

Betreff:

Ergebnisse einer wissenschaftlichen Studie zur Veränderung der Baumüberschirmung in der Stadt Braunschweig zwischen 2011 und 2019

Organisationseinheit:

Dezernat VIII
67 Fachbereich Stadtgrün und Sport

Datum:

28.11.2023

Beratungsfolge

Umwelt- und Grünflächenausschuss (zur Kenntnis)

Sitzungstermin

01.12.2023

Status

Ö

Sachverhalt:

Der Fachbereich Stadtgrün und Sport hat eine wissenschaftliche Studie zur Veränderung der Baumüberschirmung zwischen 2011 und 2019 bei der TU Braunschweig, Institut für Geoökologie, Abteilung Landschaftsökologie & Umweltsystemanalyse in Auftrag gegeben.

In dem als Anlage beigefügten Endbericht werden die Vorgehensweise geschildert, Ergebnisse beschrieben und Vorschläge für ein zukünftiges Monitoring gegeben.

Ungefähr 23 % der Stadtfläche Braunschweigs (4.430 ha) waren im Jahr 2019 mit Bäumen beschirmt. Für das Jahr 2011 konnten 19 % Baumüberschirmung (3648 ha) festgestellt werden. Aufgrund unterschiedlicher Datenbeschaffenheit muss bei der Baumüberschirmung von 2011 mit einer Unterschätzung von ca. 6 % (von 19%, somit 20,14%) gerechnet werden. Auch unter Einbeziehung dieses Faktors ist der Trend in der Baumbeschirmung innerhalb der Stadtfläche positiv.

Eine Analyse auf Stadtbezirksebene und der Ebene der statistischen Bezirke ergab geringe bis keine Zuwächse in der Stadtmitte und zum Teil kräftige Zuwächse in manchen Außenbezirken.

Durch eine räumliche Analyse in einem 500 m x 500 m Raster konnte nach Ursachen für lokale Verluste gesucht werden. Grund waren oftmals Baumaßnahmen, bspw. bei St. Leonard oder am Langen Kamp.

Auch in einigen Waldgebieten gab es Verluste, mutmaßlich durch abgestorbene und gefällte Koniferen. Insgesamt hat die Baumüberschirmung in den Waldgebieten zugenommen. Dort haben Baumkronen vorhandene Lücken geschlossen und Aufforstungen sind gewachsen. Auch innerhalb der Ortslage gab es z.B. auf nicht mehr genutzten Bahnflächen große Zuwächse. Auch in der Weststadt und im Westpark sowie an Schunter und Oker im Norden der Stadt gab es Zuwächse.

Um ein Monitoring in Zukunft zu erleichtern, sollten Laserscan- und Luftbildbefliegungen in zeitlicher Nähe durchgeführt und die Luftbilder in der Vegetationsperiode aufgenommen werden.

Herlitschke

Anlage/n:

Endbericht Baumüberschirmung Stadt Braunschweig zwischen 2011 und 2019

An aerial map of a city area, likely Berlin, showing a dense urban layout. A prominent blue river, the Spree, flows through the center of the image. The map is overlaid with numerous green circular symbols of varying sizes, representing trees. These symbols are concentrated along the riverbanks and in various urban spaces. The buildings are depicted in a light gray, semi-transparent style, allowing the green symbols to be seen underneath. The overall image serves as a background for a report on tree canopy and its changes over time.

Baumüberschirmung 2019 und Veränderung seit 2011 Endbericht

Baumüberschirmung 2019 und Veränderung seit 2011 Endbericht

Auftraggeber:

Stadt Braunschweig
Umwelt-, Stadtgrün-, Sport- und Hochbaudezernat
Fachbereich Stadtgrün und Sport (FB 67)
Willy-Brandt-Platz 13
38102 Braunschweig

Auftragnehmer:

Technische Universität Braunschweig
Institut für Geoökologie
Abteilung für Landschaftsökologie und Umweltsystemanalyse
Langer Kamp 19c
38106 Braunschweig

Bearbeitung: Dr. Michael Strohbach, Thorsten Pietruschka

Braunschweig, 22.11.2023

Inhalt

1	Zusammenfassung.....	5
2	Hintergrund	6
2.1	Grüne Infrastruktur und Stadtbäume	6
2.2	Baumüberschirmung	6
2.3	Ziele und Inhalt des Berichts	7
3	Material und Methoden	7
3.1	Datengrundlage	7
3.2	Vegetationsklassifikation der Luftbilder.....	8
3.3	Berechnung des Oberflächenmodells und der Nettohöhen	8
3.4	Kombination der Nettohöhen mit der Vegetationsklassifikation und Nachprozessierung ..	10
3.5	Abschätzung der Anzahl der Baumkronen in Braunschweig.....	13
3.6	Verschneidung mit Verwaltungsgrenzen, dem Digitalen Landschaftsmodell und einem 500 m Vektorraster	13
4	Ergebnisse und Diskussion	14
4.1	Baumüberschirmung im Stadtgebiet.....	14
4.2	Baumüberschirmung in den Stadtbezirken und in den statistischen Bezirken.....	16
4.3	Räumliche Aspekte der Veränderung der Baumüberschirmung	19
4.4	Abschätzung der Gesamtzahl von Bäumen in Braunschweig	23
5	Ausblick	23

1 Zusammenfassung

In Hinblick auf den Beitrag von Stadtgrün und insbesondere von Bäumen für die Anpassung an den Klimawandel sind genaue Informationen zum Zustand der Bäume wichtig. Dabei sind Zustand und Trends der Baumüberschirmung sinnvolle Indikatoren für Ökosystemleistungen in der Stadt. Ziel dieses Berichts ist es daher, die Baumüberschirmung für die Jahre 2019 und 2011 zu ermitteln und Veränderungen zu analysieren. Die Zeitpunkte ergaben sich aus der bestehenden Datenlage, wobei jeweils Luftbildaufnahmen mit Infrarotinformationen aus der Vegetationsperiode und Höheninformationen aus Laserscanbefliegungen kombiniert wurden.

Ungefähr 23 % der Stadtfläche Braunschweigs (4.430 ha) waren im Jahr 2019 mit Bäumen beschirmt. Zum Vergleich liegt die Baumüberschirmung in Kopenhagen bei 16 %, in Barcelona bei 25 %, und in Leipzig bei 19 %. Innerhalb der Ortslage von Braunschweig (abzüglich der vielen Waldflächen im Stadtgebiet) liegt die Überschirmung bei 17 %. Im Vergleich zu 2011 konnten fast im gesamten Stadtgebiet Zuwächse verzeichnet werden. Die Baumüberschirmung 2011 wird zwar gegenüber 2019 um ca. 6% unterschätzt, aber auch unter Berücksichtigung dieser Unterschätzung zeigt sich ein positiver Trend. Eine Analyse auf Stadtbezirksebene und der Ebene der statistischen Bezirke ergab geringe bis keine Zuwächse in der Stadtmitte und zum Teil kräftige Zuwächse in manchen Außenbezirken. Durch eine räumliche Analyse in einem 500 m x 500 m Raster konnte nach Ursachen für lokale Verluste gesucht werden. Grund waren oftmals Baumaßnahmen, z.B. am städtischen Krankenhaus, bei St. Leonard, am Langen Kamp oder beim Flughafen. Auch in einigen Waldgebieten gab es Verluste, mutmaßlich durch abgestorbene und gefällte Nadelbäumen. Insgesamt hat die Baumüberschirmung in den Waldgebieten zugenommen. Dort haben Baumkronen vorhandene Lücken geschlossen und Aufforstungen sind gewachsen. Auch innerhalb der Ortslage gab es z.B. auf nicht mehr genutzten Bahnflächen große Zuwächse. Auch in der Weststadt und im Westpark sowie an Schunter und Oker im Norden der Stadt gab es Zuwächse.

Um ein Monitoring in Zukunft zu erleichtern, wird empfohlen, Laserscan- und Luftbildbefliegungen in zeitlicher Nähe durchzuführen und die Luftbilder in der Vegetationsperiode aufzunehmen.

2 Hintergrund

2.1 Grüne Infrastruktur und Stadtbäume

Grüne Infrastruktur (Parks, Gründächer, Straßenbäume, Gärten, etc.) trägt in vielerlei Hinsicht zum Wohlbefinden der Stadtbevölkerung bei. Sie liefert eine Reihe von Ökosystemleistungen (*Ecosystem Services*): Förderung der Erholung und Gesundheit; Filterung von Schmutz; Lärminderung; Verbesserung des Lokalklimas; Naturerfahrung im Wohnumfeld. Wenn es um die Abmilderung und noch viel mehr um die Anpassung an den Klimawandel geht, wird urbane Grüne Infrastruktur als besonders wichtig bewertet.¹ Bäumen kommt dabei eine herausgehobene Rolle zu, denn ihre Kronen spenden im Sommer Schatten und ihre große Blattfläche entzieht durch die Verdunstung von Wasser der Luft zusätzlich Wärme. Durch ihre Wurzeln können sie das Wasser aus tieferen Bodenschichten nutzen und tragen so zur Kühlung bei. An heißen Sommertagen kann Stadtgrün bei ausreichender Menge und Volumen die Temperatur um mehrere Grad Celsius senken und so „kühle Inseln“ in der überhitzten Stadtlandschaft zur Verfügung stellen.² Die Bedeutung von Grüner Infrastruktur spiegelt sich in einer Reihe von Strategien³ und Handlungsempfehlungen⁴ wider. Derzeit laufen außerdem auf europäischer⁵ und nationaler⁶ Ebene Gesetzgebungsprozesse, in denen klare Ziele zur Grünausstattung von Städten festgeschrieben werden. Die Grünausstattung wird oft auf Basis der Baumüberschirmung gemessen (siehe Abschnitt 2.2). Die Abschätzung der Baumüberschirmung in Braunschweig und ihre Veränderung zwischen 2011 und 2019 ist Inhalt dieses Berichts.

2.2 Baumüberschirmung

Die Baumüberschirmung ist die Fläche, welche eine Baumkrone aus der Draufsicht einnimmt. In diesem Bericht entspricht sie der auf den Boden projizierten Kronenfläche aller Kronenbestandteile über einer Höhe von vier Metern (siehe Abbildung 1). Sie kann auf der Basis von Luftbildern oder Satellitendaten erhoben werden.

¹ Erst kürzlich vom Weltklimarat IPCC in einem Bericht zusammengefasst („The Summary for Urban Policymakers of the IPCC’s Sixth Assessment Report <https://supforclimate.com/wp-content/uploads/2022/11/SUP-15Nov-CONSOLIDATED-Report.pdf>) zuletzt überprüft am 23.11.2023

² Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2016): Ökosystemleistungen in der Stadt. (https://www.ufz.de/export/data/global/190508_TEEB_DE_Stadtbericht_Langfassung.pdf) zuletzt überprüft am 23.11.2023

³ Grüne Infrastruktur Strategie der EU („Grüne Infrastruktur (GI) — Aufwertung des europäischen Naturkapitals“ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52013DC0249>) zuletzt überprüft am 23.11.2023; Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt des Bundes, welche derzeit überarbeitet wird (<https://www.bmu.de/themen/naturschutz/allgemeines/-/strategien/nationale-strategie>) zuletzt überprüft am 23.11.2023

⁴ Weißbuch Stadtgrün (<https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/publikationen/wohnen/weissbuch-stadtgruen.html>) zuletzt überprüft am 23.11.2023; Stadtgrün wirkt! Aspekte der Pflanzenauswahl für eine leistungsfähige Vegetation für Klimaanpassung und Klimaschutz in der Stadt (<https://gruen-in-der-stadt.de/aktuelles/stadtgruen-wirkt>) zuletzt überprüft am 23.11.2023

⁵ Verordnung zur Wiederherstellung der Natur (Nature restoration law https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/nature-restoration-law_en) zuletzt überprüft am 23.11.2023

⁶ Referentenentwurf eines Bundes-Klimaanpassungsgesetzes (<https://www.bmu.de/gesetz/referentenentwurf-eines-bundes-klimaanpassungsgesetzes>) zuletzt überprüft am 23.11.2023

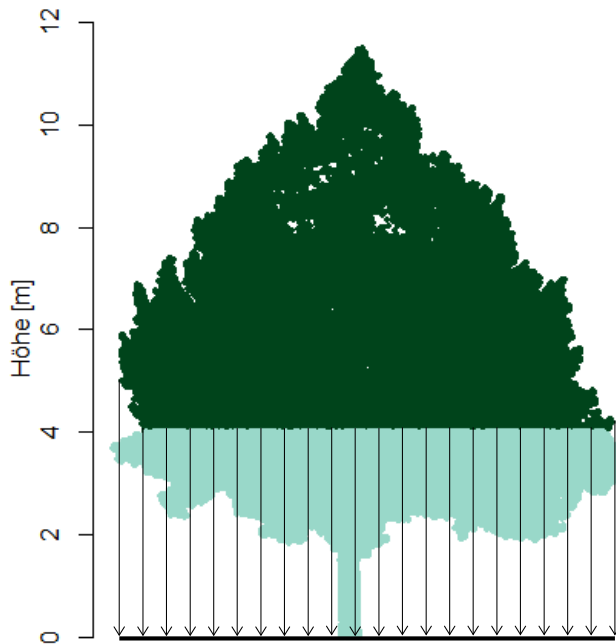


Abbildung 1: Die Baumüberschirmung wird als auf den Boden projizierte Kronenfläche aller Kronenbestandteile über 4 m Höhe berechnet.

2.3 Ziele und Inhalt des Berichts

Im Frühjahr 2023 wurde das Institut für Geoökologie, Abteilung Landschaftsökologie der TU Braunschweig vom Fachbereich Stadtgrün und Sport (FB 67) damit beauftragt, einen aktualisierten Datensatz der Baumüberschirmung zu erfassen und mit der Baumüberschirmung eines früheren Zeitpunkts zu vergleichen. Die Beauftragung fand in Zusammenhang mit Diskussionen über den Bedarf nach einer neuen Baumschutzsatzung statt. Methodisch bedingt beschränkt sich dieser Auftrag auf den Zeitraum von 2011 bis 2019.

3 Material und Methoden

3.1 Datengrundlage

Für die Ableitung der Baumüberschirmung sind zwei sehr unterschiedliche Datensätze nötig. Zunächst wird ein Luftbilddatensatz genutzt, der es über einen Infrarot-Farbkanal ermöglicht, grüne Vegetation von anderen Flächen zu unterscheiden (siehe Abschnitt 0). Sind vegetationsbewachsene Flächen gefunden, muss noch ermittelt werden, ob es sich um Stauden, Sträucher oder Bäume handelt. Dafür wird ein zweiter Datensatz mit genutzt, welcher Informationen zur Höhe aus einem Laserscanning enthält (Laserscandaten, siehe Abschnitt 3.3). Die Luftbilder und Laserscandaten werden nicht notwendigerweise zur gleichen Zeit erhoben. Laserscandaten werden in Braunschweig etwa alle 10 Jahre erfasst (2003, 2011, 2019). Luftbilder mit Infrarotaufnahmen werden zwar in regelmäßigeren Abständen aufgenommen, allerdings meist im Winterhalbjahr, denn belaubte Vegetation schränkt die Sichtbarkeit von Infrastruktur und Gebäuden ein. Für eine Analyse der Baumbeschirmung ist der belaubte Zustand allerdings essentiell. Geeignete Luftbilder lagen für das Jahr 2008 und für das Jahr 2017 vor. Um Gründächer oder Vegetation in direkter Umgebung von Gebäuden nicht versehentlich als Baum zu klassifizieren, wurden Gebäudeumrisse von 2011 und 2021 genutzt. Daraus ergeben sich folgende Kombinationen für die Analysen in diesem Bericht:

- Luftbilder 2008 + Laserscandaten 2011 - Gebäudeflächen 2010 → Baumüberschirmung 2011
- Luftbilder 2017 + Laserscandaten 2019 - Gebäudeflächen 2021 → Baumüberschirmung 2019

Zur Nachbereitung der Daten wurden im Anschluss noch Informationen zu Stromtrassen oder ähnlicher Infrastruktur genutzt, um Fehlklassifikationen zu löschen.

Ein Großteil der Daten für die Analysen wurde von der Stadt Braunschweig, Fachbereich Stadtplanung und Umweltschutz, Abteilung Geoinformation zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden frei verfügbare Daten des Landes Niedersachsen genutzt (Digitales Landschaftsmodell Basis-DLM). Alle Berechnungen und Analysen wurden mit ESRI ArcGISPro 3.0 und mit R 3.4.2 (Pakete „sp“, „terra“, „RandomForest“ und „ForestTools“) durchgeführt. Die genutzten Daten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Genutzte Daten und deren Ursprung

Datensatz	Quelle
Luftbilder 2008	Stadt Braunschweig
Luftbilder 2017	Stadt Braunschweig
Laserscandaten 2011	Stadt Braunschweig
Laserscandaten 2019	Stadt Braunschweig
Digitales Geländemodell 2011	Stadt Braunschweig
Digitales Geländemodell 2019	Stadt Braunschweig
Gebäudeflächen 2010	Stadt Braunschweig
Baumkataster	Stadt Braunschweig
Gebäudeflächen 2021	Land Niedersachsen
Basis DLM 2023	Land Niedersachsen

3.2 Vegetationsklassifikation der Luftbilder

Die Ausgangsbasis für die Analyse der Vegetationsklassifikation 2011 waren die Luftbilder vom 8. Mai 2008. Die Ausgangsbasis für die Analyse der Baumüberschirmung 2019 waren Luftbilder vom 18. Mai 2017. Nach Vorbereitung der Luftbilder und Vereinheitlichung der Auflösung auf 1 m wurden je 1777 zufällig verteilte Trainingspunkte auf dem Stadtgebiet durch visuelle Interpretation in „vorhandene Vegetation“ oder „nicht vorhandene Vegetation“ unterteilt. Anschließend wurde mit diesem Trainingsdatensatz ein *RandomForest*-Modell angepasst. Dabei handelt es sich um ein maschinelles Lernverfahren, welches solche Daten sehr zuverlässig klassifizieren kann. Input für das Modell waren die Farbkanäle Rot, Grün, Blau und Infrarot und zwei Indizes. Besonders geeignet zur Klassifikation von Vegetation ist der sogenannte NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Er beruht auf der Tatsache, dass Pflanzen rotes Licht eher schwach reflektieren, aber Licht im nahen Infrarotbereich sehr stark. Zusätzlich wurde ein Index berechnet, der auf dem Verhältnis von Rot- zu Blau-Werten basiert und mit dem sich Fehlklassifikationen von Schattenflächen reduzieren lassen. Mit dem Modell wurde aus allen Luftbildern jeweils ein Rasterdatensatz der Vegetation der ganzen Stadt generiert. Auch Gründächer wurden zunächst als Vegetation klassifiziert (Abbildung 2).

3.3 Berechnung des Oberflächenmodells und der Nettohöhen

Höhendaten werden seit einigen Jahren mit der Laserscantechnologie erfasst (auch LiDAR-Daten genannt). Dafür wird das Stadtgebiet von einem Flugzeug aus mit einem Laser abgetastet. Anhand der Laufzeit des Lasers zwischen Oberfläche und Flugzeug kann die Höhe von Punkten auf der Oberfläche genau gemessen werden. Die Laserscanflüge der Jahre 2011 und 2017 erfassten ca. 8 Punkte pro m², wobei die Auflösung 2019 etwas höher war. Ein aus den Laserscandaten erstelltes Digitales Geländemodell (DGM) wurde von der Stadt für Analysen zur Verfügung gestellt. In einem DGM sind kein Bäume, Häuser und ähnliche Objekte enthalten und es wird nur die Höhe des Bodens abgebildet (siehe Abbildung 3).

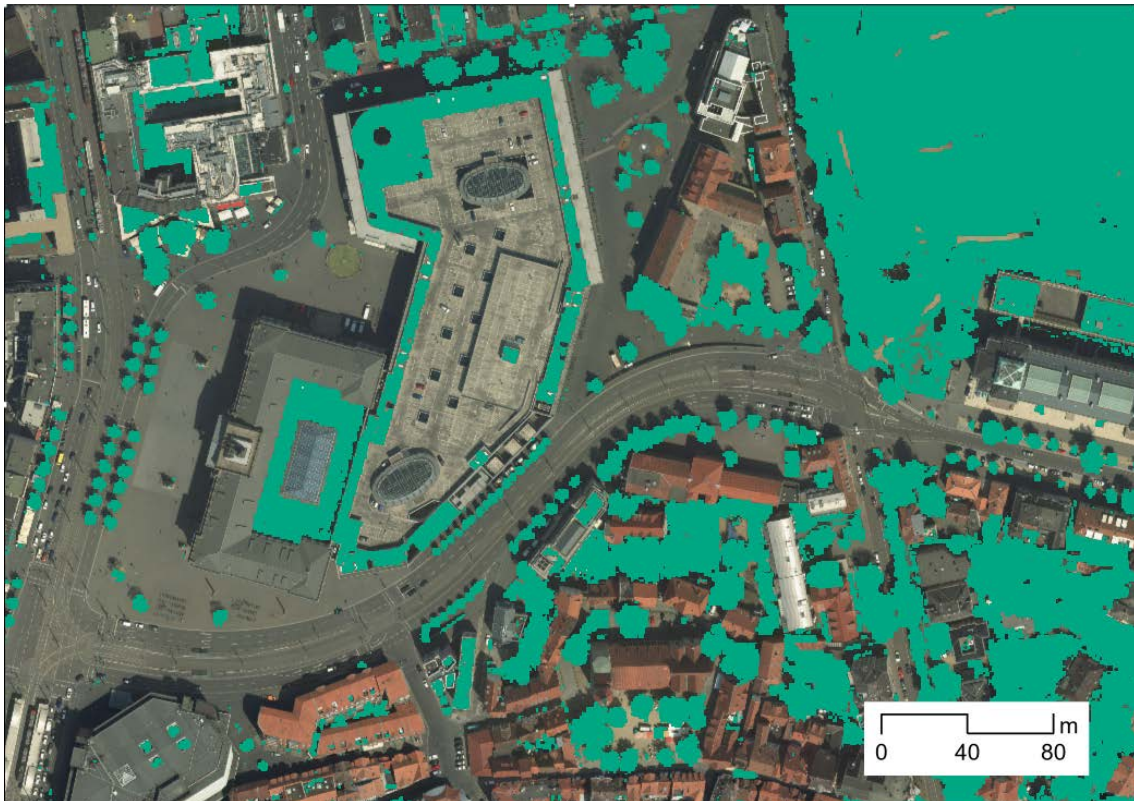


Abbildung 2: Die auf der Basis von Infrarot-Luftbilder von 2017 klassifizierte Vegetation. In weiteren Schritten wurden Gründächer entfernt.

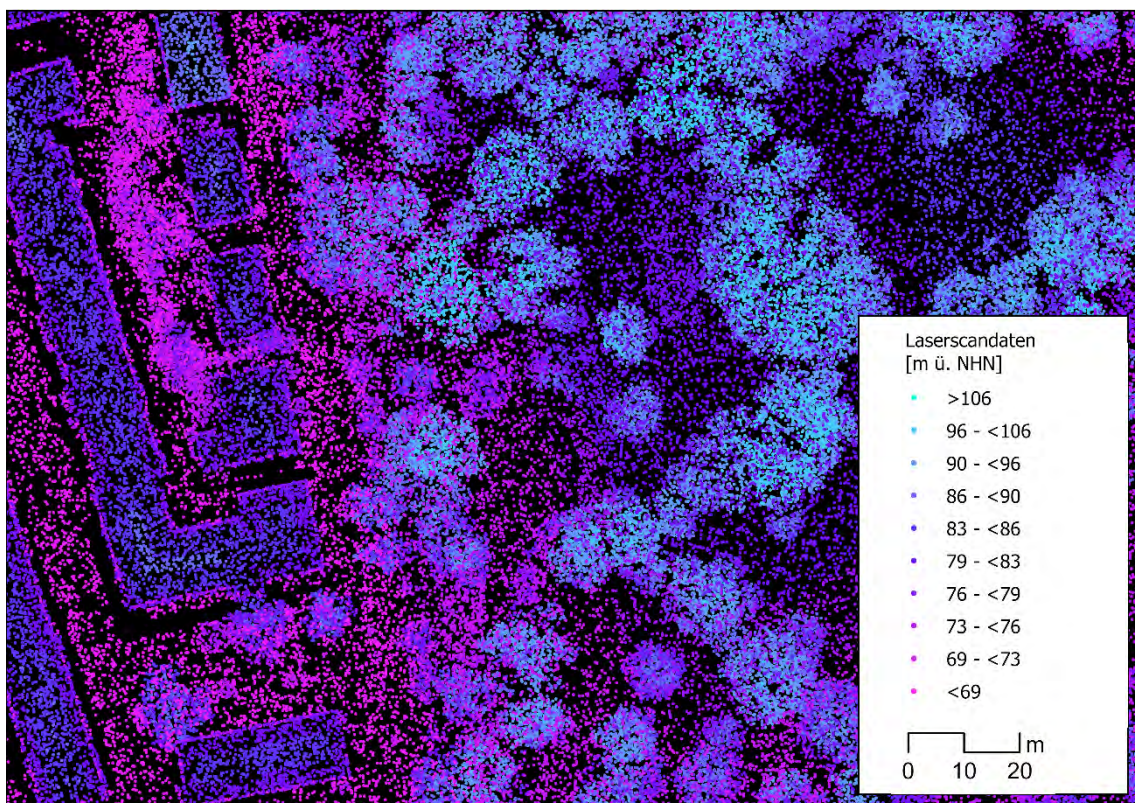


Abbildung 3: Die Laserscanpunkte aus dem Jahr 2019 im Theaterpark.

Ein Oberflächenmodell stellt die Höhe aller Objekte dar, also von Häusern, Bäumen, Autos, etc. Dafür wurde für diese Studie ein Raster mit der Auflösung von einem Meter (gleiche Auflösung wie das DGM) über die Laserscan-Punkte gelegt und der jeweils höchste Punkt ausgewählt (siehe Abbildung 4). Anschließend wurde das Oberflächenmodell mit einem Tiefpassfilter überarbeitet, um Lücken in der abgebildeten Baumkrone zu füllen. Dies war nötig, da die Laserscandaten jeweils im Winter erhoben wurden. Die Punktdichte ist zwar hoch genug, um Äste von Bäumen abzubilden, jedoch entsteht dadurch ein lückiges Bild. Der Tiefpassfilter sorgt für eine realistische Kronenform wie im belaubten Zustand.

Im nächsten Schritt wurde das DGM vom Oberflächenmodell abgezogen, um Nettohöhen zu erhalten, denn sowohl DGM als auch Oberflächenmodell enthalten absolute Höhen (Höhe über dem Meeresspiegel). Das Resultat ist ein Datensatz der Nettohöhen. Aus den Nettohöhen wurden anschließend die Gebäudeflächen gelöscht, wobei ein Puffer von 2 Metern um die Gebäude gelegt wurde (siehe Abbildung 5). Das war nötig, da die Luftbilder zum Teil leicht schräg aufgenommen wurden und dadurch Gebäude auf dem Luftbild und im Datensatz der Gebäudeflächen nicht ganz übereinander liegen. Um Rasenflächen rings um Häuser durch die Kombination mit den Nettohöhen nicht versehentlich zu Bäumen zu machen, war dieser Filterschritt notwendig.

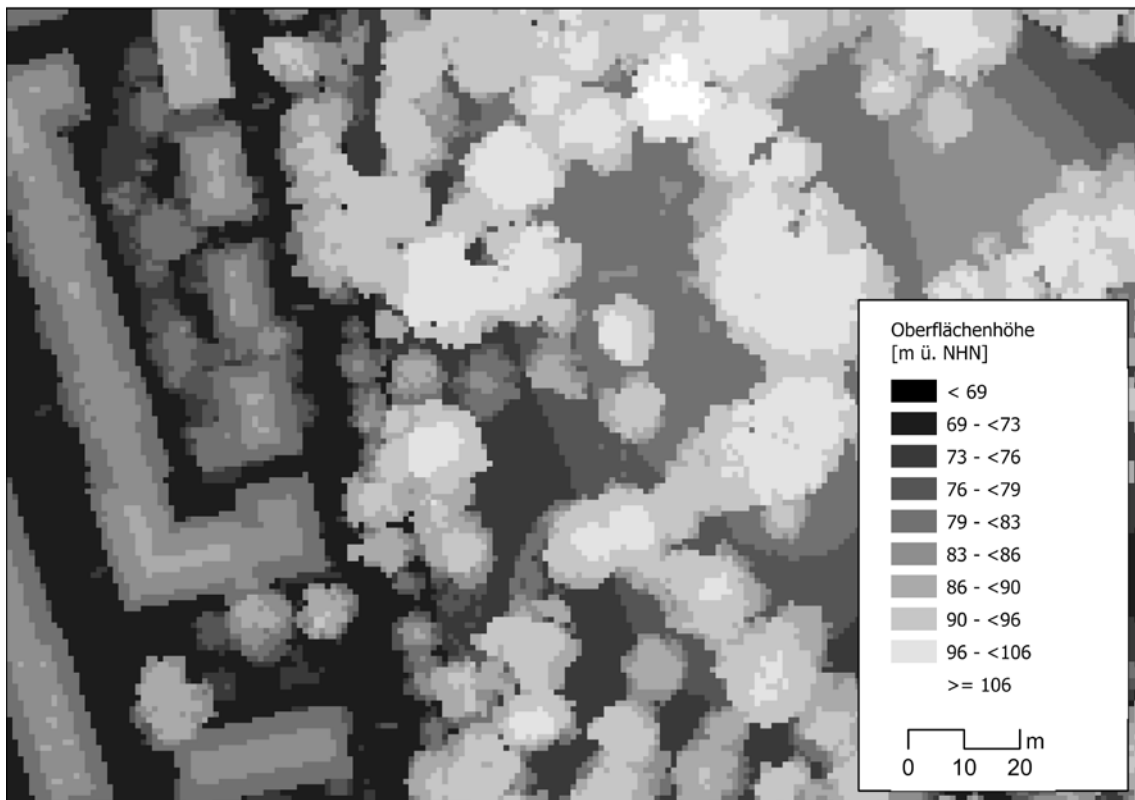


Abbildung 4: Das aus den Laserpunkten (siehe Abbildung 3) abgeleitete Oberflächenmodell. Jede Rasterzelle (Auflösung 1 m x 1 m) enthält Informationen über die jeweilige Höhe über dem Meeresspiegel.

3.4 Kombination der Nettohöhen mit der Vegetationsklassifikation und Nachprozessierung

Die überarbeiteten Nettohöhen aus Abschnitt 3.3 wurden in einem nächsten Schritt mit den klassifizierten Luftbildern aus Abschnitt 0 kombiniert. Das Resultat ist ein Rasterdatensatz der Vegetationshöhen in der horizontalen Auflösung von einem Meter (siehe Abbildung 6).



Abbildung 5: Durch Schrägansicht in den Luftbildern lagen die Gebäudeflächen in einigen Fällen nicht exakt über den Geometrien der Gebäude (weiße Linien). Aus diesem Grund wurden die Gebäudeflächen um 2 m vergrößert.

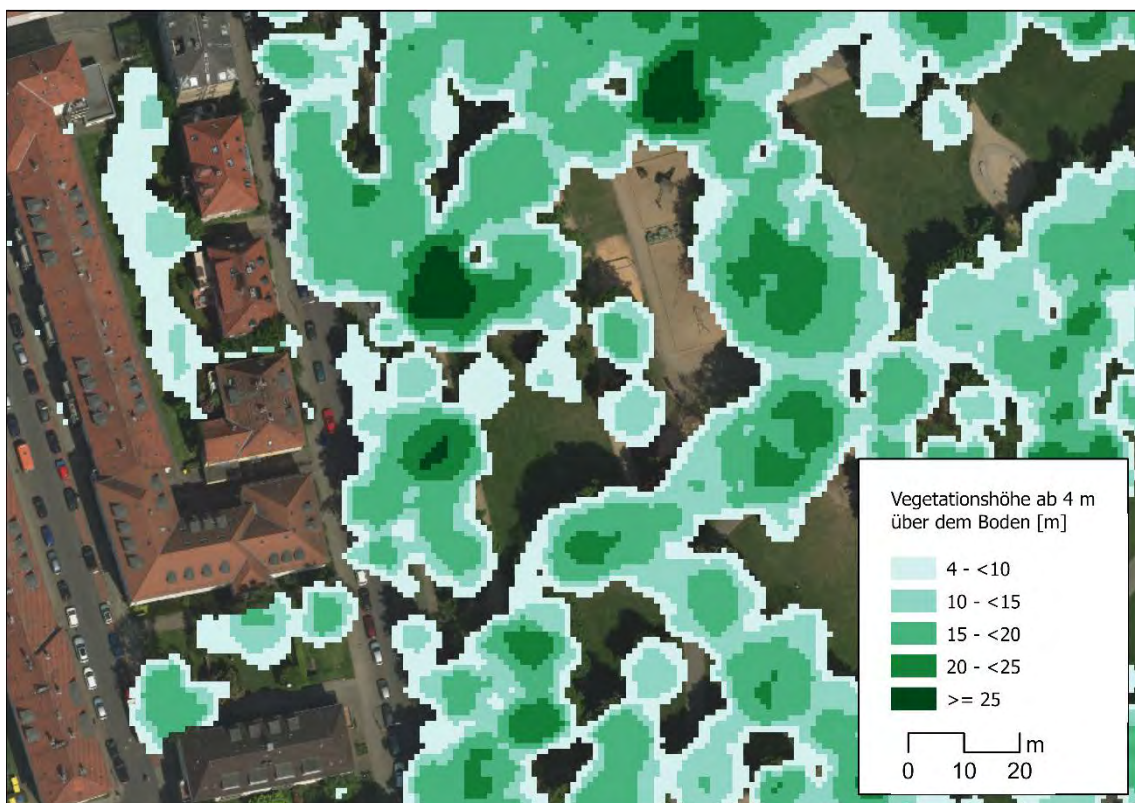


Abbildung 6: Vegetationshöhen im Theaterpark.

Aus den Vegetationshöhen wurden alle Rasterzellen mit einer Höhe von mindestens 4 Metern ausgewählt und in ein Vektorformat umgewandelt. Diese Rohfassung der Baumüberschirmung wurde abschließend noch einmal bereinigt und fehlerhaft als Bäume klassifizierte Flächen unter Strommasten, Straßenlaternen, Straßenbahntrassen, Baukränen, etc. gelöscht. Das Resultat ist die Baumüberschirmung (siehe Abbildung 7).

Um die Qualität der Baumüberschirmung von 2008 und 2017 zu überprüfen, wurde eine Fehleranalyse durchgeführt. Diese liefert Erkenntnisse über die Genauigkeit und das Vorkommen möglicher Fehler. Es wurden exemplarisch die Stadtbezirke Westliches Ringgebiet und Nordstadt überprüft. Beide Stadtbezirke weisen sowohl verdichtete Wohnsiedlungen, Parks, Verkehrsinfrastruktur (Autobahn, Zuggleise), aber auch landwirtschaftlich genutzte Flächen auf. Um eine objektive Einschätzung der Fehler zu erhalten, wurden in der Software ArcGISPro 3.0 jeweils 1000 Zufallspunkte in die Stadtbezirke gesetzt. Die Zufallspunkte von 2017 wurden auch für 2008 verwendet. Jeder gesetzte Punkt wurde manuell mit den jeweiligen Luftbildern und den Baumüberschirmungen verglichen. Eine Einteilung der Ergebnisse erfolgte in 4 Klassen:

- 1 – der Baum wurde korrekt als Baum klassifiziert
- 2 – ein Baum ist vorhanden, wurde jedoch nicht klassifiziert
- 3 – es liegt kein Baum vor und es wurde auch kein Baum gefunden
- 4 – es liegt kein Baum vor, es wurde aber fälschlicherweise ein Baum klassifiziert.

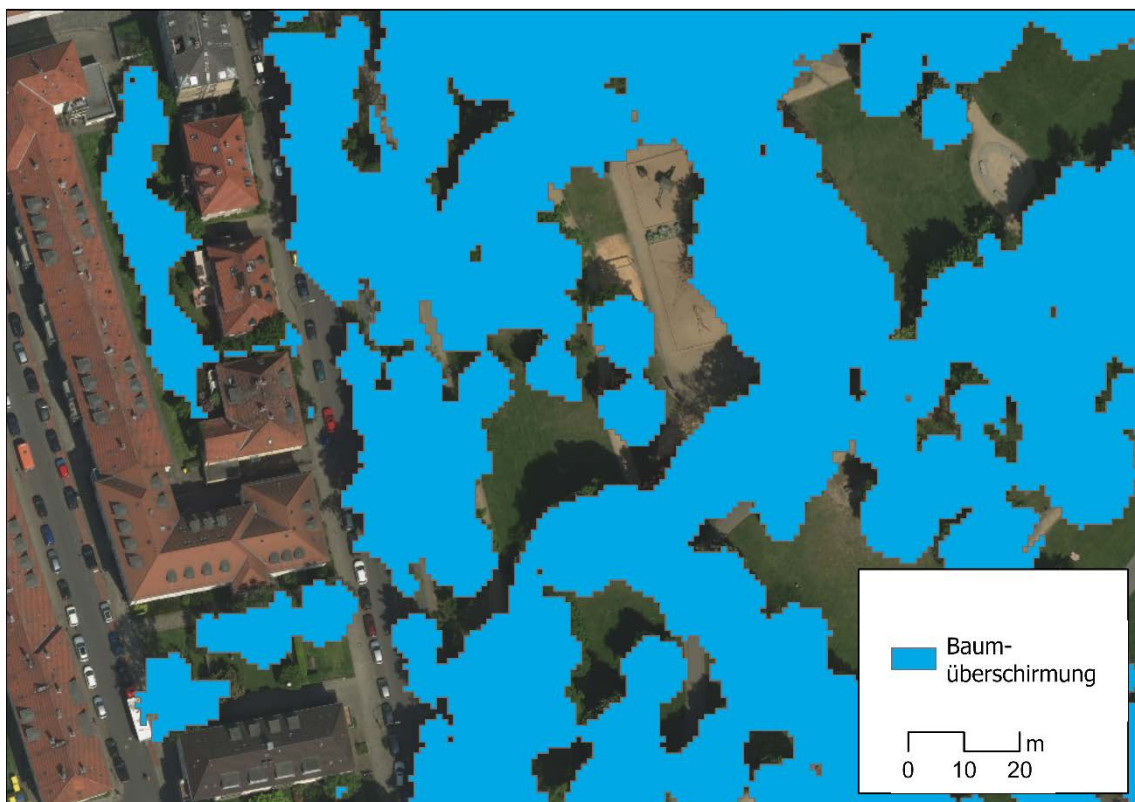


Abbildung 7: Die Baumüberschirmung 2019 im Theaterpark.

3.5 Abschätzung der Anzahl der Baumkronen in Braunschweig

In den letzten Jahren wurden eine Reihe von Methoden entwickelt, um aus Höhendaten Einzelbäume zu klassifizieren. Dazu zählt auch die durch Plowright im R-Paket „ForestTools“ umgesetzte Methode⁷. Es basiert auf den Nettohöhen der Vegetation aus Abschnitt 3.3. Über einen sogenannten *Moving-Window* Ansatz werden zunächst die höchsten Pixel als Baumwipfel identifiziert. Anschließend wird über die Steigung der umgebenden Pixel die Kronenfläche berechnet. Analog zur Baumüberschirmung wurden nur Vegetationshöhen über vier Meter Höhe verwendet. Die Qualität der Baumkronenschätzung wurde mithilfe des Baumkatasters der Stadt überprüft. Dabei wurden für den Stadtpark an der Jasperallee und für das Gelände des Schulgartens am Dowesee die Anzahl der gefundenen Bäume mit denen des Baumkatasters verglichen.

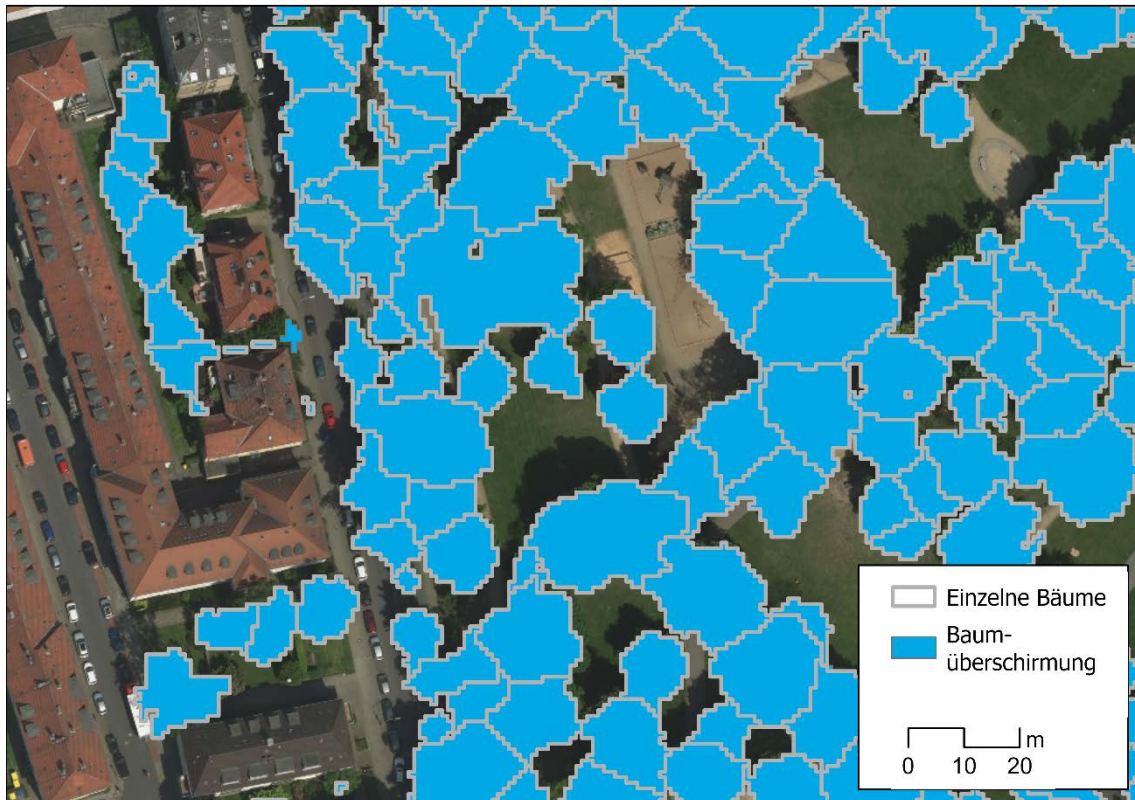


Abbildung 8: Darstellung der aus den Nettohöhen geschätzten Einzelbaumkronen (grau) über der Baumüberschirmung von 2019 (siehe Abbildung 7).

3.6 Verschneidung mit Verwaltungsgrenzen, dem Digitalen Landschaftsmodell und einem 500 m Vektorraster

Die Baumüberschirmung von 2011 und 2019 wurde mit den Stadtbezirken und den statistischen Bezirken verschnitten. Außerdem wurden Daten aus dem Digitalen Landschaftsmodell genutzt, um gezielt die Überschirmung in bebauten Gebieten zu berechnen. Für eine einheitliche Analyse von Verlusten und Zuwächsen wurde die Baumüberschirmung außerdem auf der Ebene eines Vektorrasters mit einer Auflösung von 500 m untersucht.

⁷ Plowright A (2023). ForestTools: Tools for Analyzing Remote Sensing Forest Data. R package version 1.0.1, <https://CRAN.R-project.org/package=ForestTools>

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Baumüberschirmung im Stadtgebiet

Insgesamt ist die Übereinstimmung der Baumüberschirmung mit den Luftbildern sehr gut. Dies gilt sowohl für 2011 (siehe Abbildung 9) als auch für 2019 (siehe Abbildung 10).

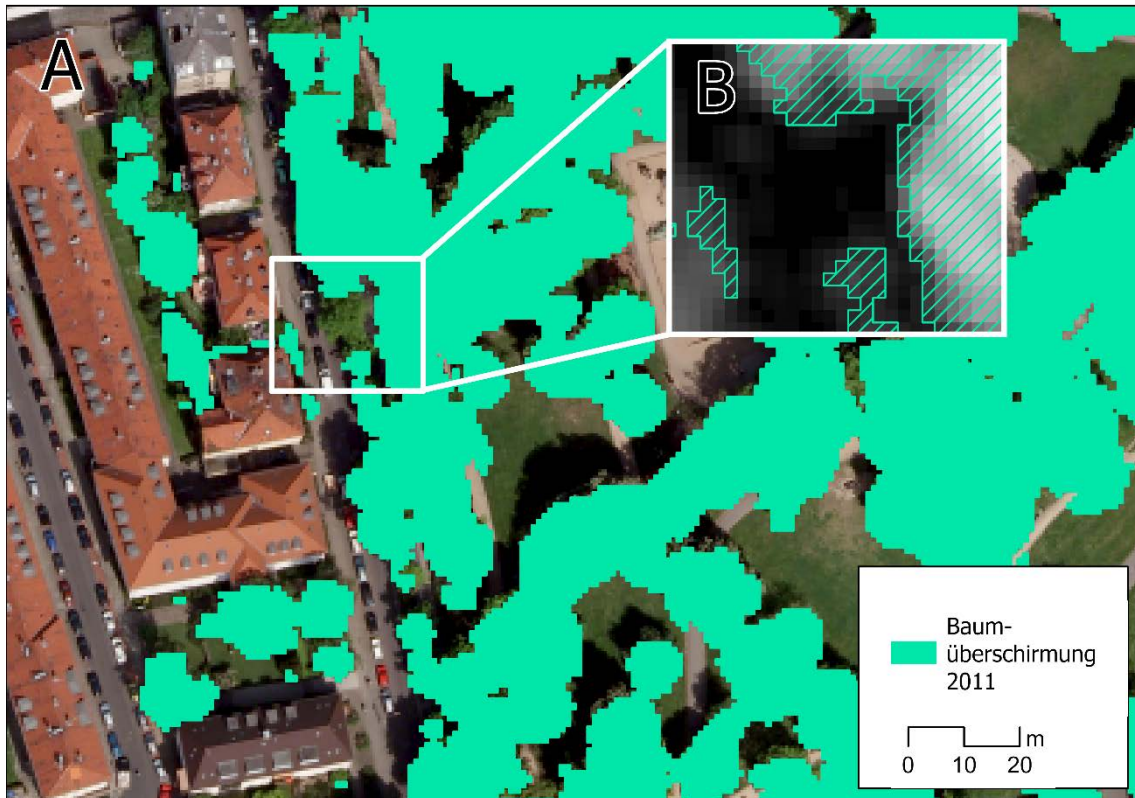


Abbildung 9: Die Baumüberschirmung im Theaterpark für das Jahr 2011 über den Luftbildern von 2008 (A). Der in der weißen Box im Luftbild sichtbare Baum ist in den Höhendaten von 2011 nicht mehr vorhanden (B, dunkle Schattierung = geringe Höhe, helle Schattierung = große Höhe) und wurde offenbar zwischen 2008 und 2011 gefällt.

Legt man die Baumüberschirmung von 2011 über die von 2019, fällt auf, dass einige Kronen deutliche Zuwächse verzeichnen (siehe Abbildung 11). Dieser Zuwachs kann zum einen durch Höhenwachstum entstehen, zum anderen durch ein Breitenwachstum. Besonders bei großen Bäumen, wie sie z.B. im Theaterpark wachsen, scheinen solche Kronenzuwächse um 1 bis 3 Meter in der Breite durchaus plausibel.⁸ Vermutlich gibt es aber auch einen Effekt der unterschiedlichen Punktdichte in den Laserscandaten. Die Laserscan-Befliegung von 2019 hat eine etwas höhere Auflösung, wodurch sich die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass auch Äste am Rand der Baumkrone getroffen werden.

⁸ Suchocka M, Swoczyna T, Kosno-Jończy J, Kalaji HM (2021) Impact of heavy pruning on development and photosynthesis of *Tilia cordata* Mill. trees. PLOS ONE 16(8): e0256465. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256465>

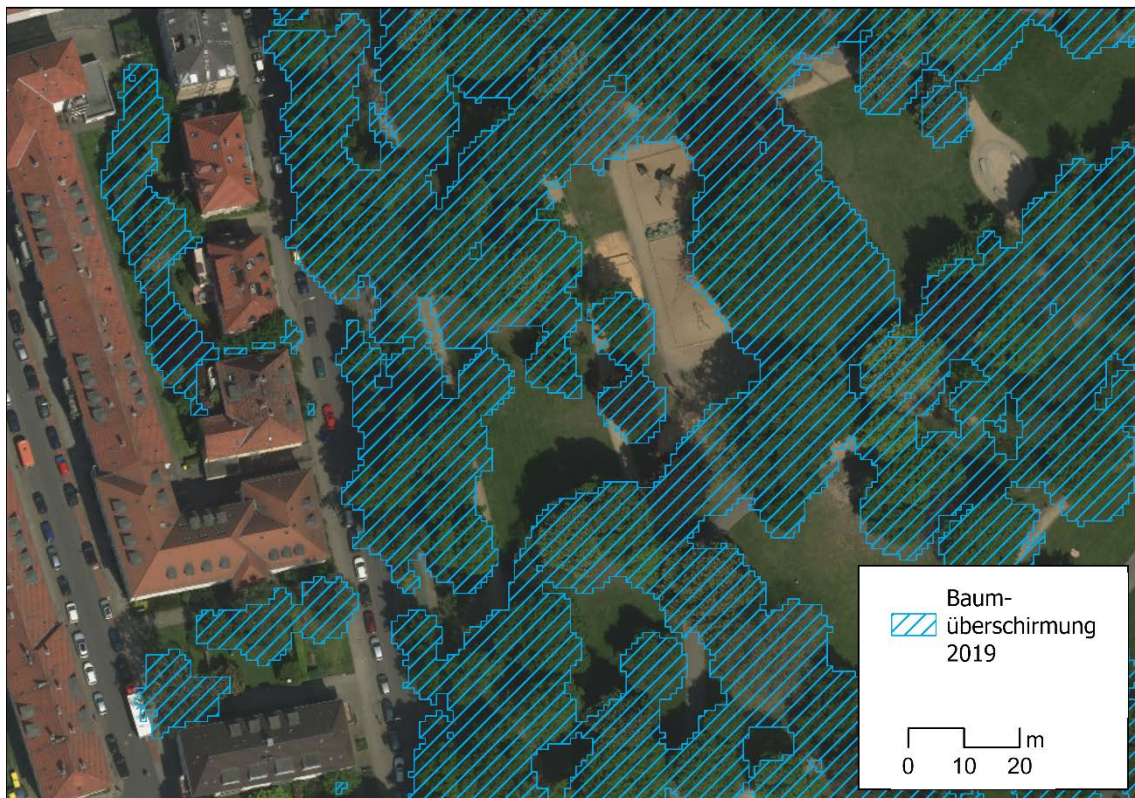


Abbildung 10: Die Baumüberschirmung im Theaterpark für das Jahr 2019 über den Luftbildern von 2017.

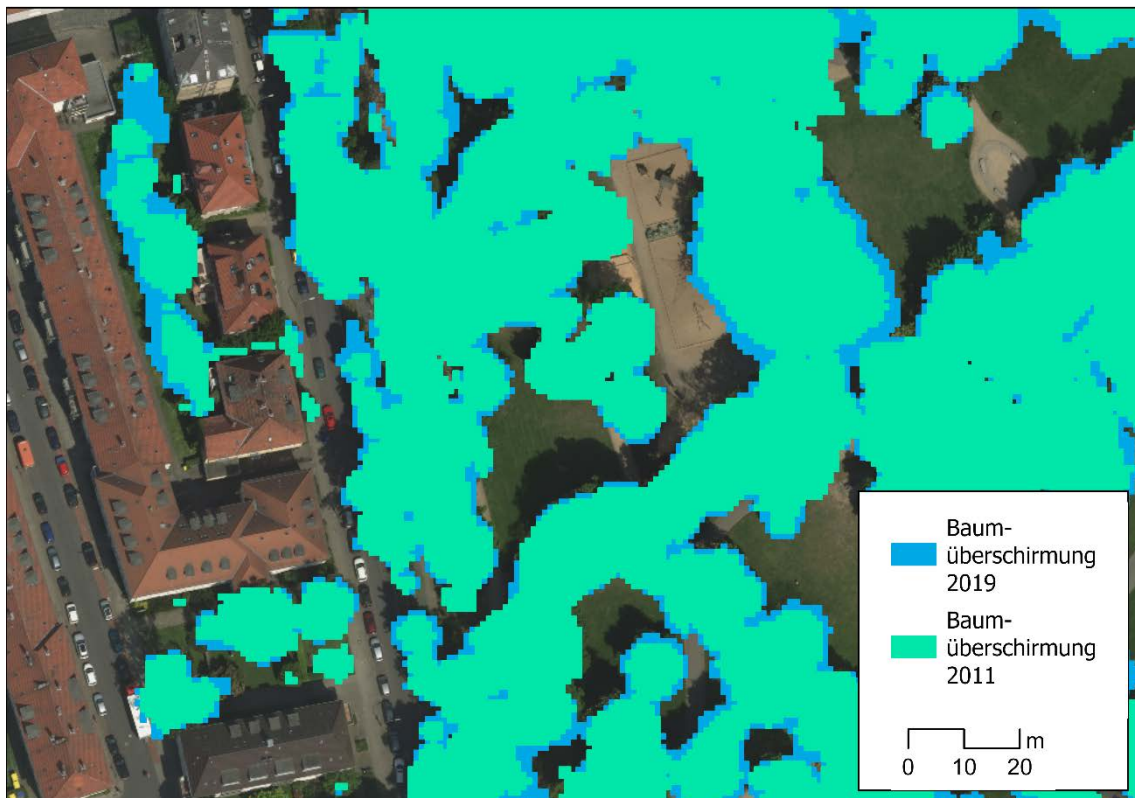


Abbildung 11: Die Baumüberschirmung von 2011 über der Baumüberschirmung von 2019. An vielen Stellen kann ein Zuwachs festgestellt werden.

Die Baumüberschirmung 2019 lag bei 4430 ha. Das entspricht etwa 23 % der Stadtfläche. Für 2011 wurde eine Baumüberschirmung von 3648 ha ermittelt, was 19 % der Stadtfläche entspricht. Bezogen auf die Kategorie „Ortslage“ (Kennung 52001) im Basis DLM ergibt sich eine Baumüberschirmung von 17 % für das Bezugsjahr 2019 und 14 % für das Bezugsjahr 2011. Tabelle 1 fasst diese Ergebnisse zusammen.

Tabelle 2: Baumüberschirmung in der gesamten Stadt und innerhalb von Ortslagen (Kennung 52001 im Basis DLM)

Baumüberschirmung in der Gesamtstadt		
Jahr	[ha]	[%]
2011	3648	19
2019	4430	23
Baumüberschirmung in der Ortslage		
2011	1123	14
2019	1357	17

Wie sind diese Unterschiede zu bewerten? Die Klassifikation mithilfe der *RandomForest*-Modelle (Abschnitt 0) konnte die Luftbilder mit hoher Genauigkeit klassifizieren. Das Modell für das Jahr 2008 konnte die Unterscheidung der Pixel mit einer Fehlerquote von 3,84 % treffen; nur etwa 5,4 % der unbewachsenen Flächen wurden als bewachsen klassifiziert und etwa 2,8 % der bewachsenen Flächen wurden nicht als solche erkannt. Das Modell für das Jahr 2017 konnte die Unterscheidung der Pixel mit einer Fehlerquote von 2,61 % treffen; nur etwa 4 % der unbewachsenen Flächen wurden als bewachsen klassifiziert und etwa 1,9 % der bewachsenen Flächen wurden nicht als solche erkannt. Wichtiger als die Güte der *RandomForest*-Klassifikation ist das Ergebnis der manuellen Überprüfung der Baumüberschirmung (siehe Abschnitt 3.4). Für die Baumüberschirmung 2019 belief sich die Fehlerquote im Mittel auf 2,1 % (Westliches Ringgebiet: 2 % Nordstadt: 2,2 %). Für das Jahr 2011 lag dieser Fehler mit 2,8 % etwas höher (Westliches Ringgebiet: 2,6 % Nordstadt: 2,9 %). Dieser Fehler ist unter anderem deshalb sehr gering, weil die meisten Punkte außerhalb von Baumkronen lagen und diese Klassifikation sehr verlässlich ist. Die Fehler für die Baumüberschirmung sind höher (also Kontrollpunkte die offensichtlich auf Baumkronen lagen, die nicht als Baumüberschirmung klassifiziert wurde). Dies betrifft unter anderem Baumkronen, die innerhalb von zwei Meter Abstand zu Gebäuden wuchsen und für weitere Analysen entfernt worden sind (siehe Abschnitt 3.3), aber auch Bäume, die zum Zeitpunkt der Luftbildaufnahmen noch keine Blätter hatten. Letzteres wurde 2011 beobachtet, da der Aufnahmezeitpunkt mit dem 8. Mai sehr früh war. Weiterhin wurde berücksichtigt, ob es große Unterschiede zwischen der Baumkrone auf den Luftbildern und dem Höhenmodell gab. Grund für diese Fehler könnten auch die bereits erwähnte etwas geringer aufgelösten Laserscandaten von 2011 sein. Der Schätzfehler für die Überschirmungsfläche belief sich für 2019 auf 9,2 % (Westliches Ringgebiet: 9,6 % Nordstadt 8,8 %). Für die Überschirmungsfläche von 2011 war dieser Fehler mit 15,7 % höher (Westliches Ringgebiet: 17,4 % Nordstadt: 14,4 %). Vermutlich wird also die Baumüberschirmung von 2011 gegenüber 2019 folglich um etwa 6 % unterschätzt. Dies sollte bei einem direkten Vergleich berücksichtigt werden.

4.2 Baumüberschirmung in den Stadtbezirken und in den statistischen Bezirken

In allen Stadtbezirken wurde für 2019 eine größere Baumüberschirmung festgestellt als für 2011 (siehe Tabelle 4). Die geringste Zunahme konnte für die Bezirke Innenstadt sowie Timmerlah-Geiteldesdieden festgestellt werden (Zunahme um jeweils 1 %). Große Zuwächse gab es im Bezirk Volkmarode (13 %).

Tabelle 3: Die Baumüberschirmung in den Stadtbezirken für 2011, 2019 und Zuwächse innerhalb dieser Zeit.

Stadtbezirk	Fläche [ha]	Baumüberschirmung			Zuwachs zwischen 2011 und 2019 [%]
		2011 [ha]	2019 [ha]	2019 [%]	
Broitzem	375	15	26	7	3
Heidelberg-Melverode	489	116	137	28	4
Hondelage	864	133	161	19	3
Innenstadt	238	48	51	22	1
Lehndorf-Watenbüttel	2744	461	547	20	3
Nordstadt	663	115	137	21	3
Östliches Ringgebiet	401	99	110	27	3
Rüningen	312	18	24	8	2
Schunteraue	357	103	128	36	7
Stöckheim-Leiferde	1034	135	167	16	3
Südstadt-Rautheim-					
Mascherode	1504	215	245	16	2
Timmerlah-Geitelde-Stiddien	1466	207	228	16	1
Veltenhof-Rühme	1048	114	159	15	4
Viewegsgarten-Bebelhof	680	143	171	25	4
Volkmarode	1251	286	453	36	13
Wabe-Schunter-Beberbach	3080	937	1076	35	5
Wenden-Thune-Harxbüttel	1221	246	281	23	3
Westliches Ringgebiet	853	111	142	17	4
Weststadt	691	143	183	26	6

In den statistischen Bezirken Viewegs Garten und Stadtkern ist die Baumüberschirmung zwischen 2011 und 2019 nicht angestiegen. Besonders große Zuwächse gab es im statistischen Bezirk Dibbesdorf (viel Zuwachs innerhalb von Waldflächen, aber auch neu entstandene Baumflächen). Die Ergebnisse für alle statistischen Bezirke sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Die Baumüberschirmung in den Statistischen Bezirken für 2011 und 2019 und die Zuwächse innerhalb dieser Zeit.

Statistischer Bezirk	Fläche [ha]	Baumüberschirmung			Zuwachs zwischen 2011 und 2019 [%]
		2011 [ha]	2019 [ha]	2019 [%]	
Altes Hochschulviertel	49	8	9	18	3
Altewiek	45	9	10	23	2
Alt-Lehndorf	56	4	5	8	1
Am Hagenring	97	15	16	16	1
Am Südsee	147	48	56	38	5
Bebelhof	43	7	10	22	6
Bevenrode	474	93	106	22	3
Bienrode	198	31	42	21	6
Broitzem	381	16	27	7	3
Bundesanstalten	666	206	224	34	3
Bürgerpark	136	37	43	32	4
Dibbesdorf	451	123	259	57	30
Gartenstadt	104	13	15	15	3
Geitelde	649	80	85	13	1
Gliesmarode	159	22	28	18	4
Hafen	441	36	52	12	4
Hagen	41	9	10	24	2
Harxbüttel	203	23	26	13	2
Hauptbahnhof	258	28	43	16	6
Hauptfriedhof	85	25	26	30	1
Heidelberg	188	41	48	25	4

Statistischer Bezirk	Fläche [ha]	Baumüberschirmung			Zuwachs zwischen 2011 und 2019 [%]
		2011 [ha]	2019 [ha]	2019 [%]	
Hermannshöhe	183	36	46	25	5
Hohetor	35	11	12	33	3
Hondelage	864	133	161	19	3
Kanzlerfeld	153	22	30	20	5
Kralenriede	263	83	99	38	6
Lamme	458	39	48	10	2
Leiferde	377	17	26	7	2
Lindenberg	38	8	9	25	5
Mascherode	653	93	104	16	2
Mastbruch	87	20	23	27	4
Melverode	123	25	28	23	3
Naturschutzgebiet	775	322	363	47	5
Neues Hochschulviertel	88	13	17	19	4
Neustadt	44	14	14	33	1
Nordbahnhof	142	15	15	11	1
Ölper	254	31	44	17	5
Ölper Holz	136	67	77	57	7
Pappelberg	190	25	31	16	4
Petritor-Nord	163	16	20	13	3
Petritor-Ost	85	14	15	18	1
Petritor-West	95	15	18	19	4
Prinzenpark	218	71	76	35	2
Querum	181	18	27	15	5
Querumer Forst	379	207	228	60	5
Rautheim	606	82	98	16	3
Riddagshausen	164	33	43	26	6
Rothenburg	168	33	39	23	4
Rühme-Ost	114	13	18	16	4
Rühme-West	101	7	11	11	4
Rüningen	312	18	24	8	2
Schapen	290	72	82	28	3
Schuntersiedlung	94	20	29	31	10
Schwarzer Berg	114	22	29	25	6
Siedlung Lehdorf	258	22	27	11	2
Siegfriedviertel	188	50	56	30	3
Stadtkern	73	5	5	7	0
Stiddien	275	35	40	15	2
Stöckheim	655	117	140	21	3
Südstadt	196	35	38	20	2
Thune	596	187	206	35	3
Timmerlah	542	92	103	19	2
Veltenhof	227	27	38	17	5
Viewegs Garten	53	12	12	23	0
Völkenrode	151	10	13	9	2
Volkmarode	327	55	72	22	5
Vorwerksiedlung	75	7	9	12	3
Waggum	841	238	270	32	4
Watenbüttel	787	89	120	15	4
Weinberg	408	80	109	27	7
Wenden	411	34	47	11	3
Wilhelmitor-Nord	86	12	15	18	4
Wilhelmitor-Süd	245	34	45	18	5
Zuckerberg	61	14	16	26	3

4.3 Räumliche Aspekte der Veränderung der Baumüberschirmung

Wie bereits auf der Ebene der Stadt, der Ortslagen, der Stadtbezirke und der statistischen Bezirke, verdeutlicht auch die Analyse auf Ebene des 500 m x 500 m Raster, dass es in großen Teilen der Stadt zwischen 2011 und 2019 Zuwächse der Baumüberschirmung gab (Abbildung 12). Einige Verlustflächen fallen allerdings ins Auge und werden in Tabelle 5 gezeigt. Es handelt sich um Verluste durch Baumaßnahmen (Panel A, B, D, E, F, G), Sturmschäden (Panel C), Baumverluste im Wald (Panel I, J, K). In Panel H handelt es sich vermutlich um die Fällung einer Obstplantage. Zuwächse sind weit verbreitet, insbesondere auf stillgelegten Gleisflächen (Panel 1), in der Weststadt und im Westpark (Panel 2; hier sind viele Bäume im „besten“ Alter und zeigen kräftigen Zuwachs) oder entlang der Oker oder Schunter im Nördlichen Stadtgebiet (Panel 3 und 4).

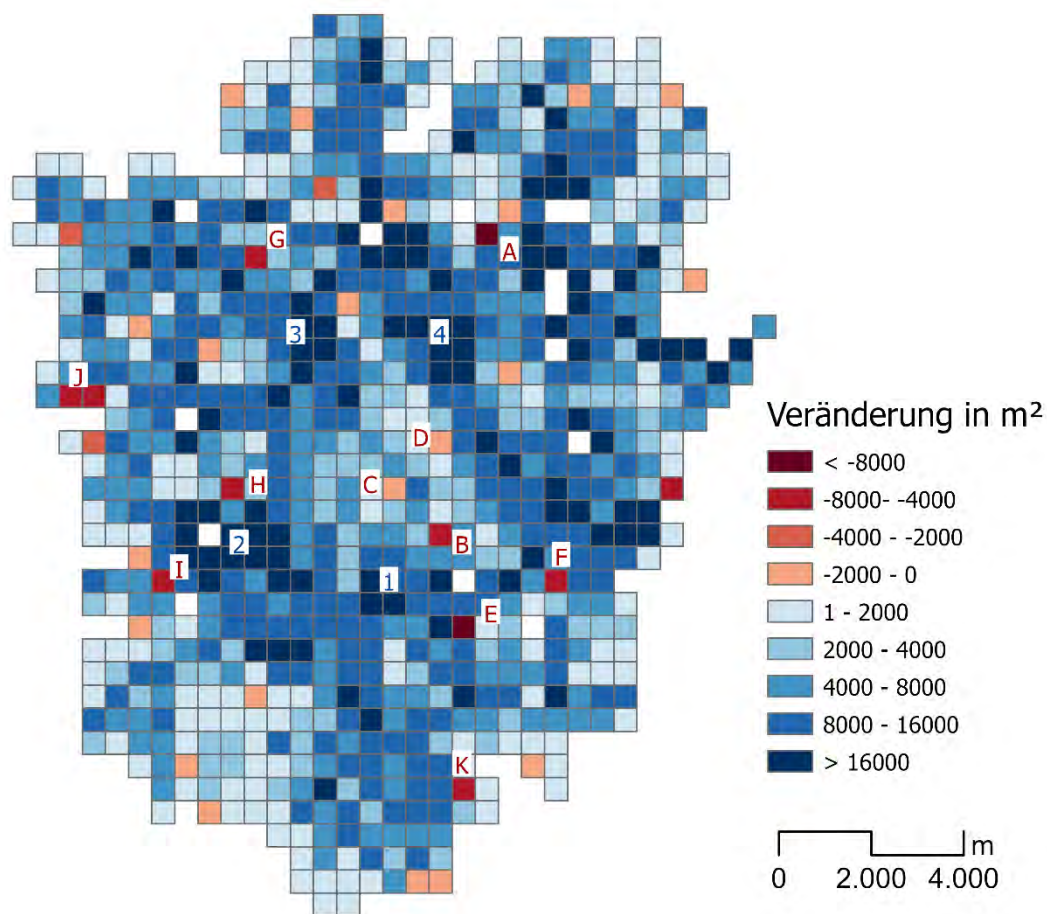
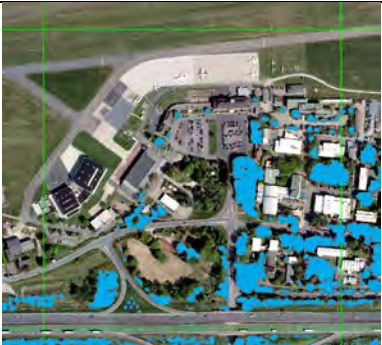
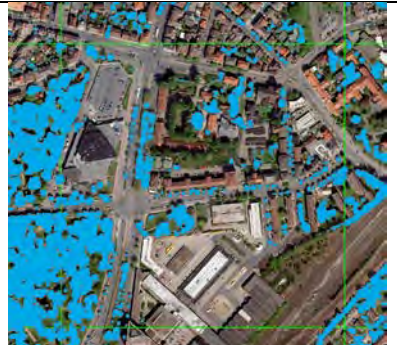


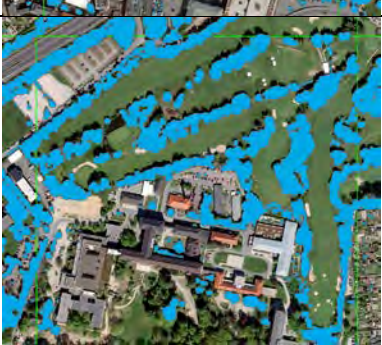


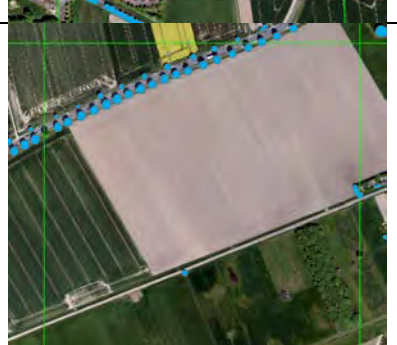

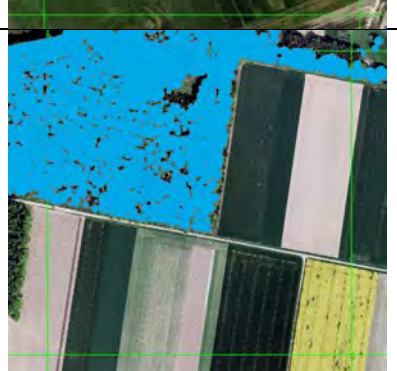
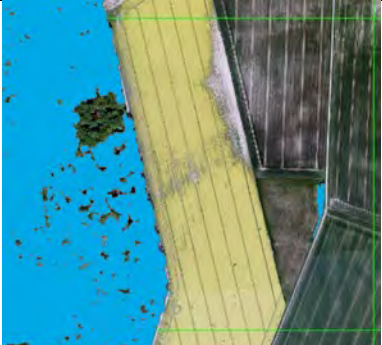

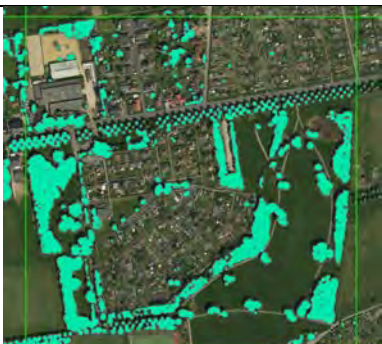
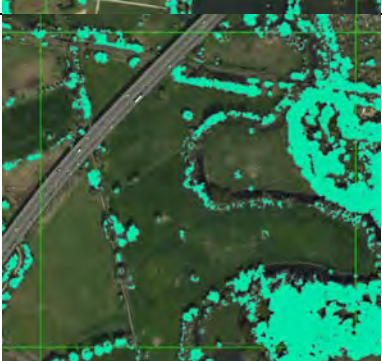
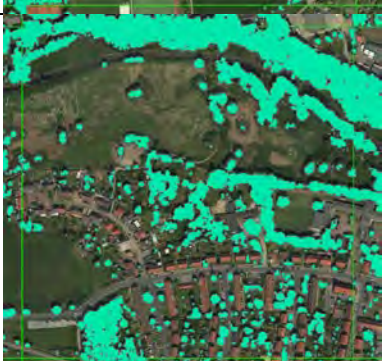


Abbildung 12: Gebiete mit Baumüberschirmungsverlust (Rottöne) und Baumüberschirmungszuwachs (Blautöne). Einige Gebiete mit Verlusten (rote Buchstaben) und Zuwächsen (blaue Zahlen) werden in Tabelle 5 näher erläutert.

Tabelle 5: Die in Abbildung 12 hervorgehobenen Gebiete mit Verlusten (rote Buchstaben) und Zuwächsen (blaue Zahlen). Für die Verluste in A-K ist das Luftbild von 2008 mit der Baumüberschirmung von 2019 abgebildet. Für die Zuwächse in 1-4 sind die Luftbilder von 2017 und die Baumüberschirmung von 2011 dargestellt.

<p>A: Baugebiet am Flughafen</p>		<p>B: Baugebiet an St. Leonard</p>	
<p>C: Sturm-schäden am Hagenmarkt</p>		<p>D: Baugebiet am Langen Kamp</p>	
<p>E: Ausbau Städtisches Klinikum</p>		<p>F: Baugebiet bei Rautheim</p>	
<p>G: Ausbau Hafen</p>		<p>H: Fällung von Obstbäumen beim Westpark?</p>	
<p>I: Verlust von Waldflächen bei Timmerlah (vermutlich abgestorbene Nadelbäume)</p>		<p>J: Verlust von Waldflächen auf dem Thünen Campus. (vermutlich abgestorbene Nadelbäume)</p>	

<p>K: Verlust von Waldflächen bei Stöckheim. (vermutlich abgestorbene Nadelbäume)</p>		
<p>1. Zuwachs auf Bahnflächen zwischen Bahnhof und Eisenbüttler Straße</p>		<p>2. Zuwachs am Westpark</p> 
<p>3. Zuwachs an der Oker</p>		<p>4. Zuwachs an der Schunter</p> 

In den 2399 ha Waldgebieten, die im Basis DLM vermerkt sind, wurde für 2019 eine Baumüberschirmung von 2333 ha geschätzt. Folglich stellen Waldgebiete in Braunschweig überwiegend geschlossene Bestände dar. Für 2011 wurden 2060 ha Baumüberschirmung innerhalb der Waldgebiete festgestellt. Unter Berücksichtigung der vermutlichen Unterschätzung der Baumüberschirmung für 2011 gegenüber 2019 von 6 %, ist dieser Zuwachs plausibel. Viele aufgeforstete Flächen haben zwischen 2011 und 2019 Baumkronen über 4 m Höhe ausgebildet.

Ein Sonderfall ist das Waldstück im Querumer Holz östlich des Flughafens. Flächen, auf denen für die Landebahnerweiterung Bäume gefällt oder gekappt wurden, sind zwischen 2011 und 2019 wieder zugewachsen und haben 14 ha zum Zuwachs der Baumüberschirmung beigetragen.

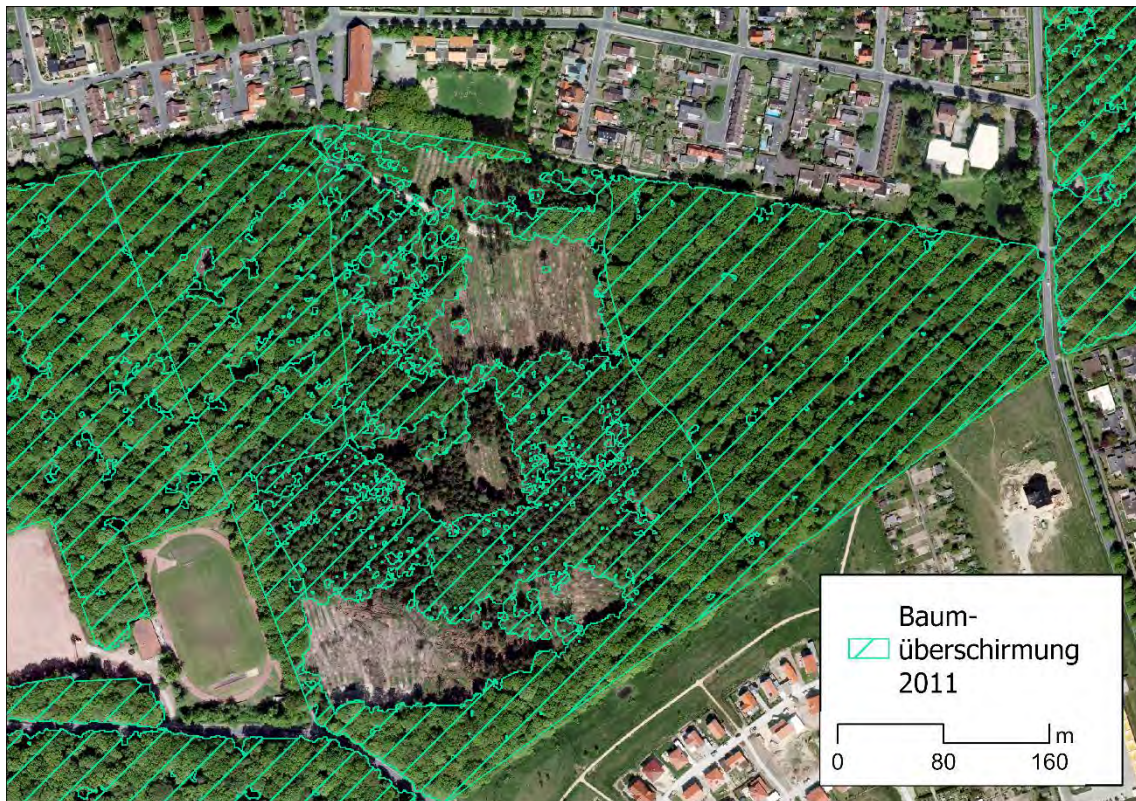


Abbildung 13: Ein Ausschnitt des Mascheroder Holzes 2011. Viele Lücken sind 2019 zugewachsen (siehe Abbildung 14).

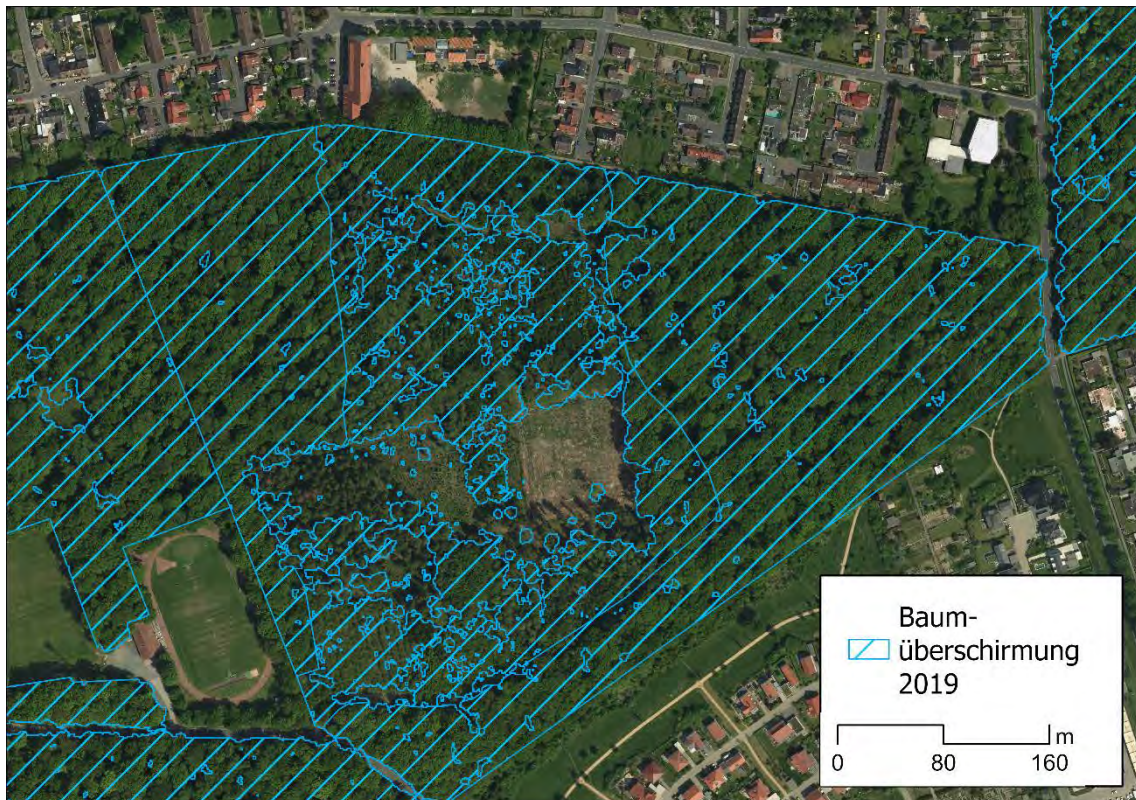


Abbildung 14: Ein Ausschnitt des Mascheroder Holzes 2019. Viele Lücken, welche 2011 noch sichtbar sind (siehe Abbildung 13), sind zugewachsen. Eine neue Lücke im Baumbestand ist entstanden.

4.4 Abschätzung der Gesamtzahl von Bäumen in Braunschweig

Die Schätzung der Einzelkronen ergab für das Jahr 2019 ca. 565.000 Bäume im Stadtgebiet. Der Methode geschuldet wurden weder kleine Bäume in einem zweiten Stockwerk unter großen Bäumen mitgezählt, noch nahe beieinanderstehende Bäume korrekt gezählt. Die tatsächliche Anzahl liegt vermutlich deutlich über diesem Wert. Beispielsweise stehen laut Baumkataster im Stadtpark an der Jasperallee 569 Bäume, wohingegen mit der hier angewandten Methode lediglich 407 Einzelbäume gefunden wurden. Auf dem Gelände des Schulgartens am Dowesee enthält das Baumkataster 618 Einzelbäume, während mit der hier angewandten Methode 361 Einzelbäume gefunden wurden. Im nächsten Jahr werden bessere Ergebnisse aus dem CliMax Projekt erwartet⁹.

5 Ausblick

Braunschweig ist eine grüne Stadt. Im internationalen Vergleich ist die Baumüberschirmungsfläche mit 23 % in Bezug auf die Stadtfläche und 17 % auf die Ortslagen im internationalen Vergleich hoch. Diese liegt beispielsweise in Kopenhagen bei 16 %, in Barcelona bei 25 %, in Liverpool bei 16 %, in Manchester bei 21 %¹⁰ oder in Leipzig bei 19 %¹¹. Bei Vergleichen mit anderen Städten sollte jedoch stets berücksichtigt werden, dass diese sowohl ganz unterschiedliche naturräumliche Ausstattungen haben als auch unterschiedlich gefasste Stadtgrenzen aufweisen.

In der aktuellen Fassung der Verordnung zur Wiederherstellung der Natur¹² sind keine klaren Ziele für die Baumüberschirmung vorgesehen. Von der Europäischen Kommission soll allerdings ein „Orientierungsrahmen für die Festlegung der zufriedenstellenden Menge an städtischen Grünflächen [und] städtischer Baumüberschirmung städtischen Ökosystemen...“ vorgelegt werden. In Artikel 6 (1) wird allerdings genannt, dass bis zum 31.12.2030 kein Nettoverlust „städtischer Grünflächen und städtischer Baumüberschirmung gegenüber [dem Jahr des Inkrafttretens der Verordnung] zu verzeichnen ist“. Dies bezieht sich jedoch auf die nationale Gesamtfläche und wie die Verordnung letztendlich umgesetzt werden wird, steht noch nicht fest. Insgesamt soll der Trend der Entwicklung von Grünflächen und Baumüberschirmung nach dem 31.12.2030 alle sechs Jahre gemessen werden.¹² Mit der hier beschriebenen und angewandten Methode ist es möglich solche Trends leicht zu ermitteln. Zwischen 2011 und 2019 gab es einen eindeutig positiven Trend in der Baumüberschirmung in Braunschweig. Die teilweise extremen Trocken- und Hitzejahre seit 2019 sind in dieser Untersuchung allerdings nicht enthalten. Hierfür wäre eine Untersuchung im Jahr 2025 empfehlenswert.

Unabhängig von der Umsetzung des Gesetzes oder weiterer Gesetze auf Bundes- und Landesebene ist ein regelmäßiges Monitoring der Entwicklung des Stadtgrüns essentiell für eine nachhaltige Stadtentwicklung. Die Wirksamkeit von Förderprogrammen kann auf diese Weise gemessen und Defizite aufgedeckt und gezielt angegangen werden. Für die Planung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel ist eine genaue Kenntnis über die Grünausstattung der Stadt unentbehrlich. Es wird empfohlen, im Rahmen der regelmäßigen Geodatenerhebung häufiger Aufnahmen innerhalb der Vegetationsperiode aufzunehmen. Auf diese Weise kann ein regelmäßiges Monitoring der Überschirmungsfläche oder der Vitalität von Bäumen stattfinden. Insbesondere im Jahr vor oder nach der nächsten Laserscanbefliegung sollten während der Vegetationsperiode Luftbilder mit Nahinfrarotkanal erfasst werden.

⁹ <https://wissen.julius-kuehn.de/urbanes-gruen/themen/klimaschutz-durch-stadtgruen/climax> zuletzt überprüft am 23.11.2023

¹⁰ Doick et al. "The Canopy Cover of England's Towns and Cities: Baseline and setting targets to improve human health and well-being." *Proceedings of the Trees, People and the Built Environment* 3 (2017).

¹¹ Strohbach, M. W. & Haase, D. Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city. *Landscape and Urban Planning* 104, 95–104 (2012).

¹² https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0277_DE.pdf zuletzt überprüft am 23.11.2023

