



Geoinformation

Vegetationshöhen - Weiterentwicklung und Anwendung des Bestimmungsverfahrens 2020

Informationssystem Stadt und Umwelt, Umweltatlas

Bestimmung von Vegetationshöhen in Berlin – Aktualisierung 2020

Auftraggeber:

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen
III D Geodateninfrastruktur, Umweltatlas
Fehrbelliner Platz 1
10707 Berlin

Manuel Döllefeld
Leilah Haag
Jörn Welsch

Auftragnehmer:

LUP - Luftbild Umwelt Planung GmbH
GF Gregor Weyer
Große Weinmeisterstraße 3a
14469 Potsdam

Stand: Dezember 2021

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage	5
2. Datengrundlagen	5
3. Methode und Arbeitsablauf zur Aktualisierung der Vegetationshöhen	6
3.1. Pre-Processing	7
3.2. Überwachte Klassifikation der CIR-True Orthophotos 2020	9
3.3. Aufbau der Regelbasis	9
3.4. Ableitung der Vegetationshöhen 2010 und 2020	11
3.5. Berechnung der Vegetationshöhen und -anteile auf Block(teil)flächen- und Straßenebene	11
4. Ergebnisse	13
4.1. Überwachte Klassifikation der True Orthophotos	13
4.2. Anwendung der Regelbasis	13
4.3. Ableitung der Vegetationshöhen 2010 und 2020	15
5. Diskussion	19
6. Fazit und Ausblick	21
7. Karten und Literatur	22

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Attribute, die im Rahmen der Aktualisierung der Vegetationshöhen an die Block(teil)flächen und Straßenabschnitte angefügt wurden	12
Tab. 2: Anteile der Veränderungskategorie in % bezogen auf die gesamte mit Vegetation bestandene Fläche in Berlin im Vergleichsjahr 2010 (Stand August 2020)	14

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Polygongrenzen der Vegetationshöhenfassung von 2010 (gelb), Hintergrund CIR-DOP 2010	6
Abb. 2: Fehlende Vegetationssegmente 2009/2010 im Bereich Grunewald in rot, erfasste Vegetationssegmente 2009/2010 in transparentem gelbgrün, Hintergrund CIR-DOP 2010.....	7
Abb. 3: Schema der nDOM-Berechnung: $DOM - DGM = nDOM$	8
Abb. 4: Beispiel für den NDVI.....	9
Abb. 5: Lage der Beispielgebiete für die Methodenentwicklung, Hintergrund TOP 2020.....	10
Abb. 6: Attribute der einzelnen Block- und Teilblockpolygone (Teilblockgrenzen in gelb, Hintergrund TOP 2020) .	12
Abb. 7: Ausschnitt TOP 2020 (oben), Klassifikationsergebnis (unten) im Bereich des Großen Tiergartens	13
Abb. 8: Ausschnitt des Veränderungsrasters im Bereich des Großen Tiergartens.....	14
Abb. 9: Ausschnitt der Vegetationshöhen 2010 (oben) und 2020 (unten) im Bereich des Landschaftsparks Johannisthal/Adlershof.....	15
Abb. 10: Anteile der Vegetationshöhen 2020 an der vegetationsbestandenen Gesamtfläche in Berlin.....	16
Abb. 11: Veränderung der Anteile der Vegetationsfläche an der Block(teil)fläche zwischen 2010 und 2020 in %	16
Abb. 12: Veränderung der Vegetationshöhe in Metern zwischen 2010 und 2020 auf Rasterebene	17
Abb. 13: Veränderung der Vegetationshöhe in Metern zwischen 2010 und 2020 auf Rasterebene im Detailausschnitt im Bereich Dolgenseestraße (oben CIR-DOP 2010, Mitte CIR-TOP 2020, unten Veränderungsraster), alle Veränderungen zwischen -2 m und +2 m sind transparent dargestellt.....	18
Abb. 14: Detailvergleich DOP 2010 (oben links) und nDOM 2009/2010 (oben rechts) mit TOP 2020 (unten links) und nDOM 2020 (unten rechts).....	19
Abb. 15: Detailvergleich nDOM 2009/2010 (links) mit nDOM 2020 (rechts) im Bereich von Innenhöfen.....	20
Abb. 16: Detailvergleich Verkippungseffekt CIR-DOP 2010 (links) mit CIR-TOP 2020 (rechts) überlagert mit ALKIS-Gebäudegrenzen (gelb).....	20
Abb. 17: Detailausschnitt Sportplatz mit Vegetationshöhen 2020 (Hintergrund TOP 2020).....	21

1. Ausgangslage

Im Rahmen des Projektes sollte, beauftragt durch die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (nachfolgend SenStadtWohn genannt), das 2013 durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelte Konzept [1] für eine automatisierte Extraktion von Vegetationsobjekten sowie deren Höhenattributierung weiterentwickelt und auf der Grundlage von Color-Infrarot-True Orthophotos (TOP) aus einer Sommerbefliegung von 2020 aktualisiert werden. Die Auswertung des DLR basierte auf Bildflugdaten aus den Jahren 2009 und 2010.

Alle Bildflüge wurden in der Sommerzeit durchgeführt, so dass die Belaubung der Baumkronen voll ausgeprägt war. Die Bilddaten wurden stereoskopisch aufgenommen, d.h. mit einer bestimmten Überlappung sowohl in Flugrichtung als auch quer zur Flugrichtung.

Aus der Korrelation der überlappenden Luftbilder wurde mit Hilfe eines Dense Image Matching Verfahrens (vgl. u.a. [2]) die Höheninformation (Digitales Oberflächenmodell – DOM) ermittelt und in Form eines gleichmäßigen Rasters abgeleitet. Des Weiteren fand die Bildaufnahme unter Einbeziehung der spektralen Information aus dem nahen Infrarot statt, so dass besonders die Lage und Größe von vegetationsbestandenen Flächen sichtbar werden. Grüne Vegetation verfügt im Gegensatz zu vielen anderen Objekten über ein Absorptionsmaximum im sichtbaren roten Licht und reflektiert sehr stark im nahen Infrarotbereich.

Da die aktuelle Auswertung ein Monitoring und damit den Vergleich zwischen 2010 und 2020 ermöglichen sollte, waren einige grundlegende Aspekte zu beachten. Die Bildflüge der beiden Zeitschnitte unterscheiden sich vor allem in der räumlichen Auflösung und der Längs- und Querüberlappung. Eine Auswertung der neuen Daten von 2020 kann deshalb zu einer Vielzahl von Pseudoveränderungen führen, die allein aufgrund der Datenunterschiede entstehen. Um dies zu verhindern und möglichst nur echte Änderungen zu erfassen, musste vorab anhand von ausgewählten Testgebieten die Methodenauswahl vertieft erprobt werden.

Ziel der Aktualisierung war es auch, für zukünftige Fortschreibungen eine weitgehend automatisierte Bestimmung zu ermöglichen. Methode und Verfahren auf diesem Wege werden im Nachfolgenden beschrieben.

2. Datengrundlagen

Als Datengrundlagen für die Aktualisierung der Vegetationshöhen 2020 wurden verwendet:

2020:

- Digitale Color-Infrarot-True-Orthophotos (TrueDOP20CIR), Befliegungen vom 01., 08., 12. und 16.08.2020, Bodenauflösung von 0,20 Meter bei einer Lagegenauigkeit von +/- 0,4 Meter, im Blattschnitt 2 km x 2 km, Format GeoTIFF, 8 Bit pro Kanal
- Bildbasiertes Oberflächenmodell (bDOM), erzeugt auf der Grundlage von Befliegungen vom 01., 08., 12. und 16.08.2020. Das Datenmodell liegt in Berlin in Form eines gleichmäßigen Gitters mit einer Rasterweite von einem Meter vor, Abgabe im Blattschnitt 2 km x 2 km; Höhenbezug: Deutsches Haupthöhennetz 2016 (DHHN2016)
- ATKIS DGM1 2021– Digitales Geländemodell, Befliegungen am 24.02., 25.02. und 02.03.2021
- Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS), Gebäude- und Bauwerkeebene, Stand 06.09.2021
- Baumbestand Berlin (Straßen- und Anlagenbäume), Stand 11.05.2021
- 3D-Gebäudemodelle im Level of Detail 2 (LoD 2), Stand 31.03.2021
- Blockkarte 1 : 5.000 des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU5) (Räumliches Bezugssystem für Daten des Umweltatlas mit Block- bzw. Blockteilflächen), Stand 31.12.2020

- **„Not-ALK-Gebäude“:** Im Rahmen der **„Bestimmung von Gebäude- und Vegetationshöhen in Berlin“** (DLR 2013) wurden ca. 73.000 Gebäude erfasst, die nicht Bestandteil der als Grundlage genutzten ALK (Stand Mai 2012) waren (**„Not-ALK-Gebäude“**)
- Open Street Map Gebäudedaten Stand 23.11.2021 (Geodaten © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA) [3]

2010:

- Bildbasiertes Oberflächenmodell (bDOM), Befliegungen vom 24.08.2009 und 23.09.2010 Rasterweite 1 Meter
- Digitale Color-Infrarot-Orthophotos (DOP20CIR), Befliegungen am 21.07. und am 21.08.2010, Bodenauflösung von 0,20 Meter bei einer Lagegenauigkeit von +/- 0,4 Meter, im Blattschnitt 2 km x 2 km, Format GeoTIFF, 8 Bit pro Kanal
- ALK-Gebäudebestand, Stand: 06.2012
- Blockkarte 1: 5.000 des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU5) (Räumliches Bezugssystem für Daten des Umweltatlas mit Block- bzw. Blockteilflächen), Stand 31.12.2010

3. Methode und Arbeitsablauf zur Aktualisierung der Vegetationshöhen

Die ursprüngliche Vegetationshöhenenerfassung der Bilddaten von 2009/2010 basierte auf einem objektbasierten Segmentierungsverfahren (realisiert mit der Software eCognition[®]) und resultierte in einer sehr großen Zahl von einzelnen Polygonen. Für die gesamte Fläche der Stadt Berlin ergaben sich 14 Millionen Einzelpolygone (vgl. Abbildung 1).

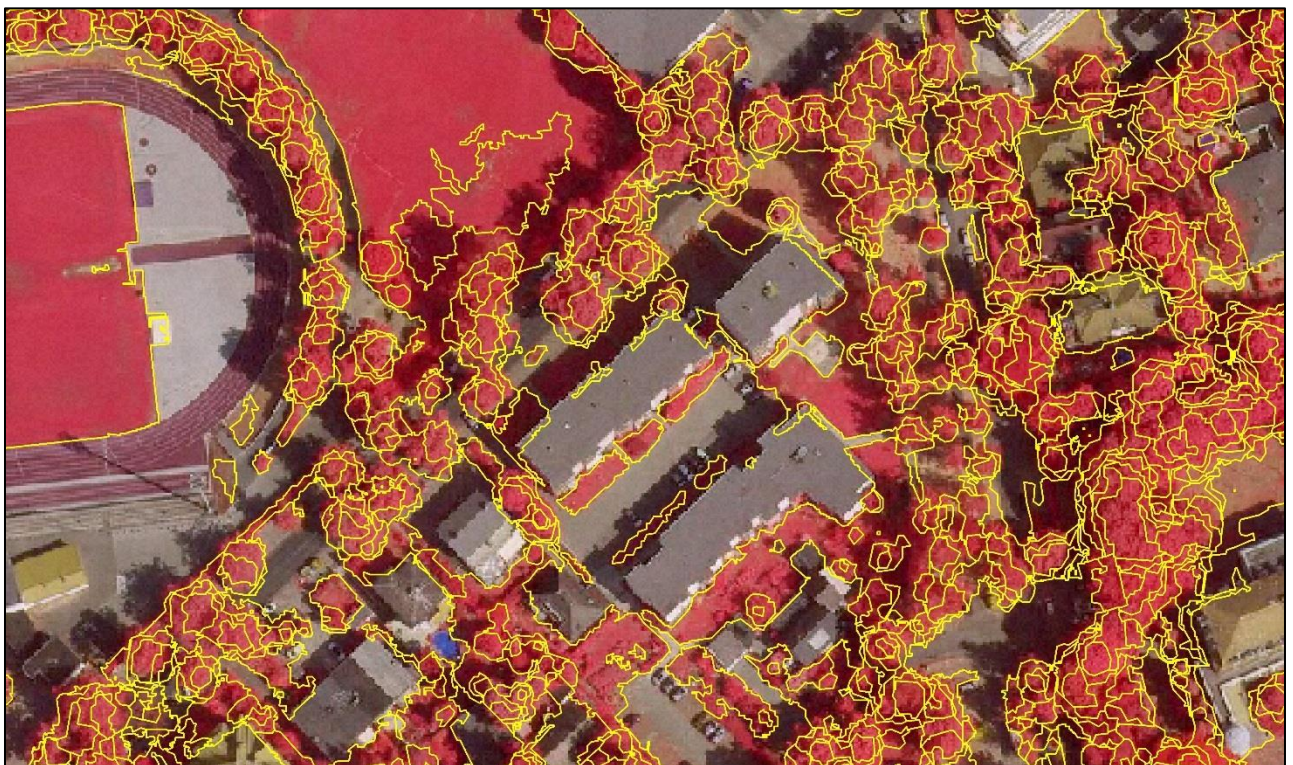


Abb. 1: Polygongrenzen der Vegetationshöhenenerfassung von 2010 (gelb), Hintergrund CIR-DOP 2010

Eine vektor-basierte Aktualisierung dieses Datensatzes hätte eine wesentliche Vergrößerung dieser Zahl ergeben, da allein aufgrund der unterschiedlichen räumlichen Auflösung der Bildflüge eine Vielzahl neuer Polygongrenzen entstanden wäre.

Des Weiteren gab es größere Bereiche, in denen die Auswertung von 2009/2010 Lücken aufwies (vgl. Abbildung 2).

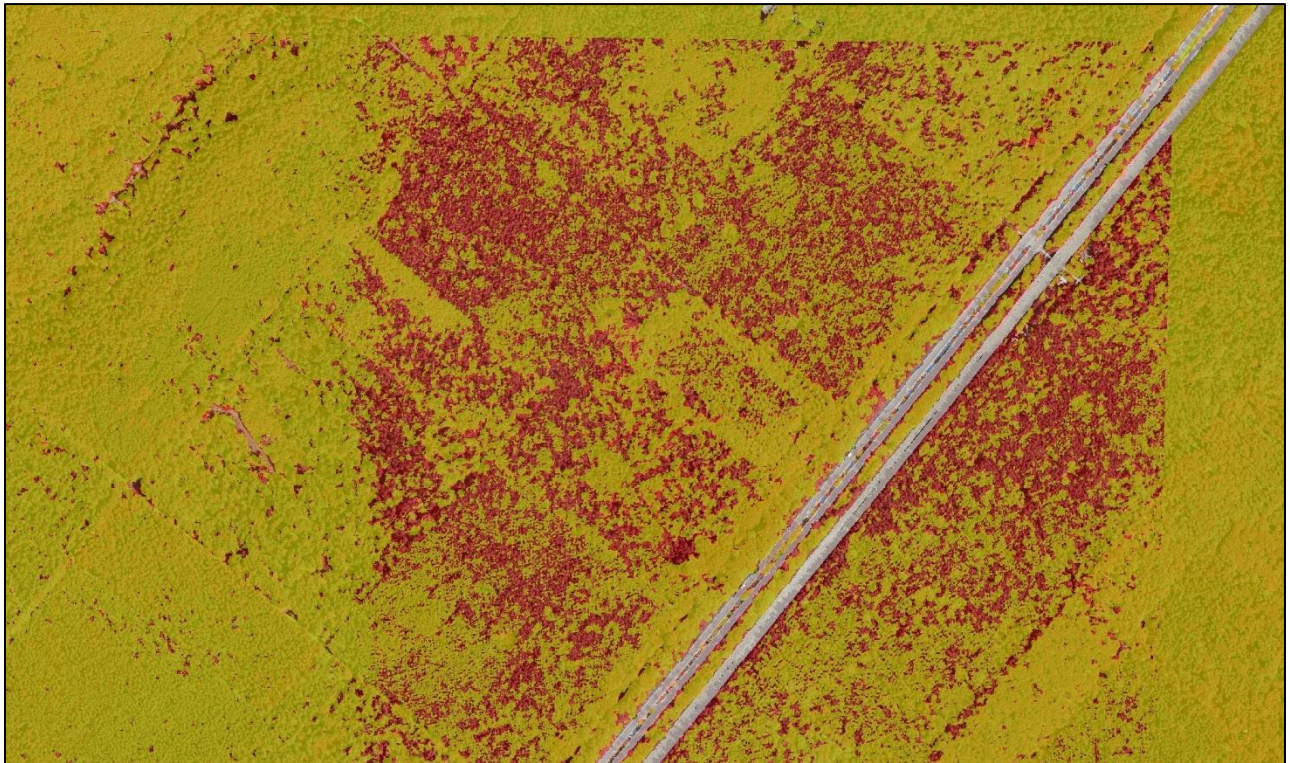


Abb. 2: Fehlende Vegetationssegmente 2009/2010 im Bereich Grunewald in rot, erfasste Vegetationssegmente 2009/2010 in transparentem gelbgrün, Hintergrund CIR-DOP 2010

Diese Lücken umfassten insgesamt ca. 11 % der Vegetationsfläche, was in einem einfachen Vergleich beider Zeitschnitte zu erheblichen Fehlern führen würde.

Aus diesen und weiteren Gründen wurde der gesamte Verfahrensablauf auf Rasterbasis umgestellt. Diese Umstellung bei gleichzeitiger Reduzierung der anfallenden Datenmenge vereinfacht auch ein zukünftiges Monitoring sowie die Visualisierung von Ergebnissen. Auf diese Weise konnte auch der Datensatz von 2010 neu klassifiziert und berechnet werden, so dass ein Vergleich ohne Methodenbruch möglich war und fehlerhafte Bereiche minimiert wurden. Zur Berechnung des Datensatzes von 2010 wurden wie oben aufgeführt bildbasierte digitale Oberflächenmodelle aus Befliegungen von 2009 und 2010 verwendet. Im vorliegenden Text wird dennoch für die Kartierung nur das Jahr 2010 als Referenzjahr angegeben, da die entscheidenden Datengrundlagen zur Berechnung des Vegetationsindex die Color-Infrarot-Orthophotos aus Befliegungen im Jahr 2010 darstellen.

3.1. Pre-Processing

Aus dem digitalen Oberflächenmodell (bDOM) musste die Geländehöhe (DGM) herausgerechnet werden, um die absoluten Vegetationshöhen zu erhalten. Dafür wurde die Differenz dieser beiden Datensätze erstellt. Somit ergab sich ein normalisiertes, digitales Oberflächenmodell (nDOM), das die Höhe der Oberfläche unabhängig von der Geländehöhe zeigt (vgl. Abbildung 3).

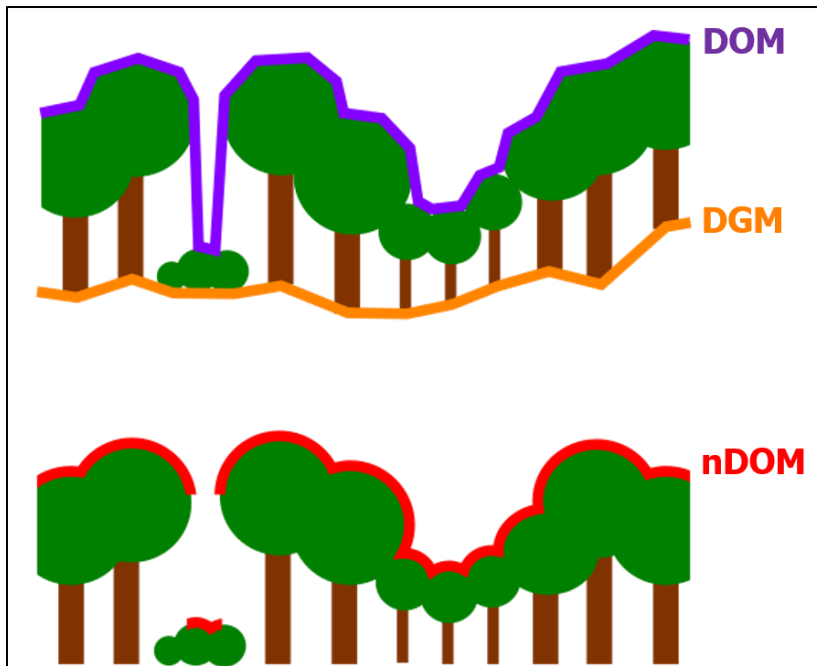


Abb. 3: Schema der nDOM-Berechnung: $DOM - DGM = nDOM$

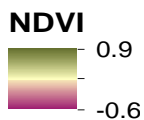
Des Weiteren wurden sowohl die CIR-DOP von 2010 als auch die CIR-TOP von 2020 in ein Bildmosaik zusammengefasst und der Normalisierte Differenzierte Vegetationsindex NDVI [4] berechnet. Dieser ergibt sich aus dem Quotienten der Differenz sowie der Summe des nahen Infrarotkanals mit dem sichtbaren roten Kanal:

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

Der NDVI kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen. Je größer der Wert, desto mehr grüne Vegetation ist vorhanden (vgl. Abb. 4).



Ausschnitt TrueOrthophoto 2020 in RGB-Darstellung (linke Bildhälfte: JVA Moabit)



Normalisierter Differenzierter Vegetationsindex NDVI (lila: keine Vegetation, grün: Vegetation)

Abb. 4: Beispiel für den NDVI

3.2. Überwachte Klassifikation der CIR-True Orthophotos 2020

Zur Abgrenzung der Vegetationsflächen von vegetationslosen Bereichen wurden die TOP von 2020 klassifiziert. Dafür mussten einige Trainingsflächen visuell am Bildschirm digitalisiert werden.

Die Klasseneinteilung bildet allgemeine verschiedene Landbedeckungskategorien ab: Flächen ohne Vegetation, niedrige Vegetation, hohe Vegetation. Aufgrund der langanhaltenden Sommertrockenheit 2020 waren große Bereiche mit niedriger Vegetation (v. a. Wiesenflächen) stark vertrocknet. Deshalb wurde eine zusätzliche Klasse: **„niedrige Vegetation vertrocknet“** eingefügt.

Anhand dieser Trainingsflächen konnte mit Hilfe eines Machine Learning Algorithmus (RandomForest vgl. [5]) eine überwachte Klassifikation des gesamten Bildmosaiks durchgeführt werden.

3.3. Aufbau der Regelbasis

Für die weitere Verfahrensentwicklung wurden fünf kleinere Beispielgebiete ausgewählt (vgl. Abb. 5). Diese Beispielgebiete erfüllten folgende Voraussetzungen:

- Verteilte Lage im Stadtgebiet mit unterschiedlicher Stadt- und Vegetationsstruktur:
 - o Heterogene innerstädtische Lage
 - o Waldfläche
 - o Übergang Wald zu Siedlung
 - o Übergang Wald zu Gewässer
 - o Landwirtschaftlich geprägte Struktur im Außenraum
- Abweichende Topographie.

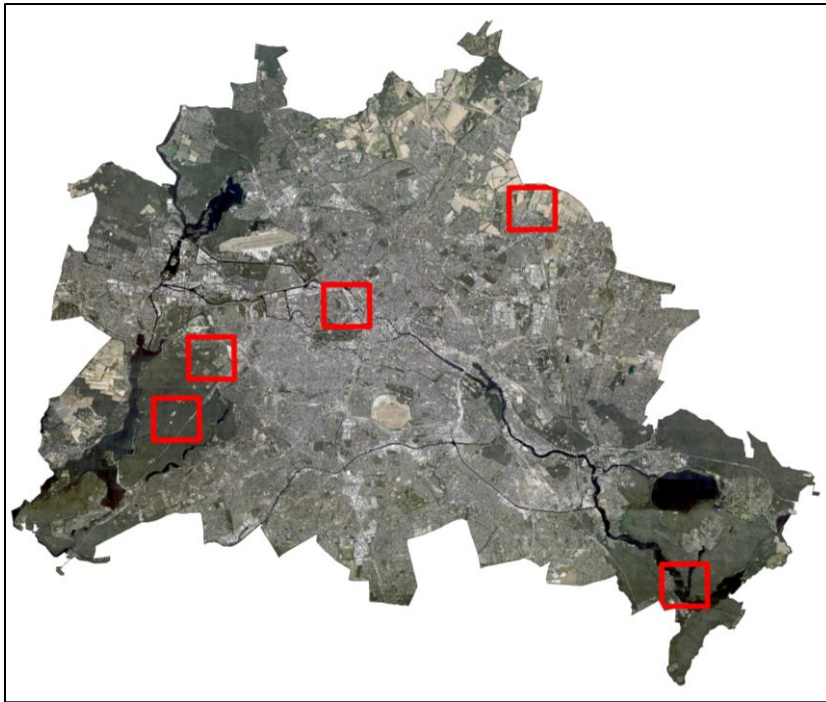


Abb. 5: Lage der Beispielgebiete für die Methodenentwicklung, Hintergrund TOP 2020

Zur möglichst fehlerlosen Analyse beider Datensätze wurde mit Hilfe der Beispielgebiete eine Regelbasis aufgestellt, die 5 Klassen umfasste. Diese Regeln wurden dazu verwendet, ein thematisches Veränderungsrastrer abzuleiten. Dies war notwendig, da die True Orthobilder der Befliegung von 2009 nicht verfügbar waren und somit keine direkte Neuklassifikation der alten Daten möglich war. Als Ersatz wurden stattdessen DOP und nDOM von 2010 sowie die vom DLR erstellten Vegetationssegmente von 2009/2010 verwendet, die im Folgenden als Erstausswertung bezeichnet werden.

Nachfolgend werden die einzelnen Regeln aufgeführt.

Klasse 1 (Vegetationssegmente fälschlicherweise 2009/2010 nicht erfasst, 2020 noch vorhanden)

Regel 1: NDVI 2010 > 0.15 UND

Regel 2: Kein Vegetationssegment in der Erstausswertung 2009/2010 vorhanden UND

Regel 3: Kein ALK- oder Nicht-ALK-Gebäude in der Erstausswertung

ODER

Regel 1: ISU5-Nutzung 2020 = Acker oder Grünland UND

Regel 2: Kein Vegetationssegment in der Erstausswertung 2009/2010 vorhanden UND

Regel 3: Klassifikation TOP2020 = „niedrige Vegetation“ oder „niedrige Vegetation, vertrocknet“

Klasse 2 (Vegetation 2010 und 2020 vorhanden)

Regel 1: NDVI 2020 >= 0.1 UND

Regel 2: Vegetationssegment in der Erstausswertung 2009/2010 vorhanden UND

Regel 3: Kein ALKIS- oder OSM-Gebäude 2021

ODER

Regel 1: ISU5-Nutzung 2020 = Acker oder Grünland UND

Regel 2: Vegetationssegment in der Erstausswertung 2009/2010 vorhanden UND

Regel 3: Klassifikation TOP2020 = „niedrige Vegetation“ oder „niedrige Vegetation, vertrocknet“

Klasse 3 (Vegetation 2010 vorhanden, 2020 keine Vegetation)

Regel 1: NDVI 2020 < 0.1 UND

Regel 2: Vegetationssegment in der Erstausswertung 2009/2010 vorhanden UND

Regel 3: Kein ALK- oder Nicht-ALK-Gebäude 2010

Klasse 4 (Vegetation 2020 erfasst, 2010 keine Vegetation)

Regel 1: NDVI 2020 \geq 0.1 UND

Regel 2: Kein Vegetationssegment in der Erstausswertung 2009/2010 vorhanden UND

Regel 3: Kein ALKIS- oder OSM-Gebäude 2021 UND

Regel 4: Klassifikation TOP2020 = alle Vegetationsklassen

Klasse 5 (Vegetationssegmente fehlen fälschlicherweise in der Erstausswertung 2009/2010, 2020 keine Vegetation)

Regel 1: Kein Vegetationssegment in der Erstausswertung 2009/2010 vorhanden UND

Regel 2: NDVI 2010 \geq 0.15 UND

Regel 3: ISU-Nutzung 2010 ist nicht gleich ISU-Nutzung 2020 UND

Regel 4: NDVI 2020 < 0.1

ODER

Regel 1: Kein Vegetationssegment in der Erstausswertung 2009/2010 vorhanden UND

Regel 2: NDVI 2010 \geq 0.15 UND

Regel 3: nDOM 2009/2010 < 1m UND

Regel 4: ALKIS- oder OSM-Gebäude 2021

3.4. Ableitung der Vegetationshöhen 2010 und 2020

Mit Hilfe des thematischen Veränderungsrasters wurden sowohl für 2010 als auch für 2020 die Vegetationshöhen aus dem jeweiligen nDOM in einer Rasterauflösung von 1 x 1 m² abgeleitet.

Für 2010 galt folgende Regel:

WENN Klasse 1, 2, 3 oder 5, DANN Vegetationshöhe aus nDOM 2010 ableiten

Für 2020 galt folgende Regel:

WENN Klasse 1, 2 oder 4, DANN Vegetationshöhe aus nDOM 2020 ableiten

Für alle Rasenflächen oder andere sehr niedrige Vegetation, die im nDOM keinen Höhenwert aufweisen, wird pauschal eine Vegetationshöhe von 0,1 m eingesetzt.

3.5. Berechnung der Vegetationshöhen und -anteile auf Block(teil)flächen- und Straßenebene

Für alle Block(teil)flächen und Straßenabschnitte der ISU5 von 2020 wurde mit Hilfe eines zonalen Analyseverfahrens (zonale Statistik) der Mittelwert, der Maximalwert, das Minimum und der Median der Vegetationshöhen aus beiden Vegetationshöhenrastern berechnet. Des Weiteren wurde für beide Zeitpunkte der prozentuale Anteil der vegetationsbestandenen Fläche innerhalb eines Blockes bzw. eines Teilblockes ermittelt (vgl. Abb. 6 und Tab. 1).

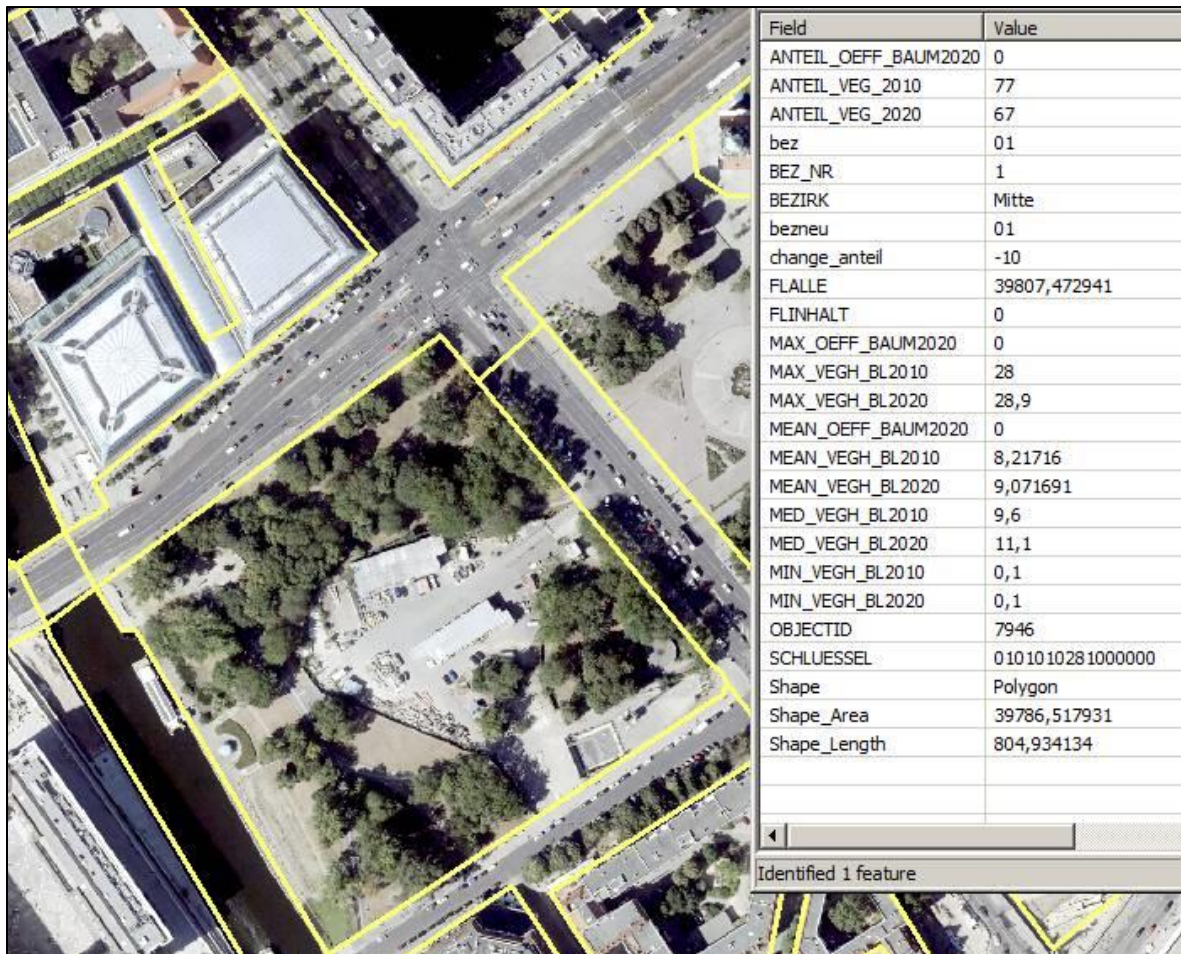


Abb. 6: Attribute der einzelnen Block- und Teilblockpolygone (Teilblockgrenzen in gelb, Hintergrund TOP 2020)

Tab. 1: Attribute, die im Rahmen der Aktualisierung der Vegetationshöhen an die Block(teil)flächen und Straßenabschnitte angefügt wurden

Attributbezeichnung	Erklärung
ANTEIL_OEFF_BAUM2020	Anteil der Fläche des Straßenabschnittes in %, der Bäume des Baumkatasters enthält
ANTEIL_VEG_2010	Anteil der Fläche der Block(teil)fläche in %, der von Vegetation bedeckt ist (2010)
ANTEIL_VEG_2020	Anteil der Fläche der Block(teil)fläche in %, der von Vegetation bedeckt ist (2020)
change_anteil	Änderung der o.g. Anteile zwischen 2010 und 2020 (2010 minus 2020)
MAX_OEFF_BAUM2020	Maximale Höhe (m) der Bäume des Baumkatasters innerhalb eines Straßenabschnittes
MAX_VEGH_BL2010	Maximale Höhe (m) der Vegetation innerhalb einer Block(teil)fläche (2010)
MAX_VEGH_BL2020	Maximale Höhe (m) der Vegetation innerhalb einer Block(teil)fläche (2020)
MEAN_OEFF_BAUM2020	Durchschnittliche Höhe (m) der Bäume des Baumkatasters innerhalb eines Straßenabschnittes
MEAN_VEGH_BL2010	Durchschnittliche Höhe (m) der Vegetation innerhalb einer Block(teil)fläche (2010)
MEAN_VEGH_BL2020	Durchschnittliche Höhe (m) der Vegetation innerhalb einer Block(teil)fläche (2020)
MED_VEGH_BL2010	Median der Höhe (m) der Vegetation innerhalb einer Block(teil)fläche (2010)
MED_VEGH_BL2020	Median der Höhe (m) der Vegetation innerhalb einer Block(teil)fläche (2020)
MIN_VEGH_BL2010	Minimale Höhe (m) der Vegetation innerhalb einer Block(teil)fläche (2010)
MIN_VEGH_BL2020	Minimale Höhe (m) der Vegetation innerhalb einer Block(teil)fläche (2020)

4. Ergebnisse

4.1. Überwachte Klassifikation der True Orthophotos

Die Klassifikation wurde für das gesamte Bildmosaik der TOP 2020 durchgeführt. In Abb. 7 ist ein Ausschnitt im Bereich des Großen Tiergartens dargestellt.



Abb. 7: Ausschnitt TOP 2020 (oben), Klassifikationsergebnis (unten) im Bereich des Großen Tiergartens

4.2. Anwendung der Regelbasis

Die Regelbasis wurde auf das gesamte Gebiet von Berlin angewendet. In Abbildung 8 ist ein Ausschnitt im Bereich des Großen Tiergartens dargestellt.



Abb. 8: Ausschnitt des Veränderungsrasters im Bereich des Großen Tiergartens

Klasse 1: Vegetation in der Erstausswertung 2009/2010 nicht erfasst, 2020 noch vorhanden; Klasse 2: Vegetation 2010 und 2020 vorhanden; Klasse 3: Vegetation 2010 vorhanden, 2020 keine Vegetation; Klasse 4: Vegetation 2020 erfasst, 2010 keine Vegetation; Klasse 5: Vegetation in der Erstausswertung 2009/2010 nicht erfasst, 2020 keine Vegetation

Die Summe der Vegetationsfläche beträgt im Jahr 2020 im gesamten Stadtgebiet 56.259 ha. Dies entspricht 95,5 % der noch im Jahr 2010 vorhandenen Summe der Vegetationsfläche von 58.907 ha (vgl. Tab. 2).

Tab. 2: Anteile der Veränderungskategorie in % bezogen auf die gesamte mit Vegetation bestandene Fläche in Berlin im Vergleichsjahr 2010 (Stand August 2020)

Summe unveränderter Vegetationsflächen zwischen 2010 und 2020 (Klassen 1, 2)	55.333 ha	93,9 %
Vegetationsfläche 2020 neu (Klasse 4)	926 ha	1,6 %
Summe Vegetationsflächen-Verlust zwischen 2010 und 2020 (Klassen 3, 5)	3.574 ha	6,1 %
Summe der Vegetationsflächen 2020 (Klassen 1, 2, 4)	56.259 ha	95,5 %
Summe der Vegetationsflächen 2010 (Klasse 1, 2, 3, 5)	58.907 ha	100 %

Klasse 1: Vegetation in der Erstausswertung 2009/2010 nicht erfasst, 2020 noch vorhanden; Klasse 2: Vegetation 2010 und 2020 vorhanden; Klasse 3: Vegetation 2010 vorhanden, 2020 keine Vegetation; Klasse 4: Vegetation 2020 erfasst, 2010 keine Vegetation; Klasse 5: Vegetation in der Erstausswertung 2009/2010 nicht erfasst, 2020 keine Vegetation

In der Bilanz bedeutet dies, dass die mit Vegetation bestandene Gesamtfläche in Berlin von 2010 bis 2020 um 2.648 ha gesunken ist. Dieser Wert setzt sich zusammen aus 3.574 ha (6,1 %) Verlust an 2010 noch existierenden Vegetationsflächen gegenüber einem Gewinn von 926 ha (1,6%) auf Flächen, die 2010 noch nicht vegetationsbestanden waren. Der Gesamtverlust an nicht mehr vorhandenen Vegetationsflächen entspricht ungefähr der 12-fachen Größe des Großen Tiergartens, stellt also eine relevante Größenordnung dar.

93,9 % der im Vergleichsjahr 2010 mit Vegetation bestandenen Fläche sind auch im Jahr 2020 als Vegetationsfläche vorhanden. Dies entspricht einer unveränderten Vegetationsfläche von 55.333 ha.

4.3. Ableitung der Vegetationshöhen 2010 und 2020

Die Vegetationshöhen wurden für beide Zeitpunkte flächendeckend abgeleitet. In Abbildung 9 ist ein Ausschnitt im Bereich des Landschaftsparks Johannisthal/Adlershof sowohl für 2010 als auch 2020 dargestellt.



Abb. 9: Ausschnitt der Vegetationshöhen 2010 (oben) und 2020 (unten) im Bereich des Landschaftsparks Johannisthal/Adlershof

Die Anteile bestimmter Vegetationshöhengruppen an der vegetationsbestandenen Gesamtfläche haben sich zwischen 2010 und 2020 kaum verändert. In Abbildung 10 ist die Verteilung für 2020 dargestellt. Mehr als ein Drittel der Fläche wird von niedriger Vegetation < 1m eingenommen.

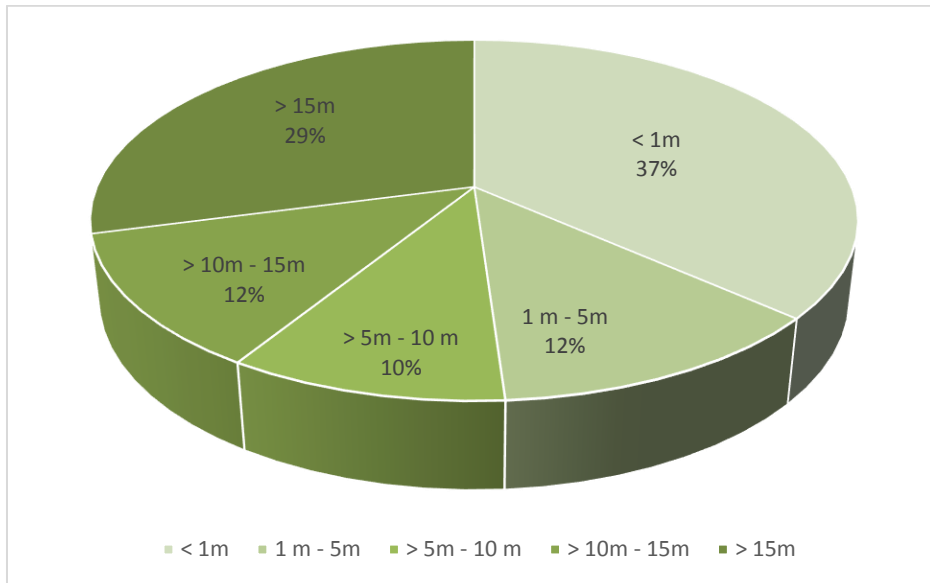


Abb. 10: Anteile der Vegetationshöhen 2020 an der vegetationsbestandenen Gesamtfläche in Berlin

Betrachtet man die Veränderung des Vegetationsflächenanteils auf Teilblockebene so sind Flächen mit erhöhter Bautätigkeit und Innenverdichtung gut zu erkennen (Abbildung 11). Diese Flächen sind über das gesamte Stadtgebiet verteilt.

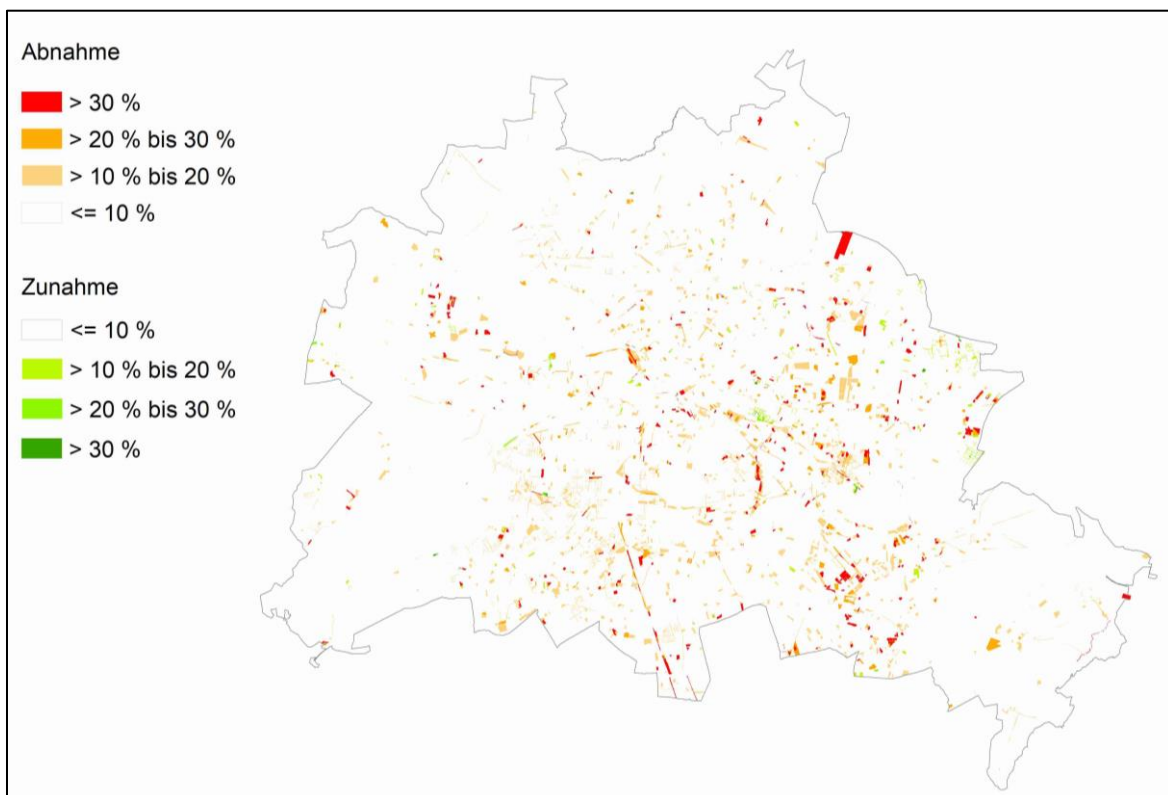


Abb. 11: Veränderung der Anteile der Vegetationsfläche an der Block(teil)fläche zwischen 2010 und 2020 in %

Betrachtet man die Veränderung der Vegetationshöhe auf Rasterebene (vgl. Abbildung 12), so fällt auf, dass es größere Abnahmen an Vegetationshöhe auch in den Waldbereichen gab. Eine einfache Schlussfolgerung bezüglich der Ursachen ist jedoch nicht möglich. Vielmehr kann davon ausgegangen werden, dass es sich um ein

paralleles Wirken verschiedener Einflüsse handelt, zum einen dem Absterben ausgewachsener Bäume in Folge der Trockensommer, zum anderen aber auch den Folgen menschlicher Aktivitäten durch die Holznutzung und den Auswirkungen durch das Mischwaldprogramm der Berliner Forsten zur Erzeugung widerstandsfähiger und artenreicher Wälder.

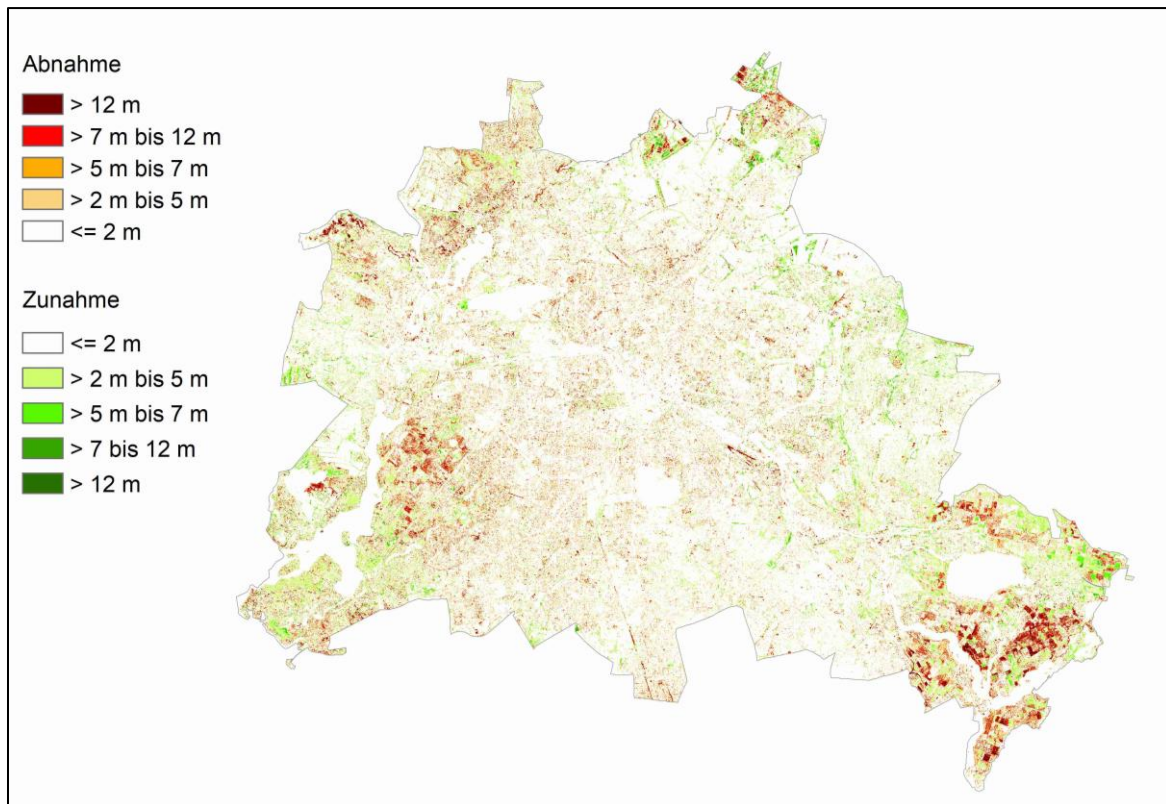


Abb. 12: Veränderung der Vegetationshöhe in Metern zwischen 2010 und 2020 auf Rasterebene

Da die Rasterebene eine Betrachtung auf 1x1 m² Pixeln erlaubt, sind auch Veränderungen auf Einzelbaumebene nachvollziehbar (vgl. Abbildung 13).

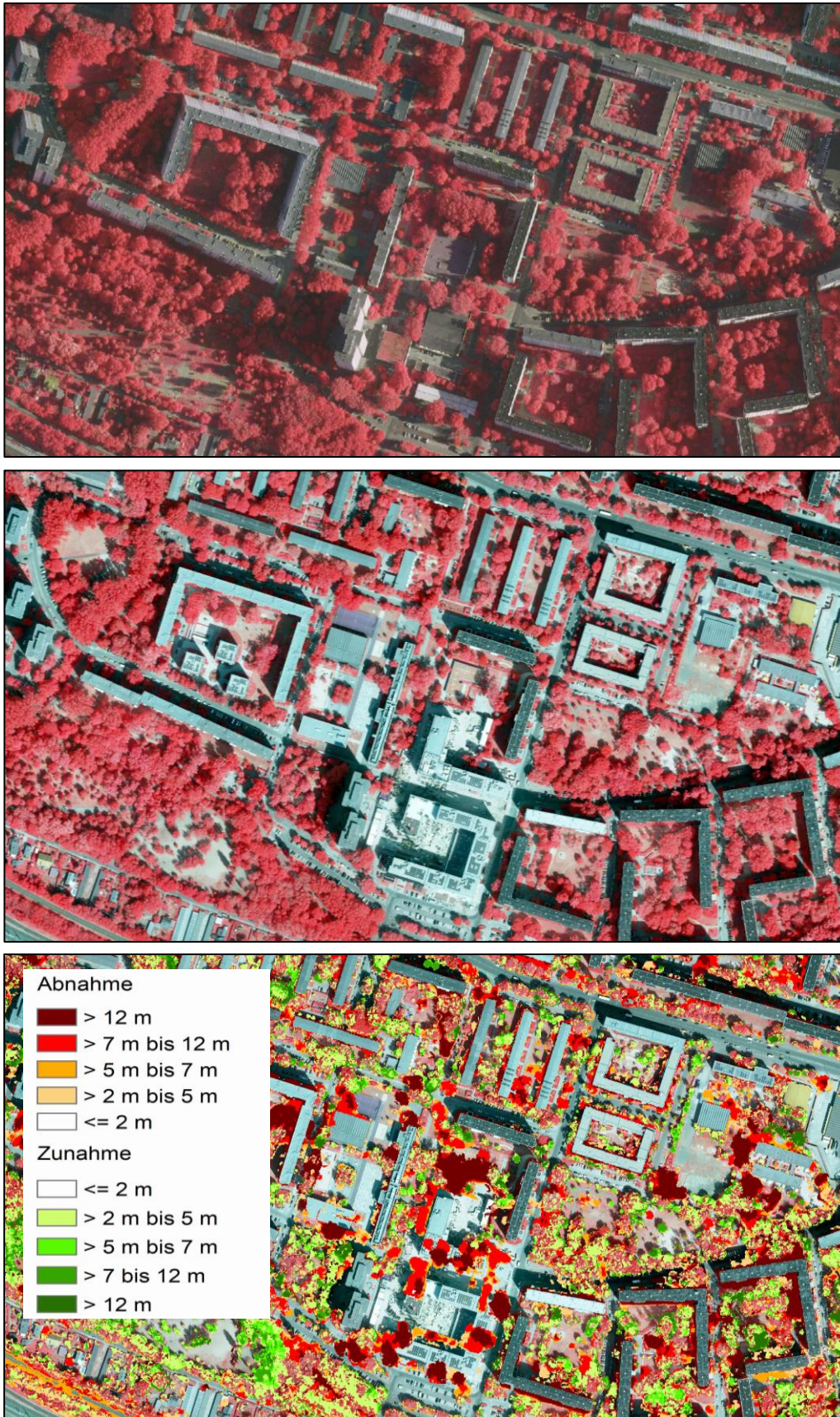


Abb. 13: Veränderung der Vegetationshöhe in Metern zwischen 2010 und 2020 auf Rasterebene im Detailausschnitt im Bereich Dolgenseestraße (oben CIR-DOP 2010, Mitte CIR-TOP 2020, unten Veränderungs raster), alle Veränderungen zwischen -2 m und +2 m sind transparent dargestellt

5. Diskussion

Die Erfassung der Vegetationshöhen konnte für beide Zeitpunkte mit hoher Genauigkeit erfolgen. Dennoch gibt es Fehlerquellen, die an einigen Stellen zu Unsicherheiten oder Fehlinterpretationen führen können. Besonders die unterschiedliche räumliche Auflösung und Überdeckung der Bildflüge führt zu Unterschieden in der Ableitung der digitalen Oberflächenmodelle. Der Datensatz von 2010 hatte eine geringere Qualität, so dass Pseudoveränderungen vorkommen können. Diesem Problem wurde durch die Darstellung in weiß bzw. transparent von Änderungen im Bereich $\pm 10\%$ bzw. $\pm 2\text{ m}$ begegnet. In Abbildung 14 ist der Unterschied in der Qualität der nDOM gut an den abgerundeten Ecken im nDOM von 2009/2010 zu erkennen.

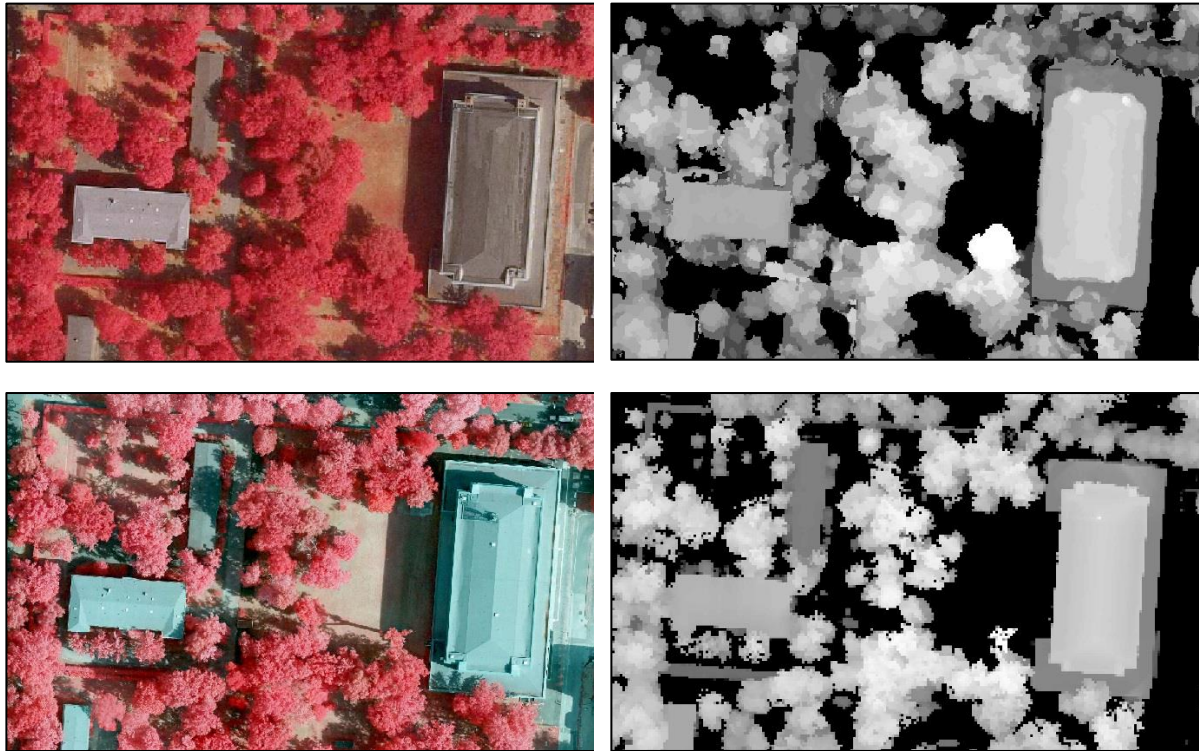


Abb. 14: Detailvergleich DOP 2010 (oben links) und nDOM 2009/2010 (oben rechts) mit TOP 2020 (unten links) und nDOM 2020 (unten rechts)

In Abbildung 15 ist ein weiteres Problem des Qualitätsunterschiedes in der Erfassung von Innenhöfen zu erkennen, das nDOM2009/2010 ist nicht detailliert genug, um diese exakt darzustellen.

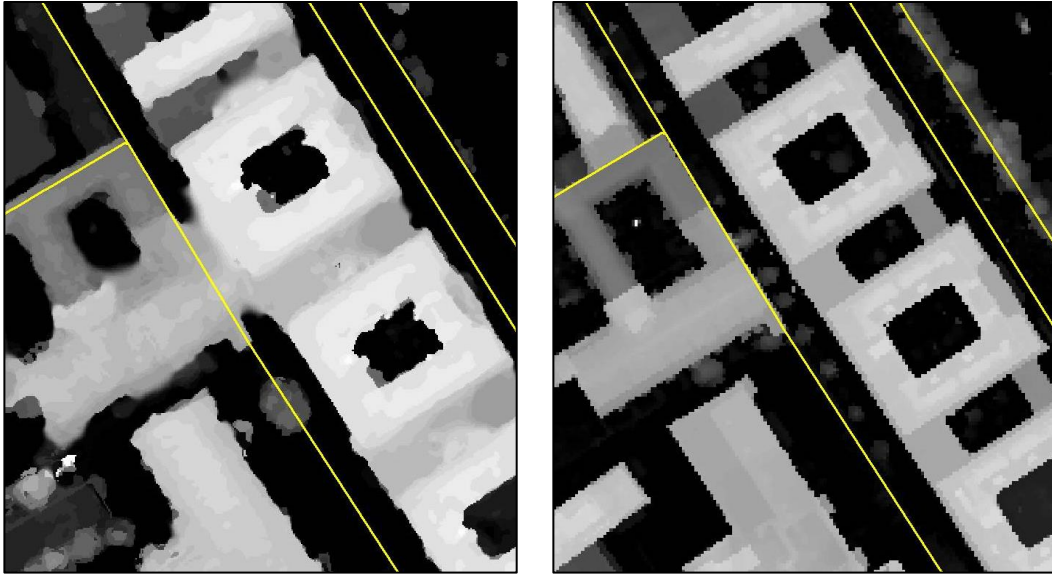


Abb. 15: Detailvergleich nDOM 2009/2010 (links) mit nDOM 2020 (rechts) im Bereich von Innenhöfen

Besonders in Bereichen mit starkem Schattenwurf durch angrenzende Gebäude kam es im DOM von 2009/2010 zu Fehlern, da im Zuge des automatisierten Matchingverfahrens nicht genügend passende Punkte gefunden werden konnten. Die höhere Überlappung bei der Befliegung 2020 verhinderte solche Probleme.

Auch die Tatsache, dass 2010 für die Sommerbefliegungen der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung keine True Orthofotos erfasst wurden und es somit zu starken Verkippungseffekten bei hohen Gebäuden kommen kann (vgl. Abbildung 16), führte bei der Neuklassifikation der 2010er Vegetationsdaten auf Rasterbasis zu Fehlern in der Vegetationshöhenenerfassung.



Abb. 16: Detailvergleich Verkippungseffekt CIR-DOP 2010 (links) mit CIR-TOP 2020 (rechts) überlagert mit ALKIS-Gebäudegrenzen (gelb)

An einigen wenigen Stellen sind Probleme bei der Klassifikation von Sportplätzen mit Kunststoffbelägen aufgetreten (vgl. Abbildung 17), die jedoch in der Änderungsbilanz nicht ins Gewicht fallen, da die Fehlklassifikationen zu beiden Zeitpunkten an gleicher Stelle auftreten.



Abb. 17: Detailausschnitt Sportplatz mit Vegetationshöhen 2020 (Hintergrund TOP 2020)

Da die Gebäudedaten aus ALKIS bzw. die OSM-Daten ohne Prüfung und Veränderung übernommen wurden, sind auch Fehler aufgrund dieser Datenquellen möglich (z.B. Gebäude zu groß oder zu klein abgegrenzt).

6. Fazit und Ausblick

Das entwickelte Verfahren erlaubt einen aussagekräftigen Vergleich der Vegetationsentwicklung in den letzten zehn Jahren. Der Verlust an Vegetation sowohl im Flächenanteil als auch in der Höhe kann gut nachvollzogen und bilanziert werden. Verschiedene Ursachen wie Neubau, Straßensanierung und Innenverdichtung haben zu Einbußen im Bestand des urbanen Grüns 2010 geführt, die in der Summe nach dieser Untersuchung etwa 3.570 ha ausmachen. Die langanhaltende Sommertrockenheit der letzten Jahre hat zu einem größeren Verlust an Bäumen in den Wald- und Parkflächen Berlins geführt. Auf einen deutlich geringeren Anteil von etwa 930 ha beläuft sich der Zuwachs an vegetationsbedeckter Fläche im Vergleich 2020 zu 2010 (vgl. Tab. 2). Der Netto-Verlust im Vergleich 2010 zu 2020 an urbanem Grün in Berlin liegt somit bei rund 2.640 ha.

Die Umstellung des Verfahrens auf Rasterebene sowie die zukünftig ausschließliche Verwendung von TrueOrthophotos ermöglicht in den kommenden Jahren ein belastbares und aussagekräftiges Monitoring und erleichtert die Darstellung und Bilanzierung.

7. Karten und Literatur

Literatur

[1] DLR, 2013: Bestimmung von Gebäude- und Vegetationshöhen in Berlin, Ergebnisdokumentation.

Internet:

https://berlin.de/umweltatlas/assets/literatur/0610_ausgabe2014_endbericht_gebaeude_vegetationshoehen_berlin.pdf

(Zugriff am: 01.11.2021)

[2] Hirschmüller, H. (2008): **“Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information”**, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume 30(2), February 2008, pp. 328-341.

[3] Rouse, J.W, Haas, R.H., Scheel, J.A., and Deering, D.W. (1974) 'Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS.' Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium, vol. 1, p. 48-62.

[4] Breiman L., Random forests. In: Machine Learning, 2001, 45(1), Seiten 5–32, doi: 10.1023/A:1010933404324

Karten

[5] DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR e.V.) (Hsg.) 2013: Bestimmung von Gebäude- und Vegetationshöhen in Berlin, Teilergebnis Digitales Oberflächenmodell (DOM) 2009/2010, im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin; unveröffentlicht.

[6] Open Street Map 2021:

Gebäudedaten.

Internet:

<https://download.geofabrik.de/europe/germany/berlin.html>

[7] SenStadtWohn (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin) (Hrsg.) 2020:

Digitale farbige True-Orthophotos 2020 (TrueDOP2020RGB) - Sommerbefliegung.

Internet:

https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=showMap&mapId=k_luftbild2020_true_rgb@senstadt

[8] SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2011a:

Digitale farbige Orthophotos 2010 (RGB-DOPs), Differentialentzerrung, Darstellung im Blattschnitt der Karte von Berlin 1:1.000 (K1) als Rasterdaten im Dateiformat ECW.

Internet:

https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=showMap&mapId=k_luftbild2010_rgb@senstadt

[9] SenStadtWohn (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin) (Hrsg.) 2019:

3D-Gebäudemodell im Level of Detail 2 (LoD 2) Stand 01.03.2019, Berlin.

Internet:

<https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=showMap&mapId=lod2@senstadt>

[10] SenStadtWohn (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin) (Hrsg.) 2020a:

Daten des Informationssystems Stadt und Umwelt– Raumbezug ISU5, Stand 31.12.2020, Berlin.

Internet:

https://fbinter.stadt-berlin.de/fb_daten/beschreibung/umweltatlas/Daten_des_ISU2020.pdf

[11] SenStadtWohn (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin) (Hrsg.) 2020b:

Umweltatlas Berlin, Karte „Grün- und Freiflächenbestand“ (06.02), Berlin.

Internet:

<https://www.berlin.de/umweltatlas/nutzung/flaechennutzung/2020/zusammenfassung/>

[12] SenStadtWohn (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin) (Hrsg.) 2021a: ALKIS Berlin (Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem), Stand 06.09.2021.

Internet:

https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=showMap&mapId=wmsk_alkis@senstadt

[13] SenStadtWohn (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin) (Hrsg.) 2021b: Baumbestand Berlin, Stand 11.05.2021.

Internet:

https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=showMap&mapId=k_wfs_baumbestand@senstadt

[14] SenStadtWohn (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin) (Hrsg.) 2021c: ATKIS DGM1 2021 – Digitales Geländemodell, Befliegungen am 24.02., 25.02. und 02.03.2021, Stand 13.07.2021. Internet:

https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=showMap&mapId=k_dgm1@senstadt

[15] SenStadtWohn (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin) (Hrsg.) 2021d: bDOM – bildbasiertes Digitales Oberflächenmodell (Stand 14.12.2020). Internet:

https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=showMap&mapId=k_dom@senstadt

[16] SenStadtWohn (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin) (Hrsg.) 2021e: Umweltatlas Berlin, Karte „Freiflächenentwicklung“ (06.03), Berlin.

Internet:

<https://www.berlin.de/umweltatlas/nutzung/freiflaechenentwicklung/fortlaufend-aktualisiert/zusammenfassung/>

[17] SenStadtWohn (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin) (Hrsg.) 2022: Umweltatlas Berlin, Karte „Vegetationshöhen“ (06.10.2), Berlin.

Internet:

<https://www.berlin.de/umweltatlas/biotope/vegetationshoehen/>