



Hochschule Neubrandenburg  
University of Applied Sciences

Fachbereich Landschaftsarchitektur, Geoinformatik,  
Geodäsie und Bauingenieurwesen

# **Methodenentwicklung für den Aufbau eines Gründachkatasters von Berlin am Beispiel des Bezirkes Friedrichshain-Kreuzberg**

## **Masterarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades  
**„Master of Engineering“ (M.Eng.)**

eingereicht von Corinna Belz  
am 20. Dezember 2010

1. Gutachter: Prof. Dr. Ing. Wolfgang Kresse  
2. Gutachter: Prof. Dr. Ing. Manfred Köhler

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zur Entstehung dieser Masterarbeit beigetragen haben.

Ganz besonderen Dank gebührt Herrn Prof. Dr. Wolfgang Kresse für seine intensive Unterstützung während der Erstellung der Masterarbeit und während der gesamten Studienzeit.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Manfred Köhler für seine fachliche Betreuung, für die anregenden Gespräche sowie für die Zweitbegutachtung der Masterarbeit.

Darüber hinaus möchte ich mich bei Frau Brigitte Reichmann von der Senatsverwaltung Berlin dafür bedanken, dass ich meine Masterarbeit zu diesem Thema anfertigen konnte. Weiterer Dank gilt Herrn Jürgen Springorum für die Bereitstellung der in dieser Arbeit verwendeten Gebäudedaten der Automatisierten Liegenschaftskarte.

Frau Katrin Pinkert von der virtualcitySYSTEMS GmbH in Berlin danke ich für die zur Verfügung gestellten Gebäudedaten des 3D-Stadtmodells.

Besonders bedanken möchte ich mich zudem beim Amtsleiter des Kataster- und Vermessungsamtes Ostprignitz-Ruppin Herrn Manfred Koch für die Unterstützung und für die flexible Arbeitszeitgestaltung während meines Studiums.

Ein sehr spezieller Dank geht an Frau Heidrun Jänsch, Frau Margrit Krebs, Frau Karin Tesch und Herrn Jens Carl für ihre moralische Unterstützung und für die motivierenden Gespräche im Laufe der vergangenen Jahre.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mir stets einen wichtigen Rückhalt gegeben hat.

Erklärung:

Hiermit erkläre ich, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst habe. Die verwendeten Quellen sowie die verwendeten Hilfsmittel sind vollständig angegeben.

Neubrandenburg, den 20.12.2010

Corinna Belz

## Kurzfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine Methode entwickelt, mit deren Hilfe die in einem bestimmten Gebiet vorhandenen Gründächer auf der Grundlage von Orthophotos und georeferenzierter Gebäudedaten digital erfasst, klassifiziert und kartiert werden können und mit der sich zugleich das insgesamt bestehende Gründachpotenzial ermitteln lässt. Als Beispiel für die Anwendung der Methode dient die Klassifizierung der Dachflächen des Bezirkes Friedrichshain-Kreuzberg in Berlin. Die für diesen Bezirk verfügbaren Gebäudedaten werden zu einem digitalen Gesamtbild zusammengefügt und unter Nutzung eigens entwickelter ArcGIS-Werkzeuge ausgewertet. Aus den gewonnenen Ergebnissen lassen sich unter anderem Rückschlüsse für die Regenwasserbewirtschaftung ableiten.

## Abstract

In the following thesis, a new method is implemented to identify all the green roofs in a pre-defined area and to determine the overall potential of green roofs. The method is based on orthophotos and other georeferenced data. It is exemplarily applied for the district Friedrichshain-Kreuzberg of Berlin. Hereby, different types of building data are connected to a digital image, which is analyzed using self-developed ArcGIS tools. The results may also affect rain water management.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>2</b>
2.1 Gründach .....	2
2.1.1 Funktion.....	2
2.1.2 Begrünungsarten.....	3
2.1.3 Voraussetzungen .....	3
2.2 Gründachanalyse .....	4
2.3 Geoinformationssystem ArcGIS .....	4
2.3.1 Visual Basic for Applications (VBA) und ArcObjects .....	5
2.3.2 ModelBuilder.....	6
<b>3 Ausgangsdaten .....</b>	<b>7</b>
3.1 Koordinatensystem .....	7
3.2 Orthophotos .....	8
3.3 Web Map Services (WMS) .....	9
3.4 Gebäudedaten der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) .....	10
3.4.1 Objektschlüsselkatalog Berlin (OSKA BLN) .....	12
3.4.2 Straßenschlüsselverzeichnis Berlin .....	13
3.5 Gebäudedaten des 3D-Stadtmodells.....	13
3.6 Statistische Blockflächen.....	14
3.7 Analyse der Ausgangsdaten .....	17
<b>4 Methoden der Gründacherfassung .....</b>	<b>21</b>
4.1 Datenerfassungswerkzeuge .....	21
4.1.1 VBA-Subroutine „Editor“ .....	25
4.1.2 VBA-Subroutine „Statistik“ .....	26
4.2 Manuelle Erfassung der Dachklassen.....	27
<b>5 Modellierung der Daten .....</b>	<b>36</b>
5.1 Zusammenführung der ALK-Daten .....	36
5.2 Verknüpfung und Adressierung der klassifizierten Dächer .....	38
5.3 Bestimmung der Dachneigungen und der Dachflächen .....	41
5.3.1 Dachneigungen.....	42
5.3.2 Dachflächen.....	44

<b>6 Ergebnisse .....</b>	<b>46</b>
6.1 Ergebnisse der manuellen Klassifizierung .....	46
6.2 Vorhandene Gründächer.....	48
6.3 Gründachpotenzial nach den ALK-Flächen .....	50
6.4 Gründachpotenzial nach dem 3D-Stadtmodell.....	51
6.5 Bewertung potenzieller Gründächer aus den 3D-Daten bezüglich ihrer Größe.....	53
6.6 Verdunstungsvolumina.....	56
6.7 Regenwasserabflusswerte.....	57
6.7.1 Berechnungsgrundlagen .....	57
6.7.2 Berechnung der Reduzierung von Spitzenabflüssen .....	58
6.7.3 Berechnung der Reduzierung von mittleren Jahresabflüssen.....	60
<b>7 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>61</b>
<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>XI</b>
<b>Anhangsverzeichnis.....</b>	<b>XII</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>XIII</b>

# 1 Einleitung

Stadt und Natur scheinen einander auszuschließen. Wo Stadt ist, wird die natürliche Vegetation zurückgedrängt. Die Bebauung versiegelt die Erdoberfläche. Dennoch haben die Menschen seit jeher versucht, Stadt und Natur miteinander in Einklang zu bringen und die Natur in die Stadt zurückzuholen. Die Hängenden Gärten von Babylon sind ein legendäres Beispiel. In modernen Städten ist ein geplantes und konzeptionelles Vorgehen notwendig, um die Natur zurückzugewinnen.

Hierzu kann die Geoinformatik einen wichtigen Beitrag leisten. Der Einsatz der Geoinformatik auf dem Gebiet der Renaturierung der Städte zur Erhaltung und Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen eröffnet neue Perspektiven, aber auch neue Herausforderungen.

Die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin plant, mittelfristig ein Gründachkataster für die Bundeshauptstadt einzurichten. Als Pilotbereich für dieses Vorhaben wurde der Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg ausgewählt. Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit soll eine Methode zur Erfassung und Quantifizierung des Gründachbestandes mittels fernerkundlicher Daten aufgezeigt werden. Mit Hilfe dieser Methode sollen nicht nur vorhandene Gründächer ermittelt, sondern auch potenzielle Gründächer erfasst werden.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Lage und die Anzahl von bereits vorhandenen Gründächern zu bestimmen. Die gewählte Methode hängt vorrangig von den zur Verfügung stehenden Ausgangsdaten, Programmen und Analysewerkzeugen ab.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Gründach

#### 2.1.1 Funktion

Jedes bestehende Gebäude versiegelt die Oberfläche des Grundstückes, und jedes neu errichtete Gebäude bewirkt eine zusätzliche Versiegelung. Das auf der bebauten Fläche anfallende Niederschlagswasser wird über die Regenrinne in geeignete Sammeleinrichtungen oder direkt in die Kanalisation abgeführt. Die Ableitung des Wassers in die Regenwasserkanalisation kann jedoch kurzzeitig zu extremen Abflussspitzen führen.

Begrünte Dächer bieten die Möglichkeit, das Oberflächenwasser zu speichern oder zeitverzögert an die entsprechenden Entwässerungseinrichtungen abzugeben. Der Anteil des auf den begrünten Dachflächen gespeicherten Niederschlagswassers verdunstet über die auf den Dächern vorhandenen Substrate oder wird von den Pflanzen aufgenommen [1].

Aus ökonomischer Sicht bieten Gründächer den Vorteil, dass die Gemeinden im Zuge der Dimensionierung von Kanalleitungen und Regenüberläufen erhebliche Kosten einsparen können. Ferner profitieren die Gebäudeeigentümer von sinkenden Abwassergebühren.

Außerdem ermöglicht die Begrünung von Bauwerken eine ökologische, funktionale und gestalterische Verbesserung des Wohn- und Arbeitsumfeldes [2]. So dienen Gründächer der Verbesserung der Luftqualität, indem sie Staub und Schmutzpartikel aus der Luft herausfiltern [3]. Zudem sind sie in der Lage, auftretende Temperaturextreme auszugleichen und tragen auf diese Weise zur Verbesserung des Kleinklimas bei [2]. Die isolierende Wirkung von Gründächern führt dazu, dass während der Wintermonate Heizenergie eingespart und während der Sommermonate auf eine natürliche Kühlung zurückgegriffen werden kann.

---

---

### 2.1.2 Begrünungsarten

Dächer können intensiv und extensiv begrünt werden. Die intensive Dachbegrünung steht für die Bewirtschaftung nicht erdgebundener, gartenähnlicher Vegetationsflächen, die meist gärtnerisch gepflegt werden. Die Intensivbegrünung umfasst Pflanzungen von Rasenflächen, Stauden, Gehölzen und im Einzelfall auch Bäumen [2]. Die Extensivbegrünung erfolgt durch eine Bepflanzung, die eine geringe Pflegeintensität erfordert und deren Bewässerung sich für gewöhnlich auf die Anwuchspflege beschränkt [4]. Sie besteht in der Regel aus naturnah angelegten Vegetationsformen (insbesondere Moosen, Sukkulenten, Kräutern und Gräsern), welche sich weitgehend selbstständig erhalten und weiterentwickeln.

### 2.1.3 Voraussetzungen

Wo Gründächer angelegt werden können, hängt vor allem von der Dachneigung ab. Die Betrachtung nach vegetationstechnischen Gesichtspunkten erlaubt eine Unterscheidung zwischen Flachdächern mit  $0^\circ$  bis  $1,14^\circ$  Neigung („Null-Grad-Dächer“), geneigten Dächern mit bis zu  $15^\circ$  Neigung und Steildächern mit  $15^\circ$  bis  $45^\circ$  Neigung [5].

Mit zunehmender Dachneigung wachsen auch Aufwand und Kosten für die Dachbegrünung an. Flachdächer ( $0^\circ$  bis  $1,14^\circ$  Dachneigung) eignen sich sowohl für eine Intensivbegrünung als auch für eine Extensivbegrünung. Bei schwach geneigten Dächern ( $1,14^\circ$  bis  $15^\circ$  Dachneigung) sind ebenfalls beide Bewirtschaftungsformen möglich. Eine Intensivbegrünung erfordert jedoch bereits einen gesteigerten baulichen Aufwand. Die Neigungsbreite von  $1,14^\circ$  bis  $15^\circ$  stellt daher den optimalen Bereich für eine Extensivbegrünung von Dachflächen dar [6]. Durch erhöhte Anstrengungen lässt sich eine Extensivbegrünung aber auch auf Dächern mit einer Neigung von bis zu  $45^\circ$  realisieren.

Bei einem Steildach fließt aufgrund seiner stärkeren Neigung mehr Niederschlagswasser ab als bei einem Flachdach bzw. bei einem geneigten Dach. Da nur wenig Wasser gespeichert werden kann, ist eine Begrünung dieses Dachtyps in der Regel nicht sinnvoll.

---

---

## 2.2 Gründachanalyse

Um die bereits vorhandenen Gründächer zu finden und das darüberhinausgehende Gründachpotenzial des Bezirkes zu erschließen, bietet sich eine visuelle Klassifizierung auf der Basis von digitalen Orthophotos an. Orthophotos sind entzerrte und georeferenzierte Luftbilder. Diese werden in einem Geoinformationssystem dargestellt, ausgewertet und mit anderen zur Verfügung stehenden Gebäudedaten kombiniert. Das hieraus gewonnene digitale Gesamtbild wird im Hinblick auf erkennbare Gründächer und die für eine Dachbegrünung in Betracht kommenden Dachformen analysiert.

Dabei kommt der Methode der Gründacherfassung eine bedeutsame Rolle zu. Nur mit Hilfe einer geeigneten Methodik lassen sich einerseits verlässliche Daten über den vorhandenen Gründachbestand sammeln und andererseits die gewonnenen Daten sachgerecht zu Analysezielen zusammenführen.

## 2.3 Geoinformationssystem ArcGIS

Für die Datenverwaltung und -analyse eignet sich das Softwarepaket ArcGIS. Das Geoinformationssystem ArcGIS ist der Oberbegriff für verschiedene GIS-Softwareprodukte der Environmental Systems Research Institute Inc. (ESRI). Es handelt sich hierbei um ein proprietäres Geoinformationssystem. Für die Gründachanalyse werden die ArcGIS-Produkte: ArcGIS Desktop 9.2 Service Pack 6, ArcGIS Desktop SDK for VB6 9.2 und ArcGIS Desktop VBA Developer Resources 9.2 eingesetzt. Deren Funktionen sollen im Folgenden erörtert werden.

Bestandteil des ArcGIS ist unter anderem das Programm ArcGIS Desktop mit den beiden Anwendungen ArcMap und ArcCatalog. ArcGIS beinhaltet Standardanwendungen und Entwicklerkomponenten für individuelle Lösungen bei der Bearbeitung raumbezogener Daten. Diese werden in Vektor- und Rasterlayern in verschiedenen Koordinatensystemen abgebildet und abgespeichert. Die Vektordaten können nur im- und exportiert werden über das sogenannte Shape-Format beziehungsweise über Tabellen, die mindestens X- und Y-Koordinatenwerte für die Georeferenzierung enthalten.

Das Dateiformat Shape verwendet mindestens drei Dateien zur Speicherung der Geodaten. Die shp-Datei speichert die Geometrien, und die shx-Datei dient als Index der Geometrie zur Verknüpfung der Attributdaten der dbf-Datei. Es können nur zwei- und dreidimensionale Daten (2D- bzw. 3D-Daten) mit den Geometrietypen Point, Multipoint, Polyline und Polygon erzeugt, verarbeitet und präsentiert werden. Außerdem gibt es keine eigene Klasse für Texte.

Um den Funktionsumfang von ArcGIS anzupassen beziehungsweise selbst zu erweitern, stehen dem Anwender die Entwicklungsumgebung Visual Basic for Applications (VBA) und seit der Version ArcGIS 9.0 auch der sogenannte ModelBuilder zur Verfügung.

### *2.3.1 Visual Basic for Applications (VBA) und ArcObjects*

Visual Basic for Applications (VBA) ist eine Skriptsprache, die ursprünglich zur Steuerung von Abläufen innerhalb von Microsoft-Office-Anwendungen entwickelt wurde. Um dem Nutzer eigene Anpassungen und Erweiterungen in ArcGIS zu ermöglichen, wurde die Makrosprache VBA integriert. Die Programmiersprache VBA kann in den Anwendungen ArcCatalog und ArcMap direkt gestartet und angewendet werden.

Das für die Anwendung ArcMap zugehörige Objektmodell ist ArcObjects. Es basiert auf der Component Object Model (COM) Architektur von Microsoft [7]. Darin enthalten sind neben den Klassen, die die Geoobjekte beschreiben, auch die Eigenschaften, Methoden und Ereignisse dieser Objekte. So wird zum Beispiel das Kartendokument, das in einer Datei mit der Extension „mxd“ gespeichert wird, durch die Klasse „MxDocument“ präsentiert. Diese enthält Methoden und Eigenschaften, die unter anderem den Zugriff auf die Datenrahmen, die Layer, in denen die Vektor- und Rasterdaten abgelegt werden, und das Layout ermöglichen [8].

---

---

### 2.3.2 ModelBuilder

Der ModelBuilder dient dem Zusammenfügen von Geoverarbeitungswerkzeugen zu Prozessketten, die dann automatisiert ausgeführt werden können. Die auf diese Weise zusammengefassten Prozessketten bezeichnet man als Modell. Die Ausführung der Modelle kann entweder im ModelBuilder-Fenster geschehen, wo der Ablauf jedes einzelnen Prozesses genau verfolgt werden kann, oder über den Aufruf eines Modells als ein „Modellwerkzeug“ in einer Toolbox [9]. Hierfür können alle standardmäßig in der ArcToolbox vorhandenen Werkzeuge genutzt werden. Die in einem Modell implementierten Prozesse können mehrere Werkzeuge umfassen. Dabei kann ein Modell wiederum als Teilmodell in ein Gesamtmodell eingefügt werden, was für die Übersichtlichkeit bei der Darstellung der anwendungsspezifischen Prozesse von Vorteil ist.

Im ModelBuilder treten zwei verschiedene Arten von Modellelementen auf: die Werkzeuge und die Variablen [10]. Eingangsdaten werden durch eine blaue Fläche, Werkzeuge mit einem gelben Rechteck und Ergebnisse als grünes Oval dargestellt. Eingangsdaten sind Layer oder auch Microsoft-Access-Datenbanken. Werkzeuge können schon in der Toolbox vorhandene oder auch selbst entwickelte Funktionalitäten sein. Wird ein Prozess neu in ein Modell eingefügt, so wird das Symbol, das diesen Prozess abbildet, zunächst in Weiß dargestellt. Wenn alle Parameter, die für dieses Werkzeug benötigt werden, korrekt definiert worden sind, wird das Rechteck des Werkzeuges gelb eingefärbt.

Die mit dem ModelBuilder erstellten Modelle können in Skriptdateien der Programmiersprachen Python, JavaScript und VisualBasic exportiert werden. Diese können dann direkt in die Menüstruktur der Benutzeroberfläche integriert werden.



---

---

## 3 Ausgangsdaten

Im nachfolgenden Abschnitt sollen die verwendeten Ausgangsdaten näher erläutert werden. Die Daten sind in den verschiedensten Datenformaten gespeichert. Unabhängig davon, ob sie als ECW-Rasterdatei, als EDBS-Grundrissdatei, als Access-Datenbank oder als 3D-Shape-Datei vorliegen, müssen sie alle mittels verschiedener Schnittstellen und Programme vorab so aufbereitet werden, dass sie in ArcGIS als georeferenzierte Raster- und Vektorlayer importiert werden können.

Als Datengrundlage dienen:

- die Farb-Orthophotos von Berlin aus dem Jahre 2004
- die Web Map Services (WMS) der Stadt Berlin
- die Gebäudedaten der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK)
- die Daten des Berliner 3D-Stadtmodells sowie
- die Statistischen Blockflächen aus dem Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU5).

### 3.1 Koordinatensystem

Alle verfügbaren Ausgangsdaten werden in ArcGIS im 18. Soldnersystem Rauenberg koordiniert dargestellt. Die Bezugsfläche für Koordinaten in diesem System bildet das Erdellipsoid von Bessel. Der Koordinatenursprung liegt in dem trigonometrischen Punkt 1. Ordnung „Müggelberg“ der preußischen Landesaufnahme [11]. Der Fundamentalpunkt des Koordinatennetzes ist definiert mit einem Rechtswert von 40.000 und einem Hochwert von 10.000. Die positive Abszissenachse des Koordinatensystems weist nach geographisch Nord und die positive Ordinatenachse nach Ost.

---

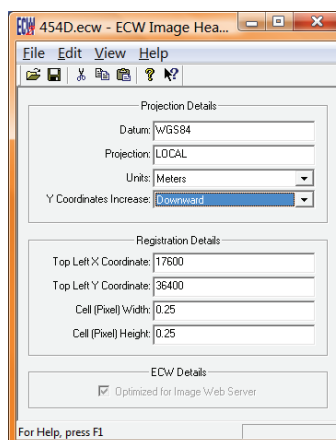
---

## 3.2 Orthophotos

Ausgangsdaten für die Klassifizierung der verschiedenen Dachtypen ist eine von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung veröffentlichte DVD mit den farbigen Orthophotomosaiken für das gesamte Stadtgebiet. Der Bildflug wurde im August 2004 durchgeführt und die aufgenommenen Luftbilder wurden anschließend trianguliert und entzerrt. Das Ergebnis dieser Berechnung sind georeferenzierte digitale Orthophotos mit einer Bodenpixelgröße (Ground Sampling Distance = GSD) von 25 cm.

Die Orthophotos sind so aufbereitet, dass sie über den auf dem Datenträger verfügbaren Viewer YADE ZOOM nur durch Eingabe von Straße und Hausnummer betrachtet und gedruckt werden können. Das Orthophotomosaik ist im Enhanced Compressed Wavelet (ECW) Dateiformat abgespeichert. Dieses Format wurde von den Firmen „Earth Resource Mapping“ und „Leica Geosystems“ entwickelt. Es besitzt den Vorteil, dass Anwendungen zur Darstellung größerer Rasterdatenmengen nicht die gesamte Rastergrafik im Arbeitsspeicher vorhalten müssen, sondern nur den Bereich, der aktuell angezeigt wird.

Die vorhandenen Einzelmosaiken enthalten allerdings keine Georeferenzierung im Dateiheader. Die Georeferenzierung wird mit Hilfe des im World Wide Web frei verfügbaren Tools „ECW Header Editor v2.52“ [12] in die Header der 152 ECW-Bildmosaikdateien durch die Methode Drag & Drop eingetragen. Die Informationen zu den jeweiligen Koordinaten der linken oberen Bildmosaiken werden der Datei DVD\_043.par entnommen. Alle anderen Einstellungen zur Projektion und Pixelgröße werden von den bereits im Header vorhandenen Einträgen übernommen und schließlich neu abgespeichert.



**Abbildung 1** Ausschnitt des ECW Header Editors

---

---

### 3.3 Web Map Services (WMS)

Web Map Services sind bei der Erfassung, Bearbeitung und Analyse von Geodaten besonders nützlich. Viele dieser Dienste sind bereits in mehreren Bundesländern, Kommunen, Städten und Gemeinden frei verfügbar. Bei einem WMS wird über HTTP eine Anfrage an einen Server gesendet, auf dem die Daten vorgehalten werden. Anschließend werden die Daten entsprechend den Anforderungen des Nutzers zusammengestellt und als gerendertes Kartenbild in einem Rastergrafikformat an den Client zurückgesendet.

Mit dem „Fachübergreifenden Informationssystem“ (FIS) hat das Land Berlin ein sehr umfangreiches Geoportal geschaffen, dessen Daten nicht nur im FIS-Broker [13] angesehen, sondern auch als Web Map Services in anwenderspezifische Geoinformationssysteme eingebunden werden können.

Die räumliche Festlegung des Bearbeitungsgebietes erfordert eine Digitalisierung der Bezirksgrenze von Friedrichshain-Kreuzberg. Hierzu wird der Web Map Service der Karte von Berlin 1:5000 (K5) genutzt [14]. Der Aufruf für das Hinzufügen dieses WMS in ArcMap erfolgt durch Eingabe der Webadresse <http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/wms/senstadt/k5?>.

Der Web Map Service enthält das Landeskartenwerk mit den Flurstücksgrenzen, Straßennamen und Grundstücksnummern, das von den Vermessungsämtern der 12 Bezirke auf Grundlage der Automatisierten Liegenschaftskarte Berlin erstellt wurde. Der Nutzer kann diesen WMS in drei verschiedenen Koordinatensystemen in seinem Client einsetzen. Hierbei handelt es sich um die eindeutigen Koordinatenreferenzsysteme, die von der European Petroleum Survey Group (EPSG) mit den EPSG-Codes 3068, 25833 und 4326 bezeichnet worden sind. Die Bezirksgrenze von Friedrichshain-Kreuzberg wurde im Maßstab 1:500 in die Shape-Datei *bezirksgrenzen.shp* digitalisiert und abgespeichert.

### 3.4 Gebäudedaten der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK)

Die Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) bildet zusammen mit dem Automatisierten Liegenschaftsbuch (ALB) das Liegenschaftskataster. In der ALK sind die räumliche Lage, Form und Abgrenzung der Flurstücke, die Flurstücksnummern, die Gebäude, die Nutzungsarten, die Flur- bzw. Gemarkungsgrenzen und die Straßennamen in verschiedenen Ebenen dargestellt. Diese Daten werden von den Kataster- und Vermessungsverwaltungen als amtliche Geobasisdaten für die Nutzung in Geoinformationssystemen bereitgestellt.

Für die gebäudebezogene Erfassung bereits vorhandener und potenzieller Gründächer wurde der Gebäudedatenbestand der ALK von Friedrichshain-Kreuzberg als Datengrundlage hinzugezogen. Die Daten liegen in der Senatsverwaltung flächendeckend für alle Bezirke Berlins im amtlichen Lagekoordinatensystem vor. Der Vorteil liegt hierbei zum einen in der georeferenzierten Lage der Gebäude und zum anderen in der verschlüsselten Adresse im Gebäudekennzeichen. Auf diese Weise kann jedem Gebäude die genaue Anschrift zugeordnet werden. In der ALK wird das Gebäudeobjekt durch ein bundeseinheitliches Gebäudekennzeichen beschrieben:

Gebäudekennzeichen 11000002427970017<sub>---</sub>D<sub>01</sub>

Zeichen	Bezeichnung	Beispiel	Erklärung
1. - 2.	Bundesland	11	Berlin
3. - 5.	Landkreis	000	-
6. - 8.	Bezirk / Gemeinde	002	Friedrichshain
9. - 13.	Straßenschlüssel	42797	Stralauer Allee
14. - 17.	Hausnummer	0017	17
18. - 21.	Zusatz	<sub>---</sub> D	D
22. - 24.	Laufende Nummer des Gebäudes	<sub>01</sub>	1. Gebäude des Flurstückes

**Tabelle 1** Beispiel eines Gebäudekennzeichens der Automatisierten Liegenschaftskarte

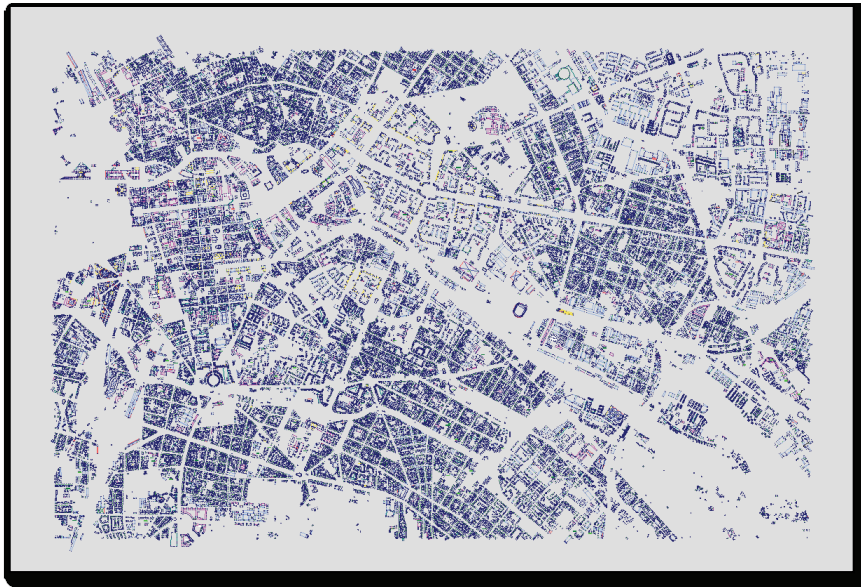
Für die Gründacherfassung wurden von der Senatsverwaltung die Gebäudedaten für ein rechteckiges Gebiet zur Verfügung gestellt, welches durch die Eckpunkte (22300,17300) und (31000,22900) im Soldnersystem gekennzeichnet ist (Abbildung 2). Die Abgabe der Gebäudegrundrisse erfolgte im Datenformat der Einheitliche Datenbankschnittstelle (EDBS). Dieses Format wurde speziell für den Austausch von Daten der Automatisierten

---

---

Liegenschaftskarte (ALK) und des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) entwickelt.

Für den Import der ALK-Daten in ArcGIS müssen diese zunächst in eine Shape-Datei umgewandelt werden. Dies erfolgt über das Programm GEOgraf, welches neben einem EDBS-Import auch einen Shape-Export ermöglicht. So werden die 54 bereitgestellten EDBS-Dateien in GEOgraf importiert.



**Abbildung 2** ALK-Ausgangsdaten von Friedrichshain-Kreuzberg

Für die Konfiguration der GEOgraf-Shape-Schnittstelle ist es zunächst erforderlich, zu analysieren, welche Objektarten in dem Datenbestand auftreten. Aus diesem Grund werden mit Hilfe der in GEOgraf integrierten Zählfunktion zunächst die GEOgraf-Ebene, die GEOgraf-Objektart sowie die Gesamtanzahl der Objekte bestimmt.

In dem Gebäudedatenbestand sind 26.233 Gebäude der ALK-Folie 11 mit 170 verschiedenen Objektartenschlüsseln entsprechend des Objektschlüsselkataloges Berlin (OSKA-BLN) enthalten. Zusätzlich gibt es die ALK-Folien 86 und 87, die auch Gebäude beinhalten, die nicht objektstrukturiert sind. Hier sind lediglich Liniengeometrien ohne Bezug zu den Gebäudekennzeichen gespeichert. Daher werden diese für die weitere Bearbeitung nicht berücksichtigt.

---

---

Mit den im Rahmen der Datenanalyse gewonnenen Informationen wird die Konfigurationsdatei *gg-shp.ins* für den Export der Daten von GEOgraf in das ArcGIS-Shape-Format angepasst (siehe Abbildung 3 unten). Darin wird festgelegt, welche jeweiligen Sachdatenattribute zu den Gebäudegeometrien in die Shape-Dateien übertragen werden sollen. Dies sind bei den vorhandenen Gebäudeobjekten neben der GEOgraf-Ebene, die GEOgraf-Art, der GEOgraf-Objektname und die aus den Geometrien automatisch berechnete Flächengröße der einzelnen Gebäude. Hierbei entspricht die GEOgraf-Ebene zugleich der Folie und die GEOgraf-Art korrespondiert mit dem Objektartenschlüssel, der im Objektschlüsselkatalog für Berlin (OSKA BLN) festgelegt ist. Der GEOgraf-Objektname entspricht dem in der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) vergebenen eindeutigen Gebäudekennzeichen.

GEOATTR EbeneNummer Ebene
GEOATTR ArtNummer OSKA
GEOATTR ObjName GKZ
GEOATTR ObjFlaeche Flaeche

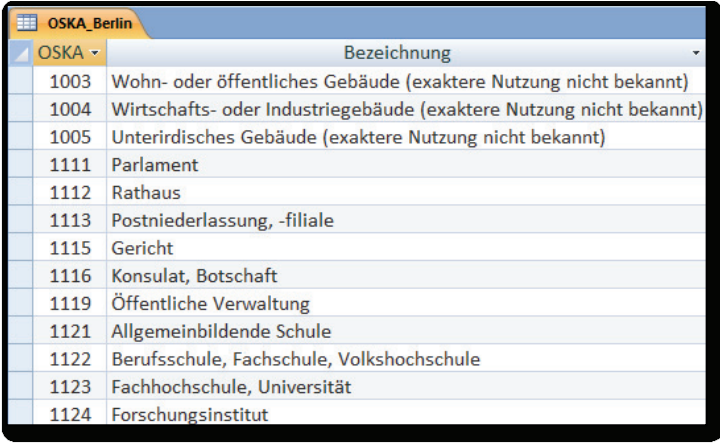
**Abbildung 3** Auszug aus der GEOgraf-Konfigurationsdatei *gg-shp.ins*

Beim Datenexport wird für jede im Datenbestand enthaltene Objektart jeweils eine Shape-Datei angelegt. Alle erzeugten Dateien beinhalten die gleiche Datenstruktur und können somit für die weitere Bearbeitung der Daten im ArcGIS problemlos zu einem Gebäudelayer zusammengeführt werden. Anschließend erfolgt ein räumlicher Schnitt mit der Bezirksgrenze von Friedrichshain-Kreuzberg.

### 3.4.1 Objektschlüsselkatalog Berlin (OSKA BLN)

Wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt, werden die verschiedenen Objekte des Liegenschaftskatasters durch einen Objektschlüssel gekennzeichnet. In Anlehnung an den Objektschlüsselkatalog des Liegenschaftskatasters Brandenburg (OSKA-LIKA Bbg) [15] wird eine Access-Datenbank erzeugt, in der jeder im Datenbestand vorhandene

Objektartenschlüssel aus der GEOgraf-Protokolldatei mit einer Gebäudebezeichnung versehen wurde. Die Tabelle hat folgenden Aufbau:

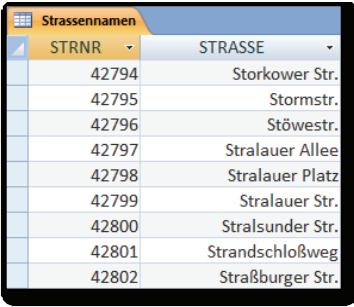


OSKA	Bezeichnung
1003	Wohn- oder öffentliches Gebäude (exaktere Nutzung nicht bekannt)
1004	Wirtschafts- oder Industriegebäude (exaktere Nutzung nicht bekannt)
1005	Unterirdisches Gebäude (exaktere Nutzung nicht bekannt)
1111	Parlament
1112	Rathaus
1113	Postniederlassung, -filiale
1115	Gericht
1116	Konsulat, Botschaft
1119	Öffentliche Verwaltung
1121	Allgemeinbildende Schule
1122	Berufsschule, Fachschule, Volkshochschule
1123	Fachhochschule, Universität
1124	Forschungsinstitut

Abbildung 4 Auszug aus der Datenbank *OSKA\_BLN.mdb*

### 3.4.2 Straßenschlüsselverzeichnis Berlin

Das Straßenschlüsselverzeichnis listet die Schlüssel aller existierenden etwa 15.000 Berliner Straßen auf, die in der ALK verwendet werden. Jedem Schlüssel wird genau ein Straßename zugeordnet:



STRNR	STRASSE
42794	Storkower Str.
42795	Stormstr.
42796	Stöwestr.
42797	Stralauer Allee
42798	Stralauer Platz
42799	Stralauer Str.
42800	Stralsunder Str.
42801	Strandschloßweg
42802	Straßburger Str.

Abbildung 5 Auszug aus der Datenbank *Straßennamen.mdb*

## 3.5 Gebäudedaten des 3D-Stadtmodells

Die Daten des 3D-Stadtmodells für Friedrichshain-Kreuzberg liegen in 172 Dateien vor. Sie enthalten 54 Quadratkilometer Kacheln im Format 3D-Shape. Sie decken dasselbe Gebiet wie

die ALK-Daten ab. Der Gebäudedatenbestand im Detaillierungsgrad Level of Detail 2 (LoD2) wurde in Form eines Drahtgittermodells ohne Texturen von der virtualcitySYSTEMS GmbH für die Bearbeitung zur Verfügung gestellt.

Jedes Gebäude in dem Layer des 3D-Stadtmodells ist unter einer eindeutigen Identifikationsnummer (ID) abgespeichert. Alle zu einem Gebäude gehörigen Dach- und Fassadenflächen sind unter der entsprechenden eindeutigen Gebäude-ID erfasst, die in dem Feld LOCATION verschlüsselt dargestellt wird. In den Daten sind Angaben zu den absoluten und relativen Trauf- und Firsthöhen der einzelnen Gebäude und den verschiedenen Dachtypen der Gebäude enthalten (wie in Anlage A und in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich).

FID	Primärschlüssel
Shape*	Geometrietyp „PolygonZM“
Roof Type	0 : Fassade 1 : Flachdach 2, 3 : geneigte Dachflächen
Normal_X	X-Wert des Normalenvektors der Dachfläche
Normal_Y	Y-Wert des Normalenvektors der Dachfläche
Normal_Z	Z-Wert des Normalenvektors der Dachfläche

**Tabelle 2** Sachdatenattribute des 3D-Stadtmodells

### 3.6 Statistische Blockflächen

Das Amt für Statistik Berlin Brandenburg hat für die Gesamtfläche Berlins auf der Grundlage von digitalen Luftbildern des Luftbildarchives und aufgrund von örtlichen Begehungen nutzungshomogene Haupt- und Teilblöcke im Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) geometrisch erfasst und mit eindeutigen Schlüsselnummern versehen:



FID	Shape *	ELEMNAME	KLASSENAME	SCHLUESSEL
1865	Polygon	Fläche	FL_6_Hauptblock	0501150051000000
1263	Polygon	Fläche	FL_6_Hauptblock	0501150061000000
1865	Polygon	Fläche	FL_7_Teilblock	0501150071000100
270	Polygon	Fläche	FL_7_Teilblock	0501150071000200
1518	Polygon	Fläche	FL_6_Hauptblock	0501150081000000
286	Polygon	Fläche	FL_7_Teilblock	0501150111000100
287	Polygon	Fläche	FL_7_Teilblock	0501150111000200
1237	Polygon	Fläche	FL_6_Hauptblock	0501150121000000
1534	Polygon	Fläche	FL_6_Hauptblock	0501150131000000
1237	Polygon	Fläche	FL_6_Hauptblock	0501150141000000
2190	Polygon	Fläche	FL_7_Teilblock	0501150151000100

**Abbildung 6** Auszug aus der Attributtabelle *ISU5\_UA\_2005\_Blockflaechen*

Insgesamt wurden 62 verschiedene Flächentypen (22 Flächentypen mit überwiegender Wohnnutzung und 40 Flächentypen mit anderen Nutzungen) voneinander abgegrenzt und auf Grundlage der Bezugsflächen des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU) der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin erfasst und dargestellt [16]. Die Bezugsflächen entsprechen den statistischen Blöcken, die bei unterschiedlicher Nutzung innerhalb eines Blocks zu nutzungshomogenen Blockteilflächen weiter unterteilt wurden.

Der von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung zur Verfügung gestellte Datensatz, der die statistischen Blöcke des Regionalen Bezugssystemes (RBS) mit den Teilblöcken und den statistischen Gebieten mittels Polygone abbildet, wird zunächst um zusätzliche Attribute ergänzt. Dafür wird die Personal-Geodatabase *tbl\_HSN\_20090216* genutzt (Abbildung 7).

Diese enthält die Angaben der allgemeinen Nutzung, eines näher beschriebenen Nutzungstyps und der Art der Bebauung der jeweiligen Blöcke. Letztere sind unter anderem Merkmale wie Blockbebauung der Gründerzeit mit Seitenflügeln und Hinterhäusern, Zeilenbebauung seit den 50er Jahren, hohe Bebauung der Nachkriegszeit oder kompakte hohe Siedlungsbebauung der 90er Jahre.

Attribute von tbl\_HSN\_20090216

SCHL5	NUTZ	NUTZUNG	TYP	TYPKLAR	ST	
0501150051000000	10	Wohngebiet	7	Nachkriegsblockrand	3	Blockrandbebauung der Gründerzeit mit massiven Veränderungen
0501150061000000	10	Wohngebiet	7	Nachkriegsblockrand	3	Blockrandbebauung der Gründerzeit mit massiven Veränderungen
0501150071000100	50	Gemeinbedarfs- und Sondernutzung	12	Allbau-Schule (Baujahr vor 1945)	17	Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Gemeinbedarf und Sonder
0501150071000200	10	Wohngebiet	2	Hinterhof	1	Blockbebauung der Gründerzeit mit Seitenflügeln und Hinterhäusern
0501150081000000	130	Park, Grünfläche	53	Park, Grünfläche	18	nicht oder gering bebaute Grün- und Freiflächen
0501150111000100	50	Gemeinbedarfs- und Sondernutzung	43	Verwaltung	17	Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Gemeinbedarf und Sonder
0501150111000200	10	Wohngebiet	9	Hochhaus, Großsiedlung	6	hohe Bebauung der Nachkriegszeit
0501150121000000	10	Wohngebiet	7	Nachkriegsblockrand	3	Blockrandbebauung der Gründerzeit mit massiven Veränderungen
0501150131000000	10	Wohngebiet	2	Hinterhof	1	Blockbebauung der Gründerzeit mit Seitenflügeln und Hinterhäusern
0501150141000000	10	Wohngebiet	2	Hinterhof	1	Blockbebauung der Gründerzeit mit Seitenflügeln und Hinterhäusern
0501150151000100	10	Wohngebiet	2	Hinterhof	1	Blockbebauung der Gründerzeit mit Seitenflügeln und Hinterhäusern

Datensatz: 1 Anzeigen: Alle Ausgewählte Datensätze (0 aus \*4000 Ausgewählt) Optionen

Abbildung 7 Auszug aus der Datenbank *tbl\_HSN\_20090216.mdb*

Aufgrund der 1:1-Beziehung wird die Attributtabelle des Layers der Blockflächen mit der Tabelle *tbl\_HSN\_20090216* über die in beiden Datensätzen vorhandene eindeutige Schlüsselnummer verbunden. Das grafische Ergebnis für einen Teilbereich ist in Abbildung 8 dargestellt:

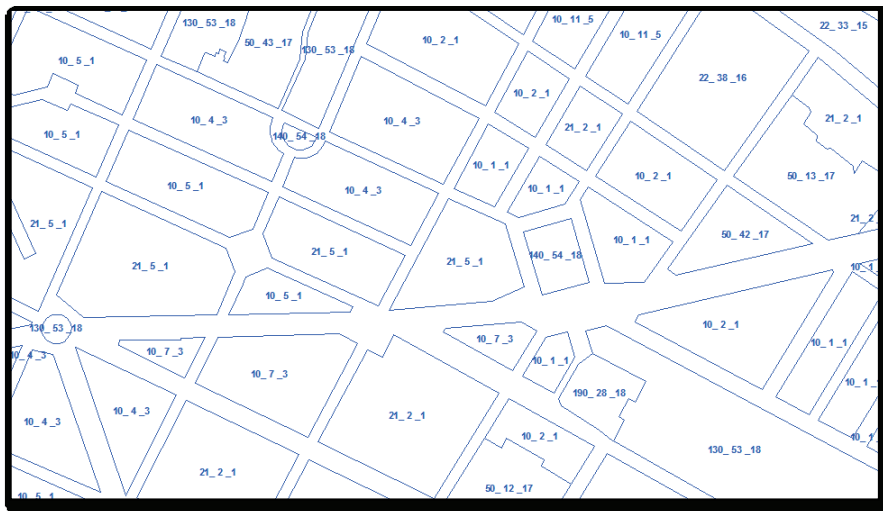


Abbildung 8 Auszug aus dem Layer *ISU5\_UA\_2005\_Blockflächen*

Mit diesen Daten kann unter anderem festgestellt werden, in welcher Art von Bebauung (Rand- oder Blockbebauung) bereits Gründächer existieren.

---

---

### 3.7 Analyse der Ausgangsdaten

Nachdem alle zuvor erwähnten Daten in das richtige Ausgangsformat konvertiert worden sind, können sie der Karte in ArcMap hinzugefügt werden. Dabei werden zuerst alle Orthophotomosaiken in das ArcGIS-Projekt geladen. Dieser Vorgang bewirkt, dass mit dem Koordinatensystem, welches im Header der ECW-Datei abgespeichert ist, das Projektkoordinatensystem in ArcGIS festgelegt wird. Im Laufe der weiteren Bearbeitung werden auch die übrigen Vektordaten, insbesondere die ALK- und die 3D-Daten, dem Projekt hinzugefügt. Damit liegen flächenscharfe, gebäudebezogene Angaben vor.

Bei der Analyse der Daten wurde festgestellt, dass der Datenbestand der ALK zum Teil in sich inhomogen und widersprüchlich ist. So erweist sich die ALK in einigen Fällen insofern als fehlerhaft, als dass sie an einem einzigen Standort zugleich zwei Gebäude ausweist:

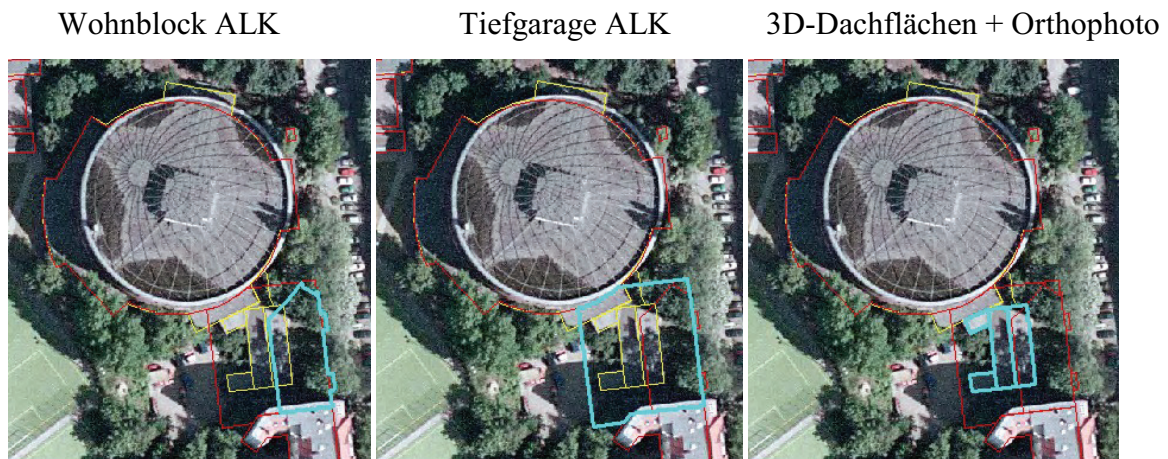
Wohn- oder öffentliches Gebäude

Fabrikgebäude



**Abbildung 9** Fehlerbeispiel in den ALK-Daten (blau hervorgehoben)

Zudem gibt es Differenzen im Datenbestand zwischen den Orthophotos, den Daten der ALK und den Daten des 3D-Stadtmodells. Unstimmigkeiten zeigen sich insbesondere, wenn als Folge der Zusammenführung der Daten ein Übereinanderliegen verschiedener Gebäude angezeigt wird (siehe folgendes Beispiel):



**Abbildung 10** Gebäudeüberlagerung (blaue Umrise der oben genannten Gebäude)

So tauchen in der ALK Gebäude auf, die im Orthophoto nicht vorhanden sind. Vermutlich wurden sie durch Berechnungen anhand alter Vermessungsunterlagen beim Aufbau der ALK in die Liegenschaftskarte übernommen, obwohl sie bereits vor langer Zeit abgerissen worden waren.



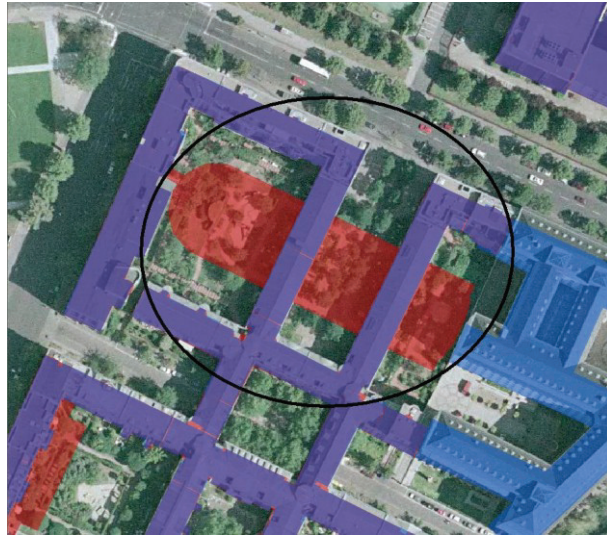
**Abbildung 11** Beispiel eines fehlenden ALK-Gebäudes im Orthophoto



---

---

Einige ALK-Gebäude existieren nicht im 3D-Stadtmodell. Dies betrifft vor allem Tiefgaragen. Diese stellen bezüglich der Gründacherfassung einen Sonderfall dar:



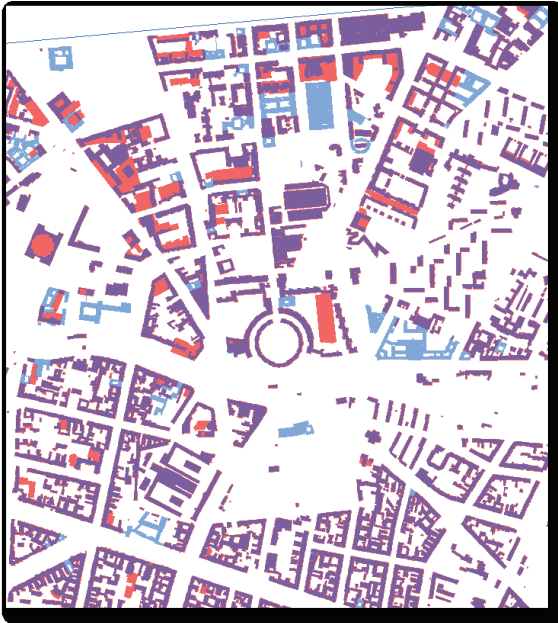
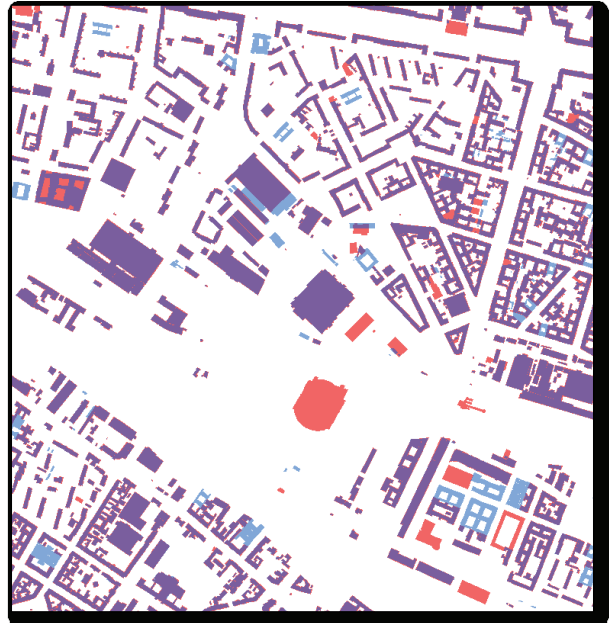
**Abbildung 12** Beispiel für eine teilbegrünte Tiefgarage

Andererseits gibt es Flächen, auf denen einzelne Gebäude sowohl in der ALK als auch im 3D-Stadtmodell fehlen. Die Bebauung ist in diesem Fall nur im Orthophoto sichtbar:



**Abbildung 13** Beispiel für fehlende Gebäude im ALK- und 3D-Datenbestand

In Abbildung 14 werden die Unstimmigkeiten zwischen den Daten der ALK und den Daten des 3D-Stadtmodells herausgestellt. In beiden Ausschnitten stellen die roten Flächen die Gebäude der ALK dar und die blauen Flächen die Gebäude aus dem 3D-Stadtmodell. Die lila gefärbten Flächen zeigen die Gebäude, die in beiden Datenbeständen zu finden sind. Der Grund für die Abweichungen liegt vermutlich darin, dass viele neue Gebäude bereits im 3D-Stadtmodell dargestellt werden, aber noch nicht in die ALK übernommen worden sind.

**Kreuzberg****Friedrichshain****Abbildung 14** Unterschiede zwischen ALK und 3D-Stadtmodell

## 4 Methoden der Gründacherfassung

### 4.1 Datenerfassungswerkzeuge

Die Neuerfassung von Features in verschiedenen Layern ist mit der in ArcGIS integrierten Benutzeroberfläche sehr umständlich und zeitintensiv. Es müssen hierfür zunächst mehrere Aktionen durch Mausklick nacheinander gestartet werden, bevor mit dem Editiervorgang begonnen werden kann. Dazu gehören unter anderem „Editor starten“, „Aufgabe auswählen“ und „Ziellayer festlegen“.

Da im Zuge der Gründacherfassung nur Punktdaten in verschiedenen Layern erfasst werden sollen, wurde ein nutzerfreundliches Tool mit projektbezogenen Erfassungsfunktionen unter Verwendung von Visual Basic for Applications (VBA) programmiert. Dieses Tool ist in die Werkzeugleiste von ArcGIS integrierbar. Durch eine farbliche Gestaltung der Buttons sowie durch eine integrierte automatische Speicherung der Daten beim Wechsel der zu erfassenden Dachtypen ist ein zügiges und bedienungsfreundliches Arbeiten möglich.

Für den Einsatz des im Folgenden dargestellten Erfassungstools sind einige Voraussetzungen erforderlich. So müssen zunächst im ArcCatalog sechs neue Punkt-Shape-Dateien erstellt und mit den Klassennamen „Gründach“, „Flachdach“, „Geneigtes Dach“, „Mansarddach“, „Restdach“ und „Nichtklassifizierbar“ bezeichnet werden. Diese können dann nacheinander in der oben genannten Reihenfolge in das ArcMap-Projekt hinzugefügt werden.

Um eine neue Funktion, die mit VBA programmiert wurde, von der Benutzeroberfläche in ArcMap aus zu starten, muss zunächst ein Steuerelement (UIControl) erstellt werden.

Um dieses zu erzeugen, sind folgende Schritte notwendig [17]:

- Zunächst wird eine neue Werkzeugleiste wie, z.B. „Gründächer Berlin“, angelegt.

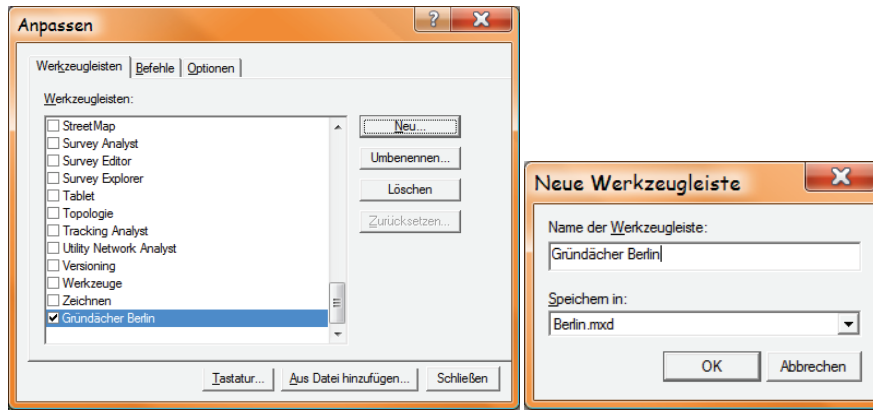


Abbildung 15 Anpassung (links) und Neuanlage (rechts) einer Werkzeugleiste

- Dann wird eine Schaltfläche in der zuvor angelegten Werkzeugleiste erstellt und diese anschließend von Berlin.UIButtonControl durch zweimaliges Markieren (kein Doppelklick) in Berlin.Gründach umbenannt.

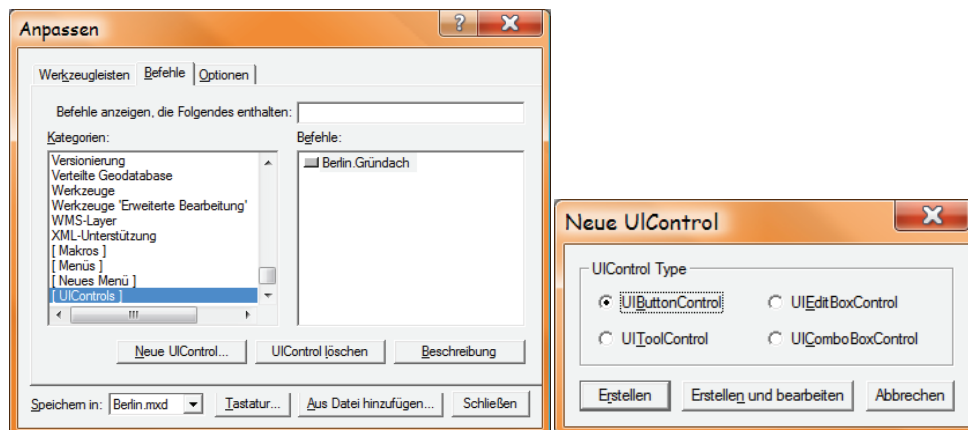


Abbildung 16 Anpassung (links) und Neuanlage (rechts) eines Steuerelements

- Durch Doppelklick auf die zuvor angelegte Schaltfläche öffnet sich das Programm Microsoft Visual Basic und es wird folgender Eintrag vorgenommen:

```
Private Sub Gründach_Click()
Application.Caption = "Dachklassifizierung Berlin Friedrichshain-Kreuzberg"
Auswahlfenster.Show
End Sub
```



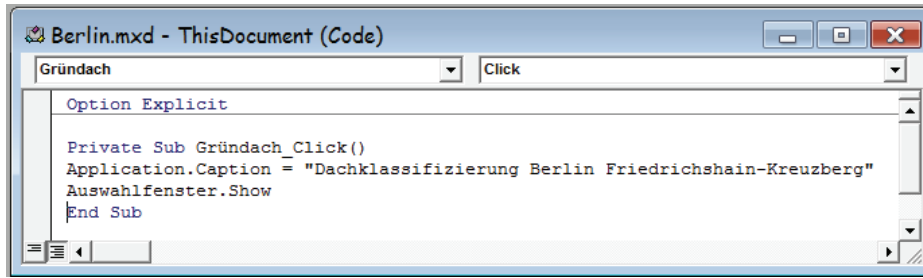


Abbildung 17 Eingabefenster des Visual Basic-Editors

- Anschließend wird ein neues Formular „Auswahlfenster“ erstellt, in dem die Schaltflächen für die verschiedenen Dachklassen implementiert werden.

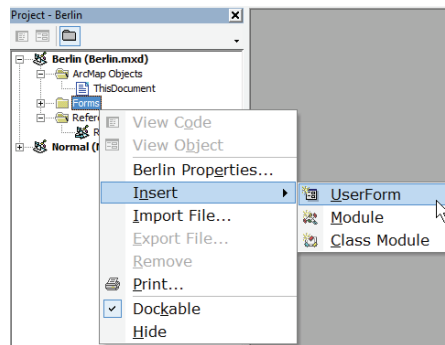


Abbildung 18 Einfügen eines neuen Auswahlfensters

- Mit Hilfe der Kontroll-Schaltfläche „Multipage“ in der Toolbox wird ein Register mit den Registerkarten „Editor“ und „Statistik“ angelegt.

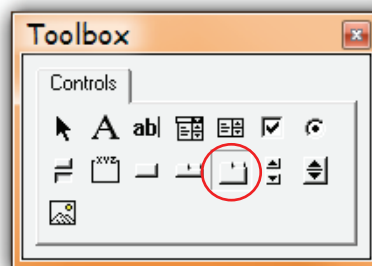
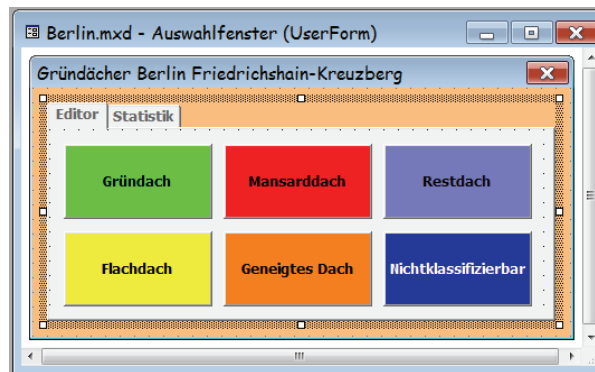


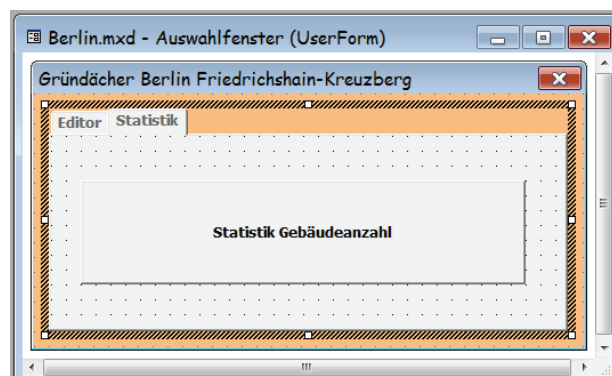
Abbildung 19 Toolbox zum Anlegen der Registerkarten

- In die Registerkarte „Editor“ werden sechs Kommando-Schaltflächen eingefügt, hinter denen dann der entsprechende Programmcode für die Erfassung der Features in den einzelnen Layern abgelegt wird.



**Abbildung 20** Darstellung der Registerkarte „Editor“

- Die zweite Registerkarte „Statistik“, die statistische Daten zur absoluten und prozentualen Anzahl der erfassten Daten anzeigt, wird mit der Kommando-Schaltfläche „Statistik Gebäudeanzahl“ versehen.



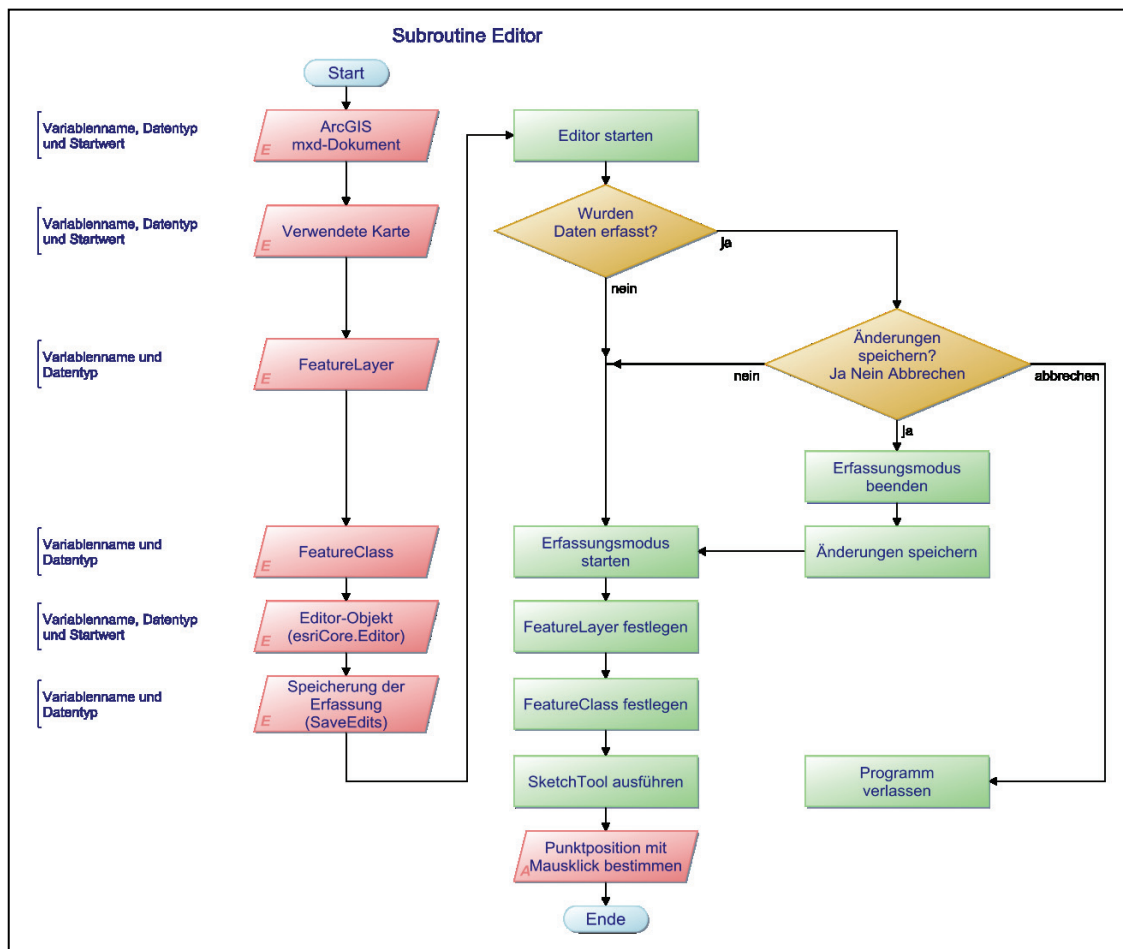
**Abbildung 21** Darstellung der Registerkarte „Statistik“

Mit den so erstellten Kommando-Schaltflächen können nun die VBA-Programme durch das Betätigen der entsprechenden Schaltfläche gestartet werden [8].

Zunächst sollen die für die Erfassung der Features programmierten Codes „Editor“ und „Statistik“ erläutert werden.

### 4.1.1 VBA-Subroutine „Editor“

Für jede der sechs in der Registerkarte „Editor“ eingerichteten Schaltflächen wurde eine Funktion programmiert, die durch Betätigen der entsprechenden Schaltfläche ausgeführt wird. In Abbildung 22 wird der Programmablauf veranschaulicht.



**Abbildung 22** Programmablaufplan des VBA-Skriptes „Editor“

Zu Programmbeginn werden das mxd-Dokument, die verwendete Karte, der Feature-Layer und die FeatureClass, in der die Daten erfasst und abgespeichert werden sollen, festgelegt. Zusätzlich erfolgt noch die Deklaration des Editor-Objektes und einer Variable „SaveEdits“, in der der Status der Speicherung der erfassten Daten hinterlegt wird. Sollte der Editiermodus beim Anklicken der Schaltfläche bereits aktiviert und sollten während dieser Editiersitzung bereits Daten erfasst worden sein, muss der Nutzer interaktiv über die Speicherung der geänderten Daten entscheiden. Hierbei kann er zwischen den Varianten „Ja“, „Nein“ oder „Abbrechen“ auswählen.

Will der Nutzer die Änderungen speichern, wird der Erfassungsmodus kurzzeitig beendet, die Daten werden zwischengespeichert und der Erfassungsmodus wird anschließend wieder gestartet. Nach Festlegung des Ziellayers und der zugehörigen FeatureClass wird das sogenannte Sketch-Tool-Kommando automatisch ausgeführt, und der Nutzer kann die Position des zu klassifizierenden Gebäudes durch Mausklick bestimmen. Die Aktionen hinter allen sechs auswählbaren Schaltflächen sind bis auf die Wahl des Ziellayers zur Erfassung der verschiedenen Dachformen identisch.

Der zugehörige Programmcode kann im Anhang B nachgelesen werden.

#### 4.1.2 VBA-Subroutine „Statistik“

Um während der Erfassung der Daten einen kontinuierlichen Überblick darüber zu erhalten, wie viele Dächer bereits klassifiziert und in welchen Klassen sie bestimmt worden sind, wurde zusätzlich eine Funktion programmiert, die dem Anwender diese Informationen anzeigt. Dieses Programm wird über die Schaltfläche „Statistik Gebäudeanzahl“ gestartet.

Der Aktionsablauf ist nachfolgend in einem Programmablaufplan dargestellt.

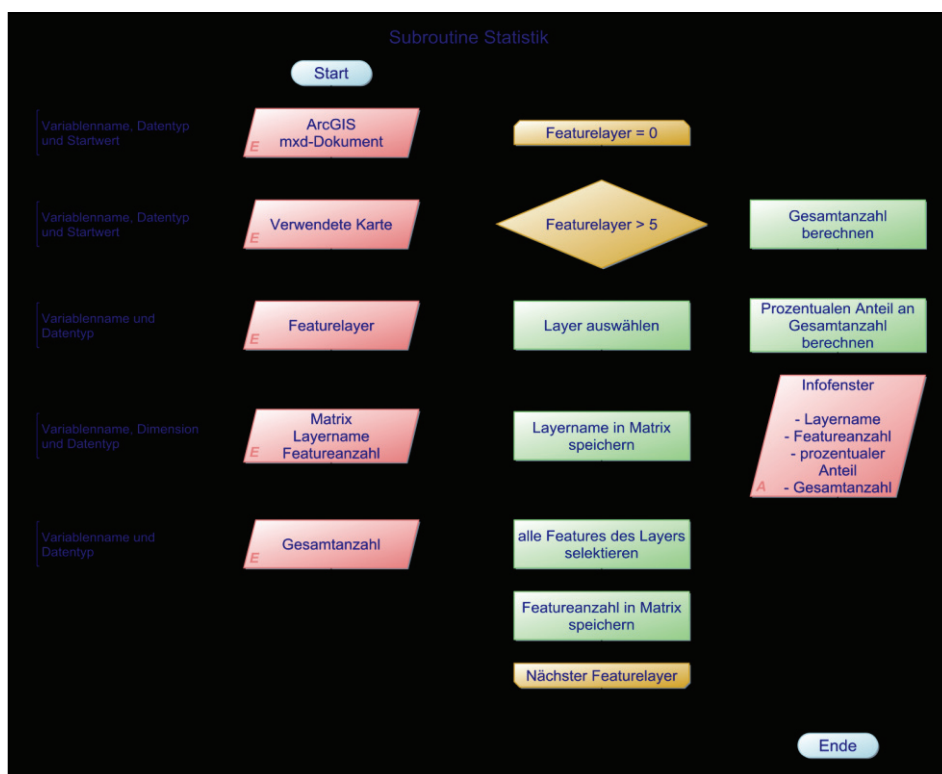
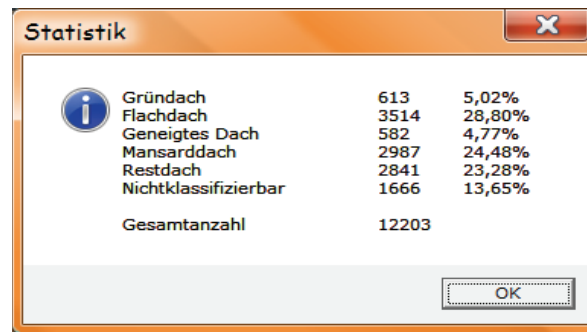


Abbildung 23 Programmablaufplan des VBA-Skriptes „Statistik“

Als Erstes werden die benötigten Variablen mit ihren Namen, dem jeweiligen Datentyp und mit den eventuellen Startwerten deklariert. Anschließend werden alle Punktlayer in einer Schleife ausgewählt sowie deren Name und die enthaltene Featureanzahl in einer Matrix gespeichert. Zum Schluss wird die Anzahl aller erfassten Features pro Layer bestimmt und der jeweilige prozentuale Anteil an der Gesamtanzahl der Features ermittelt. Nach Durchlauf des Skriptes erhält der Nutzer die nachfolgend abgebildete Anzeige.



Dachart	Anzahl	Anteil
Gründach	613	5,02%
Flachdach	3514	28,80%
Geneigtes Dach	582	4,77%
Mansarddach	2987	24,48%
Restdach	2841	23,28%
Nichtklassifizierbar	1666	13,65%
<b>Gesamtanzahl</b>	<b>12203</b>	

**Abbildung 24** Ergebnisfenster nach Ausführung des Skriptes „Statistik“

Die ausführliche Darstellung des Skriptes „Statistik“ befindet sich im Anhang C.

## 4.2 Manuelle Erfassung der Dachklassen

Die Erfassung der Dachklassen erfolgt in sechs Shape-Dateien anhand der Orthophotos mit eingeschaltetem ALK-Gebäudelayer. Für die Klassifizierung der verschiedenen Dachformen im Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg werden in ArcGIS folgende Punktlayer angelegt:

- Gründach
- Flachdach
- Geneigtes Dach
- Mansarddach
- Restdach
- Nichtklassifizierbar.



Als Gründach werden ALK-Gebäudeflächen markiert, auf denen eine intensive oder eine extensive Dachbegrünung zu sehen ist. Während sich die intensive Dachbegrünung anhand der grünen Bepflanzung erkennen lässt, ist die extensive Dachbegrünung meist von einem rötlichen Sediment geprägt, auf denen sich kleine Pflanzen oder Gräser vermuten lassen.



**Abbildung 25** Gründach intensiv (links) und extensiv (rechts) im Orthophoto

Dächer, die nicht eindeutig als Gründächer qualifiziert werden können, werden im Hinblick auf die Ermittlung des Gründachpotenzials nach ihrer Dachneigung klassifiziert.

Flachdächer sind hierbei Dächer mit einer Neigung von  $0^\circ$  bis  $1,14^\circ$ . Sie können aufgrund ihrer ebenen Struktur identifiziert werden.



**Abbildung 26** Flachdächer im Orthophoto

Das Mansarddach ist eine in Berlin weit verbreitete Dachform. Sie wird nach dem französischen Architekten und Baumeister François Mansard benannt. Vorteil dieser Dachform ist die verbesserte Nutzbarkeit der obersten Dachgeschosse bei Häusern mit mehr als zwei Vollgeschossen. Unter der Rubrik Mansarddächer werden die Mansarddächer in

„Berliner Art“ erfasst. Diese unterscheiden sich von gewöhnlichen Mansarddächern dadurch, dass die obere Dachfläche eben ist. So entsteht der Eindruck eines fast flachen Daches mit an den Seiten sehr steil abfallenden Dachflächen.



**Abbildung 27** Mansarddächer im Orthophoto

Als geneigte Dächer werden Dachformen bestimmt, die eine erkennbare Neigung zwischen  $1,14^\circ$  und  $15^\circ$  aufweisen. Beispiele hierfür sind das geneigte Pultdach oder das flache Satteldach.



**Abbildung 28** Geneigte Dächer im Orthophoto

Zu den Restdächern zählen alle Dächer, die eine Neigung vom mehr als  $15^\circ$  haben. Dies sind zu einem großen Teil Satteldächer von Häusern in zusammenhängender Reihenbebauung.





**Abbildung 29** Satteldächer im Orthophoto

Dächer, auf denen mehrere verschiedene Dachformen erkennbar sind, werden mit der Dachform klassifiziert, die mehr als 50 % der gesamten Dachfläche des ALK-Gebäudes ausmacht. Eine Ausnahme hierbei bilden Gründachkombinationen. Enthält eine Dachfläche zugleich ein Gründach, wird sie insgesamt als Gründach markiert.

Voraussetzung für die Einordnung von ALK-Gebäuden in die obigen Kategorien der Neigungsarten ist jedoch, dass die Dächer tatsächlich für eine Dachbegrünung in Betracht kommen. Ist dies nicht der Fall, werden die Gebäude als nichtklassifizierbar eingestuft. Auf diese Weise wird insbesondere verfahren, wenn nicht eindeutig festgestellt werden kann, dass die Dachneigung den Neigungsgrad von  $45^\circ$  unterschreitet. Steilere Dächer eignen sich für keine Form der Dachbegrünung. In diesem Zusammenhang sind insbesondere Spitzdächer, abgerundete Dächer oder Turmspitzen zu nennen. Andererseits gehören aber auch die Dächer hierher, deren Dachform nicht eindeutig klassifizierbar ist und die keiner der anderen Klassen zugeordnet werden können.

Dies betrifft unter anderem den Fall, in dem die Dachneigung aufgrund von Baumaßnahmen nicht bestimmbar ist:



**Abbildung 30** Dächer mit nicht erkennbarer Dachform im Orthophoto



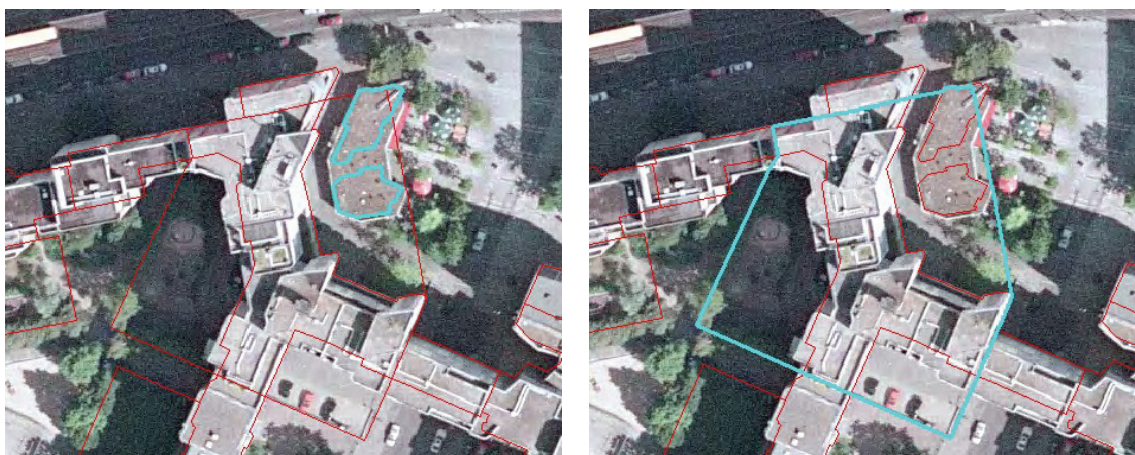
Ferner kann es sein, dass die Möglichkeit der Dachbegrünung aufgrund der Beschaffenheit oder einer bestimmungsgemäßen anderweitigen Funktionalität der Dachfläche ausscheiden muss.

Ein bedeutsames Beispiel hierfür sind Parkhäuser, deren oberste Ebene mit unbedachten Parkflächen ausgestattet ist. Diese sind zwar aufgrund ihrer Neigung an sich den Flachdächern zuzuordnen, können aber aufgrund der bestimmungsgemäßen Nutzung der Gebäudefläche als Parkfläche nicht mehr begrünt werden:



**Abbildung 31** Flachdach mit Parkflächen im Orthophoto

Auch Tiefgaragen kommen nicht als potenzielle Gründächer in Betracht. Bei ihnen treten häufig Überschneidungen der Grundrissdaten auf, wenn sie von anderen Gebäuden überbaut worden sind.



**Abbildung 32** ALK-Grundrisse (blau) – Zwei Gaststätten (links) und Tiefgarage (rechts)

Daran wird deutlich, dass Tiefgaragen nicht über ein „Dach“ im herkömmlichen Sinne verfügen und allenfalls ebenerdig begrünbar sind. Im Falle einer tatsächlichen Begrünung würden sie nicht zu den Gründächern gehören, sondern zu den Grünflächen, die anderweitig verwaltet werden.

Dächer, auf denen bereits Solar- bzw. Wärmespeicheranlagen montiert sind, können ebenfalls aus dem Kreis der potenziellen Gründächer ausgeschlossen werden. Ihre Entfernung ist in der Regel mit sehr hohem wirtschaftlichen Aufwand und Kosten verbunden, zumal hierdurch eine bereits getätigte Investition rückgängig gemacht werden müsste.



**Abbildung 33** Dach mit vorhandener Solaranlage im Orthophoto

Weitere Beispiele für nichtklassifizierbare Dächer in diesem Sinne sind unter anderem Kugeldächer und Glasdächer bei Gewächshäusern.

Zur eindeutigen Identifizierung der Dachform hat sich die Bodenpixelauflösung der Orthophotos von 0,25 m bewährt. Bei der Erfassung muss allerdings berücksichtigt werden, dass pro ALK-Gebäude nur ein Klassifizierungspunkt gesetzt werden sollte.

Bei der Einordnung der erfassten Objekte kann es unter anderem zu folgenden Schwierigkeiten kommen:

- Ein Gebäude der ALK ist in der Örtlichkeit nicht mehr vorhanden oder das Orthophoto ist älter als die Daten in der Liegenschaftskarte:



**Abbildung 34** Widerspruch zwischen ALK-Grundriss (blau) und Orthophoto

- In dicht besiedelten Bereichen ist nur anhand des Schattens erkennbar, ob es ein Flachdach oder ein Satteldach ist:



**Abbildung 35** Satteldach mit Schattenwurf im Orthophoto

- Ohne ALK-Daten ist bei der visuellen Klassifizierung nicht eindeutig feststellbar, ob es sich bei dem Objekt um eine Dachterrasse oder um einen Vorgarten handelt:



**Abbildung 36** Dachterrasse ohne (links) und mit ALK-Grundriss (rechts) im Orthophoto



- Infolge eines Schattenwurfes durch ein höheres Gebäude lässt sich das Vorliegen eines Gründaches schlecht beurteilen:



**Abbildung 37** Erkennbarkeit eines Gründaches im Orthophoto bei Schattenwurf

- Eine geringe radiometrische Auflösung der Kamera bei der Aufnahme kann dazu führen, dass nicht zweifelsfrei festzustellen ist, ob es sich um eine extensive Dachbegrünung oder lediglich um eine rötliche Dachbedeckung handelt:



**Abbildung 38** Beispiele möglicher Gründächer (rot markiert)

- Ein Gebäude mit zwei Dachformen wird in der ALK als nur ein Gebäude dargestellt.
- Ohne Vektordaten ist nicht eindeutig erkennbar, ob es sich um einen Dachgiebel oder um zwei getrennte Gebäude handelt.

- Durch die Entzerrung der Luftbilder kommt es zu optischen Verschiebungen der Gebäude im Orthophoto (sogenannte Umklappeffekte)



**Abbildung 39** Beispiel für Umklappeffekte im Orthophoto

Aufgrund der in den Orthophotos auftretenden Umklappeffekte bei den Gebäuden ist es bei der Erfassung wichtig darauf zu achten, die klassifizierenden Punkte so in die Gebäude zu setzen, dass diese innerhalb des ALK-Gebäudes liegen. Bei vereinzelt, sehr hohen Gebäuden hat der Umklappeffekt einen so starken Einfluss, dass ganze Nebengebäude, die in der ALK erfasst sind, im Luftbild gar nicht zu erkennen sind.

## 5 Modellierung der Daten

Nachdem die Dächer aller Klassen erfasst worden sind, werden sie mit anderen Ausgangsdaten in verschiedenen Modellen (zusammengefasste Prozessketten) zusammengeführt und bearbeitet.

Alle in den nachfolgenden Kapiteln aufgeführten Modelle werden in einer neu angelegten Toolbox abgespeichert. Der Vorteil der Modellbildung liegt in der Wiederverwendbarkeit der Prozessketten im Falle einer Änderung der Ausgangsdaten. Außerdem müssen auf diese Weise keine unnötigen Datenlayer in ArcMap zwischengespeichert werden, sodass die Übersichtlichkeit für den Nutzer bewahrt bleibt. Die nachfolgend aufgezeigten Modelle sind speziell zugeschnitten auf die Gegebenheiten des Bezirkes Friedrichshain-Kreuzberg. Jedoch können sie aufgrund ihrer Datenstruktur auch in anderen Projekten Anwendung finden.

### 5.1 Zusammenführung der ALK-Daten

Zunächst werden alle in GEOgraf erzeugten ALK-Shape-Dateien zu einer Shape-Datei *Gebäude\_alle\_OA.shp* zusammengeführt. Sodann wird diese mit der Bezirksgrenze und den ISU5-Blockflächen räumlich verschnitten und anschließend wird die Attributtabelle um die Felder *Straßen\_ID*, *HNR* und *HNR\_Z* ergänzt. In diese Felder werden einzelne Bestandteile des Gebäudekennzeichens [GKZ] eingetragen. Die Aufspaltung des Gebäudekennzeichens ist erforderlich, um später räumliche Abfragen anhand der Strassenbezeichnung und der Hausnummer vornehmen zu können.

	GKZ		
VB-Ausdruck	[GKZ]		
Beispiel	11000002427970017 D 01		
	↓		
	Straßen_ID	HNR	HNR_Z
VB-Ausdruck	Mid ([GKZ],9,5)	Mid ([GKZ],14,4)	Mid ([GKZ],18,4)
Beispiel	42797	0017	D

**Tabelle 3** Zerlegung des ALK-Gebäudekennzeichens

Abschließend wird der Layer mit den Datenbanken verknüpft, die die OSKA- und Straßenschlüsselbezeichnungen beinhalten. In Abbildung 40 ist das Modell für die Zusammenführung der ALK-Daten dargestellt.

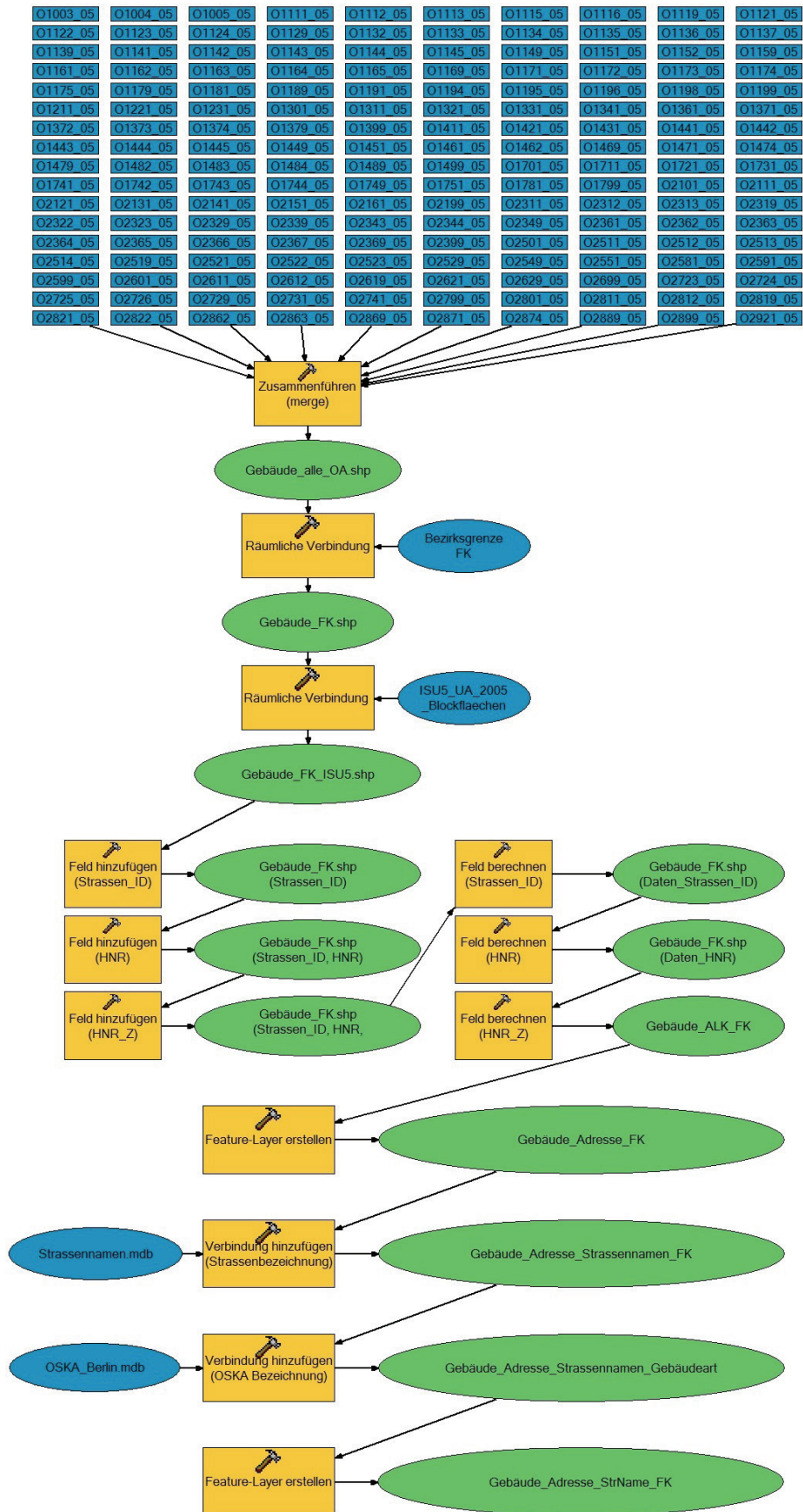


Abbildung 40 Modell zur Zusammenführung der ALK-Daten

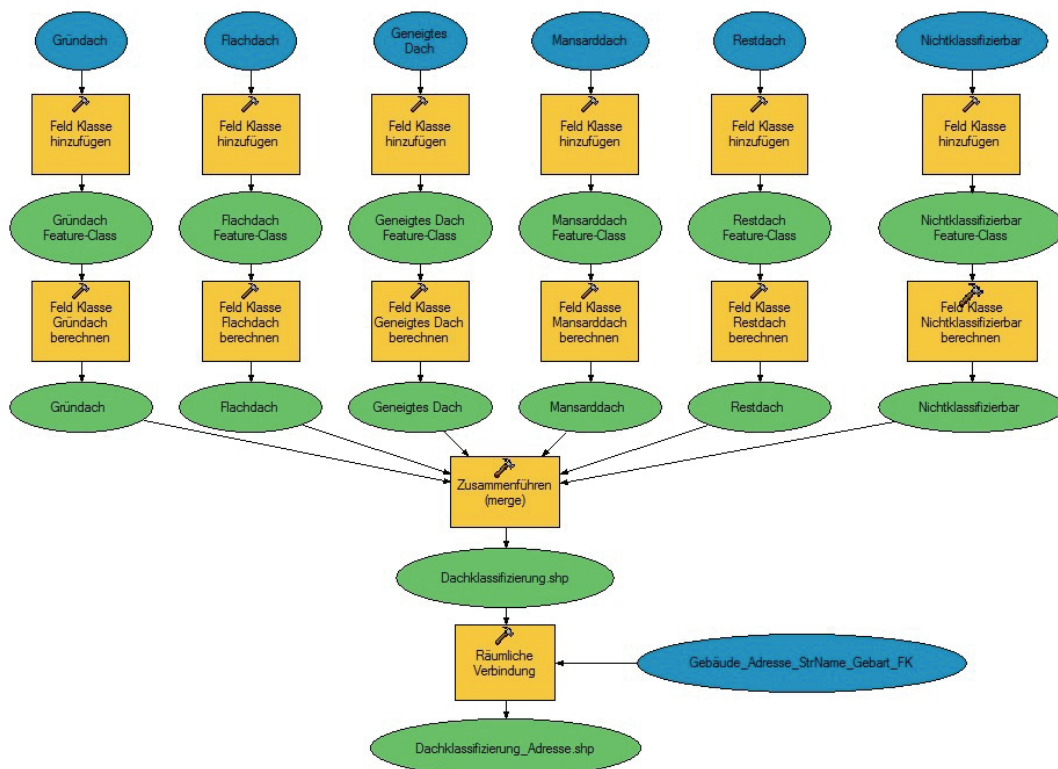


Nach dem Durchlaufen der Prozesse entsteht eine Tabelle mit vielen überschüssigen Einträgen, die abschließend noch gelöscht werden. So werden unter anderem alle Codes, Kennzeichen und Schlüssel, die nicht mehr benötigt werden, aus der Datentabelle entfernt. Als Resultat wird eine Datei *Gebäude\_Adresse\_StrName\_Gebart\_FK.shp* erstellt, welche alle 12445 ALK-Gebäudegrundrisse mit deren notwendigen Sachdaten für die weitere Verarbeitung umfasst. Anschließend werden nun die 239 Tiefgaragen von den restlichen 12206 ALK-Gebäuden getrennt. Dies erfolgt mittels des SQL-Aufrufs:

```
SELECT * FROM Gebäude_Adresse_StrName_Gebart_FK
WHERE OSKA_Berlin.Bezeichnung = 'Tiefgarage'.
```

## 5.2 Verknüpfung und Adressierung der klassifizierten Dächer

In einem nächsten Schritt werden die manuell klassifizierten Punktdaten zusammengeführt und erhalten aufgrund ihres räumlichen Bezugs zu den ALK-Gebäuden eine Adressierung. Dabei wird jeder Punkt mit dem entsprechenden Straßennamen und der Hausnummer verknüpft. Die Verarbeitung der Daten erfolgt mit dem nachfolgend aufgeführten Modell:



**Abbildung 41** Modell zur Zusammenführung und Adressierung der klassifizierten Dächer



---

---

Zu Beginn wird jedem einzelnen Layer in seiner Attributtabelle ein Feld hinzugefügt, in das für jeden erfassten Punkt die Zugehörigkeit zur jeweiligen Klasse abgespeichert wird. Durch Markierung des neu angelegten Attributfeldes „Klasse“ und nach Durchführung einer Feldberechnung wird allen Datensätzen des Layers „Gründach“ mittels einer SQL-Anweisung der String *Gründach* zugewiesen. Diese Prozedur erfolgt äquivalent für die Layer „*Flachdach*“, „*Geneigtes Dach*“, „*Mansarddach*“, „*Restdach*“ und „*Nichtklassifizierbar*“.

Anschließend werden die sechs Einzellayer nun zu einem Layer „Dachklassifizierung“ zusammengeführt und in einer Shape-Datei zwischengespeichert. Dies ist möglich, da alle Layer vom gleichen Geometrietyp sind und ihre jeweiligen Attribute in Anzahl und Datentyp übereinstimmen.

In einem letzten Schritt werden die zusammengeführten Punktdaten mit den Geometrien und Sachdaten der Datei *Gebäude\_Adresse\_StrName\_Gebart\_FK.shp* verschnitten. Dabei werden jedem Punkt die Attribute einer ALK-Gebäudefläche zugeordnet. Das Ergebnis ist der Punktlayer *Dachklassifizierung\_Adresse*, in dem neben den Informationen zum Dachtyp auch die Zugehörigkeit zur ISU5-Blockfläche und der ALK-Gebäudeadresse hinterlegt ist. Die Entscheidung, den Klassifizierungspunkten die Attribute der ALK-Gebäude zuzuordnen, basiert auf der Tatsache, dass eine Koordinate mit Sachdaten immer mit möglichen anderen Flächen verschnitten werden kann. Eine sich verändernde Geometrie einer Fläche ist immer schwierig mit anderen Daten zu verschneiden. Ein Punkt wird durch genau eine eindeutige Koordinate im Datensatz gekennzeichnet, was bei eventuellen Koordinatentransformationen in andere Systeme von Vorteil ist.

Nach Durchlaufen des Modells verringerte sich die Anzahl der Klassifizierungspunkte von 12206 auf 12203. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass an drei Stellen im ALK-Datenbestand die Gebäude komplett im Grundriss eines anderen Gebäudes liegen:



**Abbildung 42** Drei Kartenauszüge der übereinanderliegenden ALK-Gebäudegrundrisse

Des Weiteren fällt auf, dass vier Gebäude keine Adressdaten beinhalten (siehe Tabelle 4). Dies resultiert daraus, dass es für den Straßenschlüssel 9937 im Straßenschlüsselverzeichnis keine Bezeichnung gibt.

FID	Shape *	Klasse	GKZ	NUTZUNG
10853	Punkt	Nichtklassifizierbar	11000002099370006 01	Brachfläche
10854	Punkt	Nichtklassifizierbar	11000002099370005 01	Brachfläche
10855	Punkt	Nichtklassifizierbar	11000002099370003 01	Brachfläche
10856	Punkt	Nichtklassifizierbar	11000002099370001 01	Brachfläche

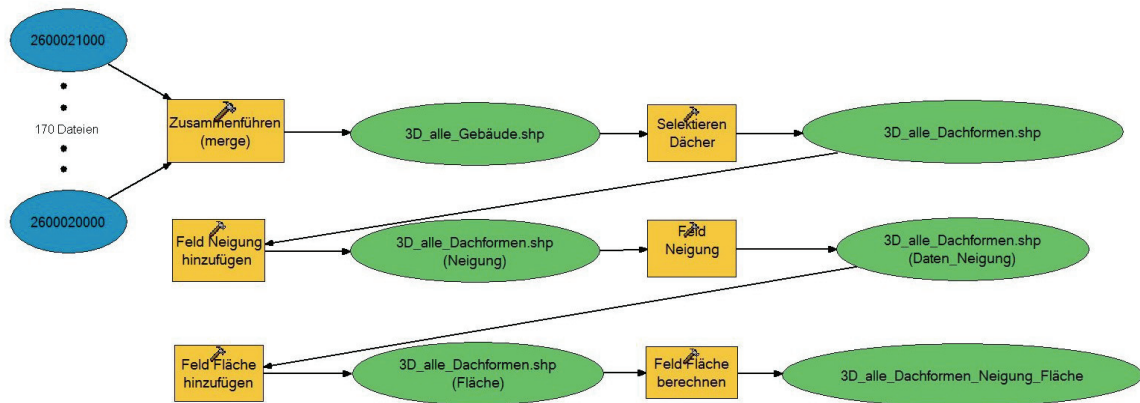
HNR	HNR_Z	STRASSE	OSKA	Bezeichnung
0006			1221	Freistehender Wohnblock
0005			1221	Freistehender Wohnblock
0003			1221	Freistehender Wohnblock
0001			1221	Freistehender Wohnblock

**Tabelle 4** Auszug aus der Datentabelle *Dachklassifizierung\_Adresse.shp*

An dieser Stelle wird erneut deutlich, dass die verschiedenen Ausgangsdaten nicht immer kongruent sind. So weist im vorliegenden Fall der ALK-Grundriss einen frei stehenden Wohnblock aus, obwohl die Fläche gemäß dem ISU5-Blockflächenlayer als Brachfläche genutzt wird und obwohl im Orthophoto keine Bebauung zu erkennen ist. Das Objekt muss deshalb als *Nichtklassifizierbar* eingestuft werden. Hierbei zeigt sich, dass für verlässliche Aussagen über den tatsächlichen Zustand einer Bebauung die Aktualität der verwendeten Daten von entscheidender Bedeutung ist.

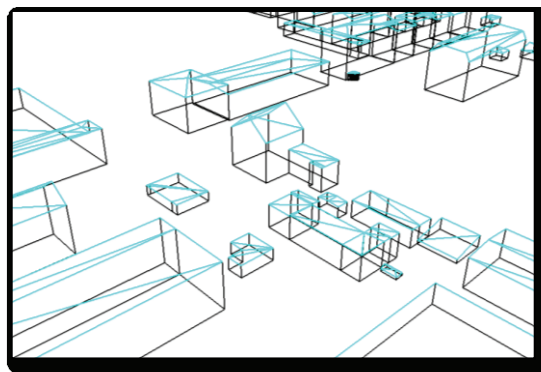
### 5.3 Bestimmung der Dachneigungen und der Dachflächen

Um das Gründachpotenzial anhand der 3D-Dachflächen zu bestimmen, ist es erforderlich, die Neigungswerte und die Flächengrößen der einzelnen Dachflächen zu berechnen. Dies geschieht mit nachfolgendem Modell für alle Dachflächen, die als Ausgangsdaten vorliegen.



**Abbildung 43** Modell zur Bestimmung der Dachneigungen und der Dachflächen

Hierzu werden zunächst alle 172 Dateien mit den Daten des 3D-Stadtmodells zu einer Gesamtdatei zusammengeführt. Anschließend erfolgt die Selektion nach den Dachflächen mit dem SQL-Aufruf: *SELECT \* FROM 3D\_alle\_Gebäude WHERE Eaves <> 0*.



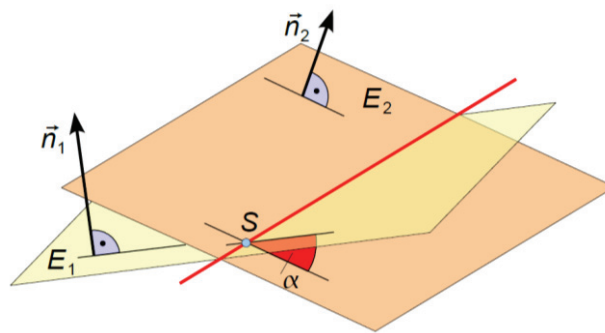
**Abbildung 44** Auswahl der 3D-Dachflächen

Nach dem Hinzufügen der Felder „Neigung“ und „Fläche“ in die Attributtabelle erfolgt die Berechnung der Werte, die in diese Felder eingetragen werden sollen. Die Berechnung wird im Folgenden erläutert.

### 5.3.1 Dachneigungen

Um weitere Untersuchungen bezüglich des Gründachpotenzials, der Abflussmengen des Oberflächenwassers sowie des versickerten Niederschlagswassers vornehmen zu können, werden Angaben über die Dachgröße beziehungsweise die Dachneigungen benötigt. Diese Werte sollen in der Datentabelle für jede einzelne Dachfläche im Datenformat *double* gespeichert werden. Die Angabe des Neigungswinkels erfolgt im Gradmaß.

Die Neigungswerte der Dachflächen sollen mittels der im 3D-Datensatz enthaltenen Normalenvektoren automatisiert bestimmt werden.



**Abbildung 45** Schnittwinkel zweier Ebenen [18]

Der Normalenvektor einer Ebene im dreidimensionalen Raum steht immer lotrecht auf dieser. Betrachtet man die Ebene  $E_1$  in Abbildung 45 als die geneigte Dachebene und die horizontale Ebene  $E_2$  als Deckenebene des Gebäudes, so ist der Winkel zwischen Decken- und Dachebene der Neigungswinkel des Daches. Beim Schnitt dieser zwei Ebenen ist der Wert des Schnittwinkels stets kleiner oder gleich  $90^\circ$ . Der Normalenvektor  $\vec{n}_1$  steht senkrecht auf der Dachebene  $E_1$  und ist durch die Werte *Normal\_X*, *Normal\_Y* und *Normal\_Z* in der Attributtabelle für jede einzelne Dachfläche definiert. Der Vektor ist wie folgt gekennzeichnet:

$$\vec{n}_1 = \begin{pmatrix} n_{11} \\ n_{12} \\ n_{13} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Normal\_X} \\ \text{Normal\_Y} \\ \text{Normal\_Z} \end{pmatrix}.$$

Die Normalenvektoren  $\vec{n}_1$  und  $\vec{n}_2$  sind normierte Normalenvektoren. Somit ist das Skalarprodukt dieser beiden Vektoren ( $\vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2$ ) der Kosinus des Schnittwinkels und die Norm des Kreuzproduktes ( $|\vec{n}_1 \times \vec{n}_2|$ ) der Sinus. Der Quotient ist folglich der Tangens. Es gilt:

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{|\vec{n}_1 \times \vec{n}_2|}{(\vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2)}.$$

Der Betrag des Kreuzproduktes und das Skalarprodukt ergeben sich wie folgt:

$$|\vec{n}_1 \times \vec{n}_2|$$

$$\begin{aligned} &= \left| \begin{pmatrix} n_{11} \\ n_{12} \\ n_{13} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} n_{21} \\ n_{22} \\ n_{23} \end{pmatrix} \right| = \left| \begin{pmatrix} n_{12} \cdot n_{23} - n_{13} \cdot n_{22} \\ n_{13} \cdot n_{21} - n_{11} \cdot n_{23} \\ n_{11} \cdot n_{22} - n_{12} \cdot n_{21} \end{pmatrix} \right| \\ &= \sqrt{(n_{12} \cdot n_{23} - n_{13} \cdot n_{22})^2 + (n_{13} \cdot n_{21} - n_{11} \cdot n_{23})^2 + (n_{11} \cdot n_{22} - n_{12} \cdot n_{21})^2} \end{aligned}$$

$$\vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2$$

$$= \begin{pmatrix} n_{11} \\ n_{12} \\ n_{13} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} n_{21} \\ n_{22} \\ n_{23} \end{pmatrix} = n_{11} \cdot n_{21} + n_{12} \cdot n_{22} + n_{13} \cdot n_{23}.$$

Somit gilt für den Tangens allgemein:

$$\tan \alpha$$

$$= \frac{\sqrt{(n_{12} \cdot n_{23} - n_{13} \cdot n_{22})^2 + (n_{13} \cdot n_{21} - n_{11} \cdot n_{23})^2 + (n_{11} \cdot n_{22} - n_{12} \cdot n_{21})^2}}{n_{11} \cdot n_{21} + n_{12} \cdot n_{22} + n_{13} \cdot n_{23}}.$$

Da die Deckenebene des Gebäudes parallel zur xy-Ebene des dreidimensionalen Koordinatensystems verläuft, lässt sich der Normalenvektor  $\vec{n}_2$  der Ebene  $E_2$  in der Form

$$\vec{n}_2 = \begin{pmatrix} n_{21} \\ n_{22} \\ n_{23} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

angeben.

---

Mit den Werten der beiden Vektoren  $\vec{n}_1 = \begin{pmatrix} Normal\_X \\ Normal\_Y \\ Normal\_Z \end{pmatrix}$  und  $\vec{n}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$  ergibt sich

$$\tan \alpha = \frac{\sqrt{Normal\_Y^2 + Normal\_X^2}}{Normal\_Z}.$$

Der Neigungswinkel kann somit durch

$$\alpha = \arctan \left( \frac{\sqrt{Normal\_Y^2 + Normal\_X^2}}{Normal\_Z} \right)$$

bestimmt werden.

Die Berechnung des Feldes Neigung erfolgt in ArcGIS über den VBA Code:

```
Const Pi=3.14159265358979
If [Normal_Z] =0 Then [Neigung]=90
If [Normal_Z] =1 Then [Neigung]=0
If [Normal_Z] >0 and [Normal_Z] <1 Then [Neigung] =Atn ( ( Sqr ( ( [Normal_Y] *
[Normal_Y])+( [Normal_X] *[Normal_X] )) / [Normal_Z]))*180/ Pi
```

### 5.3.2 Dachflächen

Die Dachflächengröße aus den dreidimensionalen Polygonen wird mit folgendem Skript automatisiert berechnet:

```
Dim Flaeche as double
Dim pArea as IArea
Set pArea = [shape]
Flaeche = pArea.area
```

Der berechnete Wert wird im Datenformat *double* in die Attributtabelle eingetragen. Er gibt die Fläche des Daches in Quadratmeter an.

---

---

Um mit den ermittelten Daten weiter räumliche Verschneidungen mit 2D-Daten vornehmen zu können, müssen zunächst die dreidimensionalen Dachflächen in eine zweidimensionale Form überführt werden. Dies erfolgt durch Anlegen einer neuen FeatureClass mit dem Geometrietyp „Polygon“. Als Template-FeatureClass, welche als Vorlage für das Attributschema der neuen FeatureClass *2D\_alle\_Dachformen\_FK* dient, wird *3D\_alle\_Dachformen\_Neigung\_Fläche* angegeben. Des Weiteren werden der neuen FeatureClass keine linearen Messwerte (M-Werte) oder Höhenwerte (Z-Werte) zugeordnet. Abschließend werden in dem 3D-Layer alle Features mit ihren Sachdaten selektiert und in die neue 2D-Shape-Datei kopiert und abgespeichert.

Für die Bestimmung des Potenzials der Gründachflächen anhand der Neigung werden alle Dachflächen in vier Klassen unterteilt:

- 3D Flachdachflächen  $0^\circ < 1,14^\circ$
- 3D Geneigte Dachflächen  $\geq 1,14^\circ < 15^\circ$
- 3D Stark Geneigte Dachflächen  $\geq 15^\circ < 45^\circ$
- 3D Restliche Dachflächen  $\geq 45^\circ < 90^\circ$

Jedem Datensatz wird aufgrund seiner Neigungswerte eine dieser Klassen in einer neuen Attributspalte zugeordnet.

Die Dachklassengenerierung in der Datei *2D\_alle\_Dachformen\_FK.shp* erfolgt mit nachfolgendem Skriptaufruf:

*If [Neigung]<1,14 Then [Klasse]="3D-Flachdachflächen"*

*If [Neigung]>=1,14 and [Neigung]<15 Then [Klasse]="3D-Geneigte Dachflächen"*

*If [Neigung]>=15 and [Neigung]<45 Then [Klasse]="3D-Stark Geneigte Dachflächen"*

*If [Neigung]>=45 and [Neigung]<90 Then [Klasse]="Restliche Dachflächen"*

Zum Schluss der Dachflächenmodellierung wird der nun in 2D vorliegende Datenbestand mit der Bezirksgrenze von Friedrichshain-Kreuzberg verschnitten. Dieser Bezirk besitzt 54.639 Dachflächen der Gesamtgröße von 4.733.748 m<sup>2</sup>.



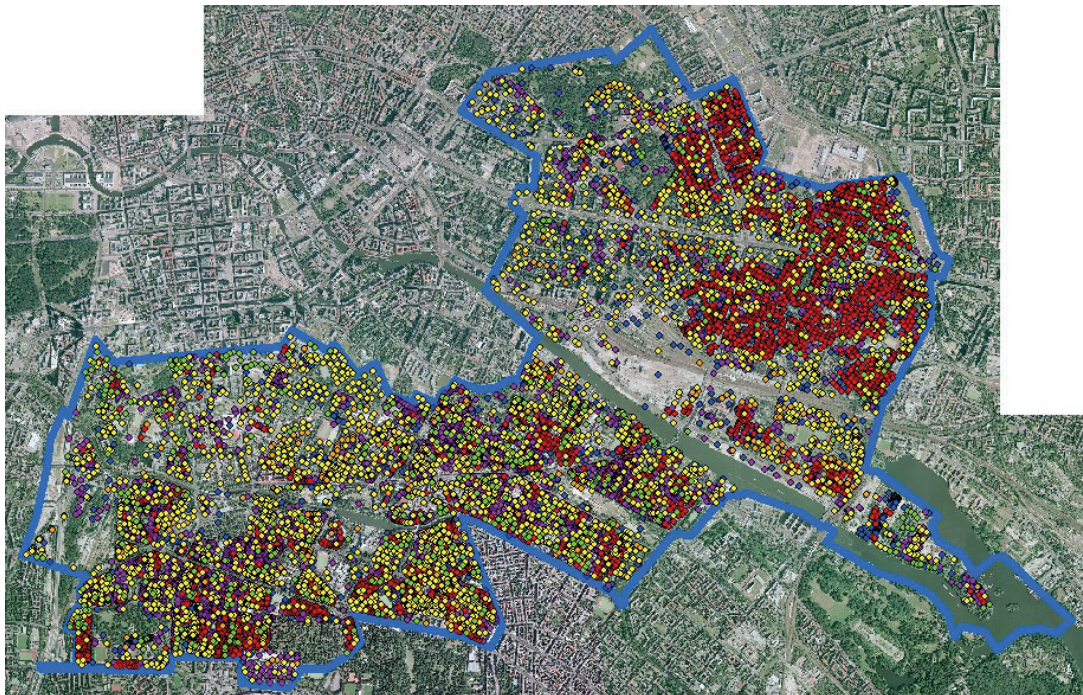
---

---

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Ergebnisse der manuellen Klassifizierung

Die Abbildung 46 präsentiert den Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg in seiner räumlichen Ausdehnung, erkennbar an der blauen Grenze, mit den vorhandenen und potenziellen Gründächern. Die grünen Punkte stellen die klassifizierten Gründächer dar. Als gelbe Punkte sind die Flachdächer und als orange Punkte die bis  $15^\circ$  geneigten Dächer dargestellt. Rot sind die Mansarddächer gekennzeichnet. Die Dächer mit einer Neigung zwischen  $15^\circ$  und  $45^\circ$  sind lila markiert. Die blauen Punkte zeigen die nichtklassifizierbaren Dächer an.



**Abbildung 46** Darstellung des Klassifizierungsergebnisses

Es wird ersichtlich, dass sich die vorhandenen Gründächer über den gesamten Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg verteilen. In Friedrichshain sind insbesondere im östlichen Bereich Mansarddächer vorherrschend. Im gesamten untersuchten Gebiet gibt es zahlreiche Gebäude, die noch keine Gründächer besitzen, aber gleichwohl für eine Dachbegrünung in Betracht kommen. Die Anzahl der Dachflächen, denen erkennbar kein Gründachpotenzial zukommt, fällt verhältnismäßig gering aus.



Die konkreten Ergebnisse stellen sich im Einzelnen wie folgt dar:

Klasse	Anzahl der Dächer	Anzahl [%]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche [%]
Gründach	613	5,0	327.884	7,7
Flachdach	3514	28,8	1.363.882	32,0
Geneigtes Dach	582	4,8	216.902	5,1
Mansarddach	2987	24,5	1.101.561	25,9
Restdach	2841	23,3	1.013.268	23,8
Nichtklassifizierbar	1666	13,7	236.837	5,6
	12203	100,0	4.260.334	100,0

**Tabelle 5** Dachflächen im Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg (ALK)

Aus der Tabelle ergibt sich, dass 5 % der ALK-Gebäude in Friedrichshain-Kreuzberg über ein Gründach verfügen. Ihr Anteil an der Gesamtfläche aller ALK-Dachflächen beträgt etwa 8 %.

Am häufigsten ist jedoch die Form des Flachdaches vertreten, welches nahezu 29 % der ALK-Gebäude bedeckt. 32 % der ALK-Dachflächen sind demnach Flachdächer.

Die für Berlin typische Form des Mansarddaches tritt allerdings fast ebenso oft auf. Ihr Anteil beläuft sich auf etwa 25 % der Gesamtzahl und circa 26 % der erhobenen Gesamtdachflächen.

Restdächer sind seltener anzutreffen. Sie kommen nur in etwa 23 % aller Fälle vor und nehmen eine Fläche von ungefähr 24 % der ALK-Gesamtdachfläche ein.

Eine geneigte Dachform haben die wenigsten Häuser. Nur knapp 5 % der Gesamtanzahl aller ALK-Gebäude und einen etwa genauso hohen Prozentsatz der ALK-Gesamtdachfläche kann dieser Dachtyp auf sich vereinen.

Lediglich 5,6 % der Dachflächen aller ALK-Gebäude konnten nicht eindeutig klassifiziert werden.

---

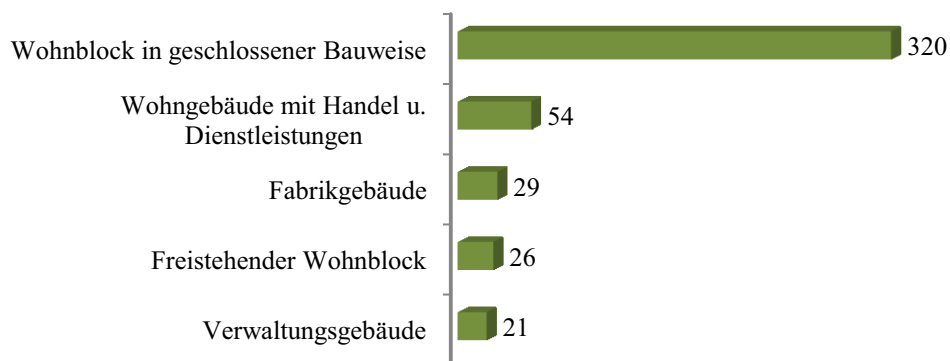
---

## 6.2 Vorhandene Gründächer

Im Zuge dieser Arbeit konnten 613 ALK-Gebäude mit Gründächern bestimmt werden. Dies entspricht einer Gründachfläche von 327.884 m<sup>2</sup>.

Aufgrund der Verknüpfung der Gebäudedaten in dem angewendeten Klassifizierungsmodell können zudem Aussagen über die konkrete Nutzung der einzelnen ALK-Gebäude nach dem OSKA getroffen werden. So sind auch Angaben darüber möglich, welche Nutzungsart bei den ALK-Gebäuden mit einem Gründach vorherrscht.

Aufgeschlüsselt nach den 5 häufigsten Nutzungsarten ergibt sich somit folgendes Bild:

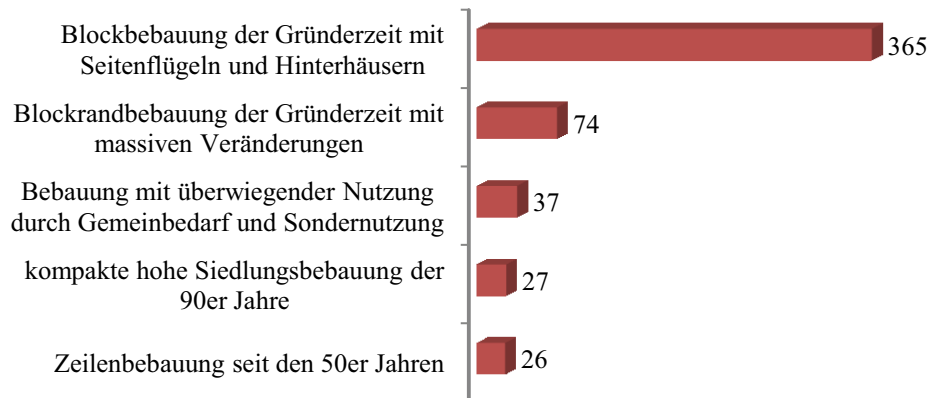


**Abbildung 47** Gründachanzahl nach ALK-OSKA

Die meisten Gründächer (320) wurden bei geschlossenen Wohnblöcken mit geschlossener Bauweise entdeckt.

Etwa 6-mal weniger Gründächer (54) finden sich auf Wohngebäuden, die zugleich gewerblich genutzt werden. Dies zeigt, dass neben Wohngebäuden vor allem Bürogebäude für eine Dachbegrünung ausgewählt werden. Schließlich ließ sich auch auf Fabrikgebäuden und Verwaltungsgebäuden eine nennenswerte Anzahl an Gründächern erkennen (26 bzw. 21).

Die Zusammenführung der Gebäudedaten durch das angewendete Klassifizierungsmodell erlaubt zudem eine Differenzierung der Objekte nach der Bebauungsart entsprechend den Bezugsflächen des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU). Hier zeigt sich im Hinblick auf die Gründächer für die 5 häufigsten Bauarten folgende Verteilung:



**Abbildung 48** Gründachanzahl nach ISU5-Blockflächen

Danach erstreckt sich der weit überwiegende Teil der Gründächer (365) auf Gebäude mit Seitenflügeln und Hinterhäusern aus der Gründerzeit, die in einer Blockbebauung errichtet worden sind. Ein Fünftel weniger Gründächer (54) finden sich auf Blockrandbebauungen aus der Gründerzeit, die jedoch bereits massiv erneuert worden sind.

Gemeinnützige Gebäude, wie beispielsweise Schulen, Kindertages- oder Freizeitstätten, haben insgesamt 37-mal ein Gründach.

Zahlenmäßig fast gleichauf liegen die ALK-Gebäude der kompakten Siedlungsbebauung aus den 90-er Jahren und die Gebäude der Zeilenbebauung aus den 50-er Jahren.

Die entsprechende Recherche nach der Nutzungs- oder Bebauungsart der betroffenen ALK-Gebäude kann für jede Klassifizierungskategorie durchgeführt werden. Sie wäre damit beispielsweise auch möglich für den Bereich der potentiellen Gründächer.

### 6.3 Gründachpotenzial nach den ALK-Flächen

Das Gründachpotenzial für die ALK-Flächen für den Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg ergibt sich aus den Klassen „Gründach“, „Flachdach“, „Geneigtes Dach“, „Mansarddach“ und „Restdach“ entsprechend der manuellen Klassifizierung.

Die nichtklassifizierbaren Dächer können nicht mit in die Potenzialanalyse einfließen, da sie keine positiven Aussagen über ein vorhandenes Potenzial erlauben. Nach Abzug der entsprechenden Anzahl und Flächen der nichtklassifizierbaren Dächer erhält man folgende Ausgangstabelle:

Klasse	Neigung [°]	Anzahl der Dächer	Zählung [%]	Fläche [m <sup>2</sup> ]
Gründach		613	100	327.884
Flachdach	0 < 1,14	3514	100	1.363.882
Geneigtes Dach	≥ 1,14 < 15	582	100	216.902
Restdach	≥ 15 < 45	2841	100	1.013.268
Mansarddach		2987	100	1.101.561
Nichtklassifizierbar		1666	0	0
		12203		4.023.497

**Tabelle 6** Potenzielle Gründachflächen (ALK)

Die Fläche von 4.023.497 m<sup>2</sup> entspricht einem Flächenanteil von 94,4 % der ALK-Gesamtdachfläche in Friedrichshain-Kreuzberg (4.260.334 m<sup>2</sup>).

Ausgehend von Tabelle 6 soll das realisierbare Gründachpotenzial der ALK-Flächen berechnet werden. Dazu wird angenommen, dass 50% von den bisher nicht begrüntem, aber unter Neigungsgesichtspunkten begrünbaren Dachflächen der Klassen „Flachdach“, „Geneigtes Dach“, „Mansarddach“ und „Restdach“ für eine Begrünung zur Verfügung stehen.

Die nachstehende Tabelle zeigt die um die Hälfte herabgesetzten Flächenanteile in den Kategorien, die für eine Dachbegrünung geeignet sind:

Klasse	Neigung [°]	Anzahl der Dächer	Zählung [%]	Fläche [m <sup>2</sup> ]
Gründach		613	100	327.884
Flachdach	0 < 1,14	3514	50	681.941
Geneigtes Dach	≥ 1,14 < 15	582	50	108.451
Restdach	≥ 15 < 45	2841	50	506.634
Mansarddach		2987	50	550.780
Nichtklassifizierbar		1666	0	0
		12203		2.175.690

**Tabelle 7** Realisierbares Potenzial der Gründachflächen (ALK)

Im Ergebnis folgt hieraus ein Potenzial der Gründachflächen von **2.175.690 m<sup>2</sup>**. Diese Fläche entspricht einem Flächenanteil von **51,1 % der Gesamtdachfläche** (4.260.334 m<sup>2</sup>) der ALK-Gebäude in Friedrichshain-Kreuzberg. Somit könnte die bisherige Gründachfläche um ungefähr das Sechsfache des bisherigen Bestandes erweitert werden.

Die Gründachanalyse aus den ALK-Daten berücksichtigt nicht den exakten Neigungswert jeder einzelnen Dachfläche. Als Vergleich zur Potenzialanalyse mit ALK-Daten soll nun eine Auswertung des Gründachpotenzials mit einer weiteren Methode vorgenommen werden.

#### 6.4 Gründachpotenzial nach dem 3D-Stadtmodell

Mit Hilfe der 3D-Daten aus dem 3D-Stadtmodell für Friedrichshain-Kreuzberg kann das Gründachpotenzial unter Anwendung der herausgearbeiteten Klassifizierungskategorien genauer bestimmt werden.

Die folgende Tabelle zeigt die Anzahl und die Größe der Dachflächen in den jeweiligen Kategorien „3D Flachdachflächen“, „3D Geneigte Dachflächen“, „3D Stark Geneigte Dachflächen“ und „3D Restliche Dachflächen“:

Klasse	Neigung [°]	Anzahl der Dachflächen	Anzahl [%]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche [%]
3D Flachdachflächen	0 < 1,14	10.359	19,0	2.189.509	46,2
3D Geneigte Dachflächen	≥1,14 < 15	14.308	26,2	995.487	21,0
3D Stark Geneigte Dachflächen	≥15 < 45	26.634	48,7	1.441.666	30,5
3D Restliche Dachflächen	≥45 < 90	3.338	6,1	107.086	2,3
		54.639	100,0	4.733.748	100,0

**Tabelle 8** Dachflächen nach Neigungen aus dem 3D-Stadtmodell

Die Anzahl der Dachflächen ist mehr als viermal so hoch wie die Anzahl der Dächer in Tabelle 5. So besteht beispielsweise ein Mansarddach oft aus fünf Dachflächen.

Über die 3D-Dachflächen lassen sich mit folgendem Skriptaufruf die wirksamen Dachflächen berechnen, um das Ergebnis mit den Grundrisswerten aus der ALK vergleichen zu können:

$$\text{Dachgrundfläche} = \text{Cos} ([\text{Neigung}] * 3.14159265358979/180) * [\text{Fläche}]$$

Die Gesamtdachgrundfläche beträgt 4.521.025 m<sup>2</sup>. Diese Fläche ist kleiner als die aus den ALK-Grundrissflächen gewonnene.

Klasse	Neigung [°]	Anzahl der Dachflächen	Anzahl [%]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Fläche [%]
3D Flachdachflächen	0 < 1,14	10.359	19,0	2.189.503	48,4
3D Geneigte Dachflächen	≥1,14 < 15	14.308	26,2	985.443	21,8
3D Stark Geneigte Dachflächen	≥15 < 45	26.634	48,7	1.278.788	28,3
3D Restliche Dachflächen	≥45 < 90	3.338	6,1	67.291	1,5
		54.639	100,0	4.521.025	100,0

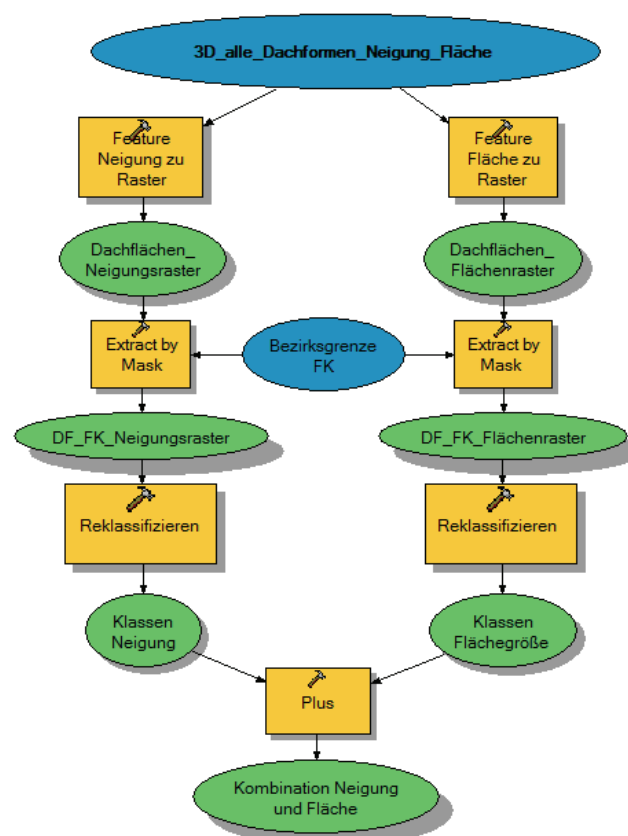
**Tabelle 9** Wirksame Dachflächen nach Neigungen aus dem 3D-Stadtmodell

Im Folgenden soll auch für das 3D-Modell das realisierbare Gründachpotenzial erstellt werden, wobei angenommen wird, dass 50% aller Dächer der Klassen 3D Flachdachfläche, 3D Geneigte Dachfläche und 3D Stark Geneigte Dachfläche begrünt werden können oder bereits begrünt sind.

Analog zur Ermittlung des Gründachpotenzials aus den ALK-Flächen ergibt sich aus der Berechnung nach dem 3D-Modell ein Gründachpotenzial von **2.226.867 m<sup>2</sup>**. Das sind **49% der wirksamen Gesamtdachfläche** aus dem 3D-Stadtmodell.

## 6.5 Bewertung potenzieller Gründächer aus den 3D-Daten bezüglich ihrer Größe

In den vorhergehenden Berechnungen für das Gründachpotenzial wurde ein Pauschalwert von 50% aller flächenmäßig geeigneten Dächer angenommen. Um einen detaillierteren Eindruck zu erhalten, welche potenziellen Gründächer besonders für eine Bepflanzung geeignet sind, ist ein Modell für die Bewertung potenzieller Gründächer aus den 3D-Daten bezüglich ihrer Dachflächengröße und ihrer Dachflächenneigung notwendig. Dieses ist nachstehend abgebildet:



**Abbildung 49** Modell zur Bewertung potenzieller Gründächer

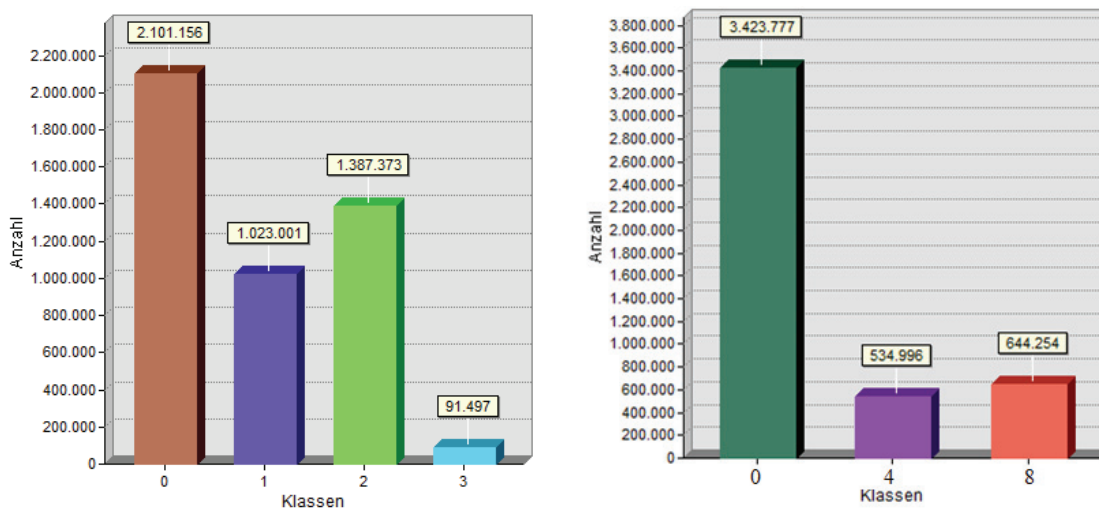
Hierfür werden aus den Dachflächen des Layers *3D\_alle\_Dachflächen\_Neigung\_Fläche* zunächst zwei Raster-Features erstellt. In dem Raster *Dachflächen\_Neigungs raster* werden dem dreidimensionalen Polygon Pixelwerte zugeordnet, die den automatisch berechneten Neigungswert erhalten. Dasselbe erfolgt mit dem *Dachflächen\_Flächen raster*. Dann werden beide mit der Bezirksgrenze verschnitten.

Anschließend werden beide Raster in Neigungs- und Flächengrößenklassen entsprechend den folgenden Grenzwerten eingeteilt.

Neigung [°]	Klasse
0 - 1,14	0
1,14 - 15	1
15 - 45	2
45 - 90	3

Fläche [m <sup>2</sup> ]	Klasse
0 - 500	0
500 - 1000	4
> 1000	8

**Tabelle 10** Klassen der Dachneigungs- und Dachflächenraster



**Abbildung 50** Diagramm der Klasse Neigung (links) und Flächengröße (rechts)

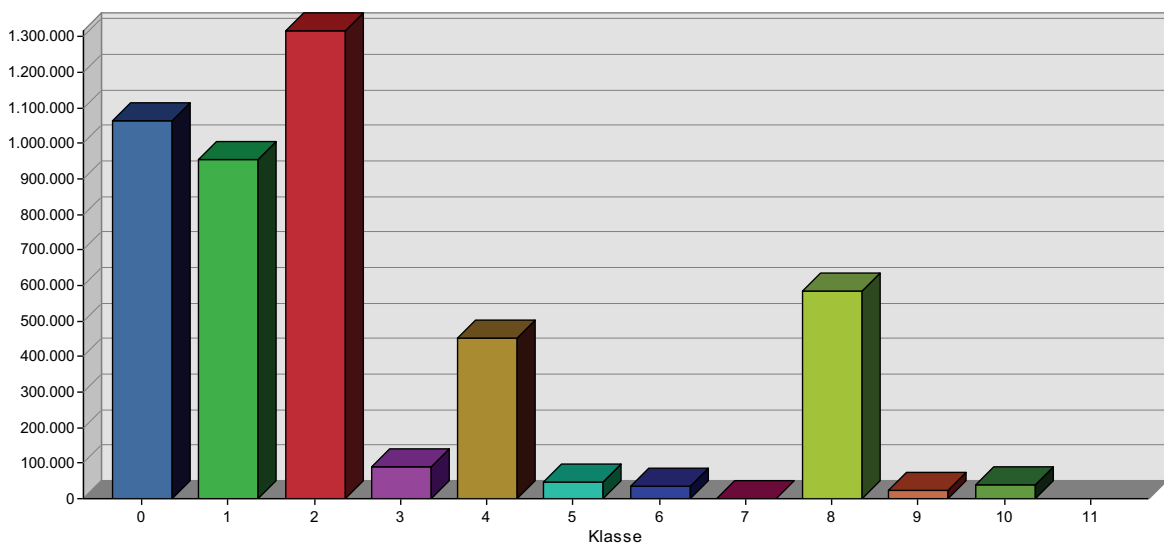
Abschließend werden beide Raster miteinander addiert. Ergebnis der Addition sind 11 Eignungsklassen für die potenziellen Gründächer, die folgende Merkmale aufweisen:



Klasse	Aussage
0	Flachdächer bis 500 m <sup>2</sup>
1	Geneigte Dächer bis 500 m <sup>2</sup>
2	Schrägdächer bis 500 m <sup>2</sup>
3	Steildächer bis 500 m <sup>2</sup>
4	Flachdächer mit 500 m <sup>2</sup> - 1000 m <sup>2</sup>
5	Geneigte Dächer mit 500 m <sup>2</sup> - 1000 m <sup>2</sup>
6	Schrägdächer 500 m <sup>2</sup> - 1000 m <sup>2</sup>
7	Steildächer mit 500 m <sup>2</sup> - 1000 m <sup>2</sup>
8	Flachdächer > 1000 m <sup>2</sup>
9	Geneigte Dächer > 1000 m <sup>2</sup>
10	Schrägdächer > 1000 m <sup>2</sup>
11	Steildächer > 1000 m <sup>2</sup>

**Tabelle 11** Eignungsklassen für die Realisierung potenzieller Gründachflächen

Wie in Abbildung 51 ersichtlich, gibt es in dem 3D-Datenbestand keine Dachflächen, die eine stärkere Neigung als 45° besitzen und größer als 1000 m<sup>2</sup> sind.

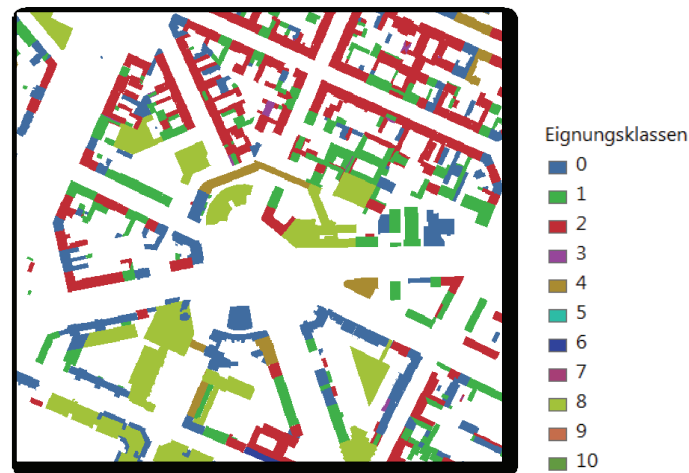


**Abbildung 51** Diagramm der Kombination von Dachneigung und Flächengröße

---

---

Diese können in ArcGIS grafisch dargestellt werden, sodass der Nutzer auf den ersten Blick örtlich zusammenhängende Gebäude gleicher Eignungsklasse erkennen kann:



**Abbildung 52** Grafische Darstellung der Eignungsklassen

## 6.6 Verdunstungsvolumina

In Europa entfällt 40% des Energiebedarfs auf Gebäude [19]. Gründächer führen zu einer beachtlichen Senkung des Energieverbrauchs, nicht nur durch die Wärmespeicherung der Baustoffe, sondern auch durch die Verdunstung und Transpiration in der Vegetationsschicht. So zeigen Untersuchungen des Institutes für Landschaftsbau an der TU Berlin auf dem Gelände der ehemaligen Universum Film AG (Ufa), dass auf extensiv begrüntem Dächern in den Sommermonaten bis zu 58% der Sonneneinstrahlung, die ansonsten in Wärme umgewandelt würde, in Verdunstungskälte umgewandelt werden kann. Im Jahresdurchschnitt kann die Umwandlung mit 81% sogar noch höher ausfallen [19].

Aus den berechneten Gründachflächen und dem Gründachpotenzial lässt sich die Menge des zurückgehaltenen Regenwassers bestimmen. Wird eine Substrathöhe der Gründächer von 0,1 m angenommen, ergibt sich aus den ALK-Daten ein dezentrales Speichervolumen von 217.569 m<sup>3</sup> und aus den 3D-Daten ein dezentrales Speichervolumen von 222.687 m<sup>3</sup>.

Für das Mindestspeichervolumen eines Gründaches wird gemäß der Flachdachrichtlinie 2008 ein Wert von 0,011 m<sup>3</sup> Regenwasser pro Quadratmeter angenommen [2]. Auf den Bezirk

---

---

Friedrichshain-Kreuzberg bezogen kann das zusätzliche Speichervolumen durch das Gründachpotenzial damit auf etwa 23.900 bis 24.500 m<sup>3</sup> Regenwasser bestimmt werden.

Bei einem Verdunstungsvolumen von 0,003 m<sup>3</sup> pro Quadratmeter Dachfläche - wie es im Sommer auftreten kann - ergäbe sich ein Verdunstungsvolumen von etwa 6.500 bis 6.700 m<sup>3</sup> Wasser. Diese Menge bräuchte täglich weniger durch das Kanalisationssystem des Bezirkes abtransportiert werden als bei fehlenden Dachbegrünungen. Bei einer Verdunstungskälte von 680 Kilowatt pro Kubikmeter für das Wasser in den Sommermonaten entspricht dies einer Energie von etwa 4,4 bis 4,5 Gigawatt.

## 6.7 Regenwasserabflusswerte

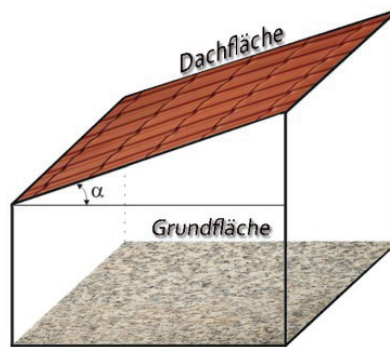
Im Folgenden soll anhand des Spitzenabflusses und des mittleren Jahresabflusses die Reduzierung der abzuführenden Regenwassermenge an zwei Beispielen demonstriert werden, um den positiven Effekt des Ausbaus von Gründächern zu verdeutlichen.

### 6.7.1 Berechnungsgrundlagen

Der Regenwasserabfluss gibt an, wieviel Kubikmeter Regenwasser in der Sekunde von den Dachflächen abfließt und in die Kanalisation gelangt. Der Regenwasserabfluss  $Q$  eines Daches wird mit folgender Formel bestimmt:

$$Q = \frac{r_{5,5}}{10000} * C * A ,$$

wobei  $C$  für den Abflussbeiwert in Abhängigkeit der Dachoberfläche steht und  $A$  die wirksame Dachfläche angibt. Die wirksame Dachfläche ergibt sich aus dem Produkt der Dachfläche und dem Kosinus des Neigungswinkels des Daches.



**Abbildung 53** Dachfläche zur Bestimmung des Regenwasserabflusswertes

Maßgeblichen Anteil an der Dimensionierung einer Regenentwässerungsanlage haben die örtlichen Regenspenden. Unter der Regenspende  $r_{5,5}$  wird ein fünfminütiges Regenereignis verstanden, welches in seiner Intensität statistisch alle fünf Jahre einmal vorkommt. In der Norm DIN 1986-100 „Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056“ sind sowohl die Werte von 88 deutschen Großstädten für die Bemessungsregenspende als auch die Abflussbeiwerte für die verschiedenen Dachtypen hinterlegt [20].

Der Wert  $r_{5,5}$  für Berlin beträgt  $371 \frac{l}{s \cdot ha}$ . Die Abflussbeiwerte  $C$  sind abhängig von den verschiedenen Deckmaterialien des Daches. Gründächer verzögern den Abfluss des Regenwassers, da sie eine bestimmte Menge an Feuchtigkeit aufnehmen und verdunsten. So gilt für begrünte Dächer ein optimaler Abflussbeiwert 0,3 und für alle anderen Dachflächen 1,0 entsprechend der DIN 1986-100.

Somit wird der Regenwasserabfluss der Dachflächen in Friedrichshain-Kreuzberg durch

$$Q = 0,0371 \frac{l}{s \cdot m^2} * 0,3 * A \text{ für alle Gründächer und}$$

$$Q = 0,0371 \frac{l}{s \cdot m^2} * A \text{ für alle anderen Dächer bestimmt.}$$

### 6.7.2 Berechnung der Reduzierung von Spitzenabflüssen

Für die Berechnung der Dachentwässerung für einen fünfminütigen Bemessungsregen, der alle fünf Jahre auftritt, wird ein optimaler Abflussbeiwert von 0,3 für alle Gründächer

angesetzt. Das heißt 70% des auf die Dachfläche treffenden Regenwassers wird aufgrund der Begrünung zurückgehalten. Bei der Fläche von aktuell 327.884 m<sup>2</sup> Gründächern im untersuchten Gebiet beträgt der Regenabfluss für das fünfminütige Regenereignis

$$Q = 0,0371 \frac{l}{s * m^2} * (1 * (4.260.334 m^2 - 327.884 m^2) + 0,3 * 327.884 m^2)$$

$$Q = 0,0371 \frac{l}{s * m^2} * (4.260.334 m^2 - 0,7 * 327.884 m^2) \approx 150.000 \frac{l}{s}$$

Bei realisierbarer Erweiterung der Gründachfläche kann dieser Wert nach dem ALK-Modell auf

$$Q = 0,0371 \frac{l}{s * m^2} * (4.260.334 m^2 - 0,7 * 2.175.690 m^2) \approx 102.000 \frac{l}{s}$$

gesenkt werden. Es könnten also zusätzlich 48.000 l/s an Regenabwasser im Bezirk zurückgehalten werden.

Aus den Daten des 3D-Stadtmodells kann bei Bepflanzung von 50% aller für Grünflächen geeigneter Dächer ein optimaler Regenabfluss im Bemessungsregen von

$$Q = 0,0371 \frac{l}{s * m^2} * (4.521.025 m^2 - 0,7 * 2.226.867 m^2) \approx 110.000 \frac{l}{s}$$

erwartet werden.

---



---

### 6.7.3 Berechnung der Reduzierung von mittleren Jahresabflüssen

Der mittlere Jahresniederschlag in Berlin beträgt 581 mm (=581 l/m<sup>2</sup>). Dies entspricht gemäß der FLL-Richtlinie einer Wasserrückhaltung im Jahresmittel bei Extensivbegrünungen auf Dächern mit einer Aufbaudicke von über 0,1 m einer Wasserrückhaltung von 55% und eines realistischen Jahresabflussbeiwertes von 0,45 [2]. Damit beträgt der mittlere Regenabfluss in Friedrichshain-Kreuzberg nach den ALK-Daten

$$Q = 581 \frac{l}{a * m^2} * (4.260.334 m^2 - 0,55 * 327.884 m^2) \approx 2,37 * 10^9 \frac{l}{a}.$$

Das heißt, die bereits existierenden Gründächer verringern den Jahresabfluss bereits jetzt um  $1,05 * 10^8$  Liter pro Jahr. Würde das realisierbare Potenzial an Grünflächen ausgeschöpft, könnte der Jahresregenabfluss des Bezirkes auf den Wert

$$Q = 581 \frac{l}{a * m^2} * (4.260.334 m^2 - 0,55 * 2.175.690 m^2) \approx 1,78 * 10^9 \frac{l}{a},$$

also um etwa 600 Millionen Liter bzw. um 25% sinken.

Nach den Daten des 3D-Stadtmodells ist für dasselbe Szenario von ausgebauten Grünflächen ein mittlerer Jahresabfluss von

$$Q = 581 \frac{l}{a * m^2} * (4.521.025 m^2 - 0,55 * 2.226.867 m^2) \approx 1,92 * 10^9 \frac{l}{a}$$

zu erwarten.



## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Die in der Arbeit entwickelte Methode zur Erfassung, Klassifizierung und Kartierung von Gründächern und zur Ermittlung des Gründachpotenzials hat sich als praktikabel erwiesen.

Es lassen sich verschiedene Klassifizierungen bilden, sodass die vorhandenen Gründächer im Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg adressgenau identifiziert werden konnten. Gleichzeitig wurde auch die Dachneigung der erfassten Gebäude untersucht und daraus das Gründachpotenzial des Bezirks bestimmt.

Im Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg ließen sich auf diese Weise 613 Gebäude aus der Automatisierten Liegenschaftskarte ermitteln, die im Orthophoto ein Gründach aufwiesen. Dies entspricht einer Gesamtgründachfläche im Bezirk von 327.884 m<sup>2</sup>.

Die Anzahl aller im Orthophoto erfassten Gebäude der Automatisierten Liegenschaftskarte beträgt 12.203. Die Gebäude besitzen eine Gesamtdachfläche von über 4 Millionen Quadratmeter. Das im Rahmen der angewandten Methode ermittelte Gründachpotenzial beläuft sich auf etwa 2,2 Millionen Quadratmeter und damit auf 51 % der Gesamtdachfläche.

Würden nur 50 % aller begrünbaren, aber bisher noch nicht begrünten Dächer ein Gründach erhalten, ergäbe sich eine beachtliche Verringerung des Regenwasserabflusses im gesamten Bezirk. Unter der Annahme, dass ein Quadratmeter Gründach etwa 0,011 m<sup>3</sup> Wasser aufnehmen kann, würde ein zusätzliches Speichervolumen für bis zu 24.500 m<sup>3</sup> Regenwasser geschaffen. Durch die Vermehrung der Gründächer könnte zugleich ein zusätzliches Verdunstungsvolumen von etwa 6.500 m<sup>3</sup> Wasser geschaffen werden. Im Falle des Bemessungsregens  $r_{5,5}$  würden zusätzlich 48.000 Liter Wasser zurückgehalten. Der mittlere Jahresabfluss an Regenwasser könnte um ungefähr 600 Millionen Liter sinken.

Das 3D-Stadtmodell war bei der Analyse in der Hinsicht von Vorteil, dass die Neigungen und die Dachflächen relativ einfach bestimmbar waren und so die entsprechenden Neigungsklassen und wirksamen Dachflächen berechnet werden konnten. Die visuelle Einordnung der Dächer in die einzelnen Neigungsbereiche stimmte relativ gut mit den Daten der tatsächlichen Neigungen der Dächer aus dem 3D-Stadtmodell überein. Trotz der

Unterschiede zwischen den Daten des 3D-Stadtmodells und den Daten aus der Automatisierten Liegenschaftskarte führte die Ermittlung des Gründachpotenzials im Ergebnis zu keinen gravierenden Abweichungen.

Die hier aufgezeigte Methode liefert damit nicht nur tragfähige Ergebnisse, sondern lässt sich auch erweitern. So können zu den bisher in dieser Arbeit gesammelten geometrischen Daten andere für die Dachbegrünung relevante Sachdaten hinzugefügt werden. Unter anderem können das Baujahr der begrünten Gebäude, die Planung oder die Art der Begrünung, der Bedeckungsgrad des Gründaches oder nähere Details zu den angebauten Pflanzen zusätzlich in den Datenbestand aufgenommen werden. Die Methode eignet sich darüber hinaus auch für eine Gründacherfassung in weiteren Bezirken Berlins oder beispielsweise zur Erfassung von Solardächern.

## Quellenverzeichnis

- [1] Walter Kolb und Tassilo Schwarz, *Dachbegrünung - intensiv und extensiv*. Stuttgart (Hohenheim): Verlag Eugen Ulmer, 1999.
- [2] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau E.V., *FLL - Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen*. Bonn, 2008.
- [3] Gernot Minke, *Dächer begrünen: einfach und wirkungsvoll*. Staufen bei Freiburg: ökobuch Verlag, 2000.
- [4] Claus Steffan, Marco Schmidt, Manfred Köhler, Ines Hübner und Brigitte Reichmann, *Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung*, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Ed. Berlin, ISBN-978-3-88961-140-6.
- [5] Brigitte Kleinod, *Dächer begrünen*. Stuttgart (Hohenheim): Verlag Eugen Ulmer, 2000.
- [6] Manfred Köhler, *Fassaden- und Dachbegrünung*. Stuttgart: Ulmer, 1993.
- [7] Michael Höck und Jochen Manegold, *ArcMap - Programmierung mit VBA.*, 2003.
- [8] Wolfgang Liebig, *ArcGIS - ArcView 9 Programmierung*. Norden: Points Verlag Norden, 2007.
- [9] ESRI Geoinformatik GmbH. *ArcGIS ModelBuilder*. <http://www.esri-germany.de/downloads/papers/ModelBuilder-Leitfaden.pdf> [Stand: 20.12.2010]
- [10] ESRI - Environmental Systems Research Institute Inc. *ArcGIS 9.2 Desktop Help*. <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm> [Stand: 20.12.2010]
- [11] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. *Landesvermessung*. [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/landesvermessung/etrs89/download/6\\_FAQ.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/landesvermessung/etrs89/download/6_FAQ.pdf) [Stand: 15.11.2010]
- [12] ERDAS Inc. *ERDAS Products ECW Plug-ins*. [http://www.erdas.com/products/ecwplugins/downloads/ECW\\_Header\\_Editor\\_2\\_52.aspx](http://www.erdas.com/products/ecwplugins/downloads/ECW_Header_Editor_2_52.aspx) [Stand: 6.12.2010]
- [13] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. *FIS-Broker Berlin*. <http://fbinter.stadt-berlin.de> [Stand: 20.12.2010]
- [14] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. *Geoinformation*. <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/> [Stand: 20.12.2010]
- [15] Ministerium des Innern des Landes Brandenburg Brandenburg. *OSKA-LIKA Brandenburg*. <http://www.brandenburg.de/sixcms/media.php/1071/alk-richtlinien-aenderung.pdf> [Stand: 8.12.2010]
- [16] Uta Hanschke, (1995) Flächentypen - Eine Beschreibung der im Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung erfassten und verwalteten Struktur- und Flächennutzungskategorien von Berlin. pdf-Datei.
- [17] ESRI Wisconsin Users Group. <http://www.ewug.org/images/2004/ArcGISTipsAndTools.pdf> [Stand: 16.10.2010]
- [18] Landesinstitut für Schulentwicklung (LS) Stuttgart. *Landesbildungsserver Baden-Württemberg*. [http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/mathematik/3material/sek2/linalg/ebenen/winkel\\_ebene\\_ebene.pdf](http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/mathematik/3material/sek2/linalg/ebenen/winkel_ebene_ebene.pdf) [Stand: 13.11.2010]
- [19] Marco Schmidt, "The interaction between water and energy of greened roofs," in *World Green Roof Congress - Tagungsband*, Basel, 2005. [Online]. [http://www.unr.ch/doc/doc\\_download.cfm?F9DDF543053F44F96D41E7087807529F](http://www.unr.ch/doc/doc_download.cfm?F9DDF543053F44F96D41E7087807529F)
- [20] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. , *DIN 1986 - 100 Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056*. Berlin: Beuth Verlag, 2008.

---

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Ausschnitt des ECW Header Editors .....	8
Abbildung 2 ALK-Ausgangsdaten von Friedrichshain-Kreuzberg .....	11
Abbildung 3 Auszug aus der GEOgraf-Konfigurationsdatei <i>gg-shp.ins</i> .....	12
Abbildung 4 Auszug aus der Datenbank <i>OSKA_BLN.mdb</i> .....	13
Abbildung 5 Auszug aus der Datenbank <i>Straßennamen.mdb</i> .....	13
Abbildung 6 Auszug aus der Attributtabelle <i>ISU5_UA_2005_Blockflächen</i> .....	15
Abbildung 7 Auszug aus der Datenbank <i>tbl_HSN_20090216.mdb</i> .....	16
Abbildung 8 Auszug aus dem Layer <i>ISU5_UA_2005_Blockflächen</i> .....	16
Abbildung 9 Fehlerbeispiel in den ALK-Daten (blau hervorgehoben).....	17
Abbildung 10 Gebäudeüberlagerung (blaue Umrisse der oben genannten Gebäude) .....	18
Abbildung 11 Beispiel eines fehlenden ALK-Gebäudes im Orthophoto.....	18
Abbildung 12 Beispiel für eine teilbegrünte Tiefgarage .....	19
Abbildung 13 Beispiel für fehlende Gebäude im ALK- und 3D-Datenbestand .....	19
Abbildung 14 Unterschiede zwischen ALK und 3D-Stadtmodell .....	20
Abbildung 15 Anpassung (links) und Neuanlage (rechts) einer Werkzeugleiste .....	22
Abbildung 16 Anpassung (links) und Neuanlage (rechts) eines Steuerelements.....	22
Abbildung 17 Eingabefenster des Visual Basic-Editors .....	23
Abbildung 18 Einfügen eines neuen Auswahlfensters.....	23
Abbildung 19 Toolbox zum Anlegen der Registerkarten .....	23
Abbildung 20 Darstellung der Registerkarte „Editor“ .....	24
Abbildung 21 Darstellung der Registerkarte „Statistik“ .....	24
Abbildung 22 Programmablaufplan des VBA-Skriptes „Editor“ .....	25
Abbildung 23 Programmablaufplan des VBA-Skriptes „Statistik“ .....	26
Abbildung 24 Ergebnisfenster nach Ausführung des Skriptes „Statistik“ .....	27

---

---

Abbildung 25 Gründach intensiv (links) und extensiv (rechts) im Orthophoto.....	28
Abbildung 26 Flachdächer im Orthophoto.....	28
Abbildung 27 Mansarddächer im Orthophoto .....	29
Abbildung 28 Geneigte Dächer im Orthophoto .....	29
Abbildung 29 Satteldächer im Orthophoto .....	30
Abbildung 30 Dächer mit nicht erkennbarer Dachform im Orthophoto .....	30
Abbildung 31 Flachdach mit Parkflächen im Orthophoto .....	31
Abbildung 32 ALK-Grundrisse (blau) – Zwei Gaststätten (links) und Tiefgarage (rechts) ....	31
Abbildung 33 Dach mit vorhandener Solaranlage im Orthophoto .....	32
Abbildung 34 Widerspruch zwischen ALK-Grundriss (blau) und Orthophoto.....	33
Abbildung 35 Satteldach mit Schattenwurf im Orthophoto.....	33
Abbildung 36 Dachterrasse ohne (links) und mit ALK-Grundriss (rechts) im Orthophoto ....	33
Abbildung 37 Erkennbarkeit eines Gründaches im Orthophoto bei Schattenwurf.....	34
Abbildung 38 Beispiele möglicher Gründächer (rot markiert) .....	34
Abbildung 39 Beispiel für Umklappeffekte im Orthophoto .....	35
Abbildung 40 Modell zur Zusammenführung der ALK-Daten .....	37
Abbildung 41 Modell zur Zusammenführung und Adressierung der klassifizierten Dächer ..	38
Abbildung 42 Drei Kartenauszüge der übereinanderliegenden ALK-Gebäudegrundrisse .....	40
Abbildung 43 Modell zur Bestimmung der Dachneigungen und der Dachflächen .....	41
Abbildung 44 Auswahl der 3D-Dachflächen .....	41
Abbildung 45 Schnittwinkel zweier Ebenen.....	42
Abbildung 46 Darstellung des Klassifizierungsergebnisses .....	46
Abbildung 47 Gründachanzahl nach ALK-OSKA.....	48
Abbildung 48 Gründachanzahl nach ISU5-Blockflächen.....	49
Abbildung 49 Modell zur Bewertung potenzieller Gründächer.....	53
Abbildung 50 Diagramm der Klasse Neigung (links) und Flächengröße (rechts).....	54

---

---

Abbildung 51 Diagramm der Kombination von Dachneigung und Flächengröße ..... 55

Abbildung 52 Grafische Darstellung der Eignungsklassen..... 56

Abbildung 53 Dachfläche zur Bestimmung des Regenwasserabflusswertes ..... 58

---

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beispiel eines Gebäudekennzeichens der Automatisierten Liegenschaftskarte.....	10
Tabelle 2 Sachdatenattribute des 3D-Stadtmodells.....	14
Tabelle 3 Zerlegung des ALK-Gebäudekennzeichens.....	36
Tabelle 4 Auszug aus der Datentabelle <i>Dachklassifizierung_Adresse.shp</i> .....	40
Tabelle 5 Dachflächen im Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg (ALK).....	47
Tabelle 6 Potenzielle Gründachflächen (ALK).....	50
Tabelle 7 Realisierbares Potenzial der Gründachflächen (ALK).....	51
Tabelle 8 Dachflächen nach Neigungen aus dem 3D-Stadtmodell.....	52
Tabelle 9 Wirksame Dachflächen nach Neigungen aus dem 3D-Stadtmodell .....	52
Tabelle 10 Klassen der Dachneigungs- und Dachflächenraster.....	54
Tabelle 11 Eignungsklassen für die Realisierung potenzieller Gründachflächen.....	55



## **Anhangsverzeichnis**

Anhang A – Sachdatentabelle der Dachflächen des 3D -Stadtmodells

Anhang B – Subroutinen für die Registerkarte „Editor“

Anhang C – Subroutine für die Registerkarte „Statistik“

---

---

# Anhang

Anhang A – Sachdatentabelle der Dachflächen des 3D -Stadtmodells (Kapitel 3.5)



Gebäude

FID	Shape *	Mu	LOCATION	M	EavesAbsol	RidgeAbsol	Eaves	Ridge	LowestZ	HighestZ	FaceType	FaceID	RoofType	Texture	Normal X	Normal Y	Normal Z	METHOD
0	Polygon ZM	0	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	53,47	0	0	0	0	0	0	-1	
1	Polygon ZM	1	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	3,40994	6,10993	56,88994	59,58993	2	0	0	3	texture_roof.png	-0,01529	-0,63487	0,77247
2	Polygon ZM	2	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	3,40994	6,10993	56,88994	59,58993	2	1	0	3	texture_roof.png	0,69747	-0,02417	0,7162
3	Polygon ZM	3	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	3,40994	6,10993	56,88994	59,58993	2	2	0	3	texture_roof.png	0,01529	0,63487	0,77247
4	Polygon ZM	4	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	3,40994	6,10993	56,88994	59,58993	2	3	0	3	texture_roof.png	-0,69747	0,02417	0,7162
5	Polygon ZM	5	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	56,88994	1	0	0	0	texture_wall.png	0,9994	-0,03463	0
6	Polygon ZM	6	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	56,88994	1	1	0	0	texture_wall.png	0,02407	0,99971	0
7	Polygon ZM	7	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	56,88994	1	2	0	0	texture_wall.png	-0,9994	0,03463	0
8	Polygon ZM	8	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	56,88994	1	3	0	0	texture_wall.png	-0,02407	-0,99971	0

Dachflächen



FID	Shape *	Mu	LOCATION	M	EavesAbsol	RidgeAbsol	Eaves	Ridge	LowestZ	HighestZ	FaceType	FaceID	RoofType	Texture	Normal X	Normal Y	Normal Z	METHOD
0	Polygon ZM	0	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	53,47	0	0	0	0	0	0	-1	
1	Polygon ZM	1	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	3,40994	6,10993	56,88994	59,58993	2	0	0	3	texture_roof.png	-0,01529	-0,63487	0,77247
2	Polygon ZM	2	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	3,40994	6,10993	56,88994	59,58993	2	1	0	3	texture_roof.png	0,69747	-0,02417	0,7162
3	Polygon ZM	3	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	3,40994	6,10993	56,88994	59,58993	2	2	0	3	texture_roof.png	0,01529	0,63487	0,77247
4	Polygon ZM	4	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	3,40994	6,10993	56,88994	59,58993	2	3	0	3	texture_roof.png	-0,69747	0,02417	0,7162
5	Polygon ZM	5	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	56,88994	1	0	0	0	texture_wall.png	0,9994	-0,03463	0
6	Polygon ZM	6	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	56,88994	1	1	0	0	texture_wall.png	0,02407	0,99971	0
7	Polygon ZM	7	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	56,88994	1	2	0	0	texture_wall.png	-0,9994	0,03463	0
8	Polygon ZM	8	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	56,88994	1	3	0	0	texture_wall.png	-0,02407	-0,99971	0

Fassadenflächen



FID	Shape *	Mu	LOCATION	M	EavesAbsol	RidgeAbsol	Eaves	Ridge	LowestZ	HighestZ	FaceType	FaceID	RoofType	Texture	Normal X	Normal Y	Normal Z	METHOD
0	Polygon ZM	0	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	53,47	0	0	0	0	0	0	-1	
1	Polygon ZM	1	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	3,40994	6,10993	56,88994	59,58993	2	0	0	3	texture_roof.png	-0,01529	-0,63487	0,77247
2	Polygon ZM	2	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	3,40994	6,10993	56,88994	59,58993	2	1	0	3	texture_roof.png	0,69747	-0,02417	0,7162
3	Polygon ZM	3	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	3,40994	6,10993	56,88994	59,58993	2	2	0	3	texture_roof.png	0,01529	0,63487	0,77247
4	Polygon ZM	4	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	3,40994	6,10993	56,88994	59,58993	2	3	0	3	texture_roof.png	-0,69747	0,02417	0,7162
5	Polygon ZM	5	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	56,88994	1	0	0	0	texture_wall.png	0,9994	-0,03463	0
6	Polygon ZM	6	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	56,88994	1	1	0	0	texture_wall.png	0,02407	0,99971	0
7	Polygon ZM	7	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	56,88994	1	2	0	0	texture_wall.png	-0,9994	0,03463	0
8	Polygon ZM	8	0003000e004c19ef	0	56,74164	58,25099	0	0	53,47	56,88994	1	3	0	0	texture_wall.png	-0,02407	-0,99971	0

---

---

**Anhang B - Subroutinen für die Registerkarte „Editor“ (Kapitel 4.1.1)**

```
#####  
'    Flachdach  
#####  
Private Sub Flachdach_Click()  
    Dim pMxDoc As IMxDocument  
    Dim pLayer As ILayer  
    Dim pMap As IMap  
    Dim pID As New UID  
    Dim pEditor As IEditor  
    Dim pEditLayers As IEditLayers  
  
    Set pMxDoc = ThisDocument  
    Set pMap = pMxDoc.ActiveView  
  
    'Editor Object  
    pID = "esriCore.Editor"  
    Set pEditor = Application.FindExtensionByCLSID(pID)  
  
    'Sicherung der zuvor vorgenommenen Änderungen  
    If pEditor.EditState = esriStateEditing Then  
        If pEditor.HasEdits Then  
            Dim SaveEdits As Integer  
            SaveEdits = MsgBox("Änderungen speichern?", vbYesNoCancel, "Datenerfassung")  
            If SaveEdits = 2 Then  
                Exit Sub  
            ElseIf SaveEdits = 6 Then  
                pEditor.StopEditing (True)  
            Else  
                pEditor.StopEditing (False)  
            End If  
        End If  
    End If  
  
    ' Ziellayer setzen  
    Dim pFeatureLayer As IFeatureLayer  
    Set pFeatureLayer = pMap.Layer(1)  
  
    'FeatureClass zur Bearbeitung öffnen  
    Dim pDataset As IDataset  
    Set pDataset = pFeatureLayer.FeatureClass  
  
    'Editor starten  
    pEditor.StartEditing pDataset.Workspace  
    Set pEditLayers = pEditor  
    pEditLayers.SetCurrentLayer pFeatureLayer, 0
```

---

---

```
'SketchTool-Kommando ausführen
Dim pCommandItem As ICommandItem
Set pCommandItem = ThisDocument.CommandBars.Find(arcid.Editor_SketchTool)
pCommandItem.Execute

'Datenfenster und Inhaltsverzeichnis aktualisieren
pMXDoc.ActiveView.Refresh
pMXDoc.UpdateContents

End

Exit Sub

End Sub

#####
'   Geneigtes Dach
#####
Private Sub GeneigtesDach_Click()

Dim pEditor As IEditor
Dim pID As New UID
Dim pFeatureLayer As IFeatureLayer
Dim pDataset As IDataset
Dim pMap As IMap
Dim pMxDoc As IMxDocument
Dim pEditLayers As IEditLayers

Set pMxDoc = ThisDocument
Set pMap = pMxDoc.ActiveView
pID = "esriCore.Editor"
Set pEditor = Application.FindExtensionByCLSID(pID)

Set pFeatureLayer = pMap.Layer(2)
Set pDataset = pFeatureLayer.FeatureClass
pEditor.StartEditing pDataset.Workspace
Set pEditLayers = pEditor
pEditLayers.SetCurrentLayer pFeatureLayer, 0

Dim pCommandItem As ICommandItem
Set pCommandItem = ThisDocument.CommandBars.Find(arcid.Editor_SketchTool)
pCommandItem.Execute

pMXDoc.ActiveView.Refresh
pMXDoc.UpdateContents
```

---

---

End

Exit Sub

End Sub

```
'#####  
'      Gründach  
'#####  
Private Sub Gründach_Click()  
  
    Dim pEditor As IEditor  
    Dim pID As New UID  
    Dim pFeatureLayer As IFeatureLayer  
    Dim pDataset As IDataset  
    Dim pMap As IMap  
    Dim pMxDoc As IMxDocument  
    Dim pEditLayers As IEditLayers  
  
    Set pMxDoc = ThisDocument  
    Set pMap = pMxDoc.ActiveView  
    'Editor Object  
    pID = "esriCore.Editor"  
    Set pEditor = Application.FindExtensionByCLSID(pID)  
  
    'Sicherung der zuvor vorgenommenen Änderungen  
    If pEditor.EditState = esriStateEditing Then  
        If pEditor.HasEdits Then  
            Dim SaveEdits As Integer  
            SaveEdits = MsgBox("Änderungen speichern?", vbYesNoCancel, "Datenerfassung")  
            If SaveEdits = 2 Then  
                Exit Sub  
            ElseIf SaveEdits = 6 Then  
                pEditor.StopEditing (True)  
            Else  
                pEditor.StopEditing (False)  
            End If  
        End If  
    End If  
End If  
  
    ' Ziellayer setzen  
    Set pFeatureLayer = pMap.Layer(0)  
    'FeatureClass zur Bearbeitung öffnen  
    Set pDataset = pFeatureLayer.FeatureClass  
  
    'Editor starten  
    pEditor.StartEditing pDataset.Workspace
```

---

---

```
Set pEditLayers = pEditor
pEditLayers.SetCurrentLayer pFeatureLayer, 0

'SketchTool-Kommando ausführen
Dim pCommandItem As ICommandItem
Set pCommandItem = ThisDocument.CommandBars.Find(arcid.Editor_SketchTool)
pCommandItem.Execute

'Datenfenster und Inhaltsverzeichnis aktualisieren
pMXDoc.ActiveView.Refresh
pMXDoc.UpdateContents

End

Exit Sub

End Sub

#####
'   Mansarddach
#####
Private Sub Mansarddach_Click()

Dim pEditor As IEditor
Dim pID As New UID
Dim pFeatureLayer As IFeatureLayer
Dim pDataset As IDataset
Dim pMap As IMap
Dim pMXDoc As IMxDocument
Dim pEditLayers As IEditLayers

Set pMXDoc = ThisDocument
Set pMap = pMXDoc.ActiveView
pID = "esriCore.Editor"
Set pEditor = Application.FindExtensionByCLSID(pID)
If pEditor.EditState = esriStateEditing Then
    If pEditor.HasEdits Then
        Dim SaveEdits As Integer
        SaveEdits = MsgBox("Änderungen speichern?", vbYesNoCancel, "Datenerfassung")
        If SaveEdits = 2 Then
            Exit Sub
        ElseIf SaveEdits = 6 Then
            pEditor.StopEditing (True)
        Else
            pEditor.StopEditing (False)
        End If
    End If
End If
```



---

---

End If

```
Set pFeatureLayer = pMap.Layer(3)
Set pDataset = pFeatureLayer.FeatureClass
pEditor.StartEditing pDataset.Workspace
Set pEditLayers = pEditor
pEditLayers.SetCurrentLayer pFeatureLayer, 0
```

```
Dim pCommandItem As ICommandItem
Set pCommandItem = ThisDocument.CommandBars.Find(arcid.Editor_SketchTool)
pCommandItem.Execute
```

```
pMXDoc.ActiveView.Refresh
pMXDoc.UpdateContents
```

End

Exit Sub

End Sub

```
'#####
' Nichtklassifizierbar
'#####
Private Sub Nichtklassifizierbar_Click()
```

```
Dim pEditor As IEditor
Dim pID As New UID
Dim pFeatureLayer As IFeatureLayer
Dim pDataset As IDataset
Dim pMap As IMap
Dim pMxDoc As IMxDocument
Dim pEditLayers As IEditLayers
```

```
Set pMxDoc = ThisDocument
Set pMap = pMxDoc.ActiveView
pID = "esriCore.Editor"
Set pEditor = Application.FindExtensionByCLSID(pID)
```

```
If pEditor.EditState = esriStateEditing Then
    If pEditor.HasEdits Then
        Dim SaveEdits As Integer
        SaveEdits = MsgBox("Änderungen speichern?", vbYesNoCancel, "Datenerfassung")
        If SaveEdits = 2 Then
            Exit Sub
        ElseIf SaveEdits = 6 Then
```

---

---

```
        pEditor.StopEditing (True)
    Else
        pEditor.StopEditing (False)
    End If
End If
End If

Set pFeatureLayer = pMap.Layer(5)
Set pDataset = pFeatureLayer.FeatureClass
pEditor.StartEditing pDataset.Workspace
Set pEditLayers = pEditor
pEditLayers.SetCurrentLayer pFeatureLayer, 0

Dim pCommandItem As ICommandItem
Set pCommandItem = ThisDocument.CommandBars.Find(arcid.Editor_SketchTool)
pCommandItem.Execute

pMXDoc.ActiveView.Refresh
pMXDoc.UpdateContents

End

Exit Sub

End Sub

#####
' Restdach
#####
Private Sub Restdach_Click()

    Dim pEditor As IEditor
    Dim pID As New UID
    Dim pFeatureLayer As IFeatureLayer
    Dim pDataset As IDataset
    Dim pMap As IMap
    Dim pMxDoc As IMxDocument
    Dim pEditLayers As IEditLayers

    Set pMxDoc = ThisDocument
    Set pMap = pMxDoc.ActiveView
    'Editor Object
    pID = "esriCore.Editor"
    Set pEditor = Application.FindExtensionByCLSID(pID)
    MsgBox pEditor.EditState
```

---

```
'Sicherung der zuvor vorgenommenen Änderungen
If pEditor.EditState = esriStateEditing Then
  If pEditor.HasEdits Then
    Dim SaveEdits As Integer
    SaveEdits = MsgBox("Änderungen speichern?", vbYesNoCancel, "Datenerfassung")
    If SaveEdits = 2 Then
      Exit Sub
    ElseIf SaveEdits = 6 Then
      pEditor.StopEditing (True)
    Else
      pEditor.StopEditing (False)
    End If
  End If
End If

' Ziellayer setzen
Set pFeatureLayer = pMap.Layer(4)
'FeatureClass zur Bearbeitung öffnen
Set pDataset = pFeatureLayer.FeatureClass

'Editor starten
pEditor.StartEditing pDataset.Workspace
  'pEditor.StopEditing SaveChange
  'pEditor.StartOperation

Set pEditLayers = pEditor
pEditLayers.SetCurrentLayer pFeatureLayer, 0

'SketchTool-Kommando ausführen
Dim pCommandItem As ICommandItem
Set pCommandItem = ThisDocument.CommandBars.Find(arcid.Editor_SketchTool)
pCommandItem.Execute

'Datenfenster und Inhaltsverzeichnis aktualisieren
pMXDoc.ActiveView.Refresh
pMXDoc.UpdateContents

End

Exit Sub

End Sub
```

---

---

## *Anhang C - Subroutine für die Registerkarte „Statistik“ (Kapitel 4.1.1)*

```
Private Sub Statistik_Click()
```

```
Dim pMXDocument As IMxDocument  
Set pMXDocument = ThisDocument  
Dim pMap As IMap  
Set pMap = pMXDocument.FocusMap
```

```
Dim i As Integer  
For i = 0 To 5
```

```
    Dim pFLayer As IFeatureLayer  
    Set pFLayer = pMap.Layer(i)
```

```
    Dim pAllFeats As ISelectionSet  
    Set pAllFeats = pFLayer.FeatureClass.Select(Nothing, _  
        esriSelectionTypeIDSet, esriSelectionOptionNormal, Nothing)  
    Dim Matrix(5, 2) As Variant  
    Matrix(i, 0) = pFLayer.Name  
    Matrix(i, 1) = pAllFeats.Count
```

```
Next i
```

```
    Dim Gesamtanzahl As Integer  
    Gesamtanzahl = CInt(Matrix(0, 1)) + CInt(Matrix(1, 1)) + CInt(Matrix(2, 1)) +  
CInt(Matrix(3, 1)) + CInt(Matrix(4, 1)) + CInt(Matrix(5, 1))  
    Prozent = 100 / Gesamtanzahl  
    MsgBox Matrix(0, 0) & vbTab & vbTab & vbTab & Format(Matrix(0, 1), "#") & vbTab &  
Format((Matrix(0, 1) * Prozent), "0.00") & "%"  
    & vbCrLf & Matrix(1, 0) & vbTab & vbTab & Matrix(1, 1) & vbTab &  
Format((Matrix(1, 1) * Prozent), "0.00") & "%"  
    & vbCrLf & Matrix(2, 0) & vbTab & vbTab & Matrix(2, 1) & vbTab &  
Format((Matrix(2, 1) * Prozent), "0.00") & "%"  
    & vbCrLf & Matrix(3, 0) & vbTab & vbTab & Matrix(3, 1) & vbTab &  
Format((Matrix(3, 1) * Prozent), "0.00") & "%"  
    & vbCrLf & Matrix(4, 0) & vbTab & vbTab & Matrix(4, 1) & vbTab &  
Format((Matrix(4, 1) * Prozent), "0.00") & "%"  
    & vbCrLf & Matrix(5, 0) & vbTab & vbTab & Matrix(5, 1) & vbTab &  
Format((Matrix(5, 1) * Prozent), "0.00") & "%"  
    & vbCrLf & vbCrLf & "Gesamtanzahl" & vbTab & vbTab & Gesamtanzahl,  
vbInformation, "Statistik"
```

```
    pMXDocument.ActiveView.Refresh  
    pMXDocument.UpdateContents
```

```
Exit Sub  
End Sub
```