracht werden. Bietet die Bestandswand bereits genug Tragfähigkeit für die Befestigung des Begrünungssystems, ist eine Unterkonstruktion nicht notwendig.

4.3 Troggebundenes Begrünungssystem

Das troggebundene Begrünungssystem ist ein fassadengebundenes System und somit bodenungebunden und standortunabhängig. Es kann an allen Fassadenarten sowie im Innen- und im Außenraum eingesetzt werden. Die Basis dieses Systems bildet eine Metallkonstruktion mit Profilen in Trapezform, welche kaskadenförmig an der Fassade angeordnet werden. Befestigt auf einer Unterkonstruktion dient diese Metallkonstruktion als Pflanzentrog, welcher ausgekleidet mit einem Multifunktionsvlies und gefüllt mit Substrat, mit verschiedenen, standort- und nutzungsabhängigen Pflanzen bestückt wird. Durch die Montage der einzelnen rund 28 cm hohen Tröge übereinander ist das System flexibel gestaltbar.[21]



Abbildung 7: Troggebundenes Begrünungssystem am Gebäude der MA 48 im 5. Bezirk, November 2017

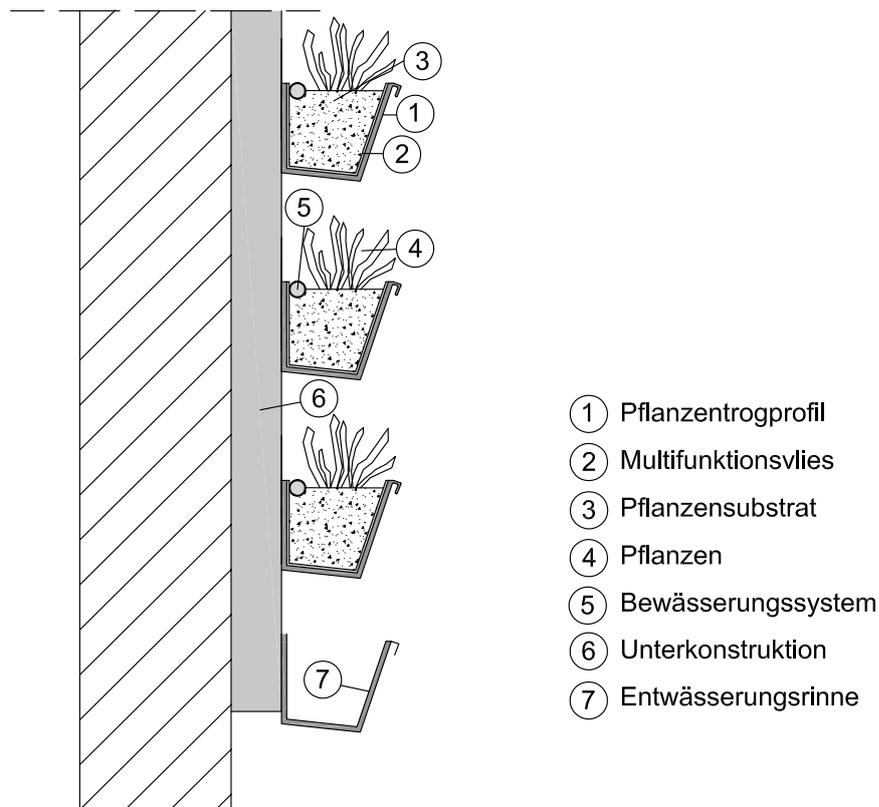


Abbildung 8: Trogebundenes Begrünungssystem – Aufbau

Aufbau

1. Pflanzentrogprofil

Die trapezförmige, dünnwandige Metallkonstruktion besteht wahlweise aus Edelstahl oder Aluminium und ist demnach sowohl langlebig als auch feuerfest. Die benötigten Profillängen werden durch Kopplungs- und Endstücke verbunden beziehungsweise abgeschlossen.

2. Multifunktionsvlies

Der an der Innenseite des Pflanzentrogs ringsum befestigte Vlies aus Polypropylen weist sowohl eine speichernde als auch eine filternde Wirkung auf. Er dient demnach neben der Wasserverteilung und -speicherung auch dem Verhindern des Auswaschens von Feinteilen.

3. Pflanzsubstrat

Das Pflanzsubstrat bildet in Abstimmung mit den Bedürfnissen der verwendeten Pflanzen und des Standorts eine Zusammensetzung aus Granulaten, wobei es sich

bei dem Basisgranulat nach Herstellerangaben um ein Recyclington aus Dachziegeln handelt. Neben der Kornzusammensetzung ist auch der Nährstoffgehalt und die Wasserspeicherfähigkeit individuell für jeden Einsatz zu bestimmen. Es werden circa 14 Liter Substrat pro Meter Pflanztroglprofil verwendet.

4. Pflanzen

Die Pflanzen werden standortabhängig und nach Bedarf gewählt. Meist werden verschiedene Sedum-Arten, sowie Kräuter und Gräser verwendet. Aufgrund der hohen Widerstandsfähigkeit und Robustheit kommen als Sedum-Arten besonders Fetthenngewächse zum Einsatz.

5. Bewässerungssystem

Die Bewässerung erfolgt automatisch über Tropfschläuche aus Polyethylen, welche über die gesamte Länge in den Planztrögen verlegt sind. In Abhängigkeit der Pflanzen und der Exposition wird die Wassermenge bestimmt. Die Wasserspeicherung beträgt ungefähr 6 Liter pro Meter Pflanztroglprofil. Die schlitzförmige Aussparung an der Vorderseite des Profils gewährleistet durch Kaskadenwirkung des Systems die Verteilung des Wassers. Abbildung 9 zeigt die seitlich verlaufende Wasserleitung, welche die Tropfschläuche in den Trögen mit Wasser versorgt.

6. Unterkonstruktion

Die Unterkonstruktion dient angepasst an die baulichen Gegebenheiten zur Befestigung des Begrünungssystems an der Bestandswand. Somit kann das troggebundene Begrünungssystem an allen Fassadenarten angebracht werden. Bietet die Bestandswand bereits genug Tragfähigkeit für die Befestigung des Begrünungssystems, ist eine Unterkonstruktion nicht notwendig.

7. Entwässerungsrinne

Durch die kaskadenförmige Anordnung der Pflanztröge und die schlitzförmige, senkrechte Aussparung zur Entwässerung in jedem Trog ist im unteren Bereich des Begrünungssystems eine Entwässerungsrinne zum Auffangen und Ableiten des überschüssigen Wassers notwendig.



Abbildung 9: Bewässerungssystem des trogebundenen Begrünungssystems am Gebäude der MA 48 im 5. Bezirk, November 2017

4.4 Matten-Begrünungssystem

Auch bei dem Matten-Begrünungssystem handelt es sich um ein bodenunabhängiges System, welches vor die Fassade gehängt wird und somit ein hinterlüftetes Wandbegrünungssystem schafft. Durch die vollflächige Systembauweise wird es flexibel an jedes Bauvorhaben angepasst. Das System enthält weder Erde noch Substrat, sondern einen Substratersatz aus festen Fasermatten. Durch das automatische, ganzjährige Bewässerungssystem werden die Pflanzen über die nach außen nicht sichtbaren Tropfleitungen gleichzeitig mit Düngung versorgt. Die Fasermatten unterstützen die Verteilung und Speicherung und funktionieren ohne Ausschwemmungen. Darüberhinaus stellen sie eine Wärmedämmung für die Pflanzen dar, wodurch deren Dauerhaftigkeit gestärkt wird. Der durch die Trägerkonstruktion, die die Befestigung an der Wand gewährleistet, geschaffene Freiraum kann mit Wärmedämmung mit einer Dicke zwischen 7 und 30 cm gefüllt werden und stellt so eine hohe wärmedämmende Wirkung durch das Begrünungssystem sicher. Als vollwertige Gebäudefassade muss eine zusätzliche Traglast der bestehenden Wand von 110 kg/m^2 gegeben sein. Die Systemaufbaustärke beträgt 13 cm. Hinzu kommt die Hinterlüftung, wodurch sich eine Stärke des Gesamtaufbaus von 21 cm ergibt. [42]

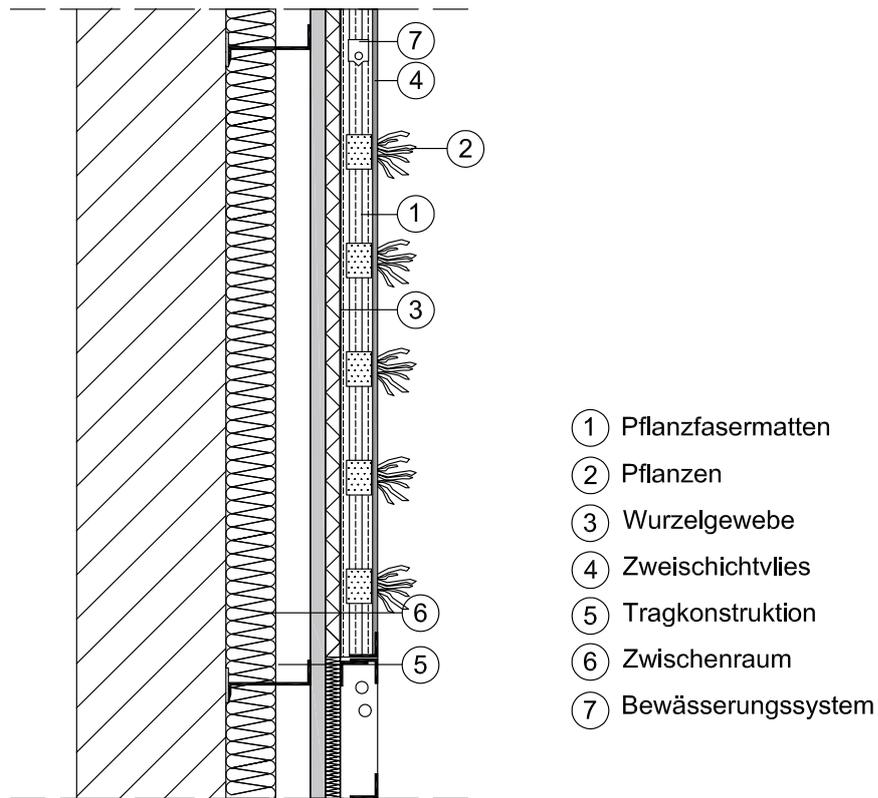


Abbildung 10: Matten-Begrünungssystem – Aufbau

Aufbau

1. Pflanzfasermatte

Als Substratersatz wird eine erdfreie Fasermatte eingesetzt. Diese stellt die Versorgung der Pflanzen sicher.

2. Pflanzen

Durch die wärmegeämmte Anordnung der Pflanzen besteht keine Einschränkung bei der Pflanzenwahl. Die Fasermatte ermöglicht darüberhinaus ein schnelles Wachstum, wodurch innerhalb von zwei Monaten Ergebnisse sichtbar sind und eine Vorkultivierung der Pflanzen nicht notwendig ist.

3. Wurzelgewebe

Das Wurzelgewebe schützt die Wärmedämmung der Pflanzen vor Eindringen der Wurzeln durch die Fasermatte hindurch.

Untersuchte Begrünungssysteme

4. Zweischichtvlies

Bei dem eingebauten Zweischichtvlies handelt es sich um einen Spezialeinschichtvlies, der das System nach vorne abschließt und gleichzeitig das Wasser im System speichert.

5. Tragkonstruktion

Die Trägerkonstruktion besteht aus Montagewinkeln, die eine Verbindung zwischen der Wand und dem Trapezblech an der Hinterseite des Begrünungselements bilden. Sie weist eine minimale Aufbaustärke von 7 cm auf und kann bis auf 30 cm vergrößert werden.

6. Zwischenraum

Der Zwischenraum entsteht zwischen dem Trapezblech, welches das Begrünungssystem abschließt und der Wand. Dieser kann als Freiraum zur Hinterlüftung dienen oder er kann mit Wärmedämmung in Dicken von minimal 7 bis maximal 30 cm gefüllt werden.

7. Bewässerungssystem

Die Bewässerung erfolgt ganzjährig automatisch und bei gleichzeitiger Düngung. Durch die Integration des Revisions- und Wasserverteilungssystem in die Konstruktion ist dieses nach außen nicht sichtbar. Das Bewässerungssystem ist feuchtigkeits- und temperaturabhängig geregelt.



Abbildung 11: Matten-Begrünungssystem (links: kurz nach der Installation) [41]

5 Entwicklung des Modells

Vertikale Begrünung hat Auswirkungen auf das Gebäude selbst und seine Umwelt wie in Kapitel 2 *Grundlagen der vertikalen Begrünung* erläutert. Zu beachten ist allerdings, dass nicht alle Auswirkungen der vertikalen Begrünung quantitativ zu bewerten sind. Tabelle 1 zeigt die bisherigen Bewertungsmöglichkeiten nach dem Vorbild von Perini und Rosasco [64] auf. Um ein Bewertungsmodell zu entwickeln, welches der Hauseigentümerin oder dem Hauseigentümer als Entscheidungsgrundlage für eine vertikale Begrünung anhand der Umweltauswirkungen sowie der ökonomischen Nutzen dient, sollen diese Auswirkungen genau analysiert und gegenübergestellt werden. Ziel ist es, das Modell derart zu gestalten, dass eine zuverlässige Aussage für die Gegenwart getroffen werden kann, dass aber auch an spätere Erkenntnisse bezüglich der bisher nur qualitativ erfassten Nutzen und Änderungen wie beispielsweise Preisänderungen oder Materialwechsel problemlos adaptiert werden kann und die Aussagekraft des Modells so erweitert wird.

Tabelle 1: Nutzen der vertikalen Begrünung

Auswirkung auf	quantitative Bewertung	qualitative Bewertung
Energieeinsparung	x	
Langlebigkeit der Fassade	x	
Immobilienpreise	x	
Subventionen	x	
Lärmminderung	x	
CO ₂ -Reduktion	x	
NO _x -Reduktion	x	
Feinstaub-Reduktion	x	
Luftqualität allgemein		x
Mikroklima		x
Luftfeuchtigkeit		x
Städtische Hitzeinseln		x
Attraktivierung des Stadtbildes		x
Ästhetik des Gebäudes		x
Erhöhte Biodiversität		x
Menschliche Gesundheit		x
Menschliches Wohlbefinden		x
Regenwasserrückhalt		x

Für die quantitativ erfassbaren Nutzen der Gebäudebegrünung wurden für die ökonomische Bewertung anhand verschiedener Methoden die respektiven Geldwerte ermittelt. Für die ökologische Bewertung erfolgte die Analyse der Systeme anhand von CO₂-äquivalenten Indikatoren und der Betrachtung der notwendigen Energie für die einzelnen Bestandteile über den gesamten Lebenszyklus hinweg. In Anlehnung an die Diplomarbeit von Maria Pamminger [61] und zu einer besseren Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen dieser Arbeit, wird auch in der vorliegenden Diplomarbeit ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren gewählt. Es kann jedoch ebenso ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ausgewählt werden, um zu einem späteren Zeitpunkt auch die Auswirkungen auf eine kürzere, geplante Nutzungsdauer untersuchen zu können.

Auswirkungen, welche bisher aufgrund nicht ausreichender Daten, fehlender Bewertungsmöglichkeit sowie bisher nicht möglicher quantitativer Erfassung lediglich qualitativ erkannt werden, finden im Modell derzeit keine Berücksichtigung, bieten jedoch Potential für spätere Erweiterungen. Die genannten Effekte zur Verminderung der städtischen Hitzeinseln sind beispielsweise nicht anhand einer begrünten Fassade auszumachen, vielmehr entstehen diese erst bei Begrünung größerer Flächen. Hierzu leistet allerdings jede einzelne begrünte Fläche ihren Beitrag. Ebenso die durch Begrünung erhöhte Luftfeuchtigkeit, welche besonders bei hohen Temperaturen nützlich ist, kann nicht anhand einer begrünten Fassade quantitativ erfasst und daraufhin bewertet werden. In anderen Fällen ist eine quantitative Bewertung aufgrund fehlender oder zu geringer Daten nicht möglich. Auch alle direkten sowie indirekten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit durch Verbesserung des allgemeinen Wohlbefindens können nicht quantitativ erfasst und somit nicht in Geldwert gefasst werden [60]. Doch nimmt Gebäudebegrünung bei richtiger, gezielter Verwendung beispielsweise eindeutigen Einfluss auf Erkrankungen, die durch das *sick building syndrom* verursacht werden [91]. Dieses Syndrom umfasst Beschwerden, deren Ursache unspezifisch ist, aber in direkter Verbindung mit dem Aufenthalt der erkrankten Personen im Gebäude steht. Die stärkste, objektive Ursache stellt die Luftqualität im Gebäude dar. Doch auch die subjektive Empfindung der Personen im Gebäude spielt eine entscheidende Rolle. Die Verbesserung der Aufenthaltsqualität außen sowie im Gebäudeinneren durch Begrünung ist demnach ein wichtiger Aspekt – auch bezogen auf die menschliche Gesundheit. Gebäudebegrünung kann für eine Verbesserung der Luftqualität sorgen, sowie das allgemeine Wohlbefinden der Personen verbessern.[83]

Die individuelle Einstellung zur Raumluftkühlung durch Klimaanlage kann sich ebenso negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken. Der Kühleffekt durch Begrünung wird

bisher allerdings nur anhand eingesparter Energiekosten bewertet und nicht anhand der indirekten Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden, falls eine Klimaanlage nicht mehr beziehungsweise in geringerem Ausmaß notwendig ist.[83]

Die Biodiversität in der Stadt wird durch Gebäudebegrünung erhöht und trägt somit zur Erhaltung und Steigerung der Ökologie in der Stadt bei [60]. Die exakte Erfassung der letzteren Auswirkung ist noch nicht realisierbar und kann daher nicht im Modell berücksichtigt werden.

5.1 Annahmen

Für jedes zu begrünende Objekt ergeben sich unterschiedliche, individuelle Rahmenbedingungen beispielsweise in Abhängigkeit des Gebäudestandorts sowie der Gebäudeart. Um die Auswirkungen des installierten Begrünungssystems berechnen zu können, wurden Annahmen getroffen, welche für jede Berechnung gleich sind. Darüberhinaus ist es notwendig, für das gewünschte und betrachtete Gebäude Angaben zu machen, welche im weiteren Verlauf Einfluss auf verschiedene Berechnungsparameter nehmen. So nimmt der Gebäudestandort unter anderem Einfluss auf die Immobilienpreise sowie die Energieeinsparungen. Die spezielle Einflussnahme der Angaben und die getroffenen Annahmen werden jeweils in den Unterkapiteln erläutert und begründet und in *Kapitel 8 Variantenstudie und Auswertung* zusammengefasst dargestellt.

Folgende Angaben sind individuell notwendig:

- geplante Nutzungsdauer
- Kalkulationszinssatz
- Gebäudestandort
- Geometrie der Begrünungsfläche
- Geometrie der an die Begrünungsfläche angrenzenden Räume
- Anzahl der an die Begrünungsfläche angrenzenden Haushalte
- Wärmedurchgangskoeffizient der bestehenden Wand
- verwendete Energieträger für Heizung und für Kühlung falls vorhanden

- Besitzverhältnisse - Eigennutzung oder Vermietung
- Lärmbelastung am Gebäudestandort
- Bauklasse des Gebäudes und Widmungskategorie des Standorts

5.2 Einschränkungen

Auch bei der Auswertung der Berechnungsergebnisse des Modells ist darauf zu achten, dass jedes Gebäude individuell ist und verschiedene Voraussetzungen vorgibt sowie unterschiedlichen Einflüssen unterliegt. Das Modell basiert teilweise auf Annahmen und bedient sich Ergebnissen verschiedener Studien, die standortabhängig bestimmt wurden. So hat die Größe des Belüftungsspalts zwischen der Wand und dem Begrünungssystem beispielsweise großen Einfluss auf die Verbesserung der Wärmedämmung. Der allgemeine Zustand des Bestandsgebäudes ist zudem äußerst entscheidend. Auch die spezielle und standortabhängige Wahl der Pflanzen wurde nicht weiter betrachtet, sodass eine starke Verallgemeinerung der Ergebnisse vorgenommen wurde. Die Wirkung der Begrünung ist stark von der Pflanzenmasse abhängig [22]. Es ist durchaus zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Pflanzen verschiedene Potentiale, beispielsweise als Luftfilter, besser nutzen als andere. Um einen ersten Überblick über die Auswirkungen der vertikalen Begrünung für das betrachtete Objekt zu erlangen und die Begrünungssysteme untereinander zu vergleichen, ist es jedoch völlig ausreichend. Des Weiteren ist das Modell so gestaltet, dass spätere Anpassungen nach neu gewonnenen Erkenntnissen einfach möglich sind.

5.3 Erweiterungspotential

Neben den in Tabelle 1 genannten, bisher lediglich quantitativ erfassbaren Nutzen ist eine Erweiterung des Modells außerdem um folgende Aspekte denkbar:

- Betrachtung von Innenbegrünung
- Installation einer Kombination von PV-Modulen und vertikaler Begrünung als multifunktionales System
- Unterscheidung der Fassadenausrichtung und der solaren Einträge
- Gebäudenutzung - Wohnnutzung oder Büronutzung
- Art der Fassade - Mauerwerk, Betonwand oder Wärmedämmverbundsystem

Für die Innenraumbegrünung fallen einige Betrachtungspunkte weg, sowie beispielsweise die Energieeinsparung aufgrund erhöhter Wärmedämmung, hinzu kommen allerdings weitere Aspekte wie die mögliche CO₂-Einsparung im Innenraum. Auch die Raumakustik wird durch Innenraumbegrünung beeinflusst.

Die Gebäudenutzung hat Auswirkungen auf das Nutzungsprofil und somit auf den Energieverbrauch aufgrund unterschiedlichen Heiz- und Kühlverhaltens. Dies hat demnach unter anderem Auswirkungen auf die möglichen Energieeinsparungen, aber auch auf den angenommenen Immobilienpreis. Die Art der Fassade ist entscheidend für eine mögliche notwendige Unterkonstruktion. Bei einer massiven Bestandswand kann die Tragkonstruktion des Begrünungssystems in der Regel direkt an der Wand verankert werden. Besteht die Wand allerdings aus einem Wärmedämmverbundsystem, so ist eine deutlich aufwendigere Unterkonstruktion notwendig, welche die Lastübertragung gewährleistet. Interessant wäre auch die Untersuchung einer Gebäudesanierung mit Wärmedämmung in Kombination mit einem Begrünungssystem.

6 Ökonomische Auswirkungen

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen der verschiedenen vertikalen Begrünungssysteme anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse untersucht. Es wird für jedes System ein gesamter Lebenszyklus von der Errichtung über den Betrieb bis zur Entsorgung betrachtet. In Anlehnung an die Untersuchung der ökologischen Auswirkungen in der Diplomarbeit von Maria Pamminger [61] wird ebenso ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren gewählt. Um die Auswirkungen dieses langen Betrachtungszeitraums aufzuzeigen, wird in einem weiteren Schritt auch eine geplante Nutzungsdauer von 20 Jahren betrachtet.

Sowohl die anfallenden Kosten als auch die entstehenden Nutzen werden in persönliche und soziale unterteilt, um einerseits die direkten Auswirkungen auf die Hauseigentümer/innen zu ermitteln und andererseits auch die volkswirtschaftlichen Effekte beurteilen zu können. Im späteren Vergleich der Begrünungssysteme wird als Bezugswert m^2 *begrünte Fassadenfläche* gewählt.

$$K_0(i^*) = \sum_{t=1}^T \frac{Z_t}{(1+i^*)^t} \quad (1)$$

mit

$K_0(i^*)$	–	Kapitalwert bezogen auf den Zeitpunkt $t=0$
T	–	Betrachtungszeitraum
Z_t	–	Zahlungsstrom in Periode t
i^*	–	Kalkulationszinssatz

Um den Wert der Kosten und Nutzen über den gesamten Lebenszyklus des Systems heute zu bewerten, wird die Kapitalwertmethode herangezogen (Formel 1) [33]. Sowohl die Kosten als auch die monetären Nutzen, fallen zu verschiedenen Zeitpunkten während des Betrachtungszeitraums an. Anhand der Kapitalwertmethode werden diese Ein- und Auszahlungen vergleichbar gemacht, da für jede Zahlung ihr Wert zum Zeitpunkt $t=0$ bestimmt wird. Gemäß ÖNORM B 1801-2 [53] wird dieser Zeitpunkt, welcher in diesem Fall dem Zeitpunkt der Fertigstellung entspricht, als Bezugszeitpunkt bezeichnet. Ferner definiert diese Norm die Lebenszykluskosten als *Summe der Barwerte der Objekt-*

Ökonomische Auswirkungen

Errichtungskosten gemäß ÖNORM B 1801-1 und der Objekt-Folgekosten [53]. Der Barwert als Ergebnis der Kapitalwertmethode ist von verschiedenen Faktoren abhängig und wird entscheidend durch den verwendeten Kalkulationszinssatz beeinflusst. Unter diesem Kalkulationszinssatz versteht sich jener Zinssatz, zu dem das Kapital auch außerhalb der betrachteten Investition angelegt werden könnte. Eine sichere Investition stellen *risikolose Bundesanleihen* dar [58]. Um den Kalkulationszinssatz für diese Art der Investition zu bestimmen, wird der Realzinssatz gemäß Formel 2 bestimmt [33].

$$r = \frac{1 + i}{1 + \pi} - 1 \quad (2)$$

mit

- r – Realzins
- i – Nominalzins
- π – Inflationsrate

Die Inflationsrate π betrug im zweiten Quartal 2017 nach Angaben der Österreichischen Nationalbank 2 % [59]. Der Basiszinssatz der Österreichischen Nationalbank beträgt -0.62% (Stand Juli 2017) [58]. Aus diesem Nominalzinssatz i und der Inflationsrate $\pi=2\%$ ergibt sich ein Realzinssatz r in einer Höhe von -2.57% für die Bundesanleihen. Der Zinssatz sowie die Inflationsrate können für spätere Berechnungen einfach angepasst werden.

Um jedoch eine Vergleichbarkeit der Investition in Begrünung und der Alternativinvestition zu erreichen, ist es besonders wichtig, dass Investitionen, welche das gleiche Risiko aufweisen, miteinander verglichen werden. Erhöhtes Risiko bei einer Investition spiegelt sich direkt in einer höheren Verzinsung wider. Da es sich bei einer Investition in vertikale Begrünung um eine Art Immobilieninvestition handelt, bietet sich als Kalkulationszinssatz die Immobilienrendite für Wien an. Nach Untersuchungen der EHL Unternehmensgruppe variiert dieser jedoch stark unter anderem in Abhängigkeit des Bezirks wie Abbildung 12 zeigt. Auf der sicheren Seite liegend wird im Modell standardmäßig der Realzinssatz der Österreichischen Nationalbank hinterlegt, da diese Investition jedem Hauseigentümer und jeder Hauseigentümerin zur Verfügung steht, während die Möglichkeit andere Investitionen zu tätigen nicht zuletzt von individuellen Voraussetzungen abhängig ist. Das Modell bietet die Möglichkeit einen eigenen Kalkulationszinssatz anzugeben.

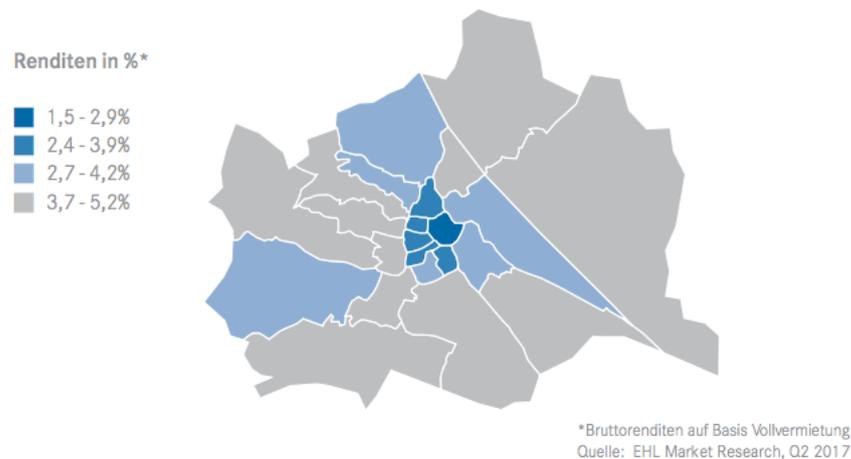


Abbildung 12: Immobilienrenditen für Zinshäuser in Wien nach Bezirken (2017) [31]

Anders als bei profitorientierten Wirtschaftsinvestitionen ist eine Investition in Begrünung als wirtschaftlich lohnend zu bezeichnen, wenn der über die Kapitalwertmethode berechnete Barwert größer oder gleich als Null ist. Es ist zu beachten, dass eine zu erwartende allgemeine Preissteigerung und eine Preissteigerung für Energiekosten in den Berechnungen nicht berücksichtigt wurde.

6.1 Persönliche Kosten

Die persönlichen Kosten umfassen alle Kosten, welche Hauseigentümerinnen und Hauseigentümern durch die vertikale Begrünung über den gesamten Lebenszyklus entstehen. Diese werden gegliedert in Kosten für die Errichtung, für die Wartung, Pflege und Instandhaltung sowie die endgültige Entsorgung. Die entstehenden Kosten sind in jeder dieser drei Phasen in Abhängigkeit des Begrünungssystems zu bestimmen.

6.1.1 Errichtung

Die Kosten für die Errichtung fallen einmalig an. Dabei werden sowohl Materialkosten als auch Kosten für die Planung und Installation berücksichtigt. Arbeiten an der Fassadenhülle werden dem Bauwerksausbau zugeordnet und fallen demnach gemäß ÖNORM B 1801-1 in Kostenhauptgruppe 4 [52].

Für das bodengebundene Begrünungssystem fallen lediglich Kosten für die Pflanzen und den Bodenaushub bzw. die Tröge an. Nach dem Leitfaden für Fassadenbegrünung der Stadt Wien liegen diese zwischen 15 und 35 € pro Laufmeter [65]. Als Mittelwert wird in dem Modell dieser Arbeit mit 25 €/m gerechnet. Hinzu kommen noch die Kosten für die Rankhilfen. Diese sind stark von der Form und dem verwendeten Material abhängig und werden im Mittel mit 25 €/m² inklusiv aller notwendigen Dübel, Ösen und Klemmen angenommen. Für die Montage der Rankhilfen werden ebenso Kosten in Höhe von 25 €/m² angenommen, wodurch sich insgesamt 50 €/m² ergeben.[79]

Für die fassadengebundenen Begrünungssysteme ist entscheidend, um welchen Fassadentyp es sich handelt. Während bei Betonwänden und Wänden aus Mauerwerk die Möglichkeit der direkten Verankerung besteht, ist bei Wärmedämmverbundsystemen in jedem Fall eine aufwendigere Unterkonstruktion notwendig. Die Kosten für diese Konstruktion variieren in Abhängigkeit der Gegebenheiten stark. Für die in jedem Fall notwendige Unterkonstruktion zur Befestigung des Systems an der Bestandswand werden in diesem Modell 25 €/m² für alle fassadengebundenen Systeme angenommen. Die Kosten nach Herstellerangaben für die fassadengebundenen Systeme werden immer unter Vorbehalt der Größe und der tatsächlichen Gegebenheiten angegeben. Sie können daher besonders bei kleinen Flächen stark variieren.

Für das modulare Begrünungssystem betragen die Kosten für den Fassadenkorb nach Herstellerangaben zwischen 800 und 1000 €/m² für Flächen ab 100 m² [57]. Diese Kosten beinhalten neben der Planungsleistung auch das Bewässerungssystem inklusiv aller Leitungen und Verbindungen. Es muss bauseits jedoch die Möglichkeit für die Bewässerung geschaffen werden und in einem frostsicheren Technikraum muss 1 – 2 m² Platz vorhanden sein.

Für das Matten-System liegt der Richtwert für die Komplettausführung also inklusiv des Bewässerungssystems und der Montage bei 850-1250 €/m². [42]

Die Planungsleistung für das troggebundene Begrünungssystem wird einmalig mit 500 € angesetzt. Die Kosten für das gesamte System liegen nach Angaben eines Herstellers bei 850 €/m².

6.1.2 Instandhaltung, Wartung und Pflege

Die Kosten für die Instandhaltung, Wartung und Pflege werden gemäß ÖNORM B 1801-2 als *Folgekosten* bezeichnet. Die Folgekosten umfassen die *Summe der Barwerte aller Kosten, die sich aus dem Betrieb und der Nutzung während der Nutzungsphase eines Objekts*

Ökonomische Auswirkungen

zuzüglich der Objektbeseitigungs- und Abbruchkosten ergeben und dem Objekt (...) direkt zuordenbar sind [53].

Die Art und Häufigkeit der Pflege sind stark abhängig vom gewünschten Erscheinungsbild der Außenfassade. Die Kosten für die Pflege können daher stark variieren. Bei den angenommenen Kosten wird von einem gepflegten Erscheinungsbild ausgegangen. Darüberhinaus hängen die Kosten stark von der Geometrie der begrünter Fläche ab. Großen Einfluss auf den Aufwand nehmen, neben der Anzahl und Art der Aussparungen zum Beispiel für Fenster, auch die Höhe der begrünter Fläche und die daraus resultierende Notwendigkeit eines Hubsteigers um die gesamte begrünte Fläche zu erreichen.

Für die bodengebundene Begrünung umfassen die Kosten, welche durch die notwendigen Maßnahmen zur Instandhaltung, Wartung und Pflege entstehen, lediglich den Aufwand für die jährliche Pflege, da keine weitere Wartung notwendig ist. Diese beläuft sich auf 6 bzw. 8 €/m² pro Jahr [65]. Nach der Entfernung dieser Fassadenbegrünung ist darüberhinaus eine Sanierung der Putzfassade notwendig. Die Kosten für die Erneuerung des Ober- und Unterputzes belaufen sich auf 35 €/m². [7]

Für die fassadengebundenen Begrünungssysteme setzen sich die Kosten zusammen aus der Wartung der Systembestandteile, gegebenenfalls dem Tausch und dem Ersatz der Pflanzen sowie den Kosten für das notwendige Wasser zur ausreichenden Bewässerung. Der Preis für den Wasserbezug beträgt 1,86 €/m³[76]. Das modulare Begrünungssystem benötigt nach Angaben eines Herstellers im Jahresmittel 2.5 – 3 l/m² [57]. Der Wasserbedarf des Matten-Systems beträgt 1 m³/m² pro Jahr [42]. Das troggebundene System weist einen Wasserverbrauch von 0.66 l/m² pro Tag auf, das bedeutet rund 0.24 m³/m² pro Jahr.

Tabelle 2: Wasserverbrauch der Begrünungssysteme in m³/m²/Jahr

Begrünungssystem	Wasserverbrauch <i>in m³/m²/Jahr</i>
modulares System	0,91
troggebundenes System	0,24
Matten-System	1,00

Nach Aussagen des Herstellers des troggebundenen Begrünungssystems betragen die Kosten für die Wartung, welche idealerweise einmal pro Jahr im Frühling durchgeführt

werden soll, je nach Größe der begrünten Fläche 5 – 10 % der Anschaffungskosten. Als kleine Flächen werden solche Flächen bis zu einer Größe von 30 m² angenommen. Die Pflegekosten liegen dann bei 85 €/m². Bei großen Flächen ab einer Größe von 30 m² ergeben sich demnach jährliche Kosten in Höhe von 42,50 €/m².

Um ein gepflegtes Erscheinungsbild zu erhalten, ist nach Herstellerangaben die Pflege des Matten-Systems zwei Mal pro Jahr notwendig. Hierfür fallen jährlich Kosten in Höhe von rund 50 €/m² an.

Für das modulare System liegen keine exakten Kosten des Herstellers für die Pflege und Wartung des Systems vor. Um ein gepflegtes Erscheinungsbild zu erreichen, sind nach Herstellerangaben bis zu sechs Pflegegänge pro Jahr notwendig. Die Kosten hierfür variieren allerdings stark je nach Erreichbarkeit, Exposition und Pflanzenart. Es wird daher in Anlehnung an die beiden weiteren untersuchten fassadengebundenen Systeme ebenso von Kosten in Höhe von 50 €/m² ausgegangen.

6.1.3 Entsorgung

Am Ende des Lebenszyklus muss die vertikale Begrünung entfernt und entsorgt werden.

Für die direkte Fassadenbegrünung betragen die Kosten hierfür nach BKI 2016 [7] für die Entfernung und Entsorgung von Mauerbewuchs auf Putzflächen 5 €/m². Die Entfernung der Rankhilfen aus Edelstahl kostet ebenso 5 €/m². Die Entsorgung des Altstoffs Metall ist kostenlos.[74]

Für das modulare Begrünungssystem fallen aufgrund der verschiedenen zusammengehörenden Schichten höhere Entsorgungskosten an. Die Entsorgung von Baurestmassen kostet 312,49 €/Tonne. Diesen Preis hat auch die Entsorgung von Erdaushub und Bauschutt, welches für die Entsorgung des Substrats und der Bestandteile des troggebundenen Begrünungssystems angenommen wird. Die Entsorgung der Aluminiumtröge ist kostenlos. Für das Matten-Begrünungssystem wird ebenso abhängig vom Gewicht der Preis für die Entsorgung des Gesamtsystems als Baurestmasse ermittelt [75][74]. Das herangezogene Gewicht pro m² errechnet sich aus dem Gesamtgewicht des jeweiligen Systems abzüglich des Gewichts für die Unterkonstruktion aus Metall, deren Entsorgung kostenlos ist.

6.2 Soziale Kosten

Unter sozialen Kosten werden alle volkswirtschaftliche Kosten verstanden, die durch die vertikale Begrünung entstehen.

6.2.1 Subventionen

Die Subventionen in Form von Fördermitteln der Stadt Wien, welche unter *6.3.4 Subventionen* erläutert werden, gelten als Ausgaben der Stadt und sind demnach, falls die Zahlung von Fördermitteln erfolgt ist, in gleicher Höhe als soziale Kosten anzusetzen.

6.3 Persönliche Nutzen

Der persönliche Nutzen der vertikalen Begrünung gliedert sich einerseits in Nutzen, die direkt mit einem Geldwert bewertet sind, wie beispielsweise die Subventionen, sowie andererseits in indirekte Effekte, welche durch verschiedene Konzepte monetarisiert oder auf Grundlage von Studien standortabhängig berechnet werden. Zu Letzteren zählen zum Beispiel die Immobilienpreissteigerung oder die Energieeinsparung.

6.3.1 Immobilienwertsteigerung

Der Wert einer Immobilie steigt durch Begrünung. Dies wurde bereits in zahlreichen Untersuchungen festgestellt.

Luttik [44] untersuchte beispielsweise in seiner Studie mittels hedonischer Methode den Verkaufspreis von Häusern in verschiedenen Regionen der Niederlande mit dem Ergebnis, dass Begrünung in Wohngebieten in vielen Fällen eine Wertsteigerung des Hauses bedeutet. Die empirische Studie von Thompson und Cadena [16] analysiert den Wert von Grün in Wohngebieten in Texas anhand des Verkaufspreises. Grüne Bestandteile des Gebäudes erhöhen demnach den Verkaufspreis um 2%. Den Auswirkungen auf den möglichen Rückhalt von Regenwasser wird mit fast 8% Preissteigerung sogar eine deutlich höhere Bedeutung zugemessen. Perini und Rosasco [64] beachten in ihrer Analyse den Effekt der Preissteigerung auch in Abhängigkeit des Gebäudestandorts. Um die Auswirkungen genauer abbilden zu können, unterscheiden sie in zentrale, demizentrale und periphere Lage zur Stadt mit 2%, 3% bzw. 5% Preissteigerung.

Auch bezogen auf die Stadt Wien gibt es Untersuchungen der Auswirkungen von Grünflächen und grünen Gebäudebestandteilen auf die Immobilienpreise. So zeigt die Magi-

stratsabteilung 18 für Stadtentwicklung und Stadtplanung in ihrem *Fachkonzept Grün- und Freiraum* deutlich auf, dass Grün- und Freiräume besonders im Wohnbau aufgrund der positiven Einflüsse auf den Menschen ein zentrales Entscheidungsmotiv und Verkaufsargument darstellen [45]. So wird nicht nur der monetäre Wert der Immobilie gesteigert, sondern wird diese durch die Begrünung auch beliebter [65]. Auch das Diskussionspapier des Instituts für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung der Universität für Bodenkultur Wien [50] bestätigt den Zusammenhang von grüner Infrastruktur und höherer Lebensqualität und daraus resultierenden höheren Immobilienpreisen. Hier wird allerdings auch darauf hingewiesen, dass durch höhere Mieten möglicherweise die Zufriedenheit der Mieter/innen und somit der soziale Nutzen der Begrünung sinkt. Da es sich hierbei um einen nicht quantifizierbaren Nutzen handelt, wird dies in der Berechnung nicht berücksichtigt, sollte allerdings in weiteren Untersuchungen bedacht werden. Brunauer et al. [9] führen eine hedonische Preisuntersuchung der Mieten in Wien durch und kommen zu dem Ergebnis, dass ein Garten die Miete um 5 % anhebt, ein Balkon 6 % Mieterhöhung ermöglicht und eine Terrasse sogar um 13 %.

Im entwickelten Modell dieser Arbeit wird eine Immobilienpreissteigerung abhängig vom betrachteten Begrünungssystem von maximal 2 % des derzeitigen Werts für den 1. bis 9. Bezirk angenommen, für die äußeren Bezirke 10 bis 23 eine Steigerung um maximal 2.5 %. Diese Staffelung erfolgt nach dem Vorbild der Studie von Rosasco und Perini[64]. Da es sich bei Begrünungssystemen mit Modulen um eine hochwertige Ausstattung handelt, wird hier die maximale Steigerung angesetzt. Für die bodengebundene Begrünung wird diese um 0.5 % abgemindert. Des Weiteren wird unterschieden, ob es sich um ein Gebäude handelt, das in Vermietung ist und somit für die Hauseigentümerin oder den Hauseigentümer höhere Mieteinnahmen entstehen sowie der Wert des Objekts ansteigt oder das Gebäude sich in Eigentum befindet und nicht vermietet ist und somit nur die einmalige Wertsteigerung der Immobilie ausschlaggebend ist. Die verwendeten Immobilienpreise für Wohnungen in Miete und in Eigentum entsprechen dem Stand von Juni 2017 [77]. Darüberhinaus ist zu erwähnen, dass die Wertsteigerung erst anzusetzen ist, wenn die Fassade voll begrünt ist. Dies bedeutet bei der bodengebundenen Begrünung ab dem zehnten Jahr und bei den anderen bereits fertig montierten, fassadengebundenen Systemen ab dem ersten Jahr.

Auf diese Art ergibt sich beispielsweise für ein Gebäude im Eigentum im 4. Gemeindebezirk eine jährliche Immobilienpreissteigerung von 159,58 € bei einer Begrünung mit einem fertig montierten System. Für ein vermietetes Objekt in Favoriten, dem 10. Be-

zirk, ergibt sich eine Mieterhöhung um 2,65 € pro Quadratmeter Wohnfläche pro Jahr bei bodengebundener Begrünung.

6.3.2 Energieeinsparung

Vertikale Begrünung kann in der Heizperiode und bei Gebäuden, die bereits über Kühlgeräte verfügen, auch im Sommer zur Energieeinsparung beitragen. Grundsätzlich nimmt vertikale Begrünung durch drei verschiedene Effekte Einfluss auf das energetische Verhalten des Gebäudes [34]:

- Verschattung
- Evapotranspiration
- Wärmedämmung

Der Verschattungseffekt und die Evapotranspiration, also die Kühlung durch Verdunstung, spielen besonders im Sommer eine entscheidende Rolle, da sie das Aufheizen der Fassade und somit des Gebäudes minimieren. Die wärmedämmende Wirkung durch immergrüne Pflanzen sowie durch den Aufbau der Begrünungsmodule hingegen behindert im Winter den Wärmeverlust durch die Fassade.[63]

Untersuchungen über die Höhe dieser Effekte wurden durch Simulationen sowie in situ durchgeführt, wobei auch hier zu beachten ist, dass eine Verallgemeinerung der Ergebnisse aufgrund verschiedenster Einflussfaktoren, wie beispielsweise Gebäudestandort, Pflanzenwahl und Ausrichtung der Fassade, grundsätzlich keine exakten Aussagen zulässt. So bewerten Cameron et al. [17] für die in ihrer Studie herrschenden Bedingungen beispielsweise den Verschattungseffekt der Pflanzenspezies Jasminum höher als den der Fuchsia, bei welcher allerdings der Effekt der Evapotranspiration deutlich größer ist. Ferner stellen sie heraus, dass es keine optimale Pflanzenspezies für jeden Einsatz gibt, sondern dass auch Faktoren wie das Pflanzenwachstum am jeweiligen Standort entscheidend sind. Keine Berücksichtigung im Modell finden bisher ebenso die Effekte, welche zum Beispiel an Rändern der begrünter Flächen entstehen sowie die geringeren Auswirkungen bei kleineren Grünflächen.

Vertikalbegrünung kann abhängig vom System als Vorhangfassade wirken. Hierbei entsteht eine stehende Luftschicht zwischen der Begrünung und der Wand. Nach Perez et al. [62] ist für diese Art der vertikalen Begrünung deutlich festzustellen, dass im Winter eine

höhere Temperatur und geringere Luftfeuchtigkeit und im Sommer eine geringere Temperatur und eine höhere Luftfeuchtigkeit in der Luftschicht zwischen der Begrünung und der Fassade als ohne Begrünung herrschen. Dies verdeutlicht die Evapotranspiration sowie die Wirkung der vertikalen Begrünung als Windpuffer. Demnach ist nicht nur die Anordnung der Begrünungselemente und die Dicke der Luftschicht zwischen Begrünungselement und Wand entscheidend, sondern auch der Wassergehalt des gesamten Aufbaus.[34][60]

Mazzali et al. [47] erhalten bei ihren Untersuchungen im Sommer im Norden und im Zentrum Italiens deutliche Ergebnisse mit Unterschieden in der Oberflächentemperatur der Außenfassade zwischen 12 und 20°C. Die Ursache hierfür liegt in der Filterwirkung der Blätter, welche durch den Fototropismus, wodurch sich die Pflanzen dem Licht zuwenden, verstärkt wird. Abhängig von verschiedenen Faktoren wie hauptsächlich der Pflanzenwahl treffen lediglich 5 – 30 % der direkten Sonnenstrahlung auf die Wand. Die restlichen Anteile werden reflektiert, in Wärme umgewandelt und für die Photosynthese beziehungsweise für die Evapotranspiration aufgewendet.[40]

Heizperiode

Ebenso gibt es Messungen für den Standort Wien für zwei auch in dieser Arbeit untersuchten Systeme (das modulare Begrünungssystem (Kapitel 4.2) und das troggebundene Begrünungssystem (Kapitel 4.3)), welche deutliche Ergebnisse geliefert haben. Tudiwer und Korjenic [80] fanden bei Untersuchungen während der Heizperiode für zwei verschiedene Standorte in Wien heraus, dass sich der Wärmedurchgangswiderstand deutlich messbar erhöht. Bei einem steigenden Wärmedurchgangswiderstand sinkt der U-Wert, der Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion. Der Wärmedurchgangswiderstand setzt sich wie in der Formel (3) dargestellt aus den Widerständen der einzelnen Schichten des Wandaufbaus zusammen, sowie aus Wärmeübergangswiderständen in Richtung des Wärmefflusses jeweils für den Innen- und den Außenraum. Der Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstands R_T bildet dann den Wärmedurchgangskoeffizienten U wie in der Formel (4) gezeigt. Diese Berechnung des U-Werts gemäß ÖNORM EN ISO 6946 [23] kann auch im Modell durchgeführt werden, um den U-Wert der Bestandskonstruktion abzuschätzen, falls dieser unbekannt ist.

$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{se} \quad (3)$$

mit

- R_T – Wärmedurchgangswiderstand in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
- R_s – Wärmeübergangswiderstand in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
- R_i – Wärmedurchlasswiderstand einer Schicht in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

mit

- U – Wärmedurchgangskoeffizient in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
- R_T – Wärmedurchgangswiderstand in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

In ihren Messungen fanden Tudiwer und Korjenic heraus, dass im innerstädtischen Bereich und durch die angebrachte Begrünung der Übergangswiderstand zum Außenraum R_{se} höher ist als $0.04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ wie in ÖNORM ISO 6946 [23] angenommen [80]. Dieser Widerstand wird größer, je höher die Differenz zwischen der Lufttemperatur außen und der Oberflächentemperatur hinter der Begrünung ist. Da die Oberflächentemperatur durch die Begrünung beeinflusst wird, ist R_{se} verändert. Zu unterscheiden ist bei diesen Untersuchungen die Wirkungsweise der beiden betrachteten Systeme. Während das troggebundene System als Vorhangfassade wirkt und eine abgeschlossene, ruhende Luftschicht zwischen der Wand und der Begrünung geschaffen wird, ist die Fassade durch das modulare System nicht geschlossen und der Zwischenraum daher stark belüftet. Für das troggebundene System wurde eine Verbesserung des Wärmedurchgangswiderstands in der Höhe von $0.35 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ festgestellt. Der Fassadengarten mit den Modulen steigert den Widerstand um $0.68 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$. Für die Berechnungen wird angenommen, dass sich der Wärmedurchgangswiderstand für das modulare und das troggebundene System um 20% erhöht.

Für das Matten-Begrünungssystem wird der Wärmedurchgangswiderstand nach Untersuchungen der Fassade des Parkhotels Baden durch den Hersteller in Zusammenarbeit mit der TU Wien um 25% erhöht [43].

Für direkte und indirekte, bodengebundene Fassadenbegrünungen nehmen Ottele et al.

[60] aufgrund der geschaffenen Luftschicht eine Verbesserung des Wärmedurchgangswiderstands von $0.09 \text{ m}^2\text{K/W}$ an. Dies resultiert aus der Vorgabe, dass bei nicht ruhenden Luftschichten die auf der Außenseite der Luftschicht liegenden Schichten nicht in der Berechnung berücksichtigt werden, aber der äußere Wärmeübergangswiderstand R_{se} gleich dem inneren R_{si} gesetzt wird. Er beträgt demnach statt $0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ nun ebenso $0.12 \text{ m}^2\text{K/W}$ [23]. Diese Überlegung wird auch in dem in dieser Arbeit entwickelten Modell berücksichtigt.

Die eingesparte Energie wird in dem entwickelten Modell vereinfacht mit Hilfe der über die Temperatursummenmethode ermittelten Heizgradtage errechnet. Der Berechnung der Heizgradtage liegt gemäß ÖNORM H 7500-1 [54] die Überlegung zugrunde, dass an Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur kleiner als 12°C die Raumtemperatur auf 20°C durch das Einschalten der Heizung erwärmt wird. Die Heizgradtage wurden durch den Klimadatenrechner des Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft für die einzelnen Wiener Bezirke ermittelt (Tabelle 3) [14]. Die Berechnung erfolgte anhand von Formel (5).

$$HGT(d_1, d_2) = \sum_{d_1}^{d_2} 20 - T_{\text{Mittel}} \quad (5)$$

für $T_{\text{Mittel}} \leq 12, 0^\circ\text{C}$

mit

- HGT – Heizgradtage in Kd
- T_{Mittel} – Tagesmitteltemperatur in $^\circ\text{C}$
- $d_{1,2}$ – betrachteter Tag in d

Tabelle 3: Heizgradtage (HGT) für Wien nach Bezirken

Bezirk	HGT <i>in Kd</i>
1. Innere Stadt	2.767,7
2. Leopoldstadt	2.767,7
3. Landstraße	2.762,5
4. Wieden	2.748,2
5. Margareten	2.770,6
6. Mariahilf	2.764,6
7. Neubau	2.795,6
8. Josefstadt	2.877,2
9. Alsergrund	2.936,4
10. Favoriten	2.941,9
11. Simmering	2.856,2
12. Meidling	2.804,5
13. Hietzing	3.004,5
14. Penzing	3.034,4
15. Fünfhaus	2.810,4
16. Ottakring	2.893,3
17. Hernals	2.926,5
18. Währing	3.011,3
19. Döbling	3.011,3
20. Brigittenau	2.911,2
21. Floridsdorf	2.910,2
22. Donaustadt	2.898,2
23. Liesing	3.062,0

Die Energiekosten setzen sich aus dem Grundpreis und einem Arbeitspreis pro kWh zusammen. Da der zu entrichtende Grundpreis der Energieversorgung bestehen bleibt, wird als Energiepreis der Arbeitspreis pro kWh für Wien herangezogen. Dieser Parameter ist auf eine Weise im Modell verankert, dass eine Änderung einfach zu berücksichtigen ist. Im August 2017 beträgt der Verbrauchspreis 7.4734 Cent/kWh für Strom und 3.7524 Cent/kWh für Gas [89]. In Abhängigkeit des angegebenen Energieträgers wird der jeweilige Preis herangezogen. Im Fall einer Energiepreisänderung kann dieser einfach angepasst und der Einfluss direkt erkannt werden. Die Heiz- und Elektroenergie unterliegen einer zu erwartenden jährlichen Preissteigerung, welche in der Berechnung nicht mitberücksichtigt wurde [38].

Ökonomische Auswirkungen

Die Einsparung der Heizkosten durch den verbesserten U-Wert der Konstruktion berechnet sich gemäß Formel (6).

$$EK_{\text{Heizung,eingespart}} = (U_{\text{Bestand}} - U_{\text{begrünt}}) * HGT * 24 * p * 0,001 * A_{\text{grün}} \quad (6)$$

mit

$EK_{\text{Heizung,eingespart}}$	–	eingesparte Heizkosten in €/Jahr
U	–	Wärmedurchgangskoeffizient in W/m ² K
HGT	–	Heizgradtage in Kd
p	–	Energie-Verbrauchspreis in €/kWh
$A_{\text{grün}}$	–	begrünte Wandfläche in m ²

Kühlperiode

Die Auswirkungen der vertikalen Begrünung auf den Kühlenergiebedarf ergeben sich neben dem verbesserten U-Wert besonders durch die Verschattung der Fassade, wodurch diese nicht so stark aufgeheizt werden kann, sowie aufgrund der Kühlung durch die Verdunstung des Wassers in den Pflanzen. Es kann angenommen werden, dass je höher der Wassergehalt eines Systems ist, die Evapotranspiration desto höher ist und somit eine höhere Kühlwirkung erzeugt. Des Weiteren ist auch bei der Kühlung zwischen den verschiedenen Begrünungssystemen zu unterscheiden. Coma et al. [20] ermitteln durch Messungen an Testgebäuden mit Fassadenbegrünung und mit einer grünen Wand Energieeinsparung in der Kühlperiode von 33.8 % bzw. 58.9 % im Vergleich zu einem unbegrünten Referenzgebäude. Sie führen diese Einsparung besonders auf die behinderte Sonneneinstrahlung auf die Wand zurück. Perini und Rosasco [64] gehen von Einsparungen in Höhe von 10 – 20 % aus. Die möglichen Einsparungen sind besonders vom Wandaufbau und dessen Wärmespeicherkapazität abhängig. In der vorliegenden Arbeit wird für die bodengebundene Begrünung eine Einsparung von 10 % angenommen und für die fassadengebundenen Systeme eine Einsparung der Kühlenergie in Höhe von 20 % aufgrund des höheren Wassergehalts und der stärkeren Verschattungswirkung durch den Aufbau der Systeme.

Die benötigte Kühlenergie berechnet sich nach Aebischer [1] über die standortabhängigen Kühlgradtage und eine Simulation, wie durch Formel (7) angenähert, in Abhängigkeit von der gekühlten Nutzfläche. Zu beachten ist, dass diese Kosten nicht zuletzt von

Ökonomische Auswirkungen

der Effizienz der Kühlgeräte abhängen, sowie dass auch die internen Wärmequellen im Gebäudeinneren und die in Abhängigkeit der Fassadenausrichtung solaren Einträge eine entscheidende Rolle spielen.

$$EK_{\text{Kühlung}} = (12,7 + 0,103 * KGT) * p * A_{\text{Nutz}} \quad (7)$$

mit

$EK_{\text{Kühlung}}$	–	Energiekosten für die Kühlung in €/Jahr
KGT	–	Kühlgradtage in Kd
p	–	Energie-Verbrauchspreis in €/kWh
A_{Nutz}	–	angrenzende, gekühlte Nutzfläche in m ²

Die Definition der Kühlgradtage ähnelt dem Prinzip der Heizgradtage und wird gemäß der Formel (8) bestimmt. Es gibt für Österreich keinen festgelegten Grenzwert zur Berechnung. Es existieren internationale Untersuchungen mit Grenztemperaturen von 18,3°C, 20,0°C und 22°C. Der Grenzwert für das Modell wird in Anlehnung an weitere Untersuchungen in Österreich [69][67] mit 18,3°C gewählt. Ab einer Außenlufttemperatur, die im Tagesmittel diesen Wert übersteigt, wird die Kühlanlage, falls vorhanden, eingeschaltet. Für den Standort Wien wurden die Kühlgradtage für die Jahre 2012 bis 2017 anhand von Temperaturdaten der ZAMG an der Messstation Hohe Warte ausgewertet (Tabelle 4). Die detaillierte Berechnung ist in B Berechnung der Kühlgradtage dargestellt. Es ist zu erwarten, dass die innerstädtischen Werte über denen an der Hohen Warte gemessenen liegen. Für das Modell dieser Diplomarbeit wird der Mittelwert der Kühlgradtage über diese Jahre mit 386 Kd herangezogen.

$$KGT(d_1, d_2) = \sum_{d_1}^{d_2} T_{\text{Mittel}} - 18,3 \quad (8)$$

für $T_{\text{Mittel}} \geq 18,3^\circ\text{C}$

mit

KGT	–	Kühlgradtage in Kd
T_{Mittel}	–	Tagesmitteltemperatur in °C
$d_{1,2}$	–	betrachteter Tag in d

Tabelle 4: Kühlgradtage (KGT) Wien 2012 – 2017

Jahr	KGT <i>in Kd</i>
2012	406,3
2013	348,8
2014	262,4
2015	473,5
2016	370,5
2017	447,4*

* bis einschließlich September

Kromp-Kolb et al. [39] untersuchten im Jahr 2007 die Auswirkungen des Klimawandels auf Wien. Hierbei betrachteten sie auch die Entwicklung der Kühlgradtage anhand eines Vergleichs von einer Referenzperiode von 1981–1990 und einer Prognose für den Zeitraum 2041–2050. Das Ergebnis dieses Vergleichs ist ein zu erwartender Anstieg der Kühlgradtage um 117 % zwischen diesen beiden Betrachtungsperioden von 202 Kd auf 438 Kd. Unter der Annahme, dass dieser Anstieg linear verläuft, kann zum heutigen Zeitpunkt jedoch bereits festgestellt werden, dass die Kühlgradtage noch stärker ansteigen werden. Abbildung 13 stellt zur Verdeutlichung sowohl die lineare Trendlinie der Prognose sowie die berechneten Kühlgradtage der Jahre 2012 bis 2017 dar. Auf Basis dieser Erkenntnis wird im Modell dieser Arbeit angenommen, dass zukünftig in jeder Wohnung eine Klimaanlage vorhanden sein wird. Die Berechnung des Modells berücksichtigt die Prognose des Anstiegs der Kühlgradtage bisher nicht.

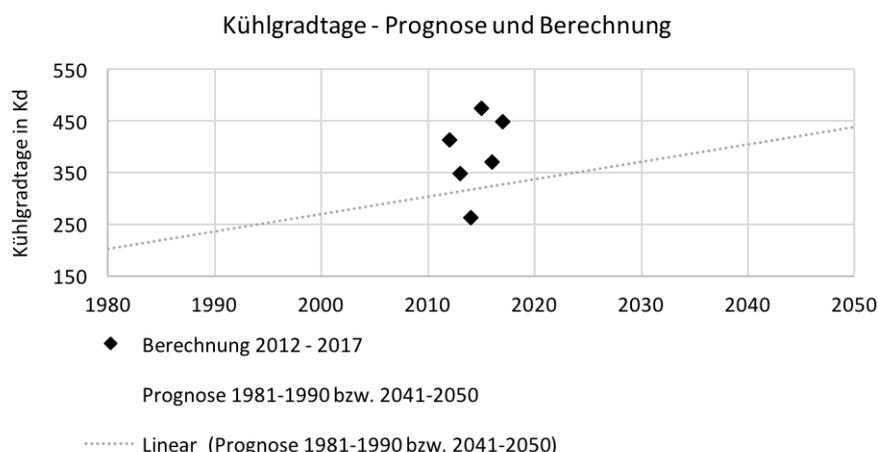


Abbildung 13: Vergleich einer Prognose der Kühlgradtage mit den Referenzen 1981-1990 und 2041-2050 und einer Berechnung für die Jahre 2012-2017

6.3.3 Langlebigkeit

Die Fassade eines Gebäudes ist zu jeder Zeit Witterungseinflüssen und Verschmutzung ausgesetzt. Neben der direkten UV-Einstrahlung auf die Oberfläche beeinflussen auch Wind, Regen und Eis sowie Schadstoffe in der Luft die Lebensdauer der Fassade [65]. Insbesondere wirken sich die großen Temperaturschwankungen im Lauf des Jahres negativ auf die Fassade aus [18]. Die Lebensdauer einer Fassade beträgt demnach zwischen 20 und 40 Jahren [12]. Durch den Schutz, welchen die Begrünung als eine Art Vorhang bietet, kann diese Lebensdauer verlängert werden und die Erneuerung der herkömmlichen Fassade im Betrachtungsraum von 50 Jahren entfallen. Die dadurch eingesparten Kosten stellen einen Nutzen der vertikalen Begrünung unabhängig vom gewählten System dar. Die Kosten für die Erneuerung des Außenputzes bestehend aus Ober- und Unterputz werden analog zum Kapitel 6.1.2 *Instandhaltung, Wartung und Pflege* mit 35 €/m² angenommen und im 30. Jahr angesetzt.

6.3.4 Subventionen

Ein umweltökonomisches Instrument, um die Kosteneffektivität für Hauseigentümerinnen und Hauseigentümer zu erhöhen, liegt in Subventionen durch Steuererleichterungen oder durch die Zahlung von Fördermitteln. In Wien ist eine Auszahlung von Fördermitteln in Höhe von maximal 2200 € möglich [72]. Der notwendige Antrag kann unter folgenden Voraussetzungen bei der *Magistratsabteilung 42 – Wiener Stadtgärten* gestellt werden [71]:

- Gebäude nicht im Eigentum von öffentlichen Rechtsträgern z.B. Wiener Wohnen
- Widmungskategorien W oder GB mit den Bauklassen BK II, III, IV, V und VI
- Einverständniserklärung aller betroffenen Eigentümer/innen
- ggf. Baubewilligung der Magistratsabteilung 37 – Baupolizei
- Bewilligung des Bundesdenkmalamts
- Prüfung der Stadtbildverträglichkeit der Magistratsabteilung 19 – Architektur und Stadtgestaltung

Bei der Widmungskategorie W handelt es sich um *Wohngebiete*. Dies sind Gebiete, in denen nur Wohngebäude und Bauten zulässig sind, die religiösen, kulturellen, sozialen oder öffentlichen Zwecken dienen. Betriebe kleineren Umfanges innerhalb von Wohngebäuden sind erlaubt, wenn sichergestellt ist, dass die Wohnbevölkerung nicht durch Emissionen

belästigt wird. Teile des Wohngebiets können als Geschäftsviertel ausgewiesen werden. Die Widmungskategorie GB bedeutet *Gemischte Baugebiete* und umfasst Gebiete, in denen eine Mischung von Wohnungen und solchen Betrieben angestrebt wird, die keine unzumutbaren Belästigungen der Nachbarschaft verursachen. Teile des gemischten Baugebietes können als Geschäftsviertel oder als Betriebsbaugebiet festgesetzt werden [71]. Die Bauklassen sind abhängig von der Gebäudehöhe selbst und in Relation von dieser zur Straßenbreite. Die Wiener Bauordnung sieht sechs verschiedene Bauklassen zuzüglich Hochhäusern vor. Gefördert werden die Bauklassen II, III, IV, V und VI. Dies bedeutet, dass lediglich Hochhäuser, also Gebäude, welche höher als 35 m sind sowie Gebäude der Bauklasse I nicht gefördert werden. Die Bauklasse I umfasst Gebäude mit einer Gebäudebreite von maximal 2,5 m und einer Gebäudehöhe, die niedriger als die Straßenbreite zuzüglich 2 m und maximal 9 m ist.[90]

Je nach Beschaffenheit der Bestandsfassade und Art des Gebäudes ist darüberhinaus eine Bewilligung des Bundesdenkmalamts erforderlich.

Details zum Ablauf der Antragsstellung und die aktuellen Voraussetzungen für den Einzelfall können auf der Internetseite und in der Checkliste der Stadt Wien detailliert nachgelesen werden [72].

6.4 Soziale Nutzen

Der soziale Nutzen der Begrünung ist neben dem Entgegenwirken gegen den Klimawandel durch Bindung von Kohlenstoffdioxid auch durch positive Einflüsse auf die menschliche Gesundheit begründet. Diese werden hauptsächlich durch die Verbesserung der Luftqualität, aber auch durch Lärmreduktion hervorgerufen. Die exakten Auswirkungen auf die Schadstoffbindung und die Lärmreduktion hängen besonders von der Pflanzendichte und Pflanzenart ab.

Ein großer Teil der Luftverschmutzung und des Lärms in Städten wird durch den Straßenverkehr verursacht. Im Jahr 2000 betragen die externen Umweltkosten für den Straßenverkehr in Österreich 4,3 Milliarden Euro [15]. Diese Kosten umfassen die Folgekosten des Lärms und der Schadstoffe und Einflüsse auf die Gesundheit. Eine HEATCO-Studie (*Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment*) [6] untersucht für die Europäische Union unter anderem die durch Luftschadstoffe verursachten Kosten auch in Abhängigkeit von der Siedlungsdichte und dem regionalen Klima. Diese modellbasierten Kosten, nur bezogen auf den Straßenverkehr,

beinhalten die Folgekosten für Gesundheit, Ernteverlust und Sachschäden. Die ermittelten Kostenfaktoren gelten für das Jahr 2002. Es wird empfohlen, diesen Wert prozentual zur Steigerung des pro Kopf Bruttoinlandsprodukts anzupassen. Für Österreich beträgt diese Steigerung 43 %, von 28.000 € im Jahr 2002 auf 39.990 € im Jahr 2016 [78]. Unter anderem in Anlehnung an diese Empfehlung kann davon ausgegangen werden, dass diese Kostenfaktoren der Umweltauswirkungen weiter ansteigen werden. Diese zukünftige Steigerung wird bisher nicht beachtet.

6.4.1 Stickoxid-Reduktion

Nach dem erläuterten Ansatz der HEATCO-Studie [6] werden auch die Folgekosten, welche durch Stickoxid-Emissionen (NO_x) entstehen, untersucht. Der Kostenfaktor der Folgekosten von Stickoxiden für das Jahr 2002 beträgt für Österreich 4.300 €/Tonne. Unter Berücksichtigung der empfohlenen Anpassung liegen die Kosten bei 6.127 €/Tonne für das Jahr 2016.

Stickoxide entstehen als Nebenprodukt bei der Verbrennung zum Beispiel in Automotoren, wodurch sie besonders im städtischen Raum problematisch sind. Sie haben eine direkte besonders gesundheitsschädliche Wirkung und begünstigen durch ihre hohe Reaktivität darüberhinaus die Bildung von Ozon und Feinstaub [6]. Für die menschliche Gesundheit stellen sie vor allem für die Atemwege eine Gefahr dar und können bis zur Beeinträchtigung des Herz-Kreislauf-Systems führen. Auch die Auswirkungen auf die Umwelt zum Beispiel durch den Beitrag zur Versauerung des Bodens sind zu nennen [82]. Die in der HEATCO-Studie errechneten Kosten beinhalten eine Abschätzung dieser Folgegeschäden.

Durch begrünte Dächer können nach Clark et al. [19] zwischen 0.27 und 0.44 kgNO_x/m^2 pro Jahr aufgenommen werden. Unter der Annahme, dass durch vertikale Flächen ungefähr 50 % dieser Werte erreicht werden, bedeutet dies einen monetären Nutzen von durchschnittlich 1,09 €/m² und Jahr.

6.4.2 Kohlenstoffdioxid-Reduktion

Seit dem Jahr 2005 gibt es in der Europäischen Union den EU-Emissionshandel. Ziel dieses nicht unumstrittenen Systems bei seiner Einführung war es, möglichst geringe volkswirtschaftliche Kosten für die Reduktion der Kohlenstoffdioxid-Emissionen (CO_2)

zu verzeichnen, indem der erlaubte Ausstoß durch eine Anzahl von Zertifikaten limitiert ist. Der Markt soll durch Zertifikatehandel selbst entscheiden, auf welche Art und Weise und an welchem Ort CO₂ eingespart wird. Im Jahr 2013 wurden daher 40 % der Zertifikate versteigert. Um die negativen Auswirkungen der Emissionen annähernd abzudecken, ist nach dem Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change [48] ein Mindestpreis von 20 \$/t notwendig. Derzeit liegt der Preis allerdings aufgrund der Menge der vorhandenen Zertifikate sehr niedrig bei lediglich 6 \$/t (Stand Mai 2017) [26]. Um die Ziele des Klimaabkommens von Paris aus dem Jahr 2016 jedoch zu erreichen, ist nach Berechnungen der Europäischen Kommission bis zum Jahr 2020 eine Preissteigerung auf 40 – 80 \$/t und bis zum Jahr 2030 auf 50 – 100 \$/t notwendig.[25]

Pflanzen sind in der Lage CO₂ zu binden. Pamminer untersucht in ihrer Diplomarbeit die CO₂-Bindung fünf verschiedener Pflanzenarten, die für die vertikale Begrünung verwendet werden [61]. Für die angenommene und am Standort in Wien untersuchte Kombination von Pflanzen ergibt sich für das modulare System sowie das troggebundene System bei 30 Pflanzen pro Quadratmeter eine CO₂-Bindung von 12.6 kg/m² für den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren und demnach ein jährlicher Wert von 0.252 kg/m², der in dem Modell dieser Arbeit für jedes System vereinfachend angenommen wird.

Unter der Annahme des Preises für CO₂-Emissionen in der Höhe von 20 \$/t, mit dem zumindest annähernd die Folgekosten abgedeckt werden, ergibt sich ein Nutzen von ungefähr 0.005 \$/m² pro Jahr. Bei einem Wechselkurs von 1 \$ zu 0,8477 € [28] entspricht dies einem Nutzen der CO₂-Bindung von 0,0043 €/m² pro Jahr. Für die bodengebundene, direkte Begrünung wird dieser Nutzen erst nach vollständigem Fassadenbewuchs wirksam, der nach 10 Jahren angenommen wird. Für alle fassadengebundenen Systeme ist er mit dem Zeitpunkt der Montage anzusetzen.

6.4.3 Lärm-Reduktion

Als Lärm wird jedes als störend empfundene Geräusch definiert. Dabei spielt gemäß der EU-Umgebungslärmrichtlinie einerseits die tatsächliche Lautstärke eine Rolle, aber auch die Tageszeit, zu welcher dieser auftritt, sowie die persönliche Einstellung zur Geräuschquelle [2]. Dies verdeutlicht die Subjektivität dieser Größe. In den Aktionsplänen der genannten Richtlinie sind Schwellenwerte für den Umgebungslärm festgelegt. Am Tag soll der Pegel 60 dB(A) nicht überschreiten. In der Nacht liegt der Schwellenwert bei 50 dB(A). Bei Überschreitung dieser Werte ist mit Schlafstörungen, aber auch dauerhaften Einbu-

ßen von Konzentration und demnach der Leistungsfähigkeit zu rechnen. In Wien waren im Jahr 2012 nach Messungen des Ministeriums für ein lebenswertes Österreich mehr als 435.000 Menschen einem Lärmpegel, verursacht durch Straßenverkehr, ausgesetzt, der über dem Schwellenwert liegt. In der Nacht waren sogar rund 514.000 Menschen betroffen. Der Anhang *A Berechnung der durch Lärm Betroffenen in Wien 2012* enthält eine detaillierte Darstellung. Das entspricht circa 30% der Bewohner/innen der Stadt Wien. Am Gürtel beispielsweise werden tagsüber sogar Werte über 75 dB(A) gemessen.[70][49]

Vertikale Begrünung hat eine schalldämmende Wirkung durch Absorption, Auslenkung und Reflektion sowohl in niedrigen als auch in hohen Frequenzbereichen [24]. Auch Azkorra et al. [3] stellen in ihren Untersuchungen heraus, dass vertikale Begrünung ein signifikantes Potential zur Verbesserung der Schalldämmung hat. Ismail [35] untersucht anhand von Simulationen die akustischen Auswirkungen vertikaler Begrünungen bei einer islamischen Stadtstruktur, welche sich durch enge Straßen und meist homogene Struktur auszeichnet. Er findet hierbei heraus, dass die Begrünung nicht nur in unmittelbarer Nähe der Schallquelle schalldämpfend wirkt, sondern durch die beeinflusste Reflektion auch in weiterer Entfernung. Van Renterghem et al. [88] führen sowohl zwei- als auch dreidimensionale Simulationen zur akustischen Wirkung vertikaler Begrünung durch. Sie simulieren hierbei zwei verschiedene Straßenbreiten und stellen fest, dass der Unterschied der Wirkung zwischen der engeren und der weiteren Straße weniger groß ist als erwartet. Sie ermitteln eine schalldämmende Wirkung von 1.5 dB(A) bei einer Straßenbreite von 19.2 m und bei der halbierten Straßenbreite eine Wirkung von 1.8 dB(A). Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse ist nach Meinung der Autoren daher zulässig. Es ist jedoch darauf zu achten, dass diese Wirkung erst bei großflächiger Begrünung zu erlangen ist, sowie dass die vorherige Oberfläche der Fassade eine bedeutende Rolle spielt. Wong et al. [92] untersuchen acht verschiedene vertikale Begrünungssysteme und stellen für die unterschiedlichen Systeme frequenzabhängige Ergebnisse zusammen. So erhöht sich die schalldämmende Wirkung für mittlere Frequenzen um 5 – 9 dB(A) deutlich mehr als für hohe Frequenzen, die um rund 4 dB(A) zusätzlich durch die Begrünung abgemindert werden.

Eine monetäre Bewertung des Lärms und somit auch der Lärminderung ist aufgrund der Subjektivität der Auswirkungen schwierig. Zur Erfassung und Messung des monetären Werts existieren aufgrund der Komplexität verschiedene Konzepte. Bei der direkten Methode wird durch eine Befragung der Zielgruppe deren Zahlungsbereitschaft (*willingness*

Ökonomische Auswirkungen

to pay - WTP) erfragt. Hierbei wird erfasst, wie viel die Betroffenen bereit wären zu zahlen, um den Umgebungslärm zu beseitigen. Eine HEATCO-Studie [51] kommt in diesem Zusammenhang bei einer Untersuchung in fünf EU-Ländern zu dem Ergebnis, dass im urbanen Raum die WTP bei durchschnittlich rund 50,00 € pro Person und Jahr liegt. Es ist darauf zu achten, dass dies lediglich die Zahlungsbereitschaft zur Eliminierung der Lärmbelastung darstellt und die Kosten für das Gesundheitssystem durch Krankheiten und für die Volkswirtschaft aufgrund der durch Lärm verursachten geringeren Produktivität nicht berücksichtigt sind [5]. Neben dieser direkten Methode gibt es indirekte Methoden, bei denen eine Wertschätzung für den Umweltzustand über Marktdaten durchgeführt wird. Dies kann einerseits über den Immobilienwert geschehen, wobei das Bundesamt für Wald, Umwelt und Landschaft Bern annimmt, dass die Immobilie pro Dezibel zusätzlichem Lärm 1 % ihres Werts verliert [10]. In einem weiteren indirekten Konzept bewertet die WHO die Auswirkungen des Lärms durch DALYs (*disability adjusted life years*). Ein DALY beinhaltet die Summe von infolge vorzeitigen Todes verlorenen Lebensjahren und durch Krankheit beeinflusste Lebensjahre [11]. Für Schlafstörungen, die durch Lärm verursacht werden, wird ein Faktor 0,055 und für Kommunikationsstörungen ein Faktor 0,033 ermittelt, welcher sich jeweils auf ein Jahr bezieht. Daraus ergeben sich Werte zwischen rund 2280 und 6060 € bzw. zwischen 1300 und 3636 € pro Person.[11]

So unterschiedlich die Begrünungssysteme und die herrschenden Rahmenbedingungen sind, so verschieden sind auch ihre akustischen Wirkungen. Darüberhinaus ist zu beachten, dass der Schallpegel einer logarithmischen Skala unterliegt. Dies bedeutet, dass die Auswirkungen besonders standortabhängig sind, da zum Beispiel eine um 1 dB(A) höhere schalldämmende Wirkung nicht immer die gleiche Auswirkung auf den Lärmpegel hat. Um die Auswirkungen der Begrünung zu bestimmen, ist eine Bewertungsmethode notwendig, die die Möglichkeit bietet, jedem Dezibel Veränderung in Abhängigkeit des vorhandenen Lärmpegels einen Geldwert zuzuordnen. Der fünfte Teil der HEATCO-Studie [6] stellt diese Ergebnisse als Kostenfaktoren aus dem Jahr 2002 dar, welche wiederum über die prozentuale Steigerung des Bruttoinlandsprodukts pro Kopf, wie unter 6.4 erläutert, angepasst werden. Im Modell dieser Arbeit werden drei verschiedene Fälle unterschieden. Reduktionen des Lärms bei einem Lärmpegel unter 50 dB(A) haben keinen bewertbaren Nutzen [6]. Für Werte zwischen 50 dB(A) und 70 dB(A) wird eine Reduktion um 1 dB(A) mit 10,09 €/Person jährlich bewertet. Dieser Kostenfaktor basiert auf dem Jahr 2002 und beträgt 2016 nach Anpassung 14,40 €/Person/Jahr (Tabelle 5). Diese Folgekosten beinhalten die WTP sowie die Kosten für abschätzbare gesundheitliche Auswirkungen

Ökonomische Auswirkungen

gen. Für Lärmpegel über 70 dB(A) beträgt der Kostenfaktor nach Anpassung für 2016 28,50 €/Person/Jahr [6]. Anhand der Lärmkarten des Ministeriums für ein lebenswertes Österreich unter *laerminfo.at* kann in Abhängigkeit des Gebäudestandorts der Pegel des Lärms verursacht durch Straßenverkehr bestimmt werden [49]. Darüberhinaus ist im Modell die Angabe notwendig, wie viele Haushalte vom durch die Begrünung verbesserten Schallschutz profitieren. Hierdurch kann unter der Annahme von durchschnittlich zwei in einem Haushalt lebenden Personen, die Anzahl der beeinflussten Personen bestimmt werden, um den gesamten Nutzen der Lärmreduktion zu bestimmen.

Tabelle 5: Beurteilung der Lärmreduktion

Lärmpegel <i>in dB(A)</i>	Kostenfaktor₂₀₁₆ <i>in €/dB(A)/Person/Jahr</i>
< 50	0,00
50 – 70	14,40
> 70	28,50

6.4.4 Feinstaub-Reduktion

Staub ist ein natürlicher Bestandteil der Luft, der unter anderem bezüglich der Größe in Grob- und Feinstaub unterteilt werden kann. Als Feinstaub wird dabei der Anteil bezeichnet, dessen Partikel zu 50 % kleiner als 10 μm sind. Diese werden als PM10 bezeichnet. Sie umfassen auch die Fraktion PM2,5, deren Partikel sogar kleiner als 2,5 μm sind. Feinstaubpartikel erhöhen das Risiko von akuten und chronischen Erkrankungen des Atmungsapparats wie Lungenentzündungen und Lungenkrebs und können laut Weltgesundheitsorganisation auch zu Kreislaufproblemen führen [93]. Des Weiteren wird Feinstaub nicht nur der Form und der chemischen Zusammensetzung, sondern auch nach der Herkunft unterschieden. Bei primärem Feinstaub handelt es sich um Emissionen, die direkt an die Atmosphäre abgegeben werden. Sekundärer Feinstaub entsteht durch Reaktionen in der Luft. Seine Entstehung wird beispielsweise durch Stickoxide oder Schwefeldioxid begünstigt wie unter *6.4.1 Stickoxid-Reduktion* beschrieben [84].

Verursacht durch Industrie und Verkehr ist die Feinstaubbelastung besonders im städtischen Gebiet in Verkehrsnähe hoch. Der Grenzwert für das Tagesmittel für PM10 liegt nach EU-Luftqualitätsrichtlinie und auf nationaler Basis umgesetzt nach dem Immissionsschutzgesetz Luft bei 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, wobei 35 bzw. 25 Überschreitungen pro Jahr erlaubt

Ökonomische Auswirkungen

sind [27]. Es ist allerdings zu beachten, dass gesundheitsschädigende Auswirkungen auch bei geringeren Konzentrationen auftreten können. An der Messstation am Allgemeinem Krankenhaus (AKH) gab es im Zeitraum vom 1. Januar bis 16. Februar 2017 bereits 18 Überschreitungen dieses Grenzwerts. Dass die Überschreitungen in diesem Zeitraum liegen, ist durch die Wetterbedingungen zu erklären. Im Sommer gab es keine Überschreitung des Grenzwerts. Es ist allerdings darauf zu achten, dass sich die Messstation am AKH in einer Entfernung von 157 m von der Straße befindet [85]. An der Messstation Taborstraße, welche lediglich 6 m von der Straße entfernt ist, kam es zu 20 Überschreitungen vom Jahresbeginn 2016 bis Mitte Februar [85]. Der letzte bestimmte Jahresmittelwert aus dem Jahr 2015 für die Feinstaubbelastung PM10 in Wien liegt bei $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [86].

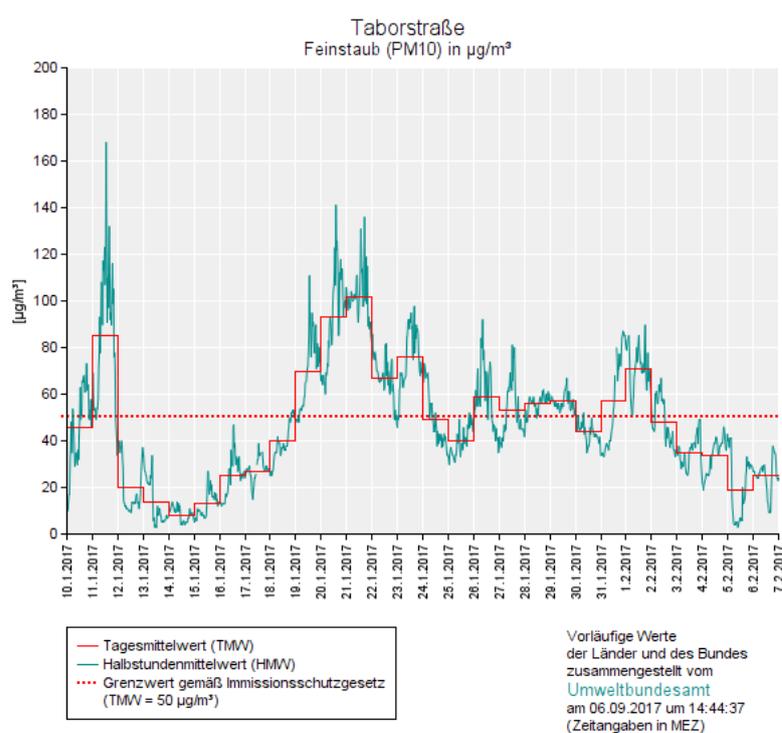


Abbildung 14: PM 10-Werte an der Messstelle Taborstraße 10. Januar – 7. Februar 2017 [81]

Verschiedene Studien untersuchen die Auswirkungen von Pflanzen und insbesondere von Gebäudebegrünung auf die mögliche Bindung von Feinstaub. Die Lage von vertikaler Begrünung direkt dort im Straßenraum, wo der Feinstaub entsteht, ist sehr günstig. Sie dient als natürlicher Puffer besonders in Phasen hoher Belastung bedingt durch die Wetterlage und speziell durch Wind. Bäume beeinflussen die mögliche Windströmung in Straßen, die zur natürlichen Minderung des Feinstaubes im Straßenraum beitragen kann.

Ökonomische Auswirkungen

Diese Beeinflussung der Windströmung ist durch die vertikale Gebäudebegrünung nicht gegeben, da sie sich direkt am Gebäude und nicht im offenen Straßenraum befinden. Gorbachevskaya und Herfort [32] untersuchen das Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen und führen Messungen für Dachbegrünungen durch. Das Ergebnis stellt eine Sedums-Bepflanzung als wirkungsvollste Maßnahme dar. Die Variation der Windgeschwindigkeit in den Versuchen zeigt große Auswirkungen. Auch der Beitrag einer Fassadenbegrünung wird als relevant eingestuft, aber nicht weiter untersucht. Pugh et al. [68] untersuchen die Effektivität grüner Infrastruktur anhand eines Modells mit verschiedenen Vegetationsszenarien für eine Straße. Es ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen der prozentual begrünten Fläche und der Feinstaubreduktion zu erkennen. Besonders hoch sind die Auswirkungen bei geringen Windgeschwindigkeiten. Im Modell wird hierzu von einem Verhältnis von Gebäudehöhe zu Straßenbreite von 2:1 ausgegangen. Hier kann eine Reduktion des Feinstaubes PM10 von 60 % erreicht werden. Die Stickoxid-Reduktion liegt hier bei 40 %. Dies verdeutlicht das bisherige Unterschätzen dieses Einsparungspotentials. Unter der Annahme normaler Windgeschwindigkeit und einer Gebäudehöhe, die der Straßenbreite entspricht, liegt die Reduktion von PM10 bei 23 %. Dieser Wert ist nach den durchgeführten Tests auch für andere Straßen anwendbar. Die Pflanzenwahl beeinflusst auch in diesem Fall die Wirksamkeit der Reduktion nachweislich.

Es ergibt sich demnach im Durchschnitt unter der Annahme des Jahresmittelwerts 2015 für Wien von $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und einer Reduktion um 23 % eine Einsparung von $0,0034 \text{ €/m}^2$ pro Jahr. Diesem Wert liegen die externen Kosten für Feinstaubemissionen der unter *6.4 Soziale Nutzen* genannten Studie unter Berücksichtigung der Anpassung in der Höhe von 641.250 €/t zu Grunde.[6]

7 Ökologische Auswirkungen

Die Untersuchung der ökologischen Auswirkungen in dieser Diplomarbeit folgt dem Vorbild der Diplomarbeit von Maria Pamminger, welche im Juni 2016 am Institut für Hochbau und Technologie am Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz der TU Wien mit dem Titel *Entwicklung eines ökologischen Bewertungsmodells für Begrünungssysteme in Kombination mit PV- Modulen unter Betrachtung des gesamten Lebenszyklus* verfasst wurde [61]. Die Ergebnisse ihrer Arbeit werden für die darin untersuchten Begrünungssysteme übernommen. Weitere Begrünungssysteme werden gemäß ihrem entwickelten Modell untersucht.

7.1 Grundlagen der Lebenszyklusanalyse

Pamminger untersucht anhand einer Lebenszyklusanalyse die Umweltauswirkungen der Begrünungsmodelle für deren gesamten Lebenszyklus. Betrachtet wird hierbei zum einen die graue Energie, welche während der Herstellung, der Nutzung und der schlussendlichen Entsorgung gebraucht wird. Des Weiteren wird die benötigte rote Energie analysiert, welche den energetischen Aufwand während der Nutzungsphase darstellt. Ebenso wird die CO₂-Bindung durch die Pflanzen untersucht. Die Bewertung der drei untersuchten Systeme erfolgt anhand von vier Indikatoren:

- PEI_{ne} – Primärenergiebedarf nicht erneuerbar *in kWh*
- PEI_e – Primärenergiebedarf erneuerbar *in kWh*
- GWP – Treibhauspotential *in kg*
- AP – Versauerungspotential *in kg*

Der Primärenergiebedarf stellt hierbei die Ressourceninanspruchnahme dar, während das Treibhaus - und das Versauerungspotential die Wirkungen auf die lokale und globale Umwelt aufzeigen. Jeder einzelne Bestandteil der Begrünungssysteme wird hierbei anhand der Indikatoren untersucht. Als Basis dienen die Daten der Datenbanken *ökobau.dat* und *baubook* [13][4]. Innerhalb der definierten Systemgrenzen werden unter anderem die Auswirkungen in der Herstellungsphase berücksichtigt. Diese umfassen neben der Rohstoffbereitstellung auch den Transport und die Herstellung. Zudem wird in der Nutzungsphase

die aufgewendete graue Energie für den Ersatz einzelner Bestandteile der Systeme aufgrund deren begrenzten Lebensdauern beachtet. Schlussendlich folgt im Lebenszyklus die Entsorgung sowie das nutzbare Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial, welches ebenso bei der Analyse berücksichtigt wird. Die erwähnte Lebensdauer der einzelnen Bestandteile ist unter anderem von den Baustoffeigenschaften aber auch von den Umwelteinflüssen und der Art der Instandhaltung abhängig. Der Betrachtungszeitraum umfasst 50 Jahre.

7.2 Lebenszyklusanalyse der Begrünungssysteme

Für das modulare Begrünungssystem und das trogebundene Begrünungssystem liegen dank der Diplomarbeit von Pamminer bereits Ergebnisse vor, welche in dieser Diplomarbeit lediglich kurz zusammengefasst dargestellt werden. Das Matten-Begrünungssystem sowie die bodengebundene Fassadenbegrünung werden auf die gleiche Art und Weise untersucht und näher beschrieben.

Pamminer[61] hat die CO₂-Bindung der Pflanzen im Labor untersucht und diese in Abhängigkeit der Anzahl der Pflanzen pro m² für eine Kombination aus fünf verschiedenen Pflanzen, welche typisch für die Bauwerksbegrünung in Österreich sind, ermittelt. Untersucht wurden unter anderem die Pflanzen *Cordyline sp.*, *Philodendron Scandens*, *Asplenium antiquum*, *Peperomia obtusifolia* und *Scinapsus pictus*. Im Gegensatz zur Anzahl der Pflanzen und der damit verbundenen CO₂-Bindung kann die graue Energie nicht pauschal pro m² bestimmt werden, da auch die Geometrie der zu begrünenden Fläche Einfluss nimmt. In Kapitel 8 *Variantenstudie und Auswertung* wird diese für verschiedene Varianten ermittelt. Da die außenliegenden Begrünungssysteme keine Energie während der Nutzungsphase benötigen, fällt keine rote Energie an.

7.2.1 Lebenszyklusanalyse für das modulare Begrünungssystem

Laut Herstellerangaben weist das modulare Begrünungssystem eine Lebensdauer von 30 Jahren auf, welche für alle Bestandteile der Unterkonstruktion sowie des Fassadenkorbs angesetzt wurde. Während des Betrachtungszeitraums von 50 Jahren, ist demnach eine Erneuerung dieser Bestandteile erforderlich. Für die Tropfschläuche des Bewässerungssystems wurde eine Lebensdauer von sieben Jahren angenommen. Sie werden demnach siebenfach erneuert.

Auf jedem Modul der Größe 60x100 cm finden 18 Pflanzen Platz, woraus sich eine Anzahl von 30 Pflanzen/m² ergibt. Hierdurch kann eine CO₂-Gutschrift in Höhe von 12.62 kg/m²

erreicht werden.

7.2.2 Lebenszyklusanalyse für das troggebundene Begrünungssystem

Die Lebensdauer des troggebundenen Begrünungssystems beträgt nach Herstellerangaben 40 Jahre. Es muss demnach im Betrachtungszeitraum einmal erneuert werden. Für die Bestandteile des Bewässerungssystems wird wie für das modulare Begrünungssystem eine Lebensdauer von sieben Jahren angenommen. Auch für die Substratmischung aus Ziegelsplitt und Pflanzenerde wird eine Lebensdauer von sieben Jahren angesetzt, wodurch diese während des Betrachtungszeitraums sieben Mal erneuert werden muss.

Ebenso wie beim modularen Begrünungssystem werden pro m² 30 Pflanzen gesetzt, wodurch sich auch für das troggebundene eine CO₂-Gutschrift in Höhe von 12.62 kg/m² ergibt.

7.2.3 Lebenszyklusanalyse für die bodengebundene Fassadenbegrünung

Für die Lebenszyklusanalyse der bodengebundenen Fassadenbegrünung sind lediglich die Kletterhilfen in Form von Edelstahl-Rankgerüsten und die zur Befestigung notwendigen Schrauben und Dübel zu berücksichtigen. Für diese Konstruktion wird eine Lebensdauer von 40 Jahren angenommen. Die Kletterhilfe erstreckt sich über die gesamte Höhe der Begrünung, mit jeweils einem vertikalen Abstand von 50 cm zueinander.

Die Annahmen für die CO₂-Bindung des bodengebundenen Systems sind wenig exakt, da keine Daten für die CO₂-Bindung von Kletterpflanzen wie Efeu *Hedera helix* und Wildem Wein *Veitchii* vorliegen. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch durch die bodengebundene Fassadenbegrünung CO₂ gebunden wird, jedoch können in dieser Arbeit keine Aussagen über die Höhe dieser Auswirkung getroffen werden und werden daher nicht weiter berücksichtigt.

7.2.4 Lebenszyklusanalyse für das Matten-Begrünungssystem

Der Hersteller des Matten-Begrünungssystems gibt an, dass die Lebensdauer des Systems der eines Bauwerks entspricht. Es werden daher die Lebensdauern für die einzelnen Bestandteile gemäß [12] gewählt. Die Tabelle 6 stellt die Lebensdauer der einzelnen Bestandteile dar.

Tabelle 6: Lebensdauern der einzelnen Bestandteile des Matten-Begrünungssystems

Bauteile	Lebensdauer <i>in Jahren</i>
Profil MFT-L 60x40 2,2 horizontal	40
Konsole MFT-MF xxx M 11	40
Profilbefestigung Schrauben (S-MD03 SS5.5x50)	40
Verankerungselement HRD-H 10x80 Stahl	40
Rahmendübel Polyamid	40
Trapezblech Aluminium	35
Abschlusschienen seitlich	35
Pulverbeschichtung Abschlusschienen seitlich	35
Abschlusschienen oben + unten	35
Pulverbeschichtung Abschlusschienen oben+unten	35
Wurzelgewebe	20
Zweischichtvlies	20
Pflanzfasermatte	20
Tropfschlauch	7
T-Stück	7
Winkelstück	7
Endstopfen	7
Revisionsschacht mit Abdeckung	30

Die Lebensdauer des Zweischichtvlies allein ist länger als die angegebenen 20 Jahre. Bei einer Erneuerung der Pflanzfasermatte, deren Lebensdauer auf 20 Jahre geschätzt wird, muss allerdings auch das Zweischichtvlies erneuert werden. Bezogen auf den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren bedeutet dies eine zweifache Erneuerung dieser Schichten samt Pflanzen. Für die Bestandteile des Bewässerungssystems wird wie beim modularen und troggeordneten System ebenso eine Lebensdauer von sieben Jahre angenommen. Die Planung der Bewässerung ist objektbezogen. Für das Modell wird vereinfachend angenommen, dass die Tropfschläuche in einem vertikalen Abstand von 2 m zueinander die Wasserversorgung des Matten-Begrünungssystems sicherstellen. Die Details zur Unterkonstruktion entstammen den Daten eines bereits durchgeführten Bauvorhabens und können objektbezogen stark variieren. Vereinfachend wird angenommen, dass diese Art der Unterkonstruktion mit Konsolen, einem Trapezblech und einem horizontalen Aluminium-Profil standardmäßig verwendet wird.

Die Pflanzfasermatte besteht aus einer speziellen Mineralwolle, für deren exakte Zusammensetzung keine Daten in den Datenbanken *ökobau.dat* und *baubook* vorhanden sind. Es

Ökologische Auswirkungen

werden daher die Daten für Mineralwolle hoher Dichte verwendet. Die Besonderheit des Matten-Systems, den Zwischenraum zwischen dem Grünsystem und der Bestandswand mit Wärmedämmung zu füllen, wurde zur Vergleichbarkeit mit den anderen Systemen nicht berücksichtigt, sollte allerdings in der späteren Analyse beachtet werden.

Nach Angaben des Herstellers sind beim Matten-Begrünungssystem in der Regel 23 Pflanzen pro m². Für die CO₂-Bindung bedeutet dies einen Wert in Höhe von 9.67 kg/m².

8 Variantenstudie und Auswertung

Um das Modell vorzustellen und seine Möglichkeiten aufzuzeigen, werden in diesem Kapitel verschiedene denkbare Anwendungsfälle dargestellt und erläutert.

Die allgemeinen zur Berechnung verwendeten Angaben sind in *C Allgemeine Angaben zur Berechnung* dargestellt.

Des Weiteren werden folgende Annahmen für jede der vier Varianten getroffen:

- Die Voraussetzungen für die maximale Förderung der Begrünungsmaßnahme durch die Stadt Wien werden als gegeben vorausgesetzt.
- Die zukünftige Kühlung wird durch den Energieträger Strom geleistet.
- Die Heizanlage wird mit dem Energieträger Gas betrieben.
- Der Betrachtungszeitraum beträgt 50 Jahre.
- Der Kalkulationszinssatz beträgt -2,57%.

8.1 Variante A

Die Variante A betrachtet einen großen Innenhof im 4. Wiener Gemeindebezirk zwischen Naschmarkt und Karlsplatz.



Abbildung 15: Gebäude Variante A

8.1.1 Ausgangssituation Variante A

Bei dem in der Variante A betrachteten Gebäude handelt es sich um ein Wohnhaus in Wien-Wieden in Ziegelbauweise. Es befindet sich zwischen der starkbefahrenen Wienzeile und der Mühlgasse wie Abbildung 16 zeigt. Die Lärmbelastung durch Straßenverkehr im 24h-Durchschnitt wird im Modell daher mit 50 bis 70 dB(A) angegeben.



Abbildung 16: Ausschnitt der Lärmkarte zum Standort des Gebäudes Variante A – 2012
Landesstraßen: 24h-Durchschnitt [49]

Die Geometrie der zu begrünenden Fläche wird mit 22x14 m abgeschätzt. Für die 36 Fenster wird insgesamt eine Fläche von rund 50 m² angenommen. Es ergibt sich eine zu begrünende Fläche von rund 258 m². An diese Fläche grenzen 13 Wohnungen und eine Nutzfläche von 360 m² direkt an. Wie auf Abbildung 15 erkennbar ist, ist teilweise bereits eine nachträglich installierte Kühlung vorhanden. Diese wird mit Strom versorgt. Der Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand aus Ziegel beträgt 1.35 W/m²K. Anhang *D Ergebnisse Variante A* stellt die Ausgangssituation für Variante A zusammengefasst dar.

8.1.2 Ergebnisse Variante A



Abbildung 17: Gebäude Variante A mit Begrünung

Die detaillierten Berechnungsergebnisse sind in Anhang *D Ergebnisse Variante A* dargestellt. Exemplarisch werden für diese Variante auch die einzelnen Berechnungen aufgeführt.

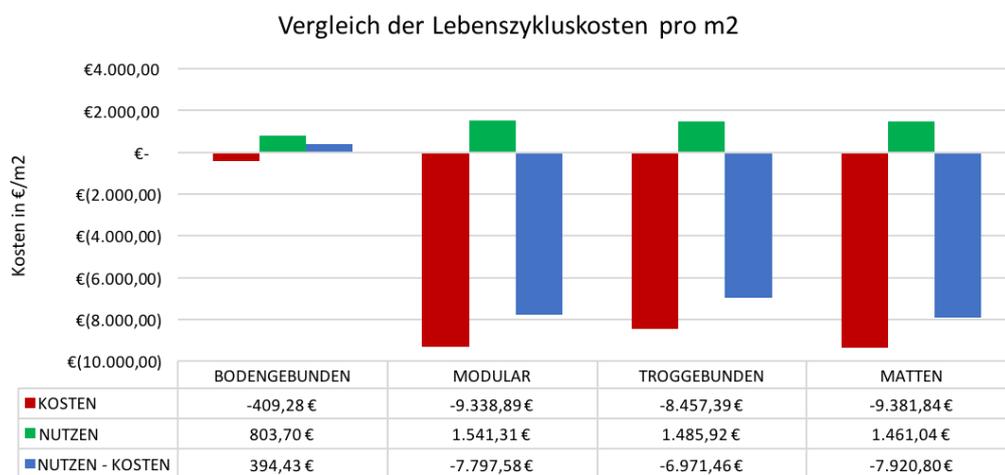


Abbildung 18: Vergleich der Lebenszykluskosten pro m² für die vier Begrünungssysteme – Variante A

Variantenstudie und Auswertung

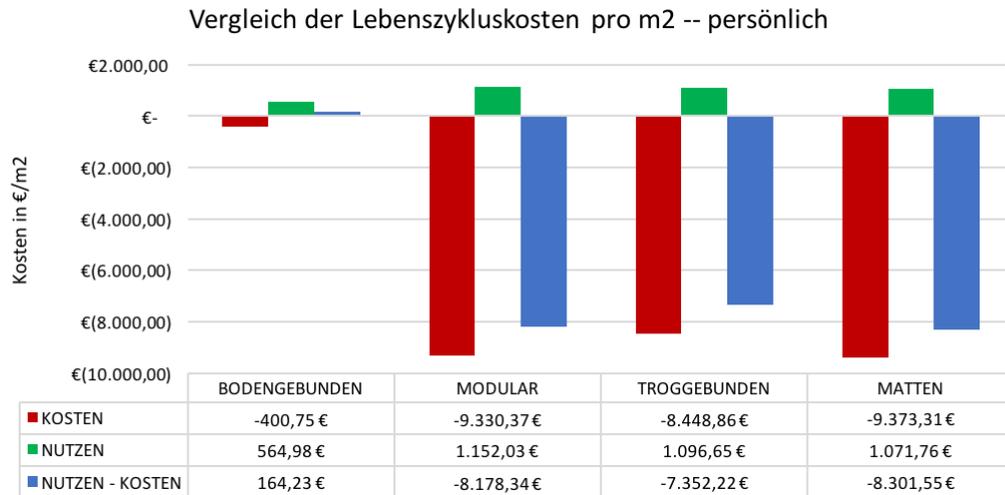


Abbildung 19: Vergleich der persönlichen Lebenszykluskosten pro m² für die vier Begrünungssysteme – Variante A

Die Berechnungen für die Variante A mit dem Modell ergeben, dass die anfallenden Kosten für die drei fassadengebundenen Begrünungssysteme alle höher liegen als die bisher quantifizierten Nutzen. Die Abbildung 18 stellt Nutzen und Kosten der vier betrachteten Systeme gegenüber. Unter Miteinbeziehung der persönlichen und der sozialen Nutzen ergeben sich für den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren Kosten in Höhe von rund 7.798 €/m² für das modulare Begrünungssystem. Für das troggebundene Begrünungssystem liegen die Kosten ein wenig niedriger bei 6.971 €/m² und für das Matten-Begrünungssystem müssen 7.921 €/m² aufgewendet werden. Die Abbildung 19 bildet die monetär bewertbaren Auswirkungen ab, ohne den volkswirtschaftlichen Nutzen miteinzubeziehen. Es ist zu erkennen, dass die persönlichen Kosten bis auf den Anteil der Förderungszahlung der Stadt Wien ungefähr den Gesamtkosten entsprechen. Der Nutzen hingegen sinkt für die drei fassadengebundenen Systeme um den gleichen Betrag von rund 390 €/m².

Die Abbildung 20 verdeutlicht exemplarisch für das troggebundene Begrünungssystem die anteilige Zusammensetzung der Kosten und Nutzen unterteilt in den sozialen und den persönlichen Teil. In rot dargestellt sind die persönlichen und die sozialen Kosten mit den jeweiligen Anteilen in gelb. Die Nutzen sind in grün zu sehen. Die Einzelpositionen, aus denen sich der Gesamtnutzen ergibt sind in blau dargestellt. In der Graphik ist deutlich zu erkennen, dass die Instandhaltung, Wartung und Pflege den Hauptanteil der persönlichen Kosten ausmacht. Hierzu ist zu erwähnen, dass aufgrund der gewählten Nut-

Variantenstudie und Auswertung

zungsdauer von 50 Jahren eine komplette Erneuerung des Systems erforderlich ist. Es wird daher auf Kapitel 8.5 verwiesen, in dem die Berechnungsergebnisse einer Variante für eine Nutzungsdauer von 20 Jahren, also vor Kompletterneuerung, analysiert werden. Ebenso wird deutlich, dass die Kosten deutlich über den bisher quantifizierten Nutzen liegen. Beim persönlichen Nutzen fällt der größte Anteil auf die Immobilienpreissteigerung zurück. Den kleinsten Anteil macht die Förderung der Stadt Wien in Höhe von 2.200 € aus. Den stärksten Anteil am sozialen Nutzen hat die lärmindernde Wirkung der Begrünung.

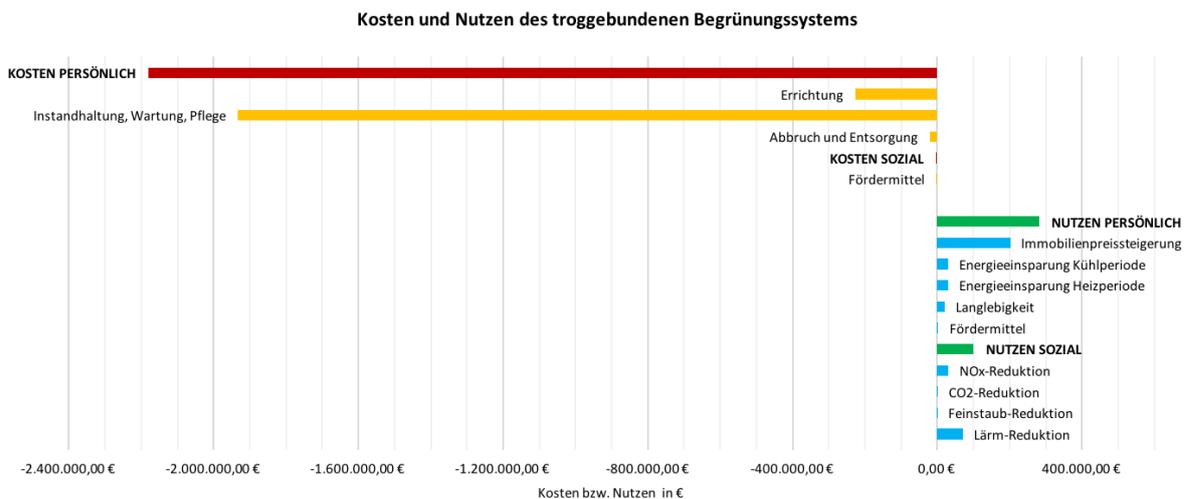


Abbildung 20: Kosten und Nutzen des troggebundenen Begrünungssystem unterteilt in die verschiedenen quantifizierten Auswirkungen – Variante A

Die Bewertung der ökologischen Auswirkungen erfolgt anhand der vier Indikatoren, welche in Kapitel 7 näher beschrieben wurden. Eine entscheidende Rolle bei der Bewertung der Ressourceninanspruchnahme sowie der Umweltauswirkungen spielt auch das Gewicht der Begrünungssysteme, welches in Abbildung 21 dargestellt ist.

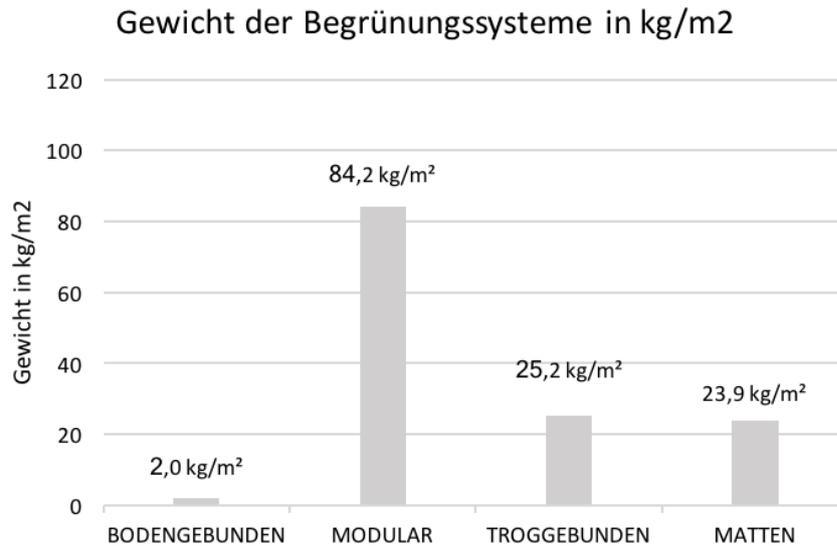


Abbildung 21: Gewicht der Begrünungssysteme in kg/m² – Variante A

Die Abbildungen 22, 23 und 24 stellen anhand des erneuerbaren und nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs die Ressourceninanspruchnahme der Systeme dar. Es ist ein deutlicher Zusammenhang mit dem Gewicht zu erkennen. Das modulare Begrünungssystem weist mit 84.2 kg/m² das höchste Gewicht sowie mit 579.5 kWh/m² (PEI_{ne}) bzw. 101.2 kWh/m² (PEI_e) die größte Ressourceninanspruchnahme auf. Die bodengebundene Fassadenbegrünung hingegen hat das geringste Gewicht, da lediglich die Kletterhilfen beachtet werden. Die notwendige Primärenergie für die Herstellung jedoch ist vergleichsweise hoch. Beim Vergleich des Matten-Systems mit dem troggebundenen System fällt auf, dass das Matten-System zwar leichter ist, aber dennoch einen höheren Primärenergiebedarf sowohl erneuerbar als auch nicht erneuerbar aufweist. Dies ist auf die energieintensive Herstellung der Pflanzfasermatte aus Mineralwolle zurückzuführen. In den Abbildungen 23 und 24 wird der Primärenergiebedarf dargestellt mit den Anteilen, welche auf die Herstellung, den Ersatz und die Entsorgung anfallen. Die Anteile der Herstellung und des Ersatzes sind circa gleich hoch, da das Grundsystem innerhalb des Betrachtungszeitraums von 50 Jahren einmal erneuert werden muss.

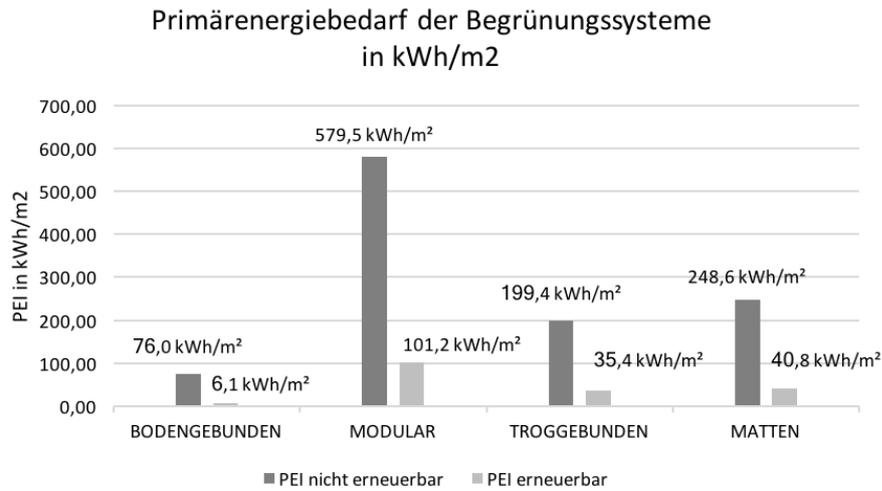


Abbildung 22: Primärenergiebedarf erneuerbar und nicht erneuerbar der Begrünungssysteme in kWh/m² – Variante A

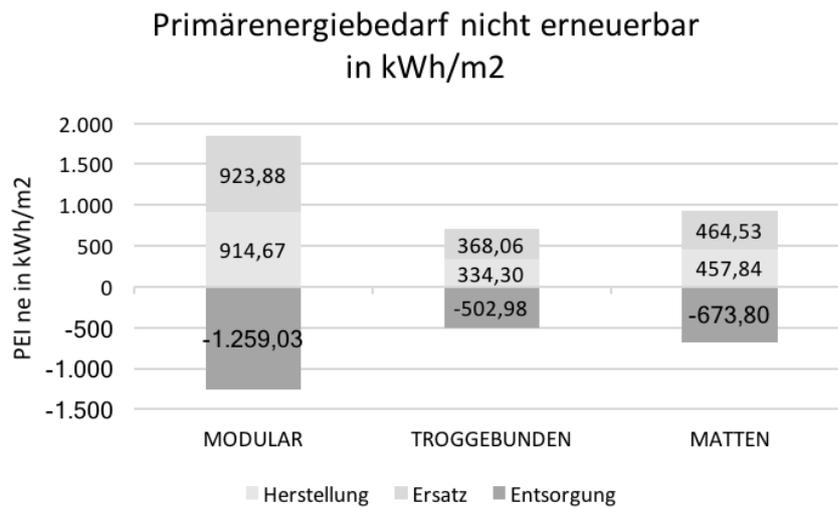


Abbildung 23: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar der fassadengebundenen Begrünungssysteme in kWh/m² – Variante A

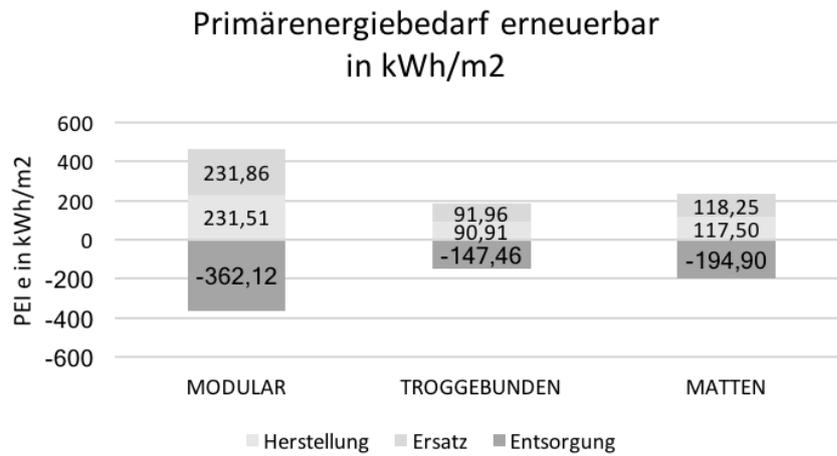


Abbildung 24: Primärenergiebedarf erneuerbar der fassadengebundenen Begrünungssysteme in kWh/m² – Variante A

8.2 Variante B

Die Berechnungen für die Variante B untersuchen ein zweigeschossiges Gebäude im 19. Wiener Gemeindebezirk dargestellt in Abbildung 25.



Abbildung 25: Gebäude Variante B

8.2.1 Ausgangssituation Variante B

Das betrachtete Gebäude befindet sich auf der Krottenbachstraße in Wien-Döbling. Als zu begrünende Fläche wird die gesamte Frontseite über die beiden Geschosse angenommen. Die Breite dieser Fläche beträgt ungefähr 9 m und die Höhe ungefähr 6 m. Die Fläche der Fenster, der Hauseingangstüre und des Einfahrtstors wird mit insgesamt 22 m² angenommen. Daraus ergibt sich eine zu begrünende Fläche von rund 32 m². Die Aussparungen machen demnach rund 40 % der Gesamtfläche der Fassade aus. Es wird davon ausgegangen, dass das Haus in vier Wohneinheiten unterteilt ist und Mieteinnahmen für die angrenzenden 80 m² Wohnfläche generiert werden. Die Lärmbelastung durch den Straßenverkehr im 24h-Durchschnitt ist höher als 70 dB(A), wie die Lärmkarte in der Abbildung 27 zeigt. Durch diese Lärmbelastung sind unter der Annahme, dass in jeder der vier Wohneinheiten zwei Personen wohnen, acht Personen betroffen.

Die Außenwand des Gebäudes ist eine ungedämmte Ziegelmauer mit einer Stärke von 30 cm, woraus sich ein abgeschätzter U-Wert der Außenwand von 1.2 W/m²K ergibt.

Diese Ausgangssituation wird im Modell durch *Allgemeine Angaben* abgebildet wie in der Abbildung 26 dargestellt.

ALLGEMEINE ANGABEN	
geplante Nutzungsdauer	50 Jahre
Kalkulationszinssatz, wenn abweichend zu Basiszinssatz der Österreichischen Nationalbank*	%
Standort des Gebäudes	19. Döbling
Breite der zu begrünenden Fläche	9 m
Höhe der zu begrünenden Fläche	6 m
Größe der notwendigen Aussparungen in der Begrünung (Fenster etc.)	22 m ²
Eigennutzung oder Vermietung	Vermietung
angrenzende Nutzfläche	80 m ²
Anzahl der angrenzenden Wohnungen	4
Lärmbelastung am Gebäudestandort durch Straßenverkehr	> 70 dB
Ist das Gebäude im Eigentum von öffentlichen Rechtsträgern (z. B. Wiener Wohnen)?	nein
Befindet sich das Gebäude innerhalb der Widmungskategorie W oder GB mit den BK II, III, IV, V und VI?***	ja
Ist bereits eine Klimaanlage vorhanden?	nein
Welcher Energieträger wird für die Kühlung verwendet?	Strom
Welcher Energieträger wird für die Heizung verwendet?	Gas
U-Wert der Außenwand	W/m ² *K

Lärmbelastung prüfen unter:
http://maps.laerminfo.at/?g_card=strasse_24h

Flächenwidmung prüfen unter:
<https://www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/>

--- falls U-Wert nicht bekannt ---

* Kalkulationszinssatz: Zinssatz, zu dem das vorhandene Kapital außerhalb dieser Investition angelegt werden könnte	
** Bauklassen gemäß Wiener Bauordnung	
Bauklasse I -- mindestens 2,5 m und nicht höher als die Straßenbreite + 2 m, höchstens 9 m	
Bauklasse II -- mindestens 2,5 m und nicht höher als die Straßenbreite + 2 m, höchstens 12 m	
Bauklasse III -- mindestens 9 m und nicht höher als die Straßenbreite + 3 m, höchstens 16 m	
Bauklasse IV -- mehr als 12 m und nicht höher als die Straßenbreite + 3 m wenn die Straßenbreite gleich oder kleiner 15 m ist, ab 15 m Straßenbreite gilt Straßenbreite + 4 m, höchstens 21 m	
Bauklasse V -- mehr als 16 m und nicht höher als die zweifache Straßenbreite, höchstens 26 m	
Bauklasse VI -- mehr als 26 m und nicht höher als die zweifache Straßenbreite	
ab 35 m wird das Gebäude als Hochhaus bezeichnet	

Wandaufbau			
bei zutreffenden Baustoffen die Bauteildicke eingeben			
	Dicke	λ	R
	in cm	in W/mK	in m ² K/W
Stahlbeton		2,5	0,00
Ziegel	30	0,55	0,55
Dämmung		0,04	0,00
abgeschätzter U-Wert		1,20	W/m²*K

Abbildung 26: Allgemeine Angaben zur Ausgangssituation Variante B

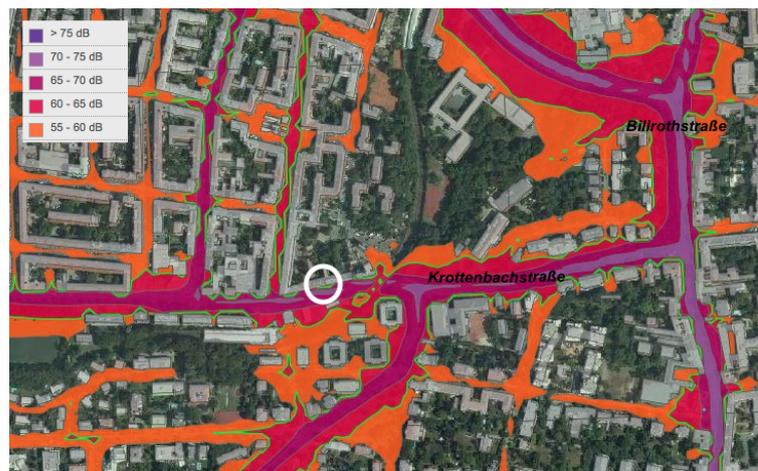


Abbildung 27: Ausschnitt der Lärmkarte zum Standort des Gebäudes Variante B – 2012
Landesstraßen: 24h-Durchschnitt [49]

8.2.2 Ergebnisse Variante B



Abbildung 28: Gebäude Variante B mit Begrünung

Die detaillierten Berechnungsergebnisse sind in Anhang *E Ergebnisse Variante B* dargestellt.

Variantenstudie und Auswertung

Die Abbildung 29 zeigt die Gesamtkosten und -nutzen für die Variante B, bei der eine Fläche von 32 m² begrünt wird. Es ergeben sich demnach die in Abbildung 30 dargestellten Kosten bzw. Nutzen pro m². Die Gesamtkosten für den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren für das modulare System belaufen sich auf 9.400 €/m², dem stehen Nutzen in Höhe von 3.593 €/m² gegenüber. Ähnlich verhalten sich die Kosten und Nutzen des Matten-Begrünungssystems. Das troggebundene System weist Nutzen in ebenso ungefähr dieser Höhe auf. Jedoch sind die Kosten mit 8.527 €/m² geringer, was auf die geringeren Kosten zur Wartung, Pflege und Instandhaltung zurückzuführen ist. Auch bei dieser Variante wurde ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren gewählt, was zu einer Erneuerung des gesamten Begrünungssystems im Jahr 30 bzw. 40 führt. Die Kosten für diese Erneuerung sind in den Kosten für die Instandhaltung, Wartung und Pflege enthalten. In der Analyse in Kapitel 8.5 wird deutlich, welchen großen Einfluss diese Erneuerung auf die Gesamtkosten hat.

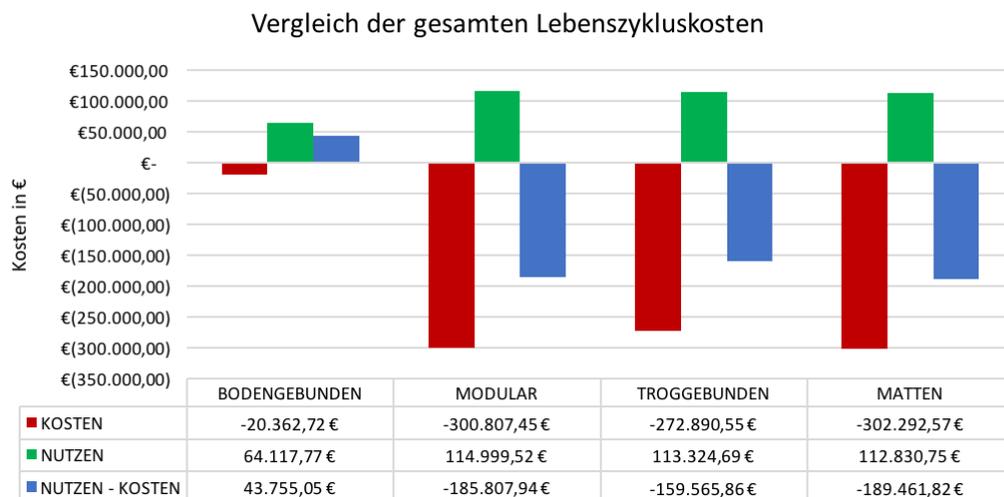


Abbildung 29: Lebenszykluskosten für die vier Begrünungssysteme – Variante B

Variantenstudie und Auswertung

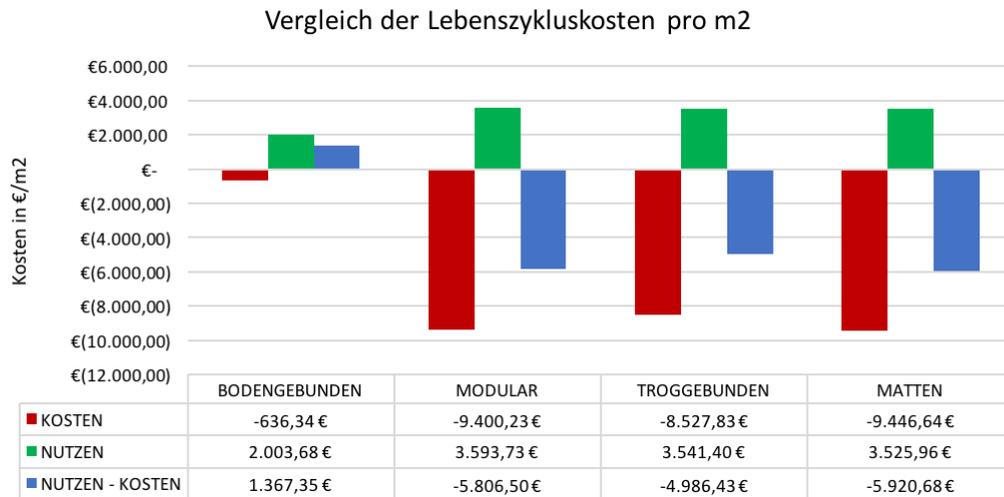


Abbildung 30: Lebenszykluskosten pro m² für die vier Begrünungssysteme – Variante B

Zur ökologischen Bewertung werden für Variante B sowohl die Ressourceninanspruchnahme als auch die Umweltauswirkungen des gesamten Systems betrachtet. Die Abbildungen 31, 32 und 33 stellen diese dar. Sowohl die Umweltauswirkungen bewertet anhand der Indikatoren Treibhaus- und Versauerungspotential als auch der Primärenergiebedarf des troggebundenen Begrünungssystems sind verglichen mit den anderen beiden fassadengebundenen Begrünungssystemen niedriger. Dies steht in direkter Verbindung zum geringeren Gewicht wie unter 8.1.2 erwähnt. Hauptgrund hierfür sind allerdings die verwendeten Materialien.

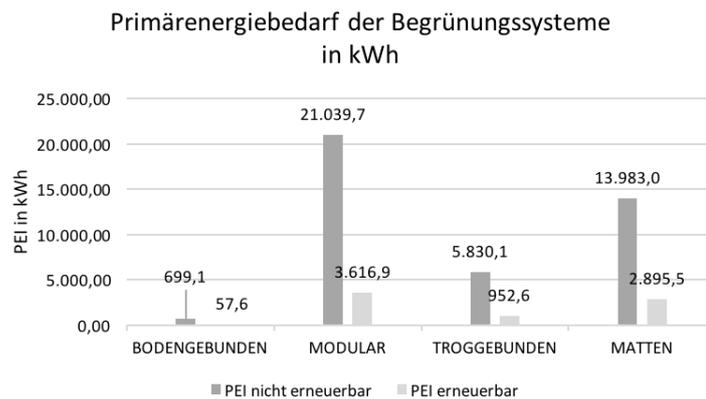


Abbildung 31: Primärenergiebedarf gesamt erneuerbar und nicht erneuerbar in kWh für die vier Begrünungssysteme – Variante B

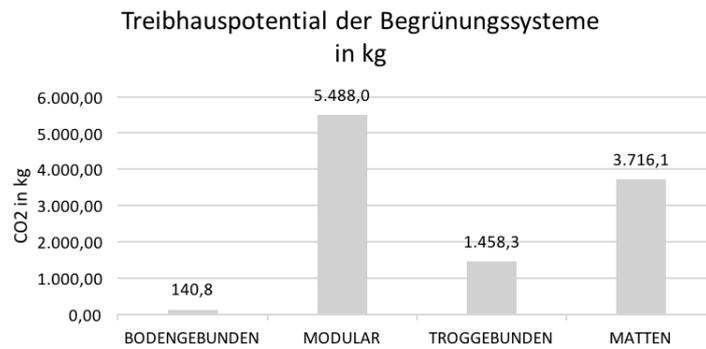


Abbildung 32: Treibhausgaspotential gesamt in kg für die vier Begrünungssysteme – Variante B

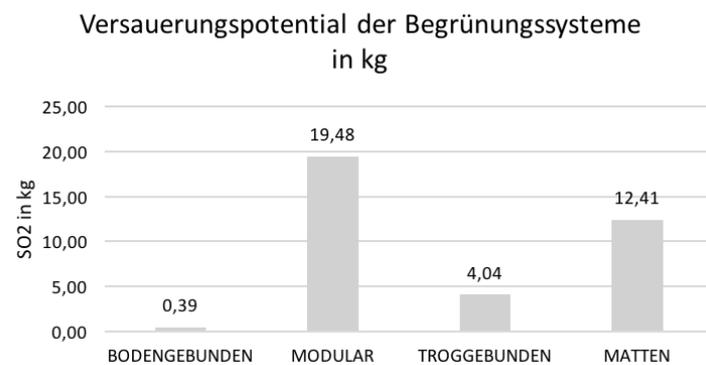


Abbildung 33: Versauerungspotential gesamt in kg für die vier Begrünungssysteme – Variante B

8.3 Variante C

Die Variante C betrachtet ebenso ein Gebäude im 19. Wiener Gemeindebezirk, welches sich an einem Standort mit hoher Lärmbelastung befindet.



Abbildung 34: Gebäude Variante C (links: Längsseite; rechts: Querseite)

8.3.1 Ausgangssituation Variante C

Bei dem in der Variante C betrachteten Gebäude handelt es sich um ein Wohnhaus in Wien-Döbling, in welchem sich im Erdgeschoss einige Geschäftseinheiten befinden. Es befindet sich an der starkbefahrenen Heiligenstädter Straße an der Kreuzung zur Gumnodstraße, an welcher neben dem motorisierten Individualverkehr auch Straßenbahnen verkehren. Der Lärmpegel, der durch Straßenverkehr verursacht wird, beträgt an dieser Kreuzung im Mittel mehr als 70 dB(A), wie auch in der Abbildung 35 ersichtlich ist.

Es wird angenommen, dass die Querseite des Gebäudes (Abbildung 34) begrünt wird, da an dieser bis auf die zwölf Fenster keine Aussparungen notwendig sind und eine recht große zusammenhängende Fläche vorhanden ist. Die Geometrie dieser Fläche wird mit einer Höhe von 23 m und einer Breite von 15 m abgeschätzt. Die Fensterfläche, also die Fläche der notwendigen Aussparungen, beträgt rund 25 m², dies macht einen Anteil von rund 7% aus. Es ergibt sich eine zu begrünende Fläche von rund 320 m². Aufgrund der Geometrie des Gebäudes wird angenommen, dass an jedes der zwölf Fenster eine Wohneinheit angrenzt. Der jeweils angrenzende Raum weist eine Größe von circa 20 m² auf. Der Wärmedurchgangskoeffizient der gedämmten Stahlbetonwand wird mit 0.42 W/m²K abgeschätzt.



Abbildung 35: Ausschnitt der Lärmkarte zum Standort des Gebäudes Variante C – 2012
Landesstraßen: 24h-Durchschnitt [49]

8.3.2 Ergebnisse Variante C



Abbildung 36: Gebäude Variante B mit Begrünung

Variantenstudie und Auswertung

Die detaillierten Berechnungsergebnisse sind in Anhang *F Ergebnisse Variante C* dargestellt.

Die Abbildungen 37 und 38 stellen die Kosten und Nutzen der vier Begrünungssysteme pro m² dar. Zu erkennen ist, dass die Kosten sich hauptsächlich aus den persönlichen Kosten bestimmen. Die Kosten für die Pflege, Wartung und Instandhaltung über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren stellen mit knapp 90 % den Hauptanteil der persönlichen Kosten dar. Einen großen Teil dieser Kosten macht die Erneuerung des gesamten Systems im Jahr 30 bzw. 40 aus. Bei einem kürzeren Betrachtungszeitraum würden diese Kosten nicht anfallen wie in Kapitel 8.5 im Vergleich der Varianten und der Berechnung mit einer geplanten Nutzungsdauer von 20 Jahren dargestellt ist. Die Nutzen hingegen sind stärker auf den persönlichen und den sozialen Nutzen aufgeteilt. Wobei die sozialen Nutzen in diesem Modell für die drei fassadengebundenen Systeme gleich hoch sind, da keine exakten Daten vorliegen. Für die Variante C betragen sie rund 520 €/m².

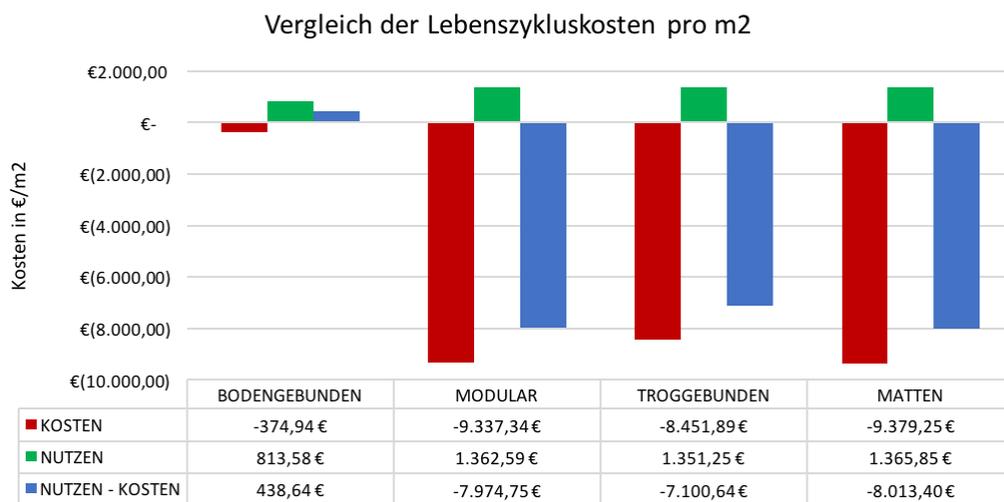


Abbildung 37: Lebenszykluskosten pro m² für die vier Begrünungssysteme – Variante C

Variantenstudie und Auswertung

	PRO M2			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 368,07 €	- 9.330,46 €	- 8.445,02 €	- 9.372,37 €
Errichtung	- 51,17 €	- 1.025,00 €	- 876,56 €	- 1.025,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 280,16 €	- 8.173,35 €	- 7.492,92 €	- 8.264,61 €
Abbruch und Entsorgung	- 36,73 €	- 132,11 €	- 75,53 €	- 82,76 €
KOSTEN SOZIAL	- 6,88 €	- 6,88 €	- 6,88 €	- 6,88 €
Fördermittel	- 6,88 €	- 6,88 €	- 6,88 €	- 6,88 €
KOSTEN GESAMT	- 374,94 €	- 9.337,34 €	- 8.451,89 €	- 9.379,25 €
NUTZEN PERSÖNLICH	510,34 €	843,22 €	831,88 €	846,48 €
Immobilienpreissteigerung	386,36 €	650,75 €	650,75 €	650,75 €
Energieeinsparung Kühlperiode	36,77 €	82,39 €	82,39 €	82,39 €
Energieeinsparung Heizperiode	3,93 €	26,80 €	15,47 €	30,06 €
Langlebigkeit	76,40 €	76,40 €	76,40 €	76,40 €
Fördermittel	6,88 €	6,88 €	6,88 €	6,88 €
NUTZEN SOZIAL	303,24 €	519,37 €	519,37 €	519,37 €
NOx-Reduktion	102,02 €	114,28 €	114,28 €	114,28 €
CO2-Reduktion	0,40 €	0,45 €	0,45 €	0,45 €
Feinstaub-Reduktion	0,32 €	0,36 €	0,36 €	0,36 €
Lärm-Reduktion	200,50 €	404,28 €	404,28 €	404,28 €
NUTZEN GESAMT	813,58 €	1.362,59 €	1.351,25 €	1.365,85 €
NUTZEN - KOSTEN GESAMT	438,64 €	7.974,75 €	7.100,64 €	8.013,40 €

Abbildung 38: Lebenszykluskosten aufgeschlüsselt pro m² für die vier Begrünungssysteme – Variante C

Die Umweltauswirkungen werden anhand des Treibhaus- und Versauerungspotentials in den Abbildungen 39 und 40 für die Variante C dargestellt. Aufgeteilt auf die drei Stufen Herstellung, Ersatz und Entsorgung ist erneut deutlich zu erkennen, dass das modulare System die größten Umweltauswirkungen aufweist. Die Mengen CO₂- bzw. SO₂-Äquivalent für die Herstellung entsprechen jeweils denen für den Ersatz. Das Verhältnis von Herstellung und Ersatz zur Entsorgung ist für die drei Systeme ungefähr gleich.

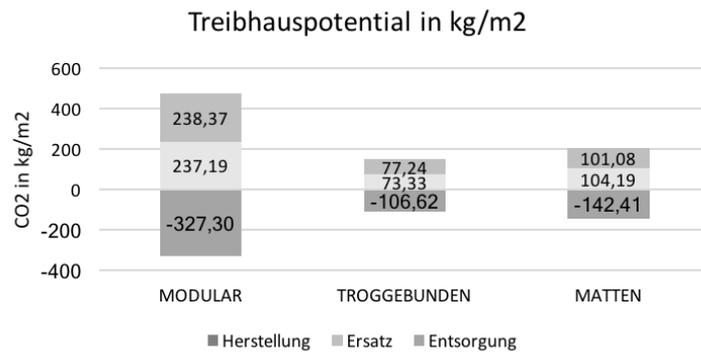


Abbildung 39: Treibhausgaspotential in kg/m² der fassadengebundenene Begrünungssysteme – Variante C

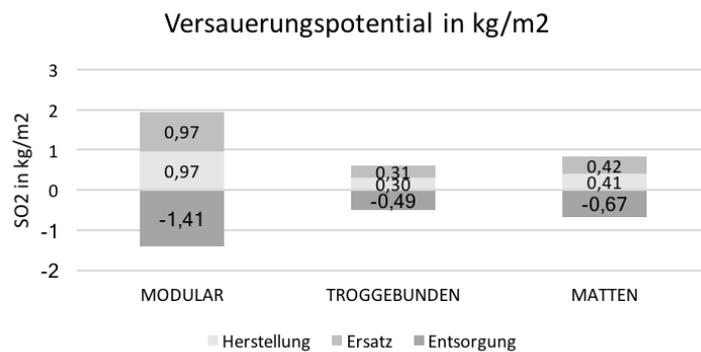


Abbildung 40: Versauerungspotential in kg/m² der fassadengebundenene Begrünungssysteme – Variante C

8.4 Variante D

Als Variante D wird eine große zu begrünende Fläche untersucht. Die Fläche erstreckt sich über mehrere Gebäude im 2. Wiener Gemeindebezirk Leopoldstadt in der Nähe des Augarten.



Abbildung 41: Gebäude Variante D



Abbildung 42: einzelne Gebäude Variante D

8.4.1 Ausgangssituation Variante D

Die fünf betrachteten Gebäude befinden sich in einer ruhigen Gasse in direkter Nähe zum Augarten. Es entsteht daher kein Nutzen aus der lärmindernden Wirkung der begrünenden Fassade, da der Lärmpegel wie Abbildung 43 zeigt unter 50 dB(A) liegt.



Abbildung 43: Ausschnitt der Lärmkarte zum Standort des Gebäudes Variante D – 2012
Landesstraßen: 24h-Durchschnitt [49]

Zwei der fünf Gebäude wurden bereits im Rahmen einer Sanierung gedämmt. Der abgeschätzte U-Wert der Außenwand liegt bei $0.36 \text{ W/m}^2\text{K}$. Bei den Außenwänden der anderen drei Gebäude handelt es sich um ungedämmtes Ziegelmauerwerk, wodurch ein U-Wert in der Höhe von $1.34 \text{ W/m}^2\text{K}$ berechnet wird. Als erste Abschätzung wird für die Geometrie der Gebäude eine Breite von 24 m und eine Gebäudehöhe von 16 m angenommen. Die Fensterfläche beträgt 50 m^2 pro Gebäude und macht somit rund 14% der gesamten Fassadenfläche aus. In jedem Gebäude grenzen an die Straßenseite 12 Wohneinheiten an, dies bedeutet 60 Wohneinheiten auf dem betrachteten Straßenabschnitt. Die angrenzende Nutzfläche beträgt 240 m^2 beziehungsweise 1200 m^2 .

Es wird davon ausgegangen, dass aufgrund verschiedener Eigentümer/innen jedes Gebäude als einzelnes Projekt realisiert wird und somit auch fünf Mal die Förderung der Stadt Wien gezahlt wird.

8.4.2 Ergebnisse Variante D



Abbildung 44: Gebäude Variante B mit Begrünung

Die detaillierten Berechnungsergebnisse sind in Anhang *G Ergebnisse Variante D* dargestellt.

Die fünf betrachteten Gebäude weisen grundsätzlich dieselbe Ausgangssituation auf. Lediglich der U-Wert der Außenwand unterscheidet sich bei den bereits sanierten zu den ungedämmten Gebäuden. Bei den Berechnungen wird daher in zwei Fälle unterschieden, um so die Nutzen der Begrünungen der einzelnen Gebäude zu ermitteln. Die durch das Modell ermittelten Kosten sind unabhängig von der Dämmung und somit für alle fünf Gebäude gleich. In einem darauffolgenden Schritt werden die Kosten und Nutzen für den Straßenabschnitt für den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren zusammengefasst und dargestellt (Abbildung 47). Auch bei dieser Variante ist darauf hinzuweisen, dass durch den gewählten Betrachtungszeitraum von 50 Jahren eine komplette Erneuerung des Systems in den Kosten für die Instandhaltung, Wartung und Pflege enthalten ist.

Aus der Differenz der in Abbildung 45 und in Abbildung 46 dargestellten Nutzen der verschiedenen Begrünungssysteme ist der Nutzen, welcher sich aus der Einsparung der Heizkosten ergibt, direkt ablesbar. Dieser beträgt für das modulare Begrünungssystem 168 €/m^2 bzw. 19 €/m^2 für das sanierte Gebäude. Beim troggebundenen Begrünungssystem beträgt die Differenz 101 €/m^2 zwischen 112 €/m^2 und 11 €/m^2 . Die absolute

Variantenstudie und Auswertung

Differenz der Heizeinsparung beim Matten-Begrünungssystem ist mit rund 65 €/m² zwar die geringste, aber relativ gesehen bei einer Einsparung von 88 €/m² für das ungedämmte Gebäude und 23 €/m² bei den sanierten Gebäuden am höchsten. Dies bedeutet, dass Gebäude mit bisher schwachen Außenwänden ein höheres Einsparpotential bieten als bereits sanierte Außenwände mit einem höheren Wärmedurchgangswiderstand.

Lediglich die Förderung der Stadt Wien wird unabhängig von der Größe der begrünten Fläche gezahlt, die restlichen quantifizierten Nutzen sind abhängig von der Größe. Unter der Voraussetzung gleicher Gebäudegeometrien für die fünf Gebäude der Variante D kann demnach ein linearer Kosten-Nutzen-Verlauf angenommen werden.

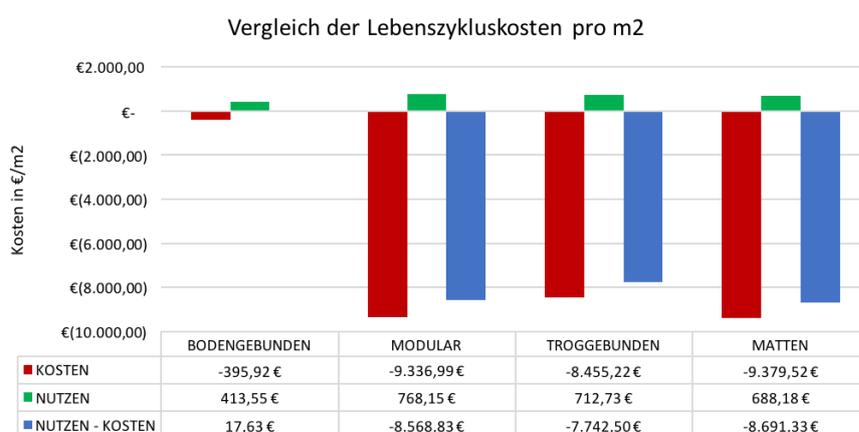


Abbildung 45: Lebenszykluskosten pro m² für die vier Begrünungssysteme – Variante D (unsaniert)

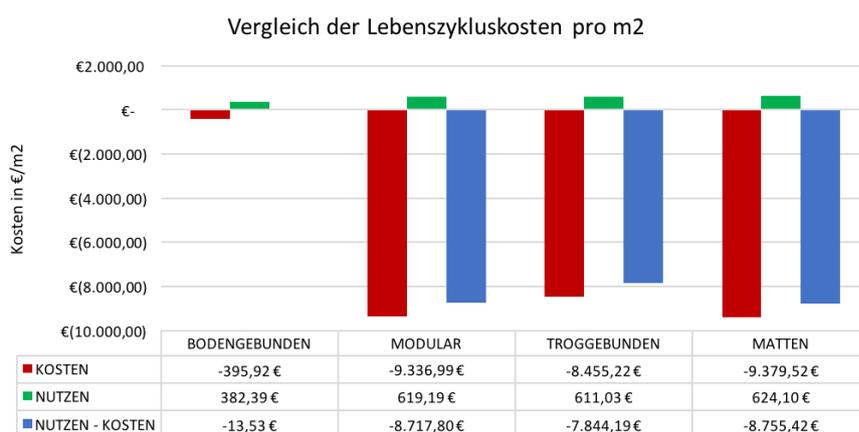


Abbildung 46: Lebenszykluskosten pro m² für die vier Begrünungssysteme – Variante D (saniert)

Variantenstudie und Auswertung

	GESAMT			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 650.183,26 €	- 15.581.768,59 €	- 14.109.224,68 €	- 15.652.790,96 €
Errichtung	- 86.500,00 €	- 1.711.750,00 €	- 1.463.750,00 €	- 1.711.750,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 502.338,78 €	- 13.649.496,87 €	- 12.513.182,26 €	- 13.801.897,59 €
Abbruch und Entsorgung	- 61.344,47 €	- 220.521,72 €	- 132.292,42 €	- 139.143,37 €
KOSTEN SOZIAL	- 11.000,00 €	- 11.000,00 €	- 11.000,00 €	- 11.000,00 €
Fördermittel	- 11.000,00 €	- 11.000,00 €	- 11.000,00 €	- 11.000,00 €
KOSTEN GESAMT	- 661.183,26 €	- 15.592.768,59 €	- 14.120.224,68 €	- 15.663.790,96 €
NUTZEN PERSÖNLICH	487.820,73 €	941.354,04 €	896.158,25 €	892.848,76 €
Immobilienpreissteigerung	279.778,13 €	572.747,29 €	572.747,29 €	572.747,29 €
Energieeinsparung Kühlperiode	44.124,53 €	98.868,00 €	98.868,00 €	98.868,00 €
Energieeinsparung Heizperiode	25.327,11 €	131.147,80 €	85.952,01 €	82.642,52 €
Langlebigkeit	127.590,96 €	127.590,96 €	127.590,96 €	127.590,96 €
Fördermittel	11.000,00 €	11.000,00 €	11.000,00 €	11.000,00 €
NUTZEN SOZIAL	171.578,30 €	192.199,66 €	192.199,66 €	192.199,66 €
NOx-Reduktion	170.372,10 €	190.848,49 €	190.848,49 €	190.848,49 €
CO2-Reduktion	673,59 €	754,55 €	754,55 €	754,55 €
Feinstaub-Reduktion	532,61 €	596,62 €	596,62 €	596,62 €
Lärm-Reduktion	- €	- €	- €	- €
NUTZEN GESAMT	659.399,03 €	1.133.553,70 €	1.088.357,91 €	1.085.048,42 €
NUTZEN - KOSTEN GESAMT	- 1.784,22 €	- 14.459.214,90 €	- 13.031.866,77 €	- 14.578.742,54 €

Abbildung 47: Lebenszykluskosten für den gesamten Straßenabschnitt (5 Gebäude, 1670 m² begrünte Fläche) für die vier Begrünungssysteme – Variante D

8.5 Auswertung und Vergleich der Varianten

In diesem Kapitel sollen die Erkenntnisse aus den Berechnungsergebnissen des entwickelten Modells für die vier Varianten ausgewertet und verglichen werden. Die Tabelle 7 fasst hierzu die Ausgangssituationen der vier Varianten anhand der Parameter, welche das Modell beachtet, zusammen. Des Weiteren werden vereinzelt Berechnungen mit veränderter Nutzungsdauer und höherem Kalkulationszinssatz durchgeführt, wie in Kapitel 6 *Ökonomische Auswirkungen* erläutert.

Tabelle 7: Vergleich der Varianten

Angabe	Variante A	Variante B	Variante C	Variante D
Standort des Gebäudes	4. Bezirk	19. Bezirk	19. Bezirk	2. Bezirk
Breite der zu begrünenden Fläche <i>in m</i>	22	9	15	24 bzw. 120
Höhe der zu begrünenden Fläche <i>in m</i>	14	6	23	16
Größe der Aussparungen <i>in m²</i>	50	22	25	50 bzw. 250
Größe der zu begrünenden Fläche <i>in m²</i>	258	32	320	334 bzw. 1670
Angrenzende Nutzfläche <i>in m²</i>	360	80	250	240 bzw. 1200
Angrenzende Wohneinheiten	13	4	12	12 bzw. 60
Lärmbelastung <i>in dB(A)</i>	50-70	> 70	> 70	< 50
U-Wert der Außenwand <i>in W/m²K</i>	1,35	1,2	0,42	0,36 bzw. 1,34

Für alle Varianten ist zu erkennen, dass aus ökonomischer Sicht die bodengebundene Fassadenbegrünung aufgrund der vergleichsweise niedrigen Anschaffungskosten eine gute Möglichkeit darstellt. Es ist allerdings zu beachten, dass für die bodengebundene Begrünung ausreichend Platz am Boden vorhanden sein muss. Diese Voraussetzung ist besonders im städtischen Raum oftmals nicht gegeben. Darüberhinaus ist zu berücksichtigen, dass die Kletterpflanzen eine maximale Wachstumshöhe aufweisen. Diese Maximalhöhe ist, wie in Kapitel 4.1 erläutert, von diversen Faktoren abhängig. Auch unter guten Wachstumsbedingungen beträgt der Triebzuwachs 1 – 2 m/Jahr, wodurch besonders bei hohen Fassaden erst viele Jahr später, das gewünschte Erscheinungsbild erreicht ist. Bei den betrachteten Varianten ist eine Umsetzung der bodengebundenen Begrünung bezogen auf den Platz lediglich in Variante A im Innenhof und in Variante C denkbar. Variante A weist allerdings mit der Fassadenverkleidung aus Eternitplatten keine geeignete Bausubstanz für eine direkte Begrünung auf.

Im Modell, welches in dieser Diplomarbeit entwickelt wurde, sind die persönlichen Kosten lediglich von der Quadratmeterzahl abhängig. Der Grund hierfür ist, dass die persönlichen Kosten pro m² für jede der Varianten die gleiche Höhe aufweisen. In der Realität ist dies nicht gegeben. Es ist denkbar, dass bei sehr großen Flächen, also ab einem entsprechenden Auftragsvolumen die Anschaffungskosten pro m² sinken. Andererseits sind Flächen, in denen viele Aussparungen notwendig sind, komplizierter in der Planung und Montage sowie Wartung, weswegen die Kosten höher sein werden. Auf den Nutzen hingegen nehmen verschiedene Faktoren Einfluss. Die Tabelle 8 veranschaulicht, welche Faktoren welche Auswirkungen beeinflussen.

Tabelle 8: Einflussfaktoren auf die unterschiedlichen Auswirkungen

Angabe	Einfluss auf
Standort des Gebäudes	Immobilienpreissteigerung Energieeinsparung Heizperiode
Größe der zu begrünenden Fläche	Energieeinsparung Heizperiode Langlebigkeit NO _x -Reduktion CO ₂ -Reduktion Feinstaub-Reduktion
Angrenzende Nutzfläche	Immobilienpreissteigerung Energieeinsparung Kühlperiode
Angrenzende Wohneinheiten	Lärm-Reduktion
Lärmbelastung	Lärm-Reduktion
U-Wert der Außenwand	Energieeinsparung Heizperiode

Nicht nur die Einflussfaktoren allein sind entscheidend, sondern auch deren Verhältnis zueinander. So weisen die Variante A und die Variante C zwar ungefähr die gleiche Größe der zu begrünenden Fläche auf, jedoch ist das Verhältnis zwischen der Fassadenfläche und der angrenzenden Nutzfläche verschieden. So ist bei Variante A jedem m² Fassadenfläche circa 1.4 m² Nutzfläche zuzuordnen bei Variante C hingegen ist das Verhältnis von begrünter Fassadenfläche zu angrenzender Nutzfläche 1:1. Dies hat beispielsweise Auswirkungen auf die Einsparungen aus der Kühlperiode. Bei der Reduktion der Lärmbelastung ist neben der herrschenden Lärmbelastung auch die Anzahl der angrenzenden Wohneinheiten und somit der betroffenen Personen entscheidend. Auch hier spielt das Verhältnis der begrünter Fläche zur Personenzahl eine Rolle wie beim Vergleich von Variante A zu Variante C deutlich wird. Rein wirtschaftlich gesehen bedeutet dies also für dieses Modell, dass das Ziel ist, mit möglichst wenig begrünter Fläche möglichst viele Menschen und viel Wohnraum zu erreichen. In der Realität ist allerdings abzuwägen, inwieweit beispielsweise die Nutzen durch Lärmreduktion oder die Verbesserung der Luftqualität bei sehr kleinen Flächen erzielt werden können. Auch hier wird die Notwendigkeit der Quantifizierung anderer Auswirkungen, zum Beispiel der positiven Wirkung auf die städtischen Hitzeinseln deutlich. Diese Wirkung kann nur durch die Begrünung von insgesamt mehr bzw. größeren Flächen erreicht werden. Auch wird nicht beachtet, dass eine Begrünung im Innenhof

Variantenstudie und Auswertung

zwar einen deutlichen Nutzen für die Bewohner/innen der angrenzenden Wohnungen darstellt, jedoch eine Begrünung zur Straßenseite deutlich mehr Menschen beeinflussen kann. Dies betrifft zum Beispiel den Einfluss auf den Umgebungslärm sowie den bisher nicht quantifizierten Nutzen für das menschliche Wohlbefinden.

Abbildung 48 stellt den Nutzen der Energieeinsparung in der Heiz- sowie Kühlperiode, der Immobilienpreissteigerung und der Reduktion der Lärmbelastung exemplarisch für das troggebundene System für die vier Varianten gegenüber. Anhand der Größe des gebildeten Vierecks wird veranschaulicht, dass der Nutzen für Variante B am größten ist und für Variante D am geringsten. Dies wird ebenso deutlich bei der Gegenüberstellung der Kosten-Nutzen pro m² der vier Varianten für das Matten-System in Abbildung 49.

Vergleich der vier Varianten für das troggebundene Begrünungssystem

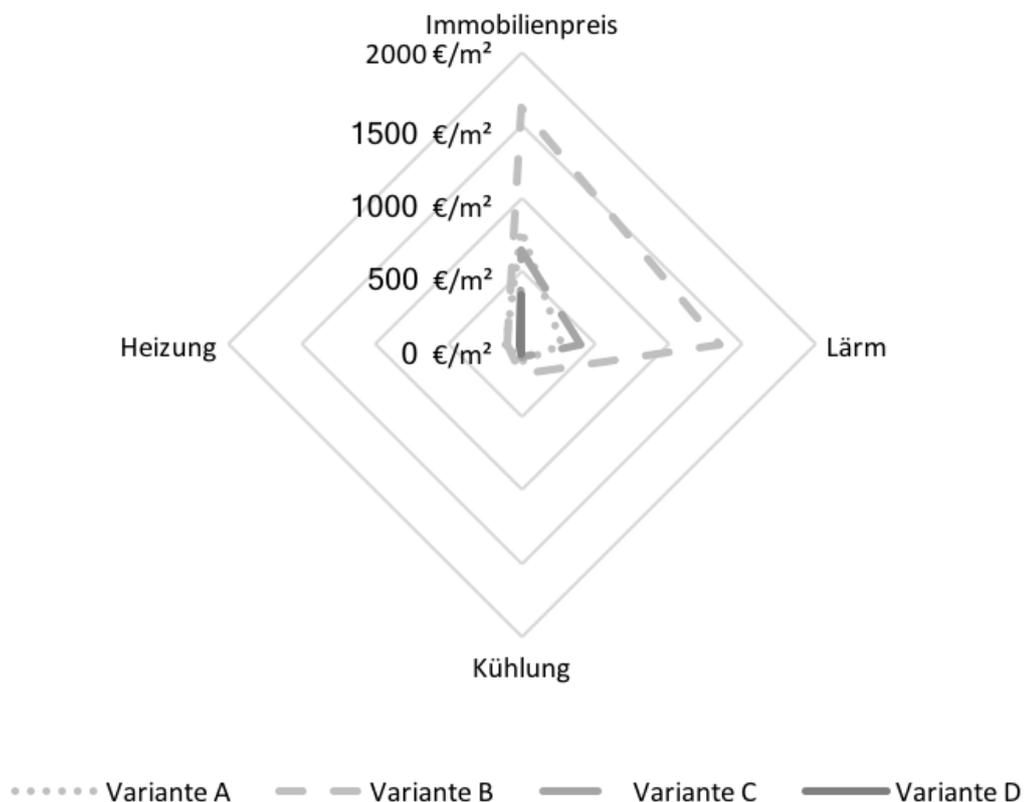


Abbildung 48: Vergleich der Varianten für das troggebundene Begrünungssystem anhand vier verschiedener Nutzen

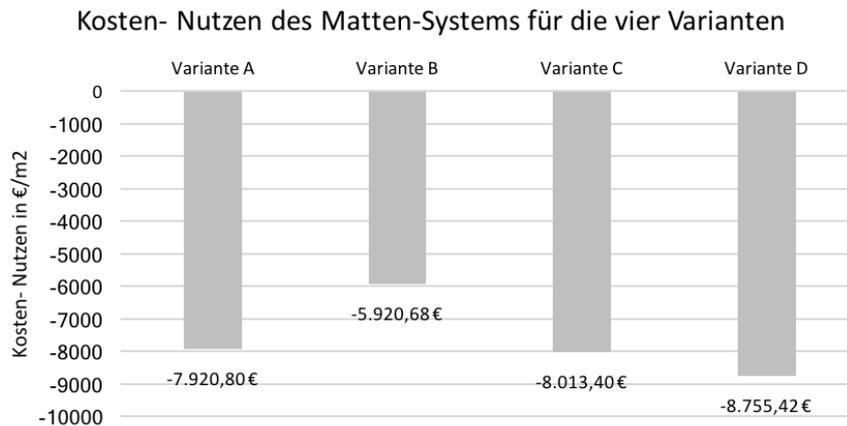


Abbildung 49: Vergleich der Varianten für das Matten-Begrünungssystem – Kosten-Nutzen in €/m²

Einen starken Einfluss hat der verwendete, aktuelle Basiszinssatz auf die Ergebnisse der Berechnung. Der derzeitige Basiszinssatz, anhand dessen den Kosten in der Zukunft ein heutiger Wert gegeben wird, ist negativ. Dadurch weisen zukünftige Kosten heute einen höheren Wert auf. Um die Auswirkungen des Kalkulationszinssatzes aufzuzeigen, wird eine weitere Berechnung mit einem Kalkulationszinssatz in der Höhe der Immobilienrendite durchgeführt, wie in Kapitel 6 *Ökonomische Auswirkungen* erläutert. Für den 4. Wiener Gemeindebezirk, in dem sich das in Variante A betrachtete Gebäude befindet, liegt diese Rendite zwischen 2.4 und 3.9% für das zweite Quartal 2017 wie in Abbildung ?? dargestellt ist [31]. Im Mittel beträgt der neue Kalkulationszinssatz demnach 3.2%. Bei einem Vergleich der Berechnungsergebnisse für die Variante A mit einem Kalkulationszinssatz auf Grundlage des Basiszinssatzes der Österreichischen Nationalbank und den Berechnungsergebnissen unter der Annahme eines Kalkulationszinssatz in Höhe der Immobilienrendite für den 4. Bezirk, wird der starke Einfluss dieses Kalkulationszinssatzes sehr deutlich (Abbildung 50 und 51). Es ist daher unbedingt zu beachten, dass die in dieser Diplomarbeit durchgeführten Berechnungen der Wirtschaftlichkeit auf dem Basiszinssatz beruhen, bei dem es sich um ein finanzpolitisches Instrument handelt und welcher sich ändern kann. Die individuellen Voraussetzungen, welche unter anderem durch die Risikoaffinität der Hauseigentümerin bzw. des Hauseigentümers beeinflusst werden, wirken sich deutlich auf die Höhe des Kalkulationszinssatzes und die Berechnungsergebnisse aus. Ebenso wie der verwendete Kalkulationszins wirkt sich auch die geplante Nutzungsdauer auf die Kosten-Nutzen-Analyse aus. Innerhalb des gewählten Betrachtungszeitraums von 50 Jahren muss jedes der drei Begrünungssysteme erneuert werden. Bei einer Verkürzung der Betrachtungsdauer auf 20 Jahre wird beachtet, dass vor der Entscheidung das System

Variantenstudie und Auswertung

erneut zu installieren, eine Bilanz der bisherigen Kosten und Nutzen gezogen wird. Bei der Untersuchung dieser verschiedenen Parameter wird das Ausmaß dieses Einflusses deutlich. Tabelle 9 stellt die Kosten-Nutzen-Differenzen der Variante A für das troggebundene System in Abhängigkeit der geplanten Nutzungsdauer sowie des Kalkulationszinssatzes gegenüber. In den Abbildungen 50 und 51 sowie in den Berechnungsergebnissen in den Anhängen D – G ist darüberhinaus zu erkennen, dass der jährliche Nutzen geringer ist, als die jährlichen Kosten pro m², wodurch sich nach bisherigem Kenntnisstand der quantifizierbaren Nutzen, die Investition zu keinem Zeitpunkt amortisiert hat.

Tabelle 9: Gesamt-Kosten-Nutzen der Variante A für das troggebundene System in Abhängigkeit der geplanten Nutzungsdauer und des Kalkulationszinssatzes

Betrachtungszeitraum <i>in Jahren</i>	Kalkulationszinssatz <i>in %</i>	Nutzen-Kosten <i>in €/m²</i>
50	-2,57	-6.971,46
50	3,2	-2.016,81
20	-2,57	-1.864,84
20	3,2	-1.318,47

	PRO M2			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 145,45 €	- 2.591,61 €	- 2.386,05 €	- 2.587,31 €
Errichtung	- 52,13 €	- 1.025,00 €	- 876,94 €	- 1.025,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 76,49 €	- 1.506,13 €	- 1.472,92 €	- 1.510,45 €
Abbruch und Entsorgung	- 16,83 €	- 60,48 €	- 36,19 €	- 51,85 €
KOSTEN SOZIAL	- 8,53 €	- 8,53 €	- 8,53 €	- 8,53 €
Fördermittel	- 8,53 €	- 8,53 €	- 8,53 €	- 8,53 €
KOSTEN GESAMT	- 153,98 €	- 2.600,13 €	- 2.394,58 €	- 2.595,84 €
NUTZEN PERSÖNLICH	211,30 €	427,56 €	427,56 €	496,90 €
Immobilienpreissteigerung	187,95 €	370,43 €	370,43 €	370,43 €
Energieeinsparung Kühlperiode	8,92 €	30,18 €	30,18 €	30,18 €
Energieeinsparung Heizperiode	5,90 €	18,43 €	18,43 €	87,77 €
Langlebigkeit	- €	- €	- €	- €
Fördermittel	8,53 €	8,53 €	8,53 €	8,53 €
NUTZEN SOZIAL	41,50 €	102,18 €	102,18 €	102,18 €
NOx-Reduktion	17,74 €	30,00 €	30,00 €	30,00 €
CO2-Reduktion	0,07 €	0,12 €	0,12 €	0,12 €
Feinstaub-Reduktion	0,06 €	0,09 €	0,09 €	0,09 €
Lärm-Reduktion	23,64 €	71,97 €	71,97 €	71,97 €
NUTZEN GESAMT	252,80 €	529,74 €	529,74 €	599,08 €
NUTZEN - KOSTEN GESAMT	98,82 €	2.070,39 €	1.864,84 €	1.996,75 €

Abbildung 50: Kosten und Nutzen der Variante A bei einem Kalkulationszins von -2.57 % und einer geplanten Nutzungsdauer von 20 Jahren

Variantenstudie und Auswertung

	PRO M2			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 85,58 €	- 1.871,51 €	- 1.697,52 €	- 1.864,67 €
Errichtung	- 52,13 €	- 1.025,00 €	- 876,94 €	- 1.025,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 28,12 €	- 827,37 €	- 809,12 €	- 829,75 €
Abbruch und Entsorgung	- 5,33 €	- 19,14 €	- 11,45 €	- 9,93 €
KOSTEN SOZIAL	- 8,53 €	- 8,53 €	- 8,53 €	- 8,53 €
Fördermittel	- 8,53 €	- 8,53 €	- 8,53 €	- 8,53 €
KOSTEN GESAMT	- 94,11 €	- 1.880,04 €	- 1.706,04 €	- 1.873,20 €
NUTZEN PERSÖNLICH	114,44 €	329,76 €	329,76 €	340,87 €
Immobilienpreissteigerung	99,65 €	293,73 €	293,73 €	293,73 €
Energieeinsparung Kühlperiode	3,77 €	17,07 €	17,07 €	17,07 €
Energieeinsparung Heizperiode	2,49 €	10,43 €	10,43 €	21,53 €
Langlebigkeit	- €	- €	- €	- €
Fördermittel	8,53 €	8,53 €	8,53 €	8,53 €
NUTZEN SOZIAL	17,54 €	57,82 €	57,82 €	57,82 €
NOx-Reduktion	7,50 €	16,97 €	16,97 €	16,97 €
CO2-Reduktion	0,03 €	0,07 €	0,07 €	0,07 €
Feinstaub-Reduktion	0,02 €	0,05 €	0,05 €	0,05 €
Lärm-Reduktion	9,99 €	40,72 €	40,72 €	40,72 €
NUTZEN GESAMT	131,98 €	387,58 €	387,58 €	398,69 €
NUTZEN - KOSTEN GESAMT	37,87 €	1.492,46 €	1.318,47 €	1.474,52 €

Abbildung 51: Kosten und Nutzen der Variante A bei einem Kalkulationszins von 3.2 % und einer geplanten Nutzungsdauer von 20 Jahren

Die Bewertung der ökologischen Faktoren nach dem Vorbild von Pamminger [61] ist lediglich von der Größe der zu begrünenden Fläche abhängig und beachtet in wenigen Unterpunkten die Geometrie der Fläche. Einzelheiten, welche beispielsweise das Bewässerungssystem betreffen, können bisher nicht berücksichtigt werden. Die Umweltauswirkungen sind demnach bezogen auf den Quadratmeter für die vier Varianten gleich. Wird jedoch die Betrachtungsdauer auf 20 Jahre reduziert, sodass vor einer Erneuerung der Begrünungssysteme betrachtet wird, welche ökologischen Auswirkungen eine weitere Investition hätte, so ist erkennbar, dass die Ressourceninanspruchnahme dargestellt durch den Primärenergiebedarf sowie die Umweltauswirkungen in Form von Versauerungs- und Treibhauspotential geringer ausfallen. Abbildung 52 zeigt beispielhaft im Vergleich den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf für eine geplante Nutzungsdauer von 20 bzw. 50 Jahren. Die Herstellung ist unabhängig von der geplanten Nutzungsdauer. Der Ersatz sowie die Entsorgung hingegen hängen von der Anzahl der Erneuerungen ab.

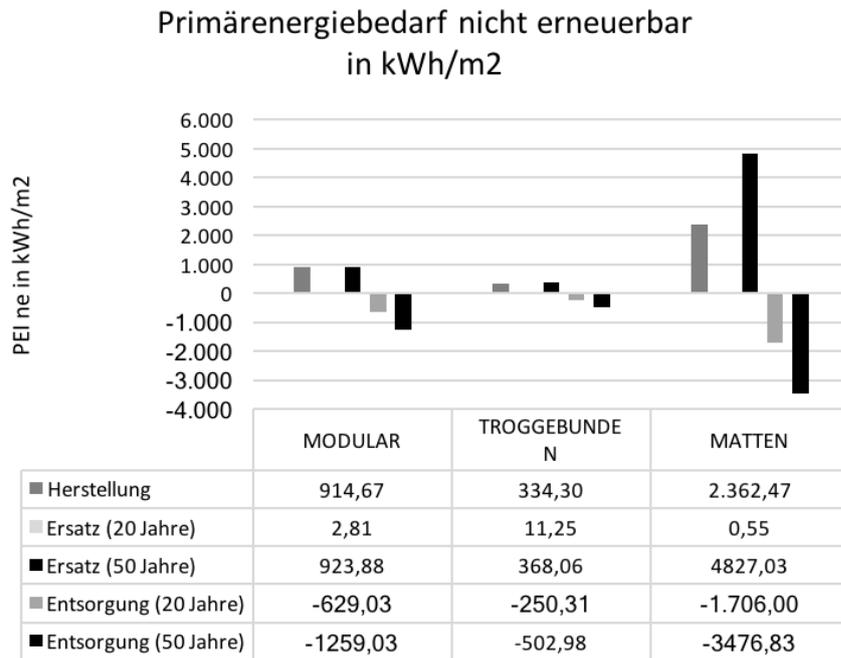


Abbildung 52: Vergleich nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf in kWh/m² für eine geplante Nutzungsdauer von 20 bzw. 50 Jahren

9 Fazit und Ausblick

*Die Schwärmerei für die Natur
kommt von der Unbewohnbarkeit der Städte.*

Bertold Brecht[8]

Städte werden weltweit bis zum Jahr 2050 rund zwei Dritteln der Menschen als Lebensraum dienen. Unter diesem schnellen Wachstum stehen sie demnach vor der Herausforderung einer dauerhaften und umweltverträglichen Stadtentwicklung. Vertikale Begrünungssysteme bieten großes Potential hierzu beizutragen wie die Untersuchungen in dieser Arbeit zeigen.

Die Kernaussagen dieser Arbeit können wie folgt zusammengefasst werden:

- Das Modell dieser Arbeit bedarf weiterer Entwicklung, um weitere Aspekte miteinzubeziehen und bereits Beachtete detaillierter abzubilden. Vertikale Begrünung kann einen Beitrag zur umweltverträglichen Stadtentwicklung leisten. Bisher rein qualitativ bewertete Nutzen müssen zur genauen Bestimmung weiter erforscht werden.
- Nach derzeitigem Stand des Wissens können die Nutzen der fassadengebundenen Vertikalbegrünung lediglich teilweise quantifiziert werden. Es kann daher keine Aussage über die Wirtschaftlichkeit dieser drei Begrünungssysteme getroffen werden.
- Der Hauptanteil der Kosten der Begrünungssysteme entsteht bei einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren durch die Instandhaltung, die Pflege und die Wartung der Begrünung. Der Gesamtnutzen der Begrünung setzt sich zu annähernd gleichen Teilen aus dem sozialen und dem persönlichen Nutzen zusammen.
- Die ökologischen Auswirkungen durch die Herstellung, die Nutzung und die Entsorgung können anhand der Größe der begrünten Fläche bestimmt werden. Die Bewertung der Umweltauswirkungen muss um den Nutzen der Begrünung wie beispielsweise die Energieeinsparung ergänzt werden.

Bei der Berechnung der Kosten durch das Modell werden bereits alle anfallenden Kostenpositionen miteinbezogen. Beachtet werden die Kosten für die einmalige Errichtung, Kosten für die Instandhaltung, Wartung und Pflege in den erforderlichen Abständen sowie die Kosten für den Abbruch und die Entsorgung am Ende des Lebenszyklus. In einem

zukünftigen Modell wäre die Berücksichtigung der Geometrie der begrünten Fläche zum Beispiel bezüglich der Art und Anzahl der Aussparungen zu empfehlen. Diese nimmt neben den Kosten für die Errichtung und Pflege ebenso Einfluss auf die solaren Einträge des Gebäudes, welcher bei genauerer Betrachtung auch den Heiz- und Kühlenergiebedarf beeinflussen. Ebenso besteht die Möglichkeit, einen Preisnachlass für besonders große Flächen mitaufzunehmen.

Bisher unbeachtet bleiben auch zu erwartende Preissteigerungen. Diese haben unter anderem Einfluss auf die Energiekosten und die Kosten für die Wartung und Pflege. Außerdem ist damit zu rechnen, dass durch steigende Konzentration der Luftschadstoffe auch die Kostenfaktoren hierfür ansteigen werden, wodurch sich ein höherer Nutzen ergeben wird.

Besondere Aufmerksamkeit muss darüberhinaus der Bewertung der Nutzen-Kosten-Analyse bezüglich der geplanten Nutzungsdauer sowie dem Kalkulationszinssatz gelten, wie in Kapitel 8.5 erläutert.

Bei der Entwicklung des Modells in Kapitel 5 sowie in den Berechnungen der Varianten in Kapitel 8 wird deutlich, dass bereits viele Aspekte berücksichtigt werden, auf die die vertikale Begrünung Einfluss nimmt. Jedoch wird ebenso deutlich, dass die vertikale Begrünung viel Potential bietet, welches bisher nicht beziehungsweise zu wenig am Standort Wien für die vorhandenen Systeme erforscht wurde, sodass eine Bewertung dieses Nutzen erfolgen könnte. So kann eine Untersuchung des Einflusses auf die Außentemperatur und die Luftfeuchtigkeit Möglichkeiten zur Analyse des Einflusses auf die städtischen Hitzeinseln bieten. Ebenso werden in dieser Arbeit beispielsweise die Auswirkungen auf die Gebäudekühlung lediglich abgeschätzt. Zuverlässigere Aussagen wären nach Messungen der Wirkung in der Kühlperiode nach dem Vorbild der Untersuchungen für die Heizperiode, wie in 6.3.2 erläutert, möglich. Ebenso miteinzubeziehen in diese Untersuchungen wäre der Wasserverbrauch und das Wasserrückhaltevermögen der Systeme. Eine Differenzierung der Fassadenausrichtung ist wichtig, da diese, wie in Kapitel 2 beschrieben, Auswirkungen auf den Wasserbedarf der Pflanzen hat. Es muss hierbei darüberhinaus zwischen dem tatsächlichen Verbrauch der Systeme und dem Wasser, was als Abwasser anfällt, unterschieden werden. Das durch das System aufgenommene Wasser wird an die Umgebungsluft abgegeben und trägt zu einer höheren Behaglichkeit bei, während Wasser, welches das System lediglich durchläuft, als Verlust anzusehen ist. Bezüglich des Regenwassers ist ein hohes Rückhaltevermögen als positiv zu bewerten, da auf diese Art das Kanalsystem bei Starkregenereignissen entlastet wird. Eine zusätzliche Erweiterung des

Fazit und Ausblick

Modells ist für das Nutzungsprofil des betrachteten Gebäudes möglich. Hotels und Bürohäuser bieten beispielsweise großes Potential aufgrund der großen Fassadenflächen und des hohen Kühlenergiebedarfs. Darüberhinaus ist die Ästhetik des Gebäudes besonders entscheidend, um einen möglichen Wiedererkennungswert des Gebäudes zu bewirken und ein gutes Image zu stärken. Auch Untersuchungen des Einflusses auf den Menschen sind in Bürogebäuden besonders interessant bezüglich der möglichen gesteigerten Produktivität der Mitarbeiter/innen.

Wie in Kapitel 8 erläutert, bietet die bodengebundene Fassadenbegrünung zwar eine als wirtschaftlich zu bezeichnende Methode, jedoch ist zu berücksichtigen, dass die baulichen Gegebenheiten, so wie zum Beispiel ausreichender Platz, vorhanden sein müssen und die Dauer und das damit verbundene Risiko bis zum Erreichen des gewünschten Begrünungsergebnis beachtet werden müssen. Fassadengebundene Begrünungssysteme bieten diesbezüglich mehr Flexibilität und können sowohl im Rahmen von Sanierungen als auch bei Neubauten verwendet werden. Auch zur reinen optischen Aufwertung bieten sie gute Möglichkeiten. Besonders die Einsatzmöglichkeit bei Bestandsgebäuden ist in der Stadt Wien mit einem sehr hohen Anteil bestehender Gebäude sehr wichtig. Es gibt derzeit eine Vielzahl an Möglichkeiten Fassaden zu gestalten. Viele davon sind mit geringeren Kosten verbunden, sind optisch ansprechend oder weisen eine höhere schalldämmende oder wärmedämmende Wirkung auf, aber keine der bisher herkömmlichen Fassadenarten vereint all diese Nutzen und nimmt darüberhinaus noch Einfluss auf die Stadtökologie und das Klima sowie die fassadengebundene Vertikalbegrünung.

Abbildungsverzeichnis

1	Bodengebundene Fassadenbegrünung mit Kletterhilfe – Aufbau	10
2	Bodengebundene Fassadenbegrünung ohne Kletterhilfe – Aufbau	11
3	links: Bodengebundene Fassadenbegrünung mit wildem Wein im 2. Bezirk nähe Prater zu Beginn des Herbstes rechts: Bodengebundene Fassaden- begrünung mit wildem Wein in einem Innenhof im 4. Bezirk – Übergang zwischen rötlicher Färbung im Herbst und blattlosem Zustand im Winter .	12
4	Bodengebundene Fassadenbegrünung mit Efeu in der Nähe von Aachen, Deutschland	12
5	Modulares Begrünungssystem in einem Schulhof in der Kandlgasse im 7. Be- zirk (links: Mai 2017; rechts: November 2017)	13
6	Modulares Begrünungssystem – Aufbau	14
7	Troggebundenes Begrünungssystem am Gebäude der MA 48 im 5. Bezirk, November 2017	16
8	Troggebundenes Begrünungssystem – Aufbau	17
9	Bewässerungssystem des troggebundenen Begrünungssystems am Gebäude der MA 48 im 5. Bezirk, November 2017	19
10	Matten-Begrünungssystem – Aufbau	20
11	Matten-Begrünungssystem (links: kurz nach der Installation) [41]	21
12	Immobilienrenditen für Zinshäuser in Wien nach Bezirken (2017) [31]	29
13	Vergleich einer Prognose der Kühlgradtage mit den Referenzen 1981-1990 und 2041-2050 und einer Berechnung für die Jahre 2012-2017	42
14	PM 10-Werte an der Messstelle Taborstraße 10. Januar – 7. Februar 2017 [81]	50
15	Gebäude Variante A	57
16	Ausschnitt der Lärmkarte zum Standort des Gebäudes Variante A – 2012 Landesstraßen: 24h-Durchschnitt [49]	58
17	Gebäude Variante A mit Begrünung	59
18	Vergleich der Lebenszykluskosten pro m ² für die vier Begrünungssysteme – Variante A	59
19	Vergleich der persönlichen Lebenszykluskosten pro m ² für die vier Begrü- nungssysteme – Variante A	60
20	Kosten und Nutzen des troggebundenen Begrünungssystem unterteilt in die verschiedenen quantifizierten Auswirkungen – Variante A	61

Abbildungsverzeichnis

21	Gewicht der Begrünungssysteme in kg/m^2 – Variante A	62
22	Primärenergiebedarf erneuerbar und nicht erneuerbar der Begrünungssysteme in kWh/m^2 – Variante A	63
23	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar der fassadengebundenen Begrünungssysteme in kWh/m^2 – Variante A	63
24	Primärenergiebedarf erneuerbar der fassadengebundenen Begrünungssysteme in kWh/m^2 – Variante A	64
25	Gebäude Variante B	64
26	Allgemeine Angaben zur Ausgangssituation Variante B	65
27	Ausschnitt der Lärmkarte zum Standort des Gebäudes Variante B – 2012 Landesstraßen: 24h-Durchschnitt [49]	66
28	Gebäude Variante B mit Begrünung	66
29	Lebenszykluskosten für die vier Begrünungssysteme – Variante B	67
30	Lebenszykluskosten pro m^2 für die vier Begrünungssysteme – Variante B	68
31	Primärenergiebedarf gesamt erneuerbar und nicht erneuerbar in kWh für die vier Begrünungssysteme – Variante B	68
32	Treibhausgaspotential gesamt in kg für die vier Begrünungssysteme – Variante B	69
33	Versauerungspotential gesamt in kg für die vier Begrünungssysteme – Variante B	69
34	Gebäude Variante C (links: Längsseite; rechts: Querseite)	70
35	Ausschnitt der Lärmkarte zum Standort des Gebäudes Variante C – 2012 Landesstraßen: 24h-Durchschnitt [49]	71
36	Gebäude Variante B mit Begrünung	71
37	Lebenszykluskosten pro m^2 für die vier Begrünungssysteme – Variante C	72
38	Lebenszykluskosten aufgeschlüsselt pro m^2 für die vier Begrünungssysteme – Variante C	73
39	Treibhausgaspotential in kg/m^2 der fassadengebundenene Begrünungssysteme – Variante C	74
40	Versauerungspotential in kg/m^2 der fassadengebundenene Begrünungssysteme – Variante C	74
41	Gebäude Variante D	75
42	einzelne Gebäude Variante D	75
43	Ausschnitt der Lärmkarte zum Standort des Gebäudes Variante D – 2012 Landesstraßen: 24h-Durchschnitt [49]	76

Abbildungsverzeichnis

44	Gebäude Variante B mit Begrünung	77
45	Lebenszykluskosten pro m ² für die vier Begrünungssysteme – Variante D (unsaniert)	78
46	Lebenszykluskosten pro m ² für die vier Begrünungssysteme – Variante D (saniert)	78
47	Lebenszykluskosten für den gesamten Straßenabschnitt (5 Gebäude, 1670 m ² begrünte Fläche) für die vier Begrünungssysteme – Variante D	79
48	Vergleich der Varianten für das troggebundene Begrünungssystem anhand vier verschiedener Nutzen	82
49	Vergleich der Varianten für das Matten-Begrünungssystem – Kosten-Nutzen in €/m ²	83
50	Kosten und Nutzen der Variante A bei einem Kalkulationszins von –2.57 % und einer geplanten Nutzungsdauer von 20 Jahren	84
51	Kosten und Nutzen der Variante A bei einem Kalkulationszins von 3.2 % und einer geplanten Nutzungsdauer von 20 Jahren	85
52	Vergleich nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf in kWh/m ² für eine ge- plante Nutzungsdauer von 20 bzw. 50 Jahren	86

Tabellenverzeichnis

1	Nutzen der vertikalen Begrünung	22
2	Wasserverbrauch der Begrünungssysteme in $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{Jahr}$	31
3	Heizgradtage (HGT) für Wien nach Bezirken	39
4	Kühlgradtage (KGT) Wien 2012 – 2017	42
5	Beurteilung der Lärmreduktion	49
6	Lebensdauern der einzelnen Bestandteile des Matten-Begrünungssystems .	55
7	Vergleich der Varianten	80
8	Einflussfaktoren auf die unterschiedlichen Auswirkungen	81
9	Gesamt-Kosten-Nutzen der Variante A für das troggebundene System in Abhängigkeit der geplanten Nutzungsdauer und des Kalkulationszinssatzes	84

A Berechnung der durch Lärm Betroffenen in Wien 2012

Durch Straßenlärm betroffene Personen in Wien nach Bezirken 2012 (24h und Nacht)

Bezirke	Betroffene Lärmzone 24h						Betroffene Lärmzone Nacht						
	55-60 dB	60-65 dB	65-70 dB	70-75 dB	> 75 dB	> Schwellenwert 60 dB	45-50 dB	50-55 dB	55-60 dB	60-65 dB	65-70 dB	> 70 dB	> Schwellenwert 50 dB
	1. Innere Stadt	3.200	2.910	1.820	0	0	4.730	4.300	2.510	2.620	400	0	0
2. Leopoldstadt	18.990	13.740	13.080	2.210	0	29.040	23.320	14.690	14.200	4.730	120	0	33.740
3. Landstraße	15.680	15.590	10.440	1.820	0	27.850	18.940	15.920	14.220	2.920	0	0	33.060
4. Wieden	4.750	4.880	3.960	460	0	9.290	6.390	3.600	4.570	1.450	0	0	9.620
5. Margarethen	8.180	6.270	5.680	5.820	50	17.810	10.660	5.530	5.630	7.180	650	0	18.990
6. Mariahilf	4.760	7.500	3.710	1.150	0	12.360	5.930	6.820	5.020	2.200	140	0	14.180
7. Neubau	8.370	7.490	3.770	1.810	150	13.220	9.390	6.910	3.770	3.640	470	0	14.780
8. Josefstadt	5.310	4.380	2.380	460	60	7.280	7.620	3.920	3.140	490	260	0	7.810
9. Alsergrund	9.180	8.440	5.500	2.070	80	16.090	12.470	7.990	6.100	3.620	340	0	18.050
10. Favoriten	45.840	24.310	16.870	1.160	0	42.340	53.770	29.700	20.610	3.340	0	0	53.660
11. Simmering	26.450	9.650	5.680	50	10	15.390	32.430	11.790	7.440	450	60	0	19.740
12. Meidling	16.410	17.540	9.310	3.970	160	30.970	20.820	18.340	10.240	4.560	1.280	0	34.420
13. Hietzing	6.590	4.840	2.060	1.590	0	8.490	7.170	5.150	1.730	2.220	0	0	9.100
14. Penzing	18.170	11.830	2.610	1.420	160	16.010	20.530	12.570	2.600	1.510	470	0	17.140
15. Rudolfsheim-Fünfhaus	11.600	11.920	6.050	1.810	820	20.600	16.660	10.580	7.930	2.380	1.290	10	22.190
16. Ottakring	13.040	16.810	9.580	2.610	20	29.020	18.810	14.980	8.330	7.460	400	0	31.170
17. Hernals	8.270	8.310	4.620	430	0	13.370	9.930	8.160	5.520	1.680	60	0	15.410
18. Währing	8.620	8.150	4.170	1.330	0	13.650	11.090	7.410	5.700	1.830	530	0	15.460
19. Döbling	16.430	9.940	4.910	1.940	0	16.790	17.500	12.750	5.590	2.690	570	0	21.600
20. Brigittenau	21.840	18.050	9.810	210	0	28.070	24.790	18.510	12.290	2.150	0	0	32.960
21. Floridsdorf	26.850	16.670	9.090	720	200	26.690	33.390	16.130	14.560	1.910	220	0	32.820
22. Donaustadt	32.160	14.480	5.420	670	0	20.570	41.250	19.310	6.550	2.750	0	0	28.610
23. Liesing	23.400	13.330	2.020	390	0	15.740	21.150	20.040	3.190	700	10	0	23.930
SUMME WIEN	435.370						513.970						

Quelle: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/laerm/umgebungslaerm/laermkarten/> (Zugriffsdatum: 30.10.2017)

B Berechnung der Kühlgradtage

Berechnung der Kühlgradtage - Grenztemperatur 18,3 °C

Tag	2017											
	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
	Tages- mittel in °C											
	KGT in Kd											
1	-3,7	-2,7	8,8	17,0	13,6	23,0	20,9	28,9	20,7	2,4		
2	-1,0	-0,4	8,4	16,5	12,3	22,2	20,1	30,0	15,8			
3	1,1	0,7	9,0	15,5	11,4	22,7	20,8	29,6	15,3			
4	2,9	2,9	12,8	14,0	11,3	22,0	21,3	28,5	16,6			
5	-0,1	6,9	12,0	11,7	13,3	19,1	23,8	27,8	19,2	0,9		
6	-5,2	3,7	8,4	9,8	16,0	21,6	24,4	23,0	19,4	1,1		
7	-7,2	2,1	7,4	7,6	16,2	17,5	24,9	21,3	18,2			
8	-5,7	-0,9	7,8	11,8	15,7	18,0	26,5	21,4	17,3			
9	-4,8	-1,7	8,7	12,3	9,4	19,5	25,8	24,7	19,7	1,4		
10	-5,7	0,9	8,4	14,4	8,7	20,5	24,8	27,0	18,3			
11	-8,2	1,3	7,8	13,7	13,5	19,6	24,1	20,3	15,7			
12	1,4	1,7	5,8	11,2	18,1	23,1	24,7	19,0	15,5			
13	3,2	1,0	6,2	12,5	17,3	23,6	21,2	20,4	17,4			
14	1,1	1,4	7,4	12,3	18,1	21,2	17,8	22,1	19,7	1,4		
15	1,5	3,5	9,7	11,6	18,5	21,2	18,0	23,0	16,4			
16	-1,9	1,2	11,4	11,4	18,2	22,8	19,3	22,5	13,8			
17	-2,0	2,1	12,0	8,9	19,2	18,0	21,4	24,1	12,5			
18	-3,1	5,0	10,3	7,3	19,2	19,6	23,7	25,9	12,9			
19	-6,1	2,3	8,6	2,7	21,9	21,5	25,3	23,6	12,1			
20	-7,0	4,7	14,3	3,5	18,8	24,7	25,3	20,1	11,6			
21	-5,6	7,7	12,9	7,4	15,8	26,6	24,3	18,6	13,3			
22	-3,0	10,4	10,7	9,8	18,5	26,6	25,9	17,7	15,0			
23	-3,6	14,7	7,7	8,6	20,4	25,2	24,9	17,7	13,3			
24	-5,4	11,2	9,4	10,1	18,1	25,3	20,7	20,2	13,5			
25	-2,5	5,4	9,6	13,4	14,8	23,8	18,8	25,2	14,5			
26	-0,3	5,1	8,2	12,9	17,5	24,8	17,1	25,7	15,9			
27	-2,7	6,6	8,3	7,3	19,5	24,6	17,4	27,3	15,0			
28	-4,9	6,9	12,1	5,8	18,8	26,1	22,6	22,1	16,4			
29	-5,1		16,6	9,1	21,0	23,3	22,2	20,0	14,0			
30	-6,5		17,3	9,8	25,0	22,5	25,2	21,8	13,1			
31	-6,1		14,9		24,0	26,7	26,7	23,5				
	0,0	0,0	0,0	0,0	25,2	122,6	135,5	156,9	7,2			
										KGT 2017		447,4

Berechnung der Kühlgradtage - Grenztemperatur 18,3 °C

Tag	2016											
	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
	Tages- mittel in °C											
	KGT in Kd											
1	-1,8	9,1	5,0	13,6	12,2	18,6	23,8	21,3	20,3	18,0	9,9	3,0
2	-1,1	11,0	5,0	9,2	15,1	18,1	24,5	20,7	23,0	16,0	9,1	4,7
3	-5,0	7,2	5,8	14,1	14,0	19,5	19,4	23,2	21,8	13,7	6,4	1,6
4	-6,3	4,6	5,4	14,8	11,3	19,9	19,6	24,6	23,6	11,2	2,2	-2,0
5	-6,6	4,6	7,0	16,4	13,1	20,9	22,5	22,8	20,2	8,6	5,0	-1,9
6	-4,0	5,1	8,5	15,8	15,8	19,4	23,2	19,7	15,4	7,8	7,1	-1,1
7	-1,8	8,4	5,2	14,1	15,8	19,1	19,9	21,4	19,8	7,9	5,0	0,8
8	3,1	9,3	4,1	11,5	15,7	18,2	21,0	11,0	21,3	7,5	2,3	-1,0
9	1,5	10,1	3,4	8,4	15,4	19,9	23,0	21,7	22,0	10,5	3,0	4,3
10	2,2	7,6	4,5	9,5	15,0	20,2	23,7	15,5	22,4	9,5	4,8	10,2
11	4,3	5,4	6,8	9,0	16,0	19,3	26,6	15,9	23,3	8,1	3,9	8,8
12	8,0	2,2	6,5	12,9	15,0	18,4	24,7	14,8	23,3	7,5	3,2	6,1
13	6,1	5,2	5,6	13,3	14,3	19,3	20,7	20,4	23,1	9,4	2,0	0,3
14	5,0	5,2	5,6	13,3	16,8	19,7	15,6	22,3	22,5	11,3	1,7	0,0
15	3,2	6,8	3,7	12,0	12,5	18,0	16,8	21,7	21,8	12,6	-0,8	3,2
16	1,3	6,1	4,4	15,5	10,0	20,2	16,9	20,3	22,0	14,6	2,3	1,3
17	-1,1	4,0	5,5	15,4	11,5	21,1	23,2	19,7	19,4	9,8	4,1	-2,0
18	-3,1	4,4	7,7	11,8	14,6	19,4	23,2	19,3	18,8	9,8	4,3	-0,1
19	-4,8	4,5	7,3	12,4	14,8	20,0	22,6	21,0	17,9	9,9	8,7	0,2
20	-3,3	6,5	9,2	11,9	16,1	17,9	22,4	22,3	15,7	8,9	10,4	-1,9
21	-1,5	9,6	9,0	10,8	19,0	20,1	23,5	20,6	14,8	7,8	11,9	-3,5
22	-5,5	16,5	8,9	13,1	19,0	22,1	24,0	18,9	15,0	8,2	13,4	-3,3
23	-5,2	13,7	7,2	12,5	21,0	24,6	24,9	21,3	14,3	6,9	9,0	-0,6
24	2,1	6,6	7,3	9,0	13,5	26,2	24,4	21,4	16,1	10,8	7,6	3,2
25	4,5	3,1	8,6	7,2	16,7	27,3	24,6	20,5	15,8	13,2	6,7	7,1
26	8,9	3,5	7,7	8,5	18,7	24,1	25,5	21,5	16,1	12,4	8,1	10,4
27	7,3	3,9	8,3	9,3	19,7	18,8	24,9	22,3	15,3	10,3	7,6	7,2
28	10,5	7,3	9,7	6,0	21,7	20,3	22,7	24,3	16,6	10,1	3,0	4,6
29	8,1	7,5	12,0	7,9	22,2	22,5	24,2	23,0	22,4	11,6	0,5	1,0
30	5,0		12,8	11,2	21,2	24,7	25,0	22,4	19,6	10,4	0,7	-1,4
31	5,8		15,9		19,7	26,0	26,0	19,4	8,6	8,6		-1,0
	0,0	0,0	0,0	0,0	17,5	69,8	136,4	83,9	62,9	0,0	0,0	0,0

SUMME KGT 2016 370,5

Berechnung der Kühlgradtage - Grenztemperatur 18,3 °C

Tag	2015											
	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
	Tages- mittel in °C											
	KGT in Kd											
1	-0,3	-0,3	4,1	5,8	11,8	20,8	22,8	20,3	25,5	11,0	10,0	10,3
2	4,7	2,7	9,8	5,7	13,0	22,5	24,5	21,0	22,0	12,1	6,3	8,6
3	4,7	2,4	6,3	6,3	11,1	24,0	24,8	23,7	18,3	15,7	5,5	7,6
4	2,6	-0,4	4,5	5,6	17,6	23,9	25,5	25,5	19,0	14,1	5,1	5,7
5	2,1	-1,2	5,1	4,6	20,4	21,1	27,2	27,5	16,3	16,8	7,7	7,9
6	0,8	-0,8	4,8	5,8	18,4	22,5	26,5	27,7	15,2	13,9	7,8	3,8
7	-2,5	-0,5	7,3	6,1	16,8	23,6	28,7	28,8	13,9	14,8	11,2	2,7
8	-2,4	0,6	5,1	8,3	17,5	23,9	23,9	29,1	15,1	13,7	17,1	2,2
9	5,2	-0,8	6,9	10,8	16,8	21,4	19,8	28,8	13,4	13,7	13,4	4,0
10	13,1	2,9	7,1	11,6	17,4	19,6	19,3	27,8	15,3	9,9	17,4	5,3
11	10,1	3,9	6,9	13,7	14,6	21,5	19,6	28,3	16,1	6,5	17,5	0,2
12	5,3	4,8	5,4	15,6	16,0	24,7	23,2	28,9	18,5	5,3	12,6	4,6
13	6,4	2,6	4,8	13,8	18,5	24,3	22,3	29,6	18,5	3,8	8,3	5,5
14	3,6	2,8	4,2	12,7	17,0	23,6	21,3	28,7	19,4	8,0	11,4	5,8
15	3,3	5,8	5,6	17,2	14,7	19,7	24,4	28,0	17,3	9,9	11,5	4,2
16	3,8	4,6	8,8	17,8	16,7	18,7	24,7	24,6	20,8	10,0	13,9	3,6
17	4,3	3,0	9,3	15,6	17,4	16,5	28,0	20,6	24,4	8,8	13,7	3,7
18	4,7	1,1	7,6	8,8	16,5	16,9	29,1	18,0	21,6	6,5	16,6	3,7
19	3,0	3,0	6,4	9,1	18,1	17,4	29,7	16,5	18,4	8,0	14,7	4,1
20	3,1	2,8	5,7	11,5	15,5	14,8	27,1	17,4	17,8	9,2	13,1	4,2
21	2,4	5,2	7,2	14,5	11,5	15,0	27,6	20,1	14,9	9,5	6,8	3,9
22	5,6	3,4	8,1	15,4	13,8	18,0	29,7	19,3	15,1	9,6	4,0	8,7
23	5,2	5,7	5,0	14,8	12,4	16,3	29,2	18,7	14,8	11,9	2,4	7,9
24	3,2	5,0	10,7	14,6	12,6	16,4	27,6	22,7	13,5	8,9	1,3	7,2
25	1,2	5,4	10,1	15,5	15,8	16,7	26,9	20,6	14,0	9,6	-0,4	3,6
26	1,9	5,6	12,4	18,3	14,9	19,7	21,2	18,9	14,6	10,6	1,9	5,7
27	0,6	5,6	9,5	17,8	12,5	21,8	20,8	21,5	14,3	11,5	4,0	1,6
28	2,9	6,6	8,6	14,3	14,4	20,2	20,7	24,5	14,5	9,8	3,3	2,6
29	2,2		8,5	11,0	15,6	18,5	18,6	26,1	13,0	10,0	6,2	3,6
30	1,5		8,8	11,0	19,5	20,8	20,4	27,5	11,3	10,3	10,0	1,1
31	2,0		10,1		17,9	21,4	21,4	26,7	8,9	8,9	-2,4	
	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	72,5	189,2	183,1	25,1	0,0	0,0	0,0

SUMME KGT 2015 473,5

Berechnung der Kühlgradtage - Grenztemperatur 18,3 °C

Tag	2013											
	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
	Tages- mittel in °C											
	KGT in Kd											
1	-0,5	8,0	3,9	2,2	18,1	12,7	18,1	24,2	19,8	9,2	8,7	5,6
2	1,5	6,0	3,8	2,7	15,8	12,7	20,2	25,8	17,1	9,1	8,5	5,3
3	3,1	2,7	3,2	1,5	16,1	10,7	21,9	28,2	18,6	6,1	10,2	1,4
4	7,6	3,8	3,8	4,2	16,7	10,7	22,7	28,8	20,3	7,8	9,7	-0,3
5	8,7	6,7	6,7	5,1	16,8	14,4	23,2	24,5	19,6	8,5	8,3	4,0
6	6,4	2,7	10,4	4,8	18,4	15,4	23,0	27,8	18,8	9,2	6,8	4,3
7	3,8	2,6	13,5	4,3	19,0	17,8	22,8	28,2	19,9	10,9	13,8	2,4
8	-0,2	2,0	10,7	5,3	19,0	20,1	22,1	30,1	20,0	12,1	12,3	5,0
9	3,8	-0,5	9,0	7,5	19,1	20,8	22,4	28,4	19,6	13,4	10,3	5,9
10	4,1	-1,1	8,9	9,9	19,2	20,1	22,7	20,5	18,1	14,4	8,8	6,5
11	2,4	-2,6	7,8	11,5	13,2	16,4	20,7	21,3	15,6	10,9	7,1	3,2
12	-1,2	-1,7	3,5	11,9	14,0	17,8	19,7	22,6	16,4	12,1	5,2	1,6
13	-3,3	-0,2	5,5	12,1	12,9	19,1	19,2	21,0	13,5	10,6	5,7	1,7
14	-2,0	0,0	0,6	13,4	14,9	18,6	21,5	20,2	15,9	9,0	3,8	3,0
15	-1,5	1,0	-0,7	12,5	16,7	21,8	21,6	18,0	16,7	14,2	5,9	4,1
16	-0,4	1,8	-0,6	14,8	18,8	23,0	19,8	18,9	17,6	11,3	6,0	2,5
17	-1,0	1,8	0,6	17,2	18,1	24,8	21,6	21,7	12,7	10,7	5,0	-1,5
18	-2,6	1,0	1,8	17,8	17,5	26,4	23,2	24,0	11,6	12,8	6,9	-1,9
19	-4,1	2,2	5,9	17,1	18,2	27,1	24,7	26,2	13,7	10,5	6,9	-2,5
20	-2,4	1,6	6,4	13,0	16,5	28,0	24,1	19,2	13,6	10,9	7,6	-0,6
21	0,8	-1,4	7,1	13,9	14,7	26,1	22,8	19,0	14,8	15,9	5,5	2,4
22	0,9	-3,6	2,3	15,4	14,5	24,0	22,3	18,5	15,2	12,6	6,5	1,2
23	-2,0	-1,1	-0,2	17,5	12,4	23,6	23,6	19,0	16,0	14,8	8,0	2,7
24	-1,9	-0,3	-3,6	17,5	11,8	19,0	24,2	19,1	17,3	15,0	7,1	6,5
25	-2,4	1,5	-2,7	18,9	10,7	14,0	26,2	17,0	14,6	12,2	3,0	8,3
26	-5,5	3,0	-3,1	19,8	11,9	13,7	25,3	15,0	15,6	14,6	1,0	10,2
27	-6,7	3,1	-1,3	21,1	10,4	14,1	27,2	17,0	12,5	14,5	1,7	7,3
28	-1,6	5,3	0,5	18,1	15,4	15,6	29,0	16,2	10,0	17,6	0,7	5,8
29	2,5		5,1	14,0	16,7	17,6	28,3	19,7	9,7	13,2	2,6	5,7
30	9,9		3,5	17,3	12,3	17,7	23,0	18,4	10,9	11,8	5,2	5,9
31	11,0		2,5		10,3		23,4	19,1	8,5			3,8
	0,0	0,0	0,0	4,9	3,7	68,0	143,4	118,6	10,2	0,0	0,0	0,0

SUMME KGT 2013 348,8

Berechnung der Kühlgradtage - Grenztemperatur 18,3 °C

Tag	2012													
	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember		
	Tages- mittel in °C													
	KGT in Kd													
1	2,2	-7,1	11,4	5,4	21,8	3,5	29,3	11,0	22,7	4,4	14,8	16,8	6,5	2,5
2	2,1	-9,9	12,0	9,8	22,1	3,8	27,0	8,7	24,2	5,9	19,9	14,7	7,0	2,0
3	6,6	-11,5	6,0	11,2	20,3	2,0	27,8	9,5	23,5	5,2	20,8	16,2	5,0	2,6
4	7,2	-9,8	4,2	14,5	15,8	1,2	24,5	6,2	23,9	5,6	21,7	15,2	7,2	1,3
5	6,7	-8,5	4,1	14,0	16,4	1,2	27,1	8,8	24,7	6,4	21,2	15,2	9,8	3,5
6	5,2	-10,2	3,1	9,2	16,8	14,0	27,0	8,7	26,0	7,7	19,6	18,2	8,4	1,6
7	4,3	-9,7	0,6	8,2	15,5	20,8	24,3	6,0	23,2	4,9	17,0	14,2	7,1	-1,5
8	3,9	-8,0	1,8	4,1	14,9	22,7	25,4	7,1	22,2	3,9	21,3	11,7	8,6	-3,3
9	4,6	-9,1	5,6	5,5	17,6	20,5	22,8	4,5	22,0	3,7	20,6	9,7	8,8	-2,0
10	5,2	-10,9	5,6	8,4	21,1	15,1	24,9	6,6	19,9	1,6	22,1	9,9	7,5	1,8
11	6,7	-9,4	7,3	13,0	21,3	16,7	22,1	3,8	16,8	1,6	22,9	9,8	9,9	0,6
12	7,5	-6,1	8,5	10,0	18,5	18,0	20,7	2,4	17,7	1,7	19,1	10,8	10,2	-2,7
13	4,5	-2,5	9,4	8,5	11,5	15,7	16,6	1,2	17,0	1,2	11,2	12,8	9,8	-4,5
14	3,2	1,5	9,1	11,3	10,7	18,4	17,8	1,2	18,2	1,2	14,8	11,6	5,1	-3,4
15	1,3	2,2	9,1	10,8	14,2	18,8	17,3	1,4	19,5	1,2	16,0	14,0	4,9	0,8
16	0,2	1,7	9,6	6,9	11,7	23,4	18,1	1,4	19,7	1,4	16,2	8,3	5,9	3,0
17	-0,6	6,1	11,2	7,9	10,4	23,7	17,5	4,4	22,7	4,4	17,3	9,4	7,2	2,7
18	3,2	2,9	13,6	7,4	10,0	25,6	20,7	2,4	22,4	4,1	18,4	13,6	6,0	2,8
19	3,8	3,6	11,8	10,6	15,2	25,3	23,5	5,2	23,2	4,9	16,0	12,0	6,4	3,6
20	6,1	0,5	9,4	10,5	20,0	26,9	18,5	0,2	26,4	8,1	13,2	10,9	6,7	1,3
21	2,5	4,6	10,5	13,4	20,6	24,4	17,1	1,2	25,3	7,0	11,4	9,3	7,5	-0,5
22	4,5	4,0	11,7	9,9	18,6	24,0	15,6	1,2	26,1	7,8	13,1	11,7	6,3	-0,5
23	6,9	9,4	12,9	10,6	22,1	21,0	19,5	1,2	25,7	7,4	13,2	7,8	6,1	0,4
24	3,2	11,1	13,2	12,6	23,3	22,5	22,0	3,7	26,5	8,2	16,8	10,4	7,1	0,7
25	1,1	5,9	15,0	13,6	18,7	21,8	22,4	4,1	24,0	5,7	19,1	10,3	8,6	0,8
26	-0,3	3,2	12,0	14,8	18,2	19,0	23,0	4,7	20,2	1,9	19,3	8,9	7,1	4,3
27	-1,4	4,1	10,9	17,3	18,2	19,4	24,6	6,3	19,7	1,4	18,3	7,2	7,5	7,6
28	-1,3	8,8	15,8	19,3	18,1	22,9	25,3	7,0	19,3	1,0	17,8	2,7	10,6	4,8
29	-1,6		13,7	21,5	18,3	25,9	22,5	4,2	23,1	4,8	13,6	2,2	8,2	0,2
30	-2,7		8,3	21,0	19,5	27,7	21,2	2,9	23,2	4,9	16,2	2,7	4,8	0,5
31	-4,4		8,8		19,0	22,9	22,9	4,6	20,4	2,1	4,4	4,4		2,2
	0,0	0,0	0,0	6,9	30,7	92,1	129,8	125,6	28,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

SUMME KGT 2012 413,2

C Allgemeine Angaben zur Berechnung

ALLGEMEINE ANGABEN	
Größe der zu begrünenden Fläche	258,00 m ²
Kapitalzins	-0,62%
Inflationsrate	2,00%
Um Inflation bereinigter Zins	-2,57%
Kalkulationszinssatz	-2,57%
geplante Nutzungsdauer	20 Jahre
Bruttoinlandsprodukt 2002	28.000,00 €/pro Kopf
Bruttoinlandsprodukt 2016	39.900,00 €/pro Kopf
Steigerung	143%

*1

*2

KOSTEN	
Wasserverbrauch	
modular	0,91 m ³ /m ² /Jahr
troggebunden	0,24 m ³ /m ² /Jahr
Platten	1,00 m ³ /m ² /Jahr
Wasserkosten	1,86 €/m ³
Entsorgung	
Entsorgung Baurestmassen	312,49 €/t
Gewicht Entsorgung Modular	63,81 kg/m ²
Gewicht Entsorgung Troggebunden	17,62 kg/m ²
Gewicht Entsorgung Matten	21,72 kg/m ²

*3

*15

IMMOBILIENWERTSTEIGERUNG			
	Eigentum	Miete	
	€/m ²	€/m ² /Monat	€/m ² /Jahr
1. Innere Stadt	€ 12.332	€ 19,26	€ 231,12
2. Leopoldstadt	€ 4.853	€ 15,12	€ 181,44
3. Landstraße	€ 5.145	€ 16,07	€ 192,84
4. Wieden	€ 7.979	€ 15,94	€ 191,28
5. Margareten	€ 4.951	€ 15,27	€ 183,24
6. Mariahilf	€ 5.979	€ 15,26	€ 183,12
7. Neubau	€ 5.812	€ 15,58	€ 186,96
8. Josefstadt	€ 7.370	€ 14,88	€ 178,56
9. Alsergrund	€ 5.845	€ 14,65	€ 175,80
10. Favoriten	€ 3.893	€ 14,72	€ 176,64
11. Simmering	€ 3.670	€ 12,18	€ 146,16
12. Meidling	€ 4.343	€ 13,66	€ 163,92
13. Hietzing	€ 4.912	€ 15,05	€ 180,60
14. Penzing	€ 4.468	€ 16,51	€ 198,12
15. Fünfhaus	€ 4.364	€ 14,02	€ 168,24
16. Ottakring	€ 4.135	€ 12,75	€ 153,00
17. Hernals	€ 4.163	€ 13,58	€ 162,96
18. Währing	€ 5.843	€ 15,16	€ 181,92
19. Döbling	€ 6.172	€ 15,77	€ 189,24
20. Brigittenau	€ 4.271	€ 13,19	€ 158,28

*4

*5

21. Floridsdorf	€ 4.407	€ 13,87	€ 166,44
22. Donaustadt	€ 4.654	€ 15,95	€ 191,40
23. Liesing	€ 4.123	€ 13,62	€ 163,44

bodengebunden

	Steigerung um	Eigentum	Miete
		<i>€/m2/Jahr</i>	<i>€/m2/Jahr</i>
1. Innere Stadt	1,0%	€ 123,32	2,31 €
2. Leopoldstadt	1,0%	€ 48,53	1,81 €
3. Landstraße	1,0%	€ 51,45	1,93 €
4. Wieden	1,0%	€ 79,79	1,91 €
5. Margareten	1,0%	€ 49,51	1,83 €
6. Mariahilf	1,0%	€ 59,79	1,83 €
7. Neubau	1,0%	€ 58,12	1,87 €
8. Josefstadt	1,0%	€ 73,70	1,79 €
9. Alsergrund	1,0%	€ 58,45	1,76 €
10. Favoriten	1,5%	€ 58,40	2,65 €
11. Simmering	1,5%	€ 55,05	2,19 €
12. Meidling	1,5%	€ 65,15	2,46 €
13. Hietzing	1,5%	€ 73,68	2,71 €
14. Penzing	1,5%	€ 67,02	2,97 €
15. Fünfhaus	1,5%	€ 65,46	2,52 €
16. Ottakring	1,5%	€ 62,03	2,30 €
17. Hernals	1,5%	€ 62,45	2,44 €
18. Währing	1,5%	€ 87,65	2,73 €
19. Döbling	1,5%	€ 92,58	2,84 €
20. Brigittenau	1,5%	€ 64,07	2,37 €
21. Floridsdorf	1,5%	€ 66,11	2,50 €
22. Donaustadt	1,5%	€ 69,81	2,87 €
23. Liesing	1,5%	€ 61,85	2,45 €

fassadengebunden

	Steigerung um	Eigentum	Miete
		<i>€/m2/Jahr</i>	<i>€/m2/Jahr</i>
1. Innere Stadt	2,0%	€ 246,64	4,62 €
2. Leopoldstadt	2,0%	€ 97,06	3,63 €
3. Landstraße	2,0%	€ 102,90	3,86 €
4. Wieden	2,0%	€ 159,58	3,83 €
5. Margareten	2,0%	€ 99,02	3,66 €
6. Mariahilf	2,0%	€ 119,58	3,66 €
7. Neubau	2,0%	€ 116,24	3,74 €
8. Josefstadt	2,0%	€ 147,40	3,57 €
9. Alsergrund	2,0%	€ 116,90	3,52 €
10. Favoriten	2,5%	€ 97,33	4,42 €
11. Simmering	2,5%	€ 91,75	3,65 €
12. Meidling	2,5%	€ 108,58	4,10 €
13. Hietzing	2,5%	€ 122,80	4,52 €
14. Penzing	2,5%	€ 111,70	4,95 €
15. Fünfhaus	2,5%	€ 109,10	4,21 €
16. Ottakring	2,5%	€ 103,38	3,83 €
17. Hernals	2,5%	€ 104,08	4,07 €
18. Währing	2,5%	€ 146,08	4,55 €
19. Döbling	2,5%	€ 154,30	4,73 €

20. Brigittenau	2,5%	€ 106,78	3,96 €
21. Floridsdorf	2,5%	€ 110,18	4,16 €
22. Donaustadt	2,5%	€ 116,35	4,79 €
23. Liesing	2,5%	€ 103,08	4,09 €

ENERGIEEINSPARUNG			
Energiepreis			
Verbrauchspreis Strom		0,074734 €/kWh	*6
Verbrauchspreis Gas		0,037524 €/kWh	*7
Einsparung Kühlperiode			
bodengebunden		10%	
fassadengebunden		20%	
Kühlgradtage			
Durchschnitt 2012-2017		386 Kd	
Einsparung Heizperiode			
U-Wert Bestand		1,35 W/m2K	
	R-Verbesserung	U-Wert Neu	
	in m2K/W	in W/m2K	
bodengebunden	0,09	1,20	
modular	20%	1,08	
troggebunden	20%	1,08	
Platten	25%	1,01	
Heizgradtage			
1. Innere Stadt		2.767,7 Kd	*8
2. Leopoldstadt		2.767,7 Kd	
3. Landstraße		2.762,5 Kd	
4. Wieden		2.748,2 Kd	
5. Margareten		2.770,6 Kd	
6. Mariahilf		2.764,6 Kd	
7. Neubau		2.795,6 Kd	
8. Josefstadt		2.877,2 Kd	
9. Alsergrund		2.936,4 Kd	
10. Favoriten		2.941,9 Kd	
11. Simmering		2.856,2 Kd	
12. Meidling		2.804,5 Kd	
13. Hietzing		3.004,5 Kd	
14. Penzing		3.034,4 Kd	
15. Fünfhaus		2.810,4 Kd	
16. Ottakring		2.893,3 Kd	
17. Hernals		2.926,5 Kd	
18. Währing		3.011,3 Kd	
19. Döbling		3.011,3 Kd	
20. Brigittenau		2.911,2 Kd	
21. Floridsdorf		2.910,2 Kd	
22. Donaustadt		2.898,2 Kd	
23. Liesing		3.062,0 Kd	

SOZIALE NUTZEN		
CO2		
CO2-Zertifikatpreis	20,00 \$/t	
Wechselkurs \$-€	0,85 €/€	*9
Feinstaub		
Cost Factor 2002	450.000,00 €/t	*10
nach Anpassung	641.250,00 €/t	
(Jahresmittelwert 2015)	23,00 mikrogramm/m3	*11
Einsparung durch Begrünung	23%	
Einsparung durch Begrünung	0,0034 €/m2/Jahr	
NOx		
Cost factor 2002	4.300,00 €/t	*12
nach Anpassung	6.127,50 €/t	
Einsparung durch Begrünung	0,18 kg/m2	
Einsparung durch Begrünung	1,09 €/m2/Jahr	
Lärm		
Cost Factor 2002	10,10 €/dB/Person/Jahr	*13
nach Anpassung	14,39 €/dB/Person/Jahr	
Lärmreduktion bodengebunden	1,00 dB	
Einsparung durch Lärmreduktion bodengebunden	14,39 €/Person/Jahr	
Lärmreduktion durch Begrünung	1,80 dB	*14
Einsparung durch Lärmreduktion	25,89 €/Person/Jahr	
betroffene Personen (2/Haushalt)	26 Personen	

*1 <https://www.oenb.at/Publikationen/Volkswirtschaft/inflation-aktuell.html> (Stand Juli 2017)

*2 http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/volkswirtschaftliche_gesamtrechnungen/bruttoinlandsprodukt_und_hauptaggregate/index.html (Stand September 2017)

*3 <https://www.wien.gv.at/amtshelfer/bauen-wohnen/wasserwerk/wasseranschluss/wassergebuehr.html> (Stand September 2017)

*4 <http://immopreise.at/Wien/Wohnung/Miete> (Stand Juni 2017)

*5 <http://immopreise.at/Wien/Wohnung/Eigentum> (Stand Juni 2017)

*6 <https://www.wienenergie.at/eportal3/ep/programView.do/pageTypeld/67825/programld/72008/channelld/-50041> (Stand 10.08.17)

*7 <https://www.wienenergie.at/eportal3/ep/contentView.do/pageTypeld/67825/programld/71996/contentTypeld/1001/channelld/-50046/contentld/75122> (Stand 10.08.17)

*8 <https://www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/klimadatenrechner/Seiten/default.aspx> (Stand September 2017)

*9 https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html (Stand August 2017)

*10 P.Bickel et al.(2006): HEATCO - Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment. Deliverable 5.

*¹¹ http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftguete_aktuell/tgl_bericht/
(Stand August 2017)

*¹² P.Bickel et al.(2006): HEATCO - Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment. Deliverable 5.

*¹³ P.Bickel et al.(2006): HEATCO - Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment. Deliverable 5.

*¹⁴ Van Renterghem et al. (2013): The potential of building envelope greening to achieve quietness.

*¹⁵ <https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/tarife/bauschutt-aushub.html> (Stand:Oktober 2017)

D Ergebnisse Variante A

ALLGEMEINE ANGABEN		
geplante Nutzungsdauer		50 Jahre
Kalkulationszinssatz, wenn abweichend zu Basiszinssatz der Österreichischen Nationalbank*		%
Standort des Gebäudes	4. Wieden	
Breite der zu begrünenden Fläche		22 m
Höhe der zu begrünenden Fläche		14 m
Größe der notwendigen Aussparungen in der Begrünung (Fenster etc.)		50 m ²
Eigennutzung oder Vermietung	Vermietung	
angrenzende Nutzfläche		360 m ²
Anzahl der angrenzenden Wohnungen		13
Lärmbelastung am Gebäudestandort durch Straßenverkehr	50 - 70 dB	
Ist das Gebäude im Eigentum von öffentlichen Rechtsträgern (z. B. Wiener Wohnen)?	nein	
Befindet sich das Gebäude innerhalb der Widmungskategorie W oder GB mit den BK II, III, IV, V und VI? **	ja	
Ist bereits eine Klimaanlage vorhanden?	nein	
Welcher Energieträger wird für die Kühlung verwendet?	Strom	
Welcher Energieträger wird für die Heizung verwendet?	Gas	
U-Wert der Außenwand		1,35 W/m ² *K

Lärmbelastung prüfen unter:

http://maps.laerminfo.at/?g_card=strasse_24h

Flächenwidmung prüfen unter:

<https://www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/>

--- falls U-Wert nicht bekannt ---

* Kalkulationszinssatz: Zinssatz, zu dem das vorhandene Kapital außerhalb dieser Investition angelegt werden könnte
** Bauklassen gemäß Wiener Bauordnung
Bauklasse I -- mindestens 2,5 m und nicht höher als die Straßenbreite + 2 m, höchstens 9 m
Bauklasse II -- mindestens 2,5 m und nicht höher als die Straßenbreite + 2 m, höchstens 12 m
Bauklasse III -- mindestens 9 m und nicht höher als die Straßenbreite + 3 m, höchstens 16 m
Bauklasse IV -- mehr als 12 m und nicht höher als die Straßenbreite + 3 m wenn die Straßenbreite gleich oder kleiner 15 m ist, ab 15 m Straßenbreite gilt Straßenbreite + 4 m, höchstens 21 m
Bauklasse V -- mehr als 16 m und nicht höher als die zweifache Straßenbreite, höchstens 26 m
Bauklasse VI -- mehr als 26 m und nicht höher als die zweifache Straßenbreite
ab 35 m wird das Gebäude als Hochhaus bezeichnet

Wandaufbau			
bei zutreffenden Baustoffen die Bauteildicke eingeben			
	Dicke	λ	R
	in cm	in W/mK	in m ² K/W
Stahlbeton		2,5	0,00
Ziegel		0,55	0,00
Dämmung		0,04	0,00
abgeschätzter U-Wert		0,00	W/m²*K

Ökonomische Auswirkungen -- Bodengebundene Fassadenbegrünung

KOSTEN

persönliche Kosten

Errichtung	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €/m	Kosten diskontiert in €/m	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Kletterpflanzen	einmalig	0	0	25,00 €	25,00 €	
Rankhilfen (Kosten/m2)	einmalig	0	0	50,00 €	50,00 €	
Gesamtkosten Errichtung					25,00 €	13.450,00 €

Instandhaltung, Wartung, Pflege	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €/m	Kosten diskontiert in €/m	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Laubsammeln & Zurückschneiden	jährlich	1	3	6,00 €	18,97 €	
		4	50	8,00 €	807,32 €	
Wartung der Rankhilfen	einmalig	20	20	25,00 €	42,07 €	
	einmalig	40	40	25,00 €	70,79 €	
Putzsanierung (Kosten/m2)	einmalig	50	50	35,00 €	128,57 €	
Gesamtkosten Instandhaltung					826,29 €	80.466,67 €

Abbruch und Entsorgung	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €/m2	Kosten diskontiert in €/m2	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch und Entsorgung der Pflanzenteile	einmalig	50	50	5,00 €	18,37 €	
Abbruch und Entsorgung der Kletterhilfen	einmalig	50	50	5,00 €	18,37 €	
Gesamtkosten Entsorgung					36,73 €	9.477,17 €

Gesamtkosten persönlich

103.393,84 €

soziale Kosten

Fördermittel	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €	Kosten diskontiert in €	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Förderungen durch die Stadt Wien	einmalig	0	0	2.200,00 €	2.200,00 €	
Gesamtkosten Fördermittel					2.200,00 €	2.200,00 €

Gesamtkosten sozial

2.200,00 €

GESAMTKOSTEN

105.593,84 €

Ökonomische Auswirkungen -- Bodengebundene Fassadenbegrünung

NUTZEN

persönlicher Nutzen

Immobilienpreissteigerung	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² Fläche/Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ² Nutzfläche	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Erhöhung Mieteinnahmen	jährlich	10	50	1,91 €	179,42 €	
Wertsteigerung der Immobilie	einmalig	10	10	79,79 €	103,50 €	
Gesamtnutzen Immobilienpreissteigerung					282,93 €	101.854,62 €

Energieeinsparung Kühlperiode	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² Fläche/Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	10	50	0,39 €	36,77 €	
Gesamtnutzen Energieeinsparung Kühlung					36,77 €	13.237,36 €

Energieeinsparung Heizperiode	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	10	50	0,36 €	33,96 €	
Gesamtnutzen Energieeinsparung Heizung					33,96 €	8.760,75 €

Langlebigkeit	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ²	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	einmalig	30	30	35,00 €	76,40 €	
Gesamtnutzen Langlebigkeit					76,40 €	19.711,66 €

Fördermittel	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €	Nutzen diskontiert in €	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Förderungen durch die Stadt Wien	einmalig	0	0	2.200,00 €	2.200,00 €	
Gesamtnutzen Fördermittel					2.200,00 €	2.200,00 €

Gesamtnutzen persönlich

145.764,38 €

sozialer Nutzen

NOx-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	10	50	1,09 €	102,02 €	
Gesamtnutzen NOx-Reduktion					102,02 €	26.320,96 €

CO2-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	10	50	0,0043 €	0,4033 €	
Gesamtnutzen CO2-Reduktion					0,4033 €	104,06 €

Feinstaub-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	10	50	0,0034 €	0,3189 €	
Gesamtnutzen Feinstaub-Reduktion					0,3189 €	82,28 €

Lärm-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/Person/Jahr	Nutzen diskontiert in €/Person	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	10	50	14,39 €	1.349,38 €	
Gesamtnutzen Lärm-Reduktion					1.349,38 €	35.083,92 €

Gesamtnutzen sozial

61.591,22 €

GESAMTNUTZEN

207.355,61 €

Ökonomische Auswirkungen -- Modulares Begrünungssystem

KOSTEN

persönliche Kosten

Errichtung	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €/m ²	Kosten diskontiert in €/m ²	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Fassadenkorb inkl. Bewässerungssystem	einmalig	0	0	1.000,00 €	1.000,00 €	
Unterkonstruktion	einmalig	0	0	25,00 €	25,00 €	
Gesamtkosten Errichtung					1.025,00 €	264.450,00 €

Instandhaltung, Wartung, Pflege	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €/m ²	Kosten diskontiert in €/m ²	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Wartung und Pflanzentausch bzw. -ersatz	jährlich	1	50	50,00 €	5.203,79 €	
Bewässerung	jährlich	1	50	1,70 €	176,65 €	
Erneuerung der Fassadenkörbe	einmalig	30	30	1.000,00 €	2.182,91 €	
Erneuerung des Bewässerungssystems	einmalig	7	7	50,00 €	59,99 €	
	einmalig	14	14	50,00 €	71,98 €	
	einmalig	21	21	50,00 €	86,36 €	
	einmalig	28	28	50,00 €	103,61 €	
	einmalig	37	37	50,00 €	130,95 €	
	einmalig	44	44	50,00 €	157,12 €	
Gesamtkosten Instandhaltung					8.173,35 €	2.108.724,67 €

Abbruch und Entsorgung	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €/m ²	Kosten diskontiert in €/m ²	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	16,00 €	58,77 €	
Entsorgung	einmalig	50	50	19,94 €	73,24 €	
Gesamtkosten Entsorgung					132,01 €	34.059,81 €

Gesamtkosten persönlich

2.407.234,48 €

soziale Kosten

Fördermittel	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €	Kosten diskontiert in €	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Förderungen durch die Stadt Wien	einmalig	0	0	2.200,00 €	2.200,00 €	
Gesamtkosten Fördermittel					2.200,00 €	2.200,00 €

Gesamtkosten sozial

2.200,00 €

GESAMTKOSTEN

2.409.434,48 €

Ökonomische Auswirkungen -- Modulares Begrünungssystem

NUTZEN

persönlicher Nutzen

Immobilienpreissteigerung	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² Fläche/Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ² Nutzfläche	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Erhöhung Mieteinnahmen	jährlich	1	50	3,83 €	398,15 €	
Wertsteigerung der Immobilie	einmalig	1	1	159,58 €	163,79 €	
Gesamtnutzen Immobilienpreissteigerung					561,94 €	202.298,32 €

Energieeinsparung Kühlperiode	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² Fläche/Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	0,78 €	82,39 €	
Gesamtnutzen Energieeinsparung Kühlung					82,39 €	29.660,40 €

Energieeinsparung Heizperiode	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	1,60 €	168,04 €	
Gesamtnutzen Energieeinsparung Heizung					168,04 €	43.353,64 €

Langlebigkeit	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ²	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	einmalig	30	30	35,00 €	76,40 €	
Gesamtnutzen Langlebigkeit					76,40 €	19.711,66 €

Fördermittel	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €	Nutzen diskontiert in €	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Förderungen durch die Stadt Wien	einmalig	0	0	2.200,00 €	2.200,00 €	
Gesamtnutzen Fördermittel					2.200,00 €	2.200,00 €

Gesamtnutzen persönlich

297.224,02 €

sozialer Nutzen

NOx-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	1,09 €	114,28 €	
Gesamtnutzen NOx-Reduktion					114,28 €	29.484,38 €

CO2-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	0,0043 €	0,4518 €	
Gesamtnutzen CO2-Reduktion					0,4518 €	116,57 €

Feinstaub-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	0,0034 €	0,3573 €	
Gesamtnutzen Feinstaub-Reduktion					0,3573 €	92,17 €

Lärm-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/Person/Jahr	Nutzen diskontiert in €/Person	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	25,89 €	2.720,80 €	
Gesamtnutzen Lärm-Reduktion					2.720,80 €	70.740,89 €

Gesamtnutzen sozial

100.434,01 €

GESAMTNUTZEN

397.658,03 €

Ökonomische Auswirkungen -- Troggebundenes Begrünungssystem

KOSTEN

persönliche Kosten

Errichtung	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €/m ²	Kosten diskontiert in €/m ²	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Planung	einmalig	0	0	500,00 €	500,00 €	
Tröge inkl. Bewässerungssystem	einmalig	0	0	850,00 €	850,00 €	
Unterkonstruktion	einmalig	0	0	25,00 €	25,00 €	
Gesamtkosten Errichtung					875,00 €	226.250,00 €

Instandhaltung, Wartung, Pflege	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €/m ²	Kosten diskontiert in €/m ²	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Wartung und Pflanzentausch bzw. -ersatz	jährlich	1	50	42,50 €	4.423,23 €	
Bewässerung	jährlich	1	50	0,45 €	46,64 €	
Erneuerung der Tröge	einmalig	40	40	850,00 €	2.406,94 €	
Erneuerung des Bewässerungssystems	einmalig	7	7	50,00 €	59,99 €	
	einmalig	14	14	50,00 €	71,98 €	
	einmalig	21	21	50,00 €	86,36 €	
	einmalig	28	28	50,00 €	103,61 €	
	einmalig	35	35	50,00 €	124,31 €	
	einmalig	47	47	50,00 €	169,87 €	
Gesamtkosten Instandhaltung					7.492,92 €	1.933.174,27 €

Abbruch und Entsorgung	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €/m ²	Kosten diskontiert in €/m ²	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Entsorgung	einmalig	50	50	5,51 €	20,23 €	
Abbruch	einmalig	50	50	16,00 €	58,77 €	
Gesamtkosten Entsorgung					79,00 €	20.382,08 €

Gesamtkosten persönlich

2.179.806,34 €

soziale Kosten

Fördermittel	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €	Kosten diskontiert in €	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Förderungen durch die Stadt Wien	einmalig	0	0	2.200,00 €	2.200,00 €	
Gesamtkosten Fördermittel					2.200,00 €	2.200,00 €

Gesamtkosten sozial

2.200,00 €

GESAMTKOSTEN

2.182.006,34 €

Ökonomische Auswirkungen -- Troggebundenes Begrünungssystem

NUTZEN

persönlicher Nutzen

Immobilienpreissteigerung	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² Fläche/Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ² Nutzfläche	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Erhöhung Mieteinnahmen	jährlich	1	50	3,83 €	398,15 €	
Wertsteigerung der Immobilie	einmalig	1	1	159,58 €	163,79 €	
Gesamtnutzen Immobilienpreissteigerung					561,94 €	202.298,32 €

Energieeinsparung Kühlperiode	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² Fläche/Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	0,78 €	82,39 €	
Gesamtnutzen Energieeinsparung Kühlung					82,39 €	29.660,40 €

Energieeinsparung Heizperiode	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	1,07 €	112,65 €	
Gesamtnutzen Energieeinsparung Heizung					112,65 €	29.064,18 €

Langlebigkeit	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ²	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	einmalig	30	30	35,00 €	76,40 €	
Gesamtnutzen Langlebigkeit					76,40 €	19.711,66 €

Fördermittel	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €	Nutzen diskontiert in €	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Förderungen durch die Stadt Wien	einmalig	0	0	2.200,00 €	2.200,00 €	
Gesamtnutzen Fördermittel					2.200,00 €	2.200,00 €

Gesamtnutzen persönlich

282.934,56 €

sozialer Nutzen

NOx-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	1,09 €	114,28 €	
Gesamtnutzen NOx-Reduktion					114,28 €	29.484,38 €

CO2-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	0,0043 €	0,45 €	
Gesamtnutzen CO2-Reduktion					0,45 €	116,57 €

Feinstaub-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	0,0034 €	0,36 €	
Gesamtnutzen Feinstaub-Reduktion					0,36 €	92,17 €

Lärm-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/Person/Jahr	Nutzen diskontiert in €/Person	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	25,89 €	2.720,80 €	
Gesamtnutzen Lärm-Reduktion					2.720,80 €	70.740,89 €

Gesamtnutzen sozial

100.434,01 €

GESAMTNUTZEN

383.368,57 €

Ökonomische Auswirkungen -- Matten-Begrünungssystem

KOSTEN

persönliche Kosten

Errichtung	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €/m ²	Kosten diskontiert in €/m ²	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Komplettsystem inkl. Bewässerungssystem	einmalig	0	0	1.000,00 €	1.000,00 €	
Unterkonstruktion	einmalig	0	0	25,00 €	25,00 €	
Gesamtkosten Errichtung					1.025,00 €	264.450,00 €

Instandhaltung, Wartung, Pflege	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €/m ²	Kosten diskontiert in €/m ²	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Wartung und Pflanzentausch bzw. -ersatz	jährlich	1	50	50,00 €	5.203,79 €	
Bewässerung	jährlich	1	50	1,86 €	193,58 €	
Erneuerung der Pflanzfasermatte inkl. Pflanz	einmalig	20	20	500,00 €	841,38 €	
	einmalig	40	40	500,00 €	1.415,85 €	
Erneuerung des Bewässerungssystems	einmalig	7	7	50,00 €	59,99 €	
	einmalig	14	14	50,00 €	71,98 €	
	einmalig	21	21	50,00 €	86,36 €	
	einmalig	28	28	50,00 €	103,61 €	
	einmalig	37	37	50,00 €	130,95 €	
	einmalig	44	44	50,00 €	157,12 €	
Gesamtkosten Instandhaltung					8.264,61 €	2.132.269,21 €

Abbruch und Entsorgung	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €/m ²	Kosten diskontiert in €/m ²	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	16,00 €	58,77 €	
Entsorgung	einmalig	50	50	6,79 €	24,93 €	
Gesamtkosten Entsorgung					83,70 €	21.595,53 €

Gesamtkosten persönlich

2.418.314,74 €

soziale Kosten

Fördermittel	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten in €	Kosten diskontiert in €	Kosten gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Förderungen durch die Stadt Wien	einmalig	0	0	2.200,00 €	2.200,00 €	
Gesamtkosten Fördermittel					2.200,00 €	2.200,00 €

Gesamtkosten sozial

2.200,00 €

GESAMTKOSTEN

2.420.514,74 €

Ökonomische Auswirkungen -- Matten-Begrünungssystem

NUTZEN

persönlicher Nutzen

Immobilienpreissteigerung	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² Fläche/Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ² Nutzfläche	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Erhöhung Mieteinnahmen	jährlich	1	50	3,83 €	398,15 €	
Wertsteigerung der Immobilie	einmalig	1	1	159,58 €	163,79 €	
Gesamtnutzen Immobilienpreissteigerung					561,94 €	202.298,32 €

Energieeinsparung Kühlperiode	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² Fläche/Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	0,78 €	82,39 €	
Gesamtnutzen Energieeinsparung Kühlung					82,39 €	29.660,40 €

Energieeinsparung Heizperiode	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	0,84 €	87,77 €	
Gesamtnutzen Energieeinsparung Heizung					87,77 €	22.644,63 €

Langlebigkeit	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ²	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	einmalig	30	30	35,00 €	76,40 €	
Gesamtnutzen Langlebigkeit					76,40 €	19.711,66 €

Fördermittel	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €	Nutzen diskontiert in €	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
Förderungen durch die Stadt Wien	einmalig	0	0	2.200,00 €	2.200,00 €	
Gesamtnutzen Fördermittel					2.200,00 €	2.200,00 €

Gesamtnutzen persönlich

276.515,01 €

sozialer Nutzen

NOx-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	1,09 €	114,28 €	
Gesamtnutzen NOx-Reduktion					114,28 €	29.484,38 €

CO2-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	0,0043 €	0,45 €	
Gesamtnutzen CO2-Reduktion					0,45 €	116,57 €

Feinstaub-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/m ² /Jahr	Nutzen diskontiert in €/m ²	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	0,0034 €	0,36 €	
Gesamtnutzen Feinstaub-Reduktion					0,36 €	92,17 €

Lärm-Reduktion	Häufigkeit	Zeitpunkt		Nutzen in €/Person/Jahr	Nutzen diskontiert in €/Person	Nutzen gesamt in €
		von Jahr	bis Jahr			
	jährlich	0	50	25,89 €	2.720,80 €	
Gesamtnutzen Lärm-Reduktion					2.720,80 €	70.740,89 €

Gesamtnutzen sozial

100.434,01 €

GESAMTNUTZEN

376.949,02 €

ZUSAMMENFASSUNG DER ÖKONOMISCHEN AUSWIRKUNGEN

	GESAMT			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 103.393,84 €	- 2.407.234,48 €	- 2.179.806,34 €	- 2.418.314,74 €
Errichtung	- 13.450,00 €	- 264.450,00 €	- 226.250,00 €	- 264.450,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 80.466,67 €	- 2.108.724,67 €	- 1.933.174,27 €	- 2.132.269,21 €
Abbruch und Entsorgung	- 9.477,17 €	- 34.059,81 €	- 20.382,08 €	- 21.595,53 €
KOSTEN SOZIAL	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €
Fördermittel	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €
KOSTEN GESAMT	- 105.593,84 €	- 2.409.434,48 €	- 2.182.006,34 €	- 2.420.514,74 €

NUTZEN PERSÖNLICH	145.764,38 €	297.224,02 €	282.934,56 €	276.515,01 €
Immobilienpreissteigerung	101.854,62 €	202.298,32 €	202.298,32 €	202.298,32 €
Energieeinsparung Kühlperiode	13.237,36 €	29.660,40 €	29.660,40 €	29.660,40 €
Energieeinsparung Heizperiode	8.760,75 €	43.353,64 €	29.064,18 €	22.644,63 €
Langlebigkeit	19.711,66 €	19.711,66 €	19.711,66 €	19.711,66 €
Fördermittel	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €
NUTZEN SOZIAL	61.591,22 €	100.434,01 €	100.434,01 €	100.434,01 €
NOx-Reduktion	26.320,96 €	29.484,38 €	29.484,38 €	29.484,38 €
CO2-Reduktion	104,06 €	116,57 €	116,57 €	116,57 €
Feinstaub-Reduktion	82,28 €	92,17 €	92,17 €	92,17 €
Lärm-Reduktion	35.083,92 €	70.740,89 €	70.740,89 €	70.740,89 €
NUTZEN GESAMT	207.355,61 €	397.658,03 €	383.368,57 €	376.949,02 €

NUTZEN - KOSTEN GESAMT 101.761,77 € - 2.011.776,45 € - 1.798.637,77 € - 2.043.565,72 €

	PRO M2			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 400,75 €	- 9.330,37 €	- 8.448,86 €	- 9.373,31 €
Errichtung	- 52,13 €	- 1.025,00 €	- 876,94 €	- 1.025,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 311,89 €	- 8.173,35 €	- 7.492,92 €	- 8.264,61 €
Abbruch und Entsorgung	- 36,73 €	- 132,01 €	- 79,00 €	- 83,70 €
KOSTEN SOZIAL	- 8,53 €	- 8,53 €	- 8,53 €	- 8,53 €
Fördermittel	- 8,53 €	- 8,53 €	- 8,53 €	- 8,53 €
KOSTEN GESAMT	- 409,28 €	- 9.338,89 €	- 8.457,39 €	- 9.381,84 €

NUTZEN PERSÖNLICH	564,98 €	1.152,03 €	1.096,65 €	1.071,76 €
Immobilienpreissteigerung	394,79 €	784,10 €	784,10 €	784,10 €
Energieeinsparung Kühlperiode	51,31 €	114,96 €	114,96 €	114,96 €
Energieeinsparung Heizperiode	33,96 €	168,04 €	112,65 €	87,77 €
Langlebigkeit	76,40 €	76,40 €	76,40 €	76,40 €
Fördermittel	8,53 €	8,53 €	8,53 €	8,53 €
NUTZEN SOZIAL	238,73 €	389,28 €	389,28 €	389,28 €
NOx-Reduktion	102,02 €	114,28 €	114,28 €	114,28 €
CO2-Reduktion	0,40 €	0,45 €	0,45 €	0,45 €
Feinstaub-Reduktion	0,32 €	0,36 €	0,36 €	0,36 €
Lärm-Reduktion	135,98 €	274,19 €	274,19 €	274,19 €
NUTZEN GESAMT	803,70 €	1.541,31 €	1.485,92 €	1.461,04 €

NUTZEN - KOSTEN GESAMT 394,43 € - 7.797,58 € - 6.971,46 € - 7.920,80 €

BODENGEBUNDEN

Höhe Modell in m	14
Breite Modell in m	22
Aussparungen Begrünung in m ²	50
Gesamtfläche in m ²	258
Betrachtungszeitraum BZ in Jahre	50

Hinweis

Eingabefelder
Gutschrift
Aufwendungen
Fliewerte nicht änderbar

GRAUE ENERGIE	Anzahl in Stk.	Abmessungen		Dicke in m	Gewicht in kg/m ² in kg/Stk.	Dichte in kg/m ³	Gesamt- fläche in m ²	Gesamt- gewicht in kg	Anteil Masse in %	ND-LD in Jahren	Anzahl der Erneuer- ungen	PEI nicht erneuerbar			PEI erneuerbar					
		in m	in m ²									Herstellung A1-A3 in MJ	Ersatz B4 in MJ	Entsorgung und Recycling C4 und D in MJ	Herstellung A1-A3 in MJ	Ersatz B4 in MJ	Entsorgung und Recycling C4 und D in MJ			
Kleberhilfen aus Edelstahl	28	0,0003 m ²	14	-	-	7850	0,011	87,01	87,22	40	1	5955,55	5955,55	0,00	507,24	507,24	0,00	507,24	507,24	-44,81
Befestigung Schrauben	392	0,0001 m ²	0,05	-	-	7850	0,0015	12,08	12,11	40	1	827,16	827,16	0,00	70,45	70,45	0,00	70,45	70,45	-6,22
Rahmendübel Polyamid	392	0,0004 m ²	0,04 m	-	-	1130	0,0006	0,67	0,67	40	1	76,15	76,15	-30,14	0,35	0,35	-30,14	0,35	0,35	-3,88
Belastung insgesamt im Betrachtungszeitraum:												6858,85 MJ	6858,85 MJ	-30,14 MJ	578,04 MJ	578,04 MJ	-54,91 MJ			
bezogen auf 1 m ² Modulfläche im Betrachtungszeitraum:												137,18 MJ/m ²	137,18 MJ/m ²	-0,60 MJ/m ²	11,56 MJ/m ²	11,56 MJ/m ²	-1,10 MJ/m ²			
2,00 kg/m ²												38,10 kWh/m ²	38,10 kWh/m ²	-0,17 kWh/m ²	3,21 kWh/m ²	3,21 kWh/m ²	-0,31 kWh/m ²			

BODENGEBUNDEN

Wasserverbrauch im Jahr	0,00
Wasserverbrauch im Jahr pro m ²	0,00
Wasserverbrauch durchschnittlich am Tag	0,00
Wasserverbrauch durchschnittlich am Tag pro m ²	0,00

Gesamtmasse in g/ Pflanze	68,11
Gesamtes CO2 in g/Pflanze	-14,02
30% Anteil Neubildung pro Ja	-4,21
Anzahl Pflanzen/m2	0,00

	Anzahl in Stk.	Frischmasse Pflanzen gesamt in g	Gespeichertes CO ₂ Neue Pflanze in g	Gespeichertes CO ₂ Neubildung pro Jahr 30% in g	ND-LD in a	Anzahl der Erneuer- ungen	Gespeichertes CO ₂ pro Betrachtungszeitraum in g	Gespeichertes CO ₂ pro Betrachtungszeitraum in kg
CO2 Bindung								
Pflanzen	0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	15	0,00	0,00

bezogen auf 1m² Modulfläche im Betrachtungszeitraum:

BODENGEBUNDEN

Bauteile	CO ₂ -Äquivalent			SO ₂ -Äquivalent			PEI nicht ern.	PEI ern.	CO ₂ -Äqu. in kg	SO ₂ -Äqu. in kg	Material Zusatzzangaben	Quelle Material
	Herstellung A1-A3 in kg	Ersatz B4 in kg	Entsorgung und Recycling C4 und D in kg	Herstellung A1-A3 in kg	Ersatz B4 in kg	Entsorgung und Recycling C4 und D in kg						
Kletterhilfen aus Edelstahl	253,19	253,19	310,44	0,63	0,63	1,19	11,911,09	969,68	816,81	2,44	478g/m, Alu-Legierung ER-AMZ-3053 T06	Profil MFT-L 60x40 2,0 E K
Befestigung Schrauben	35,16	35,16	43,12	0,09	0,09	0,17	1,654,32	134,68	113,45	0,34		Isolation MFT-ISO M
Rahmendübel Polyamid	6,14	6,14	1,25	0,02	0,02	0,00	122,15	-3,19	13,52	0,04	Rahmendübel HRD-H 10x60 Polyamid	
	294,49 kg	294,49 kg	354,80 kg	0,73 kg	0,73 kg	1,35 kg	13687,56 MJ	1101,17 MJ	943,76 kg	2,92 kg		
	5,89 kg/m ²	5,89 kg/m ²	7,10 kg/m ²	0,01 kg/m ²	0,01 kg/m ²	0,03 kg/m ²	273,75 MJ/m ²	22,02 MJ/m ²	18,86 kg/m ²	0,06 kg/m ²		
							76,04 kWh/m ²	6,12 kWh/m ²				
							3802,10 kWh	305,88 kWh				

MODULAR

Anzahl Modul Spalten a_s in Stk.	36, 7 Stk.	Tropfschlauch Außendurchmesser d_a in mm	8,0 mm	Betrachtungszeitraum BZ in Jahre	50 Jahre
Anzahl Modul Reihen a_r in Stk.	14,0 Stk.	Tropfschlauch Innendurchmesser d_i in mm	6,5 mm	Photovoltaik Gesamtfäche in m ²	0,00 m ²
Modulhöhe h in m	1,0 m	Entwässerungsrinne JÄNEIN?	0,00 m ²	Gesamtmodulanzahl in Stk.	430 Stk.
Modulbreite b in m	0,6 m	Photovoltaikanlage Fläche A_p pro Modul in m ²	0,00 m ²	Modulgröße in m ²	0,60 m ²
Moduldicke d in cm	6,0 cm	Photovoltaikanlage Anzahl Module in Stk.	0 Stk.	Höhe Modell	14,0 m
Unterkonstruktion Querschnittsfläche A_u in cm ²	3,36 cm ²	Photovoltaikanlage Gewicht G_p in kg/Stk.	29,0 kg/Stk.	Breite Modell	22,0 m
Dübelanzahl a_b in Stk./in Unterkonstruktion	2,0 Stk./in	Wechsellichter Gewicht G_w in kg	16,8 kg/Stk.	Gesamtfläche in m ²	258,00 m ²

Netz	Lebensdauer • 30 Jahre laut Hersteller • Tropfschläuche: Lebensdauer wurde gleich wie bei Grünwand gewählt Pflanzen pro Modul 18 Pflanzen: rund 30 Pflanzen pro m ²
Hinweis	Eingabefelder Gutschrift Aufwendungen Fixwerte nicht änderbar

GRAUE ENERGIE	Anzahl in Stk.	Abmessungen in m	Dicke in m	Gewicht in kg/m ² in kg/Stk.	Dichte in kg/m ³	Gesamt- fläche in m ²	Gesamt- gewicht in kg	Anteil Masse in %	ND-LD in Jahren	Anzahl der Erneuer- ungen	PEI nicht erneuerbar			PEI erneuerbar			
											Herstellung A1-A3 in MJ	Ersatz B4 in MJ	Entsorgung und Recycling C4 und D in MJ	Herstellung A1-A3 in MJ	Ersatz B4 in MJ	Entsorgung und Recycling C4 und D in MJ	
Unterkonstruktion	73	14,0	-	-	7850	0,000336	2707,94	12,46	30	1	48201,261	48201,261	-39048,437	2274,666	2274,666	500,427	
Rahmendübel HRD-H 10x80 Stahl	2053	-	-	0,05	7850	-	102,67	0,47	30	1	4250,400	4250,400	3222,707	598,547	598,547	-52,873	
Einhängeschienen	15	0,415	0,002	-	2700	143,798	776,51	3,57	30	1	116864,228	116864,228	-179864,875	33335,424	33335,424	-53670,287	
Einhängekonstruktion für Kassetten	430	-	0,002	-	2700	310,469	1676,53	7,72	30	1	246952,934	246952,934	-387908,706	70363,983	70363,983	-115877,807	
gelochte Frontseite*	430	1,12	0,002	-	2700	97,091	524,29	2,41	30	1	77227,773	77227,773	-121307,834	22004,410	22004,410	-36237,614	
Pulverbeschichtung Frontseite beidseitig*	860	1,12	0,72	0,18 kg/m ²	-	194,181	34,95	0,16	30	1	13291,698	13291,698	0,000	1505,486	1505,486	0,000	
Rückseite	430	1,12	0,002	-	2700	346,752	1872,46	8,62	30	1	275813,476	275813,476	-433242,285	78587,180	78587,180	-129420,049	
Pulverbeschichtung Rückseite	860	1,12	0,72	0,18 kg/m ²	-	693,504	124,83	0,57	30	1	47470,349	47470,349	0,000	5376,737	5376,737	0,000	
Seitenleiste	2	4,20	0,06	-	2700	0,504	2,72	0,01	30	1	400,892	400,892	-629,713	114,226	114,226	-188,111	
Pulverbeschichtung Seitenleiste	4	4,20	0,06	0,18 kg/m ²	-	1,008	0,18	0,00	30	1	68,998	68,998	0,000	7,815	7,815	0,000	
Kapillaraugvlies	430	1,00	0,6	0,0036	-	258	129,00	0,59	30	1	12680,700	12680,700	-5821,512	736,590	736,590	-749,155	
Substratschicht	430	1,00	0,6	0,0364	-	258	8452,08	38,90	30	1	2603,241	2603,241	0,000	26,455	26,455	0,000	
Deckschicht (Lava)	430	1,00	0,6	0,02	-	258	5263,20	24,23	30	1	1621,066	1621,066	0,000	16,474	16,474	0,000	
Pflanzentopf	2580	0,06	-	-	980	0,588240	34,59	0,16	30	1	57,293	57,293	-1580,910	0,219	0,219	-200,869	
Tropfschläuche	7	36	-	-	920	0,000478	15,84	0,07	7	7	1279,363	8955,542	-2859,569	48,554	339,880	-367,993	
T-Stück	5	-	-	0,03 kg/Stk.	910	-	0,15	0,00	7	7	14,445	101,115	-27,077	0,530	3,707	-3,484	
Winkelstück	2	-	-	0,02 kg/Stk.	910	-	0,04	0,00	7	7	3,852	26,964	-7,220	0,141	0,988	-0,929	
Endstopfen	7	-	-	0,01 kg/Stk.	910	-	0,07	0,00	7	7	6,741	47,187	-12,636	0,247	1,730	-1,626	
Entwässerungsrinne	1	0,317	26,4	0,001	910	8,3688	7,62	0,04	20	2	849542,09 MJ	658 101,88 MJ	-1169383,56 MJ	215024,57 MJ	215348,28 MJ	-66,340	
Belastung insgesamt im Betrachtungszeitraum:											21725,66 kg	100 %					
bezogen auf 1m ² Modulfläche im Betrachtungszeitraum:											84,21 kg/m ²						
* abzüglich Lochanteil von 72%																	

* abzüglich Lochanteil von 72%

MODULAR

Bauteile	CO ₂ -Äquivalent			SO ₂ -Äquivalent			Entsorgung und Recycling C4 und D	PEI nicht erm. in MJ	PEI erm. in MJ	CO ₂ -Äqu. in kg	So ₂ -Äqu. in kg	Material Zusatzangaben	Quelle Material
	Herstellung A1-A3 in kg	Ersatz B4 in kg	Entsorgung und Recycling C4 und D in kg	Herstellung A1-A3 in kg	Ersatz B4 in kg	Entsorgung und Recycling C4 und D in kg							
Unterkonstruktion	4698,269	4698,269	-5.193,821	9,532	9,532	-7,149	57354,08	5049,76	4202,72	11,91	11,91	Halfensiene Stahl	Begleichung vor Ort
Rahmendübel HRD-H 10x80 Stahl	298,760	298,760	366,315	0,739	0,739	1,403	11723,51	1144,22	963,83	2,88	2,88	Nichrostender Stahl M12	Annahme
Einhängeschienen	8487,216	8487,216	-13132,453	35,642	35,642	-58,292	54063,58	13000,56	3841,98	12,99	12,99	Aluminium Spezialprofil	FBK
Einhängekonstruktion für Kassetten	17922,110	17922,110	-28353,861	76,567	76,567	-125,856	105907,16	24850,16	7490,36	27,28	27,28	Aluminium	Hersteller Fricke
gelochte Frontseite*	5604,650	5604,650	-8866,894	23,944	23,944	-39,358	33147,71	7771,21	2942,41	8,53	8,53	Aluminiumblech gelocht	FBK
Pulverbeschichtung Frontseite beidseitig *	966,634	966,634	0,000	4,173	4,173	0,000	26583,40	3010,97	1933,27	8,35	8,35	Aluminiumblech pulverbeschichtet beidseitig	FBK
Rückseite	20016,506	20016,506	-31667,479	85,515	85,515	-140,564	118384,69	27754,31	8365,73	30,47	30,47	Aluminiumblech	FBK
Pulverbeschichtung Rückseite	3452,263	3452,263	0,000	14,903	14,903	0,000	94940,70	10753,47	6804,53	29,81	29,81	Aluminiumblech pulverbeschichtet beidseitig	FBK
Seitenleiste	29,094	29,094	-46,028	0,124	0,124	-0,204	172,07	40,34	12,16	0,04	0,04	Aluminiumblech	FBK
Pulverbeschichtung Seitenleiste	5,018	5,018	0,000	0,022	0,022	0,000	138,00	15,63	10,04	0,04	0,04	Aluminiumblech pulverbeschichtet beidseitig	FBK
Kapillaraugvlies	719,820	719,820	241,230	3,083	3,083	-0,337	19539,89	724,03	1680,87	5,83	5,83	Saug- und Kapillarlvlies RMS 500 KPES	Optigrün "Systemlösung Fassadengarten"
Substratschicht	182,565	182,565	0,000	0,575	0,575	0,000	5206,48	52,91	365,13	1,15	1,15	Intensivsubstrat Typ 1	Annahme (mit Absprache BOKU)
Deckschicht (Lava)	113,685	113,685	0,000	0,358	0,358	0,000	3242,13	32,95	227,37	0,72	0,72	Lava	FBK
Pflanzenstopf	85,973	85,973	64,681	0,281	0,281	-0,090	-1446,32	-200,43	236,63	0,47	0,47	HDPE-Kunststoff	FBK
Tropfschläuche	35,469	248,285	118,495	0,063	0,440	-0,166	7375,32	20,44	402,25	0,34	0,34	Polyethylen 16mm	MVA
T-Stück	0,513	3,591	1,122	0,002	0,013	-0,002	88,48	0,75	5,23	0,01	0,01	Polypropylen	Annahme
Winkelstück	0,137	0,958	0,299	0,001	0,004	0,000	23,60	0,20	1,39	0,00	0,00	Polypropylen	Annahme
Endstopfen	0,239	1,676	0,524	0,001	0,006	-0,001	41,29	0,35	2,44	0,01	0,01	Polypropylen	Annahme
Entwässerungsrinne	26,045	52,091	21,362	0,097	0,195	-0,030	1684,63	14,31	99,50	0,26	0,26	Polypropylen	Annahme
	62845,07 kg	62889,26 kg	-86446,51 kg	255,62 kg	256,12 kg	-370,64 kg	538260,39 MJ	94036,14 MJ	38087,82 kg	141,09 kg	141,09 kg		FBK... Datenblatt Optigrün Fassadenbegrünungskassette
	242,81 kg/m ²	243,76 kg/m ²	-335,06 kg/m ²	0,99 kg/m ²	0,99 kg/m ²	-1,44 kg/m ²	2086,28 MJ/m ²	384,48 MJ/m ²	151,50 kg/m ²	0,55 kg/m ²	0,55 kg/m ²		MVA... Montage- und Vergegenleistung Optigrün Fassadengarten

579,52 kWh/m ²	101,24 kWh/m ²
149516,77 kWh	26121,15 kWh

SKV... Datenblatt Optigrün "Saug- und Kapillarlvlies RMS 500K"

TROGGEBUNDEN

	42 Reihen	8 mm	Hohe Modell	14,00 m	Eintragsfelder
Anzahl Trogstellen n_t in Reihen	9,4	6,50 mm	Breite Modell	22,00 m	Gulsschrift
Anzahl Tröge pro Reihe a in Stk.	2,33 m	50,00 m ²	Gesamtanzahl Tröge	315 Stk.	Aufwendungen
Troglänge l_t in m	0,28 m	50 Jahre	Gesamttröglänge abzüglich Anteil Fenster	774,00 m	Fixwerte nicht änderbar
Troghöhe h_t in m	0,50 m	Bewässerung beidseitig?	Gesamtfläche	308,00 m ²	
Trog Abwicklungslänge (Querschnitt) l_q in m	2 mm	0,00 m ²	Gesamtfläche abzüglich Fensterfläche	288,00 m ²	
Trog Materialstärke d_t in mm	105 cm ²	0 Stk.	Prozentanteil Abzüge zu Gesamtfläche	16,23%	
Trog Querschnittsfläche (Seitenanteile) A_s in cm ²	0,30 m	29,0 kg/Stk.	Photovoltaik Gesamtfläche in m ²	0,00 m ²	
Vlies Abwicklungslänge l_v in m	72 cm ²	16,8 kg/Stk.	Photovoltaik Gesamtfläche in m ²	0,00 m ²	
Substrat Querschnittsfläche A_s in cm ²					

Notiz
 Lebensdauer
 • mind. 40 Jahre laut Hersteller
 • Tropfschleuche laut Hersteller 7 Jahre für Außenmodelle inkl. aller T-Stücke, Winkelstücke, Endstapfen, weitere Schlauche + Substrat
 Pflanzen
 pro Trog ca. 19 Pflanzen; rund 30 Pflanzen pro m²
 rund 8 Pflanzen pro m Trog

GRAUE ENERGIE	Anzahl in Stk.	Abmessungen in m ² in m	Dicke in m	Gewicht in kg/m ² in kg/Stk.	Dichte in kg/m ³	Gesamtfläche in m ²	Gesamtgewicht in kg	Anteil Masse in %	ND-LD in Jahren	PEI nicht erneuerbar			PEI erneuerbar			
										Anzahl der Erneuerungen	Herstellung A1-A3 in MJ	Ersatz B4 in MJ	Entsorgung und Recycling C4 und D in MJ	Herstellung A1-A3 in MJ	Ersatz B4 in MJ	Entsorgung und Recycling C4 und D in MJ
Trog*	315	0,50 m 2,33 m	0,002	-	2680	366,5007136	1633,26	25,17	40	1	245805,70	245805,70	-377897,07	70115,87	70115,87	-112887,09
Seitenfläche*	944	0,0105 m ²	0,002	-	2680	9,5091675948	44,16	0,88	40	1	6646,25	6646,25	-10217,82	1895,84	1895,84	-3052,31
Schnellbohrschrauben	1879	-	-	0,009 kg/Stk.	-	-	16,91	0,26	40	1	700,12	700,12	530,84	98,59	98,59	-8,71
Vlies*	315	0,30 m	-	0,80 kg/m ²	-	184,2020067	147,96	2,27	40	1	8355,42	8355,42	-8312,68	290,12	290,12	-1069,74
Substrat 50% Recyclingziegel + 50% Planenerde* abzüglich Wurzelemente (Zentr. pro Pflanze)	315	-	2,33 m	-	1000	0,0072	4258,77	65,63	7	7	1311,70	9181,90	0,00	13,33	93,31	0,00
Profil MFT-L 60x40 2,0 E K	440	1,00 m	-	-	2390	0,0002	210,48	3,24	40	1	31677,31	31677,31	-48700,10	9035,93	9035,93	-14547,91
Konsole MFT-MF 040 M 11	911	-	-	0,066 kg/Stk.	-	-	60,13	0,83	40	1	9048,96	9048,96	-13911,71	2581,21	2581,21	-4155,77
Isolation MFT - ISO M	911	-	-	0,019 kg/Stk.	-	-	17,31	0,27	40	1	977,96	977,96	-781,12	16,22	16,22	-100,52
Rahmenbübel HRD-H 10x80 Stahl	940	0,000079 m ²	0,08 m	-	7850	-	38,84	0,60	40	1	1607,85	1607,85	1219,10	226,42	226,42	-20,00
Rahmenbübel Polyamid	940	0,000038 m ²	0,04 m	-	1130	-	1,34	0,02	40	1	152,96	152,96	-60,55	0,69	0,69	-7,79
Tropfschlauch Trog*	315	0,000068 m ²	2,33 m	-	920	-	38,60	0,59	7	7	3117,22	21820,52	-6967,50	118,30	826,13	-896,63
T-Stücke	36	-	-	0,03 kg/Stk.	910	-	0,90	0,01	7	7	74,02	518,14	-163,30	3,13	21,94	-21,02
Winkelstück	6	-	-	0,02 kg/Stk.	910	-	0,10	0,00	7	7	8,22	57,57	-18,14	0,35	2,44	-2,34
Erdstopfen	54	-	-	0,01 kg/Stk.	910	-	0,54	0,01	7	7	44,18	309,28	-97,48	1,87	13,10	-12,54
Schlauch seitlich + unten (Zuleitung Ø16) + zusätzl. Schlauche bei Fenster	2	0,000088 m ²	41,84 m	-	1035	-	6,38	0,10	7	7	515,44	3698,08	-1152,09	19,56	136,93	-148,26
Abwasserrohr	1	0,000248 m ²	10,00 m	-	910	-	1,89	0,03	7	7	154,79	1083,54	-341,50	6,56	45,89	-43,95
Abwasservorrichtung unterhalb des Modells	1	0,30 m	0,002	-	910	6,6	12,01	0,19	40	1	299,34	299,34	-295,45	9,86	9,86	10,01
						6488,99 kg		100 %			310497,44 MJ	341850,90 MJ	-467166,58 MJ	84433,85 MJ	85412,49 MJ	-136964,55 MJ
						25,15 kg/m ²					1203,48 MJ/m ²	1325,00 MJ/m ²	-1810,72 MJ/m ²	327,28 MJ/m ²	331,06 MJ/m ²	-530,87 MJ/m ²
											334,30 kWh/m ²	365,05 kWh/m ²	-502,98 kWh/m ²	90,91 kWh/m ²	91,96 kWh/m ²	-147,46 kWh/m ²

Belastung insgesamt im Betrachtungszeitraum:
 bezogen auf 1m² Modulfäche im Betrachtungszeitraum:
 * Bauteile werden mit dem oben berechneten Prozentsatz abgemindert

Rote Energie

Energieertrag pro Jahr in kWh/a	0 kWh/a
---------------------------------	---------

Bitte wählen sie einen Energieträger:

- Strom Mix (Österreich)
- Erdgas

Strom Mix (Österreich)	Konversionsfaktoren	Konversionsfaktor * Energiebedarf	Betrachtungszeitraum	für gesamten	für gesamten
	in -	in kWh	in Jahre	in kWh	in kWh/m²
PEI nicht erneuerbar	2,15	0,00 kWh	50 Jahre	0 kWh	keine PV-Fläche eingelegeben
PEI erneuerbar	0,47	0,00 kWh	50 Jahre	0 kWh	keine PV-Fläche eingelegeben
CO2	417	0,00 kg	50 Jahre	0,00 kg	keine PV-Fläche eingelegeben
SO2	0,6912	0,00 kg	50 Jahre	0,00 kg	keine PV-Fläche eingelegeben

Gesamtmasse in g/Pflanzl
 Gesamtes CO2 in g/Pflanzl
 30% Anteil Neubildung pro J
 Anzahl Pflanzl/m2

Wasserverbrauch im Jahr	13941 Liter
Wasserverbrauch im Jahr pro m²	54 Liter / m² a
Wasserverbrauch durchschnittlich am Tag	38 Liter
Wasserverbrauch durchschnittlich am Tag pro m²	0,15 Liter / m² Tag

CO2 Bindung	Anzahl	Frischmasse	Gespeichertes CO2	Gespeichertes CO2	NDLD	Anzahl der	Gespeichertes CO2	Gespeichertes CO2
Pflanzen	in Stk.	in g	Neue Pflanze	Neubildung pro Jahr 30%	in a	Erneuer-	pro Betrachtungszeitraum	pro Betrachtungszeitraum
	7740	527152,4	in g	in g	3,5	ungen	in g	in g
			-108517,26	-32555,18		15	-32555,172	-32555,52 kg
								-12,62 kg/m²

bezogen auf 1m² Modulfläche im Betrachtungszeitraum.

TROGGEBUNDEN

Bauteile	CO ₂ -Äquivalent				SO ₂ -Äquivalent				Entsorgung und Recycling C4 und D	PEI nicht ern. in MJ	PEI ern. in MJ	CO ₂ -Äqu. in kg	SO ₂ -Äqu. in kg	Material Zusatzangaben
	Herstellung A1-A3 in kg	Ersatz B4 in kg	Entsorgung und Recycling C4 und D in kg	Herstellung A1-A3 in kg	Ersatz B4 in kg	Entsorgung und Recycling C4 und D in kg	PEI nicht ern. in MJ	PEI ern. in MJ						
Trog*	17651,54	17651,54	-27622,07	74,97	74,97	-122,61	113,714,32	27,344,65	8,081,00	27,33	Aluminium AlMg3			
Selenfläche*	482,68	482,68	-746,86	2,03	2,03	-3,32	3,074,68	739,36	216,50	0,74	Aluminium AlMg3			
Schnellbohrschrauben	49,21	49,21	60,34	0,12	0,12	0,23	1,931,07	188,47	158,76	0,47	Schnellbohrschrauben Stahl S.AKD01S.5.Bx19			
Vlies*	243,70	243,70	344,46	0,40	0,40	-0,48	8,398,15	-489,50	831,96	0,33	Hydrotelt 100% PP			
Substrat 50% Recyclingziegel + 50% Planenerdie* abzüglich Wurzelentleer (Ecom pro Pflanze)	91,99	649,93	0,00	0,29	2,03	0,00	10,493,80	106,64	735,92	2,32	Recyclingziegel			
Profil MFT-L 60x40 2,0 E K	2300,55	2300,55	-3559,69	9,66	9,66	-15,80	14,654,52	3,823,94	1,041,41	3,52	478g/m Alu-Legierung EN.5AW-6063 T166			
Konsole MFT-MF 040 M 11	657,18	657,18	-1016,86	2,76	2,76	-4,51	4,186,22	1,006,65	297,49	1,01	66g/Stk. lt. HIR MFT-MF 040 M 11 Alu-Legierung EN.5AW-6063 T166			
Isolation MFT - ISO M	34,79	34,79	32,37	0,09	0,09	-0,05	1,174,80	-68,08	101,95	0,14	19g/Stk. lt. Hiti Isolation MFT-ISO M PVC (hart)			
Rahmendübel HRD-H 10x80 Stahl	113,02	113,02	138,57	0,28	0,28	0,53	4,434,80	432,84	364,60	1,09	Nichtrostender Stahl M12			
Rahmendübel Polyamid	12,33	12,33	2,51	0,04	0,04	0,00	245,37	-6,40	27,16	0,08	Rahmendübel HRD-H 10x80 Polyamid			
Tropfschlauch Trog*	86,42	804,95	288,72	0,15	1,07	-0,40	17,970,24	49,81	990,09	0,82	Polyethylen PE16 Pipeffe			
T-Stücke	2,20	15,42	6,77	0,00	0,03	-0,01	428,86	4,06	24,39	0,02	Polypropylen Pipeffe			
Winkelstück	0,24	1,71	0,75	0,00	0,00	0,00	47,65	0,45	2,71	0,00	Polypropylen Pipeffe			
Erdstopfen	1,31	9,20	4,04	0,00	0,02	-0,01	255,99	2,42	14,56	0,01	Polypropylen Pipeffe			
Schlauch seitlich + unten (Zuleitung Ø16) + zusätzl. Schläuche bei Fenster	14,29	100,03	47,74	0,03	0,18	-0,07	2,971,43	8,24	162,06	0,14	0,091 kg/m lt. Pipeffe PE80 TWRohr DNOD16 SDR11			
Abwasserrohr	4,61	32,25	14,15	0,01	0,05	-0,02	896,83	8,50	51,00	0,04	lt. Pipeffe M3 PP Abfl Rohr DNOD50,0,15m			
Abwasservorrichtung unterhalb des Modells	25,97	25,97	-33,47	0,10	0,10	-0,13	303,23	29,74	19,47	0,06				
	21972,03 kg	23178,45 kg	-32038,55 kg	90,93 kg	93,82 kg	-146,64 kg	185181,75 MJ	32881,79 MJ	13111,94 kg	38,11 kg				
	85,16 kg/m²	86,84 kg/m²	-124,18 kg/m²	0,35 kg/m²	0,36 kg/m²	-0,57 kg/m²	7177,6 MJ/m²	127,45 MJ/m²	50,82 kg/m²	0,15 kg/m²				
							199,38 kWh/m²	35,40 kWh/m²						
							51439,38 kWh	9133,83 kWh						

MATTEN-SYSTEM

Abstand Begrünung – Wand (7-30cm)	0,07	Höhe Modell in m	14
Modultiefe d in cm	0,10	Breite Modell in m	22
Dübelanzahl a_0 in Stk./m Unterkonstruktion	2,00	Fläche Aussparungen in m ²	50
Tropfschlauch Außerdurchmesser d_1 in mm	8,00	Gesamtfäche in m ²	258
Tropfschlauch Innendurchmesser d_2 in mm	6,50	Betrachtungszeitraum BZ in Jahre	50

Notiz
 Lebensdauer
 * Tropfschläuche: Lebensdauer wurde gleich wie bei anderen Systemen gewählt
 Pflanzenanzahl
 rund 23 Pflanzen pro m² lt. Hersteller

Hinweis

Eingabefelder
Gutschrift
Aufwendungen
Fikwerte nicht änderbar

Bauteile	Anzahl in Stk.	Abmessungen		Dicke in m	Gewicht in kg/m ² in kg/Stk.	Dichte in kg/m ³	Gesamt- fläche in m ²	Gesamt- gewicht in kg	Anteil Masse in %	ND-LD in Jahren	Anzahl der Erneuer- ungen	PEI nicht erneuerbar			PEI erneuerbar		
		in m	in m									Herstellung A1-A3 in MJ	Ersatz B4 in MJ	Entsorgung und Recycling C4 und D in MJ	Herstellung A1-A3 in MJ	Ersatz B4 in MJ	Entsorgung und Recycling C4 und D in MJ
Profil MFT-L 60x40 2,2 horizontal	24	0,14	22	0,0022	-	2700	73,92	439,08	7,13	40	1	66082,26	66082,26	-101593,63	18849,91	18849,91	-30346,50
Konsole MFT-MF xxx M 11	400	0,08	0,13	0,003	-	2700	4,224	34,21	0,56	40	1	5149,27	5149,27	-7916,39	1468,82	1468,82	-2384,82
Profilbefestigung Schrauben (S-MD03 SSS.5x50)	1056	0,0001 m ²	0,05	-	-	7850	-	32,55	0,53	40	1	2228,27	2228,27	0,00	189,79	189,79	-16,76
Verankerungselement HRD-H 10x60 Stahl	1056	0,0001 m ²	0,06	-	-	7850	-	52,09	0,85	40	1	3565,22	3565,22	0,00	303,66	303,66	-26,82
Rahmendübel Polyamid	1056	0,00004 m ²	0,04	-	-	1130	-	1,80	0,03	40	1	81,62	81,62	-81,20	0,93	0,93	-10,45
Trapezblech Aluminium	1	14,00	22,00	0,002	-	2700	389,60	1,995,84	32,39	35	1	293,987,23	293,987,23	-461,789,24	83,765,40	83,765,40	-137,947,73
Abschlussschienen seitlich	2	0,17	14,00	0,002	-	2700	4,76	25,70	0,42	35	1	3,786,20	3,786,20	-5,947,29	1,078,80	1,078,80	-1,776,60
Pulverbeschichtung Abschlussschienen seitlich	2	0,17	14,00	-	0,18 kg/m ²	-	4,760	0,86	0,01	35	1	325,822	325,822	0,000	36,904	36,904	0,000
Abschlussschienen oben + unten	2	0,17	22,00	0,002	-	2700	7,48	40,39	0,66	35	1	5,949,74	5,949,74	-9,345,73	1,695,25	1,695,25	-2,791,80
Pulverbeschichtung Abschlussschienen oben+unten	2	0,17	22,00	-	0,18 kg/m ²	-	7,480	1,35	0,02	35	1	512,006	512,006	0,000	57,992	57,992	0,000
Wurzeltgewebe	1	14,00	22,00	0,005	0,50	-	258,00	129,00	2,09	20	2	11,702,88	23,405,76	-17,464,54	406,35	812,70	-2,247,46
Zwischenschichtvlies	1	14,00	22,00	0,005	0,50	-	258,00	129,00	2,09	20	2	11,702,88	23,405,76	-17,464,54	406,35	812,70	-2,247,46
Pflanzfasermatte	1	14,00	22,00	0,080	-	158	258,00	3,261,12	52,93	20	2	17,496,53	0,00	0,00	120,59	0,00	0,00
Tropfschlauch	7	0,00002 m ²	3,00	-	-	920	0,00036	0,33	0,01	7	7	26,65	186,57	-59,57	1,01	7,08	-7,67
Winkelsstück	5	-	-	-	0,03	910	-	0,15	0,00	7	7	14,45	101,12	-27,08	0,53	3,71	-3,48
Endstopfen	1	-	-	-	0,02	910	-	0,02	0,00	7	7	1,93	13,48	-3,61	0,07	0,49	-0,46
Revisionschacht mit Abdeckung	7	-	-	-	0,01	910	-	0,07	0,00	7	7	6,74	47,19	-12,64	0,25	1,73	-1,63
	1	22,00	0,15	0,002	-	2700	3,30	17,82	0,29	30	1	2,624,89	2,624,89	-4,123,12	747,91	747,91	-1,231,68
Belastung insgesamt im Betrachtungszeitraum:												426244,58 MJ	431452,41 MJ	-625828,57 MJ	109130,51 MJ	109833,77 MJ	-181023,33 MJ
bezogen auf 1m ² Modulfläche im Betrachtungszeitraum:												8504,89 MJ/m ²	8629,05 MJ/m ²	-12516,57 MJ/m ²	2182,61 MJ/m ²	2196,68 MJ/m ²	-3620,47 MJ/m ²
123,23 kg/m ²												236247 kWh/m ²	2396,96 kWh/m ²	-3476,83 kWh/m ²	606,28 kWh/m ²	610,19 kWh/m ²	-1005,89 kWh/m ²

MATTEN-SYSTEM

Wasserverbrauch im Jahr	50.000,00
Wasserverbrauch im Jahr pro m ²	1.000,00
Wasserverbrauch durchschnittlich am Tag	136,99
Wasserverbrauch durchschnittlich am Tag pro m ²	2,74

Gesamtmasse in g/ Pflanze	68,11
Gesamtes CO2 in g/Pflanze	-14,02
30% Anteil Neubildung pro Ja	-4,21
Anzahl Pflanzen/m2	23,00

	Anzahl in Stk.	Frischmasse Pflanzen gesamt in g	Gespeichertes CO ₂ Neue Pflanze in g	Gespeichertes CO ₂ Neubildung pro Jahr 30% in g	ND-LD in a	Anzahl der Erneuer- ungen	Gespeichertes CO ₂ pro Betrachtungszeitraum in g	Gespeichertes CO ₂ pro Betrachtungszeitraum in kg
CO2 Bindung								
Pflanzen	1.150,00	78.323,68	-16.123,37	-4.837,01	3,50	15	-483.700,95	-483,70
bezogen auf 1m ² Modulfläche im Betrachtungszeitraum:								
								-9,67 kg/m ²

MATTEN-SYSTEM

Bauteile	CO ₂ -Äquivalent				SO ₂ -Äquivalent				Entsorgung und Recycling C4 und D in kg	PEI nicht ern. in MJ	PEI ern. in MJ	CO ₂ -Äqu. in kg	So ₂ -Äqu. in kg	Material Zusatzangaben	Quelle Material
	Herstellung A1-A3 in kg	Ersatz B4 in kg	Entsorgung und Recycling C4 und D in kg	Herstellung A1-A3 in kg	Ersatz B4 in kg	Entsorgung und Recycling C4 und D in kg	Herstellung A1-A3 in kg	Ersatz B4 in kg							
Profil MFT-L 60x40 2,2 horizontal	4799,20	4799,20	-7425,90	20,15	20,15	-32,96	7.351,32	2.172,49	7,35	30.570,89	7.351,32	2.172,49	7,35	4789µm Alu-Legierung E1-2AVV-0663 T06	Profil MFT-L 60x40 2,0 E K
Konsole MFT-MF xxx M 11	373,96	373,96	-578,64	1,57	1,57	-2,57	2.382,15	169,29	0,57	4.456,53	2.382,15	169,29	0,57	https://www.hilti.de/resinsystem/maekonsolen/5323	Konsole MFT-MF 040 M 11
Profilbefestigung Schrauben (S-MD03 SSS.5x60)	94,73	94,73	116,15	0,23	0,23	0,45	362,81	305,61	0,91	7.130,45	362,81	305,61	0,91	Isolation MFT-ISO M	Isolation MFT-ISO M
Verankerungselement HRD-H 10x80 Stahl	151,57	151,57	185,84	0,37	0,37	0,71	580,49	488,97	1,46	82,04	580,49	488,97	1,46	Nichtrostender Stahl M12	Rahmendübel HRD-H 10x80 Stahl
Rahmendübel Polyamid	16,53	16,53	3,36	0,05	0,05	0,00	82,04	36,42	0,10	126.185,23	-8,59	36,42	0,10	Rahmendübel HRD-H 10x80 Polyamid	Rahmendübel Polyamid
Trapezblech Aluminium	21.335,53	21.335,53	-33.754,10	91,15	91,15	-149,63	29.893,08	8.916,96	32,47	1.025,11	29.893,08	8.916,96	32,47	Aluminiumblech	Aluminiumblech
Abschlusschienen seitlich	274,78	274,78	-434,71	1,17	1,17	-1,93	380,99	114,84	0,42	651,64	380,99	114,84	0,42	Aluminiumblech pulverbeschichtet beidseitig	Aluminiumblech pulverbeschichtet beidseitig
Pulverbeschichtung Abschlusschienen seitlich	23.695	23.695	0,000	0,102	0,102	0,000	73,81	47,39	0,20	2.553,75	73,81	47,39	0,20	Aluminiumblech pulverbeschichtet beidseitig	Aluminiumblech pulverbeschichtet beidseitig
Abschlusschienen oben + unten	431,79	431,79	-683,12	1,84	1,84	-3,03	598,71	180,46	0,66	17.644,10	-1.028,41	17,47,69	0,69	Aluminiumblech pulverbeschichtet beidseitig	Aluminiumblech pulverbeschichtet beidseitig
Pulverbeschichtung Abschlusschienen oben+unten	37.235	37.235	0,000	0,161	0,161	0,000	1024,01	74,47	0,32	17.644,10	-1.028,41	17,47,69	0,69	Aluminiumblech pulverbeschichtet beidseitig	Aluminiumblech pulverbeschichtet beidseitig
Wurzelgewebe	341,33	682,67	723,69	0,57	1,13	-1,01	17.644,10	1.747,69	0,69	17.644,10	-1.028,41	1.747,69	0,69		
Zweischichtvlies	341,33	682,67	723,69	0,57	1,13	-1,01	17.644,10	1.747,69	0,69	17.644,10	-1.028,41	1.747,69	0,69		
Pflanzfasermatte	1.497,84	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	17.496,53	1.497,84	0,55	153,65	120,59	1.497,84	0,55		lt. Hersteller
Tropfschlauch	0,74	5,17	2,47	0,00	0,01	0,00	153,65	8,38	0,01	88,48	0,43	8,38	0,01	Polyethylen 16mm	Polyethylen 16mm
T-Stück	0,51	3,59	1,12	0,00	0,01	0,00	88,48	5,23	0,01	11,80	0,75	5,23	0,01	Polypropylen	Annahme
Winkelsstück	0,07	0,48	0,15	0,00	0,00	0,00	11,80	0,70	0,00	41,29	0,10	0,70	0,00	Polypropylen	Annahme
Endstopfen	0,24	1,68	0,52	0,00	0,01	0,00	41,29	2,44	0,01	1.126,65	0,35	2,44	0,01	Polypropylen	Annahme
Revisionsnacht mit Abdeckung	190,50	190,50	-301,38	0,81	0,81	-1,34	264,13	79,62	0,29	230.888,42 MJ	37.940,96 MJ	17.596,50 kg	46,71 kg	Aluminiumblech	Angaben Hersteller
	29911,58 kg	29105,76 kg	-41420,85 kg	119,31 kg	119,83 kg	-192,53 kg	37940,96 MJ	17596,50 kg	46,71 kg	230888,42 MJ	37940,96 MJ	17596,50 kg	46,71 kg		
	588,23 kg/m²	582,12 kg/m²	-828,42 kg/m²	2,39 kg/m²	2,40 kg/m²	-3,65 kg/m²	4617,37 MJ/m²	351,93 kg/m²	0,83 kg/m²	758,82 MJ/m²	351,93 kg/m²	351,93 kg/m²	0,83 kg/m²		

1282,60 kWh/m²	210,76 kWh/m²
64130,12 kWh	10539,16 kWh

ZUSAMMENFASSUNG DER ÖKOLOGISCHEN AUSWIRKUNGEN

		GESAMT			
		BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDENE BEGRÜNUNG		
			MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
PEI nicht erneuerbar	<i>in kWh</i>	3.802,10	149.516,77	51.439,38	64.130,12
PEI erneuerbar	<i>in kWh</i>	305,88	26.121,15	9.133,83	10.539,16
CO₂	<i>in kg</i>	943,78	39.087,82	13.111,94	17.596,50
SO₂	<i>in kg</i>	2,82	141,09	38,11	46,71
Gewicht	<i>in kg</i>	99,76	21.725,66	6.488,99	6.161,39

		PRO M2			
		BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDENE BEGRÜNUNG		
			MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
PEI nicht erneuerbar	<i>in kWh/m²</i>	76,04	579,52	199,38	1.282,60
PEI erneuerbar	<i>in kWh/m²</i>	6,12	101,24	35,40	210,78
CO₂	<i>in kg/m²</i>	18,88	151,50	50,82	351,93
SO₂	<i>in kg/m²</i>	0,06	0,55	0,15	0,93
Gewicht	<i>in kg/m²</i>	2,00	84,21	25,15	123,23

E Ergebnisse Variante B

ALLGEMEINE ANGABEN	
geplante Nutzungsdauer	50 Jahre
Kalkulationszinssatz, wenn abweichend zu Basiszinssatz der Österreichischen Nationalbank*	%
Standort des Gebäudes	19. Döbling
Breite der zu begrünenden Fläche	9 m
Höhe der zu begrünenden Fläche	6 m
Größe der notwendigen Aussparungen in der Begrünung (Fenster etc.)	22 m ²
Eigennutzung oder Vermietung	Vermietung
angrenzende Nutzfläche	80 m ²
Anzahl der angrenzenden Wohnungen	4
Lärmbelastung am Gebäudestandort durch Straßenverkehr	> 70 dB
Ist das Gebäude im Eigentum von öffentlichen Rechtsträgern (z. B. Wiener Wohnen)?	nein
Befindet sich das Gebäude innerhalb der Widmungskategorie W oder GB mit den BK II, III, IV, V und VI?***	ja
Ist bereits eine Klimaanlage vorhanden?	nein
Welcher Energieträger wird für die Kühlung verwendet?	Strom
Welcher Energieträger wird für die Heizung verwendet?	Gas
U-Wert der Außenwand	W/m ² *K

Lärmbelastung prüfen unter:

http://maps.laerminfo.at/?g_card=strasse_24h

Flächenwidmung prüfen unter:

<https://www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/>

--- falls U-Wert nicht bekannt ---

* **Kalkulationszinssatz:** Zinssatz, zu dem das vorhandene Kapital außerhalb dieser Investition angelegt werden könnte

** **Bauklassen gemäß Wiener Bauordnung**

Bauklasse I -- mindestens 2,5 m und nicht höher als die Straßenbreite + 2 m, höchstens 9 m
 Bauklasse II -- mindestens 2,5 m und nicht höher als die Straßenbreite + 2 m, höchstens 12 m
 Bauklasse III -- mindestens 9 m und nicht höher als die Straßenbreite + 3 m, höchstens 16 m
 Bauklasse IV -- mehr als 12 m und nicht höher als die Straßenbreite + 3 m wenn die Straßenbreite gleich oder kleiner 15 m ist, ab 15 m Straßenbreite gilt Straßenbreite + 4 m, höchstens 21 m
 Bauklasse V -- mehr als 16 m und nicht höher als die zweifache Straßenbreite, höchstens 26 m
 Bauklasse VI -- mehr als 26 m und nicht höher als die zweifache Straßenbreite
 ab 35 m wird das Gebäude als Hochhaus bezeichnet

Wandaufbau

bei zutreffenden Baustoffen die Bauteildicke eingeben

	Dicke	λ	R
	in cm	in W/mK	in m ² K/W
Stahlbeton		2,5	0,00
Ziegel	30	0,55	0,55
Dämmung		0,04	0,00
abgeschätzter U-Wert		1,20	W/m²*K

ZUSAMMENFASSUNG DER ÖKONOMISCHEN AUSWIRKUNGEN - VARIANTE B

	GESAMT			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 18.162,72 €	- 298.607,45 €	- 270.690,55 €	- 300.092,57 €
Errichtung	- 1.825,00 €	- 32.800,00 €	- 28.500,00 €	- 32.800,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 15.162,26 €	- 261.547,25 €	- 239.773,55 €	- 264.467,50 €
Abbruch und Entsorgung	- 1.175,46 €	- 4.260,21 €	- 2.417,00 €	- 2.825,07 €
KOSTEN SOZIAL	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €
Fördermittel	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €
KOSTEN GESAMT	- 20.362,72 €	- 300.807,45 €	- 272.890,55 €	- 302.292,57 €

NUTZEN PERSÖNLICH	39.443,15 €	68.193,50 €	66.518,68 €	66.024,74 €
Immobilienpreissteigerung	30.909,03 €	52.060,07 €	52.060,07 €	52.060,07 €
Energieeinsparung Kühlperiode	2.941,64 €	6.591,20 €	6.591,20 €	6.591,20 €
Energieeinsparung Heizperiode	947,63 €	4.897,38 €	3.222,55 €	2.728,61 €
Langlebigkeit	2.444,86 €	2.444,86 €	2.444,86 €	2.444,86 €
Fördermittel	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €
NUTZEN SOZIAL	24.674,62 €	46.806,01 €	46.806,01 €	46.806,01 €
NOx-Reduktion	3.264,62 €	3.656,98 €	3.656,98 €	3.656,98 €
CO2-Reduktion	12,91 €	14,46 €	14,46 €	14,46 €
Feinstaub-Reduktion	10,21 €	11,43 €	11,43 €	11,43 €
Lärm-Reduktion	21.386,89 €	43.123,14 €	43.123,14 €	43.123,14 €
NUTZEN GESAMT	64.117,77 €	114.999,52 €	113.324,69 €	112.830,75 €

NUTZEN - KOSTEN GESAMT	43.755,05 €	- 185.807,94 €	- 159.565,86 €	- 189.461,82 €
-------------------------------	--------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

	PRO M2			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 567,59 €	- 9.331,48 €	- 8.459,08 €	- 9.377,89 €
Errichtung	- 57,03 €	- 1.025,00 €	- 890,63 €	- 1.025,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 473,82 €	- 8.173,35 €	- 7.492,92 €	- 8.264,61 €
Abbruch und Entsorgung	- 36,73 €	- 133,13 €	- 75,53 €	- 88,28 €
KOSTEN SOZIAL	- 68,75 €	- 68,75 €	- 68,75 €	- 68,75 €
Fördermittel	- 68,75 €	- 68,75 €	- 68,75 €	- 68,75 €
KOSTEN GESAMT	- 636,34 €	- 9.400,23 €	- 8.527,83 €	- 9.446,64 €

NUTZEN PERSÖNLICH	1.232,60 €	2.131,05 €	2.078,71 €	2.063,27 €
Immobilienpreissteigerung	965,91 €	1.626,88 €	1.626,88 €	1.626,88 €
Energieeinsparung Kühlperiode	91,93 €	205,98 €	205,98 €	205,98 €
Energieeinsparung Heizperiode	29,61 €	153,04 €	100,70 €	85,27 €
Langlebigkeit	76,40 €	76,40 €	76,40 €	76,40 €
Fördermittel	68,75 €	68,75 €	68,75 €	68,75 €
NUTZEN SOZIAL	771,08 €	1.462,69 €	1.462,69 €	1.462,69 €
NOx-Reduktion	102,02 €	114,28 €	114,28 €	114,28 €
CO2-Reduktion	0,40 €	0,45 €	0,45 €	0,45 €
Feinstaub-Reduktion	0,32 €	0,36 €	0,36 €	0,36 €
Lärm-Reduktion	668,34 €	1.347,60 €	1.347,60 €	1.347,60 €
NUTZEN GESAMT	2.003,68 €	3.593,73 €	3.541,40 €	3.525,96 €

NUTZEN - KOSTEN GESAMT	1.367,35 €	- 5.806,50 €	- 4.986,43 €	- 5.920,68 €
-------------------------------	-------------------	---------------------	---------------------	---------------------

ZUSAMMENFASSUNG DER ÖKOLOGISCHEN AUSWIRKUNGEN - VARIANTE B

		GESAMT			
		BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDENE BEGRÜNUNG		
			MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
PEI nicht erneuerbar	<i>in kWh</i>	699,11	21.039,66	5.830,10	13.983,02
PEI erneuerbar	<i>in kWh</i>	57,58	3.616,95	952,56	2.895,52
CO₂	<i>in kg</i>	140,76	5.487,97	1.458,29	3.716,06
SO₂	<i>in kg</i>	0,39	19,48	4,04	12,41
Gewicht	<i>in kg</i>	18,32	2.924,48	668,24	927,00

		PRO M2			
		BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDENE BEGRÜNUNG		
			MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
PEI nicht erneuerbar	<i>in kWh/m²</i>	31,78	657,49	182,19	635,59
PEI erneuerbar	<i>in kWh/m²</i>	2,62	113,03	29,77	131,61
CO₂	<i>in kg/m²</i>	6,40	171,50	45,57	168,91
SO₂	<i>in kg/m²</i>	0,02	0,61	0,13	0,56
Gewicht	<i>in kg/m²</i>	0,83	91,39	20,88	42,14

F Ergebnisse Variante C

ALLGEMEINE ANGABEN	
geplante Nutzungsdauer	50 Jahre
Kalkulationszinssatz, wenn abweichend zu Basiszinssatz der Österreichischen Nationalbank*	%
Standort des Gebäudes	19. Döbling
Breite der zu begrünenden Fläche	15 m
Höhe der zu begrünenden Fläche	23 m
Größe der notwendigen Aussparungen in der Begrünung (Fenster etc.)	24 m ²
Eigennutzung oder Vermietung	Vermietung
angrenzende Nutzfläche	320 m ²
Anzahl der angrenzenden Wohnungen	12
Lärmbelastung am Gebäudestandort durch Straßenverkehr	> 70 dB
Ist das Gebäude im Eigentum von öffentlichen Rechtsträgern (z. B. Wiener Wohnen)?	nein
Befindet sich das Gebäude innerhalb der Widmungskategorie W oder GB mit den BK II, III, IV, V und VI?***	ja
Ist bereits eine Klimaanlage vorhanden?	nein
Welcher Energieträger wird für die Kühlung verwendet?	Strom
Welcher Energieträger wird für die Heizung verwendet?	Gas
U-Wert der Außenwand	W/m ² *K

Lärmbelastung prüfen unter:

http://maps.laerminfo.at/?g_card=strasse_24h

Flächenwidmung prüfen unter:

<https://www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/>

--- falls U-Wert nicht bekannt ---

* **Kalkulationszinssatz:** Zinssatz, zu dem das vorhandene Kapital außerhalb dieser Investition angelegt werden könnte

** **Bauklassen gemäß Wiener Bauordnung**

Bauklasse I -- mindestens 2,5 m und nicht höher als die Straßenbreite + 2 m, höchstens 9 m
 Bauklasse II -- mindestens 2,5 m und nicht höher als die Straßenbreite + 2 m, höchstens 12 m
 Bauklasse III -- mindestens 9 m und nicht höher als die Straßenbreite + 3 m, höchstens 16 m
 Bauklasse IV -- mehr als 12 m und nicht höher als die Straßenbreite + 3 m wenn die Straßenbreite gleich oder kleiner 15 m ist, ab 15 m Straßenbreite gilt Straßenbreite + 4 m, höchstens 21 m
 Bauklasse V -- mehr als 16 m und nicht höher als die zweifache Straßenbreite, höchstens 26 m
 Bauklasse VI -- mehr als 26 m und nicht höher als die zweifache Straßenbreite
 ab 35 m wird das Gebäude als Hochhaus bezeichnet

Wandaufbau

bei zutreffenden Baustoffen die Bauteildicke eingeben

	Dicke	λ	R
	in cm	in W/mK	in m ² K/W
Stahlbeton	20	2,5	0,08
Ziegel		0,55	0,00
Dämmung	8	0,04	2,00
abgeschätzter U-Wert		0,42	W/m²*K

ZUSAMMENFASSUNG DER ÖKONOMISCHEN AUSWIRKUNGEN - VARIANTE C

	GESAMT			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 117.780,83 €	- 2.985.748,57 €	- 2.702.404,80 €	- 2.999.158,99 €
Errichtung	- 16.375,00 €	- 328.000,00 €	- 280.500,00 €	- 328.000,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 89.651,20 €	- 2.615.472,45 €	- 2.397.735,52 €	- 2.644.674,99 €
Abbruch und Entsorgung	- 11.754,63 €	- 42.276,11 €	- 24.169,28 €	- 26.484,00 €
KOSTEN SOZIAL	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €
Fördermittel	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €
KOSTEN GESAMT	- 119.980,83 €	- 2.987.948,57 €	- 2.704.604,80 €	- 3.001.358,99 €

NUTZEN PERSÖNLICH	163.308,94 €	269.831,21 €	266.203,15 €	270.873,56 €
Immobilienpreissteigerung	123.636,13 €	208.240,28 €	208.240,28 €	208.240,28 €
Energieeinsparung Kühlperiode	11.766,54 €	26.364,80 €	26.364,80 €	26.364,80 €
Energieeinsparung Heizperiode	1.257,70 €	8.577,55 €	4.949,49 €	9.619,91 €
Langlebigkeit	24.448,57 €	24.448,57 €	24.448,57 €	24.448,57 €
Fördermittel	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €
NUTZEN SOZIAL	97.037,95 €	166.198,11 €	166.198,11 €	166.198,11 €
NOx-Reduktion	32.646,15 €	36.569,77 €	36.569,77 €	36.569,77 €
CO2-Reduktion	129,07 €	144,58 €	144,58 €	144,58 €
Feinstaub-Reduktion	102,06 €	114,32 €	114,32 €	114,32 €
Lärm-Reduktion	64.160,67 €	129.369,43 €	129.369,43 €	129.369,43 €
NUTZEN GESAMT	260.346,89 €	436.029,31 €	432.401,25 €	437.071,66 €

NUTZEN - KOSTEN GESAMT	140.366,06 €	- 2.551.919,26 €	- 2.272.203,55 €	- 2.564.287,33 €
-------------------------------	--------------	------------------	------------------	------------------

	PRO M2			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 368,07 €	- 9.330,46 €	- 8.445,02 €	- 9.372,37 €
Errichtung	- 51,17 €	- 1.025,00 €	- 876,56 €	- 1.025,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 280,16 €	- 8.173,35 €	- 7.492,92 €	- 8.264,61 €
Abbruch und Entsorgung	- 36,73 €	- 132,11 €	- 75,53 €	- 82,76 €
KOSTEN SOZIAL	- 6,88 €	- 6,88 €	- 6,88 €	- 6,88 €
Fördermittel	- 6,88 €	- 6,88 €	- 6,88 €	- 6,88 €
KOSTEN GESAMT	- 374,94 €	- 9.337,34 €	- 8.451,89 €	- 9.379,25 €

NUTZEN PERSÖNLICH	510,34 €	843,22 €	831,88 €	846,48 €
Immobilienpreissteigerung	386,36 €	650,75 €	650,75 €	650,75 €
Energieeinsparung Kühlperiode	36,77 €	82,39 €	82,39 €	82,39 €
Energieeinsparung Heizperiode	3,93 €	26,80 €	15,47 €	30,06 €
Langlebigkeit	76,40 €	76,40 €	76,40 €	76,40 €
Fördermittel	6,88 €	6,88 €	6,88 €	6,88 €
NUTZEN SOZIAL	303,24 €	519,37 €	519,37 €	519,37 €
NOx-Reduktion	102,02 €	114,28 €	114,28 €	114,28 €
CO2-Reduktion	0,40 €	0,45 €	0,45 €	0,45 €
Feinstaub-Reduktion	0,32 €	0,36 €	0,36 €	0,36 €
Lärm-Reduktion	200,50 €	404,28 €	404,28 €	404,28 €
NUTZEN GESAMT	813,58 €	1.362,59 €	1.351,25 €	1.365,85 €

NUTZEN - KOSTEN GESAMT	438,64 €	- 7.974,75 €	- 7.100,64 €	- 8.013,40 €
-------------------------------	----------	--------------	--------------	--------------

ZUSAMMENFASSUNG DER ÖKOLOGISCHEN AUSWIRKUNGEN - VARIANTE C

		GESAMT			
		BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDENE BEGRÜNUNG		
			MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
PEI nicht erneuerbar	<i>in kWh</i>	10.261,79	181.669,84	55.079,15	72.854,21
PEI erneuerbar	<i>in kWh</i>	825,56	31.680,82	9.783,65	11.553,01
CO₂	<i>in kg</i>	2.547,24	47.444,11	14.067,19	20.118,01
SO₂	<i>in kg</i>	7,61	171,44	40,97	51,73
Gewicht	<i>in kg</i>	269,24	26.522,66	6.756,41	7.285,01

		PRO M2			
		BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDENE BEGRÜNUNG		
			MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
PEI nicht erneuerbar	<i>in kWh/m²</i>	410,47	567,72	172,12	2.914,17
PEI erneuerbar	<i>in kWh/m²</i>	33,02	99,00	30,57	462,12
CO₂	<i>in kg/m²</i>	101,89	148,26	43,96	804,72
SO₂	<i>in kg/m²</i>	0,30	0,54	0,13	2,07
Gewicht	<i>in kg/m²</i>	10,77	82,88	21,11	291,40

G Ergebnisse Variante D

ALLGEMEINE ANGABEN	
geplante Nutzungsdauer	50 Jahre
Kalkulationszinssatz, wenn abweichend zu Basiszinssatz der Österreichischen Nationalbank*	%
Standort des Gebäudes	2. Leopoldstadt
Breite der zu begrünenden Fläche	24 m
Höhe der zu begrünenden Fläche	16 m
Größe der notwendigen Aussparungen in der Begrünung (Fenster etc.)	50 m ²
Eigennutzung oder Vermietung	Vermietung
angrenzende Nutzfläche	240 m ²
Anzahl der angrenzenden Wohnungen	12
Lärmbelastung am Gebäudestandort durch Straßenverkehr	< 50 dB
Ist das Gebäude im Eigentum von öffentlichen Rechtsträgern (z. B. Wiener Wohnen)?	nein
Befindet sich das Gebäude innerhalb der Widmungskategorie W oder GB mit den BK II, III, IV, V und VI?***	ja
Ist bereits eine Klimaanlage vorhanden?	nein
Welcher Energieträger wird für die Kühlung verwendet?	Strom
Welcher Energieträger wird für die Heizung verwendet?	Gas
U-Wert der Außenwand	W/m ² *K

Lärmbelastung prüfen unter:

http://maps.laerminfo.at/?g_card=strasse_24h

Flächenwidmung prüfen unter:

<https://www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/>

--- falls U-Wert nicht bekannt ---

* **Kalkulationszinssatz:** Zinssatz, zu dem das vorhandene Kapital außerhalb dieser Investition angelegt werden könnte

** **Bauklassen gemäß Wiener Bauordnung**

Bauklasse I -- mindestens 2,5 m und nicht höher als die Straßenbreite + 2 m, höchstens 9 m
 Bauklasse II -- mindestens 2,5 m und nicht höher als die Straßenbreite + 2 m, höchstens 12 m
 Bauklasse III -- mindestens 9 m und nicht höher als die Straßenbreite + 3 m, höchstens 16 m
 Bauklasse IV -- mehr als 12 m und nicht höher als die Straßenbreite + 3 m wenn die Straßenbreite gleich oder kleiner 15 m ist, ab 15 m Straßenbreite gilt Straßenbreite + 4 m, höchstens 21 m
 Bauklasse V -- mehr als 16 m und nicht höher als die zweifache Straßenbreite, höchstens 26 m
 Bauklasse VI -- mehr als 26 m und nicht höher als die zweifache Straßenbreite
 ab 35 m wird das Gebäude als Hochhaus bezeichnet

Wandaufbau

bei zutreffenden Baustoffen die Bauteildicke eingeben

	Dicke	λ	R
	in cm	in W/mK	in m ² K/W
Stahlbeton		2,5	0,00
Ziegel	25	0,55	0,45
Dämmung		0,04	0,00
abgeschätzter U-Wert		1,34	W/m²*K

ZUSAMMENFASSUNG DER ÖKONOMISCHEN AUSWIRKUNGEN - VARIANTE D 1

	GESAMT			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 130.036,65 €	- 3.116.353,72 €	- 2.821.844,94 €	- 3.130.558,19 €
Errichtung	- 17.300,00 €	- 342.350,00 €	- 292.750,00 €	- 342.350,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 100.467,76 €	- 2.729.899,37 €	- 2.502.636,45 €	- 2.760.379,52 €
Abbruch und Entsorgung	- 12.268,89 €	- 44.104,34 €	- 26.458,48 €	- 27.828,67 €
KOSTEN SOZIAL	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €
Fördermittel	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €
KOSTEN GESAMT	- 132.236,65 €	- 3.118.553,72 €	- 2.824.044,94 €	- 3.132.758,19 €

NUTZEN PERSÖNLICH	103.808,83 €	218.123,61 €	199.610,82 €	191.412,54 €
Immobilienpreissteigerung	55.955,63 €	114.549,46 €	114.549,46 €	114.549,46 €
Energieeinsparung Kühlperiode	8.824,91 €	19.773,60 €	19.773,60 €	19.773,60 €
Energieeinsparung Heizperiode	11.310,10 €	56.082,36 €	37.569,57 €	29.371,29 €
Langlebigkeit	25.518,19 €	25.518,19 €	25.518,19 €	25.518,19 €
Fördermittel	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €
NUTZEN SOZIAL	34.315,66 €	38.439,93 €	38.439,93 €	38.439,93 €
NOx-Reduktion	34.074,42 €	38.169,70 €	38.169,70 €	38.169,70 €
CO2-Reduktion	134,72 €	150,91 €	150,91 €	150,91 €
Feinstaub-Reduktion	106,52 €	119,32 €	119,32 €	119,32 €
Lärm-Reduktion	- €	- €	- €	- €
NUTZEN GESAMT	138.124,49 €	256.563,54 €	238.050,75 €	229.852,47 €

NUTZEN - KOSTEN GESAMT	5.887,83 €	- 2.861.990,18 €	- 2.585.994,19 €	- 2.902.905,72 €
-------------------------------	-------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

	PRO M2			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 389,33 €	- 9.330,40 €	- 8.448,64 €	- 9.372,93 €
Errichtung	- 51,80 €	- 1.025,00 €	- 876,50 €	- 1.025,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 300,80 €	- 8.173,35 €	- 7.492,92 €	- 8.264,61 €
Abbruch und Entsorgung	- 36,73 €	- 132,05 €	- 79,22 €	- 83,32 €
KOSTEN SOZIAL	- 6,59 €	- 6,59 €	- 6,59 €	- 6,59 €
Fördermittel	- 6,59 €	- 6,59 €	- 6,59 €	- 6,59 €
KOSTEN GESAMT	- 395,92 €	- 9.336,99 €	- 8.455,22 €	- 9.379,52 €

NUTZEN PERSÖNLICH	310,80 €	653,06 €	597,64 €	573,09 €
Immobilienpreissteigerung	167,53 €	342,96 €	342,96 €	342,96 €
Energieeinsparung Kühlperiode	26,42 €	59,20 €	59,20 €	59,20 €
Energieeinsparung Heizperiode	33,86 €	167,91 €	112,48 €	87,94 €
Langlebigkeit	76,40 €	76,40 €	76,40 €	76,40 €
Fördermittel	6,59 €	6,59 €	6,59 €	6,59 €
NUTZEN SOZIAL	102,74 €	115,09 €	115,09 €	115,09 €
NOx-Reduktion	102,02 €	114,28 €	114,28 €	114,28 €
CO2-Reduktion	0,40 €	0,45 €	0,45 €	0,45 €
Feinstaub-Reduktion	0,32 €	0,36 €	0,36 €	0,36 €
Lärm-Reduktion	- €	- €	- €	- €
NUTZEN GESAMT	413,55 €	768,15 €	712,73 €	688,18 €

NUTZEN - KOSTEN GESAMT	17,63 €	- 8.568,83 €	- 7.742,50 €	- 8.691,33 €
-------------------------------	----------------	---------------------	---------------------	---------------------

ZUSAMMENFASSUNG DER ÖKOLOGISCHEN AUSWIRKUNGEN - VARIANTE D

		GESAMT			
		BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDENE BEGRÜNUNG		
			MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
PEI nicht erneuerbar	<i>in kWh</i>	4.966,01	191.678,70	67.067,77	79.986,80
PEI erneuerbar	<i>in kWh</i>	399,52	33.533,78	11.952,25	12.964,50
CO₂	<i>in kg</i>	1.232,69	50.116,23	17.113,03	22.006,46
SO₂	<i>in kg</i>	3,68	181,19	49,85	57,57
Gewicht	<i>in kg</i>	130,30	27.957,07	8.492,07	7.819,24

		PRO M2			
		BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDENE BEGRÜNUNG		
			MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
PEI nicht erneuerbar	<i>in kWh/m²</i>	99,32	573,89	200,80	1.599,74
PEI erneuerbar	<i>in kWh/m²</i>	7,99	100,40	35,79	259,29
CO₂	<i>in kg/m²</i>	24,65	150,05	51,24	440,13
SO₂	<i>in kg/m²</i>	0,07	0,54	0,15	1,15
Gewicht	<i>in kg/m²</i>	2,61	83,70	25,43	156,38

ALLGEMEINE ANGABEN	
geplante Nutzungsdauer	50 Jahre
Kalkulationszinssatz, wenn abweichend zu Basiszinssatz der Österreichischen Nationalbank*	%
Standort des Gebäudes	2. Leopoldstadt
Breite der zu begrünenden Fläche	24 m
Höhe der zu begrünenden Fläche	16 m
Größe der notwendigen Aussparungen in der Begrünung (Fenster etc.)	50 m ²
Eigennutzung oder Vermietung	Vermietung
angrenzende Nutzfläche	240 m ²
Anzahl der angrenzenden Wohnungen	12
Lärmbelastung am Gebäudestandort durch Straßenverkehr	< 50 dB
Ist das Gebäude im Eigentum von öffentlichen Rechtsträgern (z. B. Wiener Wohnen)?	nein
Befindet sich das Gebäude innerhalb der Widmungskategorie W oder GB mit den BK II, III, IV, V und VI?***	ja
Ist bereits eine Klimaanlage vorhanden?	nein
Welcher Energieträger wird für die Kühlung verwendet?	Strom
Welcher Energieträger wird für die Heizung verwendet?	Gas
U-Wert der Außenwand	W/m ² *K

Lärmbelastung prüfen unter:

http://maps.laerminfo.at/?g_card=strasse_24h

Flächenwidmung prüfen unter:

<https://www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/>

--- falls U-Wert nicht bekannt ---

* **Kalkulationszinssatz:** Zinssatz, zu dem das vorhandene Kapital außerhalb dieser Investition angelegt werden könnte

** **Bauklassen gemäß Wiener Bauordnung**

Bauklasse I -- mindestens 2,5 m und nicht höher als die Straßenbreite + 2 m, höchstens 9 m
 Bauklasse II -- mindestens 2,5 m und nicht höher als die Straßenbreite + 2 m, höchstens 12 m
 Bauklasse III -- mindestens 9 m und nicht höher als die Straßenbreite + 3 m, höchstens 16 m
 Bauklasse IV -- mehr als 12 m und nicht höher als die Straßenbreite + 3 m wenn die Straßenbreite gleich oder kleiner 15 m ist, ab 15 m Straßenbreite gilt Straßenbreite + 4 m, höchstens 21 m
 Bauklasse V -- mehr als 16 m und nicht höher als die zweifache Straßenbreite, höchstens 26 m
 Bauklasse VI -- mehr als 26 m und nicht höher als die zweifache Straßenbreite
 ab 35 m wird das Gebäude als Hochhaus bezeichnet

Wandaufbau

bei zutreffenden Baustoffen die Bauteildicke eingeben

	Dicke	λ	R
	in cm	in W/mK	in m ² K/W
Stahlbeton		2,5	0,00
Ziegel	25	0,55	0,45
Dämmung	8	0,04	2,00
abgeschätzter U-Wert		0,36	W/m²*K

ZUSAMMENFASSUNG DER ÖKONOMISCHEN AUSWIRKUNGEN - VARIANTE D 2

	GESAMT			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 130.036,65 €	- 3.116.353,72 €	- 2.821.844,94 €	- 3.130.558,19 €
Errichtung	- 17.300,00 €	- 342.350,00 €	- 292.750,00 €	- 342.350,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 100.467,76 €	- 2.729.899,37 €	- 2.502.636,45 €	- 2.760.379,52 €
Abbruch und Entsorgung	- 12.268,89 €	- 44.104,34 €	- 26.458,48 €	- 27.828,67 €
KOSTEN SOZIAL	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €
Fördermittel	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €	- 2.200,00 €
KOSTEN GESAMT	- 132.236,65 €	- 3.118.553,72 €	- 2.824.044,94 €	- 3.132.758,19 €

NUTZEN PERSÖNLICH	93.401,03 €	168.368,94 €	165.645,54 €	170.007,89 €
Immobilienpreissteigerung	55.955,63 €	114.549,46 €	114.549,46 €	114.549,46 €
Energieeinsparung Kühlperiode	8.824,91 €	19.773,60 €	19.773,60 €	19.773,60 €
Energieeinsparung Heizperiode	902,30 €	6.327,69 €	3.604,29 €	7.966,64 €
Langlebigkeit	25.518,19 €	25.518,19 €	25.518,19 €	25.518,19 €
Fördermittel	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €	2.200,00 €
NUTZEN SOZIAL	34.315,66 €	38.439,93 €	38.439,93 €	38.439,93 €
NOx-Reduktion	34.074,42 €	38.169,70 €	38.169,70 €	38.169,70 €
CO2-Reduktion	134,72 €	150,91 €	150,91 €	150,91 €
Feinstaub-Reduktion	106,52 €	119,32 €	119,32 €	119,32 €
Lärm-Reduktion	- €	- €	- €	- €
NUTZEN GESAMT	127.716,69 €	206.808,87 €	204.085,47 €	208.447,82 €

NUTZEN - KOSTEN GESAMT	- 4.519,96 €	- 2.911.744,85 €	- 2.619.959,46 €	- 2.924.310,37 €
-------------------------------	---------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

	PRO M2			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 389,33 €	- 9.330,40 €	- 8.448,64 €	- 9.372,93 €
Errichtung	- 51,80 €	- 1.025,00 €	- 876,50 €	- 1.025,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 300,80 €	- 8.173,35 €	- 7.492,92 €	- 8.264,61 €
Abbruch und Entsorgung	- 36,73 €	- 132,05 €	- 79,22 €	- 83,32 €
KOSTEN SOZIAL	- 6,59 €	- 6,59 €	- 6,59 €	- 6,59 €
Fördermittel	- 6,59 €	- 6,59 €	- 6,59 €	- 6,59 €
KOSTEN GESAMT	- 395,92 €	- 9.336,99 €	- 8.455,22 €	- 9.379,52 €

NUTZEN PERSÖNLICH	279,64 €	504,10 €	495,94 €	509,01 €
Immobilienpreissteigerung	167,53 €	342,96 €	342,96 €	342,96 €
Energieeinsparung Kühlperiode	26,42 €	59,20 €	59,20 €	59,20 €
Energieeinsparung Heizperiode	2,70 €	18,95 €	10,79 €	23,85 €
Langlebigkeit	76,40 €	76,40 €	76,40 €	76,40 €
Fördermittel	6,59 €	6,59 €	6,59 €	6,59 €
NUTZEN SOZIAL	102,74 €	115,09 €	115,09 €	115,09 €
NOx-Reduktion	102,02 €	114,28 €	114,28 €	114,28 €
CO2-Reduktion	0,40 €	0,45 €	0,45 €	0,45 €
Feinstaub-Reduktion	0,32 €	0,36 €	0,36 €	0,36 €
Lärm-Reduktion	- €	- €	- €	- €
NUTZEN GESAMT	382,39 €	619,19 €	611,03 €	624,10 €

NUTZEN - KOSTEN GESAMT	- 13,53 €	- 8.717,80 €	- 7.844,19 €	- 8.755,42 €
-------------------------------	------------------	---------------------	---------------------	---------------------

ZUSAMMENFASSUNG DER ÖKOLOGISCHEN AUSWIRKUNGEN - VARIANTE D

		GESAMT			
		BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDENE BEGRÜNUNG		
			MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
PEI nicht erneuerbar	<i>in kWh</i>	4.966,01	191.678,70	67.067,77	79.986,80
PEI erneuerbar	<i>in kWh</i>	399,52	33.533,78	11.952,25	12.964,50
CO₂	<i>in kg</i>	1.232,69	50.116,23	17.113,03	22.006,46
SO₂	<i>in kg</i>	3,68	181,19	49,85	57,57
Gewicht	<i>in kg</i>	130,30	27.957,07	8.492,07	7.819,24

		PRO M2			
		BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDENE BEGRÜNUNG		
			MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
PEI nicht erneuerbar	<i>in kWh/m²</i>	99,32	573,89	200,80	1.599,74
PEI erneuerbar	<i>in kWh/m²</i>	7,99	100,40	35,79	259,29
CO₂	<i>in kg/m²</i>	24,65	150,05	51,24	440,13
SO₂	<i>in kg/m²</i>	0,07	0,54	0,15	1,15
Gewicht	<i>in kg/m²</i>	2,61	83,70	25,43	156,38

ZUSAMMENFASSUNG DER ÖKONOMISCHEN AUSWIRKUNGEN - VARIANTE D GESAMT

	GESAMT			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 650.183,26 €	- 15.581.768,59 €	- 14.109.224,68 €	- 15.652.790,96 €
Errichtung	- 86.500,00 €	- 1.711.750,00 €	- 1.463.750,00 €	- 1.711.750,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 502.338,78 €	- 13.649.496,87 €	- 12.513.182,26 €	- 13.801.897,59 €
Abbruch und Entsorgung	- 61.344,47 €	- 220.521,72 €	- 132.292,42 €	- 139.143,37 €
KOSTEN SOZIAL	- 11.000,00 €	- 11.000,00 €	- 11.000,00 €	- 11.000,00 €
Fördermittel	- 11.000,00 €	- 11.000,00 €	- 11.000,00 €	- 11.000,00 €
KOSTEN GESAMT	- 661.183,26 €	- 15.592.768,59 €	- 14.120.224,68 €	- 15.663.790,96 €

NUTZEN PERSÖNLICH	487.820,73 €	941.354,04 €	896.158,25 €	892.848,76 €
Immobilienpreissteigerung	279.778,13 €	572.747,29 €	572.747,29 €	572.747,29 €
Energieeinsparung Kühlperiode	44.124,53 €	98.868,00 €	98.868,00 €	98.868,00 €
Energieeinsparung Heizperiode	25.327,11 €	131.147,80 €	85.952,01 €	82.642,52 €
Langlebigkeit	127.590,96 €	127.590,96 €	127.590,96 €	127.590,96 €
Fördermittel	11.000,00 €	11.000,00 €	11.000,00 €	11.000,00 €
NUTZEN SOZIAL	171.578,30 €	192.199,66 €	192.199,66 €	192.199,66 €
NOx-Reduktion	170.372,10 €	190.848,49 €	190.848,49 €	190.848,49 €
CO2-Reduktion	673,59 €	754,55 €	754,55 €	754,55 €
Feinstaub-Reduktion	532,61 €	596,62 €	596,62 €	596,62 €
Lärm-Reduktion	- €	- €	- €	- €
NUTZEN GESAMT	659.399,03 €	1.133.553,70 €	1.088.357,91 €	1.085.048,42 €

NUTZEN - KOSTEN GESAMT	- 1.784,22 €	- 14.459.214,90 €	- 13.031.866,77 €	- 14.578.742,54 €
-------------------------------	--------------	-------------------	-------------------	-------------------

	DURCHSCHNITTLICH PRO M2			
	BODENGEBUNDEN	FASSADENGEBUNDEN		
		MODULAR	TROGGEBUNDEN	MATTEN
KOSTEN PERSÖNLICH	- 389,33 €	- 9.330,40 €	- 8.448,64 €	- 9.372,93 €
Errichtung	- 51,80 €	- 1.025,00 €	- 876,50 €	- 1.025,00 €
Instandhaltung, Wartung, Pflege	- 300,80 €	- 8.173,35 €	- 7.492,92 €	- 8.264,61 €
Abbruch und Entsorgung	- 36,73 €	- 132,05 €	- 79,22 €	- 83,32 €
KOSTEN SOZIAL	- 6,59 €	- 6,59 €	- 6,59 €	- 6,59 €
Fördermittel	- 6,59 €	- 6,59 €	- 6,59 €	- 6,59 €
KOSTEN GESAMT	- 395,92 €	- 9.336,99 €	- 8.455,22 €	- 9.379,52 €

NUTZEN PERSÖNLICH	292,11 €	563,69 €	536,62 €	534,64 €
Immobilienpreissteigerung	167,53 €	342,96 €	342,96 €	342,96 €
Energieeinsparung Kühlperiode	26,42 €	59,20 €	59,20 €	59,20 €
Energieeinsparung Heizperiode	15,17 €	78,53 €	51,47 €	49,49 €
Langlebigkeit	76,40 €	76,40 €	76,40 €	76,40 €
Fördermittel	6,59 €	6,59 €	6,59 €	6,59 €
NUTZEN SOZIAL	102,74 €	115,09 €	115,09 €	115,09 €
NOx-Reduktion	102,02 €	114,28 €	114,28 €	114,28 €
CO2-Reduktion	0,40 €	0,45 €	0,45 €	0,45 €
Feinstaub-Reduktion	0,32 €	0,36 €	0,36 €	0,36 €
Lärm-Reduktion	- €	- €	- €	- €
NUTZEN GESAMT	394,85 €	678,77 €	651,71 €	649,73 €

NUTZEN - KOSTEN GESAMT	- 1,07 €	- 8.658,21 €	- 7.803,51 €	- 8.729,79 €
-------------------------------	----------	--------------	--------------	--------------

Literatur

- [1] B. Aebischer, G. Catenazzi, and M. Jakob. Impact of climate change on thermal comfort, heating and cooling energy demand in Europe. 2007.
- [2] Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften. Richtlinie 2002/49/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. 2002.
- [3] Z. Azkorra, G. Perez, J. Coma, L. F. Cabeza, S. Bures, J. E. ??lvaro, A. Erkoreka, and M. Urrestarazu. Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Applied Acoustics*, 89, 2015.
- [4] baubook GmbH. baubook: Ökologische Baustoffe. <https://www.baubook.info>. Zugriff: 2017-11-01.
- [5] Peter Bickel, George Arampatzis, Arnaud Burgess, Rita Esposito, Patrizia Fagiani, Rainer Friedrich, Alistair Hunt, Wouter Jonkhoff, Charlotte Kelly, James Laird, Christoph Lieb, Ståle Navrud, Thomas Odgaard, Andrea Ricci, Yngve Trædal, Menno Rustenburg, Niklas Sieber, and Lóri Tavasszy. HEATCO - Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment. Deliverable 7. Technical report, IER University Stuttgart, 2005.
- [6] Peter Bickel, Rainer Friedrich, Arnaud Burgess, Patrizia Fagiani, Alistair Hunt, Gerard De Jong, James Tavasszy, Laird Christoph, Lieb Gunnar, Lindberg Peter, Mackie Stale, Navrud Thomas, Odgaard Andrea, Ricci Jeremy, and Shires Lori. HEATCO - Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment. Deliverable 5. Technical report, IER University Stuttgart, 2006.
- [7] BKI Baukosteninformationszentrum. *BKI Kostenplanung - Baukosten Positionen Altbau - Statistische Kostenkennwerte*. Müller, Rudolf, 2016.
- [8] Bertolt Brecht. *Me-ti, Buch der Wendungen*. Suhrkamp, 2000.
- [9] W. A. Brunauer, S. Lang, P. Wechselberger, and S. Bienert. Additive Hedonic Regression Models with Spatial Scaling Factors: An Application for Rents in Vienna. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 41(4), 2010.
- [10] Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft - BUWAL. Lärmbekämpfung erspart hohe volkswirtschaftliche Kosten. Technical report, Bern, 1998.
- [11] Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft - BUWAL. Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden. Technical Report 166, Bern, 2003.
- [12] Bundesministerium für Umwelt Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit. Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten. (4), 2009.

Literatur

- [13] Bundesministerium für Umwelt Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit and Referat Bauingenieurwesen Nachhaltiges Bauen Bauforschung. ÖKOBAUDAT Informationsportal Nachhaltiges Bauen. <http://www.oekobaudat.de>. Zugriff: 2017-11-01.
- [14] Bundesministerium für Wissenschaft Forschung und Wirtschaft. Klimadatenrechner. <https://www.bmwf.gv.at/EnergieUndBergbau/klimadatenrechner/Seiten/default.aspx>. Zugriff: 2017-09-.
- [15] Bundesministeriums für Verkehr Innovation und Technologie. Wegekosten – Externe Kosten. 2007.
- [16] Anjelita Cadena and Thomas Thomson. An Empirical Assessment of the Value of Green in Residential Real Estate. *The Appraisal Journal*, (October 2008):32–40, 2015.
- [17] Ross W.F. Cameron, Jane E. Taylor, and Martin R. Emmett. What’s cool in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Building and Environment*, 73:198–207, 2014.
- [18] Canada Mortgage and Housing Corporation - CMHC. Greenbacks From Green Roofs: Forging a New Industry in Canada. Technical Report 1, 1999.
- [19] C Clark, P Adriaens, and FB Talbot. Green roof valuation: a probabilistic economic analysis of environmental benefits. *Environmental science Technology*, 42(6), 2008.
- [20] Julià Coma, Gabriel Pérez, Alvaro de Gracia, Silvia Burés, Miguel Urrestarazu, and Luisa F. Cabeza. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. *Building and Environment*, 111:228–237, 2017.
- [21] Dachgrün GmbH. System Grünwand. 2017.
- [22] die umweltberatung Wien. „Ein Pflanzenmantel für ein ausgeglichenes Klima Ein Leitfaden für die Fassadenbegrünung. (November), 2009.
- [23] DIN EN ISO 6946. Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren (ISO/DIS 6946:2015), 2015.
- [24] Nigel Dunnett and Noel Kingsbury. *Planting Green Roofs and Living Walls*. Timber Press, 2008.
- [25] Europäische Kommission - Klimapolitik. Emissions Trading System - Überarbeitung für Phase 4 (2021–2030). <https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/revision{ }de>. Zugriff: 2017-08-15.
- [26] Europäische Kommission - Klimapolitik. Emissionshandelssystem der EU. <https://ec.europa.eu/clima/policies/ets{ }de>. Zugriff: 2017-08-15.

Literatur

- [27] Europäische Union. Richtlinie 2008/50/EG des europäischen Parlamentes und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, 2008.
- [28] Europäische Zentralbank. Euro Reference Exchange Rates. <https://www.ecb.europa.eu/stats/policy/and/exchange/rates/euro/reference/exchange/rates/html/eurofxref-graph-usd.en.html>. Zugriff: 2017-08-15.
- [29] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen, 2000.
- [30] Fraunhofer-Gesellschaft. Fraunhofer Magazin Weiter.Vorn. *Fraunhofer Magazin*, 2012.
- [31] EHL Immobilien GmbH. Wiener Zinshaus-Marktbericht 2017, 2017.
- [32] Olga Gorbachevskaya and Susanne Herfort. Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen. 2012.
- [33] Hans Hirth. *Grundzüge der Finanzierung und Investition*. De Gruyter Oldenbourg, Berlin, 2011.
- [34] Marie Therese Hoelscher, Thomas Nehls, Britta J?nicke, and Gerd Wessolek. Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. *Energy and Buildings*, 114:283–290, 2016.
- [35] Mostafa Refat Ismail. Quiet environment: Acoustics of vertical green wall systems of the Islamic urban form. *Frontiers of Architectural Research*, 2(2), 2013.
- [36] Brigitte Kahlert. *Die monetäre Bewertung von Umweltbelastungen am Beispiel von Lärmschäden*. PhD thesis, FernUniversität Hagen, 2001.
- [37] Jimin Kim, Taehoon Hong, Jaemin Jeong, Choongwan Koo, and Kwangbok Jeong. An optimization model for selecting the optimal green systems by considering the thermal comfort and energy consumption. *Applied Energy*, 169, 2016.
- [38] Iva Kovacic. Lebenszyklusanalyse und Lebenszykluskosten. 2015.
- [39] Helga Kromp-Kolb, Herbert Formayer, and Lukas Clementschitsch. Auswirkungen des Klimawandels auf Wien unter besonderer Berücksichtigung von Klimaszenarien. Technical report, Universität für Bodenkultur Wien Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt Institut für Meteorologie, Wien, 2007.
- [40] Per Krusche, Dirk Althaus, and Ingo Gabriel. *Ökologisches Bauen*. Umweltbundesamt, 1982.
- [41] Andreas Lichtblau. 90degreen. <http://www.90degreen.com/web/>. Zugriff: 2017-11-08.

Literatur

- [42] Andreas Lichtblau. Infomappe 90degreeen. Technical report, Wien, 2014.
- [43] Andreas Lichtblau, Azra Korjenic, David Tudiwer, and Maria Soledad. Bauphysikalische Auswirkungen von Bauwerksbegrünungen. 2016.
- [44] Joke Luttk. The value of trees, water and open space as reflected by house prices in the Netherlands. *Landscape and Urban Planning*, 48(3-4), 2000.
- [45] MA 18 Stadtentwicklung und Stadtplanung. Grün- und Freiraum, STEP 2025. Technical report, Magistratsabteilung 18 der Stadt Wien, Stadtentwicklung und Stadtplanung, Wien, Wien, 2015.
- [46] Magistrat der Stadt Wien – MA 23 -Wirtschaft Arbeit und Statistik. Wien wächst - Bevölkerungsentwicklung in Wien und den 23 Gemeinde- und 250 Zählbezirken. Technical report, Wien, 2014.
- [47] Ugo Mazzali, Fabio Peron, Piercarlo Romagnoni, Riccardo M. Pulselli, and Simone Bastianoni. Experimental investigation on the energy performance of Living Walls in a temperate climate. *Building and Environment*, 64:57–66, 2013.
- [48] Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change MCC. Emissionshandel durch Mindestpreis reformieren. <https://www.mcc-berlin.net/forschung/emissionshandel.html>. Zugriff: 2017-08-15.
- [49] Ministerium für ein lebenswertes Österreich - Lärminfo.at. laerminfo.at - Lärmkarten. <http://www.laerminfo.at/laermkarten/strassenverkehr.html>. Zugriff: 2017-08-27.
- [50] Ulrich Morawetz, Dieter Mayr, and Doris Damyanovic. Ökonomische Effekte grüner Infrastruktur als Teil eines Grünflächenfaktors. Ein Leitfaden. 2016.
- [51] Ståle Navrud, Yngve Trædal, Alistair Hunt, Alberto Longo, Alexander Greßmann, Carmelo Leon, Raquel Espino Espino, Rita Markovits-Somogyi, and Ferenc Meszaros. HEATCO - Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. Deliverable 4. Technical report, IER University Stuttgart, 2006.
- [52] ÖNORM B 1801-1. Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 1: Objekterrichtung, 2011.
- [53] ÖNORM B 1801-2. Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 2: Objekt-Folgekosten (Ausgabe: 2011-04-01), 2011.
- [54] ÖNORM H 7500-1. ÖNORM H 7500-1 Heizungssysteme in Gebäuden, 2015.
- [55] Optigrün International AG. Datenblatt Saug- und Kapillarvlies. 2013.
- [56] Optigrün International AG. Datenblatt Fassadenbegrünungskassette. 2014.
- [57] Optigrün International AG. Systemlösung Fassadengarten. 2015.

Literatur

- [58] Österreichische Nationalbank. Anknüpfungszinssatz gem. §456 UGB. <https://www.oenb.at/Service/Zins--und-Wechselkurse/Anknuempfungszinssaetze.html>. Zugriff: 2017-09-16.
- [59] Österreichische Nationalbank. Inflation aktuell - Die Inflationsanalyse der OeNB. Technical report, Wien, 2017.
- [60] Marc Ottel , Katia Perini, A. L A Fraaij, E. M. Haas, and R. Raiteri. Comparative life cycle analysis for green facades and living wall systems. *Energy and Buildings*, 43(12), 2011.
- [61] Maria Pamminer. *Entwicklung eines  kologischen Bewertungsmodells f r Begrünungssysteme in Kombination mit PV- Modulen unter Betrachtung des gesamten Lebenszyklus*. PhD thesis, Technische Universität Wien, 2016.
- [62] G. Pérez, L. Rinc n, A. Vila, J. M. González, and L. F. Cabeza. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. *Energy Conversion and Management*, 52(4), 2011.
- [63] Katia Perini, Marc Ottel , A. L A Fraaij, E. M. Haas, and Rossana Raiteri. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, 46(11):2287–2294, 2011.
- [64] Katia Perini and Paolo Rosasco. Cost-benefit analysis for green facades and living wall systems. *Building and Environment*, 70, 2013.
- [65] Ulrike Pitha, Bernhard Scharf, Vera Enzi, J rgen Preiss, Sascha Haas, J rg Fricke, and Gerold Steinbauer. Leitfaden Fassadenbegrünung. „ koKauf W(Wien), 2013.
- [66] J rgen Preiss. GR NGEWANDt 2.0. 2013.
- [67] Franz Prettenthaler, Andreas Gobiet, Clemens Habsburg-Lothringen, Reinhold Steinacker, Christoph T glhofer, and Andreas T rk. Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich - StartClim2006. Technical report, Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt Institut für Meteorologie, Graz, 2007.
- [68] Thomas A M Pugh, A. Robert MacKenzie, J. Duncan Whyatt, and C. Nicholas Hewitt. Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environmental Science and Technology*, 46, 2012.
- [69] Mag Matthias Schlaisich. *Bestimmung der Heiz- und Kühlgradtage im Alpenraum*. PhD thesis, Universität Wien, 2013.
- [70] Stadt Wien. Bevölkerungsstand - Statistiken. <https://www.wien.gv.at/statistik/bevoelkerung/bevoelkerungsstand/>. Zugriff: 2017-08-27.

Literatur

- [71] Stadt Wien. Checkliste für die erforderlichen Genehmigungen von Fassadenbegrünungen. <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/behoerdencheck.pdf>. Zugriff: 2017-07-21.
- [72] Stadt Wien. Fassadenbegrünung - Förderungsantrag. <https://www.wien.gv.at/amtshelfer/umwelt/stadtgaerten/begruenung/fassadenbegruenung.html>. Zugriff: 2017-07-23.
- [73] Stadt Wien. Gebäude und Wohnungen - Statistiken. <https://www.wien.gv.at/statistik/verkehr-wohnen/wohnen/>. Zugriff: 2017-10-21.
- [74] Stadt Wien - Magistratsabteilung 48. Altstofftarife in der Abfallbehandlungsanlage. <https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/tarife/altstoffe.html{#}metalle>. Zugriff: 2017-11-04.
- [75] Stadt Wien - Magistratsabteilung 48. Tarife für die Übernahme von Müll, Bauschutt und Erdaushub. <https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/tarife/bauschnitt-aushub.html>. Zugriff: 2017-11-04.
- [76] Stadt Wien - Wiener Wasser (MA 31). Wasserbezugs- und Wasserzählergebühr - Meldung. <https://www.wien.gv.at/amtshelfer/bauen-wohnen/wasserwerk/wasseranschluss/wassergebuehr.html>. Zugriff: 2017-10-28.
- [77] STANDARD Verlagsgesellschaft m.b.H. Die aktuellen Immobilienpreise für Wien. <http://immopreise.at/Wien/Wohnung/Miete>. Zugriff: 2017-06-10.
- [78] Statistik Austria. Das System der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR). <http://www.statistik.at/web{ }de/statistiken/wirtschaft/volkswirtschaftliche{ }gesamtrechnungen/index.html>. Zugriff: 2017-08-10.
- [79] Sven Taraba. FassadenGrün. <https://www.fassadengruen.de/>. Zugriff: 2017-09-13.
- [80] David Tudiwer and Azra Korjenic. The effect of living wall systems on the thermal resistance of the façade. *Energy and Buildings*, 135:10–19, 2017.
- [81] Umweltbundesamt. Täglicher Luftgütebericht. <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftguete{ }aktuell/tgl{ }bericht/>. Zugriff: 2017-11-01.
- [82] Umweltbundesamt Deutschland. Stickstoffoxide. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschaedstoffe/stickstoffoxide>. Zugriff: 27.08.2017.
- [83] Umweltbundesamt Deutschland. Sick Building Syndrom Krank in einem „krankmachenden“ Gebäude. Technical report, 2016.
- [84] Umweltbundesamt GmbH. Feinstaub. <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/luft/luftschaedstoffe/staub/pm10>. Zugriff: 2017-09-12.

Literatur

- [85] Umweltbundesamt GmbH. Überschreitungsstatistik. <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftguete{ }aktuell/ueberschreitungen/?cgiproxy{ }url=http{ }3A{ }2F{ }2Fluft.umweltbundesamt.at{ }2Fpub{ }2Fstationinfo{ }2Findex.pl>. Zugriff: 2017-09-12.
- [86] Umweltbundesamt GmbH. *Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2015*. 2015.
- [87] United Nations - Department of Economic and Social Affairs/Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*. Technical report, New York, 2012.
- [88] Timothy Van Renterghem, Maarten Hornikx, Jens Forssen, and Dick Botteldooren. The potential of building envelope greening to achieve quietness. *Building and Environment*, 61, 2013.
- [89] Wien Energie Vertrieb GmbH & Co KG. Strom-Tarife im Überblick. <https://www.wienenergie.at/eportal3/ep/programView.do/pageTypeId/67825/programId/72008/channelId/-50041>. Zugriff: 2017-08-10.
- [90] Wiener Landtag. *Wiener Stadtentwicklungs-, Stadtplanungs- und Baugesetzbuch - Bauordnung für Wien*, 2013.
- [91] Bill Wolverton. *Plants at Work* Shares Research. 2002.
- [92] Nyuk Hien Wong, Alex Yong Kwang Tan, Yu Chen, Kannagi Sekar, Puay Yok Tan, Derek Chan, Kelly Chiang, and Ngian Chung Wong. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45(3), 2010.
- [93] World Health Organization. *Media centre Tackling the global clean air challenge*. 2011.