

Deutscher Dachgärtner Verband e.V. (DDV)

**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

von

Wolfgang Ansel (Deutscher Dachgärtner Verband e.V., DDV)

Julian Zeidler (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR)

Dr. Thomas Esch (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR)

November 2015

**Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	30299	Referat	23	Fördersumme	102.605
Antragstitel		Fernerkundliche Identifizierung von Vegetationsflächen auf Dächern zur Entwicklung des für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes aktivierbaren Flächenpotenzials in den Städten			
Stichworte		Information, Analytik, Klima, Grasdach			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
30 Monate	30.05.2013	27.11.2015	1		
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger	Deutscher Dachgärtner Verband e. V. Postfach 20 25 72610 Nürtingen			Tel	07022 301378
				Fax	07022 301379
				Projektleitung Wolfgang Ansel	
				Bearbeiter Wolfgang Ansel	
Kooperationspartner	Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) / Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Oberpfaffenhofen, ZinCo GmbH, Nürtingen Weitere kommunale und wissenschaftliche Kooperationspartner: Stadt Hamburg, Stadt Karlsruhe, Stadt München, Stadt Stuttgart, Stadt Nürtingen, Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK), HafenCity Universität Hamburg (HCU)				
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
Trotz der langen Tradition der Dachbegrünung in Deutschland besitzen nur eine Handvoll Kommunen detaillierte Angaben zur Anzahl der bereits begrünten und begrünbaren Dächer im Stadtgebiet. Beide Werte stellen aber eine wichtige Grundlage dar, um das für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes aktivierbare Flächenpotenzial auf den Dächern der Stadt quantitativ zu erfassen, zu lokalisieren und gezielt auszubauen. Mit der Entwicklung einer automatisierten Methode zur fernerkundlichen Inventarisierung und Potenzialanalyse der städtischen Dachflächen sollte dieses Wissensdefizit beseitigt werden.					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
Im Vorfeld der Methodenentwicklung wurden Vor-Ort-Termine mit den beteiligten Städtepartnern vereinbart. Dabei wurden konkrete stadtplanerische Fragestellungen formuliert (z. B. im Bereich Stadtklima, Niederschlagswassermanagement, Artenverlust), für deren Lösung die fernerkundliche Inventarisierung und Potenzialanalyse begrünter Dächer wichtige Daten liefern kann. Für die sich anschließende Softwareentwicklung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen stellten die Kommunen hochaufgelöste Luftbildaufnahmen und verschiedene Gebäudebasisdaten zur Verfügung. Dabei zeigte es sich, dass in diesem Bereich auf kommunaler Ebene sehr unterschiedliche Standards und Dateiformate verwendet werden. Bei der Softwarekonfiguration wurde dieser Aspekt entsprechend berücksichtigt. Außerdem wurden flexible Einstellungsparameter integriert, die eine weitere Anpassung an spezielle Fragestellungen ermöglichen. Vor der finalen Konfiguration der Software wurden der aktuelle Stand der Methodenentwicklung und erste Auswertungen bei einem Workshop mit den kommunalen Vertretern diskutiert. Dabei wurden Anmerkungen, Ideen und Kritikpunkte der Städtepartner gesammelt, um die Methodik praxisgerecht auf die Anforderungen der zukünftigen Nutzer anzupassen. Parallel dazu wurde ein Konzept entwickelt, um die Methode nach Ablauf des Projektes als neuen fernerkundlichen Dienstleistungsstandard anbieten zu können.					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt □ An der Bornau 2 □ 49090 Osnabrück □ Tel 0541/9633-0 □ Fax 0541/9633-190 □ http://www.dbu.de					

Ergebnisse und Diskussion

Die Entwicklung des automatisierten fernerkundlichen Verfahrens zur Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünung wurde erfolgreich abgeschlossen. Die neue Methode ist in der Lage, durch die Kombination von hochaufgelösten Falschfarbeninfrarot-Luftbildaufnahmen und Gebäudebasisdaten vorhandene Dachbegrünungen mit einer großen Genauigkeit zu identifizieren. Als Bestandteil der Inventarisierung werden außerdem verschiedene qualitative und quantitative Werte (u.a. Stärke des Vegetationssignals, Deckungsgrad der Begrünung) ausgegeben, die einen Rückschluss auf den Zustand der Dachvegetation erlauben. Im Bereich der Potenzialanalyse konnten flach geneigte Dächer und Dächer mit Kiesbelag ermittelt werden, die sich für eine nachträgliche Begrünung besonders eignen. Die Auswertemöglichkeiten umfassen Einzelgebäude, Quartiere oder bei entsprechender Aufsummierung auch das gesamte Stadtgebiet. Die Anzahl der Dachbegrünungen in den untersuchten Städten ist teilweise deutlich höher als erwartet. So wurden in München mehr als 50.000 Gebäude mit einer Gesamtfläche von 3,1 Millionen m² Dachbegrünung identifiziert. Gleichzeitig ist nach wie vor der größte Teil der städtischen Dächer unbegrünt. Bei den flach geneigten Dächern zeigt sich in München hier beispielsweise ein Wert von 13,5 Millionen m². Inventarisierung und Potenzialanalyse ergeben ein Gesamtbild, auf dessen Basis die bereits vorhandenen und die noch zu aktivierenden Ökosystemleistungen begrünter Dächer für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes besser abgeschätzt und gezielt entwickelt werden können.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Methodenentwicklung wurde mit zahlreichen Presseveröffentlichungen und Projektpräsentationen begleitet. Anlässlich der Weltleitmesse BAU in München im Januar 2015 wurde das Projekt am Gemeinschaftsstand der Deutschen Bundesstiftung Umwelt vorgestellt. Eine weitere, umfangreiche Präsentation für das Fachpublikum erfolgte beim „2. Fachseminar Dachbegrünung für Kommunen“ im Februar 2015 in Osnabrück. Dabei wurden im Vortragsprogramm auch aktuelle kommunale Gründach-Initiativen aus Hamburg, Berlin, Hannover und Stuttgart erläutert. Weitere Projektberichte erfolgten bei Gründach-Seminaren im In- und Ausland. Im April 2015 wurde das Projekt beim 4. Internationalen Gründach-Kongress in Istanbul mit dem International Green Roof Leadership Award ausgezeichnet. Als Werkzeug der nachhaltigen Stadtentwicklung richtet sich die neuartige Methodik vor allem an die kommunalen Fachbehörden (Bauamt, Stadtplanungsamt, Umweltamt, Grünflächenamt, Naturschutzbehörden, Entwässerungsbetriebe etc.). Bereits während der Projektentwicklung konnten Kontakte zu verschiedenen interessierten Kommunen geknüpft werden (u.a. Nürnberg, Mannheim, Frankfurt, Dortmund), die die Methode später gerne einsetzen würden. Die unterstützende Öffentlichkeitsarbeit zur Etablierung der Methode in diesem Segment erfolgt nach Abschluss des Projektes kontinuierlich über das Netzwerk des Deutschen Dachgärtner Verbandes und des Kooperationspartners Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK).

Fazit

Die fernerkundliche Identifikation begrünbarer Dachflächen stellt eine wichtige Grundlage dar, um die für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes aktivierbaren Flächenpotenziale auf den Dächern der Stadt quantitativ zu erfassen, zu lokalisieren und gezielt zu entwickeln. Dabei spielen natürlich auch die bereits vorhandenen Gründach-Flächen, die im Rahmen der Inventarisierung erstmalig sichtbar gemacht und genau lokalisiert werden, eine wichtige Rolle. Die entwickelte Softwarelösung macht damit eine bisher noch weitgehend ungenutzte Flächenressource mit einem riesigen Entwicklungspotenzial für die stadtoökologischen Analysen zugänglich – die Dachflächen der Städte. Vor dem Hintergrund der Herausforderungen des Klimawandels wird die Erschließung dieser Reserveflächen als Bestandteil der städtischen grünen Infrastruktur in Zukunft stark an Bedeutung gewinnen.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt Az. 30299	2
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	5
Verzeichnis der Abkürzungen	7
Zusammenfassung	8
1) Einleitung	9
2) Fernerkundliche Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünung	12
2.1) Arbeitsplan	12
2.2) Grundlagen der Dachbegrünung	13
2.3) Stadtökologische Wirkungen begrünter Dächer	14
2.4) Entwicklung der Methode	17
2.4.1) Eingangsdaten	17
2.4.2) Gründach-Inventarisierung	20
2.4.3) Potenzialanalyse	25
2.5) Beschreibung der Software	27
2.6) Ergebnisse	29
2.6.1) Analyse Einzelgebäude	31
2.6.2) Analyse Stadtgebiet	34
2.7) Einsatzgebiete des Verfahrens	37
2.8) Netzwerk- und Öffentlichkeitsarbeit	39
3) Fazit	40
Literaturverzeichnis	42
Anhang	46

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

Abb. 1: Diagramm der spektralen Signatur	18
Abb. 2: Echtfarben- und Falschfarben-Luftbildaufnahmen	19
Abb. 3: Hausumringe mit Attributtabelle aus dem Liegenschaftskataster	20
Abb. 4: Verschneidung Luftbilddaten und Hausumringe	20
Abb. 5: Visuelle Darstellung der NDVI-Berechnung	22
Abb. 6: Gründach-Identifizierung auf Gebäudeebene	23
Abb. 7: Potentielle Fehlerquelle Überschirmung	24
Abb. 8: Potentielle Fehlerquelle Verkippung	25
Abb. 9: Beispiele für Flachdächer mit unterschiedlichen Dachbedeckungen	25
Abb. 10: Beispiel für ein Quicklook-PDF	29
Abb. 11: Falschfarbeninfrarot-Luftbild einer Dachfläche mit überwiegend niedrigem Vegetationssignal	32
Abb. 12: Falschfarbeninfrarot-Luftbild einer Dachfläche mit überwiegend mittlerem Vegetationssignal	33
Abb. 13: Luftbild eines detektierten Kiesdaches	34

Tabellen

Tab. 1: Klassifizierung von Dachbegrünungsarten	13
Tab. 2: Klassifizierung der Bildpunkte anhand von NDVI-Schwellenwerten	21
Tab. 3: Übersicht und Erläuterung verschiedener erzeugter Attribute	30
Tab. 4: Beispiel 1 Dachfläche mit überwiegend niedrigem Vegetationssignal Schwellenwerte und berechnete Attribute	31
Tab. 5: Beispiel 2 Dachfläche mit überwiegend mittlerem Vegetationssignal Schwellenwerte und berechnete Attribute	33

Tab. 6: Beispiel 3 Dachfläche mit Kiesbelag Schwellenwert und berechnete Attribute	34
Tab. 7: Kenngrößen der Gründach-Inventarisierung und Potenzialanalyse auf Stadtgebietsebene	35
Tab. 8: Ergebnisse der Gründach-Inventarisierung in Abhängigkeit vom Schwellenwert des Mindestanteils der Dachfläche, der vegetationsbedeckt sein muss.	35
Tab. 9: Vergleich der Gründach-Inventarisierung in München, Stuttgart, Karlsruhe und Nürtingen (Mindestanteil Gründachfläche > 20%)	36

Verzeichnis der Abkürzungen

ALKIS: amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem

CIR: Color Infrared (Farbinfrarot)

DOM: Digitales Oberflächenmodell

ESRI-Shapefile: Dateiformat der Firma Environmental Systems Research Institute (ESRI) für Geodaten

GDAL: Geospatial Data Abstraction Library

GIS: Geoinformationssystem

LoD2: Level of Detail 2 eines 3D-Modells (d.h. inklusive Dachform und Dachneigung)

NDVI: Normalized Differenced Vegetation Index (normalisierter differenzierter Vegetationsindex)

NIR: Nahes Infrarot

Pixel: Bildpunkt in einem Rasterdatensatz

RGB: Rot, Grün, Blau

WHG: Wasserhaushaltsgesetz

Zusammenfassung

Die Installation von Grünflächen auf den Dächern der Stadt ist in der Lage, neue Handlungsspielräume für den Klimaschutz und die Klimawandelanpassung zu eröffnen, da Gründächer in vielen stadtökologischen Bereichen positive Wirkungen entfalten (z. B. Stadtklima, Energieeinsparung, Entwässerung und Artenvielfalt) und gleichzeitig auf ein enormes brachliegendes Freiraumpotenzial zurückgreifen können. Eine wichtige Grundvoraussetzung für die Integration der Dachbegrünung in die kommunalen Klimawandelanpassungsstrategien stellen deshalb fundierte qualitative und quantitative Datensätze dar, die neben dem Umfang und der Lage der bereits existierenden Gründächer zusätzlich auch geeignete Dachflächen für eine nachträgliche Begrünung ausweisen. Trotz der langen Tradition der Dachbegrünung in Deutschland besitzen aber nur eine Handvoll Kommunen detaillierte Angaben in diesem Bereich. Um diese Wissenslücken zu schließen, hat der Deutsche Dachgärtner Verband (DDV) gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) das Forschungsprojekt "Fernerkundliche Identifizierung von Vegetationsflächen auf Dächern zur Entwicklung des für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes aktivierbaren Flächenpotenzials in den Städten" bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) beantragt (Förderprojekt 30299). Zu den weiteren Kooperationspartnern des Pilotprojektes gehören die Städte Hamburg, Karlsruhe, Stuttgart, München und Nürtingen sowie die HafenCity Universität Hamburg (HCU), die Firma ZinCo GmbH und die Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK).

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines automatisierten Verfahrens, das eine schnelle und effiziente Analyse der städtischen Dachoberflächen erlaubt. Erstmals wurden hierzu hochauflösende Satelliten- und Luftaufnahmen mit verschiedenen Gebäudebasisdaten verknüpft. Das durch die Computersoftware erzeugte Kataster potenziell begrünbarer Dachflächen bietet den kommunalen Fachbehörden die Möglichkeit, das für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes zusätzlich aktivierbare Flächenpotenzial auf den Dächern der Stadt zu bewerten und gezielt zu entwickeln. Dabei spielen auch die bereits vorhandenen Gründachflächen, die im Rahmen der fernerkundlichen Inventarisierung erstmalig genau bestimmt und lokalisiert werden, eine wichtige Rolle. Auf Grundlage der Analyse lassen sich die Ökosystemleistungen begrünter Dächer erstmals realitätsnah quantifizieren. Des Weiteren können Maßnahmen der Gründach-Förderung spezifiziert werden, um die Umsetzung begrünter Dächer in städtischen Bereichen mit mangelhafter Grünausstattung gezielt zu unterstützen. Damit knüpft das Pilotprojekt inhaltlich an das 2011 abgeschlossene DBU-Förderprojekt „Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen“ an [ABD+, 2011, Förderprojekt 28269].

Die ermittelten Flächen der bereits begrünten Dächer in den untersuchten Städten sind zum Teil deutlich höher als erwartet. Hier zeigen sich unter anderem die Ergebnisse einer jahrzehntelangen kommunalen Förderung durch Festsetzungen in Bebauungsplänen, die teilweise auch durch direkte und indirekte finanzielle Zuschüsse und Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit unterstützt wurden. Gleichzeitig ist aber nach wie vor der größte Teil der Dachflächen unbegrünt. Darunter sind auch viele Dächer, die aufgrund ihrer Dachform (flache oder leicht geneigte Dächer) oder ihrer statischen Reserven (z. B. Kiestdächer) Potenzial für eine nachträgliche Begrünung bieten würden.

1) Einleitung

Der Klimawandel stellt die Städte vor enorme Herausforderungen. Die Zunahme extremer Wetterereignisse (ausgedehnte Hitzeperioden, starke Unwetter, Hochwasser) wird sich auf die urbanen Ballungsgebiete aufgrund ihrer Bevölkerungs- und Bebauungsdichte und der hohen Wertekonzentration besonders stark auswirken. Um die bereits vorhandenen negativen Auswirkungen abzumildern und Pufferkapazitäten für die prognostizierte Verstärkung des Klimawandels zu schaffen, müssen die kommunalen Entscheidungsträger deshalb in einer Doppelstrategie Maßnahmen des Klimaschutzes (Mitigation) und der Klimafolgenanpassung (Adaption) miteinander kombinieren [Bun, 2010].

Als Modul einer klimawandelangepassten Stadt- und Raumentwicklung kommt der Dachbegrünung dabei besondere Bedeutung zu. Die positiven Wirkungen begrünter Dächer umfassen unter anderem die Bindung von Treibhausgasen und Luftschadstoffen, die Verringerung des urbanen Hitzeinsel-Effektes („urban heat island“ - Effekt) und die Entlastung der Kanalisation durch Speicherung und Verdunstung von Niederschlagswasser (vgl. Kapitel 2.3). Gleichzeitig erhöhen Gründächer die Lebensqualität der Stadtbewohner und unterstützen Aspekte des Artenschutzes und der Biodiversität. Ein gezielter Ausbau der grünen Infrastruktur auf den städtischen Dachflächen wird deshalb von vielen Kommunen als wichtiger Baustein einer zukunftsorientierten Städteplanung angesehen (vgl. Stuttgart [Lan, 2010], Freie und Hansestadt Hamburg [Beh, 2011], Mannheim [Man, 2015] und Dortmund [Dor, 2015]). Auf nationaler Ebene findet dieser Ansatz Unterstützung durch eine Initiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), das in seinem aktuellen „Grünbuch Stadtgrün“ die Rolle der Dach- und Fassadenbegrünung für die Gesundheit der Stadtbevölkerung herausstellt [Bun, 2015].

Eine wichtige Grundvoraussetzung für die Integration der Dachbegrünung in die kommunalen Klimafolgenanpassungsstrategien stellen dabei fundierte qualitative und quantitative Datensätze dar, die neben dem Flächenumfang und der Lage der bereits existierenden Gründächer zusätzlich auch geeignete Dachflächen für eine nachträgliche Begrünung ausweisen. Aktuell sind diese Informationen aber nur für sehr wenige Städte bzw. Stadtbezirke vorhanden (z. B. Düsseldorf, Hannover, einzelne Quadrate der Innenstadt von Mannheim und Friedrichshain in Berlin). Die Untersuchungen von Köhler, Kresse & Belz [KKB, 2011], Holzmüller [Hol, 2009], Umweltplanung Bullermann Schneble GmbH [Man, 2015] und der Stadt Hannover (unveröffentlicht) beruhen auf der visuellen Auswertung von Luftbildern, die zum Teil durch Vor-Ort-Besuche und die Prüfung von alten Bebauungsplänen ergänzt wurden. So wurden z. B. in Düsseldorf anhand von digitalisierten Luftbildaufnahmen 1.330 Gebäude mit 440.000 m² begrünten Dächern identifiziert. Hannover besitzt 2.251 Gründächer mit einer Gesamtfläche von ca. 638.000 m². Zu den Einschränkungen dieser Untersuchungsmethode gehören neben dem großen zeitlichen Aufwand auch die komplizierte spätere Übertragung der erhobenen Daten in die typischen Katasterprogramme und stadtklimatischen Planungsszenarien. Auf Baublockebene wurde für Linz eine Methode zur fernerkundlichen Extraktion von Dachbegrünungen aus Luftbildaufnahmen entwickelt [Mau, 2011]. Ein automatisiertes Verfahren zur Identifikation und Quantifizierung urbaner Dachbegrünung im gesamten Stadtgebiet, das eine schnelle und kostengünstige Erhebung in Kombination mit einer Potenzialanalyse ermöglicht, stand bisher nicht zur Verfügung.

An dieser Problemstellung setzt das vorliegende Forschungsprojekt an. Die im vergangenen Jahrzehnt realisierten Fortschritte der Fernerkundung ermöglichen es heute, die Objekte und Oberflächenbeschaffenheit urbaner Landschaften mit automatisierten Verfahren so detailliert zu erfassen, dass praxisbezogene Fragestellungen in einer adäquaten räumlichen und thematischen Dimension untersucht werden können. Zur Klassifikation urbaner Objekte stehen die unterschiedlichsten flugzeug- bzw. satellitengestützten Datensätze zur Verfügung: So werden höchstauflösende Satellitendaten zur Klassifikation thematischer Gruppen wie Gebäude oder Vegetation verwendet (z. B. [BBS, 2004], [TEW+, 2010]). Hyperspektrale Datensätze werden zur Differenzierung von Oberflächenmaterialien wie beispielsweise Metall, Asphalt, Laub- oder Nadelwald [Boc, 2010] eingesetzt. Oder multisensorale Ansätze kombinieren digitale Oberflächenmodelle mit höchstauflösenden optischen Erdbeobachtungsdaten, um Attribute wie Gebäudehöhen oder Dachneigungen ([ETG+, 2011], [WTS+, 2011]) abzuleiten. Dem Ziel dieser Studie verwandte thematische Ansätze wie z. B. die Identifikation von Solarflächen oder potenziell geeigneter Dachflächen ([KOH, 2004], [TC, 2010]), stadtklimatische Analysen [Hel, 2010] oder Nahwärmenetzpotenzialanalysen [GTW+, 2011] zeigen, dass die Fernerkundung im Bereich der interdisziplinären Anwendungsentwicklung auf dem Vormarsch ist. Das vom Deutschen Dachgärtner Verband (DDV) und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) gemeinsam initiierte Forschungsprojekt „Fernerkundliche Identifizierung von Vegetationsflächen auf Dächern zur Entwicklung des für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes aktivierbaren Flächenpotenzials in den Städten“ stellt in diesem Zusammenhang einen weiteren innovativen und praxisorientierten Ansatz dar. Zu den Kooperationspartnern des Pilotprojektes gehören die Städte Hamburg (Behörde für Umwelt und Energie - BUE), Karlsruhe (Gartenbauamt), Stuttgart (Amt für Umweltschutz), München (Referat für Gesundheit und Umwelt) und Nürtingen (Dezernat III) sowie die HafenCity Universität Hamburg (HCU), die Firma ZinCo GmbH und die Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK).

Als Eingangsdatensätze für die fernerkundlichen Analysen werden hochaufgelöste Satelliten- und Luftbildaufnahmen mit den Geobasisdaten (Hausumringe bzw. digitale 3D - Gebäudemodelle) verknüpft und automatisiert ausgewertet. Die Kombination dieser Datensätze ermöglicht einen sehr hohen Differenzierungsgrad, der Analysen für das gesamte Stadtgebiet bis hinunter auf die Ebene einzelner Gebäude erlaubt. Basierend auf der genauen Lokalisierung und Quantifizierung der vorhandenen Gründachflächen und der Ermittlung potenziell begrünbarer Dachflächen im Bestand lassen sich für die kommunalen Fachbehörden u.a. folgende praktische Anwendungsmöglichkeiten ableiten:

- Einbindung der Daten in Modellierungen für das Stadtklima (Wärmeinsel-Effekte, Kaltluftschneisen und Luftschadstoffbelastungen), die Entwässerungsplanung und die Biotopvernetzung
- Schaffung von vernetzten Grünzügen im Stadtgebiet unter Einbeziehung der Dachflächen
- Aussagen zu präferierten Gründach-Typen im Hinblick auf eine lokale stadökologische Fragestellung (z. B. Gründächer mit erhöhtem Regenwasserrückhalt in Gebieten mit Entwässerungsproblemen, Gründächer mit spezieller Artenzusammenstellung für die Biotopvernetzung etc.).

- Nutzung der Daten, um bei Bürgern und Investoren die Akzeptanz für begrünte Dächer zu erhöhen
- realistische quantitative Aussagen zu den bereits vorhandenen und in der Zukunft erreichbaren Ökosystemleistungen begrünter Dächer
- Verbesserung der ökologischen Funktionen bereits existierender Dachbegrünungen (Artenvielfalt, Deckungsgrad)

Die „Sichtbarmachung“ der bereits vorhandenen Dachbegrünungen und der noch erschließbaren Potenzialflächen erleichtert es den kommunalen Entscheidungsträgern außerdem, die ihnen zur Verfügung stehenden Werkzeuge zur Förderung begrünter Dächer effizient einzusetzen. Hier unterstützt und ergänzt die neue Methode das im Jahr 2011 abgeschlossene DBU-Förderprojekt „Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen - Nutzen, Fördermöglichkeiten, Praxisbeispiele“ [ABD+, 2011, Förderprojekt 28269]. Zu den stadtplanerischen Instrumenten, die zur Förderung begrünter Dächer eingesetzt werden können, gehören zum Beispiel Festsetzungen in Bebauungsplänen, Gründach-Satzungen, finanzielle Förderprogramme, indirekte Zuschüsse im Rahmen der gesplitteten Abwassergebühren oder Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit. Der Einsatz dieser Instrumente kann sich nach der Dringlichkeit der Verbesserung der lokalen Grünflächenausstattung, den vorhandenen stadtoökologischen Problemstellungen und den Rahmenbedingungen (Neubaumaßnahmen oder Maßnahmen auf bereits vorhandenen Dachflächen im Bestand) richten.

Bei der Betrachtung möglicher Potenzialflächen muss ergänzend angemerkt werden, dass sich nicht jedes Bestandsgebäude für eine nachträgliche Begrünung eignet. Konstruktive Anforderungen, die einen besonders starken Einfluss auf die Begrünbarkeit ausüben, sind zum Beispiel die statischen Lastreserven und die Dachneigung. Flachdächer und leicht geneigte Dächer bis 10° Dachneigung gehören zu den präferierten Dachtypen für eine nachträgliche Begrünung, da hier in der Regel keine besonderen Vorkehrungen zur Aufnahme der Schubkräfte berücksichtigt werden müssen. Als besonders geeignet gelten außerdem Kiesdächer, da dieser Dachtyp eine höhere statische Belastbarkeit aufweist. Das zur Ermittlung des Gründach-Potenzialkatasters verwendete fernerkundliche Analyseverfahren ist in der Lage, beide Parameter zu erfassen. Dadurch lässt sich die Anzahl der Dächer, die in einem nachfolgenden Schritt einer konkreten bau- und kostentechnischen Analyse unterzogen werden, einschränken.

Als Werkzeug der nachhaltigen Stadtentwicklung richtet sich die neuartige Methodik vor allem an die kommunalen Fachbehörden (Bauämter, Stadtplanungsämter, Umweltämter, Grünflächenämter, Naturschutzbehörden, Entwässerungsbetriebe etc.). Eine besonders wichtige Rolle kommt auch den Stadtmessungs-, Geoinformations- und Liegenschaftsämtern zu, die die Eingangsdatensätze zur Verfügung stellen und die Analysen durchführen.

2) Fernerkundliche Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünung

2.1) Arbeitsplan

Im Vorfeld der Methodenentwicklung wurden Vor-Ort-Termine mit den beteiligten Städtepartnern vereinbart. Dabei wurde das vorhandene Datenmaterial (Luftbildaufnahmen, Gebäudebasisdaten) im Hinblick auf die Genauigkeit und Aktualität überprüft. Gleichzeitig wurden in Kooperation mit den lokalen Fachbehörden konkrete stadtplanerische Fragestellungen identifiziert (z. B. im Bereich Stadtklima, Niederschlagswassermanagement, Biodiversität etc.) für deren Lösung die fernerkundliche Inventarisierung und Potenzialanalyse der Dachbegrünung wichtige Daten liefern kann.

Die anschließende Verfahrensentwicklung für die automatisierte fernerkundliche Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünung wurde am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt im Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum in Oberpfaffenhofen durchgeführt. Auf Grundlage der von den Kommunen zur Verfügung gestellten Datensätze wurden verschiedene Auswertekombinationen für die automatisierte Dachanalyse getestet. Dabei zeigte sich, dass die Verknüpfung von hochaufgelösten Luftbildaufnahmen (Echtfarben-Bilder und Falschfarbeninfrarot-Aufnahmen) mit Hausumringen bzw. digitalen Gebäudemodellen die besten Ergebnisse liefert. Da diese Datensätze bei den beteiligten Städten in unterschiedlichen Dateiformaten und Qualitäten vorlagen, mussten die Daten zum Teil vorprozessiert bzw. aus verschiedenen Quellen zusammengeführt werden. Dieser zusätzliche Arbeitsaufwand führte zu einer kostenneutralen Verlängerung der ursprünglich vorgesehenen Projektbearbeitungszeit.

Um die Verbreitung des automatisierten Verfahrens nach Abschluss des Forschungsprojektes zu erleichtern, wurde bei der Methodenentwicklung darauf geachtet, dass die Software später auf herkömmlichen Computern eingesetzt werden kann und keine andere kommerzielle Geoinformationssoftware vorinstalliert sein muss. Da die Eingangsdaten einen erheblichen Umfang besitzen können, müssen die entsprechenden Speicherkapazitäten im Arbeitsspeicher und auf der Computerfestplatte vorgehalten werden. Die Anwendung besitzt flexibel einstellbare Parameter, die eine Anpassung an verschiedene Eingangsdatensätze und Fragestellungen ermöglichen. Die Ergebnisse der Inventarisierung und Potenzialanalyse werden als Geodatensatz in einem gängigen, von den meisten Kommunen verwendeten ESRI-Shapefile-Format ausgegeben. Für die schnelle Implementierung der Software wurde außerdem ein umfangreiches Handbuch erstellt, das neben den methodischen Grundlagen auch die praktische Durchführung der Anwendung beschreibt.

Der aktuelle Stand der Methodenentwicklung und erste Auswertungen zur Inventarisierung und Potenzialanalyse begrünter Dächer wurden bei einem internen Workshop beim Projektpartner DLR in Oberpfaffenhofen im September 2014 mit den beteiligten Städtepartnern diskutiert. Dabei kamen auch mögliche Einsatzgebiete der ermittelten Daten, Aspekte des Datenschutzes und Fragen der praktischen Anwendung der Software bei den Geoinformations- und Liegenschaftsämtern der Städte zur Sprache. Ziel war es, Anmerkungen, Ideen und Kritikpunkte der Städtepartner zu sammeln, um die Entwicklung des Verfahrens sowie die angestrebten Ergebnisse in engem Verbund und in Abstimmung

mit den Nutzern weiter zu entwickeln. Dem gleichen Zweck diene der Test einer Demoversion des Verfahrens durch die Städte Karlsruhe und Nürtingen. Eine umfangreiche Präsentation vor einem erweiterten Publikumskreis erfolgte anlässlich des „2. Fachseminar Dachbegrünung für Kommunen“ im Februar 2015 in Osnabrück. Weitere Vorstellungen des Projektes fanden bei Messen, Fachseminaren und Kongressen im In- und Ausland statt. Dabei zeigte sich ein hohes Interesse verschiedener Städte, die Methode nach Abschluss der Entwicklung einzusetzen.

Während der Projektlaufzeit wurden außerdem erste Kontakte zu privaten Unternehmen im Bereich der Luftbildinterpretation und Satellitenbilddauswertung geknüpft, um die Anwendung auch über die Laufzeit des Projektes hinaus als Dienstleistung zu etablieren. Dadurch kann ggf. eine Lücke geschlossen werden, sofern einzelne Kommunen nicht über die personellen oder technischen Ressourcen verfügen, um das Verfahren selbst anzuwenden.

2.2) Grundlagen der Dachbegrünung

Es lassen sich drei Haupttypen von Dachbegrünungen anhand der Parameter Pflanzengesellschaft, Aufbaudicke, Gewicht, Pflegeaufwand und Kosten unterscheiden [AM, 2014]: Extensivbegrünung, Einfache Intensivbegrünung und Intensivbegrünung (s. Tab. 1). Die Vielfalt der Gestaltungsmöglichkeiten bietet ein breites Spektrum, um für die unterschiedlichsten stadtoökologischen Fragestellungen die jeweils optimale Variante auszuwählen.

	Extensivbegrünung	Einfache Intensivbegrünung	Intensivbegrünung / Dachgarten
Pflanzen- gesellschaften	Ökologischer Schutzbelag: Moos, Sedum, Trockengräser, Stauden	Gestaltete Begrünung: Gräser, Stauden, niedrige Sträucher	Gepflegte Gartenanlage: Rasen, Stauden, Sträucher, Bäume
Aufbaudicke	6–20 cm	12–25 cm	15–200 cm und höher
Gewicht	60–250 kg/m ²	150–300 kg/m ²	200–3.000 kg/m ²
Pflegeaufwand	gering	mittel	hoch
Kosten	gering	mittel	hoch

Tab. 1: Klassifizierung von Dachbegrünungsarten

Extensivbegrünung: Ein extensives Gründach ist kostengünstig, leicht und pflegearm. Extensivbegrünungen eignen sich deshalb besonders für alle Gebäudetypen (Garagen, Industriebauten, Gewerbeimmobilien, Wohnhäuser etc.) mit geringen Lastreserven, bei denen keine Nutzung auf der Dachfläche vorgesehen ist. Die aufgebrauchte nährstoffarme, mineralische Substratschicht ist nur 6–20 cm hoch und bietet für anspruchslöse,

niedrigwüchsige Pflanzengesellschaften (Moose, Sedumarten, Kräuter, Gräser) akzeptable Standortbedingungen. Extensive Dachbegrünungen bieten die Möglichkeit, mit vergleichsweise geringem Aufwand, Ersatzlebensräume für zahlreiche Pflanzen- und Tierarten zu schaffen, ein naturnahes Regenwassermanagement zu betreiben und das Mikroklima am Standort zu verbessern. In Deutschland werden deshalb die meisten Dachbegrünungen als Extensivbegrünungen ausgeführt.

Einfache Intensivbegrünung: Gründächer mit einfacher Intensivbegrünung bieten neben einer erhöhten Wasserspeicherkapazität mehr Freiräume bei der Auswahl der Pflanzenarten und damit auch eine größere Artenvielfalt. Aufgrund der höheren Substratschicht, die mit Humus angereichert ist, sind sie im Vergleich zu reinen Extensivbegrünungen etwas schwerer, pflegeintensiver und kostspieliger. Bei entsprechender Gestaltung und Pflanzenauswahl lässt sich die ökologische Ausgleichsfunktion im Vergleich zu den dünn-schichtigen Extensivbegrünungen weiter steigern. Allerdings schränken die mit der stärkeren Gewichtsbelastung einhergehenden erhöhten Anforderungen an die Statik der Gebäude die Anwendung im Rahmen der Stadtplanung ein.

Intensivbegrünung (Dachgarten): Intensivbegrünungen auf dem Dach bringen für die Hausbewohner ein deutliches Plus an Lebensqualität. Wie bei einem normalen Gartengrundstück lassen sich Dachgärten sehr individuell gestalten. Rasen, Stauden, Sträucher und sogar Bäume sind möglich [AR, 2012]. Als weitere Elemente können Wege, Sitzplätze, Spielbereiche und Teiche integriert werden. Im Vergleich zu extensiven Bepflanzungen benötigen intensive Dachbegrünungen häufigere Pflegemaßnahmen. Da bei der Begrünung von Tiefgaragen in der Regel nur ein reduzierter Wurzelraum für die Pflanzen zur Verfügung steht, werden sie ebenfalls in den Bereich der Intensivbegrünungen eingeordnet. Dachgärten und Tiefgaragenbegrünungen können einen wichtigen Beitrag leisten, um die städtische Infrastruktur mit nutzbaren Grünflächen zu verbessern und damit dem Wunsch vieler Bürger nach Naturerlebnis am Wohnort nachzukommen.

2.3) Stadtökologische Wirkungen begrünter Dächer

Zu den großen kommunalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts gehört es, die negativen Auswirkungen der zunehmenden Urbanisierung und des sich verstärkenden Klimawandels auf den städtischen Lebensraum abzuf puffern. Im Unterschied zu verschiedenen technischen Maßnahmen (Reduzierung des urban heat island - Effektes durch Dächer mit reflektierender weißer Färbung, Pufferung von Starkregenereignissen durch Regenrückhaltebecken oder Zisternen) wirken Dachbegrünungen dabei nicht nur in Einzelbereichen. Egal, ob es sich um Regenwasserrückhalt, sommerliche Hitzeabwehr oder Aspekte der Artenvielfalt handelt – alle diese Aspekte werden durch begrünte Dächer gleichzeitig angesprochen. Eine aktuelle Übersicht zu den zahlreichen Ökosystemleistungen begrünter Dächer findet sich bei Beradi et al. [BHH+, 2014].

Stadtklima: Globale Klimaerwärmung, zunehmende Versiegelung und die Abwärme durch Wohnraumheizungen, Industrie und Verkehr sorgen dafür, dass sich das Stadtklima immer stärker aufheizt. Die Temperaturunterschiede zwischen den innerstädtischen Hitzeinseln und den Stadtrandgebieten können im Sommer dabei leicht 10°C erreichen. Natürliche „Klimaanlagen“ wie Grünflächen und Parks könnten bis zu 80% der eingestrahelten Energie

durch Bodenfeuchtigkeit und Vegetation abbauen. In den dicht besiedelten Ballungszentren sind freie Vegetationsflächen aber häufig Mangelware. Als Ersatzmaßnahme können begrünte Dächer die Situation lokal entschärfen. Durch Abkühlung und Anfeuchtung der trockenen, heißen Luft sorgen sie für ein angenehmeres Klima in den angrenzenden Gebäuden und Wohnungen. Bei entsprechender Umsetzung und Verteilung können Dachbegrünungen neben dem Gebäudenahbereich aber auch das Klima der Gesamtstadt beeinflussen. Für Dachbegrünungen in New York ermittelten Susca et al. eine maximale Reduktion des urban heat island - Effektes von 2°C [SGD, 2011]. In Chicago geben Smith & Roeber für die Abendstunden (19:00 - 23:00 Uhr) eine maximale Temperaturreduktion von 2 - 3°C an [SR, 2011]. Santamouris et al. [San, 2014] vergleicht in seinem Artikel verschiedene Studien und hält eine Temperaturspanne von 0,3 - 3°C für realistisch. Der Deutsche Wetterdienst hat 2015 unter Zuhilfenahme des mikroskaligen urbanen Klimamodells MULKLIMO_3 ebenfalls die maximale Reduktion der Lufttemperatur für verschiedene Szenarien berechnet [DWD, 2015]. Je nach Bebauungsstruktur und Flächenanteil der Dachbegrünung werden dabei Reduktionen bis zu 2°C erreicht. Generell ist der Umfang der Kühlleistung sehr stark von dem Wasservorrat abhängig, der den Pflanzen zur Verfügung steht. Eine Bewässerung mit Trinkwasser zur Verbesserung der Kühlwirkung scheidet in der Regel aus ökologischen und ökonomischen Gründen aus. In einem aktuellen DBU-Forschungsprojekt (Az. 28577/01) wird untersucht, inwieweit die Verwendung von Grauwasser eine mögliche Alternative darstellen könnte.

Bei den bisherigen Untersuchungen zur Wirkung von Dachbegrünungen auf das Stadtklima konnte nur auf pauschalierte Werte für die bereits vorhandenen Gründächer bzw. potenziell zu begrünende Dachflächen zurückgegriffen werden. Dies spiegelt sich auch in den großen Schwankungsbreiten der angegebenen Effekte wider.

Niederschlagsmanagement: Dachbegrünungen leisten einen wichtigen Beitrag zum Hochwasserschutz. Je nach Bauart und Substratmaterial können 50-90% der Niederschläge auf den Dachflächen zurückgehalten werden. Ein Großteil dieses Wassers wird durch die Transpiration der Pflanzen und die Evaporation der Substratschicht auf kurzem Weg in den natürlichen Wasserkreislauf zurückgeführt. Hier besteht eine direkte Beziehung zu den Abkühlungseffekten für das Stadtklima. Gleichzeitig werden die Abflussspitzen bei Starkregenereignissen deutlich reduziert. Bei neuen Baugebieten oder großflächigen Einzelobjekten lassen sich so Rohrleitungen, Kanäle und Überlaufbecken kleiner dimensionieren. In Kombination mit anderen modernen Systemen der Regenwasserbewirtschaftung (z. B. Zisternen, Versickerungsanlagen) kann dadurch die vollständige Versickerung des Niederschlagswassers auf dem Grundstück effizient und kostengünstig erreicht werden. Angaben zum Regenwasserrückhalt von Dachbegrünungen finden sich in der Dachbegrünungsrichtlinie der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau FLL ([For, 2008], aufgegliedert nach der Substrathöhe und Dachneigung) und den Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. [Deu, 2007]. Für den Bereich der Niederschlags-Abfluss-Simulationen gibt es bereits Softwarelösungen („Kalypso“ und „Storm“), die für begrünte Dächer eine Schnittstelle besitzen.

Der Regenwasserrückhalt begrünter Dächer wird neben der Substrathöhe und der Dachform auch sehr stark von den verwendeten Gründach-Systemen und der Bepflanzung beeinflusst

([VRA+, 2005], [KK, 2013], [MBM+, 2013]). Im Vergleich zu Mischungen unterschiedlicher funktioneller Pflanzentypen (Sukkulente, Gräser, Kräuter) schneiden artenarme Sukkulente-Begrünungen bei Regenwasserrückhalt und Transpirationsleistung schlechter ab [FAH+, 2014]. Hier zeigen sich ein weiteres Mal die vielfältigen Wechselbeziehungen der stadtökologischen Gründach-Wirkungen. Bei der Bewertung und Optimierung der Ökosystemleistungen begrünter Dächer sollten diese Aspekte entsprechend berücksichtigt werden.

Biodiversität: Dort, wo die Natur durch Baumaßnahmen zerstört und der Boden versiegelt wurde, können Dachbegrünungen verloren gegangene Grünflächen zum Teil kompensieren und Ersatzlebensräume für Flora und Fauna schaffen. Als „Trittsteinbiotope“ bilden sie lebendige und erlebnisreiche Standorte in den sterilen Innenstädten. Vor allem naturbelassene, pflegearme Extensivbegrünungen sind wichtige Rückzugsräume für Tier- und Pflanzenarten. Wildbienen, Schmetterlinge und Laufkäfer finden hier Nahrung und Unterschlupf. Auch gefährdete „Rote Listen“- Arten können sich auf begrünten Dächern ansiedeln. Zahlreiche Untersuchungen bestätigen die Potenziale der Dachbegrünung in diesem Bereich (vgl. u.a. [GK, 2005], [FG, 2010], [MVM+, 2013]). Cook-Patton & Bauerle [CB, 2012] erläutern in ihrer Studie die Bezüge der Biodiversität zu den weiteren Wohlfahrtswirkungen begrünter Dächer (Luftverschmutzung, Regenwasserrückhalt, Stadtklima). Bei der Umsetzung begrünter Dächer in Deutschland wurde in den letzten Jahren aus Kostengründen allerdings häufig nur ein reduzierter Artenmix verwendet, der sehr stark auf Sukkulente fokussiert ist. Ursache hierfür ist u.a. die Tatsache, dass sich Aspekte der Artenvielfalt nur sehr schwer monetarisieren lassen. Einen vielversprechenden Ansatz, diese Lücke zu schließen, stellt die Initiative „Naturkapital Deutschland – TEEB DE“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit und des Bundesamtes für Naturschutz dar. In vier thematischen Berichten sollen die Zusammenhänge zwischen den Ökosystemleistungen der Natur, der Wertschöpfung der Wirtschaft und dem menschlichen Wohlergehen erfasst und bewertet werden. Der erste Bericht mit dem Titel „Naturkapital und Klimapolitik“ ist 2015 erschienen [Nat, 2015].

Wissenslücken zu den bereits vorhandenen Dachbegrünungen und den potenziell begrünbaren Dachflächen haben bisher eine detaillierte Analyse der positiven Effekte begrünter Dächer auf Stadtklima, Niederschlagswassermanagement und Biodiversität erschwert. Die fernerkundliche Analyse der Dachflächen liefert jetzt zum ersten Mal die Basisdaten, um realistische Annahmen für die stadtökologischen Wirkungen begrünter Dächer auf Gebäude-, Quartiers- oder Stadtebene machen zu können und sie gleichzeitig einer ökonomischen Bewertung zugänglich zu machen. Neben den stadtökologischen Aspekten schlagen sich auch der Schutz der Dachabdichtung, Einsparungen bei den Energiekosten ([LB, 2003], [Sai, 2008], [JOB, 2012], [SSS+, 2013], [PJH+, 2013]) und eine mögliche Nutzung als Erholungsfläche [AR, 2012] positiv in der Gründach-Bilanz nieder. Kein anderes Baukonzept schafft eine vergleichbare Vielfalt an positiven Effekten für Gebäude, Mensch und Umwelt. Die Dachbegrünung erfüllt damit eine der wichtigsten Forderungen des 21. Jahrhunderts, die nachhaltige Verknüpfung von Ökologie und Ökonomie.

2.4) Entwicklung der Methode

Von den am Projekt beteiligten Städtepartnern Hamburg, Karlsruhe, Stuttgart, Nürtingen und München wurden dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt sehr unterschiedliche Datensätze zur Verfügung gestellt. Dies betraf nicht nur die einzelnen Dateiformate, sondern auch deren Qualität, Aktualität und Vollständigkeit. Beim Vergleich unterschiedlicher Datenkombinationen zeigte sich, dass durch die Verknüpfung von hochaufgelösten Luftbild- oder Satellitenaufnahmen (Falschfarbeninfrarot- und Echtfarben-Luftbildaufnahmen) mit den Gebäudekatasterdaten (Hausumringe) bzw. digitalen Gebäudemodellen die besten Ergebnisse für die fernerkundliche Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünung erzielt werden konnten. Diese Kombination wurde deshalb als Standard-Eingangsdatensatz für die Analysen fixiert.

2.4.1) Eingangsdaten

Vegetationserfassung

Für die fernerkundliche Erfassung von Vegetation im Allgemeinen und von begrünten Dächern im Speziellen werden so genannte Falschfarbeninfrarot-Luftbildaufnahmen benötigt, welche neben der Reflektion im sichtbaren Spektralbereich (rot, grün, blau) auch den Bereich des nahen Infrarots (NIR) abdecken. Der zusätzliche NIR-Bildkanal bietet nicht nur die Möglichkeit, Vegetationsflächen im Luftbild zu identifizieren, sondern auch deren Qualität über die Berechnung eines speziellen Vegetationsindizes zu bewerten. Das Grundprinzip der computergestützten Erfassung von Vegetationsflächen aus digitalen Falschfarbeninfrarot-Luftbildaufnahmen wird nachfolgend erläutert.

Spektrale Eigenschaften von Oberflächen: Bei der automatisierten, computergestützten Auswertung eines Falschfarbeninfrarot-Luftbildes zur Vegetationserkennung macht man sich den Umstand zu Nutze, dass Sonnenstrahlung, die auf einen Körper oder eine Oberfläche trifft, als Funktion der Wellenlänge und in Abhängigkeit von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Oberflächenmaterials in variierenden Anteilen reflektiert, absorbiert oder transmittiert wird. Somit weist jedes Material bzw. jeder Oberflächentyp über das gesamte elektromagnetische Spektrum gesehen einen charakteristischen Verlauf der Reflektion auf – die so genannte spektrale Signatur. Die fernerkundliche Informationserhebung basiert im Grunde genommen auf der Messung und Auswertung dieser charakteristischen spektralen Eigenschaften.

Berechnung des Vegetationsindex: Photosynthetisch aktive Vegetation weist eine spektrale Signatur auf, die sich deutlich von anderen Flächen bzw. Bedeckungsarten wie etwa trockenem Boden oder Wasser unterscheidet (siehe Abb. 1). Kennzeichnend ist dabei vor allem ein starker Anstieg der Reflektion beim Übergang vom roten Spektralbereich (Zone 3) zum nahen Infrarot (Zone 4, NIR). Die Ausprägung dieses Anstieges ist eng mit dem Chlorophyllgehalt der Vegetation verknüpft.

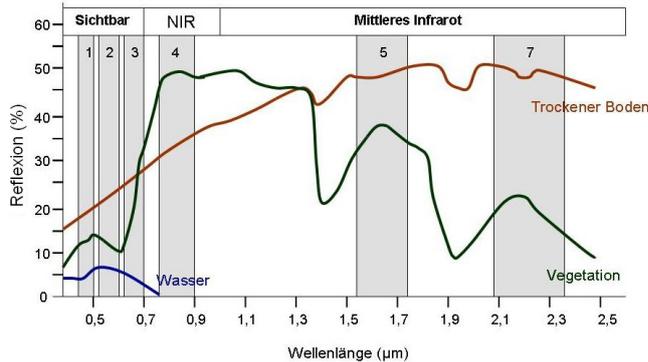


Abb. 1: Diagramm der spektralen Signatur: Charakteristische spektrale Signatur von vitaler Vegetation im Vergleich zu Wasser und trockenem Boden. Bei Luftbildaufnahmen mit 4 Kanälen werden die mit 1-4 markierten Zonen (Zone 1 = blau, Zone 2 = grün, Zone 3 = rot, Zone 4 = nahes Infrarot, NIR) aufgezeichnet. (© SEOS Einführung in die Fernerkundung)

Der charakteristische Reflexionsanstieg kann somit auch zur Berechnung eines Vegetationsindex verwendet werden, der Aufschluss über die Dichte und den Zustand der identifizierten Vegetation gibt, der so genannte „Normalized Difference Vegetation Index“ (NDVI, normalisierter differenzierter Vegetationsindex). Er ergibt sich aus dem Quotienten von Differenz und Summe der Reflexionswerte im nahen Infrarot (λ von etwa 700 bis 1300nm; ρ_{NIR}) und im sichtbaren roten Spektralbereich (λ von etwa 620 bis 700nm; ρ_{ROT}).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{ROT}}{\rho_{NIR} + \rho_{ROT}}$$

Der mögliche Wertebereich des NDVI liegt zwischen -1 und 1, wobei der Wert 1 eine sehr dichte und vitale Vegetation mit hoher photosynthetischer Aktivität widerspiegelt, während Werte gegen 0 nahezu vegetationsfreie Flächen oder Flächen mit toter Vegetation und negative Werte vegetationslose Oberflächen wie etwa Wasser repräsentieren. Mithilfe des NDVI können demnach vegetationslose Flächen von vegetationsbedeckten Flächen unterschieden werden. Ein exakter Rückschluss auf die Vitalität der identifizierten Vegetation ist aber nur bedingt möglich, da ein niedriger NDVI-Wert sowohl durch eine geringe photosynthetische Aktivität der vorhandenen Vegetation als auch durch eine spärliche Vegetationsbedeckung (Mischbild Vegetation und Substrat) verursacht werden kann.

Darstellung der Vegetation in Falschfarbeninfrarot-Luftbildern (CIR – Color-Infrared-Bilder): Das menschliche Auge kann aus dem elektromagnetischen Spektrum nur einen sehr geringen Ausschnitt wahrnehmen, zu dem das nahe Infrarot nicht zählt (siehe Abb. 1, Zone 1-3 „Sichtbar“). Daher werden Befliegungsdaten, die zusätzlich zum sichtbaren Wellenlängenbereich auch die Reflexion im nahen Infrarot aufnehmen, traditionell in der so genannten „Falschfarbendarstellung“ wiedergegeben. Die drei Farbkanäle rot, grün und blau eines normalen Echtfarbenbildes werden hierzu neu belegt. In der Regel wird das nahe Infrarot auf den roten Kanal gelegt, der rote Aufnahmebereich hingegen auf den grünen Kanal und die Reflexion in Grün auf den blauen Kanal. Ein entsprechendes Beispiel für eine solche Visualisierung liefert Abbildung 2. Der RGB-Echtfarbenbearbeitung (Rotkanal = rot, Grünkanal = grün, Blaukanal = blau) wurde eine IRG-Falschfarbendarstellung (Rotkanal = Nahes Infrarot, Grünkanal = rot, Blaukanal = grün) gegenübergestellt. Durch diese Art der

Darstellung erscheint Vegetation aufgrund ihres hohen Rückstreuanteils im nahen Infrarot, der auf dem roten Bildkanal wiedergegeben wird, leuchtend rot.

Man sieht an dieser Stelle bereits, dass die vorhandenen Gründächer (Abb. 2, Bild rechts, Gebäude mit gelben Umrand) ein sehr viel schwächeres Vegetationssignal aufweisen als die im Bild deutlich zu erkennenden Bäume am Boden. Eine Ursache hierfür ist neben der schwächeren photosynthetischen Aktivität typischer sukkulenter Dachbegrünpflanzen (z. B. Sedumarten) auch ein teilweise geringer Deckungsgrad, der dafür sorgt, dass die Falschfarbeninfrarot-Aufnahme der begrünten Dachflächen ein „Mischbild“ von Vegetations- und Substratsignalen zeigt.



Abb. 2: Echtfarben- und Falschfarben-Luftbildaufnahmen: Vergleich RGB-Echtfarbenbild links (Rotkanal = rot, Grünkanal = grün, Blaukanal = blau) und IRG-Falschfarbenbild rechts (Rotkanal = nahes Infrarot, Grünkanal = rot, Blaukanal = grün) (© Stadt München)

Für die Genauigkeit der Vegetationserkennung spielt die Qualität der Eingangsdaten eine sehr wichtige Rolle. Die betrifft v.a. die Auflösung der Luftbilder und möglicherweise auftretende Projektionsfehler, sofern es sich bei den Luftbildaufnahmen nicht um so genannte True-Ortho-Fotos handelt (s. Kapitel 2.4.2). Aber auch der Aufnahmezeitpunkt muss berücksichtigt werden. Je nach Jahreszeit können die photosynthetische Aktivität der Gründachpflanzen und ihr Deckungsgrad unterschiedlich stark ausgeprägt sein. Dies ist bei der Einstellung der Schwellenwerte für den NDVI zu berücksichtigen (s. Kapitel 2.5).

Gebäudedaten

Als zweiter Datensatz für die Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrüpfung werden die Hausumringe (Gebäudeumrisse, Gebäude-Polygone, Abgabeformat: ESRI-Shapefile) der betrachteten Städte oder Kommunen benötigt (z. B. aus dem amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem ALKIS). Die Hausumringe werden zur Abgrenzung der Dachflächen in den Luftbildaufnahmen verwendet (s. Kapitel 2.4.2). Bei größeren Gebäudekomplexen kann ein Hausumring auch mehrere Gebäudeteile umfassen. Für die Analyse spielen außerdem die Gebäudehöhen und die Dachformen eine wichtige Rolle. Sofern in den Datensätzen der Hausumringe bereits Angaben zum Dachtyp (Flachdach, Mischdach, Satteldach etc.), der Geschosshöhe und der Dachhöhe als Attribute (Eigenschaften) vorliegen, werden diese Informationen für die weitere Auswertung priorisiert verwendet (s. Abb. 3).



Abb. 3: Hausumringe mit Attributtabelle aus dem Liegenschaftskataster (© Stadt München/DLR)

Liegt eine Attributierung im Datensatz der Hausumringe nicht vor, können diese Werte als sekundäre Option auch aus einem Digitalen Gebäudemodell (Detaillierungsstufe LoD2 oder höher) entnommen werden. Alternativ dazu lassen sich die Werte auch aus einem Digitalen Oberflächenmodell (DOM) ableiten. Hierbei wird die Höhenverteilung einer Dachfläche analysiert um festzustellen, ob ausreichende flache Areale vorkommen (s. Kapitel 2.4.3). Dabei können bei heterogenen Dächern auch mehrere flache Höhen erkannt werden.

2.4.2) Gründach-Inventarisierung

Die Inventarisierung der Dachbegrünungsflächen erfolgt in einem mehrstufigen Prozess.

Schritt 1: Verschneidung der Luftbilddaten und Hausumringe

In einem ersten Schritt werden die digitalen Befliegungsdaten (Falschfarbeninfrarot-Luftbilder) mit den amtlichen Hausumringen aus dem Katasterdatensatz verschnitten, um die Dachflächen innerhalb der Luftbilder identifizieren zu können. Die äußeren Grenzen der Dachflächen werden dabei aus den Gebäudeumrissen abgeleitet. Abbildung 4 veranschaulicht dies graphisch.



Abb. 4: Verschneidung Luftbilddaten und Hausumringe: Überlagerung der Informationen des Falschfarbeninfrarot-Luftbildes (Rotkanal = nahes Infrarot, Grünkanal = rot, Blaukanal = grün) mit den Hausumringen (rot) aus dem Katasterdatensatz. (© Stadt München/DLR)

Schritt 2: Berechnung des NDVI zur Identifizierung von Vegetation

Im nächsten Schritt wird aus den Reflexionswerten im nahen Infrarot und im sichtbaren roten Spektralbereich für alle Bildpunkte (Pixel) die innerhalb der Hausumringe liegen der NDVI berechnet (s. Kapitel 2.4.1). Anschließend wird das Ergebnis der NDVI-Berechnung in Form eines kumulativen Histogramms (Anteil der über einem Schwellenwert liegenden NDVI-Werte) als Attribut zu den Katasterdaten der Gebäude beigefügt.

Schritt 3: Qualitative Schwellenwerte zur Klassifizierung der Vegetationssignale

Über die Fixierung eines Mindestschwellenwertes für den NDVI wird festgelegt, ob die Bildpunkte innerhalb der Dachfläche durch das Programm als Vegetation oder als vegetationsfrei eingestuft werden. Eine weitere Unterteilung der Schwellenwerte in niedrige, mittlere oder starke Vegetationssignale ermöglicht zusätzlich differenzierte Aussagen zur Qualität bzw. Dichte der Vegetation (s. Tab. 2). Ein niedriger NDVI-Wert kann als Hinweis auf eine Spontan- oder Extensivbegrünung angesehen werden, mittlere Vegetationssignale decken den Übergangsbereich von Extensiv- und Intensivbegrünung ab, während sehr hohe NDVI-Werte häufig mit einer Baum- oder Strauchvegetation bzw. Intensivbegrünungen verknüpft sind.

NDVI-Schwellenwerte (Standardeinstellung der Software)	Klassifizierung
< 0,08	Vegetationsfrei
0,08 < 0,20	Niedriges Vegetationssignal (Spontan- oder Extensivbegrünung)
0,20 – 0,30	Mittleres Vegetationssignal (Übergangsbereich Extensivbegrünung – Intensivbegrünung)
> 0,30	Starkes Vegetationssignal (Bäume, Sträucher, Intensivbegrünungen)

Tab. 2: Klassifizierung der Bildpunkte anhand von NDVI-Schwellenwerten: Die einzelnen Schwellenwerte können an die Vegetationsentwicklung zum Zeitpunkt der Luftbildaufnahme angepasst werden.

In Abbildung 5 wird das Ergebnis einer solchen Schwellenwertsetzung graphisch veranschaulicht. Im linken Bild sind alle Dachflächen, bei denen die Software ein Vegetationssignal erkannt hat, d. h. bei denen der berechnete NDVI über dem Schwellenwert von 0,08 lag, einheitlich grün dargestellt. Das rechte Bild gibt die Abstufung von niedrigem Vegetationssignal (helles Grün, NDVI > 0,08: Spontan- oder Extensivbegrünung), mittlerem Vegetationssignal (mittleres Grün, NDVI > 0,20: Übergangsbereich Extensivbegrünung – Intensivbegrünung) und starkem Vegetationssignal (dunkles Grün, NDVI > 0,30: Bäume, Sträucher, Intensivbegrünung) wieder.

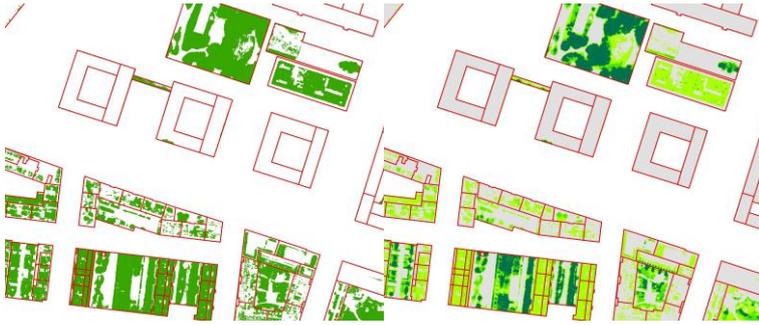


Abb. 5: Visuelle Darstellung der NDVI-Berechnung. Linkes Bild: einheitliche grüne Färbung aller Pixel, die den NDVI-Schwellenwert für ein niedriges Vegetationssignal überschreiten. Rechtes Bild: Differenzierte Färbung der Pixel (helles Grün, mittleres Grün, dunkles Grün) in Abhängigkeit von den jeweils überschrittenen NDVI-Schwellenwerten. (© Stadt München/DLR)

Schritt 4: Quantitative Schwellenwerte zur Eingrenzung der erkannten Vegetationsflächen auf Dächern

Nachdem die qualitative Klassifizierung der Vegetationssignale auf Grundlage der NDVI-Schwellenwerte erfolgt ist, können anschließend weitere quantitative Schwellenwerte verwendet werden, um die Aussagekraft der Ergebnisse zu verbessern bzw. auf spezifische Fragestellungen anzupassen.

Schwellenwert der minimalen Dachfläche, die vegetationsbedeckt sein muss: Die Fixierung einer Mindestgröße für die identifizierte Vegetationsfläche pro Dach soll davor schützen, sehr kleinflächige Begrünungen (Blumenkästen und Töpfe, punktuelle Spontanbegrünungen) irrtümlicherweise als Gründächer zu klassifizieren. Der Wert liegt in der Standardeinstellung bei 10 m².

Schwellenwert des Mindestanteils der Dachfläche, der vegetationsbedeckt sein muss: Auch dieser Wert kann dazu verwendet werden, ein quantitatives Kriterium für die Erfassung der Gründachflächen zu setzen. Bei der Fixierung des Schwellenwertes ist zu berücksichtigen, dass ein einzelner Hausumring aus verschiedenen Gebäudeteilen bestehen kann. Um auch die Begrünung von Teilgebäuden zu erfassen, sollte der prozentuale Schwellenwert der begrüneten Dachfläche deshalb nicht zu hoch angesetzt werden. Für große und kleine Dächer können außerdem unterschiedliche Mindestanteile definiert werden. In der Standardeinstellung liegt der Wert für größere Dächer (>100 m²) bei 10% und für kleinere Dächer (< 100 m²) bei 20% Vegetationsbedeckung.

Dachflächen, die die Schwellenwerte für die minimale vegetationsbedeckte Fläche und den minimalen prozentualen Grünanteil überschreiten, werden vom Programm als Gründächer klassifiziert (s. Abb. 6).

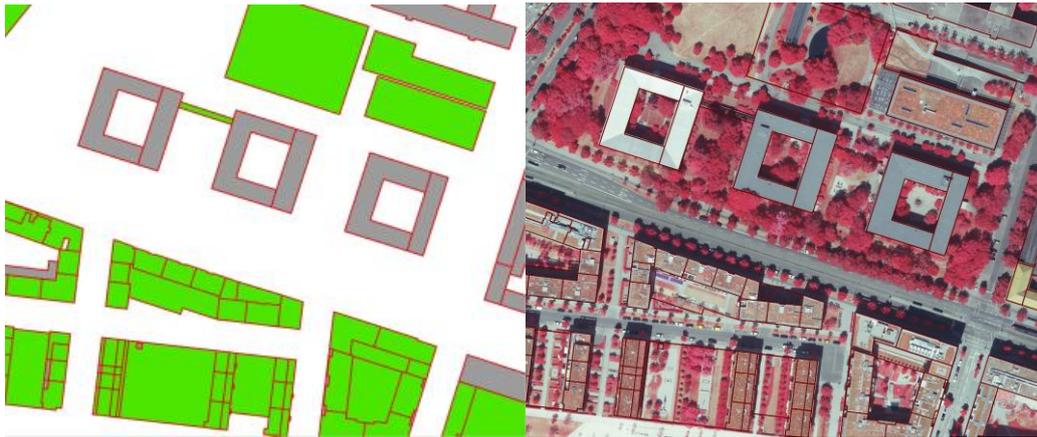


Abb. 6: Gründach-Identifizierung auf Gebäudeebene: Als Gründach bestätigte Dächer (Überschreitung der Schwellenwerte für die minimalen vegetationsbedeckten Flächen bzw. prozentualen Grünanteile) sind im linken Bild graphisch durch eine ganzheitliche grüne Färbung dargestellt. (© Stadt München/DLR)

Schwellenwert des Mindestanteils der Dachfläche, der ein mittleres Vegetationssignal zeigt: Für spezielle Fragestellungen kann es von Interesse sein, nur Gründächer zu erfassen, die in größeren Arealen ein mittleres Vegetationssignal aufweisen. Um diese Gründächer im Übergangsbereich von Extensiv- und Intensivbegrünung von den Gründächern mit schwachem Vegetationssignal abgrenzen zu können, müssen die Schwellenwerte des NDVI für ein mittleres Vegetationssignal ($> 0,20$) auf mindestens 25% der gesamten Dachfläche überschritten werden.

Anpassung der Schwellenwerte

Die Schwellenwerte für die qualitative Klassifizierung der Dachvegetation auf Grundlage der NDVI-Werte sind veränderbar und können an die jeweilige Qualität der Eingangsdaten und an spezifische Fragestellungen angepasst werden. Gleiches gilt für die Schwellenwerte der minimalen vegetationsbedeckten Flächen bzw. der prozentualen Grünanteile. Ein Verfahren zur Anpassung der Schwellenwerte ist in Kapitel 2.5 beschrieben.

Potentielle Fehlerquellen

Überschirmungen durch Bäume und Sträucher: Gebäudenahe Gehölze können mit ihren großen Kronen die Dachflächen teilweise überschirmen (s. Abb. 7). Bei der NDVI-Berechnung können diese, eigentlich zur Bodenvegetation gehörigen Bereiche, fälschlicherweise als starkes Vegetationssignal der Dachfläche klassifiziert werden. Um diese Fehlzusweisungen zu reduzieren, kann die Traufhöhe des Gebäudes in die NDVI-Berechnungen mit einbezogen werden. Bei niedrigen Gebäuden ($< 10\text{m}$) wird dabei davon ausgegangen, dass NDVI-Werte, die den Schwellenwert für ein starkes Vegetationssignal überschreiten ($> 0,30$) in der Regel durch Überschirmungen verursacht werden. Bei der Berechnung der begrünter Dachfläche werden diese Werte deshalb nicht berücksichtigt. Die Anwendung dieser Methode kann allerdings dazu führen, dass bei einem niedrigen

begrüntes Dach, welches gleichzeitig großflächig von Bäumen überdeckt ist, die Fläche der Begrünung unterschätzt wird.

Die Korrektur von Überschimmungen wird nicht angewandt, wenn aus den Eingangsdaten erkennbar ist, dass es sich um ein unterirdisches Gebäude handelt (z. B. aus einer negativen Anzahl oberirdischer Geschosse oder einer entsprechenden Typen-Kennzeichnung als Tiefgarage bei den Gebäudeattributen). Tiefgaragen weisen in der Regel höhere Substratschichten auf und werden sehr häufig mit Sträuchern und Bäumen bepflanzt. Sofern die Traufhöhe eines Gebäudes den Schwellenwert von 10 m überschreitet und damit die Wahrscheinlichkeit einer Überschimmung als gering angesehen werden kann, werden die ermittelten starken Vegetationssignale ebenfalls nicht korrigiert, sondern der Dachvegetation zugeordnet.

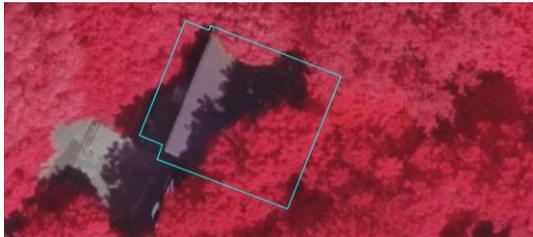


Abb. 7: Potentielle Fehlerquelle Überschimmung: Beispiel eines starken Baumüberhangs über ein Flachdach. Das Vegetationssignal der Baumkronen wird bei der Berechnung der begrünten Dachfläche nicht berücksichtigt. (© Stadt München)

Verkippungseffekte bei Luftbildaufnahmen: Bei der Verwendung von Luftbildaufnahmen, die nur über eine Relief-Korrektur verfügen, kann es bei den aufgenommenen Gebäuden zu sogenannten Verkippungseffekten kommen. Dies äußert sich dadurch, dass Gebäude, deren Aufnahme nicht senkrecht von oben, sondern leicht schräg von der Seite erfolgt ist, im Luftbild leicht verzerrt dargestellt werden und in Richtung des Aufnahmerandes „verkippen“. Der Effekt ist umso stärker, je höher die Gebäude sind und je weiter entfernt vom Zentrum des Befliegungsstreifens sie stehen. Der Verkippungseffekt hat zur Folge, dass die Grünanteilsberechnung der Dachflächen fehlerbehaftet sein kann, da die Vektordaten zur Kennzeichnung der Hausumringe bzw. Dachflächen nicht komplett lagegetreu auf den zugehörigen Flächen des Luftbild-Rasterdatensatzes zu liegen kommen, sondern räumlich versetzt sind. Da die NDVI-Berechnung innerhalb der durch die Vektordaten als Dach bzw. Gebäude gekennzeichneten Flächen erfolgt, werden durch den Verkippungseffekt unter Umständen auch Grünflächen am Boden mit in die Auswertung einbezogen (siehe Abb. 8). In der Regel führt der Verkippungseffekt zu einer Überschätzung der Gründachflächen. Je nach Gebäude, Umfeld und Verkippungsrichtung können durch den räumlichen Versatz aber auch Teile von Gründachflächen verloren gehen.

Ob ein Verkippungseffekt auftritt oder wie stark sich dieser bemerkbar macht, hängt in erster Linie von der Qualität der Luftbilddatensätze ab. Während ein solcher Effekt in der Regel bei aufwändig bearbeiteten True-Orthofotos durch die geometrische Entfernung des Lageversatzes nicht auftritt, kann der Fehler bei herkömmlichen Orthofotos und hohen Gebäuden im Extremfall bis zu 15% betragen.

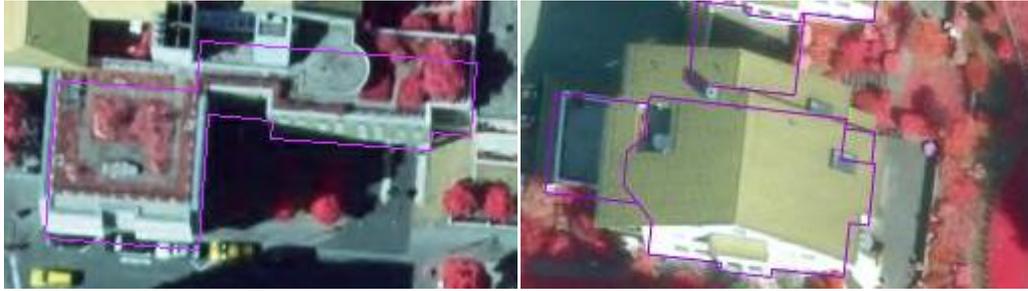


Abb. 8: Potentielle Fehlerquelle Verkippung: Bei nicht entzerrten Luftbildern kann es zu Verkippungseffekten kommen; hier veranschaulicht an einem Beispiel für ein begrüntes Flachdach (links, Gebäudehöhe 20 m, © Stadt Karlsruhe) und ein Satteldach (rechts, © Stadt Nürtingen). Die Gebäudeumrisse und Luftbilder sind nicht deckungsgleich.

Dachneigung: Bei der Gründach-Inventarisierung wird davon ausgegangen, dass lediglich Gebäude mit einem Flachdach bzw. einem leicht geneigten Dach (bis circa 10°) begrünt sind. Die große Mehrzahl der in Deutschland ausgeführten Dachbegrünungen entspricht diesem Dachtypus. Auch die Festsetzung begrünter Dächer durch Kommunen beschränkt sich in der Regel auf Gebäude mit flachen oder leicht geneigten Dächern. Der Fehler, der durch den Ausschluss von Schräg- und Steildächern entsteht, kann deshalb als niedrig eingeschätzt werden. Gleichzeitig können durch diese Vorgabe Fehlzuzuweisungen von bemoosten Ziegeldächern als Gründächer ausgeschlossen werden.

2.4.3) Potenzialanalyse

Die Potenzialanalyse befasst sich mit der nachträglichen Begrünbarkeit bereits existierender Gebäude. Die Eignung der Dachflächen wird dabei von der Dachform, der Dachneigung und der vorhandenen Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst (s. Abb. 9). Um die Anzahl der in Frage kommenden Gebäude mit Hilfe fernerkundlicher Auswertungen im Vorfeld einzuschränken, können die Parameter „Dachneigung“ und „Kiesdächer/Gebäudestatik“ herangezogen werden.



Abb. 9: Beispiele für Flachdächer mit unterschiedlichen Dachbedeckungen. (© Stadt Stuttgart)

Dachneigung: Im Vergleich zu Flachdächern ist der technische und finanzielle Aufwand für die Begrünung von Schräg- und Steildächern deutlich höher. Satteldächer mit Ziegeleindeckung stellen deshalb in der Praxis keine Potenzialflächen für eine nachträgliche Begrünung dar. Analog zur Gründach-Inventarisierung (s. Kapitel 2.4.2) werden deshalb auch für die Potenzialanalyse nur Gebäude mit flachen oder leicht geneigten Dächern (bis ca. 10 °) berücksichtigt. Je nach Eingangsdatensätzen sind die Dachneigungen bereits in den Gebäudedaten hinterlegt oder müssen über das Programm neu berechnet werden (s. Kapitel 2.4.1).

Kiesdächer/Gebäudestatik: Neben der Dachneigung gehören die statischen Lastreserven zu den konstruktiven Anforderungen, die einen besonders starken Einfluss auf die potenzielle Begrünbarkeit von Dachflächen besitzen. Eine Standard-Extensivbegrünung wiegt ca. 90-100 kg / m² (s. Kapitel 2.2). Kiesdächer, deren Auflast häufig bei ca. 100 kg/m² liegt, lassen sich also nach Entfernung der Kiesschicht ohne Änderung der Gebäudestatik in Gründächer umwandeln. Flache oder leicht geneigte Dächer mit Kiesbelag stellen in diesem Zusammenhang Präferenzdächer für eine nachträgliche Begrünung dar. Eine Methode zur Identifizierung von Kiesdächern in Luftbildern auf Grundlage spektraler Oberflächensignaturen ist im Handbuch der Software beschrieben.

Dachneigung und Gebäudestatik liefern erste Anhaltspunkte für eine potenzielle Begrünbarkeit. Allerdings dürfen diese beiden Kriterien auch nicht überschätzt werden. Weitere bautechnische Erfordernisse, die sich nicht mit der vorliegenden fernerkundlichen Methode ermitteln lassen, betreffen zum Beispiel den Zustand der Dachabdichtung, die Wärmedämmung, die Dachrandhöhen und die Zugänglichkeit der Dachfläche. Die tatsächliche Begrünbarkeit eines Gebäudes und deren voraussichtliche Kosten müssen deshalb zusätzlich auch im Rahmen von Vor-Ort-Besichtigungen überprüft werden, wobei eine Potenzialanalyse im Vorfeld die Anzahl der zu überprüfenden Gebäude deutlich reduzieren kann.

2.5) Beschreibung der Software

Für die Erstellung der Software wurde ein Leistungsprofil mit folgenden Kriterien erstellt:

- Geringe Anforderungen an die Hardware und Software des Computers
- Verarbeitung unterschiedlicher Eingangsdatensätze
- Flexible Parameter zur Anpassung an unterschiedliche Fragestellungen
- Hinreichende Genauigkeit des Analyseverfahrens
- Ausgabe der Ergebnisse zur leichten Weiterverarbeitung

Geringe Anforderungen an die Hardware und Software des Computers: Die einfache und wiederholbare Anwendung der Methode gehörte zu den Kernanforderungen an die Software. Dieser Punkt wurde zu Beginn des Projektes auch nochmals im Dialog mit den Städtepartnern deutlich. Im Unterschied zum ursprünglichen Ansatz wurde deshalb darauf verzichtet, die Methodik als Teil einer spezialisierten Software wie Ecognition von der Firma trimble umzusetzen, die nur die Besitzer einer entsprechenden Lizenz in die Lage versetzt hätte, die Dachanalyse durchzuführen. Als Alternative wurde die Software auf Basis von OpenSource entwickelt, dessen Quelltext offenliegt und frei verfügbar ist. Die Basis für den Umgang mit den Raster- und Vektordaten stellt dabei die OpenSource Bibliothek GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) dar, die es ermöglicht, alle gängigen Raster- (aktuell 140) und Vektordatenformate (aktuell 84) als Eingangsdaten zu verwenden. In die Software für die fernerkundliche Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünung ist die gesamte Funktionalität der Methode integriert. Sie bedarf keiner speziellen weiteren Hardware- oder Software-Lizenz für die Ausführung. Die Anforderungen an die Computerhardware sind zudem sehr bescheiden. Ein handelsüblicher Rechner oder sogar ein Laptop, welcher über mindestens 2 Gigabyte Arbeitsspeicher und genügend Speicherplatz für die Eingangsdaten verfügt, ist ausreichend. Die Analyse der Dachflächen kann – in Abhängigkeit von der Größe der Stadt und der räumlichen Ausdehnung der Luftbilder – nur wenige Stunden oder etwas länger als einen Tag dauern. Vor allem die Erzeugung der optionalen Quicklook-PDF's kann zusätzlich Zeit in Anspruch nehmen.

Verarbeitung unterschiedlicher Eingangsdatensätze: Die für die Anwendung des Verfahrens benötigten Luftbildaufnahmen und Gebäudebasisdaten liegen auf kommunaler Ebene häufig in unterschiedlichen Formaten und Qualitäten vor. Vor dem ersten Testlauf der Software ist deshalb in der Regel eine Vorprozessierung und Anpassung der Eingangsdaten erforderlich. Hinweise zur Durchführung dieser Maßnahmen sind im Handbuch der Software beschrieben. In die Software sind außerdem Zusatztools integriert, die die Aufbereitung der Eingangsdaten unterstützen.

Flexible Parameter zur Anpassung an unterschiedliche Fragestellungen: Die Software wird über eine einfache Einstellungsdatei gesteuert. Die darin enthaltenen Parameter lassen sich grob in zwei Kategorien unterteilen: Parameter mit Bezug zu den Eingangsdateien und Parameter, die für die Justierung bzw. Steuerung der eigentlichen Auswertungen benötigt werden. Die Einstellungsparameter zu den Eingangsdaten bestehen hauptsächlich in der Zuordnung der jeweiligen Dateipfade und der hinterlegten Attributnamen. Bei den Schwellenwerten für die Justierung und Steuerung der eigentlichen Auswertung kann es

dagegen sinnvoll sein, die Software mehrmals iterativ mit leicht veränderten Werten durchlaufen zu lassen, um eine möglichst hohe Genauigkeit der Auswertung zu erzielen. Zu den Parametern, die besonders genau an die Qualität der Eingangsdaten angepasst werden sollten, gehören zum Beispiel die Schwellenwerte (NDVI, Mindest-Gründachanteil, Mindest-Gründachfläche etc.). Zustand und Vitalität der Vegetation können stark von der Jahreszeit und den Wetterbedingungen (Niederschlag, Trockenheit) im Vorfeld der Luftbildaufnahmen beeinflusst werden. Erfolgt die Aufnahme zu einem frühen Zeitpunkt der Vegetationsperiode oder nach einer für die Vegetation ungünstigen längeren Wetterperiode, müssen die Schwellenwerte ggf. nach unten korrigiert werden. Vor dem ersten Durchlauf der Software müssen außerdem die Eingangsparameter für die Kiesdetektion bestimmt werden.

Hinreichende Genauigkeit der Analyse: Für die Genauigkeit der Analyse spielt die Festlegung der NDVI-Schwellenwerte für die Vegetationserkennung im Luftbild eine wichtige Rolle. Sollen z. B. auf jeden Fall alle Gründächer in der Stadt erkannt werden (inkl. Dachbegrünungen mit schütterem Bewuchs und geringer Vitalität) und nimmt man dafür in Kauf, bei einer nachgelagerten visuellen Überprüfung viele Spontanbegrünungen und Falschzuweisungen wieder entfernen zu müssen, kann der NDVI-Schwellenwert für das schwache Vegetationssignal sehr niedrig angesetzt werden. Wird bei der Auswertung hingegen Wert darauf gelegt, nur sichere Gründächer (flächige, vitale Vegetationsbedeckung) zu erfassen, kann der Wert nach oben verschoben werden. Dabei besteht aber die Gefahr, dass einige schlechte bewachsene Gründächer durch das Raster fallen. In ähnlicher Weise kann auch die Fixierung der Schwellenwerte für die Mindest-Gründachfläche und den Mindest-Gründachanteil diskutiert werden (s. Kapitel 2.4.2). Die Festlegung der Schwellenwerte stellt in Bezug auf die Genauigkeit des Verfahrens deshalb immer einen gewissen Balanceakt dar. Verschiedene Fehlzusweisungen lassen sich bei der automatisierten Auswertung nicht komplett ausschließen (Überschirmungen von Bäumen und Sträuchern, Verkippungseffekte, Gewächshäuser etc.). Es empfiehlt sich deshalb, die Klassifizierung der Gründach- und Potenzialflächen in einem nachgelagerten Screening nochmals visuell zu überprüfen. Für diesen Schritt steht mit den Quicklook-PDF's ein sehr komfortables Werkzeug zur Verfügung, das den Arbeitsaufwand erheblich reduziert.

Ausgabe der Ergebnisse zur leichten Weiterverarbeitung: Das Ergebnis der Dachanalyse wird analog zu den Eingangsdaten als Geodatensatz (Raumbezug und Attributtabelle) im ESRI-Shapefile-Format ausgegeben und kann den bereits vorhandenen Geobasisdaten direkt beigefügt werden. Dieses Standardformat gewährleistet außerdem eine leichte Weiterverarbeitung der Ergebnisse in Klima- und Entwässerungsmodellen. Neben der numerischen Ausgabe der Werte besteht außerdem die Möglichkeit, ein Quicklook-PDF zu erstellen, das die Bilddateien aller identifizierten Gründächer beinhaltet (s. Abb. 10). Durch die Gegenüberstellung von Falschfarbeninfrarot-Bildern (CIR-Bilder) und Echtfarben-Bildern (RGB-Bilder) können offensichtliche Fehlzusweisungen (z. B. bei Gewächshäusern, Grundstücken, die noch nicht bebaut sind etc.) schnell erkannt und ausselektiert werden, auch ohne das hierzu ein Zugriff auf die Eingangsdaten oder eine besondere Zusatzsoftware notwendig sind.

GebäudeID	DEBW_001000GD6kh
GebäudeHöhe	6.47m
DachFläche	240.06qm
Begrünungsanteil	72.11%
Intensive Begrünungsanteil	34.81
Adresse	Metzinger Strasse 15
Koordinaten	(48.6244 N, 9.33489 E)



GebäudeID	DEBW_001000GD6L8
GebäudeHöhe	5.49m
DachFläche	264.70qm
Begrünungsanteil	13.97%
Intensive Begrünungsanteil	0.00
Adresse	Karlstrasse 18
Koordinaten	(48.6238 N, 9.33683 E)



Abb. 10: Beispiel für ein Quicklook-PDF. Zusätzlich zu dem Falschfarbeninfrarot-Bild wird auch das Echtfarben-Bild (RGB-Bild) angegeben.

Für die Anwendung der Software und die Beschreibung der Einstellungsparameter und der ausgegebenen Werte wurde ein umfangreiches Methodenhandbuch erstellt.

Bereits während der Projektlaufzeit wurde Kontakt mit einem privaten Fernerkundungsunternehmen aufgenommen, um die Methode nach Abschluss des Projektes als neuen fernerkundlichen Dienstleistungsstandard anbieten zu können.

2.6) Ergebnisse

Als Resultat des Programmdurchlaufs wird für jedes Gebäude (d.h. jeden Hausumring bzw. jedes Gebäude-Polygon des Vektor-/ Katasterdatensatzes) eine Wertetabelle mit Attributen generiert, die Aussagen zur bereits vorhandenen Begrünung bzw. der potenziellen Begrünbarkeit liefert. Die wichtigsten Parameter werden in Tabelle 3 vorgestellt.

Nachfolgend werden außerdem exemplarisch einige Ergebnisse präsentiert, die die Anwendungsmöglichkeiten der Methode auf unterschiedlichen Ebenen zeigen.

Attribut	Erklärung
GruenDach	Klassifizierung als Gründach. Der Wert 1 bedeutet, dass die Schwellenwerte für den Grünanteil und die Mindestfläche überschritten wurden und es sich um ein flach- oder leicht geneigtes Dach handelt.
PixAnzahl	Die Anzahl der Luftbildpixel (= Bildpunkte), deren Mittelpunkt innerhalb des Dach-Polygons (= Hausumring) liegt.
PixArea	Gesamtfläche der Pixel, welche innerhalb des Polygons liegen.
GruenAntl	Anteil der Pixel innerhalb der Gesamtpolygon-Fläche, die den Schwellenwert für ein niedriges Vegetationssignal (Spontanbegrünung/Extensivbegrünung) überschreiten. Dabei werden je nach Gebäudehöhe mögliche Übershirmungen durch Bäume und Sträucher bereits korrigiert.
GruenArea	Fläche des Daches, welches als begrünt erkannt wird. Entspricht dem Produkt der Attribute GruenAntl und PixArea.
IntAnteil	Anteil der Pixel innerhalb der Gesamtpolygon-Fläche, die den Schwellenwert für ein mittleres Vegetationssignal überschreiten. Dabei werden je nach Gebäudehöhe mögliche Übershirmungen durch Bäume und Sträucher bereits korrigiert.
IntArea	Fläche des Daches, welche ein mittleres Vegetationssignal aufweist (Übergangsbereich Extensivbegrünung/Intensivbegrünung). Entspricht dem Produkt der Attribute IntAnteil und PixArea.
Flach	Klassifizierung der Dachform. Der Wert 1 bedeutet, dass das Gebäude ein flaches oder leicht geneigtes Dach besitzt. Nur Gebäude mit dieser Dachform werden in der Inventarisierung und Potenzialanalyse berücksichtigt.
PotGruen	Klassifizierung der potenziellen Begrünbarkeit. Gebäude, die kein flach- oder leicht geneigtes Dach besitzen, erhalten den Wert 0. Flache oder leicht geneigte Dachformen (s. Attribut „Flach“) werden mit dem Wert 1 gekennzeichnet. Sind diese Dächer zusätzlich zu mindestens 50% mit Kies bedeckt, erhöht sich der Wert auf 2.
KiesAnteil	Prozentualer Anteil der Dachfläche, der mit Kies bedeckt ist.

Tab. 3: Übersicht und Erläuterung verschiedener erzeugter Attribute

2.6.1) Analyse Einzelgebäude

Beispiel 1: Gründach-Inventarisierung - Dachfläche mit niedrigem Vegetationssignal

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der fernerkundlichen Gründach-Inventarisierung eines größeren Flachdachgebäudes (s. Abb. 11) dargestellt. Die ermittelte Gesamtfläche der Luftbildpixel innerhalb des Hausumrisses beträgt 10.368 m². Auf 50,4% der Fläche überschreiten die berechneten NDVI-Werte den Schwellenwert des niedrigen Vegetationssignals. Mit 5.223 m² (Attribut GruenArea) liegt die daraus resultierende begrünte Dachfläche deutlich über den quantitativen Schwellenwerten für die Mindestgröße (10 m²) und den Mindestanteil (10%, großes Dach). Das Dach wird in der Auswertung somit als Gründach eingestuft. 18% der Bildpunkte weisen außerdem einen NDVI von 0,20 – 0,30 auf. Allerdings ist dieser Anteil zu niedrig, um das Gründach insgesamt als Dachfläche mit mittlerem Vegetationssignal (Übergangsbereich von Extensiv- und Intensivbegrünung) zu klassifizieren.

Attribut	Vorgabe / Schwellenwert	Ermittelter Wert
Dachfläche		10.368 m ² (Attribut PixArea)
Mindestgröße Dachfläche mit niedrigem Vegetationssignal	> 10 m ²	5.223 m ² (Attribut GruenArea)
Mindestanteil Dachfläche mit niedrigem Vegetationssignal	> 10% (großes Dach)	50,4% (Attribut GruenAntl)
Mindestanteil Dachfläche mit mittlerem Vegetationssignal	> 25%	18% (Attribut IntAnteil)
Dachform: flaches oder leicht geneigtes Dach	1	1

Tab. 4: Beispiel 1 Dachfläche mit überwiegend niedrigem Vegetationssignal - Schwellenwerte und berechnete Attribute



Abb. 11: Falschfarbeninfrarot-Luftbild einer Dachfläche mit überwiegend niedrigem Vegetationssignal (© Stadt Nürtingen)

Vegetationsfreie Dachoberflächen wie technische Aufbauten oder Lichtkuppeln werden bei der Berechnung der begrünter Dachflächen (Attribut GruenAera) nicht berücksichtigt. Dies gilt auch für offene Substratflächen oder Bereiche mit sehr schwachem Bewuchs, deren Vegetationssignal den Schwellenwert nicht überschreitet.

Beispiel 2: Gründach-Inventarisierung - Dachfläche mit mittlerem Vegetationssignal

Tabelle 5 und Abbildung 12 zeigen ein weiteres Beispiel für eine fernerkundliche Gründach-Inventarisierung. Für das Gebäude wurde eine Dachfläche von 437 m² ermittelt. Der NDVI-Schwellenwert des niedrigen Vegetationssignals wird auf 75% der Fläche überschritten. Die daraus resultierende begrünte Dachfläche liegt mit 328 m² (Attribut GruenArea) ebenfalls über den quantitativen Schwellenwerten für die Mindestgröße und den Mindestanteil. 67% der Bildpunkte weisen zusätzlich einen NDVI von 0,20 – 0,30 auf. In diesem Fall ist der Anteil groß genug, um das Gründach als Übergangsbereich von Extensiv- und Intensivbegrünung zu klassifizieren.

Attribut	Vorgabe / Schwellenwert	Ermittelter Wert
Dachfläche		437 m ² (Attribut PixArea)
Mindestgröße Dachfläche mit niedrigem Vegetationssignal	> 10 m ²	328 m ² (Attribut GruenArea)
Mindestanteil Dachfläche mit niedrigem Vegetationssignal	> 10% (großes Dach)	75% (Attribut GruenAntl)
Mindestanteil Dachfläche mit mittlerem Vegetationssignal	> 25%	67% (Attribut IntAnteil)
Dachform: flaches oder leicht geneigtes Dach	1	1

Tab. 5: Beispiel 2 Dachfläche mit überwiegend mittlerem Vegetationssignal - Schwellenwerte und berechnete Attribute

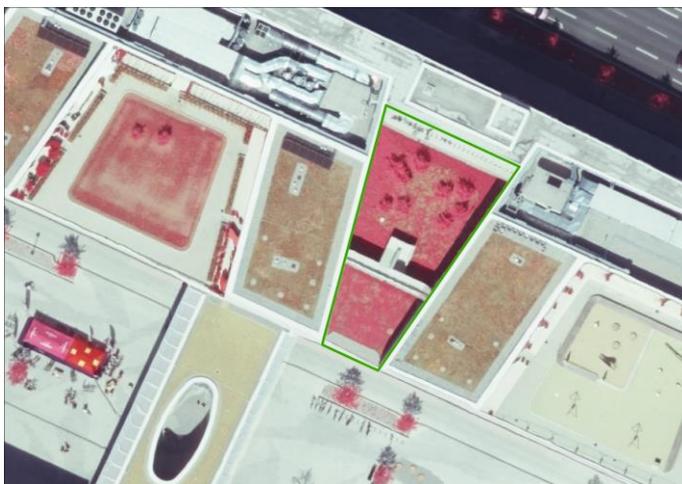


Abb. 12: Falschfarbeninfrarot-Luftbild einer Dachfläche mit überwiegend mittlerem Vegetationssignal (© Stadt München)

Beispiel 3: Potenzialanalyse - Dachfläche mit Kiesbelag

Für die Potenzialanalyse liefert Tabelle 6 die Kennzahlen eines identifizierten Kiesdaches. Das Flachdach des untersuchten Gebäudes hat eine Größe von 226 m². Bei der Analyse der Oberflächenstruktur wurden 80% der Dachfläche als Kiesbelag erkannt (s. Abb. 13). Die damit verbundene Klassifizierung als Kiesdach führt dazu, dass das Gebäude bei der potenziellen Begrünbarkeit (Attribut PotGruen) den Wert 2 erhält.

Attribut	Vorgabe / Schwellenwert	Ermittelter Wert
Dachfläche		226 m ² (Attribut PixArea)
Mindestanteil Dachfläche mit Kiesbelag	> 50%	80% (Attribut KiesAnteil)
Dachform: flaches oder leicht geneigtes Dach	1	1

Tab. 6: Beispiel 3 Dachfläche mit Kiesbelag - Schwellenwerte und berechnete Attribute



Abb. 13: Luftbild eines detektierten Kiesdaches (© Stadt München)

2.6.2) Analyse Stadtgebiet

Auf Basis der berechneten Attribute für die einzelnen Gebäude können außerdem folgende quantitativen Werte für das gesamte Stadtgebiet abgeleitet werden:

- Anzahl aller Dächer mit Dachbegrünung im Stadtgebiet
- Prozentualer Anteil der Gründächer an der Gesamtzahl aller Dachflächen
- Vegetationsfläche aller begrünten Dachflächen
- Anzahl aller potenziell begrünbaren Gebäude im Stadtgebiet
- Prozentualer Anteil der potenziell begrünbaren Dachflächen an der Gesamtzahl aller Dachflächen
- Gesamtfläche der potenziell begrünbaren Dächer

Tabelle 7 liefert eine Übersicht verschiedener Kennzahlen, die auf Stadtgebietsebene ermittelt werden können (Beispiel München).

Kenngröße	Ergebnis
Anzahl aller Dächer mit Dachbegrünung im Stadtgebiet	59.082
Prozentualer Anteil der Gründächer an der Gesamtzahl aller Dachflächen	19,5%
Vegetationsfläche aller begrünten Dachflächen	3.148.043 m ²
Anzahl aller potenziell begrünbaren Gebäude im Stadtgebiet mit einer Dachfläche von mindestens 100 m ²	31.740
Prozentualer Anteil der potenziell begrünbaren Dachflächen (> 100 m ²) an der Gesamtzahl aller Dachflächen	10,5%
Gesamtfläche der potenziell begrünbaren Dächer (>100 m ²)	13.233 965 m ²

Tab. 7: Kenngrößen der Gründach-Inventarisierung und Potenzialanalyse auf Stadtgebietsebene (Beispiel Stadt München)

Sofern die Gebäudebasisdaten eine Aufteilung in oberirdische Gebäude und Tiefgaragen ermöglichen oder Angaben zum Gebäudealter oder den Nutzungsklassen enthalten, können die Kenngrößen weiter differenziert werden. So wurden in München zusätzlich zu den oben aufgeführten Werten noch knapp 1,4 Millionen m² Dachbegrünungen auf Tiefgaragen identifiziert. Durch Veränderungen der Schwellenwerte bei den Einstellungsparametern kann die Auswertung außerdem an spezifische Fragestellungen angepasst werden. Tabelle 8 zeigt, wie sich die Ergebnisse der Gründach-Inventarisierung in München verändern, wenn der Schwellenwert für den Mindestanteil der vegetationsbedeckten Dachfläche schrittweise erhöht wird.

	Mindestanteil Gründachfläche > 10%	Mindestanteil Gründachfläche > 20%	Mindestanteil Gründachfläche > 30%	Mindestanteil Gründachfläche > 50%
Anzahl aller Dächer mit Dachbegrünung im Stadtgebiet	59.082	51.147	43.456	26.901
Prozentualer Anteil der Gründächer an der Gesamtzahl aller Dachflächen	19,5%	16,9%	14,4%	8,9%
Vegetationsfläche aller begrünten Dachflächen	3.148.043 m ²	2.822.047 m ²	2.445.760 m ²	1.566.436 m ²

Tab. 8: Ergebnisse der Gründach-Inventarisierung in Abhängigkeit vom Schwellenwert des Mindestanteils der Dachfläche, der vegetationsbedeckt sein muss. (Beispiel Stadt München)

Tabelle 9 zeigt einen Vergleich der Städte München, Stuttgart, Karlsruhe und Nürtingen bei Dachflächen, die einen Mindestgrünanteil von 20% besitzen. Zusätzlich wurde auch die begrünte Dachfläche pro Einwohner berechnet. In München ist die Gründachfläche pro Einwohner am höchsten. Bereits seit Mitte der 90er Jahre existiert dort eine Freiflächengestaltungssatzung, die die Begrünung aller Flachdächer mit einer Größe von mehr als 100 m² fordert [ABD+, 2011]. Bei einem Vergleich der Städte ist aber zu berücksichtigen, dass Unterschiede in der Datenqualität der Luftbild- und Gebäudedaten sowie des Aufnahmezeitpunktes im Jahresverlauf (Vegetationsperiode oder Winter) Einfluss auf die Werte der Gründach-Inventarisierung nehmen können. Diese Aspekte müssen bei der Interpretation der Werte berücksichtigt werden.

	München Gründachfläche > 20%	Stuttgart Gründachfläche > 20%	Karlsruhe Gründachfläche > 20%	Nürtingen Gründachfläche > 20%
Anzahl aller Dächer mit Dachbegrünung im Stadtgebiet	51.147	16.261	2.308	729
Vegetationsfläche aller begrünten Dachflächen	2.822.047 m ²	1.058.080 m ²	177.546 m ²	59.450 m ²
Gründachfläche pro Einwohner	1,97 m ²	1,75 m ²	0,59 m ²	1,50 m ²

Tab. 9: Vergleich der Gründach-Inventarisierung in München, Stuttgart, Karlsruhe und Nürtingen (Mindestanteil Gründachfläche > 20%)

2.7) Einsatzgebiete des Verfahrens

Bei den Gesprächen mit den kommunalen Partnern des Projektes konnten verschiedene Themenfelder identifiziert werden, in die die ermittelten Werte zur Inventarisierung und Potenzialanalyse eingespielt werden können. Diese Recherche wurde in einem erweiterten Kreis beim „2. Fachseminar Dachbegrünung für Kommunen“ in Osnabrück im Februar 2015 fortgeführt. Zu den Einsatzgebieten, die von den befragten Personen als „sehr wichtig“ und „wichtig“ genannt wurden, gehören folgende Punkte:

- Einbindung der Daten in Modellierungen für das Stadtklima
- Einbindung der Daten in Modellierungen für die Entwässerungsplanung
- Einbindung der Daten in Modellierungen für die Biotopvernetzung
- 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

Den höchsten Wert erzielte bei der Umfrage die Einbindung der Daten in Modellierungen für die Entwässerungsplanung. Um die Anwendungsmöglichkeiten der Methode in diesem Bereich bereits während der Projektlaufzeit testen zu können, stellte die Stadt Nürtingen die erhobenen Daten für zwei wissenschaftliche Untersuchungen an der Hochschule für Umwelt und Wirtschaft (HfWU) Nürtingen-Geislingen zur Verfügung. Die Bachelorstudentin Lisa Sommer überprüfte in ihrer Arbeit die Ergebnisse der Dachanalyse. Gleichzeitig kalkulierte sie den Regenwasserrückhalt der bereits vorhandenen Dachbegrünungen und die Erhöhung des Wertes durch die Begrünung aller potenziell geeigneten Dachflächen. In einem weiterführenden Ansatz untersuchte der Masterstudent Roland Schunn in verschiedenen Nürtinger Stadtteilen das Abflussverhalten der Dachflächen für ein definiertes Niederschlagsereignis. Dabei wurden drei Szenarien mit jeweils unterschiedlichen Anteilen nachträglich begrünter Potenzialflächen berechnet. Auch die nachfolgend zitierte Einschätzung des Projektpartners HafenCity Universität Hamburg (Prof.-Dr. Wolfgang Dickhaut) kommt zu einem positiven Fazit für die Anwendungsmöglichkeiten der Methode im Bereich der Entwässerungsplanung.

Wasserwirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten der Ergebnisse der fernerkundlichen Inventarisierung und Potenzialanalyse begrünter Dächer: *Das DDV/DLR-Forschungs- und Entwicklungsprojekt hat eine Methode entwickelt, die zahlreiche, auch für die wasserwirtschaftliche Planung relevante Fachdaten automatisiert ermitteln kann. Beispielhaft sollen genannt werden die Parameter Dachgröße, Dachform (z. B. Pult- oder Flachdach), Orientierung, Vegetationsart (z. B. ohne Vegetation, extensive, intensive Begrünung) sowohl für Einzelgebäude als auch für eine Summenbildung z. B. in einem wasserwirtschaftlichem Einzugsgebiet.*

In der wasserwirtschaftlichen Planung sind die Kenntnisse der Flächentypen und deren Beschaffenheit besonders wichtig, da sie unterschiedliche Abflussbeiwerte besitzen und

damit auch unterschiedlich stark abflussrelevant sind. So fließen z. B. von Kiesdächern in der Regel mehr als 80-90% des Niederschlages ab, während es bei Gründächern im gleichen Zeitraum in Abhängigkeit von dem Typ (intensiv oder extensiv) nur 30-50% sind. Besonders relevant ist die Kenntnis über die Dacheigenschaften in innerstädtisch verdichteten Quartieren, bei denen der Anteil der Dachflächen in einem Gebiet häufig bei weit über 60% liegt und damit einen erheblichen Anteil des Gesamtabflusses darstellt.

Häufig liegen diese Informationen zu Dächern für die Integration in die Bemessungen wasserwirtschaftlicher Konzepte und Anlagen aber nicht in ausreichender Qualität vor und müssen aufwändig eigens für die Planungen erhoben werden, wenn man das Potenzial der Abflussreduktion von Dächern in der Entwässerungsplanung abschätzen möchte. Dies wird regelmäßig vernachlässigt, da auch andere Fragestellungen der anschließenden Flächenverfügbarkeit häufig sehr skeptisch beurteilt werden und der notwendige Arbeitsaufwand an dieser Stelle unterbleibt.

Die in dem DDV/DLR-Projekt entwickelte und beschriebene Methodik zur automatisierten Inventarisierung des Gründachpotenzials könnte diese Lücke schließen, wenn sich mehr Kommunen entscheiden, sie im Rahmen ihrer Grundlagendatenerhebung einzusetzen und die ermittelten Daten den wasserwirtschaftlichen Behörden und Büros zur Verfügung zu stellen. Eine wasserwirtschaftliche Abflussberechnung ist auf dieser Basis einfacher und kostengünstiger zu erstellen und schafft potenziell ganz neue Visionen, auch für den umfassenderen Umbau von Kies- in Gründächer in zusammenhängenden Einzugsgebieten. Hierbei kann die Erreichung der nach Wasserhaushaltsgesetz (WHG) intendierten wasserwirtschaftlichen Zielsetzung der „ortsnahen“ Regenwasserbewirtschaftung genauso erleichtert werden, wie ökologische (Biodiversität) und stadtklimatische (Kühlung) Pläne.

Prof.-Dr. Wolfgang Dickhaut, HafenCity Universität Hamburg

Im Bereich der systematischen Klimasimulationen virtueller Städte wurde vom Deutschen Wetterdienst (DWD) das neue Informationsportal Klimaanpassung in Städten (INKAS) entwickelt [DWD, 2015]. Das internetbasierte Beratungstool macht die Auswirkungen unterschiedlicher Bebauungsstrukturen, Grün- und Wasserflächen sowie Oberflächen- und Materialeigenschaften auf den Städtischen Wärmeinsel-Effekt sichtbar. Für die Stadtklimasimulation wird dabei das mikroskalige urbane Klimamodell MUKLIMO_3 verwendet. Die Software besitzt eine Schnittstelle für die Oberflächenstruktur von Gebäudedächern, in die die Ergebnisse der Inventarisierung und Potenzialanalyse begrünter Dächer eingebunden werden können. Dadurch können Stadtplaner konkrete Informationen erhalten, wie sich die Vergrößerung der städtischen Dachbegrünungsflächen auf das Stadtklima auswirken wird.

Ein weiteres, wichtiges Anwendungsgebiet stellt die kommunale Förderung begrünter Dächer in Gebieten mit mangelhafter Grünausstattung dar. Damit unterstützt und ergänzt das Projekt die Anwendung des „Leitfadens Dachbegrünung für Kommunen“, den der Deutsche Dachgärtner Verband gemeinsam mit der HafenCity Universität Hamburg und der Deutschen Gartenamtsleiterkonferenz 2011 ebenfalls im Rahmen eines Förderprojektes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt erstellt hat (Förderprojekt 28269, [ABD+, 2011]).

Im Rahmen der Expertenbefragung wurden aber auch zahlreiche weitere Aspekte genannt, für die sich das Verfahren einsetzen lässt.

- Kontrollwerkzeug für die Ausführung begrünter Dächer
- Ökologische Aufwertung vorhandener Gründächer
- Einspeisung der Daten in die Immobilienbewertung (Kostensparnis bei Energie und Niederschlagswasser)
- Grundlagen zur Aktivierung von sozialen, öffentlichen Flächen auf Dächern (Nachbarschaftstreffs, Urban Gardening)

Insgesamt zeigt sich, dass die Methode eine große Palette an Anwendungsmöglichkeiten besitzt, die dem Thema Dachbegrünung in vielen Bereichen eine neue Wertigkeit verleihen kann.

2.8) Netzwerk- und Öffentlichkeitsarbeit

Während der Projektlaufzeit wurde die Methodenentwicklung mit zahlreichen Presseveröffentlichungen und Projektpräsentationen begleitet (s. Anlage: Presseberichte und Präsentationen). Anlässlich der Weltleitmesse BAU in München im Januar 2015 wurde das Projekt am Gemeinschaftsstand der Deutschen Bundesstiftung Umwelt mit Fachinformationen und einem anschaulichen Exponat vorgestellt. Eine weitere, umfangreiche Präsentation für das Fachpublikum erfolgte beim „2. Fachseminar Dachbegrünung für Kommunen“ im Februar 2015 am Zentrum für Umweltkommunikation in Osnabrück. Dabei wurden im Vortragsprogramm auch aktuelle kommunale Gründach-Initiativen aus Hamburg, Berlin, Hannover und Stuttgart erläutert (s. Anlage: 2. Fachseminar Dachbegrünung für Kommunen Flyer und Programm). Die Inhalte des Seminars wurden in einem Tagungsband zusammengefasst. Weitere Projektberichte erfolgten bei Gründach-Seminaren in München, Hannover, Hamburg, Mannheim und auf der Insel Mainau sowie bei den Wissenschaftstagen in München. Bei der „European Conference on Biodiversity and Climate Change 2015“ in Bonn wurde die Methode mit einem Posterbeitrag vorgestellt. Auch im Ausland stieß die Initiative auf großes Interesse. Im April 2015 wurde das Projekt beim 4. Internationalen Gründach-Kongress in Istanbul mit dem International Green Roof Leadership Award ausgezeichnet. Weitere Präsentationen erfolgten im Rahmen des Decumanus-Projektes (Entwicklung fernerkundlicher Dienstleistungen für verschiedene europäische Städte) und bei der „1st European Urban Green Infrastructure Conference 2015“ in Wien.

Als Werkzeug der nachhaltigen Stadtentwicklung richtet sich die neuartige Methodik vor allem an die kommunalen Fachbehörden (Bauamt, Stadtplanungsamt, Umweltamt, Grünflächenamt, Naturschutzbehörden, Entwässerungsbetriebe etc.). Bereits während der Projektentwicklung konnten Kontakte zu verschiedenen interessierten Kommunen geknüpft werden (u.a. Nürnberg, Frankfurt, Mannheim, Dortmund, Rotterdam, Antwerpen, London, Mailand, Helsinki). Die unterstützende Öffentlichkeitsarbeit zur Etablierung der Methode in diesem Segment erfolgt nach Abschluss des Projektes kontinuierlich über das Netzwerk des Deutschen Dachgärtner Verbandes und des Kooperationspartners Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK).

3) Fazit

Die entwickelte Softwarelösung macht mit ihren Analysemöglichkeiten zur Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünungen eine Flächenressource mit einem riesigen Entwicklungspotenzial für stadtoökologische Analysen zugänglich – die Dächer der Städte. Bei den teilnehmenden kommunalen Partnern wurde zwar teilweise bereits ein erstaunlich hoher Anteil an begrünten Dächern ermittelt, der unter anderem auf den langjährigen Einsatz verschiedener kommunaler Fördermaßnahmen zurückgeführt werden kann. Der überwiegende Teil der Dachflächen ist aber nach wie vor unbegrünt.

Die neue fernerkundliche Methode bietet die Möglichkeit, dieses ungenutzte Flächenpotenzial für stadtoökologische Belange gezielt zu entwickeln. Dabei spielen natürlich auch die bereits vorhandenen Gründach-Flächen, die im Rahmen der Inventarisierung erstmalig lokalisiert sowie qualitativ und quantitativ analysiert werden, eine wichtige Rolle. Die Kombination beider Werte ermöglicht eine sehr breite Palette unterschiedlicher Anwendungsmöglichkeiten, die von der Nutzung in Stadtklimamodellen über die Entwässerungsplanung bis hin zu Aspekten der Biodiversität und der Umsetzung lokaler Gründach-Strategien reicht. Das für die Ausgabe der ermittelten Werte gewählte GIS-Standardformat gewährleistet eine interdisziplinäre Verwendung der Daten. Die Software beinhaltet außerdem veränderbare Einstellungsparameter, die eine Anpassung an verschiedene Eingangsdaten und Fragestellungen ermöglicht.

Die Sichtbarmachung der gesamten Ökosystemleistungen (Ecosystem Services) begrünter Dächer ermöglicht die Erstellung einer Gesamtbilanz ihres heutigen und zukünftigen Nutzens und macht sie einer ökonomischen Bewertung zugänglich. Der Vergleich mit technischen Alternativmaßnahmen (Weiße Dachabdichtungen, Regenrückhalteanlagen), die nur in Einzeldisziplinen wirken, wird dadurch transparenter. Gleichzeitig bietet die Quantifizierung der Ökosystemleistungen die Gelegenheit zu thematisieren, dass eine gute ökologische Qualität auch ihren Preis hat. Das Ziel sollte es sein, nicht nur mehr, sondern auch bessere, d.h. stadtoökologisch optimierte Dachbegrünungen zu installieren.

Ergänzend zum Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen steht mit der Methode zur fernerkundlichen Inventarisierung und Potenzialanalyse nun ein weiteres Werkzeug zur Verfügung, um die Neuanlage begrünter Dächer zu fördern. Aber auch bei der Bewertung des aktuellen Zustandes bereits vorhandener Dachbegrünungen kann die fernerkundliche Methode helfen. Bei den Dachanalysen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde offenbar, dass hier Verbesserungen im Bereich der Artenvielfalt und der Pflege nicht nur möglich, sondern auch nötig sind. So zeigten viele Extensivbegrünungen nur sehr schwache Vegetationssignale, was auf eine geringe Vitalität der Bepflanzung bzw. auf einen spärlichen Pflanzenwuchs zurückgeführt werden kann. Im Bereich der Ökosystemleistungen können diese Begrünungen ihr Potenzial nicht ausschöpfen.

Die Klimaschutzpolitik steht derzeit vor einer wichtigen Weichenstellung. Selbst wenn das Ziel, die globale Erwärmung durch umfangreiche Klimaschutzmaßnahmen (Mitigation) auf 2°C zu begrenzen, erreicht werden sollte, werden die mit dieser Temperaturerhöhung verbundenen Effekte die Wohn- und Lebensqualität in den Städten massiv beeinflussen. In Zukunft werden deshalb lokale Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel (Adaptation) stark an Bedeutung gewinnen. Auf den Dächern der Städte existieren riesige

Potenziale, um die grüne Infrastruktur auszubauen und damit die Folgen des Klimawandels für die Stadtbevölkerung abzuf puffern. Mit der Methode zur fernerkundlichen Inventarisierung und Potenzialanalyse begrünter Dächer können diese Flächen erstmals systematisch erschlossen werden.

Literaturverzeichnis

- [ABD+, 2011] Ansel, W., Baumgarten H., Dickhaut, W., Kruse, E. & Meier, R. (2011): Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen – Nutzen – Fördermöglichkeiten – Praxisbeispiele. Projektbericht Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) Aktenzeichen 28269
- [AM, 2014] Ansel, W. & Meier, R. (2014): DDV-Praxisratgeber: Das 1x1 der Dachbegrünung. DDV-Verlag Nürtingen, 4. Auflage
- [AR, 2012] Ansel, W. & Reidel, P. (2012): Moderne Dachgärten – Kreativ und Individuell. DVA-Verlag München
- [BBS, 2004] Barr, S.L., Barnsley, M.J. & Steel, A. (2004): On the separability of urban land-use categories in fine spatial scale land-cover data using structural pattern recognition. Environment and Planning B: Planning and Design 2004, 32, pp. 397–418
- [Beh, 2011] Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Freie und Hansestadt Hamburg: Stadtklimatische Bestandsaufnahme und Bewertung für das Landschaftsprogramm Hamburg - Klimaanalyse und Klimawandelszenario 2050 – Gutachten GEO-NET Umweltconsulting GmbH
- [BHH+, 2014] Berardi, U. Hosein Ghaffarian Hoseini, A. & Ghaffarian Hoseini, A. (2014): State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. In: Applied Energy 2014, 115, pp 411–428
- [Boc, 2010] Bochow, M. (2010): Automatisierungspotenzial von Stadtbiotopkartierungen durch Methoden der Fernerkundung. Dissertation, Universität Osnabrück, S. 197
- [Bun, 2010] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung – BMVBS (2010): StadtKlima – Kommunale Strategien und Potenziale zum Klimawandel, ExWoSt-informationen, Bonn
- [Bun, 2015] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit –BMUB (2015): Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft; Grünbuch Stadtgrün. Abrufbar unter:
http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/gruenbuch_stadtgruen_broschuere_bf.pdf (letzter Zugriff am 25.11.2015)
- [CB, 2012] Cook-Patton, S.C. & Bauerle, T.L. (2012): Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs: A literature review. In: Journal of Environmental Management 2012, 106, pp. 85-92
- [Deu, 2007] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall –DWA (2007): Merkblatt DWA-M 153 - Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser

[Dor, 2015] Dortmund (2015): Klimafolgenanpassungskonzept für den Stadtbezirk Dortmund-Hörde. Abrufbar unter:
http://www.dortmund.de/de/leben_in_dortmund/umwelt/umweltamt/klimaschutz_energie/klimafolgenanpassung/klimafolgenanpassungskonzept_do_hoerde/index.html (letzter Zugriff am 25.11.2015)

[DWD, 2015] DWD Deutscher Wetterdienst (2015): Urbane Räume nachhaltig gestalten Entscheidungshilfe für eine klimagerechte Stadtentwicklung. Abrufbar unter:
http://www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/klima/urbane_raeume_nachhaltig_gestalten.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (letzter Zugriff am 25.11.2015)

[ETG+, 2011] Esch, T., Taubenböck, H., Geiss, C., Nast, M., Schillings, C., Metz, A., Heldens, W., Keil, M. & Dech, S. (2011): Potenzialanalyse zum Aufbau von Wärmenetzen unter Auswertung siedlungsstruktureller Merkmale. Projektbericht Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Berlin. Förderkennzeichen 3004775

[FAH+, 2014] Franzaring, J., Anemou, M., Hernandez Cubero L.C., Katsarov, I., Kauf, Z., Mohiley, A.; Steffan, L. & Fangmeier, A. (2014): Untersuchungen zur Kühlwirkung und der Niederschlagsretention der extensiven Dachbegrünungsvegetation. Reihe KLIMOPASS – Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg Berichte Projektnr.: 4500285871/23, Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)

[FG, 2010] Fernandez-Canero, R. & Gonzalez-Redondo, P. (2010): Green roofs as a habitat for birds: A review. In: Journal of Animal and Veterinary Advances 2010, 9 (15), pp. 2041-2052

[For, 2008] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung, Landschaftsbau (2008): Dachbegrünungsrichtlinie. FLL Verlag Bonn

[GK, 2005] Gedge, D. & Kadas, G. (2005): Green roofs and biodiversity. In: Biologist 2005, 52 (3), pp. 161-169

[GTW+, 2011] Geiss, C. Taubenböck, H., Wurm, M., Esch, T., Nast M., Schillings, C. & Blaschke, T. (2011): Evaluation of settlement structures for local heating systems using high and medium resolution multisensoral remote sensing data. In: Remote Sen. 2011, 3, pp. 1447-1471

[Hel, 2010] Heldens, W. (2010): Use of airborne hyperspectral data and height information to support urban micro climate characterisation. Phd thesis. University of Wuerzburg, Germany.

[Hol, 2009] Holzmüller, K. (2009): Natürlich Klimaschutz – Grüne Dächer in Düsseldorf: Finanzielle Förderung und quantitative Luftbildauswertung. In: Dachbegrünung in der modernen Städtearchitektur S. 145-148. IGRA Verlag, Nürtingen

[JOB, 2012] Jaffal I., Ouldboukhite S. & Belarbi R. (2012): A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. In: Renew Energy 2012, 43, pp.157–164

- [KK, 2013] Kikuchi S. & Koshimizu H. (2013): A comparison of green roof systems with conventional roof for the storm water runoff. In: *Spat Plan Sustain Dev Strategies Sustain* 2013, pp. 287–303
- [KKB, 2011] Köhler, M., Kresse, W. & Belz, C. (2011): Ein Beitrag zum Berliner Umweltatlas. Begrünte Dächer der Bundeshauptstadt. In: *Dach + Grün* 2011, Nr.3, Seite 12-15
- [KOH, 2004] Kühn, F., Oppermann, K. & Horig B. (2004): Hydrocarbon Index – an Algorithm for Hyperspectral Detection of Hydrocarbons. In: *International Journal Of Remote Sensing* 2004, 25, 2467–2473
- [Lan, 2010] Landeshauptstadt Stuttgart – Referat Städtebau und Umwelt (2010): Der Klimawandel – Herausforderung für die Stadtklimatologie. Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz – Heft 3/2010
- [LB, 2003] Liu KY. & Baskaran BA. (2003): NRCC-46412: thermal performance of green roofs through field evaluation. Ottawa, Ontario. In: *National Research Council Canada*, 2003, pp. 1–10
- [Man, 2015] Mannheim (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. Abrufbar unter: https://www.mannheim.de/sites/default/files/page/69564/potenzialermittlung_dach-_und_fassadenbegrunung_zur_verbesserung_des_stadtklimas.pdf (letzter Zugriff am 25.11.2015)
- [Mau, 2011] Maurer, E. (2011): Gründachstadt Linz - Durchgrünungsgradberechnung. Vortrag beim Seminar „Dachbegrünung für Kommunen“, 01. Februar 2011 in Osnabrück
- [MBM+, 2013] Mickovski SB, Buss K, McKenzie BM & Sokmener B. (2013): Laboratory study on the potential use of recycled inert construction waste material in the substrate mix for extensive green roofs. In: *Ecol Eng*, 2013, 51, pp. 706-714
- [MVM+, 2013] Madre, F., Vergnes, A., Machon, N. & Clergeau, P. (2013): A comparison of 3 types of green roof as habitats for arthropods. In: *Ecological Engineering* 2013, 57, pp. 109-117
- [Nat, 2015] Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2015): Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte. Hrsg. von Volkmar Hartje, Henry Wüstemann und Aletta Bonn, Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig
- [PJH+, 2013] Pfoser N., Jenner, N., Henrich, J., Heusinger, J., Weber, S. & Schreiner, J. (2013): Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Abschlussbericht für Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesministeriums für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Selbstverlag 2013
- [Sai, 2008] Sailor DJ. (2008): A green roof model for building energy simulation programs. In: *Energy Build* 2008, 40, pp. 1466–1478

- [San, 2014] Santamouris M. (2014): Cooling the cities – a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. In: *Solar Energy* 2014, 103, pp. 682-703
- [SGD, 2011] Susca T., Gaffin SR. & Dell’Osso GR. (2011): Positive effects of vegetation: urban heat island and green roofs. In: *Environ Pollut* 2011, 159, pp 2119–2126
- [SR, 2011] Smith K. & Roeber P. (2011): Green roof mitigation potential for a proxy future climate scenario in Chicago, Illinois. In: *J Appl Meteorol Climatol* 2011, 50, pp. 507–522
- [SSS+, 2013] Saadatian O., Sopian K., Salleh E., Lim CH., Riffat S. & Saadatian E. (2013): A review of energy aspects of green roofs. In: *Renew Sustain Energy Rev* 2013, 23, pp. 155–168
- [TC, 2010] Tooke T.R. & Coops, N.C. (2010): Modelling and mapping rooftop solar energy potential using LiDAR. The Prairie Summit/The 31st Canadian Symposium on Remote Sensing. Regina, SK, June 1-5, 2010
- [TEW+, 2010] Taubenböck, H., Esch, T., Wurm, M., Roth, A. & Dech, S. (2010): Object-based feature extraction using high spatial resolution satellite data of urban areas. In: *Journal of Spatial Science* 2010, 55, no. 1, pp. 117-133
- [VRA+, 2005] VanWoert ND., Rowe DB., Andresen JA., Rugh CL., Fernandez RT. & Xiao L. (2005): Green roof stormwater retention: Effects of roof surface, slope, and media depth. In: *J Environ Qual* 2005, 34, pp.1036–1044
- [WTS+, 2011] Wurm, M., Taubenböck, H., Schardt M., Esch T. & Dech, S. (2011): Object-based image information fusion using multisensor earth observation data over urban areas. In: *International Journal of Image and Data Fusion*, 2(2), 121-147

ANHANG

- Benutzerhandbuch Software „Fernerkundliche Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünung“ (Titelblatt, Inhaltverzeichnis)
- 2. Fachseminar Dachbegrünung für Kommunen: Flyer und Programm
- Presseberichte und Präsentationen (Stand November 2015)

Titelblatt

Fernerkundliche Inventarisierung und Potentialanalyse von Dachbegrünung

Benutzerhandbuch Software



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung
2. Beschreibung der Methode
 - 2.1 Eingangsdaten
 - 2.1.1 Vegetationserfassung
 - 2.1.2 Gebäudedaten
 - 2.2 Gründach-Inventarisierung
 - 2.3 Potentialanalyse
 - 2.4 Bereitstellung der Ergebnisse
 - 2.5 Anwendungsbeispiele
 - 2.5.1 Analyse Einzelgebäude
 - 2.5.2 Analyse Stadtgebiet
 - 2.6 Nutzung der Daten für stadtplanerische Aspekte
3. Technische Bedienung und Konfiguration der Software
 - 3.1 Aufbereitung und Vorprozessierung der Eingangsdaten
 - 3.1.1 Vegetationserfassung
 - 3.1.2 Gebäudedaten
 - 3.2 Konfiguration der Einstellungsparameter
 - 3.3 Betrieb der Software
 - 3.4 Klassifizierung von Gründach- und Potentialflächen
 - 3.5 Ausgabedaten
 - 3.6 Erzeugung von Quicklook-PDF
4. Anhang
 - 4.1 Übersichtstabelle der Einstellungsparameter
 - 4.2 Übersichtstabelle der erzeugten Attribute

2. Fachseminar Dachbegrünung für Kommunen

Flyer und Programm

24. Februar 2015 | Osnabrück

Einladung 2. Fachseminar „Dachbegrünung für Kommunen“

Veranstalter:



Deutscher
Dachgärtner
Verband e.V.



Deutsches Zentrum
für Luft- und
Raumfahrt



HafenCity Universität
Hamburg



Gartenamtsleiterkonferenz
Gartenamtsleiterkonferenz

Gefördert durch:



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de



Copyright: Stadt Karlsruhe/DLR

www.dachgaertnerverband.de

Dachbegrünung für Kommunen

Kostenloses Seminar für kommunale Fachbehörden, Umweltverbände und Baubeteiligte

Veranstaltungsort

ZUK Zentrum für Umweltkommunikation in Osnabrück



Deutsche Bundesstiftung Umwelt – DBU

Wie viele Gründächer existieren bereits in Deutschlands Städten? Und welche Dächer bieten Potenzialflächen für den Ausbau der grünen Infrastruktur? Gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und verschiedenen Partnerstädten hat der Deutsche Dachgärtner Verband (DDV) ein fernerkundliches Verfahren entwickelt, um diese Fragen schnell und effizient beantworten zu können.

Beim 2. Fachseminar „Dachbegrünung für Kommunen“ in Osnabrück wird die Methode erstmalig in der Öffentlichkeit vorgestellt. Auf der Agenda stehen außerdem neue kommunale Gründach-Initiativen aus Berlin, Hamburg, Hannover und Stuttgart, die von Vertretern der jeweiligen Fachbehörden vorgestellt werden.

Das Projekt wird von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert.

Fernerkundliche Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünung

Begrüßung und Einleitung

Methodischer Ansatz und Ziele des Projektes „Fernerkundliche Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünung“
Wolfgang Ansel, Deutscher Dachgärtner Verband (DDV)

Vorstellung der Demovariante der Methode und Präsentation verschiedener Auswertungen

Dr. Thomas Esch, Julian Zeidler, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Oberpfaffenhofen

Workshop und Diskussion: Anwendungsgebiete des Verfahrens – Stadtklima-Modellierung, Stadtentwässerung, Biotop-Vernetzung, Gebäudebestand, Einsatz kommunaler Förderinstrumente



Innovative Konzepte kommunaler Gründach-Förderung

Die Gründach-Strategie der Stadt Hamburg

Dr. Hanna Bornholdt, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg

Ökologische Gebäudekonzepte und Modellvorhaben in Berlin

Brigitte Reichmann, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin

Netzwerk Urbanes Gärtnern in Stuttgart

Alexander Schmid, Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung, Stuttgart

Gebäudebegrünung als Bestandteil der Klimaanpassungsstrategie in Hannover

Helmut Wahle, Fachbereich Umwelt und Stadtgrün, Hannover

Podiumsdiskussion mit den Teilnehmern



Programmänderungen vorbehalten

Die Sponsoren:



www.helix-pflanzen.de



www.zinco.de



www.fdt.de

Presseberichte und Präsentationen (Stand November 2015)

Presseberichte

- Dach + Grün 6/2013
- Dachbaumagazin 1/2014
- Neue Landschaft 2/2014
- Taspo Gartendesign 2/2014
- Stadt + Grün 3/2014
- Garten + Landschaft 4/2014
- Stadt + Grün 5/2014
- DEGA 1/2015
- Greenbuilding 1/2015
- Taspo Gartendesign 3/2015
- Bi Galabau 3/2015
- Immobilienverwalter 4/2015
- Taspo Galareport 19/2015
- Neue Landschaft 5/2015

Projektpräsentationen (extern)

- Messe BAU, Gemeinschaftsstand DBU, München – Januar 2015
- 2. Fachseminar Dachbegrünung für Kommunen, Zentrum für Umweltkommunikation Osnabrück – Februar 2015
- 4. Internationaler Gründach-Kongress, Istanbul – April 2015
- DDV-Gründach-Foren: München, Hannover, Hamburg, Mannheim, Insel Mainau – Oktober 2014 und September/Oktober 2015
- Wissenschaftstage München – November 2015
- European Conference on Biodiversity and Climate Change 2015, Bonn – November 2015 (Poster)
- Workshop DECUMANUS-Projekt, Antwerpen – November 2015
- 1st European Urban Green Infrastructure Conference 2015, Wien – November 2015