

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Abschlussarbeit

am Institut für Geographie und Geologie

Masterarbeit für Studierende der Angewandten Humangeographie

Modul 04-Geo-MAA-152-m01

Erstgutachter: Hon.-Prof. Dr. Andreas Klee

Zweitgutachter: Dr. Tobias Ullmann

Sommersemester 2019

Dachbegrünung in Würzburg: GIS-basierte Potentialanalyse als Planungsgrundlage im städtischen Begrünungsinstrumentarium

Simon Pätzold, B. Sc.

simon.paetzold@web.de

Masterstudiengang Angewandte Humangeographie

6. Fachsemester

Abgabe: 29.08.2019



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	II
Kurzzusammenfassung	III
1. Städte als Verantwortungsträger im Klimawandel	1
2. Dachbegrünung als kommunales Handlungsfeld	5
2.1 Globale Klimatrends und Herausforderungen für den urbanen Raum	6
2.2 Dachbegrünung im Kontext städtischer Klimaanpassungsmaßnahmen	10
2.3 Dachbegrünung im Kontext der nachträglichen Umsetzung	17
3. Das innerstädtische Untersuchungsgebiet Würzburgs	23
3.1 Ausgangssituation der Stadt Würzburg	24
3.2 Das Untersuchungsgebiet im städtischen Klimaplanatlas	27
3.3 Beschreibung des Untersuchungsgebiets	31
3.4 Öffentlich-rechtliche Rahmenbedingungen für Dachbegrünung	33
3.4.1 Weiches Instrumentarium der Förderung	33
3.4.2 Hartes Instrumentarium der Förderung	37
3.4.3 Denkmalschutz und Dachbegrünung	42
4. Die fernerkundliche Potentialanalyse in der Stadtplanung	45
4.1 Möglichkeiten und Verwertungshorizont	45
4.2 Stand der Forschung	49
4.3 Orientierungsstudien	51
5. Untersuchungsdesign zur Potentialanalyse von Teilen Würzburgs	57
5.1 Ziele und Modellierung der GIS-Analyse	57
5.2 Verwendete Daten und technische Umgebung der GIS-Analyse	62
5.2.1 Technische Umgebung und Datenbezug	62
5.2.2 Beschreibung und Anpassung der Datenprodukte	63
5.3 GIS-Workflow	72
6. Nachträgliche Dachbegrünung: Ergebnisse der Potentialanalyse	79
6.1 Ergebniseinschätzung	79
6.2 Methodenkritik	84
6.3 Ergebnisse der Analyse des Dachbegrünungspotentials	89
7. Analyse zur städteplanerischen Aktivierung der Potentialflächen	99
7.1 Direkte Förderung der Dachbegrünung	100
7.1.1 Richtlinien des Förderprogramms	100
7.1.2 Ergebnisse der Kostenschätzung	105
7.2 Bauleitplanerische Festsetzung von Dachbegrünung	107
7.2.1 Szenarienvergleich mittels Bauleitplänen	107
7.2.2 Hochrechnung der umsetzbaren Potentialfläche	112
8. Zusammenfassung und Fazit	116
Literaturverzeichnis	121
Anhang	130

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Globale Temperaturanomalie seit vorindustriellem Zeitalter.	7
Abbildung 2: Deutsche Temperaturanomalie seit Ende des 19. Jahrhunderts.	7
Abbildung 3: Urbanes Grün in Abgrenzung zur grauen Infrastruktur.	12
Abbildung 4: Gegenüberstellung intensiver (links) und extensiver (rechts) Dachbegrünung.	17
Abbildung 5: Flächenaufteilung im Stadtgebiet Würzburg.	25
Abbildung 6: Das Untersuchungsgebiet visualisiert in der Klimafunktionskarte und im GIS-Projekt.	28
Abbildung 7: Verteilung statistischer Mittelwerte der klimatischen Einflussfaktoren nach Stadtteil.	30
Abbildung 8: Fördergegenstand und Förderhöhe des städtischen Förderprogramms.	34
Abbildung 9: Auszug aus der Planzeichnung des B-Plans 7.01.12.	39
Abbildung 10: Auszug der Örtlichen Bauvorschriften für B-Plan 7.01.12.	40
Abbildung 11: Auszug der textlichen Festsetzungen für B-Plan 7.01.12.	40
Abbildung 12: Projektausschnitt mit Anpassungsmaßnahmen zur Berücksichtigung des Ensembleschutzes.	43
Abbildung 13: Unterschiedliche Visualisierung nach Raster- und Vektordarstellung.	54
Abbildung 14: Fotomontage aus Querprofil und 3D-Ansicht der Altstadt mittels LiDAR-Daten.	62
Abbildung 15: Vergleich der Hausumringe vor und nach Einsatz des Attributfilters.	67
Abbildung 16: Blick auf die Altstadt mit DOP und LiDAR-Daten in Punkt- und TIN-Darstellung.	72
Abbildung 17: Sach- und flächenbezogene Abfrage im Datensatz der Hausumringe.	74
Abbildung 18: Verarbeitung der LAS-Dateien zu einer Rasterdatei mit Dachneigungswerten.	75
Abbildung 19: Ausschnitt der Altstadt mit rasterbasiertem DOM und pixelbasierten Neigungsklassen.	76
Abbildung 20: Erstellung der statistisch relevanten Parameter für die Neigung innerhalb der Umringe.	77
Abbildung 21: Fehlerquelle Umringsklassifikation.	80
Abbildung 22: Vergleich der Potentialausweisung mit den Lageparametern Median und Modus.	81
Abbildung 23: Klassifikationsgüte mit Darstellungsart "Slope".	83
Abbildung 24: Klassifikationsgüte mit Darstellungsart "Elevation".	83
Abbildung 25: Der Effekt der Verkippung bei Aufnahmen aus dem Off-Nadir.	87
Abbildung 26: Karte der Würzburger Innenstadt mit Potential und bestehender Dachbegrünung.	89
Abbildung 27: Darstellung blauer Präferenzdächer in den Stadtbezirken Altstadt und Sanderau.	91
Abbildung 28: Darstellung blauer Präferenzdächer im nördlichen Teil der Altstadt.	91
Abbildung 29: Präferenzdächer kumuliert nach Polygonfläche.	98
Abbildung 30: Ausschnitt der textlichen Festsetzungen aus B-Plan mit Nummer 7.01.12.	109
Abbildung 31: Vergleich räumlicher Wirkung einer Begrünungssatzung nach Schwellenwerten.	111

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klimarelevante Faktoren von urbanem Grün.	12
Tabelle 2: Sicherungsmaßnahmen gegen Materialverlagerung in Abhängigkeit der Dachneigung.	20
Tabelle 3: Ziele und methodische Schritte der Orientierungsstudien im Vergleich.	56
Tabelle 4: Zu erstellende Merkmale zur Bewertung des Dachbegrünungspotentials.	59
Tabelle 5: Unterschiedliche Bewertungsniveaus zum Dachbegrünungspotential nach Neigungsklassen.	60
Tabelle 6: Vornherein-Bewertung und Filterung von Gebädefunktionsklassen.	68
Tabelle 7: In GIS eingespeiste externe Daten zur Errechnung der Nettopotentialfläche.	88
Tabelle 8: Zahl, Fläche und Art der Dächer nach Neigungsklassen.	92
Tabelle 9: Kennzahlen zum innerstädtischen Begrünungspotential und Begrünungsbestand in Würzburg.	95
Tabelle 10: Vergleich des Gründachbestands mit München, Stuttgart, Karlsruhe und Nürtingen.	97
Tabelle 11: Kennzahlen zum Begrünungspotential im Vergleich mit der Stadt München.	99
Tabelle 12: Darstellung der potentiellen Projektkosten im Szenario maximierter Kosten.	106
Tabelle 13: Darstellung der potentiellen Projektkosten im Szenario minimierter Kosten.	106
Tabelle 14: Darstellung der potentiellen Förderkosten für unterschiedliche Szenarien.	107
Tabelle 15: Jährliche Umbaumaßnahmen an Wohngebäuden nach Stadtbezirk.	113
Tabelle 16: Jährlich fertiggestellte Wohngebäude nach Stadtbezirk.	114

Kurzzusammenfassung

Nach aktuellem Stand der Forschung ist die Dachbegrünung eine geeignete Klimaanpassungsmaßnahme, mit der die Folgen des rezenten Klimawandels in verdichteten und versiegelten Stadtgebieten abgeschwächt werden können. Vor dem Hintergrund schrumpfender Flächenreserven und wachsender Flächenkonkurrenz können auf Dächern alternative Flächenressourcen zur Expansion urbanen Grüns erschlossen werden. Zudem besitzt sie vielfältige ökologische und ökonomische Vorteile (Kühlwirkung, Biodiversität, Wasserrückhaltung, Gebäudedämmung und -schutz). Mit Bebauungsplänen und Innenbereichssatzungen sowie Förderprogrammen und indirekter Förderung (gesplittete Abwassergebühren) stehen den Kommunen harte und weiche Instrumente zur Verfügung, um Gebäudeeigentümer für Dachbegrünungsmaßnahmen im Neubau, aber auch im Bestandsbau zu mobilisieren. Für eine Aktivierung bereits bestehender Dachflächen eignet sich die Extensivbegrünung dank ihrer anspruchslosen Vegetation, des minimalen Pflegeaufwands sowie den geringeren statischen und formspezifischen Anforderungen an die Dachkonstruktion gegenüber der Intensivbegrünung. Auf Basis von Untersuchungen mit Fernerkundungsdaten und amtlichen Geodaten konnten für deutsche Groß- und Mittelstädte enorme Flächenpotentiale für nachträgliche Dachbegrünung festgestellt werden. Zur Stadt Würzburg, in der als Hotspot des Klimawandels eine hohe Dringlichkeit für Klimaanpassungsmaßnahmen besteht, lagen bis dato keine Daten zu diesem Potential vor. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Luftbilder, Höhendaten (LiDAR) und amtliche Gebäudeumriss-Daten in einem Geoinformationssystem (GIS) zu einer dreidimensionalen Dachlandschaft verarbeitet, hinsichtlich relevanter Begrünungskriterien (Neigung, Homogenität, Größe, Funktion) analysiert und in Form von Karten, Bildern und Statistiken ausgegeben. Für das konkrete Untersuchungsgebiet der stadtklimatisch besonders kritischen Stadtbezirke Altstadt und Sanderau konnte eine empirische Grundlage zur Quantifizierung der Potentialfläche geschaffen werden. Rund ein Drittel der über 5.000 untersuchten innerstädtischen Dächer kommen mit einer Fläche von über 300.000 m² für eine nachträgliche Begrünung in Betracht. Zudem wurden Aussagen zur städtebaulichen Qualifizierung (Denkmalschutz) dieser Flächen getroffen und die Aktivierbarkeit mit dem einschlägigen stadtplanerischem Begrünungsinstrumentarium (Förderprogramm, Satzung bzw. Bebauungsplan) bewertet. So konnten die für die Umsetzung der geeigneten Dachflächen nötigen Förderkosten auf Basis der geltenden Förderrichtlinie approximiert werden. Zudem wurde unter Verwendung amtlicher Baustatistik und einschlägiger Bebauungspläne ein zeitlicher Horizont geschätzt, bis zu welchem sich Eigentümer an die Vorgaben einer hypothetischen Dachbegrünungssatzung anpassen würden. Die Arbeit bietet Anreize für die Methodik geoinformatischer Analysen sowie für städteplanerische Analyse- und Handlungsmöglichkeiten. Natürlich kann die fernerkundliche Messung keine bautechnische Begutachtung vor Ort ersetzen, sie kann aber im Vorfeld einen Eindruck der teils versteckten Flächenreserven kostengünstig und flächendeckend verschaffen und zudem die Möglichkeit darauf aufbauender Untersuchungen der ökologischen oder städtebaulichen Wirkung eröffnen.

1. Städte als Verantwortungsträger im Klimawandel

Die immerwährend wachsende Bedeutung der Stadt als Lebensraum sowie als Unternehmensstandort verstärkt die stadtimmanente Zentralität im Diskurs um den Klimawandel. Wegen der räumlichen Konzentration energieverbrauchender Aktivitäten seitens Haushalten, Wirtschaft und Verkehr auf den urbanen Raum, weist dieser einen stark überproportionalen Energieverbrauch und Ausstoß von Treibhausgasen auf (vgl. VAN STADEN 2014: 4 ff.). Andererseits werden die Auswirkungen klimatischer Veränderungen in den versiegelten und verdichteten Stadtgebieten besonders „spürbar“ und konkret messbar, indem sie das ohnehin kritische Stadtklima antreiben. Neben existenzbedrohenden Szenarien für viele Küstenstädte gefährdet zukünftig ein von erhöhter Hitze, Trockenheit, Luftverschmutzung und häufigeren Extremwetterereignissen geprägtes Stadtklima die Gesundheit und die Versorgung großer Bevölkerungsteile. Auch in den mittleren Breiten kann mit hohen kommunalen und volkswirtschaftlichen Folgekosten gerechnet werden, beispielsweise durch eine Mehrbelastung der Gesundheitssysteme oder der technischen Infrastrukturen. Die Problematik wird sich entsprechend globaler Stadtbevölkerungsprognosen der Vereinten Nationen und internationaler Klimamodellanalysen nicht entspannen und sich auch auf den deutschen Raum auswirken. Angesichts dieser anheim stehenden demographischen und klimatischen Herausforderungen obliegt es den Verwaltungen von Gemeinden und kreisfreien Städten, die gesetzlichen und programmatischen Klimaschutzoffensiven der Regierungen auf lokaler Ebene umzusetzen. Darüber hinaus stehen die Verwaltungen in der Verantwortung, eine nachhaltige und widerstandsfähige Stadtentwicklung zu ermöglichen, um die Städte auf die nicht abwendbaren Folgen der Klimaveränderung vorzubereiten und deren Lebensqualität auch für zukünftige Generationen zu bewahren.

Wichtiger Bestandteil der kommunalen Strategien der Klimaanpassung und des gleichzeitigen Klima- und Umweltschutzes sind der Erhalt sowie der Ausbau stadtinterner Grünflächen. Auch in deutschen Großstädten rückt die grüne Infrastruktur wegen ihren vielfältigen und ökonomischen Vorteilen immer näher in den Fokus der nachhaltigen und resilienten Stadtentwicklung. „Stadtgrün statt Grau muss zur Devise der Stadt der Zukunft werden. Wir brauchen neue Konzepte für urbane Grünflächen der Zukunft“, leitete der damalige Bundesminister Christian Schmidt den in Berlin tagenden Kongress zur Vorstellung des „Grünbuch Stadtgrün“ im Jahr 2015 ein (vgl. BMUB 2015). Jedoch kann die historisch gewachsene deutsche Stadt in der Regel nur sehr begrenzt auf begrünbare Freiflächen zugreifen. Um den

in der Schaffung von Wohnraum sich zunehmend verdichtenden urbanen Lebensraum dennoch an bundes- und landesweite Klimaschutzvorgaben und ökologische Leitbilder anzupassen, müssen alternative Flächenpotentiale gesucht werden. Zur Umgehung von Nutzungskonflikten werden deshalb immer öfter auch in deutschen Städten Dächer und Fassaden als Ressourcen für Vegetationsflächen erkannt. Insbesondere die Dachbegrünung bietet ökologische Ausgleichsfunktionen, wirkt sich als zusätzlicher Dachschutz positiv auf die Lebensdauer des Daches aus und verbraucht dabei keine städtischen Nutzflächen (vgl. DDV 2016a). Unterstützung im deutschen Raum erfährt das Konzept der Dachbegrünung – neben politischen Instanzen wie dem Bundesumweltministerium – von Verbänden wie dem Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG), von ausführenden Fachfirmen und Herstellern und von der FLL-Dachbegrünungsrichtlinie als Planungssicherheit gebendes Standard-Regelwerk. Die Begrünung der Dächer wird stadtplanerisch forciert und sowohl finanziell als auch beratend seitens der zuständigen kommunalen Ämter gefördert. Private Bauherren und Bau-träger erschaffen mit begrünten Flachdächern, Pultdächern oder Garagendächern einen vor allem die Vororte und Stadtränder prägenden baulichen Gestaltungstrend im Neubau. Im verdichteten innerstädtischen Raum jedoch, wo Nutzen und Dringlichkeit der Begrünung am höchsten sind, bieten die bereits bestehenden Baukörper ein in der Theorie flächenmäßig weit größeres Potential zur ökologischen Umnutzung als das des (erst zukünftig entstehenden) Neubaus, dessen Möglichkeiten sich im Rahmen des (bayerischen) Innenentwicklungsziels überwiegend in der Nachverdichtung erschöpfen. Gleichzeitig erfordert diese Art der Dachbegrünung für ihre erfolgreiche Nachrüstung im Bestandsbau bestimmte Dacheigenschaften hinsichtlich Bauart, Form und Statik, die nur ein unbestimmter Anteil der Bestandsgebäude aufweisen kann.

An der Frage der nachträglichen Begrünbarkeit im Baubestand einer historisch gewachsenen und baulich verdichteten Innenstadt – in diesem Fall die der unterfränkischen Großstadt Würzburg – knüpft die vorliegende Arbeit empirisch mittels einer fernerkundlichen Analyse der aktuell bestehenden Baukörper an. Dem Ist-Zustand bereits existierender Dachlandschaften kommt zugute, dass dieser mit geeigneten Fernerkundungsdaten und Verfahren der Geoinformatik großräumig erfasst und einer standardisierten Analyse der relevanten Dachparameter zugänglich gemacht werden kann. So konnten unter Berücksichtigung hinreichend flacher Dachgefälle und ausreichender Lastreserven auf den innerstädtischen Gebäuden anderer deutscher Groß- und Mittelstädte bereits große Potentialflächen zur nachträglichen Begrünung und Optimierung des städtischen Klimas gefunden werden (vgl. ANSEL et

al. 2015, vgl. KLÄRLE et al. 2017, vgl. GRUNWALD et al. 2017). In Bezug auf die weitgehend verdichteten und baulich wenig Entwicklungspotential bietenden innerstädtischen Teile Würzburgs stellt sich die Frage, welche Flächen der Dachlandschaft in einer ersten Einschätzung ex situ geeignet für die nachträgliche Begrünung sind und inwiefern die Stadtverwaltung die Begrünungsmaßnahmen im theoretisch geeigneten Bestandsbau fördern und fördern kann. Erstes Ziel dieser Arbeit ist es also, ein auf Fernerkundungsdaten (LiDAR-Höhendaten, Luftbilder) sowie Gebäudedaten des amtlichen Liegenschaftskatasters basierendes und auf bestehenden Untersuchungen aufbauendes geoinformatisches Verfahren zu entwickeln, welches eine Quantifizierung des flächenbezogenen Potentials für nachträgliche Dachbegrünung ermöglicht. Die von besonders hohem klimatischem Stress und ökologischem Handlungsdruck geprägten Würzburger Bezirke Altstadt und Sanderau repräsentieren dabei das konkrete Untersuchungsgebiet.

Die behandelte Dachbegrünung entspricht lediglich der einer extensiven Bepflanzung, also einer eher dünnen, aber widerstandsfähigen Vegetationsschicht auf dem Dach, die jedoch die Mindestansprüche einer ökologisch wirkungsvollen urbanen Begrünung erfüllt und im Gegensatz zur Intensivbegrünung nicht gepflegt werden muss (vgl. FLL 2018). Die Analyse wird mit einem Geoinformationssystem (GIS) durchgeführt, welches als planungsbezogener Werkzeugkasten auch in der kommunalen Verwaltung zum Einsatz kommt. Das im Rahmen dieser Thesis auf das lokale Untersuchungsgebiet angewandte GIS-Verfahren sowie die dabei gewonnenen Geodaten können somit als inkrementelle Bausteine für weitere oder flächendeckende Analysen der Stadt Würzburg nutzen, sie können aber auch als Planungs- und Orientierungsgrundlage bei der Förderung oder der Durchsetzung von Dachbegrünungsmaßnahmen dienen. Eine Modellierung der ökologischen und mikroklimatischen Auswirkungen der potentiellen extensiven Dachbegrünung steht jedoch nicht im Fokus der Analyse.

Vielmehr soll in einem zweiten Schritt der Arbeit die Aktivierbarkeit der detektierten Potentialflächen mit Hilfe des vorhandenen kommunalen Instrumentariums bewertet werden. Im Rahmen von Förderprogrammen und mittels öffentlich-rechtlicher Vorgaben kann die Begrünung von Dächern von kommunaler Planungsebene aus angereizt und gesteuert werden, sowohl im Neubau als auch im Bestandsbau. Auch in der im besonders von rezenten Klimaänderungen betroffenen Maintal liegenden Stadt Würzburg bestehen seit einigen Jahren entsprechende Förderungsmöglichkeiten sowie eine steigende Zahl an bauleitplanerischen Festsetzungen, aufbauend auf die städtischen Ziele und Leitbilder der nachhaltigen Stadtent-

wicklung. Neben einschlägigen Festsetzungen geltender Bebauungspläne und der Förderrichtlinie des städtischen Förderprogramms für urbanes Grün beschreiben die Belange des baulichen Denkmalschutzes den aktuellen öffentlich-rechtlichen Rahmen für die Begrünung von Gebäuden im Untersuchungsgebiet. Dieser Rahmen soll als Bewertungsgrundlage der detektierten Potentialflächen hinsichtlich deren städtebaulichen Aktivierungsmöglichkeiten und -grenzen dienen.

Somit fließen unterschiedliche baustrukturelle und städtebauliche Aspekte direkt in die GIS-Analyse des Würzburger Stadtgebietes ein und werden in ihrer räumlichen Wirkung visualisiert und messbar gemacht. Die Arbeit verfolgt das Ziel, dem State of the Art der fernerkundlichen Potentialanalyse relevante und anwendungsorientierte städtebauliche Aspekte in Form geeigneter Analyseschritte hinzuzufügen. So sollen die Ergebnisse und aufgezeigten Verfahren dieser Arbeit als Planungsbasis auf lokaler Ebene im Sinne der städtischen Bestrebungen zur Erhöhung des Anteils begrünter Dächer sowie der städtebaulichen Resilienz einen Mehrwert bieten.

Die vorliegende Masterthesis zur Dachbegrünung in der kreisfreien Stadt Würzburg ist in acht Hauptkapitel gegliedert. Kapitel 2 beginnt mit einem Exkurs in die beobachteten und erwarteten Klimaveränderungen und den damit verbundenen Herausforderungen für Städte und ihre Verwaltungen. Anschließend wird die Dachbegrünung in den Kontext kommunaler Maßnahmen zur Klimaanpassung und der nachhaltigen und resilienten Stadtentwicklung gestellt. Auch werden darin die Merkmale von Dachbegrünung im Allgemeinen aufgezeigt und, unter Zuhilfenahme von Expertenaussagen aus der Praxis, die Möglichkeiten und Grenzen der nachträglich installierten Dachbegrünung im Speziellen erörtert. Kapitel 3 widmet sich dem Untersuchungsgebiet und schildert die strukturellen und klimatischen Begebenheiten des Würzburger Stadtgebiets mit Fokus auf die im städtischen Klimaplanatlas offenbarte besondere Belastungssituation in den Stadtbezirken Altstadt und Sanderau. Im Unterkapitel 3.4 wird das städtebauliche und finanzielle Instrumentarium erläutert, mit welchem Kommunen Maßnahmen zur Dachbegrünung mobilisieren können. Dabei wird nur ein Auszug der zur Verfügung stehenden kommunalen Möglichkeiten zur Förderung und Steuerung beleuchtet, informelle Instrumente wie die Öffentlichkeitsarbeit werden ausgeklammert. Im Rahmen des weichen Instrumentariums wird explizit auf die Inhalte des einschlägigen städtischen Förderprogramms eingegangen. Auf der Seite der harten Instrumente wird die Möglichkeit der Festsetzung von Dachbegrünung in Bebauungsplänen und örtlichen Bauvor-

schriften thematisiert und die baurechtliche Ist-Situation im Untersuchungsgebiet dokumentiert. Daran anknüpfend wird auch die Rolle des Denkmalschutzes als limitierender Faktor unter Einbezug einer Stellungnahme des Stadtheimatspflegers diskutiert. Kapitel 4 verschafft einen Überblick über die Möglichkeiten fernerkundlicher Potentialanalysen für die Stadtplanung und stellt den heutigen Stand der Forschung dar. Dafür werden drei Orientierungsstudien näher beleuchtet, die den methodischen Rahmen der anschließenden Analyse liefern sollen. Das fünfte Kapitel der Arbeit präsentiert das Untersuchungsdesign der GIS-Analyse und stellt die konkreten Ziele, die verwendeten Geodaten sowie den methodischen Ablauf vor. In Kapitel 6 werden nach einer Diskussion der Methodik die Ergebnisse der Analyse aufgezeigt und kritisch bewertet. Die Aufbereitung konzentriert sich dabei zunächst auf diverse statistische Parameter zur Einschätzung des Flächenpotentials für nachträgliche Dachbegrünung im Untersuchungsgebiet. Kapitel 7 widmet sich der Aktivierbarkeit der potentiellen Begrünungsflächen unter den Gesichtspunkten städtebaulicher Belange und Möglichkeiten der Förderung und Forcierung nachträglicher Begrünungsmaßnahmen. Über die auf das Förderprogramm räumlich abgestimmten Potentialflächen werden im Unterkapitel 7.1 der Kostenrahmen für potentielle Begrünungsmaßnahmen sowie die abgeleiteten Förderkosten geschätzt. Kapitel 7.2 stellt unterschiedlich formulierte, teils auf den lokal geltenden Bebauungsplänen basierende, hypothetische Festsetzungen in einem Szenarienvergleich einander gegenüber. In einem Hochrechnungsverfahren wird anschließend geschätzt, in welchen zeitlichen Horizonten die hypothetischen Satzungen unter Berücksichtigung von baulichen Änderungen und anpassungspflichtigen Vorhaben zu einer tatsächlichen Umsetzung der nachträglichen Begrünungsmaßnahmen im Baubestand führen könnten. In Kapitel 8 sollen die Ergebnisse und Verfahren im Hinblick auf ihre inkrementelle Weiterverwertbarkeit auf lokaler Planungsebene zusammengefasst und kritisch bewertet werden.

2. Dachbegrünung als kommunales Handlungsfeld

Ziel dieses Kapitels ist es, die Begrünung von Dächern aus stadtplanerischer Perspektive sowie in technischer Hinsicht grundlegend vorzustellen. Hierfür wird ein Exkurs in die globalen klimabedingten Herausforderungen vorangestellt, deren Bewältigungsbestrebungen sich in Form von Abkommen, Gesetzen und Konzepten von internationaler über die bundesweite, bundeslandesweite bis hinunter auf die kommunale Ebene herunterdeklinieren lassen. Der Bezug zum konkreten Untersuchungsgebiet wird erst in Kapitel 3 vertieft. Im über-

geordneten Kontext stadtklimatischer Herausforderungen werden alsdann aktuelle kommunale Handlungsstrategien aufgezeigt, in welche sich die Dachbegrünung als Maßnahme zur Prävention und Anpassung einordnen lässt. Dabei wird auf eine nähere Auseinandersetzung mit den Ausprägungen des städtischen Mikroklimas und eine detaillierte Wirkungsanalyse begrünter Dächer verzichtet. Hier bestehen bereits umfassende wissenschaftliche Erkenntnisse, die für deren Nutzen sprechen. Hinsichtlich der Umsetzung von Dachbegrünungsmaßnahmen kann jedoch ein beträchtlicher Informationsmangel und ein sich nur auf den Idealfall flacher, abgedichteter Dächer konzentrierendes Informationsspektrum konstatiert werden. Unter Einbezug der Expertise von Herstellern entsprechender technischer Lösungen befasst sich Kapitel 2.3 mit der technischen Durchführbarkeit nachträglicher Dachbegrünungsmaßnahmen auf bereits bestehenden und mit Ziegeln eingedeckten Gebäudedächern, die im deutschen Raum in der Regel nicht auf diese Nutzungsart ausgelegt sind.

2.1 Globale Klimatrends und Herausforderungen für den urbanen Raum

Die Notwendigkeit geeigneter Maßnahmen zur Abschwächung und Anpassung an die Folgen der gegenwärtigen und noch erwarteten weltweiten Klimaveränderungen scheint eindeutig. Mit Stand 2019 wurden die letzten vier Jahre (2015-2018) als die im globalen Mittel jeweils wärmsten Jahre seit Beginn der regelmäßigen Lufttemperaturaufzeichnungen Mitte des 19. Jahrhunderts gemessen (vgl. DWD 2019a). Die vier international bedeutendsten Zeitreihen (NOAA, NASA, MetOffice, JMA), welche die jährlichen Temperaturabweichungen zur mittleren globalen Lufttemperatur des Referenzzeitraums 1961-1990 ($T = 14 \pm 0,5$ °C) messen, weisen für ihre unterschiedlichen Erhebungsstandorte einheitlich 2016 als das Jahr mit den höchsten positiven Abweichungen aus (+0,99 °C, +1,02 °C, +8 °C, +0,45 °C) und bestätigen damit den langfristigen Erwärmungstrend seit vorindustriellen Zeiten (vgl. Abb. 1). So lag die mittlere globale Oberflächentemperatur zwischen 2006 und 2015 wahrscheinlich zwischen +0,75 °C und +0,99 °C über dem Mittelwert des vorindustriellen Zeitraums 1850 bis 1900 (vgl. IPCC 2018: 8).

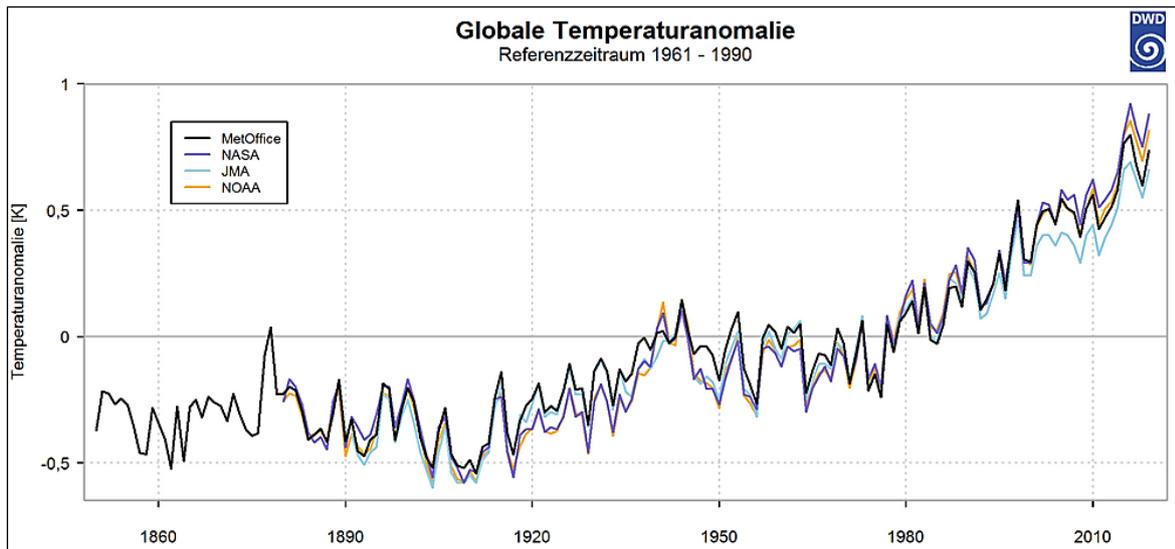


Abbildung 1: Globale Temperaturanomalie seit vorindustriellem Zeitalter.
Quelle: DWD 2019a.

Dieser Trend steigender bodennaher Lufttemperaturen betrifft in starkem Maße auch Deutschland, wo das Jahr 2018 mit einer Mitteltemperatur von 10,5 °C zusammen mit dem Jahr 2014 das bisher wärmste beobachtete Jahr seit Erhebung des deutschen Gebietsmittels ($T_{1961-1990} = 8,2 \text{ °C}$) darstellt (vgl. BMU 2019). Zudem liegen die zehn durchschnittlich wärmsten beobachteten Jahre in Deutschland zeitlich nach der letzten Jahrtausendwende, was den linearen Positivtrend der Temperaturanomalien von +1,5 K zwischen 1881 und 2018 bestätigt (vgl. Abb. 2).

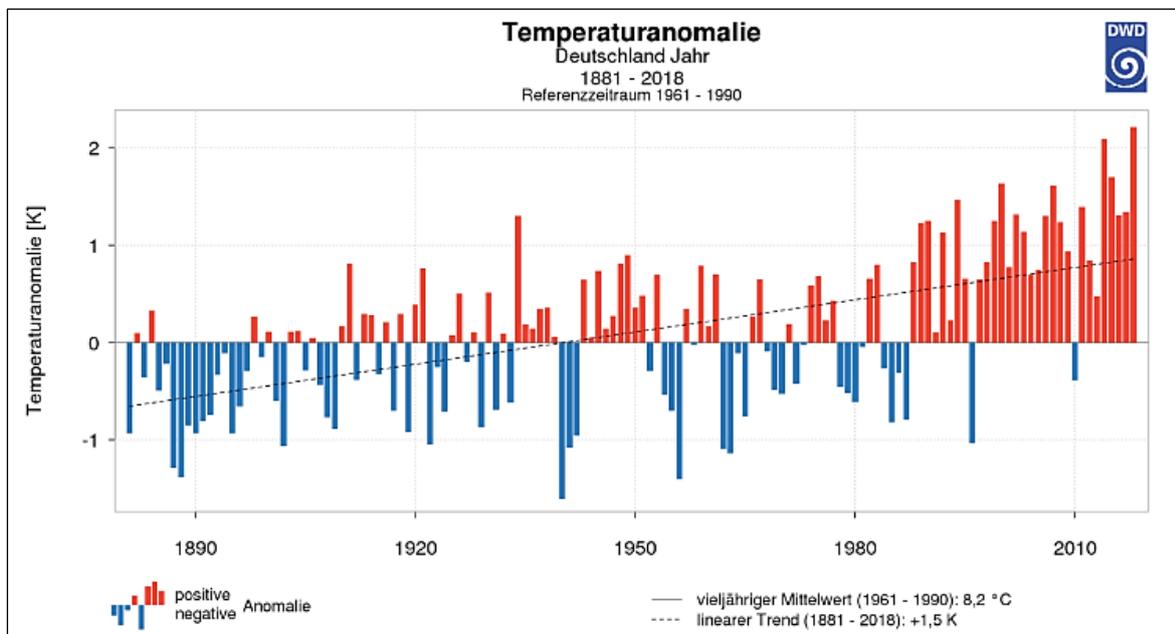


Abbildung 2: Deutsche Temperaturanomalie seit Ende des 19. Jahrhunderts.
Quelle: DWD 2019b.

Besonders problematisch ist der mit der mit erhöhten Temperaturmittelwerten einhergehende Anstieg der jährlichen Zahl an Hitzetagen ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$) und Tropennächten ($T_{\min} \geq 20 \text{ °C}$). Diese Extremwerte am Rande der Häufigkeitsverteilung, welche sowohl vulnerable Ökosysteme als auch die menschliche Gesundheit belasten und sich besonders stark im Stadtgebiet ausprägen können, treten mit Verschiebung der Temperaturmittelwerte häufiger auf (vgl. DWD 2019c). Neben häufigeren und höheren Temperaturanomalien mehren und intensivieren sich auch die Abweichungen der Jahresniederschlagssummen in Deutschland gegenüber dem vieljährigen Gebietsmittel (vgl. DWD 2019b). Jedoch verhalten sich die über die letzten 30 Jahre beobachteten Niederschläge sehr variabel, weshalb eher eine Häufung von Starkregenereignissen und Hitzewellen konstatiert werden kann, denn ein klarer Trend zu höheren oder geringeren Jahresniederschlagssummen.

Die aktuellen Klimaveränderungen sind besonders stark wahrnehmbar im urbanen Raum, der eine weiterhin steigende Bedeutung als Lebens- und Wirtschaftsraum aufweist und in welchem somit eine Vielzahl menschlicher Systeme wie Gesundheit, Vermögenswerte und baulicher Infrastruktur direkt vom Klimawandel und seinen Risiken betroffen ist. Die ohnehin kritische Faktorenlage, die auch in den verdichteten deutschen Städten vorherrscht, wird von den aktuellen Klimaveränderungen überlagert (vgl. PAETH 2016: 96). Die hohe Bebauungsdichte mit hohem Versiegelungsgrad und geringer Vegetationsbedeckung sowie die erhöhte Emission von Luftschadstoffen bewirken ein sich vom nichtstädtischen Umland deutlich absetzendes, spezifisches Stadtklima. Der bekannteste und signifikanteste Effekt ist der der städtischen Wärmeinsel, bei dem sich die lokale Temperatur inselartig vom kühleren Umland absetzt, was insbesondere in Sommernächten zu beobachten ist (vgl. HENNINGER 2011: 63). Der urbane Hitzestress wird weiter angetrieben durch den Temperaturanstieg und durch häufigere Hitzetage und Tropennächte. Diese Faktoren belasten den menschlichen Organismus, erhöhen die Sterblichkeit vulnerabler Gruppen wie die der älteren oder vorerkrankten Menschen und vermehren die Patientenaufnahme in Kliniken, was über Luftverschmutzung durch bodennahes Ozon verstärkt wird (vgl. LIENHOOP/SCHRÖTER-SCHLAACK 2018: 29, vgl. DWD 2019c). Abwärme durch Wohnraumheizungen, Industrie und Verkehr einerseits, erhöhter Energiebedarf zur Klimatisierung von Gebäude andererseits sind sich gegenseitig beeinflussende Merkmale städtischen Lebens. Zudem verhindert die weitflächige Versiegelung das Infiltrieren von Regenwasser, was das Risiko für Kanalisationsstau und somit für städtische Hochwasser steigen lässt. Häufigere Starkregenereignisse führen somit zu baustrukturellen und finanziellen Schäden.

Eine an diese Bedingungen nicht angepasste Stadt und ein sich somit in seinen Ausprägungen weiter verschärfendes Stadtklima geht auch in Deutschland einher mit diversen negativen Folgeerscheinungen und Einschränkungen der Lebensqualität der Stadtbewohner. Dies gilt gerade in Anbetracht der auch in Deutschland vorherrschenden demographischen Entwicklung einer wachsenden und alternden Stadtbevölkerung (vgl. BUTH et al. 2015). Während diese Trends im deutschen Raum für die nächsten Jahrzehnte primär einen Test der städtischen Lebensweise darstellen, äußert sich der städtische Klimawandel auf globaler Maßstabsebene über weite Teile und insbesondere in küstennahen Städten existenzbedrohend, wenngleich die tatsächlichen Folgen nicht abschließend abschätzbar sind (vgl. IPCC 2014: 6 ff.). In Zukunft muss mindestens mit einer Weiterführung der globalen als auch deutschlandweiten Klimatrends und Auswirkungen gerechnet werden, sollte es weltweit und vor allem seitens der Industrieländer in den nächsten Jahrzehnten nicht zu rigorosen Einsparungen von Kohlenstoffdioxid (CO₂) und weiteren anthropogenen Treibhausgasen (THG) kommen. Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) geht auf Basis von Klimamodellrechnungen von einem Anstieg der weltweiten Mitteltemperatur – verglichen mit dem heutigen Temperaturniveau – von +2,6 °C bis +4,8 °C bis zum Jahr 2100 aus, maßgeblich abhängig von unterschiedlichen Treibhausgasemissions-Szenarien (vgl. DWD 2019c). Für Deutschland rechnet die Deutsche Meteorologische Gesellschaft bis zum Jahr 2050 mit einem mit hoher Wahrscheinlichkeit eintreffenden Temperaturanstieg bis circa +1,7 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau, mit häufigeren und stärkeren Hitzeperioden und trockeneren Sommern (vgl. DWD 2019c).

Ausgehend von temperaturabhängigen Kippelementen der Erde und den damit verbundenen Rückkopplungen im Klimasystem wurde als maximal vertretbarer Temperaturanstieg das Zwei-Grad-Ziel im Übereinkommen von Paris international festgelegt. Das im Dezember 2015 verabschiedete und im November 2016 in Kraft getretene „Paris Agreement“ verfolgt das in Artikel 2 formulierte Ziel der Begrenzung des Anstiegs der globalen Mitteltemperatur auf deutlich unter 2 °C, unter Anstrengungen möglichst auf 1,5 °C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau (Bezugszeitraum 1850-1900) (vgl. UNFCCC 2015: 22). Das internationale Abkommen stellt die völkerrechtlich manifestierte Ambition dar, die vom Menschen verursachten Klimaveränderungen und damit verbundene Risiken und Auswirkungen zu reduzieren. Die Unterzeichnerstaaten sind dazu angehalten, ihre Fähigkeit zu erhöhen, sich an die nachteiligen Auswirkungen des Klimawandels anzupassen (Adaptation) und ihre Wider-

standsfähigkeit gegenüber Klimaänderungen zu verbessern. Zudem sollen sie Entwicklungen mit geringen THG-Emissionen fördern (Mitigation), ohne die Nahrungsmittelproduktion zu bedrohen. Die Vertragsparteien sollen das Abkommen ratifizieren und die darin formulierten Ziele der Minderung und Anpassung in nationalen Langfriststrategien bis zum Jahr 2020 vorweisen und fortschreiben (vgl. UNFCCC 2015: 6 ff.). Seit der Ratifizierung durch die Bundesregierung im Oktober 2016 werden über bisherige Maßnahmen hinaus konkrete Klimaschutzziele auf Bundesebene in Form eines für 2019 geplanten „Klimaschutzprogramm 2030“ sowie Bundes-Klimaschutzgesetzes verbindlich festgelegt. Darunter fällt u.a. die Begrenzung des TGH-Ausstoßes bis 2030 um 55 Prozent im Vergleich zu Jahr 1990 und das Erreichen von Null-Emissionen bis zum Jahr 2050. Die Einhaltung und Durchführung der im geplanten Klimaschutzgesetz enthaltenen Vorgaben (z.B. für einzelne Sektoren geltende maximale Jahresemissionsmengen), sowie der vom Bundesrecht nicht negativ abweichenden Landesregelungen (u.a. das geplante Bayerische Klimaschutzgesetz), als auch der Änderungen einschlägiger Fachgesetze, liegen insbesondere im Verantwortungsbereich der Landkreise und Kommunalverwaltungen. In bundes- und landesrechtlichen Rahmen entwickeln Kommunen derzeit Verwaltungsstrukturen, Klimaschutzkonzepte und Maßnahmenpakete oder verschärfen bereits bestehende – unter Orientierung am internationalen Klimaziel (Klimaneutralität bis 2050) und Wahrnehmung einer eigenen Vorbildfunktion in Form möglichst baldiger klimaneutraler Verwaltungen.

In Deutschland lebten im Jahr 2015 drei Viertel der Bevölkerung in Städten, zwischen 2005 und 2014 wuchs die Bevölkerung in 49 der 77 deutschen Großstädte um rund 1,1 Mio. Personen an (vgl. LIENHOOP/SCHRÖTER-SCHLAACK 2018: 4). Diesem allgemeinen Trend folgend, wird sich der Druck auf die Nutzung urbaner Flächen erhöhen und auch das Angebot an Grün- und Freiflächen in dicht besiedelten Gebieten weiter in Nutzungskonflikte geraten. Eine steigende Zahl an Menschen wird einem sich verschärfenden Stadtklima ausgesetzt werden. Deshalb müssen Städte durch geeignete Stadtplanung widerstandsfähiger gemacht und gleichzeitig in ihrer nachhaltigen, energie- und flächenschonenden Stadtentwicklung gefördert werden.

2.2 Dachbegrünung im Kontext städtischer Klimaanpassungsmaßnahmen

Grundsätzlich bestehen für die öffentliche Planung zwei Handlungsstrategien, um den genannten Herausforderungen zu begegnen: Klimaschutz (Mitigation) und Klimafolgenanpassung (Adaptation) (vgl. HENNINGER 2011: 184). Mitigation umfasst jegliches Engagement

zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Dieses kann schwerpunktmäßig in den Emissionsbereichen Energieversorgung, Verkehr, Gebäude und Industrie eingesetzt werden. Dabei geben überstädtische Institutionen und Akteure die rechtlichen Rahmenbedingungen für die lokale Ebene vor. Die Adaptation soll die Vulnerabilität gegenüber den Folgen des Klimawandels mindern und die Resilienz natürlicher, gesellschaftlicher und ökonomischer Systeme fördern.

Die örtlichen Gegebenheiten und die jeweilige Klimafolgensituation unterscheiden sich von Stadt zu Stadt erheblich, sodass die konkreten Maßnahmenoptionen am besten von lokaler Ebene aus zu wählen sind (vgl. IPCC 2014: 7 f.). Zudem müssen überkommunale Strategien in lokale Investitionen, Vorschriften und kommunalpolitische Entscheidungen integriert werden. Deshalb sind die Kommunalverwaltungen Dreh- und Angelpunkt erfolgreicher Mitigation und Adaptation der Städte. Die Stadtverwaltungen sehen sich so mit einem Geflecht an Vorgaben und in die Stadtentwicklung zu integrierenden Strategien konfrontiert. Mögliche städtische Handlungsfelder auf Seite der Emissionssenkungen bzw. Mitigation sind Energieversorgung (Umstellung auf CO₂-arme Technologien wie temporäre Erdgasnutzung oder Ausbau erneuerbarer Energien), Verkehr (Verkehrsvermeidung durch Förderung von ÖPNV und Fahrrad, Wechsel zu CO₂-armen Transportsystemen) und Gebäude (Förderprogramme zur nachträglichen Sanierung und Reduktion des Energiebedarfs) (vgl. IPCC 2014: 7 ff.). Stadtplanerische Ansätze können auch in entwickelten Städten in Form von Erhöhung der Mischnutzung, Nachverdichtung, Anschluss an den Nahverkehr, besserer Erreichbarkeit und somit geringeren Abgasemissionen fruchten. Auf der Seite der Adaptation können Infrastrukturen zur Gefahrenabwehr (Hochwassermauern), Optimierung öffentlicher Räume (Schattenspenden, Wasserspiele), Anpassung der Baumaterialien (weiße Gebäudefassaden mit hoher Albedo, Material mit geringerer Wärmespeicherkapazität) oder die Sicherung und Entwicklung von Frischluftschneisen und urbanen Grünflächen im Rahmen der verbindlichen Bauleitplanung.

Als kernrelevanter Ansatz der Mitigation und Adaption gleichermaßen kann sowohl die Ausweitung von städtischen Grünflächen aufgrund der vielfältigen ökologischen Vorteile als auch wegen diverser Ökosystemleistungen für die Gesellschaft gesehen werden. Stadtgrün, also innerstädtische Vegetationsstrukturen, besitzen regulierende Wirkungen auf das urbane Mikro- und Bioklima. Stadtgrün „umfasst alle Formen grüner Freiräume und begrünter Gebäude (...). Auch das Bauwerksgrün mit Fassaden- und Dachgrün, Innenraumbegrünung sowie Pflanzen an und auf Infrastruktureinrichtungen gehören dazu. Alle diese Formen des

städtischen Grüns werden auch als ‚Grüne Infrastruktur‘ bezeichnet, da sie – vergleichbar mit der ‚grauen Infrastruktur‘ - zahlreiche wirtschaftliche, soziale und ökologische Leistungen erbringen“ (BMUB 2015: 7) (vgl. Abb. 1).



Abbildung 3: Urbanes Grün in Abgrenzung zur grauen Infrastruktur.
Quelle: BLÄSER/DANIERLZYK 2012: 14.

Die allgemeine Bedeutung urbanen Grüns im Klimawandel und dessen spezielle Rolle bei der Anpassung an die schon nicht mehr zu vermeidenden Folgen des Klimawandels wurden bereits umfassend auch für den deutschen Raum aufgezeigt (vgl. HALBIG et al. 2016; ENDLICHER et al. 2016; LIENENHOOP/SCHRÖTER-SCHLAACK 2018). Relevante Funktionen hinsichtlich der Verbesserung des Stadtklimas sowie zur Verminderung der Klimarisiken sind folgend aufgezeigt (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Klimarelevante Faktoren von urbanem Grün.
Quelle: Eigene Darstellung nach BMUB 2015: 55.

Verbesserung des Stadtklimas durch:	Minderung der Klimarisiken durch:
CO ₂ -Reduktion in der Luft, Sauerstoffproduktion und Verdunstung, Erhöhung der Luftfeuchtigkeit	temperaturausgleichendes Blattgrün und Abschattung zur Minderung von Temperaturextrema
Frisch- und Kaltluftentstehung zur Kühlung angrenzender Bebauung und Freiräume (Evapotranspiration)	Absorption und Filterung von Luftschadstoffen und (Fein-)Staub
Absorption langwelliger Wärmestrahlung	Abflussrückhaltung von Niederschlagsspitzen durch lokale Versickerungsmöglichkeit
Verringerung der Windböigkeit und erhöhter Windschutz	Dach- und Fassadenbegrünung, die die Abflussrückhaltung verbessert
partielle oder volle Verschattung unter Bäumen	Großflächige Kühlwirkung durch anhaltende Verdunstung des Niederschlags (Evapotranspiration)
Bauwerksbegrünung für ein verbessertes Innenraum- und Wohnumfeldklima	Habitatangebot für Insekten und Förderung von Biodiversität und Artenreichtum

Neben der Verbesserung des Stadtklimas und der überörtlichen Emissionsbilanz ermöglicht ein hoher städtischer Grünanteil im direkten menschlichen Lebensumfeld einen größeren urbanen Lebensraum für Insekten und qualitativ hochwertigeren Aufenthaltsraum für Menschen mit Positiveffekten für das Sozialleben, das Stadtbild sowie für die psychische und physische Gesundheit (vgl. LIENHOOP/SCHRÖTER-SCHLAACK 2018: 33). Urbanes Grün kann somit direkte und indirekte Beiträge zur Wertschöpfung von Kommunen leisten, was konkret mit dem Konzept der Ökosystemleistungen für jede Stadt empirisch aus ökonomischer Perspektive aufgezeigt werden kann (vgl. ENDLICHER et al. 2016). Aufgrund des somit erklärten ökologischen, gesellschaftlichen und ökonomischen Nutzens ist der Schutz, der Erhalt und die Entwicklung der grünen Infrastruktur im urbanen Raum Ziel aktueller formeller (Landschaftsplanung, Bauleitplanung, Städtebauliche Satzungen, kommunale Verordnungen) und informeller (z.B. Integriertes Klimaschutzkonzept) Konzepte der Landschafts- und Freiraumplanung und integrierten Stadtplanung (vgl. LIENHOOP/SCHRÖTER-SCHLAACK 2018: 35).

Stadtgrün ist insbesondere in den hochverdichteten Innenstadtlagen wichtig, da hier die mikroklimatische Erhitzung besonders hoch ist. Eine hohe bioklimatische Wirkung kann dort durch ein engmaschiges und möglichst dicht begrüntes innerstädtisches Freiraumsystem erzielt werden, idealerweise ergänzt durch offene Kaltluftbahnen aus dem Randbereich (vgl. LIENHOOP/SCHRÖTER-SCHLAACK 2018: 28 f.). Gleichzeitig sind gerade in Wachstumsregionen die Innenstadtlagen für eine signifikante Erhöhung des Grünflächenanteils zunehmend bebaut und freie Flächenreserven unterstehen Nutzungskonflikten mit Wohnbebauung (BMUB 2015: 16). Stadtgrün wird deshalb häufig im Konflikt mit anderen Nutzungen verdrängt. Deshalb können Gebäude selbst und insbesondere deren Dachflächen als Lösung und potentieller Flächenpool zur Anlage urbanen Grüns sowie als Möglichkeit zur Verdichtung und Vernetzung innerstädtischer Vegetationsflächen angesehen werden (vgl. ANSEL 2012: 19). Im Rahmen des strategischen Konzepts der doppelten Innenentwicklung, welches die bauliche Innenentwicklung mit einer Entwicklung städtischer Grünräume verbindet, bietet die Dachbegrünung einen Mehrwert gegenüber einer Begrünung bodengebundener Freiflächen (vgl. BÖHM et al. 2016). Dachbegrünung lässt sich gut mit dem aktuellen städtebaulichen Ziel der Innenentwicklung und dem zugehörigen bauleitplanerischen Instrumentarium verbinden. Neben der Flächensparnis kann dabei zudem eine unmittelbare Aufwertung städtischer Wohnquartiere erreicht werden.

Im Kontext von freiraumplanerischen Klimaanpassungsmaßnahmen und der Förderung von Stadtgrün gewinnt somit die Gebäudebegrünung und insbesondere die Dachbegrünung eine steigende Aufmerksamkeit (vgl. RÖBLER/ALBRECHT 2015: 244). In der Bayerischen Klimaanpassungsstrategie wird „Dach- und Fassadenbegrünung zur Verringerung des Wärmeeintrags in den Stadtkörper, zur Regenwasserspeicherung und zur Reduzierung von Abflussspitzen“ in den Maßnahmen des Bereiches Gebäudeplanung und Bautechnik aufgeführt und mit hoher Wirksamkeit bewertet (BAYERISCHE STAATSREGIERUNG 2016: 141). Auch auf Bundesebene findet der Ansatz Unterstützung im *Grünbuch Stadtgrün* (vgl. BMUB 2015). Zahlreiche deutsche Verbände wie die Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung, Landschaftsbau e.V. (FLL) oder der Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG) vernetzen Akteure und bündeln Fachwissen im Bereich der Dachbegrünung. Mittlerweile fixiert eine Vielzahl an deutschen Städten, anknüpfend an die Leitfäden und Strategien der Bundesländer, die Dachbegrünung als Baustein einer nachhaltigen und resilienten Stadtentwicklung im städteplanerischen Instrumentarium (vgl. FBB 2017). Dieses wird in Kapitel 3.4 beispielhaft aufgeführt (Bebauungsplan und Förderprogramm) und in Kapitel 7 ob seiner Anwendbarkeit im konkreten Untersuchungsgebiet diskutiert. Die städtischen Handlungsfelder im Bereich der Dachbegrünung lassen sich wie folgt kategorisieren (vgl. DDV 2016a: 23 ff., vgl. FLL 2018: 20):

- **Förderung** direkter finanzieller Art über kommunale Förderprogramme sowie indirekter Art über gesplittete Abwassertarife in Form einer Trennung von Niederschlagswasser- und Schmutzwassergebühr und damit ermöglichter Gebührenreduktion auf begrünte bzw. entsiegelte Dachflächen
- **Dialog** in Form von Öffentlichkeitsarbeit, Workshops, Wettbewerben und eigenen Leuchtturmprojekten der Stadt
- **Fordern**, wobei Dachbegrünung aus städtebaulichen Gründen sowie aus klimatischen, naturschutzfachlichen oder wasserwirtschaftlichen Gründen nach § 9 Absatz 1 Nr. 25a BauGB, sowie zudem als Ausgleichsmaßnahme mit besonderem Schutzstatus nach § 15 des BNatSchG im Bebauungsplan festgesetzt, oder auch als Teil einer städtebaulichen Satzung (meist Gestaltungssatzung) bzw. Verordnung bauordnungsrechtlich bestimmt werden kann
- **Begleitung** bei der Planung und Durchführung von Bauprojekten

Hamburg entwickelte als erste deutsche Großstadt 2014 im Rahmen der „Gründachstrategie“ ein umfassendes Programm zur Förderung von Dachbegrünungsprojekten (vgl. BMUB

2015: 17). Förderung können die Stadtverwaltungen wiederum über den Bund mit den Programmen der Städtebauförderung und dem Bundesprogramm „Nationale Projekte des Städtebaus“ erhalten. Die Stadt München besitzt bereits seit 1996 eine „Freiflächengestaltungssatzung“, welche die Durchgrünung der Stadt bauplanungsrechtlich forciert (vgl. STADT MÜNCHEN 2019, Anlage 1). Nach dieser sind u.a. Kiespressdächer und vergleichbar geeignete Dächer mit Dachneigung bis zu 15° ab einer Gesamtfläche von 100 m² flächig und dauerhaft zu begrünen, ebenfalls Flachdächer von Garagen und Tiefgaragenzufahrten. Auch wurden nach Auskunft der Stadt seit vielen Jahren Festsetzungen zur extensiven Dachbegrünung in Bebauungsplänen getroffen. In den von der Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. (FBB, seit 2018: Bundesverband GebäudeGrün e.V. BuGG) und dem Naturschutzbund Deutschland (NABU) seit 2010 im Zweijahrestakt durchgeführten Städteumfragen zur Förderung von Dach- und Fassadenbegrünungen lassen sich über die abgefragten Förderinstrumente steigende Angebotsquoten innerhalb der Rückläufe feststellen (vgl. FBB 2017). Im Umfragezeitraum 2016/17 gab über die Hälfte der Rückläufe an, Dachbegrünung in Bebauungsplänen festzusetzen und diese über eine gesplittete Abwassersatzung indirekt zu fördern. In den letzten Umfragen gaben knapp über 10 % der Rückläufe an, Dachbegrünung als Maßnahme in einem naturschutzrechtlichen Öko-Konto anzurechnen. Weniger als 10 % bezuschussen Projekte der Dach-, Fassaden- und Hofbegrünung direkt im Rahmen von Förderprogrammen. Unter den Städten mit Förderprogrammen befinden jedoch mit Städten wie Berlin, Hamburg, München oder Köln die größten Ballungszentren Deutschlands.

Entsprechend des Einzugs der Dachbegrünung in den deutschen Städtebau besteht hinsichtlich der ökonomischen und ökologischen Effekte eine hohe aktuelle Forschungsdichte – insbesondere für die Region Mainfranken (vgl. KOLB 2002a, vgl. KOLB 2002b, vgl. KOLB 2003, vgl. SCHWARZ 2004, vgl. BKR ESSEN 2014, vgl. BPI 2016, vgl. BULLERMANN SCHNEBLE 2015). KOLB und SCHWARZ haben einige Abhandlungen zu Dachbegrünung im klimatischen Kontext der Region Mainfranken verfasst, die von der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) in Veitshöchheim herausgegeben wurden. Die Erkenntnisse umfassen die Bereiche der Pflanzenauswahl, des Wasserrückhalts und der Verdunstungsleistung, den Artenschutz sowie Kosten-Nutzen-Analysen. Die bereits im Kontext des urbanen Grüns genannten positiven ökologischen Effekte sind ebenfalls auf die Dachbegrünung anwendbar (vgl. DDV 2016a: 6 ff.): Sie bietet Lebensraum für Pflanzen und Tiere, hohen Wasserrückhalt (abhängig von Bauart und Substrat 50 – 90 prozentige Rückführung des Nieder-

schlags durch Evapotranspiration) und Entlastung der Kanalisation bei Starkregen (Reduktion der Abflussspitzen durch zeitlich verzögerte Ableitung des Restwassers vom Dach), sie verbessert durch die Verdunstungskühlung das Mikroklima und kann die Luftqualität durch Bindung und Ausfilterung von Staub und Luftschadstoffen verbessern. Dachbegrünung kann somit signifikante Beiträge zur Klimawandelanpassung von Städten leisten. Jedoch bestimmen die Planung und die Gestaltung die tatsächliche Wirkung. Hinsichtlich des Temperaturengleichs auf Quartierebene schwindet der Effekt mit der Höhe der begrünten Gebäude. Ein nur extensiv begrüntes Hochhaus hat keinen Einfluss auf die Temperatur im umliegenden Straßenraum. Deshalb kann Dachbegrünung nur als Teil eines Maßnahmenpakets und vor allem in Kombination mit Fassadenbegrünung, die einen größeren Einfluss auf das Mikroklima im umliegenden Straßenzug hat, als wirkungsvoll angesehen werden.

Neben ökologischen Effekten weist Dachbegrünung wegen ihrer Charakteristik als Gebäudeschicht einen wirtschaftlichen Mehrwert auf, der gerade privaten Bauherren aber auch den Stadtverwaltungen als finanzielles Argument dienen kann. (vgl. DDV 2016a: 4 ff.): Sie kann die Lebensdauer des Gebäudedachs verlängern (Schutz durch Vegetation, Substrat und Aufbau vor UV-Strahlung, Hagelschlag und Temperaturstress), verbessert die Gebäudeenergiebilanz im Winter (Kälteschutz in Abhängigkeit der Substratstärke) sowie im Sommer (Hitzeabschirmung) und reduziert somit den Energieverbrauch zum Heizen bzw. Kühlen der Raumluft. Sie kann durch die beschriebene Wasserrückhaltung die Entsorgungskosten für die Kommune senken, womit sich indirekt Infrastrukturkosten einsparen lassen (kleinere Rohrleitungen und Kanäle, Reduktion der Folgeschäden bei Starkregen und Hochwasser). Darüber hinaus wirkt sich Dachbegrünung positiv aus auf die Aufenthalts- und Umgebungsqualität (vgl. DDV 2016a: 4 ff.): Neben der optischen Aufwertung bietet die zusätzliche Dachsicht erhöhten Schallschutz (Minderung der Schallreflexion nach außen sowie verbesserte Schalldämmung nach innen) und kann im Fall genutzter, begehbare Flachdächer als Dachgarten eine erweiterte Nutzfläche bieten.

Vor dem Hintergrund der Flächenkonkurrenz im urbanen Raum stellt die Begrünung von Dächern einen sinnvollen Baustein zur Klimaadaptation und -mitigation und zur Erhöhung der Lebensqualität in verdichteten Räumen dar. Das Baukonzept schafft wie kein anders eine Vielfalt an positiven Effekten für Umwelt und Gebäude und verknüpft somit den ökologischen mit dem ökonomischen Nutzen. Im Hinblick auf die bauliche Starrheit der weitgehend entwickelten deutschen Innenstädte und der sich darin offenbarenden Problematik nur geringer möglicher Bauaktivität bei gleichzeitigem großen ökologischem Handlungsdruck,

stellt sich die Frage, inwieweit das Konzept der Dachbegrünung auf bereits bestehende Baukörper anwendbar ist.

2.3 Dachbegrünung im Kontext der nachträglichen Umsetzung

An dieser Stelle wird zunächst eine Definition des Begriffs der Dachbegrünung vorgenommen. Dies soll eine Spezifizierung der unterschiedlichen Art und Weise, auf die sich Dächer begrünen lassen, ermöglichen. Erst dann können technisch-bauliche Fragen zur Durchführung geklärt werden, die für die Wahl der Parameter in der GIS-Analyse entscheidend sind.

Dachbegrünung ist in Deutschland seit den 1990er Jahren ein geläufiger Begriff. Im deutschen Raum wird als Dachbegrünung jegliche Begrünung auf Gebäudeoberflächen bezeichnet – in Abgrenzung zu der ebenfalls der Gebäudebegrünung zugehörigen Fassaden- und Innenraumbegrünung (vgl. KÖHLER 2012: 14 f.). Dachbegrünung ist – im Gegensatz zur ungewollten Spontanbegrünung – auf Dauer angelegt und soll idealerweise dieselbe Lebensdauer wie das zugehörige Dach erreichen. Eine engere Definition des Begriffs ermöglicht erst die Differenzierung zwischen der extensiven und der (einfachen) intensiven Dachbegrünung (vgl. Abb. 4). Extensive Dachbegrünung kann als in der Regel nicht genutzte, großflächig anlegbare, wiesenhafte und vergleichsweise anspruchslose Grünanlage mit niedrigem Aufwand in Herstellung und Pflege beschrieben werden (vgl. FLL 2018: 17). Einfache Intensivbegrünungen sind genutzte oder ungenutzte, meist einfach gestaltete dachgebundene Grünflächen mit geringem bis mittlerem Aufwand in Herstellung und Pflege. Intensivbegrünungen im engeren Sinne sind in der Regel genutzte und höherwertig gestaltete Gartenflächen auf dem Dach mit größerem Aufwand in Herstellung und Pflege.



Abbildung 4: Gegenüberstellung intensiver (links) und extensiver (rechts) Dachbegrünung.
Quelle: BU GG 2018.

Ein extensiv angelegtes Gründach ist nicht für den Aufenthalt gedacht und soll nur zur Pflege und Wartung (circa einmal jährlich) betreten werden (vgl. DDV 2016a: 15 ff.). Es besitzt die Eigenschaften einer natürlich gewachsenen Wiese mit einem entsprechenden Grad an Artenvielfalt. Die anspruchslose, niedrigwüchsige und naturnahe Vegetation aus Moos-Sedum bis Gras-Kraut kann als Ersatzlebensraum für Insekten dienen. Extensivbegrünungen sind kostengünstig in der Herstellung (i.d.R. < 35 €/m², bezogen auf den Aufbau oberhalb der Dachabdichtung), verlangen geringe bis gar keine Bewässerung und eignen sich vor allem für Dächer mit nur geringen Lastreserven (ca. 60-250 kg/m² bei einer Aufbaudicke von 6-20 cm) und für großflächige Industriebauten. Wegen der sich selbst erhaltenden Vegetationsschicht und der nährstoffarmen mineralischen Substratschicht herrschen ubiquitär akzeptable Standortbedingungen für diese Art der Dachbegrünung. Jedoch können Hitze und Trockenstress im Sommer temporär zu einem Verlust an Vitalität führen, abhängig von der Häufigkeit der Wassergabe und dem damit verfolgtem Anspruch an die Schwamm- und Kühlwirkung von Pflanzen und Substrat. Die extensive Dachbegrünung dient dem Dach als Schutzbelag und erfüllt zu einem gewissen Grad die beschriebenen ökologischen Anforderungen an urbane Grünflächen. Intensiv begrünte Dächer können den zusätzlichen Zweck einer Nutz- und Wohnfläche erfüllen (vgl. DDV 2016a: 18 ff.). Der Bonus einer komplexer gestaltbaren Vegetation (von Rasen oder Stauden bis Sträucher und Bäumen) bringt jedoch erhöhte Installationskosten und einen arbeitsintensiveren Wartungsaufwand (Bewässerung und Pflege) mit sich. Zudem können intensiv begrünte Dächer wegen der erhöhten statischen Belastung (Gewicht von 150-3000 kg/m² bei 12-40 cm Aufbaudicke) nur auf nutzbaren bzw. begehbaren Flachdächern mit einer maximalen Dachneigung von 5° installiert werden. Die Anlage von extensiver Dachbegrünung ist dagegen auch bei Schrägdächern, selbst bei Dachneigungen bis zu 45°, möglich (vgl. FLL 2018: 50, vgl. BURCHARDT 2019, Anlage 5).

Allgemein steigen mit höherer Aufbaudicke und Gewicht auch die Anforderungen der Installation an Bauwerk und Baustoffe, insbesondere hinsichtlich der Statik bzw. der Lastreserven, der Dachneigung, des Dachaufbaus und der Abdichtung bzw. des Wurzelschutzes (vgl. FLL 2018: 28 ff.). Auf der anderen Seite determinieren die vorhandenen baulichen Begebenheiten des Daches die grundsätzliche Möglichkeit und die Art einer nachträglichen Dachbegrünung. Hinsichtlich der baulichen Anforderungen und Umsetzung von Dachbegrünungsmaßnahmen stellt die Dachbegrünungsrichtlinie das einschlägige und umfassende Standardregelwerk dar (vgl. FLL 2018). Herausgeber ist die Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., eine Organisation des Garten-, Landschafts- und

Sportplatzbaus. Die darin enthaltenen Ausführungen zu den Grundsätzen der Planung und den Anforderungen an zu begrünende Bauwerke dienen als Wissensgrundlage der in Kapitel 5 angewandten Methode der Detektion von Potentialflächen. Folgend sollen die wichtigsten (bautechnischen) Aspekte aufgezeigt werden, die entscheidend für die Möglichkeit der (nachträglichen) Dachbegrünung und die Ausgestaltung der GIS-Analyse sind.

Dachneigung:

Der wichtigste Indikator zur Bestimmung des Potentials einer nachträglichen extensiven Dachbegrünung wurde aus dem Dachneigungswinkel abgeleitet. So steigen mit zunehmender Dachneigung auch der Kosten- und Arbeitsaufwand einer Installation, da ab bestimmten, von der FLL zusammengetragenen Schwellenwerten, weitere bautechnische Absicherungsmaßnahmen notwendig werden (vgl. Tab. 2). So sind beispielsweise ab einer Neigung von 10° besondere Hilfsvorrichtungen gegen Abrutschen der Substratdecke nötig. Die als Ergebnis der Potentialanalyse erstellte Kartenabbildung spiegelt diese Kategorisierung wider (Ausnahme: Potentialklasse 1 wird für Dachneigungen bis 5° erteilt) (vgl. Abb. 26).

Statik:

Das Dach muss Lastenreserven für den Begrünungsaufbau in wassergesättigtem Zustand, für Schnee und weitere Sicherheitsreserven aufweisen – bei begehbaren Dächern zudem die Verkehrslast. Im Fall der extensiven Dachbegrünung mit leichtem mineralischem Substrat und geringer Aufbaudicke (60-12 cm) wird nur ein zusätzliches Gewicht von 60-150 kg/m² verursacht (vgl. DDV 2016a: 21 ff.). Diese statische Last ist vergleichbar mit der einer standardmäßigen, 5 cm hohen Kiesschüttung, welche ebenfalls 100 kg/m² wiegt. Nach dem Entfernen der alten Kiesschicht im Baubestand wird somit eine extensive Begrünung in bautechnischer Hinsicht ermöglicht. Das mit Kies bedeckte Flachdach stellt somit das ideale Szenario eines nachträglich begrünbaren Daches im Baubestand dar (vgl. ANSEL et al. 2015). In der GIS-Analyse wurde der Aspekt der Statik insofern berücksichtigt, als dass Flachdächern (Potentialklasse 1: Dachneigungen bis 5 °) ein erhöhtes Potential zur nachträglichen Begrünung zugeschrieben wurde. Kiesoberflächen wurden jedoch nicht klassifiziert. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass Flachdächer, im Gegensatz zu eingedeckten Dächern, und sofern sie über eine intakte Abdichtung verfügen, für die nachträgliche Anlage einer leichten und extensiven Dachbegrünung statisch generell geeignet sind.

Sonstige Anforderungen:

Generell setzt die Installation einer Dachbegrünung ein fachgerecht abgedichtetes Dach voraus, welches sicher gegen Wasserdiffusion und Durchwurzelung ist. Der Systemaufbau ist abhängig von der Dachkonstruktion (Warmdach, Kaldach, Umkehrdach) und der Vegetationsart (extensiv, intensiv). Der Aufbau besteht im Regelfall aus der Vegetationsschicht, darunter einer Substratschicht, einer Filtermatte, einer Dränschicht (Festkörper oder Schüttgut), Schutzlagen, einer wurzelfesten Dachabdichtung, und der darunter liegenden Dachkonstruktion (FLL 2015: 55 ff.). Die Komplexität der Vegetation bestimmt auch die Ansprüche an die lokalen Standortbedingungen (vgl. FLL 2018: 24 f.). In Bezug auf das lokale Klima bzw. die Witterungsverhältnisse sind u.a. die Sonnenscheindauer, die Niederschlagsmenge und -verteilung, die Zahl der Trocken- und Frostperioden sowie die Windstärke und Hauptwindrichtung zu beachten. Bauwerksspezifische Faktoren wie die Exposition zur Sonne, die den Niederschlagsabfluss bestimmende Dachform, das Risiko für Staunässe bei Dachgefällen unter 2 % oder der Eintrag durch unmittelbare Abluftemissionen bestimmen ebenfalls die Möglichkeiten zur Bepflanzung.

Tabelle 2: Sicherungsmaßnahmen gegen Materialverlagerung in Abhängigkeit der Dachneigung.
Quelle: FLL 2018: 50.

Nr.	1	2				
		Dachneigung				
1	Mögliche Maßnahme	≥ 0°	≥ 3°	≥ 10°	≥ 20°	30-45°
2	Maßnahmen gegen Oberflächenerosion ab 0° Neigung					
3	Vorübergehende Maßnahmen zum Schutz gegen Wasser- und Winderosion bis zur Vegetationsabnahme möglich	X	X	X	X	X
4	Begrünung mit Vegetationsmatten oder Rasengittersteinen an verwehungsgefährdeten Teilflächen	X	X	X	X	X
5	Maßnahmen zur Fixierung der Abdichtung ab 3° Neigung					
6	Fixierung der Dachabdichtung gemäß DIN 18531-3 und der Fachregel für Abdichtungen (ZVDH/HDB)		X	X	X	X
7	Maßnahmen gegen Abrutschen ab 10° Neigung					
8	Verwendung von durchwurzelungsfesten Dachabdichtungen (keine getrennte Verlegung des Durchwurzelungsschutzes)			X	X	X
9	Sicherungsmaßnahmen gegen Abrutschen			X	X	X
10	Verzicht auf lose verlegte Filtervliese oberhalb von Dränelementen			X	X	X
11	Umgehende Maßnahmen des Erosionsschutzes (Vegetationsmatten, Nassansaat mit Kleber, Erosionsschutzgewebe)				X	X
12	Verzicht auf lose verlegte Filtervliese bei allen Bauweisen				X	X
13	Sicherung gegen Abrutschen mit statischem Nachweis					X
14	Maßnahmen gegen Oberflächenerosion ab 30° Neigung					
15	Maßnahmen gegen Schüttstoffverlagerung empfohlen					X

Im Rahmen der in Kapitel 5 durchgeführten Potentialanalyse zur nachträglichen Dachbegrünung im innerstädtischen Würzburg, wird nur die extensive Form der Begrünung behandelt. Sie ist der zentrale Gegenstand einer flächendeckenden Begrünung im Zuge städtebaulicher Begrünungsmaßnahmen, denn sie weist weitaus weniger Konfliktpotential mit den bautechnischen Begebenheiten auf (Statik, Dachneigung, Abdichtung) als die intensive Begrünung (vgl. FLL 2018). Außerdem herrschen für die anspruchslose Vegetation extensiver Begrünung ubiquitär akzeptable Standortbedingungen, weshalb klimatische Faktoren und Witterungsverhältnisse nicht in die Untersuchung einbezogen werden mussten. Zudem ist die Extensivbegrünung in ökonomischer Hinsicht der Intensivbegrünung vorzuziehen, da sie keiner zusätzlichen Bewässerung bedarf und Pflege- sowie Wartungskosten eingespart werden können. Gleichzeitig kann sie aber das Mindestmaß der behandelten ökologischen und stadtklimatischen Vorzüge erzielen.

Während beim Neubau die Tragfähigkeit der Dachkonstruktion sowie die nötige Dachneigung auf den gewünschten Dachbegrünungstyp abgestimmt werden kann, ist die grundsätzliche Möglichkeit einer Dachbegrünung von Bestandsgebäuden abhängig von den bestehenden bautechnischen Ausgangsbedingungen, welche zudem die Höhe der dabei entstehenden Kosten einer gegebenenfalls notwendig werdenden Umrüstung des Daches mitbedingen. Laut DDV und FLL ist die nachträgliche Begrünung von nicht von vornherein für Dachbegrünung vorgesehenen Dächern prinzipiell möglich, sofern der wurzelfeste Dachaufbau inklusive der Abdichtung intakt ist und einen weiteren Systemaufbau statisch und neigungsbedingt ermöglicht. Neben einer Abdichtung können laut der Firma Optigrün auch WU-Beton oder Metallprofile eine wasserdichte und wurzelfeste Gebäudedecke ermöglichen (vgl. BURCHARDT 2019, Anlage 5). Neben den Richtkosten für den Systemaufbau der Begrünung können bei der nachträglichen Dachbegrünung gegebenenfalls weitere Kostenfaktoren anfallen (vgl. MANN 2019, Anlage 14): Die Ertüchtigung der Statik, eine Erneuerung der wurzelfesten Dachabdichtung bzw. Verlegen einer zusätzlichen Wurzelschutzfolie, eine Ermöglichung des Zugangs zum Dach für Pflege und Wartung, Absturzsicherung und Wasseranschluss. Durch die erschwerte Logistik beim nachträglichen Einbau und der Nachrüstung der benannten Punkte können im Vergleich zur bei einem Neubau angelegten Dachbegrünung somit unbestimmt höhere Projektkosten anfallen. Nach eigener Befragung zweier deutscher Hersteller für Dachbegrünung zum Thema des erhöhten Kosten- und Arbeitsaufwands nachträglicher Dachbegrünung lässt sich keine konkrete Aussage treffen. „Nachträgliche

Dachbegrünungen scheitern häufig an ungenügenden statischen Voraussetzungen und fehlendem Wurzelschutz, bzw. unverhältnismäßig hohen Kosten für die Überarbeitung der Dachabdichtung“ (HERSTELLER 1 2019, Anlage 3). Gleichzeitig wurde angegeben, dass die Projektkosten einer nachträglichen Dachbegrünung sich nicht wesentlich, sondern eher gering, von denen bei einem Neubau abweichen (vgl. HERSTELLER 2 2019, Anlage 4). Da viele Städte die Auflage erlassen, Flachdächer zu begrünen, welche nicht nur bei Neubauten, sondern auch im Zuge von Umbau oder der Sanierung von Bestandsgebäuden greift und eine Vielzahl der Flachdächer aus den 70er Jahren mittlerweile sanierungsbedürftig ist, steigt auch die Nachfrage für nachträgliche Dachbegrünungen an. Demnach können deutsche Hersteller auf größere Erfahrungswerte auch bei der nachträglichen Dachbegrünung von abgedichteten flachen Dächern zurückgreifen. Im Fall der nachträglichen Begrünung von nicht abgedichteten, sondern eingedeckten Steildächern ließ sich dagegen ein Mangel an Erfahrungswerten feststellen.

Im Hinblick auf die von traditioneller Bauweise geprägten, mit roten Tonziegeln eingedeckten, steil konstruierten Sattel-, Walm-, und Mansardendächer der Würzburger Altstadt stellt sich aber die Frage, ob diese nicht abgedichteten Dacharten ein klares Ausschlusskriterium für die nachträgliche Begrünbarkeit darstellen. In der aktuellen Dachbegrünungsrichtlinie stehen lediglich Lösungen für abgedichtete Flachdächer und WU-Betondächer (FLL 2018: 31): „Die derzeit eingesetzten Bauweisen und Stoffe für Dächer mit Deckungen sind i.d.R. für eine Begrünung nicht geeignet. Bei entsprechenden bautechnischen Vorgaben besteht die Möglichkeit, auch solche Dächer zu begrünen, ggf. sind Sondermaßnahmen, z.B. wasserdichte Unterdächer, erforderlich“. Bezüglich einer nachträglichen Begrünung von steileren und eingedeckten Dächern wurden deshalb im Rahmen dieser Arbeit zwei unterschiedliche Hersteller von Dachbegrünungslösungen befragt, wobei die Firma Akta eine im deutschen Raum bisher einmalige Lösung zur nachträglichen Begrünung eingedeckter Dächer anbietet.

Firma Optigrün (BURCHARDT 2019, Anlage 5):

- „Für die Begrünung bereits eingedeckter Dächer gibt es keine Systembauweisen. Eine Übergangsform stellen so genannte 'Gründachpfannen' [der Fa. Atka, Anm. d. Verf.] dar, das sind begrünbare Kunststoffplatten, die wie Dachziegel auf Konterlatung montiert werden. Für Steildächer sicher eine sinnvolle technische Lösung.“

- „Tatsächlich werden auch eingedichtete Dächer bis 45° Dachneigung (sogar darüber hinaus) regelmäßig begrünt. Dies ist aber mit hohem konstruktivem Aufwand verbunden und entsprechend teuer. Es handelt sich meistens um architektonische Prestigeobjekte (i.d.R. nicht in Deutschland) oder um private Bauvorhaben im Bereich hochpreisiger EFH/MFH.“

Firma Atka (ATKA 2019, Anlage 6):

- „Mit unserem System sind Dächer bis 45° Dachneigung zu begrünen. Das System ist auch bauaufsichtlich zugelassen (...). Das System gibt es seit mehr als 20 Jahren und wurde schon oft auf 45° Dächern umgesetzt. Auch kann das System nachträglich auf vorhandene Dachkonstruktionen gebracht werden. Natürlich müssen die Dachziegel runter und die Dachkonstruktion entsprechend der Vorgaben (Lattabstand) angepasst werden. Ich meine sogar, dass wenn ein Dach neu eingedeckt wird, die Lattung sowieso erneuert werden muss. Also: Die Nachträgliche Begrünung ist mit den entsprechenden Anpassungsarbeiten möglich.“

Diese aufwändige Art der Dachbegrünung ist also kostentechnisch problematisch sowie insbesondere städtebaulich nach jetzigen Vorstellungen in Deutschland nicht etabliert. Aus technischer Sicht ist die Begrünung selbst von nicht abgedichteten, eingedeckten Steildächern einer steileren Dachneigung jedoch möglich, auch im Fall einer Nachrüstung. Im Vergleich zur nachträglichen Flachdachbegrünung kann im Hinblick auf den aktuellen technischen Stand in Deutschland ein eher unverhältnismäßig großer Kosten- und Arbeitsaufwand konstatiert werden. Es ist dennoch denkbar, dass durch Offenlegung des gerade in verdichteten Stadtkernen bestehenden Flächenpotentials von Steildächern, deren Begrünung in den Fokus der Stadtplanung rückt. Deshalb wurde in die Analyse ebenfalls ein Steildach-Szenario einbezogen, welches aber ein nur geringes Begrünungspotential indizieren soll.

3. Das innerstädtische Untersuchungsgebiet Würzburgs

In diesem Kapitel soll das Untersuchungsgebiet der Analyse beschrieben und die Wahl des Umrisses begründet werden. Dafür wird zunächst die stadtklimatische Problemlage der Stadt Würzburg erörtert. Aktuelle Forschungen zur stadtklimatischen Situation, resultierend in einem Klimaplanatlas, verschaffen einen Eindruck davon, mit welchen Herausforderungen sich die gegenwärtige lokale Stadtentwicklung konfrontiert wird. In diesem Kontext sollen

die städtischen Handlungsziele und -möglichkeiten, zu welchen auch die Dachbegrünung gehört, aufgezeigt werden. Mittels Expertenbefragungen und Recherche von Verwaltungsakten wurde ein Überblick über das stadtplanerisch angewandte Instrumentarium der Förderung und Steuerung von Dachbegrünung geschaffen. Die nachträgliche Umsetzung potentieller Gründächer mit diesen Instrumenten soll in diesem Kapitel im Hinblick auf die öffentlich-rechtlichen Rahmenbedingungen vorab bewertet werden. In Kapitel 7 wird diese Bewertung empirisch fortgeführt, anknüpfend an die mit einem Geoinformationssystem durchgeführte Potentialanalyse.

3.1 Ausgangssituation der Stadt Würzburg

Die kreisfreie Stadt Würzburg, zugehörig der Planungsregion Würzburg, ist eines von drei unterfränkischen Oberzentren. Die Stadt hat sich aufgrund der Verkehrslage im Knotenpunkt von Autobahnen, Bundesstraßen, Zugstrecken und dem Main als Verbindungsstraße von Donau und Rhein zu einem überregionalen Verkehrsdrehkreuz entwickelt (vgl. BAUMHAUER/CONRAD 2016: 22). Würzburg ist die sechstgrößte Stadt Bayerns und liegt mit über 148 Einwohnern je Quadratkilometer hinsichtlich ihrer Bevölkerungsdichte deutlich über dem gesamtbayerischen Medianwert der Gemeindeebene (vgl. LFSTAT 2019a). Nach Prognose des statistischen Landesamtes wird sich die Bevölkerung in der Stadt Würzburg – im Gegensatz zu den sonstigen räumlichen Einheiten Unterfrankens – weiterhin leicht positiv entwickeln (Stand 2017: ca. 129.000) (vgl. LFSTAT 2019b).

Das Stadtgebiet umfasst eine Fläche von circa 87,63 km² (vgl. STADT WÜRZBURG 2018c). Davon machen Siedlungsflächen rund 45 % und Freiflächen rund 55 % aus. Der Main, der „Ringpark“, der Botanische Garten und die umliegenden Weinberge repräsentieren dabei die bedeutendsten Freiraumflächen der Stadt (vgl. BPI 2016: 9). Die Bauflächen beanspruchen mit 30 % den größten Anteil der Gesamtfläche, darunter wiederum dominieren die Flächen für Wohngebäude (vgl. Abb. 5). Unter den sonstigen Flächen (7,3 %) sind unter anderem Flächen für den Naturschutz, Sonderfreiflächen und Flächen für den Gemeinbedarf vertreten. Die Stadt Würzburg ist insgesamt geprägt von dichter Bebauung, hoher Oberflächenversiegelung, von geringer Vegetationsbedeckung und einem hohen innerstädtischen Verkehrsaufkommen (vgl. PAETH 2016: 97).

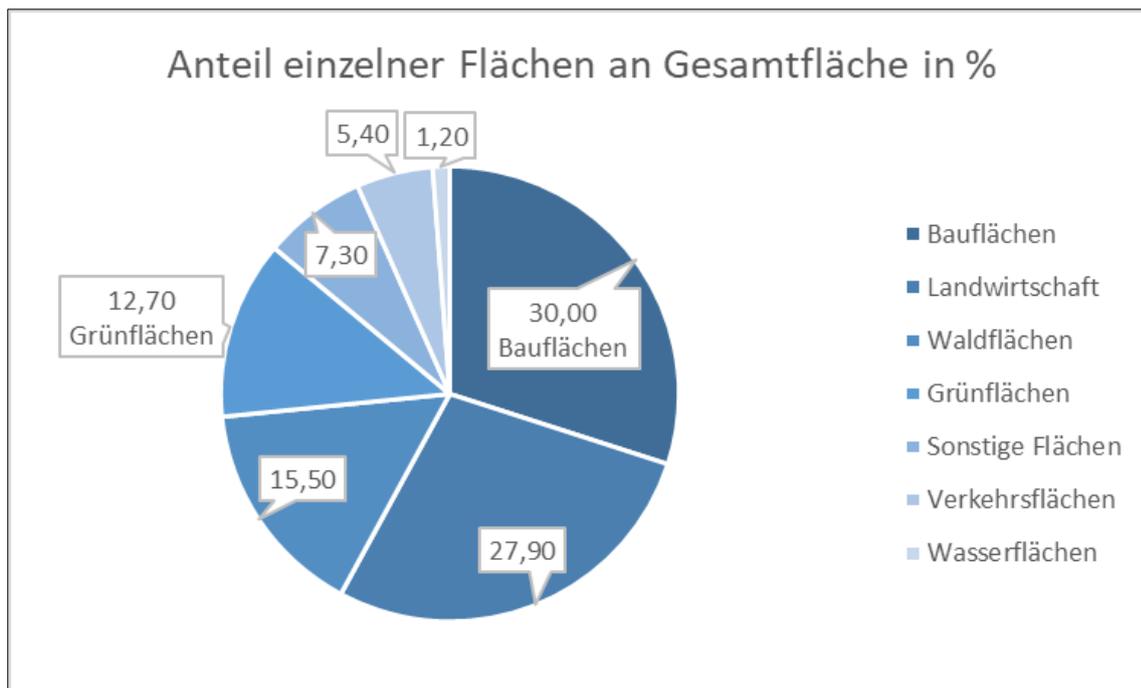


Abbildung 5: Flächenaufteilung im Stadtgebiet Würzburg.
 Quelle: Eigene Darstellung nach STADT WÜRZBURG 2007. Stand: September 2007.

Eingebettet in das Mainfränkische Becken und durch die somit ausgeprägte Kessellage wird Würzburgs Klima stark durch die topographischen Rahmenbedingungen bestimmt (BPI 2016: 8f.). So beträgt der Höhenunterschied zwischen Innenstadt und den umliegenden Hochflächen meist mehr als 150 Meter. Gerade im Winter sind deshalb Inversionswetterlagen und damit verbundene Verschlechterungen der Luftqualität keine Seltenheit. Nach Daten des Luftreinhalteplans für die Stadt Würzburg traten diese im Jahr 2004 an 70 % bis 80 % aller Tage im Jahr auf, wobei sie in den Herbst- und Wintermonaten länger und teils bis zum Folgetag erhalten blieben (vgl. REGIERUNG VON UNTERFRANKEN 2004: 11).

Nach RAUH/PAETH (2011) ist Würzburg stark von zunehmender Erwärmung betroffen, was mit der besagten Topographie, insbesondere der Kessellage im Maintal erklärt wird. Innerhalb der Beobachtungszeitreihe von 1947 bis 2006 wurde im Maintal eine deutliche Erwärmung um bis zu 1,4 °C im Winter und 1,1 °C im Sommer festgestellt. Diese Erwärmungsraten sind deutlich höher als im globalen und bundesdeutschen Durchschnitt und kennzeichnen Unterfranken als Hot-Spot des Klimawandels. Die Studie prognostizierte mit Hilfe eines regionalen Klimasimulationsmodells (REMI), unter Beachtung des IPCC-Szenarios A1B, bis zum Jahr 2100 eine Erwärmung um circa 4,9 °C über die meisten Jahreszeiten. Zudem wurde bis Ende des Jahrhunderts für die Region ein Anstieg an Hitzetagen ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$) um 50 Einheiten und ein Anstieg der Tropennächte ($T_{\min} \geq 20 \text{ °C}$) vorausgeschätzt. Gleich-

zeitig wurde festgestellt, dass die Häufigkeit der regionalen Niederschläge gerade im Sommer sinken wird, sich das Risiko für Starkregenereignisse aber erhöht. Diese regionalen Trends können bereits jetzt in den städtischen Klimastatistiken der Jahre 1995 bis 2018 nachvollzogen werden (vgl. STADT WÜRZBURG 2018c). Zwar stellt das Jahr 2018 ein Rekordjahr hinsichtlich der globalen und nationalen Mitteltemperaturen dar, doch auch der mittlere Trendverlauf spricht für eine Verschlechterung der klimatischen Situation (vgl. BMU 2019). Aufgrund der Kessellage und der wenigen Frischluftschneisen kann in klaren Sommernächten die städtische Wärmeinsel Würzburgs um bis zu 5 °C wärmer als ihr Umland werden. Dies entspricht dem Niveau deutlich größerer Städte in Deutschland (vgl. PAETH 2016: 96 f.). Der Flusslauf des Mains ermöglicht wegen seiner dichten Uferbebauung speziell im Altstädtischen Teil des Untersuchungsgebiets nur einen begrenzten Abkühlungseffekt. Über das Maintal und wenige Seitentäler bestehen Frischluftschneisen, die aber durch die Bauaktivität in den Nachkriegsjahrzehnten stark eingeschränkt wurden.

Im Kontext dieser Faktorenlage aus rezenter Klimaveränderung, regionaler Topographie und städtischer Bebauung sind viele Gebiete der Stadt Würzburg durch Überwärmung gekennzeichnet. Neben den Risiken für die auf wassergesättigte Böden angewiesene Landwirtschaft und der steigenden Hochwassergefahr in Mainnähe, führt gerade die städtische Hitzebelastung in Verbindung mit fehlenden nächtlichen Regenerationsphasen zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung der Bevölkerung. Angesichts dieser Entwicklung steht die Stadtplanung der Stadt Würzburg den Herausforderungen gegenüber, durch geeignete Maßnahmen, basierend auf angewandter Forschung, die Lebensqualität in der wachsenden und gleichzeitig alternden Stadt zu sichern (vgl. STADT WÜRZBURG 2018d). Um im Rahmen der weiteren Stadtentwicklung die klimatischen Aspekte systematisch berücksichtigen zu können, wurde die Kasseler Firma „Burghardt und Partner, Ingenieure“ mit einer umfassenden stadtklimatischen Analyse und der Ausarbeitung von Planungsempfehlungen beauftragt (vgl. BPI 2016). Der „Klimaplanatlas der Stadt Würzburg“ wurde in den Jahren 2015/2016 erarbeitet und erlaubt einen Überblick über die mikro- bis mesoklimatischen Zusammenhänge des Stadtklimas. Im folgenden Abschnitt sollen die Erkenntnisse für das in dieser Arbeit untersuchte Gebiet der Stadtbezirke Altstadt und Sanderau bei gleichzeitiger Legitimierung der Wahl dieser besonders beanspruchten Gebiete aufgezeigt werden.

3.2 Das Untersuchungsgebiet im städtischen Klimaplanatlas

Als zusammenfassendes und planungsorientiertes Produkt der Analyse von BPI (2016) erfasst die Klimafunktionskarte flächendeckend stadtklimatisch relevante Einflussgrößen und Zusammenhänge. Bei einer Klimafunktionskarte handelt es sich um ein klimaökologisches Gutachten, welches für einen bestimmten geographischen Raum angefertigt wird (vgl. KAMPE et al. 2015: 344). Das thematische Planungsinstrument wird in den VDI-Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure geregelt. Die lokale im Jahr 2016 veröffentlichte Klimafunktionskarte beschreibt Würzburgs Flächen und deren Verbindungen untereinander hinsichtlich ihrer klimatischen Eigenschaften und Klimafunktionen (Klimatope). Der Fokus der Analyse lag auf der Untersuchung der klimatischen Mesoebene, welche gleichzeitig den Handlungsraum der regionalen sowie der städtischen Planungsebene darstellt (vgl. BPI 2016: 10 f.). Auf diesen Ebenen können die Planungsinstrumente Regionalplan sowie Flächennutzungsplan auf klimatische Problemstellungen reagieren. Zentrale Aspekte der mesoklimatischen Modellierung und Bewertung des Stadtgebietes waren die Wärmebelastung (Einstrahlung, Gebäudevolumen, Bestandsvegetation), das übergeordnete Strömungsfeld (großräumige Winde) und das autochthone Windfeld (lokal entstehende Winde). Im Modell berücksichtigt wurden die Topographie, Gebäudedaten, die Landnutzung sowie Luftbilder. Die letztliche Ergebnisdarstellung in Form einer Rasterbildkarte basiert auf folgender Klassifikation von Klimatopen:

 Kaltluft- und Frischluftentstehungsgebiet	 Misch- und Übergangsklimate	 Moderate Überwärmung	 Stadtteilgrenzen
 Frischluftentstehungsgebiet	 Überwärmungspotential	 Starke Überwärmung	 Gewässer

Abbildung 6 zeigt einen auf das in dieser Arbeit behandelte Untersuchungsgebiet zugeschnittenen Ausschnitt der Klimafunktionskarte (links) und denselben Gebietsausschnitt dargestellt im hiesigen GIS-Projekt (rechts).

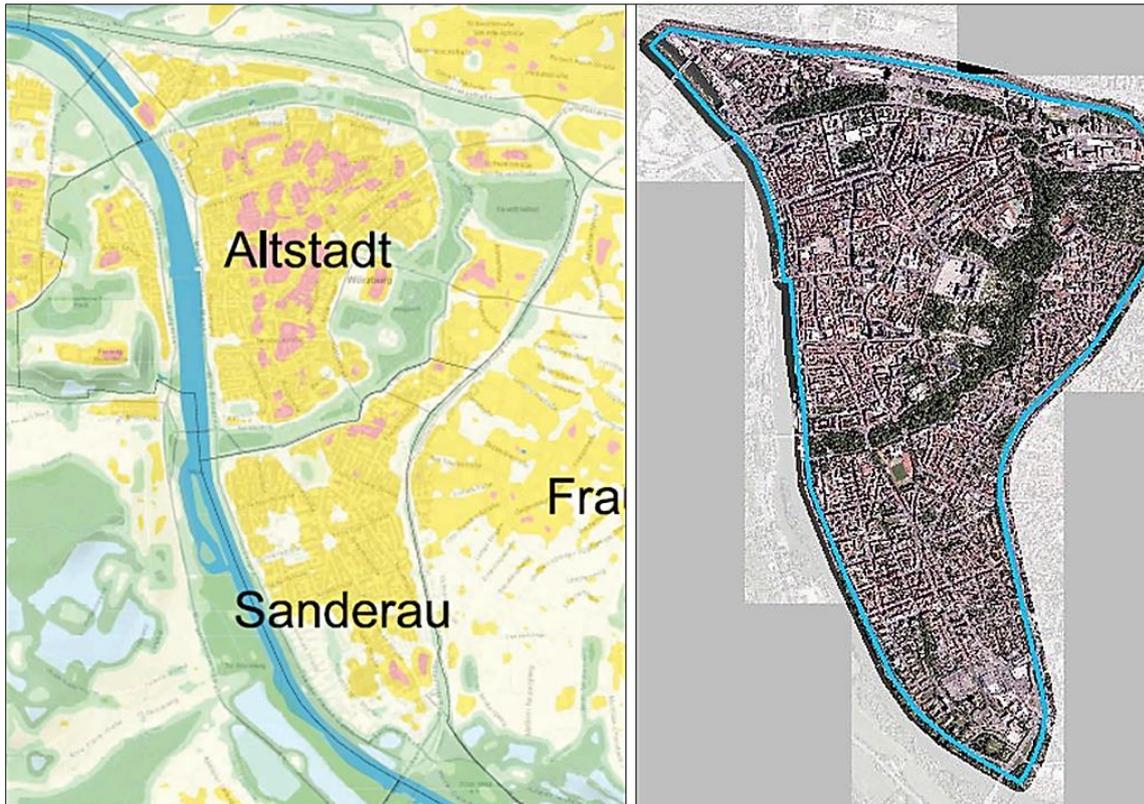


Abbildung 6: Das Untersuchungsgebiet visualisiert in der Klimafunktionskarte und im GIS-Projekt.
 Quelle links: BPI 2016, Quelle rechts: Eigene Darstellung.
 Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung.

Die stärksten Überwärmungsräume (rot) weisen große Anteile der innerstädtischen Altstadt, die Gewerbe- und Hafengebiete des Dürrbachtals, die Gewerbegebiete zwischen Versbach und Lengfeld, die Stadtbezirke Lindleinsmühle und Grombühl, der Stadtkern und die Gewerbegebiete Heidingsfelds, Teile der Sanderau und der Zellerau sowie einige Wohngebiete in den städtischen Randlagen auf (vgl. BPI 2016: 24). All diese Gebiete zeichnen sich durch eine hohe Bebauungsdichte (Wohngebiete) oder durch einen hohen Versiegelungsgrad (Gewerbegebiete) aus. Die Altstadt innerhalb des Ringparks zählt zu den klimatisch kritischsten Gebieten. Bei den roten Zonen handelt es sich um „stark verdichtete Gebiete, geprägt durch fehlende Vegetation und geringe Retentionseigenschaften. Stark eingeschränkte Belüftung. In Kombination mit großen Baumassen entsteht ein hohes Überwärmungsrisiko“ (BPI 2016: 22). Der Stadtbezirk Sanderau – hauptsächlich geprägt durch Zonen moderater Erwärmung – ist zumindest in den weniger dicht bebauten südöstlichen Teilen weniger von Überwärmung betroffen (cremeweiße Flächen). Hier herrscht ein hoher Vegetationsanteil und gewisse bauliche Offenheit, sowie moderates nächtliches Abkühlungspotential. Der in der Altstadt liegende Ringpark zählt zu den kaum von Überwärmung betroffenen Gebieten. Die als

„Grüne Lunge der Stadt“ bezeichnete und im Modell überwiegend als Frischluftentstehungsgebiet ausgewiesene Grünanlage fungiert als Naherholungsgebiet im Innenstadtbereich (vgl. UEBEL 2016: 145).

Im Vergleich zur im Jahr 2012 von der Universität Kassel erstellten Klimafunktionskarte stellt sich in der 2016 präsentierten Karte die räumliche Verteilung der Überwärmungsflächen jedoch anders dar. Nach KATZSCHNER et al. (2012) war neben der Altstadt als größtes Risikogebiet für Überwärmung die Sanderau mit circa 90 % der Fläche stark von Wärmestau betroffen. „Abweichungen zu der [2016] vorgelegten Klimafunktionskarte sind im Wesentlichen auf die systematische Verwendung einer deutlich breiteren Datengrundlage mit einer höheren räumlichen Auflösung zurückzuführen“ (BPI 2016: 6). Ferner wurde auf Basis der aktuellen Klimafunktionskarte eine Planungshinweiskarte erstellt. Im mesoklimatischen Maßstab liefert sie Hinweise für die Stadtverwaltung, Stadterneuerung und den Stadtbau und ist somit auch im Rahmen der Planung von Gebäudebegrünung von Relevanz. Sie weist in größerer Pixelauflösung von 200 x 200 Metern (Hierarchisierung und Aggregation der Pixelmittelwerte) drei Planungshinweisklassen (Städtebauliche Entwicklungsgebiete, Übergangszonen, Sanierungszonen) aus, die für die Stadtplanung von Relevanz sind (vgl. BPI 2016: 26 f.). Wesentliche Teile der Altstadt und der Sanderau sind danach als Sanierungszone ausgewiesen und somit Flächen, „die ungeachtet der verknüpften Klimatopklassifizierung der KFK durch gravierende stadtklimatische Funktionsverluste geprägt [sind] und im Fokus der städtebaulichen Umbau- und Sanierungsmaßnahmen stehen [sollten]“. (BPI 2016: 27). In diesem Kontext bietet sich eine Potentialanalyse gerade für das gewählte Untersuchungsgebiet, welches zu weiten Teilen der Sanierungszone zugeordnet ist, an, um entsprechende Begrünungsmaßnahmen zu mobilisieren. Abbildung 7 zeigt die Parameter, die aus den im Modell eingespeisten Eingabedaten (z.B. Topographie, Gebäudedaten, Luftbilder) errechnet wurden und welche die Grundlage zur in Abbildung 6 visualisierten stadtweiten Funktionsklassifikation darstellen.

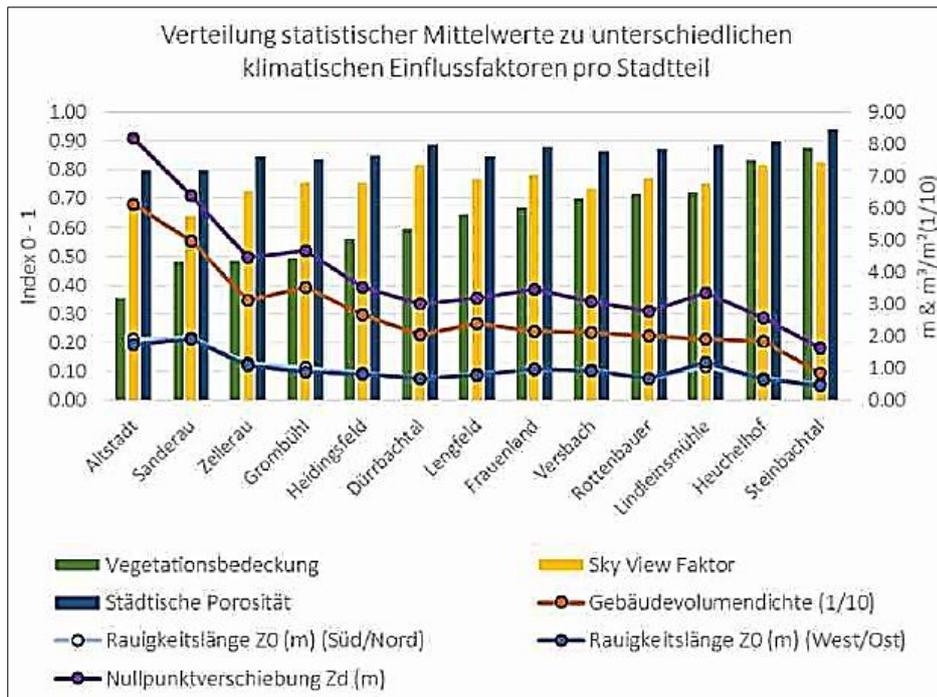


Abbildung 7: Verteilung statistischer Mittelwerte der klimatischen Einflussfaktoren nach Stadtteil.
Quelle: BPI 2016: 25.

Aggregiert nach Stadtteil lassen sich für das hiesige Untersuchungsgebiet folgende Erkenntnisse ableiten:

- Die Stadtbezirke Altstadt und Sanderau weisen auf Basis der Auswertung fernerkundlicher Luftbild- und Satellitenbilddaten (mit Infrarotkanal) die geringsten Vegetationsanteile auf. Bei gleichzeitigem Mangel an begrünbaren Freiflächen könnten (bestehende) Dächer als alternative Flächen zur Erweiterung der urbanen Vegetation dienen.
- SkyView Faktor und Gebäudevolumendichte sind Indikatoren für die durch Bausubstanz bedingte Wärmespeicherung und Wärmestrahlung innerhalb der Straßenzonen. Aufgrund der hohen Bauwerksdichte und des hohen Versiegelungsgrades sind die Werte von Altstadt und Sanderau am stärksten ausgeprägt, was in den betreffenden Gebieten den Wärmeinseleffekt begünstigt. Die in der Bausubstanz gespeicherte Wärmeenergie, umgewandelt aus kurzwelliger Sonnenstrahlung, wirkt sich auch nachts erwärmend auf das Umfeld aus, was den nächtlichen Kühleffekt unterbindet (vgl. HENNINGER 2011: 68 f.). BPI empfehlen für Bereiche mit stark überdurchschnittlicher Gebäudevolumendichte alternative Dachabdeckungen zur Erhöhung der Albedo oder die Begrünung von Dächern. Letztere würde die stärkere Reduktion der Oberflächentemperatur ermöglichen (vgl. BPI 2016: 39 ff.).

- Die teils geringe städtische Porosität in den Bezirken Altstadt und Sanderau ist problematisch, da die Belüftung des städtischen Raums maßgeblich von den vorherrschenden Rauigkeitsparametern bestimmt wird. Dachbegrünung kann die Oberflächenrauigkeit von Dächern erhöhen.

In Anbetracht der problematischen Werte im Untersuchungsgebiet sollte es städtebauliches Ziel sein, die thermische Belastung zu reduzieren. Dazu kann die Dachbegrünung durch Erhöhung des Grünanteils maßgeblich beitragen. Hierfür ist es erforderlich, die dafür bestehenden öffentlich-rechtlichen Rahmenbedingungen zu erörtern und mögliche Standorte auch auf bestehender Bausubstanz zu detektieren.

3.3 Beschreibung des Untersuchungsgebiets

Die in dieser Arbeit untersuchten Bereiche der Stadt Würzburg erstrecken sich über eine circa 4 km² große Fläche, repräsentiert durch zwei der 13 Stadtbezirke. Die beiden Stadtbezirke Altstadt und Sanderau machen etwa 4,5 % der gesamtstädtischen Fläche aus (vgl. STADT WÜRZBURG 2018c). Die aneinander angrenzenden rechtsmainischen Bezirke liegen zwischen dem von Süd nach Nord verlaufenden Fluss Main und den auf der östlichen Seite das Gebiet eingrenzenden Bahntrassen (vgl. Abb. 4). Neben dem an Altstadt und Sanderau entlangverlaufenden Main stellt der zentral gelegene Ringpark die zweite natürliche Barriere – zumindest für den Kraftfahrzeugverkehr – dar (vgl. UEBEL 2016: 145). Der Stadtbezirk Altstadt mit seiner insgesamt Fläche von 3,69 km² ist nur mit seinem östlich des Mains liegenden Anteil im Untersuchungsgebiet vertreten. Das der Altstadt ebenfalls zugehörige „Alte Mainviertel“, welches auf der westlichen Seite des Mains liegt, stellt jedoch hinsichtlich seiner bebauten Fläche nur einen kleinen Anteil des Stadtbezirks dar. Der größte Teil der städtischen Bevölkerung (14,5 %) hat seinen Hauptwohnsitz in der Altstadt (vgl. STADT WÜRZBURG 2018c). Die Sanderau, flächenmäßig der zweitkleinste der Würzburger Stadtbezirke, weist eine Fläche von 1,62 km² auf und liegt hinsichtlich des Bevölkerungsanteils auf dem dritten Platz (10,6 %). Beide Stadtbezirke weisen somit im Würzburger Vergleich stark überdurchschnittliche Bevölkerungsdichten mit 5.000 – 8.400 Einwohnern je Quadratkilometer auf (Würzburger Durchschnitt: 1.473 EW/km²).

Der Kern der Altstadt ist geprägt von historischer Bausubstanz und einer maximalen Dichte an Baudenkmalern (vgl. BLfD 2019). Nach den Zielen der gegenwärtigen Revision des Flächennutzungsplans sollen die historische Bausubstanz bewahrt werden und gleichzeitig grüne Freiräume geschaffen werden (vgl. STADT WÜRZBURG 2018f). Es stellt sich die Frage,

in welchem Maße Dachbegrünung dem Anspruch der Wahrung von Bausubstanz, Stadtbild und Denkmalschutzbelangen gerecht werden kann (vgl. Kap. 3.4.3). Im Osten der Altstadt gibt es teils jung bebaute Gewerbeflächen und hoch aufragende Bürokomplexe. Im nördlichen Altstadtgebiet der „Äußeren Pleich“ bestehen neben gewerblichen Gebäuden in Bahnhofnähe vorwiegend Wohngebäude nach Art der Blockrandbebauung. Selbige dominiert auch das Bild im nördlichen Teil der Sanderau. Freiräume und Innenhöfe gilt es hier als Grünflächen oder als weiteren Wohnraum zu entwickeln (vgl. STADT WÜRZBURG 2018f). Im Rahmen der doppelten Innenentwicklung kann Wohnraum durch Aufstockung und Dachausbau oder durch qualifizierte Innenhofbebauung geschaffen werden. Neben kleineren Mehrfamilienhäusern entlang der angrenzenden Bundesstraße gibt es in der südlichen Sanderau zeilenähnlichen Geschosswohnungsbau. Hier besteht aufgrund flacher Dachformen und entsprechenden Festsetzungen einschlägiger Bebauungspläne Dachbegrünung. Ferner gibt es einige Punkthochhäuser mit flachen Dächern. In beiden Fällen soll entsprechend städtebaulicher Ziele die Möglichkeit der Geschossaufstockung überprüft werden. Zudem gibt es im südlichen Ende der Sanderau ein Gewerbegebiet mit teils weitflächigen Gewerbedächern und hohem Versiegelungsgrad. In Gewerbegebieten wie diesem sollen Dach- und Fassadenbegrünung zur Verbesserung des Stadtklimas gefördert werden.

Es lässt sich konstatieren, dass das stadtklimatisch als kritisch zu bewertende Untersuchungsgebiet die geringsten Ressourcen an vorhandenen Grünflächen – sei es auf dem Dach oder bodengebunden – aufweisen kann. Stadtteile in Randlagen wie Versbach oder Heuchelhof weisen eine beachtliche Dichte an Gebäuden mit Dachbegrünung auf. Die Notwendigkeit möglicher Begrünungsmaßnahmen steht im Kontrast zu den eingeschränkten Begrünungsmöglichkeiten in den verdichteten Stadtbezirken Altstadt und Sanderau. Auch alternative Flächen zur Begrünung, in diesem Fall Dachflächen, weisen vergleichsweise ungünstige Voraussetzungen für nachträgliche Begrünung auf. So dominieren in der Altstadt rotgeziegelte, erhaltenswerte Sattel-, Walm- und Mansardendächer. Dennoch findet sich auf im Rahmen der baulichen Nachverdichtung entstandenen Gebäuden eine Vielzahl an flachen Dächern. Geschossausbau und der Bau von Flachdächern vermag die potentielle Flächenressource für Gebäudegrün weiter zu erhöhen. Zudem weisen Dächer in Gewerbe- und Sondergebieten einen teils immensen Flächenpool für etwaige nachträgliche Begrünungsmaßnahmen auf. Die Perspektive der Fernerkundung kann erste Hinweise über die tatsächlichen Dimensionen dieses teils versteckten Begrünungspotentials geben.

3.4 Öffentlich-rechtliche Rahmenbedingungen für Dachbegrünung

In diesem Unterkapitel wird dargestellt, mit welchem Instrumentarium eine Kommune Gebäudeeigentümer zur Umsetzung von Dachbegrünungsmaßnahmen bewegen kann. Dies soll anhand von im Untersuchungsgebiet wirkenden Instrumenten der Stadtentwicklung näher erörtert werden. Dabei stehen das städtische Förderprogramm und aktuell rechtskräftige Bebauungspläne im Vordergrund der Bewertung zu deren Wirksamkeit im Bestand bzw. Umbau von Gebäuden. Informelle Instrumente, wie die Öffentlichkeitsarbeit oder die Projektbegleitung, sollen nicht beleuchtet werden.

3.4.1 Weiches Instrumentarium der Förderung

Direkte Förderung

Ansatz eines städtischen Förderprogramms ist es, Gebäudeeigentümer durch geeignete finanzielle und sachkundige Unterstützung dazu zu motivieren, eigene Investitionen in Maßnahmen zur Klimaanpassung und zur Förderung der Biodiversität zu tätigen (vgl. ANSEL 2012: 19). Daraus ergibt die Möglichkeit, urbane Begrünung dort zu aktivieren, wo sie nachgefragt wird.

Seit Mai 2017 besteht für die Begrünung von Dächern und Fassaden ein städtisches Förderprogramm, koordiniert durch das Energie- und Klimazentrum (EKZ) (vgl. STADT WÜRZBURG 2018b). Ziel der Förderung der Begrünung ist es, das Stadtklima der hoch verdichteten innerstädtischen Bereiche der Stadt Würzburg zu verbessern und das Wohnumfeld aufzuwerten. Zudem soll die Vernetzung städtischer Lebensräume für Tier- und Pflanzenarten optimiert werden. Bereits im Rahmen des 2012 beschlossenen integrierten kommunalen Klimaschutzkonzepts sollten mit Hilfe von mittelfristigen Pilotprojekten neben der Begrünung von Brunnen oder Parkplätzen auch Fassaden- und Dachbegrünungsvorhaben angestoßen werden (BAUM 2012: 119). Maßnahmen der Klimaanpassung sollten ermöglicht und umgesetzt werden, wofür es auch Einwohner zu mobilisiert galt. Das kommunale Förderprogramm zielt also darauf ab, Gebäudebegrünung und weitere Maßnahmen mit modellhaftem Charakter für das Stadtgebiet anzustoßen. So beschränkte sich der Förderraum im ersten Jahr nur auf die Altstadt, auf Teile der Zellerau, Heidingsfelds und der Sanderau. Mittlerweile hat als Reaktion auf die Ergebnisse des Klimaplanatlas eine Überarbeitung der Förderrichtlinien stattgefunden, womit das Fördergebiet wurde aufgeweicht und stark erweitert wurde.

Im November 2018 trat die neue *Richtlinie der Stadt Würzburg für die Gewährung von Zuschüssen für die Begrünung von Gebäuden und für urbane Begrünungsprojekte* in Kraft (vgl. STADT WÜRZBURG 2018a). Der Geltungsbereich des Förderprogramms entspricht nun der in Kapitel 3.2 behandelten Zonierung der Klimafunktionskarte. Gefördert werden die klimatisch besonders belasteten Zonen (moderate und starke Überwärmung), von denen das Untersuchungsgebiet zu weiten Teilen repräsentiert wird. Klimatisch weniger belastete, aber dennoch benachteiligte Zonen (Überwärmungspotenzial sowie Misch- und Übergangsklimate), werden mit einem geringeren Satz gefördert (vgl. Abb. 8). Parallel bestehen Förderangebote für Baumpflanzungen und urbane Begrünungsprojekte in Innenhöfen.

Charakterisierung der Fläche gem. Klimafunktionskarte Fördergegenstand	stadtklimatisch besonders belastete Zonen (Zonen mit starker Überwärmung und moderate Überwärmung)	stadtklimatisch benachteiligte Zonen (Zonen mit Überwärmungspotenzial und Misch- und Übergangsklimate)
Fassadenbegrünung (gem. Nr.3)	50 % max. 7.000 €	40 % max. 5.000 €
Dachbegrünung (gem. Nr. 3)	50 % max. 7.000 € max. 40 € pro m ²	40 % max. 5.000 € max. 30 € pro m ²
Baumpflanzung (gem. Nr. 4)	50 % max. 3.000 €	40 % max. 1.000 €
urbane Begrünungsprojekte (gem. Nr. 5)	50 % max. 1.500 € ggf. zusätzlicher Entsiegelungsbonus max. 1.500 €	30 % max. 500 € ggf. Entsiegelungsbonus max. 500 €

Abbildung 8: Fördergegenstand und Förderhöhe des städtischen Förderprogramms.
Quelle: STADT WÜRZBURG 2018a.

Es lässt sich anhand der von der FBB (2017) durchgeführten Umfrage feststellen, dass die Fördersätze der Stadt Würzburg relativ hoch sind. Insbesondere der in stadtklimatisch besonders belasteten Zonen maximal geförderte Höchstbetrag von 7.000 € übersteigt die Höchstbeträge anderer Städte und Kommunen, von denen 8 % der Rückläufe angaben, Dachbegrünung direkt zu bezuschussen (vgl. FBB 2017).

In Kapitel 7 soll eine Hochrechnung der Kosten durchgeführt werden, die durch die Förderung der als potentiell begrünbar ausgewiesenen und förderbaren Dachflächen hypothetisch

entstehen könnten. Dabei orientiert sich die Kalkulation an den Angaben in der Förderrichtlinie. Förderfähig bei Dachbegrünungen sind danach Materialkosten, Umsetzungskosten (Arbeitsleistungen), und Nebenkosten, die durch Planung und Prüfung durch eine anerkannte Fachkraft entstehen. Die extensiv oder intensiv begrünte Fläche muss zudem mindestens 15 Jahre bestehen. Außerdem werden nur solche Vorhaben gefördert, die nicht aufgrund öffentlich-rechtlicher Verpflichtungen ohnehin durchgeführt werden müssen. Zu den Verpflichtungen zählen beispielsweise „Auflagen für Ersatzpflanzungen, Auflagen im Zusammenhang mit genehmigungspflichtigen Baumaßnahmen, Auflagen in Sanierungsgebieten oder an Gebäuden, für die ein Bebauungsplan entsprechende Festsetzungen enthält“ (STADT WÜRZBURG 2018a: 1). Die städteplanerischen Instrumente der Förderung und der bauleitplanerischen Steuerung überschneiden sich in Bezug auf die Dachbegrünung somit nicht in ihren Geltungsbereichen. Zudem dürfen dem Vorhaben keine öffentlich-rechtlichen oder privatrechtlichen Regelungen entgegenstehen. Es darf also nicht gegen Vorgaben der Bauordnung, der Verkehrssicherheit oder gegen denkmalschutzrechtliche Vorgaben verstoßen. Dachbegrünung im Kontext des Denkmalschutzes soll im übernächsten Kapitel mit einem Experten diskutiert werden, da der Denkmalschutz einen Prüfungsgegenstand der GIS-Analyse darstellt.

Indirekte Förderung

In vielen deutschen Kommunen wird im Rahmen einer gesplitteten Abwassergebührensatzung eine indirekte Förderung von Dachbegrünung ermöglicht, indem für die Niederschlagsgebühr, die neben der Schmutzwassergebühr gesondert erhoben wird, ein gewisser Gebühreennachlass erteilt wird, sofern das begrünte Dach bestimmte Bedingungen erfüllt (z.B. Mindestsubstrathöhe) und als entsiegelte Fläche anerkannt wird. Dabei handelt es sich um einen pauschalen prozentualen Nachlass von meist 50 %, oder der Nachlass wird entsprechend der Größe der begrünten Dachfläche gestaffelt. Die begrünte Dachfläche entspricht dabei einer entsiegelten Fläche mit Vegetation und Substrat, die den Oberflächenabfluss durch die Infiltration verlangsamen und durch die Verdunstungsleistung reduzieren. Mögliche Schäden durch Überlastung der Kanalisation und (lokale) Überschwemmungen können so verringert werden. Gesplittete Abwassergebühren können in diesem Zusammenhang Anreize setzen, weniger Niederschlagswasser von versiegelten Flächen in die Kanalisation zu leiten, da Grundstücksbesitzer dadurch Kosten sparen. Stattdessen wird die Versickerung auf den jeweiligen Grundstücken gefördert (vgl. LIENHOOP/SCHRÖTER-SCHLAACK 2018: 11).

Laut bundesweiter Umfrage der FBB (2017) ist der Anteil an deutschen Städten und Gemeinden, die die örtliche Dachbegrünung im Rahmen einer gesplitteten Abwassersatzung indirekt fördern (54 % des Rücklaufs) weitaus höher, als der Anteil mit direkter Bezuschussung von Dachbegrünungsvorhaben (8 % des Rücklaufs). Zwar besteht in Würzburg eine gesplittete Abwassersatzung, welche hinsichtlich der Gebührenberechnung zwischen Schmutzwasser und Niederschlagswasser unterscheidet. Einschlägig für eine mögliche indirekte Förderung wäre die Entwässerungsbeitrags- und Gebührensatzung der Stadt Würzburg nach § 10a Abs. 3 S. 1 BGS-EWS/FES (STADT WÜRZBURG 2019a): „Die Vermutung des Abs. 1 [zum vermuteten Gebietsabflussbeiwert laut Abflussbeiwertkarte] kann widerlegt werden, wenn nachgewiesen wird, dass die tatsächlich bebaute und befestigte Fläche, von der das Niederschlagswasser in die Entwässerungseinrichtung eingeleitet wird oder abfließt, um mindestens 20 % oder 200 m² von der nach Abs. 1 ermittelten reduzierten Grundstücksfläche abweicht. (...)“. Eine begrünte Dachfläche fällt jedoch nicht unter diesen Tatbestand, da sie zwar unter gewissen Bedingungen einer entsiegelten Fläche entsprechen kann aber dennoch nicht den Status einer „bebaute(n) und befestigte(n) Fläche“ ersetzt. Eine Anfrage beim für den Vollzug der Gebührensatzung zuständigen Sachbearbeiter der Würzburger Entwässerungsbetriebe ergab, dass für Dachbegrünung kein Beitragsnachlass in der Satzung vorgesehen ist und auch nicht angestrebt wird (vgl. WALLRAPP 2019, Anlage 7). Vor einigen Jahren bestand bereits im Rahmen einer überholten Version der Satzung ein Gebühreennachlass von (bis zu) 50 % auf Niederschlagswasser, sofern der Ablauf in eine dem jeweiligen Gebäude zugehörige Zisterne gewährleistet war. Da die tatsächliche Wirkung einer solchen Anlage nicht quantifizierbar und der Erfolg nicht nachprüfbar war, wurde die indirekte Förderung aufgegeben. Hinsichtlich Dachbegrünungen bestehen dieselben Vorbehalte. Jedoch wird eine Niederschlagswasser-Bewirtschaftung bei Neubauten mit Flachdach – wie im neu erschlossenen Stadtteil Hubland – eingefordert. Bei entsprechenden Neubauten darf Niederschlagswasser nur unter der Bedingung ins Entwässerungsnetz eingespeist werden, dass das Wasser in einer Zisterne abläuft und gespeichert wird, oder dass es über eine mit ausreichender Substratdicke angelegte Dachbegrünung überwiegend zurückgehalten wird. In diesem Kontext besteht in Würzburg kein Ansatz indirekter Förderung von (nachträglicher) Dachbegrünung.

3.4.2 Hartes Instrumentarium der Forderung

Der Ansatz bauleitplanerischer Festsetzung von Dachbegrünung ist es, entsprechende Maßnahmen von Eigentümern im Zuge der Anpassungspflicht bei baulicher Änderung oder Neubau einzufordern. § 1 Abs. 2 BauGB und Art. 81 Abs. 1 BayBO gelten hierbei als Ermächtigungsgrundlage für die Gemeinde, Bebauungspläne und örtliche Gestaltungssatzungen im eigenen Wirkungsbereich zu erlassen. Im Rahmen dieser öffentlich-rechtlichen Vorschriften sind zur Festsetzung der Begrünung von Dächern der § 9 Abs. 1 S. 25 lit. a BauGB und der Art. 81 Abs. 1 S. 1 BayBO einschlägig. Städtebauliche Ziele, wie die Verbesserung des Stadtklimas auch durch nachträgliche Dachbegrünung im Baubestand, lassen sich auf diesen Grundlagen jedoch nur mit gewissen Vorbehalten durchsetzen. Neben den im Untersuchungsgebiet vorliegenden öffentlich-rechtlichen Rahmenbedingungen, nach denen Dachbegrünung vorgeschrieben wird, soll deren Durchsetzungsfähigkeit im Bestandsbau bewertet werden.

Im Untersuchungsgebiet gibt es drei Sanierungsgebiete, die von der Stadt Würzburg aufgrund des § 142 Abs. 1 BauGB festgelegt wurden (Sanierungsgebiet Pleich- Altstadt, Sanierungsgebiet Alter Hafen, Sanierungsgebiet Kaiserstraße - Bahnhofsvorplatz - Innenstadt) (vgl. STADT WÜRZBURG 2018g). Diese werden jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht hinsichtlich ihrer Mobilisierungsmöglichkeiten von Dachbegrünung analysiert. Zudem gibt es nach Aussage der Fachabteilung Bauleitplanung im Stadtgebiet keine Örtliche Bauvorschriften im Sinne des Art. 81 Abs. 1 S. 1 BayBO, welche in diesem Zusammenhang die äußere Gestaltung baulicher Anlagen, insbesondere die Begrünung von Dächern regeln (Stand: Juni 2019).

Mehr als die Hälfte der von der FBB und dem NABU 2016 und 2017 befragten Kommunen gab an, die Begrünung von Dächern in Bebauungsplänen verbindlich festgelegt zu haben (vgl. FBB 2017). In Würzburg werden laut Aussage der Fachabteilung Bauleitplanung entsprechende Vorgaben in allen neueren Bebauungsplänen festgesetzt (vgl. GLOY 2019, Anlage 8). Diese beziehen sich vor allem auf das ehemalige Konversionsgelände und neuen zum Stadtbezirk Frauenland gehörendem Stadtteil Hubland. Nach eigenen Recherchen bestehen in den untersuchten Stadtbezirken der rechtsmainischen Altstadt und der Sanderau sieben Bebauungspläne mit textlichen Festsetzungen zur Dachbegrünung (vgl. Anlage 9). Die Übersicht stellt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie wurde auf Grundlage analoger

Aktenrecherche zusammen mit dem entsprechenden Sachbearbeiter der Fachabteilung Bauleitplanung (Aufgabe Bauplanungsrechtliche Beurteilung) mit bestem Gewissen durchgeführt. Folgend sind jene um Untersuchungsgebiet geltenden Bebauungspläne aufgeführt, die Festsetzungen zur Dachbegrünung enthalten und deren Geltungsbereiche mehrere Flurstücke umfassen: Im Gewerbe- und Sondergebiet der nordöstlichen Altstadt wurde bereits im Jahr 2008 im Geltungsbereich „Schürerstraße“ eine im Zuge von Neubau nach Abriss zu gestaltende Dachbegrünung festgesetzt (Plannummer 01.16.2, 2. Änderung des B-Planes „Schürerstraße“). Eine 3. Änderung aus dem Jahr 2018 (01.16.3) mit entsprechender Festsetzung bezieht sich auf einen anderen Ausschnitt des ursprünglichen Geltungsbereichs des ersten Bebauungsplans. Zudem besteht im Stadtbezirk Sanderau ein erstmals in den 1980er Jahren geltender Bebauungsplan „Südliche Sanderau“, welcher seit 2012 mehrmalig Änderungen mit Festsetzungen zur Dachbegrünung (bezogen auf Teilgebiete) erhielt. Abgesehen von diesen beiden nach § 30 Abs. 1 BauGB beplanten großflächigen Gebieten gibt es für das Untersuchungsgebiet – ungeachtet der Festsetzungen zur Dachbegrünung – keine weiteren Bebauungspläne, die sich auf mehr als einzelne Flurstücke beziehen. In der Regel wurden in der Altstadt und der Sanderau nur Einzelgebäude im Rahmen der Innenverdichtung mit zugehörigen Nebenanlagen, Grünanlagen und Stellplätzen beplant. Weitgehend fällt das Untersuchungsgebiet, insbesondere das der Altstadt, in den unbeplanten Innenbereich und wird hinsichtlich der Zulässigkeit von Bauvorhaben im Baubestand (wie genehmigungspflichtigen Änderungen) nach § 34 Abs. 1 BauGB bewertet.

Der in Abbildung 9 illustrierte Geltungsbereich der 12. Änderung des Bebauungsplans „Südliche Sanderau“ (7.01.12), der für diese Arbeit relevante Festsetzungen enthält, umfasst weite Gebiete der südwestlichen Sanderau und war deshalb Gegenstand einer Anfrage bei der Fachabteilung Bauleitplanung (Aufgabe Landschaftsplan, Grünordnungsplan). Laut Öffentlicher Bekanntmachung vom 21.06.2019 verfolgt die Änderung des Geltungsbereichs und der textlichen Festsetzungen das Ziel, „zusätzlichen Wohnraum durch eine maßvolle Nachverdichtung durch Aufstockung der Gebäude [zu schaffen]“ (vgl. MAIN-POST 2019: Anlage 10). Um die vorhandene Wohnnutzung weiterzuentwickeln und die besonderen Eigenarten des Gebietes zu erhalten, wurde es ferner als Besonderes Wohngebiet nach § 4 BauNVO festgelegt.



Abbildung 9: Auszug aus der Planzeichnung des B-Plans 7.01.12.
 Quelle: Würzburg Baureferat/FA Bauleitplanung.

Um eine Aufstockung zu ermöglichen, musste die erlaubte Geschossflächenzahl erhöht werden. Zulässig im Planungsgebiet sind laut Örtliche Bauvorschriften gem. Art. 81 BayBO neben Flachdächern auch Satteldächer (vgl. Abb. 10).

4.2 Gestaltung der baulichen Anlagen

Aneinander gereihete Gebäude, Hausgruppen sowie Gebäude mit Grenzbebauung sind in der Bauausführung einheitlich aufeinander abzustimmen (z.B. Gebäudehöhe, Dachneigung und Material).

4.2.1 Dachform, Dachaufbauten und Dachgestaltung

Es sind Satteldächer mit einer Dachneigung zwischen 8° und 35° sowie Flachdächer zulässig.

Für Gebäude mit mehr als 4 Vollgeschossen sind nur Flachdächer zulässig.

Auf Satteldächern sind solarthermische Anlagen und Photovoltaikanlagen zulässig, wenn sie dieselbe Neigung und Ausrichtung des Daches aufweisen und bündig in die Dachhaut integriert sind, Aufständereien sind, sofern sie vom Straßenraum nicht einsehbar sind, zulässig.

Über die Gebäudehöhe herausragende untergeordnete Bauteile, wie z.B. offen gestaltete Absturzsicherungen, Abgas- bzw. Abluftrohre, Aufzugsüberfahrten, sind ausnahmsweise zulässig bis zu einer Gesamthöhe der überhöhten Bauteile von maximal 15% der Dachfläche und einer maximalen Bauteilhöhe von 2,0 m.

Die Gesamtlänge der Dachgauben einer Dachseite darf 1/3 der Firstlänge nicht überschreiten.

Abbildung 10: Auszug der Örtlichen Bauvorschriften für B-Plan 7.01.12.

Quelle: Würzburg Baureferat/FA Bauleitplanung.

Entsprechend der textlichen Festsetzungen gemäß BauGB sind nur Flachdächer zu begrünen (vgl. Abb. 11). Somit handelt es sich bei der Vorgabe der Dachbegrünung lediglich um ein bauleitplanerisches Angebot, von dem im Rahmen der weiteren Vorgaben abgewichen werden kann.

3.6.4 Begrünung von Tiefgaragen

Dächer von Tiefgaragen sind als Teil der überbaubaren Grundstücksfläche zu mind. 80 % der Dachfläche zu begrünen.

Flächenanteile, die vollumfänglich nach den Festsetzungen des Bebauungsplanes hergestellt werden, sind mit 25 % ihrer Fläche auf die nach den Festsetzungen 3.6.2 zu begrünenden Flächen anrechenbar.

Unterbaute Freiflächen sind außerhalb der Bereiche, die für Stellplätze, Terrassen, Erschließungs- oder Lagerfläche benötigt werden, dauerhaft gärtnerisch zu gestalten und zu pflegen.

Es ist eine durchwurzelbare Mindestschichtstärke (gemessen ohne Drän- und Filterschicht) von 30 cm, im Bereich der Baum- und Gehölzpflanzungen von mindestens 100cm vorzusehen. Für Baum- und Gehölzpflanzungen sind entsprechend fachgerechte bauliche Maßnahmen und Versorgungsvorkehrungen vorzusehen, die eine langfristige hohe Lebenserwartung für die Pflanzen gewährleisten (gemäß FLL-Richtlinien "Empfehlungen für Baumpflanzungen" / "Dachbegrünungsrichtlinie" aktuelle Fassung). Der Nachweis ist im Bauantrag prüfbar darzustellen.

Die Begrünungsmaßnahmen müssen mit der Baufertigstellung der jeweiligen Bauvorhaben abgeschlossen sein. Die Begrünungsziele (Anwuchserfolg und flächendeckende Begrünung) sind nach einem Zeitraum von 2 Jahren Fertigstellungs- und Entwicklungspflege vollumfänglich nachzuweisen. Ausgefallene Pflanzen sind vom Eigentümer rechtzeitig gleichwertig zu ersetzen.

3.6.5 Dachbegrünung

Flachdächer von Gebäuden, Garagen und Nebenanlagen sind ab einer Fläche von 20 m²

(senkrechte Projektionsfläche) zu 80 % begrünen. Die Dachbegrünung ist mit einer Substratschicht (Vegetationstragschicht) von mindestens 10 cm Stärke (strukturstabil, gemessen ohne Drän- und Filterschicht) herzustellen, flächig zu bepflanzen oder fachgerecht anzusäen und dauerhaft zu erhalten.

Es dürfen grundsätzlich nicht mehr als 15 % der Dachfläche durch Dachaufbauten, Austritte, Fluchtwege, Belichtungsf lächen oder technische Einrichtungen überbaut werden. Davon ausgenommen ist eine Kombination der Dachbegrünung mit aufgeständerten Solaranlagen zulässig. Insgesamt müssen dabei mindestens 70 % der Dachfläche als reine begrünte Dachflächen (freie senkrechte Projektionsfläche) hergestellt werden.

Der Nachweis ist im Bauantrag prüfbar darzustellen.

Die Begrünungsmaßnahmen müssen mit der Baufertigstellung der jeweiligen Bauvorhaben abgeschlossen sein. Die Begrünungsziele (Anwuchserfolg und flächendeckende Begrünung) sind nach einem Zeitraum von 2 Jahren Fertigstellungs- und Entwicklungspflege vollumfänglich nachzuweisen. Ausgefallene Pflanzen sind vom Eigentümer rechtzeitig gleichwertig zu ersetzen.

Abbildung 11: Auszug der textlichen Festsetzungen für B-Plan 7.01.12.

Quelle: Würzburg Baureferat/FA Bauleitplanung.

Zudem kann aus der Festsetzung kein Automatismus abgeleitet werden, nach welchem Eigentümer ihr Gebäude nach Beschluss der Satzung tatsächlich begrünen (müssen): Innerhalb

des Geltungsbereiches gibt es viele Gebäude mit Flachdach, die bereits vor den beschriebenen Festsetzungen zur Dachbegrünung bestanden. Diese Gebäude fallen vorerst unter Bestandsschutz (abgeleitet aus Art. 14 Abs. 1 GG), vorausgesetzt, die bauliche Anlage entsprach zum Zeitpunkt des Baus baurechtlicher Legalität und sie entspricht dem seinerzeit rechtmäßigen baulichen Zustand (passiver Bestandsschutz) (vgl. SODAN/ZIEKOW 2014: 579). Erst bei einer Antragsstellung für eine bauliche oder nutzungsspezifische Änderung, die einer bauaufsichtlichen Genehmigung bedarf (Grundsatz der Genehmigungspflicht: Art. 55 Abs. 1 BayBO), muss der Nachweis einer geplanten Dachbegrünung im Bauantrag prüfbar dargestellt werden. Im Fall einer baulichen oder nutzungsspezifischen Änderung kann der aus Art. 14 Abs. 1 GG abgeleitete passive Bestandsschutz verfallen und der Antragsteller muss sein Vorhaben den aktuell rechtskräftigen Vorgaben der Bauleitplanung anpassen, also auch den möglichen Vorgaben zur Gebäudebegrünung.

Nach Aussage von GLOY (2019, Anlage 8) besteht im beplanten Gebiet „Südliche Sanderau“ neben Gebäuden mit Steildach auch für Gebäude mit Flachdach die Möglichkeit einer nachträglichen Aufstockung. Eine solche bauliche Änderung wäre genehmigungspflichtig und würde somit der Anpassungspflicht unterliegen. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Anzahl an Flachdächern (und somit zu begrünenden Dächern) im Rahmen der Aufstockungen im Geltungsbereich eher erhöht. Sollte es sich einstellen, dass ein im Zuge des Geschossausbaus entstandenes oder bereits bestehendes Flachdach entsprechend der geltenden textlichen Festsetzung begrünt werden soll, stellt sich die Frage, wie hoch die Möglichkeit einer Befreiung von den Festsetzungen zu schätzen ist. Befreiungen nach § 31 Abs. 2 BauGB werden laut GLOY (2019, Anlage 8) versucht zu erwirken, jedoch wird dem in der Regel seitens der Behörde nicht stattgegeben. Lediglich die Kombination mit Photovoltaikanlagen erlaubt eine geringfügige Abweichung von der Vorgabe, dass in diesem Fall mindestens 70 % der Dachfläche zu begrünen sei. Weitere Ausnahmeregelungen sehe der Bebauungsplan nicht vor.

Unter der Annahme, dass bauliche Änderungen, z.B. im Rahmen von Aufstockungen vollzogen werden, die einer bauaufsichtlichen Zulassung bedürfen (Art. 55 Abs. 1 BayBO) und dabei eine unter die einschlägigen Begrünungsvorgaben und Bauvorschriften fallende Dachkonstruktion und -form entsteht (Schrägdach zu Flachdach) oder erhalten bleibt (Flachdach zu Flachdach) und vorausgesetzt, der Eigentümer favorisiert keine Anlagen der sonnenenergetischen Nutzung, so kann eine (nachträgliche) Dachbegrünung also bauleitplanerisch um-

gesetzt werden. Ausgehend von einer hypothetischen Satzung, welche die Begrünung geeigneter Dächer im Stadtgebiet forcieren soll, würde eine Anpassung betroffener Gebäude bzw. würde die Begrünung betroffener Dachflächen nach Beschluss der Satzung nur sukzessive und mit einer ungewissen zeitlichen Verzögerung vonstattengehen. Der Aspekt dieser städtebaulichen Latenz soll in die Hochrechnungsanalyse in Kapitel 7 einbezogen werden. Die Statistik der im Untersuchungsgebiet jährlich stattfindenden Bauaktivität, an welche Genehmigungsverfahren gekoppelt sind, kann als Maß für diesen Zeitverzug angesehen werden und die Durchsetzungsgeschwindigkeit bauleitplanerischer Vorgaben quantifizieren.

Bei dem behandelten Bebauungsplan handelt es sich um eine Art der Festsetzung von Dachbegrünung, die sich in Würzburg möglicherweise weiterhin etablieren wird. Dachbegrünung wird dabei nicht als Selbstzweck verstanden, sondern als Auflage in einer Art Huckepack-Prinzip mit dem dominanten Ziel des Wohngeschossausbaus (und der Erhöhung der Wohnfläche bei gleichzeitiger Wahrung der Siedlungsstruktur und des Versiegelungsgrads) festgesetzt. Dies stellt eine städtebaulich und politisch vertretbare Möglichkeit dar, den Grünanteil im Stadtgebiet zu erhöhen.

3.4.3 Denkmalschutz und Dachbegrünung

Im Kontext der Bauleitplanung und speziell im Baugenehmigungsverfahren, insbesondere beim (teilweisen) Gebäudeabbruch gewinnt das Denkmalrecht zunehmend an Bedeutung (vgl. HAUTH 2019: 233 f.). Auch als abwägungsrelevanter Belang bei der Planung von Dachbegrünungsmaßnahmen spielt der Denkmalschutz eine Rolle. Gerade in historisch gewachsenen Städten wie Würzburg sind das Stadtbild und die hohe Anzahl an Denkmälern als wertvolle Güter anzusehen (vgl. STADT WÜRZBURG 2018h). So steht der Großteil des Stadtbezirks Altstadt – der historische Stadtkern der Altstadt bzw. das Gebiet innerhalb des historischen Ringparks – inklusive des Ringparks unter Ensemble-Denkmalschutz nach Art. 1 Abs. 3 BayDSchG (vgl. Abb. 12, Ausschnitt links). Ensembles oder Denkmalbereiche sind Mehrheiten baulicher Anlagen, die als räumlich und geschichtlich zusammenhängende Gruppe aus Gründen des Denkmalschutzes erhaltenswert sind. Dabei handelt es sich mehrheitlich um Altstadtbereiche (vgl. HAUTH 2019: 236). Ferner sind der Bayerischen Denkmalliste – kartiert im digitalen Bayerischen Denkmal-Atlas – für das Untersuchungsgebiet eine hohe Zahl an Baudenkmalern nach Art. 1 Abs. 2 BayDSchG zu entnehmen (vgl. BLfD 2019). Ihr städtebaulicher Erhalt liegt im Interesse der Allgemeinheit. Hinsichtlich der Begrünung von Dächern ist gemäß Art. 6 BayDSchG eine denkmalrechtliche Erlaubnis seitens

der unteren Denkmalschutzbehörde erforderlich, sofern die Dachbegrünung auf einem Baudenkmal stattfinden soll und das Baudenkmal dadurch verändert wird (Art. 6 Abs. 1 S. 1 BayDSchG). Auch ist eine denkmalrechtliche Erlaubnis nötig, wenn die Begrünung auf einer baulichen Anlage stattfinden soll, die sich im Nähebereich eines Baudenkmal befindet und sich die Maßnahme auf dessen Erscheinungsbild auswirkt (Art. 6 Abs. 1 S. 2 BayDSchG). Hinsichtlich der Installation einer Dachbegrünung in einem Ensemble wird die Erlaubnis dann erforderlich, wenn es sich beim zu begrünendem Objekt um ein Baudenkmal handelt, oder wenn sich die Maßnahme potentiell auf das Erscheinungsbild des Ensembles auswirken kann (Art 6 Abs. 1 S. 3 BayDSchG). Eine unter diese Sachverhalte fallende Dachbegrünungsmaßnahme kann versagt werden, wenn sie zu einer Beeinträchtigung des Wesens, des überlieferten Erscheinungsbilds oder der künstlerischen Wirkung eines Baudenkmal führen würde und gewichtige Gründe des Denkmalschutzes für die unveränderte Beibehaltung des bisherigen Zustands sprechen (Art. 6 Abs. 2 S. 1 BayDSchG). Unter dem Gesichtspunkt der in der Altstadt vorliegenden enormen Dichte an Baudenkmalern und in Anbetracht des bestehenden Altstadt-Ensembles ist es fraglich, ob eine dort Dachbegrünung im Sinne des im Kapitel 7 durchzuführenden Szenarios eines dichten und umfangreichen Netztes extensiv begrünter Dächer vorstellbar ist. Es stellt sich konkret die Frage, in welchem Maße eine Dachbegrünung im Baubestand möglich ist, ohne die denkmalspezifischen Belange zu verletzen und das historisch gebildete Stadtbild zu seinen Ungunsten zu verändern. In dieser Fragestellung hat der Heimatpfleger der Stadt Würzburg Auskunft geben können (vgl. STEIDLE 2019, Anlage 11).

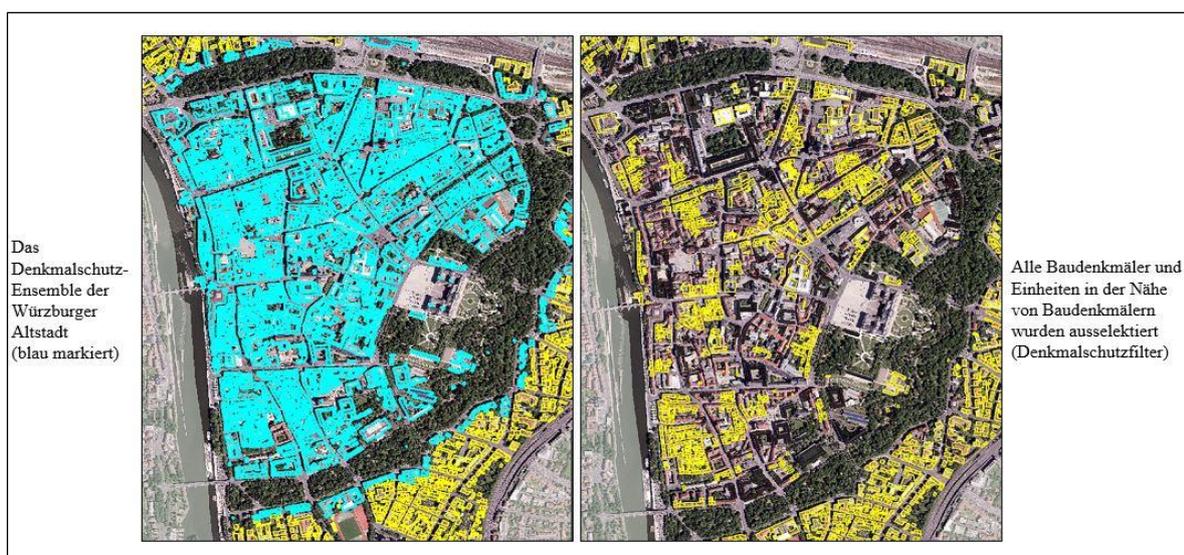


Abbildung 12: Projektausschnitt mit Anpassungsmaßnahmen zur Berücksichtigung des Ensembleschutzes.
 Quelle: Eigene Darstellung; Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung und Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege.

Es wird angenommen, dass eine steigende Zahl an Begrünungsmaßnahmen innerstädtischer Dächer das innerstädtische Gesamtbild als schützenswertes Gut, geprägt durch rote tongeziegelte und steil aufragende Sattel- und Walmdächer, sowie speziell das Ensemble in seinem Erscheinungsbild in steigendem Maß beeinträchtigen würde. Laut STEIDLE (2019) wird bei der Anbringung von Sonnenkollektoren im Ensemble seitens der städtischen Genehmigungsbehörde sehr restriktiv vorgegangen, was sich tendenziell auch auf dortige Maßnahmen der Dachbegrünung übertragen lassen sollte. Insgesamt geht es um eine sehr diffizile Abwägung der Güter des Stadtklimas und des baulichen Kulturguts. Dabei sei anzumerken, dass eine im Straßenraum sichtbare Begrünung von Schrägdächern in diesem Kontext weit aus kritischer zu bewerten sei als die Begrünung der wenigen flachen Dächer. Die Begrünung von Flachdächern ist nach Expertenmeinung selbst innerhalb des Ensembles punktuell vorstellbar, insbesondere auf Gewerbegebäuden, deren äußere Fassade ohnehin das Erscheinungsbild der historischen Altstadt kontrastiert. Außerhalb des Ensembles sollte der bauliche Denkmalschutz eher keinen Widerspruch zur Dachbegrünung darstellen, da dort begrünte Dächer das Erscheinungsbild eines Baudenkmals und dessen Wirkung nach außen sogar aufwerten könnten. Flächendeckend sowie auf Schrägdächern ist Dachbegrünung in der Altstadt – insbesondere wegen der unklaren visuellen Wirkung im Ensemble und der lokal nicht quantifizierten ökologischen Wirkung – aktuell jedoch nicht denkbar. Unter Berücksichtigung eines großzügigen Sicherheitsbereichs um die Baudenkmäler im Ensemble, in der die Denkmaldichte ja besonders hoch ist, wäre laut STEIDLE eine vermehrte Dachbegrünung dennoch vorstellbar.

Somit gewinnt der Nähebereich der Baudenkmäler und des Ensembles für die GIS-Analyse als im Projekt digital skalierbarer Parameter an Bedeutung. Der Nähebereich ist als der Bereich zu sehen, auf den das Denkmal visuell ausstrahlt und der es seinerseits prägt und beeinflusst (Abs. 1 BayWEE). Dieser sollte innerhalb des Altstadt-Ensembles also priorisiert bewahrt und deshalb vergleichsweise hoch bestimmt werden, während er in Bereichen außerhalb des Ensembles weniger stark bis gar nicht gewichtet werden muss. Aus diesen Erkenntnissen abzuleitende Anpassungsschritte für das GIS-Projekt sind somit die sicherheits- halber pauschale Ausfilterung aller Baudenkmäler im Untersuchungsgebiet als nicht zu begrünende Objekte und zudem die Beachtung eines erweiterten Nähebereichs in Form einer großzügig definierten Pufferzone um alle Baudenkmäler im Ensemble (vgl. Abb. 12, Aus-

schnitt rechts). Damit soll gewährleistet sein, dass eben nur jenen Flächen Begrünungspotential ausgewiesen wird, die bei etwaiger Umsetzung nicht erheblich gegen öffentlich-rechtliche Vorgaben des Denkmalschutzes verstoßen würden.

[Nachträgliche Anmerkung des Verfassers: Über die in der vorliegenden Arbeit referenzierten Ausführungen hinausgehend (vgl. STEIDLE 2019, Anlage 11), hat Herr Dr. Hans Steidle in seiner Rolle als Heimatpfleger der Stadt Würzburg eine ausführliche Stellungnahme zum selben Thema verfasst und diese netterweise dem Verfasser zur Verfügung gestellt. In seinem Text behandelt STEIDLE die Aspekte von Dachbegrünungsmaßnahmen in der Würzburger Altstadt aus städtebaulicher und kulturhistorischer Perspektive. Dabei bezieht er denkmal- und stadtbildspezifische als auch ökologischen Belange in seine Bewertung ein und skizziert den denkbaren Handlungsspielraum für die ökologische Wende im historischen Stadtkern der Altstadt. STEIDLE nimmt zudem Bezug auf das im Analyseteil dieser Arbeit thematisierte Szenario einer großflächigen Dachbegrünung in der Altstadt und auf den Ansatz der um die zentralen Baudenkmäler gelegte Puffer-, bzw. Schutzzone im Ensemble. Die Stellungnahme kann den Diskurs um die Möglichkeiten und Grenzen von Dachbegrünung in historischen Altstädten konstruktiv und realitätsnah erweitern. Der Text von STEIDLE ist im Anhang einsehbar (vgl. Anlage 12).]

4. Die fernerkundliche Potentialanalyse in der Stadtplanung

Dieses Kapitel dient der Vorbereitung auf die Potentialanalyse im beschriebenen Untersuchungsgebiet. Es bietet einen Überblick über die Möglichkeiten von auf Fernerkundungsdaten und amtlichen Geodaten basierenden Analysen für die Stadtplanung sowie über den heutigen Stand der Forschung. Dieser Forschungsstand diente der Entwicklung des in der vorliegenden Arbeit verwendeten Verfahrens, welches im letzten Teil des Kapitels den Vergleichsstudien vergleichend gegenübergestellt wird.

4.1 Möglichkeiten und Verwertungshorizont

Angesichts rezenter Klimaveränderungen und den damit zunehmenden Extremwetterereignissen (ausgedehnte Hitzeperioden, starke Unwetter, Hochwasser) besteht gerade für hochverdichtete Städte die Notwendigkeit, alternative Flächenressourcen für Klimaanpassungsmaßnahmen zu erschließen (vgl. DDV 2016b: 6). Dächer stellen dabei große und weitaus ungenutzte Reserveflächen zur Weiterentwicklung der grünen Infrastruktur einer Stadt dar. In diesem Zuge erfährt die Dachbegrünung als Gegenstand der klimawandelangepassten

Stadtentwicklung steigende Aufmerksamkeit. Um mit dem städtischen Handlungsinstrumentarium fundierte kommunale Gründach-Strategien entwickeln zu können, müssen Informationen bzw. Daten zu Lage, Fläche und Wirkung möglicher Standorte generiert werden.

Der aktuelle technische Stand in den Feldern Fernerkundung und Geoinformatik erlaubt bereits bestehende Gründächer automatisch zu identifizieren und Aussagen zum Begrünungspotential der Dachlandschaft zu treffen. Anknüpfend an die generierten Basisdaten können realistische Annahmen über stadtoökologische Auswirkungen von Gründächern auf die Gebäude-, Quartiers- und Stadtebene gemacht oder ökonomische Bilanzierungen angestellt werden. Fernerkundliche Gründachanalysen sind in der Lage, Informationen zu den Themenfeldern Stadtklima, Stadtentwässerung und Artenschutz zu liefern, indem die als (mögliche) Grünflächen identifizierten Dachflächen in ein Stadtklimamodell integriert werden. (vgl. ANSEL et al. 2015: 10 f., vgl. GRUNWALD et al. 2017, vgl. BKR ESSEN 2014). Bei einem Stadtklimamodell – wie dem vom DWD für den Städtebau angebotenen „MUKLIMO“ – handelt es sich um ein räumlich hoch aufgelöstes Klimamodell, welches die Verteilung von Wind, Lufttemperatur und Luftfeuchte in bebauten Gebieten unter Berücksichtigung regionaler Klimamodelle und unterschiedlicher Klimaszenarien analysiert (vgl. DWD 2019c). Die bioklimatische Wirkungsweise hypothetischer konkreter Planungsmaßnahmen in komplexen urbanen Strukturen können auf Basis städtischer Klimamodelle hinsichtlich ihrer mikroklimatischen Wirkungen simuliert und bewertet werden und auch im städteplanerischen Abwägungsprozess dabei helfen, den ökologischen Nutzen zu quantifizieren und zu begründen. Auch die Stadt Würzburg hat eine stadtklimatische Modellanalyse durchführen und auf dessen Basis das in Kapitel 3 behandelte Integrierte Klimaschutzkonzept erstellen lassen (vgl. BAUM 2012). Potential- und Wirkungsanalysen, idealerweise in Kombination mit komplexen stadtklimatischen Modellierungen, dienen also als mögliche Werkzeuge der nachhaltigen Stadtentwicklung und als Instrumente zur Generierung von empirischen Daten, die als Planungsprozess – insbesondere im Bereich der grünen Infrastruktur – von Nutzen sein können. Sie richten sich vor allem an die kommunalen Fachbehörden (Bauämter, Stadtplanungsämter, Umweltämter, Grünflächenämter, Naturschutzbehörden, Entwässerungsbetriebe etc.). Im Rahmen dieser Arbeit, die sich aufbauend auf die Potentialanalyse aber nicht auf die mikroklimatische Wirkung, sondern auf die kommunale Aktivierbarkeit von potentiellen Begrünungsflächen fokussiert, stellt sich die Frage, ob die

Ergebnisse einschlägiger Gründach-Potentialanalysen in entsprechenden Behörden tatsächlich zum Einsatz kommen und inwiefern das stadtplanerische Verwertungspotential ausgeschöpft wird.

Im Rahmen eines im Jahr 2015 vom der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Pilotprojekts „Fernerkundliche Identifizierung von Vegetationsflächen auf Dächern zur Entwicklung des für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes aktivierbaren Flächenpotenzials in den Städten“ wurde vom Deutschen Dachgärtnerverband (DDV) in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ein entsprechendes GIS-Verfahren entwickelt, in dem Fernerkundungsdaten und Geodaten der Städte Karlsruhe, Stuttgart, München und Nürtingen eingesetzt wurden (vgl. STADT KARLSRUHE 2019, Anlage 2).

Die Teilnehmerstädte wurden hinsichtlich der möglichen Einsatzgebiete der mit der Potentialanalyse generierten Erkenntnisse und Daten (Potentialfläche für und Bestandsfläche von Dachbegrünung) befragt. Folgende Einsatzgebiete in der Stadtentwicklung wurden als besonders relevant genannt (vgl. DDV 2016b: 20, vgl. ANSEL et al. 2015: 10 f.):

- Einbindung der Daten in Modellierungen für das Stadtklima (Wärmeinsel-Effekte, Kaltluftschneisen, Luftschadstoffbelastung)
- Einbindung der Daten in Modellierungen für die Entwässerungsplanung und indirekte Förderung unversiegelter Dachflächen
- Einbindung der Daten in Modellierungen für die Biotopvernetzung (Planung vernetzter Grünzüge unter Integration der Dachflächen zur Verbesserung von Klima und Artenvielfalt)
- Fixierung spezieller Gründach-Typen, je nach Stadtgebiet und Umweltschwerpunkt
- Gezielte kommunale Förderung begrünter Dächer in Gebieten mit mangelhafter Grünausstattung
- Nutzung der Daten für die allgemeine Öffentlichkeitsarbeit, um bei Bürgern und Investoren die Akzeptanz für begrünte Dächer zu erhöhen

Zudem wurden im Kontext einer Expertenbefragung zur kommunalen Datenverwertung weitere Aspekte genannt, darunter die Neubewertung von Immobilien hinsichtlich Kosteneinsparungen durch geringeren Energieverbrauch und durch geringere Gebühren für zurückgehaltenes Niederschlagswasser. Danach stellte der detektierte Flächenpool ebenfalls eine Planungsgrundlage zur Aktivierung von öffentlichen Dachflächen als soziale Begegnungsorte für Nachbarschaftstreffs oder Urban Gardening dar.

Eine im Rahmen dieser Arbeit durchgeführtes Gespräch mit der Fachabteilung Bauleitplanung der Stadt Würzburg ergab, dass die Stadtplanungsbehörden ebenfalls stark in das Thema der Dachbegrünung involviert sind, es jedoch aktuell auf lokaler Ebene kein vergleichbares Verfahren zur Analyse von bestehender und potentieller Dachbegrünung gibt (vgl. STADT WÜRZBURG FA BAULEITPLANUNG 2019, Anlage 13). Gerade die kostenspezifische Bilanzierung liege im Augenmerk der Stadt. Mit den kostensenkenden Wirkungen einer Dachbegrünung (Langlebigkeit der Dachhaut, Wärmedämmung, Kälteschutz) ließen sich Wertsteigerungen der Immobilien prognostizieren und Eigentümer zur Initiative bewegen. Gerade auf politischer Ebene sei Überzeugungsarbeit zu leisten, da Dachbegrünung einen hohen Pflegeaufwand darstelle. Hier könnten die gewonnenen Daten Erkenntnisse bezüglich der positiven ökologischen Wirkungen und der möglicherweise ökonomisch positiven Bilanz schaffen. Hinsichtlich des Förderprogramms gebe es noch hohes Nutzungspotential. Da hier die bisherigen Resultate noch verschwindend gering seien, wäre es gut, entsprechende Daten mit informativem Charakter in die Arbeitsschritte der informellen Planung integrieren zu können. Zudem könnten potentielle Standorte für Leuchtturmprojekte mit Signalwirkung ausgemacht werden. Ein im Rahmen dieser Analyse detektiertes Dachflächenpotential würde auf Behördenebene eher nicht zu einer öffentlich-rechtlichen Statuierung von flächen-deckenderen Dachbegrünung führen. Politische Hürden, Belange des Bestandsschutzes und des innerstädtischen Denkmalschutzes sprechen gegen die Wirksamkeit einer solchen Maßnahme. Für die Stadt Würzburg ist somit die Verwertung von Potentialdaten im Bereich der (auch informellen) Förderung von Dachbegrünung weitaus relevanter als im Bereich der Bauleitplanung. Dennoch wird vermutet, dass gerade ein Einbezug der möglicherweise gegen Dachbegrünung stehenden Belange in die Potentialanalyse eine sicherere Einschätzung zur Funktionalität harter Planungsinstrumente ermöglichen würde. Im Bereich der Würzburger Entwässerungsplanung interessiert das Flächenpotential bestehender Gebäude nicht, da weder nachträgliche noch die frühzeitige Dachbegrünung in der Entwässerungssatzung (indirekt) gefördert wird (vgl. Kap. 3).

Die Verwertung der im Rahmen der Studie des DDV/DLR (ANSEL et al. 2015) generierten Daten hat sich jedoch als teils problematisch erwiesen. So hätten potentielle Fehlerquellen die Ergebnisse des Verfahrens zum Teil stark beeinflusst (vgl. STADT KARLSRUHE 2019, Anlage 2). Aufgrund der eingeschränkten Qualität der Ergebnisse wurden die Zahlen aus dem Pilotprojekt deshalb nicht für weitergehende Schritte verwendet. Auf eigene Anfrage bei den zuständigen Ämtern der Teilnehmerstädte München und Karlsruhe hätten beide

Städte keine baurechtlichen Vorgaben, die auf dem Verfahren fußen, aufgestellt, bzw. baurechtliche Vorgaben normiert. Auch sei die fernerkundliche GIS-Methode bisher nicht in die Arbeitsprozesse der Stadtverwaltung integriert worden (vgl. STADT MÜNCHEN 2019, Anlage 1, vgl. STADT KARLSRUHE 2019, Anlage 2). Aus dieser Stichprobe kann jedoch kein Urteil auf die gesamtdeutsche Situation übertragen werden. Zudem ist dies auch in dem Kontext zu sehen, dass es sich um ein Pilotprojekt zur Initiierung einer Methode handelte. Das Verfahren wird mittlerweile von der Firma EFTAS GmbH als Dienstleistung für Städte und Gemeinden angeboten.

Die im folgenden Kapitel erörterten Studien, sowie die notwendigerweise steigende Nachfrage nach digitalen und komplexen Planungshilfen in der Stadtentwicklung, lassen vermuten, dass sich die methodische Qualität sowie der Verwertungshorizont analog zu den sich ständig verbessernden fernerkundlichen Messverfahren der landesweiten Vermessungsämter – wie die geplanten Nadir-Luftbild-Aufnahmen – weiterentwickelt (vgl. LDBV 2018a).

4.2 Stand der Forschung

Zum konkreten Thema der ökologischen Wirkung von Dachbegrünung gibt es eine steigende Zahl an internationalen und regionalen Studien (vgl. Kap. 2). Ungleich geringer ist bis gegenwärtig die Forschungsdichte zum Thema der fernerkundlichen Messung und Quantifizierung bestehender oder potentieller Gründächer. Voraussetzung für die Integration der Dachbegrünung in die kommunalen Klimaanpassungsstrategien ist jedoch ein kommunales Wissen um die eigenen Flächenressourcen im Gebäudebestand. Erst in den letzten Jahren wurden in Zusammenarbeit von Kommunen und Wissenschaft geoinformatische Methoden erprobt, mit denen sich Daten zu Bestand und Potential von Dachbegrünung quantitativ erfassen und lokalisieren lassen.

Unter Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) und unter Projektleitung des DDV wurde vom DLR ein automatisiertes Verfahren zur fernerkundlichen Inventarisierung von bereits vorhandenen Dachbegrünungen und zur Detektion von Potentialflächen auf städtischen Dächern entwickelt (vgl. ANSEL et al. 2015: 2). Wurden zuvor aufwändig Aktenrecherchen oder Vor-Ort-Besichtigungen von Gebäuden betrieben, stellt die entwickelte Methode eine schnelle und kostengünstige Erhebungsmöglichkeit für Kommunen dar. Schon Untersuchungen von KÖHLER et al. (2011), HOLZMÜLLER (2009) oder BULLERMANN SCHNEBLE (2015) beruhen auf der Auswertung von fernerkundlichen Luftbildprodukten, die aber mit einem hohen Grad an manueller Arbeit durch Recherche und nachträglicher Einspeisung

in städtische Katasterprogramme einen recht hohen Zeitaufwand einforderten (vgl. ANSEL et al. 2015: 9). Die vom DDV und DLR geschaffene Methode wurde anhand von Geodaten der Beispielstädte Karlsruhe, Stuttgart, München und Nürtingen durchgeführt und kam seitdem auch für andere Kommunen wie Frankfurt a. M. und Nürnberg zur Anwendung. Seitdem das Pilotprojekt im Jahr 2015 abgeschlossen wurde, bietet die Firma EFTAS die Methode nun als neuen fernerkundlichen Dienstleistungsstandard an, für deren Nutzung nachfragende Kommunen geeignete Geodaten (hochaufgelöste Luftbilder und Hausumringe oder digitale Gebäudemodelle) bereitzustellen haben (vgl. DDV 2016b: 21). Anfragen bei den jeweiligen Teilnehmerstädten des Pilotprojekts ergaben, dass laut Evaluierung „die potentiellen Fehlerquellen die Ergebnisse zum Teil stark beeinflussen“ (z.B. Überschirmung durch angrenzende Bäume, Verkippungseffekte, Dachneigungseinflüsse, starke Moosbesetzung) (STADT KARLSRUHE 2019, Anlage 2). Deshalb seien die Ergebnisse des Pilotprojekts seitens der städtischen Planungsbehörden nicht für weitergehende Schritte verwendet worden (vgl. STADT KARLSRUHE 2019, Anlage 2, vgl. STADT MÜNCHEN 2019, Anlage 1). Möglicherweise soll das Verfahren in Karlsruhe mit einer verbesserter Datengrundlage des Baden-Württembergischen Vermessungsamtes erneut durchgeführt werden. Voraussetzung dafür sei die Vervollständigung und Optimierung der digitalen Gebäudemodelle der Stadt sowie neues Nadir-Luftbildmaterial der anstehenden Luftbildbefliegung im Jahr 2020, mit welchem der Verkippungseffekt minimiert werden soll.

Neben anderen Städten erarbeitete die Stadt Marburg mit KLÄRLE et al. (2017) eigene Methoden zur Erfassung von Potentialdächern und entwickelte ein der Öffentlichkeit online zugängliches Gründachkataster, in dem die Stadt Marburg durch Luftbilder visualisiert wird. Die interaktive Anwendung dient hauptsächlich der Generierung von Aufmerksamkeit und Wissen für interessierte Gebäudeeigentümer, die damit einen ersten Überblick zur Begrünbarkeit ihrer Immobilie erhalten können. Neben dem Potential der Dachfläche kann auch eine standortabhängige Wertetabelle eingesehen werden, in der die eingesparte Abwassermenge und -gebühr, die CO₂-Absorption und der gehaltene Feinstaub pro Jahr geschätzt und auf die begrünbare Fläche hochgerechnet werden (vgl. STADT MARBURG 2016).

Weiter geht der Ansatz von GRUNWALD et al. (2017), nach welchem auf Basis der Detektion von Potentialflächen die ökologische Wirkung der hypothetischen Gebäudebegrünung simuliert wurde. Insbesondere stadtklimatische Simulationen und ökologische Auswirkungen innerstädtischer Maßnahmen der Klimaanpassung liegen im Interesse kommunaler Behörden. In einer von BKR ESSEN (2014) durchgeführten Machbarkeitsstudie für mögliche

Klimaanpassungsmaßnahmen in der Bottroper Innenstadt stellte die Detektion von Potentialdächern einen integralen Bestandteil der Simulation dar. Auch diverse Online-Angebote von automatisierten Gründachkatastern zeigen, dass bundesweit die Nachfrage nach Planungslösungen für die nachträgliche Begrünung von Dächern steigt und entsprechende, teils auch kommerzielle Anbieter für GIS-Lösungen immer aktiver werden (vgl. GEOPLEX 2019, vgl. TETRAEDER 2019). Insbesondere in Bundesländern, in denen die im Internet veröffentlichte Darstellung gebäudebezogener Daten erlaubt ist, besteht eine steigende Anzahl an Gründachpotentialkatastern. Wie das Marburger Gründachkataster sind auch diese Anwendungen in der Lage, die Potentialflächen zu visualisieren und die relativen Kosten, die ökonomischen und ökologischen Wirkungen zu schätzen. Konkrete Basiswerte zu jährlichen Senkung bzw. Ersparnis an Feinstaub, CO₂, Abwasser oder Abwassergebühr können vom Quadratmeter auf die potentiell geeignete Dachfläche hochgerechnet werden. Dennoch sind diese kommerziellen Katasteranwendungen nicht Gegenstand dieses methodischen Diskurses, da sie keinen tieferen Einblick in die den Katastern zu Grunde liegenden Abläufe bieten und teils auf einfachen Einstellungen basieren, die dazu tendieren, die Begrünbarkeit der Dachflächen und somit die Potentialflächen stark zu überschätzen.

4.3 Orientierungsstudien

In diesem Kapitel sollen drei aktuelle Studien mit deutschem Raumbezug in ihren grundlegenden Zügen skizziert werden. Der in Kapitel 5 beschriebene Arbeitsablauf der hiesigen GIS-Analyse orientiert sich, neben den bautechnischen Erkenntnissen aus Kapitel 2, maßgeblich an einem Querschnitt jener Studien. Zudem bieten die Veröffentlichungen eine Vergleichsbasis für die Ergebnisse dieser Analyse, da sie in Zusammenarbeit mit oder im Auftrag von deutschen Kommunen durchgeführt wurden. Die jeweiligen Untersuchungsgebiete repräsentieren die in Bayern und Baden-Württemberg gelegenen Städte München, Stuttgart, Karlsruhe, Nürtingen (ANSEL et al. 2015) sowie die hessische Stadt Marburg (KLÄRLE et al. 2017) und die Stadt Braunschweig in Niedersachsen (GRUNWALD et al. 2017). Die Ergebnisse wurden in Kapitel 6 zusammengefasst und miteinander verglichen.

ANSEL et al. (2015)

Die Methode setzt zwei Schwerpunkte: Einerseits soll sie bestehende Gründächer anhand von hochaufgelösten Falschfarbeninfrarot-Luftbildaufnahmen (CIR-DOP) und Gebäudebasisdaten identifizieren (vgl. ANSEL et al. 2015: 3 ff.). Die Inventarisierung differenziert zwischen der Stärke des aus dem Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) abgeleiteten

Vegetationssignals und lässt auf den Bedeckungsgrad eines begrünten Daches schließen. Andererseits ermittelt sie im Rahmen der Potentialanalyse ausreichend flach geneigte und zudem mit Kies bedeckte Dächer, die sich für eine nachträgliche Begrünung besonders eignen. Hinsichtlich ihrer Begrünbarkeit können einzelne Gebäude, aber auch das gesamte Stadtgebiet analysiert werden. Für die Gründach-Inventarisierung wurden Falschfarbeninfrarot-Luftbilder mit den amtlichen Hausumringen bzw. Gebäudegrundrissen aus dem Katasterdatensatz räumlich verschnitten (vgl. ANSEL et al. 2015: 20 ff., vgl. Abb. 13). Die Hausumringe werden dabei wie die eigentliche Geometrie der Dachflächen behandelt. Wahlweise können statt der Umringe auch dreidimensionale Gebäudemodelle verwendet werden. In der GIS-Analyse zum Würzburger Begrünungspotential wurden erstere als Geometriedatei gewählt, da sich die digitalen Gebäudemodelle aus Gründen der mit einem großen Untersuchungsgebiet verbundenen Kosten und Rechenleistung nicht anbieten. Dem kann entgegengesetzt werden, dass sich die von der Bayerischen Vermessungsverwaltung (BVV) angebotenen 3D-Gebäudemodelle für diese Art der Fragestellung besonders anbieten. Modelliert auf Grundlage von amtlichen Gebäudegrundrissen und LiDAR-Daten des Airborne Laserscannings, vermögen die Modelle der Detailstufe 2 (LoD2) zwischen Dachhöhen und einzelnen Dacharten zu unterscheiden, was sich für eine Extraktion von Flachdächern besonders eignet (vgl. LDBV 2019f). Die Verschneidung der Oberflächendaten und die Attributierung mit relevanten Neigungsdaten wurde in der vorliegenden Arbeit somit selbstständig durchgeführt.

Eine NDVI-Berechnung auf Basis des Falschfarbenfotos konnte im Verfahren von ANSEL et al. (2015) den Begrünungsanteil einzelner Dachflächen sowie Aussagen zur Qualität bzw. Dichte der Vegetation ableiten. Ein starkes NDVI-Signal lässt auf Bäume, Sträucher oder Intensivbegrünungen schließen, ein niedriges auf Spontan- oder Extensivbegrünungen. In der hiesigen Analyse wurde auf eine automatisierte Klassifikation von Vegetation, Kies oder anderen Oberflächen verzichtet. Es wurde kein mit Infrarotkanal aufgenommenes Luftbild bezogen.

Zur Beurteilung der nachträglichen Begrünbarkeit wurden im Rahmen der Potentialanalyse zwei relevante Merkmale untersucht: Die Dachneigung wurde bei maximalen Neigungswerten von 10° als Indikator für eine mögliche Begrünung eingestuft, da der technische und finanzielle Aufwand einer solchen Maßnahme bei Flachdächern im Vergleich zu meist eingedeckten Schräg- und Steildächern deutlich niedriger ist (vgl. Kap. 2.3). Dachneigungs-

werte wurden den amtlichen Daten entnommen, sofern diese vorlagen. Zudem wurde Dächern mit Kiesbedeckung ein besonders hohes Potential ausgewiesen. Kies kann auf Dächern als statische Lastreserve gesehen werden, da die Auflast von Kies (ca. 100 kg/m²) etwa der einer extensiven Dachbegrünung (ca. 90-100 kg/m²) entspricht und somit durch diese ersetzt werden kann, ohne dass dies gravierende Auswirkungen auf die Gebäudestatik hätte (vgl. KÖHLER 2012: 17). Kiesoberflächen wurden mittels spektraler Klassifikationsverfahren auf Basis der Luftbilder detektiert. Flache Dächer mit Kiesbelag stellten in der Analyse Präferenzdächer für eine nachträgliche Begrünung dar.

KLÄRLE et al. (2017)

Neben der Visualisierung durch Luftbilder wurden in dieser Arbeit zur genauen Bestimmung der Dachneigung Höhendaten bzw. Punktwolkendaten des Light Detection And Ranging (LiDAR), bzw. Laserscannings verwendet (vgl. KLÄRLE et al. 2017: 149 ff.). Die Höhendaten ermöglichten eine feine Modellierung der Dachformen mitsamt Dachaufbauten (z.B. Dachgauben, Schornsteine). Als entscheidender Faktor zur Bestimmung des Potentials für Dachbegrünung, wurde die Dachneigung in mehrere Klassen der Begrünungsgüte unterteilt. Dazu wurden die LiDAR-Neigungswerte in ein pixelbasiertes Oberflächenraster umgewandelt, die Pixel in unterschiedliche Neigungs- bzw. Potentialklassen unterteilt. In der interaktiven WebGIS-Anwendung soll das zu analysierende Gebäude vom Nutzer per Steuerungsmodul im Luftbild nachgezeichnet werden (vgl. STADT MARBURG 2016, vgl. Abb. 13). Dies schafft den geometrischen Bezug für eine pixelbasierte Berechnung und Ausgabe eines Ergebnisprotokolls. Im Unterschied zu den anderen Studien wurden hier keine Gebäudeumringe als Bezugsdatei für die Attribute verwendet. Aufgrund des informativen Charakters des „intelligenten Gründachkatasters“, wurden die möglichen Bepflanzungsarten (extensiv, intensiv, mit jeweils einschlägiger Pflanzenliste) aus Parametern wie Verschattung und Solareinstrahlung abgeleitet. Daten des Deutschen Wetterdienstes (u.a. Niederschlagsmenge, Frost- und Hitzetage) erlauben es, die ökonomischen Wirkungen (Einsparung Energie- und Abwassergebühr) der Dachbegrünung auf die potentiellen Flächen hochzurechnen.



Abbildung 13: Unterschiedliche Visualisierung nach Raster- und Vektordarstellung.
 Quelle: Eigene Darstellung nach STADT MARBURG 2016 und ANSEL et al. 2015: 23.

GRUNWALD et al. (2017)

Ziel der Studie war es, Braunschweigs geeignete Fläche für nachträgliche Dachbegrünung zu quantifizieren und die potentielle Begrünung hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen auf das Untersuchungsgebiet zu analysieren (vgl. GRUNWALD et al. 54 ff.). Unter die Auswirkungen fielen diverse positive Ökosystemleistungen (Regulierung des Mikroklimas, Verbesserung der Luftqualität, Regenwasserretention, Förderung von Biodiversität). Die Braunschweiger Innenstadt konnte als besonders geeigneter und zugleich höchst effektiver Flächenpool kategorisiert werden. Auch in dieser Studie wurde ein Höhenmodell aus LiDAR-Daten generiert, um die Dachneigungen zu kalkulieren. Als Gebäudegeometrie diente ein Datensatz mit Hausumringen, welche eine Mindestfläche von 10 m² aufweisen mussten. Weitere Datensätze wie eine Klimafunktionskarte oder Verkehrsdaten wurden für die Simulation verwendet. Zur Generierung der Dachneigungen für die einzelnen Gebäudegrundrisse wurden die Höhendaten in ein Oberflächenmodell aus Triangulated Irregular Networks (TIN) umgewandelt. TINs verbinden die Höhenpunkte zu einem durchgehenden Netz aus nicht überlappenden dreieckigen Flächen (vgl. ESRI 2016c). Diese vektorbasierte und re-

chenaufwändigere Methode unterscheidet sich von der im Marburger und im hiesigen Modell, in denen die Höhenpunkte in Digitale Oberflächenmodelle auf Rasterbasis umgewandelt wurden. Anhand der mittleren Dachneigungen wurden die Dächer in relativ streng gesetzte Neigungsklassen unterteilt. Um zu verhindern, dass zwar flache, aber durch zu viele Aufbauten in ihrer Oberfläche heterogene Dächer in das Raster der geeigneten Dächer fallen, wurde ein weiteres Kriterium abgefragt. Danach wurden nur Dächer als geeignet kategorisiert, deren Dachfläche über mindestens 75 % TIN-basierte Neigungswerte von maximal 5° aufwies. Diese Methode wurde in das hiesige Modell als Heterogenitätsfilter übernommen, mit jedoch veränderten Schwellenwerten und nicht auf TIN-Flächen basierend, sondern auf pixelbezogenen Flächenwerten.

Vergleich

Insgesamt fallen die drei Untersuchungsmethoden in ihren Einzelschritten sowie in der Definition der Präferenzdächer recht unterschiedlich aus. Tabelle 3 präsentiert eine Übersicht über Schritte und Datensätze der Orientierungsstudien sowie der vorliegenden Forschungsarbeit. Das innerstädtische Würzburger Untersuchungsgebiet ist dabei vergleichsweise kleinflächig. Zudem wurde von einer Automatisierung der Methode durch ein neu geschriebenes Programm abgesehen. Die Analyse dient dem Mittel zum Zweck – dem Aufzeigen des innerstädtischen Flächenpotentials für nachträgliche Dachbegrünung sowie einer weiteren Untersuchung der Potentialflächen hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit mit Instrumenten der Stadtplanung.

Tabelle 3: Ziele und methodische Schritte der Orientierungsstudien im Vergleich.
Quelle: Eigene Darstellung.

	Bestandsanalyse	Potential nach	Gebäudegeometrie	Ziele
ANSEL et al. (2015)	Automatisierte NDVI-Klassifikation	Dachneigung (Sachattribut) (Wert je Dach); Kieseindeckung (statische Reserve) \geq 50 % der Dachfläche	Hausumringe (Verschneidung); Gebäudemodelle	Methodengrundlage zur Detektion von Potential und Bestand (Partnerstädte)
KLÄRLE et al. (2017)	Nein	Dachneigung (LiDAR – Raster-DOM) (Wert je Pixel)	Manuelles Einzeichnen der abzufragenden Fläche vom Nutzer (keine Verschneidung)	Interaktives und informatives Dachkataster zu Begrünbarkeit, Art, Kosten, Ökolog. Wirkung (Marburg)
GRUNWALD et al. (2017)	Nein	Dachneigung (LiDAR – TIN) (Wert je Dach und Wert je Pixel); Heterogenitätsfilter TIN-basiert; Mindestfläche	Hausumringe (Verschneidung)	Quantifizierung der Potentialfläche; Hochrechnung und Simulation der Öko- systemleistungen (Braunschweig)
Vorliegende Arbeit (2019)	Manuelle Klassifikation (Luftbilder) zur Optimierung der Potentialfläche	Dachneigung (LiDAR – Raster-DOM) (Wert je Dach und Wert je Pixel); Heterogenitätsfilter rasterbasiert; Mindestfläche	Hausumringe (Verschneidung)	Quantifizierung der Potentialfläche; Analyse zur städte- planerischen Umsetzung (innerstädtisches Würzburg)
Allgemeiner Handlungsbedarf	<ul style="list-style-type: none"> - Zusätzliche Detektion von bestehenden Solaranlagen, die nur bei Neubau mit Dachvegetation kombiniert werden können; - Bereinigen von Fehlerquellen wie Überschirmung durch angrenzende Bäume, - Verkippungseffekte bei Luftbilddaufnahmen, Dachneigungseinflüsse, starke Moosbesetzung; - Aktualisieren und Optimieren der Datensätze im Rahmen der Luftbildbefliegung und des Airborne-Laserscannings 			

5. Untersuchungsdesign zur Potentialanalyse von Teilen Würzburgs

Aufbauend auf der Gegenüberstellung bereits entwickelter Analysemethoden und der Ableitung eigener Anknüpfungspunkte, setzt sich dieses Kapitel mit dem eigenen Verfahren auseinander. Dabei werden die konkreten Ziele der Analyse aufgezeigt und anschließend die Datenumgebung erläutert. Schließlich wird der Arbeitsablauf des Verfahrens in seinen Einzelschritten dargestellt.

5.1 Ziele und Modellierung der GIS-Analyse

Ziel der Analyse des Würzburger Stadtgebiets ist, potentielle Flächen für eine nachträgliche Dachbegrünung zu finden (vgl. Kap. 6) und die Möglichkeiten der tatsächlichen Aktivierung dieses Flächenpotentials zu erörtern (vgl. Kap. 7). Aus Gründen des kritischen Stadtklimas und der hohen Baudichte bezieht sich die Untersuchung auf zwei zentral gelegene Stadtbezirke (vgl. Kap. 3, vgl. Abb. 6): Den Stadtbezirk der Altstadt (rechtsmainisch, ohne Altes Mainviertel) im Norden und den direkt angrenzenden Stadtbezirk der Sanderau im Süden. Das digitalisierte Gebiet misst eine senkrechte Projektionsfläche von 4,04 km² und einen Umfang von 9,98 km. Die Analyse basiert auf Daten der Fernerkundung (Luftbilder, LiDAR-Höhendaten) und der amtlichen Vermessung (Gebäudeumrisse bzw. Hausumringe) und wird mit dem Programm „ArcMap“ (Software „ArcGIS“) durchgeführt. Bei dieser Desktop-Anwendung der Firma Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI) handelt es sich um ein Geoinformationssystem (GIS), welches der Verarbeitung raumbezogener Daten dient (vgl. BILL et al. 2015: 326). Im GIS können die benötigten Geodaten eingelesen, verarbeitet, analysiert und präsentiert werden. Neben der kartographischen Visualisierung beinhaltet ein GIS mit dank manipulierbarer Attributtabelle ein Datenbankmanagement, mit welchem sich einem Datensatz beliebige Variablen hinzufügen lassen. Dank des Ebenen- bzw. Layerprinzips der Benutzeroberfläche können im selben Projekt unterschiedliche Analysen durchgeführt und miteinander verbunden werden. Dabei präsentiert jeder Layer eine Informationsschicht, beispielsweise Höhendaten oder Geometriedaten. Einzelne Layer können mit einem gemeinsamen Raumbezug im Koordinatensystem verortet und überlagert werden. Daraufhin können auf Basis gemeinsamer räumlicher oder sachlicher Attribute bestimmte Einheiten abgefragt werden. So können die mit Höhendaten versehenen Gebäudeumrisse selektiert werden, bei denen es sich beispielsweise um für Begrünung präferierte Gebäude handelt. Je nach Fragestellung lassen sich beliebig weitere räumliche oder sachliche

che Informationen in den Datensatz der Gebäudegeometrien integrieren und räumlich verorten. Auch bei Gründachkatastern handelt es sich um Produkte eines GIS, meist in Form einer interaktiven Web-GIS-Anwendung.

Gegenstand der Analyse ist der annähernd aktuelle Gebäudebestand, welcher mit der Software flächendeckend nach idealerweise flach geneigten und Flachdächern untersucht werden soll. Es wird davon ausgegangen, dass diese Dachflächen bestehender Gebäude theoretisch nachträglich begrünbar sind und somit Potentialflächen darstellen. Natürlich ersetzt dies keine Vor-Ort-Besichtigung durch Experten, da bautechnische Kriterien zur Gebäudestatik oder dem Zustand der Dachabdichtung mit dieser Methode nicht untersucht wurden. Eine GIS-Potentialanalyse kann aber im Vorfeld die Anzahl der zu überprüfenden Gebäude reduzieren (vgl. ANSEL et al 2015: 26).

Es sei anzumerken, dass hinsichtlich der Potentialzuweisung nicht zwischen extensiver und intensiver Begrünung unterschieden wird. Gerade bei der intensiven Dachbegrünung spielt der Aspekt der Gebäudestatik, welcher nicht Gegenstand der fernerkundlichen Untersuchung war, eine gravierende Rolle. Neben den unterschiedlichen Standortansprüchen erfordert die Nachrüstung entsprechender Vegetation eine hohe Substratdicke, deren statische Belastung für die Tragekonstruktion vor Ort fachmännisch geprüft werden muss. Dennoch wird dem Anspruch einer unter anderen ökologischen Aufwertung der Potentialflächen mit extensiver Begrünung genüge getan, selbst oder gerade, wenn diese nicht durch den Menschen betretbar ist. Jegliche Potentialzuweisung bezieht sich also auf extensive Grünanlagen.

Die Ziele der GIS-basierten Potentialanalyse sind also:

- das methodische Aufzeigen und erfolgreiche Durcharbeiten eines geeigneten GIS-Ablaufs
- die Erarbeitung einer geeigneten Referenzdatei für *Dachflächen* und Erweitern deren Attributtabelle (Datenbank) um die Potentialindikatoren *Dachneigung Mittelwert*, *Dachneigung Median* und *Dachneigung Modus* sowie um die *Neigungspixelfläche* (vgl. Tab. 4)
- die Diskussion der angewandten Methodik sowie die qualitative Einschätzung der Ergebnisse
- die visuelle Präsentation der städtischen Dächer nach Neigungsklassen und Bestandsbegrünung im Untersuchungsgebiet mittels einer in ArcGIS erstellten Karte
- Diskussion des idealen Parameters zur Abfrage der Dachneigung
- Statistische Aufbereitung der Potentialfläche für nachträgliche Dachbegrünung (ADB_{Pot}) durch eine geeignete Abfrage (vgl. Tab. 4)
- Vergleich der Ergebnisse mit Studien anderer Städte

Das an die Potentialanalyse anknüpfende Kapitel 7 setzt sich mit der Frage auseinander, unter welchen Bedingungen dieses Flächenpotential in Würzburg mit den städteplanerischen Instrumenten der Förderung und der Forderung aktiviert, also tatsächlich umgesetzt und durchgesetzt werden könnte. Die dazu für das Untersuchungsgebiet recherchierten planungsrelevanten Grundlagen wie Fördersätze, Bebauungspläne oder Baudenkmäler wurden in Kapitel 3 beschrieben und in das GIS-Projekt eingebunden. Auf Basis der räumlichen Überlagerung der Potentialflächen mit diesen georeferenzierten Sachdaten kann die Übertragbarkeit der Ergebnisse in die städtische Planungspraxis verbessert werden.

Tabelle 4: Zu erstellende Merkmale zur Bewertung des Dachbegrünungspotentials.
Quelle: Eigene Darstellung.

Merkmale zur Bestimmung des Potentials:	Dachfläche	Dachneigungswert der Polygon-Dachfläche	Heterogenität der Dachoberfläche	Bestehende Dachbegrünung je Umring
Dafür zu erstellende Variablen:	Polygon_Area	Median, Modus, Mean	Heterogenitätsfilter: Pixel_Area, Reclassified Pixel_Area	Bestandsbegrünung_Anteil
Schwellenwerte für Potentialfläche ADB _{Pot} (hier Präferenzszenario):	≥ 14 m ²	≤ 10° (Median)	≥ 50 %	≤ 25 %

Als wichtigster Indikator für eine potentielle Dachbegrünung dient der Grad der Dachneigung. Zur Bewertung des Potentials wurde eine Klassifikation der Dachneigungswerte vorgenommen, welche am ehesten den nach bautechnischem Aufwand eingestuften Neigungsklassen der FLL entspricht (vgl. FLL 2018, vgl. Tab. 2). Die in Tabelle 5 grün markierten Klassen stehen (ggf. in Verbindung mit anderen Merkmalen) in den jeweiligen Studien für eine Eignung, für Dächer mit Werten in den roten Klassenbereichen wird von nachträglicher

Dachbegrünungen in den jeweiligen Untersuchungen klar abgeraten. Dienstleister wie GEOPLEX (2019) oder TETRAEDER (2019) stellen in ihrer Klassifikation weniger strenge Bedingungen an die Nachrüstung einer Dachbegrünung. In der anheim stehenden Analyse und ihrer Ergebnisinterpretation soll nur für die ersten beiden Neigungsklassen (0 bis 10°) ein tatsächliches Potential ausgewiesen werden, da es sich bei einem solchen Neigungsbereich vornehmlich um den Typus eines Flachdaches oder eines flachen Pultdaches handelt, dem die Mehrzahl der in Deutschland aufgeführten Dachbegrünungen entspricht (vgl. ANSEL 2015: 25). Auch kommunale Festsetzungen von Dachbegrünung beschränken sich in der Regel auf Gebäude mit flachen oder leicht geneigten Dächern. Auch wenn Neigungs- und Flächenwerte die in dieser Arbeit einzigen Indikatoren für eine potentielle Begrünung darstellen, ist es nicht trivial, mit Hilfe welchen Parameters die Dachneigung eines Gebäudes dargestellt wird. Da sich die ausgegebenen Neigungswerte und die Interpretationsweise nach Wahl der Parameter Mittelwert, Median und Modus unterscheidet, wird im Gegensatz zu den aufgeführten Studien, in welchen ausschließlich der Mittelwert verwendet wurde, in dieser Analyse ein Vergleich angestellt. Auf eine automatisierte Oberflächenklassifikation und Detektion von Kiesflächen nach ANSEL et al. (2015) wurde verzichtet, da das in dieser Analyse verwendete nicht im Nadir aufgenommenen Orthophoto zu einer verstärkt fehlerhaften Klassifikation geführt hätte (vgl. Kap. 4).

Tabelle 5: Unterschiedliche Bewertungsniveaus zum Dachbegrünungspotential nach Neigungsklassen.
Quelle: Eigene Darstellung.

Eigene Klassen	FLL 2018	ANSEL et al. 2015	KLÄRLE et al. 2017	GRUNWALD et al. 2017	GEOPLEX 2019
0 - 5°	0 - 3°	0 - 10°	0 - 5°	0 - 1°	0 - 5°
über 5 - 10°	3 - 10°	k.A.	5 - 10°	über 1 - 5°	5 - 15°
über 10 - 20°	10 - 20°	k.A.	10 - 15°	über 5°	15 - 30°
über 20 - 30°	20 - 30°	k.A.	15 - 35°	k.A.	30 - 45°
über 30 - 45 °	30 - 45°	k.A.	> 35°	k.A.	> 45°
über 45°	> 45°	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

Die Dachneigungen sollen über ein die einzelnen Gebäude umfassendes Oberflächenmodell errechnet werden, welches sich aus den LiDAR-Höhendaten generieren lässt. In ArcGIS wird die Dachneigung für jede Rasterzelle einzeln berechnet (vgl. ESRI 2016d). Dabei wird von der maximalen Änderungsrate des Wertes einer Zelle zu ihren acht benachbarten Zellen ausgegangen. Eine starke Änderung der Höhe zwischen benachbarten Zellen resultiert also in einem hohen Gefällewert für selbige und somit in einem hohen Neigungswert. Die Neigung des Ausgaberrasters wird hier in Winkelgrad angegeben, wobei ein Winkel von 45° einer hundertprozentigen Steigung entspricht. Eine Herausforderung besteht darin, nur die Höhen- bzw. Neigungswerte abzufragen, die auch innerhalb der eigentlich zu analysierenden Dachflächen liegen. Abgeleitet aus dem Liegenschaftskataster und vor der Analyse entsprechend angepasst, stehen die Gebäudeumriss-Daten dabei stellvertretend für die Dachflächen. Dabei handelt es sich um eine Polygon-Datei, welche die zweidimensionalen Geometrien der Gebäudeumrisse enthält. Die auf LiDAR-Daten liefern die zur Erstellung einer dritten Dimension nötigen Höhenwerte für die einzelnen Gebäude (vgl. Abb. 14). Für die Ableitung der Dachneigung aus den Höhendaten ist eine räumliche Verschneidung der zweidimensionalen Gebäudegeometrien mit den dreidimensionalen LiDAR-Daten erforderlich. Umgewandelt in ein Oberflächenraster, kann die Dachneigung mittels eines Flächenintegrals über die Gebäudeumringe abgefragt werden. Es interessieren die Neigungswerte bezogen auf die Gebäudepolygone und die darin enthaltenen Pixelflächen. In diesem Projekt stellen die Gebäudeumrisse zudem die attributive Bezugsdatei dar, welcher die errechneten Merkmale *Dachneigung Mittelwert*, *Dachneigung Median*, *Dachneigung Modus* und *Neigungspixelfläche* hinzugefügt werden sollen.

Letztliches Ziel ist eine Abfrage zur Zahl und Fläche der Dächer, die eine für Dachbegrünung geeignete mittlere Dachneigung besitzen und diese Neigung über einen Großteil des Daches hinweg aufweisen. Eine solche Abfrage stellt sicher, dass sich trotz zu heterogener Dachoberfläche im Mittel kein Neigungswert einstellt, der ein hohes Begrünungspotential ausweist. Die pixelbasierte Flächenabfrage, mit der genauer auf die Dachstruktur zugegriffen werden kann, dient neben der polygonbasierten Flächenabfrage als ein Heterogenitätsfilter und orientiert sich an der Methode von GRUNWALD et al. (vgl. 2017).

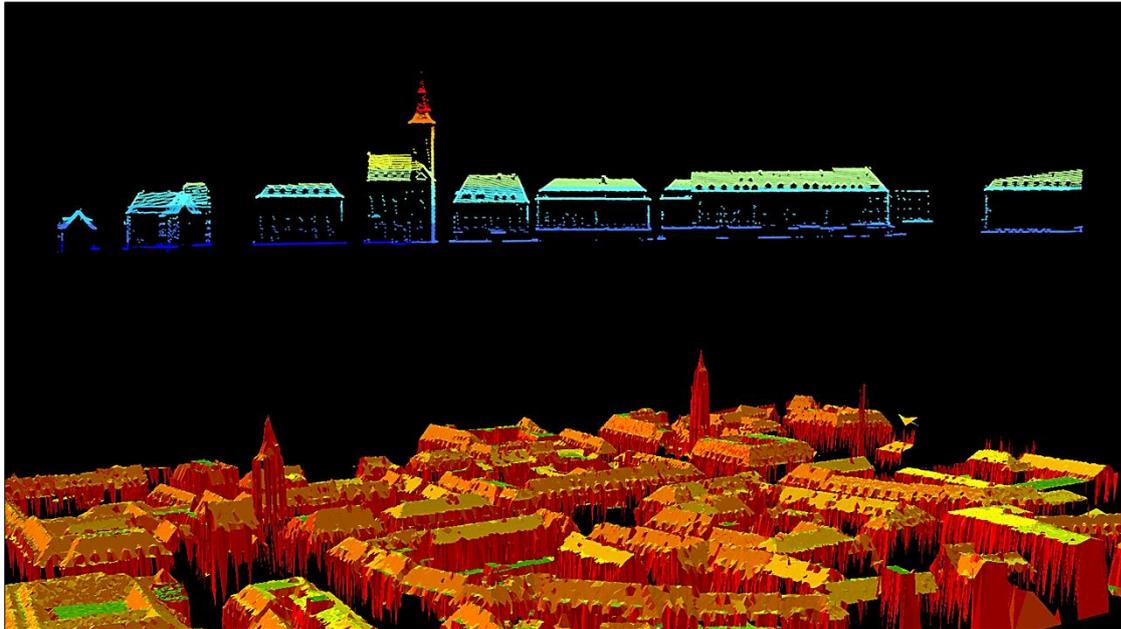


Abbildung 14: Fotomontage aus Querprofil und 3D-Ansicht der Altstadt mittels LiDAR-Daten.
Quelle: Eigene Darstellung. Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung.

5.2 Verwendete Daten und technische Umgebung der GIS-Analyse

Nachdem die Ziele und Modellierungsschritte in ihren Grobzügen skizziert und begründet wurden, sollen folgend die technischen Rahmenbedingungen aufgezeigt und anschließend die einzelnen, für die GIS-Analyse verwendeten Datenprodukte beschrieben sowie deren notwendige Anpassungsschritte erklärt werden. Schließlich wird die Durchführung der eigentlichen Analyse zum innerstädtischen Dachbegrünungspotential protokolliert.

5.2.1 Technische Umgebung und Datenbezug

Die zur Eingabe, Verarbeitung und Analyse der Geodaten sowie die zur Visualisierung der Ergebnisse verwendete Software ist „ArcMap“ in der Version 10 (Software „ArcGIS Desktop“ von ESRI). Das Tabellenkalkulationsprogramm „Microsoft Excel“ (Version 2016) wurde zur rechnerischen Weiterverarbeitung und tabellarischen Aufbereitung der im GIS ausgegebenen statistischen Sachdaten eingesetzt.

Die für diese Arbeit benötigten Geobasisdaten wurden von der Bayerischen Vermessungsverwaltung (BVV) im Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV) zur Verfügung gestellt (www.geodaten.bayern.de). Die Rasterdatenprodukte konnten vom Lehrstuhl für Geographie und Regionalforschung über den bayerischen Datenbestelldienst „GeodatenOnline“ bezogen werden (www.geodatenonline.bayern.de), während die nicht in

der Lehrstuhllizenz enthaltenen Vektordaten sowie die LiDAR-Punktdateien nach persönlicher Absprache mit der Servicestelle der BVV zugespielt wurden. Den digitalen Datentransfer zwischen Vermessungsbehörde und Lehrstuhl bzw. Studierenden ermöglicht eine Ressortvereinbarung zwischen dem Bayerischen Staatsministerium der Finanzen und für Heimat (StMFLH) und dem Bayerischen Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst (StMBW) (vgl. LDBV 2019a). Danach können Geodienste- und Daten für Forschungs- und Lehrzwecke den öffentlichen bayerischen Universitäten und Hochschulen seitens des LDBV kostenfrei oder ermäßigt zur Verfügung gestellt werden. Für nicht in dieser Ressortvereinbarung enthaltene Geodaten, im Fall dieser Arbeit die LiDAR-Laserpunkte, steht den bayerischen Hochschulen jährlich pro Lehrstuhl ein kostenfreies Kontingent von 1.000 € zur Verfügung. Für die Nutzung der Geobasisdaten gelten die in den Nutzungsbedingungen angegebenen Lizenzbestimmungen der Bayerischen Vermessungsverwaltung (vgl. Anlage 15)

Alle Geodaten wurden im geographischen Bezugs- und Abbildungssystem Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989 (ETRS89) mit einer Universalen-Transversalen Mercatorprojektion (UTM) bezogen, welches seit Jahreswechsel 2018/2019 in Bayern – das Gauß-Krüger-System ablösend – den neuen amtlichen Standard darstellt, um eine grenzüberschreitende Nutzung von Geodaten in Europa zu ermöglichen (vgl. LDBV 2019b). Die für die in der UTM-Zone 32N liegende kreisfreie Stadt Würzburg einschlägige Koordinatensystem-Einstellung dieses ArcGIS-Projektes lautete somit *ETRS89_UTM_zone_32N*. Alle Daten lagen seit dem Bezugszeitpunkt georeferenziert und im selben Koordinatensystem vor. Das Höhenbezugssystem der LiDAR-Daten ist das *DHHN2016*.

5.2.2 Beschreibung und Anpassung der Datenprodukte

Für die eigentliche Potentialanalyse waren eine Multipolygon-Datei mit der Gebäudegeometrie (**Hausumringe.shp**) sowie ein Punktwolken-Dataset mit den darin befindlichen dreidimensionalen Höhendaten (**LiDAR-All.las**) hinreichend. Zusätzlich wurden für Optimierungs- und Visualisierungszwecke zwei Rasterdatenprodukte in Form einer Orthophoto-Datei (**DOP20.tif**) und einer Digitalen Flurkarte (**DFK.tif**) verwendet.

DFK.tif

Wie das Digitale Orthophoto wurde auch die DFK in Form von 26 Kacheln à 0,25 km² im TIF-Format bezogen. Sie entstammt dem Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) und stellt den grafischen Teil des amtlichen Verzeichnisses dar (vgl. LDBV 2019c). ALKIS ist ein deutschlandweit einheitliches Datenmodell, welches alle Liegenschaften grafisch darstellt und mit Sachinformationen beschreibt. Ende 2015 wurde es auch in Bayern flächendeckend eingeführt und wird ständig aktualisiert. Zur weiteren bauleitplanerischen Untersuchung der im nächsten Kapitel analysierten Potentialflächen interessierten insbesondere die in der DFK visualisierten Flurstücksnummern und Hausnummern. Zudem sind auch die Gebäudeumrisse in Form der Hausumringe-Datei hinsichtlich ihrer Geometrie und ihrer Sachattribute aus dem ALKIS abgeleitet. Damit decken sich die zweidimensionalen Gebäude perfekt mit den Geometrien der Liegenschaften der DFK. Die Umringe visualisieren also die innerhalb der einzelnen Flurstücke liegenden Gebäudegrundrisse.

DOP20.tif

Beim zweiten Rasterdatenprodukt DOP20.tif handelt es sich um Echtfarben-Orthophotos (RGB-DOP). Ein Digitales Orthophoto (DOP) wird durch rechnerische Entzerrung aus Original-Luftbildern, also fotografischen Senkrechtaufnahmen der Erdoberfläche abgeleitet, um das abgebildete Gelände maßstäblich exakt und lagerichtig wiederzugeben (vgl. LDBV 2018a).

Luftbilder der Erdoberfläche werden in der Fernerkundung mit Hilfe von optischen Sensoren aufgenommen (vgl. TAUBENBÖCK/ROTH 2010: 31 f.). Die zu beobachtenden Objekte werden durch kurzwellige solare Strahlung beleuchtet, die von den Objekten reflektierten Wellenlängen als optische Signale registriert und dann ausgewertet. Diese fernerkundliche Messtechnik ist ein passives System, welches zur Messung der Erdoberfläche nur die bereits vorhandenen Strahlungsquellen wie das Sonnenlicht oder die thermische Strahlung der Erde nutzt. Sie eignen sich für die fernerkundliche Erfassung von Vegetation, insbesondere von begrünten Dächern im urbanen Raum. Für die Entzerrung der Luftbilder wird ein aus mehreren orientierten Luftbildern mittels Bildkorrelation erstelltes Oberflächenmodell verwendet, dessen kolorierte Oberflächenpunkte in die Kartenebene projiziert werden (vgl. JÄGER/HEIPKE 2015: 396 f.). Das so korrigierte DOP ist deckungsgleich mit einer Karte desselben Maßstabs und ist entsprechend kombinierbar mit anderen Geodaten, wie den Hausumringen. Die zu Grunde liegenden Luftbilder entstammen der flächendeckenden Bayernbefliegung (vgl. LDBV 2018a).

Seit 2017 wird jährlich jeweils die Hälfte Bayerns befliegen, die Luftbilder werden also im zweijährigen Turnus aktualisiert. Die in dieser Analyse verwendete Luftbildgrundlage für den Raum Würzburg/Unterfranken entstammt dem Befliegungszeitraum Juni 2017, aufgenommen aus einer Höhe von circa 4000 m (vgl. LDBV 2019d). Das Digitale Orthophoto mit einer räumlichen Auflösung von 20 cm Bodenpixelgröße stellt mit den drei Aufnahmebändern Rot, Grün und Blau die Echtfarben dar und weist eine radiometrische Auflösung von 8 bit Farbtiefe je Kanal auf. Aufgrund der hohen Aktualität und Auflösung eignet sich das Orthophoto gut zur visuellen Präsentation der Ergebnisse. Zudem wurde es für eine manuelle Kartierung bereits begrünter Dachflächen herangezogen, wofür begleitend aktuelle Luftbildaufnahmen, bereitgestellt über Google Earth, für den visuellen Vergleich genutzt wurden. Diese manuelle Herangehensweise ist aufgrund der überschaubaren Größe des Untersuchungsgebiets ein geeignetes Vorgehen und garantiert eine nur geringfügig fehlerhafte Klassifikation. Darüber hinaus ist das Rasterdatenprodukt für eine im Kontext dieser Potentialanalyse relevante Detektion von Oberflächenmaterialien (Kies, Vegetation) nur bedingt geeignet, weshalb von einer solchen automatisierten Klassifikation von Oberflächenparametern abgesehen wurde. Für den Zweck der Bestandskartierung – die Bereinigung der Potentialfläche um bereits begrünte Dächer – stellte sich die manuelle Methode als hinreichend heraus.

Hausumringe.shp

Die Datei der Hausumringe, vorliegend im Shapefile-Format, dem Vektorformat von ESRI, umfasst als Multipolygon die Geometrien und die Attribute der Gebäudeumrisse, ausgehend von den Maßen der jeweiligen Gebäudebasis. Jedes einzelne Umring-Polygon stellt ein Feature dar, das durch seine Geometrie, Lage und Attribute eindeutig beschrieben und abgefragt werden kann. Die Polygon-Features wurden von der BVV aus den Gebäudeumrissen im Amtlichen Liegenschaftskataster abgeleitet (vgl. LBDV 2019c). Somit sind sie hinsichtlich Lage und Geometrie mit den ALKIS-Produkten, wie der hier vorliegenden Digitalen Flurkarte, absolut deckungsgleich. Knapp 90 % der 6.899 im Shapefile bezogenen Gebäudeumringe entstammen dem Jahr 2015, weitere wurden in den Jahren 2016 bis 2018 aktualisiert, wobei keine raumzeitlichen Muster innerhalb des Untersuchungsgebietes zu beobachten sind. Die Hausumringe werden zur räumlichen Definition der Dachflächen verwendet und dienen als räumliche Maske für die LiDAR-Höhendaten. Die Vektordatei dient dabei sowohl als zweidimensionale Geometriedatei als auch als Bezugsdatei zur Zuordnung von Flächen- und Höhenwerten, aus denen das Begrünungspotential abgeleitet werden soll.

Damit die bezogenen Hausumringe in ihrer Geometrie möglichst genau den eigentlich zu analysierenden Dachflächen entsprechen und um der Datensatz um diverse nicht begrünbare Gebäude zu bereinigen, mussten vor der Potentialanalyse diverse Anpassungen vorgenommen werden (**Attributfilter**). Der Datensatz wurde dazu nicht manuell angepasst, sondern es wurden Regeln gesucht, um ihn über flächen- und attributbezogene Abfragen zu optimieren. Die Shape-Datei wurde mit zehn, für die Analyse teilweise relevanten, Sachattributen bezogen. Auf deren Basis konnte der Datensatz im Vorfeld mittels attributiver Filterung angepasst werden.

Jedem Feature bzw. Umring ist mit dem Attribut *gml_id* ein Code – entsprechend der vom Open Geospatial Consortium (OGC) zu ganzheitlichen und fachübergreifenden Nutzung von Geodaten definierten Geography Markup Language (GML) – zur eindeutigen Identifizierung der 6899 Gebäude und Gebäudeteile zugewiesen (vgl. SEIFERT et al. 2015: 895). Die ebenfalls genormte Gebäudenutzungsbezeichnung *geb Nutzbez* kategorisiert die Features in *Bauteil* (n = 969), *Gebäude* (n = 5.462) und *Sonstiges Bauwerk oder sonstige Einrichtung* (n = 468). Feingliedriger unterteilt das Attribut *Funktion* die Gebäude(-teile) in 30 verschiedene Funktionstypen. Die über drei Viertel des Datensatzes ausmachende Nutzungsbezeichnung *Gebäude* umfassen die zumeist mit einer Adresse versehenen Wohngebäude, Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe oder Gebäude für öffentliche Zwecke, sakrale und schulische Einrichtungen sowie Krankenhäuser. Es handelt sich also um genutzte Gebäude im engeren Sinne, welche im Fokus dieser Analyse liegen. In der Gruppe der *Bauteile* befinden sich neben Loggien und Arkaden, Geschosse innerhalb oder ausragend von Gebäuden, Gebäudedurchfahrten und Tiefgaragen. Hierbei handelt es sich in der Regel um Teile von Gebäuden, die ohnehin schon von einem jeweils zugehörigen Umring repräsentiert werden, weshalb sie als nicht zu analysierende Features eingestuft wurden. Der Nutzungsbezeichnung *Sonstiges Bauwerk oder sonstige Einrichtung* sind meist Überdachungen und Gedenkstätten bzw. Denkmäler, Brücken und Gartenanlagen zugehörig. Abgesehen von den Überdachungen stellen diese Einheiten ebenfalls keine Ziele für eine mögliche Dachbegrünung dar. Die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV), welche das amtliche deutsche Vermessungswesen koordiniert, schreibt hinsichtlich der Modellierung von Gebäuden in ALKIS vor, eigenständige Teile von Gebäuden, die sich innerhalb derer befinden, als *Bauteile* zu digitalisieren (vgl. ADV 2008: 131 ff.). So wurden a priori solche Features aus-

geschlossen, die als Bauteile sich mit der Grundfläche desselben Gebäudes überlappen. Zudem wurden diejenigen Gebäude von vornherein ausgefiltert, welche über *Funktion* als sakrale Bauten identifiziert wurden.

Tabelle 6 bietet einen Überblick über die Kategorien von Features, die für die Analyse beibehalten oder ausselektiert wurden. Nach Ausschluss von 1.244 Einheiten enthielt der Datensatz neben den 249 Überdachungen noch 5.406 Einheiten der Nutzungsbezeichnung *Gebäude*, die als für die Analyse zweckgeeignet eingestuft wurden. Die vorgenommenen attributiven Anpassungen verringern den Fehler der methodisch möglichen, aber praktisch unlogischen Zuordnung von Dachbegrünungspotential für solche Flächen oder Bauten, die aus Gründen der Bautechnik oder des Vorbehalts für andere Nutzungen nicht für ihre Begrünung geeignet sind. Es gilt zu beachten, dass der Baudenkmalschutz eines Gebäudes keinen eine Dachbegrünung pauschal ausschließenden Tatbestand darstellt, weshalb entsprechende Gebäude im Datensatz für die Analyse beibehalten wurden – abgesehen von sakralen Bauten, die unter einem strenger gewichteten Denkmalschutz stehen (vgl. Kap. 3.4.3). Abbildung 15 zeigt in Gegenüberstellung mit dem Datensatz vor der Bearbeitung den Effekt des Attributfilters hinsichtlich der Güte der später ausgewiesenen Potentialfläche, die ohne die Ausfilterung von beispielsweise der Residenz zugehörigen Grünanlagen (linkes Bild) beträchtlich überbewertet worden wäre.

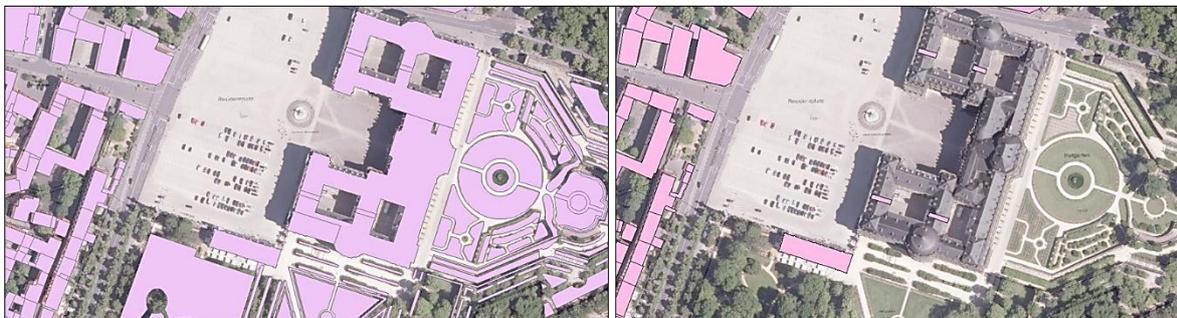


Abbildung 15: Vergleich der Hausumringe vor und nach Einsatz des Attributfilters.
Quelle: Eigene Darstellung. Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung.

Tabelle 6: Vornherein-Bewertung und Filterung von Gebädefunktionsklassen.
 Quelle: Eigene Darstellung. Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung.

Funktion	Anzahl	Verwendung	Ausschlussgrund/ Bewertung
Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe	2.196	Ja	
Wohngebäude	1.590	Ja	
Nach Quellenlage nicht zu spezifizieren	1.444	Ja	
Sonstiges	8.54	Nein	Bauteil oder sonstiges Bauwerk
Überdachung (vom Gebäudeumriss ausragend)	249	Ja	17.738 m ² Fläche, die wegen ihrer geringen Neigung relativ gute Voraussetzungen für DB haben; dennoch kann es zu starken statischen Einschränkungen kommen
Geringergeschossiger Gebäudeteil	149	Nein	Überlappendes Bauteil
Durchfahrt im Gebäude	93	Nein	Keine Dachfläche
Gebäude für Bildung und Forschung	60	Ja	
Gebäude für öffentliche Zwecke	58	Ja	
Ausragende Geschosse	37	Nein	Überlappendes Bauteil
Tiefgarage	26	Nein	Begrünungspotential technisch als auch bauleitplanerisch prinzipiell vorhanden; dennoch Ausschluss wegen Verzerrung des Dachflächenwerts
Heilanstalt, Pflegeanstalt, Pflegestation	21	Ja	
Kirche	21	Nein	Denkmalschutz
Loggia	15	Nein	Bauteil i.d.R. ohne Dach
Krankenhaus	13	Ja	
Kloster	11	Nein	Denkmalschutz
Umformer	11	Nein	Keine Begrünung vorgesehen
Arkade	9	Nein	Überlappendes Bauteil oder keine Dachfläche
Kapelle	9	Nein	Denkmalschutz
Kinderkrippe, Kindergarten, Kindertagesstätte	7	Ja	
Parkhaus	7	Nein	Dach meist für andere Nutzung vorbehalten
Rathaus	5	Ja	
Gedenkstätte, Denkmal, Denkstein, Standbild	3	Nein	Keine Begrünung vorgesehen
Schloss	3	Nein	Denkmalschutz
Feuerwehr	2	Ja	
Turm im Gebäude	2	Nein	Überlappendes Bauteil
Bahnhofsgebäude	1	Ja	
Bezirksregierung	1	Ja	
Polizei	1	Ja	
Wintergarten	1	Nein	Kein Dach
Kategorien insgesamt: 30	n = 6.899	n (Ja) = 5.655	

Zudem wurde vor der eigentlichen Potentialanalyse der Datensatz der Hausumringe um flächenmäßig zu kleinen Features bereinigt (**Flächenfilter**). Laut Auskunft des BuGG wird der kostentechnische Herstellungsaufwand einer Dachbegrünung, bezogen auf die Quadratmeterkosten, höher je kleiner das Dach ist (vgl. MANN 2019, Anlage 14). Zu viele kleine Dächer würden die in Kapitel 7 erfolgende kostenspezifische Hochrechnung verzerren, bzw. würden diese Dächer nicht zum verwendeten, auf den Quadratmeter bezogenen Richtwert eines standardmäßigen Daches passen. GRUNDWALD et al. (2017: 55) empfiehlt eine minimale Dach-, bzw. Umringfläche von 10 m². Der Ausschluss von kleinen Elementen optimiert zudem das Ergebnis einer Gebäudestatistik, in welcher die Features idealerweise nur Gebäude im engeren Sinne repräsentieren - also solche, die von Menschen betreten und genutzt werden können (Art. 2 Abs. 2 BayBO). Auf der anderen Seite muss dem Umstand Rechnung getragen werden, dass es sich bei vielen der relativ kleinen Flächen um Überdachungen, Nebengebäude oder Garagen handelt, welche favorisierte Ziele einer nachträglichen Dachbegrünung sein können. So wurde nach einer manuellen Überprüfung von Garagenflächen eine für das Untersuchungsgebiet geeignete Mindestgröße von 14 m² für den Datensatz der Hausumringe festgelegt. Dieser Flächenwert entspricht dem Schwellenwert des unteren Dezils (16,75 m²), also der 565 kleinsten Features im Datensatz.

Nach der flächenbezogenen Abfrage und Filterung von 403 Features blieben für die Potentialanalyse 5.253 Untersuchungseinheiten übrig. Im Mittel weisen die übrigen Polygone eine Fläche von $M = 217,35 \text{ m}^2$ bei einer hohen Standardabweichung von $s = 436,36 \text{ m}^2$ auf. Die insgesamt zu untersuchende Fläche beträgt 1,14 km², was circa 28 % der Fläche des gesamten Untersuchungsgebiets entspricht.

LiDAR-All.las

Die Punktwolkendaten dienen der eigentlichen Berechnung der für eine nachträgliche Dachbegrünung relevanten Parameter, denn die Daten enthalten die für die zur Approximation der Dachneigungen nötigen Höheninformationen. Sie basieren auf der Methode des Light Detection And Ranging (LiDAR), bzw. Laserscannings. Wie RaDAR (Radio Detection And Ranging), gehört sie zu den aktiven Systemen der fernerkundlichen Messung (vgl. LARGE/HERITAGE 2009: 3 f.). Aktive Messsysteme senden eigene Strahlung – in diesem Fall Laserstrahlen – aus und verzeichnen die von der Oberfläche rückgestreuten Signale mit einem Sensor. Die Punktdaten des flugzeuggestützten Laserscannings lassen sich in geometrisch hoch aufgelöste und für den urbanen Bereich geeignete Digitale Oberflächenmodelle

(DOM) umwandeln. Dies erlaubt eine Darstellung der Geländetopographie mit den darauf befindlichen gebäudeumriss-scharfen Bebauungsstrukturen. Die zweidimensionale Ebene der Hausumringe wird somit durch eine Höhendimension erweitert. Beim Abtasten der Geländeoberfläche durch den Laserscanner des LDBV werden 400.000 Laserimpulse (Pulses) pro Sekunde ausgesendet (vgl. LDBV 2018b). Die wieder gemessenen Reflektionen von Laser-Messpunkten und mit Navigationssystemen ständig gemessene Position des Flugzeugs im Raum geben Auskunft über die Höhenunterschiede benachbarter Punkte im Gelände (Punktwolken). Zurückkehrende Pulses (Returns) können von unterschiedlichen Objekten der Oberfläche reflektiert worden sein, wobei das Zeitdifferential zwischen Aussenden und erneuter Messung des Pulses mit zunehmender Höhe des reflektierenden Objektes zunimmt. Bei mehreren Rückgaben desselben Pulses unterscheidet man die erste (First Pulse) von der letzten Reflektion (Last Pulse). So können beispielsweise Bäume oder auch Hausdächer ein solches mehrmaliges Signal reflektieren, wobei der First-Pulse vom Baumwipfel, bzw. Dachfirst, und der Last Pulse vom Boden abgestrahlt werden kann. Durch geeignete Filtermethoden werden die gemessenen Punktwolken in Punktklassen wie Boden, Vegetation oder Gebäude eingeteilt.

Aus den entstandenen Höhenkoordinaten können dreidimensionale Oberflächenparameter wie die zwischen mehreren Punkten beschriebene Neigung, errechnet werden. Dafür müssen die Punktwolkendaten zuvor in eine Raster-Oberfläche umgewandelt werden. Somit können im Rahmen dieser Analyse die Mittelwerte oder andere statistische Lageparameter für die Höhendifferenziale aller Messpunkte innerhalb einzelner Hausumringe errechnet und daraus die (z.B. mittlere) Dachneigung je Gebäude abgeleitet werden.

Die für diese Analyse verwendeten LiDAR-Daten entstammen dem Airborne Laserscanning (ALS), des flugzeuggestützten Laserscannings, welches in Bayern seit 1996 angewandt wird und dessen Daten mittlerweile flächendeckend für Bayern vorhanden sind (vgl. LDBV 2018b). Die Aktualisierung der Laserdaten erfolgt in unregelmäßigen Abständen durch Neubefliegungen. Die in dieser Analyse verwendeten Daten entstammen dem Befliegungszeitraum März bis April 2011, womit es sich um den ungleich ältesten Datensatz im Projekt handelt (vgl. STMF 2019). Bezogen wurden die LiDAR-Daten im LAS-Format, einem Binärformat zum Austausch großer LiDAR-Datenmengen und zur in ArcGIS vereinfachten Verarbeitung (vgl. ESRI 2016a). Die elf einzelnen LAS-Dateien enthalten Metadaten der LiDAR-Vermessung und für jeden erfassten Laserpuls diverse Punktattribute, unter anderem

die zur Erstellung des dreidimensionalen Höhenmodells nötigen X-, Y-, Z-Positionsinformationen, die Anzahl der Rückgaben und Punktklassifizierungswerte. Die Punktdichte, welche bei Punktwolkendaten ein Maß für die geometrische Auflösung darstellt, beträgt nach Angaben des LDBV seit dem Jahr 2011 mindestens vier Punkte pro beflogenen m² (vgl. LDBV 2018b). Die Genauigkeit der Lage der bezogenen Daten beträgt circa 0,5 m, in der Höhe beträgt sie circa 0,1 m. Damit weist es eine bessere Genauigkeit auf als das für diese Zwecke alternativ einsetzbare LDBV-Produkt *Digitales Oberflächenmodell* (DOM), welches aus Korrelation orientierter Luftbilder erzeugt wird.

Die Prüfung der Lage- und Höhengenaugigkeit erfolgt durch das LDBV. Bezüglich der Lage werden dabei die als Gebäude klassifizierten Laserpunkte mit den ALKIS-Gebäudeumrissen verglichen. Es kann anhand des vorliegenden Datensatzes bestätigt werden, dass sowohl die Lage als auch die Klassifizierung der LiDAR-Punkte mit der Lage der Hausumringe in hohem Maße übereinstimmen (vgl. Abb. 16). Die Punktdaten wurden vom Vermessungsamt bereits klassifiziert, wobei für diese Analyse die Gebäudeklasse die relevante Datengrundlage darstellte (entspricht hier Punktklasse 6). Dabei wurden Last-Pulse-Laserpunkte, die innerhalb eines in der Flurkarte vorhandenen Gebäudeumrisses liegen, als ein solcher Gebäudepunkt klassifiziert. Im Rahmen der LiDAR-Punktdaten dieses Projekts wurden der Gebäudeklasse (6) knapp 30 %, der Bodenklasse circa 40 % und knapp über 30 % einer Restklasse zugewiesen. Das LDBV erzeugt aus den LiDAR-Daten zudem kosten- und rechenaufwändigere 3D-Gebäudemodelle, welche in unterschiedlichen Detailstufen gebäudeweise bezogen werden können, sich für den Rahmen dieser Analyse aber nur bedingt eignen. Abbildung 16 zeigt die LAS-Daten im linken Ausschnitt in der Punktdarstellung visualisiert, in welcher niedriger verortete Punkte, d.h. später gemessene Returns, in Blau (teils bebaute Innenhöfe) und höher liegende Punkte, also zeitiger gemessene Returns, in Rot (Turmspitzen) koloriert sind (vgl. Abb. 16, vgl. Abb. 14). Der rechte Ausschnitt zeigt die Darstellung des Höhenniveau-Parameters *Elevation*, der über TIN (Triangulated Irregular Networks) generiert wird. Es fällt zudem auf, dass der Aufnahmewinkel der LiDAR-Daten nicht dem der seitlich aufgenommenen Orthophotos entspricht. Im Gegensatz zum DOP „kippen“ die LiDAR-Daten somit nicht aus den Hausumringen. Auch bei sehr hohen Gebäuden verhalten sich die Höhendaten lagegetreu gegenüber den Gebäudepolygonen, was essentiell für die Berechnung der Dachneigung über das Flächenintegral der Hausumringe ist.



Abbildung 16: Blick auf die Altstadt mit DOP und LiDAR-Daten in Punkt- und TIN-Darstellung.
Quelle: Eigene Darstellung. Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung.

Im folgenden Unterkapitel wird der Arbeitsablauf der GIS-Analyse zur Messung des Potentials für nachträgliche Dachbegrünung aufgezeigt. Dabei werden die einzelnen Schritte des modellhaft beschriebenen Workflows anhand von Text und Grafiken erläutert und begründet. Ein in Klammern stehender Pfeil „→“ weist auf die in ArcGIS verwendeten Befehle hin. Nur der erste sowie der letzte Ort innerhalb der Pfadstruktur der ArcToolbox werden genannt.

5.3 GIS-Workflow

Vorbereitung der Projektstruktur

Das räumliche Bezugssystem des GIS-Projekts wurde mit der Wahl eines UTM-Koordinatensystems und der für die Region Würzburg einschlägigen Zone eingestellt und damit dem Raumbezug der erhaltenen Geodaten angepasst (*ETRS_1989_UTM_Zone_32N*). Die Geodatabase *Dachbegr_Wuerzburg.gdb* wurde im Projektordner *Thesis_Paetzold_GIS_Projekt* als Standardziel zur Speicherung solcher Feature-Classes eingerichtet, welche für die Präsentation von Ergebnissen relevant sind. Dazu gehören Rasterdatensets zur Visualisierung

sowie Vektordaten, welche der räumlichen Zuordnung von Sachattributen wie der Dachneigung dienen. Die Feature-Class der Hausumringe besitzt den Geometriety *Polygon*, wobei die einzelnen 5.253 Features die zu untersuchenden Dachflächen darstellen. In einer Feature-Class werden geographische Features eines bestimmten Geometriety mit ihren Attributen und ihrer Fläche in einem Datensatz gespeichert (vgl. ORMSBY 2010: 368). Im Programm ArcGIS werden diese Datensätze, bei welchen es sich neben Vektordaten auch um Rasterdatensätze handeln kann, in einer Geodatabase (Gdb) gespeichert, einem physischen Speicher und zugleich Verwaltungssystem für geographische Informationen.

Vorbereitung der Geodaten

Die bezogenen Rasterbilder (Dateiendung .tif) der DFK und des DOP20 mussten, um sie in die Geodatabase integrieren zu können und um sie effizienter bearbeiten zu können, in Rasterdatensätze umgewandelt werden (→ Data Management Tools → Create Raster Dataset). Als Zellengröße des Rasterdatensatzes wurde für das Orthophoto mit einer Bodenpixelgröße von 0,2 m die ursprüngliche geometrische Auflösung beibehalten. Nach der Konvertierung der jeweils 26 Dateien konnten diese zu je einem Raster-Mosaic zusammengefügt werden (→ Data Management Tools → Mosaic). Nach dem Umwandeln der KML-Datei des Untersuchungsgebiets in eine Feature-Class (→ Conversion Tools → KML To Layer; → Export *Untersuchungsgebiet* to Gdb), wurden die Raster-Mosaics auf die Grenzen des Untersuchungsgebietes zugeschnitten (→ Spatial Analyst Tools → Extract by Mask; → Export *UGebiet_DOP20_RGB* und *UGebiet_ALKIS_DFK* to Gdb).

Die Shape-Datei der Hausumringe lag schon entsprechend zugeschnitten vor. An dieser Stelle wurden die im letzten Kapitel beschriebenen und begründeten Anpassungen des Datensatzes mittels zwei Attributabfragen angepasst (vgl. Abb. 17). Eine automatische Kalkulation der Fläche und des Umfangs der einzelnen Gebäudepolygone ermöglichte eine flächenbezogene Selektion ausreichend großer Features (→ Calculate Geometry; → Select Attribute).

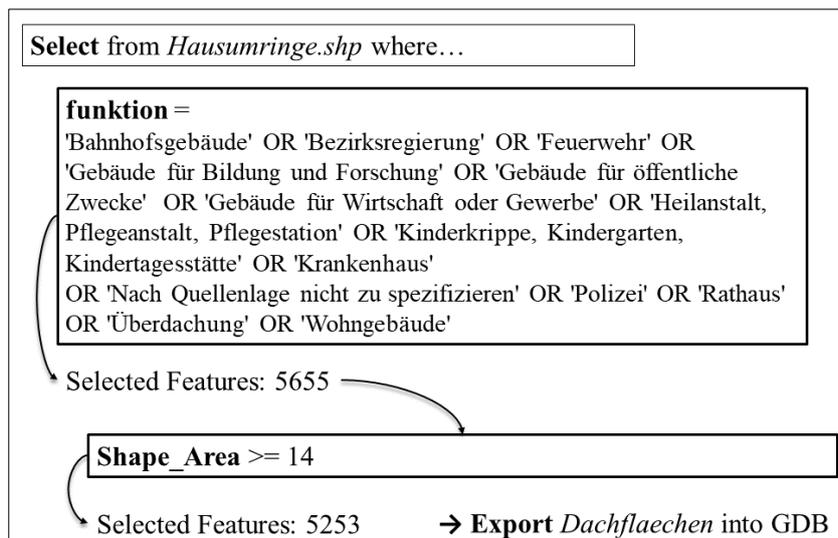


Abbildung 17: Sach- und flächenbezogene Abfrage im Datensatz der Hausumringe.
 Quelle: Eigene Darstellung.

Um die LiDAR-Punktdateien darzustellen und für die Neigungsanalyse weiterzuverarbeiten, musste zunächst aus den elf LAS-Dateien ein LAS-Dataset (Dateiendung .lasd) erstellt werden (→ Data Management Tools → Create LAS Dataset). Ein LAS-Dataset verweist auf eine oder mehrere LAS-Dateien und gibt – ähnlich der Erstellung des Raster-Mosaics – die einzelnen Punktdateien zusammenhängend in einer Datei wieder (vgl. ESRI 2019). Dabei wird auch die Klassifikation der Punktwolkendaten übernommen. Optional kann für diese auch eine Geometriedatei als Oberflächeneinschränkung definiert werden. Da die Analyse der Dachneigung in diesem Fall eine räumliche Verschneidung der zweidimensionalen Dachflächen mit den dreidimensionalen Punktwolkendaten erforderte, wurde als Oberflächeneinschränkung der Dachflächen-Layer in die Konvertierung einbezogen. Als Oberflächen-Feature-Typ, welcher den Umgang mit Höhenwerten an den Bruchkanten der Geometriedatei regelt, wurde die Einstellung *Softclip* vorgenommen, um durch mögliche Dachrandabschlüsse und Extremwerte die mittlere Neigung eines Daches nicht zu verzerren. Im Verlauf der weiteren Operationen mit dem LAS-Dataset entsprach dessen zweidimensionale Ausdehnung und Geometrie also jener der Gebäudeumringe. Dies ermöglichte es, dass nur solche Höhendaten in die Analysen einbezogen wurden, die innerhalb der Umringe verortet waren. Außerdem konnten dank der bereits im letzten Kapitel erläuterten Punktwolkenklassifikation seitens des LDBV die Punkte herausgefiltert werden, bei denen es sich nicht um Gebäude, sondern beispielsweise um eine über den Dachrand hineinragende Vegetation handelte. Der Fehler des Unterschätzens der Potentialfläche für Dachbegrünung durch Überwuchs von Bäumen über ein Haus- oder Garagendach darf als sehr gering eingeschätzt

werden. Die ausschließliche Nutzung der Gebäudeklasse (6) und der Oberflächeneinschränkung der Hausumringe konnten diesen Fehler verringern. 8

Erstellen der Oberflächenmorphologie

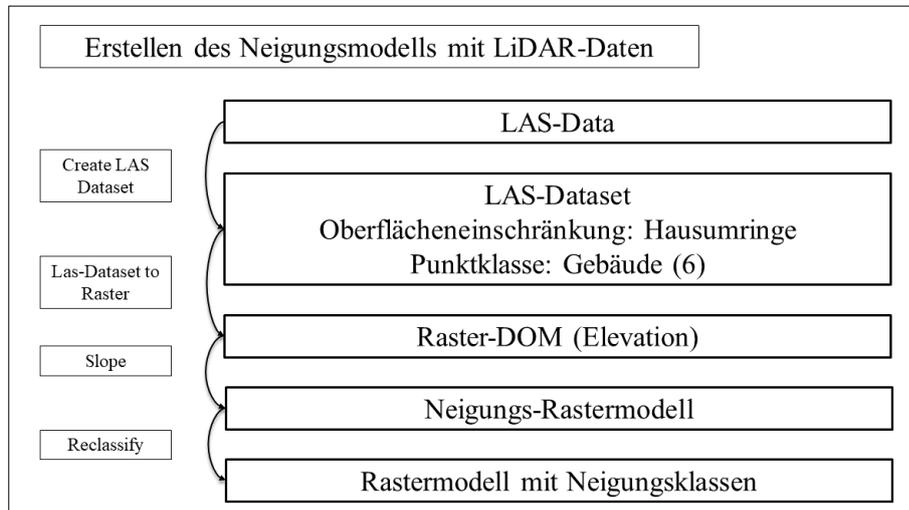


Abbildung 18: Verarbeitung der LAS-Dateien zu einer Rasterdatei mit Dachneigungswerten.
Quelle: Eigene Darstellung.

Auf Basis des LAS-Dataset wurde ein Oberflächenmodell (DOM) des Untersuchungsgebietes erstellt (vgl. Abb. 18) (\rightarrow Conversion-Tools \rightarrow LAS-Dataset to Raster). Berechnungsgrundlage für die Zellenwerte der Rasterdatei waren die Höhenwerte (*Elevation*), auf die das LAS-Dataset verweist. Als Interpolationstyp, mit dem die Zellenwerte des Ausgaberrasters bestimmt werden, wurde *Binning* gewählt. Dabei wurde die Zellenzuweisungsmethode *Average* angewandt, welche einer Rasterzelle den durchschnittlichen Wert aus den in ihr befindlichen Punkten zuordnet. Diese Einstellung bewirkt, dass sich kleinflächige Unregelmäßigkeiten in der Oberflächenbeschaffenheit eines Daches (z.B. Schornsteine oder technische Aufbauten) auf den späteren Dachneigungswert geringfügiger auswirken als beispielsweise die Methode *Maximum*, welche sich am maximalen Punktwert orientiert. Entsprechende punktuelle Steigungen oder Senkungen auf einem Dach wären ohnehin von Begrünung freizuhalten, sind für die allgemeine Neigung des Daches nicht repräsentativ und könnten das Begrünungspotential des Daches unterschätzen. Mit derselben Begründung wurde der Z-Faktor, welcher die Höhenwerte auf der Z-Achse entsprechend multipliziert, nicht verändert. Als Lückenfüllmethode für Pixel ohne Höhenwerte wurde mit *Linear* eine lineare Interpolation gewählt, die über leere Flächen hinweg trianguliert und sich die nächstgelegenen Höhenpunkte als Knotenpunkte sucht. Obwohl in einem späteren Schritt die Rasterdatei im Datenformat *Integer* (Ganzzahlenformat) vorliegen musste, wurde an dieser Stelle der

Datentyp *Float* (32-Bit-Gleitkommazahl) vorgezogen, da sonst Rasterzellen mit flacher Neigung stark überrepräsentiert worden wären (Float ergab mittleren Neigungswert von $M_{\text{Neigung}} = 32,73$; Integer ergab $M_{\text{Neigung}} = 19,52$). Mit einer Rasterzellengröße von 0,1 m (10 x 10 cm) wurde die für diese LiDAR-Daten größtmögliche räumliche Auflösung beibehalten. Die innerhalb eines Hausumrings befindlichen Oberflächenpixel ragen – trotz der hohen Rasterauflösung – anteilhaft aus den Polygongrenzen hinaus. Im Gegensatz zu der Generierung eines TIN-Modells können Rasterpixel innerhalb eines Gebäudepolygons sich somit gleichzeitig in einem direkt benachbarten Polygon befinden. Dies kann die Genauigkeit einer zonalen Abfrage, in der auf die pixelbasierten Dachneigungswerte innerhalb einzelner Umringe zugegriffen wird, beeinträchtigen, denn derselbe Pixelwert kann so zwei unterschiedliche Dachflächen zugeordnet sein. Deshalb wurde in einem späteren Schritt ein räumlicher Bereich innerhalb der Hausumringe gewählt, um dessen Fläche die zonale Abfrage minimiert werden sollte (*Puffer*).

Aus dem auf Höhenwerten basierenden DOM konnten schließlich die pixelbasierten Neigungswerte abgeleitet werden (→ Spatial Analyst Tools → Slope) (vgl. Abb. 18). Die in Grad ausgegebenen Neigungswerte wurden daraufhin in die beschriebenen sechs Wertebereiche klassifiziert (→ Spatial Analyst → Reclassify). Grüne Zellenwerte stellen flach nebeneinander liegende Pixel dar, rote Pixel weisen ein größeres Gefälle untereinander auf (vgl. Abb. 19).



Abbildung 19: Ausschnitt der Altstadt mit rasterbasiertem DOM und pixelbasierten Neigungsklassen.
Quelle: Eigene Darstellung. Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung.

Erzeugen der Dachneigungsstatistiken

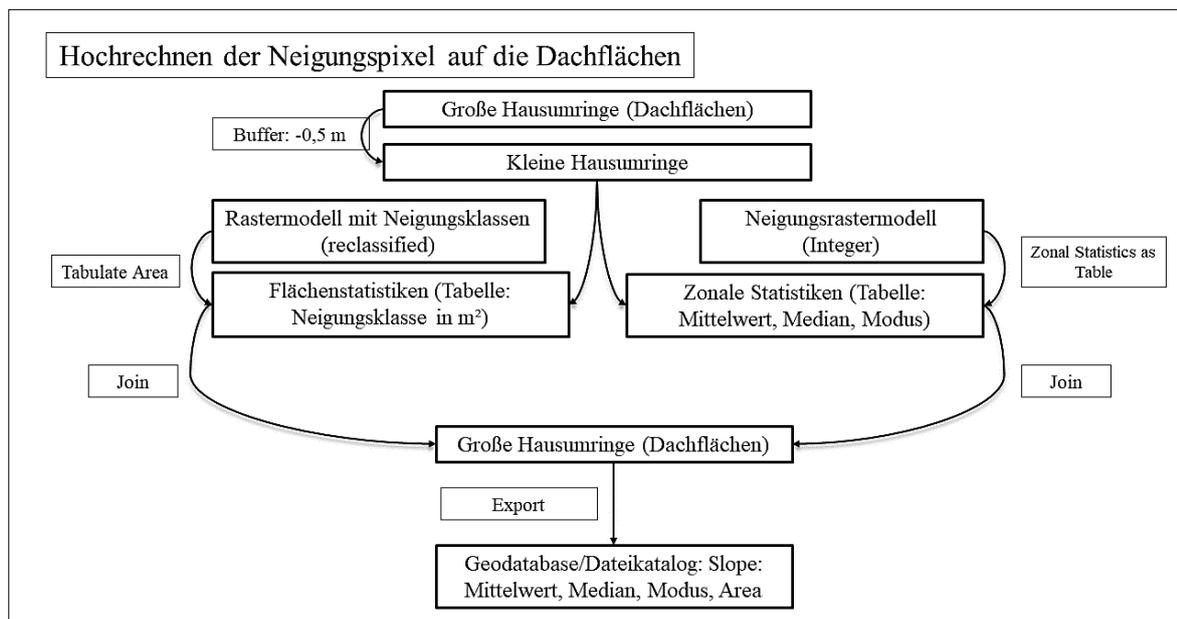


Abbildung 20: Erstellung der statistisch relevanten Parameter für die Neigung innerhalb der Umringe.
Quelle: Eigene Darstellung.

In diesem Schritt der Analyse sollten die pixelbasierten Neigungswerte in Form von Attribute-Dateien ausgegeben und mit der Attributtabelle der Hausumringe bzw. Dachflächenpolygone verbunden werden. Dazu mussten die Pixel räumlich innerhalb der Polygone abgefragt und statistisch aufbereitet werden (*zonale Flächenabfrage*) (vgl. Abb. 20).

Vor dieser Flächenabfrage wurde aus den bereits genannten Gründen des Risikos von Mischpixeln ein Sicherheitsabstand innerhalb der Dachpolygone geschaffen (→ Analysis Tools → Buffer). Die Kanten der Hausumringe wurden mit einer negativen Distanz von -0,5 Metern verrechnet. Da der Wert 0,5 um ein Vielfaches größer ist als die Maße einer Rasterzelle des DOMs (0,1 m), konnte ausgeschlossen werden, dass dieselben Pixelwerte in nebeneinander liegende Polygone integriert wurden. Der gewählte Wert von einem halben Meter orientiert sich dabei gleichzeitig an baustrukturellen Merkmalen. So wurden die ohnehin nicht begrünbaren Attiken an den Rändern von Flachdächern in einer Messungsstichprobe auf Basis des Orthophotos mit einer ähnlichen Wertespanne (ca. 0,3 - 0,7 m) gemessen. Gleichzeitig kann durch den pauschalen Abzug eines Flächenanteils je Dachpolygon von einem nachträglich abgezogenen Anteil der Potentialfläche je Dach abgesehen werden. Dieser wäre nötig gewesen, um die tatsächlich begrünbare Dachfläche zu approximieren. So sind in der Regel selbst auf optimal begrünbaren Flachdächern viele Stellen wie Dachfenster, Entwässerungsleitun-

gen oder notwendige Kiesränder technisch nicht bepflanzt oder von Begrünung freizuhalten (vgl. FLL 2018). Der durch die negative Pufferung flächenmäßig verringerte Datensatz wurde als geometrische Referenzdatei für die folgenden Abfragen verwendet.

Um auf Basis der Rasterdatei mit den (unklassifizierten) Neigungswerten alle statistischen Parameter wie auch Median oder Modus abfragen zu können, musste diese vorerst in das Integer-Format (Ganzzahl) umgewandelt werden (→ Spatial Analyst → Int). Dies wirkte sich hinsichtlich der Detailtiefe an dieser Stelle nur sehr geringfügig aus. Das nicht klassifizierte Neigungsmodell wurde schließlich als Wertebasis in der pixelbasierten zonalen Flächenabfrage verwendet, wobei die einzelnen Hausumring-Polygone die definierten Zonen der Abfrage darstellten (→ Spatial Analyst Tools → Zonal Statistics as Table). Die erstellten statistischen Lage- und Streuparameter wurden in einer Attributtabelle ausgegeben und auf Basis des gemeinsamen Attributs der *gml_id* der Attributtabelle der ursprünglichen, nicht gepufferten Dachflächendatei hinzugefügt (→ Join). Die relevantesten Parameter *Dachneigung_Mittelwert*, *Dachneigung_Median* und *Dachneigung_Modus* wurden jeweils symbolisiert und als Layerdatei mit reklassifizierten Dachneigungswerten abgespeichert. Diese Datenbasis erlaubt erste Potentialabfragen auf Basis von beispielsweise durchschnittlichen Neigungswerten, die sich nicht mehr nur auf einzelne Pixel beziehen, sondern auf die jeweiligen Hausumringe bzw. Dachflächen.

Darüber hinaus ist es wichtig zu wissen, für welche Flächenanteile eines Daches entsprechendes Potential ausgewiesen wird. Über weite Flächen heterogene Dachstrukturen können zwar in einem geringen Neigungsmittelwert und somit einem abgeleiteten hohem Begrünungspotential resultieren. Dieser statistische Wert verzerrt jedoch die Realität. Um dem Anspruch einer Abfrage gerecht zu werden, welche nicht nur einen allgemeinen Potentialwert, sondern die zudem die für eine Dachbegrünung geeigneten Flächenanteile eines Daches quantifiziert, musste auf das reklassifizierte Neigungsmodell zurückgegriffen werden. Die Rasterdatei, welche die in sechs Neigungsbereiche klassifizierten Rasterzellen enthält, wurde deshalb für eine pixelbezogene Abfrage verwendet (→ Spatial Analyst Tools → Tabulate Area). Als Oberflächenbeschränkung wurden erneut die gepufferten, kleineren Hausumringe verwendet. In der Abfrage wurden alle Zellen einzelner Dachneigungsklassen kumuliert und als Flächenwert (Neigungspixelfläche in m²) in einer Attributtabelle ausgegeben. Die Zuordnung der Werte zu den jeweiligen Features blieb dabei bestehen. Die Attributtabelle konnte somit über das gemeinsame Merkmal *gml_id* der Attributtabelle der Dachflächen hinzugefügt werden (→ Join).

Der Datensatz der Hausumringe wurde mit allen aus der Analyse abzuleitenden Attributen erfolgreich erweitert: Dachfläche, Dachneigung Mittelwert, Dachneigung Median, Dachneigung Modus und Neigungspixelfäche. Er wurde als *Dachflaechen_Dachneigung_Statistics* in die Geodatabase exportiert und war Grundlage für die in den folgenden Kapiteln erläuterten Potentialabfragen.

6. Nachträgliche Dachbegrünung: Ergebnisse der Potentialanalyse

In den folgenden beiden Kapiteln soll zunächst auf die Methodik der GIS-Analyse eingegangen werden. Es werden dabei die Schritte beleuchtet, die Potential für Fehler bergen. Um die Ergebnisse im Anschluss an den zuvor beschriebenen Workflow zu optimieren, wurden teils Anpassungen vorgenommen. Alternativ werden Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt, die im Rahmen dieser Analyse nicht durchführbar waren. Anschließend werden die statistisch und visuell aufbereiteten Ergebnisse der Analyse offenbart. Hierbei werden entsprechend des Modells potentiell begrünbare Flächen quantifiziert und Räume mit besonderem Potential ausgewiesen. Die Aufbereitung konzentriert sich dabei zunächst auf statistische Parameter zur Einschätzung des Flächenpotentials für nachträgliche Dachbegrünung im Untersuchungsgebiet. Städteplanerische Belange werden dabei außer Acht gelassen. Dies ermöglicht Vergleiche mit dem in anderen Untersuchungen ausgewiesenen Dachbegrünungspotential.

6.1 Ergebniseinschätzung

Einschätzung der Approximation von Dachflächen mittels der Datei Hausumringe.shp

Ein Ziel der Arbeit war es, mittels der Shape-Datei der Hausumringe die zugehörigen Dachflächen zu approximieren. Dazu wurden zwei attributive Abfragen vorgenommen, die sich durch einfache Regeln gut automatisieren lassen:

1. Löschen aller Untersuchungseinheiten, die nicht der Gebäudenutzungsbezeichnung *Gebäude* entsprechen, außer der Funktionskategorie der *Überdachungen*
2. Löschen aller Untersuchungseinheiten, die eine geringere Fläche als 14 m² aufweisen

Da die Erstellung der Hausumringe amtlich koordiniert wurde und eine genauere manuelle Selektion von Einheiten im Datensatz im Rahmen dieser Arbeit nicht stattfinden sollte, muss auf eine unbestimmte Fehlerquote bei der Ausweisung der 5.253 Dachflächen hingewiesen werden. Mögliches Fehlerpotential im Datensatz bergen die folgenden Dimensionen:

1. Klassifikation hinsichtlich der Funktionsbezeichnungen:

Knapp 1.500 Features des gefilterten, übrig gebliebenen Datensatzes sind einer Restklasse zugeordnet, deren Funktionen nach Quellenlage von amtlicher Stelle nicht auszumachen sind. Bei den meisten dieser Fälle handelt es sich eigentlich um (Teile von) Wohnhäuser und Gewerbegebäude, die Gegenstand dieser Analyse sind, aber nicht spezifisch nach Gebäudefunktion abfragbar sind. Noch vor der Restklasse und der Funktionsklasse der *Wohngebäude* stellt die Funktionsklasse der *Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe* die größte dar. Sie bietet einen entsprechend großen Flächenpool aus relevanten Anlagen (Nebengebäude, Garagen, Überdachungen) aber ebenso ein gewisses Potential für Einheiten, die nicht Gegenstand einer Analyse von Dachflächen sind (Innenhöfe, Durchfahrten, Parkhäuser). Dem Umstand einer fehlerhaften Klassifikation soll jedoch keine zu große Bedeutung beigemessen werden. Großflächige Einheiten, für welche ein höheres Begrünungspotential ausgewiesen wird, die aber aus praktischer Sicht nicht zu begrünen sind, kommen selten vor (vgl. Abb. 21 links). Entsprechende kleine Einheiten, wie Teile von Dächern, werden in der Regel nicht als potentiell begrünbar ausgewiesen (vgl. Abb. 21 rechts; schwarze Punkte: Datenschutz).



Abbildung 21: Fehlerquelle Umringklassifikation.
Quelle: Eigene Darstellung. Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung.

2. Größe der Hausumringe:

Gerade bei Nichtwohngebäuden kann es vorkommen, dass ein Feature mit besonders großem Gebäudeumriss einzelne Dachabschnitte räumlich in sich integriert (vgl. Abb. 22, blau markierte Gebäudeeinheit, die mehrere einander unterscheidende Dachteile umfasst). Dies ist häufig bei Forschungseinrichtungen oder Wirtschaftsgebäuden der Fall, wenn diese ebenerdig miteinander verbunden sind. Seltener kommen auch Einschlüsse von in Gebäudeumringen umschlossenen Innenhöfen vor. Tatsächlich wird das ausgewiesene Flächenpotential in solchen Fällen aber regelmäßig unterschätzt. Aneinander angrenzende und eigentlich fla-

che Dachabschnitte erhalten wegen ihrer unterschiedlichen Höhenniveaus zueinander insgesamt einen höheren mittleren Neigungswert, wenn sie innerhalb desselben Umrings liegen. Dabei kann der Lageparameter *Modus* diese linearen Höhendifferenzen zwischen den flachen Dächern eher kompensieren als der Mittelwert oder der Median. Da der Modus den häufigsten und in solchen Fällen eher geringen Neigungswert einer Dacheinheit darstellt, gibt er ein höheres Begrünungspotential aus. Zudem kann eine pixelbasierte Flächenabfrage als Filter für große und in sich heterogene Hausumringe dienen. Auch in der Methode von GRUNWALD et al. werden Dächer, die für weniger als 75 % ihrer Fläche eine Dachneigung von bis zu 5° aufweisen, als nur bedingt angemessen kategorisiert (vgl. GRUNWALD et al. 2017: 55).



Abbildung 22: Vergleich der Potentialausweisung mit den Lageparametern Median und Modus.
Quelle: Eigene Darstellung. Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung.

3. Unübertragbarkeit der Hausumringe auf Gebäudezahl und Dachflächen:

Hinsichtlich der Qualität der Hausumringe kann konstatiert werden, dass diese in ihren zugeschriebenen Funktionen und ihren Maßen zwar nicht in jedem Fall auf konkrete Dachflächen übertragbar sind. Dennoch kann von manuellen Anpassungen des Datensatzes abgesehen werden, da die Fehler allein durch geeignete Attributabfragen minimiert werden können. Für den Zweck statistischer Flächenvergleiche mit anderen Städten oder für eine realistischere Kalkulation möglicher Förderkosten kann die Gebäudeanzahl approximiert werden. Dazu werden alle diejenigen Features selektiert, die in der Attributtabelle mit einem Adresszusatz versehen sind (Hauptgebäude). Dabei handelt es sich mit 2.935 Einheiten um etwas mehr als die Hälfte aller Umringe. Die Zahl der tatsächlich begrünbaren Gebäude bzw. Dächer wird dadurch jedoch unterschätzt (z.B. Nebengebäude oder Wirtschaftsgebäude). Möglich für diesen Zweck sind ebenso Abfragen von Einheiten mit einer erhöhten Mindestfläche.

Qualitative Einschätzung der Klassifikationsgüte der LiDAR-Daten

Auch die Punktwolkendaten, maßgeblich entscheidend für die Modellierung des Oberflächenmodells und für die Ableitung der Dachneigungen, bergen Fehlerpotential in folgender Hinsicht: (Auf die räumliche Übereinstimmung mit den Hausumringen wurde bereits im letzten Kapitel ausreichend eingegangen – die LiDAR-Daten decken sich mit dem ALKIS und deshalb mit der Geometrie der Hausumringe)

1. Genauigkeit der Punktwolken-Klassifizierung:

Hinsichtlich der Dachmodellierungen gilt es zu beachten, dass sich keine LiDAR-Punkte störend auswirken, die nicht zum Dach gehören, beispielsweise Vegetation. Auch nach Einstellen der Oberflächenbeschränkung kann ein über den Dachrand hineinragender Teil eines Baumes zu Verzerrungen im dreidimensionalen Dachmodell führen. Dies würde die Heterogenität der Oberfläche erhöhen und zu einer Überschätzung der Dachneigung führen. Durch die bereits erwähnte Punktwolken-Klassifikation seitens des LDBV kann zwischen den Klassen Gebäude und Vegetation unterschieden werden. Dabei werden Last>Returns, die innerhalb eines in der Flurkarte vorhandenen Gebäudeumrisses liegen, als ein Gebäudepunkt klassifiziert (vgl. LDBV 2018b). Der statistische Fehler kann zwar nicht gänzlich verhindert werden. Gerade bei der Ableitung der Neigungswerte fällt er ins Gewicht (vgl. Abb. 23). Dennoch ist das Risiko des Unterschätzens der Potentialfläche durch Überwuchs von Bäumen über niedrige Gebäude als sehr gering einzuschätzen, weil dieser Fall in der vegetationsarmen Innenstadt selten vorkommt. Zudem kann der Fehler durch ausschließliche Verwendung der Gebäudeklasse minimiert werden (vgl. Abb. 23 und Abb. 24). Außerdem kann argumentiert werden, dass gerade für die intensive Dachbegrünung – auch wenn nicht Fokus dieser Arbeit – an einem durch bestehende Vegetation verschatteten Standort nur bedingt geeignete Voraussetzungen vorherrschen.

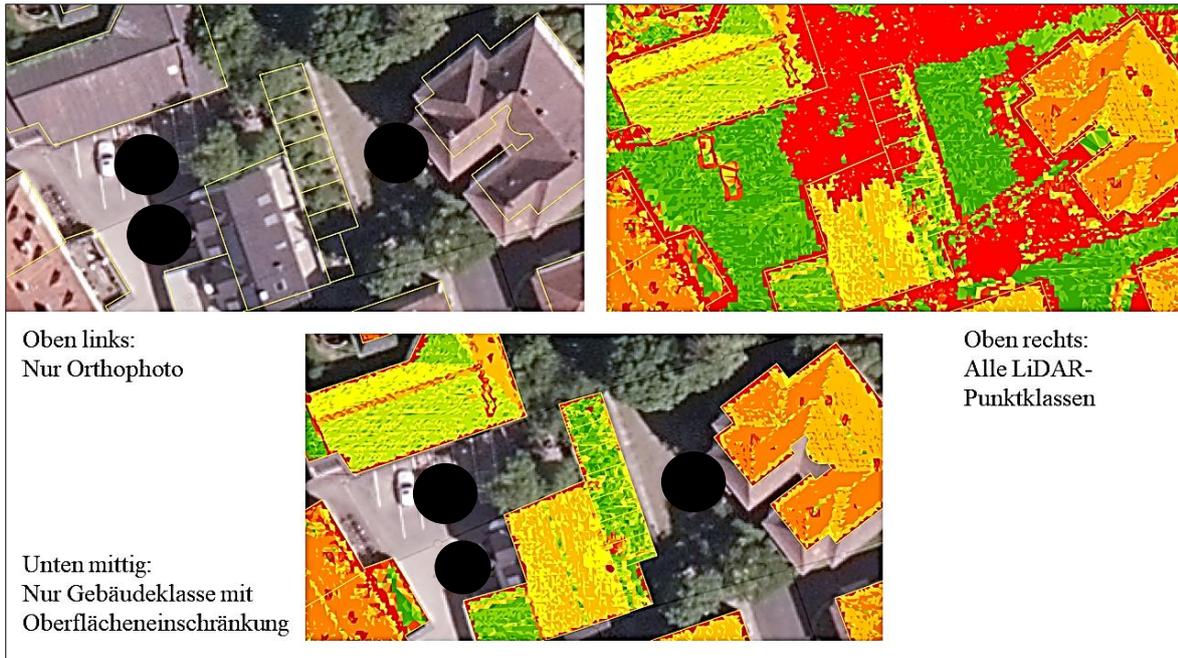


Abbildung 23: Klassifikationsgüte mit Darstellungsart "Slope".
Quelle: Eigene Darstellung. Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung.

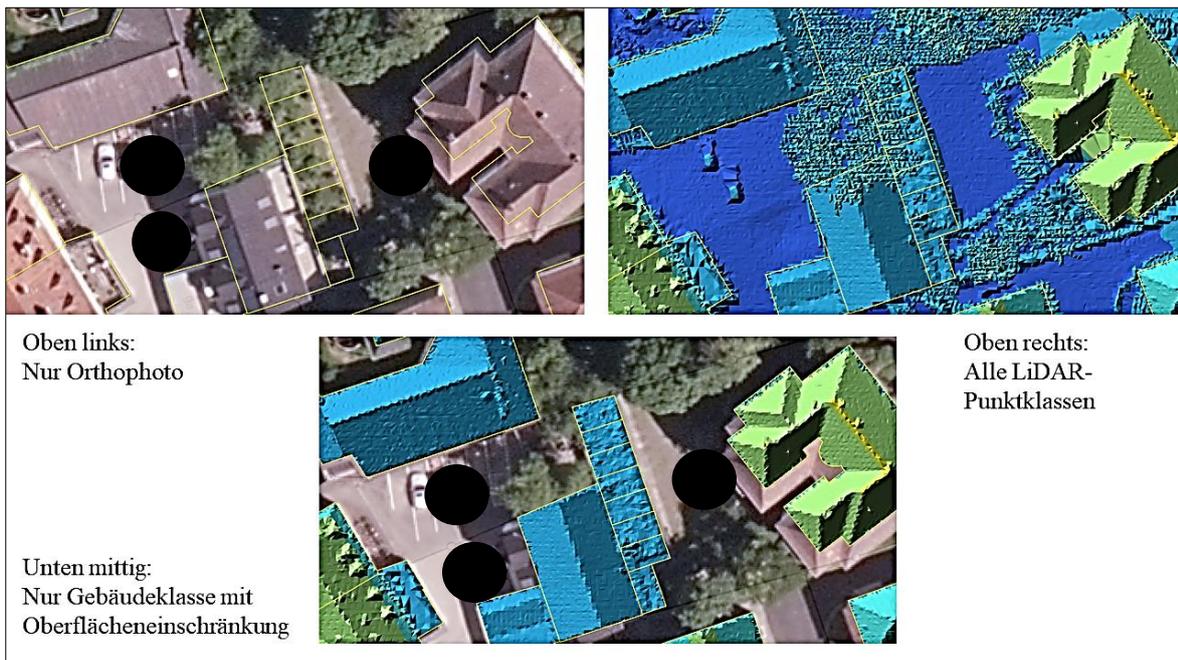


Abbildung 24: Klassifikationsgüte mit Darstellungsart "Elevation".
Quelle: Eigene Darstellung. Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung.

2. Zeitliche Übereinstimmung mit den Hausumringen:

Die verwendeten LiDAR-Daten entstammen dem Befliegungsjahr 2011 (vgl. STMF 2019). Damit handelt es sich um das mit Abstand ältesten Datenprodukt in diesem Projekt. Da aufgrund des Baugeschehens die städtische Struktur in stetigem Wandel ist, kann keinem der Datensätze eine absolute Aktualität unterstellt werden. Problematischer ist die zeitliche

Asynchronität zwischen den Höhendaten und den Hausumringen. Zum Zeitpunkt der Aufnahme oder der Klassifikation der Punktdaten können einerseits bauliche Anlagen bestanden haben, die bereits abgerissen, umgebaut oder gegebenenfalls wieder neu erbaut worden sein. Andererseits besteht Fehlerpotential durch Messung von flachem, noch unbebautem Baugrund, der aber in den Hausumringen als Gebäude ausgewiesen ist und zeitlich nach der Airborne Laserscanning-Befliegung bebaut wurde. So wurden für einen nach 2011 erbauten Bürogebäudekomplex entlang der Schweinfurter Straße sehr geringe Neigungen ausgegeben, weil im Zuge des Laserscannings der flache Baugrund gemessen wurde. Dessen geringe Neigungswerte wurden im Projekt fälschlicherweise den Hausumringen der später entstandenen Bürogebäude zugewiesen. Zwar kommt dieser Fall im Untersuchungsgebiet sehr selten vor, betroffene Hausumringe sind jedoch relativ großflächig. Dem kann entgegengesetzt werden, dass die neu erbauten Gebäude ohnehin überwiegend Flachdächer aufweisen, die auch teils begrünt sind und somit kein weiteres Begrünungspotential ausgewiesen bekommen. Im Datensatz lässt sich jedoch kein Bebauungsdatum abfragen, das eine Filterung neuer Gebäude ermöglichen würde.

6.2 Methodenkritik

Optimierungspotential der Datensätze

Nach Abwägung des möglichen Fehlerpotentials der Hausumringe und der LiDAR-Daten wurde auf diverse Schritte zur Optimierung des Datensatzes und der Ergebnisse verzichtet. In diesem Rahmen wäre der Einsatz eines Höhenfilters geeignet gewesen. In ArcGIS können über das in der Toolbox *3D Analyst* befindliche Toolset *Oberflächenfunktionen* einer Geometriedatei Höheninformationen hinzugefügt werden. Dem Hausumringe-Shape würden die Z-Werte des LAS-Datasets attribuiert werden. Dieser Schritt wäre in den Workflow der hiesigen Analyse zu integrieren, um über die Hausumringe eine geeignete Mindesthöhe abzufragen, für welche eine Potentialausweisung überhaupt in Frage käme. Zum Zeitpunkt der LiDAR-Messung unbebaute, aber als Gebäude ausgewiesene Flächen (Baugrund oder Gebäudefundament), sowie möglicherweise vereinzelte Umringe eingeschlossene Innenhöfe würden dann ausselektiert. Gleichzeitig erlaubt die Abfrage des Höhenwertes eine Kategorisierung von Gebäuden, die wegen ihrer relativen Höhe aus dem Straßenraum mehr oder weniger herausragen und deren mikroklimatische Wirkung auf den angrenzenden Quartiersraum im Falle einer Begrünung kaum oder stärker spürbar ist. Die Dachbegrünung hoch

exponierter Gebäude bietet nicht den möglichen Temperatenausgleich eines niedrig im Straßenraum stehenden begrünten Schrägdaches. Im Rahmen einer stadtklimatischen Modellierung sind Höhendaten von essentieller Bedeutung.

Es bleibt anzumerken, dass selbst mit zeitlich synchronisierten und hochaktuellen Datensätzen lediglich der Gebäudebestand analysiert werden kann. Künftiger Neubau, welcher die analysierte Baustruktur und die ausgewiesene Begrünbarkeit verändert, wird nicht berücksichtigt. Jedoch liegt die Vermutung nahe, dass das Begrünungspotential auf Basis des baulichen Status quo in Anbetracht der geplanten Bauvorhaben der Innenentwicklung eher unterschätzt wird. Die meisten entsprechender in den letzten Jahren entstandener Bebauungspläne schreiben Flachdächer und Dachbegrünung vor (vgl. Kap. 3). Nach Aussage der Fachabteilung Bauleitplanung wird in allen neueren Bebauungsplänen Dachbegrünung festgesetzt (vgl. GLOY 2019:/, Anlage 8).

Optimierung und Optimierungspotential durch Oberflächenklassifikation

Neben der Flächenabfrage und der Analyse der Dachneigungen stellt die Detektion von Kiesbedeckungen auf Dächern einen zusätzlichen Schritt im Arbeitsablauf einer Potentialanalyse für nachträgliche Dachbegrünung dar (vgl. ANSEL et al. 2015). In der von ANSEL et al. durchgeführten Methode wurde der Potentialfaktor für flach geneigte Dachformen erhöht, wenn diese Dächer zu mindestens 50 % mit Kies bedeckt waren. Gerade unbegrünte Flachdächer besitzen auch im Fall des Würzburger Untersuchungsgebietes häufig eine Kiesbedeckung. Auf Bestandsgebäuden stellt ein solcher Kiesbelag unter dem Aspekt der statischen Lastreserven einen potentiellen Standort für extensive Dachbegrünung dar. Eine standardmäßige Extensivbegrünung entspricht in ihrem Gewicht in etwa der Auflast eines Kiesdaches (ca. 100 kg/m²), weshalb sich nach Entfernung die Kiesschicht ohne Änderung der Gebäudestatik in Grünfläche umwandeln lassen kann (vgl. ANSEL et al. 2015: 26). Wie auch in den beiden anderen beschriebenen Studien, wurde dieser Indikator in der vorliegenden Analyse nicht erfasst. Eine geeignete fernerkundliche Methode zur Identifizierung von Kiesdächern wäre eine Klassifikation spektraler Oberflächensignaturen auf Basis räumlich und spektral möglichst hoch aufgelöster und im Aufnahmewinkel unverzerrter (Nadir-) Orthophotos.

Auch eine Detektion von bestehender Vegetation wäre dabei sinnvoll gewesen. So wurde eine automatisierte Gründach-Inventarisierung ebenfalls von ANSEL et al durchgeführt. Eine Oberflächenklassifikation auf Basis von hyperspektralen Luftbildern im Rahmen dieses

Workflows würde die Ergebnisse wegen des Aspektes der Gebäudestatik verbessern und um bereits begrünte Dachflächen korrigieren.

Das bezogene und hierfür relevante Datenprodukt DOP20 stellte sich für diesen Zweck als unzureichend heraus, weshalb zumindest das Merkmal der Bestandsbegrünung manuell kartiert wurde. So weist das Digitale Orthophoto nicht die Qualität eines True-Orthophotos auf, da die Luftbilder nicht aus der Nadir-Perspektive, sondern von der Seite aufgenommen wurden. Dies hat eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Deckungsungleichheit mit den Geometriedaten, bzw. den digitalen Hausumringen, zur Folge, insbesondere bei hochragenden Gebäuden (vgl. Abb. 25). In Abhängigkeit von Gebäudehöhe und Aufnahmewinkel entsteht der Effekt einer Umklappung, bzw. Verkippung, wobei das aufgenommene Gebäude aus dem zugehörigen, auf die Gebäudebasis bezogenen Hausumring „herauskippt“ (vgl. ANSEL et al. 2015: 24). Dies verhindert ein einwandfreies Verschneiden der Bilddaten mit den Geometriedaten, sowie eine lagetreue Analyse von Oberflächenparametern auf den Dachflächen. Der Fehler bei herkömmlichen Orthophotos und hohen Gebäuden kann laut ANSEL et al. im Extremfall bis zu 15 % betragen. Nach Angabe des LDBV soll ab dem Jahr 2018 durch eine Umstellung der DOP-Produktion die Umklappung ausgeschlossen werden und eine lagerichtige Abbildung von Objekten über dem Gelände ermöglicht werden (vgl. LDBV 2018a). Für die Identifizierung bestehender Dachbegrünung wäre ein entsprechend entzerrtes und hochaufgelöstes Falschfarbeninfrarot-Orthophoto geeignet. Mit Hilfe des Infrarotkanals könnte ein NDVI-Index erstellt werden, der Auskunft über den Bedeckungsgrad der Grünanlage und die Stärke des Vegetationssignals gibt (vgl. Kap. 4). Alternativ wäre ein Zugriff auf Hyperspektraldaten auch über ein ebenfalls vom LDBV bezogenes koloriertes DOM, welches aus Korrelation orientierter Luftbilder berechnet wird, möglich gewesen (vgl. LDBV 2018b). Datengrundlage für die Berechnung des DOM40 sind die Luftbilder der Bayernbefliegung mit einer Bodenpixelgröße von 20 cm. Es besitzt neben Höhenwerten die Eigenschaften eines TrueOP (Orthophoto in Nadir-Aufnahmewinkel). Leider konnte das Produkt in ArcGIS nicht fehlerfrei dargestellt werden und stand für eine Analyse somit nicht zur Verfügung. Hinsichtlich der Lage- und vor allem der Höhengenaugigkeit können die LiDAR-Daten gegenüber dem kolorierten DOM als besser beurteilt werden. Beträgt die Höhengenaugigkeit der Laserpunkte im ebenen, freien Gelände circa 0,1 m, so schwankt die des DOM um einen Wert von 1,5 m.



Abbildung 25: Der Effekt der Verkippung bei Aufnahmen aus dem Off-Nadir.
 Quelle: Eigene Darstellung. Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung.

Der automatisierten Methode zur Detektion von Bestandsbegrünung wurde eine manuelle Kartierung selbiger vorgezogen. Neben dem DOP20 konnten Luftbilder von Google Earth für (jahres-)zeitliche und qualitative Vergleiche herangezogen werden. Die manuelle Klassifikation erlaubt eine Bereinigung der ausgewiesenen Potentialfläche um bereits intensiv oder extensiv begrünte Dachflächen (vgl. Tab. 7). Dabei wurde der prozentuale Vegetationsgrad eines Gründachs beachtet, da auch auf bereits begrünten großflächigen Dächern häufig freie Flächenressourcen zur weiteren Begrünung zur Verfügung stehen. Diese manuelle Methode ist unter der Bedingung eines räumlich beschränkten Untersuchungsgebietes wie diesem angemessen und hinsichtlich der Ergebnisgenauigkeit vorzuziehen. Von einer Kartierung von Kiesdächern sowie von Dächern mit bestehenden Photovoltaikanlagen wurde abgesehen. Gerade letztere stehen, einmal auf Gebäuden installiert, in Konflikt mit der Möglichkeit und dem Mehrnutzen einer nachgerüsteten Dachbegrünung. Die nachträgliche Begrünung von Solardächern sei zu aufwändig und zudem zweifelhaft hinsichtlich der Pflege der Begrünung. Eine Kombination müsse im Vorfeld gemeinsam geplant und umgesetzt werden (vgl. MANN 2019, Anlage 14). Eine Begrünung von Dächern mit gleichzeitiger sonnenenergetischer Nutzung wird zwar auch in Würzburg bauleitplanerisch forciert, sie stellt aber auf Dächern mit bestehenden PV-Anlagen eine ob ihres planerischen und finanziellen Aufwands unzumutbare Forderung dar (vgl. GLOY 2019, Anlage 8). Tatsächlich wurden im Modell entsprechende Dachflächen aber ohnehin als eher nicht für Dachbegrünung geeignet ausgewiesen werden, da die LiDAR-Punkte über die PV-Standorte hinweg relativ unregelmäßige Oberflächen gemessen haben.

Optimierung der Analyse durch manuelle Kartierung

Wie in Kapitel 3 aufgezeigt, wurden neben den vom LDBV erhaltenen Geodaten räumliche Informationen im Planungskontext der Dachbegrünung recherchiert und in das GIS-Projekt

eingespeist. Diese sollen aus planungsrechtlicher und städteplanerischer Sicht eine erste Beurteilung der ausgewiesenen Potentialfläche hinsichtlich ihrer Realisierung als tatsächliche Dachbegrünung ermöglichen. Die in Unterkapitel 3.4 diskutierten Instrumente zur Umsetzung von Dachbegrünung beziehen sich auf unterschiedliche Flächen, auf denen sie überhaupt rechtlich und strukturell eingesetzt werden können. In diesem Kontext muss die einfache Potentialfläche ADB_{Pot} also durch eine vom kommunalen Dachbegrünungsinstrument abhängige Nettopotentialfläche $ADB_{PotNetto}$ ersetzt werden. Methodisch wurden dazu Layer unterschiedlicher Sach- und Flächeninformationen im GIS räumlich überlagert und miteinander verrechnet. Zudem wurden der Referenzdatei der Hausumringe, stellvertretend den Dachflächen, alle relevanten Attribute zugeführt, um komplexere attributive Abfragen zu ermöglichen. So wurden folgende Merkmale aus externen Quellen im Projekt integriert (vgl. Tab. 7):

Tabelle 7: In GIS eingespeiste externe Daten zur Errechnung der Nettopotentialfläche.
Quelle: Eigene Darstellung.

Merkmalsausprägung	Quelle
<p>Bestandsbegrünung <i>Bestandsbegrueung_Dachanteil.lyr</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Code 0 = keine bestehende Dachbegrünung - Code 25 = circa 25 % - Code 50 = circa 50 % - Code 75 = circa 75 % - Code 100 = circa 100 % <p>...der Dachfläche sind bereits intensiv oder extensiv begrünt</p>	<p>Google Earth, DOP20 (LDBV) (manuelle Klassifikation)</p>
<p>B-Pläne mit Festsetzungen zu Dachbegrünung (Geltungsbereiche)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Code 0 = keine Festsetzung - Code 1 = im Geltungsbereich einer Festsetzung liegend 	<p>B-Plan-Recherche, vgl. Anlage 9</p>
<p>Baudenkmal und Benehmen (Baudenkmäler nach Art. 1 Abs. 2 BayDSchG)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Code 0 = kein Baudenkmal - Code 1 = Benehmen hergestellt - Code 2 = Benehmen nicht hergestellt 	<p>Denkmalliste nach Art. 2 BayDSchG; http://www.denkmal.bayern.de</p>
<p>Ensemble (Denkmalschutz-Ensemble nach Art. 1 Abs. 3 BayDSchG)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Code 1 = Ja - Code 0 = Nein 	<p>Denkmalliste nach Art. 2 BayDSchG; http://www.denkmal.bayern.de</p>

6.3 Ergebnisse der Analyse des Dachbegrünungspotentials



Abbildung 26: Karte der Würzburger Innenstadt mit Potential und bestehender Dachbegrünung.
 Quelle: Eigene Darstellung. Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung.

Zusammenfassung

5.253 Dachflächen – approximiert durch geeignete Filterung und Anpassung des Datensatzes der Gebäudeumringe – konnten im Rahmen einer Analyse von LiDAR-Höhendaten mit einem GIS-Programm sechs Neigungsklassen zugeordnet werden, aus denen sich ein bestimmtes Potential für nachträgliche Dachbegrünung ableiten lässt (vgl. Abb. 26). Nach Medianwert weisen danach 1.885 Dächer mit einer Fläche von 340.198 m² eine für Begrünung geeignete maximale Dachneigung von bis zu 10° auf (vgl. Tab. 8). Dies entspricht knapp 36 % der unbegrünten Dächer und circa 11,88 % der insgesamten Fläche im Untersuchungsgebiet. Zusätzlich konnten über manuelle Methodik 97 begrünte Dächer ermittelt werden, 77 davon mit einem von Vegetation bedecktem Mindestflächenanteil von mehr als 25 % (50-100 %).

In den meisten Fällen handelt es sich bei den Potentialdächern um eher kleine Nebengebäude, Garagen oder Überdachungen. Ferner gehört ein Großteil der Potentialdächer zu Wohngebäuden und vor allem zu Gebäuden mit wirtschaftlichem oder gewerblichem Nutzen. Insbesondere letztere weisen neben städtischen, teils öffentlichen Gebäuden und Gebäuden für Bildung und Forschung ein enormes Flächenpotential auf, welches ohne Überzeugungsanstrengung privater Eigentümer zu realisieren wäre (s.u.). Im Stadtbezirk Sanderau finden sich vergleichsweise viele potentiell begrünbare freistehende und teils neuere Wohnhäuser sowie viele kleine aber relativ aufwandsarm begrünbare Garagendächer (vgl. Abb. 27, Ausschnitt unten). In der Altstadt innerhalb des Ringparks beschränkt sich das Begrünungspotential für private Maßnahmen überwiegend auf Überdachungen in Hinterhöfen von Wohnquartieren bzw. auf Wohngebäude der Innenentwicklung. Das nicht geringe Ausmaß dieses teils versteckten Flächenpotentials kann mit dem angewandten fernerkundlichen Verfahren gut offenbart werden (vgl. Abb. 27, Ausschnitt oben). Insgesamt sind räumliche Muster potentieller Begrünungsflächen schwer auszumachen, wobei diese in der Altstadt klar entlang der gewerblich genutzten Achsen verlaufen oder sich in den nachverdichteten Quartieren bündelt.

Potentialquartiere, in denen sich ermittelte Potentialflächen über weite zusammenhängende Flächen ballen, können auf zusammenhängenden Gebäudekomplexen wie dem städtischen WVV-Gelände oder innerhalb von Gewerbegebieten mit großflächigen baulichen Anlagen ausgemacht werden (Sonder- und Gewerbegebiete entlang Schweinfurter Straße und

Schürerstraße sowie Gewerbegebiet Sanderau im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes)
(vgl. Abb. 28).

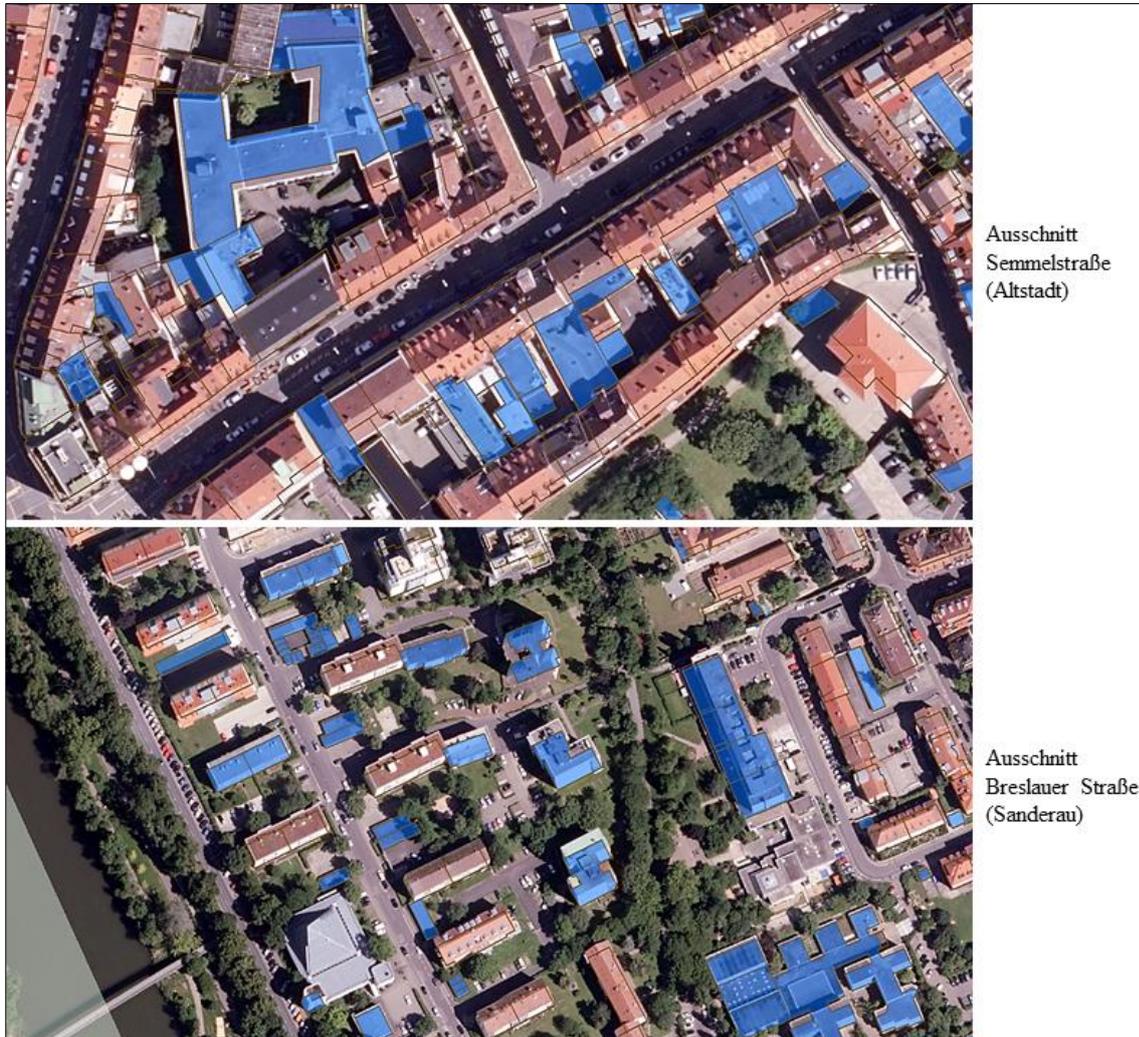


Abbildung 27: Darstellung blauer Präferenzdächer in den Stadtbezirken Altstadt und Sanderau.
Quelle: Eigene Darstellung. Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung.



Abbildung 28: Darstellung blauer Präferenzdächer im nördlichen Teil der Altstadt.
Quelle: Eigene Darstellung. Geodaten: Bayerische Vermessungsverwaltung.

Tabelle 8 zeigt eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Einheiten- und Flächenpotentiale, die sich mit den statistischen Lageparametern Mittelwert (Mean), Modus und Median für die Dachpolygone ausweisen lassen.

Tabelle 8: Zahl, Fläche und Art der Dächer nach Neigungsklassen.
Quelle: Eigene Darstellung

Untersuchungseinheiten N nach Dachneigung	Median (ohne begrünte Gebäude)	Modus (ohne begrünte Gebäude)	Mittelwert (Mean) (ohne begrünte Gebäude)	Begrünte Dächer (50 – 100 %)
N mit 0 bis 5°	Zahl der Dächer: 1.481 Mittlere Dachfläche (ungepuffert, gerundet): 177 m ²	Zahl der Dächer: 1.969 Mittlere Dachfläche (ungepuffert, gerundet): 208 m ²	Zahl der Dächer: 540 Mittlere Dachfläche (ungepuffert, gerundet): 80 m ²	Anzahl der Dächer nach Median: 48 nach Modus: 64 nach Mean: 9
N mit über 5 bis 10°	404 192 m ²	297 178 m ²	539 148 m ²	Median: 6 Modus: 3 Mean: 10
N mit über 10 bis 20°	340 243 m ²	258 213 m ²	722 283 m ²	Median: 12 Modus: 6 Mean: 28
N mit über 20 bis 30°	520 247 m ²	497 235 m ²	622 254 m ²	Median: 7 Modus: 0 Mean: 23
N mit über 30 bis 45°	1.457 246 m ²	1.100 228 m ²	1.792 243 m ²	Median: 4 Modus: 3 Mean: 7
N mit mehr als 45°	974 193 m ²	1.055 201 m ²	961 184 m ²	Median: 0 Modus: 1 Mean: 0
N insgesamt	Anzahl aller Dächer: 5.176 Dachfläche gesamt: 1.097.494 m ² (1,1 km ²) Mittlere Dachfläche: 212 m ²			Anzahl: 77 Dachfläche ges.: 44.226 m ² Mittl. Dachfläche: 574 m ²

Exkurs: Diskussion der Eignung unterschiedlicher Lageparametern

Für den Parametervergleich wurden Dächer mit einer bestehenden Begrünung von über 25 % je Dach aussondiert. Jene Dachflächen wurden als weitere Spalte für den Vergleich der Neigungswerte dargestellt. 20 Einheiten weisen einen begrünten Dachanteil von circa bis zu 25 % auf (beruhend auf eigener Klassifikation in vier den Grünanteil schätzende Klassen).

Da diesen nur gering begrünten Dachflächen ein noch freies Flächenpotential für Dachbegrünung unterstellt wird, wurden diese Umringe nicht in die Statistik der begrünten Gebäude, sondern in die Statistik der Potentialdächer einbezogen.

Bei Gebäuden mit bestehender Begrünung wird davon ausgegangen, dass es sich um bestens geeignete, ausreichend flache Flächen handelt. Somit können die Neigungswerte dieser Dächer als Referenzwerte eingestuft werden, anhand derer auf die Validität der errechneten Lageparameter geschlossen werden kann. Es fällt auf, dass der Mittelwert (Mean) über die einzelnen Neigungsklassen innerhalb der begrünten Dachflächen weitaus stärker streut als Median und Modus. Der Lageparameter Mean schafft es am wenigsten, die eigentlich für Dachbegrünung ausreichend niedrigen Neigungswerte abzubilden. Er ist anfälliger gegenüber Extremwerten als Median und Modus. Der Modus bildet die tatsächlich begrünbaren Dachflächen am besten ab, über 75 % der begrünten Dächer weisen einen Modus innerhalb des Neigungsbereichs von 0 bis 5° auf. Da er den häufigsten Messwert wiedergibt, gibt der Modus selbst auf Dächern mit vielen unterschiedlichen Höhenstufen auf die für eine Begrünung relevanten, nämlich flachen Stellen eines Daches wieder.

Im Hinblick auf die unbegrünten Gebäude weist der Mittelwert (N = 1.079) weit weniger für nachträgliche Begrünung geeignete Dächer innerhalb der beiden niedrigsten Neigungsklassen aus als Median (N = 1.885) oder Modus (N = 2.266). Erneut stellt sich die Zahl der Gebäude nach dem Parameter Mean über alle Neigungsklassen hinweg gleichverteilter und mit geringerer Spannweite dar. Die maximalen Gebäudezahlen liegen beim Neigungs-Mittelwert in den Bereichen höherer Neigung (> 30°: N = 2.759). Die Parameter Median und Modus weisen eine dazu entgegengesetzte Verteilung auf, in der die meisten Dachflächen niedrige Neigungswerte aufweisen. Im Vergleich zur eingipfeligen Modus-Verteilung zeigt der Median auch im Bereich der höheren Neigung eine recht hohe Fallzahl (N = 2.431). Aus diesen statistischen Befunden geht hervor, dass der Mittelwert die begrünbare Potentialfläche minimiert, während der Modus sie maximiert. Der Mean klassifiziert eher kleinflächige Dächer, in denen es weniger Potential für heterogene Oberflächen gibt, als begrünbare Flächen. Der Modus dagegen tendiert dazu, das Potential großer Dachflächen zu überschätzen. Auch bei den bereits begrünten Dächern handelt es sich um stark überdurchschnittlich große Flächen (mittlere Dachfläche aller 5.253 untersuchten Gebäude: 217 m²), deren Begrünbarkeit er zwar gut vorhersagen kann. Andere großflächige, nur teilweise flache Umringe, die oft mehrere Dachflächen in sich integrieren, würden jedoch über alle Dachabschnitte hinweg

als begrünbar ausgewiesen. Auch technische Anlagen, die nicht begrünbar sind, würden so in die Potentialfläche einbezogen.

Nach dieser Abwägung dient in dieser Analyse der Median als validestes statistisches Instrument zur Quantifizierung der Dachneigung und Wiedergabe der Potentialfläche für Dachbegrünung ADB_{Pot} . Der Modus überschätzt das Begrünungspotential großer Flächen, während der Mittelwert dieses stark unterschätzt.

ADB_{Pot} : Ausweisung einer geeigneten Potentialfläche mit Präferenzdächern

Die lediglich mit dem Merkmal der Dachneigung (und den vor der Analyse eingestellten Attributfiltern und Flächenfilter mit Mindestfläche von 14 m²) ermittelten Potentialflächen wurden, aufbauend auf den in der Karte (vgl. Abb. 26) visualisierten Ergebnissen, einer erweiterten Abfrage unterzogen (Heterogenitätsfilter). Ziel ist es, solche Dächer auszuweisen, die in besonders hohem Maß als nachträglich begrünbar ausgewiesen werden (Präferenzdächer). Eine Selektion auf Basis der in Neigungsbereiche reklassifizierten Pixelfläche sollte sicherstellen, dass heterogene Dachflächen, auf denen sich geeignete Neigungswerte nur kleinanteilig einstellen, aussondiert werden (vgl. GRUNWALD et al. 2017: 55):

$$(\text{Neigungsklasse 1} + \text{Neigungsklasse 2}) / \text{Pixel_Area} * 100 \geq 50$$

Für eine Abfrage von Dachflächen mit signifikanterem Potential für nachträgliche Begrünung hat sich die Wahl der in Tab. 4 (vgl. Kap. 5.1) aufgezeigten Schwellenwerte als geeignet erwiesen. Die mit ihr ermittelten Flächen deckten sich am ehesten mit den Ergebnissen einer manuell-visuellen Einschätzung zur realistischen Begrünbarkeit. Die folgenden statistischen Kennzahlen basieren auf einer entsprechenden Abfrage von Präferenzdächern mit einem maximalen Medianwert von 10° bei gleichzeitigen Pixelneigungswerten von maximal 10° auf mindestens 50 % der Dachfläche und einer Bestandsbegrünung von maximal 25 %.

Tabelle 9: Kennzahlen zum innerstädtischen Begrünungspotential und Begrünungsbestand in Würzburg.
Quelle: Eigene Darstellung.

Kenngröße	Ergebnis
Anzahl; Durchschnittsfläche; Gesamtfläche aller untersuchten Dächer	N = 5.253; 217 m ² ; 1.141.720 m ²
Anzahl aller Dächer mit Dachbegrünung	97 (77 mit mind. 50 % Vegetationsfläche)
Anteil der Gründächer an der Gesamtzahl aller Dächer	1,85 % (1,47 %)
Geschätzte Vegetationsfläche aller Gründächer (Verrechnung Begrünungsanteil mit Dachfläche)	39.152 m ²
Durchschnittl. Vegetationsfläche eines Gründachs	404 m ²
Anzahl aller potentiell begrünbaren Präferenzdächer	1.823
Durchschnittliche Fläche der Präferenzdächer	180 m ²
Gesamtfläche der Präferenzdächer ADB _{Pot}	329.670 m ²
Anteil der Präferenzdächer an unbegrüntem Dächern	35,22 %

Den in Tabelle 9 dargestellten Ergebnissen dieser Abfrage kann entnommen werden, dass in den untersuchten Gebieten Würzburgs ein aus Sicht dieses komplexeren Modells noch immer überraschend hohes Potential für nachträgliche Dachbegrünung vorherrscht. Bei nachträglicher Begrünung von 1.823 Dächern wäre eine Flächenpotential von über 300.000 m² als extensive Grünfläche aktivierbar. Unter dem Vorbehalt einer bautechnischen und städtebaulichen Durchführbarkeit der Begrünungsmaßnahmen wäre diese Fläche natürlich nur ein maximal erzielbarer Wert. Dieser wird durch baustrukturelle Limitierungen (Attiken, Dachluken, technische Aufbauten), bauordnungsrechtliche Einschränkungen (Kieswege, Entwässerung) sowie ökologische Parameter (Schwankungen in Zustand und Wachstum der Vegetation) um einen hier nicht geschätzten Faktor reduziert (vgl. FLL 2018). Abbildung 27 und Abbildung 28 visualisieren Potentialquartiere in Sanderau und Altstadt mit besonders hoher Dichte an Präferenzdächern.

ADB_{Bestand}: Dachflächen mit bestehender Begrünung

Dagegen ist der Anteil an bestehenden Gründächern in der untersuchten Würzburger Innenstadt mit 1,85 % als eher gering einzustufen. Zumindest für die Stadt München konnte ein nach Anzahl aller Dachflächen normalisierter Vergleichswert ermittelt werden. Die jüngere Stadtentwicklung Münchens weist, dank einer seit Mitte der 90er Jahren existierende Freiflächengestaltungssatzung, eine hohe Verbundenheit mit dem Thema der Dachbegrünung auf (vgl. ANSEL et al. 2015: 35f.). Dies spiegelt sich auch in der im interstädtischen Vergleich fortgeschrittenen Dichte an begrüntem Dächern wider (1,97 m² Gründachfläche pro Einwohner). In der Studie von ANSEL et al. 2015 konnte für die im Stadtgebiet Münchens untersuchten Dächer ein Anteil von 19,5 % an Dächern ermittelt werden, die mindestens zu 10 % mit Vegetation bedeckt waren. Durch Ausschluss der Dächer, die einen Vegetationsanteil von unter 50 % ihrer Fläche aufzeigten, verringert sich der Anteil begrünter Dächer um mehr als die Hälfte (München: 8,9 %; Würzburg: 1,47 %). Es ist zudem feststellbar, dass mit einzelnen Dachbegrünungsmaßnahmen in Würzburg überproportional große Vegetationsflächen entstanden sind. So nähert sich die begrünete Dachfläche in Würzburg mit ungleich weniger begrünter Dacheinheiten der begrünter Dachfläche der Stadt Nürtingen an (vgl. Tab. 10). Dies mag darin begründet sein, dass die Maßnahmen in Würzburg seltener auf privaten Wohngebäuden denn auf großflächigen Gebäuden für öffentliche Zwecke, Forschungszwecke oder Gewerbezwecke im Rahmen von städtischem Flächenausgleich und Bauauflagen vollzogen wurden. Der Vergleich muss vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Methodik und der unterschiedlich abgesteckten Untersuchungsgebiete interpretiert werden.

Tabelle 10: Vergleich des Gründachbestands mit München, Stuttgart, Karlsruhe und Nürtingen.
 Quelle: Eigene Darstellung nach ANSEL et al 2015: 36.

	München	Stuttgart	Karlsruhe	Nürtingen	Würzburg
Anzahl aller Gründächer (Stadtgebiet)	51.147	16.261	2.308	729	97 (davon 25 Einheiten der Funktion <i>Wohngebäude</i>)
Vegetationsfläche aller begrünten Dächer	2.822.047 m ²	1.058.080 m ²	177.546 m ²	59.450 m ²	39.152 m ²
Durchschnittliche Vegetationsfläche eines Gründachs	55,18 m ²	65,07 m ²	76,92 m ²	81,55 m ²	403,63 m ²

Begrünungspotential in Abhängigkeit von der Dachfläche

Nicht alle Hausumringe können ihre zugehörigen Dächer flächenmäßig und geometrisch einwandfrei approximieren. Auch liegt es nahe, dass die Zahl der Hausumringe nicht mit der Zahl an Gebäuden im engeren Sinne gleichzusetzen ist. So gibt es insbesondere zu viele kleine Features, welche nur Bauteile oder Überdachungen darstellen. Deshalb sind daraus abgeleitete Statistiken zur Gebäudezahl – wie beispielsweise der Anteil an potentiell begrünbaren zu allen Gebäuden – mit Vorsicht zu bewerten. Unter Verwendung einer Mindestfläche von 100 m² kann sich dem Anspruch einer Bewertung der Begrünbarkeit von Gebäuden im engeren Sinne angenähert werden. Abbildung 29 zeigt, dass es sich bei Einheiten mit weniger als 100 m² Fläche um mehr als der Hälfte (67 %) der ermittelten Präferenzdächer handelt. Nur 23 % der Präferenzdächer haben eine Fläche von mindestens 100 m².

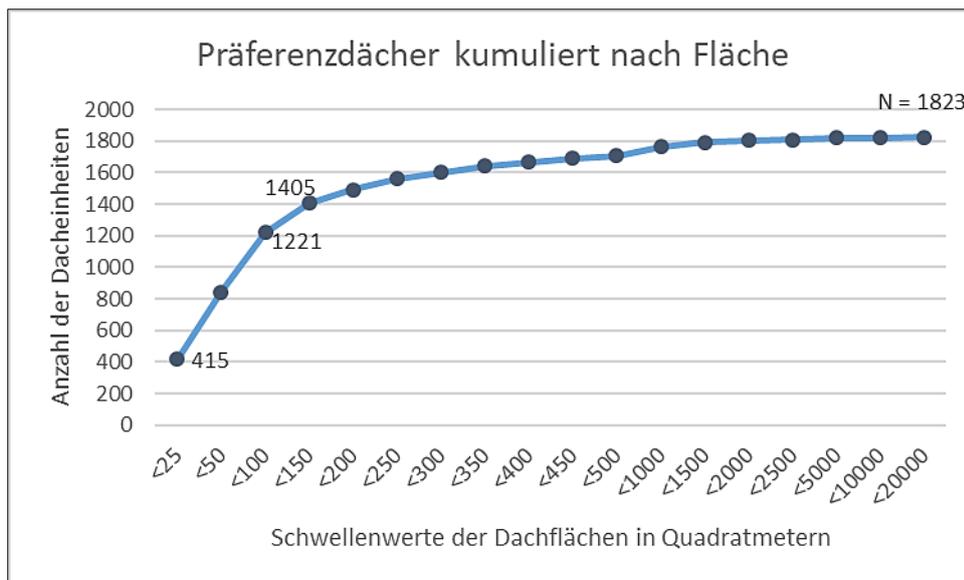


Abbildung 29: Präferenzdächer kumuliert nach Polygonfläche.
Quelle: Eigene Darstellung.

Da ab diesem Schwellenwert die Zahl der darunterliegenden 1.221 Einheiten bei Erhöhung des Schwellenwertes nicht mehr prägnant anwächst, kann dieser Wert (100 m²) als geeignet für eine Optimierung der Ergebnisse angesehen werden. Auch schafft dies eine Vergleichbarkeit zu den Potentialausweisungen von ANSEL et al. 2015 für das Münchener Stadtgebiet, da dort derselbe Schwellenwert verwendet wurde (vgl. Tab. 11). Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass es sich gerade bei den kleinflächigen Einheiten (< 100 m², mittlere Fläche: 40 m²) um einen insgesamt relativ großen Flächenpool handelt (über 25 % der gesamten Präferenzfläche), der zudem mit teils weniger Aufwand nachträglich begrünt werden kann (Nebengebäude, private Garagen, Überdachungen).

Andererseits kann bei den größeren Dächern mit wenigen gezielten Begrünungsmaßnahmen eine maximale Potentialfläche umgesetzt werden. So entspricht die summierte Fläche der 100 größten Präferenzdächer mit 166.452 m² mehr als der Hälfte der gesamten Potentialfläche. Diese sind in der Hausumringe-Datei als hauptsächlich als Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe aber auch als öffentliche und Gebäude für Bildung und Forschung ausgewiesen. Leider ist die Aussagekraft des Datensatzes im Hinblick auf die Gebäudefunktion sehr begrenzt, da ein großer Teil an Einheiten einer Restklasse zugeordnet ist.

Tabelle 11: Kennzahlen zum Begrünungspotential im Vergleich mit der Stadt München.
 Quelle: Eigene Darstellung nach ANSEL et al. 2015: 35.

Kenngröße	Ergebnisse Würzburg	Ergebnisse München
Anzahl aller potentiell begrünbaren Gebäude im Untersuchungsgebiet mit einer Dachfläche von mindestens 100 m ²	602	31.740
Prozentualer Anteil der potentiell begrünbaren Dachflächen (> 100 m ²) an der Gesamtzahl aller Dachflächen	11,46 %	10,5 %
Gesamtfläche der potentiell begrünbaren Dächer (> 100 m ²)	279.920 m ²	13.233.965 m ²

7. Analyse zur städteplanerischen Aktivierung der Potentialflächen

Ziel des folgenden Kapitels ist es, die tatsächliche Aktivierbarkeit potentieller Begrünungsflächen unter dem Gesichtspunkt städtebaulicher Belange und städteplanerischer Möglichkeiten der Förderung und Forderung zu analysieren und zu bewerten. Dabei sollen zwei Instrumente der Stadtentwicklung beleuchtet werden, mit denen eine nachträgliche Dachbegrünung im Baubestand forciert werden kann: Förderprogramm und Bebauungsplan. Diese erstrecken sich in ihrem Wirkungsradius auf unterschiedliche Flächen, die zunächst eruiert werden müssen. Wurde im letzten Kapitel lediglich die bautechnisch potentiell umsetzbare Fläche detektiert, soll nun eine Netto-Potentialfläche ($ADB_{PotNetto}$) abgesteckt werden, auf welche die Stadt mit dem jeweiligen Instrument einwirken kann.

Nach Einbezug der denkmalschutzrechtlichen Belange in diesen Analyseschritt, soll auf Grundlage der ausgewiesenen $ADB_{PotNetto}$ eine Verrechnung mit den voraussichtlichen förderfähigen Installationskosten stattfinden. Im Rahmen der geltenden Richtlinien des Förderprogramms kann so ein Spektrum an seitens der Stadt potentiell zu tätigen Fördersummen abgeleitet werden. Hinsichtlich der bauleitplanerischen Festsetzungsmöglichkeiten werden in einem Szenarienvergleich unterschiedliche Formulierungen aus aktuell geltenden Bebauungsplänen auf den im GIS erstellten Datensatz übertragen, um so die jeweilige bauleitplanerisch aktivierbare Dachfläche zu erfassen. Die Hinzunahme städtischer Statistiken

zur Bauaktivität kann eine Einschätzung zur Dauer der tatsächlichen Durchsetzbarkeit entsprechender Festsetzungen ermöglichen.

7.1 Direkte Förderung der Dachbegrünung

7.1.1 Richtlinien des Förderprogramms

In den Richtlinien des Würzburger Förderprogramms „Begrünung von Dachflächen und Fassaden“ ist der sachliche sowie der räumliche Geltungsbereich festgesetzt, auf den sich eine finanzielle Förderung von Dachbegrünungsmaßnahmen erstreckt. Im Folgenden soll eine Berechnung der Netto-Potentialfläche nach den Maßgaben der „Richtlinie der Stadt Würzburg für die Gewährung von Zuschüssen für die Begrünung von Gebäuden und für urbane Begrünungsprojekte“ angestellt werden (Stadt Würzburg 2018a):

Pkt. 2.1: „Der Geltungsbereich des kommunalen Programms basiert auf der Klimafunktionskarte der Stadt Würzburg: Vorhaben sind in allen Zonen möglich, die in der Klimafunktionskarte mit den Kategorien starke Überwärmung, moderate Überwärmung, Überwärmungspotenzial oder als Misch- und Übergangsklimate gekennzeichnet sind. Vorhaben in Frischluftentstehungsgebieten, Kaltluftentstehungsgebieten und in nicht gekennzeichneten Bereichen sind in der Regel nicht förderfähig.“

Der in Kapitel 3 abgebildeten Klimafunktionskarte, die seit Ende 2018 im Rahmen des Förderprogramms als Grundlage für das Fördergebiet dient, ist zu entnehmen, dass das Untersuchungsgebiet sich fast ausschließlich innerhalb der förderbaren Zonen befindet. Frischluftentstehungsgebiete sowie Misch- und Übergangsklimate stellen nur lediglich die bewaldeten Flächen des Ringparks und des östlichen Friedhofs dar, deren bauliche Anlagen durch die beschriebenen Attributfilter ohnehin ausselektiert wurden. Ferner richtet sich entsprechend Punkt 7.4 der Richtlinie die Höhe des Fördersatzes nach dieser Zonierung. Innerhalb der stadtklimatisch besonders belasteten Zonen (rot und gelb) der verdichteten Innenstadt gilt ein um ein Drittel erhöhter Förderzuschuss als innerhalb der stadtklimatisch lediglich benachteiligten Zonen (grün und hellgelb). Abgesehen von einem größeren klimatisch benachteiligten Teil der südwestlichen Sanderau – welcher ohnehin als Wirkungsraum für dieses Förderinstrument ausgeschlossen wird (s.u.) – handelt es sich beim untersuchten Gebiet überwiegend um Gebiete mit dem höchsten Fördersatz, weshalb dieser bei der späteren Verrechnung als pauschaler Referenzwert verwendet werden soll.

Pkt. 2.2: „Förderfähig sind ausschließlich Maßnahmen, die nicht ohnehin aufgrund einer öffentlich-rechtlichen Verpflichtung durchgeführt werden müssen, z. B. durch Auflagen für Ersatzpflanzungen, Auflagen im Zusammenhang mit genehmigungspflichtigen Baumaßnahmen, Auflagen in Sanierungsgebieten oder an Gebäuden, für die ein Bebauungsplan entsprechende Festsetzungen enthält.“

Wie in Kapitel 3 bereits geschildert, liegt im Untersuchungsgebiet nur ein Bebauungsplan mit festgesetzter Dachbegrünung vor, der sich hinsichtlich seines Geltungsbereiches über eine in diesem Datensatz signifikant hohe Zahl an Flurstücken erstreckt. Da anzunehmen ist, dass ebenda geplante Begrünungsmaßnahmen aufgrund der öffentlich-rechtlichen Vorgaben keine Förderung erhalten würden, wurden die knapp 270 Untersuchungseinheiten innerhalb des Bebauungsplanes *12. Änderung des Bebauungsplans „Südliche Sanderau“* (Plannummer 7.01.12) für die Kostenschätzung ausgesondert.

Pkt. 2.3: „Förderfähig sind ausschließlich Maßnahmen, die nicht gegen öffentlich-rechtliche (z.B. Bauordnung, Denkmalschutz, Verkehrssicherheit o.ä.) oder privatrechtliche Vorschriften verstoßen.“

Im Kontext der öffentlich-rechtlichen Vorschriften fallen neben den hier nicht zu analysierenden bauordnungsrechtlichen Vorgaben die Belange des Denkmalschutzes und des Stadtbildes ins Gewicht. Im Untersuchungsgebiet vorliegende Baudenkmäler nach Art. 1 Abs. 2 BayDSchG sowie das altstädtische Denkmal-Ensemble nach Art. 1 Abs. 3 BayDSchG konnten dem Bayerischen Denkmal-Atlas entnommen und im vorliegenden GIS-Projekt editiert werden (vgl. BLFD 2019). Gemäß Art. 6 Abs. 1 BayDSchG bedarf jede Veränderung an oder im Nähebereich von Baudenkmalern einer denkmalrechtlichen Erlaubnis, ebenso die Veränderung einer baulichen Anlage, die sich auf das Erscheinungsbild eines Ensembles auswirken kann. In Kapitel 3.4.3 wurde bereits begründet, warum und inwiefern diese Belange durch Dachbegrünungsmaßnahmen berührt werden und unter welchen Voraussetzungen (Wahrung des Nähebereichs durch Pufferzone) solche Vorhaben wahrscheinlich eine denkmalrechtliche Erlaubnis erhalten würden. Im GIS-Projekt wurden anhand der kartierten Denkmaldaten folgende Schritte vorgenommen:

- Generieren einer Pufferzone mit Radius 25 Meter um jene 260 Baudenkmäler, die innerhalb des Altstadt-Ensembles liegen, um die Anforderung einer Wahrung des Altstadt-Ensembles mit einem großzügig interpretierten Nähebereichs zu erfüllen
- Aussondern aller innerhalb dieser Pufferzone liegenden 1.391 Untersuchungseinheiten

- Aussondern aller sonstigen 77 Baudenkmäler im Untersuchungsgebiet Altstadt-Sanderau
→ Erstellen eines Attributfilters *Denkmalschutzfilter*

Insbesondere die Berücksichtigung eines geschätzten Nähebereichs um die Baudenkmäler innerhalb des Ensembles soll sicherstellen, dass die hypothetische Gebäudebegrünung nur auf Bereiche außerhalb des Sichtfeldes dieser Baudenkmäler erfolgt und zudem den begrünbaren Gebäudeanteil auf ein nicht erhebliches Maß beschränkt. Zur Definition des Nähebereichs wurde das Sichtfeld zwischen zwei sich gegenüberliegenden Gebäudeblöcken geschätzt. Stichprobenartige Luftbild-Messungen der Entfernung zwischen zwei Hausfassaden der inneren Altstadt ergaben, dass auch bei einer zwischenliegenden breiten Verkehrsachse in der Regel eine Mindestdistanz von 25 Metern herrscht.

Pkt. 6.7: „Antragsberechtigt sind Grundstückseigentümerinnen und Grundstückseigentümer, Verwaltungen von Wohnungseigentümergeinschaften (...), als auch Mieterinnen und Mieter sowie Vereine und Verbände (...). Sollen öffentliche Flächen in Anspruch genommen werden, so muss (...) eine Sondernutzungserlaubnis vorliegen.“

In Ermangelung an Daten zur eindeutigen Differenzierung zwischen privaten und städtisch-öffentlichen Gebäuden wurde versucht, mittels attributiver Filterung solche Gebäudekategorien auszuschließen, die sich vornehmlich im Eigentum der Stadt oder einer anderen Gebietskörperschaft befinden (*Bahnhofsgebäude, Gebäude für Bildung und Forschung, Gebäude für öffentliche Zwecke, Pflegeanstalt, ...*). Leider besteht trotz dieser Abfrage ein relativ hohes Fehlerrisiko unzureichender Klassifikation: So wurde unter anderem der großflächige Betriebshof der Würzburger Straßenbahn GmbH im Datensatz beibehalten, dessen Begrünung nicht Bezugspunkt des Förderprogramms sein kann. Deshalb wurde für die Kalkulation der Förderzuwendungen eine weitere Berechnung auf Basis eines um sämtliche Nebengebäude bereinigten Datensatzes durchgeführt. Mit einem Adressfilter, welcher nur Umringe mit einer zugewiesenen Adresse beibehält, kann auf die 2.935 Hauptgebäude zugegriffen werden, deren Eigentümer zudem direkt adressierbar sind. Auch trägt dieses Szenario dem Umstand Rechnung, dass „pro Anwesen (wirtschaftlicher Einheit) (...) die Förderung im Grundsatz nur einmal in Anspruch genommen werden [kann]“ (Pkt. 6.1).

Zusammenfassend umfasst die Abfrage von der somit definierten Netto-Potentialfläche $ADB_{PotNetto}$ für die direkte Förderung neben den hier geklärten Aspekten die im vorherigen Kapitel gewählten Parameter zur Detektion der Präferenzdächer. Es ergeben sich unter den

folgenden Bedingungen für die $ADB_{PotNetto}$ 1.358 Einheiten ohne Adressfilter bzw. 208 Einheiten mit Adressfilter:

- Präferenzdächer:
 - Attributfilter
 - Flächenfilter mit Dächern $\geq 14 \text{ m}^2$
 - Maximale Median-Dachneigung von 10°
 - Heterogenitätsfilter mit max. 10° Neigung auf über 50 % der Dachfläche
 - Bestandsgrün 0 oder 25 %
- Flächenbegrenzung auf nicht von 7.01.12 beplantes Gebiet
- Denkmalschutzfilter:
 - Pufferzone 25 Meter und Aussonderung aller sonstigen Baudenkmäler
- Erweiterter Attributfilter:
 - Ausschluss öffentlicher Gebäude
 - Optionaler Ausschluss von Nebengebäuden mit Adressfilter

Anzumerken ist, dass bereits bestehende Begrünung im Rahmen einer Förderung auch saniert werden könnte. Dies ist in der Stadt München der Fall, wo Sanierungen von bereits begrünten Dächern gefördert werden können, wenn das Gebäude vor 1996 errichtet wurde (vgl. LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN 2018). In der Würzburger Richtlinie wird auf den Aspekt der Sanierung von Grünanlagen jedoch kein Bezug genommen.

Für die Analyse zur Berechnung der potentiellen Projektkosten für Maßnahmen der nachträglichen Dachbegrünung wurden also zwei Szenarien gewählt: Eine maximierte Kostenberechnung auf Basis der 1.358 Dacheinheiten (ohne Adressfilter) und eine minimierte Berechnung auf Basis der 208 Hauptgebäude (mit Adressfilter) sollen die Angabe eines groben Bereichs für die potentiellen, förderbaren Projektkosten ermöglichen und somit den Schätzfehler verringern. Als Ausgangsfläche wurde das Merkmal der kleinen, um jeweils 0,5 Meter gepufferten Hausumringe verwendet, um sich dem Anteil der tatsächlich umsetzbaren Dachfläche anzunähern. Die Referenzwerte zur Einschätzung der Quadratmeter-Kosten für eine Begrünungsmaßnahme basieren auf Angaben der für das Förderprogramm einschlägigen Internetseite der Stadt Würzburg (vgl. STADT WÜRZBURG 2018b). Für die hier thematisierte extensive Dachbegrünung wird eine Preisspanne von circa 15 – 40 €/m² angegeben. Auch wenn diese beiden Werte in der Analyse verwendet wurden, sei an dieser Stelle auf die in Kapitel 2.3 erfolgte Diskussion der Kosten für nachträgliche Dachbegrünungen hingewie-

sen. Hiernach konnten auch aus den Angaben der Hersteller für Gebäudebegrünungslösungen keine eindeutigen Aussagen zu den speziellen Kosten der nachgerüsteten Dachbegrünung abgeleitet werden. Die in der Umfrage als relativ hoch eingestuften Kosten des größeren Planungsaufwands und notwendiger Vorarbeiten werden in der Richtlinie des Förderprogramms als förderbar ausgeschrieben (Pkt. 3.1): „Nebenkosten für Planung und Prüfung durch eine anerkannte Fachkraft bis max. 10 % der Gesamtkosten“. Es kann angenommen werden, dass die durchschnittlichen Kosten und somit die Förderzuwendung – je nach baulichen Voraussetzungen, wie dem Zustand der Dachabdichtung – gerade bei einer nachträglichen Begrünung stark über den angegebenen Richtpreis hinausgehen. Da die durch das Förderprogramm zuwendungsfähigen Kosten jedoch mit einem Wert von 7.000 € gedeckelt sind – was in der Analyse Beachtung findet – mag sich dieser Umstand auf die geschätzte Fördersumme nicht allzu gravierend auf die Berechnung der möglichen Förderkosten auswirken. Für die laut Förderrichtlinie bestehenden Fördersätze gibt es folgende Vorgaben:

Pkt. 7.4: „Für Dachbegrünungen beträgt der Zuschuss in stadtklimatisch besonders belasteten Zonen maximal 40 €/m² begrünter Dachfläche, jedoch nicht mehr als 50 % der zuwendungsfähigen Kosten. Der Höchstförderbetrag beträgt 7.000 €. Für stadtklimatisch benachteiligte Zonen beträgt der Zuschuss maximal 30 €/m² bzw. die Förderquote maximal 40 % bis zu einem Betrag von 5.000 €.“

Wie eingangs erörtert, wird der jeweils höhere Zuschuss für die Analyse verwendet (für stadtklimatisch besonders belastete Zonen). Für die Verrechnung mit den Projektkosten konnte der maximale Zuschuss von 40 € jedoch ignoriert werden, da ohnehin kein höherer Kostenfaktor für den Quadratmeterpreis genutzt wurde. Einschlägig zur Errechnung der Fördersumme waren somit die maximal zu bezuschussenden 50 Prozent. Zusätzlich wurden alle Förderwerte über 7.000 € auf diesen maximalen Förderbetrag gedeckelt – im Fall der 1.358 Dachflächen wären das bei Maßnahmen mit 40 €/m² 93 Fälle, die wegen überdurchschnittlicher Begrünungsfläche einen höheren Förderbetrag erhalten hätten, sofern die in Pkt. 7.9 aufgeführte Ausnahmeregelung für besondere Projekte dies ermöglicht hätte (Umfang, städtebauliche und stadtklimatische Wirkung, Vorbildcharakter). Außerdem wurde beachtet, dass „aufgrund des unverhältnismäßigen Verwaltungsaufwandes (...) keine Förderung von Kleinstmaßnahmen mit Zuschussbeträgen unter 150 € [erfolgen]“ soll (Pkt. 7.10).

7.1.2 Ergebnisse der Kostenschätzung

Förderfähige Projektkosten

Eine nachträgliche extensive Dachbegrünung aller dafür detektierten Präferenzdächer im Untersuchungsgebiet würde sich nach dieser Schätzung auf insgesamt Kosten zwischen 2.175.700 € (für alle im Datensatz bekannten Hauptadressen) und 5.341.200 € (mit Nebengebäuden) belaufen. Da in der Kalkulation der minimierten Projektkosten nur adressierbare Hauptgebäude und somit weit weniger aber dafür großflächigere bauliche Anlagen einbezogen wurden, weisen die mittleren Projektkosten je Gebäude (10.460 €) mit mehr als 250 % von denen der maximierten Kostenrechnung ab (vgl. Tab. 12, vgl. Tab. 13). Dafür ist die mittlere Summe aller minimierten Projektkosten mit 2.175.700 € um circa 40 % geringer als die im maximierten Vergleichsszenario.

Potentielle Förderkosten

Die ermittelten Projektkosten je Dacheinheit bzw. Gebäude wurden mit einem Faktor von 0,5 verrechnet, um die maximalen Zuwendungen durch das Förderprogramm zu approximieren (maximal zu bezuschussende 50 Prozent). Errechnete Beiträge über 7.000 € wurden auf ebendiesen Betrag begrenzt, Beiträge unter 150 € wurden aus der Kalkulation herausgenommen.

Die Förderung der Kosten für die nachträgliche extensive Begrünung einer dafür geeigneten minimierten Anzahl an Gebäuden und einer geeigneten maximierten Anzahl an Dächern im Untersuchungsgebiet würde nach aktuellen Maßgaben des Förderprogramms Zuwendungen in Höhe von circa 1.143.450 € verursachen, wobei der Schätzbereich zwischen 686.450 € und 1.600.400 € liegt (vgl. Tab. 14).

Tabelle 12: Darstellung der potentiellen Projektkosten im Szenario maximierter Kosten.
 Quelle: Eigene Darstellung.

Bereich maximierter Kosten (1.358 Einheiten)	Mittlere Projektkosten je pot. begrünbaren Daches	Summe der Projektkosten aller pot. begrünbaren Dächer
15 € je m ²	2.145 €	2.913.390 €
40 € je m ²	5.721 €	7.769.042 €
Mittlere maximierte Kosten (40 + 15) / 2	3.933 €	5.341.216 €

Tabelle 13: Darstellung der potentiellen Projektkosten im Szenario minimierter Kosten.
 Quelle: Eigene Darstellung.

Bereich minimierter Kosten (208 Einheiten)	Mittlere Projektkosten je pot. begrünbaren Gebäudes	Summe der Projektkosten Aller pot. begr. Gebäude
15 € je m ²	5.706 €	1.186.745 €
40 € je m ²	15.214 €	3.164.654 €
Mittlere minimierte Kosten (40 + 15) / 2	10.460 €	2.175.700 €

Tabelle 14: Darstellung der potentiellen Förderkosten für unterschiedliche Szenarien.
Quelle: Eigene Darstellung

Bereich maximierter Kosten (1.358 Einheiten)	Summe der Förderkosten aller pot. begrünbaren Dächer	Mittlere maximierte Kosten
Bei Projektkosten von 15 € je m ²	1.009.024 € unter 150 €: 408 Einheiten	1.600.418 €
Bei Projektkosten von 40 € je m ²	2.191.811 € Unter 150 €: 23 Einheiten	
Bereich minimierter Kosten (208 Einheiten)	Summe der Förderkosten aller pot. begrünbaren Gebäude	Mittlere minimierte Kosten
Bei Projektkosten von 15 € je m ²	467.005 €	686.461 €
Bei Projektkosten von 40 € je m ²	905.918 €	
Optimierte Förderkosten	1.143.440 €	

7.2 Bauleitplanerische Festsetzung von Dachbegrünung

7.2.1 Szenarienvergleich mittels Bauleitplänen

Ziele

Im folgenden Szenarienvergleich werden räumlich und sachlich einschlägige Bebauungspläne (vgl. Anlage 9) entsprechend ihrer Vorgaben zur Dachbegrünung auf den analysierten Gebäudebestand des ganzen Untersuchungsgebietes projiziert und hinsichtlich ihres hypothetischen Wirkungsbereichs analysiert. Ziel ist es, die ursprünglich auf wenige Flurstücke beschränkten Geltungsbereiche in hypothetischen Szenarien auf das ganze Untersuchungsgebiet zu übertragen. Es wird angenommen, dass die Dachbegrünungssatzung auf den betroffenen baulichen Anlagen flächendeckend und sukzessive umgesetzt wird. Die Ergebnisse beschränken sich dabei vorerst nur auf die von den Gebäudeeigentümern zu begrünenden Dachflächen bereits bestehender Gebäude. Auch wird zunächst ignoriert, dass wegen

des Bestandsschutzes für Eigentümer zwischen dem Zeitpunkt des Satzungsbeschlusses und der tatsächlichen Anpassung an einen solchen eine zeitliche Latenz liegt, die nur schwer determiniert werden kann. Im weiterführenden Kapitel wird versucht, mittels einer zeitlichen Hochrechnung jährlicher Daten zu genehmigungspflichtigen Baumaßnahmen diesen Zeitverzug einzuschätzen. Dabei wird auch das umzusetzende Flächenpotential berücksichtigt, welches im Zuge von Neubau im Untersuchungsgebiet voraussichtlich entstehen wird.

Legitimierung des Geltungsbereiches und Vorbereitung des Datensatzes

Der Datensatz mit den 5.253 begrünbaren und nicht begrünbaren Gebäudeeinheiten wurde zur Errechnung der hier relevanten Netto-Potentialfläche $ADB_{PotNetto}$ für flächendeckende Dachbegrünungssatzungen um folgende Flächen bereinigt:

- Bestehende Gründächer ($ADB_{Bestand}$) mit Vegetationsanteil über 25 % (also 50 %, 75 % und 100 %): Diese Grünflächen können auch bei einer nachträglichen Anpassung an eine Begrünungssatzung nicht gravierend erhöht werden
- Features mit Denkmalschutzfilter = 1 (Bauliche Anlagen, bei denen es sich um Baudenkmäler handelt oder die innerhalb des Denkmalschutz-Ensembles in den Nahbereich (hier 25 Meter) eines Baudenkmals fallen)

Die Belange des Denkmalschutzes und des Erhalts des Stadtbildes stehen einer hypothetischen flächendeckenden Begrünungssatzung, die sich vor allem auf das Gestaltungsbild der Altstadt auswirken würde, abwägungsrelevant entgegen. Es wird zudem nicht zwischen beplanten und unbeplanten Flächen differenziert. Denn in nach § 30 BauGB beplanten Gebieten können durch Bebauungsplanänderung bisherige Festsetzungen des entsprechenden Geltungsbereiches aufgehoben werden, während für nach § 34 BauGB unbeplante Gebiete ein neuer Bebauungsplan aufgestellt werden kann. Zudem ist es möglich, dass flächendeckend für den Innenbereich Vorgaben zur Gebäudebegrünung durch örtliche Bauvorschrift geregelt werden. Anpassungen bezüglich der Gebäudefunktionen wurden nicht durchgeführt. Den hypothetischen Satzungen wird attestiert, sich räumlich sowie sachlich auf alle potentiell begrünbaren Dächer zu beziehen und dabei nicht zwischen Gebäuden, Nebengebäuden oder Garagen zu differenzieren.

Der Szenarienvergleich wurde auf Grundlage der 3.721 verbleibenden Hausumringe durchgeführt. Die Parameter zur Bestimmung des letztlichen Begrünungspotentials wurden den Vorgaben der in Anlage 9 aufgeführten Bebauungsplänen entnommen. Im für Szenario 1 geltenden Bebauungsplan der Plannummer 7.01.12 (12. Änderung des Bebauungsplans

„Südliche Sanderau“) finden sich unter den textlichen Festsetzungen gemäß BauGB neben Angaben zur Begrünung von Tiefgaragen folgende zur Dachbegrünung (vgl. Abb. 30):

3.6.5 Dachbegrünung

Flachdächer von Gebäuden, Garagen und Nebenanlagen sind ab einer Fläche von 20 m² (senkrechte Projektionsfläche) zu 80 % begrünen. Die Dachbegrünung ist mit einer Substratschicht (Vegetationstragschicht) von mindestens 10 cm Stärke (strukturstabil, gemessen ohne Drain- und Filterschicht) herzustellen, flächig zu bepflanzen oder fachgerecht anzulassen und dauerhaft zu erhalten.

Es dürfen grundsätzlich nicht mehr als 15 % der Dachfläche durch Dachaufbauten, Austritte, Fluchtwege, Belüftungsfächen oder technische Einrichtungen überbaut werden. Davon ausgenommen ist eine Kombination der Dachbegrünung mit aufgeständerten Solaranlagen zulässig. Insgesamt müssen dabei mindestens 70 % der Dachfläche als reine begrünte Dachflächen (freie senkrechte Projektionsfläche) hergestellt werden.

Der Nachweis ist im Bauantrag prüfbar darzustellen.

Die Begrünungsmaßnahmen müssen mit der Baufertigstellung der jeweiligen Bauvorhaben abgeschlossen sein. Die Begrünungsziele (Anwuchserfolg und flächendeckende Begrünung) sind nach einem Zeitraum von 2 Jahren Fertigstellungs- und Entwicklungspflege vollumfänglich nachzuweisen. Ausgefallene Pflanzen sind vom Eigentümer rechtzeitig gleichwertig zu ersetzen.

Abbildung 30: Ausschnitt der textlichen Festsetzungen aus B-Plan mit Nummer 7.01.12.
Quelle: Stadt Würzburg Baureferat/FA Bauleitplanung.

Die hier relevante maximale Dachneigung kann durch negative Definition den Bestimmungen unter Punkt 4.2.1 zu Dachform, Dachaufbauten und Dachgestaltung entnommen werden: Danach sind im beplanten Gebiet neben Flachdächern Satteldächer mit einer Dachneigung zwischen 8° und 35° zulässig. Als Flachdächer wurden somit Dächer mit Dachneigungen von maximal 8° eingestuft. Zudem sind 80 % eines Flachdaches zu begrünen, ausgehend von der senkrechten Projektionsfläche, die durch die ALKIS-Daten gut abgebildet wird. Dementsprechend wurden mit dem Heterogenitätsfilter Dachflächen ausselektiert, deren Neigungspixelfläche auf einem Dachanteil von unter 20 % Werte über 10° aufweist (in Annäherung an die 8°). Dies stellt sicher, dass tatsächlich dieser hohe Anteil der Dachfläche flach und für Begrünung geeignet ist und nicht durch Aufbauten, Austritte, technische Einrichtungen usw. überbaut ist. Die Gesamtfläche eines Potentialdachs darf im Ergebnisprotokoll zudem nur als zu 80 % begrünbar ausgewiesen werden und wurde deshalb mit dem Faktor 0,8 multipliziert. Als Referenzfläche zur Bestimmung der Mindestfläche wurden die großen Hausumring-Polygone verwendet, deren Fläche mindestens 20 m² betragen muss. Analog zu diesem Verfahren wurde auch den anderen Szenarien vorgegangen, indem die Abfrage der jeweiligen $ADB_{PotNetto}$ über Parameter definiert wurde, die direkt aus den in Anlage 9 aufbereiteten Bebauungsplänen entnommen wurden.

Ergebnisse

Behandelt wurden vier relativ unterschiedliche hypothetische Dachbegrünungssatzungen. Die ersten drei orientieren sich hinsichtlich ihrer Vorgaben an rechtskräftigen Bebauungsplänen, deren Geltungsbereiche innerhalb des Untersuchungsgebiets liegen (s.u.). Im vierten Szenario wird von einer Satzung ausgegangen, welche Begrünung auch für steile Dächer mit bis zu 45° Dachneigung fordert. Hier sei auf die in Kapitel 2.3 geführte Diskussion der Begrünbarkeit von Steildächern hingewiesen. Das 45°-Szenario offenbart – bei der der Methodik geschuldeter Vernachlässigung bautechnischer Faktoren – das maximal zu erreichende nachträgliche Dachbegrünungspotential im Untersuchungsgebiet.

Szenario Plan 7.01.12: 12. Änderung des Bebauungsplans „Südliche Sanderau“

Dachneigung $\leq 8^\circ$	Zu begrünender Dachanteil $\geq 80\%$	Mindestfläche 20 m ²
Umsetzbare Netto-Potentialfläche (Anzahl betroffener Dächer N): 111.74 m ² * 0,8 = 89.392 m² (N = 817 von 3.721)		

Szenario Plan 7.01.13: 13. Änderung des Bebauungsplans „Südliche Sanderau“

Dachneigung $\leq 10^\circ$	Zu begrünender Dachanteil $\geq 50\%$	Mindestfläche 20 m ²
Umsetzbare Netto-Potentialfläche (Anzahl betroffener Dächer N): 125.738 m² (N = 1.258 von 3.721)		

Szenario Plan 01.16.2: 2. Änderung des Bebauungsplans „Schürerstraße“

Dachneigung $\leq 5^\circ$	Zu begrünender Dachanteil $\geq 80\%$	Mindestfläche k.A. (somit 14 m ²)
Umsetzbare Netto-Potentialfläche (Anzahl betroffener Dächer N): 85.297 m² (N = 927 von 3.721)		

Szenario Steildach: Theoretische Begrünbarkeit von auch nicht flachen Dächern

Dachneigung $\leq 45^\circ$	Zu begrünender Dachanteil kleiner Hausumringe (0,5 Meter-Puffer)	Mindestfläche k.A. (somit 14 m ²)
Umsetzbare Netto-Potentialfläche (Anzahl betroffener Dächer N): 510.310 m² (N = 3.141 von 3.721)		

Die Ergebnisse lassen vermuten, dass sich die strengere Beschränkung der maximalen Dachneigung stärker auf die im Modell erzielte Begrünungsfläche auswirkt, als eine niedrigere Maßgabe zur Mindestfläche der zu begrünenden Einheiten. In Szenario 01.16.2 gibt es keine Angabe zur Mindestfläche. So wird im Modell wegen der nicht vorhandenen Flächeneinschränkung trotz der limitierenderen Neigungsvorgabe zwar eine höhere Anzahl als in Szenario 7.01.12 als begrünbar ausgewiesen. Der dabei entstehende Flächenpool ist jedoch vergleichsweise gering.

Für eine Einschätzung der Auswirkungen bei unterschiedlichen Einstellungen der Parameter wurden die Variablen Dachneigung und Mindestfläche miteinander verglichen. Abbildung 31 zeigt, dass unter hypothetischer Verwendung von Schwellenwerten, die denen der behandelten Festsetzungen ähneln, die Dachneigung sich weitaus signifikanter auf die resultierende Dachfläche auswirkt als eine Veränderung der Mindestfläche. Eine sinkende maximale Dachneigung korreliert stärker mit der resultierenden Flächenminderung als eine sich in vergleichbaren Schritten erhöhende Mindestfläche. Die Festsetzung eines bestimmten Dachneigungswerts in der textlichen Festsetzung einer Begrünungssatzung hat also einen weitaus stärkeren (limitierenden) Einfluss auf die damit erzielbare Dachbegrünung.

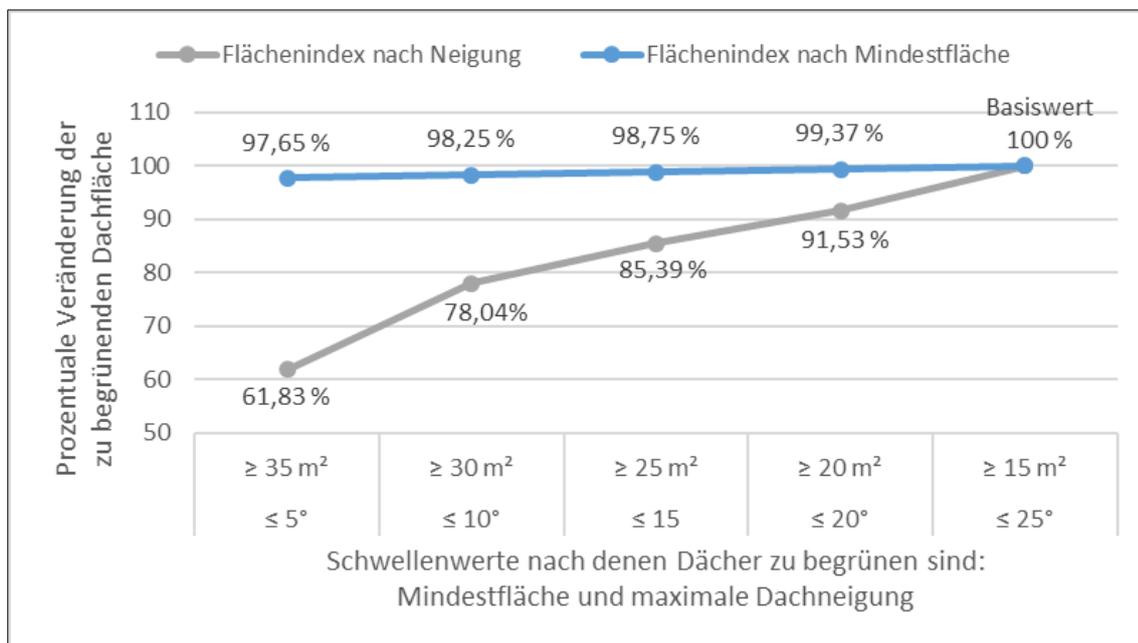


Abbildung 31: Vergleich räumlicher Wirkung einer Begrünungssatzung nach Schwellenwerten
Quelle: Eigene Darstellung.

7.2.2 Hochrechnung der umsetzbaren Potentialfläche

Ziele

In diesem Kapitel wird versucht, mittels einer zeitlichen Hochrechnung den Zeitverzug zwischen Beschluss einer hypothetischen Begrünungssatzung und einer entstehenden Anpassungspflicht an diese Vorgaben zu schätzen. Das Ergebnis kann als Orientierungswert zur Geschwindigkeit der Durchsetzung bauleitplanerischer Vorgaben wie Dachbegrünung aufgefasst werden. Für die Hochrechnungsanalyse wurden von der Fachabteilung Statistik Daten zu genehmigungspflichtigen Baumaßnahmen nach Stadtteil bezogen. Die jährlichen Zahlen zu Baumaßnahmen an bestehenden Gebäuden und zu jährlichen Fertigstellungen von Gebäuden verlaufen über einen Zeitschnitt von 5 Jahren (2014 – 2018). Die kommunale Statistikstelle erfasst und pflegt diese Daten nach allen 13 Stadtbezirken seit dem Jahr 2014. Da es sich dabei um eine Bestandsaufnahme von ausschließlich Wohngebäuden und Wohnungen handelt, konnten für die Analyse nur solche Hausumringe der Funktionskategorie *Wohngebäude* verwendet werden. Diese machen mit 1.590 Einheiten etwa 30 % des Dachflächen-Datensatzes aus. Im Datensatz enthaltene Wohngebäude mit Dachneigungen bis 10° (N = 161 Wohngebäude) weisen eine potentielle Begrünungsfläche von insgesamt 12.383 m² auf. Nach LFSTAT handelt es sich bei Wohngebäuden um Gebäude, die mindestens zur Hälfte – gemessen am Anteil der Wohnfläche – dem Wohnzweck dienen (vgl. 2019: 23).

Für die Analyse interessierten vorerst nur Gebäude, die durch Umbau (ohne Abriss) eine bauliche Änderung erfahren haben und somit einer Anpassungspflicht an geltende öffentlich-rechtliche Vorgaben wie die der nachträglichen Dachbegrünung unterstehen. Anschließend wurde anhand der Zahlen zum jährlichen Neubau und zu Umbau mit Abriss das künftige Flächenpotential für Begrünung auf Dächern abgeschätzt, die nicht Gegenstand dieser GIS-Analyse sein konnten, aber dennoch den Flächenpool erweitern. Da in der Statistik keine Merkmale zur Gebäudefläche (nur Wohnfläche) oder zur Dachart aufgeführt sind, musste anhand des vorliegenden Datensatzes der Hausumringe (Wohngebäude) geschätzt werden, wie hoch der Anteil an Flachdächern im Untersuchungsgebiet ist und wie hoch die daraus resultierende Begrünungsfläche ist. Das Verhältnis an für Dachbegrünung geeignete Wohngebäude wurde alsdann auf die jährlichen Umbaumaßnahmen bezogen. Unter einem sehr hohen Unsicherheitsfaktor konnte so die Zahl der baulichen Änderungen von Gebäuden mit flachem Dach beziffert werden und daraus die künftig im Zuge von Neu- oder Umbauten

und den damit einzuhaltenden bauplanerischen Vorgaben begrünzte Fläche pro Jahr abgeleitet werden.

Ergebnisse der Hochrechnung von Umbaumaßnahmen

Tabelle 15: Jährliche Umbaumaßnahmen an Wohngebäuden nach Stadtbezirk.
Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der FA Statistik Würzburg.

	2014	2015	2016	2017	2018	jährl. Mittel
Altstadt	24	18	26	13	23	20,8
Sanderau	8	13	15	15	8	11,8
Würzburg	117	82	186	114	129	125,6

Die jährlichen Mittelwerte der Stadtbezirke Altstadt und Sanderau zusammenaddiert, ergibt sich mit einem Wert von **32,6** die mittlere Zahl der jährlichen im Untersuchungsgebiet angesiedelten Wohngebäude, die im Zuge baulicher Änderungen eine Baugenehmigung erhalten (vgl. Tab. 15). Dies ergibt unter den 1.590 im GIS erfassten Wohngebäuden einen Anteil von 2,05 %. Eine Abfrage im Datensatz der Hausumringe ergab, dass 161 Wohngebäude eine maximale Median-Neigung von 10° aufweisen (Flachdach-Wohngebäude). Der daraus resultierende Gebäudeanteil von **10,12 %** ($161 / 1.590 * 100$) diene als Orientierungswert für den in den beiden Stadtbezirken herrschenden Anteil an Wohngebäuden mit Flachdach. Unter der Annahme, dass dieses Verhältnis auch unter den jährlichen Umbaumaßnahmen von Wohnhäusern besteht, wurde ein Wert von jahresdurchschnittlich **3,3 umgebauten Wohngebäuden mit Flachdach** ermittelt ($32,6 * 10,12 \%$). Da die mittlere Fläche aller Flachdach-Wohngebäude 76,91 m² aufweist, ergibt sich durch die 3,3 Wohngebäude eine geschätzte, durch Bauleitplanung jährlich nachträglich umsetzbare Begrünungsfläche von **252,8 m²** ($3,3 * 76,91 \text{ m}^2$). Bei einer potentiellen Begrünungsfläche entsprechend ermittelter Wohngebäude mit Dachneigung $\leq 10^\circ$ von insgesamt **12.383 m²**, würde die nachträgliche Begrünung unter Annahme einer sich nicht verändernden Umbauquote knapp **49 Jahre** bis zur vollständigen Umsetzung brauchen ($12.383 \text{ m}^2 / 252,8 \text{ m}^2$). Bei diesem Zeitwert wird angenommen, dass innerhalb von 49 Jahren alle begrünbaren Wohngebäude einen Umbau erfahren haben.

Es kann vermutet werden, dass damit die Geschwindigkeit städtischer Begrünungsmaßnahmen mit bauleitplanerischen Mitteln unterschätzt wird, da Neubauvorhaben in die Statistik nicht einbezogen wurden. Zudem handelt es sich bei den hier an die statistische Erhebung angepassten Datensatz nur um Wohngebäude, bei denen es sich nur um einen kleinen Teil der begrünbaren Gebäude im Untersuchungsgebiet handelt. Besonderes Flächenpotential weisen aber gerade großflächige gewerbliche oder öffentliche Gebäude auf.

Ergebnisse der Hochrechnung Umbau und Neubau

Tabelle 16: Jährlich fertiggestellte Wohngebäude nach Stadtbezirk.
Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der FA Statistik Würzburg.

	2014	2015	2016	2017	2018	jährl. Mittel
Altstadt	7	0	4	0	9	4
Sanderau	2	1	1	0	2	1,2
Würzburg	23	18	55	41	56	38,6

In der Stadt Würzburg entstanden über die letzten Jahre weit weniger neue Wohngebäude als es Wohngebäude mit Umbaumaßnahmen gab (vgl. Tab. 15). Im Untersuchungsgebiet der Altstadt und Sanderau kommen im Schnitt 5,2 Wohngebäude jährlich hinzu. Zusammenaddiert mit den Umbaumaßnahmen ergibt sich für das Gebiet ein Wert von **37,8** Wohngebäuden, die jährlich genehmigungs- und anpassungspflichtig sind ($5,2 + 32,6$). Dies macht 2,38 % aller Wohngebäude im Untersuchungsgebiet aus. Verrechnet mit dem Verhältnis an Gebäuden mit flachem Dach ergeben sich **3,83** neue oder umgebaute Wohngebäude die jährlich für eine Dachbegrünung in Frage kommen ($37,8 * 0,1012$). Multipliziert mit der durchschnittlichen Dachfläche eines Wohngebäudes mit Flachdach ergeben sich **294,57 m²** an potentiell begrünbarer Fläche ($3,83 * 76,91 \text{ m}^2$). Bei einer potentiellen Begrünungsfläche entsprechender Wohngebäude mit Dachneigung $\leq 10^\circ$ von insgesamt 12.383 m², würde die nachträgliche Begrünung unter Annahme einer sich nicht verändernden Umbau- und Neubauquote rund **42 Jahre** bis zur vollständigen Umsetzung dauern ($12.383 \text{ m}^2 / 294,57 \text{ m}^2$).

Fehlerquellen

Bei der Interpretation der Hochrechnungsergebnisse müssen folgende Unsicherheitsfaktoren berücksichtigt werden:

- Zeitliche Hochrechnung der Bauaktivität:

Die Zeitreihen sind zu kurz, um daraus einen mittleren jährlichen Wert generieren zu können, der die zukünftige Bauaktivität signifikant prognostizieren kann. Dennoch eignet sich ein Durchschnittswert besser zur Prognose als eine lineare Trendgerade, da sich aufgrund der teils hohen Abweichungen um den Mittelwert kein klarer Trend ableiten lässt.

- Annahme der Begrünbarkeit von Gebäuden:

Wie im Kapitel der Ergebnisse der Potentialanalyse geschildert, können Abfragen bestimmter Dachneigungsparameter keine maximale Sicherheit bezüglich der tatsächlichen Begrünbarkeit eines Daches ausweisen. In Ermangelung an statistischen Merkmalen zur Differenzierung von Dacharten, wurde in diesem Modell ein maximaler Dachneigungswinkel von 10° gewählt, um begrünbare Flachdächer zu detektieren.

- Annahme eines analogen Flachdach-Verhältnisses auf die Baustatistik:

Das Flachdach-Verhältnis des gesamten Untersuchungsgebiet wurde ebenso auf die Baustatistik der Jahre 2014 bis 2018 übertragen. Es wird jedoch vermutet, dass dieses Verhältnis und die daraus resultierende begrünbare Gebäudezahl unterschätzt wird. Tendenziell steigt der Anteil an Gebäuden mit Flachdach an, sei es im Rahmen der Innenverdichtung oder der Aufstockung von Wohngeschossen (vgl. GLOY 2019, Anlage 8). Die ausgewiesene jährliche Fläche an Wohngebäuden mit Flachdach kann also als tendenziell unterschätzt angesehen werden.

- Annahme der Fläche der Umringe als begrünbare Fläche:

Natürlich stellt die geschätzte durchschnittliche Dachfläche eines zu begrünenden Gebäudes nur eine maximal zu erzielende Vegetationsfläche je Gebäude dar. Hinsichtlich der Hochrechnung der Dauer bis zur Umsetzung der Gesamtfläche spielt dieser Aspekt jedoch keine Rolle, weil es sich bei diesem Wert um das Verhältnis der maximalen insgesamten Begrünungsfläche und der maximalen jährlichen Begrünungsfläche handelt.

- Räumlicher Bezug der Baustatistik:

Das Untersuchungsgebiet bildet nur den rechtsmainischen Teil der Altstadt ab. Der Fehler durch Überschätzen der dortigen Bauaktivität kann jedoch als gering eingestuft werden, da die linksmainische Altstadt einen sehr geringen Flächenanteil und Gebäudeanteil aufweist.

8. Zusammenfassung und Fazit

Die extensive Dachbegrünung stellt wegen ihrer geringen Anforderungen an die Dachform, ihrer klimatischen Belastbarkeit und ihrer multifunktionalen Wirkungsweise eine geeignete Maßnahme der Klimaanpassung im Rahmen der nachhaltigen und auf Resilienz ausgerichteten Stadtentwicklung dar. In den eng bebauten Stadtgebieten kann sie dort die grüne Infrastruktur vernetzen, wo eine bodengebundene Begrünung von Freiflächen oder Baulücken im Nutzungskonflikt mit Wohnbebauung, Wirtschaft oder Verkehr zurückgedrängt würde. Sie vermag Klimarisiken zu vermindern und gleichzeitig zur Verbesserung des Stadtklimas beizutragen und leistet dabei direkte und indirekte Beiträge zur Wertschöpfung von Kommunen. Die Kosten für die Installation der Systeme und für die Pflege der anspruchslosen Vegetation können laut einschlägiger Untersuchungen durch Einsparungen von Dachsanierungskosten und Energiekosten sowie durch Wertsteigerung der Immobilie innerhalb einiger Jahre kompensiert werden. Finanzielle Unterstützung durch Förderprogramme und durch einsparbare Niederschlagsgebühren erhalten Eigentümer für Dachbegrünungsmaßnahmen in einer steigenden Zahl von deutschen Kommunen. Auch wird eine im Rahmen von Bebauungsplänen oder örtlichen Bauvorschriften festgesetzte extensive Dachbegrünung zur Erhöhung der städtebaulichen Resilienz von den Stadtverwaltungen als den Eigentümern zumutbare Forderung angesehen. Trotz eines wahrnehmbaren Trends in Neubaugebieten und an den Ortsrändern bleibt die Dachbegrünung meist dort aus, wo am dringendsten Klimaanpassungsmaßnahmen erforderlich wären - so auch in den zentralen Lagen der hier behandelten Stadt Würzburg.

Im konkreten Untersuchungsgebiet – den Stadtbezirken Altstadt und Sanderau – wurden mittels manueller Klassifikation knapp 100 bereits (anteilhaft) begrünte Dächer ermittelt. Die Dachvegetationsfläche ist mit circa 39.000 m² jedoch relativ überschaubar und in Teilen pflegebedürftig. Die Stadtbezirke in den Randlagen Würzburgs, wie Versbach oder Heuchelhof, weisen dagegen eine beachtliche Dichte an Gebäuden mit vitaler Dachbegrünung auf. Unter allen 13 Stadtbezirken haben die beiden hier untersuchten die niedrigsten Vege-

tationsanteile und den höchsten Versiegelungsgrad. Nach aktuell vorliegender Klimafunktionskarte sollten wesentliche Teile des vier Quadratkilometer großen Gebietes im Fokus städtebaulicher Umbau- und Sanierungsmaßnahmen stehen. Die Notwendigkeit möglicher Begrünungsmaßnahmen steht dabei im Kontrast zu den auf den ersten Blick eingeschränkten Begrünungsmöglichkeiten. Mit dem fernerkundlichen Ansatz dieser Arbeit konnten für das innerstädtische Würzburg erstmals Geodaten zu bereits bestehenden Gründächern und zu einem beachtlichen Flächenpotential für die nachträgliche Dachbegrünung generiert werden. Anknüpfend an die mit anderen deutschen Mittel- und Großstädten erprobten Verfahren von ANSEL et al. 2015, KLÄRLE et al. 2017 und GRUNWALD et al. 2017 wurden für das Würzburger Untersuchungsgebiet von der Bayerischen Vermessungsverwaltung Luftbilder (DOP 20), Höhendaten (LiDAR) und amtliche Gebäudeumriss-Daten (Hausumringe) bezogen, mit dem Geoinformationssystem ArcMap (Software ArcGIS von ESRI) zu einer dreidimensionalen Dachlandschaft verarbeitet und hinsichtlich der Begrünungskriterien Neigung, Homogenität, Größe und Funktion analysiert. Natürlich kann eine abstrahierende fernerkundliche Analyse keine bautechnische Einzelfallprüfung vor Ort ersetzen. Sie lässt aber kostengünstig und flächendeckend auf das Ausmaß und die Standorte teils versteckter Flächenreserven schließen und eröffnet die Möglichkeit weiterführender Analysen zur ökologischen oder städtebaulichen Wirkung sowie zu ökonomischen Fragestellungen. In diesem Kontext liefert die vorliegende Arbeit konkrete Erkenntnisse für das Untersuchungsgebiet (Grünbestandsfläche, Grünpotentialfläche, förderfähige Projektkosten, potentielle Förderkosten, bauleitplanerische Aktivierungsdauer potentieller Dachbegrünung) als auch allgemeine methodische Ansätze für Potentialanalysen (Wahl der Dachneigungsparameter) sowie für städteplanerische Fragestellungen (Denkmalschutzfilter, bauleitplanerischer Szenarienvergleich).

Mit dem durchgeführten GIS-Verfahren konnten in den Stadtbezirken Altstadt und Sanderau über 5.000 Dachflächen sechs verschiedenen Dachneigungsklassen zugeordnet und in einer Karte visualisiert werden, aus denen sich ein bestimmtes Potential für die nachträgliche Dachbegrünung ableiten lässt. Unter Einbezug weiterer statistischer Kriterien wurden über 1.800 Präferenzdächer mit einer Gesamtfläche von knapp 330.000 m² detektiert, die sich aufgrund ihrer flachen, homogenen und ausreichend großen Formen für die nachträgliche Begrünung besonders eignen. Das entspricht circa 35 % aller nicht begrünter Dächer und circa 8.25 % der gesamten Fläche im Untersuchungsgebiet. In den meisten Fällen handelt es sich bei den Präferenzdächern um kleinflächige Flachdächer (< 100 m²) von Nebengebäuden, Garagen oder um Überdachungen, die von den Privateigentümern möglicherweise ohne

erheblichen Aufwand nachträglich begrünt werden könnten. Zudem weisen die zwar weniger zahlreichen, aber großflächigen Präferenzdächer (über 600 Einheiten mit je $\geq 100 \text{ m}^2$) ein enormes Flächenpotential auf (ca. 166.500 m^2), das mit wenigen gezielten Begrünungsmaßnahmen auf Gebäuden für Wirtschaft oder Gewerbe oder auf teils öffentlichen und Gebäuden für Bildung und Forschung umgesetzt werden könnte.

Insbesondere in der Sanderau befindet sich – neben vergleichsweise vielen potentiell begrünbaren und teilweise bereits begrünenden Geschosswohnungsbauten – eine Vielzahl an begrünbaren Garagendächern. In der Altstadt innerhalb des Ringparks, wo vorab mittels eines Denkmalschutzfilters alle Baudenkmäler und Nähebereiche großzügig ausgefiltert wurden, beschränkt sich das Begrünungspotential für private Maßnahmen überwiegend auf in den Hinterhöfen von Wohnquartieren liegende Überdachungen sowie auf die Wohngebäude der Nachverdichtung. Die teils als Zugang zu den Rückgebäuden begehbaren Flachdächer eignen sich möglicherweise auch für Intensivbegrünungen.

Die Möglichkeit einer nachträglichen Extensivbegrünung von in der inneren Altstadt dominierenden eingedeckten Steildächern konnte im Rahmen der Rechercharbeit nicht ausgeschlossen werden. Dass eine entsprechende Nachrüstung selbst von großflächigen Schrägdächern mit bis zu 45° Neigung bautechnisch möglich ist, beweist z.B. ein niederländisches Sanierungsvorhaben eines alten Schulgebäudes. Da grüne Schrägdächer in der deutschen Baukultur nicht etabliert sind, beschränkt sich die Expertise der hiesigen herstellenden und ausführenden Fachfirmen jedoch auf die Nachrüstung von Flachdächern. Allerdings bestehen bereits Ausnahmen im deutschen Nischenmarkt der Steildachbegrünung. Im Vergleich zur nachträglichen Flachdachbegrünung kann entsprechend des aktuellen bautechnischen Stands ein kaum abweichender, gegebenenfalls aber auch unverhältnismäßig großer Kosten- und Arbeitsaufwand konstatiert werden, der sich nur im Einzelfall spezifizieren und deshalb nur bedingt bauleitplanerisch formalisieren lässt. Ein in der dieser Arbeit durchgeführtes SteildachszENARIO ergab eine um ein vielfaches höhere begrünbare Potentialfläche von über 500.000 m^2 . Aus Perspektive des Stadtbildes bzw. Denkmalschutzes ist eine Begrünung von Steildächern in der historischen Altstadt unter restriktiver Prüfung von Einzelvorhaben und deren Wirkung im Denkmalschutz-Ensemble generell nicht unmöglich, wobei gleichzeitig ein optischer Flickenteppich in der Dachlandschaft zu vermeiden ist. Eine signifikante Erhöhung des Grünanteils in der zentralen Altstadt ist jedoch keine lokal geeignete Maßnahme der Klimaanpassung.

Unter Berücksichtigung der beschriebenen bautechnischen, städtebaulichen und räumlichen Limitierungen wurden die potentiellen Projektkosten, die bei extensiver Begrünung aller in Frage kommenden Präferenzdächer entstehen würden, auf einen Bereich zwischen 2.175.000 € (nur Hauptadressen) und 5.340.000 € (mit Nebengebäuden) geschätzt. Daraus abgeleitet wurden die sich am aktuellen Förderprogramm orientierenden potentiellen Förderkosten in Höhe von circa 1.150.000 €, wobei der Schätzbereich zwischen 700.000 € und 1.600.000 € liegt (Werte hier gerundet). Die Schätzung kann als ungefährender Orientierungswert für die Höhe der kommunalen Zuwendungen dienen, die bei einer vollständigen Aktivierung der präferierten Potentialdächer verursacht würde. Anzumerken ist, dass bereits bestehende Begrünung im Rahmen des Förderprogramms auch saniert werden könnte. Dies ist in der Stadt München der Fall, wo Sanierungen von Gründächern gefördert werden können, wenn das Gebäude vor 1996 errichtet wurde.

Auf Seite der bauleitplanerischen Aktivierung des detektierten Flächenpotentials wurde – mittels einer Fortschreibung der Statistik zu den jährlichen genehmigungspflichtigen Baumaßnahmen im Wohnbereich zwischen 2014 und 2018 – der Zeitverzug zwischen dem Beschluss einer hypothetischen Begrünungssatzung (flächendeckende Begrünung aller Flachdächer bis zu 10° Dachneigung) und einer entstehenden Anpassungspflicht seitens der Eigentümer geschätzt. Die im Datensatz ermittelten geeigneten Wohnobjekte, mit einer begrünbaren Fläche von über 12.000 m², würden bei einer sich nicht verändernden Umbauquote im Untersuchungsgebiet knapp 50 Jahre bis zur vollständigen Umsetzung der Begrünungsvorgaben benötigen. Das Ergebnis kann als Orientierungswert zur Geschwindigkeit der Durchsetzung bauleitplanerischer Vorgaben zur Dachbegrünung aufgefasst werden. Im Hinblick auf die Aktivierbarkeit der detektierten Potentialdächer im Untersuchungsgebiet ist es diskutabel, ob eine flächendeckende Begrünungssatzung als örtliche Bauvorschrift oder eine Freiflächengestaltungssatzung nach Vorbild der Stadt München durchführbar ist. Entsprechend eines neuen Bebauungsplans zur Südlichen Sanderau (12. Änderung) kann eine fortschreitend zu erwirkende Dachbegrünung jedoch im Huckepack-Prinzip formalisiert werden. Dachbegrünung wird dabei nicht als Selbstzweck verstanden, sondern wird als Auflage mit dem dominanten Ziel des Wohngeschossausbaus zur Erhöhung der Wohnfläche bei gleichzeitiger Wahrung der Siedlungsstruktur festgesetzt. Gerade diese Art der (doppelten) Innenentwicklung stellt eine städtebaulich und politisch vertretbare Möglichkeit dar, den Grünanteil im Stadtgebiet zu erhöhen. Zudem zeigten Berechnungen im Rahmen eines Vergleichs geltender Festsetzungen zur Dachbegrünung, dass die Festlegung eines bestimmten

Dachneigungswerts einen weitaus stärkeren bzw. limitierenden Einfluss auf die damit erzielbare Dachbegrünung ausübt als die Festlegung einer bestimmten Mindestprojektionsfläche. Im Zuge einer textlichen Ausgestaltung einer entsprechenden Satzung zur erweiterten Dachbegrünung kann mit einem Verfahren wie dem gezeigten Szenarienvergleich die Wirkung im Geltungsbereich vorab abgeschätzt werden.

Das im Rahmen dieser Thesis auf das lokale Untersuchungsgebiet angewandte GIS-Verfahren sowie die dabei gewonnenen Geodaten können somit als inkrementelle Bausteine für zusätzliche Analysen der Stadt Würzburg nutzen, sie können aber auch als Planungs- und Orientierungsgrundlage bei der Förderung oder der bauleitplanerischen Steuerung von Dachbegrünungsmaßnahmen dienen.

Literaturverzeichnis

- ADV (ARBEITSGEMEINSCHAFT DER VERMESSUNGSVERWALTUNGEN DER LÄNDER DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND) (Hrsg.) (2008): *Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok): Erläuterungen zu ALKIS Version 6*. URL: <http://www.adv-online.de/AAA-Modell/Dokumente-der-GeoInfoDok/> (Abrufdatum: 08.07.2019).
- ANSEL, W. (2012): „Gebäudebegrünung und Stadtplanung“. In: Köhler, M. (Hrsg.): *Handbuch Bauwerksbegrünung: Planung – Konstruktion – Ausführung*. Köln, S. 19-26.
- ANSEL, W., ZEIDLER, J., ESCH, T. (2015): „Fernerkundliche Identifizierung von Vegetationsflächen auf Dächern zur Entwicklung des für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes aktivierbaren Flächenpotenzials in den Städten.“ Abschlussbericht des Entwicklungsprojektes gefördert unter dem Az. 30299 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Osnabrück.
- ATKA (ATKA KUNSTSTOFFVERARBEITUNG GMBH) (2019): Atka Kunststoffverarbeitung GmbH, TOPGREEN Gründachsysteme, 49393 Lohne (Oldenburg): E-Mail-Korrespondenz (Anhang). Würzburg, 29.04.2019.
- BAUM (B.A.U.M. CONSULT GMBH) (Hrsg.) (2012): *Integriertes Klimaschutzkonzept für die Stadt Würzburg*. URL: <https://www.wuerzburg.de/themen/umwelt-verkehr/klimaundenergie/klimaschutz-in-wuerzburg/405568.Das-Klimaschutzkonzept-der-Stadt-Wuerzburg---Situation.-Potenziale.-Ziele.-Massnahmen.html> (Abrufdatum: 27.08.2019).
- BAUMHAUER, R., CONRAD, C. (2016): „Ein Blick aus dem Weltall“. In: Hahn, B., Baumhauer, R., Wiktorin, D. (Hrsg.): *Atlas Würzburg – Vielfalt und Wandel der Stadt im Kartenbild*. Würzburg, S. 22-25.
- BAYERISCHE STAATSREGIERUNG (Hrsg.) (2016): *Bayerische Klima-Anpassungsstrategie*. URL: <https://www.bestellen.bayern.de> (Abrufdatum: 27.08.2019).
- BILL, R., BERNARD, L., BLANKENBACH, J. (2015): „Geoinformationssysteme“. In: Kummer, K., Kötter, T., Eichhorn, A. (Hrsg.): *Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen*. Berlin, S. 325-274.
- BKR ESSEN (BÜRO FÜR KOMMUNAL- UND REGIONALPLANUNG ESSEN) (Hrsg.) (2014): *Machbarkeitsstudie für Klimaanpassungspotenziale im Innenstadtbereich von Bottrop*. Bottrop.
- BLÄSER, K., DANIELZYK, R. (2012): *Urbanes Grün in der integrierten Stadtentwicklung. Strategien, Projekte, Instrumente*. Düsseldorf.

- BLfD (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE) (Hrsg.) (2019): „Bayerischer Denkmal-Atlas“ (Anwendung). URL: <http://www.denkmal.bayern.de> (Abrufdatum: 09.08.2019).
- BMU (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT) (Hrsg.) (2015): „Zukunftsfähige Städte brauchen urbanes Grün“ (Pressemitteilung Nr. 131/15). URL: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/zukunftsfahige-staedte-brauchen-urbanes-gruen/> (Abrufdatum: 29.08.2019).
- BMU (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT) (Hrsg.) (2019): „Trends der Lufttemperatur“. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-lufttemperatur#textpart-1> (Abrufdatum: 27.08.2019).
- BMUB (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT) (Hrsg.) (2015): *Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft: Grünbuch Stadtgrün*. URL: <http://www.bmub.bund.de/> (Abrufdatum: 27.08.2019).
- BÖHM, J., BÖHME, C. BUNZEL, A., LANDUA, D., KÜHNAU, C., REINKE, M. (2016): *Urbanes Grün in der doppelten Innenentwicklung*. (= BfN-Skripte, Nr. 444). Bonn.
- BPI (BURGHARDT UND PARTNER, INGENIEURE) (Hrsg.) (2016): *Klimaplanatlas der Stadt Würzburg. Stadtklimatische Analyse mit Planungsempfehlungen*. URL: <https://www.wuerzburg.de/themen/umwelt-verkehr/klimaundenergie/klimaanpassung-der-klimawandel-fordert-uns-heraus/412831.Klimaplanatlas--Auswirkungen-des-Klimawandels-ruecken-in-den-Fokus-der-Stadtplanung.html> (Abrufdatum: 26.08.2019).
- BuGG (BUNDESVERBAND GEBÄUDEGRÜN E. V.): *Grüne Innovation Dachbegrünung*. URL: https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Dachbegruenung/Dachbegruenung_Gruene_Innovation_08-2018_2.pdf (Abrufdatum: 29.08.2019).
- BULLERMANN SCHNEBLE (UMWELTPLANUNG BULLERMANN SCHNEBLE GMBH) (2015): *Potenzialermittlung zur Verbesserung des Wohnumfelds und des Stadtklimas durch Entsiegelung und Begrünung von Baukörpern und Freiflächen in der Innenstadt von Mannheim - Abschlussdokumentation Phase II*. URL: https://www.mannheim.de/sites/default/files/page/69564/potenzialermittlung_dach-_und_fassadenbegruenung_zur_verbesserung_des_stadtklimas.pdf (Abrufdatum: 20.07.2019).
- BURCHARDT, O. (2019): Optigrün International AG, Anwendungstechnik: Onlinechat-Korrespondenz (Anhang). URL: <https://www.optigruen.de/> (Abrufdatum: 25.04.2019). Würzburg, 25.04.2019.

- BUTH, M., KAHLENBORN, W., SAVELSBERG, J., BECKER, I., BUBECK, P., KABISCH, S. (2015): *Germany's vulnerability to Climate Change – Summary*. Dessau-Roßlau.
- CAMPE, S., KATZSCHNER, L., KUPSKI, S. (Hrsg.) (2015): „Klimafunktionskarten als Instrument der Klimaanpassung in der Bauleitplanung“. In: Knieling, J., Müller, B. (Hrsg.): *Klimaanpassung in der Stadt- und Regionalentwicklung – Ansätze, Instrumente, Maßnahmen und Beispiele*. München, S. 344-376.
- DDV (DEUTSCHER DACHGÄRTNER VERBAND E.V.) (Hrsg.) (2016a): *DDV-Praxisratgeber – Das 1 X 1 der Dachbegrünung*. Nürtingen.
- DDV (DEUTSCHER DACHGÄRTNER VERBAND E.V.) (Hrsg.) (2016b): *Kommunale Gründach-Strategien: Inventarisierung, Potenzialanalyse, Praxisbeispiele*. Nürtingen.
- DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST) (Hrsg.) (2019a): „Globale-Durchschnittstemperatur“. URL: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=100932&lv3=101038> (Abrufdatum: 05.08.2019).
- DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST) (Hrsg.) (2019b): *Rückblick auf das Jahr 2018 – das bisher wärmste Jahr in Deutschland*. URL: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190102_waermstes_jahr_in_deutschland_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Abrufdatum: 05.08.2019).
- DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST) (Hrsg.) (2019c): „Klimawandel - ein Überblick“. URL: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/ueberblick/ueberblick_node.html (Abrufdatum: 05.08.2019).
- ENDLICHER, W., SCHERER, D., BÜTER, B., KUTTLER, W., MATHEY, J., SCHNEIDER, C. (2016): „StadtNatur fördert gutes Stadtklima“. In: Kowarik, I., Bartz, R., Brenck, M. (Hrsg.): *Naturkapital Deutschland – TEEB DE: Ökosystemleistungen in der Stadt – Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen*. Berlin, Leipzig, S. 51–63.
- ESRI (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE) (Hrsg.) (2016a): „Speichern von LIDAR-Daten“. URL: <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/storing-lidar-data.htm> (Abrufdatum: 05.08.2019).
- ESRI (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE) (Hrsg.) (2016b): „Überblick über das Toolset Oberfläche“. URL: <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-surface-tools.htm> (Abrufdatum: 05.08.2019).
- ESRI (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE) (Hrsg.) (2016c): „Was ist eine TIN-Oberfläche?“. URL: <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm> (Abrufdatum 14.08.2019).

- ESRI (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE) (Hrsg.) (2016d): „Funktionsweise des Werkzeugs Neigung“. URL: <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-slope-works.htm> (Abrufdatum 14.08.2019).
- ESRI (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE) (Hrsg.) (2019): „LAS-Dataset erstellen“. URL: <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/tool-reference/data-management/create-las-dataset.htm> (Abrufdatum: 05.08.2019).
- FBB (Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.) (Hrsg.) (2017): „FBB-NABU-Umfrage 2016/2017“. URL: <https://www.gebaeudegruen.info/gruen/dachbegruenung/wirkungenvorteile-fakten/foerderung-2019>. (Abrufdatum: 27.08.2019).
- FLL (FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E.V.) (Hrsg.) (2018): *Dachbegrünungsrichtlinien. Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen*. Bonn.
- GEOPLEX (GEOPLEX GIS GMBH) (Hrsg.) (2019): „Gründachkataster Wilhelmshaven“ (Anwendung). URL: <https://gruendach-whv.de/#s=startscreen> (Abrufdatum: 25.07.2019).
- GLOY, D. (2019): Stadt Würzburg, Abteilung Landschaftsplan, Grünordnungsplan in FA Bauleitplanung in FB Stadtplanung: E-Mail-Korrespondenz (Anhang). Würzburg, 06.08.2019.
- GRUNWALD, L., HEUSINGER, J., WEBER, S. (2017): „A GIS-based mapping methodology of urban green roof ecosystemservices applied to a Central European city“. In: *Urban Forestry & Urban Greening* 22 (2017), S. 54-63.
- HALBIG, G., KURMUTZ, U., KNOPF, D. (2016): „Klimawandelgerechtes Stadtgrün“. In: *Informationen zur Raumentwicklung* 6 (2016), S. 675–689.
- HAUTH, M. (2019): *Vom Bauleitplan zur Baugenehmigung: Bauplanungsrecht, Bauordnungsrecht, Baunachbarrecht*. München.
- HENNINGER, S. (2011): *Stadtökologie – Bausteine des Ökosystems Stadt*. Paderborn.
- HERSTELLER 1 (2019): E-Mail-Korrespondenz (Anhang). Würzburg, 01.08.2019.
- HERSTELLER 2 (2019): E-Mail-Korrespondenz (Anhang). Würzburg, 01.08.2019.
- HOLZMÜLLER, K. (2009): „Natürlich Klimaschutz – Grüne Dächer in Düsseldorf: Finanzielle Förderung und quantitative Luftbilddauswertung“. In: *Dachbegrünung in der modernen Städtearchitektur*, S. 145-148.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) (Hrsg.) (2018): „Summary for Policymakers“. In: *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat*

- of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/SR1.5-SPM_de_barrierefrei-2.pdf (Abrufdatum: 10.08.2019).
- JÄGER, E., HEIPKE, C. (2015): „Geotopographie und Photogrammetrie“. In: Kummer, K., Kötter, T., Eichhorn, A. (Hrsg.): *Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen*. Berlin, S. 375-432.
- KATZSCHNER, L. et al. (2012). *Stadtklimaexkursion Würzburg. Erstellung einer Klimafunktionskarte*. Kassel.
- KLÄRLE, M., LANGENDÖRFER, U., LANIG, S., POPP, F. (2017): „GREEN-AREA – Intelligentes Gründachkataster auf der Basis von GIS-Daten“. In: *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement* 142 (3), S. 146-150.
- KOLB, W. (2002a): „Dachbegrünung wirtschaftlich“. In: *Veitshöchheimer Berichte* 66 (2002), S. 161-166.
- KOLB, W. (2002b): *Dachbegrünung zur natürlichen Regulierung von Temperatur- und Wasserhaushalt – Forschungsergebnisse und Perspektiven*. Veitshöchheim.
- KOLB, W. (2003): „Gute Gründe für die Dachbegrünung – Gründach und Regenwasser“. In: *Veitshöchheimer Berichte* 72 (2003), S. 3-11.
- KÖHLER, M. KRESSE, W., BELZ, C. (2011): „Ein Beitrag zum Berliner Umweltatlas. Begrünte Dächer der Bundeshauptstadt“. In: *Dach + Grün* 3 (2011), S. 12-15.
- KÖHLER, M. (2012): Besonderheiten und Vorteile begrünter Architektur. In: Köhler, M. (Hrsg.): *Handbuch Bauwerksbegrünung: Planung – Konstruktion – Ausführung*. Köln, S. 11-18.
- LANDESHAUPTSTADT MÜNCHEN (Hrsg.) (2018): *Richtlinien für das Sonderprogramm der Landeshauptstadt München zur Förderung von Innenhof-, Vorgarten-, Dach- und Fassadenbegrünung, Entsiegelung sowie von naturnaher Begrünung von Firmengeländen. Stand 2018*. URL: <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/baureferat/foerderprogramm-priv-gruen.html> (Abrufdatum: 21.08.2019).
- LARGE, A., HERITAGE, G. (2009): „Laser Scanning – Evolution of the Discipline“. In: Heritage, G., Large, A. (Hrsg.): *Laser Scanning for the Environmental Sciences*. Haboken, S. 1-20.
- LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG) (Hrsg.) (2018a): *Broschüre Luftbildprodukte*. URL: <https://www.ldbv.bayern.de/file/pdf/1039/Faltblatt-Luftbildprodukte.pdf> (Abrufdatum: 08.08.2019).

- LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG) (Hrsg.) (2018b): *Broschüre 3D-Höhenmodelle*. URL: https://www.ldbv.bayern.de/file/pdf/1614/Faltblatt_3D-H%C3%B6henmodelle.pdf (Abrufdatum: 08.08.2019).
- LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG) (Hrsg.) (2019a): „Geodaten für Universitäten und Hochschulen“. URL: <https://www.ldbv.bayern.de/job/studium/geodaten.html> (Abrufdatum: 15.02.2019).
- LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG) (Hrsg.) (2019b): „Einführung von ETRS89/UTM“ URL: https://www.ldbv.bayern.de/vermessung/utm_umstellung.html (Abrufdatum 15.02.2019).
- LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG) (Hrsg.) (2019c): *Broschüre Die amtlichen Geobasisdaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung*. URL: https://www.ldbv.bayern.de/file/pdf/4628/Produkt%C3%BCbersicht_DIN%20A%204.pdf (Abrufdatum: 07.04.2019).
- LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG) (Hrsg.) (2019d): „Bayernbefliegung“. URL: <https://www.ldbv.bayern.de/vermessung/luftbilder/bayernbefliegung.html> (Abrufdatum: 02.06.2019).
- LDBV (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG) (Hrsg.) (2019f): „3D-Gebäudemodell: Grundlage für vielfältige Anwendungen“. URL: <https://www.ldbv.bayern.de/produkte/3dprodukte/3d.html> (Abrufdatum: 05.06.2019).
- LFSTAT (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK) (Hrsg.) (2019a): *Statistik kommunal 2018: Kreisfreie Stadt Würzburg 09663 - Eine Auswahl wichtiger statistischer Daten*. URL: www.statistik.bayern.de (Abrufdatum: 15.08.2019).
- LFSTAT (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK) (Hrsg.) (2019b): „Demographischer Wandel in Bayern“ (Anwendung). URL: https://www.statistik.bayern.de/statistik/gebiet_bevoelkerung/demographischer_wandel/index.html (Abrufdatum: 15.08.2019).
- LIENHOOP, N., SCHRÖTER-SCHLAACK, C. (2018): *Ökosystemleistungen und deren Inwertsetzung in urbanen Räumen*. (= *BfN-Skripten*, Nr. 506). Berlin. URL: <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript506.pdf> (Abrufdatum: 03.08.2019).
- MANN, G. (2019): Präsident Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG): E-Mail-Korrespondenz (Anhang). Würzburg, 28.07.2019.
- ORMSBY, T. (2010): *Getting to know ArcGIS desktop*. 2. Auflage. Redlands.

- PAETH, H. (2016): „Das Stadtklima im Zeichen des Klimawandels“. In: Hahn, B., Baumhauer, R., Wiktorin, D. (Hrsg.): *Atlas Würzburg – Vielfalt und Wandel der Stadt im Kartenbild*. Würzburg, S. 96-97.
- RAUH, J., PAETH, H. (2011): „Anthropogener Klimawandel und Weinwirtschaft – Wahrnehmung und Anpassungsmaßnahmen fränkischer Winzer auf den Wandel klimatischer Bedingungen“. In: *Berichte zur deutschen Landeskunde*. Band 85, Heft 2, S. 151-177
- REGIERUNG VON UNTERFRANKEN (Hrsg.) (2004): *Luftreinhalteplan für die Stadt Würzburg*. URL: <https://www.regierung.unterfranken.bayern.de/aufgaben/6/1/00121/index.html> (Abrufdatum: 20.07.2019).
- RÖßLER, S., ALBRECHT, J. (Hrsg.) (2015): „Umsetzung freiraumplanerischer Klimaanpassungsmaßnahmen durch stadt- und umweltplanerische Instrumente“. In: Knieling, J., Müller, B. (Hrsg.): *Klimaanpassung in der Stadt- und Regionalentwicklung – Ansätze, Instrumente, Maßnahmen und Beispiele*. München, S. 243-281.
- SCHWARZ, T. (2004): „Worauf es bei der Pflanzenwahl ankommt – Pflanzen für Dachbegrünungen in Deutschland“. Paper zum *International Green Roof Congress*. Nürtingen, 14.-15. September 2004.
- SEIFERT, M., JÄGER, E., WEBDER, M. (2015): „Normierung, Standardisierung und Qualitätssicherung“. In: Kummer, K., Kötter, T., Eichhorn, A. (Hrsg.): *Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen*. Berlin, S. 873-928.
- SODAN, H., ZIEKOW, J. (2014): *Grundkurs öffentliches Recht*. München.
- STADT KARLSRUHE (2019): Gartenbauamt, Stadt Karlsruhe: E-Mail-Korrespondenz (Anhang). Karlsruhe, 02.08.2019.
- STADT MARBURG (2016): „Marburger Gründachkataster“ (Anwendung). URL: <https://www.gpm-webgis-10.de/geoapp/gruendachkataster/marburg/> (Abrufdatum: 25.08.2019).
- STADT MÜNCHEN (2019): Referat für Stadtplanung und Bauordnung, HA II/50 Grünplanung - Zentrale Aufgaben, Landeshauptstadt München: E-Mail-Korrespondenz (Anhang). München, 01.08.2019.
- STADT WÜRZBURG (FACHABTEILUNG BAULEITPLANUNG) (Hrsg.) (2007): *Flächenaufteilung im Stadtgebiet Würzburg*. Stand: September 2007. URL: https://www.wuerzburg.de/media/www.wuerzburg.de/org/med_5493/402237_flaechenaufteilung_stadtgebiet.pdf (Abrufdatum: 26.08.2019).
- STADT WÜRZBURG (Hrsg.) (2018a): *Richtlinie der Stadt Würzburg für die Gewährung von Zuschüssen für die Begrünung von Gebäuden und für urbane Begrünungsprojekte*. URL:

- <https://www.wuerzburg.de/themen/umwelt-verkehr/stadtlich-gruen/foerderung-fuer-dach-und-fassadengruen/index.html> (Abrufdatum: 21.08.2019).
- STADT WÜRZBURG (Hrsg.) (2018b): „Förderung für Dach- und Fassadengrün“. URL: <https://www.wuerzburg.de/themen/umwelt-verkehr/stadtlich-gruen/foerderung-fuer-dach-und-fassadengruen/index.html> (Abrufdatum: 23.08.2019).
- STADT WÜRZBURG (Hrsg.) (2018c): „Würzburg in Zahlen - Stadtgebiet, Flächennutzung, Klima“. URL: <https://www.wuerzburg.de/buerger/statistikstadtforschung/stadtgebiet-flaechennutzungsklima/32319.Stadtgebiet-Flaechennutzung-Klima.html> (Abrufdatum: 26.08.2019).
- STADT WÜRZBURG (Hrsg.) (2018d): „Klimaplanatlas - Auswirkungen des Klimawandels rücken in den Fokus der Stadtplanung“. URL: <https://www.wuerzburg.de/themen/umwelt-verkehr/klimaundenergie/klimaanpassung-der-klimawandel-fordert-uns-heraus/412831.Klimaplanatlas--Auswirkungen-des-Klimawandels-ruecken-in-den-Fokus-der-Stadtplanung.html> (Abrufdatum: 26.08.2019).
- STADT WÜRZBURG (Hrsg.) (2018f): „Raum.Perspektive.Würzburg – Gebietstypen“. URL: <https://www.raum-perspektive-wuerzburg.de/gebietstypen/> (Abrufdatum: 27.08.2019).
- STADT WÜRZBURG (Hrsg.) (2018g): „Bauwesen – förmliche Satzungen“. URL: <https://www.wuerzburg.de/buerger/stadtrecht/bauwesen/index.html> (Abrufdatum: 27.08.2019).
- STADT WÜRZBURG (Hrsg.) (2018h): „Kommission für Stadtbild und Architektur“. URL: <https://www.wuerzburg.de/themen/bauen-wohnen/stadtplanung/stadtsanierung--stadtgestaltung/28920.Kommission-fuer-Stadtbild-und-Architektur.html> (Abrufdatum: 27.08.2019).
- STADT WÜRZBURG (ENTWÄSSERUNGSBETRIEB WÜRZBURG) (Hrsg.) (2019a): *Beitrags- und Gebührensatzung zur Entwässerungssatzung und Fäkalschlamm Entsorgungssatzung (Entwässerungsbeitrags- und Gebührensatzung) (BGS-EWS/FES)*. URL: <https://www.ebw.wuerzburg.de/satzungen/beitrags-und-gebuehrensatzung> (Abrufdatum: 27.08.2019).
- STADT WÜRZBURG FA BAULEITPLANUNG (2019): protokolliertes Expertengespräch (Anhang). Würzburg, 04.07.2019.
- STEIDLE, H. (2019): Stadtheimatpfleger, Fachbereich Kultur, Stadt Würzburg: Telefonprotokoll (Anhang). Würzburg, 19.08.2019.

- STMF (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM DER FINANZEN UND FÜR HEIMAT) (Hrsg.) (2019): „Bayernatlas“ (Anwendung). URL: <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas> (Abrufdatum: 09.08.2019).
- TAUBENBÖCK, H., ROTH, A. (2010): „Fernerkundung im urbanen Kontext“. In: Taubenböck, H., Dech, S. (Hrsg.): *Fernerkundung im urbanen Raum: Erdbeobachtung auf dem Weg zur Planungspraxis*. Darmstadt, S. 31-43.
- TETRAEDER (TETRAEDER SOLAR GMBH) (Hrsg.) (2019): „Gründachkataster“ (Anwendung). URL: <https://www.mein-gruendach.de/home/Gruendachkataster> (Abrufdatum: 24.07.2019).
- UEBEL, A. (2016): „Barrieren für den Verkehr“. In: Hahn, B., Baumhauer, R., Wiktorin, D. (Hrsg.): *Atlas Würzburg – Vielfalt und Wandel der Stadt im Kartenbild*. Würzburg, S. 144-145.
- UNFCCC (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE) (Hrsg.) (2015): *Conference of the Parties. Twenty-first session – Annex: Paris Agreement*. URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> (Abrufdatum: 10.05.2019).
- VAN STADEN, RIAN (2014): *Klimawandel: Was er für Städte bedeutet. Kernergebnisse aus dem Fünften Sachstandsbericht des IPCC*. URL: www.klimafakten.de/ar5 (Abrufdatum: 01.08.2019).
- WALLRAPP, S. (2019): Sachbearbeiter Grundstücksentwässerung, Vollzug der Satzungen, Entwässerungsbetrieb Stadt Würzburg: Telefonprotokoll (Anhang). Würzburg, 13.08.2019).

Anhang

STADT MÜNCHEN (2019): Referat für Stadtplanung und Bauordnung, HA II/50 Grünplanung - Zentrale Aufgaben, Landeshauptstadt München: E-Mail-Korrespondenz (Anhang). München, 01.08.2019.

Anlage 1: Anfrage an die am Forschungsprojekt des DDV/DLR (2015) teilgenommenen Städte bezüglich der bauleitplanerischen Weiterverwertung erzielter Ergebnisse und interner Weiternutzung der Daten und Verfahren

Anfrage Simon Pätzold:

Sehr geehrte Damen und Herren der Stadt XY (Karlsruhe, München, Nürtingen, Stuttgart)

im Rahmen einer Abschlussarbeit an der Universität Würzburg (Angewandte Humangeographie) zum Thema der innerstädtischen Dachbegrünungsmöglichkeiten habe ich recherchiert, dass Sie als Kommune das von der FBB, dem DDV (heute Bundesverband GebäudeGrün e.V. BuGG) und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) erstellte Programm zur Potentialanalyse von Dachbegrünungsflächen genutzt haben („Fernerkundliche Identifizierung von Vegetationsflächen auf Dächern zur Entwicklung des für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes aktivierbaren Flächenpotenzials in den Städten“).

Vielleicht ist es ja möglich, mit meinem Anliegen an eine direkt involvierte Stelle verwiesen zu werden.

Mich würde interessieren, ob und welche Schritte (auf die Potentialanalyse folgend) in der Bauleitplanung unternommen wurden, um das detektierte Flächenpotential für nachträgliche Dachbegrünung im Gebäudebestand zu „aktivieren“, also dessen Realisierung durch baurechtliche Vorgaben voranzutreiben (z.B. in Form von Festsetzungen im B-Plan oder Gestaltungssatzungen). Gibt es entsprechende Satzungen, die ich über das Internet einsehen könnte?

Da es sich bei dem Flächenpotential für Dachbegrünung ja um geeignete Flächen in Baubestand handelt, ist dies ein stadtplanerisch bzw. baurechtlich kritisches Thema. Eine Umsetzung besagter „harte“ Planungsinstrumente ist sicherlich nicht einwandfrei möglich, weil die nachträgliche Festsetzung von Dachbegrünung u.a. durch den Bestandsschutz der Eigentümer beschränkt wird. Es wäre höchst interessant zu erfahren, ob oder welche Erfahrungen Ihre Kommune in diesem Prozess gemacht hat.

Außerdem interessiert mich, ob oder inwiefern die fernerkundliche GIS-Methode der Potentialanalyse in die Arbeitsprozesse der kommunalen Behörden (Abteilungen Stadtplanung, Bauleitplanung, Landschaftsplanung, o.ä.) integriert wurde.

Ich bedanke mich für Ihre Zeit und Ihre Aufmerksamkeit und würde mich über ein paar Informationen aus erster Hand sehr freuen.

Antwort via E-Mail erhalten am 01.08.2019:

Sehr geehrter Herr Pätzold,

wie Sie richtig recherchiert haben war die Stadt München Kooperationspartner des Forschungsprojekts zur Potenzialanalyse von Dachbegrünungsflächen („Fernerkundliche Identifizierung von Vegetationsflächen auf Dächern zur Entwicklung des für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes aktivierbaren Flächenpotenzials in den Städten“). Die Ergebnisse dieser Analyse hatten bisher noch keine direkten Auswirkungen auf die Bauleitplanung in München bzw. es wurden noch keine Schritte auf die Potenzialanalyse folgend unternommen. Die Städtepartnerschaft lag damals beim Referat für Gesundheit und Umwelt (RGU), falls Sie hierzu weitere Informationen wünschen, können Sie sich gerne an meinen Kollegen [REDACTED] vom RGU wenden ([REDACTED]@muenchen.de).

Zur Dachbegrünung in München im Allgemeinen kann ich Ihnen noch einige zusätzliche Informationen geben. Die Thematik wird in der Freiflächengestaltungssatzung und in Bebauungsplänen geregelt.

Freiflächengestaltungssatzung:

In München gibt es seit 1996 die sog. 'Freiflächengestaltungssatzung'. Diese trifft die Vorgabe, dass Kiespressdächer und vergleichbar geeignete Dächer ab einer Gesamtfläche von 100 m² flächig und dauerhaft begrünt werden sollen. Flachdächer von Garagen und Tiefgaragenzufahrten sind ebenfalls zu begrünen. Dies gilt nicht für notwendige technische Anlagen und nutzbare Freibereiche auf den Dächern und Anlagen zur Nutzung der Sonnenenergie und des Sonnenlichts.

Unter folgendem Link können Sie sich informieren: <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Stadtplanung-und-Bauordnung/Lokalbaukommission/Kundeninfo/Freiflaechengestaltungssatzung.html>

Bebauungsplan:

Bei Bauvorhaben innerhalb des Geltungsbereiches von Bebauungsplänen mit Grünordnung werden standardmäßig und bereits seit vielen Jahren Festsetzungen zur Dachbegrünung getroffen. Hier wird für eine extensive Dachbegrünung eine Schichtstärke von 10 cm festgesetzt.

Zusätzlich zu diesen verbindlichen Vorgaben gibt es in München auch Fördermöglichkeiten für die Begrünung von Dächern auf privatem Grund oder auf Firmengeländen im Rahmen des Sonderprogramms der Landeshauptstadt München zur Förderung von Innenhof-, Vorgarten-, Dach- und Fassadenbegrünung. Hier kann eine extensive Begrünung auf allen Dächern gefördert werden, sofern die Maßnahme freiwillig ist und keine Auflage aus der Freiflächengestaltungssatzung darstellt. Sanierungen von bereits begrüntem Dächern können gefördert werden, wenn das Gebäude vor 1996 erstellt wurde. Die Substratdicke muss mindestens 8 cm betragen. Auch an Gewerbebauten kann eine Begrünung von Dächern gefördert werden.

Für die extensive Begrünung von Dächern beträgt der Zuschuss 50 % der als förderwürdig anerkannten Kosten, höchstens jedoch 25,- € / m².

Unter folgendem Link können Sie sich informieren: <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/bau-referat/foerderprogramm-priv-gruen.html>

Ich hoffe ich konnte Ihnen weiterhelfen!

STADT KARLSRUHE (2019): Gartenbauamt, Stadt Karlsruhe: E-Mail-Korrespondenz (Anhang). Karlsruhe, 02.08.2019.

Anlage 2: Anfrage an die am Forschungsprojekt des DDV/DLR (2015) teilgenommenen Städte bezüglich der bauleitplanerischen Weiterverwertung erzielter Ergebnisse und internen Weiternutzung der Daten und Verfahren

Antwort via E-Mail erhalten am 01.08.2019:

Sehr geehrter Herr Pätzold,

ich bin aus dem Urlaub zurück und versuche Ihre Anfrage vom 01.08.2019 zu beantworten.

Bei dem Verfahren vom November 2015 handelt es sich um ein Pilotprojekt, das durch die Dt. Bundesstiftung Umwelt DBU gefördert wurde.

Es wurde vom DDV in Zusammenarbeit mit dem DLR entwickelt und anhand von den Beispielstädten Karlsruhe, Stuttgart, München und Nürtingen erstmals durchgeführt.

Insofern hat nicht die Stadt Karlsruhe das Programm genutzt, sondern das DLR hat das Programm mit Daten u.a. aus der Stadt Karlsruhe eingesetzt.

Wir haben die Ergebnisse des Pilotprojektes genauer analysiert und festgestellt, dass die potentiellen Fehlerquellen die Ergebnisse z.T. stark beeinflussen.

Hierzu zählen z.B. Überschirmung durch angrenzende Bäume/Sträucher, Verkippungseffekte bei Luftbildaufnahmen; Dachneigungseinflüsse; starke Moosbesetzung.

Aufgrund der eingeschränkten Qualität der Ergebnisse wurden die Zahlen aus dem Pilotprojekt deshalb nicht für weitergehende Schritte verwendet.

Insofern gibt es auch keine von Ihnen nachgefragten baurechtlichen Vorgaben, die auf dem Verfahren fußen; die genannte fernerkundliche GIS-Methode ist bisher nicht in die Arbeitsprozesse integriert worden.

Zusammen mit dem Vermessungsamt überlegen wir das Verfahren evtl. noch einmal mit einer verbesserten Datengrundlage durchzuführen.

Voraussetzung dafür ist, dass wir Daten einer neuen Luftbildbefliegung 2020 mit dem IR-Kanal von Karlsruhe nutzen können und das digitale Gebäudemodell der Stadt Karlsruhe bis dahin weiter optimiert/ und vervollständigt ist.

Das Verfahren wird mittlerweile von der Fa. EFTAS GmbH als Dienstleistung angeboten und mir ist bekannt, dass es in den Städten Frankfurt und Nürnberg durchgeführt wurde.

Ich hoffe Ihnen hilfreiche Informationen gegeben zu haben und stehe für weitere Rückfragen bei Bedarf zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

Stadt Karlsruhe

Gartenbauamt

HERSTELLER 1 (2019): E-Mail-Korrespondenz (Anhang). Würzburg, 01.08.2019.

Anlage 3: Antwort auf E-Mail-Fragebogen an verschiedene deutsche Hersteller von Dachbegrünungssystemen bezüglich der nachträglichen Begrünung (Anfrage s. HERSTELLER 2)

Antwort erhalten via E-Mail am 01.08.2019:

Sehr geehrter Herr Pätzold,

wir sind Systemanbieter und als Materiallieferant nicht in der Ausführung aktiv.

Nachträgliche Begrünungen scheitern häufig an ungenügenden statischen Voraussetzungen und fehlendem Wurzelschutz, bzw. unverhältnismäßig hohen Kosten für die Überarbeitung der Dachabdichtung.

Im Neubau lässt sich ein wurzelfester Dachaufbau hingegen ohne oder nur mit geringen Mehrkosten realisieren.

Mit freundlichen Grüßen



Leiter Fachbereich Gründach/Handelsware

HERSTELLER 2 (2019): E-Mail-Korrespondenz (Anhang). Würzburg, 01.08.2019.

Anlage 4: Antwort auf E-Mail-Fragebogen an verschiedene deutsche Hersteller von Dachbegrünungssystemen bezüglich der nachträglichen Begrünung (s.o.)

Anfrage Simon Pätzold (Antworten von Hersteller 2 *schräg*):

Sehr geehrter [REDACTED],

im Rahmen meiner Masterarbeit an der Universität Würzburg (Angewandte Humangeographie) habe ich für innerstädtische Teile Würzburgs mittels Fernerkundungsdaten eine GIS-Analyse durchgeführt, um auf Dächern vorhandenes Flächenpotential für nachträgliche Dachbegrünung zu finden.

Nun interessieren mich Expertenmeinungen zur tatsächlichen Umsetzbarkeit von (extensiven) nachträglichen Dachbegrünungen auf Bestandsgebäuden - Einerseits für Flachdächer, andererseits für (eingedeckte) Schrägdächer.

Ich würde mich sehr freuen, wenn Sie sich die Zeit für eine kurze Einschätzung dieser Thematik nehmen könnten und die folgenden Fragen beantworten würden:

1. Planen bzw. führen Sie als die Firma [REDACTED] auch **nachträgliche Dachbegrünungen** auf Bestandsgebäuden durch?

Antwort: Als Systemhersteller bieten wir Lösungen für nahezu jede Art von Dachbegrünungsvorhaben und stehen in allen Projektphasen von der Planung bis zur Ausführung beratend zur Seite. Die Ausführung der Baumaßnahme selbst fällt jedoch nicht in unser Leistungsspektrum.

Dementsprechend stellt die Beratung zur Planung und Ausführung nachträglicher Dachbegrünungen, vor allem wenn es um die Sanierung von Bestandsgebäuden geht, eine wiederkehrende Aufgabe dar.

2. Falls nein: Wäre es für Ihre Firma denkbar, eine solche Leistung in das **Leistungsspektrum aufzunehmen**?

3. Lässt sich im Bereich der nachträglichen Dachbegrünung eine **steigende Nachfrage** messen, falls **überhaupt** Nachfrage besteht?

Antwort: Zunehmend entsteht in vielen Städten die Auflage, dass Flachdächer zu begrünen sind. Diese Auflagen betreffen nicht nur Neubauten, sondern greifen häufig auch im Zuge der Sanierung von Bestandsgebäuden. Als Vorreiter ist hier beispielsweise die Stadt München zu nennen, die schon seit 1996 Dachbegrünungen verpflichtend in die Freiflächengestaltungssatzung aufgenommen hat.

Eine Vielzahl der Flachdächer aus den 70er Jahren ist mittlerweile sanierungsbedürftig. Da diese nun immer häufiger als Gründächer ausgeführt werden, ist auch weiterhin ein Anstieg der Nachfrage für nachträgliche Dachbegrünungen zu erwarten.

3. Inwiefern unterscheiden sich die **Projektkosten** einer **nachträglichen Begrünung** auf einem **Flachdach** von den normalen - also bei **Neubau** entstehenden - Projektkosten einer Dachbegrünung? Falls eine pauschale Auskunft möglich ist: Weichen die **Mehrkosten gering - mittel oder stark** ab?

Antwort: Die Kosten einer nachträglichen Dachbegrünung weichen nicht wesentlich, also eher gering, von denen auf einem Neubau ab. Die Kosten für den Systemaufbau hinsichtlich der Materialien sind die gleichen. Ein häufiger Kostenfaktor entsteht, wenn Unsicherheit über die Wurzelfestigkeit der bestehenden Dachabdichtung besteht und eine zusätzliche Wurzelschutzfolie verlegt werden muss.

Etwaige Mehrkosten ergeben sich durch höheren Planungsaufwand und erschwerte Einbaubedingungen, die im Ermessen der ausführenden Betriebe liegen. Auch durch notwendige Vorarbeiten, wie die Entfernung von aufgebrachtem Kies, können die Projektkosten beeinflusst werden.

4. Inwiefern unterscheiden sich die **Projektkosten** einer **nachträglichen Begrünung** auf einem **eingedeckten Schrägdach** von den Kosten der nachträglichen Begrünung eines **Flachdaches**? Falls eine pauschale Auskunft möglich ist: Weichen die **Mehrkosten gering - mittel oder stark** ab?

Antwort: Hierauf kann keine Antwort gegeben werden. Aus bautechnischer Sicht ist die Umwandlung eines eingedeckten Schrägdachs in ein Gründach nicht möglich, da sich die Unterkonstruktionen bei der Dacharten maßgeblich unterscheiden. Daher muss bereits im Vorfeld entschieden werden, ob ein Schrägdach später begrünt oder eingedeckt werden soll.

Ich werde in meiner Arbeit keinerlei Vergleiche von Dachbegrünungsfirmen bezüglich ihres Leistungsspektrums o.ä. durchführen, noch Namen besagter Firmen nennen. Die hier abgefragten Informationen dienen lediglich dazu, eine grobes Bild der Durchführbarkeit nachträglicher Dachbegrünungen in Deutschland zu erhalten.

Ich bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit!

BURCHARDT, O. (2019): Anwendungstechnik, Optigrün International AG: Onlinechat-Korrespondenz (Anhang). URL: <https://www.optigruen.de/> (Abrufdatum: 25.04.2019). Würzburg, 25.04.2019.

Anlage 5: Antwort auf eigene Fragen im Onlinechat auf <https://www.optigruen.de/> zum Thema der Begrünbarkeit von eingedeckten Steildächern

Unterhaltung durchgeführt am 25.04.2019

Anfrage Simon Pätzold:

Sehr geehrte Damen und Herren,

ist Dachbegrünung auch möglich auf eingedeckten Dächern (abgesehen von Metalleindeckungen, dies scheint möglich)? Ich verstehe nicht ganz, warum in der einschl. Richtlinie Dachneigungen bis zu 45° unter Maßgaben als potentiell begrünbar dargestellt werden, wenn es sich dabei doch kaum um abgedichtete Dächer handeln, sondern um eingedeckte.

Wenn es sich bei einem stark geneigten Dach um eines mit Abdichtung handelt, ist das sicher selten aber eine Extensivbegrünung zumindest realistisch. Aber wie sieht es bei eingedeckten Dächern mit hoher Neigung bezüglich der Dachbegrünung aus?

Antwort von Oliver Burchardt:

Sehr geehrter Herr Pätzold,

der Standardfall einer Dachbegrünung setzt eine wasserdichte und wurzelfeste Gebäudedecke voraus, sei es durch eine Abdichtung, WU-Beton oder auch Metallprofile. Für die Begrünung bereits eingedeckter Dächer gibt es keine Systembauweisen. Eine Übergangsform stellen so genannte 'Gründachpfannen' dar, das sind begrünbare Kunststoffplatten, die wie Dachziegel auf Konterlattung montiert werden. Für Steildächer sicher eine sinnvolle technische Lösung. Finden Sie bei diesem Hersteller. <https://www.atka.de/topgreen/>

Tatsächlich werden auch eingedichtete Dächer bis 45° Dachneigung (sogar darüber hinaus) regelmäßig begrünt. Dies ist aber mit hohem konstruktivem Aufwand verbunden und entsprechen teuer. Es handelt sich meistens um architektonische Prestigeobjekte (i.d.R. nicht in Deutschland) oder um private Bauvorhaben im Bereich hochpreisiger EFH/MFH.

ATKA (2019): Atka Kunststoffverarbeitung GmbH, TOPGREEN Gründachsysteme, 49393 Lohne (Oldenburg): E-Mail-Korrespondenz (Anhang). Würzburg, 29.04.2019.

Anlage 6: Antwort auf E-Mail-Anfrage an die Fa. Atka bezüglich der Begrünung von eingedeckten Steildächern

Anfrage Simon Pätzold:

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich interessierte mich aus Forschungsgründen für den innerstädtischen Anwendungsfall Ihrer Gründachpfanne, z.B. GDP45. In meiner aktuellen Masterthesis (Universität Würzburg, Masterstudiengang Angewandte Humangeographie) analysiere ich mittels Fernerkundungsdaten das (nachträgliche) Begrünungspotential auf Dachflächen in der Stadt Würzburg (ähnlich dem Marburger Gründachkataster). Dafür will ich herausfinden, welche Dachtypen von vornherein ausgeschlossen werden können, weil sie in der Praxis nicht begrünbar sind. Bei meiner Internetrecherche bin ich auf Ihre (einzigartige?) Systemlösung zur Begrünung auch von eingedeckten Steildächern gestoßen. In der aktuellen Dachbegrünungsrichtlinie der FLL habe ich allerdings nur Lösungen für abgedichtete Flachdächer und WU-Betondächer erörtert (FLL 2018: 31): "Die derzeit eingesetz-

ten Bauweisen und Stoffe für Dächer mit Deckungen sind i.d.R. für eine Begrünung nicht geeignet. Bei entsprechenden bautechnischen Vorgaben besteht die Möglichkeit, auch solche Dächer zu begrünen, ggf. sind Sondermaßnahmen, z.B. wasserdichte Unterdächer, erforderlich." Dem entgegen steht die Aussage Ihrer Internetseite mit den Worten "Die TOPGREEN Gründachpfanne GDP45 (...) kann auch bei der Renovierung unkompliziert auf die bestehende Dacharchitektur aufgebracht werden". Wenn Ihre Gründachpfannen tatsächlich auch im innerstädtischen Bereich auf (privaten und öffentlichen) Bestandsgebäuden mit bis zu 45° Dachneigung ohne einen unverhältnismäßig großen Kosten- und Arbeitsaufwand (z.B. im Vergleich zur nachträglichen Flachdachbegrünung) zum Einsatz kommen könnten, würde ich meine Analyse dahingehend anpassen und könnte grundsätzlich auch für Sattel- oder Walmdächer ein Potential zur nachträglichen Dachbegrünung ausweisen. Auch unter der Prämisse, dass diese Begrünungslösung sich Deutschland vielleicht erst noch durchsetzen muss.

Ich danke Ihnen für Ihre Zeit und verbleibe mit großem Interesse

Antworten via Mail erhalten am 29.04.2019:

Guten Tag Herr Pätzold,

um direkt zum Punkt zu kommen: Mit unserem System sind Dächer bis 45° Dachneigung zu begrünen. Das System ist auch bauaufsichtlich zugelassen (siehe Anhang). Alle Infos und die Verlegehinweise sollten Sie auf www.topgreen.atka.de finden (siehe auch Punkt "Download"). Das System gibt es seit mehr als 20 Jahren und wurde schon oft auf 45° Dächern umgesetzt. Auch kann das System nachträglich auf vorhandenen Dachkonstruktionen gebracht werden. Natürlich müssen die Dachziegel runter und die Dachkonstruktion entsprechend der Vorgaben (Lattabstand) angepasst werden. Ich meine sogar, dass wenn ein Dach neu eingedeckt wird, die Lattung sowieso erneuert werden muss.

Also: Die Nachträgliche Begrünung ist mit den entsprechenden Anpassungsarbeiten möglich.

Der Grund warum die Dachbegrünungsrichtlinie nichts von 45° Systemen schreibt liegt denke ich auch daran, dass das zum einen nicht sehr verbreitet ist und zum anderen haben wir als sehr sehr kleiner Hersteller wenig Lobby... Und werden von den großen Dachbegrünern, die Sie sicherlich kennen, auch ein wenig belächelt. Da wir eigentlich Kunststoffhersteller sind, ist das vielleicht auch gar nicht so unbegründet. Das Gründachsystem ist ein Nebengeschäft von uns. Aber wir wissen das es funktioniert. Bis 45° Dachneigung.

Viele Grüße

Hallo nochmal Herr Pätzold,

die Installation der Pfannen an sich ist nicht schwieriger. Die Pfannen finden ja in einer Lattung Platz. Dies dient auch als Schubsicherung des gesamten Systems. Das Substrat findet dann seinen Platz auf der Pfanne in den Substratkammern. Das wird genau bis zum Rand befüllt, so dass nichts abrutschen kann. Im Anhang Bilder dazu. Und Sie haben es richtig gesehen, dass bei geneigten oder Steildächern dann fertige Sedummatte verwendet werden sollten. Bis ca. 30° rutschen die auch nicht ab, wenn man die ordentlich andrückt. Wenn man dann ab 31° Dachneigung die GDP 45 nimmt, hat man die auf diesem kleinen Dorne, die die Pflanzen in der

Anwachsphase halten. Die wurzeln dann immer weiter durch in die Waben. Da rutscht nichts ab. Man sollte eventuell darauf achten, dass die einzelnen Matten ein nicht allzu großes Format haben.

Bzgl. der Kosten kann ich Ihnen nicht wirklich eine Auskunft geben, wie es sich inkl. Arbeitsaufwand verhält. Aber bei den Flachdächern hat man halt eine zusätzliche Schicht auf der Abdichtung. Beim Steildach hat man statt einer Todachpfanne die 3 Schichten auf Pfanne - Substrat - Sedummatten. Der Aufwand ist also schon höher.

Mit freundlichen Grüßen

WALLRAPP, S. (2019): Sachbearbeiter Grundstücksentwässerung, Vollzug der Satzungen, Entwässerungsbetrieb Stadt Würzburg: Telefonprotokoll (Anhang). Würzburg, 13.08.2019).

Anlage 7: Telefonat zum Thema der indirekten Förderung von Dachbegrünung über die Entwässerungssatzung

Korrespondenz:

Stephan Wallrapp
Sachbearbeiter Grundstücksentwässerung,
Vollzug der Satzungen
Entwässerungsbetrieb Würzburg

Telefonat vom 13.08.2019 (Protokoll)

Antworten von Hr. Wallrapp in *kursiver* Schrift

- Pätzold: Wie wurden die Würzburger Gebietsabflussbeiwerte, dargestellt in der Abflussbeiwertkarte, ermittelt?

Im Schätzungsverfahren, ist schon langer her, vor meiner Zeit. Da wurde geschaut wie die baulich zusammenhängenden Gebiete versiegelt sind und welcher Abfluss zu erwarten ist. Letztes Mal wurde die Zonierungssatzung/Abflussbeiwertkarte 2016 aktualisiert, bei den Aktualisierungen handelt es sich aber immer nur um kleinere Teile der Stadt.

- Pätzold: In manchen Kommunen wird im Rahmen einer gesplitteten Abwassergebührensatzung eine indirekte Förderung von Dachbegrünung ermöglicht, indem bei der Niederschlagsgebühr ein gewisser

Nachlass erteilt wird... Ist für Dachbegrünungen in Würzburg ein ähnlicher Beitragsnachlass im Rahmen der derzeitigen Beitrags- und Gebührensatzung möglich?

- Falls nein, gab oder gibt es entsprechende Bestrebungen, die Dachbegrünung indirekt durch die (gesplittete) Beitrags- und Gebührensatzung in Würzburg zu fördern?

Nein, für Dachbegrünung ist kein Beitragsnachlass in der Satzung vorgesehen.

Es gab vor einigen Jahren in einer veralteten Version der Satzung einen Gebührennachlass von (bis zu) 50 % bei dem Ablauf in eine dem jeweiligen Gebäude zugehörige Zisterne. Das wurde aber vom Landesamt untersagt, weil die tatsächliche Wirkung der Zisterne nicht nachprüfbar war und nicht geregelt werden konnte. Das heißt, die Wirkung auf den Abflussbeiwert ließ sich nicht quantifizieren. Außerdem gibt es keine Expertise, die das bautechnisch nachprüft, ob und was installiert wurde. Dasselbe Problem besteht bei der Dachbegrünung. Da kann eben auch nicht geprüft werden, welche Substrathöhe und welches Substrat der Eigentümer dann nimmt und wie sich das auf den Abflussbeiwert auswirkt.

Aber: Niederschlagswasserbewirtschaftung wird bei Neubauten mit Flachdach (z.B. neuer Stadtteil Hubland) vorgeschrieben. Das heißt, bei entsprechenden Neubauten darf Niederschlagswasser nur unter der Bedingung ins Entwässerungsnetz eingespeist werden, dass das Wasser in einer Zisterne abläuft und gespeichert wird oder über Dachbegrünung abläuft, bzw. rückgehalten wird – es darf nicht einfach abfließen.

GLOY, D. (2019): Abteilung Landschaftsplan, Grünordnungsplan in FA Bauleitplanung in FB Stadtplanung: E-Mail-Korrespondenz (Anhang). Würzburg, 06.08.2019.

Anlage 8: Antwort zum Fragenkatalog an die FA Bauleitplanung bezüglich der Festsetzung von Dachbegrünung in Würzburg

Korrespondenz:

Dorothee Gloy (Dipl. Biologin, Dipl. Ing. Landschaftsplanung)

FB Stadtplanung

FA Bauleitplanung (Landschaftsplan, Grünordnungsplan)

Stadt Würzburg

Beim Grafeneckart 1

97070 Würzburg

Antwort erhalten am 06.08.2019

Antworten der Fachabteilung Bauleitplanung (FA) in *kursiver* Schrift

Sehr geehrte Damen und Herren der FA Bauleitplanung,

ich würde gerne das Thema der **nachträglichen Dachbegrünung** (im Bestand oder Umbau), vor allem deren **Durchsetzungsmöglichkeiten** mittels der **Bauleitplanung**, behandeln. Ich ahne, dass der FB Bauaufsicht für einige Punkte der erste Ansprechpartner wäre, andererseits sehe ich die Kompetenzen für das spezielle Thema der Dachbegrünung in Ihrer Abteilung.

Als konkretes Diskussionsbeispiel bietet sich der (noch bis 2. August) öffentlich ausgelegte, in Aufstellung befindliche **B-Plan „12. Änderung des Bebauungsplans Südliche Sanderau“** (7.01.12) an.

Darin ist für Flachdächer von Gebäuden, Garagen und Nebenanlagen ab einer Fläche von 20 m² eine Dachbegrünung (zu 80 % der Dachfläche) anzulegen.

Innerhalb des **Geltungsbereiches** gibt es viele Gebäude mit „**Flachdächern**“, die bereits vor bestehenden Festsetzungen zur **Dachbegrünung** bestanden. Diese Gebäude haben vorerst **Bestandsschutz**. Erst bei einer **Antragsstellung** für eine **bauliche** (oder nutzungsspezifische) **Änderung** muss der Nachweis einer geplanten Dachbegrünung im Bauantrag prüfbar dargestellt werden womit sich den neuen Vorgaben der Bauleitplanung **angepasst** werden muss. Angenommen, in den nächsten Jahren werden auch an **solchen Gebäuden mit Flachdach bauliche Änderungen** vorgenommen.

1. Falls Sie bezüglich dieser baulichen Änderungen von Gebäuden mit **Flachdach** eine Einschätzung geben können: Von welchen **Zeiträumen** kann man dabei grob ausgehen, bzw. **wie oft** kommt das tatsächlich vor?

FA: Darüber liegen keine Daten vor.

Um welche **Art** von **baulicher Änderung** könnte es sich dabei handeln?

FA: Bauliche Veränderungen des Daches, keine reinen Nutzungsänderungen, keine Sanierungsmaßnahmen, neu entstehende Flachdächer bei Umbaumaßnahmen.

2. Es geht ja im B-Plan primär um die Schaffung von Wohnraum durch eine maßvolle Nachverdichtung durch Aufstockung der Gebäude. Ist auch davon auszugehen, dass auch **Gebäude mit Flachdächern aufgestockt** werden oder beschränkt sich dies nur auf andere Bauweisen?

FA: Ja, auch Gebäude mit Flachdächern werden aufgestockt

Diese Annahme ausgeweitet auf Gebäude, die im Rahmen von Aufstockungen zu einem begrünbaren Flachdach ausgebaut werden sollen. Mich interessiert die allgemeine **Durchsetzungsfähigkeit** entsprechender **Festsetzungen zur Dachbegrünung** für alle **Bauvorhaben im Geltungsbereich**.

3. Falls es in Würzburg diesbezüglich Erfahrungen gibt: Ist es ein realistisches Szenario, dass der Eigentümer eine Dachbegrünung tatsächlich in die bauliche Änderung integriert oder wird eher versucht, sich von den **Festsetzungen zu befreien** (§ 31 BauGB) oder **rechtlich gegen eine solche Satzung** vorzugehen, weil beispielsweise
 - a. eine Begrünungsmaßnahme laut einer statischen Prüfung nicht möglich ist oder
 - b. weil eine Begrünungsmaßnahme zu einem unverhältnismäßig hohen finanziellen Mehraufwand führen würde

FA: Es wird versucht eine Befreiung zu erwirken, dem wird aber nicht stattgegeben. In einigen Fällen gibt es eine max. Befreiung für einen etwas höheren PV-Anteil. Dieser lässt sich aber mit einer Dachbegrünung kombinieren.

4. Sieht der Bebauungsplan bestimmte **Ausnahmen** vor? (Abgesehen von der Kombination mit Solaranlagen)

FA: Nein

Abschließend:

5. Wenn ich das richtig verstehe, sind die Chancen für eine **weitflächige Dachbegrünungssatzung** in Würzburg recht gering – so gibt es ja auch keine Gestaltungssatzungen/örtlichen Bauvorschriften mit entsprechenden Inhalten. Ist diese Art der Festsetzung von Dachbegrünung über eine Art **Huckepack-Prinzip** wie im besagten B-Plan eben **die städtebaulich und politisch vertretbare Möglichkeit**, um dies zu erreichen? (Hier im Rahmen eines weitflächigen B-Plans mit dem Ziel des Geschossausbaus?)

FA: Ja

6. Gibt es im Stadtgebiet – abgesehen vom neuen Stadtteil Hubland – **B-Pläne für ähnlich große Gebiete** mit einer festgesetzten (nachträglichen) Dachbegrünung?

FA: In allen neueren B-Plänen wird Dachbegrünung festgesetzt.

Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit genommen haben!

Mit freundlichen Grüßen

Simon Pätzold

Anlage 9: Bebauungsplan-Recherche für das Untersuchungsgebiet Altstadt-Sanderau

- Mit freundlichem Dank an Herrn Grom für seine Zeit und Unterstützung (FB Stadtplanung, FA Bauleitplanung, Bereich Bauplanungsrechtliche Beurteilung)
- Die Recherche und die daraus hervorgegangene Übersicht besitzt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie wurde auf Grundlage analoger Aktenrecherche zusammen mit den Sachbearbeitern der FA Bauleitplanung in besten Gewissen durchgeführt.

Liste 1: Verbindlichkeit der Dachbegrünung

Flurstücksnummer (Beispiel mit bestehender Dachbegrünung)	Adresse (Beispiel mit DB)	Name und Änderung des B-Plans	Verbindlichkeit der Festsetzung von Dachbegrünung	Abriss des Gebäudebestands
	u.a. Breslauer Straße, Königsberger Straße	12. Änderung des B-Plans „Südliche Sanderau“ („7.01.12) (Rechtskräftig: 21.06.2019)	Angebotsplanung: Begrünung nur von Flachdächern, auch Steildach möglich	Nein, Umbau
2036	Gartenstraße 6 bis 14	7. Änderung des B-Plans „Südliche Sanderau“ („7.01.7“) (08.10.2012)	Ja, alles FD, alles zu begrünen	Ja, komplett
2820, 2820/4/5/6/7	Max-Dauthendey-Straße 13-17	13. Änderung des B-Plans „Südliche Sanderau“ („7.01.13“) (26.01.2018)	Angebotsplanung	Ja, komplett
2079, 2079/2	Wölfelstr. 13, Huttenstr. 29	2. Änderung des Baulinien-Auflageplanes für das Gebiet zwischen Eichendorff-, verlängerter Hutten-, Sonnen- und Lessingstraße („7.6.2“) (09.26.2012)	Ja	Nein
3720/3	Schürerstraße 9a	3. Änderung des B-Plans „Schürerstraße“ („01.16.3“) (24.10.2018)	Ja (nach Neubau)	Ja, komplett
3716/1	Schürerstraße 5a	2. Änderung des B-Plans „Schürerstraße“ („01.16.2“) (09.04.2008)	Ja	Teils
5452/4	Haugerglacisstraße 5a, 5b, 5c, 5d	Vorhaben- und Erschließungsplan „Studentenwohnheim an der Grombühlbrücke“ („1.36“) (29.01.2016)	Ja	Kompletter Neubau

Liste 2: Dachbegrünungsparameter

Adresse (Bsp.)	B-Plan	Max. begrünbare Neigung in Grad	Anteil begrünbarer Dachfläche	Mindestfläche für zu be- grünende Dächer
Linker Teil der Südlichen Sandera	12. Änderung Südliche Sanderau 7.01.12	Nur für FD, aber Satteldächer nur ab 8° zulässig, also wird FD < 8° ha- ben.	Mind. 80% (außer bei Kombination mit aufgeständerten Solaranlagen, dann mind. 70% rein zu begrünen)	Flachdächer von Gebäu- den, Garagen und Neben- anlagen sind ab einer Flä- che von 20 m² zu begrü- nen.
Gartenstraße 6 - 14	7. Änderung Südliche Sanderau 7.01.07	bis 8° (nur FD mit bis 8° zulässig; zu begrünen, außer bei Nutzung der Sonnenenergie)	k.A.	k.A.
Max- Dauthendey- Straße 13-17	13. Änderung Südliche Sanderau 7.01.13	bis 10° (allerdings kann der Neubau bis 20° DN gebaut werden)	Mind. 50%	20 m ²
Huttenstraße 29	2. Änderung des Baulinien- planes für Hut- tenstraße (...) 7.6.2	bis 10° (Nur FD bis 10° zulässig)	Mind. 80% (bei ausnahmsweiser Nutzung von reg. Energien mind. 60%)	10 m ²
Schürerstraße 9a	3. Änderung Schürerstraße 01.16.3	Abriss/Neubau DF, zu begrünen (ca. bis 10°)	Mind. 70%	20 m ²
Schürerstraße 5a	2. Änderung Schürerstraße 01.16.2	< 5° (im Gewerbe- gebiet für die FD unter 5°)	Mind. 80%	k.A.
Haugerglaci- straße 5a, 5b, 5c, 5d	Studenten- wohnheim an der Grombühl- brücke 1.36	bis 10°	Mind. 50%	k.A.

STEIDLE, H. (2019): Stadtheimatpfleger, Fachbereich Kultur, Stadt Würzburg: Telefonprotokoll (Anhang). Würzburg, 19.08.2019.

Anlage 11: Telefonat bezüglich Fragen der Vereinbarkeit von Dachbegrünung mit Denkmalschutz und Ortsbild

Korrespondenz:

Dr. Hans Steidle

Stadtheimatpfleger

c/o Fachbereich Kultur

Stadt Würzburg

Telefonat vom 19.08.2019 auf Basis einer zuvor eingeschickten schriftlichen Anfrage

Protokollierte Antworten von Herrn Dr. Steidle in *kursiver* Schrift

1. **Ensemble-Denkmalschutz** in der **Altstadt**: Der Großteil des Stadtbezirks Altstadt innerhalb des Ringparks steht unter Ensemble-Denkmalschutz – steht dies in Konflikt mit der Begrünung von Dächern innerhalb dieses Gebietes? Lässt sich hierzu eine pauschale Aussage treffen?
2. Dachbegrünung von Gebäuden im **Nähebereich von Baudenkmalern**: Inwiefern gibt es hierbei Konfliktpotential? Lässt sich hierzu pauschal sagen, ob Dachbegrünung im Nähebereich negative Wirkung auf das Erscheinungsbild des nebenstehenden Baudenkmals hat?
3. Wie lässt sich „**Nähebereich**“ **definitiv** **annähern**? In meinem GIS-Projekt könnte ich nämlich einen Radius bzw. Pufferbereich um solche denkmalgeschützten Gebäude ziehen, in welchem die Möglichkeit einer Dachbegrünung klar ausgeschlossen wird.
4. Begrünung von **Gebäuden unter Baudenkmalschutz**: In der Regel stehen idealerweise begrünbare Gebäude, also statisch einwandfreie sowie solche mit einem Flachdach, nicht unter Baudenkmalschutz – theoretisch ist die Begrünung von steilen Dächern, und somit von Gebäuden unter Baudenkmalschutz, aber möglich. **Wie wahrscheinlich** ist es, dass Dachbegrünungsmaßnahmen auf Gebäuden unter Denkmalschutz eine **denkmalschutzrechtliche Erlaubnis** erhalten?

Es handelt sich um eine diffizile Abwägung zwischen Gütern. Wobei die ökologische Wirkung der begrünten Dächer ja erst bekannt sein müsste.

Das Gesamtbild der Altstadt ist ein schützenswertes Gut, geprägt durch rot geziegelte und steil aufragende Sattel- und Walmdächer.

Je mehr Dachbegrünung da dazukäme, desto mehr würde das Bild beeinträchtigt.

Auch bei der Anbringung von Sonnenkollektoren im Ensemble wird sehr restriktiv vorgegangen.

Die entsprechende Satzung für die Altstadt müsste erst angepasst werden, sonst wäre eine Begrünung von Dächern mit roten Ziegeln nicht möglich. Bei Flachdächern punktuell kann ich mir das schon vorstellen.

Außerhalb der Altstadt sollte der Denkmalschutz nicht gegen Dachbegrünung sprechen, im Gegenteil wertet das ja das Bild auf.

Anlage 12: Schriftliche Stellungnahme zur Dachbegrünung in der Würzburger Altstadt des städtischen Heimatpflegers Herr Dr. Steidle (erhalten September 2019, angefügt nach Einreichen der Abschlussarbeit)

Aspekte einer Dachbegrünung in der Würzburger Altstadt

Dr. Hans Steidle

Heimatpfleger der Stadt Würzburg

Beim Untersuchungsgebiet handelt es sich um die Altstadt Würzburgs, die das Ergebnis einer 1200 Jahre andauernden städtischen Entwicklung darstellt. Die topografische Situation ist widersprüchlich. Einerseits ist die Lage am Fluss für das Stadtklima positiv, die Lage in einem Talkessel mit bebauten oder mit Weinbau genutzten Berghängen sorgt in der Altstadt für eine überdurchschnittliche Erhitzung, die von den vielen Gebäuden gespeichert in den Innenräumen sich noch stärker hält als in den öffentlichen Straßenräumen. Die seit zwei Dekaden beobachtbare Tendenz, dass immer mehr Menschen in den verdichteten Stadträumen leben wollen und bei der Schaffung neuen Wohnraums die Nachverdichtung statt der Neuversiegelung bevorzugt wird, lässt für die ökologische Entwicklung der Würzburger Altstadt in dieser Hinsicht keine Entspannung erwarten.

Die Schaffung von zusätzlichen Grünflächen in der Altstadt ist begrenzt und so bedarf es ergänzender Maßnahmen, die zu einer Reduzierung der Hitze beitragen. Vor diesem Hintergrund scheint die nachträgliche Begrünung von Dächern oder die Regelbegrünung der Dächer bei Neubauten eine geeignete Maßnahme für eine ökologische Wende in der Stadt. Die Wirksamkeit ist unbestritten: Sie verbessert die Wärmedämmung im Winter, spart Energiekosten ein, bildet ein Hitzeschild im Sommer. Das Dach wirkt wie eine natürliche Klimaanlage und leistet schließlich erhöhten Schallschutz durch die Vegetation. Gründächer verbessern das Stadtklima insgesamt und den sommerlichen und winterlichen Wärmeschutz von

Gebäuden. Sie halten Regenwasser zurück und verhindern extreme Temperaturen auf den Dachflächen. Außerdem tragen sie zur Erweiterung der städtischen Grünflächen bei, da der hierfür verfügbare Raum beschränkt ist.

Zu unterscheiden ist zwischen intensiver und extensiver Begrünung. Die intensive Dachbegrünung benötigt eine Vegetationsschicht von 15 bis 45 cm Höhe. Je nach Schichtdicke sind fast alle Pflanzen wie Rasen, Stauden, Sträucher und Bäume, sowie landschaftsgestalterische Maßnahmen, d.h. Teiche, Pergolen und Terrassen möglich. Sie eignet sich für Flachdächer, auch über Tiefgaragen. Sie verlangt einen Aufbau bis zu 2 Metern, regelmäßige Bewässerung, intensive und aufwändige Pflege.

Anders stellt sich die extensive Dachbegrünung dar, die für geneigte Dächer, angeblich bis zu 45 Grad Neigung geeignet ist und einen Substrataufbau von 3 bis 15 cm benötigt. Sie eignet sich wegen des geringen Gewichtes hauptsächlich für die nachträgliche Begrünung meist mit einem Substrat von 3 bis 7 cm Dichte. Dessen Gewicht beträgt rund 50-170 kg/m². Die Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen ist weniger aufwändig und hängt von der Vegetation ab.

Generell gilt in einer niederschlagsarmen Stadt wie Würzburg, dass die Pflanzengesellschaft von Gründächern sehr widerstandsfähig sein müssen, da sie Strahlungsintensität, Trockenzeiten, Überfeuchtung, Nährstoffarmut und Frostzeiten aushalten müssen. Es bedarf auch einer technischen Überprüfung, ob die vorhandenen Dachkonstruktionen für die Aufbringung von extensiver oder intensiver Begrünung geeignet sind. Extensive Begrünung kann auf den steileren Walm- und Satteldächern, die die Würzburger Dachlandschaft zu 90 Prozent ausmachen, angelegt werden, kann jedoch Dachabkantungen benötigen, damit der Mutterboden nicht Halt verliert. Allerdings ist extensive Begrünung weniger wirksam und kann ohne Bewässerung auch austrocknen. Die intensive Begründung ist wesentlich teurer, bleibt in der Altstadt jedoch nur auf einigen Flachdächern von Waren- und Geschäftshäusern und auf Tiefgaragendecken wie der Marktgarage beschränkt. Dennoch könnte gerade hier Dachbegrünung auch das Stadtbild bereichern, weil die Flachdächer optisch wenig ansprechend ausfallen. Auch das Mainfranken-Theater könnte mit Dachbegrünung einen positiven Akzent bilden

Eine Dachbegrünung in der Altstadt Würzburgs stößt jedoch auf Einwände von Denkmalschutz und Stadtbildpflege. Die Würzburger Altstadt ist zusammen mit dem historischen Ringpark denkmalrechtlich als Ensemble geschützt, so dass jegliche Baumaßnahme, sei es

Neubau, Veränderung im Baubestand sich nicht nur dem geschützten Bestand, sondern auch seiner Struktur, z.B. Sichtbeziehungen, Straßennetz, und typischen Elementen einzuordnen haben. Dazu gehört auch die Dachlandschaft. Beim Wiederaufbau der 1945 zu mehr als 90 Prozent zerstörten Altstadt wurde Wert auf das als typisch angesehene, mit Tonziegeln gedeckte Steildach gelegt. Das entsprach im Grundsatz der regionalen Tradition. Da der Wiederaufbau nicht die Kleinteiligkeit und Heterogenität der Vorkriegsbebauung beibehielt, wirkt die Dachlandschaft insgesamt ruhiger und homogener als vor 1945, allerdings auch weniger abwechslungsreich und pittoresk. Dennoch bleibt eine stimmige, historisch orientierte Dachlandschaft. Von dem warmen Rot der Ziegeldächer heben sich die schwarzen Schieferdächer von großen Monumenten wie dem Dom, der Residenz und der Alten Universität ab. Zusammen mit den vielfältigen Türmen und Kuppeln, die sich zur Stadtkrone zusammenfügen, entsteht ein reizvolles Gesamtbild. Dessen Gestalt besitzt für Würzburg besondere Wichtigkeit, da aufgrund der Kessellage der Blick auf die Altstadt von Festung, Käppele und Steinberg zu den wichtigsten Sichtbeziehungen und Identität stiftenden Merkmalen gehört.

Angesichts dieses Kontexts verfährt die Untere Denkmalschutzbehörde, in Würzburg die Bauaufsicht, restriktiv bei der Genehmigung von Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen), die auf Altstadtdächern angebracht werden sollen. PV-Anlage verwandeln mittels Solarzellen die solare Strahlung teilweise in elektrische Energie. Sie werden wegen der günstigen Flächenneigungen überwiegend auf Satteldächern in Südausrichtung montiert. Der gewonnene Strom wird gewöhnlich aufgrund der öffentlichen Förderung in das öffentliche Stromnetz eingeführt und dient nicht – wie die solarthermischen Anlagen (ST-Anlagen) der unmittelbaren Hausversorgung. Anders als thermische Solaranlagen fallen PV-Anlagen aus ökonomischen Gründen großflächig aus. Die optische Wirkung der technisch glatten Oberfläche, die dunkel hinterlegten Glasfläche und der ebenen Gesamtoberfläche stören in der Regel das historische und wesentliche Erscheinungsbild des Denkmals und seiner Umgebung deutlich. PV-Anlagen widersprechen den traditionellen Deckungsmaterialien. Kleinere ST-Anlagen müssen nahe am Haus angebracht werden, PV-Anlagen jedoch können auch außerhalb des Stadtzentrums sinnvoll installiert werden.

Die Kriterien des Genehmigungsverfahrens für PV -Anlagen lassen sich analog auf die Dachbegrünung in der Altstadt anwenden oder hierfür überprüfen. Bei der Einzelfallbeurteilung für Dachbegrünung, denn nur diese ist rechtlich für das BlfD relevant, werden wie für PV-Anlagen folgende Kriterien gelten: Abmessung, Anordnung, Farbigkeit und Standort

der geplanten Begrünung, die Nichteinsehbarkeit vom öffentlichen Raum, die Übereinstimmung mit den prägenden Gebäude- und Dachformen, deren Formen, Materialien und Farben.

Zur Dachbegrünung in der Altstadt lässt sich ein Vergleich mit den solartechnischen Anlagen durchführen. Die Dachbegrünung ist unbedingt standortgebunden und wirkt sich – wie übrigens auch die Fassadenbegrünung - direkt auf das Haus aus, auf dem sie aufgebaut werden soll. Die Materialität ist als natürliche, organische und pflanzliche vom Anblick und der optischen Wirkung wesentlich attraktiver, positiver und in eine historische Stadtlandschaft integrierbarer als PV-Module. Auch die Dachformen einer Dachlandschaft werden dadurch nicht in Frage gestellt.

Mit europäischer, städtebaulicher Tradition lässt sich zumindest die Begrünung geeigneter Dächer auf Altbauten kaum vereinbaren. Dachgärten auf Flachbauten hingegen wurden schon seit Jahrhunderten in europäischen Städten angelegt und bereicherten die Vielfalt der Dachlandschaft. Eine großflächige Dachbegrünung in der Altstadt allerdings würde deren Charakter in seiner traditionellen und gewachsenen Eigenheit grundlegend verändern. Die Dachlandschaft würde eine völlig andere Wirkung entfalten und die historische Wirkung und stimmige Einbettung der zahlreichen Denkmäler stören. Dies trifft natürlich besonders das Weltkulturerbe der Residenz, für das eine besondere Schutzzone existiert, aber auch für die vielen Kirchen und Monumente, die die Würzburger Altstadt als Zeugnis der langen Stadtgeschichte prägen. Eine zeitnahe und völlige Nachbegrünung in der Altstadt stellt momentan eher keine realisierbare Perspektive dar. Hierfür fehlen alle rechtlichen Voraussetzungen.

Die Idee, eine Schutzzone für Denkmäler in der Altstadt vorzusehen, die von begrüntem Dachern frei bleiben, setzt an sich schon das durchgesetzte Ziel einer generellen altstadteinheitlichen Dachbegrünung voraus. Je nach Größe der Schutzzone dürfte dies eine deutliche Reduzierung der Dachbegrünung beinhalten. Die optische Wirkung jedoch fällt negativ aus, weil die Dachlandschaft der Würzburger Altstadt wie ein Flickenteppich aussehen würde. Gerade in Würzburg öffnet sich die Stadt jedoch nach oben zur Festung und dem Käppele. Diese Blickbeziehung würde stark gestört, gleichgültig ob eine einheitliche oder mit Ziegeldachinseln durchsetzte grüne Dachlandschaft realisiert würde. Trotzdem können Kartografierungen und virtuelle Abbildungen zur weiteren Analyse und Meinungsbildung stützend beitragen und neue Anregungen beisteuern.

Die Attraktivität der Altstadt beruht besonders auf der heterogenen, historischen Struktur, deren Schutz Aufgabe von Denkmal- und Stadtbildpflege darstellt. Wer die Vorteile einer historischen Altstadt für seinen Wohnort in Anspruch nehmen will, muss auch deren Probleme bis zu einem gewissen Grade hinnehmen. Dazu können in Zukunft auch die starke Beschränkung des privaten PKW-Verkehrs und die Verkehrsberuhigung größerer Quartiere gehören, die wesentliche Maßnahmen einer ökologischen Wende in unseren Städten darstellen.

In dem skizzierten Kontext werden nachträgliche Dachbegrünung und PV-Anlagen weiterhin als Einzelfälle in Bezug auf ihre Einbettung in das Ensemble von den Denkmalschutzbehörden untersucht werden. Meiner Meinung nach lassen sich Dachbegrünungen als Einzelelemente in der historischen Dachlandschaft besser integrieren und als auflockernde Akzente sogar positiv bewerten. Allerdings sollte m.E. in der Würzburger Altstadt ein Flächenanteil von 10 bis 15 Prozent nicht überschritten werden. Angesichts der Tatsache, dass nicht einmal drei Prozent des Baubestands in Deutschland als Denkmäler geschützt sind, eine Dachbegrünung anteilig an den vorliegenden Dachflächen noch geringer ausfällt, besteht ein erheblicher Spielraum auch in historischen Altstädten, wesentlich stärker jedoch in den anderen städtischen Quartieren, die nicht durch ihre Geschichtlichkeit und Gestalt definiert sind. Deswegen zählt die Dachbegrünung einer historischen Altstadt für mich nicht zu den vorrangigen Mitteln einer ökologischen Wende in den Städten und Würzburg.

STADT WÜRZBURG FA BAULEITPLANUNG (2019): protokolliertes Expertengespräch (Anhang). Würzburg, 04.07.2019.

Anlage 13: Vor-Ort-Gespräch zum Thema des Nutzens einer Potentialanalyse für die städtische Bauleitplanung

Korrespondenz:

██████████

FB Stadtplanung

FA Bauleitplanung

Stadt Würzburg

Beim Grafeneckart 1

97070 Würzburg

Gespräch vom 04.07.2019

Gedächtnisprotokoll:

FA Bauleitplanung zum Nutzen einer GIS-Potentialanalyse für die Planungsbehörden der Stadt Würzburg und Bewertung der Methodik

- habe mir Ihre Unterlagen mal angeschaut, finde Ihr Projekt interessant und richtig
- an dem Thema sitzen wir hier (die Abteilung) derzeit auch dran
- Interesse an einem automatisiertem Tool (wie in einem Excel-Programm), mit dem sich die Behörde die begrünbaren Flächen anzeigen lassen kann und sich dann die ökologischen Vorteile für die Umwelt (Wasserspeicherung, Abkühlungseffekt) und sich dann die Kosten dafür ausgeben lassen kann
- die Kosten kann man dann gegenrechnen mit den Kosten, die anfallen, wenn man das Dach ohne Begrünung erneuern würde
- so lässt sich auch den Eigentümern in Würzburg der ökonomische Mehrwert (von Dachbegrünung) vermitteln, hier herrscht viel Handlungsdruck, die Eigentümer zu überzeugen
- solch eine Analyse wäre also v.a. für Argumentationszwecke sinnvoll
- sinnvoll wäre eine Detektion von Kiesflächen auf Dächern, da diese statisch eine ähnliche Belastung wie die Dachbegrünung darstellt, diesbezüglich wäre es sinnvoll Person ████████ zu kontaktieren – sie hat jahrelange Erfahrung mit dem Thema Photogrammetrie und kann auch viel zur Oberflächenklassifikation sagen
- zudem nutzt die Stadt selbst dreidimensionale Gebäudemodelle, die sind geeigneter, bei Ihren Geometriedaten werden auch Innenhöfe, also nicht nur Dachflächen mit einbezogen, die sollten nicht drin sein

FA Bauleitplanung zur Festsetzung von Dachbegrünung in Würzburg und zur Rezeption des Themas Gebäudebegrünung auf Ebene der Planungsbehörden sowie der Kommunalpolitik

- im Gewerbegebiet (Schweinfurter Straße) gibt es ja entsprechende Satzungen (zur Dachbegrünung) aber es ist immer ein Kampf solche Satzungen durchzubringen, auch auf politischer Ebene im Stadtrat
- es gibt in Würzburg einen Trend, die Grünfläche immer mehr zu reduzieren, einmal wegen des hohen Pflegeaufwands und andererseits gibt es für so was keine Mehrheit im Stadtrat; dieser will keine sinkenden Wählerstimmen riskieren und die Grünen haben dort keine Mehrheit
- in den Behörden scheint das Thema eigentlich aktiv zu sein
- aber auch bei den Wohneigentümern ist es v.a. eine Frage des Geldes, weil diese eher über die Kostenbilanz nachdenken und da herrschen bezüglich Langlebigkeit des begrünten Daches und Installationskosten Vorbehalte
- auch hat Dachbegrünung für viele nicht den hohen positiven Stellenwert für Klimaanpassungsmaßnahmen, weil es Studien gibt, die nur das Reflektionsverhalten untersuchen und da steht Dachbegrünung nicht so gut da, weil sie Sonneneinstrahlung eher absorbiert. Stattdessen setzt man eher auf weiße Flächen mit hoher Albedo. Die Themen der Absorption werden da außer Acht gelassen und es wird sich nur auf einen Faktor konzentriert

zu den möglichen Instrumenten zur Festsetzung (nachträglicher) Gebäudebegrünung in Würzburg

- für die allgemeine Begrünung von Gebäuden haben wir grob zwei Werkzeuge: Einmal die informelle Planung. Das ist zum Beispiel die Bürgerbeteiligung beim Flächennutzungsplan, mit dem auch ein neuer Landschaftsplan aufgestellt wird. Die sind natürlich nicht verbindlich, es handelt sich um die vorbereitende Bauleitplanung, um die informelle Vorbereitung. Diese ist dann für die Bauleitplanung aber wegweisend, wo soll die Entwicklung ökologisch hingehen, weil ja auch Gutachten daraus hervorgehen. Dann haben wir die Bauleitplanung mit Satzungen in Form von Bebauungsplänen und Gestaltungssatzungen
- über die Bauleitplanung als Zwang ist die Dachbegrünung aber kaum realisierbar – rechtskräftig bedeutet nicht rechtswirksam
- alternativ muss man Impulse setzen durch höhere Förderung
- wobei die Resultate durch das Förderprogramm gering sind
- auch eine indirekte Förderung über die Entwässerungssatzung wäre möglich
- eine gezielte Förderung von Leuchtturmprojekten kann die Hemmschwellen der Eigentümer (und der Politik) gegenüber Dachbegrünung auflösen. Solche Projekte hätten eine Wertsteigerung der Immobilie als Konsequenz, was wiederum Signalwirkung auf andere Eigentümer hätte, die dieses Konzept vielleicht in kleinerem Umfang kopieren wollen würden.
- eine Möglichkeit gebe es noch (auch im Rahmen von Förderung quasi): Befreiungen von den Vorgaben des Bauplanungsrechts. Ein Bauantrag, der dem Planungsrecht nicht entspricht, könnten die Behörde dennoch genehmigen unter gewissen Auflagen, die den städtebaulichen Zielen entsprechen: Zum Beispiel könnte man sein Dach intensiv begrünen und nutzbar (Dachgarten) machen, und dieses müsste dann öffentlich zugänglich gemacht und für die öffentliche Nutzung freigegeben werden. Durch die daraus resultierende Wertsteigerung könnte die Dachbegrünung für den Eigentümer/Investoren weit akzeptabler gemacht werden. Dies hätte dann wiederum eine Signalwirkung auf andere Eigentümer. Nachteil: Dies würde einen Rattenschwanz im Baurecht nach sich ziehen, da gäbe es viel zu prüfen.

zur Bewertung des Szenarios, dass für das Untersuchungsgebiet, also die stadtklimatisch gestressten Stadtbezirke solche Festsetzungen (z.B. alle Dächer mit bis zu 8° Dachneigung sind zu begrünen) beschlossen werden könnten, vielleicht sukzessive flächendeckend?

- das ist mit den bauleitplanerischen Instrumenten wie Gestaltungssatzungen und B-Plänen theoretisch schon möglich aber erst muss das durch den Stadtrat gebracht werden und dann noch von den Eigentümern freiwillig umgesetzt werden – sehr schwierig mit Mitteln der Bauleitplanung, weil ja erstmal der Bestandsschutz für Eigentümer gilt. Auch sollte man keinen Eigentümer Dachbegrünung aufzwingen, wenn er freiwillig ähnliche Maßnahmen wie die Installation von Photovoltaikanlagen angeht. Mit so einer Sanierung könnte man sich von gewissen Festsetzungen wie Dachbegrünung befreien, wenn es z.B. städtebaulich vertretbar ist und auch im Sinne des Klimaschutzes ist
- v.a. in der Altstadt problematisch
- Denkmalschutz allgemein sollte für Flachdächer kein Problem darstellen, diese stünden ja nicht unter Denkmalschutz – und im Nähebereich eines Baudenkmals dürfte sich Dachbegrünung vielleicht eher positiv denn störend auswirken – dies erfordert aber immer Einzelfallprüfungen, pauschal lässt sich das nicht sagen

MANN, G. (2019): Präsident Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG): E-Mail-Korrespondenz (Anhang). Würzburg, 28.07.2019.

Anlage 14: E-Mail-Antwort zur Anfrage an den BUGG zum Thema Dachbegrünung

Korrespondenz:

Dr. Gunter Mann

Präsident

Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG)

www.gebaeudegruen.info

www.bugg.de

Antwort erhalten am 28.07.2019

Antworten seitens Herrn Dr. Mann in *kursiver* Schrift

1. Im **Abschlussbericht** (DDV/DLR 2015) des Projektes „**Fernerkundliche Identifizierung von Vegetationsflächen auf Dächern...**“ kommen vier Kommunen vor, die das automatisierte fernerkundliche Verfahren zur Inventarisierung und Potentialanalyse von Dachbegrünung bereits genutzt haben (München, Stuttgart, Karlsruhe, Nürtingen). Nürnberg, Mannheim, Frankfurt und Dortmund hatten eine Nutzung der

Methode in Aussicht gestellt. Entsprechend eines Hauptzieles meiner Arbeit, den umsetzungsorientierten Nutzen der Ergebnisse für die Stadtplanung zu erörtern, interessieren mich hierbei die **Erfahrungen**, welche die **Kommunen** mit der auf die GIS-Potentialanalyse folgenden „**Aktivierung**“ bzw. Umsetzung des **Flächenpotentials** gemacht haben. Insbesondere ist für mich von Interesse, ob oder welche **Schritte in der Bauleitplanung** unternommen wurden, um auch die **nachträgliche Begrünung** bestehender Gebäude voranzubringen. Haben Sie hierzu **Erfahrungsberichte** der Kommunen vorliegen?

- *Mann: Bitte direkt die Städte fragen, wir haben da keine Rückläufe.*

2. Können Sie eine **Einschätzung zur Rechtmäßigkeit** einer **bauleitplanerischen Satzung** (z.B. in Form eines flächendeckenden B-Plans oder einer Gestaltungssatzung) machen, welche über weite Teile des Stadtgebietes eine **nachträgliche Dachbegrünung** von dafür **geeigneten Bestandsgebäuden** festsetzt? (also nur für solche Gebäude, welche die bautechnischen Erfordernisse für eine nachträgliche Dachbegrünung bereits erfüllen und für welche eine solche Nachrüstung somit zumutbar ist)

2.1. Wie wahrscheinlich wäre die Möglichkeit einer Befreiung von den Festsetzungen des Bebauungsplanes nach §31 BauGB?

2.2. Oder: Sind Ihnen **Kommunen mit entsprechenden bauleitplanerischen Satzungen** bekannt?

- *Mann: Bitte direkt die Städte fragen, wir haben da keine Rückläufe.*

3. In der aktuellen **Dachbegrünungsrichtlinie** der FLL stehen nur Lösungen für abgedichtete Flachdächer und WU-Betondächer (FLL 2018: 31): „Die derzeit eingesetzten Bauweisen und Stoffe für **Dächer mit Deckungen** sind i.d.R. für eine **Begrünung nicht geeignet**. Bei entsprechenden bautechnischen Vorgaben besteht die Möglichkeit, auch solche Dächer zu begrünen, ggf. sind Sondermaßnahmen, z.B. wasserdichte Unterdächer, erforderlich“. Warum wird **diese Art der Dachbegrünung nicht stärker forciert**, auch seitens der Hersteller? Eigentlich scheint das System ja zu funktionieren.

(Bezüglich einer nachträglichen Begrünung von steileren und eingedeckten Dächern habe ich den **Kunststoffhersteller Atka** befragt, der die bauaufsichtlich zugelassenen Dachbegrünungspfannen GDP30 und GDP45 als Lösung anbietet (<https://www.atka.de/topgreen/topgreen-gdp30.html>). Diese könnten auch nachträglich auf die vorhandene Dachkonstruktion gebracht werden. Dabei müssten die Dachziegel runter und die Dachkonstruktion entsprechend der Vorgaben (Lattabstand) angepasst werden.)

- *Mann: Es ist nur die Fa. Atka, die sowas anbietet und leider zu wenig in der Öffentlichkeit präsent ist, dass es keine oder kaum Berichte über Langzeiterfahrungen gibt. Deshalb nicht in der FLL-Richtlinie.*

4. Ich habe in einem **Webinar** der ZEBAU (April 2019) einen interessanten Vortrag von Dr. Günter Mann (BUGG) zum Thema Dachbegrünung mitverfolgt. Darin nannte er konkrete **Werte zu Wasserrückhaltung, CO2-Reduktion** und auch den **Kosten** für intensive und extensive Dachbegrünung. Könnte ich diese Werte einsehen und für meine Analyse verwenden, unter Verweis auf Ihre **Quelle**? Bzw. können Sie mir eine entsprechende Quelle empfehlen?

- *Mann: Habe ich da konkrete Werte angegeben? Meinen Vortrag als pdf folgt per wetransfer.com.*

5. Beziehen sich die **Kosten** pro m² (im Vortrag: Extensiv: ab ca. 30 Euro/m², Intensiv: ab 70-100€) nur auf das Material zur Anlage der Dachbegrünung (also Substrat und die unt. Aufbausichten)?

- *Mann: Die Kostenrichtwerte beziehen sich nur auf alles, was oberhalb der Dachabdichtung kommt: Schutzvlies, Drainage, Filtervlies, Substrat, Pflanzen; und meist auf große Flächen bezogen; je kleiner die Dächer, desto teurer! Siehe auch hier: <https://www.optigruen.de/systemloesungen/>*

6. Welche **Kostenfaktoren** spielen bei der (nachträglichen) Dachbegrünung noch eine Rolle?

- *Mann:*
 - o *Ggf. Ertüchtigung der Statik*
 - o *Ggf. Wurzelfeste Dachabdichtung*
 - o *Ggf. Zugang zum Dach für Pflege und Wartung*
 - o *Ggf. Absturzsicherung*
 - o *Ggf. Wasseranschluss*

7. Inwiefern unterscheiden sich die **Projektkosten** einer **nachträglichen Begrünung** auf einem **Flachdach** von den normalen - also bei Neubau entstehenden - Projektkosten einer Dachbegrünung? Lassen sich hier **grob pauschale qm-Kosten** nennen?

- *Mann: Die Mehrkosten entstehen eher durch eine erschwerte Logistik beim nachträglichen Einbau und bei der Nachrüstung der unter 6 genannten Punkte. Werte lassen sich nicht benennen.*

8. Inwiefern unterscheiden sich die **Projektkosten** einer **nachträglichen Begrünung** auf einem **eingedeckten Schrägdach** wiederum von den Kosten der nachträglichen Begrünung eines **Flachdaches**? Lassen sich hier **grob pauschale qm-Kosten** nennen?

- *G. Mann: Da müssten Sie die Fa. Atka fragen.*

9. Ist die **nachträgliche Dachbegrünung** auch möglich auf solchen Dächern, auf denen bereits **Photovoltaikanlagen** angebracht sind, oder ist der Aufwand zu hoch, weil diese erst entfernt werden müssten?

- *Mann: Eine nachträgliche Begrünung von Solardächern wäre viel zu aufwändig und zweifelhaft wegen der Pflege der Begrünung. Das muss im Vorfeld gemeinsam geplant und umgesetzt werden!*

10. Gibt es eine deutsche **Statistik zur Dachbegrünung** (oder Gebäudebegrünung)? Beispielsweise zur Anzahl jährlich begrünter Dächer oder die Anzahl an Kommunen mit entsprechenden Förderprogrammen?

- *Mann: Demnächst (Oktober) in unserem "BuGG-Marktreport Gebäudegrün 2019". In 2018 wurden in Deutschland etwa 6-8 Mio. Quadratmeter Dachfläche neu begrünt. Zu den Kommunen: <https://www.gebaeudegruen.info/gruen/dachbegruenung/wirkungen-vorteile-fakten/foerderung>*

Vielen Dank für Ihre Zeit!

Anlage 15: Nutzungsbedingungen der Bayerischen Vermessungsverwaltung

Bayerische Vermessungsverwaltung
www.geodaten.bayern.de



Bedingungen für die Bereitstellung und Nutzung von Geobasisdaten und Geodatendiensten der Bayerischen Vermessungsverwaltung (Nutzungsbedingungen)

1. Anwendungsbereich

Für die Bereitstellung und Nutzung von digitalen Geobasisdaten (nachfolgend: Daten) und Geodatendiensten (nachfolgend: Dienste) der Behörden der Bayerischen Vermessungsverwaltung, die dem Nutzer (nachfolgend: Lizenznehmer) in Erfüllung eines Auftrages oder eines Nutzungsvertrages geliefert werden, gelten die folgenden Nutzungsbedingungen. Besondere Nutzungsbedingungen für allgemein zugängliche Daten und Dienste bleiben unberührt. Im übrigen gelten die gesetzlichen Nutzungsrechte (s. Nr. 5). Allgemeine Geschäftsbedingungen des Lizenznehmers werden nicht anerkannt.

2. Interne Nutzung

- 2.1 Der Lizenznehmer erhält das nicht ausschließliche und mit Ausnahme der Nr. 4.1 nicht übertragbare Recht, die Daten und Dienste im internen Bereich nach Maßgabe der Nm. 2.2 bis 2.4 zu nutzen.
- 2.2 Die Daten dürfen vervielfältigt und in ein internes Informationssystem eingestellt werden.
- 2.3 Rasterdaten, die über Geodatendienste mit direktem Datenzugriff (z.B. Web Map Services) abgerufen werden, dürfen nicht gespeichert oder an andere Arbeitsplätze weitergegeben werden.
- 2.4 Daten, die als Druckauszug (PDF) abgerufen werden, dürfen nur in analoger Form oder als PDF genutzt und vervielfältigt werden.

3. Präsentation, öffentliche Zugänglichmachung und Verbreitung (externe Nutzung)

Bei der internen Nutzung sind folgende weitere Nutzungsrechte ohne besondere Erlaubnis eingeschlossen:

- 3.1 Der Lizenznehmer darf die Daten auf Ausstellungen und eigenen Veranstaltungen präsentieren.
- 3.2 Der Lizenznehmer darf eine einzige, nicht georeferenzierte, ausschließlich pixelstrukturierte Darstellung der Daten, entweder als statisches Bild oder als PDF-Dokument bis zum Format DIN A 3, öffentlich zugänglich machen, wenn der Zugang zur Webseite kostenfrei ist, der Umfang der Daten 1 Mio. Pixel nicht überschreitet und die Quellenangabe nach Nr. 3.4 als Link auf http://vermessung.bayern.de/file/pdf7203/Nutzungsbedingungen_Viewing.pdf ausgeführt wird.

- 3.3 Der Lizenznehmer darf eine einzige Darstellung der Daten als PDF-Dokument oder in analoger Form nach Maßgabe von Nr. 3.2 bis zu einer Stückzahl von 100 Exemplaren unentgeltlich verbreiten.

- 3.4 Der Lizenznehmer ist verpflichtet, bei jeder Präsentation, Verbreitung oder öffentlichen Wiedergabe der Daten folgende Quellenangabe deutlich erkennbar anzubringen:
Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung

4. Weitergabe an einen Auftragnehmer

- 4.1 Die Weitergabe von Daten und Diensten an einen Auftragnehmer des Lizenznehmers ist zulässig, soweit und solange dies zur Erfüllung eines Auftrags erforderlich ist.
- 4.2 Im Fall der Beauftragung hat der Lizenznehmer den Auftragnehmer unter Verwendung des Mustervpflichtungserklärung schriftlich zu verpflichten, die übernommenen Daten und Dienste ausschließlich für die Bearbeitung des Auftrags zu verwenden, sie in keinem Fall Dritten zugänglich zu machen und nach Erfüllung des Auftrags alle bei ihm verbliebenen Daten zu löschen.
- 4.3 Der Lizenznehmer hat auf Verlangen schriftlich Auskunft über die Beauftragung von Auftragnehmern zu geben.

5. Rechtliche Hinweise

- 5.1 Die Bayerische Vermessungsverwaltung besitzt alle Rechte an den von ihr bereitgestellten Daten und Diensten. Insbesondere besitzt sie die Urheberrechte an den kartographischen Werken, die Rechte an den Luftbildern und die Rechte als Datenbankhersteller nach dem Urheberrechtsgesetz. Außerdem unterliegen die Daten den Bestimmungen des Vermessungs- und Katastergesetzes (VermKatG).

Jede Nutzung der Daten und Dienste durch Bearbeitung, Vervielfältigung, Digitalisierung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder auf sonstige Weise ist daher nur mit Einwilligung der Bayerischen Vermessungsverwaltung zulässig, sofern nicht einer der gesetzlichen Ausnahmetatbestände vorliegt. Die Einräumung von Nutzungsrechten kann durch Übermittlung dieser Nutzungsbedin-

ungen, durch einen Nutzungsvertrag, eine Nutzungserlaubnis oder auf andere Weise erfolgen.

Einer besonderen Einwilligung bedarf es insbesondere bei einer erweiterten externen Nutzung über Nr. 3 hinaus. Die rechtswidrige Vervielfältigung, Verbreitung und öffentliche Wiedergabe ist nach dem Vermessungs- und Katastergesetz und nach dem Urheberrechtsgesetz mit Geldbuße oder Strafe bedroht.

- 5.2 Grenzpunktkoordinaten sind nicht ohne weiteres für die Absteckung von Grenzen oder grenznahen Gebäuden mit Zentimetergenauigkeit geeignet, da sie nur einen Teil des Katasternachweises ausmachen. Aus Koordinaten berechnete Flächen können von den Flächenangaben im Liegenschaftskataster und Grundbuch abweichen. Der Lizenznehmer ist nicht befugt, Grenzen festzustellen, vorzuweisen oder abzumarken. Die verbindliche Feststellung der Grundstücksgrenzen in der Örtlichkeit ist den staatlichen Vermessungsbehörden oder anderen gesetzlich befugten Stellen vorbehalten (Art. 8, 12 VermKatG).
- 5.3 Für die Nutzung personenbezogener Daten des Liegenschaftskatasters gelten die Bestimmungen des Art. 11 VermKatG und die übrigen gesetzlichen Vorschriften zum Datenschutz. Nr. 3 dieser Nutzungsbedingungen findet keine Anwendung.

6. Kosten

- 6.1 Die Bereitstellung und Nutzung der Daten und Dienste ist kostenpflichtig. Die Kosten bemessen sich nach der Gebühren- und Preisliste der Bayerischen Vermessungsverwaltung in der jeweils zum Zeitpunkt der Datenabgabe oder Nutzung der Dienste geltenden Fassung.
- 6.2 Rechnungen sind mit dem Zugang beim Lizenznehmer fällig und innerhalb von 30 Tagen ab Rechnungsdatum ohne Abzug zu bezahlen. Die Rechtsinräumung wird erst mit der Zahlung des Rechnungsbetrages wirksam.

7. Gewährleistung, Haftung

- 7.1 Die Bayerische Vermessungsverwaltung stellt die Daten und Dienste mit der zur Erfüllung ihrer öffentlichen Aufgaben erforderlichen Sorgfalt bereit. Die Bayerische Vermessungsverwaltung übernimmt jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Daten sowie für die ständige Verfügbarkeit der Dienste. Für Schäden, die durch die Nutzung der Daten und Dienste entstehen, haftet der Freistaat Bayern nach den gesetzlichen Vorschriften.
- 7.2 Der Lizenznehmer hat durch geeignete Maßnahmen dafür zu sorgen, dass Dritte keinen Zugriff auf die Daten und Dienste nehmen können und dass Mitarbeiter des Lizenznehmers die Daten und Dienste weder zu eigenen Zwecken nutzen noch Dritten zugänglich machen. Der Lizenznehmer hat auf Verlangen Auskunft über die getroffenen Maßnahmen zu geben.

- 7.3 Der Lizenznehmer haftet bei Verstößen gegen diese Nutzungsbedingungen, insbesondere bei vertragswidriger Nutzung oder Weitergabe von Daten oder Zugangskennungen für Dienste durch den Lizenznehmer oder seine Mitarbeiter, für die der Bayerischen Vermessungsverwaltung dadurch entgangenen Gebühren und Entgelte.

8. Datenschutz

Hinweise zum Datenschutz nach Art. 13 Datenschutzgrundverordnung (DSGVO)

Verantwortlich für die Verarbeitung der Daten des Lizenznehmers ist die Stelle, die den Antrag auf Nutzung von Daten bearbeitet, entweder das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung oder das örtlich zuständige Amt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung.

Die Angaben des Lizenznehmers werden zum Zweck der Bestellabwicklung und der Abrechnung verarbeitet. Zum Zweck der Zahlungsabwicklung werden die Angaben an die Staatsoberkasse Bayern übermittelt.

Rechtsgrundlage der Verarbeitung sind Art. 4, 11 VermKatG und Art. 6 Abs. 1 Buchst. a, b, c, e DSGVO. Weitere Informationen über die Verarbeitung der Daten und die Rechte des Lizenznehmers bei der Verarbeitung seiner Daten sind im Internet unter www.lbv.bayern.de/datenschutz oder beim Kundenservice erhältlich.

9. Information für Verbraucher

9.1 Widerrufsrecht

Das gesetzliche Widerrufsrecht für Verbraucher besteht bei der Bestellung von Daten und Diensten über GeodatenOnline sowie von vorgefertigten Produkten (z.B. Dateien ganzer Kartenblätter). Der Verbraucher kann seine Bestellung binnen vierzehn Tagen nach Erhalt der Ware bzw. der Zugangskennung und einer ausführlichen Belehrung widerrufen. Kein Widerrufsrecht besteht gemäß § 312g Abs. 2 Nr. 1 B/GB bei Datenauszügen, für deren Herstellung eine individuelle Auswahl oder Bestimmung durch den Verbraucher maßgeblich ist.

9.2 Alternative Streitbeilegung

Die Bayerische Vermessungsverwaltung nimmt nicht an Streitbeilegungsverfahren vor einer Verbraucherschlichtungsstelle teil.

Ehrenwörtliche Erklärung:

Hiermit erkläre ich, Herr Simon Pätzold, geboren am 09.04.1992 in Würzburg, diese Masterarbeit selbstständig verfasst und unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt zu haben. Diese Arbeit wurde in keinem anderen Prüfungsverfahren eingereicht.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Simon Pätzold', written over a horizontal line.

Würzburg, den 29.08.2019