Universität für Bodenkultur Wien

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt Institut für Meterologie

Leiter: Ao. Univ. Prof. Dipl-Ing. Dr. nat. techn Josef Eitzinger





KLIMAFAKTOREN UND VEGETATION AM DACH DES STEPHANSDOMS



Masterarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur

Verfasser:

Flaviu-Ioan Danila

Betreuung:

Ao. Univ. Prof. Dr. phil. Erich Mursch-Radlgruber

Danksagung

"Überhaupt lernt niemand etwas durch bloßes Anhören, und wer sich in gewissen Dingen nicht selbst tätig bemüht, weiß die Sachen nur oberflächlich."

Brief an Eckermann 1831, Johann Wolfgang von Goethe

Ich möchte mich herzlich bei Herrn Dr. Erich Mursch-Radlgruber, Professor an der Universität für Bodenkultur Wien, für die kompetente und fachliche Betreuung meiner Diplomarbeit bedanken.

Weiters möchte ich mich bei Frau Dipl.-Ing. Dr. Katharina Lapin für den hilfreichen Input und bei der Firma HOLZCO für die Entnahme des Substratmaterials bedanken.

Ein weiteres Dankeschön spreche ich Herrn Mag. Dr. Robert Peticzka und Frau Christa Herman vom Institut für Geographie und Regionalforschung an der Universität Wien für die Unterstützung und Labornutzung zur Analyse des Substratmaterials aus.

Darüber hinaus möchte ich mich beim Dombaumeister Arch. DI Wolfgang Zehetner und MMag. Franz Zehetner für die Benutzung des Stephansdomdaches und die Unterstützung bedanken.

Ein besonderes Dankeschön richtet sich an meine Eltern, die mich während meines gesamten Studiums unterstützt haben.

Kurzfassung

Der "lebende Stephansdom" ist nicht nur einer der bekanntesten Wiener Sakralbauten, der in der Öffentlichkeit durch seine historische Bedeutung wahrgenommen wird, sondern beheimatet auf seinem Dach auch einen faszinierenden und einzigartigen Lebensraum für unterschiedlichen Vegetationsarten, deren Geschichte uns, den Forschern, ein Bild über die Entwicklung der Wiener Klima- und Vegetationseinflüsse darbietet.

Während der periodischen Sanierungsarbeiten an der Bedachung des Stephansdoms konnte man mehrere Schäden an den Dachziegeln feststellen, meist durch die immer wieder heranwachsende Vegetation verursacht.

Man hat mittels einer Dach-Monitorings-Arbeit festgestellt, dass die Vegetationsvorkommen auf der Nord-Seite des Wiener Stephansdom-Daches im Vergleich mit der Südseite des Daches reicher und vielfältiger sind.

Der Zustand der Dachdeckung wurde bewertet und die vorhandene Vegetation erfasst und analysiert. Die Begutachtung hat im Mai 2017 begonnen und die Untersuchung für die Substratvorkommen wurde von Mitte Juni bis September 2017 durchgeführt.

Der Fokus dieser Arbeit richtet sich auf die Entwicklung der Vegetation auf dem Dach des Stephansdoms in Abhängigkeit von Klimaparametern. Dabei wird insbesondere ein Vergleich mit älteren wissenschaftlichen Arbeiten , die sich mit der Vegetation auf dem Stephansdomdach beschäftigt haben, gezogen.

Abstract

The "living St. Stephen's Cathedral" is not only one of the most famous Viennese religious buildings, which is perceived by the public in its historical significance, but also houses on its roof a fascinating and unique habitat for different vegetation types, their history, the researchers, a picture of the development of Viennese climatic and vegetation influences.

During the periodic renovation work on the roof of St. Stephen's Cathedral, several damage to the tiles was noted, mostly caused by the ever-growing vegetation.

It has been determined by means of roof monitoring work that the vegetation on the north side of Vienna's St. Stephen's Cathedral roof is richer and more varied compared to the south side of the roof.

The condition of the roof covering was evaluated and the existing vegetation was recorded and analyzed. The survey began in May 2017 and the substrate occurrence study was conducted from mid-June to September 2017.

The focus of this work is on the development of vegetation on the roof of St. Stephen's Cathedral depending on climate parameters. In particular, a comparison with older scientific work, which dealt with the vegetation on the Stephansdom roof drawn.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
	1.1 Problemdarstellung	2
	1.2 Konzept und Zielsetzung	3
	1.3 Fragestellungen	4
	1.4 Untersuchungs- und Messmethoden	5
2.	Historische Grundlagen des Stephansdoms	7
	2.1 Historische Entwicklung	7
	2.2 Architekturaufbau und Baumaterialeigenschaften der Wuchsoberfläche	9
	2.2.1 Architektur	9
	2.2.2 Materialeigenschaften der Wuchsoberfläche	9
	2.3 Übersicht bisheriger Untersuchungen	11
3.	Theoretische Grundlagen	13
	3.1 Bodencharakteristiken	13
	3.1.1 Bodenfeuchtigkeit	16
	3.1.2 pH-Wert	18
	3.1.3 Carbonatgehalt	18
	3.2 Vegetation	20
	3.2.1 Vorhandene Vegetationsarten	20
	3.2.2 Vegetationsentwicklung	22
	3.3 Klimafaktoren	30
	3.3.1 Untersuchungsgebiet	30
	3.3.2 Geografische Verortung	30
	3.3.3 Klimawandel	31
	3.3.4 Extremtemperaturwerte, Messelemente und deren Standorte	32
	3.3.4 Klimaeigenschaften	33
	3.3.5.1 Niederschlag	33
	3.3.5.2 Lufttemperatur	34
	3.3.5.3 Luftfeuchtigkeit	34
	3.3.5.4 Strahlung	35
4.	Empirische Datenauswertung	38
	4.1 Messstation	38
	4.1.1 Thermoelementen Verortung	40

4.1.1.1 Südseite Seite Verortung Thermoelemente und Fischaugenaufnahmen	41
4.1.1.2 Nordseite Seite Verortung Thermoelemente und Fischaugenaufnahmen.	42
4.2 Messergebnisse - Auswertung von Klimaparametern	43
4.2.1 Darstellung der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit	47
4.2.2 Darstellung des Niederschlags in [mm/h]	49
4.2.3 Fischaugenaufnahme der Nord- und Südseite	50
4.2.3.1 Berechnung der Sonnenbahn mit dem Programm HemiView	50
4.2.4 Sonnenbahn entsprechend der Dachneigung und Dachausrichtung	52
4.2.5 Exposition der Dachfläche	55
4.3 Substratanalyseauswertung	56
4.3.1 pH-Wert	57
4.3.2 Carbonatgehalt	60
4.3.3 Wassergehalt	60
4.3.3 Wassergehalt	60
4.3.4 Organische Substanz (Glühverlust)	63
4.3.5 Korngröße	66
4.3.6 Säureextrakt zur Bestimmung von Nähr- und Schadelementen	67
5. Schlussfolgerung / Diskussion	68
6 Literaturverzeichnis	71
7 Internetverzeichnis	73
8 Tabellenverzeichnis	74
9 Abbildungsverzeichnis	75
10 Diagrammverzeichnis	76
11 Lebenslauf	78
12 Eidesstattliche Erklärung	80



1. Einleitung

Während der Stephansdom den 2. Weltkrieg nahezu unbeschädigt überstanden hatte, fiel er am 12. April 1945 nach bisher nicht vollständig aufgeklärten Umständen einem durch wahrscheinlich zivile Plünderer in angrenzenden Häusern gelegten Brand zum Opfer, bei dem sowohl der Dachstuhl als auch der Glockenturm vollständig ausbrannten (OÖ Nachrichten, 2015).

Dachstuhl und Glockenturm wurden vollständig saniert. In Bezug auf die auf dem Dach befindliche Vegetation lässt sich somit ein Nullpunkt festlegen.

Heute lässt sich eine Vielzahl einheimischer Pflanzenarten auf dem Dach finden. Ziel dieser Arbeit ist es, die Ursachen für die Besiedelung und Substratentstehung auf Grund von sich ändernden Klimafaktoren auf dem Stephansdomdach zu erforschen.

In den auf die Generalsanierung folgenden Jahrzehnten befassten sich einige Autoren mit der entstandenen Vegetation. Eine erste Übersichtsarbeit (nichtwissenschaftliche Untersuchung) zur Vegetation lieferte in den 1970er Jahren ZEHETNER gefolgt von der ersten wissenschaftlichen Arbeit im Jahr 1998, die erste validierbare Ergebnisse zur Gesamtvegetation am Dach des Stephansdom von GRABHERR und ZECHMEISTER. Der "lebendige" Sakralbau birgt aber auch eine Gefahr in sich. Die Flora und Fauna greift die Bausubstanz an und zerstört diese auf lange Sicht.

Insgesamt drei Schiffe überspannt das Dach des Stephansdoms im Unterschied zu anderen gotischen Kathedralen auf einer Breite von 33 m. Die dadurch gewonnene innere Weite stellt hohe Ansprüche an die Architektur. Der Dachstuhl vor der Generalsanierung bestand aus Lärchenholz und war insgesamt in sechs horizontale Ebenen gegliedert. Die Gesamthöhe dieser Konstruktion entsprach 36 m (Knobling 2013). Durch Wiens geographische Lage kommt es zu hohen Schneelasten im Winter. Durch die Spitzdachkonstruktion können die hohen auftretenden Kräfte gut abgeleitet werden. Außerdem erhöht sich dadurch die Stabilität der breiten Konstruktion (W. Zehetner, 2012).



1.1 Problemdarstellung

Während der periodischen Sanierungsarbeiten an der Bedachung des Stephansdoms konnte man mehrere Schäden an den Dachziegeln feststellen, die meist durch die immer wieder heranwachsende Vegetation verursacht wurden.

Hierfür hat man mittels einer Dach-Monitorings-Arbeit festgestellt, dass die Vegetationsvorkommen auf der Nordseite des Wiener Stephansdomdaches im Vergleich mit der Südseite des Daches reicher und vielfältiger sind.

Das Thema "Vegetation am Dach des Stephansdoms" ist ein bekanntes Forschungsthema mit der sich Wissenschafter/Naturforscher in den letzten Jahrzehnten befasst haben.

"Am Wiener Stephansdom wurden in einer einjährigen Untersuchung, unter anderem als Grundlage für den "Universum"- Film "Leben im Stein", 27 Pflanzenarten gefunden, wobei Kryptogamen dominieren (sechs höhere Pflanzen, drei Farne, sechs Moose, 10 Flechten, zwei Algen). Poikilohydre Arten sind unter den rasch wechselnden Feuchtigkeits— und Temperaturbedingungen bei gleichzeitig extrem flachgründigen Substraten stark begünstigt. Unter den höheren Pflanzen dominieren Hemerochore (> 50 %), die bei erhöhten Durchschnittstemperaturen in der Innenstadt begünstigt sind. Für die Keimung der Flugsamen von Blütenpflanzen sind vor allem die Populationen der polsterbildenden Moose von großer Bedeutung, welche die für die Keimlinge notwendige Feuchtigkeit und Mineralstoffe liefern. Trotz des kalkhaltigen Baumaterials findet man am Dom viele Säurezeiger, was nicht zuletzt auf saure atmosphärische Einträge zurückzuführen ist. Neben extrem toxikotoleranten Arten sind auch zwei etwas empfindlichere Arten Vertreter"(Grabherr und Zechmeister, 1998).

Durch moderne und leistungsfähigere Messstationen bzw. unter Zuhilfenahme neuer Messmethoden konnte man nicht nur vertiefte Erkenntnisse über die Vegetationsarten selbst sondern zusätzlich auch über das Substratvorkommen und die klimatischen Ursachen bzw. Einflüsse auf die Vegetation am Stephansdom-Dach gewinnen.



1.2 Konzept und Zielsetzung

Ziel dieser Masterarbeit ist es, die negativen Einflüsse bzw. die Entwicklung der Vegetation und deren Substrate auf die Bedachung des Stephansdoms mittels wissenschaftlicher Methoden zu erforschen.

Die vorliegende Arbeit enthält ein detailliertes Dach-Monitoring auf der Nord- und Südseite des Stephansdoms.

Der Zustand der Dachdeckung wurde bewertet und vorhandene Vegetation zwischen den Schindeln dokumentiert und analysiert. Die Begutachtung wurde im Mai 2017 begonnen und die Untersuchung für das Substratvorkommen wurde von Mitte Juni bis September 2017 durchgeführt.

Dabei wurden folgende Einflussfaktoren betrachtet:

Standortfaktoren

Klimafaktoren:

- Luftfeuchtigkeit
- o Niederschlag
- o Lufttemperatur
- o Extremtemperaturen

Exposition der Dachelemente:

- o Strahlungsgenuss
- o Energie der Sonnenstrahlung
- o Fischaugenaufnahmen



Arbeitsthese

Die spezielle Konstruktion des Daches des Stephansdom hat Auswirkung auf die Substrat und Vegetationsbildung auf der Nordseite.

1.3 Fragestellungen

Forschung bzw. Untersuchung der vorliegenden Arbeitsthese basiert auf den folgenden Fragestellungen:

- Welche Einflüsse haben die Klimaparameter auf den Standort im Laufe des Jahres?
- Welche Vegetationsarten gibt es und auf welchen Dachstellen kommen diese vor?
- Welche Gegebenheiten begünstigen das Pflanzenwachstum?
- Wie setzt sich das Substrat zusammen?



1.4. Untersuchungs- und Messmethoden

Um das Thema der Masterarbeit "Klimafaktoren und Vegetation am Dach des Stephansdoms" untersuchen zu können, wurden unterschiedliche Untersuchungs- und Messmethoden angewendet.

Methoden für die empirischen Untersuchungen				
Vor-Ort-Messmethoden				
Klimafaktoren	Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur, Niederschlag, Sonnenstrahlung.			
Extremtemperaturen auf der	Messstation, Thermoelementen, Datenlogger, Fischaugenaufnahme.			
Nord- und Südseite				

Tab. 1 Methoden für empirische Untersuchungen

	Labor- und Substratanalyse
chemische	verwendete Geräte
Bodenuntersuchungen	
pH-Wert	pH-Meter mit Temperaturkompensation, pH-Elektrode
Wassergehalt	Waage, Trockenschrank für 105° С, Waage-Gefäß.
organische Substanz	Waage, Porzellan-(Veraschungs-)schalen, elektrischer Muffelofen, Exsikkator mit Trockenmittel
Korngröße	Sieb nach DIN ISO 3310-1 mit 0,063 mm Maschenweite, Pipette nach Köhn, Dispergier-Vorrichtung, geeichter 1000-ml-Zylinder, Waagschälchen, Exsikkator, Trockenschrank, Waage, Thermometer, Uhr mit Sekundenanzeige, Wasserbad bei Humuszerstörung
Carbonatgehalt	Scheibler-Apparatur zur Bestimmung von Carbonat, Waage, Thermometer, Barometer
Säureextrakt zur	Abzug (bei Durchführung von Salpetersäure-Perchlorsäure-
Bestimmung von Nähr- und	Extraktionen ist ein für Perchlorsäure geeigneter Abzug zu verwenden),
Schadelementen	Heizvorrichtung je nach Ausstattung des Labors (z.B. Sandbad,
	Heizplatte, Kocher oder Aufschlussblock), Einrichtung zur
	Rückflusskühlung bei Bestimmung leicht flüchtiger Elemente, (z.B.

A Talimarantoron and Vogotation am Daoin acc Stophanoacino					
	Arsen und Quecksilber)				
	Faltenfilter, gehärtet, säuregewaschen, auf die Freiheit der Filter von				
	Analyten ist zu achten, geeignete Gefäße zur Aufbewahrung der				
	Lösungen (vorzusweise Polyethylen- oder Polyacrylgefäße)				
	Analysengeräte zur E	ndbestimmung: zB Spektralfotometer,			
	Flammenfotometer, A	Atomabsorptions- und Spektralfotometer, Plasma-			
	Emissions-Spektrome	eter oder Polarograf			
	Berechnungs- bzw. A	Analyse-Methoden			
ÖNORM	Formel zur Berechnur	ng von Charakteristik-Faktoren:			
	ÖNORM–L1085	chemische Bodenuntersuchungen, Säureeaxtrakt			
		zur Bestimmung von Nähr- und Schadelementen			
	ÖNORM-L1084	chemische Bodenuntersuchungen – Bestimmung			
		von Carbonat			
	ÖNORM-L1083 chemische Bodenuntersuchungen – B				
	der Acidität (pH-Wert)				
	ÖNORM-L1079 phemische Bodenuntersuchungen – Bestimm				
	der organischen Substanz als Glühverlust				
	ÖNORM-L1062	physikalische Bodenuntersuchungen-			
		Bestimmung des Wassersgehaltes und des			
		Wasseranteils			
	ÖNORM-L1061	physikalische Bodenuntersuchungen-			
		Bestimmung der Korngrößenverteilung des			
		Mineralbodens (Teil 2: Feinboden)			
	ÖNORM-L1050	Boden als Pflanzenstandort - Begriffe und			
		Untersuchungsverfahren			
	ÖNORM-B4412	Erd- und Grundbau, Untersuchung von			
		Bodenproben, Korngrößenverteilung			
Datenauswertung	Messwerte				
	Excel-Auswertung				
Fischaugen-Aufnahmen	Software HemiView				
Sonnenbahndokumentation	Software SunOrb				

Tab. 2 Methoden für empirische Untersuchungen (eigene Quelle)



2. Historische Grundlagen des Stephansdoms

"Der Stephansdom bildet das historische und geographische Zentrum der Großstadt Wien. Durch seine jahrhundertelange Enstehungsgeschichte bietet das Gebäude eine Reihe unterschiedlich alter Substrate (ROHATSCH 1991), auf denen verschiedene Stadien der zönologischen Entwicklung zu erwarten waren." (Grabherr und Zechmeister, 1998).

Am Platz des heutigen Stephansdomes stand nach archäologischen Befunden bereits im Frühmittelalter ein Coemeterium. Der Bau des Stephansdomes reicht ins Jahr 1137 zurück. Grundlage war ein Tauschvertrag des Markgrafen Leopold IV mit dem Bischof von Passau, weswegen das Gotteshaus St. Stephan, dem Patron des Bistums Passau, geweiht war. Der erste romanische Bau wurde nach dem Sonnenaufgang vom Stephanitag, dem 26. Dezember, im Jahre 1137 ausgerichtet und um 1147 fertiggestellt. Von 1230 bis 1245 wurde ein neuer Bau errichtet, wovon heute noch die beiden Türme der Portalfassade und das "Riesentor" erhalten sind (Planet Vienna - Stephansdom, Wien, 2018).

2.1. Historische Entwicklung

Über die Jahre wurde die Kirche immer weiter ausgebaut. So wurden nach einem Brand die Obergeschosse der Heidentürme gebaut und zu Anfang des 14. Jahrhunderts wurde ein größerer Chor gebaut. Im Jahre 1359 wurde der Neubau des gotischen Langhauses begonnen, welches aber erst 1474 fertiggestellt wurde. Der Bau wurde um das romanische Vorgängerlanghaus gebaut, welches danach abgebrochen wurde. Der Bau des Südturmes wurde im Jahre 1433 vollendet. Es gelang lange nicht, Wien zu einem Bistum zu machen. So wurde der Dom erst im Jahre 1469, als Wien schließlich zum Bistum erhoben wurde, zur Kathedrale (Planet Vienna - Stephansdom, Wien, 2018).

Mit dem Bau der Gewölben des Langhauses wurde 1446 begonnen und im Jahre 1450 war der Spatenstich zum Bau des Nordturms. Die Arbeiten an diesem wurden aber 1511 eingestellt, da die Planungen bereits vor Baubeginn zu groß und aufwendig gewesen waren, was sich im Laufe des Baus vedeutlicht hatte. Außerdem veränderte sich zu dieser Zeit der Baustil und die gotische Bauweise wurde nicht mehr verfolgt. So erhielt der unvollendete Nordturm 1578 sein heutiges Helmdach im Renaissancestil. Im 17. Jahrhundert wurde das Kircheninnere im barocken Stil ausgebaut und zahlreiche Seitenaltäre sowie der gewaltige Hochaltar entstanden. Während der Türkenbelagerung 1683 entstanden am Dom Beschädigungen durch türkische Kanonenkugeln.

Aus diesen Kugeln sowie alten Kanonen wurde nach Niederschlagung der Belagerung die "Pummerin" gegossen, die zweitgrößte Glocke Europas, welche heute im Nordturm hängt (Planet Vienna - Stephansdom, Wien, 2018).

Der Stephansdom überstand den zweiten Weltkrieg weitestgehend unbeschadet. Erst nach Einmarsch der Roten Armee in Wien geriet das Dach des Stephansdoms durch Funkenflug von brennenden Dächern der Nachbarsgebäude in Brand. Dies führte zu großen Schäden am Stephansdom. Gleich nach Kriegsende 1945 wurde mit der Reparatur des Dachstuhls begonnen und alle Schäden behoben. So zeigt Abb.1 die Neueindeckung des Chordachstuhls und Abb.2 den freiliegenden Dachraum des neuen Dachstuhls. Der wiederaufbau wurde 1950 abgeschlosen (Eberhardt K, 2014). Heute zählt der Wiener Stephansdom zu den bedeutendsten gotischen Bauwerken der Welt und ist das Hauptwahrzeichen der ehemaligen Kaiserstadt. Das erste und größte Bauwerk der Innenstadt wird von den Wienern liebevoll 'Steffl' genannt und ist von weither sichtbar und wird daher oftmals als Orientierungshilfe genutzt. Die Erscheinung des Stephansdomes führt häufig zu Respekt und Ehrfurcht bei den Besuchern der Innenstadt (Planet Vienna - Stephansdom, Wien, 2018).

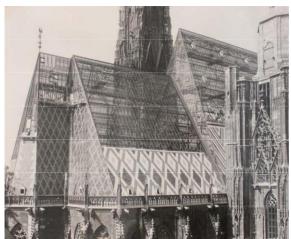


Abb. 1: St Stephan, Eindeckung Chordach und Dachstuhl (Eberhardt K, 2014)

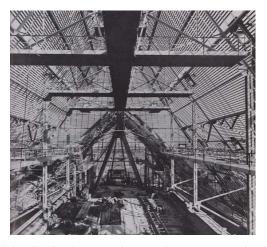


Abb.2: St Stephan, Dachraum des neuen Dachstuhls (Eberhardt $K,\,2014$)



2.2 Architekturaufbau und Baumaterialeigenschaften der Wuchsoberfläche

2.2.1 Architektur

Durch seinen 137 m hohen Südturm war der Stephansdom zeitweise das höchste Gebäude der Welt. Während der Grundriss des Stephansdom noch quadratisch ist, geht er in der Höhe in eine achteckige Form über. Neben den imposanten Türmen des Stephandoms ist das riesige Dach ein besonderer Blickfang. Über dem Chor erreicht der Giebel eine Höhe von bis zu 37,5 m. Das Dach hat eine Gesamtlänge von 110 m und ist von rund 230.000 Dachziegeln bedeckt. Durch die Anordnung der farbigen Ziegel ist u.a. auf der Südseite das Wappen des Kaisers Franz I.siehe Abb.3 und auf der Nordseite die Wappen der Stadt Wien und der Republik Österreich zu erkennen siehe Abb.4.

Das Hauptportal auf der Westseite ist aus der romanischen Epoche und wird von trichterförmigen Säulen flankiert, deren Kapitellen mit Heiligen- und Apostelfiguren bestückt sind. Erwähnenswert sind die beiden salomonischen Säulen mit Darstellungen von Geschlechtsteilen (Planet Vienna - Stephansdom, Wien, 2018).

Das dreischiffige Langhaus des Doms war in der damaligen Bauzeit ein Kennzeichen von Stadtpfarrkirchen. Das linke Seitenschiff hat das Thema der Heiligen Maria Muttergottes, das rechte Seitenschiff hat das Apostelthema. Das seitliche Singer- und Bischofstor sind zwei Höhepunkte gotischer Baukunst (Planet Vienna - Stephansdom, Wien, 2018).



Abb. 3 - Südseite des Domdachsmit Wappen Kaiser Franz I.

Quelle:https://www.meinbezirk.at/innere-stadt/lokales/1831-d1643986.html



Abb. 4: Nordseite des Domdachs mit den Wappen der Stadt Wien und der Republik Österreich

Quelle:https://en.wikipedia.org/wiki/File:Wien_-_Stephansdom, Dach, nordseitige_Wappen.JPG

2.2.2 Materialeigenschaften der Wuchsoberfläche

Die in insgesamt zehn Farbtönen glasierten Ziegel sind als eine der Besonderheiten der Baukonstruktion hervorzuheben. Gründe für deren Verwendung waren, dass ein einheitlich



gefärbtes Dach in dieser Größe das Stadtbild gestört und der Feingliedrigkeit des gotischen Charakters widersprochen hätte. Positiver Nebeneffekt ist, dass glasierte Ziegel eine wesentlich längere Lebensdauer haben als nicht glasierte (W. Zehetner 1995, 2012).

Trotzdem muss das Domdach in Abständen von bis zu drei Jahrzehnten regelmäßig saniert werden. Zumeist kommt es zu Ziegelbruch durch Hagelschlag und Winddruck sowie Bewuchs durch Ansammlung von Sediment (Lapin et. al, 2017).

Die eigentlichen Dachflächen sind von acidophilen Arten bewachsen, wohingegen die Gesteinsflächen von schwach bis eindeutig basophilen Arten besiedelt sind. Die Versauerung des Untergrundes ist dabei hauptsächlich auf anthropogene Luftschadstoffe zurückzuführen. Zu erwähnen ist, dass erstaunlich viele Arten Zeiger der eutrophierten Standorte sind. Dies ist wahrscheinlich in dem relativ hohen Eintrag atmosphärischen Stickstoffs und die nicht geringen Mengen an Taubenkot begründet.

Als Mittelwerte aller entdeckten Zeigerwerte (Zeigerwerte nach ELLENBERG at al.,1991) können genannt werden: Lichtwert 8, Temperaturzahl 6, Kontinentalität 5, Feuchtigkeit 5, Reaktionszahl 17, Stickstoffzahl 7, (Zechmeister und Grabherr, 1998).

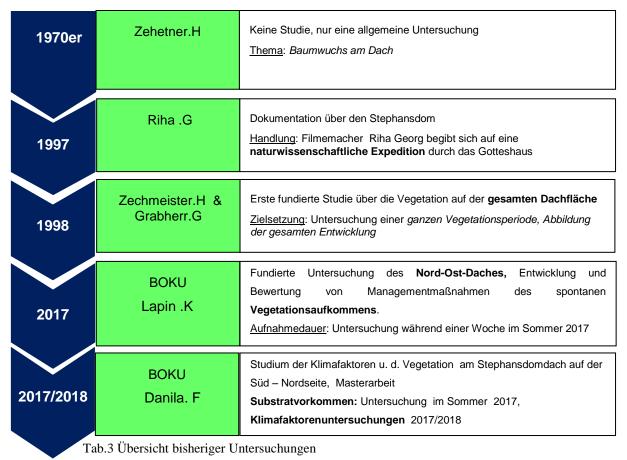
Aufgrund der teilweise recht hohen Verwitterungsrate senkrechter Mauerteile wird eine effektive Besiedelung vor allem durch Flechten behindert. Als Folge kommen diese Arten besonders auf relativ harten Gesteinen vor. Dies ist z.B. an den Balustraden erkennbar. Allerdings ist die ausgeprägte Pflege, welche zur Instandhaltung der kunsthistorisch bedeutsamen Bausubstanz erforderlich ist, das eigentliche Hemmnis eines stärkeren Bewuchses (Zechmeister und Grabherr, 1998).

Da die meisten Flechten und Moose mit nur einer bis wenigen Zellschichten sehr dünn sind, sind diese allseits von toxischen Substanzen umgeben. Dadurch führt die in den industrialisierten Staaten vorhandene Luftqualität zu einem dramatischen Artenrückgang (z.B. BARKMANN 1969, GILBERT 1970, BURTON, 1990). Dabei kann deren Ausmaß als Gradmesser für die Luftverschmutzung angenommen werden (Zechmeister und Grabherr, 1998).



2.3 Übersicht bisheriger Untersuchungen

In früheren Jahren gab es keine Aufzeichnung der Vegetation der Pflanzenarten vom Domdach, welche untersucht wurden. Trotz wiederkehrender Sanierung des Daches wurde die Vegetation nie explizit beschrieben. Erst in den 70er Jahren des 20-ten Jahrhunderts wurde der Pflanzenwuchs auf dem Dach erstmalig wissentlich erfasst (Lapin et. al, 2017).



Riha Georg: Quelle: https://tv.orf.at/orf3/stories/28370; Zehetner H,(2017)

Im Jahre 1998 wurde die erste wissenschaftliche Studie zur Vegetation am Stephansdom durchgeführt. Harald Zechmeister und Georg Grabherr untersuchten die Vegetation in 13 Aufnahmen eine ganze Vegetationsperiode und dokumentierten 27 Planzenarten (Zechmeister und Grabherr, 1998).

Die zweite wissenschaftliche Studie zur Vegetation am Stephansdom wurde vom Botanischen Institut der Universität für Bodenkultur Wien im Jahre 2017 durchgeführt. Hier ist es aber wichtig zu erwähnen, dass im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ausschließlich das Nord-Ost-Dach untersucht wurde. Außerdem muss im Vergleich berücksichtigt werden, dass es sich um Aufnahmen handelt, die innerhalb einer Woche im Sommer stattfanden und daher nicht die Entwicklung in der gesamten Vegetationsperiode darstellen können (Lapin et. al, 2017).

Die dritte wissenschaftliche Studie fokussiert sich im Speziellen auf die Untersuchung des Substratvorkommens und der Vegetation in Abhängigkeit von Klimafaktoren am Stephansdomdach und wurde von BOKU-Student Flaviu Ioan Danila im Zuge einer Masterthesis-Arbeit von Juni 2017 bis Mai 2018 durchgeführt.

Unter der Berücksichtigung der bereits erwähnten ersten zwei Studien ergaben die neuen Untersuchungen aus dem Jahr 2017 folgende Befunde (Lapin et. al, 2017):

- ⇒ Im Jahr der Untersuchung 2017 war das Domdach überwiegend von Gehölzen der Familie Salicaceae (Weidengewächse) besiedelt. 1998 wurden hingegen noch die Baumarten Ailanthus altissima (Götterbaum), ein invasiver Neophyt aus Asien (Essl, Rabitsch, and Breuss 2002) sowie Betula pendula (Hängebirke), eine heimische Pionierbaumart, festgestellt (Adler 2003). Außerdem wurden 1998 reichlich nicht verholzende Arten wie bspw. Epilobium ciliantum (das Drüsen-Weidenröschen) dokumentiert.
- ⇒ Sowohl im Jahr 2017 als auch 1998 waren die höheren Pflanzenarten auf dem Substrat in den Fugen zwischen den Dachschindeln zu finden.
- ⇒ ZECHMEISTER und GRABHERR konnten eine bedeutende Anzahl an acidophilen Arten, sog. Säurezeigern wie z.B. *Dryopteris carthusiana* (der Wurmfarn), erfassen. Trotz des kalkhaltigen Gesteins des Doms ließen sich diese darauf nieder. Zechmeister begründete dies durch die sekundäre Versauerung. Im Jahr 2017 konnten nur mehr wenige Säurezeiger beobachtet werden. Es sind aber noch weitergehende Untersuchungen notwendig, um Rückschlüsse auf die Luftqualität schließen zu können.

Zusammenfassend lässt sich anhand des vorangegangenen ersten Vergleichs darlegen, dass die gleichmäßige Untersuchung am Domdach bedeutende Daten liefern kann. So sind insbesondere wichtige Ergebnisse zur Dokumenation der Stadtökologie zu erwarten. Die Lage in stadtgeographischer Hinsicht ist einzigartig im europäischen Städtevergleich. Für weitergehende Untersuchungen ist dies bedeutsam (Lapin et. al, 2017).

Die Floristik in städtischen Lebensgemeinschaften ist noch relativ unerforscht. Erst in der Mitte der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden die ersten bedeutenden Untersuchungen in diesem Bereich durchgeführt. Einige deutsche Städte wie Berlin (SUKOPP et al. 1973, KUNICK 1982, DARIUS & DREPPER 1984 u. a.) und Münster wurden gut dokumentiert (z.B. WITTIG 1973), aber ansonsten sind die Kenntnisse über Flora und Fauna in den meisten europäischen Städten zumeist relativ gering ausgeprägt (Zechmeister und Grabherr, 1998).



3. Theoretische Grundlagen

Was ist Boden?

Eine allgemeingültige Definition von Boden zu finden, würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Neben den physikalische und chemischen Eigenschaften, über die man einen Boden charakterisieren kann, bieten sich auch geologische und morphologische Untergliederungen an. Da sich der Fokus dieser Arbeit auf Boden als Funktionsträger richtet, könnte man der Definition des deutschen Bodenschutzgesetzes folgen. Dieses sieht den Boden als oberste Schicht der Erdkruste, der Funktionsträger ist und flüssige und gasförmige Bestandteile (Bodenluft und Bodengase) enthält, jedoch Grundwasser und Wasserbetten exkludiert (Joachim F.,2001)

3.1. Bodencharakteristiken

Wie oben erwähnt, kann man Boden unterschiedlich charakterisieren. Betrachtet man ihn unter morphologischen Gesichtspunkten, stellt man fest, dass sich verschiedene Mengen großer und kleiner Partikel im Boden befinden. Das biologische, chemische und physikalische Verhalten des Bodens wird entscheidend von der Verteilung der Partikelgrößen bestimmt (Lewandowski J, 1997).

Die weitere Unterteilung anhand morphologischer Gesichtspunkte erfolgt anhand der Korngrößen in Abhängigkeit von ihren Eigenschaften. Zum einen definiert man das Bodenskelett, das aus Partikeln besteht, die Korngrößen von mehr als 2 mm aufweisen. Dies sind bspw. Kies, Steine und Blöcke. Die spezifische Oberfläche nimmt mit abnehmender Korngröße zu. Demnach kann das Bodenskelett kaum Wasser und Nährstoffe speichern und hat einen kleinen Anteil am Gesamtgefüge. Außerdem stellt das Bodenskelett ein Hindernis für die Ausbreitung der Wurzeln dar. Feinerde dagegen mit Korngrößen von weniger als 2 mm kann auf Grund der höheren spezifischen Oberfläche Wasser und Nöhrstoffe gut speichern sowie gut zu Krümeln aggregieren. Sie bildet damit die Basis für das Pflanzenwachstum. (Lewandowski J., 1997).



Unterteilung der Die Feinerde wird unterteilt in die folgende drei Korngrößenklassen

Feinerde Sandfraktion 2 mm - 0,063 mm

Schlufffraktion 0,063 mm - 0,002 mm

Tonfraktion < 0,002 mm

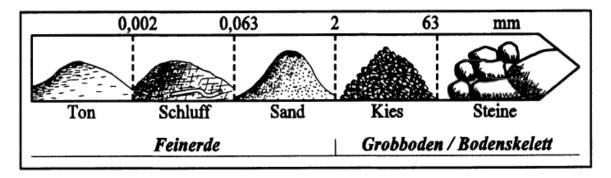


Abb. 5: Korngrößenfraktionen der Feinerde und des Bodenskeletts (Lewandowski J., 1997).

Weiters kann die Feinerde in drei Fraktionen unterteilt werden, wobei die kleinsten Teilchen aufgrund der höheren spezifischen Oberfläche den größten Anteil an der Sorptionskapaziät beitragen. Dieser Tatsache ist es geschuldet, dass sich neben Nähr- auch Schadstoffe in der kleinsten Fraktion anreichern. Die drei Fraktionen -aufsteigend von der kleinsten- sind die Feinfraktion (Ton) mit Korngrößen von weniger als 0,002 mm, die Mittelfraktion (Schluff) mit Korngrößen bis 0,063 mm sowie die Grobfraktion (Sand) mit Korngrößen bis 2 mm. In Abb.5 ist die Aufgliederung nach Größen der unterschiedlichen Bodenfraktionen veranschaulicht. Eine höhere Feinkörnigkeit geht einher mit kleineren Poren zwischen den Teilchen, einer höheren Krümelbarkeit, einer geringeren Wasserdurchlässigkeit und Luftkapazität sowie einer höheren Wasser- und Wärmekapazität (Lewandowski J., 1997).

tS oder sT? Gemische aus Sand, Schluff und Ton werden als Bodenarten bezeichnet und mit Buchstabensymbolen abgekürzt.



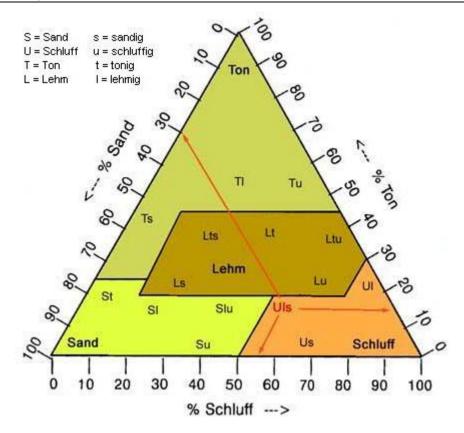


Abb. 6: Darstellung der Bodenarten im Dreiecksdiagramm bzw. Körngrößeklasse (Brandel H., 2011)

Die einzelnen Bodenarten stellen Gemische der einzelnen Fraktionen dar. Je nach vorherrschender Fraktion unterscheidet man zwischen Sandböden (S), Schluffböden (U) und Tonböden (T). Zur Definition der Bodenarten wird ein Dreiecksdiagramm, wie es Abb.6 zeigt, verwendet. Dazu wird ein gleichseitiges Dreieck gezeichnet. Auf jeder Seite werden die Bodenarten Ton, Schluff und Sand als Prozentränge aufgetragen. Die dominierende Fraktion wird mit einer Majuskel bezeichnet. Die zweithäufigste Fraktion wird mit einem adjektiv vorangestellt und mit einer Minuskel abgekürzt. Ein Boden mit einem prozentualen Anteil von 60 % Sand, 30 % Ton und 10 % Schluff wäre ein toniger Sandboden (tS). Enthält der Boden alle drei Bodensorten in nennenswerten Anteilen, spricht man von einem Lehmboden bzw. einfach von Lehm (Lewandowski J., 1997). Tabelle. 4 gibt eine Übersicht über die Bodenarten und ihre Eigenschaften wieder.



Bodenarten	Eigenschaften
Sandböden	nährstoffarm; anfällig für Temperaturschwankungen, Humuszugabe verbessert die Bodeneigenschaften im Bezug auf die Vegetation
Lehmböden	ideale Böden; wenn sie pH-neutral, tiefgründig und insbesondere reich an Regenwürmern und anderem Getier sind
Tonböden	extrem gute Wasserspeicherkapazität; birgt allerdings die Gefahr der Staunässe; Erwärmung erfolgt nur langsam; trockene Tonböden neigen zur Verkrustung und sind sehr hart

Tab.4 (nach Umweltbroschüre, Land NÖ, Abt. Umwelt- und Energiewirtschaft, 2014)

3.1.1. Bodenfeuchtigkeit

Als Feuchte oder Bodenfeuchte versteht man den aktuellen Sättigungsgrad des Bodens mit Wasser, das gegen die Schwerkraft gehalten wird. Dieses sogenannte Haftwasser setzt sich aus Kapillarwasser, welches sich in den kleinen Hohlräumen des Bodens befindet und durch Kapillarkräfte gehalten wird und Adsorptionswasser innerhalb der Bodenpartikel zusammen.

Die Bodenfeuchte und der Wassergehalt sind nicht identisch. Da der Füllungsgrad der Hohlräume im Boden mit Wasser abhängig von der Bodenwasserspannung, also dem Druck im Porenwasser, ist, besteht zwischen diesen ein funktioneller Zusammenhang.

Darüber hinaus lässt sich fetstellen, dass die Wasserspannung mit abnehmender Porengröße zunimmt, die Kapillarkräfte steigen und die Pflanze muss mehr Energie aufwenden, um Wasser aus dem Boden zu ziehen.

Die Wasserspannung wird in [bar] bzw. N/m² angegeben. Um noch ausreichend Wasser aus dem Boden für das Wachstum gewinnen zu können, darf die Wasserspannung 15 bar nicht übersteigen. Dieser Punkt wird als permanenter Welkepunkt (PWP) bezeichnet. Ein Wachstum bei höheren Wasserspannungen ist ausgeschlossen (Lewandowski J., 1997).



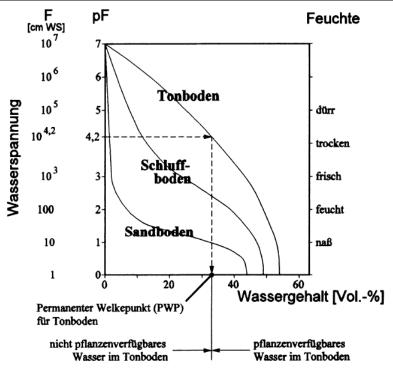


Abb. 7: Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt (pF-Kurven bei verschiedenen Böden (PWP= permanenter Welkepunkt) (Lewandowski J., 1997)

Wie kommen nun Kapillarkräfte zustande? Um dies zu verstehen, muss man die van-der-Waals-Kräfte, die zwischen den Wassermolekülen und den anderen Atomen auftreten, näher betrachten. Beobachtet man beispielsweise ein Glasrohr, das mit Wasser gefüllt ist, stellt man fest, dass sich das Wasser an den Seiten krümmt. Dieser Meniskus ist darauf zurückzuführen, dass die intramolekularen Anziehungskräfte des Wassers kleiner sind als die Anziehungskräfte der Wassermoleküle mit den Atomen der Glaswand. Diese Kraft bewirkt, dass das Wasser im Glasrohr steigt. Umso kleiner der Durchmesser des Glasrohres ist, desto höher steigt das Wasser in diesem (Lewandowski J., 1997). Abb.8 zeigt einen schematischen Querschnitt des Bodens und veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Bodenteilchen und dem zwischen diesen befindlichen Kapillarwasser.

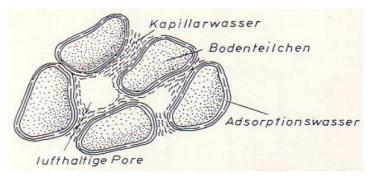


Abb. 8 (Mückenhausen, 1993)



3.1.2. pH-Wert

Der pH-Wert des Bodens trägt entscheidend zu dessen Eigenschaften in Bezug auf das Pflanzenwachstum bei. Er hat u. a. Einfluss auf die Verwitterung des Bodens und auf den Ablauf chemischer Reaktionen. Darüber hinaus wird das Absorptionsverhalten der Pflanzen beeinflusst (Lewandowski J., 1997).

Extrem saure Böden führen zum Absterben von Mikroorganismen, die für Pflanzen wichtige Symbionten darstellen. Weiters werden Schwermetalle aus Bodenverbindungen herausgelöst, die von den Pflanzen dann aufgenommen und akkumuliert werden. Bei einem zu hohen pH-Wert werden hingegen wichtige Elemente wie Eisen komplexiert und können nicht mehr aufgenommen werden (Umweltbroschüre, Land NÖ, Abt. Umwelt- und Energiewirtschaft, 2014).

pH-Wert	Bestimmung
pH < 4,50	stark sauer
pH 4,51-5,50	sauer
pH 5,51-6,50	schwach sauer
pH 6,51-7,20	neutral
pH > 7,20	alkalisch(= basisch)

Tab.5: (nach Umweltbroschüre, Land NÖ, Abt. Umwelt- und Energiewirtschaft, 2014)

3.1.3. Carbonatgehalt

Carbonat, das umgangssprachlich als Kalk bezeichnet wird, sorgt durch die ihm eigene Pufferwirkung im Boden dafür, dass dieser nicht übersäuert. Die wichtigste Quelle für den Carbonatgehalt im Boden ist neben Calciumcarbonat (CaCO₃) Dolomit (CaCO₃ * MgCO₃). Der Puffer bewirkt, dass der pH-Wert auch bei hoher Protonenbelastung im neutralen Bereich bei ca. pH=7 bleibt.

Die Pufferwirkung beruht auf der chemischen Reaktion von CO_3^{2-} mit Säuren, bei der als Reaktionsprodukte CO_2 und H_2O entstehen. Das CO_2 kann als Gas entweichen. Die

Notwendigkeit solcher Puffersysteme ergibt sich aus der Tatsache, dass H₃O⁺-Ionen sowohl mit anderen positiven Ionen um Adsorptionsplätze konkurrieren als auch Schwermetalle aus dem Boden lösen, die sowohl zytotoxisch auf symbiontische Mikroorganismen des Bodens als auch Pflanzenzellen selbst wirken. Im Gelände wird der Carbonatgehalt mittels 10%-iger Salzsäure bestimmt. Dafür träufelt man auf die zu untersuchende Probe etwas Salzsäure und beobachtet das Aufperlen durch entweichendes Gas. Umso heftiger die Blasenentwicklung ist, desto carbonathaltiger ist der Boden. Im Labor nutzt man für die genauere Bestimmung einen so genannten Scheiblerapparat. Dabei gibt man eine eingewogene Probe in angesäuertes Wasser, gibt anschließend Säure hinzu und bestimmt das entweichende Gas volumetrisch. (Lewandowski J., 1997).



3.2 Vegetation

Während einer Begutachtung im Juni 2017 konnte eine vielfältige Vegetation festgestellt werden. So wurden insgesamt **14 Pflanzenarten aus 7 Familien** gefunden, wobei die **Asplenium ruta-muraria** (Mauerraute) die häufigste Art war. Sie wurde zumeist in den Fugen zwischen den Dachziegeln gefunden (Lapin et. al, 2017).

Das Forschungsfeld der Stadtökologie ist heute aufgrund wachsender ökologischer Probleme in den Städten wichtiger denn je. Die Stadt als Lebensraum und deren Ökosystem ist heute ein bedeutungsvolles Thema zahlreicher fachübergreifender Forschungsprojekte (Grimm et. al, 2008).

Die Dachfläche des Stephansdoms ist eine einzigartige Forschungsfläche. Ihre Größe mit 2570 m² sowie ihre Lage und Architektur machen sie zu einem besonderen Untersuchungsgebiet. Das städtische Gebiet, in dem sich der Stephansdom befindet, bietet ein Artenspektrum welches Zeigerarten bergen kann. Diese werden mit Untersuchungen verglichen (Zechmeister, 1992)(Lapin et.al,2017).

3.2.1 Vorhandene Vegetationsarten

Auf dem Dach des Stephansdoms sind insgesamt 14 verschiedene Pflanzenarten feststellbar. Diese werden nach den folgenden 7 Familien klassifiziert:

- 1. Aspleniaceae
- 2. Buddlejaceae
- 3. Rosaceae
- 4. Salicaceae
- 5. Bryaceae
- 6. Lecanoraceae
- 7. Parmeliaceae.

Alle höheren Pflanzen können Gehölzarten zugeordnet werden, wobei diese nicht im angelegten Untersuchungsraster vorkamen. Sie ließen sich hingegen an Punkten wie den beschatteten Dachkanten, zwischen den Seitengauben am Nord-Ost-Dach sowie in den Rinnen nieder. Die am meisten erfassten Gehölzarten sind den sog. Pioniergehölzen zugeordnet, welche in der Lage



sind, sich schnell auf ruderalen Standorte anzusiedeln und deren Samen flugfähig sind. Die am häufigsten vorkommenden Gehölzart ist *Populus alba*, die Silber-Pappel (Lapin et. al, 2017).

In der untersuchten Aufnahmevorlage wurden hauptsächlich der Farn Asplenium ruta-muraria und die Moosarten Bryum- und Tortula muralis festgestellt. Dabei kam der Farn Asplenium ruta-muraria ausnahmslos in den Fugen zwischen den Dachziegeln vor. In diesen sammelt sich angeflogenes Sediment an, was eine gute Grundlage für den Farn bietet. In den ausgereiften Pflanzen wurden Pferde- und Menschenhaare, Ziegesplitter und weitere Pflanzensamen festgestellt (Lapin et. al, 2017).

Hauptsächlich in den Fugen im Bereich zwischen und unter den Dachschindeln sind die Pflanzenvorkommen dokumentiert. Dabei nimmt der Bewuchs hauptschlich im unteren Drittel der Dachfläche zu, erkennbar im Raster Reihe 4 und 5. Dies liegt daran, dass sich angewehtes und durch Regen das Dach runter gespültes, organisches und anorganisches Material in den Fugen sammelt (Lapin et. al, 2017).

Eine Übersicht des Vegetationsvorkommen – Lokalisierung ist in der Abb. 9 dargestellt.

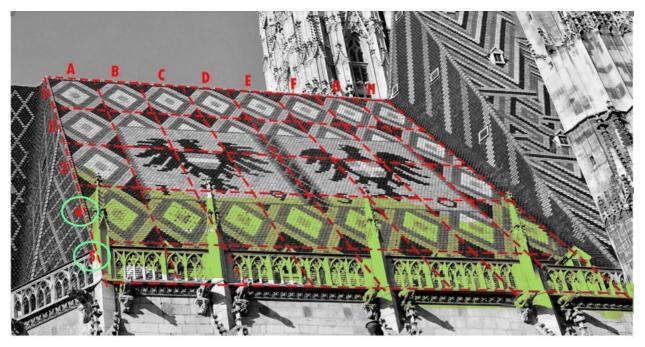


Abb. 9: Rastfelder am Stephansdomdach nach Lapin et. al, 2017.



3.2.2 Vegetationsentwicklung

Die Entwicklung der Vegetation ist durch unterschiedliche Klimafaktoren wie zum Beispiel Wind, Regen und Temperatur beeinflusst. Um die Einflüsse bzw. Verbindungen zwischen den Vegetationsvorkommen und den Klimafaktoren herauszuheben, wird in Tabelle 6 eine vergleichende Übersicht dargestellt.

Ab- teilung	Familie	Art	Deutscher Name	Darstellung	allgemeines Vorkommen	Vorkommen und Besiedelung fundiert am Stephansdomdach
95	sae	Bryum argenteum Hedw.	Silbermoos		Es ist weltweit verbreitet. In Stadtgebieten ist diese Moosart häufig (Stark, McLetchie, and Eppley 2010.	Bryum argenteum ist die häufigste Moosart am Nord-Ost-Dach des Stephansdoms. Das Silbermoos besiedelt vor allem die oberen Rasterreihen 1 und 2. Es besiedelt sowohl die Fugen, in denen sich Sedimente angesammelt haben, als auch die Oberflächen mancher Dachziegel.
Moose	Bryaceae	Tortula muralis Hedw.	Mauer- Drehzahn- moos		An natürlichen Standorten kommt das Mauer-Drehzahnmoos vor allem an kalkreichen Felsgesteinen vor. In der Stadt besiedelt das Moos Mauerwerk, Betonflächen und Gesteinsflächen jeder Art. Es ist eine Lichtpflanze, ein Mäßigwärmezeiger und ein Starktrockenzeiger (Ellenberg et al. 1992).	Am Nord-Ost-Dach des Stephansdoms wurde Tortula muralis flächendeckend in fast jedem Rasterfeld gefunden. Es besiedelt sowohl die Fugen, in denen sich Sedimente angesammelt haben, als auch die Oberflächen mancher Dachziegel
hte	iaceae	Hypogymnia physodes	Blasen- flechte		Die Flechtenart besiedelt bis in die alpine Stufe die Borke von Nadel- und Laubbäumen. Sie gilt als Bioindikator, der zur Ermittlung der Luftqualität im urbanen Raum herangezogen werden kann (Farrar and Smith 1976; Armstrong 1987; Werner 1993).	Die Flechtenart kommt in drei Rasterflächen im Substrat der Fugen vor
Flechte	Parmeliac	Parmelia cf. saxatilis	Blasen- flechte		Die Art ist weltweit verbreitet (Crespo et al. 2002)	Die Flechtenart kommt in drei Rasterflächen im Substrat der Fugen vor



Flechte	Lecanoraceae	Lecanora sp.	Krustenflechte	Sie kommen in Städten an Mauern und an Baumrinden vor (Bachmann 1922).	Die Flechtenart kommt in drei Rasterflächen im Substrat der Fugen vor
Gehölze	Buddlejaceae	Buddleja davidii Franch	Schmetterling sstrauch	Der Sommerflieder stammt ursprünglich aus Asien. Er ist seit den 1920ern im Gartenbau als Zierpflanze in Verwendung. Die Art ist ein invasiver Neophyt, also eine nicht heimische Pflanzenart, die sich rasch massenhaft ausbreitet und heimische Ökosysteme gefährdet (Ebeling, Hensen, and Auge 2008; Kowarik and Starfinger 2002).	Am Nord-Ost-Dach des Stephansdoms wurde ein Individuum außerhalb des Rasters in einer Dachkehle gefunden. Die Höhe betrug 84 cm. Das Gehölz war reich verzweigt und hatte bereits Rispen und Samen ausgebildet.
Gehölze	Rosaceae	Prunus domestica	Kriechen- Pflaume	Die Art ist eine weitverbreitete europäische Kulturpflanze (Lim 2012; Fischer 2008). Die Verbreitung erfolgt durch Mensch und Tier bzw. vegetativ durch Ausläufer	Am Nord-Ost-Dach des Stephansdoms wurde ein Individuum außerhalb des Rasters in einer Dachkehle gefunden. Die Höhe betrug 11 cm.
Gehölze	Salicacea	Populus nigra L.	Schwarz- Pappel	Die Gehölzart ist im vom gemäßigten Klima geprägten Europa sehr weit verbreitet. Die Schwarz-Pappel ist eine Halblicht- und Lichtpflanze sowie ein Wärmezeiger. Außerdem sind Schwarzpappeln Schwachsäure- bis Schwachbasenzeiger, die niemals auf stark sauren Böden wachsen (Ellenberg et al. 1992).	Am Nord-Ost-Dach des Stephansdoms wurde ein Individuum außerhalb des Rasters in einer Dachkehle gefunden. Die Höhe betrug 42cm.

Gehölze	Salicacea	Populus alba L.	Silber- Pappe	Die Gehölzart ist im vom gemäßigten Klima geprägten Europa sehr weit verbreitet. Die Schwarz-Pappel ist eine Halblicht- und Lichtpflanze sowie ein Wärmezeiger. Außerdem sind Schwarzpappeln Schwachsäure- bis Schwachbasenzeiger, die niemals auf stark sauren Böden wachsen (Ellenberg et al. 1992).	Am Nord-Ost-Dach des Stephansdoms wurde ein Individuum außerhalb des Rasters in einer Dachkehle gefunden. Die Höhe betrug 42cm.
Gehölze	Salicacea	Populus tremula L.	Zitter-Pappel	Die Gehölzart kommt vor allem in der kollinen bis subalpinen Stufe vor. Ihre Verbreitung reicht von Zentraleuropa bis Sibirien	Am Nord-Ost-Dach des Stephansdoms wurden zwei Individuen, außerhalb des Rasters, in einer Dachkehle, gefunden. Die Höhen betrugen 54 und 58cm.
Gehölze	Salicacea	Salix cinerea L.s.l.	Aschweide	Die Gehölzart ist ein Nässezeiger, der auf oft durchnässten (luftarmen) Böden (Schwergewicht) und mäßig stickstoffreichen Standorten vorkommt (Ellenberg et al. 1992).	Am Nord-Ost-Dach des Stephansdoms wurde ein Individuum außerhalb des Rasters in einer Dachkehle gefunden. Die Höhe betrug 21cm.
Farn	Aspleniaceae	Asplenium ruta- muraria L	Mauerraute	Die Mauerraute ist ein Schwachsäure- bis Schwachbasenzeiger, niemals auf stark sauren Böden wachsend, sowie vorwiegend stickstoffarme Standorte bevorzugend (Ellenberg et al. 1992).	Am Nord-Ost-Dach des Stephansdoms kommt dieser Fam in jeder unteren Rasterfläche (Reihe 3, 4 und 5) vor. Es ist die häufigste Pflanzenart der Untersuchung im Juni 2017. Die Fame keimen im Sediment oder im Moos, das sich in den Fugen zwischen den Dachziegeln sammelt.

Tab. 6: Auflistung des Vegetationsvorkommens am Stephansdomdach mit dem natürlichen Lebensraum der Pflanzen (nach Lapin et. al, 2017).

Durch seine Lage und Höhe ist der Stephansdom ein besonderer Angriffspunkt für Luftschadstoffe. Moose und Flechten sind bekanntermaßen hoch sensible Indikatoren für eine Reihe umwelttoxischer Substanzen (z.B. HAWKSWORT & ROSE 1970, BURTON 1990, ZECHMEISTER 1994, KIRSCHBAUM &WIRTH 1995). Über die Erfassung dieser sensiblen Pflanzengruppen und die Beurteilung der Vitalität ausgewählter Arten lassen sich einerseits bereits jetzt Aussagen zum aktuellen Stand der Belastung mit Luftschadstoffe machen, andererseits dienen derartige Arbeiten als Grundlage für längerfristige Monitorings-Programme. Bislang gibt es keine Arbeit im Wiener Innenstadtbereich, in der Moose oder saxicole Flechten als Bioindikatoren verwendet wurden (Zechmeister and Grabherr, 1998).



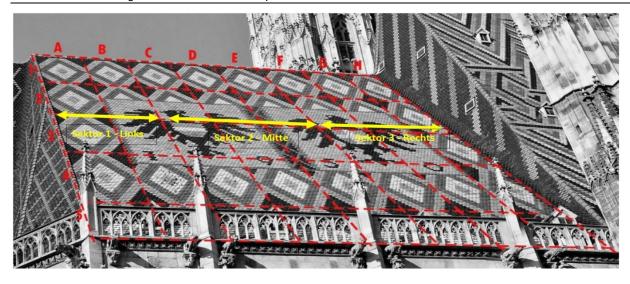
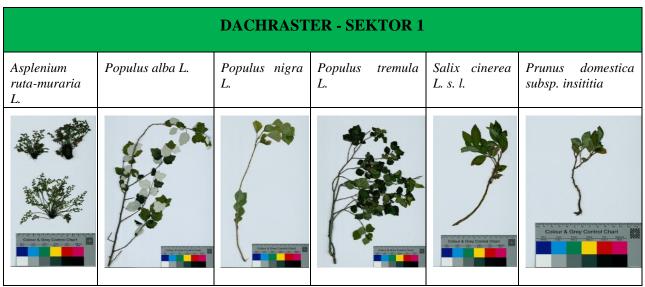


Abb. 10: Einteilung des Daches in Sektorenbereiche für die Bestandsaufnahme der Vegetationsvorkommen (nach Lapin et. al, 2017).

	Vorkommen von Pflanzen-Familien per Sektor-Bereiche						
Sektor 1		Sektor 2		Sel	Sektor 3		
1.	Bryum argenteum	1.	Tortula muralis	1.	Bryum argenteum		
2.	Tortula muralis	2.	Lecanara	2.	Tortula muralis		
3.	Bryum cf. caespiticium	3.	Parmelia cf. saxatilis	3.	Bryum cf. caespiticium		
4.	Physica cf. caesia	4.	Asplenium ruta-muraria	4.	Physica cf. caesia Parmelia		
5.	Hypogymnia cf. physodes		subsp. ruta-muraria		cf. saxatilis		
6.	Asplenium ruta-muraria	5.	Bryum argenteum	5.	Asplenium ruta-muraria		
	subsp. ruta-muraria				subsp. ruta-muraria		
7.	Parmelia cf. saxatilis						

Tab. 7: Aufteilung der Vegetationsvorkommen per Dachraster Sektoren (nach Lapin et. al, 2017)

Bilder gefundener Individuen aus den Pflanzenfamilien, untersuchte Vegetation:



Tab. 8: Vegetationsvorkommen im Sektor 1 (Originalbilder nach Lapin et. al, 2017).



Buddleja davidii Franch Bryum argenteum Hedw Tortula muralis Hedw Line of the control of the

Tab. 9: Vegetationsvorkommen im Sektor 2 (nach Lapin et. al, 2017).

Bildquelle: Buddleja davidii Franch (Originalbild Lapin et. al, 2017)

Bildquelle: Bryum argeneteum Hedw (http://www.cisfbr.org.uk/Bryo/Cornish_Bryophytes_Bryum_argenteum.html) Bildquelle: Tortula muralis Hedw (http://www.cisfbr.org.uk/Bryo/Cornish_Bryophytes_Tortula_muralis.html)

DACHRASTER - SEKTOR 3					
Hypogymnia physodes	Parmelia saxatilis				

Tab. 10: Vegetationsvorkommen im Sektor 3, (nach Lapin et. al, 2017)

Bildquelle: Hypogymnia physodes (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hypogymnia_physodes_G5_(1).JPG)

Bildquelle: Parmelia saxatilis (https://www.biolib.cz/en/image/id32008/)



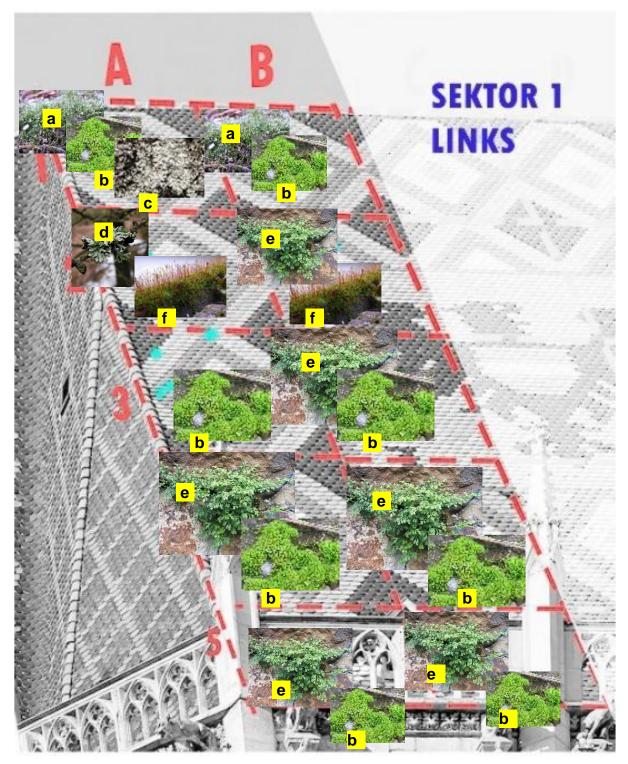


Abb. 11: Vorkommen der Pflanzenarten im Raster der Bestandsaufnahme 2017 / Sektor 1 – Links (Pflanzenfotos sind Beispielfotos aus Wikipedia), (Rastereinteilung – (nach Lapin et. al, 2017)

Bildquelle:

- (a) Bryum aregenteum (https://de.wikipedia.org/wiki/Silbermoos)
- (b) Tortula muralis & Physica cf. caesia (https://de.wikipedia.org/wiki/Mauer-Drehzahnmoos)
- (c) Bryum cf. caespiticium (http://mobile.natur-im-focus.eu/index.php?fil=7&pic=553)
- (d) Hypogymnia cf. physodes (https://de.wikipedia.org/wiki/Hypogymnia_physodes)
- (e) Asplenium ruta-muraria subsp. ruta-muraria (https://de.wikipedia.org/wiki/Mauerraute)
- (f) Tortula muralis (https://de.wikipedia.org/wiki/Mauer-Drehzahnmoos)



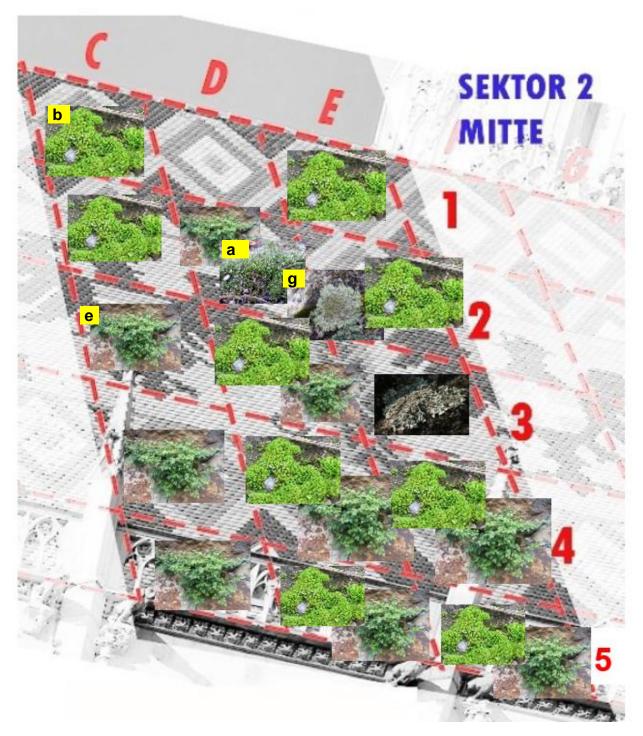


Abb. 12: Vorkommen der Pflanzenarten im Raster der Bestandsaufnahme 2017 / Sektor 2 – Mitte (Pflanzenfotos sind Beispielfotos aus Wikipedia), (Rastereinteilung – (nach Lapin et. al, 2017)

Bildquelle:

- (a) Bryum aregenteum (https://de.wikipedia.org/wiki/Silbermoos)
- (b) Tortula muralis & Physica cf. caesia (https://de.wikipedia.org/wiki/Mauer-Drehzahnmoos)
- (e) Asplenium ruta-muraria subsp. ruta-muraria (https://de.wikipedia.org/wiki/Mauerraute)
- (g) Lecanora (https://de.wikipedia.org/wiki/Lecanora)





Abb. 13: Vorkommen der Pflanzenarten im Raster der Bestandsaufnahme 2017 / Sektor 3 – Rechts (Pflanzenfotos sind Beispielfotos aus Wikipedia), (Rastereinteilung – (nach Lapin et. al, 2017) Bildquellen:

- (a) Bryum aregenteum (https://de.wikipedia.org/wiki/Silbermoos)
- (b) Tortula muralis & Physica cf. caesia (https://de.wikipedia.org/wiki/Mauer-Drehzahnmoos)
- (d) Hypogymnia cf. physodes (https://de.wikipedia.org/wiki/Hypogymnia_physodes)
- (e) Asplenium ruta-muraria subsp. ruta-muraria (https://de.wikipedia.org/wiki/Mauerraute)
- (f) Tortula muralis (https://de.wikipedia.org/wiki/Mauer-Drehzahnmoos)
- $(i)\ Bryum\ cf.\ cae spiticium\ https://de.wikipedia.org/wiki/Rasen-Birnmoos$



3.3 Klimafaktoren

3.3.1 Untersuchungsgebiet

Im Zeitraum Juni bis August 2017 wurden die Vegetation und der Einfluss von Klimafaktoren in der Wiener Innenstadt in Rahmen einer Masterarbeit und einer Studie des Instituts für Botanik der Universität für Bodenkultur in Wien untersucht. Dafür wurden die Nord- und die Südseite des Stephansdomdaches betrachtet.

3.3.2 Geografische Verortung

Die Hauptstadt der Republik Österreich, Wien, liegt im Osten des Landes am östlichen Ausläufer der Alpen. Die Stadt wird nach Osten vom Marchfeld, nach Westen vom Wienerwald, im Norden vom westlichen Teil des weinviertels und im Süden vom Wienerbecken begrenzt. Durch Wien fließt von Norden nach Südosten die Donau. Politisch ist Wien in 23 Bezirke untergliedert, von denen zwei rechtsseitig der donau liegen, der 21-te und der 22-te Gemeindebezirk. Der untersuchte Standort befindet sich im 1. Bezirk. Die GPS-Verortung lautet 48°12`30.4308``(N) und 16°22`23,1888``(E).

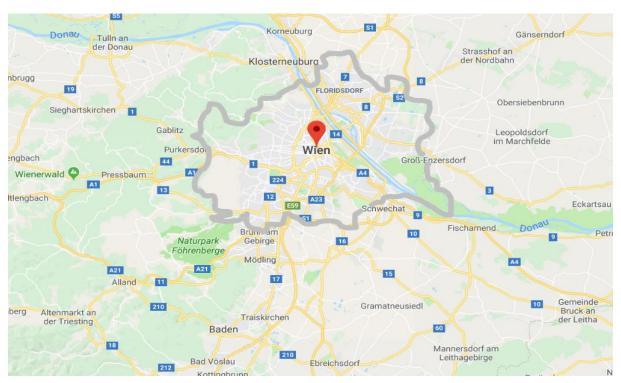


Abb. 14: Verortung des untersuchten Standortes Quelle:www.google.com/maps.

Die klimatischen Verhältnisse des untersuchten Standorts Stephansplatz werden im Kapitel 4.2 anhand von Extremtemperaturen T_{min} und T_{max} dargestellt.



3.3.3 Klimawandel

Gegenwärtig beträgt der Temperaturunterschied zwischen der Stadt Wien und dem Umland bereits zwischen 2-3 °C. Zukünftig wird sich die Differenz weiter erhöhen und nach Schätzungen etwa verdoppeln.

Der steigende Temperaturunterschied geht einher mit weiteren veränderten Hintergrundbedingungen, die viele Städte betreffen werden:

- im Sommer hohe Temperaturen und Trockenheit
- im Winter weniger Kälte
- starke Sturmspitzen
- tlw. hohe Niederschläge
- steigende CO₂-Konzentration

Insbesondere die geringe Verdunstung einhergehend mit fehlender Feuchte sowie die steigende Jahresmitteltemperatur und eine höhere nächtliche Minimumtemperatur sind merkliche Eigenschaften der sich ändernden Bedingungen (Mursch-Radlergruber und Trimmel, 2009).



3.3.4 Extremtemperaturwerte, Messelemente und deren Standorte

In der Abbildung werden die positiven Extremtemperaturen auf der Nord- und Südseite des Stephansdomdaches dargestellt. Die Werte entsprechen der vier Standorten der montierten Thermoelemente (TE-1, TE-2, TE-3 und TE-4) wie im Bild dargestellt. Die Aufnahme der Temperaturen erfolgte in der Zeit von Juli bis September 2017.

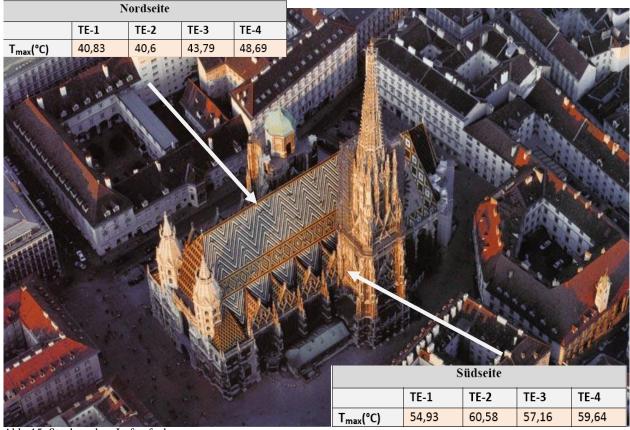


Abb. 15: Stephansdom Luftaufnahme

Quelle:https://austriaforum.org/af/Bilder_und_Videos/Luftaufnahmen/%C3%96sterreich_Vogelperspektive/Wien/Wien_-_Stephansdom).

Mit Hilfe der gemessenen Werte können wir den Verlauf der Klimafaktoren bzw. der Temperaturen auf dem Stephansdomdach untersuchen und daraus die Klimabedingungen, unter denen unterschiedliche Vegetationsvorkommen wachsen, beschreiben.

Laut der aufgenommenen Daten zeigten sich die höchsten Temperaturen auf der Südseite des Daches. Hier wurde ein maximaler Wert von 60,58°C aufgezeichnet. Während auf der Nordseite die maximale Temperatur nur 48,69°C betrug.



3.3.4 Klimaeigenschaften

Eine allgemeine Definition des Klimabegriffes gestaltet sich schwierig, da eine Vielzahl von Faktoren das Klima beeinflussen. Um uns einer Definition des Klimas zu nähern widmen wir uns zunächst dem Wetter als alltäglicher Momentaufnahme des Klimas. Hagel, Sonne, Regen, Schnee, Sturm, Wolken und deren Form, Temperatur und Luftfeuchtigkeit – all dies sind Erscheinungsformen des Wetters. Das Wetter ist jedoch wie das Klima auch von mehreren Faktoren abhängig. Wenn man so will, kann man das Klima als Epochenwetter definieren. Also als Wetter über einen langen Zeitraum (Häckel H, 1985).

Um auch neuen Erscheinungen wie bspw. dem Klimawandel gerecht zu werden, verlässt man die klassische Klimatologie und bezieht auch andere Wissenschaften mit ein, um einen umfassenderen Blick zu gewinnen. Dieses erweiterte System schließt Binnengewässer, Fließgewässer und Ozeane (Hydrospäre), die auf der Erde befindlichen Eisflächen (Kryoshpäre), die auf dem Festland befindlichen Erdböden (Pedosphäre), die unter den Erdböden befindlichen Gesteinsformationen (Lithosphäre) sowie die tektonischen Vorgänge der Erde (die Geosphäre) mit ein.

All diese Komponenten tragen durch physikalische und chemische, gegenseitige Beeinflussung zur Entstehung des Klimas bei (Häckel H, 1985).

3.3.5.1 Niederschlag

Niederschlag als Wetterphänomen kann in zwei veschiedene Formen untergliedert werden: zum einen in festen und zum anderen in flüssigen Niederschlag. Beiden Formerscheinungen ist gemein, dass sie herabfallende aus kondensiertem Wasser bestehende Absonderungen aus Wolken oder Nebel sind.

Darüber hinaus können feste und flüssige Niederschläge noch spezieller unterteilt werden:

- **1.) Flüssige Niederschläge**: a. **Nieselregen** Tropfenradius 0,05 bis 0,25 mm;
 - b. **Regen** Tropfenradius 0,25 bis 3,0 mm;
- 2.) Feste Niederschläge: a. einzelne Eiskristalle "Eisnadeln"
 - b. Schnee als Schnee bezeichnet man unterkühltes Wasser, dass von Kristallisationskeimen ausgehend zu Eiskristallen wächst, sich bis zu einer kritischen Masse zusammenballt und dann zu Boden fällt
 - c. **Hagel** schalenartig aufgebaute Eisklümpchen
 - d. Eiskörner gefrorene Regentropfen

Die Bezeichnung Meteorologie verdankt ihren Namen dem altgriechischen Wort μετεόρος, was so viel wie "in der Luft schweben" bedeutet. Man zählt dazu Feuer- und Wassermeteore. Feuermeteore verglühen beim Eintritt in die Erdatmosphäre zum größten Teil und sind auch Gegenstand anderer Wissenschaften. Wassermeteore treten in den oben beschriebenen Erscheinungsformen auf (Häckel H, 1985).

3.3.5.2 Lufttemperatur

Als wichtigstes Element zur Beschreibung des Klimas dient die Lufttemperatur. Physikalisch wird die Temperatur als mittlere molekularkinetische Energie der Moleküle bzw. Atome definiert. Zur Messung der Temperatur hat sich die Celsius-Skala etabliert. Daneben existieren noch viele andere Skalen, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Das Prinzip einer jeden dieser Skalen macht sich die physikalische Tatsache zu nutze, dass sich Materie mit zunehmender Temperatur ausdehnt. Bei der Celsiusskale sind zwei Fixpunkte festgelegt. Zum einen ist dies der Gefrierpunkt von Wasser als Nullpunkt (0° C) und zum anderen der Siedepunkt von Wasser, der bei 100° C liegt. Eine andere Skala, die Kelvin-Skala, geht vom absoluten Nullpunkt aus. An diesem käme, lässt man quantenmechanische Erscheinungen außer Betracht, die Bewegung der Moleküle zum Stillstand. 0 Kelvin entsprechen -273,15° C (Schönwiese, C.-D., 2013).

3.3.5.3 Luftfeuchtigkeit

Um die Luftfeuchtigkeit zu definieren, bedient man sich verschiedener Parameter. Will man beispielsweise den Wasserdampf, der sich in er Luft befindet, definieren, gibt man ihn als Dampfdruck in der Einheit Hektopascal an. Die absolute Luftfeuchtigkeit, die in Prozent angegeben wird, ist das Verhältnis der Masse an Wasserdampf in g pro Kubikmeter Luft. Unter spezifischer Luftfeuchtigkeit versteht man die Masse an Wasserdampf in Gramm pro Kilogramm feuchter Luft. Der Taupunkt bzw. die Taupunktsdifferenz ist abhängig vom Luftdruck und der Temperatur und wird in °C angegeben.

Darüber hinaus lassen sich Absolutwerte festlegen. Beträgt die relative Luftfeuchtigkeit bspw. 100 %, ist die Luft mit Wasserdampf gesättigt. Überschüssiger Wasserdampf kondensiert zu Tröpfehen oder sublimiert zu Eiskristallen. Der andere Absolutwert, d.h. wasserdampffreie Luft, die einer relativen Luftfeuchtigkeit von 0 % entspricht, wird unter den klimatischen Bedingungen der Erde weder an den Polen noch in den heißesten Wüsten angetroffen (0 % Luftfeuchtigkeit). Die Feuchtigkeitssättigung der Luft ist temperaturabhängig.

Die einzelnen oben beschriebenen Parameter können zusammengeführt werden und so zu einer umfassenderen Beschreibung dienen. Bei einer Temperatur von 10 °C und einer absoluten Luftfeuchtigkeit von 4,7 g / m³ beträgt die relative Luftfeuchtigkeit 50 %. Die relative Luftfeuchtigkeit beschreibt das Feuchteempfinden des Menschen in guter Näherung. Gemessen wird sie mit einem Hygrometer. Der Wasserdampfgehalt der Atmosphäre schwankt im Mittel zwischen unter 1 g/m³ in Polargebieten und über 20 g/m³ in den Tropen (Bammel, K. et. al, 2009).

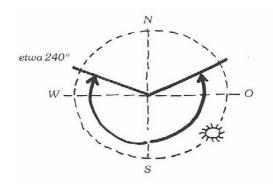
Luftfeuchtigkeit: Maximale Luftfeuchtigkeit über einer Wasserfläche		
Temperatur in °C	Feuchtigkeit in g/m ³	
-20	0,9	
-10	2,1	
0	4,9	
10	9,4	
20	17,3	
30	30	

Tab.11:Maximale Luftfeuchtigkeit über einer Wasserfläche (Bammel K.et,al.,2009)

3.3.5.4 Strahlung

Leben, wie wir es auf der Erde kennen, wäre ohne die direkte oder indirekte Einwirkung der Sonnestrahlung nicht vorstellbar. Ein allgemeines Prinzip des Energieerhaltungssatzes sagt, dass Energie nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden jedoch nicht aus dem Nichts entstehen kann. Die meisten höheren Organismen wie bspw. Menschen sind nur zu einem sehr geringen Prozentsatz in der Lage Sonnenenergie zu nutzen. Für die Aufrecherhaltung der Homöostase sind höhere Lebewesen auf chemische Energieträger angewiesen. Pflanzen stellen diese Energieträger dar. Diese wiederum nutzen die Strahlungsenergie der Sonne zur Produktion von chemischen Energieträgern. Pflanzen sind unbeweglich und müssen daher an die jeweiligen klimatischen Bedingungen angepasst sein. Die Beweglichkeit höherer Organismen geht einher mit einem Verlust an direkter Verwertbarkeit der Sonnenstrahlung (Doernach, 1982).





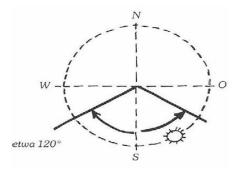


Abb.16:Sommerwinkel,horizontal, R,1982)

Frankfurt (Doernach

Abb. 17: Winterwinkel, horizontal, Frankfurt (Doernach R,1982)

Um den Einfluss des Sonnenlichts auf die Vegetation zu verstehen, muss man sich zuerst mit den physikalisches Eigenschaften des Lichts vertraut machen. Licht weist die Besonderheit auf, dass es abhängig von der Messung als Welle oder Teilchen auftritt. Darüber hinaus besteht Licht aus gequantelten Energieladungen. Sieht man von den molekularen Vorgängen innerhalb der Zellen der Pflanze ab, reicht es Licht als Welle zu betrachten. Diese elektromagnetische Welle breitet sich auch im Vakuum aus. Ist also unabhängig vom Vorhandensein eines Mediums. Nährungsweise kann man auch die Luft durch ihre geringe Dichte bei der Betrachtung vernachlässigen. Alle Kreisläufe auf der Erde wären ohne die Sonne und der von ihr abgestrahlten elektromagnetischen Strahlung undenkbar.

Bezogen auf einige Vorgänge wie das Pflanzenwachstum hat es sich als nützlich erwiesen, die Strahlungsenergie pro Zeiteinheit, die eine Fläche durchdringt, zu definieren. Dieser sogenannte Strahlungsstrom kann formelmäßig wie folgt definiert werden: $J = W/m^2$, wobei W für die Energie pro Zeit also die Leistung und Quadratmeter für die Fläche stehen. Umso weiter sich ein Empfänger von einer Strahlungsquelle entfernt, desto weniger intensiv ist die Strahlung. Geht man von einer punktförmigen Strahlungsquelle, deren Strahlung sich horizontal im Raum ausbreitet, aus, so nimmt die Strahlungsstärke mit dem Quadrat des Radius ab (Häckel H, 1985).

Lambertsches Gesetz

Wie hängen nun Strahlungsstrom und Pflanzenwachstum zusammen? Wäre die Erde flach und würde die Sonne direkt über ihr am höchsten Punkt stehen, würde ausgehend von der gleichmäßigen Ausbreitung der Strahlung an jeder Stelle gleich viel Strahlung absorbiert werden.

Da die Erde jedoch sphärisch ist, trifft das Sonnenlicht unter verschiedenen Winkeln auf die Erdoberfläche. Umso flacher der Winkel, desto größer ist die bestrahlte Fläche. Tab. 12 gibt die Sonnenstände auf verschiedenen Breitengeraden an ausgewählten geographischen Tagen wieder.



Breitengrade ausgewählter Städte und Sonnenstände nach geographischen Tagen			
	Breitengrad	geogr. Tag	Sonnenwinkel
Genua	45°	21. März	45°
		21. Juni 21. Dezember	68° 22°
Wien	48°	21. März	42 °
		21. Juni 21. Dezember	64 ° 18°
Frankfurt am Main	50°	21. März	40°
		21. Juni 21. Dezember	63° 17°
		21.25	2.50
Kopenhagen	55°	21. März 21. Juni	35° 58°
		21. Dezember	12°

Tab. 12: Der jährliche Sonnenkreislauf, (nach Doernach R, 1982), Wien hervorgehoben, https://www.schulferien.org.

Das heißt, dass sich die Energie auf eine größere Fläche verteilt. Das Lambertsche Gesetz stellt genau diesen Zusammenhang zwischen Strahlungsstrom J und dem Winkel, unter dem dieser Strom die Fläche durchdringt (β = Sonnenhöhe), dar.

$$J = J_0 * sin \beta$$

Der Sinus von 90° = 1. Steht die Sonne also direkt über dem Beobachter, ist der Strahlungsstrom bezogen auf die Fläche maximal. Ändert sich hingegen der Winkel, nimmt der Strahlungsstrom bezogen auf die Fläche ab. Dieses Phänomen macht man sich beispielsweise im Weinanbau zu nutze. Abb.19 veranschaulicht das Lambertsches Gesetz (Häckel H, 1985) Die Abb. 16-18 veraunschaulischen das Lambertsche Gesetz.

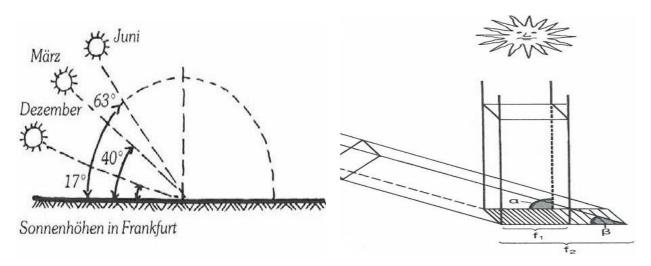


Abb. 18: Sonnenhöhen, Frankfurt (Doernach R, 1982) Abb. 19: Zur Erklärung des Lambertschen Gesetzes (Häckel H, 1985)



4. Empirische Datenauswertung

4.1. Messstation

Für die Begutachtung der Klimafaktoren im Juni 2017 wurde eine Messstation außerhalb des Stephansdomdaches in der Mittelebene der Kirche aufgestellt und außerdem eine Wetterstation für die Datenaufnahme verwendet. Für die Erfassung aller Sensorsignale der Thermoelemente wurde ein Datenlogger(Hobo UX120-14M) verwendet.

Diese Geräte dienten dazu um folgende Klimafaktoren zu erfassen:

- Extremtemperatur
- Niederschlag
- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit



Abb.20: Messstation, (eigene Quelle).



Abb.21: Wetterstation Froggit, (eigene Quelle).



Abb.22: Thermoelemente Datenlogger, (eigene Quelle).

Zur Erfassung der Dachelemente-Exposition wurden im März 2018 Fischaugenaufnahmen durchgeführt und anhand der Aufnahmen folgende Parameter ausgewertet:

- Strahlungsgenuss
- Energie der Sonnenstrahlung

Im Kapitel 4.2.3 findet eine detaillierte Besprechung der Aufnahmen statt. Abbildung. 23 und 24 zeigt die verwendete Fischaugenkamera.





Abb. 20 Fischaugenkamera Abb. 23 zeigt eine Fischaugenkamera mit einer 8mm-Linse. (eigene Quelle).



In der Aufnahme in sind die Kalibrierung und Orientierung der Fischaugenkameras zu sehen.

(eigene Quelle).



4.1.1. Thermoelementen Verortung

Die nachfolgenden Bildaufnahmen sollen die Positionierung der Thermoelemente veranschaulichen. Sie wurden im Juni 2017 montiert. Anschließend wurde von Juni bis September 2017 kontinuierlich die Temperaturen gemessen und an einen Daten-Logger weitergeleitet.

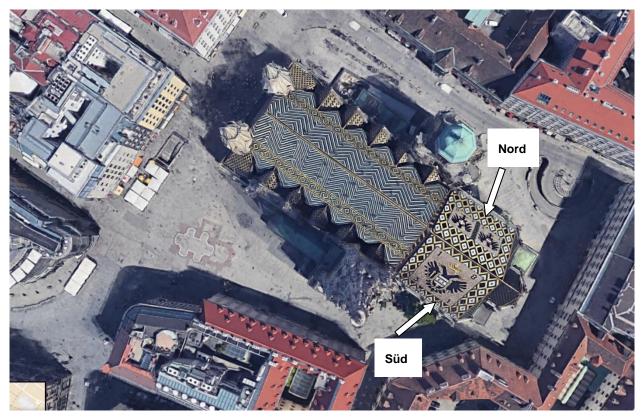
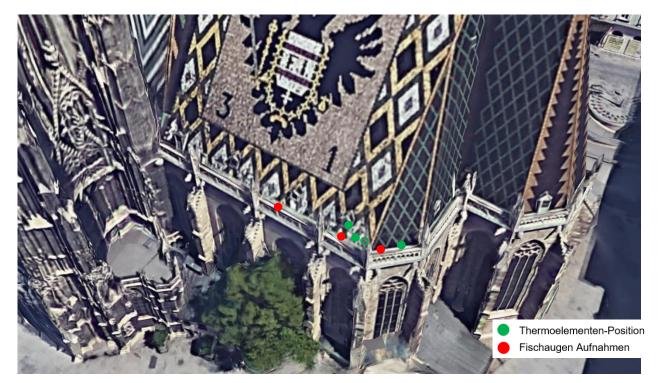


Abb. 22: Stephansdom Dach - Thermoelementen Aufstellung Quelle : www.google.at/maps/place/Domkirche+St.+Stephan

In Abb. 25 ist eine 3D-Luftaufnahme des Stephansdoms zu sehen. Außerdem sind die Ausrichtung des Dachs mit "Nord" und "Süd" bezeichnet.

\ -*****\

4.1.1.1 Südseite Seite Verortung Thermoelemente und Fischaugenaufnahmen



 $Abb.\ 23:\ 3D\text{-}View\text{--}S\"{u}dseite-Positionierung\ der\ Thermoelemente\ und\ Fischaugenaufnahmen}$ $Quelle:\ www.google.at/maps/place/Domkirche+St.+Stephan$

Abb.26 zeigt eine weitere 3D-Aufnahme der Südseite des Doms, in der die Positionierung sowohl der Thermoelemente (grüne Punkte) als auch die der Fischaugenaufnahmen (rote Punkte) eingezeichnet sind. Die Abb. 27 und 28 zeigen die Positionen der Thermoelemente aus der Nähe aus zwei verschiedenen Perspektiven (aus der Frontalsicht und aus der seitlichen Sicht).



Abb. 24: Südseite Positionen TE-1, TE-2, TE-3, (eigene Quelle).



Abb. 25: Südseite-Position TE-4, (eigene Quelle).

4.1.1.2Nordseite Seite Verortung Thermoelemente und Fischaugenaufnahmen

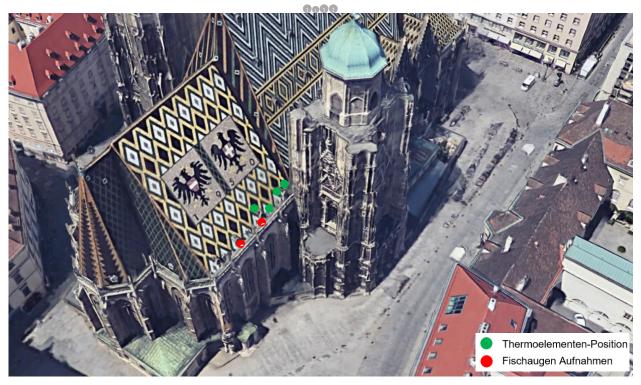


Abb. 26: 3D-View - Nordseite – Positionierung der Thermoelemente und Fischaugenaufnahmen Quelle : www.google.at/maps/place/Domkirche+St.+Stephan



Abb. 27 Nordseite - Positionierung der TE-1, TE-2, TE-3, TE-4, (eigene Quelle).

Abb. 29 zeigt eine 3D-Aufnahme mit der Positionierung der Thermoelemente (grüne Punkte) und der Fischaugenaufnahmen (rote Punkte) auf der Nordseite des Doms, während Abb. 30 eine Detailaufnahme der 3D-Aufnahme zeigt, bei der nur die Position der Thermoelemente TE1-TE4 eingezeichnet ist.



4.2 Messergebnisse - Auswertung von Klimaparametern

Die Aufnahme der Temperaturwerte hat am 19. Juli 2017 angefangen und bis 04. September 2017 angedauert. Um den Einfluss des Standortes und der Klimafaktoren auf die Vegetation und deren Substraten verstehen zu können, wurden mit Thermoelementen die Extremtemperaturen aufgezeichnet. Der höchste Temperaturwert wurde am **4.8.2017** auf der Südseite des Domdachs gemessen. Dies lässt sich mit der Position der Sonne erklären. Wie im Kapitel 3.3.5.4 erläutert wird, hängt dies mit dem Lambertschen Gesetz zusammen Die Sonne steht im Süden am höchsten, dadurch ist der Sinus des Winkels am kleinsten, was wiederum zu einem Maximum des Strahlungsstromes führt.

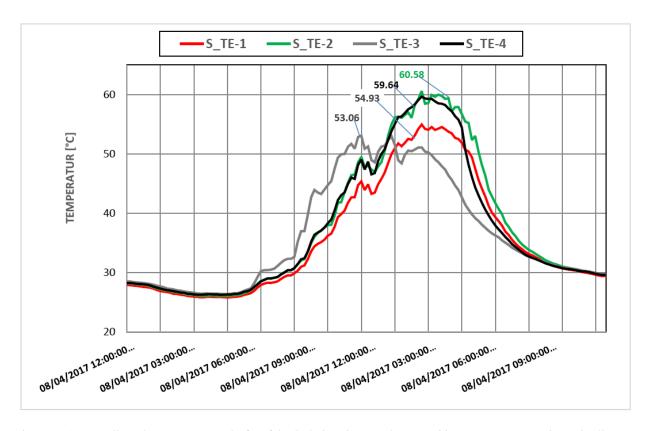


Diagramm 1: Darstellung des Temperaturverlaufs auf der Südseite mit angegebenen positiven Extremwerten (eigene Quelle) Strichfarb entspricht Schindelfarbe (**rot entspricht weißer Schindel**).

Basierend auf den Messergebnissen am Stephansdomdach während der Zeitdauer Juli bis September 2017 wurden die Tage mit den Extremwerten ausgewählt. Für diese ausgewählten Tage wurden die Klimaparameter im Detail bewertet, um deren Einflüsse bestimmen zu können.

Temperatur Werte/	20.Juli.2017	04.August.2017
Datum		
T _{max} Südseite (°C)	57,73	60,58

Tab.13: positive Extremtemperatur und dazugehörige Tage



Daraus folgt, dass die höchste Temperatur, die auf dem Stephansdomdach gemessen wurde, am 04. August 2017 war. Der Wert liegt bei $T_{max} = 60,58^{\circ}\text{C}$. Ein detailierter Verlauf der Temperaturen ist im Diagramm 1 dargestellt. Dieses Datum, der **04. August 2017,** wird als Referenzdatum für die Auswertung der Klimaparameter betrachtet. Als Ergebnis wurde an der Südseite beim Thermoelement TE-2 die höchste Temperatur mit $60,58^{\circ}\text{C}$ um 14:40 Uhr gemessen.

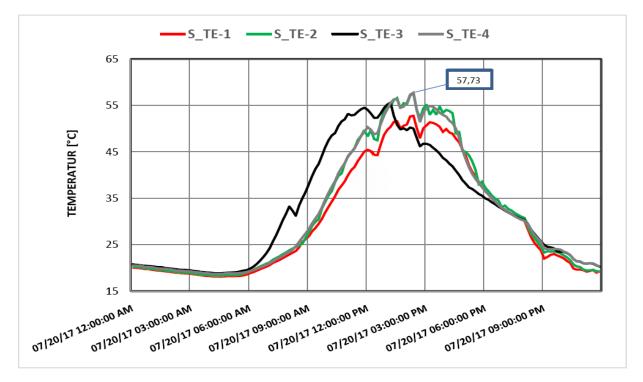


Diagramm 2: Dargestellt ist der von den Thermoelementen TE-1, TE-2, TE-3 und TE-4 aufgezeichnete Temperaturverlauf am 20.07.2017 auf der Südseite des Domdaches (eigene Quelle). Strichfarb entspricht Schindelfarbe (**rot entspricht weißer Schindel**).

Am 20.7.2017 wurde vom Thermoelement TE-4 gegen 14:45 die höchste Julitemperatur auf der Südseite aufgezeichnet. Diese lag bei **57,73** Grad Celsius.

Diagramm 1 zeigt, dass die Temperaturunterschiede auch von den Schindelfarben abhängig sind. Bei den Schindelfarben grün und schwarz traten die höchsten Temperaturen auf, bei weißen und grauen Schindeln traten die niedrigsten Temperaturwerte auf (siehe Tabelle 14).

Die Auswertung der Messergebnisse ergab, dass die Maximaltemperaturen den entsprechenden Schindelfarben zugeordnet werden konnte.

Temperaturabhängigkeit von der Dachschindelfarbe (rot entspricht weißer Schindel).				
Thermoelemente	TE-1	TE-2	TE-3	TE-4
T _{max.} in °C	54,93	60,58	59,64	53,06
Schindelfarben	weiß	grün	schwarz	grau

Tab.14. Maximaltemperaturwerte in Abhängigkeit von der Dachschindelfarbe auf der Südseite



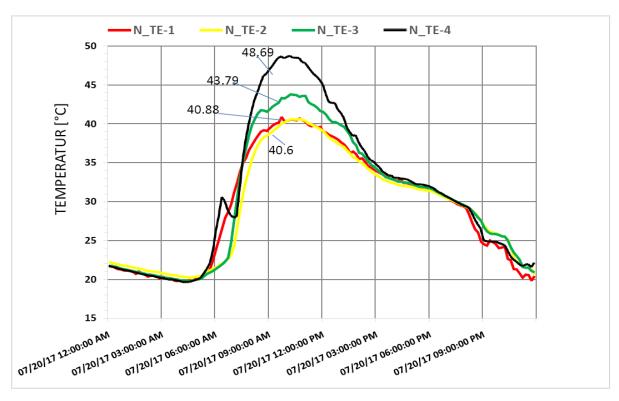


Diagramm 3: Temperaturverlauf am 20.07.2017 – maximale Höchsttemperatur des Nordseite des Domdaches (eigene Quelle). Strichfarb entspricht Schindelfarbe (**rot entspricht weißer Schindel**).

In Diagramm 3 ist der Temperaturverlauf für den 20.7.2017 dargestellt. Darüber hinaus sind die an diesem Tag erreichten Maxima der einzelnen Thermoelemente eingezeichnet. Es ist zu erkennen, dass vom Thermoelement TE-4 mit **48,69°** C die höchste Temperatur aufgezeichnet worden ist. Das Thermoelement TE-2 hat hingegen das für diesen Tag niedrigste positive Maximum mit **40,6°** C verzeichnet.

Temperatur Werte Datum	20.Juli.2017	04.August.2017
T _{max} Nordseite (°C)	48,69	44,31

Tab.15: Extremtemperatur Tage

Diagramm 4 beschreibt den maximalen Temperaturverlauf auf der Nordseite des Domdaches für den Monat Juli 2017. Auch hier waren wie auf der Südseite vier Thermoelemente N_TE-1 bis N_TE-4 positioniert. Am 20.7.2017 wurde vom Thermoelement N_TE-4 die für diesen Monat höchste Temperatur mit **48,69°C** um 9:20 Uhr gemessen.

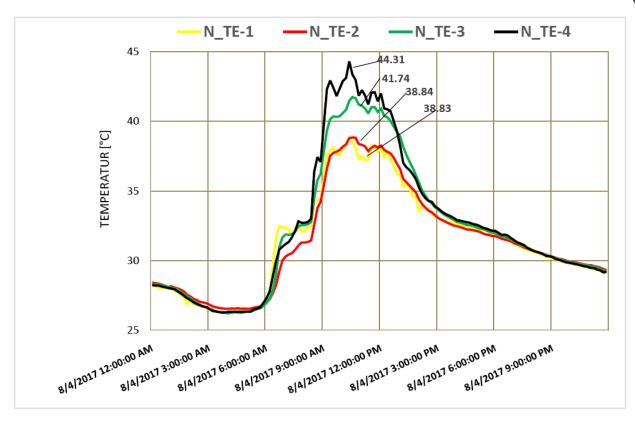


Diagramm 4: Temperaturverlauf am 04.08.2017 – Nordseite des Domdachs (eigene Quelle). Strichfarb entspricht Schindelfarbe (rot entspricht weißer Schindel).

Im Diagramm 4 sind die niedrigsten Maxima der Höchstemperaturen der von den Thermoelementen aufgezeichneten Extremwerte für den Monat August 2017 eingezeichnet. Diese wurden am 4.8.2017 erreicht. Während das Thermoelement TE-4 einen Maximalwert von 44,31°C aufzeichnete, lag das absolut niedrigste Maximum der Höchsttemperaturen bei 38,83°C und wurde vom Thermoelement TE-1 aufgezeichnet.

Auf der Nordseite wurde vom Thermoelement TE-3 die höchste Temperatur auf einer schwarzen Schindelfarbe detektiert. Bei weißen, grauen und gelben Schindeln wurden die niedrigsten Temperaturwerte gemessen (siehe Tabelle 16).

Temperaturabhängigkeit von der Dachschindelfarbe (rot entspricht weißer Schindel).				
Thermoelemente	TE-1	TE-2	TE-3	TE-4
T _{max.} in °C	40,83	43,79	48,69	40,6
Schindelfarben	weiß	grün	schwarz	gelb

Tabb 16. Maximaltemperaturwerte in Abhängigkeit von der Dachschindelfarbe auf der Nordseite



4.2.1 Darstellung der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit

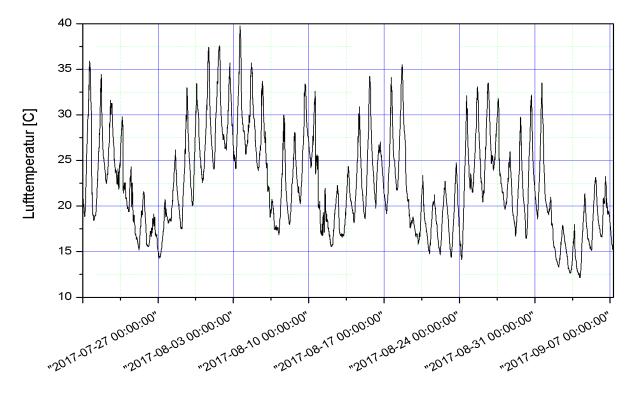


Diagramm 5: Lufttemperatur (eigene Quelle).

In Diagramm 5 ist der zeitliche Verlauf des Lufftemperatur im Zeitraum vom 27.07.2017 bis 7.09.2017 dargestellt. Das Maximum betrug 40 C⁰ und wurde am 3.08.2017 gemessen.

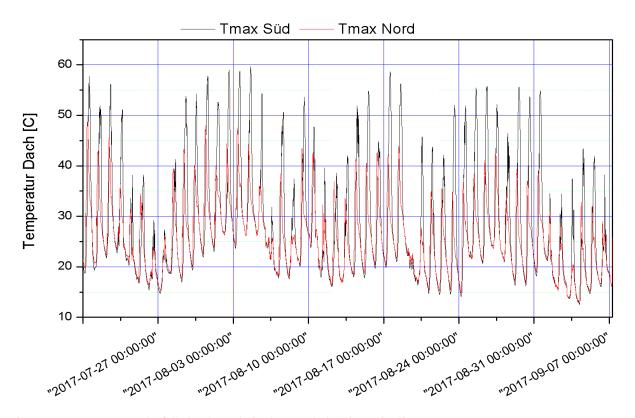


Diagramm 6: Temperaturverlauf Süd und Nordseite des Domdachs (eigene Quelle)



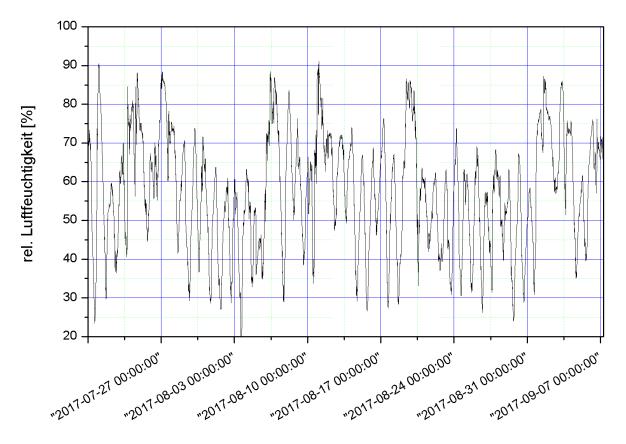


Diagramm 7: Luftfeuchtigkeit (eigene Quelle).

In Diagramm 7 ist die Luftfeuchtigkeit gegen die Temperatur aufgetragen. Dies dient der Charakterisierung der Untersuchungsperiode. Der maximale Wert der Luftfeuchtigkeit lag bei 90%. Er wurde Ende Juli und anfang August 2017 registriert.



4.2.2 Darstellung des Niederschlags in [mm/h]

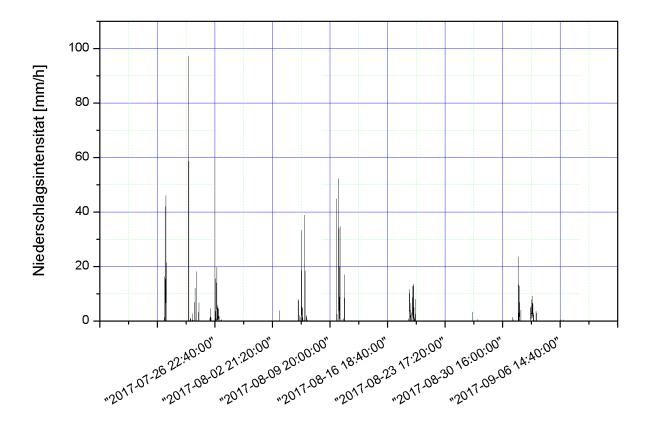


Diagramm 8: Niederschlag (eigene Quelle).

In Diagramm 8 ist der zeitliche Verlauf des Niederschlags im Zeitraum vom 26.07.2017 bis 6.09.2017 dargestellt. Das Maximum betrug 50 mm und wurde am 12.08.2017 gemessen.



4.2.3 Fischaugenaufnahme der Nord- und Südseite

Im März 2018 wurden hemisphärische Aufnahmen von dem Standort Stephansdomdach gemacht. Der Zweck dieser Aufnahmen ist, dass man in weiterer Folge die Sonnenbahn über die Aufnahmen legen kann und damit die Exposition.

Die Aufnahmen wurden mit einer Kamera mit speziellem Fischaugenobjektiv gemacht. Das Stativ, auf dem die Kamera montiert wurde, befand sich direkt auf dem Umgehungsweg des Stephansdomdachs. Die Wetterstationen befand sich in der mittelbaren Umgebung. Das Kameraobjektiv wurde horizontal gegen den Himmel gerichtet. Für die Aufnahmen wurde aus diesem Grund ein Tag gewählt, an dem es bewölkt war, damit ja keine Sonnenstrahlen auf das Objektiv fallen. Der Sky-view Faktor des Standortes lässt sich mit den Aufnahmen sehr gut bestimmen. Er beschreibt den Prozentsatz des Himmels, der von dem Standpunkt aus sichtbar ist. Abb. 31 und 32 zeigen beispielhaft je eine Aufnahme der Nord- und der Südseite des Doms.



Abb. 28: Fischaugenaufnahme Standort Stephansdomdach Nordseite, (eigene Quelle).



Abb.29:Fischaugenaufnahme Standort Stephansdomdach Südseite, (gene Quelle).

4.2.3.1 Berechnung der Sonnenbahn mit dem Programm HemiView

Zur Charakterisierung des Standortes wurden Fischaugenaufnahmen angefertigt und mit Hilfe des Programms "HemiView" verschiedene Parameter berechnet, die für das Pflanzenwachstum und die Substratbildung wichtig erscheinen. Neben der Sonnenbahn waren dies vier weitere Faktoren. Der ISF oder indirekter Standortfaktor beschreibt den Anteil an diffuser Strahlung. Unter diffuser Strahlung versteht man jenen Anteil der Sonnenstrahlung, die gestreut wurde und

die die Pflanzen am ausgewählten Standort relativ zum offenen Gelände erreicht und somit für diese verwertbar ist. Der direkte Standortfaktor (DSF) beschreibt die die Messstation erreichende Strahlung wieder relativ zum offenen Gelände. Weiters sei der GSF (globaler Standortfaktor) zu nennen, der die Flächenstrahlung unterhalb etwaiger Bebauungshindernisse charakterisiert. Die Sonnenscheindauer SSD gibt an, wie lange die direkte Sonneneinstrahlung am jeweiligen Standort gedauert hat. Die letzgenannten drei Faktoren können Werte zwische 0 und 1 annehmen. Bei einem Wert von 0 wäre die Strahlung minimal also quasi nicht vorhanden. ein Wert von 1 bedeutet ein Maximum an Strahlung. Ein letztes Parameter ist der VisSky-Wert beschrieben werden. Der VisSky-Wert oder Himmelsichtwert gibt die freie Sicht auf den Himmel an. Bei Bauwerken wie dem Stephansdom kann dieser Wert als konstant bezogen auf einen fixen Standort angesehen werden (Rich et. al, 2016).

Methodisch wurde wie folgt vorgegangen: Die Fischaugenaufnahmen wurden an einem bewölkten Tag gemacht, um direkte Sonnenstrahlung, die zu verfälschten Ergebnissen führen würde, zu vermeiden. Die Aufnahme entstand im April 2018. In die Aufnahmen wurde dann mit Hilfe des HemiView-Programms die Sonnenbahn als violette Linie eingezeichnet. Das grüne Gitter deckt alle möglichen Sonnenpositionen im ausgewählten Zeitraum ab. In den Abbildungen 33 und 34 sind die Nordseiten- und die Südseitenaufnahmen mit eingezeichneter Sonnenbahn (lila Linie) und Sonnenverlaufsquadranten (grünes Gitter) zu sehen.

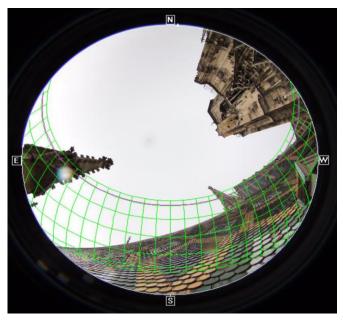


Abb. 30: Hemiview_ Nordseite (eigene Quelle)

Standortfaktoren _ 20.7. 2017					
	VisSky	ISF	DSF	GSF	SSD in h
Nordseite	0,713	0,793	0,752	0,759	15,5

Tab.17: Hemiview Standortfaktoren _ Nord Seite (eigene Quelle)



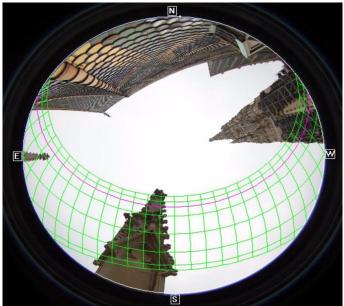


Abb. 31: Hemiview_Südseite (eigene Quelle)

Standortfaktoren 04.8.2017					
VisSky ISF DSF GSF SSD in h					
Südseite	0,669	0,766	0,615	0,640	15,5

Tab.18: Hemiview Standortfaktoren_Südseite (eigene Quelle)

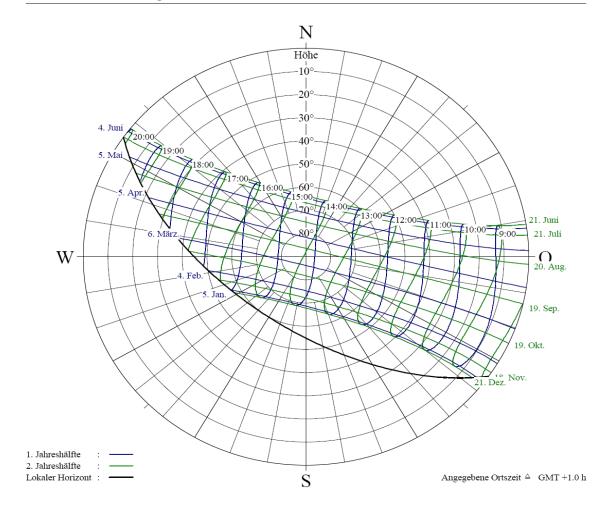
4.2.4 Sonnenbahn entsprechend der Dachneigung und Dachausrichtung

Für die theoretische Berechnung der Sonnenbahn und die Übertragung auf ein polares Koordinatensystem wurde die Software SunOrb verwendet. Die notwendigen Daten, die eingegeben werden mussten, um die Berechnung durch das Programm durchführen zu lassen, waren die genauen Koordinaten des Standortes, das Datum und die exakte Uhrzeit. Die Diagramme 9 und 10 zeigen die errechneten Sonnenbahnen sowohl für die Nordseite als auch für die Südseite des geneigten Stephansdomdaches. Darüber hinaus sind zwei Kurvenscharen in den Diagrammen zu sehen. Die blaue Kurvenschar zeigt den Sonnenverlauf für die erste Jahreshälfte, die grüne Kurvenschar für die zweite Jahreshälfte. Unter der in schwarz eingezeichneten Linie, ist die Neigung der Dachfläche 60°, der Sonnenverlauf am ausgewählten Tag relativ zur Beobachtungsebene zwischen den astronomischen Polen zu verstehen (Unger H.et.al, 1997).



Sonnenstandsdiagramm





Standort: wien

Geograph. Länge : 13.43° O Neigung : 60°
Geograph. Breite : 52.50° N Ausrichtung : 215°

Jahresmittlere Tageslänge: 9 h 58 min

© RUB-NES, Bochum, 1997

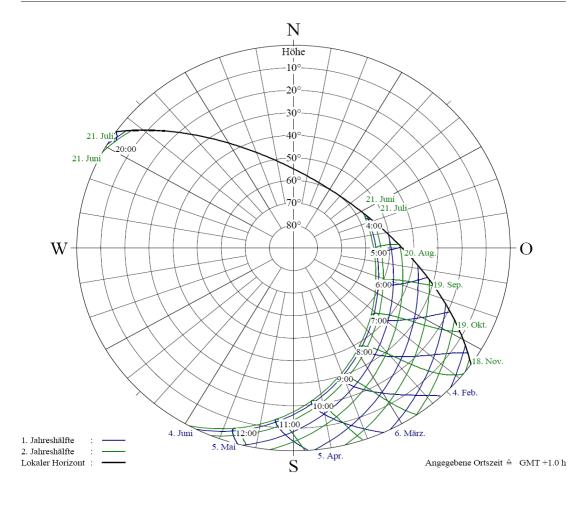
Diagramm 9: Sonnenstandsdiagramm Südseite

Am 4.August 2017 um 14:40 Uhr betrug die maximale Temperatur **60,58**⁰ und wurde vom Thermoelement S_TE-2 detektiert. Laut Berechnung mit SunOrb belief sich die Jahresmittlere Tageslänge auf 9 h und 58 min (Unger H.et.al, 1997).



Sonnenstandsdiagramm





Standort: wien

Geograph. Länge : 13.43° O Neigung : 60°
Geograph. Breite : 52.50° N Ausrichtung : 35°

Jahresmittlere Tageslänge: 4 h 25 min

© RUB-NES, Bochum, 1997

Diagramm 10: Sonnenstandsdiagramm Nordseite

Auf der Nordseite des Stephansdomdaches wurde am 20. Juli 2017 um 9:20 Uhr die Maximaltempertur von **48,69**°C um gemessen. Die Jahresmittlere Tageslänge betrug 4h und 25 min und wurde vom Thermoelement N_TE-4 regestriert (Unger H.et.al, 1997).



4.2.5 Exposition der Dachfläche

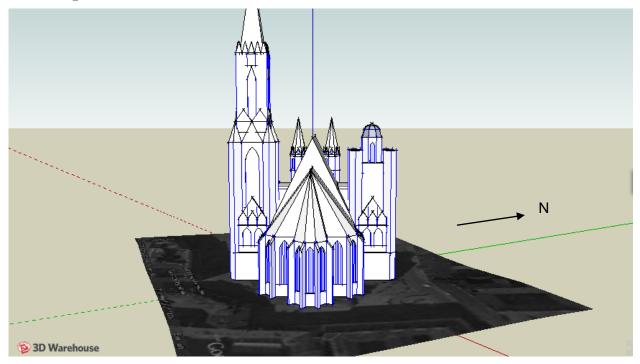


Abb .35. 3D-View Stephansdom

Quelle: https://3dwarehouse.sketchup.com/model/9ee733fa80e5c0ed91a844fb5460e53e/Stephansdom-Cathedral-of-Saint-Stephen?hl=de.

Anhand dieser Abbildung kann man die komplexe Geometrie des Daches erkennen. Dies erklärt, warum es aufgrund der Exposition der Dachfläche zu einer unterschiedlichen Sonneneinstrahlung zwischen der Nordseite und der Südseite des Daches kommt. Die Südseite des Daches weist eine deutliche höhere Sonneneinstrahlung auf. Zwar stand laut dem Programm SunOrb die Sonne am 6. Oktober um 13:56 Uhr im rechten Winkel zum Dach und Sonneneinstrahlung war somit maximal, dennoch sollte man andere Faktoren wie den Jahresverlauf und die unterschiedliche Farbe der Dachschindel nicht vernachlässigen (Unger H. et.al, 1997).



4.3 Substratanalyseauswertung

Die Bestimmung der Laboranalyse erfolgte mit der Hilfe von Frau Herrman, Christa im Labor des Instituts für Geographische- und Regionalforschung der Universität Wien. Der pH-Wert des Materials wurde in laufender Zusammenarbeit mit dem Institut für Botanik der Universität für Bodenkultur nach ÖNORM 1083 ermittelt.

Während der Sanierungsarbeiten des Stephansdomdaches durch die beauftragte Firma HOLZCO GmbH wurde gleichzeitigt die Begutachtung des Nord-Ost-Daches im Mai 2017 seitens der Universität für Bodenkultur durchgeführt. Die Begutachter untersuchten hauptsächlich das Vegetationsvorkommen an den Dachschindeln des Stephansdoms (Lapin et. al, 2017). In dieser Masterarbeit wurden die gewonnenen Substratboden analysiert um die Frage nach der Zusammensetzung und damit die Voraussetzungen für Pflanzenwachstum zu klären.



Abb. 36: Dargestellt ist der Ablauf der Auswertung des Substratvorkommens, (Eigene Quelle).

Die entnommen Bodensubstrate wurden in der Zeit von Juni bis August 2017 im Labor des Institutes für Geographie und Regionalforschung an der Universität Wien analysiert und ausgewertet.

Zur Analyse des Substrats wurde die gesamte vorhandene Vegetation auf der Nordseite des Stepansdomdaches entnommenen. Anschließende wurden die festen, groben Pflanzenbestandteile vom Substrat getrennt und der übrig gebliebene Rest durch ein Feinsieb

gesiebt. Eine Rohsubstratmenge von 850 g konnte durch das Trennen der groben Pflanzenteile vom Rest gewonnen werden. Nach dem Feinsieben verblieben 528 g für die weitere Analyse. In der Ausschussmenge wurden diverse angeflogene Fremdteile wie Pferde- und Menschenhaare, Ziegelsplitter und weitere Pflanzensamen identifiziert. Mit der nach dem Feinsieben resultierenden Menge wurde eine Laboranalyse durchgeführt.

Frischprobe	Ungesiebtes Substrat	Ausschussmenge	Gesiebtes Substrat
Abb. 37 (eigene Quelle)	Abb. 38: (eigene Quelle)	Abb.39: (eigene Quelle)	Abb.40:(eigene Quelle)
	850g	322g	528g

Tab.19: Übersicht Substratvorkommen-Phasenarten (frisch, ungesiebt, gesiebt u. Ausschuss) aus den Fugen des Stephansdomdaches

Für die gesiebten Substratmengen wurden dann die spezifischen Eigenschaften wie z.B. pH-Wert, Carbonatgehalt, Korngröße, organische Substanz (Glühverlust), Wassergehalt und Nährelemente im Labor untersucht.

4.3.1 pH-Wert

Es wurde der pH-Wert der gesamten und gesiebten Probe unter Verwendung eines pH-Meters analysiert, um beurteilen zu können, um welchen Substrattyp (alkalisch, neutral oder sauer) es sich handelt.



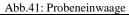


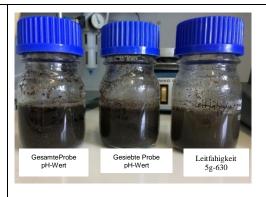


Abb.42: pH-Wertmessung

Die Durchführung der Untersuchungen für die Bestimmung der Boden pH-Werte wurde laut ÖNORM L-1083 gemacht:

1.	Abb.43. Probenentnahme ,(eigene Quelle)	1. Entnahme der Probe
2.	Abb.44: Filtrierung ,(eigene Quelle)	2. Filtrierung der Probe
3.	Abb.45: Messung ,(eigene Quelle)	3. Messung der Leitfähigkeit des Wassers als Vergleichswert
4.	Abb.46: Messung ,(eigene Quelle)	4. Messung der Leitfähigkeit der entnahmene Probe

5.



 Messergebnisse: Vergleich der pH-Werte und der Leitfähigkeit der Proben

Abb. 47: Messergebnisse, (eigene Quelle)

Die Ergebnisse der Laboranalysen der Substratvorkommen werden in der Tabelle 20 zusammengefast:

Substrat		Messwert	Klassifizierung
pH Wert	Gesamt Probe	6,08 pH	Saurer pH-Wert
	Gesiebte Probe (2mm)	6,24 pH	Saurer ph-Wert
Leitfahigkeit	Filtrierte Probe - Summe der gelosten Stoffen	283 μS/cm	Geringe Leitfähigkeit

Tab.20: Substrat Laborergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse aus dem Labor deuten auf einen **sauren pH-Wert** der Substratvorkommen hin.

Die geringe Leitfähigkeit deutet darauf hin, das ein gewisser Anteil an Mineralstoffe in dem Substrat vorhanden ist.



4.3.2 Carbonatgehalt

Um die Höhe der Kalkhaltigkeit des Bodens bestimmen zu können wurde der Carbonatgehalt des entnommenen Substrates untersucht. Für die Bestimmung und Untersuchung des Carbonatgehaltes wurde ein "Scheiblers Apparat" (siehe nebenstehende Abb.48) verwendet. Das Ergebnis der Messungen des Carbonatgehalts liegt bei einen Wert von 13,09%. Laut Normen enthält das Substrat sehr wenig Carbonat

(1) Berechnungsformel für Carbonatgehalt laut ÖNORM L-1084:

$$\omega \text{CaCO}_3 = \frac{x * p * 1,204}{(t + 273,2) * EW}$$

ωCaCO $_3$ Masenanteil an Carbonat in g CaCo $_3*kg^{-1}$ x abgelesenes Volumen des freigesetzten CO $_2$ in ml

p abgelesener Luftdruck (Barometersatnd)in hPa

t abgelesene Raumtemperatur °C

EW Einwagge in g

1,204 Faktor in dem alle Konstanten zusammengefast wurden (Österreichisches Normungsinstitut, 2006)

Untersuchungsergebnis gemäß ÖNORM L-1084:

Carbonatgehalt = 13,09%



Abb.48:Scheibler Apparat (eigene Quelle)

4.3.3 Wassergehalt

Um den Sättigungsgrad des Bodens bzw. um die Trockenheit bestimmen zu können, wurde der Wassergehalt untersucht. Hierfür wurde die Bewertung aus der ÖNORM L-1062 Physikalische Bodenuntersuchungen - Bestimmung des Wassersgehaltes und des Wasseranteils angewendet.

Für die Bestimmung des Wassergehaltes wurde das Substrat durch zwei unterschiedliche Siebe mit einem Porendurchmesser von 2 mm (Sieb 1) und einem Porendurchmesser von 630 µm

(Sieb 2) gesiebt. Anschließend wurde das gesiebte Substrat in Formen zu einheitlichen Größen gepresst, die Masse (m₁) vor dem Trocknungsverlust mit einer Waage bestimmt und notiert. Die gepressten Substratkuchen wurden für 24 h in den Trockenschrank bei 105° C gegeben und danach im Exsikkator auf Raumtemperatur abgekühlt. Wieder wurde gewogen und die Masse m₂ bestimmt. Der Trocknungsverlust wurde dann nach Berechnungsformel (2) berechnet.

(2) Berechnungsformel für Wassergehalt laut ÖNORM L-1062:

$$m_{H2O} = \frac{m1 - m2}{m2 - m0} \ 100$$

 $m_{\rm H2O} = Wassergehalt \ in \ Prozent \ der \ Masse$

 $m_0 = Tara in g$

 $m_1 = (Tara + Boden feucht) in g$

 $m_2 = (Tara + Boden \ getrocknet \ bei \ 105°C) \ in \ g$

(Österreichisches Normungsinstitut, 2003)

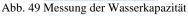
Untersuchungsergebnisse:

Wassergehalt ungesiebte Probe H_2O aus Trockensubstanz = 3,26%

Auf grund des geringen Wassergehaltes, deutet das Substrat darauf hin , dass der Boden trocken ist.

Verwendete Messgeräte:





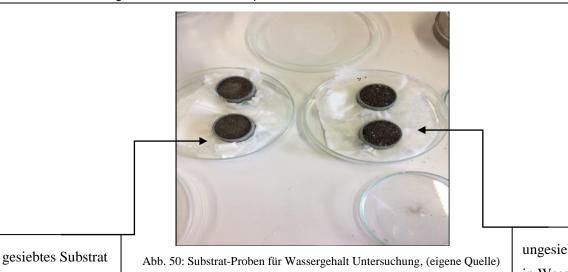
(eigene Quelle)

Trockenschrank
105°C ± 5°C



Flaviu-Ioan Danila, Universität für Bodenkultur Wien - 2018





in Wasser getränkt

ungesiebtes Substrat in Wasser getränkt

Berechnung der Wasserkapazität anhand von Substratproben vom Stephansdom-Dach:

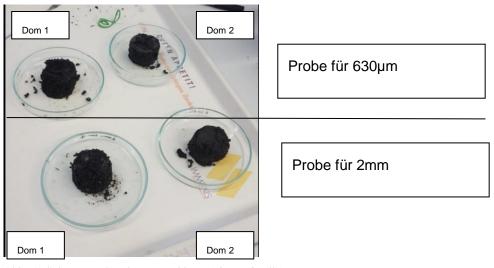


Abb. 51 Substrat-Proben 2mm vs. 630 μm,(eigene Quelle)

(3) Berechnungsformel für Wasserkapazität laut ÖNORM L-1062:

$$m_{H2O} = \frac{m1 - m2}{m2 - m0} \ 100$$

 $m_{H2O} = Wassergehalt in Prozent der Masse$

 $m_0 = Tara in g$

 $m_1 = (Tara + Boden feucht) in g$

 $m_2 = (Tara + Boden \ getrocknet \ bei \ 105^{\circ}C) \ in \ g$

 $W_k = Wasserkapazit$ ät

(Österreichisches Normungsinstitut, 2003)



Untersuchungsergebniss:

Substrat Proben	Wassergehalt [%]
Dom1	23,8
Dom 2	20,6
Dom 1	21,3
Dom 2	19,4
Durchschnitt	21,3

Tab.21. Ergebnisse des Wassergehaltes

Die durchschnittliche Wasserkapazität der Proben beträgt 21,3%. Daraus kann man schließen das der Sättigungsgrad des Bodens relativ gering is

4.3.4 Organische Substanz (Glühverlust)

Für die Untersuchung der organischen Substanzen wurde die ÖNORM L1079 - Chemische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der organischen Substanzen als Glühverlust (Ausgabe: 1999-04-01) berücksichtigt. Diese Norm dient der Bestimmung von organischen Substanz von Moorböden sowie von Böden mit einem Gehalt an organischer Substanz (Humus) von mehr als 10%. (ÖNORM L1079)

Zur Bestimmung des Glühverlustes wurde das Substrat laut Norm durch zwei unterschiedlich große Siebe mit den Porendurchmessern 2 mm und 630 µm gesiebt. Anschließend wurden die Substrate eingewogen und kamen für jeweils 4 h bei 450 ° C in einen Muffelofen. Es wurde nach dem ersten Glühen die Masse bestimmt und die Proben danach nochmals für 4 h bei 550° C im Muffelofen geglüht. Hiernach wurden die Proben im Exsikkator abgekühlt und wieder gewogen. Mit den gemessenen Massen wurde dann nach Formel (4) der Glühverlust berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 22 protokolliert.



(4) Berechnungsformel für Glühverlust laut ÖNORM L-1079:

$$GV = \frac{(m_b - m_c)100}{(m_b - m_a)}$$

 $m_a = M$ asse der leeren Porzellanschale in g

 $m_b = {\it Masse der Porzellanschalle mit der Trockenmasse des Bodens in g}$

 $m_c = {\it Masse der Portszellanschalle mit der gegl\"{u}hten Trockenmasse in g}$

Es werden auf 0,1% gerundete Werte angegeben.

Die Abweichungen der Ergebnisse zweier Bestimmungen vom Mittelwerten dürfen ± 5% des Mittelwertes nicht überschreiten.

(Österreichisches Normungsinstitut, Glühverlust 1999)

Ablaufschritte der Messverfahren:



Abb.52: Phase 1, Substrate sieben,(eigene Quelle)



Abb.53: Phase 2, Substrate messen, (eigene Quelle)



Laut Untersuchungsergebnissen ergibt sich:

Probe	Korn- größe	Masse			Tempe ratur	Glühverlust [%]	Glühverlust [g]
		Leere Porzellansc hale [g]	Porzellanschale mit ungeglühter Trockenmasse [g]	Porzellanschal e mit geglühter Trockenmasse [g]			
1	< 2mm	30,3443	44,1766	40,3280	450°	27,82%	3,8486
1				40,2630	550°	28,25%	3,9136
2	630µm	31,8494	45,3925	43,4891	450°	14,05%	1,9034
2				43,4377	550°	14,43%	1,9548

Tab.22: Berechnung Glühverlust lt. ÖNORM L-1079

Glühverlust der Proben nachdem sie im Muffelofen bei 450° C geglüht wurden:

(1) 2 mm mit Farn: 3,8486 g

(2) 630 µm ohne Farn: 3,9136g

Glühverlust der Proben nachdem sie im Muffelofen bei 550° C geglüht wurden:

(1) 2 mm mit Farn: 1,9034g

(2) 630 µm ohne Farn: 1,9548 g

Die Resultate des Glühverlustes ergeben Werte über 10% Hohe Glühverluste deuten auf einen hohen Anteil an organischer Subtanz in der Probe hin. Der mineralische Anteil kann über den Glühruckstand bestimmt werden. Die Differenz zwischen der aufgegebenen Gesamtmasse, abzüglich des Glühruckstandes zur aufgegebenen Gesamtmasse bildet den Glühverlust.



4.3.5 Korngröße

Für die Bestimmung der Korngrößenveteilung des Mineralbodens – Feinboden < 2mm wurden die ÖNORMen L1050, L1061 und B4412 angewendet.

Laut oben erwähnten ÖNORMen sind die Massenanteilen des Feinbodens in folgende Korngrößenklassen Sand (S), Schluff (U) und Ton (T) aufgeteilt. Zusätzlich wurden hierfür auch die Kornverteilung und Summenlinien bestimmt (siehe Abb.54).

Die Ergebnisse der Untersuchungen lauten:

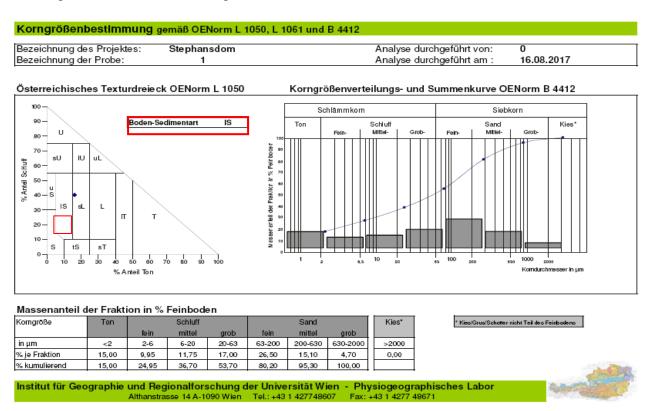


Abb.54: Korngrößenbestimmung und Massenanteilbestimmung

Aus den entnommenen Substraten wurde die Korngröße untersucht lt. ÖNORM L1050 und B4412.

Aus der Untersuchung des Korngröße-Diagramms kann man erkennen, dass die prädominierende Korngröße der Substrate der Gruppe Siebkorn bzw. Sand angehört. Hier konnte man überwiegend die Boden-Sedimentart **Sand** mit Fein-Sandkorn (26,50%) bis Mittel-Sandkorn (15%) finden.

Als sekundäre Boden-Sedimentart platziert sich die Boden-Sedimentart **Schluff** mit der Grobkornklasse (17%), diese gehört zuden Substraten der Gruppe der Schlammkorne.

Der Anteil des **Tons** beträgt ebenso wie beim Fein-Sandkorn 15%.



4.3.6 Säureextrakt zur Bestimmung von Nähr- und Schadelementen

Für die Bestimmung der Nährelemente wurden die Untersuchungen laut ÖNORM L1058 durchgeführt. Dabei wurde der Fokus auf die Analyse der Nährelemente gelegt und auf die Untersuchung der Schadelemente verzichtet, da diese für das Wachstum und die Substratbildung nicht von Bedeutung sind. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle Nr. 23. protokolliert.

Nährelemente		Stephansdom 1(probe)	Stephansdom 2(probe)
		[mg/l]	[mg/l]
1	Al	141.0	130.9
2	Fe	248.2	244.8
3	Ca	502.2	499.8
4	Mg	157.9	157.3
5	Na	7.7	7.8
6	K	25.4	125.0
7	Mn	10.20	10.31
8	Р	16.75	13.15
9	Со	0.18	0.18
10	Cu	5.20	4.90
11	Ni	1.26	1.15
12	S	14.80	54.50
13	Zn	12.44	11.90

Tab.23: Laborergebnise der Nährelmente lt. ÖNORM L-1058

Die wichtigste Nährelemente der Pflanzen sind Sticktoff, Phosphor, und Kalium. Anhand der Tabelle 23 kann man jedoch erkennen, dass der Gehalt an Calcium, Eisen, und Aluminium deutlicher überwiegt. Dies kann wahrscheinlich auf die Materialzusammensetzung der Dachschindeln zurückgeführt werden. Da bei der Untersuchung nur bestimmte Metalle bestimmt wurden, ist Stickstoff nicht in den Ergebnisse enthalten.



5. Schlussfolgerung / Diskussion

In der vorliegenden Arbeit sollten die Einflüsse des Klimawandels auf die Vegetation am Dach des Wiener Stephansdomes untersucht werden. Es wurden verschiedene Messverfahren angewandt, die die Klimaparameter abgebildet haben. Weiters wurde die vorhandene Vegetation auf der Nordostseite in einer zweiten wissenschaftlichen Arbeit betrachtet und aufgelistet (Lapin et. al, 2017). In einer umfangreichen wissenschaftlichen Arbeit aus dem Jahre 1998 (Grabherr und Zehmeister) wurden 27 Pflanzenarten gefunden. Grabherr und Zehmeister untersuchten dabei die gesamte Vegetation am Gebäude des Stephansdoms inklusive des Dachbereichs im Zeitraum einer ganzen Vegetationsperiode. Auf der Nordseite fanden sie 10 verschiedene Pflanzenarten. Darunter waren die höheren Arten Betula pendula und Populus tremula L., die Farne Polystichum aculeatum, Asplenium ruta-muraria L., Dryopteris carthusiana agg., die Moose Bryum argenteum, Tortula muralis, Tortula ruralis und Funaria hygrometrica sowie die Flechte Lecanora muralis. In der Arbeit von Lapin wurden auf der Nordostseite 14 verschiedene Arten gefunden. Allerdings belief sich der Beobachtungszeitraum auf eine Woche im Mai. Ein direkter Vergleich zur Vegetationsentwicklung gestaltet sich deshalb schwierig. Grenzen wir die Arten, die sowohl 1998 als auch 2017 auf der Nordseite des Daches vorkamen, ein, so bleiben die Moose Bryum argenteum und Tortula muralis, der Farn Asplenium rutamuraria, die Flechte *Lecanora muralis* sowie die höhere Gehölzart *Populus tremula L*. übrig. Insbesondere Bryum argenteum hat essentielle Bedeutung für die Besiedelung mit höheren Pflanzen. Es dient jenen als Polster für die Keimung (Zechmeister und Grabherr, 1998). Asplenium ruta-muraria besiedelt von **Bryum argenteum** gebildete Polster und ist basophil. Aus der Gruppe der höheren Pflanzen war die aus der Familie der Saliaceen stammende Art Populus tremula in beiden Beobachtungszeiträumen anzutreffen. Die Zitter-Pappel zeigt sich in zwei Erscheinungsformen: zum einen als bis zu 20 m hoher Baum und zum anderen als 3 bis 5 m hohes mehrstämmiges Gebüsch. Die Blätter sind rundlich, anfangs seidenhaarig, später kahl. Die Blattnarbe ist rötlich (Lapin et. al, 2017). Die Gehölzart kann sich vegetativ durch Wurzelsprosse sowie durch Windverbreitung (Anemochorie) sehr erfolgreich vermehren. Man findet die Espe überwiegend in der kollinen bis subalpinen Stufe. Die geografische Verbreitung erstreckt sich von Zentraleuropa bis Sibirien. Auf natürlichen Standorten ist sie charakteristisch für gebüschreiche Vorwaldgesellschaften (Sambuco-Salicion) (Goedert et al. 2003; Wallnöfer et al. 2007; Weisgerber 1999). Die Gehölzart ist ein Frischezeiger

(Schwergewicht) *1, welcher hauptsächlich auf mittelfeuchten Böden wächst (Ellenberg et al.



1992). Zeigerarten sind typisch für Substrate und Böden , die ganz bestimmte chemische Zusammensetzungen aufweisen.

Die Substratzusammensetzung ist entscheidend für die anschließende Besiedelung mit Moosen und Farnen als Pionierpflanzen. Diese bilden wiederum die Grundlage für die Besiedelung höherer Pflanzen. Wie aus Messungen der Magistratsabteilung 22 sowohl von einer Messstation beim Stephansdom als auch beim AKH Wien für die Jahre 1991 bis 2017 hervorgeht, ist die Gesamtstaubbelastung von 41,1 µg/m³ im Jahre 1991 auf 27,1 µg/m³ im Jahre 2004 zurückgegangen. Einschränkend muss man auch hier sagen, dass ab 2004 nur mehr Feinstaubmessungen (PM, engl. Particulate Matter) stattgefunden haben und nicht mehr die Gesamtfraktion (TSP, engl. Total Suspended Particles) gemessen wurde. Zudem haben die Messergebnisse für die Jahre 1991 und 1992 eine Verfügbarkeit von weniger als 50 %. Auch hat sich innerhalb von zwei Jahrzehnten die Messtechnik erheblich verbessert. Dennoch lässt sich ein Trend feststellen, denn auch die Feinstaubbelastung (PM) hat sich von 30,4 µg/m³ im Jahre 2005 auf 18,3 μg/m³ im Jahre 2017 reduziert (Wiener Umweltschutzabteilung - MA 22, 2017). Folgt man diesem Trend, so lässt sich sagen, dass weniger Staub zugleich auch weniger Substratgrundlage bedeutet. Die Messungen ergaben jedoch, dass sich nicht nur ein Substrat sondern ein organischer Boden in den 67 Jahren seit der Neueindeckung des Daches gebildet hat. Zwar wurde oben die Staubreduktion in den vergangenen drei Jahrzehnten erwähnt, jedoch gab es zuvor vier Jahrzehnte mit relativ hoher Staubbelastung. Entscheidend für die anschließende Substratbildung ist jedoch auch die oben erwähnte Besiedelung mit Pionierpflanzen. Abgesehen vom Substrat soll noch auf die Klimafaktoren eingegangen werden. Lapin beschreibt, dass 2017 vorwiegend Gehölze aus der Familie der Salicaceae (Weidengewächse) das Domdach besiedelten, während 1998 die Hängebirke (Betula pendula), ein heimischer Pionierbaum, vorherrschte. Schaut man sich die klimatische Entwicklung der letzen Jahrzehnte an so lässt sich bereits heute ein Temperaturunterschied von 2°C bis 3°C zwischen dem Innenstadtbereich und der Perepherie feststellen (Mursch-Radlergruber und Trimmel, 2009). Ein Trend, der sich in den nächsten Jahren und Jahrzehnten laut Mursch-Radlergruber fortsetzen wird. Insbesondere das auftreten der Schwarzpappel (Populus nigra), einem starken Wärmezeiger, kann als Beleg für veränderten klimatischen Bedingungen gedeutet werden. Das Auftreten von Frischezeigern*1) wie Populus tremula L. widerspricht jedoch nicht der Aussage, dass die Temperaturen gestiegen sind und die Wärmebelastung zugenommen hat, da sich in Nischen und Kuhlen am Dach ausreichend Wasser sammeln kann. Abschließend lässt sich sagen, dass sowohl durch die gestiegene durchschnittliche Jahrestemperatur und die damit verbundenen heißeren Sommern als auch durch den Rückgang der Staubbelastung der Luft die Verschiebung hin zu Wärmezeigern wie der Schwarzpappel erklären lässt.



Als letzter Punkt sollen noch die eingangs gestellten Fragen kurz beantwortet werden.

Zur Frage, welche Einflüsse die Klimaparameter auf den Standort im Laufe des Jahres haben, lässt sich feststellen, dass die enormen Temperaturwerte auf der Südseite des Daches einem Wachstum entgegenstehen, während die um ca. 15 Grad kühlere Nordseite das Wachstum begünstigt. Die geringere Sonnenexposition der Nordseite führt zu niedrigeren Temperaturen und ermöglicht damit das Wachstum wärmeliebender Pflanzenarten.

Als nächstes soll die Frage nach den Vegetationsarten und ihrem Vorkommen auf dem Dach geklärt werden. Als ubiquitär kamen in allen drei Sektoren Asplenium ruta-muraria, Bryum argenteum und Tortula muralis vor. Dies sind wärmeliebend und damit für diesen Standort offensichtlich geeignet. Diese wurden auch schon in der Arbeit von (Lapin et. al, 2017) beschrieben.

Die Gegebenheiten, die das Pflanzenwachstum begünstigen, sind neben der ausreichenden Nährstoff- und Wasserversorgung eine genügende Sonnenbestrahlung, wobei das Genügend abhängig vom jeweiligen Pflanzentyp ist. Auf der Nordseite ermöglichte die geringere Exposition mit Sonnenlicht sowie die relativ gemäßigten Temperaturen das Überleben und das Wachstum. Außerdem begünstigt das Substrat, das sich innerhalb von ca.70 Jahren gebildet hat und einem organischen Boden entspricht, das Pflanzenwachstum, da es offensichtlich genügend Wasserspeicherkapazität besitzt.

Als letzte der eingangs aufgeworfenen Fragen steht die Beantwortung der **Substratzusammensetzung an**. Die Analyse in Kapitel 4.3 ff. ergab, dass es sich um einen Boden mit hohem organischen Anteil handelt. Das ist insofern bemerkenswert, da dieser sich in einem relativ kurzen Zeitraum gebildet hat. Das Dach war im Jahre 1950 fertig.

...1

^{*&}lt;sup>1)</sup> Unter Frischezeigern versteht man nach der Ellenberg-Skala Pflanzen, die auf gut durchfeuchteten aber nicht nassen Böden wachsen. Dem Feuchtezeiger entspricht ein Skalenwert von 7 (Ellenberg, H. 1992).



6. Literaturverzeichnis

- Adler, Wolfgang. (2003): Die Flora Wiens Gestern Und Heute: Die Wildwachsenden Farn-Und Blütenpflanzen in Der Stadt Wien von Der Mitte Des 19. Jahrhunderts Bis Zur Jahrtausendwende. Verlag d. Naturhistor. Museums Wien.
- Bammel Katja, Müller- Angelika Falter, Kilian Ulrich, Klonk Sabine.,(2009). Wetter und Klima. Leipzig.
- Barkmann J. J., (1969): The influence of air pollution on bryophytes and lichens.
- In: Proceedings of the first European congress on the influence of air pollution on plants and animals, Wageningen, p. 197-209.
- Burton M. A., (1990): Terrestrial and aquatic bryophytes as monitors of environmental contaminants in urban and industrial habitats Linn. Soc. 104, 267-280.
- Darius F. & Drepper J., (1984): Rasendächer in West-Berlin. Das Gartenamt 33, 309-315.
- Doernach. Rudolf., (1982): Naturwerkstatt, Frankfurt am Main.
- Ellenberg, Heinz, Heinrich E Weber, Ruprecht Düll, Volkmar Wirth, Willy Werner, and Dirk Paulißen. (1992). "Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa." E. Goltze.
- Ellenberg H., Weber H., Dull R., Wirth V., Werner W. & Paulissen D., (1991): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica 18, p. 1-248.
- Essl, Franz, Wolfgang Rabitsch, and Othmar Breuss. (2002). Neobiota in Österreich. Vol. 43. Umweltbundesamt Wien.
- Gilbert O. L., (1970): Further studies on the effects of sulphur dioxide on lichens and bryophytes. New Phytologist 69, 605-627.
- Goedert, Christine, Anja Zahm, Marc Meyer, and Jürgen Kusch. (2003): "Aspekte Einer Untersuchung Der Groß-Schmetterlingsfauna Innerhalb Und Außerhalb Eines Waldgebietes in Luxemburg (Lepidoptera, Macroheterocera)." Bulletin-Societe des naturalistes Luxembourgeois. Societe des Naturalistes Luxembourgeois, 105-24.
- Grimm, Nancy B, Stanley H Faeth, Nancy E Golubiewski, Charles L Redman, Jianguo Wu, Xuemei Bai, and John M Briggs. (2008): "Global Change and the Ecology of Cities." Science 319 (5864). American Association for the Advancement of Science: 756–60.
- Hawksworth D. L. & Rose F., (1970): Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. Nature 227, 145-148.
- H. Ellenberg, H.E. Weber, R. Düll, V. Wirth, W. Werner, D. Paulißen: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica 18, 2. Auflage, (1992).
- Häckel. H., (1985): Meterologie, Stuttgart.
- Joachim Fiedeler H., (2001): Böden und Bodenfunktionen, Dresden.
- Kirschbaum U. & Wirth V., (1995): Flechten erkennen Luftgüte bestimmen. Ulmer, Stuttgart.
- Kunick W., (1982): Zonierung des Stadtgebietes von Berlin (West). Ergebnisse floristischer Untersuchungen. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung14. Inst. Ökol., TU Berlin, Berlin.
- Lapin K., Besener-Inga M., Virgolini J., Bernhardt- Karl G, (2017): Vegetation am Nord-Ost-Dach vom Stephansdom, Wien.



- Lewandowski J., (1997): Schadstoffe im Boden.
- Mursch-Radlgruber, E., Trimmel, H. (2009): Studie "Räumlich und zeitlich hochaufgelöste Temperaturszenarien für Wien und ausgewählte Analysen bezüglich Adaptationsstrategien". Bericht 2. Teil. Institut für Meteorologie Universität für Bodenkultur Wien.
- Mückenhausen, E., (1993): Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 579 S.
- Österreichisches Normungsinstitut.(2015): Boden als Pflanzenstandort Begriffe und Untersuchungsverfahren. Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut. (1999): Chemische Bodenuntersuchungen Säureextrakt zur bestimmung von Nähr- und Schadenelementen. Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut. (2006): Chemische Bodenuntersuchungen Bestimmung der Acidität (pH- Wert). Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut. (2006): Chemische Bodenuntersuchungen Bestimmung von Carbonat. Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut. (2003): Physikalische Bodenuntersuchungen Bestimmung des Wassergehaltes und des Wasseranteils. Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut, G. (1999). Chemische Bodenuntursuchungen Bestimmung der organische Substanz als Glühverlust. Wien.
- Österreichisches Normungsinstitut. (2002): Physikalische Bodenuntersuchungen- Bestimmung der Körngrößenverteilung des Mineralbodens. Wien.
- Rohatsch A., (1991): St. Stephan. Herkunft, Petrographie und Verwitterung. Mitt. Ges. Geol. Bergbaustudien Österr. 37, 141-155.
- Schönwiese Christian D.,(2013): Klimatologie.Stuttgart.
- Sukopp HL, Kunick W., Runge M, Zacharias F., (1973): Ökologische Charakteristik von Großstädten, dargestellt am Beispiel Berlins. Verh Ges. Ökol. 2, 383-403.
- Wallnöfer, Susanne, Andreas Hilpold, Brigitta Erschbamer, and Thomas Wilhalm. (2007). Checkliste Der Lebensräume Südtirols. na.
- Weisgerber, Horst. (1999). "Populus." Enzyklopädie Der Holzgewächse: Handbuch Und Atlas Der Dendrologie. Wiley Online Library.
- Wittig RM (1973): Die ruderale Vegetation der Münsterschen Innenstadt. Natur und Heimat 33, 100-110.
- Zechmeister H. G., & Grabherr G., (1998): Erfassung der Flora des Wiener Stephansdomes.
- Zechmeister H. G., (1992): Die Vegetation auf Rachdächern von Großbauten aus der Jahrhundertwende. Tuexenia 12, 307-314.
- Zechmeister H. G., (1994): Biomonitoring der atmosphärischen Schwermetalldepositionen mitt mittels Moosen in Österreich. Monographien, Bd. 42. Umweltbundesamt, Wien.
- Zehetner, Helmut. (2017): "Persönliches Kommentar, D."
- Zehetner, Wolfgang. (1995): "Der Dom Brennt: Zum Wiederaufbau Des Wiener Stephansdomes." In 50= Fünfzig Jahre Danach: Kulturgut Nach Dem Krieg, 36–42. Amt der NÖ Landesregierung.
- Zehetner, Wolfgang. (2012): Unser Stephansdom. Nr. 95. Wien: Verein zur Erhaltung des Stephansdoms.



7. Internetverzeichnis

- Asplenium ruta-muraria subsp. ruta-muraria: (https://de.wikipedia.org/wiki/Mauerraute), .aufgerufen 19.9.2018
- Brandl, Hannes (2011): Bodenfeuchte verschiedener Bodentypen und ihre Relevanz im Klimawandel Im Feldbacher WegenerNet: http://www.wegenernet.org/misc/MA_Brandl_2011_Bodenfeuchte.p,: aufgerufen 20.7.2018.
- $Bryum\ argeneteum\ Hedw: (http://www.cisfbr.org.uk/Bryo/Cornish_Bryophytes_Bryum_argenteum.html: aufgerufen\ 19.9.2018.$
- Bryum cf. caespiticium https://de.wikipedia.org/wiki/Rasen-Birnmoos,: aufgerufen 19.9.2018
- Der jährliche Sonnenkreislauf : https://www.schulferien.org : aufgerufen 26.7.2018.
- 3D-Luftaufnahme des Stephansdoms: www.google.at/wmaps/place/Domkirche+St.+Stephan, : aufgerufen 12.04.2018.
- Eberhardt, Karoline., (2014): "St. Stephan in Wien Im 20. Jahrhundert." uniwien : http://othes.univie.ac.at/32509/1/2014-04-15_9909227.pdf, : aufgerufen 15.3.2018.
- Gutzitiert.:https://www.gutzitiert.de/zitat_autor_johann_wolfgang_von_goethe_thema_lernen_zitat_13568.html.: aufgerufen 25.08.2018.
- Hannes ,Brandl.(2011): Bodenfeuchte verschiedener Bodentypen und ihre Relevanz im Klimawandel Im Feldbacher WegenerNet: http://www.wegenernet.org/misc/MA_Brandl_2011_Bodenfeuchte.p,: aufgerufen 20.7.2018.
- Hypogymnia physodes: (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hypogymnia_physodes_G5_(1).JPG, :aufgerufen :19.9.2018.
- Hypogymnia cf. physodes: (https://de.wikipedia.org/wiki/Hypogymnia_physodes) ,:aufgerufen 19.9.2018
- Riha Georg. "St.Stephan der Lebende Dom." https://tv.orf.at/orf3/stories/2837078/,: aufgerufen 10.7.2018.
- Knobling, Clemens.(2013): "Das Dachwerk von St. Stephan. In Zuschnitt 52: Holz Im Sakralbau." online: http://www.proholz.at/zuschnitt/52/das-dachwerk-von-ststephan/, :aufgerufen 15.7.2018.
- 3D-View-Stephansdom:
 - https://3dwarehouse.sketchup.com/model/9ee733fa80e5c0ed91a844fb5460e53e/Stephansd om-Cathedral-of-Saint-Stephen?hl=de.
- Korngrößenbestimmung gemäß Oenorm L1050, L1061 und B4412 :Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Wien.
- Land NÖ, Abt. Umwelt- und Energiewirtschaft, (2014): Boden Grundlage gesunden Pflanzenwachstums, aufgerufen: 24.7.2018.
- Lecanora:(http://mobile.natur-im-focus.eu/index.php?fil=7&pic=553): aufgerufen 19.9.2018.
- Mein Bezirk.at Südseite des Domdachsmit Wappen kaiser Franz I,: https://www.meinbezirk.at/innerestadt/lokales/1831-d1643986.html: aufgerufen 17.3.2018.
- OÖNachrichten.(2015):https://www.nachrichten.at/nachrichten/150jahre/ooenachrichten/Vor-70-Jahren-brannte-der-Steffl;art171762,1727671,: aufgerufen 15.7.2018.
- Parmelia saxatilis: (https://www.biolib.cz/en/image/id32008/: aufgerufen 19.9.2018.



- Planet Vienna Stephansdom . (2018):http://www.planet-vienna.com/spots/Stephansdom/stephansdom.htm : aufgerufen 17.03.2018.
- Rich, P.M. et al., (2016): HemiView User Manual, http://ftp://ftp.dynamax.com/manuals/HemiView_Manual.pdf,: aufgerufen am 10.05 2018.

Stephansdom Luftaufnahme:

- https://austriaforum.org/af/Bilder_und_Videos/Luftaufnahmen/%C3%96sterreich_Vogelperspekt live/Wien/Wien_-_Stephansdom): aufegerufen 27.4.2018.
- Tortula muralis Hedw: (http://www.cisfbr.org.uk/Bryo/Cornish_Bryophytes_Tortula_muralis.html: aufgerufen 19.9.2018.
- Tortula muralis & Physica cf. caesia:(https://de.wikipedia.org/wiki/Mauer-Drehzahnmoos) .aufgerufen 19.9.2018.
- Verortung des untersuchten Standortes: www.google.com/maps :aufgerufen 15.04.2018.
- Unger H., Skiba M., Baresch C.,(1997): SunOrb1.0 https://www.dgs.de/fileadmin/sonnenenergie/SE-1997-6/25-SunOrb-Sonnenstandsdiagramme-fuer-geneigte-Flaechen.PDF,: aufgerufen 17.05.2018.
- Wiener Umweltschutzabteilung-MA 22.,(2017): www.wien.gv.at/umwelt/luft.
- Wikipedia. Nordseite des Domdachs mit den Wappen der Stadt Wien unter der Republik Österreich:https://en.wikipedia.org/wiki/File:Wien_-__Stephansdom,_Dach,_nordseitige_Wappen.JPG:aufgerufen 17.3.2018.

8. Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Methoden für empirische Untersuchungen	5
Tab. 2 Methoden für empirische Untersuchungen	6
Tab. 3 Übersicht bisheriger Untersuchungen	11
Tab. 4 (nach Umweltbroschüre, Land NÖ, Abt. Umwelt- und Energiewirtschaft, 2014)	16
Tab. 5: (nach Umweltbroschüre, Land NÖ, Abt. Umwelt- und Energiewirtschaft, 2014)	18
Tab. 6: Auflistung des Vegetationsvorkommens am Stephansdomdach mit dem natürli Lebensraum der Pflanzen	
Tab. 7: Aufteilung der Vegetationsvorkommen per Dachraster Sektoren	25
Tab. 8: Vegetationsvorkommen im Sektor 1.	25
Tab. 9: Vegetationsvorkommen im Sektor 2.	26
Tab. 10: Vegetationsvorkommen im Sektor 3	26
Tab. 11:Maximale Luftfeuchtigkeit über einer Wasserfläche	35
Tab.12: Der jährliche Sonnenkreislauf	37
Tab.13: positive Extremtemperatur und dazugehörige Tage	43
Tab.14: MaximaleTemperaturwerte abhängigkeit von Dachschindelfarbe auf Südseite	44
Tab.15: Extremtemperatur Tage	45
Tab.16: MaximaleTemperaturwerte abhängigkeit von Dachschindelfarbe auf Nordseite	46
Tab.17: Hemiview Standortfaktoren_Nordseite	51

· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Tab.18: Hemiview Standortfaktoren_Südseite	52
Tab.19: Übersicht Substratvorkommen-Phasenarten	57
Tab.20: Substrat Laborergebnisse	59
Tab.21: Darstellung des Wassergehaltes	63
Tab.22 : Berechnung Glühverlust lt. ÖNORM L-1079	65
Tab.23: Laborergebnise der Nährelmente lt. ÖNORM L-1058	67
9. Abbildungsverzeichnis	
Abb. 1: St Stephan, Eindeckung Chordach und Dachstuhl	8
Abb. 2: St Stephan, Dachraum des neuen Dachstuhls	8
Abb. 3 - Südseite des Domdachs	9
Abb. 4: Nordseite des Domdachs	9
Abb. 5: Korngrößenfraktionen der Feinerde und des Bodenskeletts	14
Abb. 6: Darstellung der Bodenarten im Dreiecksdiagramm bzw. Körngrößeklasse	15
Abb. 7: Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt	17
Abb. 8 (Mückenhausen, 1993)	17
Abb. 9: Rastfelder am Stephansdomdach nach Lapin	21
Abb. 10: Einteilung des Daches in Sektorenbereiche für die Bestandsaufnahme Vegetationsvorkommen.	
Abb. 11: Vorkommen der Pflanzenarten im Raster der Bestandsaufnahme 2017 / Sektor Links	
Abb. 12: Vorkommen der Pflanzenarten im Raster der Bestandsaufnahme 2017 / Sektor Mitte	
Abb. 13: Vorkommen der Pflanzenarten im Raster der Bestandsaufnahme 2017 / Sektor Rechts	
Abb. 14: Verortung des untersuchten Standortes.	30
Abb. 15: Stephansdom Luftaufnahme	32
Abb. 16: Sommerwinkel, horizontal, Frankfurt	36
Abb. 17: Winterwinkel, horizontal, Frankfurt	36
Abb. 18 Sonnenhöhen, Frankfurt	37
Abb.19 Zur Erklärung des Lamberteschen Gesetzes	37
Abb. 20 Messstation.	38
Abb. 21 Wetterstation Froggit	38
Abb. 22 Thermoelemente Datenloger	38
Abb. 23 Fischaugenkamera	39
Abb. 24 Kalibrierung	39

Abb. 25: Stephansdom Dach - Thermoelementen Aufstellung	40
Abb.26: 3D-View Südseite Positionierung der Thermoelemente und Fischaugenaufnahmen	41
Abb. 27: Südseite Positionen TE-1, TE-2, TE-4,	41
Abb. 28: Südseite-Position TE-3,	41
Abb. 29: 3D-View - Nordseite	42
Abb. 30 Nordseite - Positionierung der TE-1, TE-2, TE-3, TE-4	42
Abb. 31: Fischaugenaufnahme Standort Nordseite	50
Abb. 32: Fischaugenaufnahme Standort Südseite	50
Abb. 33: Hemiview_ Nordseite	51
Abb. 34: Hemiview_ Südseite	52
Abb. 35: 3D-View Stephansdom	55
Abb. 36: Auswertung des Substratvorkommens	56
Abb. 37: Frischprobe	57
Abb. 38: Ungesiebtes Substrat	57
Abb. 39: Ausschusmenge	57
Abb. 40: Gesiebtes Substrat	57
Abb. 41. Probeneinwaage	58
Abb. 42: pH-Wertmessung	58
Abb. 43. Probenentnahme	58
Abb. 44: Filtrierung	58
Abb. 45: Messung	58
Abb. 46: Messung	58
Abb. 47: Messergebnisse	59
Abb. 48: Scheiblers Apparat	60
Abb. 49: Messung der Wasserkapazität	61
Abb. 50: Substrat-Proben für Wassergehalt Untersuchung	62
Abb. 51: Substrat-Proben 2mm vs. 630 µm	62
Abb. 52: Phase 1, Substrate sieben	64
Abb. 53: Phase 2, Substrate messen	64
Abb. 54: Korngrößenbestimmung und Massenanteilbestimmung	66
10. Diagrammverzeichnis	
Diagramm 1: Darstellung des Temperaturverlaufs auf der Südseite	43
Diagramm 2:Temperaturverlauf am 20.07.2018- Südseite	44
Diagramm 3:Temperaturverlauf am 20.07.2017- maximale Temperatur Nordseite	45

Klimafaktoren und Vegetation am Dach des Stephansdoms

Diagramm 4:Temperaturverlauf am 04.08.2017 - Nordseite	46
Diagramm 5: Lufttemperatur	47
Diagramm 6: Temperaturverlauf Süd und Nordseite	47
Diagramm 7: Luftfeuchtigkeit	48
Diagramm 8: Niederschlag	49
Diagramm 9: Sonnenstandsdiagramm Südseite	53
Diagramm 10: Sonnenstandsdiagramm Nordseite	54



11. Lebenslauf



Flaviu-Ioan Danila
+43 688/9203888
Flaviudanila08@gmail.com
1140 Wien,Goldschlagstrasse 199

Persönliche Daten

Staatsangehörigkeit: Rumänisch Geburtsdatum: 04.01.1987 Geschlecht: Männlich Familienstand: Ledig

Schulzeit und Studium

10/2013 – 11/2018	Universität für Bodenkultur, Wien Masterstudium Nutzpflanzenwissenschaften Abschluss: Master of Science
10/2012 - 02/2016	Universität für Agrarwissenschaften und Veterinäredizin, Cluj-Napoca Masterstudium Management of Natural and Agroturistic Resource Abschluss: Master of Science
10/2012 - 09/2013	Auslandssemester Erasmus Programm: Universität für Bodenkultur, Wien Bachelor Agrarwissenschaften
10/2008 – 09/2012	Universität für Agrarwissenschaften und Veterinärmedizin, Cluj-Napoca Studium der Landwirtschaftmit Gebirgslandwirstschafts- Spezialisierung Abschluss: Bachelor of Science
1993 – 2008	Schulzeit in Bistrita Abschluss: Allgemeine Hochschulreife



Berufspraxis

11/2016 – 12/2017	Gourmet, Wien Servicemitarbeiter
04/2013 – 06/2016	Adria, Wien Servicemitarbeiter
10/2012 – 10/2012	Europom, Klosterneuburg Dolmetscher
06/2012 – 09/2012	Work & Travel programm, Cable Nature Lodge, USA Servicemitarbeiter
06/2011 – 09/2011	Praktikum: Landwirtschaft, Niedersachsen 'Deutschland
06/2009 – 09/2009	Praktikum: Landwirtschaft, Düren, Deutschland

Sonstige Kenntnisse

Muttersprache: Rumänisch
Sprachen: Deutsch – C2
Englisch – B2

Französisch – B1

Computerkenntnisse: Word – Gute Kenntnisse

Excel , Power Point – Gute Kenntnisse Photoshop – Gute Kenntnisse

Führerschein: Klasse B

Persönliche •Fitness

Interessen: •Arzneipflanzen und Gesunde Ernährung

wandernKochen



12. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die Masterarbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

Weiters versichere ich, dass ich diese Masterarbeit weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Ort, Datum Vorname Nachname Unterschrift