

# MASTERARBEIT

## Fassadengebundene Vertikalbegrünung

Untersuchungen des Mikroklimas fassadengebundener  
Begrünungssysteme

## Living walls

Analyses of microclimate on living walls

von Georg Hancvencl bakk. techn.

### Betreuung

O. Univ. Prof. Dr. Florin Florineth

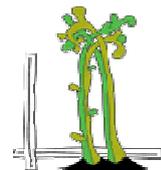
Univ. Ass. DI. Dr. Ulrike Pitha

DI Bernhard Scharf

Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Department für Bautechnik und Naturgefahren

Universität für Bodenkultur Wien



Wien, September 2013

# Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	4
Kurzfassung.....	5
Abstract.....	6
1 Einleitung.....	7
1.1 Forschungsprojekt GrünStadtKlima.....	8
1.2 Fragestellung und Zielformulierung.....	9
1.3 Aufbau der Arbeit.....	9
2 Leistungen und Funktionen von Fassadenbegrünung im urbanen Raum.....	10
2.1 Ökologische Funktionen.....	10
2.1.1 Lufthygienische Funktion.....	10
2.1.2 Mikroklimatische Funktion.....	12
2.1.3 Tierökologische Funktion.....	13
2.2 Ökonomische Funktion.....	14
2.3 Bauphysikalische, schützende Funktion.....	16
2.4 Ästhetische Funktion.....	16
2.5 Zusammenfassung – Leistungen und Funktionen von Fassadenbegrünungen.....	17
3 Stand der Technik.....	18
3.1 Typisierung von Fassadenbegrünung.....	18
3.1.1 Bodengebundene Fassadenbegrünung.....	18
3.1.2 Fassadengebundene Begrünung.....	19
3.1.3 Mischformen der Fassadendbegrünung aus Pflanzgefäßen oder Pflanztrögen..	22
3.2 Aufbau und technische Parameter.....	23
3.2.1 Substrate.....	23
3.2.2 Bewässerung.....	24
3.2.3 Pflanzen.....	25
3.3 Zusammenfassung - Stand der Technik.....	26

4	Untersuchungsobjekte .....	28
4.1	Versuchsstandort .....	28
4.2	Versuchsflächen.....	29
4.2.1	Flächiges Begrünungssystem .....	30
4.2.2	Pflanzwannensystem .....	35
4.2.3	Modulares Begrünungssystem .....	41
4.3	Referenzfläche .....	49
4.3.1	Referenzfläche – Putzfassade .....	49
5	Vegetationstechnische Untersuchungen .....	51
5.1	Methodik Gesamtdeckungsgrad .....	51
5.1.1	Gesamtdeckungsgrad .....	51
5.2	Ergebnisse Gesamtdeckungsgrad .....	52
5.2.1	Flächiges Begrünungssystem .....	52
5.2.2	Pflanzwannensystem .....	54
5.2.3	Modulares Begrünungssystem .....	56
6	Mikroklimatische Untersuchungen .....	58
6.1	Messinstrumente - Klimastation .....	58
6.2	Anordnung der Sensoren .....	59
6.2.1	Anordnung der Messinstrumente - Klimastation .....	59
6.2.2	Anordnung der Messinstrumente - Versuchsflächen .....	59
6.3	Klima im Untersuchungsgebiet .....	61
6.3.1	Ergebnisse der Klimastation.....	61
6.4	Mikroklima an den Versuchsflächen .....	64
6.4.1	Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit.....	64
6.4.2	Wandtemperatur .....	65
6.4.3	Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit.....	66
6.5	Ergebnisse Lufttemperatur und Luftfeuchte.....	67
6.5.1	Lufttemperatur – flächiges Begrünungssystem.....	67

6.5.2	Relative Luftfeuchte – flächiges Begrünungssystem .....	70
6.5.3	Lufttemperatur – Pflanzwannensystem .....	73
6.5.4	Relative Luftfeuchte – Pflanzwannensystem .....	76
6.5.5	Lufttemperatur – modulares Begrünungssystem.....	79
6.5.6	Relative Luftfeuchte – modulares Begrünungssystem.....	82
6.6	Ergebnisse Wandtemperatur.....	85
6.6.1	Wandtemperatur – Vergleich des flächigen Systems mit der Referenzfläche ...	85
6.6.2	Wandtemperatur – Vergleich des Pflanzwannensystems mit Referenzfläche ...	87
6.6.3	Wandtemperatur – Vergleich des modularen Systems mit der Referenzfläche.	89
6.7	Ergebnisse Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit .....	91
6.7.1	Bodentemperatur und Bodenfeuchte – flächiges Begrünungssystem .....	91
6.7.2	Bodentemperatur und Bodenfeuchte – Pflanzwannensystem .....	95
6.7.3	Bodentemperatur und Bodenfeuchte – modulares Begrünungssystem.....	99
6.8	Zusammenfassung der mikroklimatischen Ergebnisse.....	103
6.8.1	mikroklimatische Ergebnisse am flächigen Begrünungssystem .....	103
6.8.2	mikroklimatische Ergebnisse am Pflanzwannensystem.....	104
6.8.3	mikroklimatische Ergebnisse am modularen Begrünungssystem .....	104
7	Diskussion und Zusammenfassung der gesamten Ergebnisse .....	106
7.1	Bodentemperatur und Bodenfeuchte .....	106
7.2	Mikroklima .....	107
7.2.1	Flächiges Begrünungssystem .....	108
7.2.2	Pflanzwannensystem .....	108
7.2.3	Modulares Begrünungssystem .....	109
8	Ausblick .....	111
9	Quellenverzeichnis.....	112
10	Abbildungsverzeichnis .....	116
11	Tabellenverzeichnis.....	123
12	Curriculum vitae.....	124

## **Danksagung**

Ich bedanke mich an dieser Stelle ganz besonders bei meinen Betreuern und Betreuerinnen O. Univ. Prof. Dr. Florin Florineth, Univ. Ass. DI Dr. Ulrike Pitha und DI Bernhard Scharf für ihre kompetente Unterstützung, ihren freundschaftlichen Umgang und für die vorgelebte Liebe zum Fach.

Ein großes Dankeschön geht an Fritz Zott, ohne dessen technisches Know How der Aufbau und die Erfassung der Daten der Versuchsanlage nicht möglich gewesen wäre.

Weiters bedanke ich mich bei den beteiligten Firmen, die diese Forschungsarbeit erst ermöglicht haben.

Einen herzlichen Dank geht an meine Freundin, meine Freunde und an die Studienkollegen mit denen ich im Leben und im Studium viel Schönes erleben durfte und die mich stets unterstützt haben. Ganz besonderer Dank gebührt meiner Freundin, die mich in Zeiten motiviert hat, in denen die Masterarbeit mir den ein oder anderen Nerv geraubt hat.

Und schließlich ein Danke an meine geduldigen Eltern, denen ich den einen oder anderen Nerv geraubt habe.

## **Kurzfassung**

Die Erhöhung der Lebensqualität in der Stadt durch Begrünungsmaßnahmen wird angesichts rasant wachsender Städte und der damit verbundenen negativen Beeinflussung der StadtbewohnerInnen durch anthropogen produzierte Abwärme und Emissionen immer wichtiger. Fassadengebundene Begrünungssysteme stellen in dicht besiedelten Ballungsräumen durch eine Vielzahl an positiven ökologischen Wirkungen eine Alternative zu Bodenpflanzungen dar und haben das Potential das Stadtklima zu verbessern, es mangelt jedoch noch an wissenschaftlichen Erkenntnissen über die Eigenschaften und Wirkungen dieser Begrünungstechniken. Im Rahmen des Forschungsprojekts „GrünStadtKlima“ werden deshalb in dieser Masterarbeit drei wandgebundene Systeme im Versuchsgarten Essling in Wien auf die mikroklimatische Wirkung untersucht und analysiert. Zusätzlich sind der Gesamtdeckungsgrad der Vegetation der einzelnen Systeme im Oktober 2011 und in der Vegetationsperiode von April bis September 2012 erhoben worden.

Um Aussagen über die mikroklimatische Wirkung der Begrünungssysteme treffen zu können, werden mittels sensorbasierter Messtechnik folgende Parameter an den Versuchsflächen erfasst: Lufttemperatur und relative Luftfeuchte im Nahbereich und Fernbereich, Bodentemperatur und Bodenfeuchte, Albedo, Wandtemperatur und Wärmedurchfluss. An einer lokalen Klimastation sind außerdem der Niederschlag, Windstärke und Windrichtung, Albedo als auch Lufttemperatur und Luftfeuchte aufgenommen worden. Die Analyse der Daten zeigt einen positiven mikroklimatischen Effekt aller drei untersuchten Begrünungsvarianten im Vergleich zu der unbepflanzten Putzfassade und der Klimastation, wobei zwischen den Systemen unterschiedliche Wirkungsgrade festzustellen sind. Am Besten hat sich das flächige Begrünungssystem bewährt, das allerdings eine intensive Bewässerung, Düngung und Pflege braucht. Bei den zwei intensiven Begrünungsvarianten (flächig und modular) mit Zusatzbewässerung ist ein höherer Wirkungsgrad auf das Mikroklima festzustellen als bei der extensiven Begrünungsvariante (Pflanzwannensystem) ohne zusätzliche Bewässerung. Der Vergleich zwischen der Referenzfläche (Putzfassade) und den begrünten Systemwänden zeigt jedoch, dass sich die Luft vor allen drei Systemen deutlich weniger aufheizt als vor der Putzfassade. Im Nahbereich der begrünten Wände gibt es an strahlungsreichen Tagen durch die Verdunstung der Bepflanzung kühlere Lufttemperaturen und deutlich erhöhte Luftfeuchtwerte. Gedämpfte Wandtemperaturen hinter den Systemwänden lassen außerdem eine dämmende Wirkung aller untersuchten Begrünungsvarianten erkennen.

## **Abstract**

Improving quality of life and standard of living by means of greening in a city is a factor with increasing relevance due to the intensive growth of cities and consequently negative impact of produced waste heat and emissions by the human. Living walls are an alternative to urban vegetation in densely populated urban areas. They show a variety of positive ecological effects and bear the potential of changing the urban climate. However, scientific findings about the characteristics and effects of living walls are rare. In the context of the scientific program “GrünStadtKlima” three living walls which are located in the experimental garden Essling in Vienna are investigated in this master thesis. The focus of the analysis is the microclimatic effect of living walls. In addition, the total coverage of vegetation of each living wall was recorded in October 2011 and in the vegetation period of April to September 2012.

To being able to draw conclusions about the microclimatic effect of living walls, following parameters were recorded at the test areas: air temperature and relative humidity in close and far range, soil temperature and soil moisture, albedo, wall temperature and heat flow. In addition, precipitation, windspeed and direction, albedo, air temperature and relative humidity were recorded at a local meteorological station. The analysis of the data shows a positive microclimatic effect of all three living walls in comparison to the unplanted reference wall and the meteorological station. However, the following differences between the systems were detected: the plane living wall proved most effective, but it needs an intensive soil watering, fertilization and care. Moreover, the two intensive living walls (plane and modular) with integrated watering system showed a higher impact on the microclimate than the extensive living wall without watering system. In comparison to the reference wall, measurements of the air temperature in August showed that the air in front of all three living walls was far less heated. In close range to the living walls, cooler air temperature and higher relative humidity were detected at hot days due to effects of plant transpirations. Muted walltemperature behind the living walls point to an insulate effect of the systems.

# 1 Einleitung

Die Stadt hebt sich durch ganzjährig wärmeabstrahlende Baukörper und versiegelte Flächen als Wärmeinsel vom Umland ab (BRANDWEIN, 2012). Die großflächige Umwandlung von natürlichen in künstliche Oberflächen ist neben Abwärme von Verkehr, Industrie und Hausbrand an der Überwärmung städtischer Gebiete maßgeblich beteiligt. Durch den Mangel oder das Fehlen von natürlichen Vegetationsflächen in Städten sind die Verdunstungsraten niedrig. Ein Großteil der einstrahlenden Wärmeenergie wird in den versiegelten Oberflächen gespeichert oder unmittelbar über den sensiblen Wärmestrom wieder abgegeben. Niederschläge werden von den versiegelten Oberflächen nicht gespeichert. Das Niederschlagswasser wird über die Kanalisation rasch abgeleitet und kann bei Starkregenereignissen zu Problemen führen. Aufgrund der Oberflächenrauigkeit von Gebäudestrukturen kommt es in Städten zu einer Modifizierung des Windfeldes, vermehrte Windstillen und Böigkeit des Windes in Städten sind die Folge (BRANDT, 2005).

Schon heute leben laut den Vereinten Nationen mehr als die Hälfte der globalen Bevölkerung in Städten, in Industrieländern sind es derzeit rund 78%. Die Vereinten Nationen rechnen bis zum Jahr 2050 mit einem Anwachsen der weltweit städtischen Bevölkerungszahl auf 67 % (DGVN, 2012).

Aufgrund der bekannten negativen Auswirkungen von Städten auf das lokale Klima und dem bevorstehenden Klimawandel sind wirksame Maßnahmen zu ergreifen, die zu einer Verbesserung der Lebensbedingungen in der Stadt führen und einen Teil zum Klimaschutz beitragen (BRANDWEIN, 2012). Um der sommerlichen Hitzebelastung in Städten entgegenzuwirken, sind Maßnahmen wie die Schaffung von Luftleitbahnen oder die Vernetzung von Vegetationsflächen wesentlich. Durch Gebäudebegrünungen, wie Dach- oder Fassadenbegrünung lassen sich Wärmespeicherkapazitäten von Gebäuden minimieren. Die zusätzlichen Vegetationsstrukturen wirken sich durch Beschattung und Verdunstungskühle positiv auf das Klima aus (DANNERT, 2011). Durch die geringe Bodenbeanspruchung von Fassadenbegrünungen geht im dicht besiedelten urbanen Raum ein großes Potential zur mikroklimatischen Verbesserung aus. In den letzten zwanzig Jahren entwickelten Firmen durch den Begründer Patric Blanc inspirierte wandgebundene Begrünungssysteme, die aufgrund des LoslöSENS vom Bodenanschluss in Ballungszentren eine Schlüsselstellung bei der Gebäudebegrünung einnehmen. Es mangelt jedoch an Langzeitstudien und wissenschaftlich gesicherten Erkenntnissen im bautechnischen und vegetationstechnischen Bereich, um diese Systeme am Markt zu forcieren. Im mitteleuropäischen Raum ergibt sich aufgrund des rauen Klimas und der kalten Winterperioden ein Forschungsbedarf hinsichtlich

der richtigen Pflanzenauswahl. Des Weiteren ist die Pflanzenauswahl in Bezug auf das jeweilige Pflanzsystem zu untersuchen, um die dauerhafte Funktionsfähigkeit der Systeme zu gewährleisten (KÖHLER, 2012).

Das Ziel des Forschungsprojekts „GrünStadtKlima“ ist es, den Einfluss von begrünten Bauwerksoberflächen auf Klima, Wasserhaushalt und auf den Wert einer Immobilie zu quantifizieren, sowie bestehende Bauweisen zu verbessern. Um neue Erkenntnisse über die mikroklimatische Wirkung fassadengebundener Begrünungssysteme zu gewinnen, werden im Rahmen des Forschungsprojekts „GrünStadtKlima“ in dieser Masterarbeit drei wandgebundene Begrünungssysteme untersucht und analysiert.

## **1.1 Forschungsprojekt GrünStadtKlima**

Das Forschungsprojekt „GrünStadtKlima“ wurde Anfang 2010 vom Verband für Bauwerksbegrünung (VfB) und dem Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) der Universität für Bodenkultur Wien initiiert (ENZI, 2011). Neben den genannten Institutionen wirken zahlreiche Abteilungen der Universität für Bodenkultur Wien, die höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau Schönbrunn und einige weitere Verbände, als auch ausgewählte Unternehmen der Bau- und Begrünungsbranche mit. Das Forschungsprojekt hat eine Laufzeit von drei Jahren (01.07.2010 bis 28.03.2013) und wird von der österreichischen Forschungsförderungsmittelgesellschaft (FFG) sowie den beteiligten Projektpartnern finanziert (ÖSTERREICHISCHER WIRTSCHAFTSVERLAG GMBH 2010). Das Projekt ist in drei Forschungsschwerpunkte aufgeteilt, die der Dachbegrünungen, der Fassadenbegrünungen und der versickerungsfähigen Wegebeläge. Der Ablauf des Projektes ist in drei Phasen gegliedert. In der ersten Phase werden Daten zu technischen Materialkenngrößen, mikroklimatischen, wasserwirtschaftlichen, und bauphysikalischen Eigenschaften, Vegetationsentwicklung und CO<sub>2</sub>-Speichervermögen erhoben und analysiert. In der zweiten Phase wird ein computerbasierter Stadtteil modelliert, in dem die verschiedenen Bautechniken und Klimaszenarien simulierbar sind. Die zuvor erhobenen Daten stellen für das virtuelle Stadtmodell eine wichtige Grundlage dar. Die daraus gezogenen Schlussfolgerungen und Erkenntnisse fließen in der dritten Phase in behördliche Auflagen und Planungsratgeber ein. Sie umfassen Strategien zur Forcierung begrünter und versickerungsfähiger Bauweisen im städtischen Raum, um durch bauliche Anpassung die Auswirkungen des Klimawandels in Städten abzufedern (ENZI, 2011).

## **1.2 Fragestellung und Zielformulierung**

In der vorliegenden Masterarbeit liegt der Schwerpunkt in der Quantifizierung der mikroklimatischen Eigenschaften der untersuchten Begrünungssysteme. In der Masterarbeit wird folgenden Fragen nachgegangen:

- Welche Unterschiede in der Lufttemperatur, Luftfeuchte und Wandtemperatur weisen begrünte Fassaden im Vergleich zu einer Putzfassade und einer Klimastation auf?
- Welche Unterschiede in der Bodenfeuchte und Bodentemperatur sind zwischen oberem und unterem Bereich der vertikalen Vegetationstragschicht der Begrünungssysteme festzustellen?

## **1.3 Aufbau der Arbeit**

In den ersten drei Kapiteln dieser Masterarbeit werden theoretische Grundlagen aufgearbeitet, die den Lesenden einen Überblick über die Thematik der Fassadenbegrünung und über die Versuchsflächen geben soll.

Einleitend werden in Kapitel 1 das Forschungsprojekt „GrünStadtKlima“ vorgestellt, als auch Ziel und Fragestellung dieser Masterarbeit formuliert. In Kapitel 2 wird auf ökologische und ökonomische Funktionen von Fassadenbegrünungen eingegangen und die unterschiedlichen Kategorien der Vertikalbegrünungen beschrieben. In Kapitel 3, „Stand der Technik“ werden technische Parameter von fassadengebundenen Begrünungen erläutert.

Im 4. Kapitel wird der Versuchsstandort und die Versuchsflächen hinsichtlich bau- und vegetationstechnischen Details beschrieben.

In Kapitel 5 bis 6 werden vegetationstechnische und mikroklimatische Untersuchungsergebnisse erläutert, aus denen sich der Wirkungsgrad des jeweiligen Begrünungssystems auf das Mikroklima ableiten lassen.

In Kapitel 5 sind die Methodik und die Ergebnisse der vegetationstechnischen Untersuchungen (Gesamtdeckungsgrad) angeführt, in Kapitel 6 sind die Methodik und Ergebnisse zu den mikroklimatischen Untersuchungen erläutert. Anschließend werden die Ergebnisse im 7. Kapitel diskutiert, am Ende der Arbeit zeigt ein kurzer Ausblick den weiteren Forschungsbedarf an fassadengebundenen Begrünungen auf.

## **2 Leistungen und Funktionen von Fassadenbegrünung im urbanen Raum**

Fassadenbegrünung erfüllt eine Vielfalt an Wirkungen und Funktionen im urbanen Raum (KÖHLER, 2011). Um die Zuordnung von Funktion und Wirkung von begrünten Fassaden zu quantifizieren, erfolgt eine nach der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL) – Richtlinie (FLL 2000) modifizierte Gliederung:

- ökologische Funktionen
  - lufthygienische Funktion
  - mikroklimatische Funktion
  - tierökologische Funktion
- ökonomische Funktion
- bauphysikalische, schützende Funktion
- ästhetische Funktion

### **2.1 Ökologische Funktionen**

#### **2.1.1 Lufthygienische Funktion**

Staubförmige Immissionen zählen zu den Hauptquellen der Schadstoffbelastung in Großstädten. Sie führen bei städtischen Pflanzbeständen zu Schadstoffanreicherungen an Blättern und werden durch Niederschläge in den Wurzelraum gespült. Dort wird ein Großteil der Schadstoffe aufgenommen. Der Schadstoffeintrag wirkt sich bei hoher Konzentration negativ auf den Gaswechsel und das Wachstum der Pflanze aus. Die Anreicherung durch Schadstoffe hängt laut BARTFELDER und KÖHLER (1987) vor allem von der Lage im Stadtgebiet als auch von der Nähe zu stark befahrenen Straßen ab.

Studien von BARTFELDER und KÖHLER (1987), THÖNESSEN (2005) oder OTTELE (2011) zu Feinstaubbindung belegen die positive kleinklimatische und lufthygienische Funktion von Fassadenbegrünung und erachten es als sinnvoll, mehr Gebäudebegrünungen in verdichtete innerstädtische Wohngebiete einzubringen. Die Wirkung der Staubbindung von vertikalen Begrünungen ist proportional zum jeweiligen pflanzenspezifischen Blattflächenindex zu sehen. Dieser ergibt sich durch das Verhältnis von Blattfläche zur Wandfläche, und liegt beispielweise bei *Parthenocissus tricuspidata* bei 1,6 bis 4 (KÖHLER 1993). Eine Studie von THÖNESSEN (2005) kommt jedoch zum Ergebnis, dass alleine die

Blattmaße von Vegetationsflächen nicht ausschlaggebend für den Anteil an Feinstaubbindung ist. THÖNESSEN (2005) vergleicht in seiner Studie die Wirkung zwischen Baumalleen und beidseitig angeordneter Fassadenbegrünungen auf die Verteilung von Luftschadstoffen in Straßenräumen. Fassadenbegrünung führt aufgrund der vertikalen Anordnung der Pflanzflächen zu einer besseren Emissionsablüftung im Straßenraum. Im Gegensatz zu Baumpflanzungen, bei denen erhöhte Schadstoffkonzentrationen unter den Baumkronen festzustellen sind, werden wichtige Luftaustauschbahnen zwischen dem unteren Straßenraum und den Überdachwinden durch vertikale Begrünung nicht behindert.

Eine Untersuchungsreihe von BARTFELDER und KÖHLER (1987) über Feinstaubbindung durch *Parthenocissus tricuspidata* und *Hedera helix* zeigt eine Aufnahme von Feinstaubpartikeln von bis zu 4 g/m<sup>2</sup> beim *Parthenocissus*, und bis zu 6 g/m<sup>2</sup> bei *Hedera helix*. Dies entspricht einem Bedeckungsgrad der Blattoberflächen von 40 % bis maximal 60 %. Die Kapazitätsgrenze hängt laut STEUBNIG und KIRSCHBAUM (1976, zitiert in BARTFELDER und KÖHLER 1987) mit der Struktur der Blattoberflächen zusammen, die bei behaarten Oberflächen etwa dreimal so hoch ist wie bei glatten. Die Untersuchungsreihe zeigt eine relativ gleichmäßige Ablagerung der Feinstaubpartikel auf Innen- und Außenseite der Blattoberflächen, wobei die Intensität der Feinstaubbindung mit der Höhe der Fassadenbegrünung abnimmt. Gemessen wurde jeweils in 2 und in 10 m Höhe (KÖHLER, 1993).

Die langzeitige Wirkung von sommergrünen, blattabwerfenden Kletterpflanzen ist für die Feinstaubbindung laut BARTFELDER und KÖHLER (1987) höher einzustufen als bei immergrünen Arten. Grund dafür ist die Bildung von oberflächlich unbelasteten Blättern in den Vegetationsperioden. Dadurch kann auf lange Sicht mehr Feinstaub gebunden werden als bei immergrünen, oberflächlich vorbelasteten Pflanzen wie *Hedera helix*, die bei einer Staubbindungskapazität von 6 g/m<sup>2</sup> erschöpft sind. Durch den Blattverlust werden die gebundenen Partikel dem städtischen Freiraum entzogen und fachgerecht entsorgt.

Die Untersuchungsreihen von BARTFELDER und KÖHLER (1987) fanden ausschließlich an erdgebundener Fassadenbegrünung statt. Die Ergebnisse sind als Maßstab für die neuen vertikalen Begrünungssysteme heranzuziehen, jedoch nicht ungeprüft übertragbar, da sich die Systeme in Bedeckungsdichte und Aufbauanlagen stark unterscheiden. Weitere Untersuchungen der Living Wall Systeme in Bezug auf Feinstaubbindung sind in Arbeit (PFOSER, 2010).

### **2.1.2 Mikroklimatische Funktion**

Unter einem Mikroklima oder Kleinklima versteht man das lokale Klima kleiner Areale zwischen 1 m<sup>2</sup> und 1 km<sup>2</sup>. Es beschreibt neben dem Klima von Gebäuden und anderen künstlichen Oberflächen auch natürliche Klimaeigenschaften (HÄCKEL, 2012). Unter mikroklimatischer Funktion bzw. Wirkung werden in dieser Arbeit demnach die Effekte von Fassadenbegrünungen auf das unmittelbare, lokale Klima verstanden.

Die kleinklimatische Wirkung der Fassadenbegrünung ist auf den Nahbereich der vertikalen Begrünung beschränkt. Die Begrünung schafft einen hausnahen Luftpolster, der kühlere Lufttemperaturen in unmittelbarer Wandnähe erzeugt (KÖHLER, 1993). Die Pflanze entzieht durch Photosynthese, Verdunstung und ihre Wärmespeicherfähigkeit der Umgebung Wärme. Dies sorgt im Sommer für einen kühlenden Effekt in unmittelbarer Fassadennähe, wobei bis zu 90% der einstrahlenden Wärmeenergie aufgebraucht wird. Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht werden dadurch reduziert (MINKE, 1985). So liegt die Temperaturpufferung von Fassadenbegrünung mit Efeu in England laut STERNBERG et al. (2011, zitiert in KÖHLER, 2011) abhängig von der Himmelsrichtung, zwischen 15 und 36 %. In Singapur sind in Bezug auf thermische Isolierung Temperaturunterschiede von bis zu 9°C tagsüber gemessen worden, in der Nacht konnten Unterschiede von 3 bis 6°C festgestellt werden. Wichtige Parameter bei der thermischen Isolierung sind vor allem die Bewässerung sowie die Dichte des Bewuchses. In 60 Zentimetern Abstand zur Fassade ist kein messbarer Effekt der Fassadenbegrünung mehr nachzuweisen (WONG et al., 2010, zitiert in KÖHLER, 2011). Neben der Anreicherung der Luft mit Feuchtigkeit produzieren Kletterpflanzen auch noch Sauerstoff und filtern, wie im vorigen Abschnitt schon beschrieben, Staubpartikel aus der Luft (MINKE, 1985).

Im Vergleich zu bodengebunder Fassadenbegrünung erzielen vollflächige fassadengebundene Vertikalbegrünungen einen höheren ökologischen Effekt. Aufgrund der Substratkörper und der Vergrößerung der Oberfläche durch die Blattmaße weisen die Begrünungssysteme ein erhöhtes Staubbindevermögen auf. Zudem wirken sie durch die Minderung der Rückstrahlungsintensität, den Ausgleich von Temperatur- und Luftbewegungen und durch die Anreicherung der Luft mit Sauerstoff positiv auf das Mikroklima (PFOSER, 2010).

### 2.1.3 Tierökologische Funktion

Fassadenbegrünungen bieten einer Reihe von Tierarten einen Ersatzlebensraum für die in der Stadt begrenzten Grünräume (KÖHLER, 1993). Die auffälligste Spezies, die in Fassadenbegrünungen vorzufinden ist, ist die Gruppe der Vögel. Untersuchungen von BARTFELDER und KÖHLER (1987) zum Tierbestand in bodengebundener Fassadenbegrünung in Berlin zeigen, dass Vertikalbegrünungen für Vögelarten wie dem Haussperling, dem Grünfink und der Amsel eine Futterquelle in innerstädtischen Bereichen bieten. Die Kletterpflanzen dienen Busch- und Höhlenbrütern, zum Teil auch Baumfreibrütern als Brutplatz, da diese Standorte für gewöhnlich weniger Störungen ausgesetzt sind als Gehölzsäume am Straßenrand. Gerade für Amseln, die gegenüber Störungen sensibel reagieren, sind Fassadenbegrünungen in der Innenstadt ein wichtiger Lebensraum (BARTFELDER und KÖHLER, 1987). BARTFELDER und KÖHLER (1987) nennen zudem die Familie der Kräuselspinnen als häufigsten Vertreter unter den Spinnentieren und als Charakterart der Kletterpflanzen. Kräuselspinnen sind thermophil und synanthrop und entsprechen somit den typischen Lebensansprüchen an der Fassade.

Der Alt- und Totholzanteil als auch warme Standortverhältnisse sind laut KÖHLER (1993) wesentliche Faktoren für das Vorkommen von Tierarten in Fassadenbegrünungen. Alt- und Totholz bildet die Lebensgrundlage für holzbewohnende Tiere und stellt ein vielfältiges Nahrungsangebot aus lebendiger und abgestorbener Biomasse für Pflanzenfresser bereit. Für Altbestände mit heterogenen Strukturen, wie beispielweise *Hedera helix*, konnte bei Untersuchungen zur Individuenzahl in Fassadenbegrünungen eine höhere Anzahl an Vorkommen festgestellt werden als an einem juvenilen Weinrebebestand mit homogenen Strukturen (KÖHLER, 1993).

## 2.2 Ökonomische Funktion

Fassadenbegrünungen wirken sich nachweislich positiv auf die Energieeffizienz eines Gebäudes aus. Die Pflanzen beschatten einerseits durch ihr Blattwerk dahinterliegende Flächen und verhindern so das Aufheizen der Fassade, andererseits bewirkt die Fassadenbegrünung durch die produzierte Verdunstungskälte der Bepflanzung eine Kühlung des Gebäudes (SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG BERLIN, 2010).

Durch die Verwendung von sommergrünen Kletterpflanzen wird die Einstrahlung auf das Gebäude auf natürliche Weise gesteuert (PFOSER, 2010). Besonders vor Glasfassaden können Kletterpflanzen im Sommer zur Verschattung eingesetzt werden. Im Winter sorgen sommergrüne Kletterpflanzen durch den Blattverlust dafür, dass die Einstrahlung gewährleistet wird (SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG BERLIN, 2010). BAUMANN (1980, zitiert in KÖHLER, 1993) untersuchte den Einfluss von Kletterpflanzen (Schlingpflanzen) auf das thermische Verhalten von Gebäudeoberflächen im Sommer. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten eine Verminderung des Aufheizens der Fassade durch die Begrünung, wobei BAUMANN den Kühlungseffekt auf den Bedeckungsgrad der Wandoberfläche mit Blättern zurückführt. Aktuellere Projekte von CHENG et. al. (2010, zitiert in KÖHLER, 2011) belegen die Annahme, dass die kühlende Wirkung mit der Dichte der Vegetation zusammenhängt. Als Vorteil gegenüber statischen Verschattungselementen nennt BAUMANN die Phototropie von Pflanzen. Die Pflanzen stellen durch diesen natürlichen Mechanismus im Tagesverlauf ihre Blätter im optimal dämpfenden Winkel zur einfallenden Strahlung, sodass eine maximale Verschattung der darunterliegenden Fläche erzielt wird. An weiteren Versuchen konnte BAUMANN (1980, zitiert in KÖHLER, 1993) mit einem größeren Wandabstand der Kletterpflanze eine Erhöhung des Dämpfungswertes nachweisen.

Einen weiteren positiven Effekt auf den Energiehaushalt von Gebäuden übt eine vertikale Begrünung aufgrund der von Pflanzen produzierten Verdunstungskälte aus. Fassadenbegrünungen können durch Kondensation und Verdunstung extreme Temperaturschwankungen an der Fassade zwischen Tag und Nacht auf ein Minimum reduzieren. Die Pflanzen entziehen der Umgebung durch Photosynthese und Verdunstung Wärme und können bis zu 90 % der einstrahlenden Sonnenenergie verbrauchen (MINKE, 1985). Untersuchungen von KIESZL und RATH (1989) an voll ausgebildeten bodengebundenen Fassadenbegrünungen zeigen im Detail, dass die einstrahlende Sonnenenergie zu 50% vom Blattwerk absorbiert, zu 30 % reflektiert wird und 20 % bis zur Fassadenoberfläche unter die Begrünung gelangen. Des Weiteren ergaben die Messungen an

strahlungsreichen Sommertagen eine maximale Amplitudendämpfung der Temperaturen an Wandoberflächen mit Begrünung von etwa 30°K. An Nord-West orientierten Fassaden konnte im Sommer im Schnitt eine um ca. 1°K niedrigere, bei Süd bzw. Süd-West orientierten Fassaden eine um ca. 2 bis 3°K niedrigere Temperaturen als an unbegrüntem Fassaden festgestellt werden (KIESZL und RATH, 1989). Weiterführende Untersuchungen an troggebundener Fassadenbegrünung mit Kletterpflanzen am Institut für Physik der Humboldt-Universität zu Berlin in Adlershof im Jahr 2005 konnten Verdunstungsraten von durchschnittlich 10 bis 15 l/m<sup>2</sup> Kübeloberfläche und Tag nachweisen (siehe Abbildung 1) Trotz relativ kleinem Wurzelraum wurde bei einer 20 m hohen Kletterpflanze eine tägliche Verdunstungskühlung von 280 kWh pro Fassade nachgewiesen (SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG BERLIN, 2010). Durch die Verwendung von kalkarmem Regenwasser anstatt Leitungswasser ist die Verdunstungskühlung bei diesem Projekt besonders effizient. Mit einem Kubikmeter Regenwasser lassen sich 680 kWh Verdunstungsäquivalent erzeugen. Vergleicht man die Wasserkosten, die bei der Verwendung von Trinkwasser anfallen würden, lassen sich gegenüber elektrisch erzeugter Kälte 99 % der Kosten einsparen (SCHMIDT, 2008).

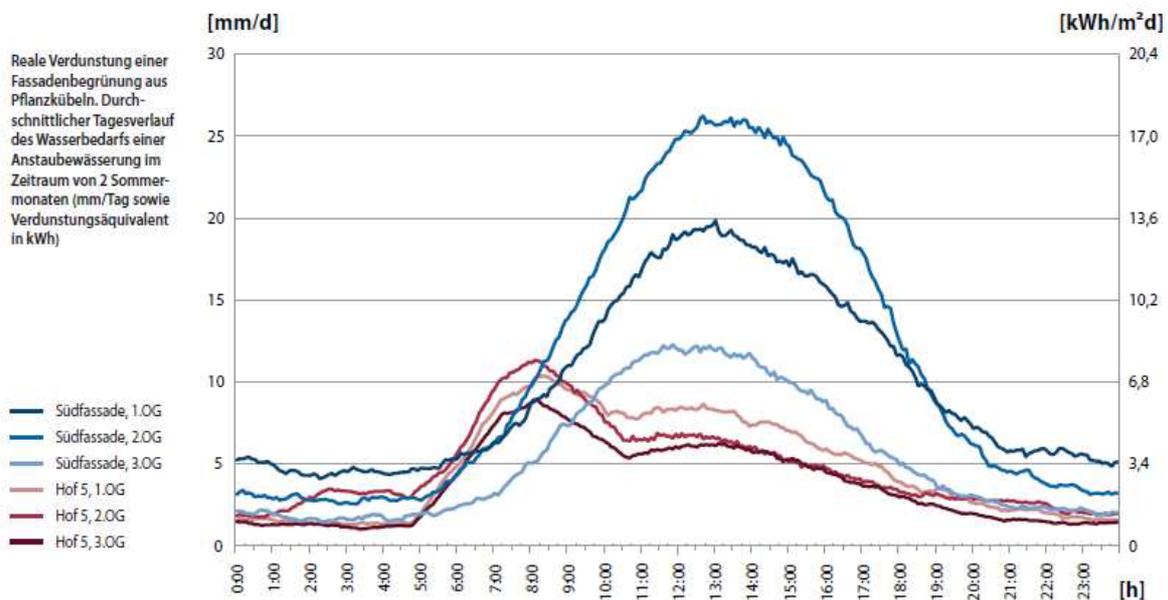


Abbildung 1: Reale Verdunstungsrate einer troggebundenen Fassadenbegrünung am Institut für Physik Berlin. Die durchschnittlichen Verdunstungsraten an der Südfassade (blaue Linien) sind deutlich höher als die im verschatteten Hof (rote Linien), wobei sich Abstufungen der Verdunstungsleistung in unterschiedlicher Höhenlage zeigen (SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG, BERLIN 2010).

Weltweit zeigen Projekte mit Kletterpflanzen, dass eine Fassadenbegrünung einen erheblichen Beitrag zur Reduktion der Kühlungskosten im Sommer beitragen kann. In Chile

konnten bis zu 35 % an Kosten für Gebäudekühlung eingespart werden (CONSORCIO, 2008, zitiert in KÖHLER, 2011). In Singapur (WONG et al. 2009, zitiert in KÖHLER 2011) und Hongkong (CHENG et al. 2010, zitiert in KÖHLER, 2011) liegt die Reduktion der Kosten bei einigen 10 %. Im europäischen Raum zeigt eine Untersuchungsreihe von PARICIO (2005, zitiert in KÖHLER, 2011) Kostenersparnisse im Sommer von bis zu 45 % auf, wobei im Winter bis zu 23 % an Heizkosten unter den jeweiligen Bedingungen eingespart werden konnten.

### **2.3 Bauphysikalische, schützende Funktion**

Die vertikale Begrünung verringert nachweislich die physische und chemische Beanspruchung einer Fassade und reduziert den direkten Witterungseinfluss auf die Fassade (KÖHLER 2011). Laut Untersuchungen von KIESZL und RATH (1989) bietet eine Fassadenbegrünung mit dichtem Blattwerk der Fassade einen guten Schutz. Bei immergrünen Arten, wie dem Efeu (*Hedera helix*), kommt es ganzjährig zu keiner Beregnung der darunter liegenden Fassade, während sommergrüne Arten wie Wilder Wein (zB. *Parthenocissus tricuspidata*) durch den Blattverlust im Winter ähnliche Werte wie unbegrünte Fassaden aufweisen.

Fassadengebundene flächige Begrünungssysteme wirken sich durch eine ausgeglichene Temperierung, UV-Filterung, und feuchteregulierende Eigenschaften positiv auf die Fassade aus. Aufgrund der hohen Blattmasse vermindern sie zudem die Schall-Reflexion (PFOSER, 2010).

### **2.4 Ästhetische Funktion**

Die vertikalen Begrünungen stellen neben ökologischen Funktionen, raumbildende, akzentuierende und gliedernde Aspekte dar. Vor allem in Städten, in denen ein Mangel an Grünflächen herrscht, kann eine Fassadenbegrünung für ein ästhetisch hochwertigeres Landschaftsbild sorgen. In Anbetracht dessen, dass die meisten Stadtmenschen immer weniger Zeit im Freiraum verbringen, sind Gebäudebegrünungen eine Lösung, um eine Steigerung der Lebensqualität im unmittelbaren Lebensbereich zu schaffen (KÖHLER, 2011). Durch individuelle Gestaltungsmöglichkeiten kann ein persönlicheres Umfeld geschaffen werden, das die Identifikation der Bewohner und Bewohnerinnen mit ihrer Umgebung stärkt (MINKE, 1985).

Bei einer Befragung von Bewohnern und Bewohnerinnen fassadenbegrünter Gebäude wird vor allem der ästhetische und psychosoziale Aspekt der Kletterpflanzen von den Befragten hervorgehoben. Das unmittelbare Wahrnehmen der Natur durch das Rascheln vom Blattwerk

als auch der Wechsel der Jahreszeiten wird von den Bewohnern und Bewohnerinnen als besonders positiv empfunden (PFOSER, 2010).

## **2.5 Zusammenfassung – Leistungen und Funktionen von Fassadenbegrünungen**

Fassadenbegrünungen erfüllen im urbanen Raum eine Vielzahl an Funktionen. Neben ästhetischen Aufwertungen von Immobilien stellen Vertikalbegrünungen wichtige Ersatzlebensräume für Tierarten im dicht besiedelten Raum dar. Mikroklimatische Wirkungen sind im Nahbereich von Begrünungen durch eine Verringerung der Lufttemperaturen, Anreicherung der Luft mit Sauerstoff, sowie eine Reduzierung der Rückstrahlungsintensität nachweisbar. Des Weiteren tragen Fassadenbegrünungen durch die Bindung von Feinstaubpartikel an die Blattoberflächen der Pflanzen zu einer Filterung der immissionsbelasteten Stadtluft bei. Ein ökonomischer Nutzen ergibt sich durch die Beschattung der Pflanzen und die Kühlung der Luft aufgrund der Transpirationsleistung. Die Fassade heizt sich dadurch im Sommer nicht so stark auf. PARICIO (2005, zitiert in KÖHLER, 2011) konnte im europäischen Raum eine Reduktion der Kühlungskosten von bis zu 45 %, und eine Ersparnis der Heizkosten im Winter um bis zu 23 % feststellen.

### **3 Stand der Technik**

In den folgenden Abschnitten werden die unterschiedlichen Typen der Fassadenbegrünung dargestellt und beschrieben. Anschließend sind die wichtigsten technischen Parameter von fassadengebundenen Begrünungssystemen definiert und werden im Detail erläutert.

#### **3.1 Typisierung von Fassadenbegrünung**

Laut FLORINETH (2012) können zur vertikalen Gebäudebegrünung drei Strategien unterschieden werden:

- Bodengebundene Fassadenbegrünung
- Fassadengebundene Begrünung
- Mischformen der Fassadenbegrünung aus Pflanzgefäßen oder Pflanztrögen

PFOSE (2010) ergänzt die bodengebundene Begrünung durch die Kategorie der Mischformen und der fassadengebundenen Begrünung, welche zu folgenden Untergruppen zusammengefasst wird:

- Regalsysteme
- modulare Systeme
- flächige Systeme

##### **3.1.1 Bodengebundene Fassadenbegrünung**

Als bodengebundene Fassadenbegrünung wird laut KÖHLER (1993) die Begrünung vertikaler Flächen durch Pflanzen mit Bodenanschluss bezeichnet. Diese Form der Gebäudebegrünung stellt die klassische Variante unter den Fassadenbegrünungen dar, die schon seit Mitte des 19. Jahrhunderts angewendet wird (KÖHLER, 1993). Man unterscheidet je nach Kletterstrategie der Pflanzen zwischen Gerüstkletterpflanzen und Selbstklimmern. Selbstklimmer haften direkt an der Wand, während Gerüstkletterpflanzen, die in Schlinger/Winder, Ranker und Spreizklimmer unterteilt sind, Kletterhilfen benötigen, um sich an der Wand halten zu können (FLL, 2000).

Einschränkungen bezüglich der Gestaltung ergeben sich durch die Wuchshöhe der Kletterpflanzen, des zur Verfügung stehenden Wurzelraumes und durch die bautechnischen Voraussetzungen am Gebäude oder der Kletterhilfe. Eine Mindestgröße des Wurzelraumes ist ab 1 m<sup>3</sup> gewährleistet (PITHA und SCHARF, 2010). Maximale Wuchshöhen von ca. acht Stockwerken bzw. 24 m sind möglich (FLL, 2000).

Die Form von bodengebundenen Gebäudebegrünungen ist bei Gerüstkletterpflanzen durch lineare oder netzartige Kletterhilfen steuerbar. Die Kletterhilfen sind in Bezug auf

Dauerhaftigkeit und Standsicherheit auf das Begrünungsziel abzustimmen. Die Statik muss für die Tragkonstruktion und Vegetation als auch für die einwirkenden horizontalen und Querlasten, ausreichend gewährleistet sein (FLL, 2000).



Abbildung 2: Beispiel für ein Haus mit bodengebundener Begrünung ([www.offenbach.de](http://www.offenbach.de), am 03.09.2013).

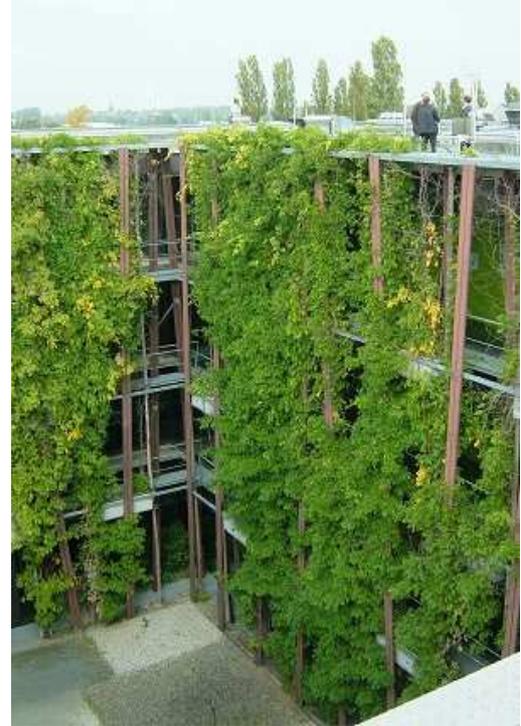


Abbildung 3: Bodengebundene Begrünung mit Kletterpflanzen im Hof des Instituts für Physik Berlin (<http://www.energienachrichten.net>, am 03.09.2013).

### 3.1.2 Fassadengebundene Begrünung

Unter dem Begriff der „Living Walls“, im Deutschen auch als „fassadengebundene Begrünung“ bezeichnet, wird eine gestalterisch-technische Lösung zur Begrünung von vertikalen Strukturen ohne Bodenanschluss verstanden (KÖHLER, 2012). Die Begrünung der Fassade erfolgt hierbei durch Pflanzmodule, die als Kästen, Platten oder Pflanzwannen ausgestaltet sein können (KÖHLER, 2010).

Als Pionier und Wegbereiter dieser Systeme gilt der französische Tropenbotaniker Patric Blanc (PITHA und SCHARF, 2010). Er entwickelte in den achtziger Jahren den ersten Prototypen einer Living Wall mittels einer Vegetationstragschicht aus Textil und einer Tröpfchenbewässerung (BLANC, 2009, zitiert in SCHULTE, 2012).

Mittlerweile gibt es laut KÖHLER (2010) mehr als 45 Firmen auf dem internationalen Markt, die wandgebundene Begrünungssysteme entwickelt haben, wobei der Verbreitungsschwerpunkt in subtropischen und tropischen Ländern liegt. Aufgrund des milden Klimas sind in diesen Breitengraden für das Wachstum der Pflanzen mit einer

bedarfsgerechten Bewässerung gute Voraussetzungen gegeben. In nordeuropäischen Regionen kann es hingegen durch stärkere Frostperioden im Winter zu Ausfällen von Pflanzen kommen. Die Systeme müssen sich für das rauhe Klima noch bewähren, da Langzeiterfahrungen bislang ausstehen (SCHULTE, 2012).

Aufgrund von zu kleinen oder fehlenden Pflanzflächen ist in hoch verdichteten Ballungsräumen eine Gebäudebegrünung mittels bodengebundener Kletterpflanzen nicht oder nur eingeschränkt möglich (SCHULTE, 2012). In Anbetracht der Flächenknappheit wachsender Großstädte werden auch zukünftig kaum zusätzliche Bodenflächen für Begrünungen verfügbar sein (PFOSER, 2010). „Living walls“ benötigen keinen Bodenanschluss und nehmen somit in verdichteten Stadtzentren eine Schlüsselstellung ein.

Das Potential an begrünbaren Flächen ist in Städten enorm. Durch immergrüne Systeme können unansehnliche Hausfassaden oder Feuermauern verkleidet werden, temporäre Installationen dienen beispielweise als Sichtschutz zu Baustellen (PFOSER, 2010). Living walls ermöglichen eine völlig variable Begrünung der Fassade (PITHA und SCHARF, 2010). Vor allem modularen Systemen sind bezüglich der begrünbaren Flächengröße technisch keine Grenzen gesetzt (PFOSER, 2010).

Die Gestaltungsmöglichkeit ist bei Living walls sehr vielfältig. Mit den neuen Systemen ist erstmals eine Integration von Fassadenbegrünung in die architektonische Gestaltung der Fassade möglich. Diese macht jedoch eine interaktive Planung mit einem gestalterischen Leitziel notwendig. Durch die vertikal flächige Anordnung der Pflanzen erzielen fassadengebunde Systeme schon nach unmittelbarer Fertigstellung einen gestalterischen Effekt (PFOSER, 2011).

Die bautechnischen Lösungen der Vertikalbegrünungssysteme erweitern die in bodengebundenen Methoden verwendeten Pflanzen um die Pflanzengruppen der Stauden, Bodendecker, Sträucher und Moose (PFOSER, 2010). Sie sind aufgrund der Bodenunabhängigkeit der Systeme keinen mechanischen und chemischen Belastungen wie zB. Bodenverdichtung oder Tausalz ausgesetzt (SCHULTE, 2012).



Abbildung 4: Begrünte Fassade der MA48 in Wien am Margareterngürtel (Foto: FLORINETH, 2012).



Abbildung 5: Blütenpracht der Federnelke an der begrünten Fassade der MA 48 in Wien (Foto: FLORINETH, 2012).

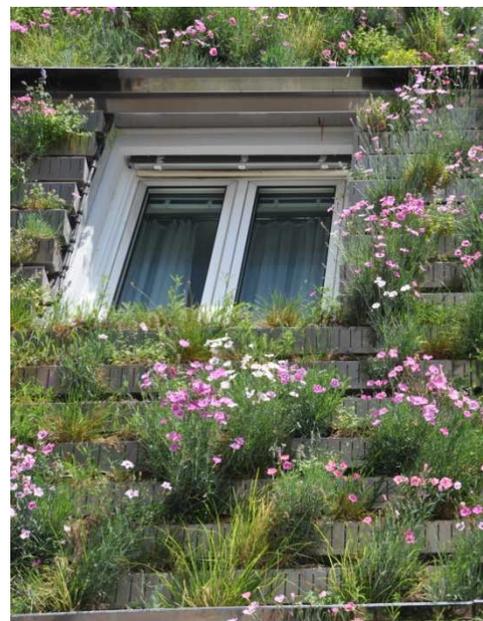


Abbildung 6: fassadengebundenes Pflanzwonnensystem mit blühenden Federnelken (Foto: FLORINETH, 2012).

### 3.1.3 Mischformen der Fassadenbegrünung aus Pflanzgefäßen oder Pflanztrögen

Als Mischformen der Fassadenbegrünung bezeichnet man eine in Trögen oder Gefäßen wurzelnde Fassadenbegrünung, die vorwiegend auf Balkonen, Terrassen und Loggien aufgestellt werden. Man findet diese Art von Fassadenbegrünungen meist im Geschoßwohnungsbau, wodurch das Bedürfnis Wohnen mit dem Wunsch nach Naturnähe verbunden wird. Das Angebot an Pflanztrögen oder Gefäßen ist sehr groß und variiert dementsprechend, bezüglich Größen, Formen und Materialien. Bei flächigen oder intensiven Begrünungen ist eine Wasser- und Nährstoffversorgung notwendig, ein Anstausystem und eine zusätzliche Dämmung verbessert die Standortbedingungen (PITHA und SCHARF 2010).

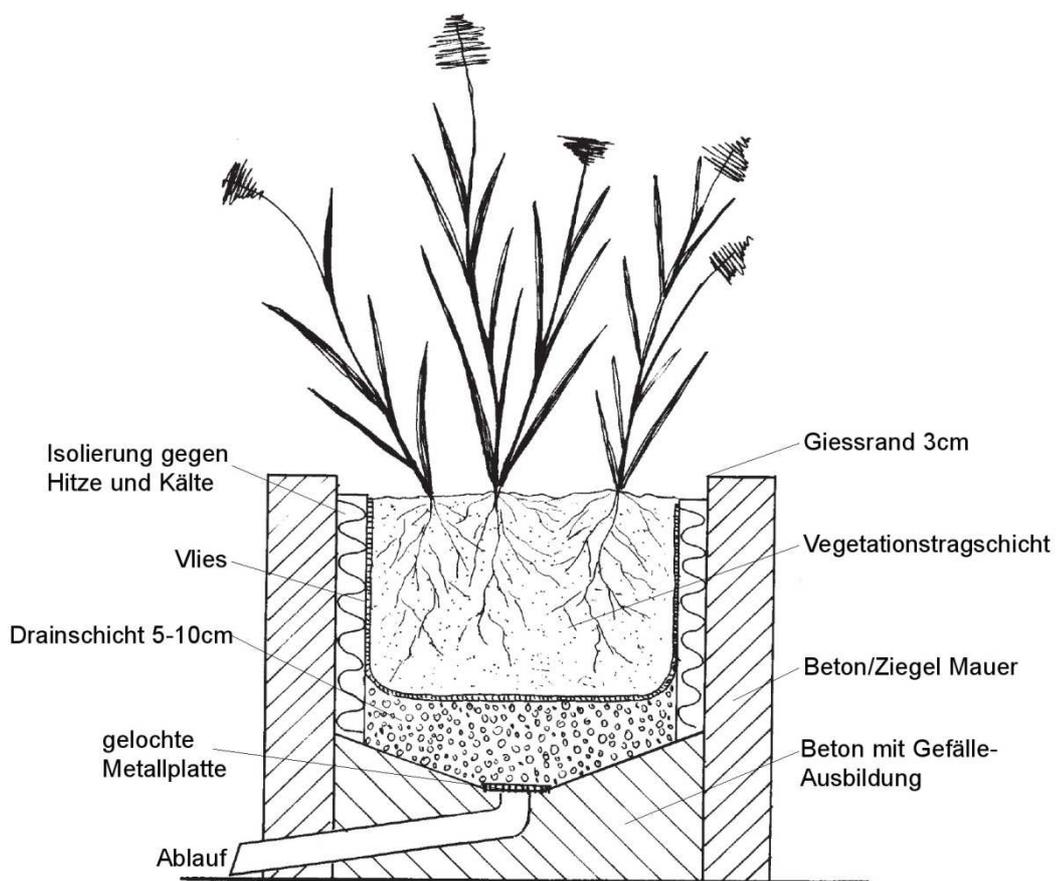


Abbildung 7: schematische Darstellung eines Pflanztrögs (FLORINETH, 2012).

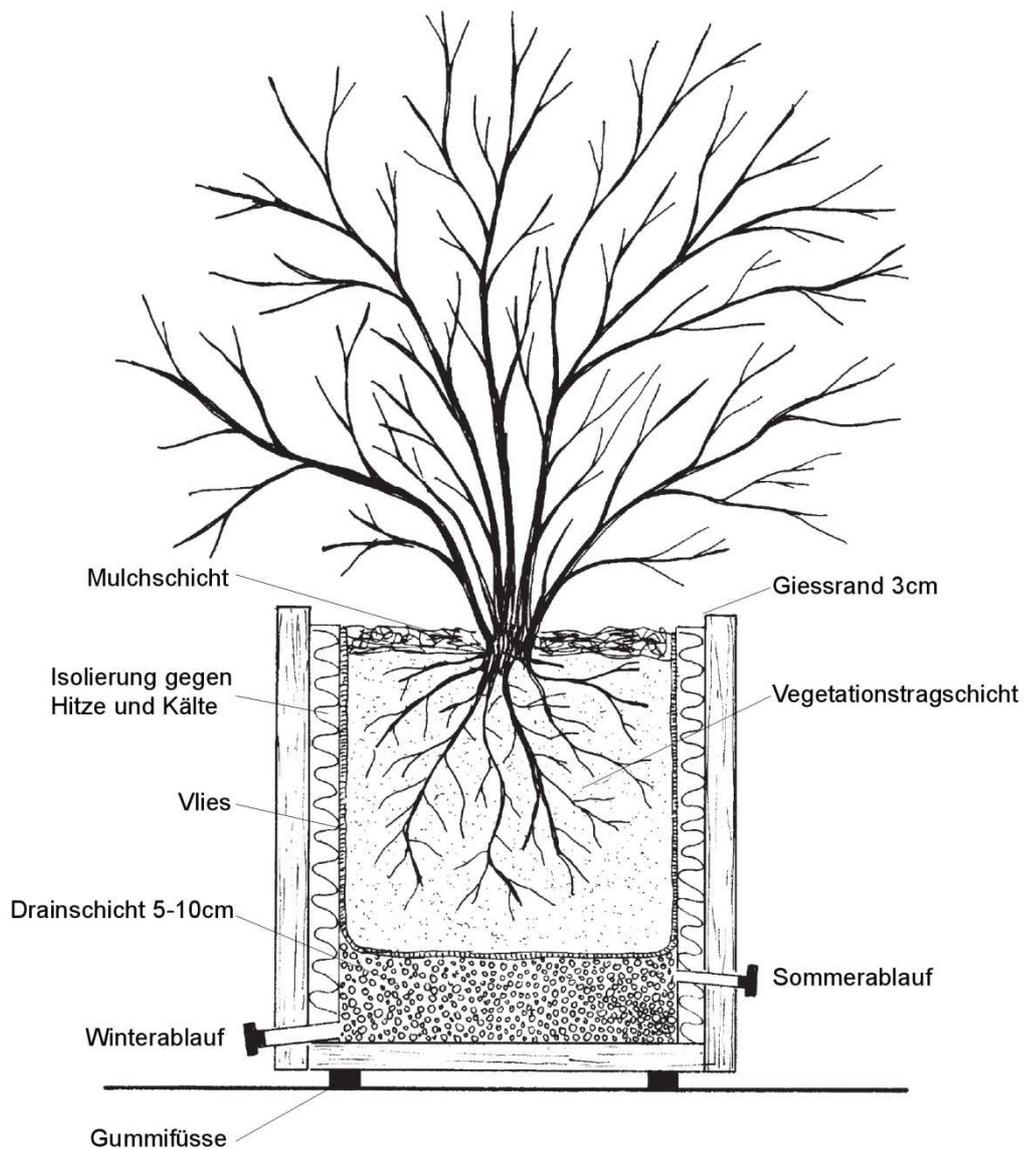


Abbildung 8: schematische Darstellung eines Pflanzgefäßes (FLORINETH, 2012).

## 3.2 Aufbau und technische Parameter

### 3.2.1 Substrate

Eine fassadengebundene Begrünung stellt bestimmte Anforderungen an das Substrat. Aus statischen Gründen ist die Aufbaustärke gering gehalten, ein minimales Gewicht des Substrates ist deshalb ein entscheidendes Auswahlkriterium. Da die Substrate vertikal stehen, ist die Formstabilität zu gewährleisten. Bei vertikalen Begrünungssystemen, in denen mineralische Substrate als Vegetationstragschicht verbaut sind, ist das Zusammenschieben innerhalb der Module mittels Vorrichtungen zu verhindern, da sich diese Substrate erfahrungsgemäß über die Jahre verdichten (KÖHLER, 2010). Das Substrat sollte wasser-

durchlässig sein, aber zugleich genügend Wasser speichern können (KÖHLER, 2012). Für die Pflanzen ist vor allem ein Substrat von Bedeutung, das bei völliger Sättigung genügend Luft und Feuchtigkeit bereitstellt. Ausreichende Lufträume im Substrat sind für die Pflanzen wesentlich, da ihre Wurzeln auch giftige Gase abgeben und sich bei Mangel selbst vergiften können (STEENIS, 2011). Als Substrat oder Substratersatz werden Stoffe wie Textilien, Leichtsubstrate wie bei extensiver Dachbegrünung (Blähton, Blähschiefer, etc.) oder poröses Gestein verwendet (SCHULTE, 2012).

### **3.2.2 Bewässerung**

Vertikale Begrünungen stellen einen Extremstandort für die gesetzten Pflanzen dar. Durch die vertikale Ausrichtung und das Fehlen des Bodenanschlusses werden die Pflanzen nicht ausreichend mit Niederschlag bewässert und machen eine künstliche Bewässerung erforderlich. Der Faktor Wind spielt beim Feuchtegehalt des Substrats neben der Einstrahlung und dem Niederschlag aufgrund der extremen Exposition eine wesentliche Rolle.

Bei der Bewässerungstechnik unterscheidet man:

- Tropfbewässerung
- Unterflurbewässerung
- Hochdrucknebelanlagen
- Konstruktive Einleitungssysteme

Fassadengebundene Systeme weisen bis auf wenige Ausnahmen eine Tropfbewässerung auf. Dabei wird ein Tropfschlauch im System verlegt, der alle Pflanzen möglichst gleichmäßig mit Wasser versorgt. Je nach Bedarf liegen die Tropfabstände bei 20, 33 oder 50 cm. Der Wasserverbrauch hängt vom Fließdruck des Anschlusses ab, im Schnitt liegt der Verbrauch bei ca. 2 bis 4 Liter pro Stunde.

Konstruktive Einleitungssysteme finden bei Systemen selten Anwendung, da diese Variante Einschränkungen bezüglich Begrünungshöhe, Pflanzensortiment, Substrat und Wassermenge bedeutet. Unterflurbewässerung und Hochdrucknebelanlagen werden derzeit bei Vertikalbegrünungen noch nicht verwendet (PITHA, 2011).

In der Regel werden die Begrünungssysteme mit Leitungswasser bewässert. Systeme mit einem Wasserkreislaufsystem, die das verbrauchte Wasser auffangen, filtern und in Zisternen sammeln, verringern dabei den Wasserverbrauch. Je nach Bedarf kann dieses Wasser dann wieder dem System zugeführt werden (PITHA, 2011). Bei konstruktiven Systemen, die Niederschlagswasser in die Pflanzmodule einleiten, ist eine Überwachung der Wasserqualität

unbedingt erforderlich. Es kann durch die Einleitung von Regenwasser über Bitumendächer vorkommen, dass das Wasser mit toxischen Baumaterialien in Kontakt kommt und sich negativ auf das Pflanzenwachstum auswirkt (SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG BERLIN, 2010).

Eine regelmäßige Kontrolle und Nachsteuerung ist bei automatischen Bewässerungsanlagen aufgrund der sich ändernden Klimaeinflüsse im Jahresverlauf ebenfalls notwendig. Im Sommer wird die Bewässerung auf kürzere Intervalle und längere Bewässerungsdauer eingestellt, um die Pflanzen mit genügend Wasser zu versorgen und einen Kühlungseffekt zu erzielen. Im Winter ist eine minimale Wasserversorgung einzustellen, um Schimmelbildung zu verhindern (KÖHLER, 2010).

### **3.2.3 Pflanzen**

Bei „Living wall“- Systemen ist die Pflanze ein wichtiges und vielfältiges Gestaltungselement (KÖHLER, 2010). Aufgrund des beschränkten Wurzelraumes und den extremen Standortbedingungen von fassadengebundenen Systemen sollten nur Pflanzen verwendet werden, die sich diesen Bedingungen anpassen können (SCHULTE, 2012). Die Auswahl der Bepflanzung richtet sich nach der Exposition des spezifischen Standortes. Auftretende Windzirkulationen zwischen hohen Gebäuden oder Schattendruck sind dabei wesentliche standörtliche Beschränkungsfaktoren (STEENIS, 2011). Weiters sind die Pflanzen in Vertikalbegrünungssystemen stärkeren Winden und Frösten sowie trockenerer Luft ausgesetzt als Pflanzungen am Boden. Längere Frostperioden können bei wintergrünen Pflanzen an Südfassaden zu einer Frosttrocknis und somit zum Ausfall der Pflanze führen (SCHULTE, 2012).

KÖHLER (2010) fasst die Auswahlkriterien wie folgt zusammen:

- Beschränkter Wurzelraum
- Wüchsigkeit der Arten
- Gleicher Wasserbedarf pro Modul
- Gegenseitiges Konkurrenzverhalten
- Jahreszeitlich schwankendes Aussehen
- Pflegebedarf
- Oberflächentextur

Grundsätzlich lassen sich zwei Pflanzengruppen für die Verwendung in den Vertikalbegrünungssystemen unterscheiden. Zu der ersten Gruppe zählen trockenheitsresistente Pflanzen, die mit wenig Substratvolumen auskommen. In der Regel sind dies Pflanzen, die auch bei extensiver Dachbegrünung verwendet werden. Das Gewicht der Systeme fällt durch weniger Blattmasse und Wasserverbrauch, als auch eine geringere Substratschicht leichter aus als bei Systemen mit intensiven Pflanzungen. Die zweite Gruppe besteht aus Pflanzen, die eine Zusatzbewässerung und ein höheres Substratvolumen benötigen. Durch die größere Blattmasse und der damit verbundenen Verdunstungsleistung kann diese Ausführung einen höheren Wirkungsgrad in der Gebäudeklimatisierung erzielen (KÖHLER 2010).

### **3.3 Zusammenfassung - Stand der Technik**

Fassadenbegrünungen lassen sich laut FLORINETH (2012) in bodengebundene, fassadengebundene Begrünungen und Mischformen aus Pflanzgefäßen oder Pflanztrögen einteilen. In den letzten Jahrzehnten entstanden vom Begründer Patric Blanc inspirierte, technisch innovative Begrünungssysteme, die eine Loskoppelung vom Bodenanschluss mit sich brachten. Laut PFOSER (2010) ist aufgrund dieser Entwicklung eine neue Kategorisierung von Gebäudebegrünungen notwendig. Fassadengebundene Systeme lassen sich laut PFOSER (2010) demnach in Regalsysteme, modulare und flächige Systeme einteilen.

Durch das Loslösen vom Boden nehmen die genannten Konstruktionen eine Schlüsselstellung in innerstädtischen Gebieten ein, in denen bodengebundene Fassadenbegrünungen aufgrund mangelnder Grünflächen nur selten möglich sind. Vorteile gegenüber klassischen Begrünungsvarianten ergeben sich durch die architektonische Integration der Systeme in die Fassadengestaltung, variable Gestaltungsmöglichkeiten sind durch modulare Systeme als auch ein vielfältiges optisches Erscheinungsbild durch eine erweiterete Pflanzenauswahl möglich. Der relativ erhöhte Pflege- und Kostenaufwand ist im Vergleich zum optischen und mikroklimatischen Mehrwert der Systeme zu sehen.

Der Aufbau der Vertikalbegrünungen ist ein wesentlicher Faktor, der die Funktionalität dieser Begrünungen bestimmt. Als Vegetationsträgermaterial werden textile Materialien, mineralische Substrate oder poröse Gesteine verwendet. Die Gestaltungsmöglichkeit der Systeme ist durch die erweiterte Pflanzengruppe der krautigen Pflanzen gegenüber bodengebundenen Begrünungen vielfältiger. Als limitierender Faktor auf die Pflanzenauswahl

ist der geringe Substrataufbau zu nennen, welcher einen beschränkten Wurzelraum für die Bepflanzung vorgibt.

Durch die vertikale Ausrichtung und den fehlenden Bodenanschluss ist bei einem Großteil der Systeme eine externe automatische Bewässerung erforderlich. Laut PITHA (2011) findet die Bewässerung an fassadengebundenen Begrünungen durch Tropfbewässerung oder vereinzelt durch konstruktive Einleitungssysteme statt.

## 4 Untersuchungsobjekte

In diesem Kapitel werden der Versuchsstandort und die Versuchsflächen beschrieben. Der Aufbau, die Funktionsweise und die Bepflanzung der Versuchsflächen wird in den Abschnitten bau- und vegetationstechnische Details ausführlich erklärt. Die Beschreibung der Bepflanzung erfolgt durch eine tabellarische Auflistung (Pflanzensteckbrief) der jeweils im System verwendeten Pflanzenarten und ihren Standortansprüchen.

### 4.1 Versuchsstandort

Die Versuchsflächen für die fassadengebundene Begrünung liegen im Osten von Wien im 22. Wiener Gemeindebezirk, im Versuchsgarten Essling (siehe Abbildung 9).

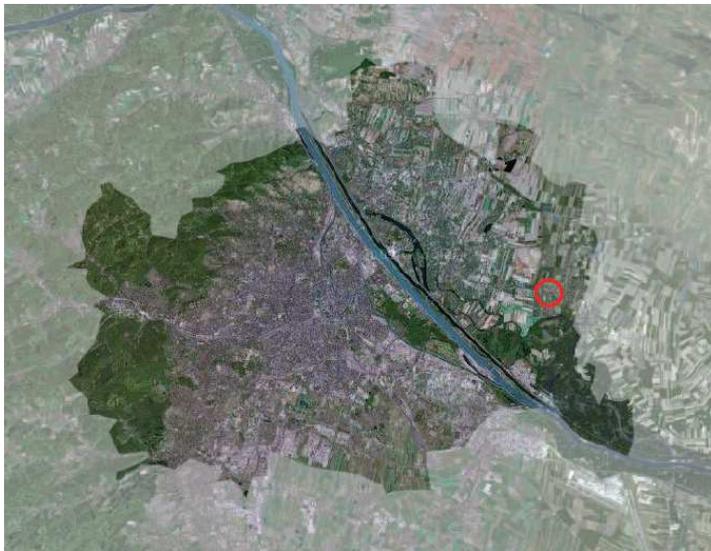


Abbildung 9: Lage des Versuchsgartens Essling (roter Kreis) im 22. Wiener Gemeindebezirk (Google Earth, am 08.07.2012).

An diesem Standort sind weitere Versuchsflächen für Forschungszwecke (Dachbegrünungen, Schotterrassen, Wegedecken, etc.) des Institutes für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) angelegt und Bauwerke (Pergolen, Schwimmteiche, Holzbauwerke, Trockenmauern) im Rahmen von Lehrveranstaltungen des Institutes errichtet worden.

## 4.2 Versuchsflächen

Im September 2010 wurden im Versuchsgarten Essling (Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau) fünf Versuchswände von den am Forschungsprojekt „GrünStadtKlima“ beteiligten Projektpartnern errichtet (siehe Abbildung 11).



Abbildung 10: Lage der Versuchsflächen (roter Kreis) im Versuchsgarten Wien Essling (Google Earth, am 08.07.2012).



Abbildung 11: Versuchswände im Versuchsgarten in Wien Essling mit drei fassadengebundenen Begrünungssystemen und zwei Referenzfassaden, 2010 (Foto: IBLB).

Die Untersuchungsobjekte umfassen drei fassadengebundene Begrünungssysteme mit den Bezeichnungen flächiges, Pflanzwannen und modulares System zu je 4 m<sup>2</sup>. Des Weiteren dient eine Referenzfläche, eine Putzfassade dem Vergleich mit den Begrünungssystemen. Die Wände der Versuchsreihe sind westlich ausgerichtet und verfügen über ein auf das jeweilige System abgestimmtes Pflanzensortiment. Die Bewässerung erfolgt bei der flächigen und modularen Versuchswand automatisch mittels Tropfschläuchen. Das Pflanzwannensystem wird durch die Einleitung von Niederschlag bewässert (ENZI, 2011). Die Begrünungsmodule sind auf horizontal in die Fassade angebrachte Einhangschienen montiert, um die Hinterlüftung des Systems zu gewährleisten und so der Schimmelpilzbildung vorzubeugen. Detaillierte Beschreibungen zu den Aufbauten und zur Bepflanzung der Begrünungssysteme werden nachfolgend beschrieben.

## 4.2.1 Flächiges Begrünungssystem



Abbildung 12: flächiges Begrünungssystem, Versuchsgarten Wien Essling im April 2012.

Abbildung 13: Profilansicht.

Abbildung 14: Pflanze in der flächigen Systemwand, April 2012.

### 4.2.1.1 Bautechnische Details

<b>flächiges Begrünungssystem</b>	
Bauweise	Flächenbauweise
Größe (Gesamtfläche)	2m x 2m (H/B)
Vegetationstragschicht (Substrat/ Substratersatz)	Mineralwolle, Vlies, und Pflanzerde
Substrataufbaustärke	7 cm
Bepflanzungsart	intensiv
Pflanzenmaterial	vorkultiviert
Bewässerungsart	integriert/ computergesteuert
Düngung	in Bewässerungssystem integriert, Flüssigdünger
Anmerkungen	Montage auf vorgehängter Fassade mit Wärmedämmung

Tabelle 1: Bautechnische und vegetationstechnische Parameter des flächigen Systems im Versuchsgarten Wien Essling.

Bei diesem Begrünungssystem handelt es sich um eine flächige Bauweise die 2 mal 2 m groß ist ( Abbildung 15). Das System weist eine Gesamtaufbaustärke von 13 cm auf und ist mittels Montagewinkeln in einem Abstand von 7 cm an der Fassade angebracht.

Den Anschluss an die Wand bildet eine mit Montagewinkeln befestigte Trägerplatte, die neben einer tragenden Funktion des Systemaufbaus auch isolierende Eigenschaften aufweist. Auf die Trägerplatte ist vollflächig ein Wurzelgewebe verklebt, das den eingesetzten Pflanzen einen zusätzlichen Halt bietet. Die darauffolgende Vegetationstragschicht besteht aus einer 7 cm dicken Mineral-Steinwolle, die schon vorgefertigte Aussparungen für die Pflanzballen aufweist und nach außen hin von einem Abdeckvlies bedeckt ist. Um die Vegetationstragschicht zu fixieren, ist das Abdeckvlies zu den Außenkanten des Systems gespannt und in den mittleren Bereichen mit Tellerdübeln verankert. Vorkultivierte Pflanzen werden mit dem Pflanzballen in die Tragschicht eingesetzt. Das System wird durch eine computergesteuerte Bewässerungsanlage bewässert, wobei ein organischer Dünger bei jedem Bewässerungsgang beigemischt wird (HERSTELLER A, 2012).

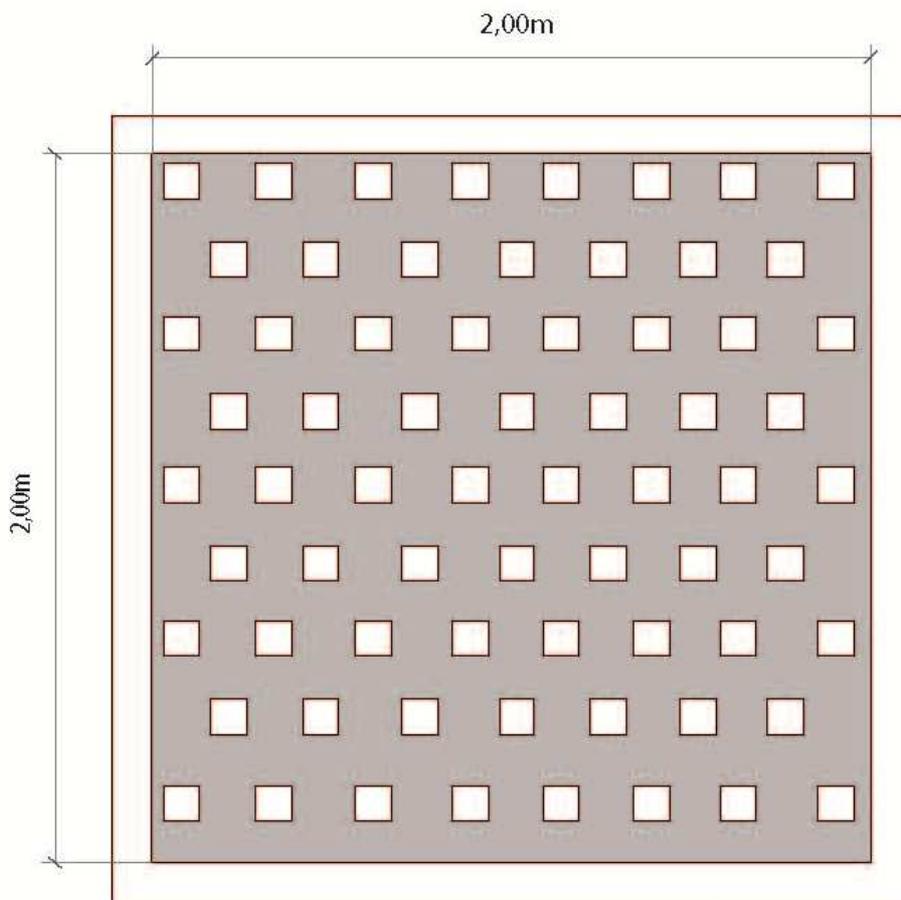


Abbildung 15: schematische Darstellung (Ansicht) des flächigen Begrünungssystems im Versuchsgarten Wien Essling.

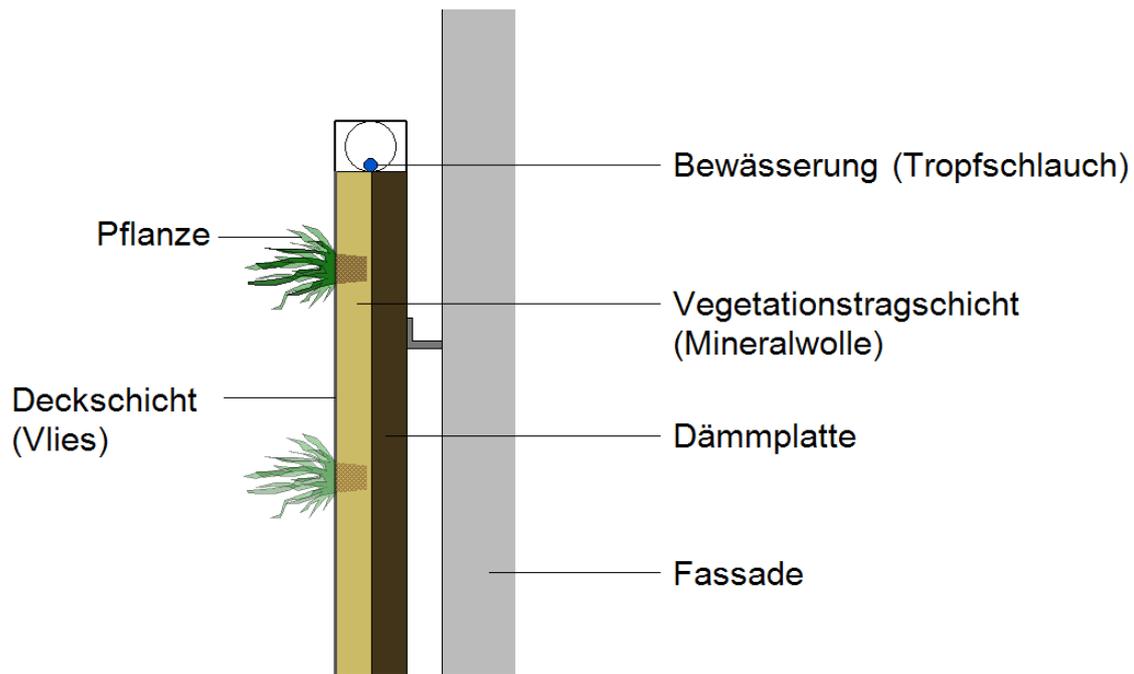


Abbildung 16: Schematischer Aufbau (Schnitt) des flächigen Begrünungssystems im Versuchsgarten Wien Essling.

Die Bewässerung wird durch einen Mikrotropfschlauch gewährleistet. Dieser verläuft, wie in Abbildung 16 ersichtlich, am oberen Rand des Systems über die gesamte Länge der Vegetationstragschicht (2 m). In 7,5 cm Tropfabständen wird Wasser an die Mineralsteinwolle abgegeben (INTERVIEW HERSTELLER A, 2013).

#### 4.2.1.2 Vegetationstechnische Details

Auf der 4 m<sup>2</sup> Pflanzenfläche wurden 68 Pflanzen eingesetzt, die Pflanzdichte liegt somit bei 17 Pflanzen pro m<sup>2</sup>. Die Pflanzen sind in 9 Reihen gegliedert, wobei jede zweite Reihe versetzt anfängt.

Folgende Arten sind im flächigen Begrünungssystem gesetzt:

*Bergenia cordifolia* ‚Rotblum‘, *Geranium x cantabrigiense* ‚Berggarten‘, *Heuchera micrantha* ‚Purple Palace‘, *Hemerocallis* ‚Stella de Oro‘, *Waldsetinia ternata*

Die nachfolgenden Pflanzensteckbriefe sind aus folgenden Quellen bezogen: [www.hameter.at](http://www.hameter.at), [www.pflanzen-vielfalt.de](http://www.pflanzen-vielfalt.de)

### *Bergenia cordifolia* 'Rotblum'

<b>Lebensbereich</b>	<i>Beet (Prachtstauden), Freifläche, Gehölzrand</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>20 bis 40 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	<i>horstbildend</i>
<b>Blütezeit</b>	<i>April, Mai</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>rot</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün, rot</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig, schattig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>normal, feucht</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	<i>ausdauernd, bes. Herbstfärbung, wintergrün</i>



Abbildung 17: *Bergenia cordifolia* 'Rotblum' ([www.pflanzen-vielfalt.de](http://www.pflanzen-vielfalt.de), am 08.09.2012).

### *Geranium x cantabrigiense* 'Berggarten'

<b>Lebensbereich</b>	<i>Freifläche, Felssteppen, Beet (Prachtstauden)</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>20 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	<i>polsterbildend</i>
<b>Blütezeit</b>	<i>Juni, Juli</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>purpur, rosa</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	<i>ausdauernd, wintergrün</i>



Abbildung 18: *Geranium x cantabrigiense* 'Berggarten' ([www.allgaeustauden.de](http://www.allgaeustauden.de), am 08.09.2012).

### *Heuchera micrantha* 'Purple Palace'

<b>Lebensbereich</b>	<i>Staudenbeet, Gehölzrand, Bodendecker</i>
<b>Wuchshöhe</b>	<i>20 bis 40 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	<i>buschig, horstartig</i>
<b>Blütezeit</b>	<i>Juni, Juli, August, September</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>weiß</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>tiefbraunrot</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig, halbschattig, schattig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>normal, feucht</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	<i>immergrün</i>



Abbildung 19: *Heuchera micrantha* 'Purple Palace' ([www.pflanzen-vielfalt.de](http://www.pflanzen-vielfalt.de), am 08.09.2012).

### *Hemerocallis 'Stella de Oro'*

<b>Lebensbereich</b>	<i>Beet (Prachtstauden), Freifläche, Gehölzrand, Wasserrand</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>40 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	<i>horstbildend</i>
<b>Blütezeit</b>	<i>Juni, Juli, August, September, Oktober</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>gelb, orange</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig- absonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>normal, feucht</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	<i>ausdauernd</i>



Abbildung 20: *Hemerocallis 'Stella de Oro'* ([www.pflanzen-vielfalt.de](http://www.pflanzen-vielfalt.de), am 08.09.2012).

### *Waldsteinia ternata*

<b>Lebensbereich</b>	<i>Gehölz, Gehölzrand</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>20 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	<i>rasig, mattenbildend</i>
<b>Blütezeit</b>	<i>April, Mai, Juni</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>gelb</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>absonnig - schattig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>normal, feucht</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	



Abbildung 21: *Waldsteinia ternata* (<http://www.pflanzen-vielfalt.de>, am 08.09.2012).

## 4.2.2 Pflanzwannensystem



Abbildung 22: Pflanzwannensystem im Versuchsgarten Wien Essling im Juni 2012.



Abbildung 23: Profil der Pflanzenwannen im Juni 2012.

### 4.2.2.1 Bautechnische Details

Pflanzwannensystem	
Bauweise	Regalbauweise (linear)
Größe (Gesamtfläche)	2m x 2,2m (H/B)
Vegetationstragschicht (Substrat/ Substratersatz)	mineralisches Substrat (Tongranulat)
Substrataufbaustärke	10 cm
Bepflanzungsart	extensiv
Pflanzenmaterial	Ansaat
Bewässerungsart	Niederschlag
Düngung	keine
Anmerkungen	Montage auf vorgehängter Fassade

Tabelle 2: Bautechnische und vegetationstechnische Parameter des Pflanzwannensystems im Versuchsgarten Wien Essling.

Das Pflanzwannensystem setzt sich aus Aluminiumpflanzkästen zusammen, die auf einer vorgehängten Fassade kaskadenartig übereinander montiert werden. Die Pflanzwannen sind in einer Trapezform ausgestaltet, um ein größtmögliches Volumen für Substrat und die darin wurzelnden Pflanzen bereit zu stellen. Als Trägermaterial für die Bepflanzung sind die Pflanzkästen mit einem mineralischen Substrat (Tongranulat) auf eine Höhe von 10 cm aufgefüllt und verfügen über einen Anstaubereich von 2 cm (siehe Abbildung 24). Am Boden der Aluminiumwanne, unter der Substratschicht ist ein Vlies ausgelegt, das laut Hersteller die Wasserspeicherung noch erhöhen soll.



Abbildung 24: Wasseranstaubereich am Boden der Pflanzwanne (HERSTELLER B, 2012).



Abbildung 25: Vlies (zur Erhöhung der Wasserspeicherfähigkeit) (HERSTELLER B, 2012).



Abbildung 26: mineralisches Substrat (Tongranulat) (HERSTELLER B, 2012).

Das Pflanzwannensystem ist die einzige fassadengebundene Begrünung in der Versuchsreihe, die ohne automatische Bewässerung auskommt. Über ein Vordach mit einer Neigung von ca. 5 % und einer Fläche von 4 m<sup>2</sup> (Verhältnis zu der Pflanzfläche 1:1) wird der Niederschlag in den obersten Pflanzkasten eingeleitet (siehe Abbildung 27). Durch Überlaufschlitze an der vorderen Front der Pflanzwannen (siehe Abbildung 28) wird das Wasser zu den darunterliegenden Wannens weitergeleitet (HERSTELLER B, 2012).



Abbildung 27: Vordachkonstruktion (roter Pfeil) über die Regenwasser in die oberste Pflanzwanne geleitet wird, Versuchsgarten Wien Essling im Oktober 2012.



Abbildung 28: Überlaufschlitze an der Vorderfront der Pflanzwannen, Versuchsgarten Wien Essling im Juni 2012.

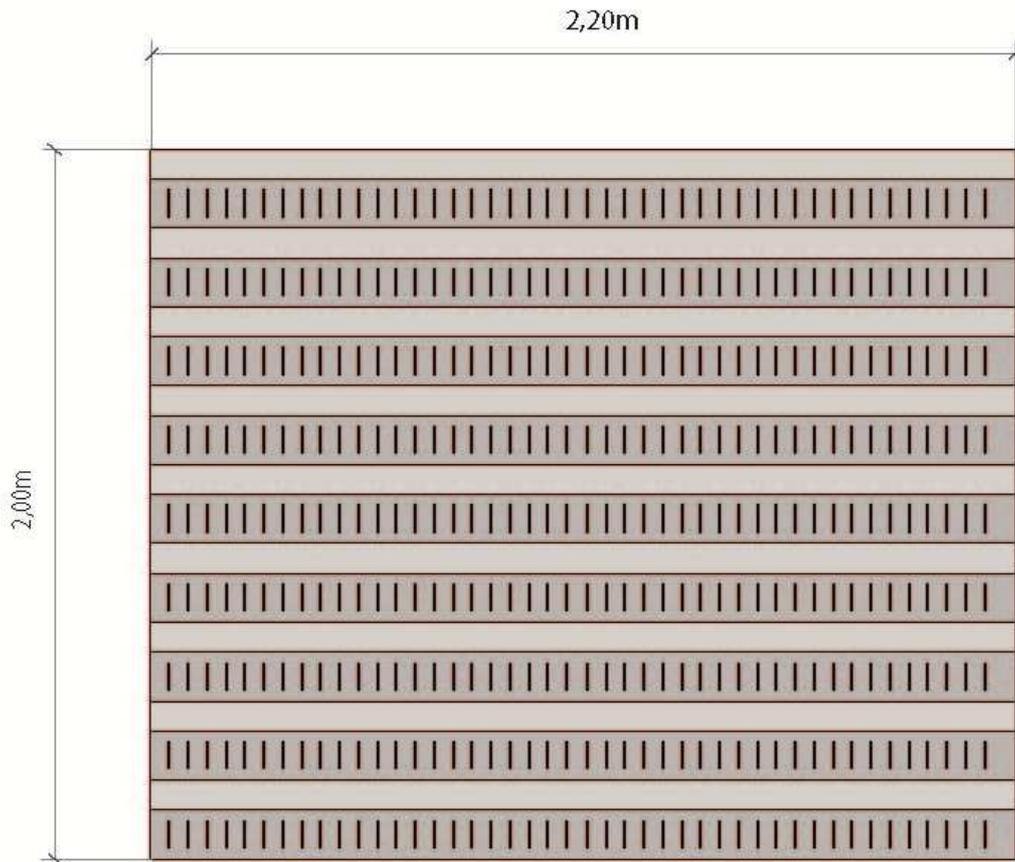


Abbildung 29: Schematische Darstellung (Ansicht) des Pflanzwannensystems im Versuchsgarten Wien Essling

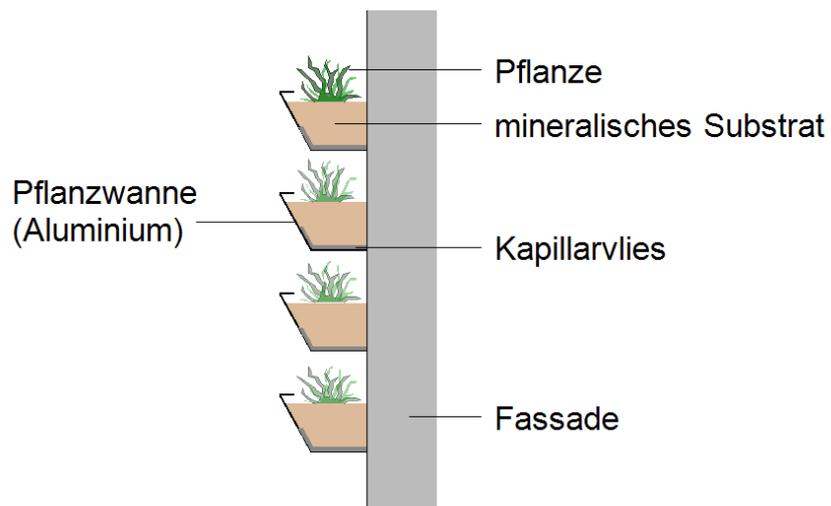


Abbildung 30: Schematischer Aufbau (Schnitt) des Pflanzwannensystems im Versuchsgarten Wien Essling.

#### 4.2.2.2 Vegetationstechnische Details

Die Bepflanzung ist im Gegensatz zu den anderen Begrünungssystemen extensiv. Die Pflanzenauswahl wurde den trockenen Standortbedingungen dieses autarken Systems angepasst, vorwiegend sind Sedumarten angesät. Folgende Arten sind vorzufinden:

*Sedum album*, *Sedum floriferum* `Weihenstephaner Gold`, *Sedum hybridum*, *Sedum spurium*,  
*Allium schoenoprasum*, *Petrorhagia saxifraga*

Die nachfolgenden Pflanzensteckbriefe sind aus folgenden Quellen bezogen:  
[www.hameter.at](http://www.hameter.at), [www.pflanzen-vielfalt.de](http://www.pflanzen-vielfalt.de)

<i>Sedum album</i>	
<b>Lebensbereich</b>	<i>Felssteppen, Matten, Mauerkronen</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>bis 10 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	<i>rasig, mattenbildend</i>
<b>Blütezeit</b>	<i>Juni, Juli, August</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>weiß</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>braunrot, grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>trocken, normal</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	<i>ausdauernd, immergrün</i>



Abbildung 31: *Sedum album*  
(www.pflanzen-vielfalt.de, am 09.09.2012).

<i>Sedum floriferum</i> Weihenstephaner Gold	
<b>Lebensbereich</b>	<i>Steingarten</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>bis 20 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	
<b>Blütezeit</b>	<i>Juni, Juli</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>gelb</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>trocken, normal</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	



Abbildung 32: *Sedum floriferum*  
Weihenstephaner Gold  
(www.pflanzen-vielfalt.de, am 09.09.2012).

<i>Sedum hybridum</i> Immergrünchen`	
<b>Lebensbereich</b>	<i>Freifläche, Matten, Steinanlagen</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>bis 10 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	<i>flach, kriechend</i>
<b>Blütezeit</b>	<i>Juli, August</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>gelb</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>absonnig, sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>trocken, normal</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	<i>immergrün</i>



Abbildung 33: *Sedum hybridum*  
Immergrünchen  
(www.pflanzen-vielfalt.de, am 09.09.2012).

<i>Sedum spurium</i>	
<b>Lebensbereich</b>	<i>Steingarten, Bodendecker</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>bis 20 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	
<b>Blütezeit</b>	<i>Juli, August</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>weiß, rosa</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>trocken, normal</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	



Abbildung 34: *Sedum spurium*  
(www.gartengestaltung24.de, am 09.09.2012).

<i>Petrorhagia saxifraga</i>	
<b>Lebensbereich</b>	<i>Felssteppen, Matten, Mauerkronen</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>bis 10 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	<i>rasig, mattenbildend</i>
<b>Blütezeit</b>	<i>Juni, Juli, August</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>weiß</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>braunrot, grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>trocken, normal</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	<i>ausdauernd, immergrün</i>



Abbildung 35: *Petrorhagia saxifraga*  
(www.pflanzenvielfalt.de, am 09.09.2012).

<i>Allium schoenoprasum</i>	
<b>Lebensbereich</b>	<i>Freifläche</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>bis 20 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	<i>horstbildend</i>
<b>Blütezeit</b>	<i>Juni, Juli</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>lila, rosa</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>trocken, normal</i>
<b>Frosthärte</b>	
<b>Spez. Eigenschaften</b>	<i>ausdauernd, halbbimmergrün</i>



Abbildung 36: *Allium schoenoprasum*  
(www.cnseed.org, am 09.09.2012).

### 4.2.3 Modulares Begrünungssystem



Abbildung 37: modulares Begrünungssystem mit Pflanzkörben im Versuchsgarten Wien Essling 2011 (Foto: IBLB).



Abbildung 38: Profilansicht.



Abbildung 39: Pflanzrahmen im Pflanzkorb, 2011 (Foto: IBLB).

#### 4.2.3.1 Bautechnische Details

Modulares Begrünungssystem	
Bauweise	Modulbauweise
Größe (Gesamtfläche)	2m x 2,4m (H/B)
Größe der Pflanzkörbe	1m x 0,6m (H/B)
Vegetationstragschicht (Substrat/ Substratersatz)	mineralisches Substrat (Splitt- und Schüttstoffe )
Substrataufbaustärke	6 cm
Bepflanzungsart	intensiv
Pflanzenmaterial	vorkultiviert
Bewässerungsart	integriert/ computergesteuert
Düngung	in Bewässerungssystem integriert, Flüssigdünger
Anmerkungen	Montage auf vorgehängter Fassade

Tabelle 3: Bautechnische und vegetationstechnische Parameter des modularen Systems in Wien Essling

Das modulare Begrünungssystem weist eine modulare Bauweise mit acht Fassadenkörben auf. Die Körbe haben jeweils eine Höhe von 1 m, eine Breite von 60 cm, und eine Tiefe von 6 cm. Im Gesamten weist das System eine Breite von 2,4 m und eine Höhe von 2 m auf. Die Front der Module besteht aus einem Aluminiumgitter mit quadratischer Netzstruktur. Die Pflanzkörbe sind mit einem mineralischen Substrat aus Splitt- und Schüttstoffen gefüllt und wiegen je nach Feuchtegehalt des Substrates ca. 50 kg pro Korb. Um die Wasserspeicherfähigkeit zu erhöhen und die Wasserzufuhr für die Pflanzen möglichst flächig zu gewährleisten, ist hinter dem Substrat ein Saug- und Kapillarlvlies vertikal angebracht. Die Körbe werden bei der Montage in eine horizontale Einhangschiene gehängt, die wiederum in der Fassade verankert ist (HERSTELLER, C 2012).

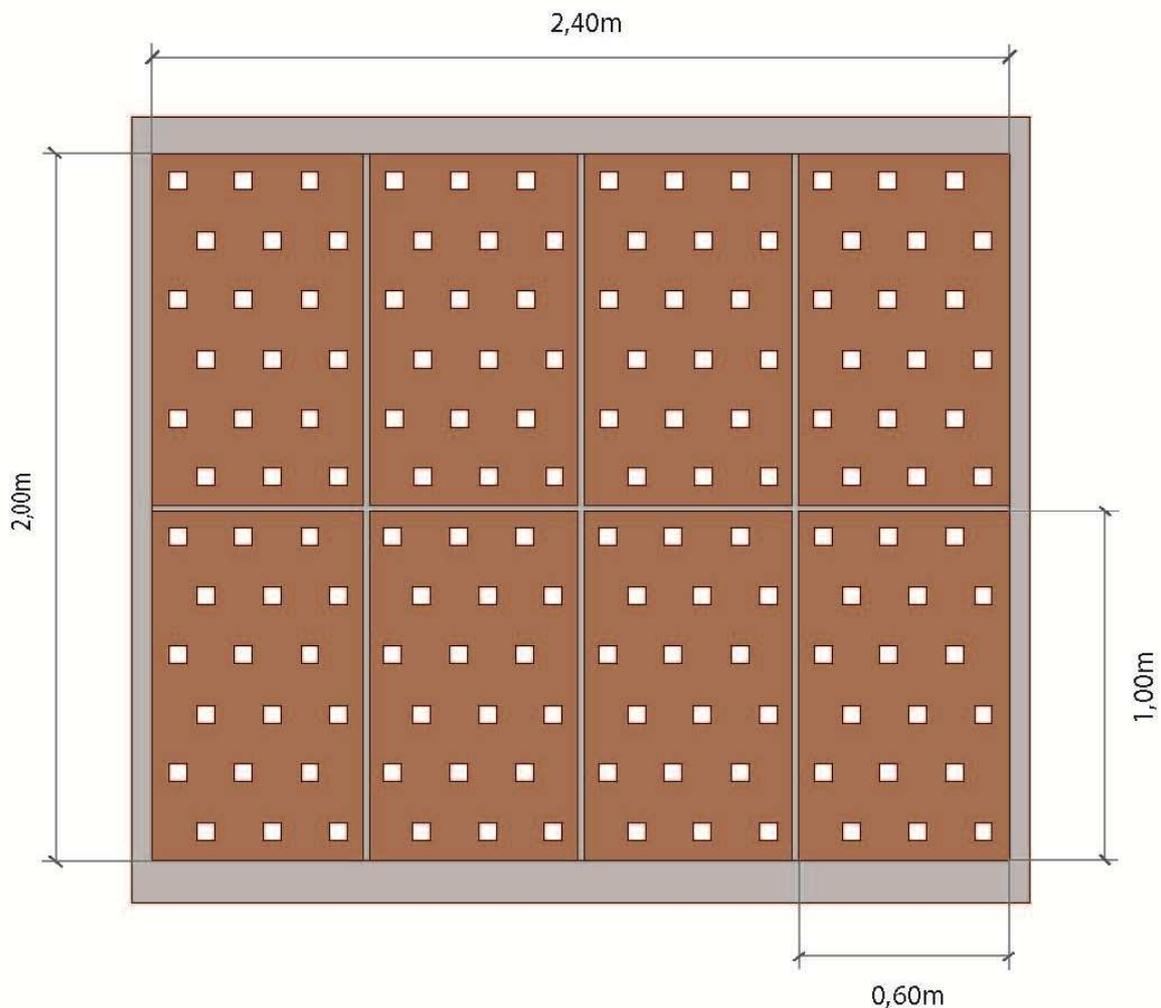


Abbildung 40: schematische Darstellung (Ansicht) des modularen Begrünungssystems im Versuchsgarten Wien Essling

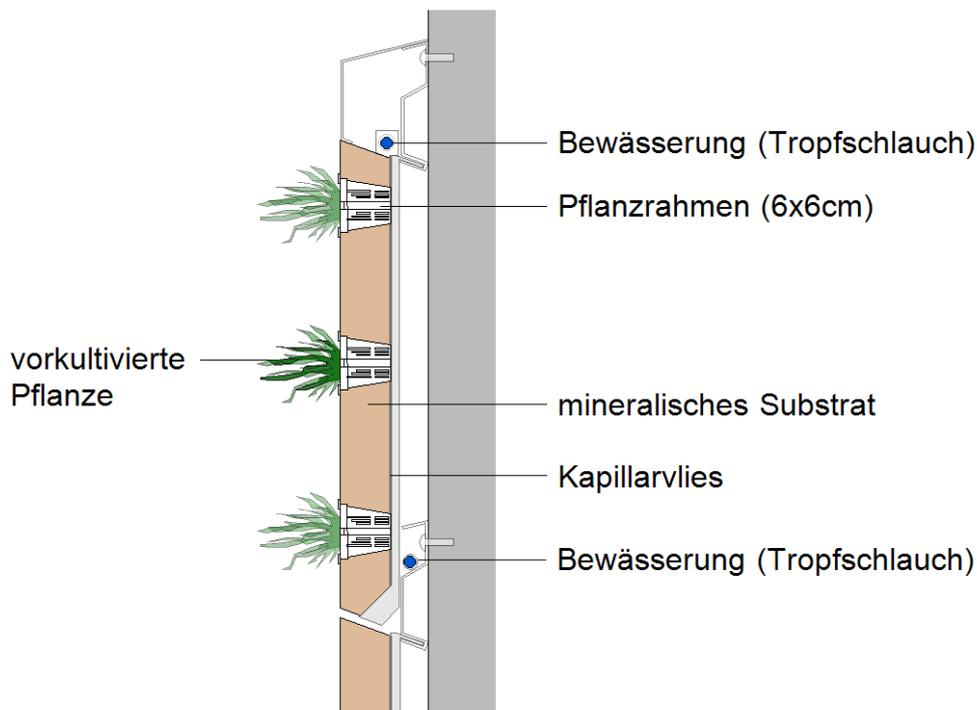


Abbildung 41: Schematischer Aufbau (Schnitt) des modularen Begrünungssystems im Versuchsgarten Wien Essling.

Die Bewässerung erfolgt über Mikrotropfschläuche, die wie in Abbildung 41 ersichtlich, oberhalb der Module über die gesamte Systemlänge (2,4 m) verlaufen. Die Schläuche weisen einen Höhenabstand von 1 m, Tropfabstände von 10 cm auf. Die Bewässerungsintervalle in der Sommerperiode liegen bei diesem modularen System bei 6 Durchgängen pro Tag, zu je 8 Minuten Bewässerungsdauer. Durch ein Abflussrohr am unteren Ende des Modules wird überschüssiges Wasser abgeleitet. Die Düngung ist an das Bewässerungssystem gekoppelt, es wird in regelmäßigen Abständen automatisch gedüngt.

#### 4.2.3.2 Vegetationstechnische Details

Pro Korb sind 18 Pflanzen in speziellen Pflanzrahmen eingesetzt. Insgesamt ergibt das auf der Gesamtfläche von 4,8 m<sup>2</sup> eine Summe von 144 Pflanzen. Die Pflanzdichte liegt somit bei 30 Stück pro m<sup>2</sup>. Im Mai 2011 wurden folgende Pflanzen gesetzt:

*Geranium cantabrigiense* `Biokovo`, *Fragaria vesca*, *Aubrieta x cultorum* `Hamburg Stadtpark`, *Arabis caucasica*, *Aster dumosus*, *Carex morrowii* `Variegata`, *Pachysandra terminalis*, *Bergenia cordifolia*, *Waldsteinia ternata*, *Potentilla neumanniana*, *Heuchera micrantha*, *Sedum telephium*.

Nachdem über den Winter bzw. im Frühjahr 2012 Ausfälle bei den Arten *Carex morrowii* `Variegata`, *Pachysandra terminalis*, und *Aster dumosus*, zu verzeichnen waren, wurden folgende neue Pflanzen ausgewählt und Anfang Mai 2012 nachgepflanzt:

*Nepeta faassenii*, *Sedum telephium*, *Sedum reflexum*, *Sedum spurium*, *Luzula nivea*

In den nachfolgenden Pflanzensteckbriefen sind alle gesetzten Pflanzenarten aufgelistet, bis auf *Bergenia cordifolia* und *Sedum spurium*, die in dem linearen und dem Pflanzwannensystem schon beschrieben sind. Die nachfolgenden Pflanzensteckbriefe sind aus folgenden Quellen bezogen: [www.hameter.at](http://www.hameter.at), [www.pflanzen-vielfalt.de](http://www.pflanzen-vielfalt.de)

<i>Pachysandra terminalis</i>	
<b>Lebensbereich</b>	<i>Gehölz, Gehölzrand</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>20 cm, 40 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	<i>flach, kriechend</i>
<b>Blütezeit</b>	<i>April, Mai</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>weiß</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>absonnig-schattig, schattig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>normal, feucht</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	<i>ausdauernd, Halbstrauch, wintergrün</i>



Abbildung 42: *Pachysandra terminalis* (www.pflanzen-vielfalt.de, am 09.09.2012).

<i>Sedum telephium spectabile</i>	
<b>Lebensbereich</b>	<i>Staudenbeet</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>20 bis 40 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	
<b>Blütezeit</b>	<i>Juli, August</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>weiß, rot, rosa</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>normal, trocken</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	



Abbildung 43: *Sedum telephium spectabile* (www.pflanzen-vielfalt.de, am 09.09.2012).

<i>Potentilla neumanniana</i>	
<b>Lebensbereich</b>	<i>Steingarten, Naturgarten</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>20 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	
<b>Blütezeit</b>	<i>März, April, Mai</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>gelb</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>trocken</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	



Abbildung 44: *Potentilla neumanniana* (www.pflanzen-vielfalt.de, am 08.09.2012)

<i>Geranium cantabrigiense</i> `biokovo`	
<b>Lebensbereich</b>	<i>Steingarten</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>20 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	
<b>Blütezeit</b>	<i>Mai bis Juli</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>weiß</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>halbschattig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>normal, trocken</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	



Abbildung 45: *Geranium cantabrigiense* ‚Biokovo‘ (www.plantplaces.com, am 09.09.2012).

<i>Aubrieta x cultorum</i>	
<b>Lebensbereich</b>	<i>Steingarten</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>20 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	
<b>Blütezeit</b>	<i>April, Mai</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>blau</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>trocken</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	



Abbildung 46: *Aubrieta x cultorum* (www.staudengaertnereishop.com, am 09.09.2012).

<i>Carex morrowii</i> `Variegata`	
<b>Lebensbereich</b>	<i>Beet (Prachtstauden), Gehölzrand</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>40 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	<i>horstbildend</i>
<b>Blütezeit</b>	<i>Juni, Juli</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>rosa</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün, mehrfarbig, weiß</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>absonnig-schattig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>normal, feucht</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	<i>ausdauernd, immergrün</i>



Abbildung 47: *Carex morrowii* `Variegata` (www.pflanzenvielfalt.de, am 09.09.2012).

### *Nepeta faassenii*

<b>Lebensbereich</b>	<i>Staudenbeet</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>40 bis 70 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	
<b>Blütezeit</b>	<i>Juni, Juli, August, September</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>blau</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>trocken, normal</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	



Abbildung 48: *Nepeta faassenii* (www. Gartengestaltung24.de, am 09.09.2012).

### *Luzula nivea*

<b>Lebensbereich</b>	<i>Steingarten, Gehölzrand, Gräser</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	
<b>Wuchsform</b>	
<b>Blütezeit</b>	<i>Juni, Juli, August</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>weiß</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig, halbschattig, schattig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>normal, feucht</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	



Abbildung 49: *Luzula nivea* (www. pflanzen-vielfalt.de, am 09.09.2012)

### *Sedum reflexum*

<b>Lebensbereich</b>	<i>Steingarten</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>20 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	
<b>Blütezeit</b>	<i>Juli</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>gelb</i>
<b>Blattfarbe</b>	
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>trocken, normal</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	



Abbildung 50: *Sedum reflexum* (www. Pflanzen-vielfalt.de, am 09.09.2012)

### *Arabis caucasia*

<b>Lebensbereich</b>	<i>Steingarten</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>20 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	
<b>Blütezeit</b>	<i>März, April, Mai</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>weiß, gelb</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>trocken, normal</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	



Abbildung 51: *Arabis caucasia* (www.Pflanzen-vielfalt.de, am 09.09.2012).

### *Aster dumosus*

<b>Lebensbereich</b>	<i>Staudenbeet</i>
<b>Wuchshöhe (Blüthenhöhe)</b>	<i>20 bis 40 cm</i>
<b>Wuchsform</b>	
<b>Blütezeit</b>	<i>August, September</i>
<b>Blütenfarbe</b>	<i>rosa</i>
<b>Blattfarbe</b>	<i>grün</i>
<b>Standort (Licht)</b>	<i>sonnig</i>
<b>Standort (Boden)</b>	<i>trocken, normal</i>
<b>Frosthärte</b>	<i>frosthart</i>
<b>Spez. Eigenschaften</b>	



Abbildung 52: *Aster dumosus* (www.Pflanzen-vielfalt.de, am 09.09.2012).

## 4.3 Referenzfläche

Die Referenzfläche (Putzfassade) dient als Vergleichsobjekt bezüglich mikroklimatischer Parameter für die begrünten Systemwände und wird nachfolgend beschrieben.

### 4.3.1 Referenzfläche – Putzfassade



Abbildung 53: Referenzfläche – Mineralputzfassade im Versuchsgarten Wien Essling im September 2012.



Abbildung 54: Aufbau der Putzfassade; im Kern ist die Holzriegelwand sichtbar, darauf wurden Fassadendämmplatten befestigt (Foto: IBLB 2010).

Putzfassaden sind Fassaden, die aus einer ein- oder mehrlagigen, flächig aufgetragenen äußeren Schichtoberfläche mit geeigneten Bindemitteln und Zuschlagsstoffen bestehen. Der Putzmörtel kann aus mineralischen Baustoffen oder auf Basis von Kunststoffen hergestellt werden. Eine gängige Bauart zur Verbesserung der wärmedämmenden Eigenschaften einer Fassade ist die Aufbringung von Wärmedämm-Verbundsystemen.

Die Dämmstoffe werden durch Kleben und/oder durch Dübeln an der Außenwand befestigt, eine Armierung, die meist aus Glasseidengewebe besteht, verbessert die Zugfestigkeit der Oberfläche. Darüber wird der Unter- und Oberputz aufgetragen (FLL, 2000).

Die Putzfassade wurde als freistehende Holzriegelwand errichtet und ist die Standardfassade der Versuchsreihe. Im Kern besteht die Konstruktion aus einer wärmedämmenden Steinwollschicht, die von Holzplatten eingeschlossen ist. Fassadendämmplatten wurden flächig mit Dübeln auf die Holzkonstruktion befestigt. Den Abschluss bildet eine

mineralische Oberputzschicht. Um die Stabilität der exponierten Konstruktion zu gewährleisten, wurde die freistehende Fassadenwand mit abgespannten Stahlseilen an vier Bodenankern befestigt.

## **5 Vegetationstechnische Untersuchungen**

### **5.1 Methodik Gesamtdeckungsgrad**

Die Deckung eines Pflanzenbestandes wird über visuelle Deckungsschätzung und über fotografische Aufnahmen geschätzt (TRAXLER, 1997). Die visuelle Schätzung ist eine subjektive Methode, kann jedoch im Optimalfall sehr genau sein. Durch die hohe Subjektivität ist die Methode schwer überprüfbar da jede Person anders schätzt und selbst die Schätzwerte einer Person Schwankungen aufweisen (TRAXLER, 1997). Um keine subjektive Befangenheit der Deckwerte zu erlangen, wurde die Deckung an den Begrünungssystemen von zwei Personen geschätzt.

Die Aufnahmen wurden in der Vegetationsperiode im Oktober 2011, als auch im Zeitraum von April bis September 2012, jeweils am Anfang des Monats getätigt.

#### **5.1.1 Gesamtdeckungsgrad**

Der Gesamtdeckungsgrad ist jene Fläche, die bei einer vertikalen Projektion der Pflanzenteile eingenommen wird, als Anteil der Gesamtfläche in Prozent ausgedrückt (MUELLER-BOMBOIS & ELLENBERGER 1974, zitiert in TRAXLER, 1997). Er gibt Aufschluss über die vertikale Vegetationsdichte eines Bestandes ohne die räumliche Variabilität zu erfassen.

## 5.2 Ergebnisse Gesamtdeckungsgrad

### 5.2.1 Flächiges Begrünungssystem

Folgende Fotoaufnahmen (Abbildung 55 bis Abbildung 60) zeigen auszugsweise den Momentanzustand des Gesamtdeckungsgrades der Vegetation an den Boniturtagen am 02.04.2012, 07.05.2012, 04.06.2012, 16.07.2012, 09.08.2012 und am 11.09.2012.



Abbildung 55: geschätzte 50 % Gesamtdeckung am 02.04.2012, Wien Essling.



Abbildung 56: geschätzte 70 % Gesamtdeckung am 07.05.2012, Wien Essling.



Abbildung 57: geschätzte 75 % Gesamtdeckung am 04.06.2012, Wien Essling.



Abbildung 58: geschätzte 85 % Gesamtdeckung am 16.07.2012, Wien Essling.



Abbildung 59: geschätzte 95 % Gesamtdeckung am 09.08.2012, Wien Essling.



Abbildung 60: geschätzte 95 % Gesamtdeckung am 11.09.2012, Wien Essling.

Die geschätzten Gesamtdeckungsgrade sind für das flächige Begrünungssystem in folgendem Diagramm (Abbildung 61) dargestellt. Bei der Bonituraufnahme am 06.10.2011 wurde für das flächige Begrünungssystem ein Gesamtdeckungsgrad von 80 % geschätzt, im April 2012 reduzierte sich dieser auf 50 %. An den darauffolgende Schätzungen ist eine stetige Entwicklung der Vegetation zu erkennen, mit maximalen Deckungsgraden von 95 % im August und September 2012.

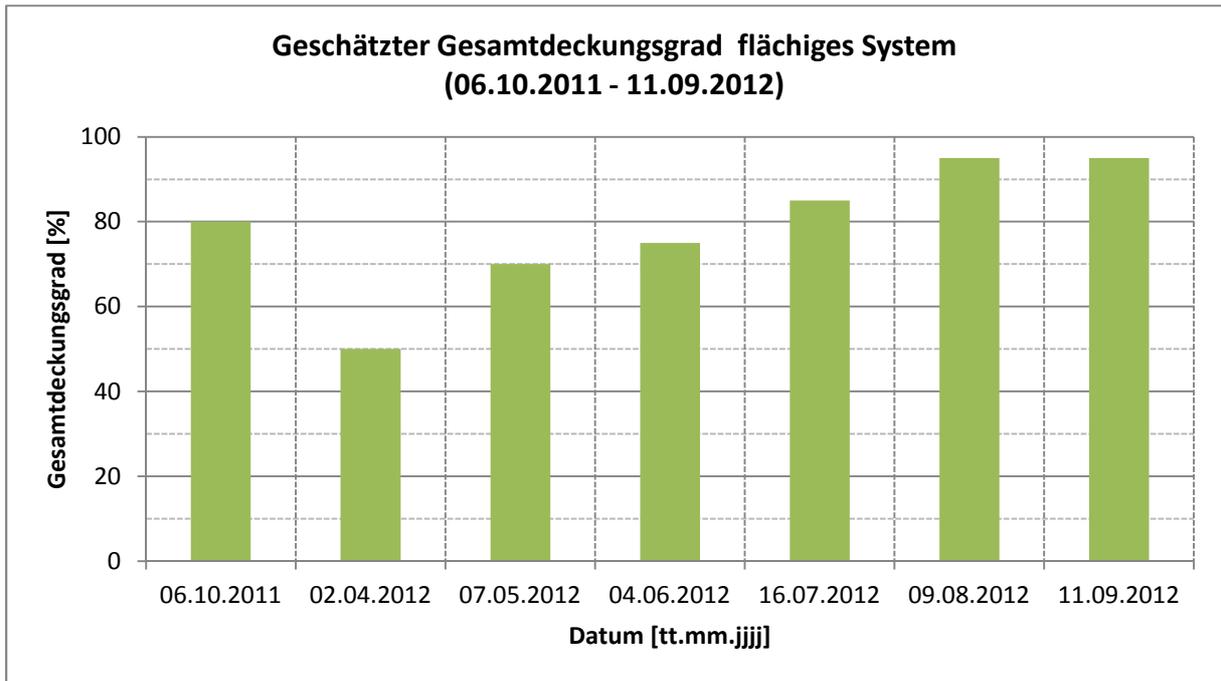


Abbildung 61: Geschätzte Gesamtdeckungsgrade des flächigen Begrünungssystems im Zeitraum vom 02.04.2012, 07.05.2012, 04.06.2012, 16.07.2012, 09.08.2012 und am 11.09.2012, Wien Essling.

## 5.2.2 Pflanzwannensystem

Folgende Fotoaufnahmen (Abbildung 62 bis Abbildung 67) zeigen auszugsweise den Momentanzustand des Gesamtdeckungsgrades der Vegetation an den Boniturtagen am 02.04.2012, 07.05.2012, 04.06.2012, 16.07.2012, 09.08.2012 und am 11.09.2012



Abbildung 62: geschätzte 75 % Gesamtdeckung am 02.04.2012, Wien Essling.



Abbildung 63: geschätzte 80 % Gesamtdeckung am 07.05.2012, Wien Essling.



Abbildung 64: geschätzte 85 % Gesamtdeckung am 04.06.2012, Wien Essling.



Abbildung 65: geschätzte 85 % Gesamtdeckung am 16.07.2012, Wien Essling.



Abbildung 66: geschätzte 85 % Gesamtdeckung am 09.08.2012, Wien Essling.



Abbildung 67: geschätzte 85 % Gesamtdeckung am 11.09.2012, Wien Essling.

Die geschätzten Gesamtdeckungsgrade sind für das Pflanzwannensystem in folgendem Diagramm (Abbildung 68) dargestellt. Der Gesamtdeckungsgrad ist im Oktober 2011 75 % und im April 2012 80 %. In der Periode vom 07.05.2012 bis 11.09.2012 kann eine konstante Deckung von 85 % beobachtet werden.

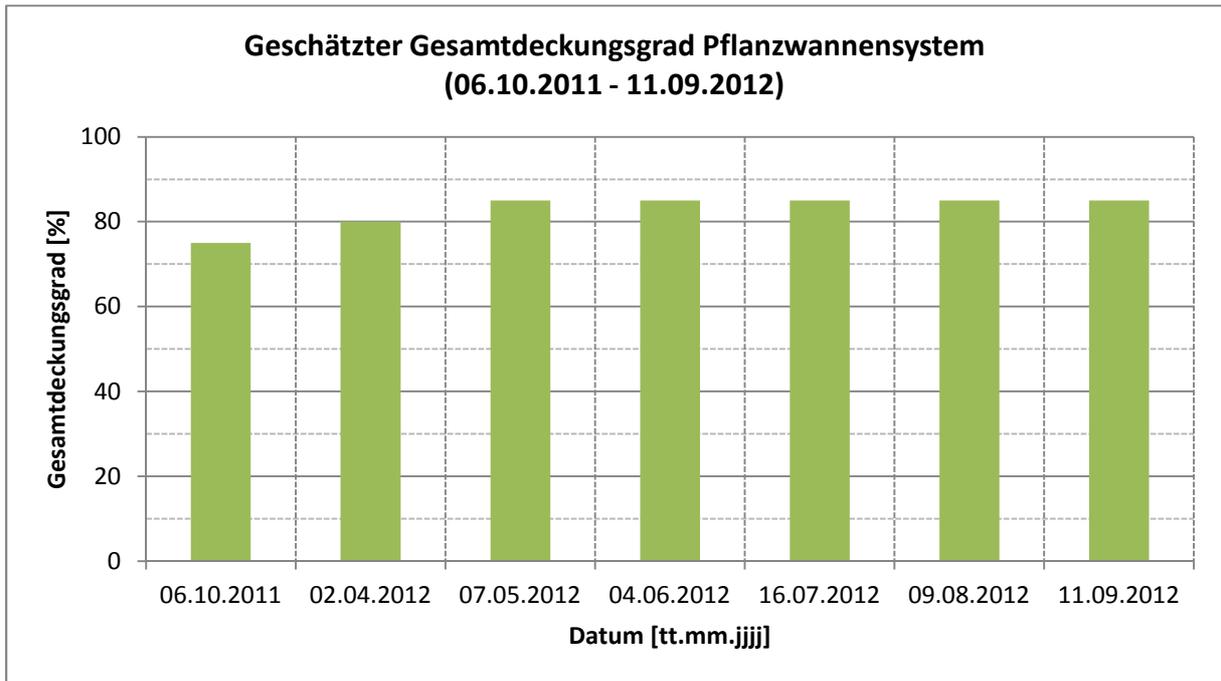


Abbildung 68: Geschätzte Gesamtdeckungsgrade des Pflanzwannensystems im Zeitraum vom 06.10.2011 bis 11.09.2012, Wien Essling.

### 5.2.3 Modulares Begrünungssystem

Folgende Fotoaufnahmen (Abbildung 69 bis Abbildung 74) zeigen auszugsweise den Momentanzustand des Gesamtdeckungsgrades der Vegetation an den Boniturtagen am 02.04.2012, 07.05.2012, 04.06.2012, 16.07.2012, 09.08.2012 und am 11.09.2012.



Abbildung 69: geschätzte 50 % Gesamtdeckung am 02.04.2012, Wien Essling.



Abbildung 70: geschätzte 65 % Gesamtdeckung am 07.05.2012, Wien Essling.



Abbildung 71: geschätzte 75 % Gesamtdeckung am 04.06.2012, Wien Essling.



Abbildung 72: geschätzte 80 % Gesamtdeckung am 16.07.2012, Wien Essling.



Abbildung 73: geschätzte 85 % Gesamtdeckung am 09.08.2012, Wien Essling.



Abbildung 74: geschätzte 95 % Gesamtdeckung am 11.09.2012, Wien Essling.

Die geschätzten Gesamtdeckungsgrade sind für das modulare Begrünungssystem in folgendem Diagramm (Abbildung 75) dargestellt.

Am 06.10.2011 ist am modularen Begrünungssystem ein Gesamtdeckungsgrad von 90 % festzustellen. Bis in den April 2012 wird ein Rückgang der Deckung auf geschätzte 50 % verzeichnet. Über die Vegetationsphase zeigt sich an der modularen Systemwand ein stetiger Zuwachs der Bepflanzung, mit einem maximalen Deckungsgrad von 95 % im September.

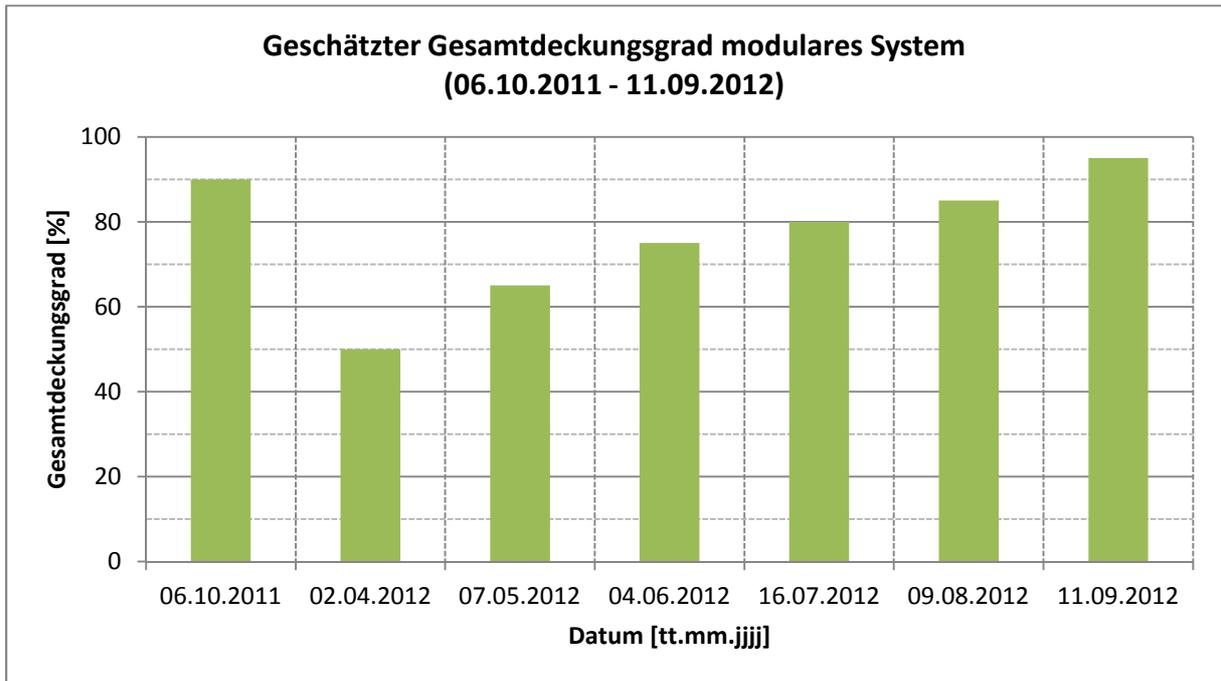


Abbildung 75: Geschätzte Gesamtdeckungsgrade des modularen Begrünungssystems im Zeitraum von 06.10.2011 bis 11.09.2012, Wien Essling.

## 6 Mikroklimatische Untersuchungen

In diesem Kapitel werden mikroklimatische Daten beschrieben, die an den Versuchswänden und an einer lokal stationierten Klimastation über den Zeitraum von November 2011 bis Oktober 2012, erfasst wurden. Die aufgenommenen mikroklimatischen Parameter der Begrünungssysteme werden mit den Daten der Referenzfläche (Putzfassade) und der Klimastation verglichen und analysiert.

Dadurch lassen sich Rückschlüsse zur Wirksamkeit der fassadengebundenen Systeme auf das Lokalklima ziehen.

Folgende Parameter werden mittels sensorbasierter Messtechnik an den Versuchsfächen aufgenommen:

- Lufttemperatur
- Luftfeuchte
- Bodentemperatur
- Bodenfeuchte
- Albedo
- Wandtemperatur
- Wasserzufluss und Wasserabfluss

An der lokalen Klimastation wurden folgende Daten erfasst:

- Lufttemperatur
- Luftfeuchte
- Albedo
- Niederschlag
- Windstärke/ Windrichtung

### 6.1 Messinstrumente - Klimastation

Die Klimastation wurde im Oktober 2011 errichtet und liefert seitdem wichtige Daten über das lokale Klima an den Versuchsfächen. Die Station ist in 4 Meter Entfernung zu der zentralsten Systemwand (Pflanzwannensystem) aufgestellt und setzt sich aus einem Niederschlagsmesser, einem Windsensor, zwei Pyranometern, zwei Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeitssensoren und einem Datenlogger zusammen. Die Sensoren senden die jeweiligen Messdaten in einem Intervall von zwei Minuten an den Datenlogger, wobei die Daten im Logger in zehn Minuten Abschnitten gemittelt, zusammengefasst und gespeichert

werden. Über das Mobilfunknetz werden die Daten auf einen Server der Universität für Bodenkultur Wien übertragen.

## 6.2 Anordnung der Sensoren

### 6.2.1 Anordnung der Messinstrumente - Klimastation

Die Anordnung der Sensoren und des Datenloggers an den Baustangen ist in Abbildung 76 ersichtlich. Niederschlagsmesser, Windsensor und ein kombinierter Lufttemperatur-Luftfeuchtesensor sind in einer Höhe von 2 m montiert. Ein weiterer Lufttemperatur-Luftfeuchtesensor ist 30 cm über dem Boden errichtet worden.

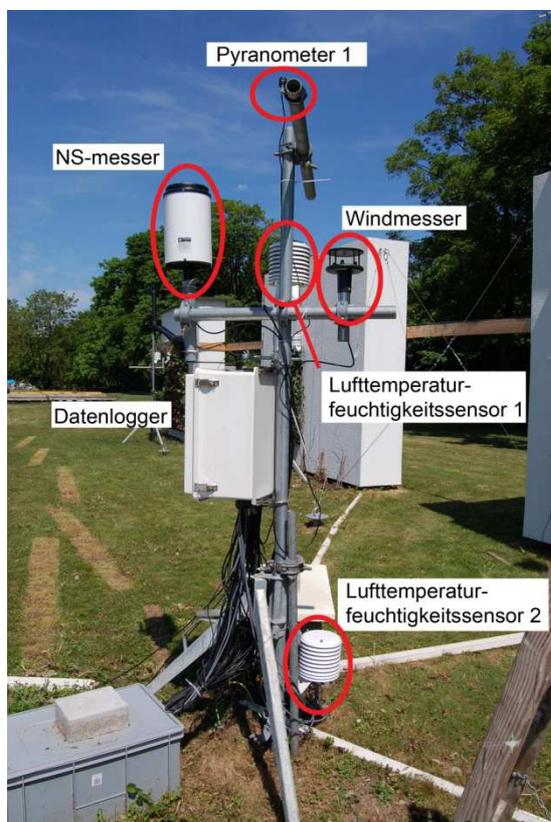


Abbildung 76: Anordnung der Sensoren an der Klimastation in Wien Essling, 2012.

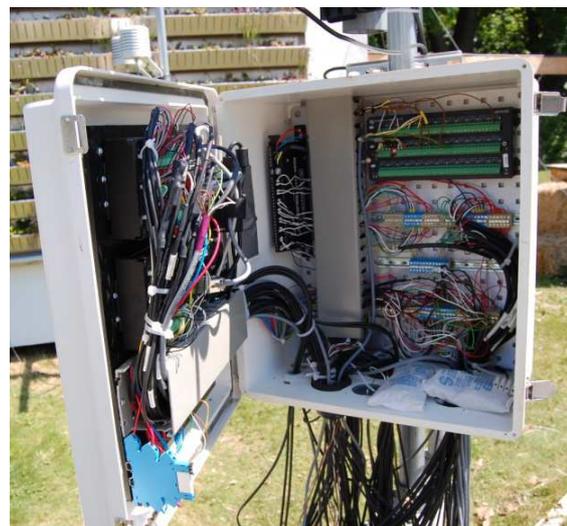


Abbildung 77: Zentrale Erfassung aller Daten durch den Datenlogger in Wien Essling, 2012.

### 6.2.2 Anordnung der Messinstrumente - Versuchsflächen

Vor allen Versuchsflächen sind jeweils zwei kombinierte Lufttemperatur und Luftfeuchtesensoren in 2 m Höhe an einer Baustange angebracht (siehe Abbildung 81). Der erste Sensor ist in einem Abstand von 40 cm, der zweite in einer Distanz von 10 cm zu der Fassade beziehungsweise den Begrünungssystemen positioniert. Ein Pyranometer misst in 1 m Höhe und einem Abstand von 50 cm den globalen Reflexionsgrad der Versuchsobjekte.

Hinter den Begrünungssystemen sind unter der Putzschicht der Fassade jeweils ein Wärmedurchflusssensor angebracht, im oberen und unteren Bereich der Substratschicht befinden sich kombinierte Bodentemperatur und Bodenfeuchtesensoren. Am unteren Ende der Systemwände ist jeweils ein Kipper montiert, der die abfließende Wassermenge misst.

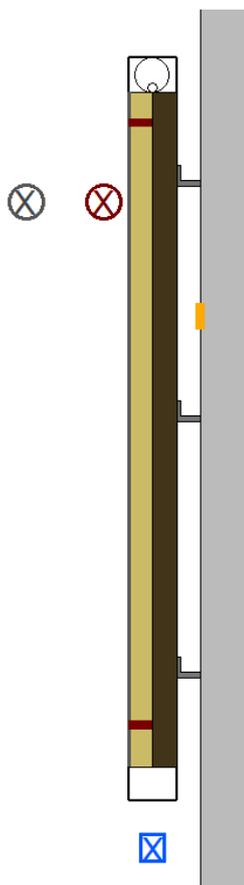
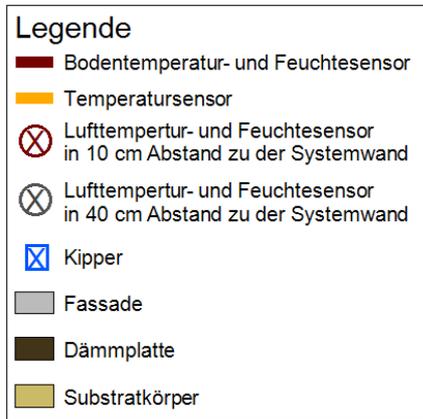


Abbildung 78: Anordnung der Sensoren an dem flächigen System.

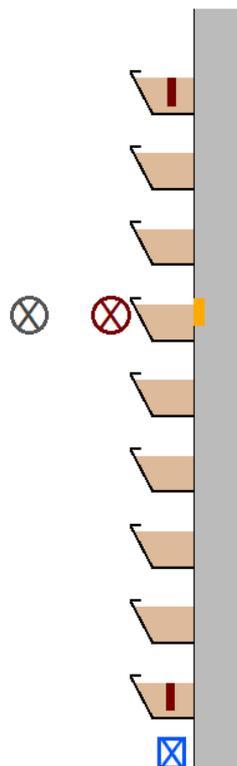
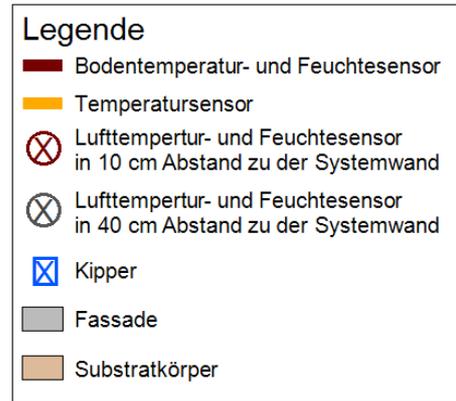


Abbildung 79: Anordnung der Sensoren an dem Pflanzwannensystem.

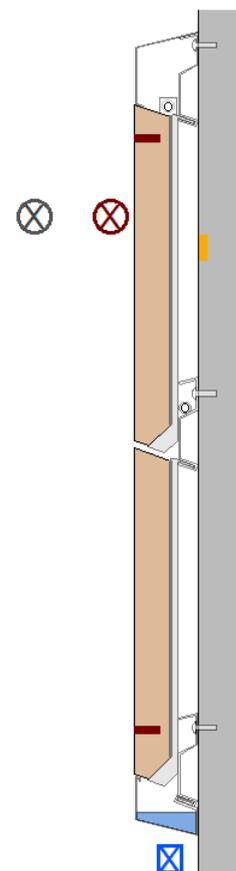


Abbildung 80: Anordnung der Sensoren an dem modularen System.

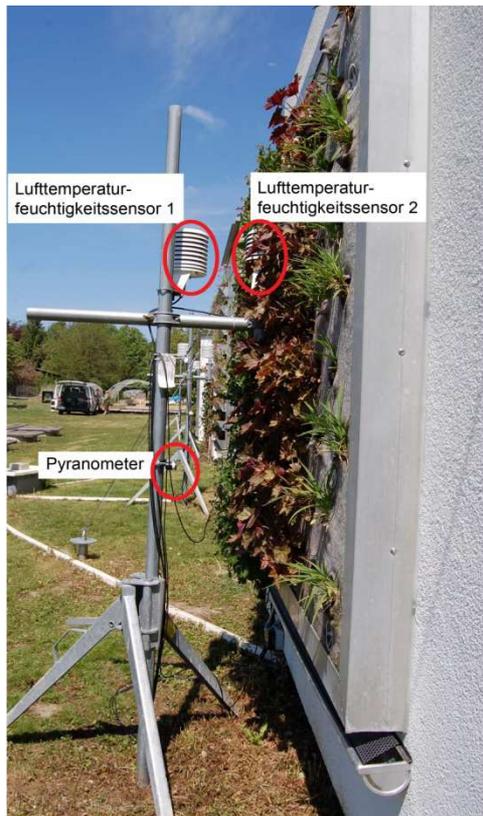


Abbildung 81: Anordnung der Sensoren vor den Versuchsflächen, Wien Essling 2012.

### 6.3 Klima im Untersuchungsgebiet

Das Klima im Wiener Raum ist ein Übergangsklima. Der Westen von Wien unterliegt ozeanischen Einflüssen, im Osten ist das Klima kontinental geprägt. Im Vergleich zu anderen Landesteilen Österreichs sind niedrigere Niederschlagsmengen und längere Trockenperioden im Wiener Raum zu verzeichnen, die Winter fallen dementsprechend milder aus (STADT WIEN, 2012).

#### 6.3.1 Ergebnisse der Klimastation

In Abbildung 82 und Abbildung 83 sind die Ergebnisse der Klimastation an ausgewählten Aufnahmeperioden dargestellt und werden folgend beschrieben. Es werden zwei Zeiträume von jeweils acht Tagen, im Februar und August 2012 mit unterschiedlichen Klimaverhältnissen für den Vergleich klimatischer Parameter zwischen den Begrünungssystemen, der Klimastation und der Referenzwand herangezogen. Der Zeitraum im August ist heiß und trocken, mit schwachen Winden. Die Tage im Februar sind hingegen kalt, niederschlagslos und windschwach.

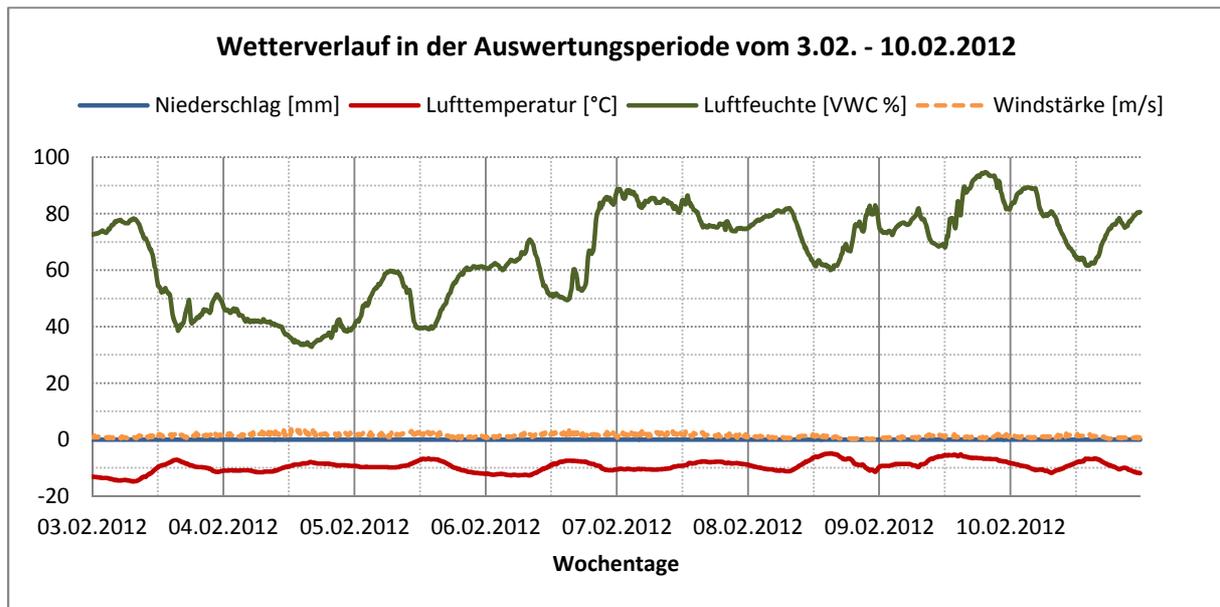


Abbildung 82: lokalklimatische Bedingungen an der Klimastation in der Aufnahmeperiode vom 03.02.-10.02.2012. Der ausgewählte Zeitraum ist durchwegs kalt, mit Lufttemperaturen bis  $-15^{\circ}\text{C}$ . Es sind kein Niederschlag und nur geringe Windstärken erfasst worden, Versuchsgarten Wien Essling.

Die erste Aufnahmereihe (Abbildung 82) ist vom 3.02. bis 10.02.2012 ausgewählt. Der Zeitraum im Februar ist mit einer Durchschnittslufttemperatur an der Klimastation von  $-9^{\circ}\text{C}$  und einer Schwankungsbreite von  $-5^{\circ}\text{C}$  bis  $-15^{\circ}\text{C}$ , extrem kalt. Laut ZAMG (2012) war es bundesweit seit 1986, in einem Februar, nicht mehr so kalt. Österreichweit betrug die Abweichung in der ersten Monathälfte  $10^{\circ}\text{C}$  unter dem vieljährigen Mittel. In Wien war es im Vergleich zu dem langjährigen Mittel 3 bis  $4^{\circ}\text{C}$  kälter (STADT WIEN, 2012).

Der Februar 2012 war in Wien mit 34 % unter der durchschnittlichen Niederschlagsmenge etwas zu trocken. Diese Tendenz findet sich auch an der Klimastation vor, an der in dem ausgewählten Aufnahmezeitraum kein Niederschlag zu verzeichnen war. Die relative Luftfeuchte weist ein Schwankungsspektrum zwischen 33 % und 95 % auf. Der Durchschnitt liegt bei 66 %. Im Vergleich dazu liegt die relative Luftfeuchte in Wien im Februar zwischen 36 und 100 % (STADT WIEN, 2012).

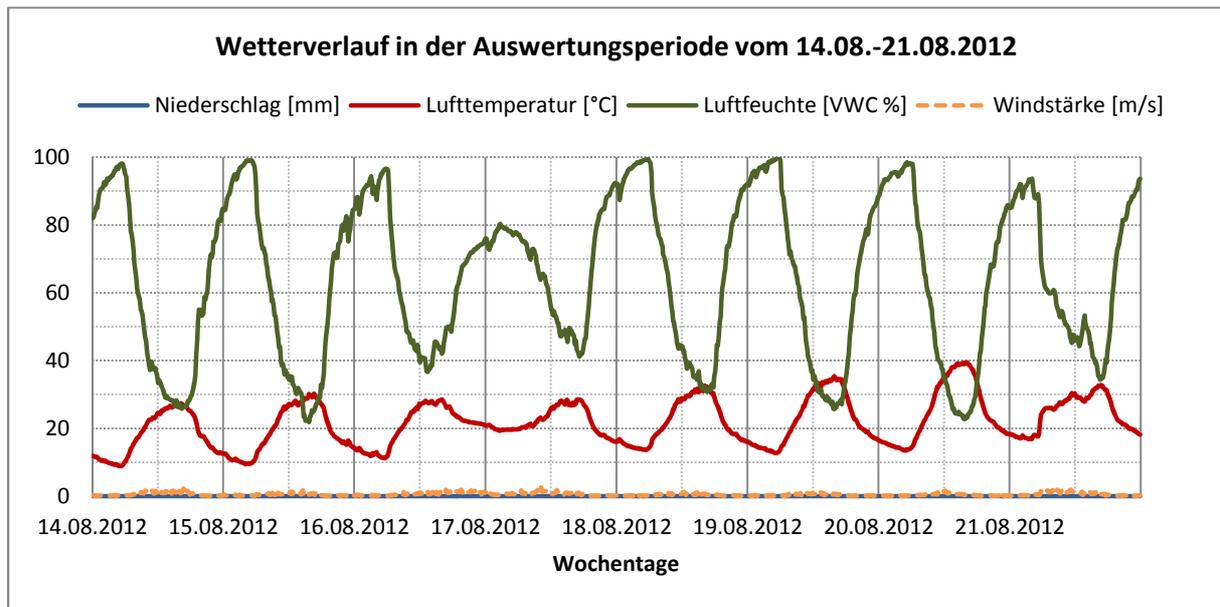


Abbildung 83: lokalklimatische Bedingungen an der Klimastation in der Aufnahmeperiode vom 14.08-21.08.2012. Der ausgewählte Zeitraum ist durchwegs heiß und trocken, mit Lufttemperaturen bis 39°C. Es sind kein Niederschlag und nur geringe Windstärken erfasst worden, Versuchsgarten Wien Essling.

In der Aufnahmeserie vom 14.08 bis 21.08.2012 (Abbildung 83) sind signifikante Tag - Nacht Schwankungen in der Lufttemperatur- und Luftfeuchtekurve zu erkennen. Mit Lufttemperaturen von 22°C bis 39°C sind die ausgewählten Augusttage durchwegs heiß. Laut ZAMG (2012) war der August 2012 einer der wärmsten Monate der Messgeschichte. In Wien konnte zum Beispiel ein Plus von 2,1°C auf das langjährige Mittel des Monats festgestellt werden (<http://www.wien.gv.at/statistik/lebensraum/tabellen/lufttemperatur.html>).

Der August war im Wiener Raum mit einer negativen Abweichung von 30 % von dem langjährigen Mittel der Niederschlagsmenge sehr trocken. Im Aufnahmezeitraum vom 2.8. bis 10.08.2012 konnte kein Niederschlag an der Klimastation gemessen werden.

Die relative Luftfeuchte verläuft zwischen 22 % und 100 % mit einem Durchschnitt von 65 %. Die langjährigen Werte von Wien im August 2012 lagen im Vergleich dazu zwischen 35 und 94 %.

## 6.4 Mikroklima an den Versuchsflächen

Nachfolgend werden alle relevanten mikroklimatischen Parameter beschrieben die an den Versuchsflächen erfasst und für die Auswertungen herangezogen werden. Dazu zählen die Lufttemperatur, -feuchte, die Wandtemperatur, und die die Bodentemperatur, -feuchte. Die Parameter und die Messmethode werden anschließend genau beschrieben.

### 6.4.1 Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit

Die **Lufttemperatur** ist ein Maß für den Wärmezustand eines Luftvolumens, die durch die mittlere kinetische Energie der ungeordneten Molekularbewegung in der Luft bestimmt wird. Je größer die mittlere Geschwindigkeit aller Moleküle in einem Luftvolumen ist, um so höher ist seine Lufttemperatur (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2012).

Unter **Luftfeuchtigkeit** (oder auch Luftfeuchte) versteht man den Wasserdampfgehalt der Luft, welcher von der Verfügbarkeit von Wasser und der Temperatur abhängig ist. Erreicht die Luft ihren maximalen Wasserdampfgehalt, spricht man von Sättigung (ZMARSLY et al. 1999). Der Wasserdampfgehalt den die Luft aufnehmen kann, ist von der der Lufttemperatur abhängig. Je höher die Temperatur der Luft ist, desto mehr Wasserdampf kann aufgenommen werden (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2012).

Die **relative Luftfeuchte** ist der momentane Wasserdampfanteil an dem maximalen Sättigungswert der Luft bei entsprechender Temperatur. Die relative Feuchte wird in Prozent angegeben (ZMARSLY et al., 2007).

#### 6.4.1.1 Messmethode

Um die Parameter der Lufttemperatur- und feuchtigkeit an den Versuchsflächen erfassen und daraus Schlüsse über die mikroklimatische Wirkung von Fassadenbegrünung treffen zu können, wurden vor den Versuchsflächen jeweils zwei kombinierte Lufttemperatur- und Luftfeuchtigkeitssensoren in einer Höhe von zwei Metern angebracht. Diese Höhe wird gewählt, weil dadurch der Einfluss der Erdoberfläche auf die Messungen minimiert und vergleichbare Bedingungen geschaffen werden (KUTTLER, 2009).

Der erste Sensor befindet sich in einem Abstand von 10 cm zur Vegetationstragschicht bzw. Putzfassade und liefert Messdaten über die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit unmittelbar vor der Vegetation- bzw. Putzfassade. Der zweite Sensor misst die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit in 40 cm Entfernung zur Trägerschicht bzw. Putzfassade. Um den Einfluss von Sonnenstrahlung, Wind und Niederschlag auf die Messungen auszuschalten, ist der Sensor in einem weißen Lamellengehäuse aus Aluminium eingebaut (HUPFER, 2006).



Abbildung 86: Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeitssensor (CS215) (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2012).



Abbildung 85: Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeitssensoren in Lamellengehäuse aus Aluminium in 10 und 40 cm Abstand zu der Vegetationstragschicht der Systemwand im Versuchsgarten Wien Essling, Juni 2012.

Beim Sensor und dem Gehäuse handelt es sich um das Modell:

- CS215 - Lufttemperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor (Campbell Scientific)
- MET20 Gehäuse (Cambell Scientific)

Der Sensor CS215 misst laut Hersteller Lufttemperaturen im Bereich von  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $+70^{\circ}\text{C}$  als auch die relative Luftfeuchte von 0 bis 100% (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2012).

## 6.4.2 Wandtemperatur

Die Temperatur, die an der Oberfläche eines Körpers herrscht, wird als Oberflächentemperatur bezeichnet. Aufgrund der Wärmestrahlung eines Körpers ist sie von außen sicht- bzw. messbar (VACU-ISOTEC KG, 2012).

### 6.4.2.1 Messmethode

Um die Wandtemperatur hinter den Begrünungssystemen erfassen zu können, wurde im Herbst 2011 am Pflanzwannensystem und am modularen Begrünungssystem unter die Putzschicht der Fassade ein Wärmeflussensor eingebaut. Am flächigen Begrünungssystem konnte der Sensor lediglich nachträglich an einer Metallstange montiert werden, die wiederum an die Fassade hinter dem Begrünungssystem geschraubt wurde. Die Messungen geben Aufschluss über die Wirkung der Begrünungssysteme in der warmen und kalten Jahreszeit auf die dahinterliegende Fassadenwand.

Beim Sensor handelt es sich um das Modell:

- Sensor CR (Wuntronic)

Der Sensor kann laut Hersteller Temperaturen von  $-50$  bis  $150^{\circ}\text{C}$  erfassen (WUNTRONIC, 2009).

### 6.4.3 Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit

Die **Bodenfeuchte** ist ein Begriff für den Wassergehalt in der oberen Bodenschicht (bis 2 m), und wird in Volumsprozent angegeben. Der Wasseranteil der obersten Bodenschicht wird vom Niederschlag, von der Evapotranspiration, Temperatur, Strahlung und vom Wind beeinflusst. Die Bodenfeuchte ist für das Wachstum von Pflanzen wesentlich und versorgt diese neben Wasser auch mit Nährstoffen (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2012).

Die **Bodentemperatur** ist die Temperatur unterhalb der Bodenoberfläche. Gemessen wird diese in unterschiedlichen Messtiefen, in 5 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm und 100 cm.

Beeinflusst wird die Bodentemperatur von den im Boden ablaufenden chemischen, physikalischen und biologischen Reaktionen (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2012).

Die Temperatursprägung des Bodens wird im Detail durch die Sonneneinstrahlung, die Exposition, Bodenbedeckung, Bodenfarbe, Art und Zusammensetzung der festen Bodensubstanz und den Wassergehalt des Bodens beeinflusst. Feuchte Böden weisen gegenüber strahlungsbedingten Temperaturschwankungen eine höhere Pufferwirkung auf (ASCHEMEIER und BAMMEL, 2009).

#### 6.4.3.1 Messmethode

Um Daten über die Bodenfeuchte und über die Bodentemperatur des Substrats an den Begrünungssystemen zu erhalten, werden seit Oktober 2011 mittels eingebauter Sensoren Messungen durchgeführt, die Informationen über die Standortverhältnisse der Pflanzen liefern.

Bei den Sensoren handelt es sich um einen kombinierten Bodentemperatur, -feuchtesensor:

- Sensor 5TM (Decagon)

Es wurden pro Versuchswand jeweils zwei Sensoren des Typs 5TM im oberen und unteren Bereich der Vegetationstragschicht angebracht (siehe Abbildung 78 bis Abbildung 80). Die messbare Temperaturspannweite des Sensors liegt zwischen  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $50^{\circ}\text{C}$  (DECAGON DEVICES, 2012).



Abbildung 87: kombinierter Bodentemperatur und Bodenfeuchtesensor (Sensor 5TM) (DECAGON DEVICES, 2012).

## 6.5 Ergebnisse Lufttemperatur und Luftfeuchte

### 6.5.1 Lufttemperatur – flächiges Begrünungssystem

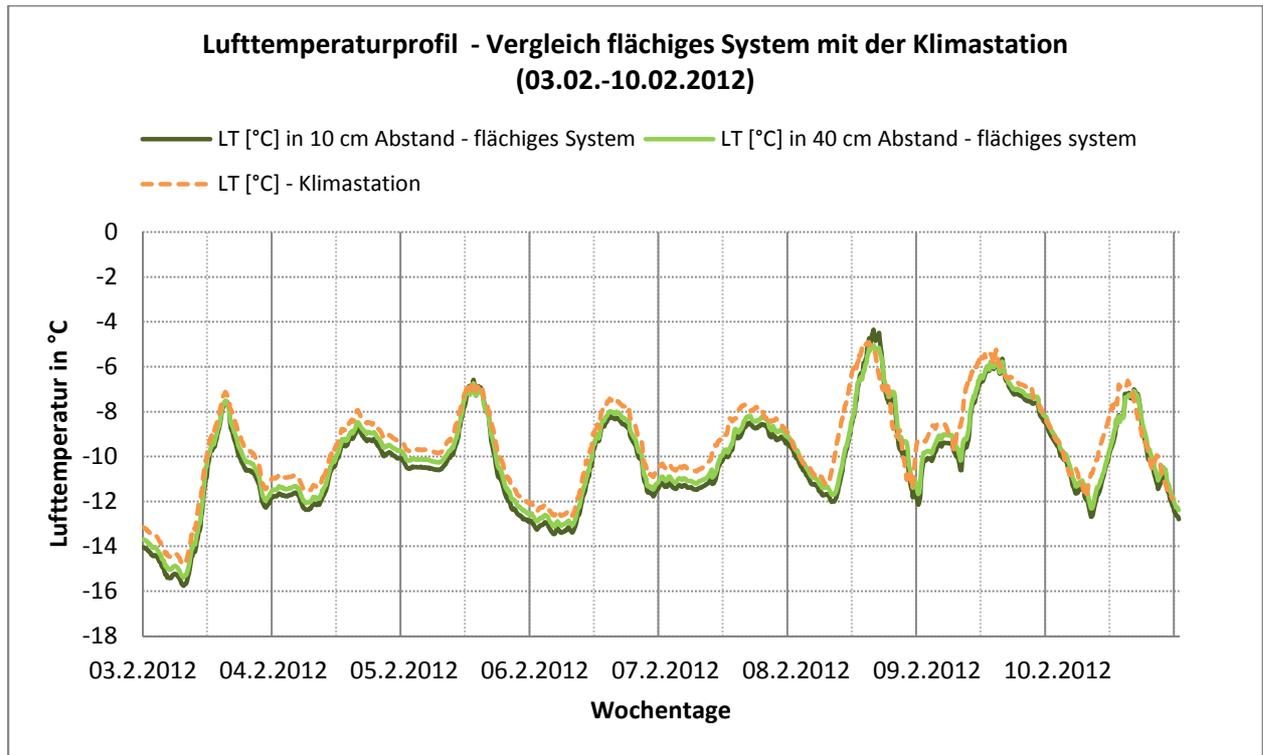


Abbildung 88: Lufttemperatur (LT) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

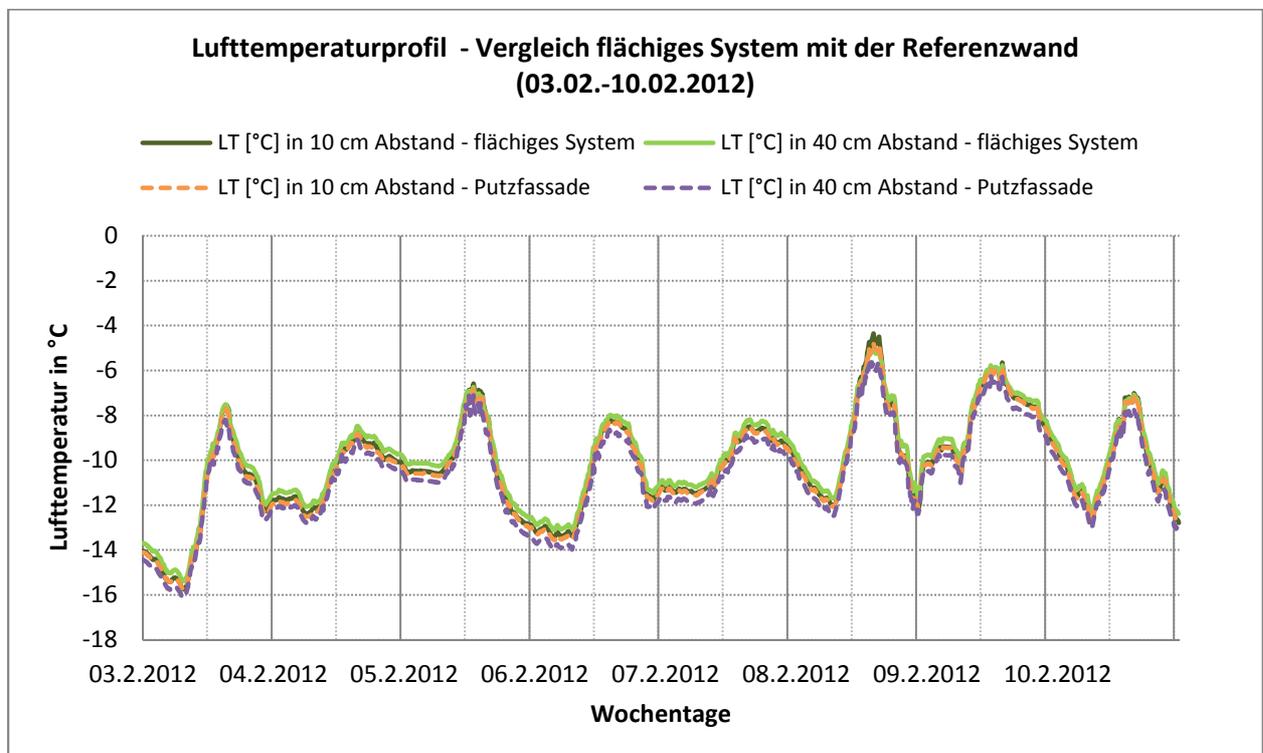


Abbildung 89: Lufttemperatur vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

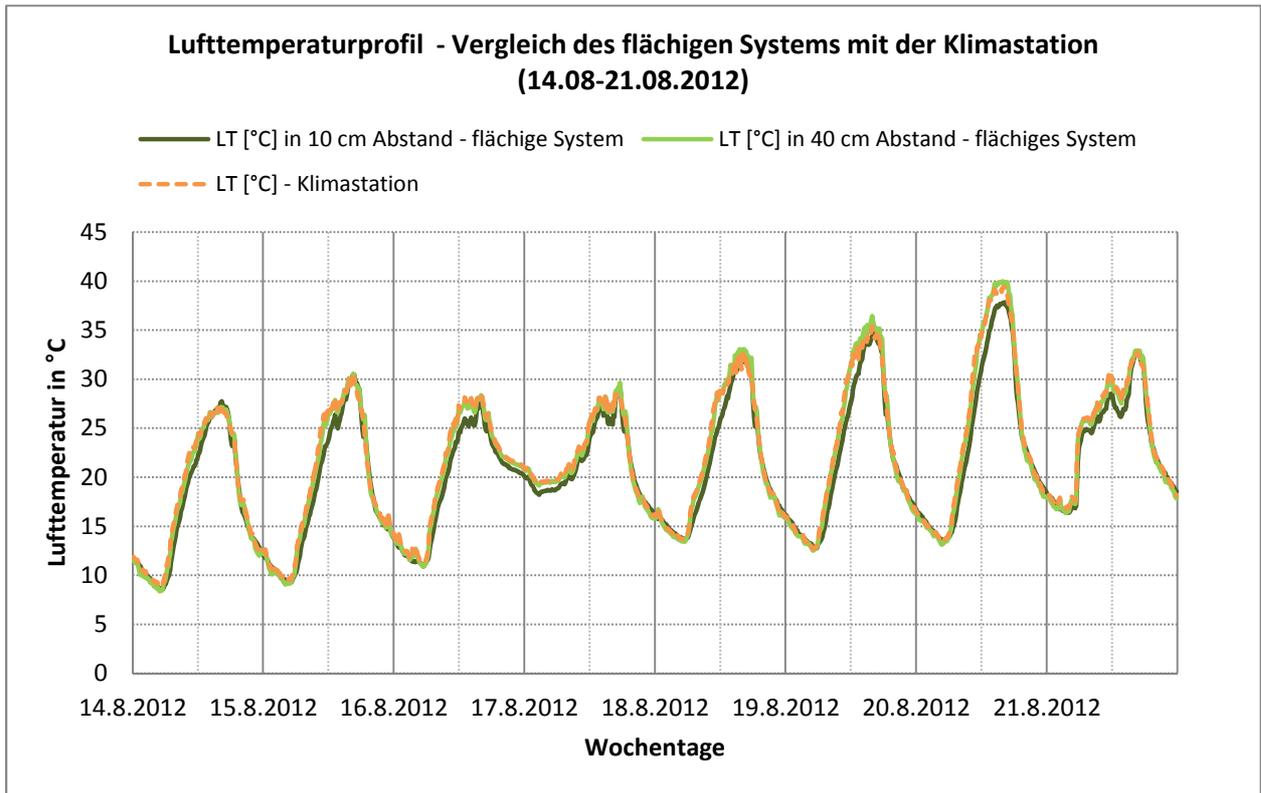


Abbildung 90: Lufttemperatur (LT) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

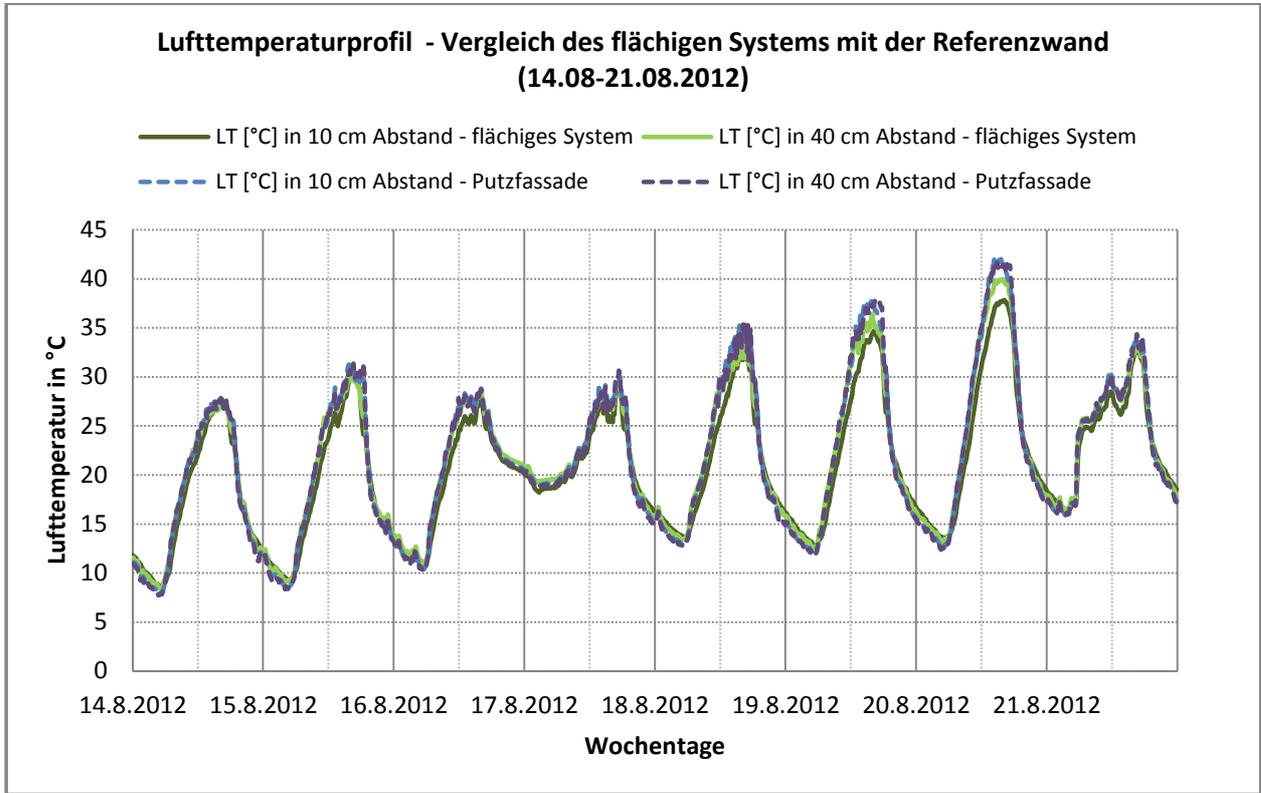


Abbildung 91: Lufttemperatur (LT) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

In der kalten Aufnahmeperiode im Februar (03.02. – 10.02.2012) sind zwischen dem flächigen Begrünungssystem und der Klimastation ähnliche Lufttemperaturverläufe mit geringen Unterschieden (bis 2°C) erkennbar. Vor dem Begrünungssystem sind in der Nacht stets kältere Lufttemperaturen registriert (Minimumwert Systemwand: -16°C, Minimumwert Klimastation: -15°C), tagsüber nähern sich die Temperaturkurven einander an. Maximalwerte von -5°C an der Klimastation und -4°C im Nahbereich bzw. -5°C im Fernbereich des flächigen Begrünungssystems sind gemessen worden. Im Vergleich zu der Putzfassade können vor der Systemwand keine signifikanten Lufttemperaturunterschiede festgestellt werden.

Im Aufnahmezeitraum vom 14.8. bis 21.08.2012 sind im Vergleich zu der Putzfassade tagsüber deutlich gedämpfte Lufttemperaturen im Nahbereich der Systemwand zu erkennen mit einem maximalen Unterschied von 6°C. Am heißesten Tag, dem 20.08. um 15:00 erwärmt sich die Luft direkt vor der begrünten Systemwand um 5°C weniger stark als vor der Putzfassade. Selbst in 40 cm Abstand kann zeitgleich noch ein Unterschied von 1°C ausgemacht werden.

Auch im Vergleich zu den Werten der Klimastation zeigen sich tagsüber unmittelbar vor der begrünten Wand um bis zu 5°C niedrigere Lufttemperaturwerte.

## 6.5.2 Relative Luftfeuchte – flächiges Begrünungssystem

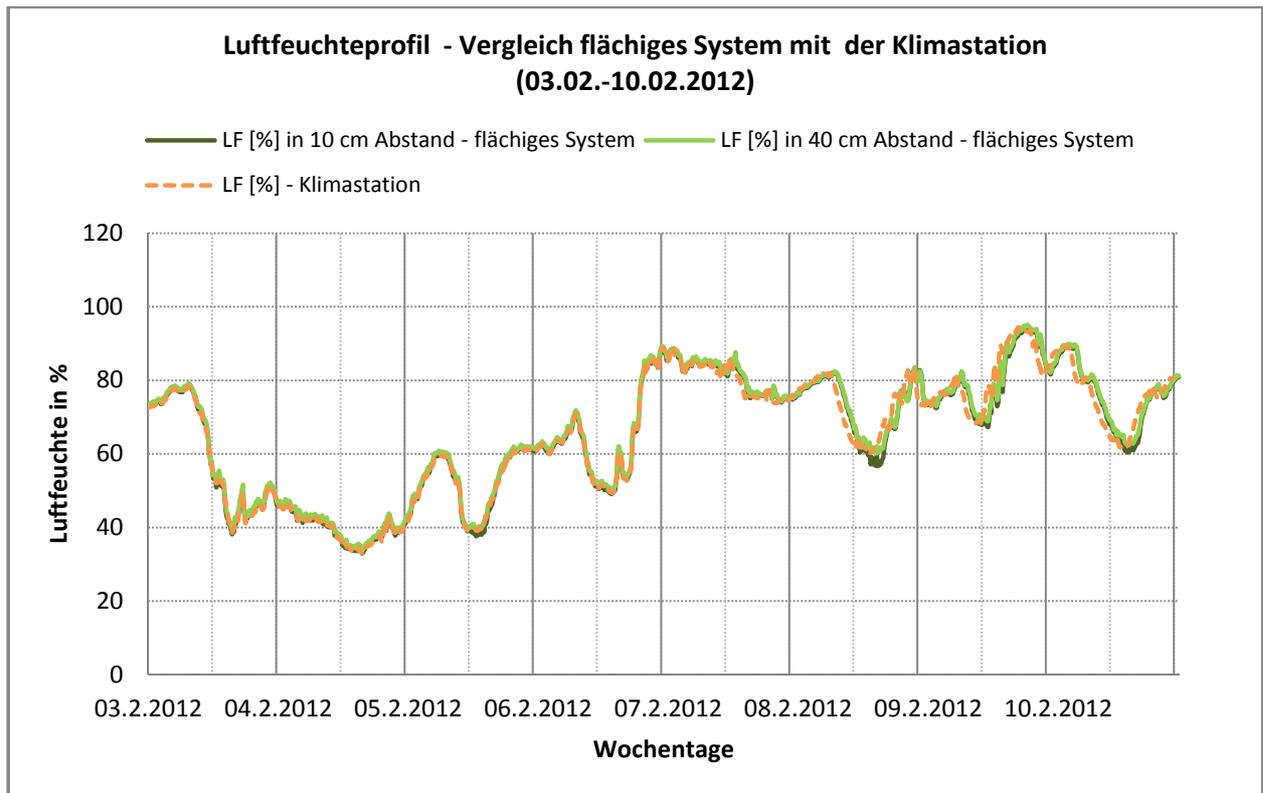


Abbildung 92: relative Luftfeuchte (LF) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

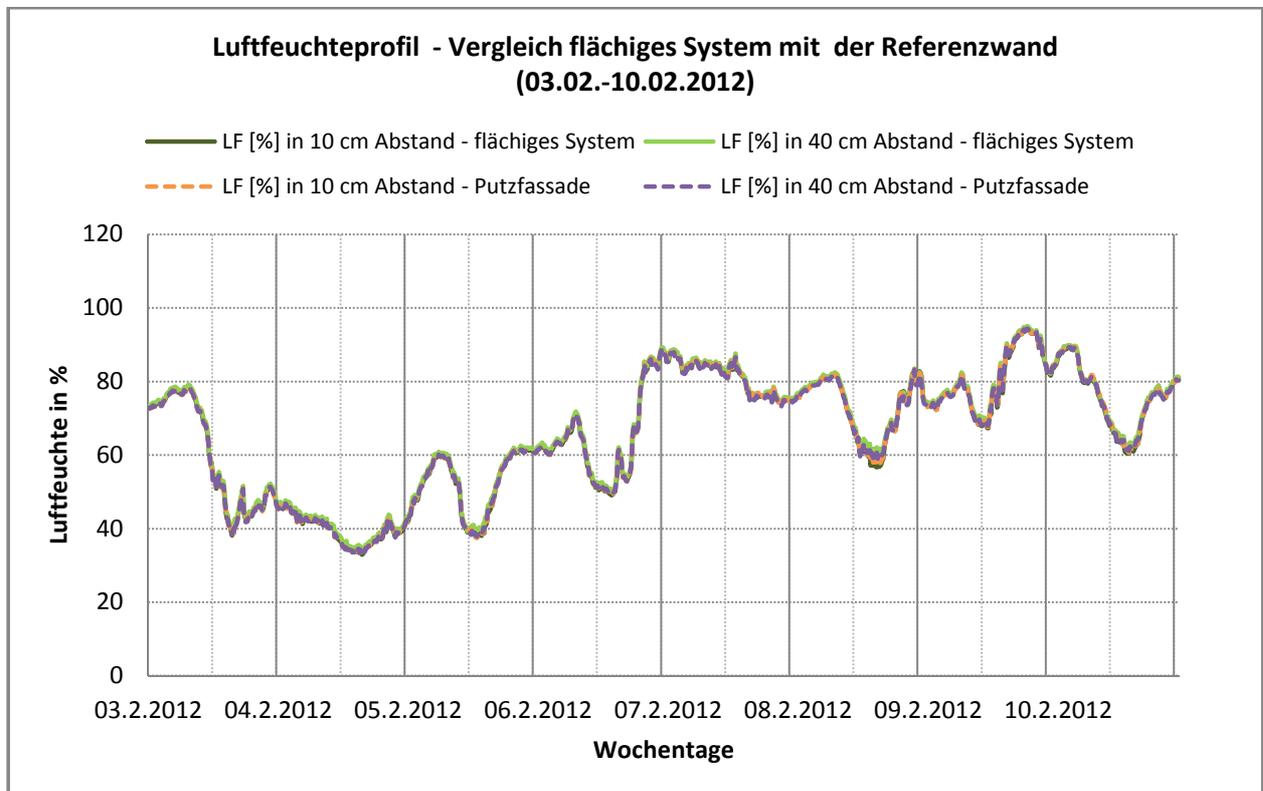


Abbildung 93: relative Luftfeuchte (LF) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

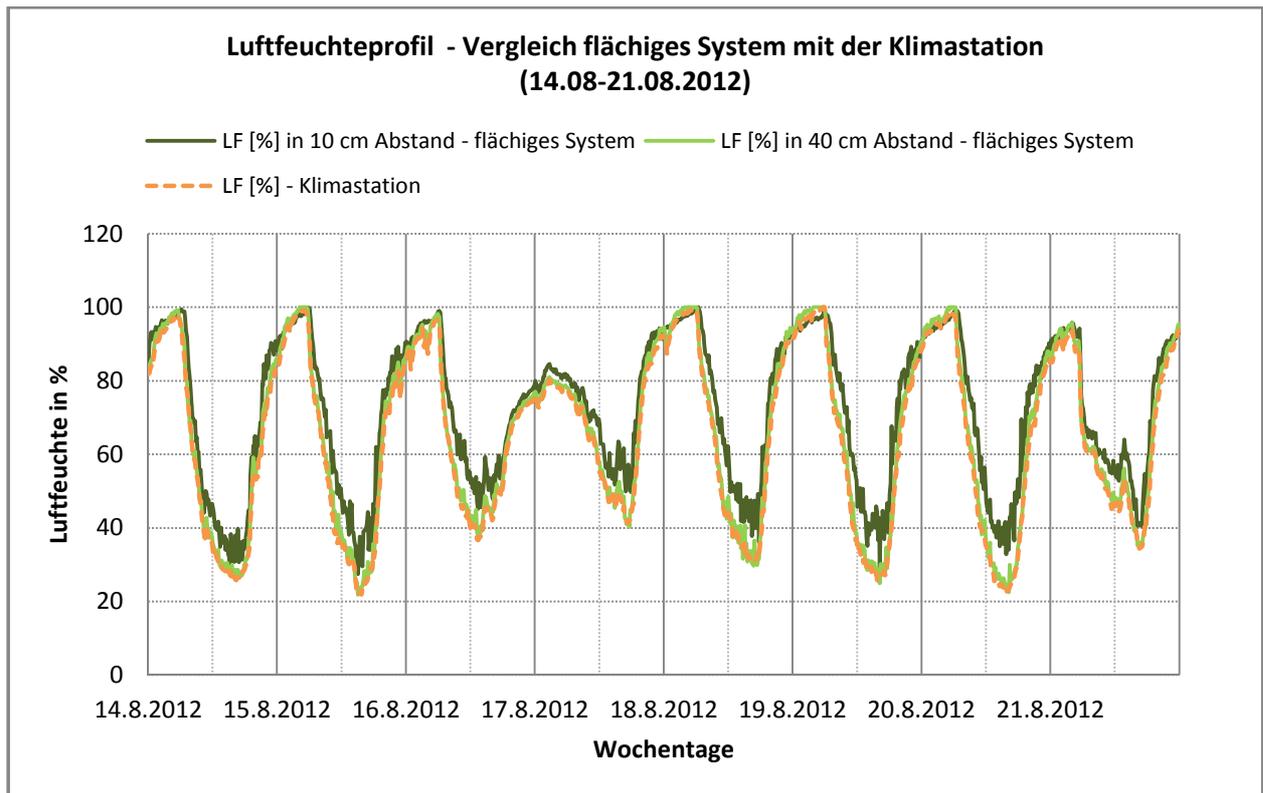


Abbildung 94: relative Luftfeuchte (LF) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

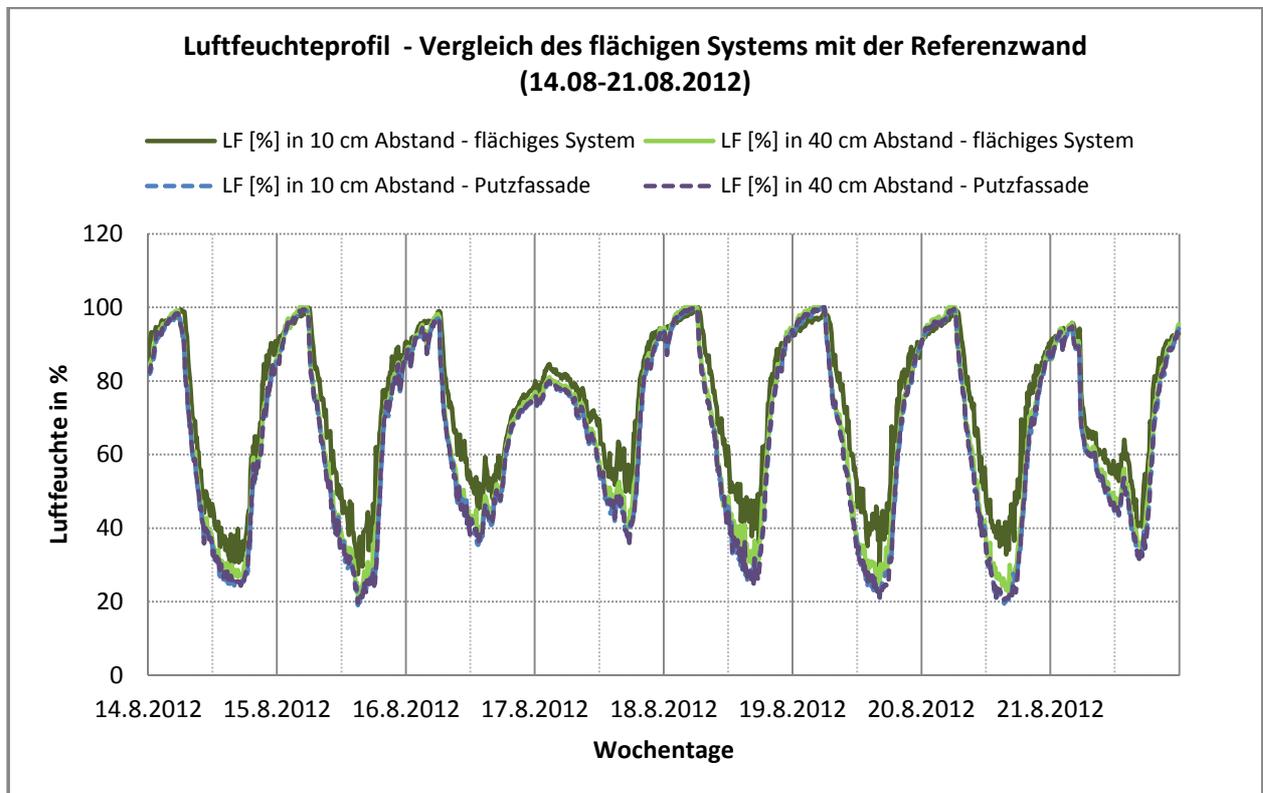


Abbildung 95: relative Luftfeuchte (LF) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling

Die Luftfeuchteprofile des flächigen Begrünungssystems und der Referenzfläche weisen über den gesamten Aufnahmezeitraum im Februar einen ähnlichen Verlauf auf. Der Durchschnitt der relativen Luftfeuchte beträgt im kalten Zeitabschnitt (03.02. – 10.02.2012) beim flächigen System 66 % im Nahbereich und 67 % in 40 cm Abstand. Die Referenzfläche weist im Durchschnitt 66 % relative Luftfeuchte im Nah- und Fernbereich auf.

Im August (14.08. – 21.08.2012) ist unter tags eine signifikant höhere Luftfeuchte im Nahbereich des flächigen Begrünungssystems ersichtlich als vor der Referenzfläche. Die Luft ist tagsüber 10 cm vor der Systemwand um bis zu 36 % feuchter als vor der Putzfassade und bis zu 28 % feuchter als an der Klimastation. In der Nacht nähern sich die Werte der Versuchsflächen einander an. Am 20.08., um beispielweise 14:10 ist vor der begrünten Wand in 10 cm Abstand eine fast doppelt so hohe relative Luftfeuchte (42 %) registriert worden als bei der Klimastation (24 %) oder 10 cm vor der Putzfassade (22 %). In 40 cm Abstand zur Systemwand sind im Vergleich zu den Referenzflächen ebenfalls erhöhte relative Luftfeuchtwerte erfasst worden, wobei maximale Unterschiede von bis zu 12 % (Vergleich mit Putzfassade) und 7 % (Vergleich mit Klimastation) festzustellen sind. Die Schwankungsbreite der relativen Luftfeuchte weist in 40 cm Abstand zur Systemwand Werte von 22 % bis 100 % auf, an der Klimastation ebenfalls von 22 % bis 100 % und im Fernbereich der Putzfassade zwischen 20 % und 100 % auf.

### 6.5.3 Lufttemperatur – Pflanzwannensystem

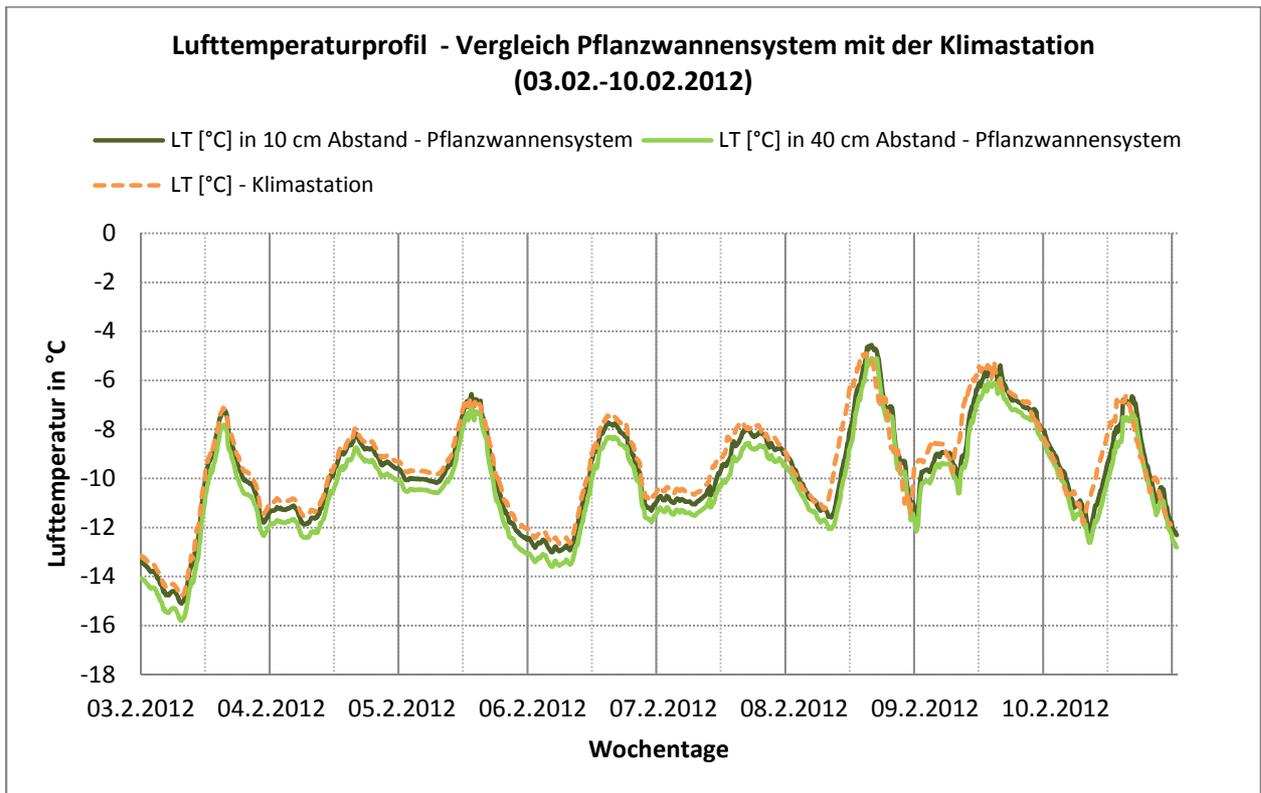


Abbildung 96: Lufttemperatur (LT) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

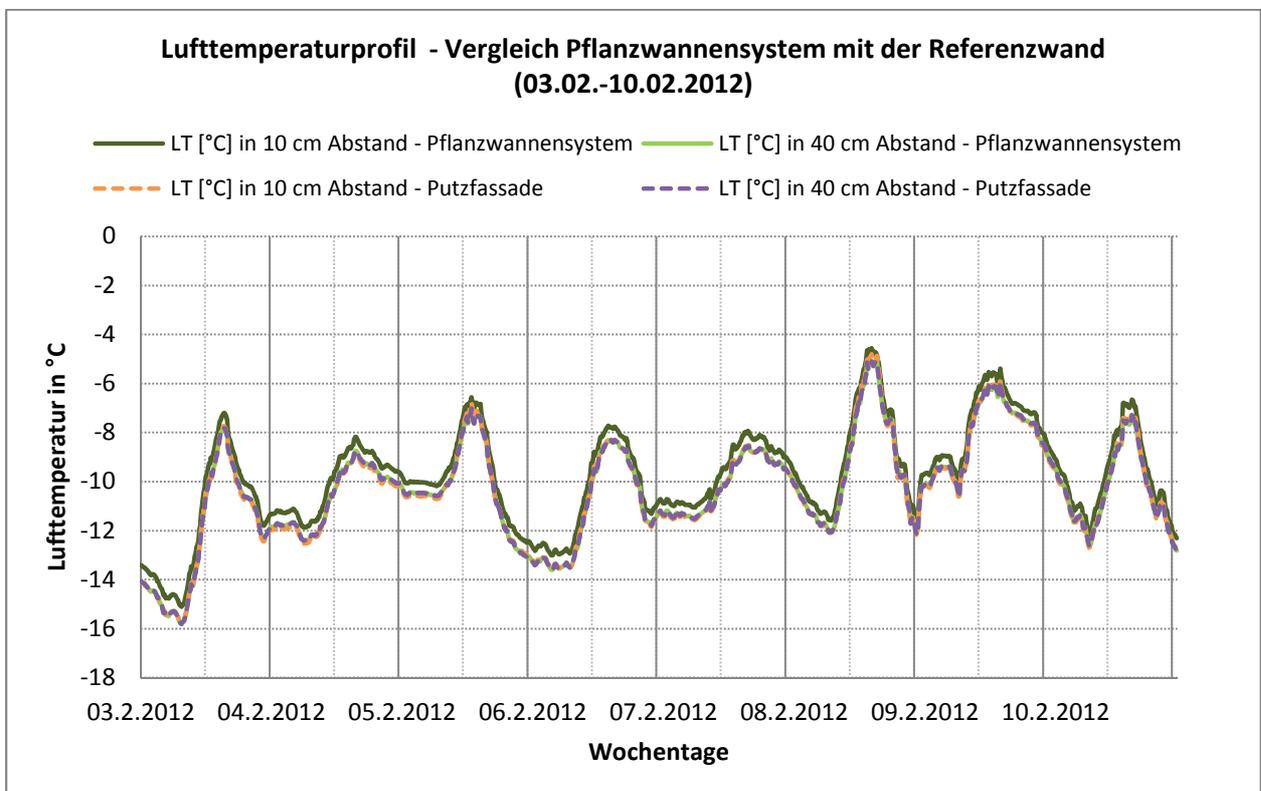


Abbildung 97: Lufttemperatur (LT) vor der Versuchfläche Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

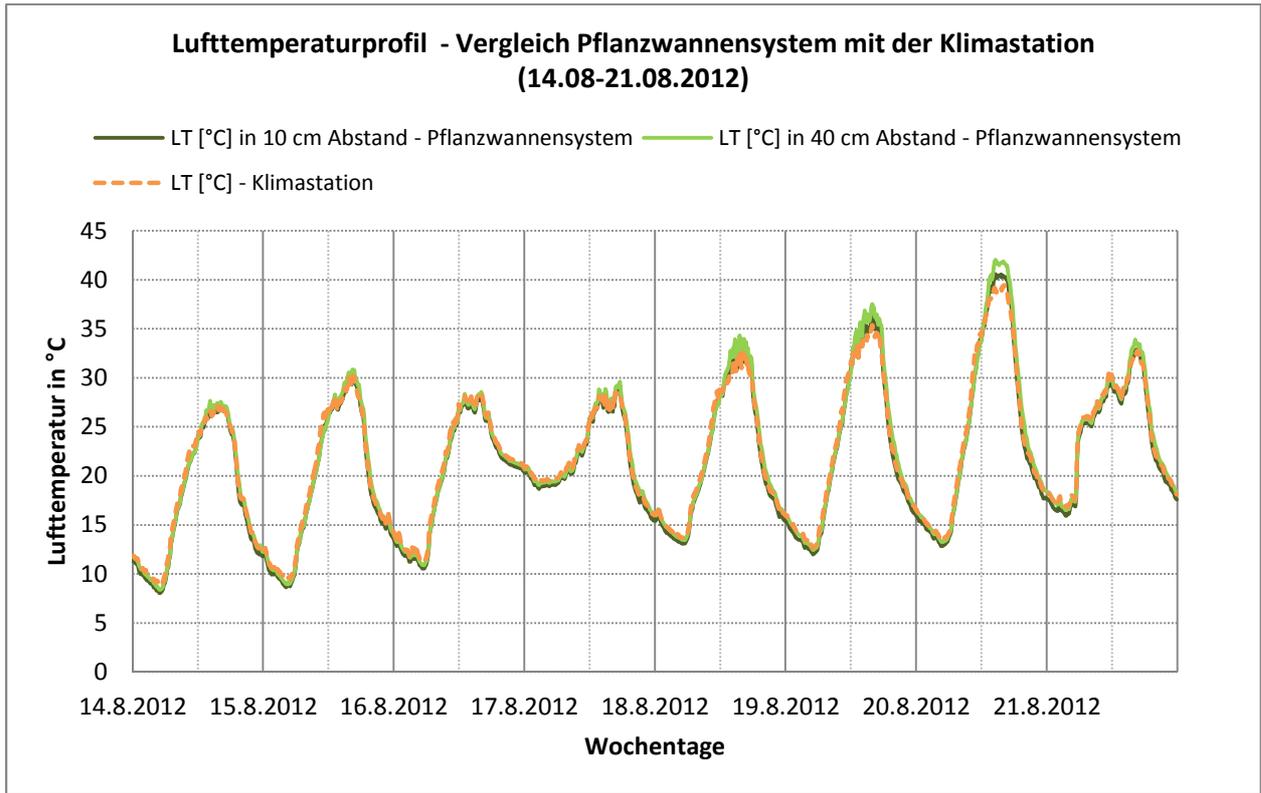


Abbildung 98: Lufttemperatur (LT) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

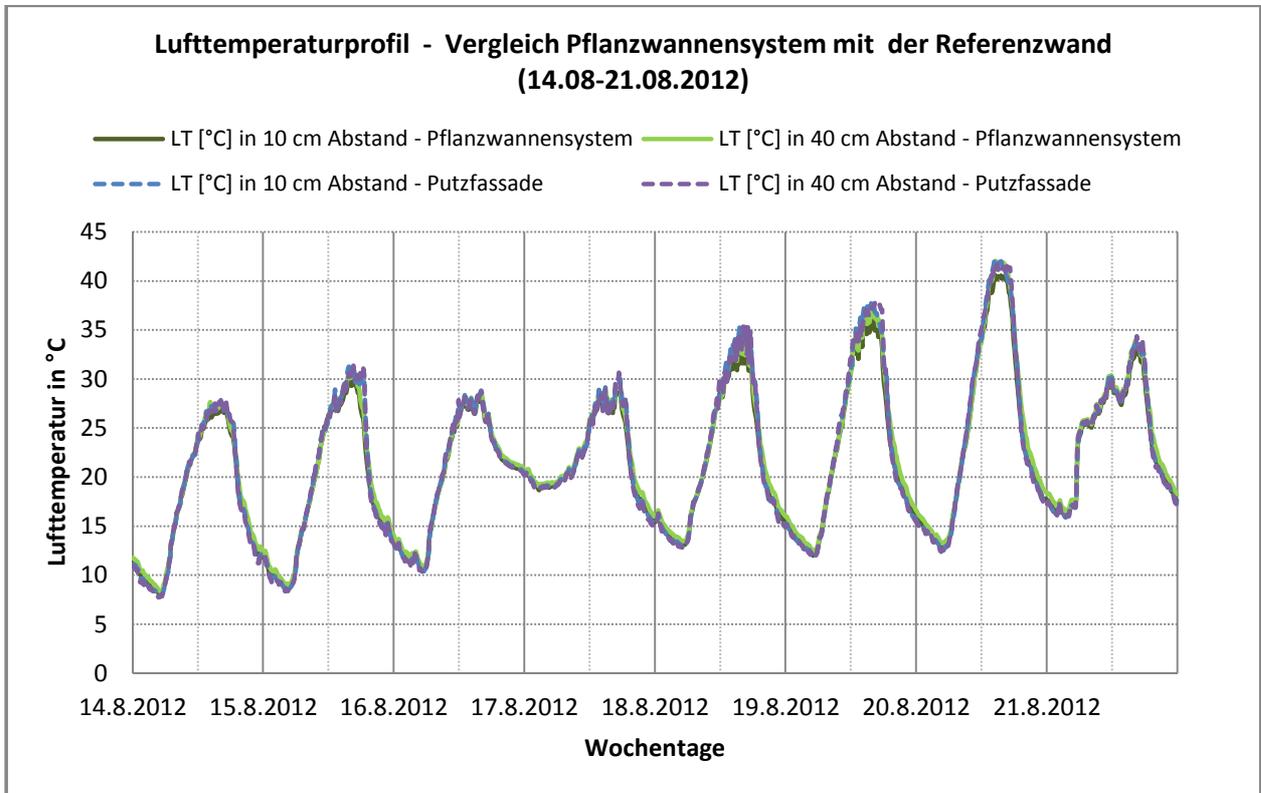


Abbildung 99: Lufttemperatur (LT) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

In der Aufnahmeserie sind im Februar vor der Systemwand im Vergleich zur Klimastation durchwegs kältere Lufttemperaturen zu verzeichnen. Die Lufttemperaturkurven vor der Putzfassade und in 40 cm Abstand zur Systemwand weisen idente Verläufe auf, in 10 cm Wandabstand können an dem Pflanzwannensystem minimal mildere Temperaturen festgestellt werden.

Im August (14.08. – 21.08.2012) zeigt sich ein fast identer Verlauf der Lufttemperaturkurven zwischen dem Pflanzwannensystem und der Referenzfläche. Bei einer Lufttemperatur von über 30°C erwärmt sich die Luft vor der Systemwand stärker als an der Klimastation, zeigt jedoch geringere Werte als die Putzfassade. Im Nahbereich des Begrünungssystems erhitzt sich die Luft untertags um bis zu 2°C stärker als an der Klimastation, ist jedoch mit bis zu 5°C Temperaturunterschied kühler als direkt vor der Mineralputz-Referenzfassade. Am 20.08. sind beispielweise um 14:00, 39°C vor dem Begrünungssystem erkennbar, während die Klimastation einen niedrigeren Wert von 38°C aufweist. Im Vergleich zu der Putzfassade kann die begrünte Fassade zu dieser Zeit im Nahbereich eine Minderung der Lufttemperatur um 2°C bewirken, in 40 cm Abstand sind äquivalente Daten zu erkennen.

## 6.5.4 Relative Luftfeuchte – Pflanzwannensystem

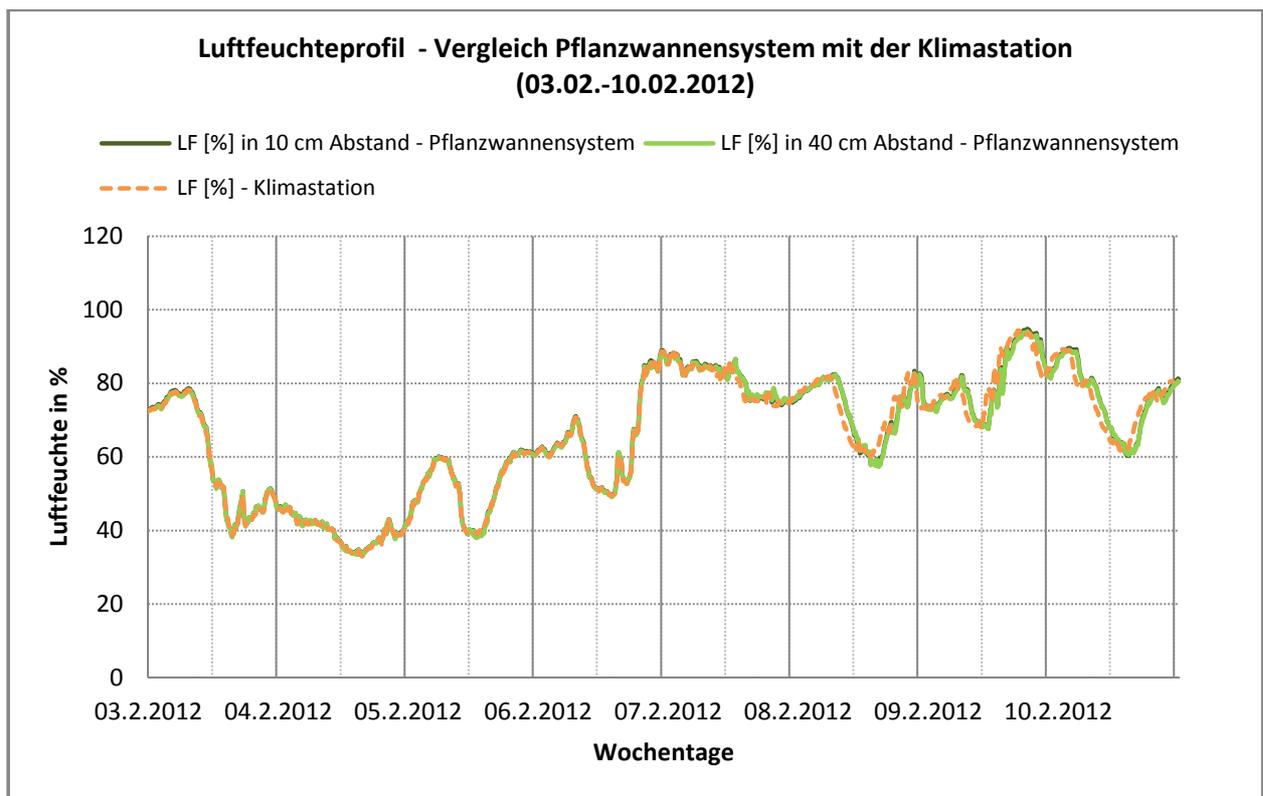


Abbildung 100: relative Luftfeuchte (LF) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

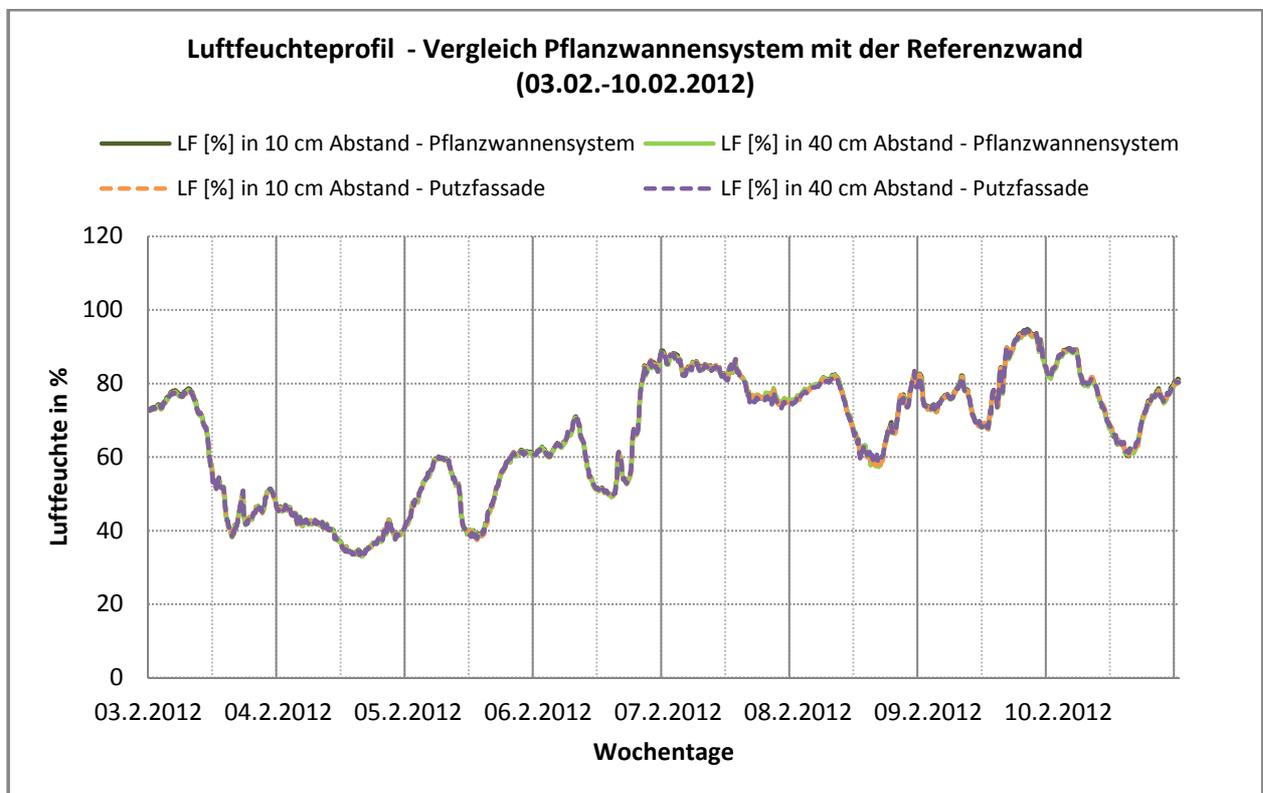


Abbildung 101: relative Luftfeuchte (LF) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand), und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

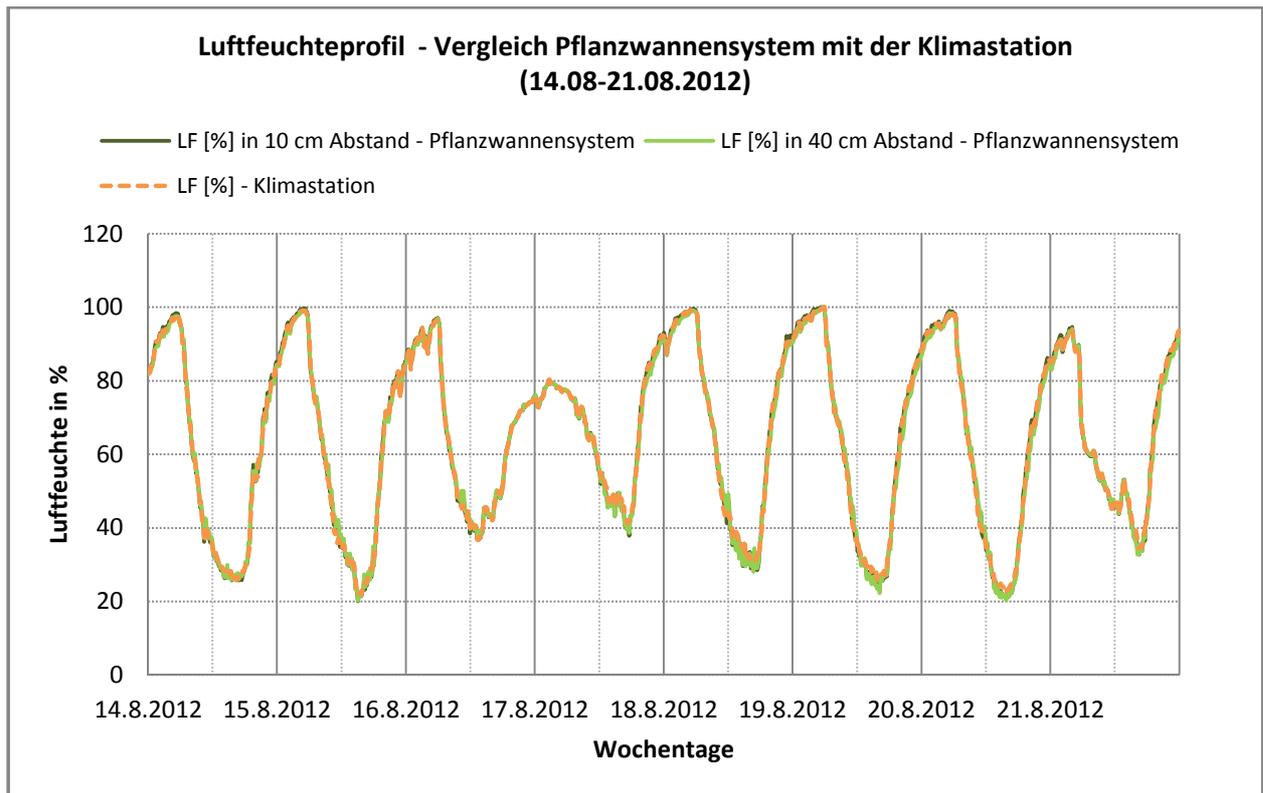


Abbildung 102: relative Luftfeuchte (LF) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

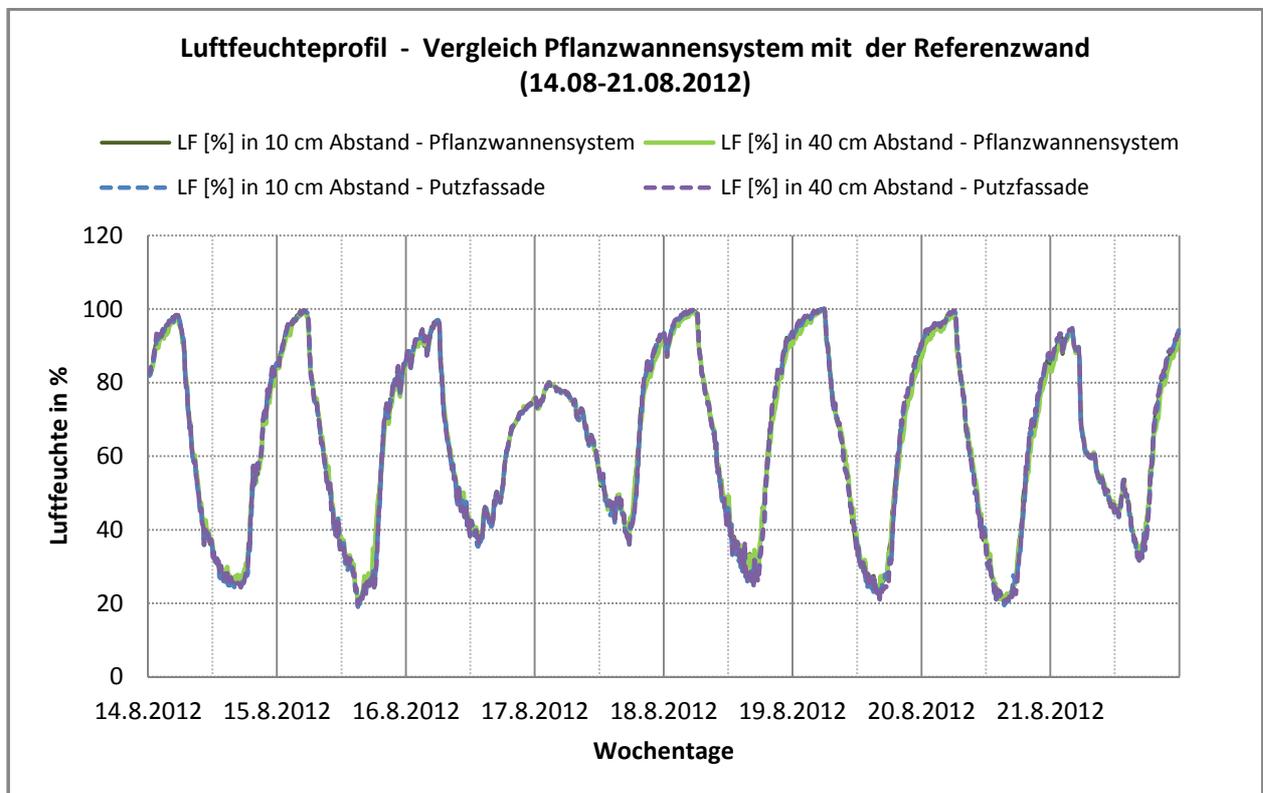


Abbildung 103: relative Luftfeuchte (LF) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

Sowohl in der Aufnahmeperiode im Februar als auch im August sind keine prägnanten Unterschiede der relativen Luftfeuchte zwischen der Referenzwand und dem Pflanzwannensystem erkennbar. Der Schwankungsbereich der relativen Luftfeuchte liegt in den Februartagen am Pflanzwannensystem mit 33 bis 95 % den gemessenen Höchst und Tiefwerten an der Referenzwand mit 33 bis 94 % sehr nahe.

Im August konnten in der Nacht vor dem Begrünungssystem und der Referenzwand Maximalwerte von 100 % Luftfeuchte erfasst werden. Tagsüber ist an der Putzfassade eine minimale Luftfeuchte von 19 % nachweisbar, vor dem Pflanzwannensystem ist ein Tiefstwert von 20 % erkennbar. Tagsüber kann im heißen Zeitabschnitt im Nahbereich der Systemwand eine um bis zu 9 % höhere Luftfeuchte als vor der Putzfassade festgestellt werden. Im Vergleich zu der Klimastation sind um bis zu 5 % erhöhte Luftfeuchtwerte im Nahbereich des Begrünungssystems ersichtlich.

## 6.5.5 Lufttemperatur – modulares Begrünungssystem

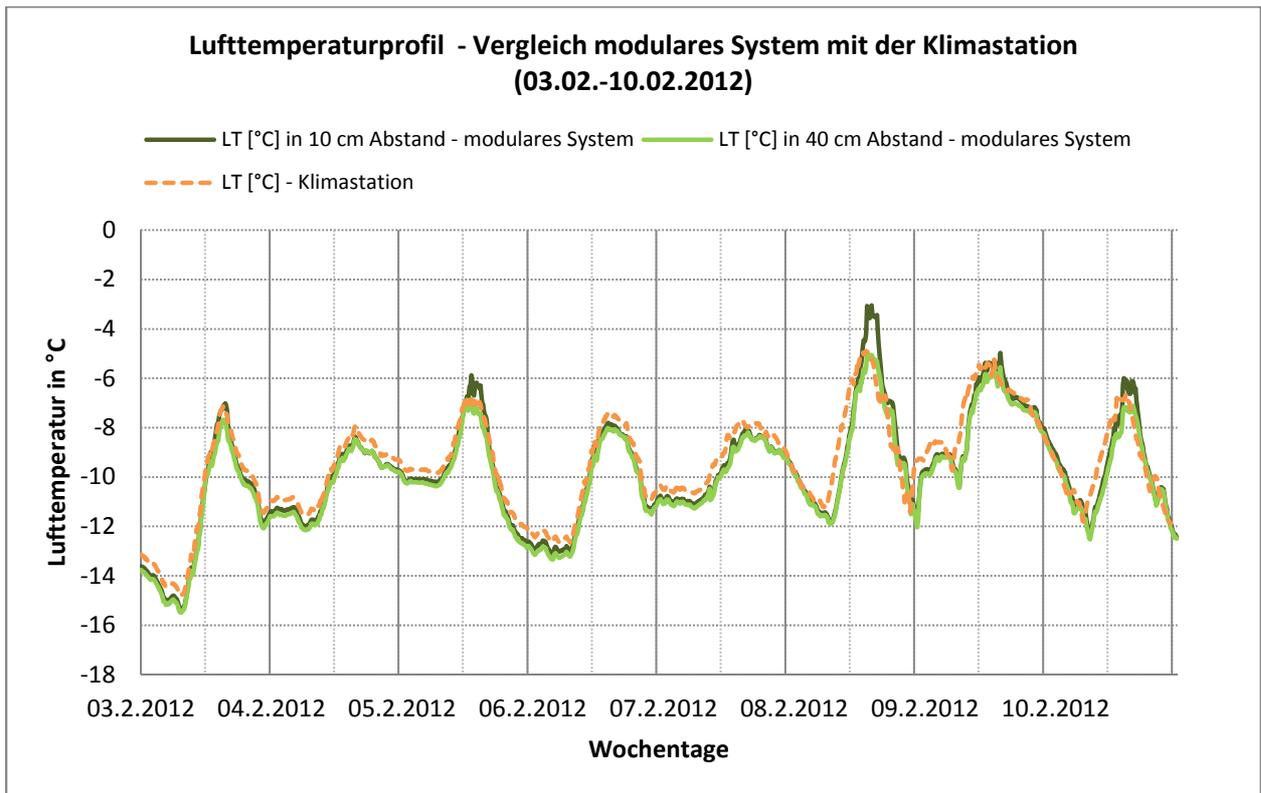


Abbildung 104: Lufttemperatur (LT) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

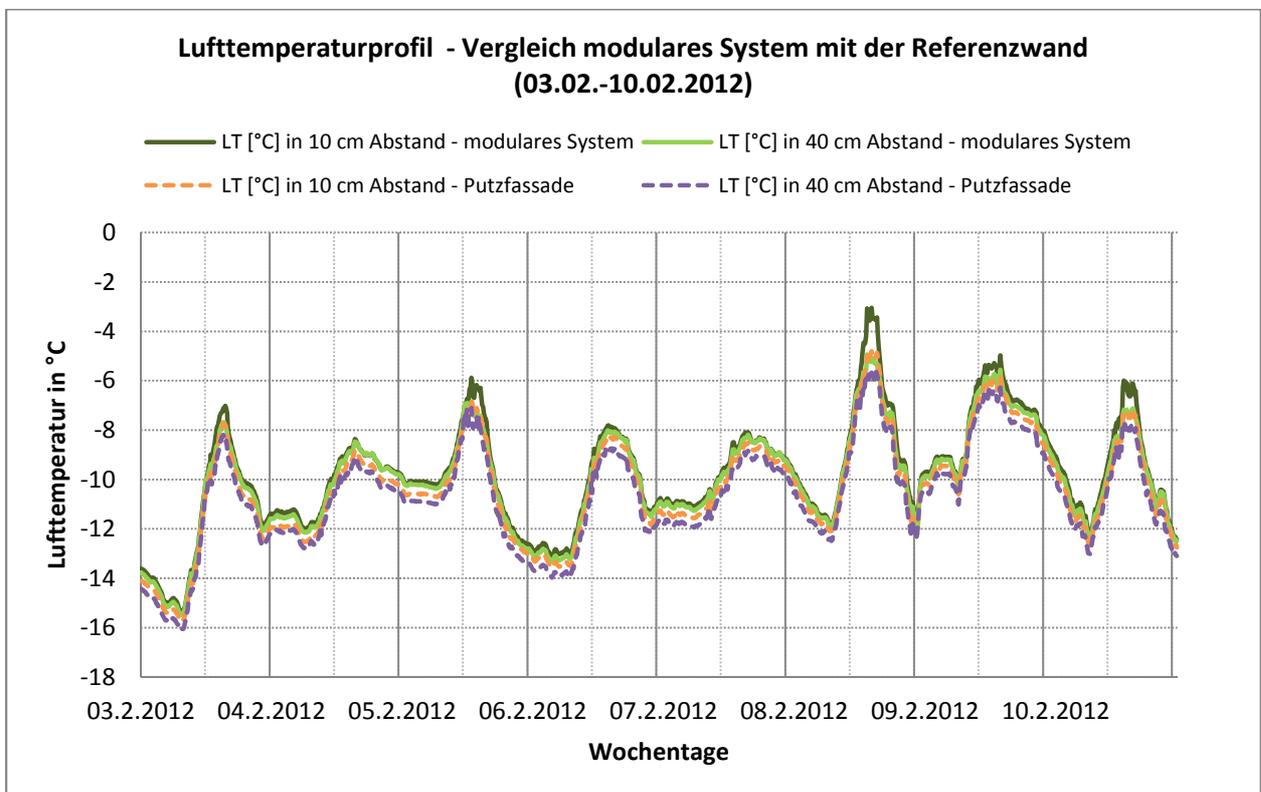


Abbildung 105: Lufttemperatur (LT) vor dem modularen System (gemessen in 10 und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 03.02. - 10.02.2012, Wien Essling.

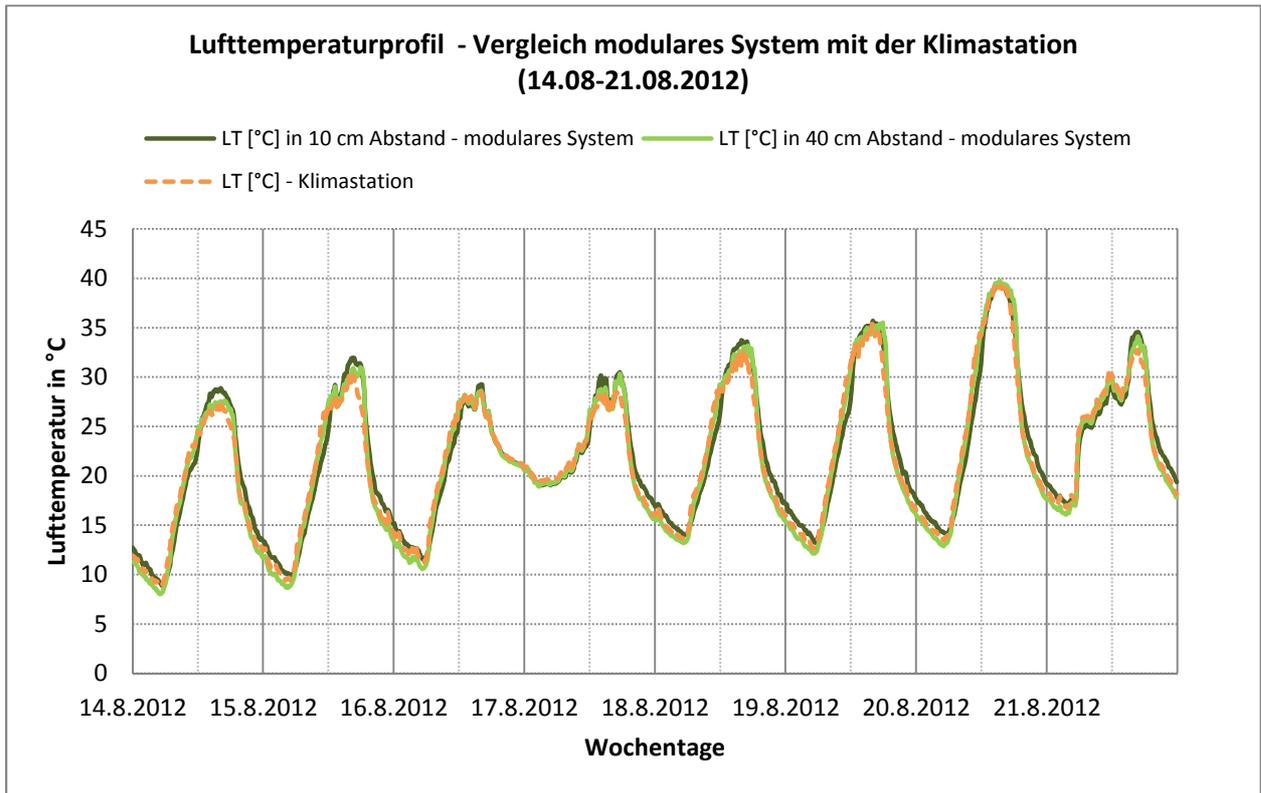


Abbildung 106: Lufttemperatur (LT) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

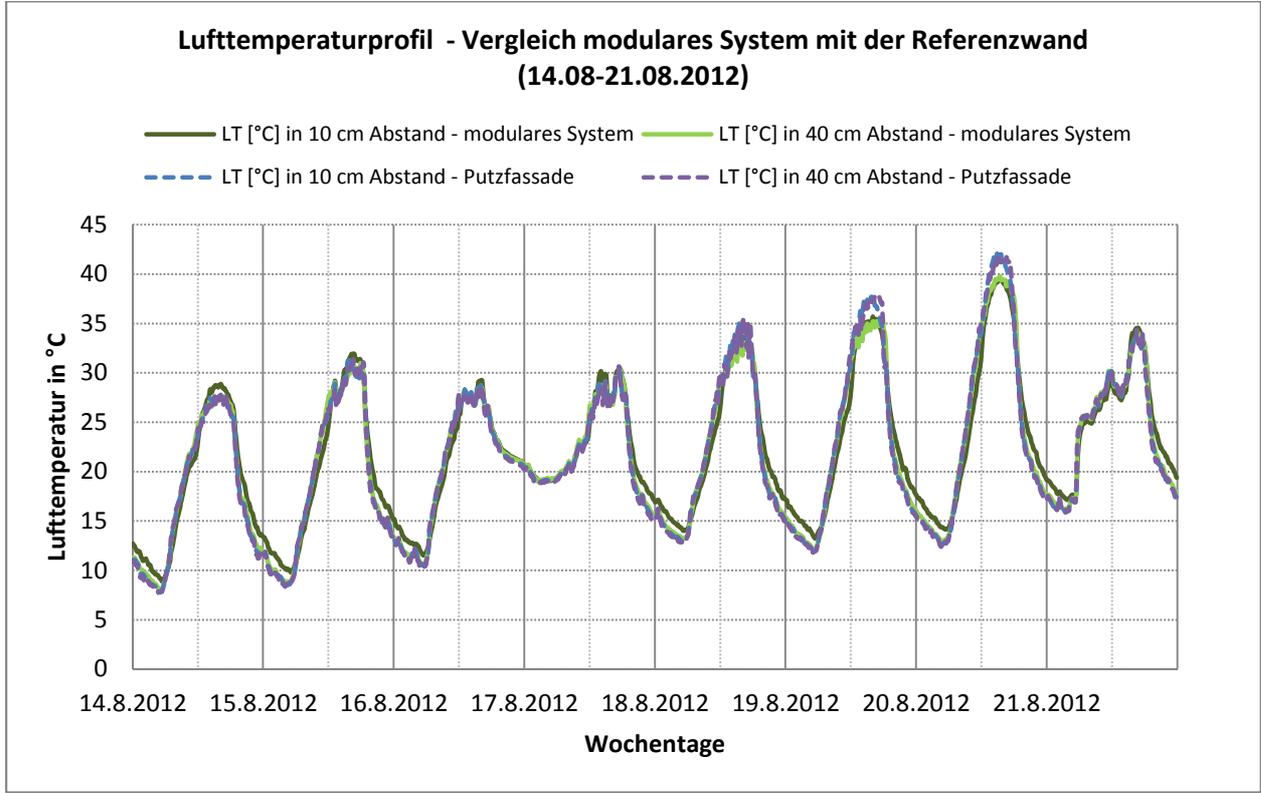


Abbildung 107: Lufttemperatur (LT) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

Die Lufttemperaturkurven des modularen Begrünungssystems weist über den Großteil des Beobachtungszeitraums im Februar (3.02. bis 10.2.2012) im Nahbereich (10 cm Abstand) als auch in 40 cm Abstand einen ähnlichen Verlauf wie die Referenzflächen und die Klimastation auf (siehe Abbildung 104 und Abbildung 105). An milderer Tagen im Februar erwärmt sich die Luft 10 cm vor der Systemwand stärker als an der Klimastation und der Putzfassade. Am 8.02. wurden beispielweise um 15:00  $-3^{\circ}\text{C}$  im Nahbereich des modularen Systems und  $-5^{\circ}\text{C}$  an der nackten Putzfassade und der Klimastation gemessen. In 40 cm Abstand sind um 15:00 vor der Systemwand  $-5^{\circ}\text{C}$  festzustellen, vor der Putzfassade ist die Lufttemperatur mit  $-1^{\circ}\text{C}$  Unterschied minimal niedriger. Nachts nähern sich sämtliche Kurven einander an.

In den zwei heißesten Augusttagen (19.8 und 20.8) sind untermittags sowohl in 10 cm als auch 40 cm vor dem Begrünungssystem niedrigere Lufttemperaturen als vor der Putzfassade gemessen worden. Am 20.08. um 15:00 beträgt der Temperaturunterschied zwischen Systemwand und Referenzfassade  $3^{\circ}\text{C}$ . Die Luft im Nahbereich vor der begrünten Systemwand heizt sich unter Tags um bis zu  $4^{\circ}\text{C}$  weniger auf als direkt vor der Putzfassade.

Die Temperaturwerte im Nahbereich des modularen Begrünungssystems sind im Vergleich zur Klimastation tagsüber teilweise erhöht, mit einem maximalen Temperaturunterschied von  $4^{\circ}\text{C}$ . Am Vormittag ist die Lufttemperatur unmittelbar vor der begrünten modularen Systemwand um bis zu  $5^{\circ}\text{C}$  kühler. In 40 cm Abstand sind tagsüber vor dem Begrünungssystem um bis zu  $3^{\circ}\text{C}$  kältere Lufttemperaturen als vor der Putzfassade gemessen worden.

In der Nacht kühlt die Lufttemperatur unmittelbar vor der Systemwand (10 cm Abstand) weniger ab als vor der Putzfassade oder der Klimastation.

## 6.5.6 Relative Luftfeuchte – modulares Begrünungssystem

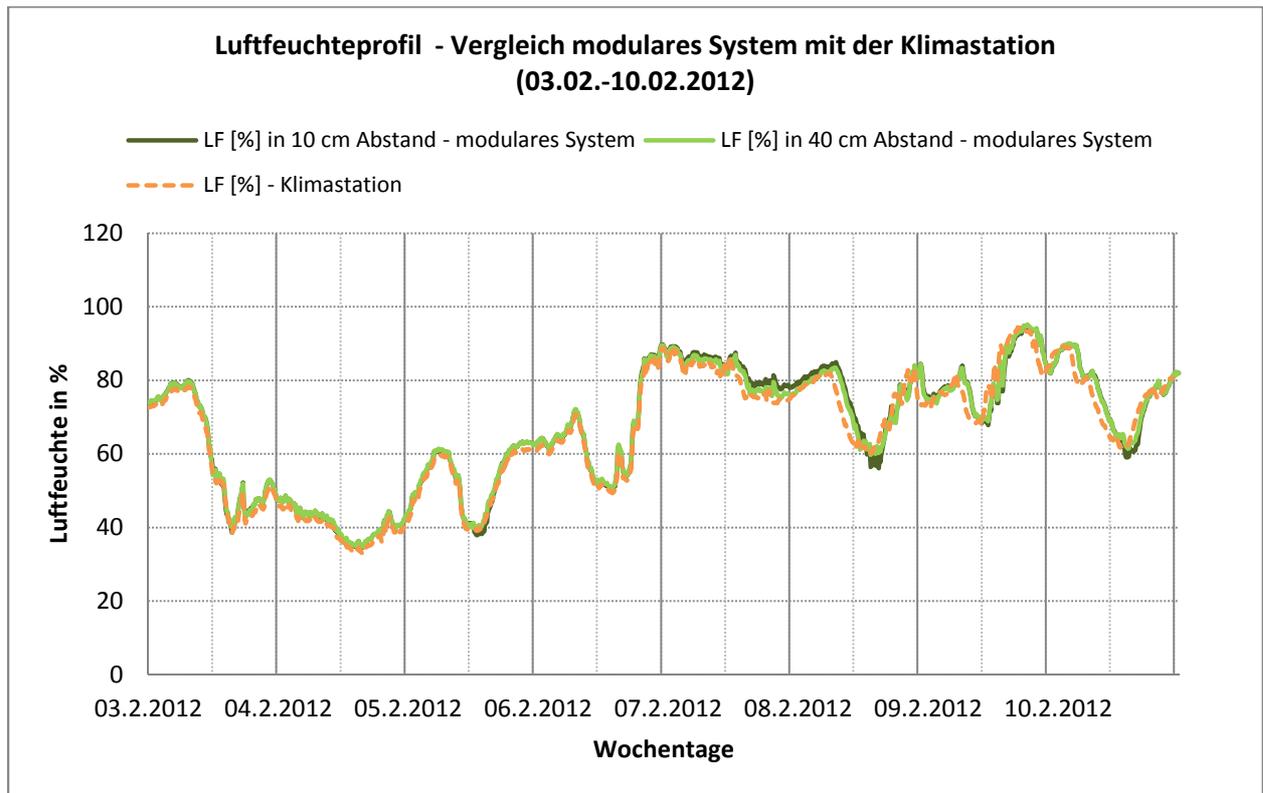


Abbildung 108: relative Luftfeuchte (LF) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

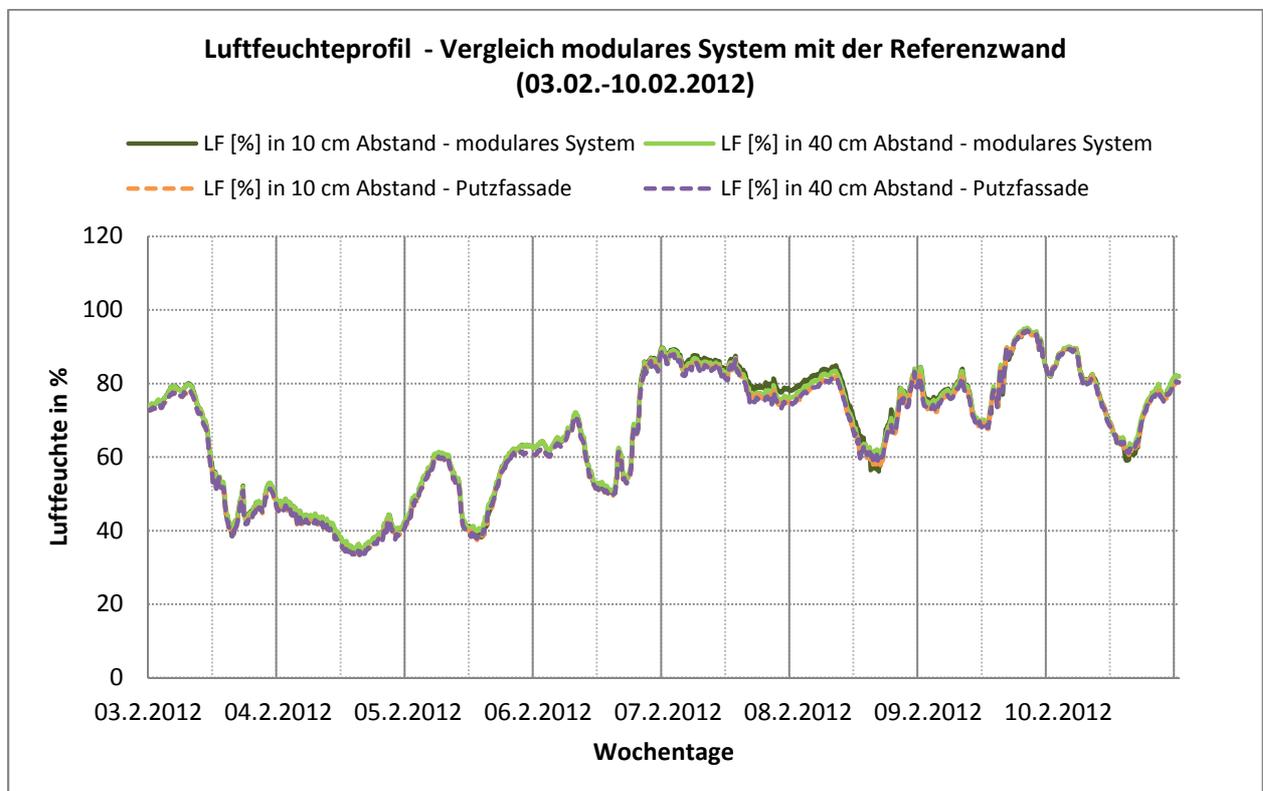


Abbildung 109: relative Luftfeuchte (LF) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

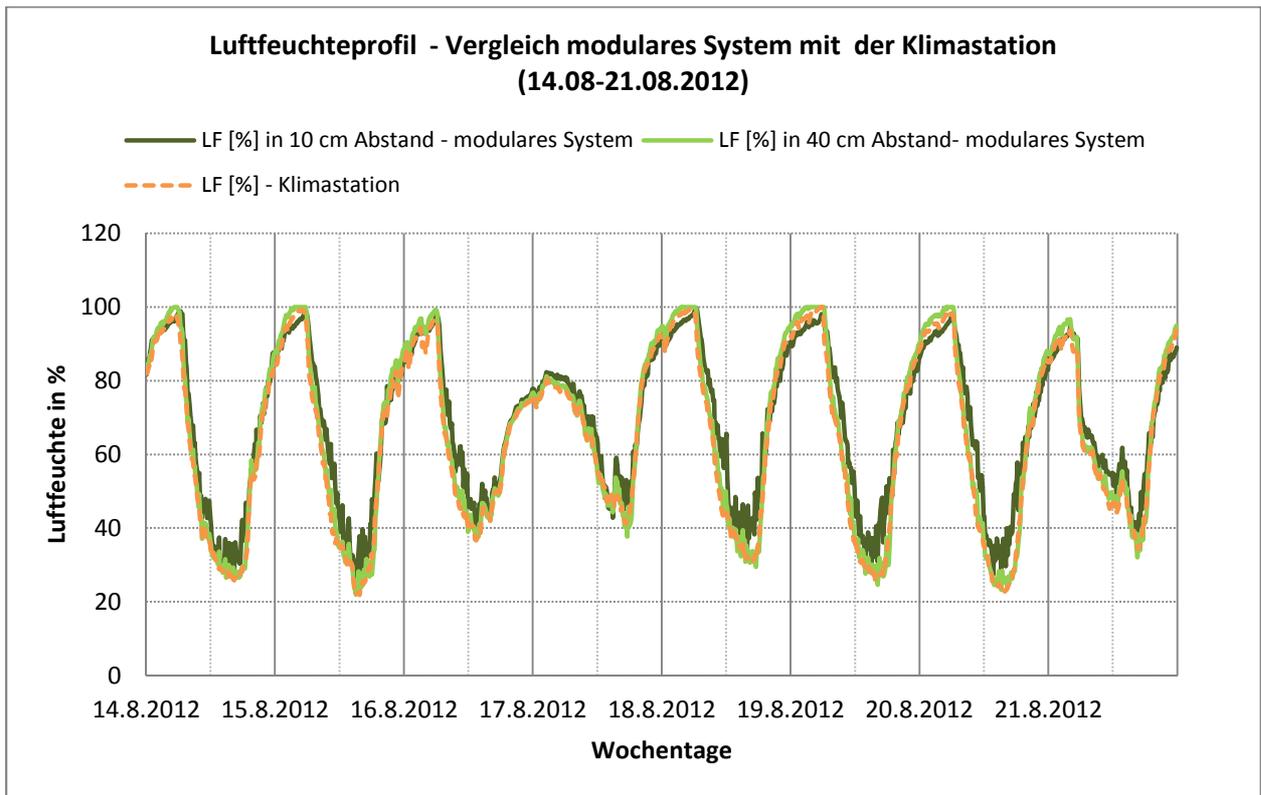


Abbildung 110: relative Luftfeuchte (LF) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

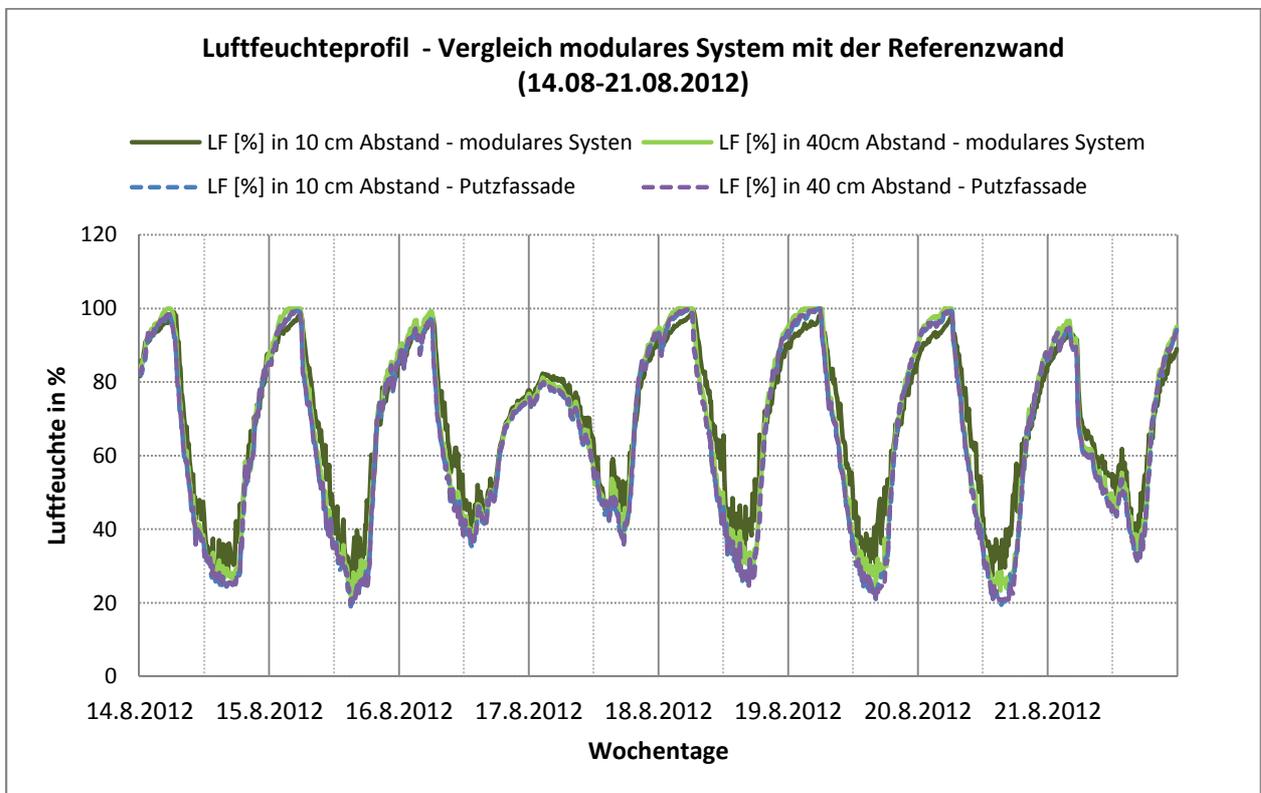


Abbildung 111: relative Luftfeuchte (LF) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

In der Aufnahmeperiode im Februar zeigt sich die relative Luftfeuchtekurve des modularen Begrünungssystems im Nah- und Fernbereich im Vergleich zu den Referenzflächen leicht erhöht. Die durchschnittliche relative Luftfeuchte beträgt in den acht aufgenommenen Februartagen (03.02. – 10.02.2012) im Nahbereich und in 40 cm Abstand der modularen Systemwand 67 %. An der Klimastation und vor der Putzfassade sind die Mittelwerte mit 66 % geringfügig niedriger.

Im August sind markante Unterschiede der relativen Luftfeuchte zwischen Tag und Nacht erkennbar. Tagsüber sind vor der Systemwand höhere Feuchtwerte registriert worden als vor der Referenzwand und der Klimastation. Vor dem modularen Begrünungssystem wurde eine um bis zu 24 % höhere Luftfeuchte als vor der nackten Fassade und eine um 22 % höhere Luftfeuchte als an der Klimastation ermittelt. Am 18.08. um beispielweise 15:00 wurde in unmittelbarer Nähe zur Systemwand (10 cm Abstand) eine relative Luftfeuchte von 46 % erfasst, an der Klimastation lediglich 37 %. Die Putzfassade weist zeitgleich im Nahbereich der Wand mit 34 % die geringsten Werte auf.

In der Nacht nähern sich die Luftfeuchtwerte der System- und Referenzwand als auch der Klimastation einander an.

## 6.6 Ergebnisse Wandtemperatur

### 6.6.1 Wandtemperatur – Vergleich des flächigen Systems mit der Referenzfläche

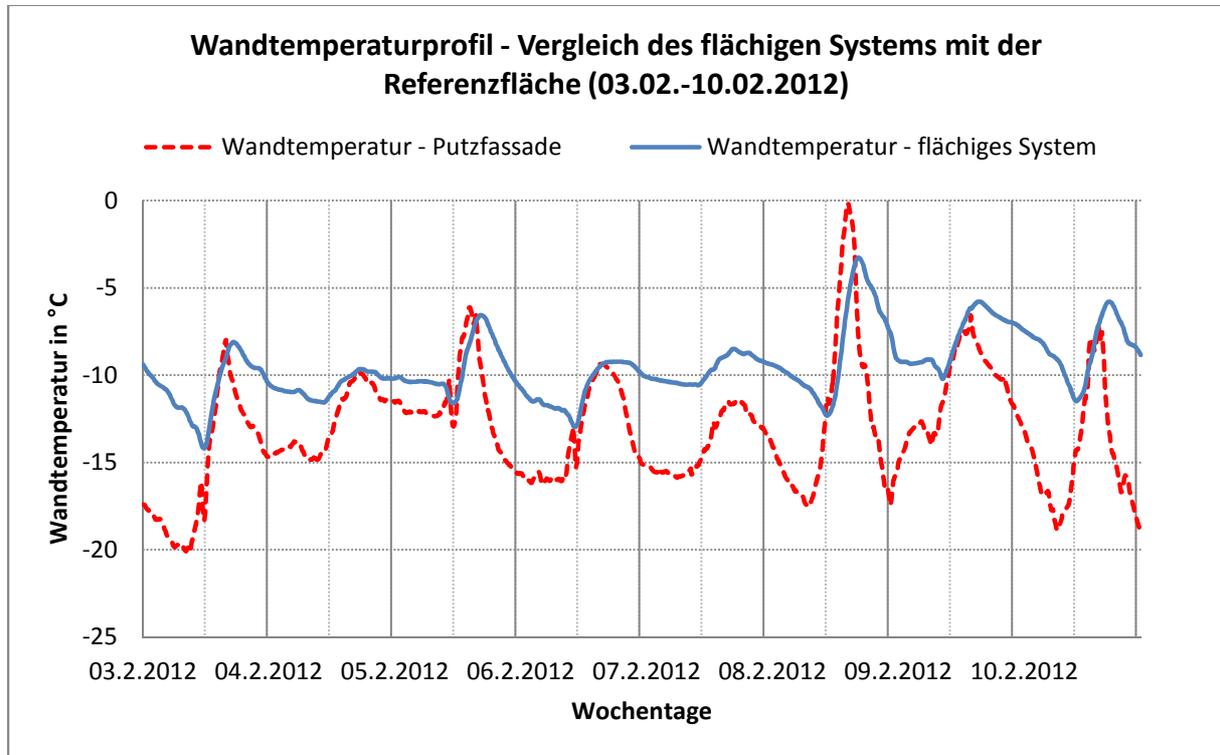


Abbildung 112: Wandtemperatur des flächigen Systems und der Putzfassade (03.02. – 10.02.2012), Versuchsgarten Wien Essling.

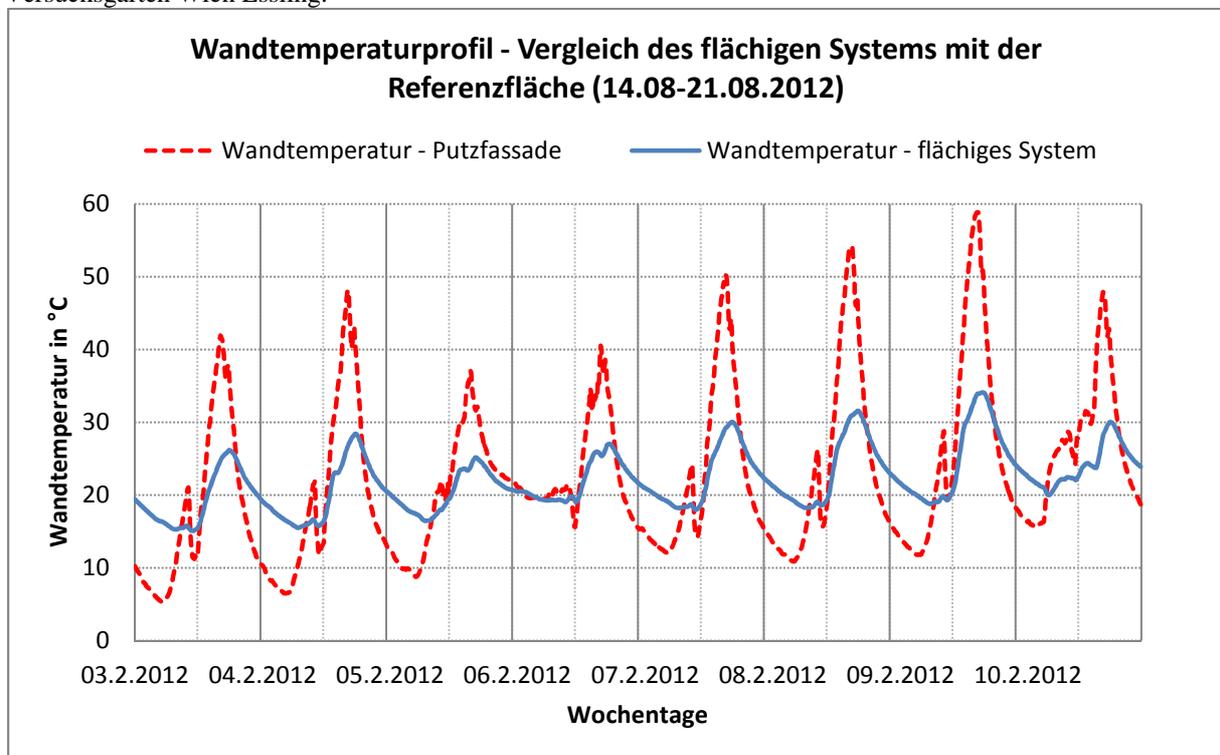


Abbildung 113: Wandtemperatur des flächigen Systems und der Putzfassade (14.08. – 21.08.2012), Versuchsgarten Wien Essling.

In Abbildung 112 und Abbildung 113 ist der Wandtemperaturverlauf am flächigen Begrünungssystem und der Referenzfläche vom 03.02. bis 10.02.2012 und 14.08. bis 21.08.2012 dargestellt. In den Aufnahmeperioden im Februar und August weist die Wandtemperatur des flächigen Systems im Vergleich zu der Referenzfläche gedämpfte Werte auf. Die Putzfassade erhitzt sich im August tagsüber mehr als das flächige Begrünungssystem und kühlt in der Nacht stärker aus. Die Wand hinter dem Begrünungssystem heizt sich unter tags um bis zu 25°C weniger auf als die nackte Fassade, in der Nacht kühlt sie um bis zu 11°C weniger aus. Am heißesten Tag der Aufnahmeserie, dem 20.08, liegt die Maximaltemperatur der Putzfassade bei 59°C, an der Wand hinter dem flächigen Begrünungssystem ist ein Höchstwert von 34°C gemessen worden.

Im Februar kühlt die Wand hinter dem Begrünungssystem weniger aus als die Referenzfläche. Die Differenz der Temperaturmittel zwischen Putzfassade und der Systemwand betragen in diesem Zeitabschnitt 3°C. Hinter der Systemwand kühlt die Oberfläche in dem kalten Zeitabschnitt um bis zu 10 °C weniger aus als die nackte Putzfassade.

## 6.6.2 Wandtemperatur – Vergleich des Pflanzwannensystems mit der Referenzfläche

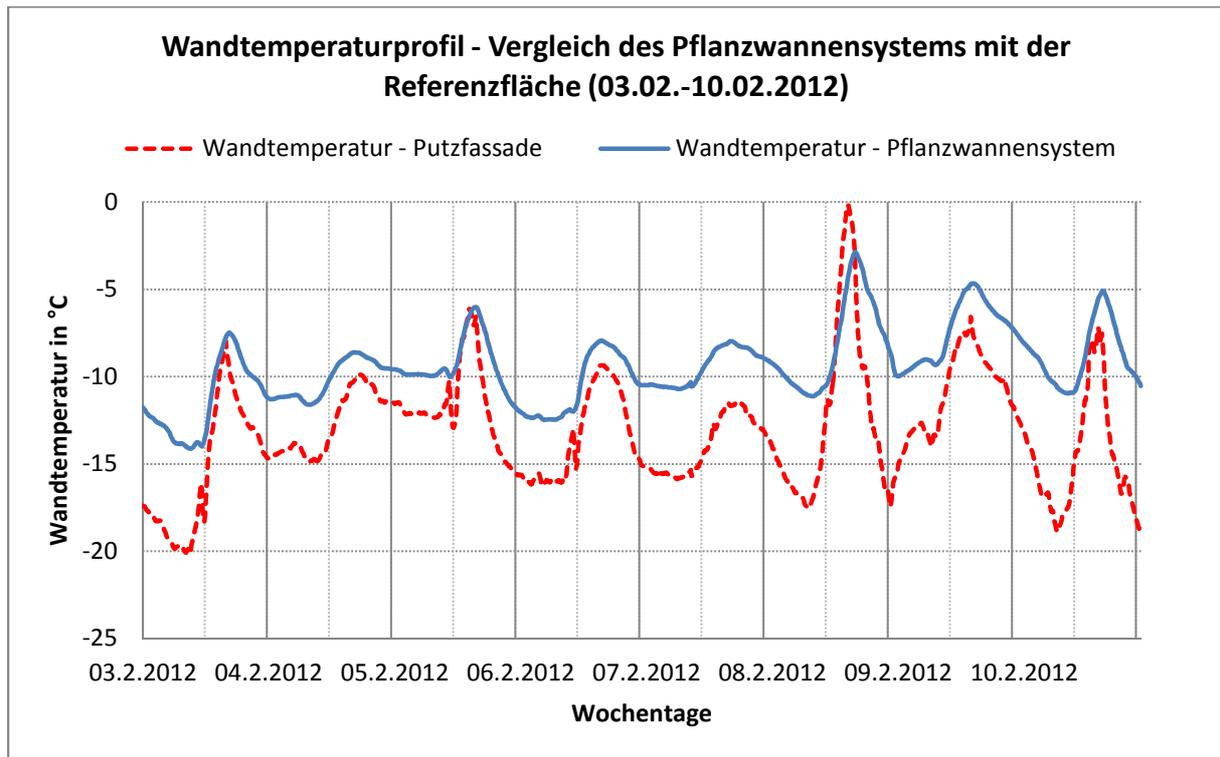


Abbildung 114: Wandtemperatur des Pflanzwannensystems und der Putzfassade (03.02. – 10.02.2012), Versuchsgarten Wien Essling.

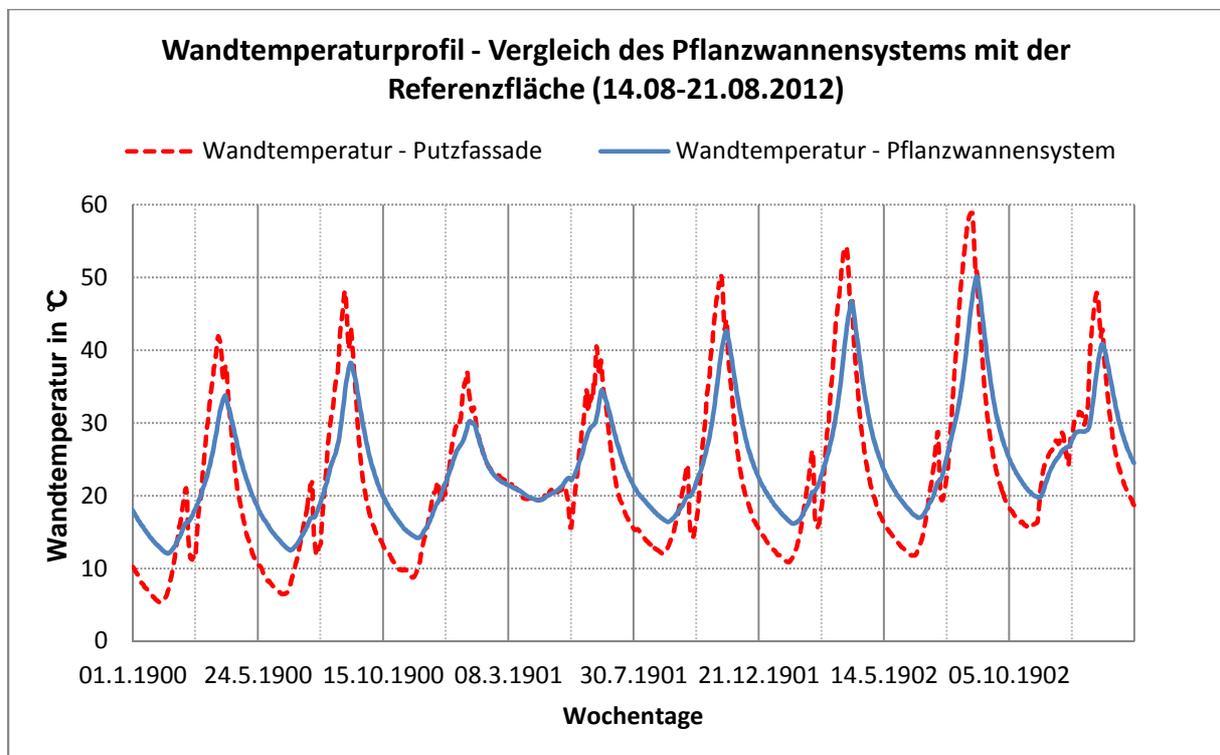


Abbildung 115: Wandtemperatur des Pflanzwannensystems und der Putzfassade (14.08. – 21.08.2012), Versuchsgarten Wien Essling.

Die Temperaturverläufe des Pflanzwannensystems in Abbildung 114 und Abbildung 115 zeigen im Vergleich zur Referenzwand abgeschwächte Spitzenwerte. Im August heizt sich die Wand hinter dem begrünten System um bis zu 16°C weniger auf als die Putzfassade, in der Nacht kühlt die begrünte Versuchswand um bis zu 8°C weniger stark aus als die Referenzwand.

In der kalten Periode im Februar ist ebenfalls eine dämpfende Wirkung des Begrünungssystems erkennbar. Die Temperaturen der Versuchswand hinter dem Begrünungssystem fallen in der Aufnahmeperiode bis maximal -14°C ab. Bei der Referenzwand sind vergleichsweise höhere maximale Minustemperaturen von bis zu -20°C registriert worden.

### 6.6.3 Wandtemperatur – Vergleich des modularen Systems mit der Referenzfläche

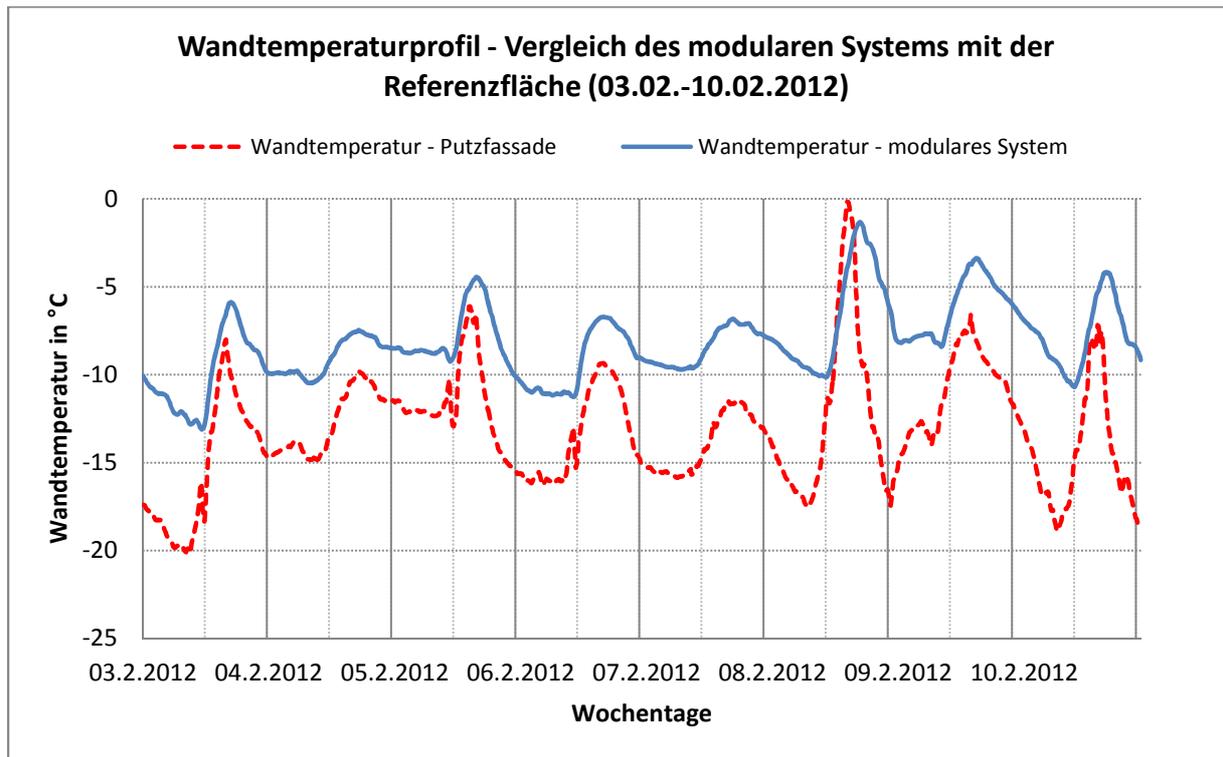


Abbildung 116: Wandtemperatur des modularen Systems und der Putzfassade (03.02. – 10.02.2012), Versuchsgarten Wien Essling.

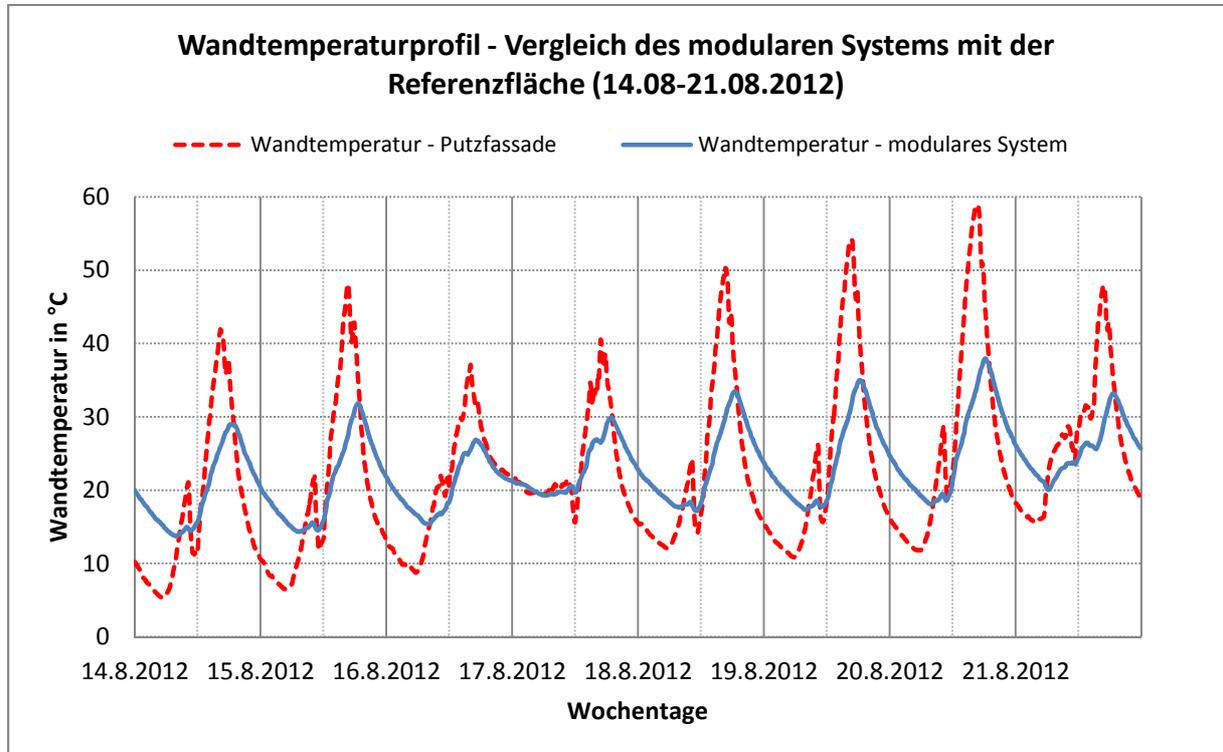


Abbildung 117: Wandtemperatur des modularen Systems und der Putzfassade (14.08. – 21.08.2012), Versuchsgarten Wien Essling.

In Abbildung 117 erkennt man bei dem modularen Begrünungssystem eine weitaus niedrigere Schwankungsbreite (14°C bis 38°C) der Temperaturkurve als bei der Referenzwand (5°C bis 59°C). Die Spitzenwerte sind über die gesamten Aufnahmezeit im August deutlich abgeschwächt.

Aufgrund der puffernden Wirkung des Begrünungssystems fallen die Temperaturen an der modularen Systemwand im kalten Aufnahmezeitraum im Februar milder aus als an der Referenzfassade. Die Wand hinter dem Begrünungssystem kühlt um bis zu 11°C weniger ab als die Putzfassade, somit lässt sich eine hohe Dämmleistung des Systems erkennen.

In den Augusttagen heizt sich die Wand hinter dem Begrünungssystem um bis zu 25°C weniger auf als die Putzfassade, in der Nacht kühlt sie bis zu 10°C weniger aus.

## 6.7 Ergebnisse Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit

In den folgenden Abbildungen wird pro Systemwand ein Bodentemperatur und Bodenfeuchteprofil für den oberen und unteren Bereich des Systems in der Periode vom 26.03. bis 07.10.2012 (Kalenderwoche 13 bis 40), als auch auszugsweise vom 14.08. bis 21.08.2012 und 03.02. bis 10.02.2012 dargestellt.

### 6.7.1 Bodentemperatur und Bodenfeuchte – flächiges Begrünungssystem

#### 6.7.1.1 Kalenderwochen 13-40

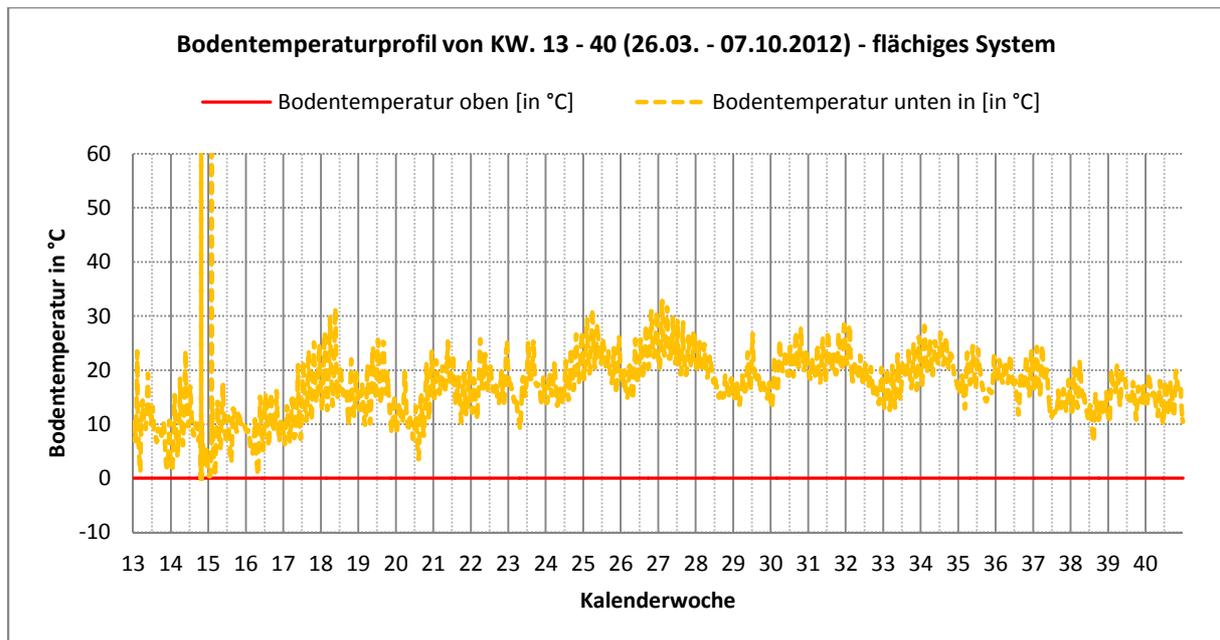


Abbildung 118: Bodentemperaturprofil im oberen und unteren Bereich des flächigen Systems vom 26.03. – 07.10.2012. Im oberen Bereich des Systems sind aufgrund eines defekten Sensors keine Daten erfasst worden. Im unteren Bereich steigt die Bodentemperatur bis maximal 33°C (37 KW.) an, Versuchsgarten Wien Essling.

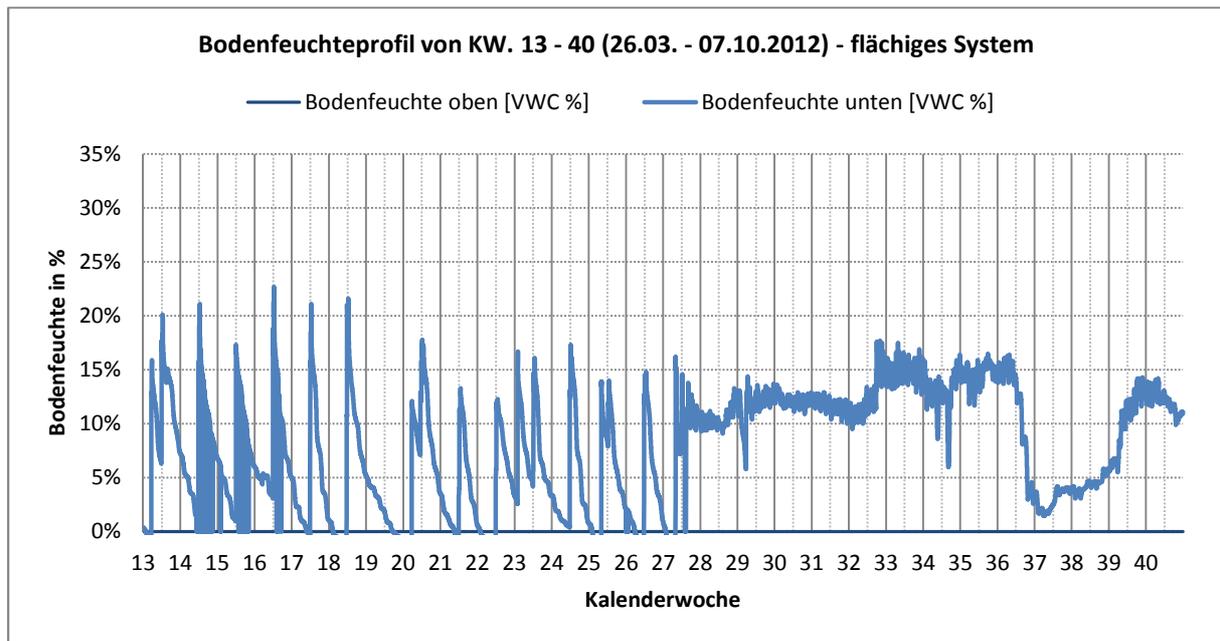


Abbildung 119: Bodenfeuchteprofil im oberen und unteren Bereich des flächigen Systems vom 26.03. – 07.10.2012. Im unteren Bereich schwankt die Bodenfeuchte von KW. 13 bis 27 von 0 bis 23 %. In den KW. 28 bis 35 liegen die Bodenfeuchtwerte vorwiegend über 10 %, Versuchsgarten Wien Essling.

Aufgrund eines defekten Bodentemperatur und Bodenfeuchtesensors im oberen Bereich der flächigen Versuchsfläche sind für diesen Standort über den gesamten Aufnahmezeitraum keine Daten bezüglich der genannten Parameter bekannt.

Die Werte der Bodentemperaturkurve für den unteren Teil der flächigen Systemwand bewegen sich von Kalenderwoche 13 bis 16 zwischen 0 und 23°C. In der 17. Kalenderwoche steigen die Bodentemperaturen bis in die 18. Kalenderwoche kontinuierlich an, mit einem Maximalwert von 32°C, fallen jedoch bis zur 20. Kalenderwoche bis auf ein Minimum von 4°C. Von der 21. bis zur 37. Kalenderwoche wurden stets Bodentemperaturen über 9°C gemessen, mit einem Maximum von 33°C in Kalenderwoche 27. In den KW 38 bis 40 konnten Bodentemperaturen zwischen 7 und 20°C erfasst werden.

Im Bodenfeuchteprofil für die flächige Systemwand lassen sich von der 13. bis in die 27. Kalenderwoche prägnante Anstiege der Bodenfeuchte im unteren Teil der Systemwand feststellen, wobei die Werte zwischen 0 und 23 % schwanken. Im Zeitraum von KW. 28 bis 35 sinken die Feuchtwerte mit einem Minimum von 6 % nicht so stark ab und verlaufen vorwiegend über 10 %.

Die Bodenfeuchtwerte liegen im unteren Bereich der des Begrünungssystems im gesamten Aufnahmezeitraum zwischen 0 % und 23 % mit einem durchschnittlichen Bodenfeuchtwert von 8 %. Ein maximaler Bodenfeuchtwert konnte für den unteren Bereich am 19.04.2012 (KW 16) mit 23 % Bodenfeuchte ermittelt werden.

### 6.7.1.2 ausgewählte Aufnahmezeitpunkte im Februar und August

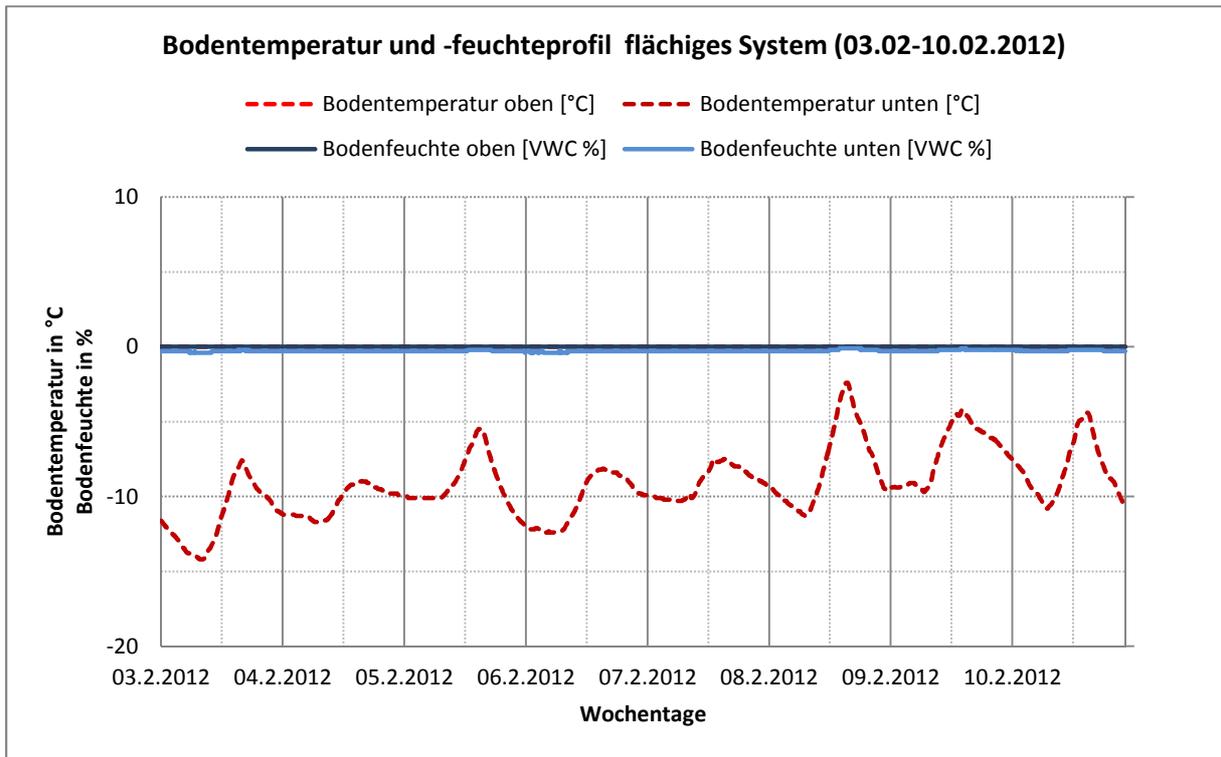


Abbildung 120: Bodentemperatur und Bodenfeuchte im oberen und unteren Bereich des flächigen Systems vom 03.02. – 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

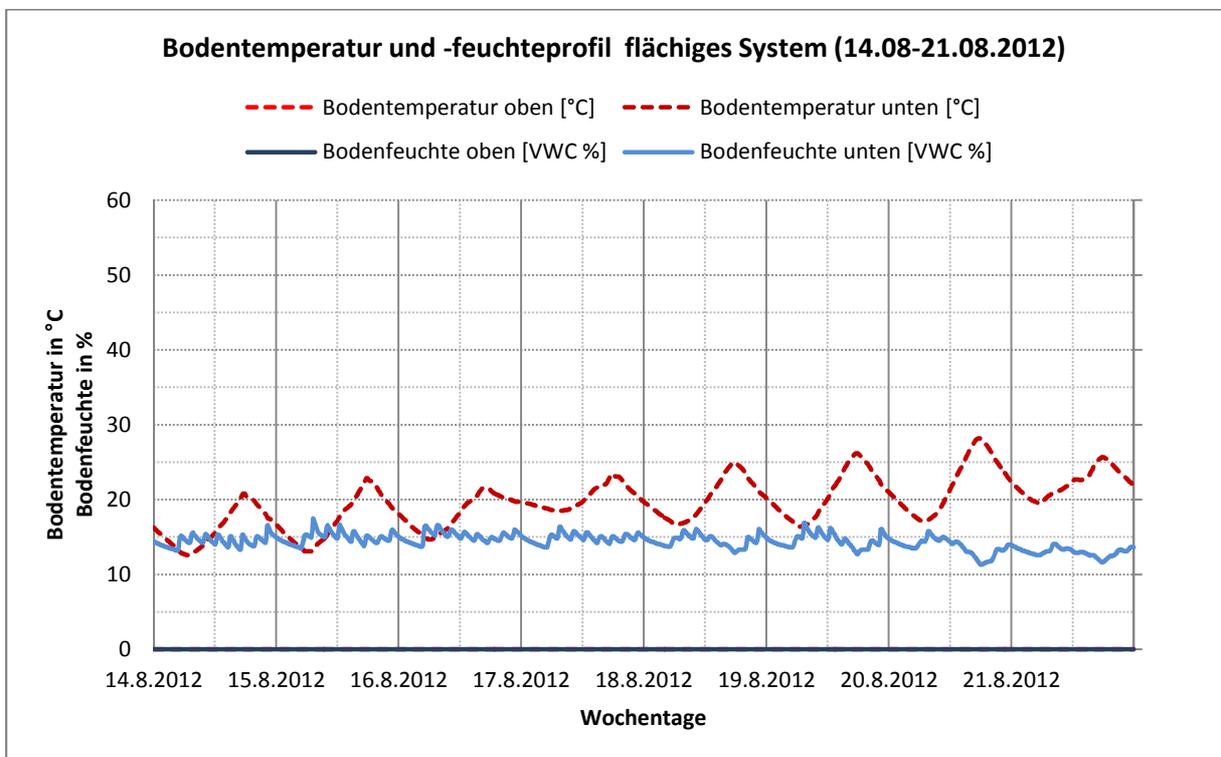


Abbildung 121: Bodentemperatur und Bodenfeuchte im oberen und unteren Bereich des flächigen Systems vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

Aufgrund eines defekten Bodentemperatur und Bodenfeuchtesensors im oberen Bereich des flächigen Begrünungssystems sind für diesen Standort über den gesamten Aufnahmezeitraum keine Daten bezüglich der genannten Parameter bekannt.

An den Bodentemperaturen in der Periode vom 03.02. bis 10.02.2012 als auch vom 14.08.-21.08.2012 lässt sich ein typischer Tages Nachtverlauf erkennen. Im kalten Zeitraum im Februar liegt die tiefste gemessene Temperatur im unteren Bereich des Systems bei  $-14^{\circ}\text{C}$  in der Nacht, tagsüber steigen die Temperaturen auf maximal  $-2^{\circ}\text{C}$  an. Die Bodenfeuchte beträgt aufgrund der Kälte in dieser Periode konstante 0 % mit minimalen Abweichungen.

In den acht Wochentagen im August bewegt sich der Wert der Bodentemperatur tagsüber zwischen  $21$  und  $28^{\circ}\text{C}$ , in der Nacht sinkt die Temperatur auf  $14$  bis  $19^{\circ}\text{C}$  ab. Im flächigen Begrünungssystem Bodenfeuchteprofil des unteren Bereiches sind die Bewässerungsgänge durch einen Anstieg der Werte erkennbar. In den dargestellten heißen Augusttagen weist die Mineralwolle einen Feuchtegehalt von  $10$  bis  $18$  % im unteren Bereich auf, wobei die Bodenfeuchte mit zunehmender Temperatur abnimmt. Die Bodenfeuchtekurve verläuft in den heißen Tagen gegen Ende des Aufnahmezeitraumes flacher, die Spitzenwerte der Bewässerungsgänge fallen geringer aus. Am 20. und 21.08 fallen die Feuchtwerte für den unteren Bereich auf unter  $16$  % ab.

## 6.7.2 Bodentemperatur und Bodenfeuchte – Pflanzwannensystem

### 6.7.2.1 Kalenderwoche 13-40

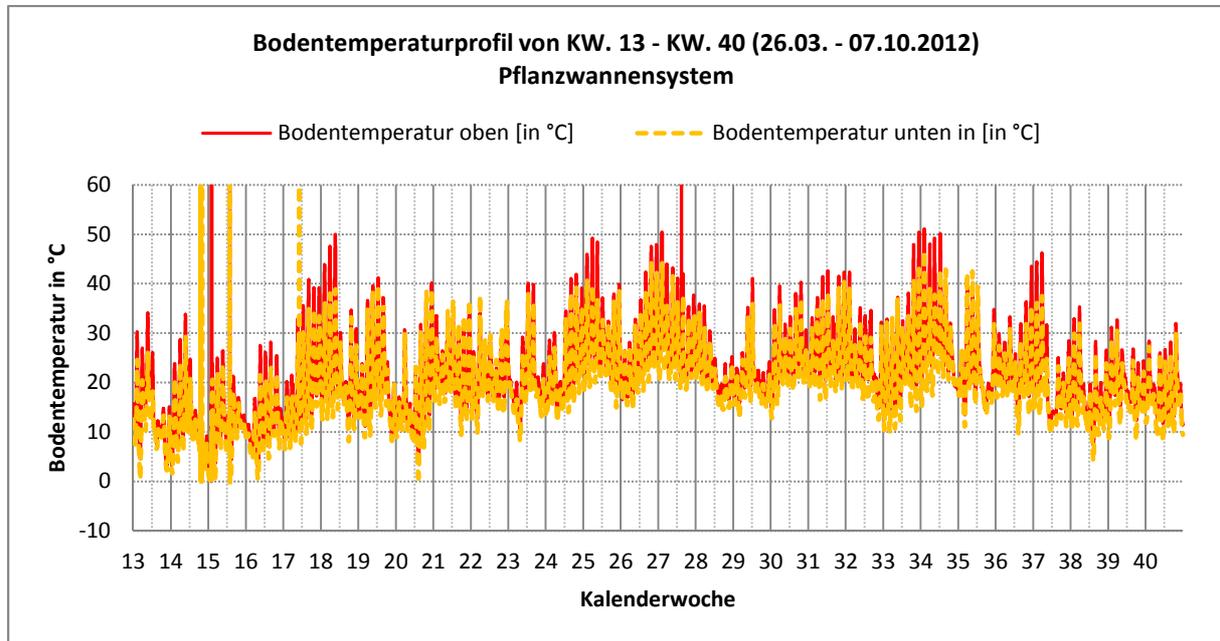


Abbildung 122: Bodentemperaturprofil im oberen und unteren Bereich des Pflanzwannensystems vom 26.03. – 07.10.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

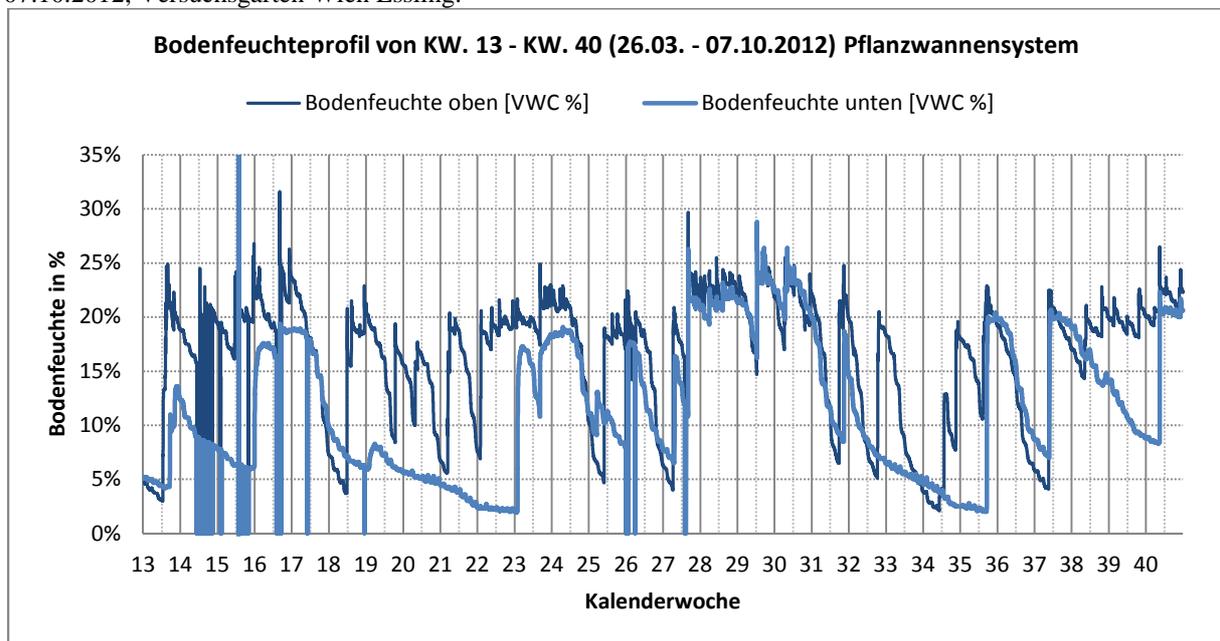


Abbildung 123: Bodenfeuchteprofil im oberen und unteren Bereich des Pflanzwannensystems vom 26.03. – 07.10.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

Die Bodentemperaturen im unteren Bereich der Systemwand sind über den Großteil des Aufnahmezeitraums niedriger als die im oberen Bereich. In der obersten Pflanzwanne sind Werte von 0°C bis maximal 51°C erfasst worden, im unteren Bereich sind in der aufgenommenen Periode zwischen 0°C und 46°C gemessen worden. Der höchste

Bodentemperaturwert wurde mit 51°C im oberen Bereich des Systems in KW 34 (20.08.2012) erfasst.

Maximale Unterschiede zwischen der oberen und unteren Bodentemperatur zeichnen sich in Kalenderwoche 18 und 25 ab, in der die gemessenen Bodentemperaturen der obersten Pflanzwanne um bis zu 14°C höher sind als in der Untersten.

Der Bodenfeuchteverlauf im oberen und unteren Bereich der Systemwand weist keine ausgeprägten Tagesschwankungen auf. Ein deutlicher Abfall der Feuchtekurven ist wie beispielweise in KW 17 und 18 über einen Zeitraum von einigen Tagen zu erkennen, wobei die Feuchtwertkurve im oberen Bereich durch Niederschlagsereignisse immer wieder sprunghaft ansteigt. Der untere Bereich weist zwischen KW 14 bis 25 stets niedrigere Feuchtwerte auf, von KW 28 bis 32 nähern sich die Bodenfeuchtwerte der oberen und unteren Pflanzwanne einander an.

Die Bodenfeuchtwerte liegen im oberen Bereich der Pflanzwannen im gesamten Aufnahmezeitraum zwischen 2 % und 32 % mit einem Durchschnitt von 16 %, im unteren Bereich zwischen 2 % und 29 % mit einem Durchschnitt von 12 %. Ein maximaler Bodenfeuchtwert konnte am 20.04.2012 (KW 16) mit 32 % Bodenfeuchte im oberen Bereich ermittelt werden, in der unteren Pflanzwanne ist ein Maximalwert von 29 % Bodenfeuchte am 19.07.2012 (KW 29) gemessen worden. In Kalenderwoche 13, 15, und 35 sind die höchsten Bodenfeuchteunterschiede zwischen dem oberen und unteren Bereich vorzufinden, wobei die oberste Pflanzwanne um bis zu 21 % höhere Bodenfeuchtwerte aufweist.

### 6.7.2.2 ausgewählte Aufnahmezeitpunkte im Februar und August

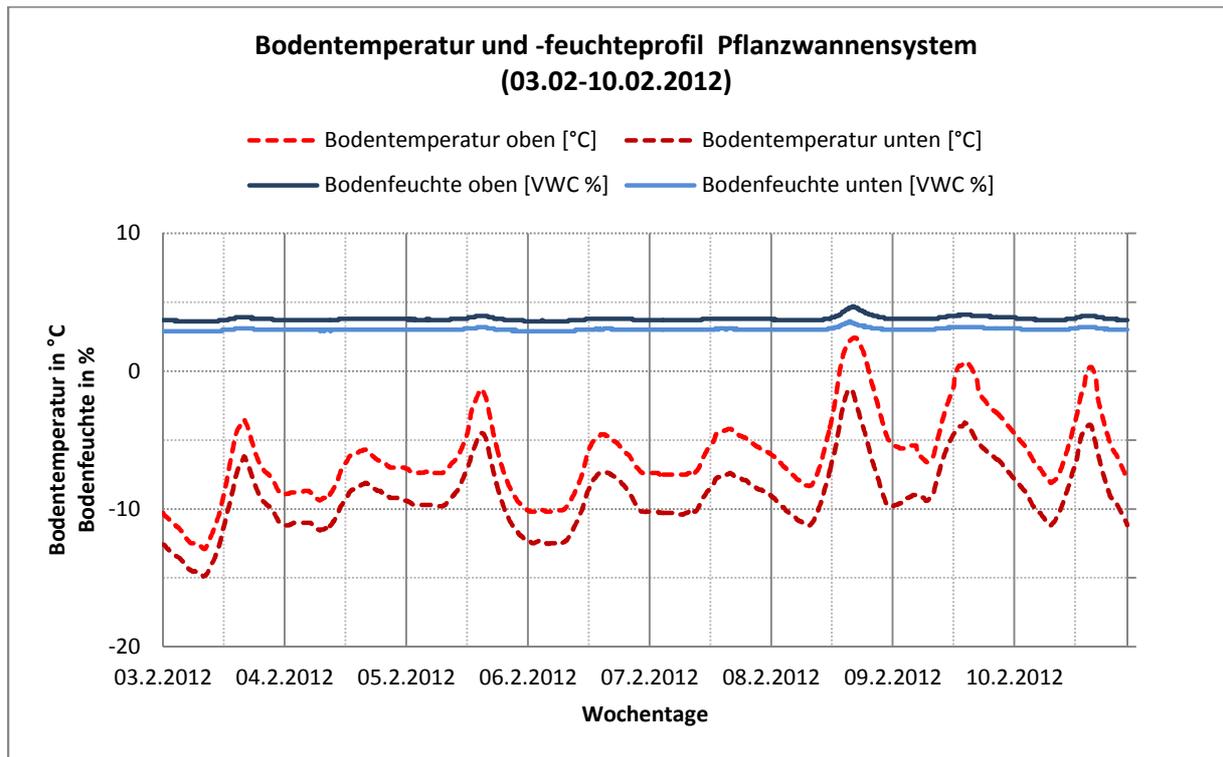


Abbildung 124: Bodentemperatur und Bodenfeuchte im oberen und unteren Bereich des Pflanzwannensystems vom 03.02. – 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

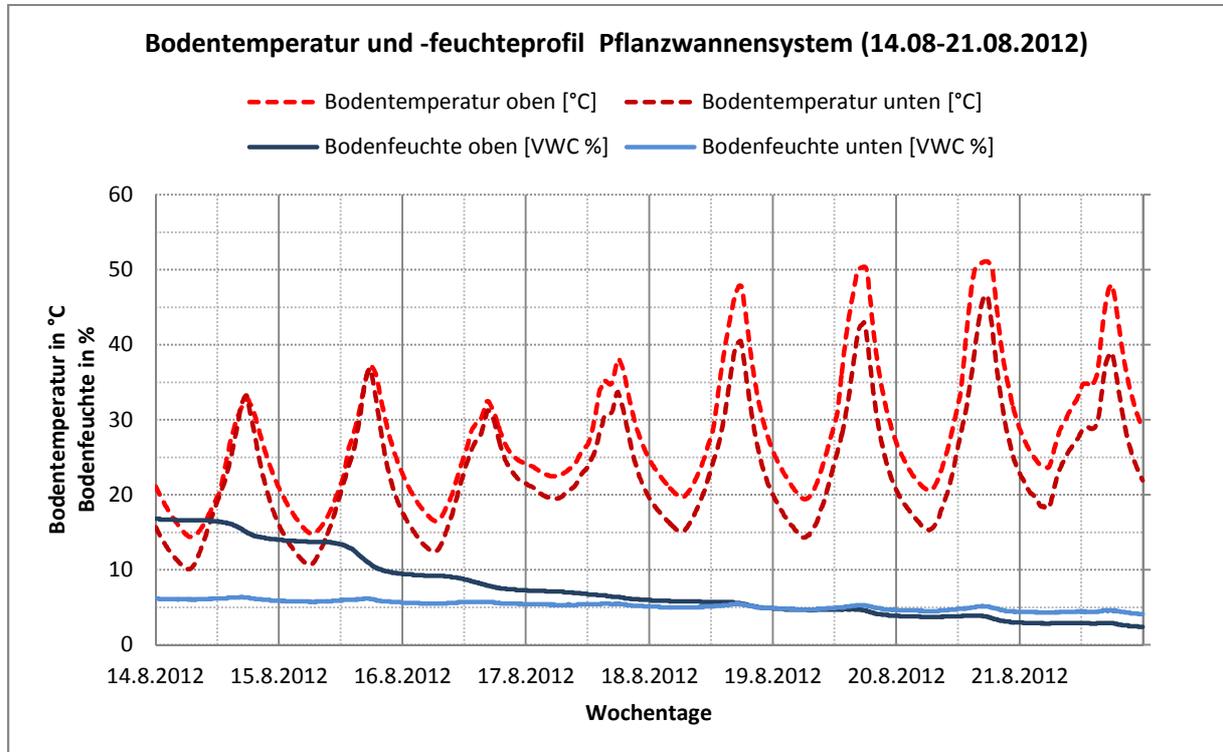


Abbildung 125: Bodentemperatur und Bodenfeuchte im oberen und unteren Bereich des Pflanzwannensystems vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

Beim Pflanzwannensystem sind im Bodentemperaturverlauf Tag - Nacht Schwankungen im Aufnahmezeitraum im Februar und August zu erkennen. Die Temperaturen fallen am Tag höher aus als in der Nacht, die Temperaturdifferenzen zwischen Tag und Nacht sind in den strahlungsreichen Augusttagen mit maximal 37°C deutlich höher als im Februar mit einem maximalen Unterschied von 15°C.

In der Periode vom 3.02. bis 10.02.2012 ist die Temperatur des Substrats in der unteren Messwanne durchwegs niedriger als im oberen Bereich mit einem Maximalunterschied von 6°C. Am 3.02.2012 sind in der Nacht die niedrigsten Temperaturen der Aufnahmeserie mit einem Wert von -13°C in der obersten Reihe und -15°C in der untersten Pflanzwanne registriert. Am 08.02.2012 kann ein Anstieg der Temperaturen untermittags auf einen Maximalwert von 2 und -1 °C festgestellt werden.

Die Bodenfeuchte in der obersten Pflanzwanne beträgt für die acht Februartage durchschnittlich 4 % während die Werte in der untersten Wanne mit einem Durchschnitt von 3 % minimal geringer sind.

In den heißesten Tagen der Augustwoche (18.08. – 20.08.) steigen die Bodentemperaturen in der obersten Pflanzwanne auf über 45°C, in der untersten Pflanzwanne betragen die Werte zeitgleich zwischen 40 und 46°C.

Am 14. August ist der Bodenfeuchtegehalt in der obersten Pflanzwanne mit durchschnittlich 16 % wesentlich höher als im Untersten mit 6 %. Im weiteren Verlauf bleibt die Bodenfeuchte in der untersten Reihe zwischen 4 und 6°C. Im oberen Bereich fällt die Bodenfeuchte aufgrund von niederschlagslosen, heißen Tagen bis 21.08 auf 2 %. Ab dem 18.08. steigt die Bodentemperatur der obersten Pflanzwanne auf über 40°C, die Bodenfeuchte ist ab diesem Zeitpunkt geringer als in der unteren Pflanzwanne.

## 6.7.3 Bodentemperatur und Bodenfeuchte – modulares Begrünungssystem

### 6.7.3.1 Kalenderwochen 13-40

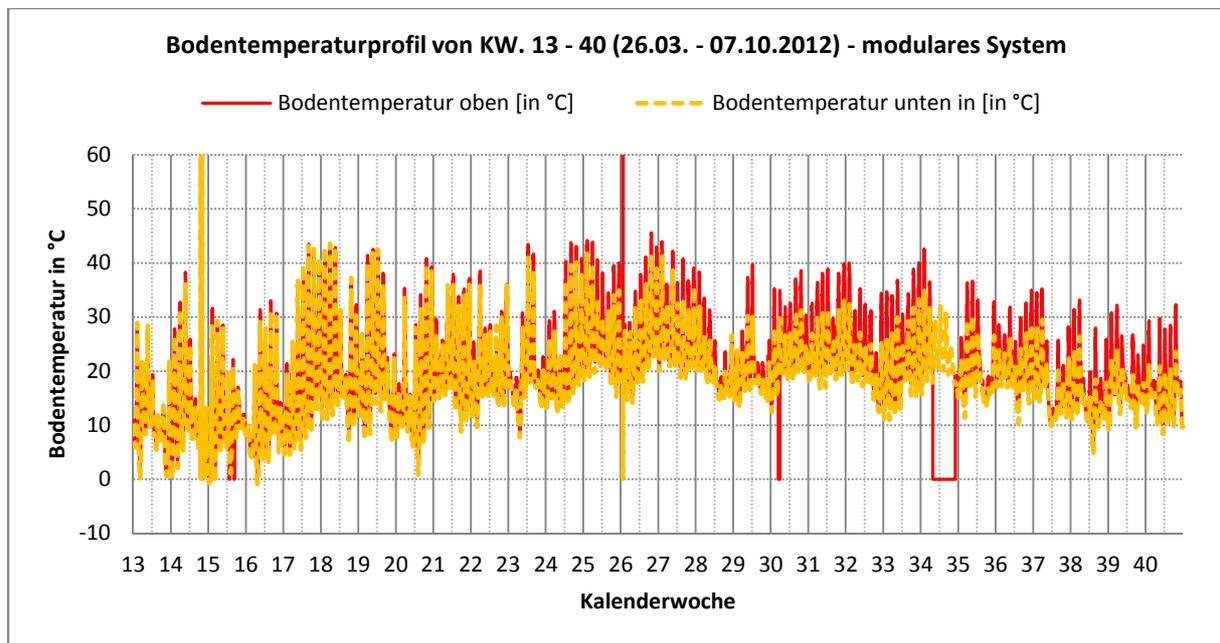


Abbildung 126: Bodentemperaturprofil im oberen und unteren Bereich des modularen Systems vom 26.03. – 07.10.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

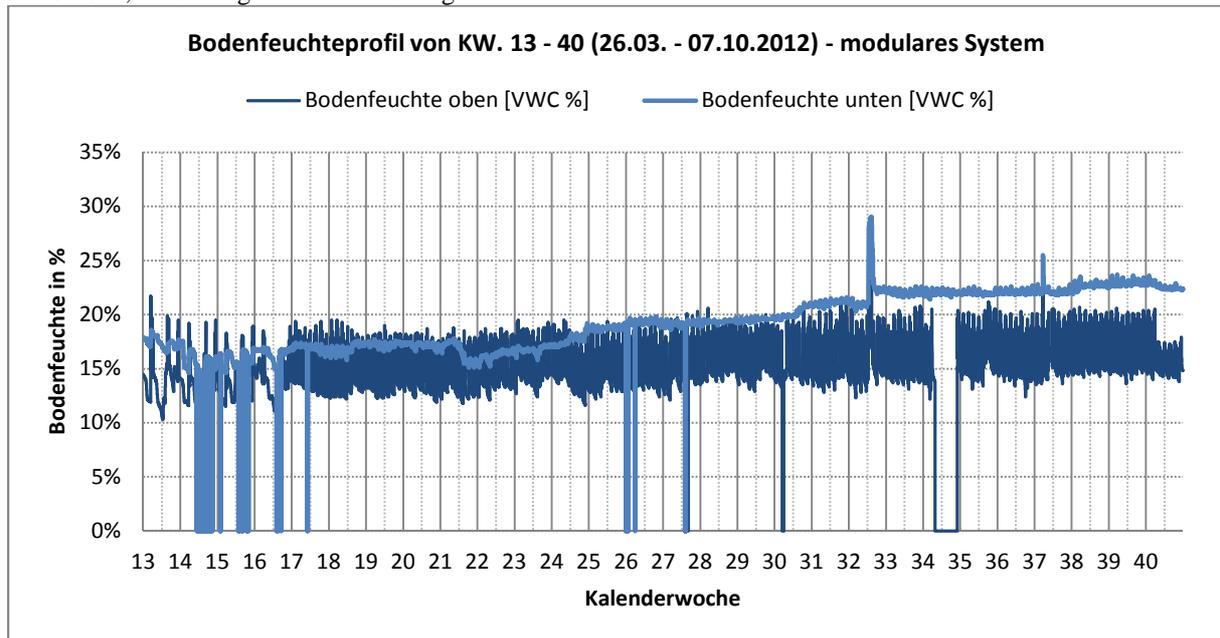


Abbildung 127: Bodenfeuchteprofil im oberen und unteren Bereich des modularen Systems vom 26.03. – 07.10.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

Das Bodentemperaturprofil des oberen und unteren Sektors des modularen Systems weist bis in die 24. KW einen ähnlichen Verlauf auf. Ab der 25. KW wurden im oberen Bereich stets höhere Werte gemessen als im unteren mit einem Maximum von 46°C in der 26. KW.

Im Bodenfeuchteprofil des unteren Sektors lassen sich große Schwankungen im Tagesverlauf feststellen, im Gegensatz dazu weist der Verlauf der Bodenfeuchte im unteren Teil nur

geringen Abweichungen im Tagesverlauf auf. Im Aufnahmezeitraum wurden im unteren Bereich des Systems von KW. 13 bis 30 Bodenfeuchtwerte zwischen 15 und 20 % gemessen, ab der 31. KW. steigt die Bodenfeuchte im unteren Bereich auf über 20 % an. Für den oberen Bereich sind im Zeitraum von 17. bis 40. KW. Werte von 12 bis 21 % gemessen. Die Bodenfeuchtwerte liegen im oberen Bereich der Systemwand im gesamten Aufnahmezeitraum zwischen 5 % und 23 % mit einem Durchschnitt von 14 %, im unteren Bereich zwischen 5 % und 29 % mit einem durchschnittlichen Bodenfeuchtwert von 18 %. Ein Maximalwert konnte am 10.08.2012 (KW 32) mit 23 % Bodenfeuchte im oberen Bereich ermittelt werden, im unteren Bereich des Begrünungssystems ist ein Maximalwert von 29 % Bodenfeuchte ebenfalls am 10.08.2012 (KW 32) ersichtlich.

### 6.7.3.2 ausgewählte Aufnahmezeitpunkte im Februar und August

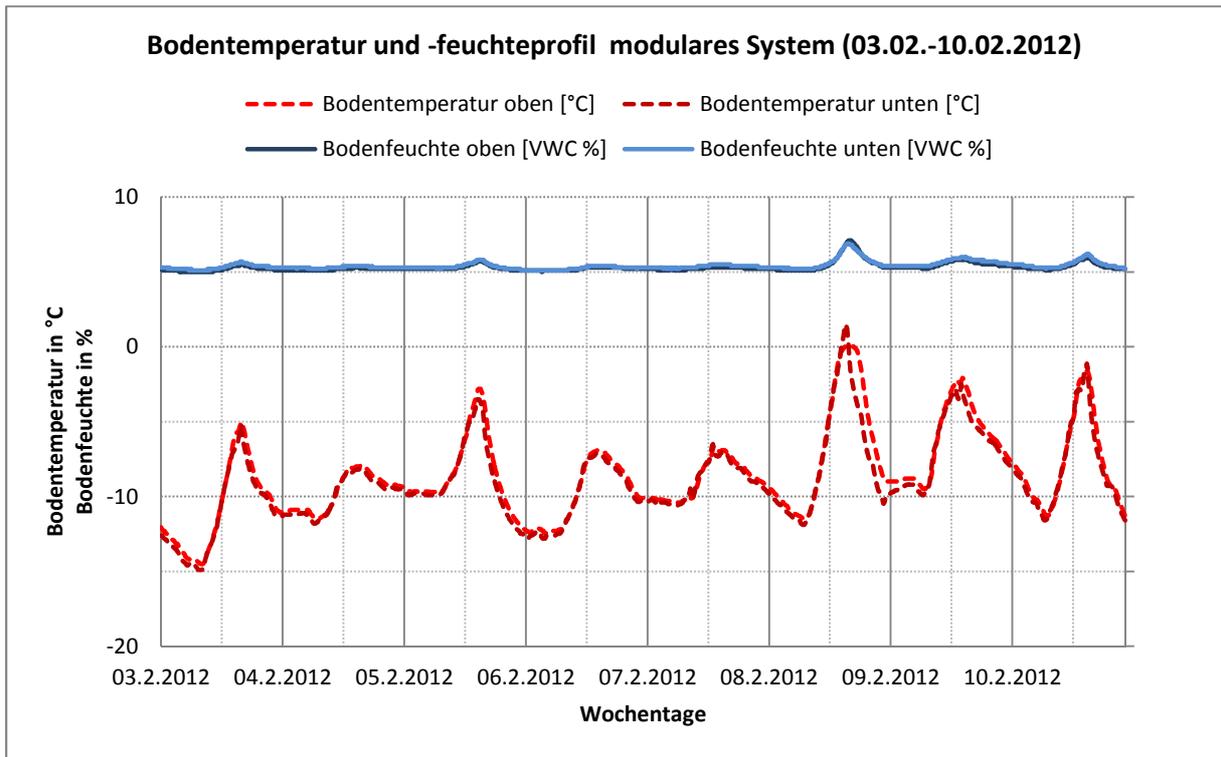


Abbildung 128: Bodentemperatur und Bodenfeuchte im oberen und unteren Bereich des modularen Systems vom 03.02. – 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

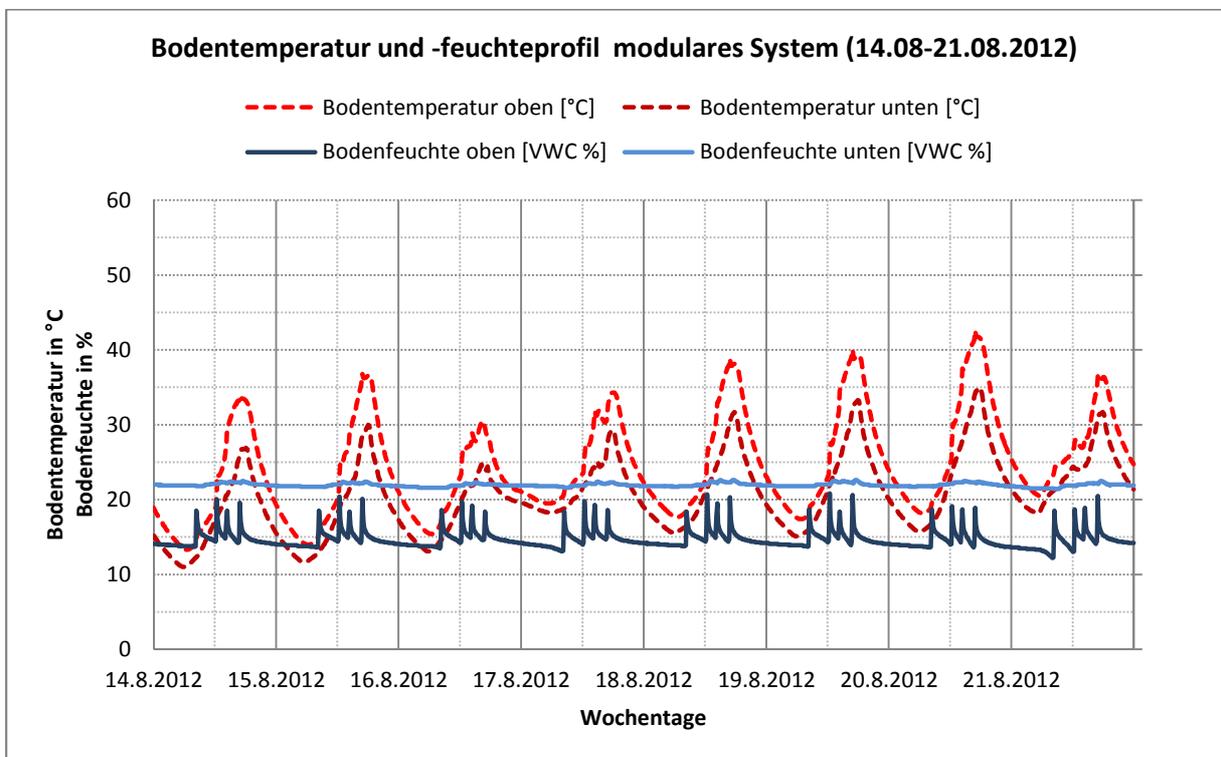


Abbildung 129: Bodentemperatur und Bodenfeuchte im oberen und unteren Bereich des modularen Systems vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.

Das modulare Begrünungssystem weist im Bodentemperaturprofil ebenfalls einen Tages-Nacht Rhythmus auf. Die Schwankungen fallen in der Periode im August extremer als im Februar aus mit einem maximalen Temperaturunterschied im oberen Bereich des Systems von 25°C. In der Aufnahmezeit im Februar liegt die maximale Bodentemperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht bei 15°C.

Die Bodentemperaturwerte des oberen und unteren Bereiches des modularen Systems weisen im Aufnahmezeitraum von 2.03. bis 10.03.2012 einen fast identen Verlauf auf. Am 3.02.2012 ist mit -15°C die tiefste Temperatur dieser Aufnahmeserie im oberen und unteren Sektor gemessen worden. Am 8.02. konnte im oberen Bereich mit 2°C der höchste Wert der Datenreihe in den acht Tagen festgestellt werden. Die Bodenfeuchte liegt in den Februartagen zwischen 5 bis 7 %.

In der warmen Periode vom 14.8. bis 21.8.2012 sind die Bodentemperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht sehr ausgeprägt. Die Temperaturkurven zwischen dem oberen und unteren Bereich divergieren an den Tageshöchstwerten am meisten auseinander, wobei im unteren Bereich stets kühlere Temperaturen aufgenommen wurden. Am 20.08 sind beispielweise um 14:00 im oberen Bereich 34°C, und im unteren 27°C gemessen worden. In der Nacht nähern sich die Kurven wieder an. Der höchste Bodentemperaturwert wurde mit 42,6 °C am 20.08.2012 im oberen Bereich des Systems registriert.

Im Bodenfeuchteprofil lassen sich die täglichen Bewässerungsgänge durch einen deutlichen spitzartigen Anstieg der Bodenfeuchtekurve erkennen. Die Bodenfeuchte liegt im oberen Teil des Substratkörpers im Durchschnitt bei 15 %, im unteren Bereich bei 22 %. Im oberen Bereich zeigen sich in den Augusttagen große Bodenfeuchteschwankungen mit Werten zwischen 12 und 21 %. Im unteren Bereich ist die Spanne zwischen Höchst und Tiefstwerten der Bodenfeuchte (21 bis 23 %) deutlich geringer.

## **6.8 Zusammenfassung der mikroklimatischen Ergebnisse**

### **6.8.1 mikroklimatische Ergebnisse am flächigen Begrünungssystem**

Am flächigen Begrünungssystem konnten in der warmen Aufnahmeperiode im August (14.08. – 21.08.2012) durchwegs verbessernde Effekte auf die Lufttemperatur und relative Luftfeuchte registriert werden.

Am heißesten Augusttag, dem 20.08., wurde tagsüber im Nahbereich der Systemwand aufgrund der kühlenden Wirkung der Bepflanzung eine um 5°C geringere Lufttemperatur als vor der Putzfassade gemessen. In 40 cm Abstand konnte in diesem Zeitabschnitt eine um 1°C niedrigere Lufttemperatur festgestellt werden. Nachts sind hingegen aufgrund der fehlenden Sonneneinstrahlung keine markanten Lufttemperaturunterschiede ersichtlich. Auch auf die relative Luftfeuchte wirken sich die Pflanzen in der Systemwand positiv aus. In den aufgenommenen Augusttagen konnten für den Nahbereich der begrünten Wand eine durchschnittlich 7 % höhere Luftfeuchte ermittelt werden als vor der Putzfassade. Untertags konnten am 20.08. fast doppelt so hohe Feuchtwerte vor der Systemwand registriert werden. Im Vergleich zur Klimastation sind im Nahbereich der Systemwand um bis zu 5°C geringere Lufttemperaturwerte und um bis zu 28 % höhere Luftfeuchtwerte an strahlungsreichen Augusttagen gemessen worden. In der kalten Jahreszeit im Februar weisen die begrünte und die Referenzwand ähnliche Lufttemperaturen und relative Luftfeuchtwerte auf.

Die Messungen der Wandtemperatur zeigen im Sommer im Vergleich zu der Putzfassade geringere Spitzenwerte hinter der Systemwand und lassen auf eine Dämmwirkung der begrünten Wand schließen. Die Wand heizt sich tagsüber hinter dem flächigen System weniger auf und kühlt nachts nicht so stark ab. Die Spitzenwerte weisen am Tag bis zu 25 °C Temperaturdifferenzen auf.

Im Februar kühlt die Wand hinter dem flächigen System bei extrem kalten Temperaturen nicht so stark aus wie die Putzfassade. Die Dämmwirkung der Systemwand wird im Vergleich zur Putzfassade ersichtlich, die eine bis zu 5°C kältere Oberfläche aufweist.

Die Bodenfeuchte der Mineralwolle ist trotz mehrfacher Bewässerungsgängen und der erhöhten Wasserzufuhr im Vergleich zum mineralischen Substrat des modularen Systems deutlich niedriger.

## **6.8.2 mikroklimatische Ergebnisse am Pflanzwannensystem**

Im August lassen sich aufgrund der extensiven Bepflanzung ein geringerer Einfluss des Pflanzwannensystems auf die relative Luftfeuchte nachweisen als die intensiv begrünte flächige und modulare Systemwand. Im Vergleich zur Referenzfläche verlaufen die Temperaturkurven in den Augusttagen ähnlich. Es konnte im Vergleich zur Putzfassade lediglich in den Mittagsstunden der 3 heißesten Aufnahmetage (über 30°C) eine um bis zu 5°C geringere Lufttemperatur im Nahbereich des Systems registriert werden. In 40 cm Abstand ist kein Einfluss der Begrünung nachweisbar. Die Luftfeuchtwerte der Referenzfläche und der begrünten Wand weisen sowohl im August als auch im Februar keine signifikanten Unterschiede auf.

An der Wand hinter dem Begrünungssystem sind im Vergleich zu der Referenz-Putzfassade in den Aufnahmezeiträumen Februar und August gedämpfte Spitztemperaturwerte zu erkennen. In den kalten Februartagen kühlt die Oberfläche hinter dem Regalsystem um bis zu 6°C weniger aus als die nackte Fassade. Im August sind tagsüber maximale Temperaturunterschiede an der Wand von bis zu 9°C, in der Nacht von bis zu 7°C festgestellt worden.

Die Bodenfeuchte in den Pflanzwannen ist bei diesem autarken Begrünungssystem von der Niederschlagsmenge abhängig, da es keine automatische Bewässerung gibt. Am Anfang der Aufnahmeserie im August ist die Bodenfeuchte im obersten Pflanztrog über 15 %, in der untersten Wanne wurden Werte knapp über 5 % gemessen. In den darauffolgenden niederschlagslosen heißen Augusttagen sinkt die Bodenfeuchte der oberen Pflanzwanne mit steigender Bodentemperatur unter 5 %, während die Werte der Bodenfeuchte im unteren Bereich konstant über 5 % betragen.

## **6.8.3 mikroklimatische Ergebnisse am modularen Begrünungssystem**

Die Lufttemperatur weist vor der modularen Systemwand über den gesamten Aufnahmezeitraum gedämpfte Werte auf. In der kalten Jahreszeit im Februar kühlt die Lufttemperatur tagsüber vor der modularen Systemwand weniger aus als vor der Referenzfläche. Im Nahbereich sind maximale Unterschiede von 2°C registriert worden. In der Nacht nähern sich die Temperaturwerte einander an.

In den heißen Augusttagen erwärmt sich die Luft im Nahbereich der begrünten Systemwand unter Tags um bis zu 4°C weniger als vor der Putzfassade. Nachts sinken die Lufttemperaturen vor der Putzfassade stärker ab als vor der modularen Systemwand. Die maximale Temperaturdifferenz in den Nachtstunden beträgt 1°C.

Die relative Luftfeuchte ist vor der Systemwand in den acht Februartagen um durchschnittlich 1 % erhöht. In den warmen Augusttagen konnten tagsüber im Nahbereich des Begrünungssystems um bis zu 24 % höhere Luftfeuchtwerte gemessen werden als vor der Putzfassade. Die Lufttemperatur ist an den strahlungsreichen Augusttagen unmittelbar vor der begrünten Systemwand in den Mittags und Nachmittagsstunden teilweise erhöht, vormittags ist die Luft vor der Systemwand jedoch um bis zu 5°C kühler. Die Messung der relativen Luftfeuchte zeigt tagsüber, 10 cm vor der begrünten Wand um bis zu 22 % höhere Werte als an der Klimastation.

Die Wandtemperatur hinter dem Begrünungssystem zeigt ebenfalls geringere Spitzenwerte gegenüber der Referenzfläche an und lässt auf eine dämmende Wirkung der Systemwand schließen. Im Februar kühlt die Wand hinter dem modularen Begrünungssystem um durchschnittlich 5°C weniger aus als die nackte Fassade.

In der heißen Aufnahmeperiode im August ist die Wand hinter dem System untertags um bis zu 25°C kühler als die Putzfassade. In der Nacht kühlt die Wand hinter dem Begrünungsmodul bis zu 10°C weniger aus.

Die Bodenfeuchte zeigt im unteren Systembereich mit über 20 % einen hohen Wert des Substrats an. Im oberen Sektor sind die Standortbedingungen für die Pflanzen trockener, die Bodenfeuchte sinkt in den aufgenommenen Augusttagen jedoch nicht unter 10 % und weist auf ein gutes Wasserspeichervermögen des Materials hin.

## **7 Diskussion und Zusammenfassung der gesamten Ergebnisse**

Die mikroklimatischen Untersuchungsergebnisse der einzelnen Begrünungssysteme werden nachfolgend betrachtet und diskutiert. Die Lufttemperatur-, die relative Luftfeuchte- und die Wandtemperaturwerte der Begrünungssysteme werden mit den Werten der Referenzfläche und der Klimastation verglichen um die mikroklimatische Wirkung der Systeme zu quantifizieren. Für die Beschreibung der Gesamtvegetationsentwicklung wird der Gesamtdeckungsgrad (GDG) herangezogen. Daten über die Bodentemperatur und Bodenfeuchte im oberen und unteren Bereich der Systeme geben zusätzlich Aufschluss über die vertikale Verteilung des Gießwassers in den Vegetationstragschichten der Systeme.

Die Exposition der freistehenden Systemwände und die daraus resultierenden Windkräfte und Sonneneinstrahlung schaffen für die Pflanzen in den Systemen extreme Standortbedingungen. Daneben übt die Bewässerung der vertikalen Systemwände einen maßgebenden Einfluss auf die Vegetationsentwicklung aus. Am flächigen und modularen Begrünungssystem werden die Pflanzen durch eine externe Bewässerung versorgt, die vorwiegend sukkulenten Pflanzen des Pflanzwannensystems werden hingegen nur durch den Niederschlag mit Wasser gespeist. Die Bodenfeuchte wird von den Bewässerungsgängen beeinflusst und gibt Aufschluss wieviel Wasser in der Vegetationsschicht gespeichert wird und somit den Pflanzen zur Verfügung steht.

### **7.1 Bodentemperatur und Bodenfeuchte**

In den intensiv begrünten Systemwänden nimmt die Bodenfeuchte der Vegetationstragschicht durch die vertikale Anordnung von oben nach unten ab, da das eingeleitete Wasser aufgrund der Gravitationskraft im Substratkörper von oben nach unten sickert. Die oberen Bereiche dieser Systeme sind dadurch trockener als die darunterliegenden Abschnitte und weisen aufgrund des Trocknungsprozesses zwischen den Bewässerungsgängen eine höhere Schwankungsbreite der Bodenfeuchtwerte auf. Die unteren Bereiche erweisen sich durch das Ansammeln des Gießwassers als durchgehend feucht. Bei mehrmaligen Bewässerungsgängen pro Tag trocknen die unteren Bereiche der Vegetationstragschicht niemals komplett aus. Diese Eigenschaft spiegelt sich auch in den Werten der Bodentemperaturen der Systeme wieder. An den strahlungsreichen Augusttagen wurden stets höhere Bodentemperaturen im oberen Bereich der Systemwände gemessen als im unteren Bereich.

Am modularen Begrünungssystem sind in der heißen Aufnahmeperiode im August (14.08.-21.08.2012) im unteren Bereich Bodenfeuchtwerte von 21 bis 23 % erkennbar. Im oberen Bereich ist die Schwankungsbreite mit Werten von 12 bis 21 % wesentlich höher.

Am flächigen Begrünungssystem sind im Zeitraum vom 14.08. bis 21.08.2012 im unteren Bereich des Systems 10 bis 18% erfasst. Für den oberen Bereich fehlen die Daten über den gesamten Zeitabschnitt aufgrund eines defekten Sensors. Durch den unterdurchschnittlichen Deckungsgrad im obersten Transekt und die verkümmerten Wuchsformen der in der 1. Reihe gesetzten Arten (*Bergenia cordifolia*, *Geranium x cantabrigiense*, *Heuchera micrantha*) kann jedoch hergeleitet werden, dass die Standortverhältnisse im oberen Randbereich trockener als in den darunterliegenden Bereichen des Systems sind.

Die niedrigeren Bodenfeuchtwerte des flächigen Systems weisen im Vergleich mit der modularen Begrünungsvariante auf ein niedrigeres Wasserspeichervermögen der hydroponischen Mineral-Steinwolle hin. Laut KÖHLER (2012) können hydroponische Materialien kurzfristig das bis zu Zehnfache ihres Eigengewichts an Wasser speichern. Ein Großteil des zugeführten Wassers fließt jedoch unmittelbar wieder ab.

Am Pflanzwannensystem ist die Bodenfeuchte in den Pflanzwannen von der Niederschlagsmenge abhängig. Die Bodenfeuchtwerte in der obersten Pflanzwanne sind aufgrund der Einleitung des Niederschlagswassers über den Großteil des Aufnahmezeitraums höher als in der untersten Pflanzwanne. Die Bodenfeuchtwerte liegen im oberen Bereich der Pflanzwannen im gesamten Aufnahmezeitraum zwischen 2 % und 32 % mit einem Durchschnitt von 16 %, im unteren Bereich zwischen 2 % und 29 % mit einem Durchschnitt von 12 %. In der heißen niederschlagslosen Aufnahmeperiode (Lufttemperaturen bis 39°C) im August (14.08- 21.08) zeigt sich jedoch eine Umkehr der Werte, die Bodenfeuchte in der obersten Pflanzwanne sinkt unter 5 % (bis 2,4 %) , und ist in diesem Zeitraum niedriger als die Bodenfeuchte der untersten Reihe die sich zeitgleich zwischen 4,2 und 6 % bewegt.

## **7.2 Mikroklima**

Aufgrund der mikroklimatischen Ergebnisse lassen sich bei allen untersuchten Begrünungssystemen eine positive Wirkung auf das lokale Klima feststellen, wobei der Wirkungsgrad der Systemwände unterschiedlich ausfällt.

Die mikroklimatischen Effekte sind einerseits auf das System der vorgehängten Systemwand zurückzuführen, die in kalten und warmen Perioden eine puffernde Funktion übernehmen. Im Zwischenraum hinter der Systemwand kann die aufgewärmte Luft in der warmen Jahreszeit abgeführt werden, in einem kalten Zeitraum bietet der Substrataufbau einen zusätzlichen

Dämmkörper. Andererseits kann an strahlungsreichen heißen Tagen ein kühlender Effekt der Bepflanzung durch Transpiration vor der modularen und flächigen Systemwand festgehalten werden. Der Kühlungseffekt durch Transpiration der Pflanzen lässt sich aus den erhöhten Luftfeuchtwerten und niedrigeren Lufttemperaturwerten unmittelbar vor den Begrünungssystemen als auch durch die geringeren Wasserabflusswerte erklären.

Im Detail lassen sich für die Systeme folgende Aussagen treffen:

### **7.2.1 Flächiges Begrünungssystem**

Am flächigen Begrünungssystem ist in der warmen Jahreszeit (14. – 21.08.2012) bei einem Gesamtdeckungsgrad von 95 % im Nahbereich der Vertikalbegrünung eine deutlich geringere Lufttemperatur als vor der Referenzwand (Putzfassade) vorzufinden. Die Luft erwärmt sich tagsüber vor der flächigen Systemwand um bis zu 6°C weniger als vor der Putzfassade und um bis zu 5°C weniger als an der Klimastation. Die kühlende Wirkung der Bepflanzung durch Evapotranspiration spiegelt sich auch in den Luftfeuchtwerten wieder. Die Datenauswertung zeigt in der heißen Aufnahmeperiode im August im Nahbereich der Vertikalbegrünung eine um bis zu 36 % höhere relative Luftfeuchte als unmittelbar vor der Referenzwand. Im Vergleich zur Klimastation sind in dieser Zeitspanne um bis zu 28 % höhere Luftfeuchtwerte festzustellen.

Die Wandtemperaturen hinter der flächigen Systemwand weisen in den warmen Aufnahmetagen im August deutlich gedämpfte Werte auf und lassen auf eine hohe Pufferwirkung des Begrünungssystems schließen. Während die Schwankungsbreite der Referenzwand Wandtemperaturen von 5°C bis 59°C aufweist, heizt sich die Wand hinter dem Begrünungssystem mit einem Maximalwert von 38°C nicht so stark auf und kühlt nachts mit einem Minimumwert von 15°C nicht so stark aus.

In der kalten Jahreszeit im Februar weist die durchschnittliche Oberflächentemperatur von -9°C hinter der Fassadenbegrünung im Vergleich zu -13°C an der Putzfassade auf eine Dämmwirkung des Systems hin.

### **7.2.2 Pflanzwannensystem**

Das Pflanzwannensystem ist im Gegensatz zum flächigen und modularen Begrünungssystem eine extensive Begrünungsvariante mit sukkulenten Pflanzen ohne Zusatzbewässerung. Dadurch ist eine Vergleichbarkeit der mikroklimatischen Ergebnisse mit den anderen Systemen nur bedingt möglich.

In den warmen Aufnahmetagen ist ein ähnlicher Verlauf der Lufttemperaturkurven vom Pflanzwannensystem und der Putzfassade ersichtlich. In den Mittags- und

Nachmittagsstunden, bei einer Lufttemperatur von über 30°C, erwärmt sich die Luft vor der Systemwand stärker als an der Klimastation, zeigt jedoch geringere Werte als die Putzfassade. Im Nahbereich des Begrünungssystems, bei einem Deckungsgrad von 85 %, erhitzt sich die Luft untermittags um bis zu 2°C stärker als an der Klimastation, ist jedoch mit bis zu 5°C Temperaturunterschied kühler als die Luft direkt vor der Mineralputz-Referenzfassade. Vormittags wurden im August um bis zu 2°C kühlere Lufttemperaturen im Nahbereich der begrünten Wand im Vergleich zur Klimastation gemessen.

Tagsüber kann im heißen Zeitabschnitt im Nahbereich der Systemwand eine um bis zu 9 % höhere Luftfeuchte als vor der Putzfassade festgestellt werden. Im Vergleich zur Klimastation sind um bis zu 5 % erhöhte Luftfeuchtwerte im Nahbereich des Begrünungssystems ersichtlich. Die Ursachen für den geringen Unterschied liegen in der fehlenden Tropfbewässerung und den langsam wachsenden trockenresistenten Pflanzen die nur wenig Wasser über die Blattoberfläche verdunsten.

Die Wandtemperatur hinter dem Begrünungssystem weist in der heißen Aufnahmeperiode im August im Vergleich zu der Putzfassade gedämpfte Werte auf. Bei einer Schwankungsbreite der Oberflächentemperatur von 12°C bis 50°C hinter dem begrünten System sind im Vergleich zu 5°C bis 59°C (Putzfassade) puffernde Eigenschaften der Systemwand festzustellen.

In der kalten Jahreszeit im Februar (03.02. -10.02.2012) ist mit einem Durchschnittswert von -10°C im Vergleich zu -13°C an der Putzfassade ebenfalls eine dämpfende Wirkung zu erkennen.

### **7.2.3 Modulares Begrünungssystem**

Die Lufttemperatur ist in der warmen Aufnahmeperiode im August (14. – 21.08.2012) unmittelbar vor dem modularen Begrünungssystem, bei einem Gesamtdeckungsgrad von 85 %, mit um bis zu 4°C Temperaturunterschied deutlich geringer als vor der Putzfassade. Im Vergleich zur Klimastation konnten unmittelbar vor der begrünten Systemwand ein um bis zu 5°C geringerer Lufttemperaturwert gemessen werden. Durch die Evapotranspiration der begrünten Systemwand ist die relative Luftfeuchte 10 cm vor dem modularen Begrünungssystem um bis zu 24 % höher als vor der Referenzwand. Im Vergleich zur Klimastation ergeben sich um bis zu 22 % höhere Luftfeuchtwerte.

Anhand der Datenanalyse der Wandtemperatur sind für die modulare Systemwand dämpfende Eigenschaften festzustellen. Im August fallen durch das vorgehängte Begrünungssystem die erfassten Wandtemperaturen von 14°C bis 38°C deutlich geringer aus als an der nackten

Putzfassade (5°C bis 59°C). An strahlungsreichen Tagen heizt sich die Oberfläche hinter dem System weniger auf als die Referenzwand und kühlt nachts nicht so stark ab.

In der Aufnahmezeit im Februar (03.02. – 10.02.2012) ist die durchschnittliche Oberflächentemperatur der begrünten Systemwand mit -8°C deutlich milder als die der Putzfassade (-13°C).

## 8 Ausblick

Fassadengebundene Begrünungssysteme könnten in Zukunft eine wichtige Rolle bei der Verbesserung des urbanen Mikroklimas beitragen und das Wohlbefinden der städtischen Bevölkerung in dicht verbauten Gebieten heben. Damit fassadengebundene Begrünungssysteme diese Rolle übernehmen und sich am Markt etablieren können, müssen für die Systeme, die zur Zeit technische Einzellösungen darstellen, Standards und Normen geschaffen als auch aussagekräftige Ergebnisse geliefert werden. Erste Schritte in Richtung Information über fassadengebundene Systeme wurden mit dem *Leitfaden zur Fassadenbegrünung* des Institutes für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der Boku Wien in Kooperation mit dem Verband für Bauwerksbegrünung Österreich gesetzt. In Deutschland ist des Weiteren eine Neuauflage der FLL-Richtlinien für Fassadenbegrünungen mit Einbeziehen der neuartigen wandgebundenen Begrünungssysteme in Arbeit.

Weltweit belegen heute schon Forschungsprojekte von CHENG (2010), WONG (2009) oder PARICIO (2005) den positiven kleinklimatischen Effekt von Fassadenbegrünungen. Weiterer Forschungsbedarf besteht jedoch in der Erforschung der mikroklimatischen Wirkung und in der Pflanzeneignung im rauen mitteleuropäischen Klima, das von kalten Wintern bis trockenen Sommern gekennzeichnet ist. Eine Herausforderung bildet dabei die technische Komplexität der unterschiedlichen Systeme und die extremen Standortbedingungen. Die Begrünungssysteme am Markt unterscheiden sich in Aufbautyp, Aufbaustärke, Bewässerung und Materialien, selbst Unterschiede in den Systemen an den vertikalen Standorten der spezifischen Systeme machen eine generelle Pflanzenempfehlungen sehr schwierig. Systemspezifische Untersuchungen sollten über den geeigneten Standort einer Pflanzenart Aufschluss geben, um die Berechenbarkeit für Planer und Planerinnen am jeweiligen Begrünungssystem zu gewährleisten.

Einen weiteren Forschungsbedarf sehe ich bei den unterschiedlichen Bewässerungslösungen, die ein maßgebliches Kriterium zur Entwicklung der Bepflanzung darstellen. Eine automatische Abstimmung der Bewässerungsgänge, beispielweise durch eine gesteuerte Bewässerung mittels Bodenfeuchtesensor, auf die verschiedenen Standortbedingungen in der Vegetationstragschicht als auch auf die unterschiedlichen Klimabedingungen der Jahreszeiten ist nötig, um eine flächendeckende Vegetationsschicht über die gesamte Vegetationsperiode an den Begrünungssystemen zu gewährleisten.

Es wird sich zeigen, ob fassadengebundene Systeme den Sprung von hochpreisigen Einzellösungen zu einem flächendeckenden Element im Stadtbild schaffen und somit zur Klimaverbesserung in der Stadt beitragen können.

## 9 Quellenverzeichnis

**ASCHEMEIER R. und BAMMEL K.** (2009): Der Brockhaus – Wetter und Klima. Brockhaus - Mannheim.

**BARTFELDER und KÖHLER** (1987): Experimentelle Untersuchungen zur Funktion von Fassadenbegrünungen (Dissertation). TU Berlin - Berlin.

**BRANDWEIN T.** (2012): Wichtigste Vorteile der Fassadenbegrünung. Online unter: <http://www.biotekt.de/fassadenbegruenung/nutzen>, abgerufen am 15.10.2012

**BRANDT K.** (2005): Mikroklima - Meteorologie in der Nähe des Erdbodens. Brandt Verlag - Bonn.

**CAMPBELL SCIENTIFIC** (2012): CS215. Online unter: <http://www.campbellsci.com/cs215>, abgerufen am 08.09.2012

**DANNERT H.G.** (2011): Frankfurts Antwort auf den Klimawandel - Artikel aus dem Magazin Garten + Landschaft 5/2011.

**DECAGON DEVICES** (2012): 5TM Soil Moisture Sensor. Online unter: <http://www.decagon.com/products/sensors/soil-moisture-sensors/5tm-soil-moisture-and-temperature/>, abgerufen am 08.09.2012

**DEUTSCHER WETTERDIENST** (2012): Wetterlexikon. Online unter: <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=B&DAT=Bodenfeuchte>, abgerufen am 15.10.2012

**DGVN – DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR DIE VEREINTEN NATIONEN** (2012): Stadt & Land – Wachsende Städte. Online unter: [http://www.menschliche-entwicklung-staerken.de/news00.html?&no\\_cache=1&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=1034&cHash=949f3830d13fd8943177f1d275a1c3ec](http://www.menschliche-entwicklung-staerken.de/news00.html?&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=1034&cHash=949f3830d13fd8943177f1d275a1c3ec), abgerufen am 05.04.2013

**DIERSCHKE H.** (1994): Pflanzensoziologie. Eugen Ulmer Verlag - Stuttgart.

**ENZI V.** (2011): Forschungsprojekt Grün-Stadt-Klima. Artikel aus dem Bauwerksbegrünung Jahrbuch 2011. Verlag Dieter A. Kuberski - Stuttgart

**FLL** (2000): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.- FLL - Bonn.

**FLORINETH F.** (2012): Pflanzen statt Beton – Sichern und Gestalten mit Pflanzen. Patzer Verlag Berlin – Hannover. 2.Auflage, 340 Seiten

**HÄCKEL H.** (2012): Metereologie - 7. Auflage. Eugen Ulmer Verlag. Stuttgart.

**HERSTELLER A** (2012): der Hersteller kann aufgrund von Patentrechten nicht genannt werden, bei Interesse bezüglich Herstellerinformationen im Sekretariat des Instituts für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau an der Universität für Bodenkultur Wien nachfragen.

**HERSTELLER B** (2012): der Hersteller kann aufgrund von Patentrechten nicht genannt werden, bei Interesse bezüglich Herstellerinformationen im Sekretariat des Instituts für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau an der Universität für Bodenkultur Wien nachfragen.

**HERSTELLER C** (2012): der Hersteller kann aufgrund von Patentrechten nicht genannt werden, bei Interesse bezüglich Herstellerinformationen im Sekretariat des Instituts für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau an der Universität für Bodenkultur Wien nachfragen.

**HUPFER P.** (2006): Witterung und Klima - Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie - 12. Auflage. B.G. Teubner Verlag - Stuttgart.

**KIESZL K. und RATH J.** (1989): Auswirkungen von Fassadenbegrünungen auf den Wärme- und Feuchtigkeitsgehalt von Aussenwänden und Schadensrisiko. Frauenhofer IRB Verlag - Stuttgart.

**KÖHLER M.** (2011): Aktuelle Forschungsergebnisse. Artikel aus dem Bauwerksbegrünung Jahrbuch 2011. Verlag Dieter A. Kuberski - Stuttgart

**KÖHLER M.** (1993): Fassaden- und Dachbegrünung. Eugen Ulmer GmbH & Co - Stuttgart.

**KÖHLER M.** (2010): Living Walls - die neue Dimension der Fassadenbegrünung. Artikel aus der Zeitschrift Neue Landschaft 11/2010.

**KÖHLER M.** (2012): Historie und positive Wirkungen von Fassadenbegrünungen - Biotope city journal. Online unter: <http://www.biotope-city.net/article/historie-und-positive-wirkungen-von-fassadenbegr-nungen>, abgerufen am 15.11.2012.

**KUTTLER W.** (2009): Klimatologie. Verlag Ferdinand Schöningh - Paderborn.

**LANGNER M.** (2012): Messung der Deposition von Partikeln auf städtische Vegetation. Artikel aus der Zeitschrift Neue Landschaft 3/2012.

**MINKE G.** (1985): Häuser mit grünem Pelz - 4. Auflage. Rudolf Müller Verlag GmbH – Köln.

**ÖSTERREICHISCHER WIRTSCHAFTSVERLAG GMBH** (2010): Neues Forschungsprojekt „GrünStadtKlima“ gestartet. Online unter: <http://www.architekturbauforum.at/ireds-104633.html>, abgerufen am 28.09.2012

**PAULEIT S.** (2010): Kompakt und Grün – die ideale Stadt im Klimawandel. Artikel aus der Zeitschrift Garten+Landschaft 4/2010.

**PFOSER N.** (2011): Fassadenbegrünung - Erweiterte Systematik. Artikel aus dem Jahrbuch Bauwerksbegrünung 2011.

- PFOSER N.** (2010): Frische Luft durch Grün. Artikel aus dem Magazin Garten + Landschaft 4/ 2010.
- PFOSER N.** (2011): Architekturmedium Pflanze - Potentiale einer neuen Fassadengestaltung. Artikel aus dem Magazin Stadt + Grün 3/2010.
- PITHA U.** (2011): Bewässerungslösungen notwendig. Artikel aus dem Jahrbuch Bauwerksbegrünung 2011.
- PITHA U. und SCHARF** (2010): Grün an die Wand! - Biotope city journal. Online unter: <http://www.biotope-city.net/article/gr-n-die-wand>, abgerufen am 24.04.2012.
- SCHMIDT M.** (2008): Gebäudebegrünung und Verdunstung. Artikel aus der Zeitschrift Garten+Landschaft 1/2008.
- SCHULTE A.** (2012): Living Walls erobern die Städte – Funktion und System der neuen „Fasadengärten“. Artikel aus der Zeitschrift Neue Landschaft 5/2012.
- SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG BERLIN** (2010): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Online unter: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches\\_bauen/download/SenStadt\\_Regenwasser\\_dt\\_bfrei\\_final.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/download/SenStadt_Regenwasser_dt_bfrei_final.pdf), abgerufen am 10.04.2012.
- STADT WIEN** (2012): Wetter – Statistiken. Online unter: <http://www.wien.gv.at/statistik/lebensraum/wetter/>, abgerufen am 15.11.2012.
- STADT WIEN** (2012): Heitere und trübe Tage, Feuchtigkeit November 2010 bis November 2012. Online unter: <http://www.wien.gv.at/statistik/lebensraum/tabellen/heitertrueb.html>, abgerufen am 1.12.2012.
- STADT WIEN** (2012): Die hydrologischen Verhältnisse in Wien im Februar 2012. Online unter: <http://www.wien.gv.at/umwelt/wasserbau/hydrologie/hydro0212.html>, abgerufen am 15.11.2012.
- STEENIS van N.** (2011): Erfahrungen zur Pflanzenverwendung. Artikel aus der Zeitschrift Bauwerksbegrünung Jahrbuch 2011.
- TRAXLER A.** (1997): Handbuch des vegetationsökologischen Monitorings. Teil A: Methoden. Umweltbundesamt – Wien. Online unter: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M089A.pdf>, abgerufen am 10.05.2012.
- TREMP H.** (2005): Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten. Eugen Ulmer KG - Stuttgart.

**UMS** (2009): Bedienungshinweise für KIPP004.

**VACU – ISOTEC KG** (2012): Lexikon. Online unter:

<http://www.vacu-isotec.de/Oberfl%C3%A4chentemperatur.html>, abgerufen am 15.10.2012.

**WEISCHET W.** (2002): Einführung in die allgemeine Klimatologie. Bornträger – Berlin.

**WUNTRONIC** (2009): Universal Heat Flux Sensoren. Online unter:

<http://www.wuntronic.com/index.php?site=2&xid=68&subid=153&pid=305>, abgerufen am 08.09.2012.

**ZAMG** (2012): Wetterrückblick für 2012. Online unter :

<http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/jahresrueckblick>, abgerufen am 10.03.2013

**ZMARSLY E. et al.** (1999): Meteorologisch – klimatologisches Grundwissen. Ulmer Verlag – Stuttgart.

**ZMARSLY E. et al.** (2007): Meteorologisch – klimatologisches Grundwissen. Ulmer Verlag – Stuttgart.

## 10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Reale Verdunstungsrate einer troggebundenen Fassadenbegrünung am Institut für Physik Berlin. Die durchschnittlichen Verdunstungsraten an der Südfassade (blaue Linien) sind deutlich höher als die im verschatteten Hof (rote Linien), wobei sich Abstufungen der Verdunstungsleistung in unterschiedlicher Höhenlage zeigen (SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG, BERLIN 2010).....	15
Abbildung 2: Beispiel für ein Haus mit bodengebundener Begrünung (www.offenbach.de, am 03.09.2013).....	19
Abbildung 3: Bodengebundene Begrünung mit Kletterpflanzen im Hof des Instituts für Physik Berlin ( <a href="http://www.energienachrichten.net">http://www.energienachrichten.net</a> , am 03.09.2013).....	19
Abbildung 4: Begrünte Fassade der MA48 in Wien am Margaretengürtel (Foto: FLORINETH, 2012). .....	21
Abbildung 5: Blütenpracht der Federnelke an der begrünten Fassade der MA 48 in Wien (Foto: FLORINETH, 2012).....	21
Abbildung 6: fassadengebundenes Pflanz-wannensystem mit blühenden Federnelken (Foto: FLORINETH, 2012). .....	21
Abbildung 7: schematische Darstellung eines Pflanztrogs (FLORINETH, 2012). .....	22
Abbildung 8: schematische Darstellung eines Pflanzgefäßes (FLORINETH, 2012).....	23
Abbildung 9: Lage des Versuchsgartens Essling (roter Kreis) im 22. Wiener Gemeindebezirk (Google Earth, am 08.07.2012).....	28
Abbildung 10: Lage der Versuchsflächen (roter Kreis) im Versuchsgarten Wien Essling (Google Earth, am 08.07.2012).....	29
Abbildung 11: Versuchswände im Versuchsgarten in Wien Essling mit drei fassadengebundenen Begrünungssystemen und zwei Referenzfassaden, 2010 (Foto: IBLB). 29	
Abbildung 12: flächiges Begrünungssystem, Versuchsgarten Wien Essling im April 2012... 30	
Abbildung 13: Profilansicht. ....	30
Abbildung 14: Pflanze in der flächigen Systemwand, April 2012.....	30
Abbildung 15: schematische Darstellung (Ansicht) des flächigen Begrünungssystems im.....	31
Abbildung 16: Schematischer Aufbau (Schnitt) des flächigen Begrünungssystems im Versuchsgarten Wien .....	32
Abbildung 17: <i>Bergenia cordifolia</i> 'Rotblum' (www.pflanzen-vielfalt.de, am 08.09.2012). ..	33
Abbildung 18: <i>Geranium x cantabrigiense</i> `Berggarten` (www.allgaeustauden.de, am 08.09.2012).....	33

Abbildung 19: <i>Heuchera micrantha</i> 'Purple Palace' (www.pflanzen-vielfalt.de, am 08.09.2012).....	33
Abbildung 21: <i>Waldsteinia ternata</i> .....	34
Abbildung 20: <i>Hemerocallis</i> 'Stella de Oro' (www.pflanzen-vielfalt.de, am 08.09.2012). ....	34
Abbildung 22: Pflanzwannensystem im Versuchsgarten Wien Essling im Juni 2012. ....	35
Abbildung 23: Profil der Pflanzenwannen im Juni 2012. ....	35
Abbildung 24: Wasseranstau-bereich am Boden der Pflanz-wanne (HERSTELLER B, 2012). .....	36
Abbildung 25: Vlies (zur Erhöhung der Wasserspeicherfähigkeit) (HERSTELLER B, 2012). .....	36
Abbildung 26: mineralisches Substrat (Tongranulat) (HERSTELLER B, 2012).....	36
Abbildung 27: Vordachkonstruktion (roter Pfeil) über die Regenwasser in die oberste Pflanzwanne geleitet wird, Versuchsgarten Wien Essling im Oktober 2012. ....	36
Abbildung 28: Überlaufschlitze an der Vorder-front der Pflanzwannen, Versuchsgarten Wien Essling im Juni 2012. ....	36
Abbildung 29: Schematische Darstellung (Ansicht) des Pflanzwannensystems im Versuchsgarten.....	37
Abbildung 30: Schematischer Aufbau (Schnitt) des Pflanzwannensystems im Versuchsgarten Wien .....	37
Abbildung 31: <i>Sedum album</i> (www.planzen-vielfalt.de, am .....	39
Abbildung 32: <i>Sedum floriferum</i> Weihenstephaner Gold (www.planzen-vielfalt.de, am .....	39
Abbildung 33: <i>Sedum hybridum</i> Immergrünchen (www.planzen-vielfalt.de, am 09.09.2012). .....	39
Abbildung 34: <i>Sedum spurium</i> (www.gartengestaltung24.de, am.....	40
Abbildung 35: <i>Petrorhagia saxifraga</i> (www.planzen-vielfalt.de, am 09.09.2012). ....	40
Abbildung 36: <i>Allium schoenoprasum</i> (www.cnseed.org, am 09.09.2012). ....	40
Abbildung 37: modulares Begrünungssystem mit Pflanzkörben im Versuchsgarten Wien Essling 2011 (Foto: IBLB). ....	41
Abbildung 38: Profilansicht. ....	41
Abbildung 39: Pflanz-rahmen im Pflanzkorb, 2011 (Foto: IBLB). ....	41
Abbildung 40: schematische Darstellung (Ansicht) des modularen Begrünungssystems im Versuchsgarten .....	42
Abbildung 41: Schematischer Aufbau (Schnitt) des modularen Begrünungssystems im Versuchsgarten Wien Essling. ....	43

Abbildung 44: <i>Potentilla neumanniana</i> .....	45
Abbildung 42: <i>Pachysandra terminalis</i> (www.pflanzen-vielfalt.de, am 09.09.2012). .....	45
Abbildung 43: <i>Sedum telephium spectabile</i> (www.pflanzen-vielfalt.de, am 09.09.2012).....	45
Abbildung 45: <i>Geranium canta-brigiense</i> ‚Biokovo‘ (www.plant .....	46
Abbildung 46: <i>Aubrieta x cultorum</i> (www.staudengaertnereishop.com, am 09.09.2012).....	46
Abbildung 47: <i>Carex morrowii</i> `Variegata` (www.pflanzen-vielfalt.de, am 09.09.2012). ....	46
Abbildung 48: <i>Nepeta faassenii</i> .....	47
Abbildung 49: <i>Luzula nivea</i> . .....	47
Abbildung 50: <i>Sedum reflexum</i> .....	47
Abbildung 51: <i>Arabis caucasia</i> .....	48
Abbildung 52: <i>Aster dumosus</i> .....	48
Abbildung 53: Referenzfläche – Mineralputzfassade im Versuchsgarten Wien Essling im September 2012.....	49
Abbildung 54: Aufbau der Putzfassade; im Kern ist die Holzriegelwand sichtbar, darauf wurden Fassadendämmplatten befestigt (Foto: IBLB 2010). .....	49
Abbildung 55: geschätzte 50 % Gesamtdeckung am 02.04.2012, Wien Essling.....	52
Abbildung 56: geschätzte 70 % Gesamtdeckung am 07.05.2012, Wien Essling.....	52
Abbildung 57: geschätzte 75 % Gesamtdeckung am 04.06.2012, Wien Essling.....	52
Abbildung 58: geschätzte 85 % Gesamtdeckung am 16.07.2012, Wien Essling.....	52
Abbildung 59: geschätzte 95 % Gesamtdeckung am 09.08.2012, Wien Essling.....	52
Abbildung 60: geschätzte 95 % Gesamtdeckung am 11.09.2012, Wien Essling.....	52
Abbildung 61: Geschätzte Gesamtdeckungsgrade des flächigen Begrünungssystems im Zeitraum vom 02.04.2012, 07.05.2012, 04.06.2012, 16.07.2012, 09.08.2012 und am 11.09.2012, Wien Essling. ....	53
Abbildung 62: geschätzte 75 % Gesamtdeckung am 02.04.2012, Wien Essling.....	54
Abbildung 63: geschätzte 80 % Gesamtdeckung am 07.05.2012, Wien Essling.....	54
Abbildung 64: geschätzte 85 % Gesamtdeckung am 04.06.2012, Wien Essling.....	54
Abbildung 65: geschätzte 85 % Gesamtdeckung am 16.07.2012, Wien Essling.....	54
Abbildung 66: geschätzte 85 % Gesamtdeckung am 09.08.2012, Wien Essling.....	54
Abbildung 67: geschätzte 85 % Gesamtdeckung am 11.09.2012, Wien Essling.....	54
Abbildung 68: Geschätzte Gesamtdeckungsgrade des Pflanzwannensystems im Zeitraum vom 06.10.2011 bis 11.09.2012, Wien Essling.....	55
Abbildung 69: geschätzte 50 % Gesamtdeckung am 02.04.2012, Wien Essling.....	56
Abbildung 70: geschätzte 65 % Gesamtdeckung am 07.05.2012, Wien Essling.....	56

Abbildung 71: geschätzte 75 % Gesamtdeckung am 04.06.2012, Wien Essling.....	56
Abbildung 72: geschätzte 80 % Gesamtdeckung am 16.07.2012, Wien Essling.....	56
Abbildung 73: geschätzte 85 % Gesamtdeckung am 09.08.2012, Wien Essling.....	56
Abbildung 74: geschätzte 95 % Gesamtdeckung am 11.09.2012, Wien Essling.....	56
Abbildung 75: Geschätzte Gesamtdeckungsgrade des modularen Begrünungssystems im Zeitraum von 06.10.2011 bis 11.09.2012, Wien Essling. ....	57
Abbildung 76: Anordnung der Sensoren an der .....	59
Abbildung 77: Zentrale Erfassung aller Daten durch den Datenlogger in Wien Essling, 2012. ....	59
Abbildung 78: Anordnung der Sensoren an dem flächigen System. ....	60
Abbildung 79: Anordnung der Sensoren an dem Pflanzwannensystem. ....	60
Abbildung 80: Anordnung der Sensoren an dem modularen System. ....	60
Abbildung 81: Anordnung der Sensoren.....	61
Abbildung 82: lokalklimatische Bedingungen an der Klimastation in der Aufnahmeperiode vom 03.02.- 10.02.2012. Der ausgewählte Zeitraum ist durchwegs kalt, mit Lufttemperaturen bis -15°C. Es sind kein Niederschlag und nur geringe Windstärken erfasst worden, Versuchsgarten Wien Essling.....	62
Abbildung 83: lokalklimatische Bedingungen an der Klimastation in der Aufnahmeperiode vom 14.08- 21.08.2012. Der ausgewählte Zeitraum ist durchwegs heiß und trocken, mit Lufttemperaturen bis 39°C. Es sind kein Niederschlag und nur geringe Windstärken erfasst worden, Versuchsgarten Wien Essling.....	63
Abbildung 84 Lamellengehäuse der Lufttemperatur-, Luftfeuchtesensoren.....	64
Abbildung 86: Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeitssensoren in Lamellengehäuse aus Aluminium in 10 und 40 cm Abstand zu der Vegetationstragschicht der Systemwand im Versuchsgarten Wien Essling, Juni 2012.....	65
Abbildung 85: Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeitssensor (CS215) (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2012).....	65
Abbildung 87: kombinierter Bodentemperatur und Bodenfeuchtesensor (Sensor 5TM) (DECAGON DEVICES, 2012).....	66
Abbildung 88: Lufttemperatur (LT) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.....	67

Abbildung 89: Lufttemperatur vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	67
Abbildung 90: Lufttemperatur (LT) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	68
Abbildung 91: Lufttemperatur (LT) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.....	68
Abbildung 92: relative Luftfeuchte (LF) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.....	70
Abbildung 93: relative Luftfeuchte (LF) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	70
Abbildung 94: relative Luftfeuchte (LF) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.....	71
Abbildung 95: relative Luftfeuchte (LF) vor dem flächigen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling .....	71
Abbildung 96: Lufttemperatur (LT) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.....	73
Abbildung 97: Lufttemperatur (LT) vor der Versuchfläche Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.....	73
Abbildung 98: Lufttemperatur (LT) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.....	74
Abbildung 99: Lufttemperatur (LT) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	74

Abbildung 100: relative Luftfeuchte (LF) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.....	76
Abbildung 101: relative Luftfeuchte (LF) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand), und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	76
Abbildung 102: relative Luftfeuchte (LF) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.....	77
Abbildung 103: relative Luftfeuchte (LF) vor dem Pflanzwannensystem (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.....	77
Abbildung 104: Lufttemperatur (LT) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.....	79
Abbildung 105: Lufttemperatur (LT) vor dem modularen System (gemessen in 10 und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 03.02. - 10.02.2012, Wien Essling. ....	79
Abbildung 106: Lufttemperatur (LT) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling.....	80
Abbildung 107: Lufttemperatur (LT) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	80
Abbildung 108: relative Luftfeuchte (LF) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und an der Klimastation (gemessen in 2 m Höhe) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling.....	82
Abbildung 109: relative Luftfeuchte (LF) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 03.02. - 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	82
Abbildung 110: relative Luftfeuchte (LF) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) .....	83

Abbildung 111: relative Luftfeuchte (LF) vor dem modularen System (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) und vor der Referenz - Putzfassade (gemessen in 10 cm und 40 cm Abstand) vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	83
Abbildung 112: Wandtemperatur des flächigen Systems und der Putzfassade (03.02. – 10.02.2012), Versuchsgarten Wien Essling. ....	85
Abbildung 113: Wandtemperatur des flächigen Systems und der Putzfassade (14.08. – 21.08.2012), Versuchsgarten Wien Essling. ....	85
Abbildung 114: Wandtemperatur des Pflanzwannensystems und der Putzfassade (03.02. – 10.02.2012), Versuchsgarten Wien Essling. ....	87
Abbildung 115: Wandtemperatur des Pflanzwannensystems und der Putzfassade (14.08. – 21.08.2012), Versuchsgarten Wien Essling. ....	87
Abbildung 116: Wandtemperatur des modularen Systems und der Putzfassade (03.02. – 10.02.2012), Versuchsgarten Wien Essling. ....	89
Abbildung 117: Wandtemperatur des modularen Systems und der Putzfassade (14.08. – 21.08.2012), Versuchsgarten Wien Essling. ....	89
Abbildung 118: Bodentemperaturprofil im oberen und unteren Bereich des flächigen Systems vom 26.03. – 07.10.2012. Im oberen Bereich des Systems sind aufgrund eines defekten Sensors keine Daten erfasst worden. Im unteren Bereich steigt die Bodentemperatur bis maximal 33°C (37 KW.) an, Versuchsgarten Wien Essling. ....	91
Abbildung 119: Bodenfeuchteprofil im oberen und unteren Bereich des flächigen Systems vom 26.03. – 07.10.2012. Im unteren Bereich schwankt die relative Bodenfeuchte von KW. 13 bis 27 von 0 bis 23 %. In den KW. 28 bis 35 liegen die Bodenfeuchtwerte vorwiegend über 10 %, Versuchsgarten Wien Essling. ....	92
Abbildung 120: Bodentemperatur und Bodenfeuchte im oberen und unteren Bereich des flächigen Systems vom 03.02. – 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	93
Abbildung 121: Bodentemperatur und Bodenfeuchte im oberen und unteren Bereich des flächigen Systems vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	93
Abbildung 122: Bodentemperaturprofil im oberen und unteren Bereich des Pflanzwannensystems vom 26.03. – 07.10.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	95
Abbildung 123: Bodenfeuchteprofil im oberen und unteren Bereich des Pflanzwannensystems vom 26.03. – 07.10.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	95
Abbildung 124: Bodentemperatur und Bodenfeuchte im oberen und unteren Bereich des Pflanzwannensystems vom 03.02. – 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	97

Abbildung 125: Bodentemperatur und Bodenfeuchte im oberen und unteren Bereich des Pflanzwannensystems vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	97
Abbildung 126: Bodentemperaturprofil im oberen und unteren Bereich des modularen Systems vom 26.03. – 07.10.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	99
Abbildung 127: Bodenfeuchteprofil im oberen und unteren Bereich des modularen Systems vom 26.03. – 07.10.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	99
Abbildung 128: Bodentemperatur und Bodenfeuchte im oberen und unteren Bereich des modularen Systems vom 03.02. – 10.02.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	101
Abbildung 129: Bodentemperatur und Bodenfeuchte im oberen und unteren Bereich des modularen Systems vom 14.08. – 21.08.2012, Versuchsgarten Wien Essling. ....	101

## **11 Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Bautechnische und vegetationstechnische Parameter des flächigen Systems im Versuchsgarten Wien Essling.....	30
Tabelle 2: Bautechnische und vegetationstechnische Parameter des Pflanzwannensystems im Versuchsgarten Wien Essling.....	35
Tabelle 3: Bautechnische und vegetationstechnische Parameter des modularen Systems in Wien Essling .....	41

## 12 Curriculum vitae

### Georg Hancvencl

Geburtsdatum: 17.03.1981  
Geburtsort: Wien  
Nationalität: Österreich



### Aus- und Weiterbildung

seit 2009	Masterstudium Landschaftsplanung und -architektur an der Universität für Bodenkultur - Masterarbeit: „ <i>Fassadengebundene Vertikalbegrünung - Untersuchungen des Mikroklimas fassadengebundener Begrünungssysteme</i> “ am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
2005-2009	Bachelorstudium der Landschaftsplanung und -architektur an der Universität für Bodenkultur
2001-2004	AHS für Erwachsene, Henriettenplatz
2000-2001	Maturaschule VHS Polycollege
1999-2000	Zivildienst Sophienspital 1070 Wien
1991-1998	Realgymnasium Bachgasse Mödling

### Berufserfahrung

07 - 08 2012	Lebensministerium, Sektion II/6 - Koordination für ländliche Entwicklung
03 - 06 2012	Tutorium für LV „Projekt zu Landschaftbau und Vegetationstechnik“ am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
10 - 01 2011/12	Tutorium für LV „Einführungsprojekt zu Landschaftsarchitektur und Landschaftsbau“ am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
07 - 08 2011	Verband für Bauwerksbegrünung - Mitarbeit für den Fassadenbegrünungskatalog der Stadt Wien
03 - 06 2011	Tutorium für LV „Exkursion zu Vegetationsökologie“ am Institut für Botanik an der Universität für Bodenkultur