

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN

Urban tree cover

Wie entwickelt sich der Deckungsgrad der Bäume in Schweizer Städten?



Bachelorarbeit

von

Lisa Schubnell

Bachelorstudiengang 2017

Abgabedatum 2. Juli 2020

Umweltingenieurwesen

Fachkorrektoren:

(Dr. sc. nat.) Sandra Gloor

SWILD, Wuhrstrasse 12, 8003 Zürich

und

(MSc) Nathalie Baumann

ZHAW Life Sciences und Facility Management, Grüental, 8820 Wädenswil

Impressum

Name des Instituts

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Institut Umwelt und Natürliche Ressourcen

Schlagwörter

Stadtbaum, Deckungsgrad, Grünraum, Ökosystemdienstleistung, Klimawandel, Hitzeminderung

Zitiervorschlag

Schubnell, L. (2020). Urban Tree Cover, Wie entwickelt sich der Deckungsgrad der Stadtbäume in Schweizer Städten?
Bachelorarbeit, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Wädenswil

ABSTRACT

You are walking in a city. It's summer and the temperatures are rising. You are longing for a shady tree. Until you will find one, you may have to walk a long way through the "grey deserts" in the future.

This thesis deals with the development of urban tree cover in Swiss cities. It records the current situation of development, shows the benefits of urban trees and discusses the problems. The results show that there is a general decline in the degree of tree cover. At the same time the sealed surface is increasing. Accelerated by the global warming, the consequences of the decline are becoming more noticeable. Cities are becoming more and more heat islands, where the quality of life and the vitality of urban ecosystems is slowly declining. A decline also means a loss of ecosystem services that urban trees generate for the inhabitants and the flora and fauna of the city. There is a need for action and cities are forced to take measures. On the one hand, to ensure the quality of life for people and nature and, on the other, to detract global warming. Based on the results the measure to define a law to protect the tree cover can be proven to be successful. A comparison with a current American study also makes it possible to classify the extent of the development in Switzerland.

The literature of this thesis should emphasize the importance of our urban trees and promote their appreciation in public and private residential areas. Only in this way is it possible to achieve success for the entire urban system.

ZUSAMMENFASSUNG

Wir befinden uns in einer Stadt. Es ist Sommer, die Temperaturen steigen. Wir sehnen uns nach einem schattenspendenden Baum. Bis wir einen finden, müssen wir in Zukunft vielleicht lange durch «graue Wüsten» wandern.

Diese Arbeit befasst sich mit der Entwicklung des Stadtbaumdeckungsgrades in Schweizer Städten. Sie erfasst die aktuelle Situation, zeigt den Nutzen von Stadtbäumen auf und diskutiert die Entwicklung.

Die Resultate zeigen, dass generell ein Rückgang des Baumdeckungsgrades stattfindet. Zeitgleich nimmt die versiegelte Fläche zu. Beschleunigt durch den Klimawandel werden die Folgen des Rückganges spürbarer. Die Städte werden vermehrt zu Hitzeinseln, in denen die Lebensqualität und die Vitalität der Stadtökosysteme zumindest gebietsweise abnimmt. Ein Rückgang heisst zugleich ein Verlust an Ökosystemdienstleistungen, welche Stadtbäume für die Bewohner und Bewohnerinnen sowie die Flora und Fauna der Stadt generieren. Es besteht daher ein dringender Handlungsbedarf und die Stadtplanung ist gezwungen, Massnahmen zu ergreifen. Zum einen um die Lebensqualität für Mensch und Natur zu gewährleisten und zum andern, um die Folgen des Klimawandels zu mindern. Basiert auf den Resultaten kann die Massnahme der Gesetzgebung zum Schutz des Baumbestandes, als erfolgreich nachgewiesen werden. Der Vergleich mit einer aktuellen amerikanischen Studie ermöglicht zudem das Einordnen des Ausmasses der Entwicklung in der Schweiz.

Die Literatur dieser Arbeit soll die Wichtigkeit unserer Stadtbäume aufzeigen und ihre Wertschätzung im öffentlichen sowie privaten Siedlungsraum fördern. Nur so ist es möglich, für das gesamte städtische System Erfolge zu erzielen.

DANK

Ich möchte mich recht herzlich bei den Personen bedanken, die mich im Rahmen dieser Bachelorarbeit unterstützt haben. An erster Stelle geht mein Dank an meine Betreuerinnen Sandra Gloor (SWILD Zürich) und Nathalie Baumann (ZHAW Wädenswil). Sie haben mir wertvolle Inputs gegeben, mich in meinen Arbeitsschritten unterstützt und meine Fragen beantwortet. Die ausserordentliche Lage während der Corona-Pandemie stellte manche Schwierigkeiten für die Bearbeitung dieser Arbeit dar. Dank der Unterstützung und Flexibilität meiner Betreuerinnen konnten wir jedoch immer eine passende Lösung finden. Weiter möchte ich der Forschungsgruppe Geoinformatik der ZHAW Wädenswil für die Beantwortung meiner Fragen bezüglich des Programmes ArcGIS Pro danken. Hilfreich waren des Weiteren die Informationen von Valeria Renna (Praktikantin SWILD) zum Untersuchungsgebiet Lugano sowie Fabio Bontadina (SWILD Zürich) für die Berechnungen des McNemar Test. Nicht zuletzt geht mein Dank an mein Umfeld, das mich während des Verfassens der Arbeit sowie beim Korrekturlesen unterstützte.

BEGRIFFE

Stadtbaum

Als *Stadtbaum* werden alle jene Bäume definiert, die im öffentlichen sowie im privaten städtischen Raum vorkommen (Brack et al., 2017). Dies sind Solitäre, Baumgruppen und -reihen in Alleen, Parkanlagen, Brachflächen, Stadtwälder und Gärten. Der Begriff Stadt umfasst dabei nicht nur offiziell definierte Städte, sondern kann dörfliche Charakter annehmen.

Urban

Das Wort Urban stammt vom lateinischen *urbanus* ab. *Urbanus* bedeutet zur Stadt gehörend (Breuste, Pauleit, Haase, & Sauerwein, 2015). Die Definition des Wortes unterscheidet sich je nach dem Kontext der Verwendung. Die häufigste Bedeutung kann mit *städtisch, für das städtische Leben* charakterisiert werden. Weiter kann *urban* als gebildet und weltgewandt verstanden werden. Das Bundesamt für Raumentwicklung der Schweiz ARE definiert den *urbanen* Raum als Gesamtheit aller Schweizer Agglomerationen und Einzelstädten (ARE, 2009). Eine Agglomeration ist eine Ansammlung von mehreren Gemeinden mit städtischem Charakter (BFS, 2019). Eine Agglomeration hat insgesamt mehr als 20'000 Einwohnern und bestehen aus einem dichten Kern, der von einem Siedlungsgürtel umgeben ist. Kern und Gürtel unterscheiden sich in der Intensität der Pendlerverflechtung. Der städtische Kernraum wird definiert durch bestimmte Dichte- und Grössenkriterien zu Einwohnern und Arbeitsplätzen. Diese Kernstädte und -gemeinden sind wichtige Orientierungspunkte der Pendler der umliegenden Gemeinden derselben Agglomeration. Ausserhalb dieses Einflussgebiets des städtischen Kernes gibt es meist weitere Gemeinden, die nur eine geringe Pendlerverflechtung mit dem Kern aufweisen.

Stadt

Grundsätzlich wird eine Gemeinde mit mindestens 10'000 Einwohner in der Schweiz als *Stadt* deklariert (BFS, 2014). Entstand durch Fusion eine neue Gemeinde, welche über 10'000 Einwohner hat, diese jedoch verteilt auf kleinen Siedlungen leben, entspricht sie nicht zwingend einer *Stadt*. Hier bestimmen weitere Kriterien, welche die Kerne einer *Stadt* vorweisen, ob das Gemeindegebiet einer Stadt entspricht.

Grünraum

Grünräume im Siedlungsgebiet, auch *grüne Infrastruktur* genannt, können aus Wäldern, Naturbiotopen, Parks, Badeanlagen, Familien- und Pflanzgärten, Sport- und Spielplätzen, sowie Friedhöfen und Verkehrsgrün bestehen (Otaru, 2015). Ein intaktes Grünsystem in den Städten dient der Lebensqualität und der Aufwertung des Ortbildes.

Die einzelnen Objekte tragen zur Verbesserung der Biodiversität und weiteren Ökosystemdienstleistungen bei (Breuste, Pauleit, Haase, & Sauerwein, 2015). Die genaue Erläuterung der urbanen Ökosystemdienstleistungen ist im Kapitel 2.2.1 zu finden.

Deckungsgrad

Der Begriff *Deckungsgrad* wird in dieser Arbeit verwendet, um aufzuzeigen, zu welchem Anteil die unterschiedlichen Bodenbedeckungen einer Stadt vorliegen. Vereinfacht gesagt, können in einer Stadt eine nicht versiegelte und eine versiegelte, meist vegetationslose Bedeckung vorgefunden werden. Die genauen Definitionen der Bodenbedeckungen sowie die Berechnung des *Deckungsgrades* sind im Kapitel der Methode (3.2) aufgeführt.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Abstract | 3 |
| Zusammenfassung | 4 |
| Dank | 5 |
| Begriffe | 6 |
| 1 Einleitung | 10 |
| 1.1 Städte im Klimawandel, Ursache und Wirkung zugleich | 10 |
| 1.2 Fragestellung und Ziele | 11 |
| 1.3 Hypothesen | 11 |
| 2 Theorie | 12 |
| 2.1 Ausgangslage: Studie zur Entwicklung des Baumdeckungsgrads in den USA | 12 |
| 2.1.1 Wie entwickelt sich der Baumbestand in Städten? | 12 |
| 2.1.2 Methode zur Erfassung der Entwicklung des Baumdeckungsgrades | 12 |
| 2.1.3 Signifikanter Rückgang des Baumdeckungsgrads in den USA | 13 |
| 2.1.4 Auswirkungen auf die Gesundheit und die Lebensqualität der städtischen Bevölkerung | 13 |
| 2.2 Aktueller Stand des Wissens | 14 |
| 2.2.1 Was sind Ökosystemdienstleistungen? | 14 |
| 2.2.2 Ökosystemdienstleistungen der Stadtbäume | 16 |
| 2.2.3 Gegenüberstellung Strassenbaum und Parkbaum | 20 |
| 2.2.4 Die rechtliche Situation von Stadtbäumen | 22 |
| 2.2.5 Die rechtliche Situation von Stadtbäumen in Zürich | 22 |
| 2.2.6 Die rechtliche Situation von Stadtbäumen in Basel | 24 |
| 2.2.7 Die rechtliche Situation von Stadtbäumen in Lausanne | 26 |
| 2.2.8 Die rechtliche Situation von Stadtbäumen in Lugano | 27 |
| 3 Untersuchungsgebiete und Methode | 28 |
| 3.1 Untersuchungsgebiete | 28 |
| 3.1.1 Untersuchungsgebiet Zürich | 29 |
| 3.1.2 Untersuchungsgebiet Basel | 30 |
| 3.1.3 Untersuchungsgebiet Lausanne | 30 |
| 3.1.4 Untersuchungsgebiet Lugano | 31 |
| 3.2 Methode | 32 |
| 3.2.1 Bestimmung der Zufallspunkte und Flächen der Untersuchungsgebiete | 32 |
| 3.2.2 Erfassung der Nutzungsklassen der Zufallspunkte | 32 |
| 3.2.3 Definition der Bodendeckungs-Klassen | 34 |
| 3.2.4 Berechnung des Deckungsgrads und der Veränderungen im Untersuchungszeitraum | 36 |
| 4 Resultate | 37 |
| 4.1 Resultate von Zürich | 37 |
| 4.1.1 Stadtbäume | 39 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1.2 | Beispielaufnahmen | 40 |
| 4.2 | Resultate von Basel | 42 |
| 4.2.1 | Stadtbäume | 44 |
| 4.2.2 | Beispielaufnahmen | 45 |
| 4.3 | Resultate von Lausanne | 47 |
| 4.3.1 | Stadtbäume | 49 |
| 4.3.2 | Beispielaufnahmen | 50 |
| 4.4 | Resultate von Lugano..... | 52 |
| 4.4.1 | Stadtbäume | 54 |
| 4.4.2 | Beispielaufnahmen | 55 |
| 4.5 | Wie verändert sich die Bodenbedeckung in den vier Städten im Vergleich? | 57 |
| 5 | Diskussion und Ausblick | 59 |
| 5.1.1 | Erkenntnisse zur städtischen Dynamik | 59 |
| 5.1.2 | Die rechtlichen Situation und ihre Auswirkung auf die grüne Infrastruktur..... | 60 |
| 5.1.3 | Die klimatischen Standorte im Vergleich | 61 |
| 5.1.4 | Auswirkungen auf die urbanen Ökosystemdienstleistungen | 61 |
| 5.1.5 | Die Schweizer Städte im Vergleich mit urbanen Gebieten in den USA..... | 63 |
| 5.1.6 | Ausblick: Monitoring und Schutz der Stadtbäume in Schweizer Städten | 64 |
| 6 | Schlussfolgerung..... | 66 |
| 7 | Literaturverzeichnis..... | 68 |
| | Abbildungsverzeichnis..... | 71 |
| | Tabellenverzeichnis | 73 |
| | Anhang | 74 |

1 EINLEITUNG

1.1 STÄDTE IM KLIMAWANDEL, URSACHE UND WIRKUNG ZUGLEICH

Die Hitzebelastung in den Städten nimmt mit dem Klimawandel zu (BAFU, 2018). Die Temperaturen steigen immer häufiger und über längere Zeit auf Extremwerte an. In den stetig zunehmenden Siedlungsflächen ist dieser Wandel besonders spürbar (BFS, 2019). Die wachsende Bevölkerung und die gestiegenen Erwartungen an Freizeit, Wohnen und Mobilität erhöhen den Nutzungsdruck. Um diese zu kompensieren, wird immer verdichteter gebaut und die knappe Ressource Boden immer wie intensiver genutzt. Zahlen des Bundesamtes für Statistik zeigen, dass der Versiegelungsgrad in den Siedlungsflächen der Schweiz zwischen 1982 und 2015 von 59,1% auf 63,5% angestiegen ist (BFS, 2019). Je mehr graue Oberflächen vorhanden sind desto stärker wird die Sonneneinstrahlung absorbiert und die dicht bebauten Gebiete heizen sich auf (Stadt Zürich, 2020). Es entstehen sogenannte städtische Wärmeinseln. Diese Inseln lassen jedoch keineswegs an Urlaub denken, sondern bergen Risiken für die Bewohner und Bewohnerinnen sowie die städtische Flora und Fauna. Die Lebensqualität und unsere Gesundheit werden gefährdet. Diese Inseln treiben zudem den Klimawandel fortlaufend an. Mit einigen Mitteln ist es der Stadtplanung aber möglich, diese Effekte einzudämmen und vom Verursacher zum «Entschleuniger» des Klimawandels zu werden (BAFU, 2018).

Diese Arbeit befasst sich mit einem der wichtigsten Mittel zur Hitzeminderung, mit den Stadtbäumen. Stadtbäume leisten für die städtischen Systeme eine Vielzahl an Ökosystemdienstleistungen. Sie tragen beispielsweise zur verbesserten Luftqualität bei, spenden Schatten, kühlen das Mikroklima, bieten Lebensraum und verleihen den Städten Farbe und Abwechslung. Sie sind wichtige Bestandteile eines intakten Stadtökosystems. Je mehr die Versiegelung zunimmt und die grüne Infrastruktur weichen muss, desto mehr dieser Leistungen gehen verloren. Der Erhalt und die Förderung der Stadtbaumbestände sind demnach essenziell, zum einen für die Minderung der Hitzebelastung, und zum anderen für den Erhalt der Lebensqualität in unseren Städten. Das Aufzeigen der aktuellen Entwicklung des Baumbestandes in der Schweiz soll mit dieser Arbeit die Problematik thematisieren und die Wertschätzung des städtischen Grünes fördern.

1.2 FRAGESTELLUNG UND ZIELE

Diese Arbeit untersucht, wie sich der Baumdeckungsgrad in vier Schweizer Städten während zehn Jahren (2008 bis 2018) entwickelt hat. In Zürich, Basel, Lausanne und Lugano wird mit Hilfe von Satellitenbildern die Entwicklung der Bodenbedeckung analysiert. Recherchen zu den Ökosystemdienstleistungen von Stadtbäumen und der rechtlichen Situation bezüglich des Baumschutzes in den vier Städten unterstützen die Interpretation und Diskussion der Resultate.

Die Leitfragen der Arbeit sind:

- Wie entwickelte sich der Baumdeckungsgrad in den Städten während zehn Jahren?
- Was sind die Gründe für die Entwicklung des Baumbestandes?
- Wie verändert sich zugleich der Versiegelungsgrad?
- Welche Einfluss hat die Gesetzgebung und welche der klimatische Faktor auf die Veränderungen?

Die Arbeit soll die aktuelle Situation in den Schweizer Städten aufzeigen. Mittels der Resultate und der Literaturrecherche sollen die möglichen Auswirkungen der Veränderung genannt und diskutiert werden. Die angewendete Methodik sollte als Vorlage für weitere Untersuchungen gebraucht werden können. Im Vergleich der Resultate aus der Schweiz mit der Studie von Novak & Greenfield (2018) aus den USA sollen Unterschiede und Gemeinsamkeiten erkannt und diskutiert werden. Damit soll die weltweite Wichtigkeit des Themas aufgezeigt werden.

1.3 HYPOTHESEN

Bezüglich der Entwicklung des Baumdeckungsgrades in den vier Städten wurden folgende Hypothesen formuliert:

H1: Die Entwicklung des Baumdeckungsgrades in den vier Schweizer Städten ist rückgängig. Die zunehmende Verdichtung und Versiegelung der Städte sind Gründe für die Annahme (BFS, 2019). Zudem ergaben vorgängige Untersuchungen, wie die Baumanalyse in Zürich Schwamendingen von Grün Stadt Zürich, bereits rückläufige Resultate (Keller & Koeppl Mouzinho, 2010).

H2: Die unterschiedlichen Gesetzgebungen hinsichtlich des Baumschutzes in den vier Städten wirken sich verschieden auf die Entwicklung des Baumdeckungsgrades bzw. des Baumbestandes aus. In einer Stadt mit einem gesetzlich geregelten und garantierten Baumschutz sollte die Abnahme des Baumdeckungsgrades geringer sein als in einer Stadt mit fehlendem Baumschutz.

H3: Die unterschiedlichen klimatischen Verhältnisse wirken sich verschieden auf die Entwicklung des Baumdeckungsgrades aus. In den wärmeren Regionen wird mehr Vegetation erwartet aufgrund der guten Wachstumsverhältnisse.

H4: Die Zunahme der versiegelten Fläche wird nicht deckungsgleich mit der Abnahme der Stadtbaumfläche sein. Nach einer Fällung insbesondere eines Parkbaumes kann neue Grünfläche entstehen, welche die Zunahme der versiegelten Fläche vermindert.

2 THEORIE

2.1 AUSGANGSLAGE: STUDIE ZUR ENTWICKLUNG DES BAUMDECKUNGSGRADS IN DEN USA

2.1.1 Wie entwickelt sich der Baumbestand in Städten?

Die vorliegende Arbeit basiert auf einer amerikanischen Studie, welche den Baumdeckungsgrad in urbanen und suburbanen Gebieten in den USA zwischen 2009 und 2014 untersuchte (Nowak & Greenfield, 2018). Die Forscher analysierten dazu die Bodenbedeckung in urbanen Gebieten sowie in suburbanen Quartieren aller 50 Staaten und des Bezirks Columbia.

2.1.2 Methode zur Erfassung der Entwicklung des Baumdeckungsgrades

Es wurden pro Staat 1'000 zufällige Punkte georeferenziert. Die Punkte wurden von einem Forscherteam auf Satellitenbildern betrachtet und die Bodenbedeckung klassifiziert. Die verwendeten Klassen waren: Baum oder Strauch, Grünfläche, vegetationsloser Boden, Landwirtschaftsfläche, Wasser, Gebäude, Strassen und Anderes. Dieselben referenzierten Punkte wurden auch auf einem fünf Jahre älteren Bild betrachtet. Bestimmend für den Ausgangszeitpunkt war das früheste vorhandene Satellitenbild, welches eine ausreichende Auflösung besass. Es wurde versucht, möglichst den Zeitraum zwischen den Jahren 2009 und 2014 abzudecken. Die zwei erfassten Datensätze pro Staat wurden miteinander verglichen und berechnet, ob die Veränderung signifikant ausfiel. Für eine gesamtheitliche Analyse aller Staaten der USA wurden die Ergebnisse der einzelnen Staaten miteinander verglichen unter Berücksichtigung der Gewichtung der Ausmasse der Untersuchungsfläche.

Auf Basis des Baumdeckungsgrades wurde der Baumbestand für die untersuchten Jahre geschätzt und die Veränderung im Verlauf des betrachteten Zeitraums berechnet. Mit diesen Daten konnte der finanzielle Wert der Ökosystemdienstleistungen der Bäume und die Veränderung dieses Werts während des Untersuchungszeitraums berechnet werden.

2.1.3 Signifikanter Rückgang des Baumdeckungsgrads in den USA

Die Ergebnisse der Datenauswertung zeigen auf, dass innert fünf Jahren der Deckungsgrad der Stadtbäume im urbanen Gebiet der USA von 40.4 Prozent auf 39.4 Prozent sank. Das ist ein Verlust eines Prozents. In den Wohnquartieren fiel der Verlust etwas geringer aus mit 0.7 Prozent. Gleichzeitig stieg der Versiegelungsgrad von 25.6 Prozent auf 26.6 Prozent. Berechnet wurde weiter, dass dieser Verlust rund 36 Millionen Bäumen entspricht. Woraus sich eine Summe von 96 Millionen Dollar pro Jahr ergibt, welche an Ökosystemdienstleistungen der Stadtbäume verloren geht. In 23 von 50 Staaten wurde eine signifikante Abnahme des Deckungsgrades gefunden. In weiteren 25 Staaten war kein signifikanter Unterschied ersichtlich. Nur drei Staaten wiesen eine Zunahme auf, welche aber nicht-signifikant war.

2.1.4 Auswirkungen auf die Gesundheit und die Lebensqualität der städtischen Bevölkerung

Nowak & Greenfield (2018) sind sich einig, dass diese Veränderung negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen und die Lebensqualität in den Städten hat. Sie sagen, dass dieser Abwärtstrend weiter seinen Lauf nehmen wird, solange sich die Stadtentwicklungspolitik nicht ändert. Sie sehen Risiken für die Stadtbäume vor allem im Zusammenhang mit der fortschreitenden Versiegelung, dem Klimawandel und aufkommenden Krankheiten. Das Ziel sei es, den Baumbestand und die damit verbundenen Nutzen zu erhalten oder gar zu verbessern. Es seien umfassende und integrierende Programme notwendig, um dieses Ziel zu erreichen. Diese Programme müssten verschiedene Einflüsse, welche sich auf den Deckungsgrad auswirken, berücksichtigen und kombinieren. Neupflanzungen, natürliche Regulation, Wachstum und natürliches Absterben von Bäumen gehören mitunter zu diesen Einflüssen. Ihre Studie soll als Vorbild aufzeigen, wie Erfolg oder Misserfolg von solchen Programmen einfach und kosten-effizient überprüft werden können.

2.2 AKTUELLER STAND DES WISSENS

Die Literaturrecherche zu dieser Arbeit befasst sich mit zwei Themen:

1. Nutzen und Vorteile der Stadtbäume für uns Stadtbewohner, den sogenannten Ökosystemdienstleistungen (Details in den Kapitel 2.2.1 bis 2.2.3).
2. Die rechtliche Lage bezüglich des Baumschutzes in den Untersuchungsgebieten. Die Kapitel 2.2.4 bis 2.2.8 geben einen detaillierten Überblick zu den Baumschutz-Bestimmungen der vier Städte Zürich, Basel, Lausanne und Lugano.

2.2.1 Was sind Ökosystemdienstleistungen?

Folgend werden Ökosystemdienstleistung im Allgemeinen beschrieben und auf urbaner Ebene konkretisiert. Weiter werden einzelne Ökosystemdienstleistungen der Stadtbäume aufgezeigt. Mit einer Gegenüberstellung der Dienstleistungen von Strassen- und Parkbäumen wird versucht, den Unterschied zwischen den beiden Baumtypen zu erfassen und zu werten.

Ökosystemdienstleistungen (ÖSD) sind Leistungen, die von der Natur erbracht werden und vom Menschen genutzt werden können (Grunewald & Bastian, 2012). Sie bestehen aus Basisleistungen, Versorgungsleistungen, Regulationsleistungen und kulturellen Dienstleistungen. Diese Leistungen stellen lebensnotwendige Werte für den Menschen sicher. Das Ökosystemdienstleistungskonzept kann gewichtet und monetär bewertet werden, um eine gesellschaftliche Wertschöpfung zu erzielen (Schweppe-Kraft, 2010). Der Einsatz für den Erhalt der Natur wird so auch aus wirtschaftlicher Sicht interessant. Ein Ökosystem ist aufgebaut aus dem Beziehungsgefügen der Lebewesen eines Standortes untereinander und deren anorganischen Umwelt (Breuste, Pauleit, Haase, & Sauerwein, 2015). Vereinfacht umfasst es eine Lebensgemeinschaft (Biozönose) und ihren Lebensraum (Biotop). Biodiversität wird oft in Zusammenhang mit ÖSDs genannt. Biodiversität zeichnet sich aus durch biologische Vielfalt auf drei Stufen: genetische Variabilität innerhalb einer Art, Artenvielfalt und Diversität der Ökosysteme. Die Biodiversität unterstützt das Funktionieren der Ökosysteme und dem zufolge auch deren Bereitstellung der Dienstleistungen. Andererseits wird Biodiversität auch als eine ÖSD bezeichnet, dies als Leistung eines Ökosystems, welches Biodiversität bereitstellt. Die beiden Begriffe sind nicht identisch, sie ergänzen sich und umfassen individuell weitere Bereiche.

Urbane Ökosystemdienstleistungen (uÖSD) sind alle Leistungen, die von urbanen Ökosystemen erbracht werden und von den Bewohnern einer Stadt genutzt werden (Grunewald & Bastian, 2012). Beispiele hierfür sind Produktion von Nahrung in den Gärten, Bestäubung von Blüten im Siedlungsbereich oder Bereitstellung von kühler, frischer Luft auf Frei- und Erholungsflächen. Ein Stadtkökosystem wurde vom Menschen geschaffen und ist von ihm stark geprägt (Breuste, Pauleit, Haase, & Sauerwein, 2015).

Diese «künstlichen» Systeme sind auf einen intensiven Stoff- und Energieeintrag und -austausch mit dem Umland angewiesen. An Beispielen der Abfallentsorgung, der Trink- und Frischwasser, Frischluftzufuhr oder der Versorgung mit Energie und Nahrungsmitteln ist dies ersichtlich. Der Unterschied zu nicht urbanen Ökosystemen liegt darin, dass bei einem urbanen Ökosystem fast keine natürliche geschlossene Energie- und Stoffkreisläufe vorhanden sind (Breuste, Pauleit, Haase, & Sauerwein, 2015). Auch bleibt meist eine natürliche Regulierung aus. Diese Lücken werden von anthropogen geprägten Steuerungs- und Regulationsmechanismen übernommen. Die uÖSD stehen im engen Bezug mit dem Konzept der urbanen Lebensqualität, welche auf den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (Ökologie, Soziales und Ökonomie) aufbaut. Indirekt wird damit der Bedarf der Stadtbewohner an Leistungen ausgedrückt. Dieser Bedarf wird dann teilweise durch uÖSD und ihre Funktionen gedeckt. Eine Gegenüberstellung der uÖSD und den Indikatoren für urbane Lebensqualität wird in der Tabelle 1 dargestellt.

| Nachhaltigkeitsdimension | Urbane Ökosystemdienstleistungen | Indikatoren für urbane Lebensqualität |
|--------------------------|---|--|
| Ökologie | Luftfilterung Klimaregulierung Lärmreduzierung Regenwassermanagement Wasserangebot Abwasserreinigung Lebensmittelproduktion | Gesundheit Sicherheit Trinkwasser Nahrung |
| Soziales | Landschaft Erholung Kulturelle Wert Umweltbildung | Schönheit der Umgebung Erholung Intellektuelle Bereicherung Kommunikation Wohnstandort |
| Ökonomie | Bereitstellen von Flächen für ökonomische Aktivitäten und Transport | Erreichbarkeit Einkommen |

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Nachhaltigkeitsdimensionen, der uÖSD und der urbane Lebensqualität (Zusammenstellung nach Haase (2011))

2.2.2 Ökosystemdienstleistungen der Stadtbäume

Stadtbäume erbringen zahlreiche Dienstleistungen für die Bewohner und Bewohnerinnen der Städte. Die folgenden Unterkapitel beschränken sich auf die Erklärung der wichtigsten Dienstleistungen der Stadtbäume für ein Stadtsystem.

Luftqualität

Mit Stadtbäumen sind lufthygienische Aspekte verknüpft. Insbesondere Strassenbäume, weil sie direkten Einfluss auf die Belastungen an den Verkehrswegen haben. Die Intensität der Luftreinigung durch Bäume hängt von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren ab (Henninger & Weber, 2019).

Für die Beurteilung des Nutzens muss die Interaktion der Bäume mit umliegenden Objekten, wie Gebäude, in Betracht gezogen werden. Stellt ein Baum beispielsweise ein Hindernis für die Luftströmung dar, kann die Lufthygiene negativ beeinflusst werden, da sich die Schadstoffe auf engem Raum akkumulieren. Studien zeigten aber, dass die grüne Infrastruktur, insbesondere Stadtbäume, gasförmige und partikuläre Spurenstoffe aus der Luft filtern können. Die biochemischen Prozesse der Photosynthese verbraucht Kohlendioxid aus der Luft und setzt Sauerstoff frei. Dieser Gasaustausch findet über die Spaltöffnungen der Laubblätter statt (Egli, Hasler & Probst, 2013). Ein weiterer Immissionsschutz wird durch die Senkung der Konzentration von Ozon, Stickoxiden, SO₂ und Kohlenmonoxiden erreicht (Nowak & Crane & Stevens, 2006).

Feinstaub wird zudem an Nadelbäumen, sowie an behaarten oder klebrigen Blättern von Laubbäumen gebunden (Thönnessen & Hellack, 2005). Hier wird zwischen Baumarten unterschieden, welche zum einen Feinstaub akkumulieren und andere bei welchen durch Niederschlag der Feinstaub abgewaschen wird. Erstere können durch die Akkumulation Schaden nehmen, so dass der zwar für die Luftqualität positive Effekt negative Auswirkungen für die Vegetation mit sich bringt.

Um Stadtbäume als erfolgreiche Luftreiniger einzusetzen, müssen daher die beschriebenen Faktoren, wie die Interaktion mit der Umgebung, die Wuchsform und Struktur des Baumes oder die Artenwahl, zwingend berücksichtigt werden.

Klimaregulierung

Das Stadtklima wird definiert als ein Klima, welches durch Wechselwirkung der Atmosphäre mit der Bebauung sowie durch anthropogene Emission von Wärme und Spurenstoffen hervorgerufen wird (Henniger & Weber, 2019). Weltweit ist zu beobachten, dass in urbanen Gebieten charakteristische Stadtklimaeffekte auftreten. Ein Effekt ist die städtische Wärmeinsel. Abbildung 1 zeigt den typischen Temperaturverlauf zwischen dem Umland und dem stark verdichteten Innenstadtbereich.

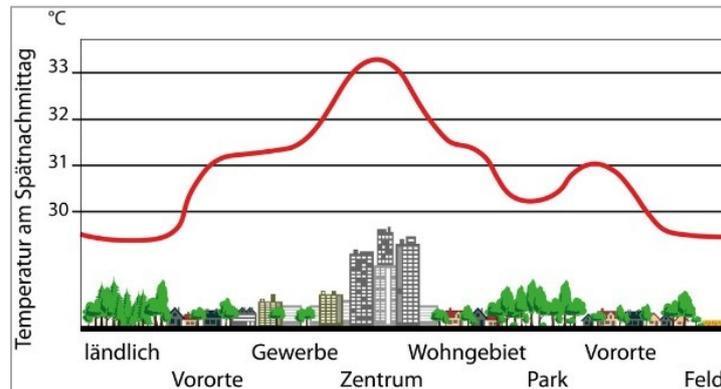


Abbildung 1: Der typische Temperaturverlauf einer städtischen Wärmeinsel. Die durchschnittliche Temperatur steigt mit der Zunahme der versiegelten Fläche Richtung Stadtzentrum an und nimmt in vegetationsreicheren Bereichen wieder ab (Quelle: Henniger & Weber, 2019).

Die Temperatur steigt beim Übergangsbereich von ländlich zu urban an, bleibt konstant in den Vororten und dem Gewerbe und steigt nochmals markant an bis sie den Peak im Stadtzentrum erreicht. Der Temperaturanstieg ist stark abhängig von Versiegelungsgrad. Gebiete mit mehr Vegetation, wie beispielsweise, Parkanlagen stellen im Gegensatz dazu Kälteinseln dar, in welchen sich die Temperatur spürbar unterscheiden kann. Damit haben Grünräume, insbesondere Stadtbäume, vielfältige Auswirkungen auf das urbane Mikroklima. Unter Mikroklima versteht man die klimatischen Bedingungen in Bodennähe bis hin zu zwei Metern Höhe (Erl, Pearlmutter & Williamson, 2011). Der Begriff kann aber auch verwendet werden, um das Klima in einem kleinen, genau definierten Bereich zu beschreiben.

Ein weiterer mikroklimatischer Effekt wird durch die Blätter hervorgerufen. Blätter können durch Wechselwirkungen mit der solaren Strahlung die Reflexion erhöhen, was die Oberflächentemperatur am Kronendach und die Lufttemperatur innerhalb der Krone reduziert. Einzelne Baumarten, u.a. die Silberlinde (*Tilia tomentosa*), eignen sich besonders, um diesen Effekt zu untersuchen (Heinniger & Leitte, 2017). Blätter der jungen Silberlinde können sich selbstständig gegen die intensive Sonneneinstrahlung schützen. Bei hoher Einstrahlung wenden sich die Blätter und anstatt der dunkelgrünen Oberseite erscheint die silberne Unterseite. Diese reflektiert stärker und die Albedo verändert sich.

Das grösste Potential der Stadtbäume als Klimaregulator wird meist der Evapotranspiration des Kronendaches zugeschrieben (Qiu, 2013). Evapotranspiration bezeichnet den Prozess, wenn die Pflanze sich vor der Hitze schützen will und Wasser in die Blätter transportiert (Egli & Hasler & Probst, 2013). Auf der Blattoberfläche verdunstet das Wasser. Dieser Vorgang braucht Energie, welche der Umgebung entzogen wird. Dies kühlt die nahe Umgebung und den Baum selbst. Es gilt hierbei aber zu beachten, dass die Photosynthese und somit die Evapotranspiration meist nur an der Oberseite der Baumkrone stattfindet (Henninger & Weber, 2019). Hier erfährt der Baum die höchste direkte Sonneneinstrahlung. Ein grosser Teil dieses Kühlungsprozesses findet also oberhalb der Baumkrone statt und hat nur wenig Einfluss auf das Klima in Bodennähe. Weiter müssen eine ausgewogene Wasserbilanz und die Durchlüftung der Baumkrone gewährleistet sein.

Ergänzend zur beträchtlichen Leistung als Klimaregulator oberhalb der Baumkrone spendet der Baum mit seiner Struktur und Form Schatten. Äste und Zweige absorbieren oder reflektieren zudem die Einstrahlung. Blätter hingegen sind zu einem gewissen Grad lichtdurchlässig. Trotzdem wird durch die Schattenspendung das Mikroklima spürbar begünstigt.

Ein weiterer Effekt ist die Kohlenstoffbindung (Klein & Schulz, 2011). Oft wird jedoch von einer CO₂ Bindung beziehungsweise Speicherung gesprochen, welche den Klimaschutz begünstigt. Diese Aussage ist im Detail nicht korrekt, da der Baum für den Biomassenaufbau während der Photosynthese lediglich Kohlenstoff bindet und Sauerstoff freisetzt. Will man den Klimaeffekt durch die reine Kohlenstoffbindung beschreiben, muss der Kohlenstoffgehalt des Baumes mal einen Faktor gerechnet werden, um den Gehalt an CO₂ zu erhalten.

Lebensraum und Biodiversität

Bäume stellen wichtige Lebensräume für Lebewesen dar. Den Vögeln bieten sie Singwarten, Nistplätze und Nahrung. Insekten finden Unterschlupf sowie ein Nahrungsangebot. Auch Flechten, Pilze und Epiphyten (z.B. Misteln) profitieren von Stadtbäumen (Spohn, 2016).

Bäume können Verbindungen zwischen weiteren Grünräumen darstellen und begünstigen so als Trittsteine die Vernetzung einzelner Lebensräume. Mit diesen Aspekten tragen sie eine Schlüsselrolle für die Biodiversität in der Stadt (Gloor & Göldi Hofbauer, 2018).

Folgende drei Faktoren tragen zum Wert des Baumes für die Biodiversität bei: 1) Art und Sorte, 2) Alter und Zustand (Gesundheit und Schnitt) und 3) der Standort. Damit ein Baum sein Potential für die Flora und Fauna seiner Umgebung ausschöpfen kann, spielen diese Faktoren eine wichtige Rolle. Beispielsweise können manche freistehende Bäume sich besser entfalten als Bäume, die in dichten Baumgruppen stehen. Sie schöpfen so ihr Maximum an Volumen, Oberfläche, Anzahl Blüten und Früchten aus und steigern ihren Nutzen.

Je älter ein Baum ist desto bessere Werte weist er für die Biodiversität auf. Das grosse Kronenvolumen und die Vielzahl an Strukturen, wie Hohlräume oder Totholz, unterscheidet sie von jungen Bäumen und macht sie sehr wertvoll für allerlei Lebewesen.

Lebensqualität und Gesundheit

Alle genannten Ökosystemdienstleistungen der Stadtbäume sind Bereicherungen für die Lebensqualität in der Stadt (Lee & Maheswaran, 2011). Eine bessere Luftqualität unterstützt die Gesundheit der Bewohnerinnen und Bewohner. Die Klimaregulation macht das Leben und die Freizeit im städtischen Raum angenehmer und hat zugleich positive Auswirkungen auf die Gesundheit. Weiter hat eine naturnahe Umgebung positive Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden (scnat, 2019). Es wurde belegt, dass der Kontakt zur Natur positive Auswirkungen unter anderem die Sterblichkeit (durch Herz-Kreislauf-Erkrankungen) und das kognitive Altern reduziert aber auch die psychischen Gesundheit verbessert.

Intakte Ökosysteme und eine hohe Biodiversität in der Stadt bringen die Natur den Menschen näher (Grant, 2012). Sie finden in ihrem Umfeld natürliche Strukturen vor und wecken das Interesse an ihnen. Ein Beispiel hierfür sind Baumpatenschaften (Stadtgärtnerei Basel, 2020). Der Pate kümmert sich um die Unterbepflanzung einer Stadtbaumscheibe. Er schützt und unterstützt hiermit das Wachstum des Baumes und trägt gleichzeitig zur ästhetischen Aufwertung der Fläche bei. Basel ist eine Vorbilds-Stadt, in welcher dieses Konzept umgesetzt wird.

Bäume haben weitere gestalterische Funktionen. Alleen und Baumreihen wurden schon früher als Orientierungs- und Lenkungsinstrumente verwendet (Mader & Neubert-Mader, 2004). Bäume in Parkanlagen oder auf Plätzen wirken raumbildend und gliedernd. Alte Bäume können kulturellen Wert aufweisen oder das Ortsbild prägen. Bekannt sind Tanz- und Gerichtslinden, unter welchen auf Podesten getanzt und Versammlungen abgehalten wurden (Brunner, 2007). Abbildung 2 zeigt eine solche Tanzlinde in Peesten, Deutschland.



Abbildung 2: Eine Tanzlinde in Peesten (Deutschland), die früher als Austragungsort für Veranstaltungen diente (Quelle: www.tanzlinde-peesten.de).

Bäume und allgemein Grünräume haben eine entspannende und stimmungsaufbessernde Wirkung. Die Farbe der grünen Blätter wirkt laut der Farbpsychologie ausgleichend und beruhigend (Heller, 2004). Zudem geben sie den versiegelten, grau erscheinenden Städten etwas Farbe und Abwechslung im Anblick.

Ökonomischer Nutzen

Bäume stärken die Identität von Städten. Dies fördert die Bekanntschaft und indirekt den Tourismus. Als Wirtschaftsfaktor können Stadtbäume gesehen werden, da Grüne Städte und Stadtteile von Bewohner und Bewohnerinnen bevorzugt werden (Buchecker, 2008). Der monetäre Wert aller positiven Effekte von Bäumen ist jedoch schwer bestimmbar. Die Wertsteigerung eines Grundstückes kann an den positiven Wirkungen eines Baumes abgeschätzt werden (Schweppe-Kraft, 2010). Es können Vergleiche zu den Situationen mit oder ohne Bäume gemacht werden, beispielsweise dem Fruchtertrag, welcher ein Kauf bei einem Detailhändler ersetzt oder der Sichtschutz, welcher den Bau einer Mauer ersetzt. Das Holz der Bäume kann als erneuerbare Ressource für die Energiegewinnung oder als Material verwendet werden. Dieser Nutzen betrifft aber den Baumbestand in den Städten nicht, ausgenommen von Stadtwäldern.

2.2.3 Gegenüberstellung Strassenbaum und Parkbaum

In Tabelle 2 werden die behandelten Ökosystemdienstleistungen für Strassen- und Parkbäume bewertet. Anschliessend wird die Bewertung basierend auf das vorhandene Wissen begründet.

| Ökosystemdienstleistung | Strassenbaum | Parkbaum |
|------------------------------|--------------|----------|
| Luftreinigung | + | ++ |
| Klimaregulation | ++ | ++ |
| Lebensraum und Biodiversität | + | ++ |
| Lebensqualität | ++ | ++ |
| Ökonomischer Nutzen | + | ++ |

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Ökosystemdienstleistungen von Strassen- und Parkbäumen. Die Intensität der Leistung des Baumes für die genannte Ökosystemdienstleistung wird mit dem Symbol + definiert (+ geringe Leistung, ++ ausgeprägte Leistung).

Die Luftreinigung wird für Strassenbäume geringer bewertet, da sie meist über ein kleineres Kronenvolumen verfügen und daher weniger Biomasse aufweisen. Strassenbäume erreichen ihr physiologisches Optimum meist nicht, da Strassen Extremstandorte sind, welche für die meisten Arten nicht standortgerecht sind (Weiss, 2015).

Weniger Biomasse bedeutet weniger Filterleistung und weniger Oberfläche, wo der Feinstaub deponiert werden kann. Werden zudem Strassenbäume an unpassenden Standorten gepflanzt, wo sie Hindernisse der Luftzirkulation darstellen, kommt es zu einer örtlichen Akkumulation von Schadstoffen und daher zum Gegenteil der gewünschten Situation (Henninger & Weber, 2019).

Die Klimaregulation wird gleichwertig bewertet. Strassenbäume haben einen grösseren Effekt auf die Kühlungsleistung durch Beschattung des Asphalt als Parkbäume, welche meist auf Grünflächen stehen. Asphalt absorbiert und speichert deutlich mehr Wärmestrahlung als Grünflächen. So kann durch Verminderung der Einstrahlung auch ein deutlicher Temperaturunterschied erzeugt werden.

Hingegen weisen Parkbäume eine zehn Mal höhere Evapotranspiration auf als Strassenbäume (Rahman & et al., 2020). Dies ist wiederum auf die meist höhere Biomasse der Parkbäume zurück zu führen. Zudem kann angenommen werden, dass für einen Parkbaum aufgrund seines Standortes die Wasserzufuhr besser gewährleistet ist, da die Grünfläche als Wasserspeicher fungiert. Die Wasserversorgung ist eine wichtige Grundlage für die Evapotranspiration.

Als Lebensraum und für die Biodiversität werden Parkbäume erheblich besser bewertet. In vielen Parkanlagen gibt es alte Exemplare, die wertvolle Merkmale, wie Nisthöhlen oder Totholz, für Lebewesen aufweisen. Strassenbäume erreichen das notwendige Alter meist nicht, um als bedeutender Lebensraum zu gelten (Weiss, 2015). Strassenbäume werden aus Sicherheitsgründen so angezchtet und gepflegt, dass sie meist nicht ihr natürliches Wachstum und Wuchsform haben (Brack, et al., 2017).

Der Gewinn für die Lebensqualität des Menschen wird bei Strassen- sowie Parkbäumen als ausgeprägt bewertet. Grundsätzlich ist es der Baum an sich, der die Abwechslung, den gewollten Anblick und das Stück Natur in die Stadt bringt, unabhängig davon, an welchem Standort er steht.

Der ökonomische Nutzen wird beim Parkbaum besser bewertet, da dieser diversere Funktionalitäten aufweist als ein Strassenbaum.

Zusammengefasst erhält der Parkbaum eine bessere Bewertung zur Vollbringung von Ökosystemdienstleistungen in der Stadt als der Strassenbaum. Es kann angenommen werden, dass Stadtökosysteme mit Parkbäumen eher den natürlichen Systemen entsprechen. Diese Systeme funktionieren auf natürliche Weise besser und erbringen befriedende Leistungen. Das Vorhandensein von Strassen- sowie Parkbäumen macht aber den Mehrwert eines gesamten Stadtökosystems aus. Die Leistungen beider Baumtypen ergänzen sich und funktionieren zusammen.

2.2.4 Die rechtliche Situation von Stadtbäumen

Die rechtliche Situation von Stadtbäumen wird für diese Arbeit untersucht, um Veränderungen der Deckungsgrade zu begründen. Die Hypothese lautet dem entsprechend, dass in einer Stadt mit gesetzlich geregelten Baumschutz der Baumdeckungsgrad weniger abnimmt als in einer Stadt mit fehlendem Baumschutz. Nach der Auswertung der Resultate können Annahmen gemacht werden, wie sich die Gesetzgebungen auswirken und ob Unterschiede bestehen.

In der Schweiz stellen Bäume Sachwerte dar, die bezüglich Eigentums und Haftung der Gesetzgebung unterliegen. Auf eidgenössischer Ebene sind folgende Artikel massgebend:

- Schweizerisches Zivilgesetzbuch (Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, SR 210, Stand am 1. Januar 2020)
- Obligationenrecht (Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches, SR 220, Stand am 1. April 2020)
- Eisenbahngesetz (Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, SR 742.101, Stand am 1. Januar 2018)
- Waldgesetz (Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, SR 921, Stand am 1. Januar 2017)
- Waldverordnung (Schweizer Bundesrat, SR 921.01, Stand am 1. Januar 2020)
- Pflanzenschutzverordnung (Schweizer Bundesrat, SR 916.20, Stand am 1. September 2019)

Auf kantonaler Ebene unterscheiden sich die Gesetzgebungen. Sie basieren auf dem Baugesetz und der Bauverordnung des jeweiligen Kantons. Einige Kantone verfügen zusätzlich über ein eigenes Baumschutzgesetz. In den folgenden Unterkapiteln wird die Gesetzgebung in den Untersuchungsgebieten Zürich, Basel, Lausanne und Lugano erläutert.

2.2.5 Die rechtliche Situation von Stadtbäumen in Zürich

In der Stadt Zürich wurde in den 1980er Jahren im Zuge der Ökologiebewegung ein Baumschutz gefordert (Grün Stadt Zürich, 2020). Am 17. Mai 1992 wurde in einer Volksabstimmung einer Baumschutzverordnung mit grosser Mehrheit zugestimmt. Jedoch blieb diese Verordnung nicht lange bestehen. Die Umsetzung eines umfassenden Baumschutzes stand, wie der Regierungsrat festhielt, im Widerspruch mit dem kantonalen Planungs- und Baugesetz und musste deshalb aufgehoben werden.

Artikel 76 des Planungs- und Baugesetzes (PBG, 1975) besagt: «Die Bau- und Zonenordnung kann die Erhaltung von näher bezeichneten Baumbeständen und deren Ersatz sowie zonen- oder gebietsweise angemessene Neupflanzungen und die Begrünung von Flachdächern vorschreiben; diese dürfen jedoch die ordentliche Grundstücknutzung nicht übermässig erschweren.»

1995 wurde die Verordnung vom Regierungsrat wieder aufgehoben. Somit ist die Stadt Zürich eine der wenigen grossen Städte der Schweiz, die nicht über einen generellen Baumschutz verfügen.

Mit der Teilrevision der Bau- und Zonenordnung der Stadt Zürich (BZO, 2016) wurden jedoch Baumschutzzonen ausgewiesen (Anhang B). Obwohl die neue Bestimmung vom Hauseigentümerverband und bürgerlichen Parteien bekämpft wurde, traten die Baumschutzzonen 2016 in Kraft (Grüne Stadt Zürich, 2020). In ausgewählten Gebieten der Stadt Zürich konnte so der Schutz von bestehendem und stadt-bildprägendem Bäumen verbessert werden (Grün Stadt Zürich, 2020). Das Ziel der Schutzzonen ist es, die wichtigsten Baumstrukturen zu erhalten.

Unterstützend bestehen weitere Instrumente und Verfahren, die den Erhalt und die Entwicklung des Baumbestandes in der Stadt fördern. Dazu gehören Leitbilder, Baubewilligungsverfahren, ein Einzelbaumschutz sowie Unterschutzstellung von auserwählten Objekten und Inventare.

Ein Baum gilt heute als geschützt und darf nicht ohne Bewilligung gefällt werden, wenn (BZO, 2016):

- ... das Planungs- und Baugesetz den Baum aufgrund von Inventaren oder wertvollen Beständen unter Schutz stellt.
- ... der Baum durch weitere Bestimmungen geschützt ist. Dazu ist ein rechtskräftiger Stadtratsbeschluss und ein Eintrag im Grundbuch nötig.
- ... der Baum in einem der Schutzgebiete steht und einen Stammumfang von über 80 cm aufweist.
- ... am Baum im Kronenbereich oder am Wurzelwerk Eingriffe gemacht werden müssen, die sich wie eine Beseitigung auswirken oder eine solche notwendig machen.

Bei einem natürlichen Abgang eines Baumes in der Schutzzone muss dieser ersetzt werden. Die Entfernung einer Ersatzpflanzung braucht unabhängig vom Stammumfang eine Bewilligung. Von einer Bewilligungspflicht ausgenommen sind Massnahmen für die Freihaltung des Strassenraumes. Solche Massnahmen müssen von der Polizei definiert werden.

Die Bewilligung zur Fällung eines Baumes muss erteilt werden, wenn an der Erhaltung des Baums kein überwiegendes öffentliches Interesse besteht. Dazu gehört ein Baum, wenn er:

- ... seine physiologische Altersgrenze nach Art und Standort erreicht hat.
- ... zugunsten eines wertvollen Baumbestandes entfernt werden muss.
- ... die Sicherheit von Menschen und Sachen nicht gewährleistet und keine andere Möglichkeit der Risikobehhebung besteht.
- ... die ordentliche Grundstücknutzung übermässig erschwert.

Bäume, die nicht einem oder mehreren dieser Kriterien aufweisen sind rechtlich nicht geschützt und können ohne Bewilligung gefällt werden. Muss ein Baum aufgrund eines Bauvorhabens gefällt werden, setzt sich jedoch Grün Stadt Zürich auch bei den nicht geschützten Bäumen dafür ein, dass eine Ersatzpflanzung gemacht wird (Grün Stadt Zürich, 2020).

Weitere Bemühungen die Hitzebelastung der Zürcher Stadtbevölkerung zu mindern und parallel den Baumbestand zu fördern, wurden mit der kürzlich veröffentlichten Fachplanung Hitzeminderung definiert (Stadt Zürich, 2020). Die Umsetzungsagenda beinhaltet Massnahmen, die bereits in den Jahren 2020 bis 2023 umgesetzt werden sollen. Die Fachplanung strebt eine Erhaltung der Lebensqualität in Zürich und eine geschützte Gesundheit der Bevölkerung an trotz erwarteter Steigerung an Hitzetagen und Tropennächten. Sie verfolgt drei Ziele: die Hitzeminderung in der ganzen Stadt, die Entlastung von besonders belasteten Gebieten und der Erhaltung der Kaltluftsysteme. Die dazu erarbeiteten Teilpläne enthalten unter anderem die Massnahme von vermehrten Pflanzen von Stadtbäumen für die Klimaregulation und Schattenspendung. Die Fachplanung fördert die Entstehung neuer grüner Infrastruktur, der Schutz dieser und der bestehenden Grünflächen und -räumen wird weiterhin aber nur begrenzt vollzogen.

2.2.6 Die rechtliche Situation von Stadtbäumen in Basel

Der Kanton Basel-Stadt verfügt seit dem Jahre 1980 ein Gesetz zum Schutz und zur Förderung des Baumbestandes. Das Baumschutzgesetz (BSchG, 2009) hat zum Ziel, den Baumbestand für die Lebensraumqualität, insbesondere der Wohnlichkeit, zu erhalten und wenn möglich zu vermehren. Waldflächen, Obstbäume auf Landwirtschaftsgebiet, Familiengartenanlagen sowie Spalier- und Niederstammobstbäume fallen nicht unter die Bestimmungen des Baumschutzgesetzes. Wiederum werden auch in Basel Baumschutzgebiete ausgeschieden. Der Unterschied der Bestimmungen in den Schutzgebieten zu den übrigen Gebieten liegt im Stammumfang. Im Schutzgebiet sind alle Bäume bereits ab einem Umfang von 50 cm geschützt (Artikel 3 BSchG), in den übrigen Gebieten ab einem Umfang von 90 cm (Artikel 4 BSchG). Weiter kann ein Einzelschutz von besonders wertvollen Bäumen oder Baumgruppen (Artikel 5 BSchG), die nicht durch ihre Grösse geschützt werden, angefordert werden.

Eine Bewilligung ist zu erlassen, wenn der Baum:

- ... eine Gefahr darstellt.
- ... als Pflegemassnahme für den übrigen Baumbestand gefällt werden muss.
- ... die Wohnhygiene beeinträchtigt.
- ... das öffentliche Interesse unverhältnismässig beeinflusst.

Für geschützte Bäume, welche gefällt werden müssen, kann eine Ersatzpflanzung angeordnet werden. Im öffentlichen Raum ist dies immer der Fall. Wird ein geschützter Baum ohne Bewilligung gefällt, kann es zu einer Geldstrafe kommen, die dem Aufwand einer Ersatzpflanzung entspricht. Ersatzpflanzungen stehen unabhängig von ihrer Grösse unter Schutz.

Bei einem Bauvorhaben, welches geschützte Bäume tangiert, muss ein Baumbestandesplan mit Angaben über Baumarten, Stammumfänge und Grösse erstellt werden (Stadtgärtnerei Basel, 2020). Daraus wird in Zusammenarbeit mit einem Baumpfleger ein Baumschutzkonzept entwickelt. Es beinhaltet den Zustand aller geschützten Bäume und die erforderlichen Massnahmen zum Schutz der Bäume vor und während der Bauphase. Das Bauvorhaben kann erst gestartet werden, wenn das dem Baugesuch beigelegten Baumschutzkonzept bewilligt wurde. Entstehen zudem bei einem Bauvorhaben neue unbebaute Flächen sollten die zur Vermehrung des Baumbestandes bepflanzt werden (Artikel 11 BSchG).

Auf Baustellen gelten spezielle Anweisungen für baumfreundliches Bauen. Grundsätzlich gilt, dass die Bauarbeiten rund um geschützte Bäume immer von Fachpersonen begutachtet und wenn nötig begleitet werden. Werden Grabarbeiten im Wurzelbereich gemacht oder ist ein Schnitt im Kronen- oder Wurzelbereich notwendig, ist der Vollzug durch eine Fachperson Pflicht. Folgende Punkte müssen beachtet werden (Stadtgärtnerei Basel, 2020):

- Baumschutz durch Abschränkung: Der Wurzelbereich eines Baumes definiert die Schutzzone (Abbildung 3) in ihrem Ausmass. Diese Schutzzone, zumindest die Grünfläche, muss mit einem Zaun geschützt werden.
- Stammschutz: In Ausnahmefällen bei engen Platzverhältnissen muss der Stamm mit einem gegen innen gepolsterten, mindestens 2 m hohen Stammschutz gesichert werden. Kabel werden nicht direkt am Astwerk angebracht, sondern durch eine Schlinge geführt.
- Grünflächenschutz: Grünflächen dürfen im Allgemeinen nicht belegt werden. Es ist mit einem wasserdurchlässigen Podest zu arbeiten oder eine Baupiste auszubringen.



Abbildung 3: Die Schutzzone definiert das Ausmass der Fläche, welche bei einem Bauvorhaben nicht tangiert werden darf bzw. geschützt werden muss (Quelle: Stadtgärtnerei Basel)

2.2.7 Die rechtliche Situation von Stadtbäumen in Lausanne

Der Baumschutz in Lausanne ist kantonal geregelt. Das Baumschutzgesetz des Kantons Waadt basiert auf den Artikeln 5 und 6 des Gesetzes zum Schutz der Natur, von Denkmälern und des Ortschaftsbildes (LPNMS, 1969). Im Allgemeinen sind alle Bäume geschützt, welche auf einer Stammhöhe von 1.3 m einen Durchmesser von 20 cm aufweisen. Dies gilt auch für Hecken und Büsche. Die geschützten Bäume dürfen nicht ohne Bewilligung der zuständigen Gemeinde gefällt werden.

Um eine Bewilligung einzuholen muss eine begründete Anfrage mit einem Situationsplan der Gemeinde vorgelegt werden (Ville de Lausanne, 2020). Speziell wird in Lausanne auf die Fällung eines Baumes im Voraus aufmerksam gemacht durch das Aufhängen von Hinweisblättern in der Öffentlichkeit. Die Gemeinde kann für den gefällten Baum eine Ersatzpflanzung anfordern. Diese Ersatzpflanzung muss sich jedoch nicht zwingend am gleichen Ort befinden. Mit Absprache der Nachbarn kann dies auch auf einer Nachbarszelle geschehen. Im Falle, dass keine Ersatzpflanzung beim Bauvorhaben möglich ist, wird von der Gemeinde eine Gebühr zu Kompensation verlangt. Die Gebühr wird aus den Faktoren der Dimension, der Art und des Zustandes der gefällten Bäume berechnet. Werden geschützte Bäume ohne Bewilligung gefällt, wird eine Geldstrafe ausgestellt, die der Finanzierung der Ersatzpflanzung entspricht. Jegliche Schädigung am Baum oder dem Wurzelwerk haben die gleichen Konsequenzen, wie die einer nicht autorisierten Fällung. Die Kontrolle und Pflege geschützter Bäume liegt grundsätzlich in der Verantwortung des Eigentümers. Wird eine Anfrage zur Fällung von der Gemeinde abgelehnt, muss die Verantwortung darauf von ihr übernommen werden.

Für den Baumschutz auf Baustellen gelten zusätzliche Weisungen. Der Schutz konzentriert sich auf den «Lebensbereich» des Baumes (Ville de Lausanne, 2015). Dieser wird definiert als die Ausdehnung der Krone und zusätzlichen 150 cm Pufferzone. In dieser Schutzzone eines Baumes sind keinerlei Eingriffe toleriert. Um die Schutzzone abzugrenzen wird ein 2 m hoher Schutzzaun aufgestellt. Bei Strassenbäumen, welche grösstenteils von Asphalt umgeben sind, muss der Schutzzaun nur um den offenen Wurzelbereich gelegt werden. Arbeiten mit Chemikalien und die Lagerung der Behälter ist in und um die Schutzzone verboten. Weiter darf die Zone nicht befahren werden und keine Aushübe gemacht werden. Muss bei einem Bauvorhaben eine Ausnahme gemacht werden, ist eine Begutachtung und Begleitung von Fachleuten des «Service des parcs et domaines» der Stadt Lausanne Pflicht.

2.2.8 Die rechtliche Situation von Stadtbäumen in Lugano

Die öffentlich vorgefundene Information zum Baumschutz der Stadt Lugano beschränkt sich auf die «Ordinanza municipale sulla manutenzione dei fondi nel comune di Lugano (2013)», übersetzt „Gemeindeverordnung über die Aufrechterhaltung der Mittel in der Gemeinde Lugano“. Diese Verordnung basiert auf unterschiedlichsten kommunalen und kantonalen Gesetzen sowie dem Zonenplan. Erwähnt wird im Kapitel 5 der Verordnung, dass Stadtbäume im Allgemeinen regelmässig kontrolliert und gepflegt werden müssen. Bestehen Fäulnis oder andere Sicherheitsrisiken, kann der Baum durch Anweisungen der Gemeinde gefällt werden. Es kann dazu kommen, dass die Gemeinde die Fällung vorgibt, jedoch der Eigentümer des Baumes die Kosten tragen muss. Laut Verordnung bestehen inventarisierte Bäume, welche besonderen Wert aufweisen. Genauere Angaben zum Inventar konnten nicht gefunden werden. Diese Bäume stehen jedoch unter Schutz. Eingriffe und Pflegemassnahmen müssen im Voraus mit der Gemeinde abgesprochen werden und können auch von ihr angefordert werden, wenn der Eigentümer keine Initiative ergreift.

Das Ziel der Stadt Lugano ist es, im Rahmen des Baumschutzes das Baumerbe zu erhalten, die Vielfalt zu stärken und im Hinblick auf die Klimaerwärmung passende Arten und Gattungen als Stadtbäume zu finden und diese zu fördern (Città di Lugano, 2020). Weiterführende Information konnte über die Gesetzgebung in der Stadt Lugano nicht gefunden werden. Kantonale Wald- und Forstgesetze sind öffentlich zugänglich. Diese werden in dieser Arbeit aber nicht weiter vertieft, da sich die Praktiken im Wald von den Stadtbäumbeständen unterscheiden.

3 UNTERSUCHUNGSGEBIETE UND METHODE

3.1 UNTERSUCHUNGSGEBIETE

Eine Gegenüberstellung in Tabelle 3 zeigt die Merkmale der Standorte der Untersuchungsgebiete auf. Die Definition des Erfassungsperrimeters und das Grünmanagement der Städte wird darauffolgend für jedes Untersuchungsgebiet einzeln beschrieben. Daten wurden in den Städten Zürich, Basel, Lausanne und Lugano erhoben. Die Satellitenbildaufnahmen aus dem Jahre 2008 mit den abgegrenzten Untersuchungsgebieten sind im Anhang A aufgeführt.

| | Zürich | Basel | Lausanne | Lugano |
|-------------------------------|--|--|---|--|
| Lage | Nordöstliches Mittelland | Dreiländereck Schweiz-Deutschland-Frankreich | Westschweiz (Kanton Waadt) | Sottoceneri (südlicher Teil des Kanton Tessin) |
| Gewässer | Zürichsee, Limmat und Sihl | Rhein, Birs | Genfersee, Louve, Flon | Luganersee |
| Umgebung | Uetliberg im Westen, Zürichberg im Osten | Schwarzwald, Vogesen, Ausläufer des Juras | Hanglage, Waldflächen des Jorat im Norden | Zwischen den Aussichtsbergen Monte Brè und San Salvatore |
| Höhenlage | 408 m ü. M. (392 bis 870 m ü. M.) | 260 m ü. M. (244 bis 520 m ü. M.) | 495 m ü. M. (374 bis 600 m ü. M.) | 305 m ü. M. (272 bis 460 m ü. M.) |
| Klima | Ozeanisches Klima | Mild und sonnig | Warm und gemässigt | Insubrisches Klima |
| Jahresdurchschnittstemperatur | 9°C | 11.5°C | 9.2°C | 12.4°C |
| Einwohnerzahl 2008 | 380'499 Personen | 167'763 Personen | 130'726 Personen | 62'218 Personen |
| Einwohnerzahl 2018 | 428'737 Personen | 177'595 Personen | 145'488 Personen | 67'647 Personen |
| Grösseneinordnung | Grösste Stadt der Schweiz, bezüglich der Wohnbevölkerung | Drittgrösste Stadt der Schweiz | Viertgrösste Stadt der Schweiz | Neuntgrösste Stadt der Schweiz |

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Standorte der Untersuchungsflächen Zürich, Basel, Lausanne und Lugano bezüglich der Merkmale Lage, Gewässer, Umgebung, Höhenlage, Klima, Jahresdurchschnittstemperatur, Einwohnerzahlen und Grösseneinordnung (Quellen: Statistische Ämter der Städte Zürich, Basel, Lausanne und Lugano sowie MeteoSchweiz).

3.1.1 Untersuchungsgebiet Zürich

Erfassungssperimeter

Das Untersuchungsgebiet in Zürich umfasst das Siedlungsgebiet in den 12 Stadtkreisen. Das Siedlungsgebiet wird im kantonalen Richtplan definiert (PBG, 1975). Es orientiert sich an der erwarteten städtischen Entwicklung in den nächsten 20-25 Jahren. Das Gebiet besteht aus Wohn- oder gemischten Überbauungen, wirtschaftliche und kulturelle Zentren und Flächen, die für die öffentliche, industrielle oder gewerbliche Nutzung bestimmt sind. Rechtskräftig festgelegte Bauzonen, Frei- und Grünräume strukturieren das Gebiet. Nicht zum Siedlungsgebiet gehören grossräumige Natur- und Landschaftsräume, Landwirtschaftsflächen und Waldgebiete. Im Anhang A ist die Abgrenzung des Siedlungsgebietes (orange) zu dem gesamten Stadtgebiet (weiss) ersichtlich. Da das gesamte Stadtgebiet erheblich mehr Wald-, Gewässer- und Landwirtschaftsflächen als bei den übrigen untersuchten Städten aufweist, wurde bei der Datenerfassung nur das Siedlungsgebiet als Untersuchungsgebiet definiert. Hiermit wird gewährleistet, dass weniger Punkte auf die genannten Flächen fallen und somit genauere Resultate bezüglich des eigentlichen Siedlungsraums erzielt werden können. Das Siedlungsgebiet hat eine Fläche von rund 4'830 Hektaren. Dies macht gut die Hälfte des gesamten Stadtgebiets (9'100 Hektaren inklusive Gewässerfläche) aus.

Grünmanagement

Grün Stadt Zürich ist verantwortlich für den Unterhalt der Grünflächen des öffentlichen Raumes (Grün Stadt Zürich, 2020). Darunter fallen Strassen- und Parkbäume, Stadtwald, Park- und Grünanlagen, öffentliche Villengärten, Sport- und Spielplätze, Bauernhöfe, Friedhöfe, Biotope und Bachufer. Dies macht rund 40 Prozent der gesamten Stadtfläche aus. 20 Prozent der Unterhaltsfläche macht der Stadtwald aus, je weitere 10 Prozent die Landwirtschaft und die Grünanlagen. Sie setzen sich dafür ein wertvolle Lebensräume für Tier und Pflanzen aktiv zu fördern und zu erhalten. Sie wollen die Freude an der Natur wecken und den Wert der vielfältigen Stadtnatur den Bewohner und Bewohnerinnen näher bringen.

Im speziellen sind im Baumkataster, welches über das Internet öffentlich einsehbar ist, rund 22'000 Strassenbäume, welche auf öffentlichem Grund stehen erfasst (Grün Stadt Zürich, 2020). Hinzu kommen vereinzelte Bäume, die in Grünanlagen stehen und Neuerfassungen von kürzlich gepflanzten Bäumen auf öffentlichem Grund. Das Baumkataster beinhaltet der Deutsche sowie Lateinische Namen der Baumart, eine Baumnummer und das Pflanzjahr. Es verhilft einen Überblick zu erhalten und zeigt bei kosequenter Nachführung die Entwicklung des öffentlichen Baumbestandes auf.

3.1.2 Untersuchungsgebiet Basel

Erfassungssperimeter

Der Untersuchungssperimeter in Basel umfasst die 19 Wohnquartiere, welche der Gemeinde Basel-Stadt angehören (Kanton Basel-Stadt, 2020). Die Gemeinde Basel-Stadt hat eine Fläche von 2'280 Hektaren. Diese Fläche entspricht der Grösse des Untersuchungssperimeters. Riehen und Bettingen, welche dem Kanton Basel-Stadt angehören, aber eigene Gemeinden bilden, wurden nicht zum Perimeter gezählt, da wiederum beträchtliche Wald- und Landwirtschaftsflächen vorhanden sind.

Grünmanagement

Die Stadtgärtnerei Basel ist verantwortlich für das Basler Stadtgrün (Stadtgärtnerei Basel, 2020). Rund 240 Hektaren öffentliche Grün- und Freiflächen werden bewirtschaftet. Dies macht gut neun Prozent der Stadtfläche aus. Es gibt über 50 Parkanlagen, 32 Freizeitgartenareale und mehrere Friedhofanlagen. Weiter werden Pflanzen und Bäume in der eigenen Gärtnerei und Baumschule produziert. Basel wurde 2018 mit dem Label Grünstadt Schweiz ausgezeichnet (Stadtgärtnerei Basel, 2018). Das Label zeichnet Städte aus, die sich für ein nachhaltiges und innovatives Grünflächenmanagement einsetzen.

Rund 26'500 Bäume entlang von Strassen und in Parkanlagen gibt es in Basel (Stadtgärtnerei Basel, 2020). Ein Baumkataster gibt Auskunft über die Bäume, welche von der Stadtgärtnerei gepflegt werden. Einzelne Parkanlagen weisen einen historisch wertvollen Baumbestand auf.

3.1.3 Untersuchungsgebiet Lausanne

Erfassungssperimeter

Die Gemeinde Lausanne ist in 17 Quartiere gegliedert (Ville de Lausanne, 2020). Für den Erfassungssperimeter wurden die am Stadtzentrum angrenzenden Quartiere ausgewählt. Vier im Norden liegende Quartiere wurden weggelassen, da sie über eine erhebliche Menge an Wald- und Landwirtschaftsfläche verfügen. Der Perimeter misst eine Fläche von 1'120 Hektaren.

Grünmanagement

Nach den Prinzipien der Nachhaltigkeit unterhält die Stadt Lausanne ihre öffentlichen Grünflächen (Ville de Lausanne, 2020). Ein Differenzierter Unterhalt soll seit 2012 die Biodiversität fördern und die Böden schützen. Es werden die Hälfte der Pestizide eingesetzt als zuvor und das Personal wird regelmässig in ökologischen Themen und Praktiken weitergebildet. Zuständig für die Koordination und den Unterhalt ist der «Service des parcs et domaines» der «Direction du logement, de l'environnement et de l'architecture».

Lausanne zählt bereits zu einen der grünsten Städte Europas. Um dieses Ansehen zu behalten und noch zu verbessern setzt sie sich für begrünte Dächer, Neupflanzungen von Bäumen ein.

Sie motiviert die Bewohner und Bewohnerinnen der Stadt selbst tätig zu werden und ihre Privaträume naturnaher zu gestalten. Rund 8'000 Strassenbäume und 800'000 Parkbäume gibt es in Lausanne. Die Lausanner Stadtbäume sind wichtige Werte der Stadt. Es gibt viele alte Exemplare, denen besonderen Wert zugeschrieben werden. Ein öffentliches Baumkataster konnte nicht gefunden werden. Jedoch gibt es eine Karte, auf welcher die ältesten Bäume der Stadt genannt und beschrieben werden. Ein Ritual für den Erhalt der stadtnahen Grünflächen ist das Projekt «un arbre, un enfant» (Ville de Lausanne, 2020). Jeden Herbst können Eltern, die im selben Jahr ein Kind bekommen haben, in einem Waldstück des Kantons unter Leitung eines Försters einen Baum für ihr neugeborenes Kind pflanzen.

3.1.4 Untersuchungsgebiet Lugano

Erfassungssperimeter

Für den Erfassungssperimeter wurden nicht alle Quartiere von Lugano ausgewählt. Der Perimeter umfasst alle an Lugano Centro angrenzenden Quartiere plus weitere des östlichen Stadtkreises. Weiter wurden die Gemeinden Paradiso, Sorengo und Massagno, welche unmittelbar an die Gemeinde Lugano angrenzen, hinzugenommen. Dies wurde so entschieden, um den Perimeter zu vergrössern und weil die Gemeinden gleichen urbanen Charakter aufweisen, wie die Quartiere der eigentlichen Stadtfläche. Der Perimeter weist dadurch eine Fläche von 1'126 Hektaren auf.

Grünmanagement

Lugano besitzt gut 19 Quadratmeter städtisches Grün (Città di Lugano, 2020). Die Stadt Lugano will ein nachhaltiges Lebensumfeld für die Bewohner und Bewohnerinnen schaffen. Hierfür beziehen sie die Raumplanung mit ein, achten auf einen sparsamen Umgang mit Ressourcen und schützen die biologische Vielfalt. Mit einem Entwicklungsplan will die Stadt in den Jahren 2018 bis 2028 seine Grün- und Freizeitflächen verbessern und erweitern. Es sollen neue Parks gebaut werden und die naturnahe Bewirtschaftung den Privatgärtnern nähergebracht werden.

Für die Erhaltung des Baumbestandes werden regelmässig Kontrollen durchgeführt. Sie dienen der Einschätzung des Zustandes und Definition der Handlungsmaßnahmen. Ein öffentliches Baumkataster konnte nicht gefunden werden. Informationen zu den Baumfällungen und Neupflanzungen sind jedoch ersichtlich. So waren es im Jahre 2008, laut der zuständigen Abteilung, 44 Fällungen und 91 Neupflanzungen und im Jahre 2018 rund 90 Fällungen und 234 Neupflanzungen.

3.2 METHODE

3.2.1 Bestimmung der Zufallspunkte und Flächen der Untersuchungsgebiete

Die Vorbereitung der Datenerfassung wurde mit den Programmen ArcGIS Pro (Esri 2020) und Google Earth Pro (Google LLC 2015) vorgenommen und für alle vier Städte gleich durchgeführt.

Die Verwendung von ArcGIS Pro beschränkte sich in dieser Arbeit auf das Erfassen des Perimeters und der Verteilung der georeferenzierten Zufallspunkte. Der Perimeter wurde in Form eines Polygons definiert. Es wurden aus den kantonalen Geoinformationssystemen die Vektordaten der Stadtquartiere übernommen. Die gewünschten Polygone der Stadtquartiere wurden selektioniert und zusammengefasst. Hierfür wurde eine Funktion verwendet, welche aus mehreren Polygonen ein einziges Polygon macht (merge). Das Zusammenfassen des Polygons ermöglichte die Berechnung der gesamten Perimeterfläche. In diesem Perimeter wurden zufällige Punkte verteilt. Wiederum wurde eine vorprogrammierte Funktion des Systems verwendet (create random points). Für die Berechnung der Standorte mussten die Attribute Anzahl und minimaler Abstand zwischen den einzelnen Punkten angegeben werden. Es wurde eine Anzahl von 800 Punkten mit einem Mindestabstand von 10 m verteilt. Sowohl bei den Berechnungen in ArcGIS Pro als auch in Google Earth Pro wurde mit dem «WGS 1984 Web Mercator Auxiliary Sphere» Koordiantensystem gerechnet. Nur so war eine korrekte Georeferenzierung gewährleistet. Die erhaltenen Datenlayer wurden formatiert und exportiert für die spätere Verwendung mit Google Earth Pro.

3.2.2 Erfassung der Nutzungsklassen der Zufallspunkte

Die Erfassung der Nutzungsklassen der Bodendeckung wurde in Google Earth Pro durchgeführt. Google Earth Pro ist eine Software, die einen öffentlichen digitalen Globus betreibt (Google Earth, 2020). Auf diesem virtuellen Globus kann man an weit entfernte Orte reisen und sie dank hochauflösten Luft- und Satellitenbildern genaustens betrachten. Die Auflösung der Bilder unterscheidet sich je nach Aufnahmezeitpunkt und Lage des Bildes. In den Städten Europas ist teils eine Auflösung von bis zu 15 cm gewährleistet. Zudem besteht eine 3D Funktion (Google Streetview), wodurch die virtuelle Betrachtung fast zu Realität wird. Auf der Desktop Version stehen weitere Funktionen zur Verfügung. Beispielsweise ein Zeitstrahl, welcher ermöglicht historische Bilder zu betrachten.

Für die Analyse der zufällig gesetzten Punkte innerhalb der Perimeter wurden die vorbereiteten Datensätze in Google Earth importiert. Die Daten wurden im GIS georeferenziert, daher erschienen sie im digitalen Globus an richtiger Lage. Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 4 einen Ausschnitt des Perimeters in Basel mit den Standorten der Zufallspunkte. Mit dem Zeitstrahl wurde der gewählte Aufnahmezeitpunkt des Satellitenbildes eingestellt. Weitere Einstellungen konnten gemacht werden, wenn der Punkt trotz Vergrößerung nicht ausreichend ersichtlich war. In solchen Fällen wurde die 3D-Funktion verwendet, die es ermöglichte, den Standort mit einem 360° Winkel zu betrachten.

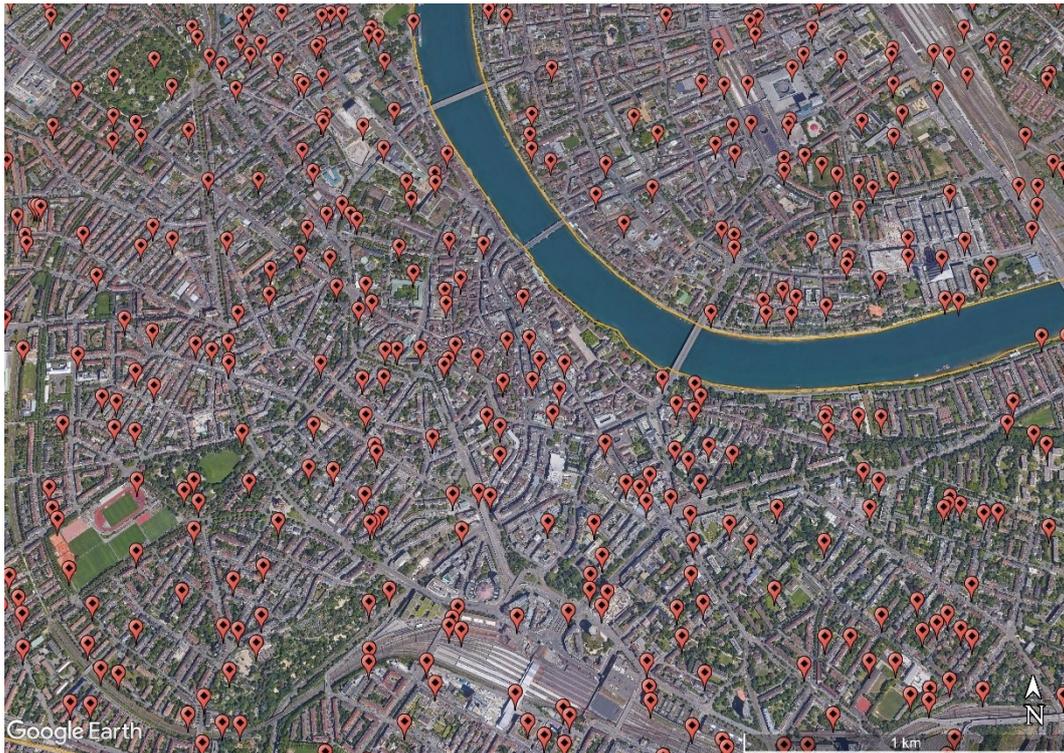


Abbildung 4: Satellitenbildausschnitt des Untersuchungsperimeter Basel mit den Standorten der Zufallspunkte (Quelle: Google Earth).

Insgesamt wurden in den vier Städten 6400 Zufalls-Punkte erfasst, 800 Punkte für jede der vier Städte. Die Vorgehensweise war für alle Datensätze dieselbe. Zuerst wurde das Satellitenbild des Jahres 2008 eingestellt und für jeden Punkt die definierten Klassen bestimmt. Dies wurde für jeden der 800 Punkte aller vier Perimeter im Jahre 2008 gemacht. In einer zweiten Runde wurde das Satellitenbild des Jahres 2018 eingestellt. Wieder wurde für jeden Punkt die Klasse erfasst. Zusätzlich wurde die Veränderung in den Klassen der einzelnen Punkte direkt verglichen und notiert. Wurde eine Baumfällung oder eine Neupflanzung erkannt, wurde diese zugleich erfasst. Die Differenz der Baumfällungen und Neupflanzung musste nach Erfassung aller Punkte die gleiche Summe aufweisen, wie die Differenz aller Baum-punkte im Jahre 2018 gegenüber dem Jahre 2008. Dies diente zur Überprüfung, ob keine Fehler bei der Erfassung passiert sind. Die erhaltene Anzahl an Punkten pro Klasse wurde für die Berechnung des Deckungsgrades und der Resultate weiterverwendet.

3.2.3 Definition der Bodendeckungs-Klassen

Parkbaum

Parkbäume stehen in grossräumigen Grünanlagen in Städten (Brack et al., 2017). Bezeichnend für einen Park ist der Wechsel von offener Wiesen- oder Rasenfläche und einzelnstehenden Bäumen (Solitären) oder Baumgruppen. Oft kommen Zierpflanzenanlagen hinzu. Parkbäume sind Laub- und Nadelgehölze, bei welchen die natürliche Kronenwuchsform belassen, respektive gefördert wird. Entscheidend für die Klassifizierung in dieser Analyse ist der Standort auf einer grossräumigen Grünfläche oder Bäume, welche auf privatem Areal, wie Gärten und Innenhöfe stehen.

Strassenbaum

Strassenbäume befinden sich am Rande von Fahrstrassen, Rad- und Gehwegen, im Bereich von Parkplätzen oder werden im Strassenbegleitgrün gepflanzt (Brack et al., 2017). Ein Strassenbaum hat bestimmte Qualitätsanforderungen zu erfüllen. Für diese wird er in der Baumschule speziell gepflegt und vorbereitet. Die Laub- und Nadelgehölze sind grossem Stress wie Hitze, Trockenheit, Streusalz und Verdichtung ausgesetzt. Klassifiziert werden in dieser Analyse Bäume als Strassenbaum, wenn sie in einem Radius von 5 Metern zu einem den oben genannten Objekten stehen.

Grünfläche

Grünflächen in Siedlungsgebieten können aus Wäldern, Naturreservaten, Parks, Badeanlagen, Familien- und Pflanzgärten, Sport- und Spielplätzen, sowie Friedhöfen und Verkehrsgrün bestehen (Otaru, 2015). In dieser Analyse umfassen Grünflächen folgende Strukturen: Rasen und Wiesenflächen, niedrige Bepflanzungen und Heckenstrukturen, Schrebergärten und ersichtliche Gartenbeete in Privatgärten.

Vegetationsloser Boden (bare soil)

Flächen, die keine Vegetation aufweisen und Rohboden sichtbar ist, werden zur Klasse 'bare soil' gezählt. Die Klasse unterscheidet sich von der Landwirtschaft in der Erkennbarkeit der Nutzung. Bare soil Flächen sind meist ungenutzt und es wird mit der Zeit eine Spontanvegetation erwartet (Brack et al., 2017). Ihre Entwicklung führt zu Ruderalstandorten, wo Pionierpflanzen sich bevorzugt etablieren.

Landwirtschaft

Landwirtschaftliche Nutzfläche wird definiert als verwendete Fläche für die Pflanzenproduktion ausser den Sömmerungsflächen und Wäldern (BFS, 2018). Hinzu kommen Weide- sowie ökologische Ausgleichsflächen im Flachland. In dieser Analyse werden die Landwirtschaftsflächen auf Grund der sichtbaren Nutzung klassifiziert. Es werden Ackerflächen und eingezäunte Wiesen und Weiden hinzugezählt.

Gewässer

Naturnahe Wasserobjekte wie Seen, Flüsse, Bäche oder Weiher werden der Klasse Wasser zugeordnet. Künstlich entstandene Objekte wie Brunnen und Wasserbecken, welche keinen erkennbaren ökologischen Wert aufweisen, werden nicht dazugezählt.

Gebäude

Die Klasse 'Gebäude' schliesst alle Bauwerke ein, welche sich über der Erde erheben und zwingend über ein Dach verfügen (Koepp & Binding, 2016). Begrünte Dächer werden ebenso der Klasse 'Gebäude' zugeteilt.

Versiegelung

In die Klasse 'Versiegelung' gehören jegliche Strassen, Wege, Einfahrten, Plätze und Schulanlagen. Ihre Materialien sind Asphalt, Ort beton, Chaussierung, Pflasterung und Plattenbeläge. Diese Orte sind meist stark frequentiert, was eine teils aufkommende Vegetation unterdrückt (Brack et al., 2017).

Andere Infrastruktur

In die Klasse 'andere Infrastruktur' werden alle Deckungstypen eingeteilt, die nicht explizit in eine der restlichen Klassen eingeordnet werden können. Bei dieser Analyse beinhaltet dies beispielsweise Eisenbahnschienen oder Flächen von Sportanlagen. Übergeordnet werden diese Objekte der Charakteristik einer versiegelten Fläche zugeteilt.

Stadtwald

Ein Stadtwald ist trotz seinem naturnahen Charakter gut erschlossen mit Wegen und er liegt im oder nahe dem Siedlungsgebiet (Grant, 2012). Die gepflanzte Vegetation, meist ausschliesslich aus Gehölzen, ist dichter als in einer normalen Parkanlage. Für die Analyse werden die Flächen als Stadtwald definiert, welche keine sichtbaren Grünflächen zwischen den Gehölzen aufweisen.

3.2.4 Berechnung des Deckungsgrads und der Veränderungen im Untersuchungszeitraum

Die erfassten Daten wurden verwendet, um Berechnungen zur Veränderung zu machen. In erster Linie wurden die Deckungsgrade der Klassen berechnet. Zu beachten ist jeweils der Standard-Fehler, welcher bei jeder manuellen Datenerfassung auftreten kann. Weiter wurde der McNemar Test verwendet, welcher aufzeigt ob eine Veränderung signifikant ist oder nicht. Anlehnend an die vorliegende Studie aus der USA konnten weitere Berechnungen zur Veränderung des Baumbestandes gemacht werden.

Der Deckungsgrad (p) für die einzelnen Klassen wurde wie folgt berechnet:

$$p = \frac{x}{n}$$

Die Variabel (x) entspricht der Anzahl Punkte, welche der Klasse zugeteilt wurden. Die Variabel (n) ist die totale Anzahl Punkte im Perimeter. In diesem Falle wurden je 800 Punkte pro Perimeter verwendet.

Die Berechnung des Standard-Fehlers (SF), welcher für jeden Deckungsgrad (p) und seine Veränderungen berücksichtigt werden muss, wurde mit folgender Formel berechnet:

$$SF = \left(\frac{p(1-p)}{n} \right)^{0.5}$$

Der McNemar Test vergleicht zwei verbundene Datensätze anhand eines dichotomen Merkmales. Er gehört zu den Chi-Quadrat-Tests. Für die Berechnung wurden die Punkte gezählt, welche im Jahr 2008 einer Baum-Klasse zugeteilt wurden und im Jahre 2018 nicht mehr, sogenannte Baumfällungen. Im Gegensatz dazu wurden die Punkte notiert, welche zuvor keiner Baum-Kategorie angehörten und nun als Baum klassifiziert wurden, die Neupflanzungen. Die Durchführung des McNemar Test basiert auf einer aus den genannten Daten erstellten Vierfeldertafel (Tabelle 4). Die Variabel (c) entspricht den Baumfällungen und die Variabel (b) den Neupflanzungen. Mit diesen zwei Werten (b und c) wurde der Test für die einzelnen Perimeter durchgeführt. Die verwendeten Werte und der errechnete p-Wert sind in Anhang F aufgeführt. Die Nullhypothese lautet, dass kein signifikanter Unterschied besteht. Es wurde mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05$ gerechnet und einem Freiheitsgrad von 1. Fällt der p-Wert kleiner aus als das Signifikanzniveau, kann die Nullhypothese abgelehnt werden und die Veränderung als signifikant angeschaut werden. Die Veränderung liegt also nicht zufälligen Schwankungen zu Grunde.

| | 2018 | |
|-----------|------|-----------|
| 2008 | Baum | Kein Baum |
| Baum | a | c |
| Kein Baum | b | d |

Tabelle 4: Vierfeldertafel zur Durchführung des McNemar Tests (a = Baumbestand 2008 und 2018 vorhanden war, b = Neupflanzungen, c = Baumfällungen, d = Punkte, die weder 2008 noch 2018 als Baum klassifiziert wurden).

4 RESULTATE

Das Kapitel Resultate beinhaltet die Darlegung aller erfassten und berechneten Resultate der vier Perimeter. Die vollständigen Resultate und die zu beachtenden Standardfehler (SE) sind in den Anhängen C bis G aufgeführt. Die Situation wird anhand von Diagrammen aufgezeigt und beschrieben. Es werden zusätzlich Beispiele der Datenerfassung mit Satellitenbilddaufnahmen gezeigt.

4.1 RESULTATE VON ZÜRICH

Die Berechnungen zum Deckungsgrad der einzelnen Klassen ergaben sichtbare Tendenzen innerhalb der untersuchten Zeitspanne. Grundsätzlich ist eine Abnahme der unversiegelten Fläche und eine Zunahme der Versiegelung ersichtlich (Abbildung 5). Zur Kategorie unversiegelte Fläche wurden die Klassen 'Parkbaum', 'Strassenbaum', 'Grünfläche', 'Wasser', 'Stadtwald' und 'Landwirtschaft' gezählt. Wasser wird hinzugenommen, da natürliche Gewässer ähnliche Ökosystemdienstleistungen wie Vegetationsflächen aufweisen können. Die restlichen Klassen gehören zur Kategorie Versiegelung, dazu zählen 'bare soil', 'Gebäude', 'Versiegelung' und 'andere Infrastruktur'. Die Ab- und Zunahme macht zwei Prozent aus. Dies zwei Prozent entspricht bei einer Perimeterfläche von 4'830 Hektaren rund 96.6 Hektaren. Jährlich verlor demnach die Siedlungsfläche der Stadt Zürich durchschnittlich annähernd 10 Hektaren unversiegelte Fläche.

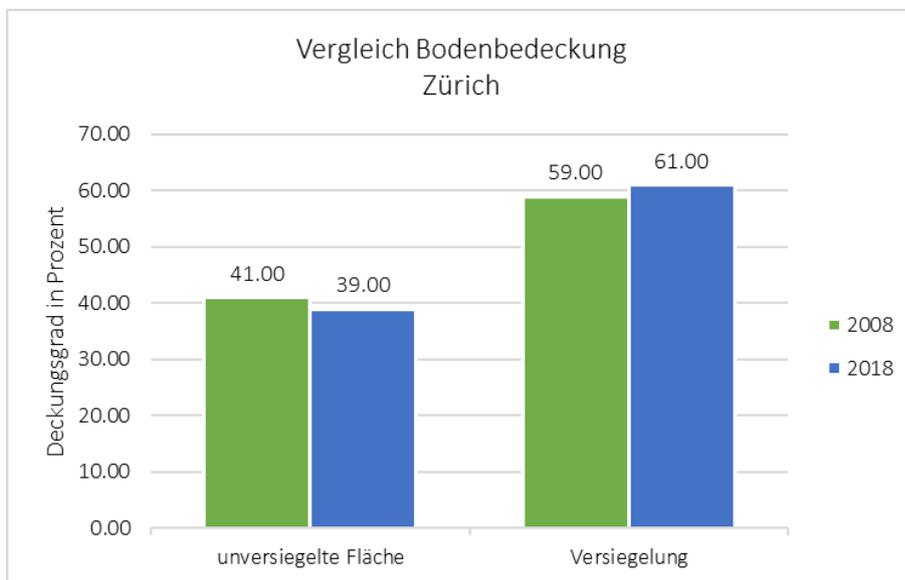


Abbildung 5: Vergleich des Bodenbedeckungsgrads von versiegelten und unversiegelten Flächen (%) für die Stadt Zürich in den Jahren 2008 und 2018 (Datensatz n=800).

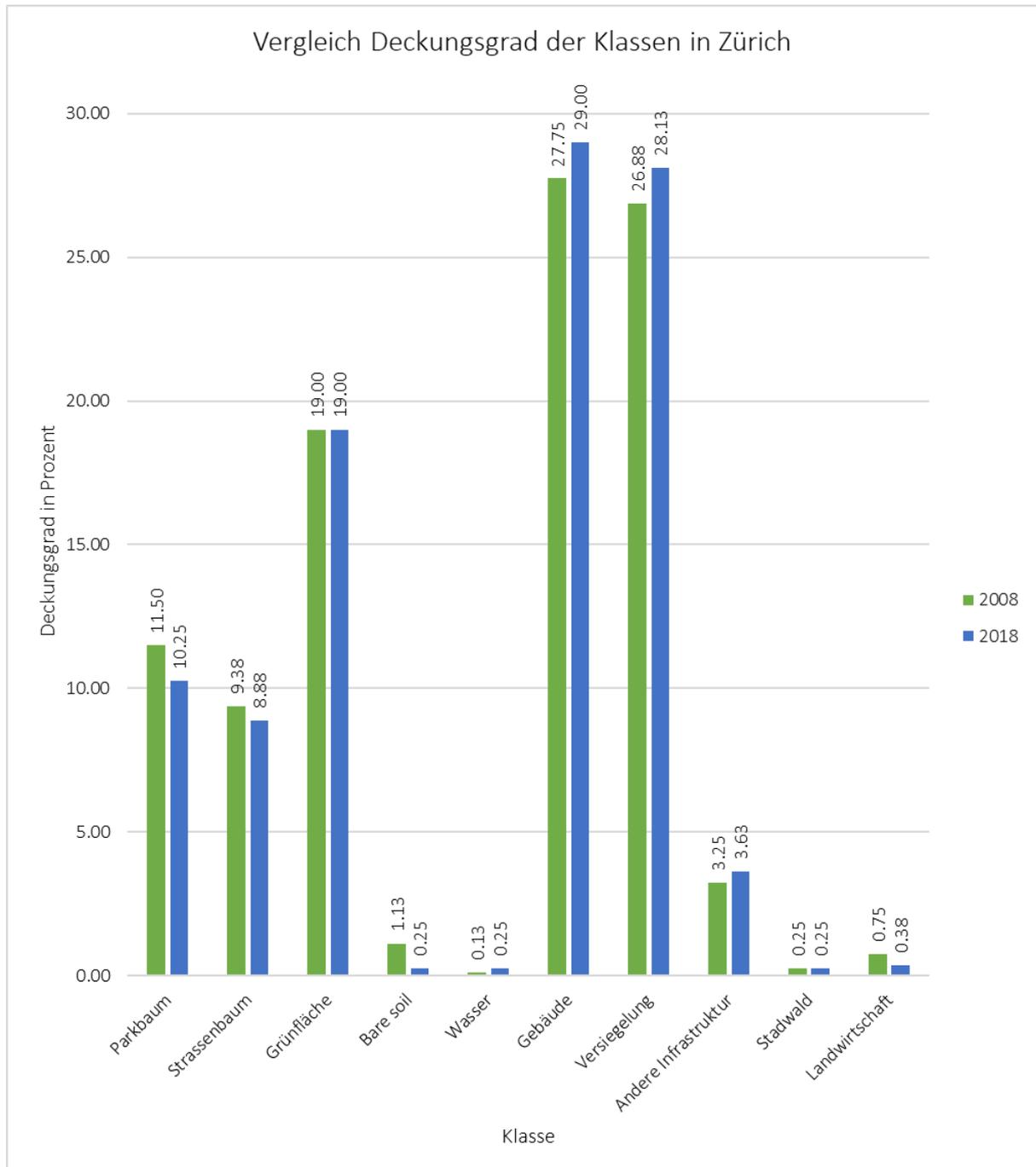


Abbildung 6: Vergleich des Deckungsgrads der Klassen (%) für die Stadt Zürich in den Jahren 2008 und 2018 (Untersuchungsfläche = 4'830 Hektaren).

In Abbildung 6 sind alle Klassen mit dem dazugehörigen Deckungsgrad im Jahre 2008 und im Jahre 2018 aufgeführt. Es ist ersichtlich, dass die Klassen 'Gebäude' und 'Versiegelung' je um 1.25 Prozent (60.4 ha) zugenommen haben. Weitere geringere Zunahmen weisen die Klassen 'andere Infrastruktur' und 'Wasser' auf. In der Klasse 'Grünfläche' und 'Stadtwald' wurden keine Unterschiede festgestellt. Eine Abnahme verzeichnet die Klasse 'bare soil' mit rund 0.88 Prozent (42.5 ha) weniger Fläche im Jahr 2018 im Vergleich zu 2008. Weitere Flächenverluste haben die Klassen 'Parkbäume' sowie die 'Strassenbäume' und 'Landwirtschaft'.

4.1.1 Stadtbäume

Im Untersuchungsgebiet in Zürich konnte eine Abnahme der Anzahl an Stadtbäume festgestellt werden. Bei den 800 erfassten Punkten wurden 28 Fällungen und 14 Neupflanzungen gefunden (Tabelle 6). Das macht eine Differenz von 14 Bäumen aus. Aus den Berechnungen des McNemar Test ergibt dies eine signifikante Veränderung bei Alpha 0.05 (Anhang E). Der Deckungsgrad der Stadtbäume (Klassen 'Parkbaum', 'Strassenbaum' und 'Stadtwald') sank von 21.13 Prozent im Jahre 2008 auf 19.38 Prozent im Jahre 2018. Dies entspricht einem Verlust von 1.75 Prozent. Flächenmässig macht dies 84.5 Hektaren aus. In einem Jahr sank der Baumdeckungsgrad demnach durchschnittlich um 8.5 Hektaren.

Parkbäume nahmen um 1.25 Prozent ab. Weniger stark war der Verlust an Strassenbäumen, hier liegt die Abnahme bei 0.5 Prozent. Der Anteil an Stadtwaldbäumen blieb über die zehn Jahre konstant. Der geringere Rückgang der Strassenbäume ist mit der vermehrten Neupflanzung von Strassenbäumen zu erklären. In Tabelle 5 sind die Wechsel der Klassen zwischen den Jahren 2008 und 2018 ersichtlich. Nur drei der 14 Neupflanzungen wurden als Parkbaum klassifiziert, die restlichen 11 Pflanzungen wurden im Verkehrsraum vorgenommen. Naheliegend ist, dass nach der Fällung der Parkbäume vorerst die Grünfläche bleibt. Die gleiche Anzahl an Bäumen musste jedoch auch für neue Gebäuden weichen. Auffällig ist der grösste Verlust an Strassenbäumen zur versiegelten Fläche, jedoch ist weiter zu beachten, dass auch am meisten neue Strassenbäume auf früher versiegelten Fläche gepflanzt wurden.

| | | 2018 | | | | | |
|------|--------------|----------|--------------|------------|-----------|---------|--------------|
| | | Parkbaum | Strassenbaum | Grünfläche | Bare soil | Gebäude | Versiegelung |
| 2008 | Parkbaum | | | 5 | 0 | 5 | 3 |
| | Strassenbaum | | | 2 | 0 | 1 | 12 |
| | Grünfläche | 2 | 0 | | | | |
| | Bare soil | 1 | 0 | | | | |
| | Gebäude | 0 | 2 | | | | |
| | Versiegelung | 0 | 9 | | | | |

Tabelle 5: Zahlen zu den Klassenwechsel des Baumbestandes bei den Baumfällungen und Neupflanzungen in Zürich (Datensatz n=800).

| | Bäume | Deckungsgrad | SE |
|-----------------|-------|--------------|------|
| Baumfällungen: | 28 | 3.5 | 0.65 |
| Neupflanzungen: | 14 | 1.75 | 0.46 |
| Net: | -14 | 1.75 | 0.46 |

Tabelle 6: Summe der Baumfällungen und Neupflanzungen mit zugehörigem Deckungsgrad und zu beachtendem Standardfehler (SE) in Zürich (Datensatz n=800).

4.1.2 Beispielaufnahmen

Die folgenden Beispielbilder zeigen einige Standorte in Zürich auf, wo Bäume gefällt oder neu gepflanzt wurden. Die Bilder in der linken Spalte wurden im Jahre 2008 aufgenommen, welche in der rechten Spalte im Jahre 2018.



Abbildung 7: Dokumentation einer Baumfällung in Zürich, Standort: $47^{\circ}20'25.11''\text{N}$ $8^{\circ}31'40.27''\text{E}$ (Quelle: Google Earth).



Abbildung 8: Dokumentation einer Baumfällung in Zürich, Standort: $47^{\circ}23'24.30''\text{N}$ $8^{\circ}32'25.23''\text{E}$ (Quelle: Google Earth).



Abbildung 9: Dokumentation einer Baumfällung in Zürich, Standort: $47^{\circ}21'40.21''N$ $8^{\circ}33'59.16''E$ (Quelle: Google Earth).

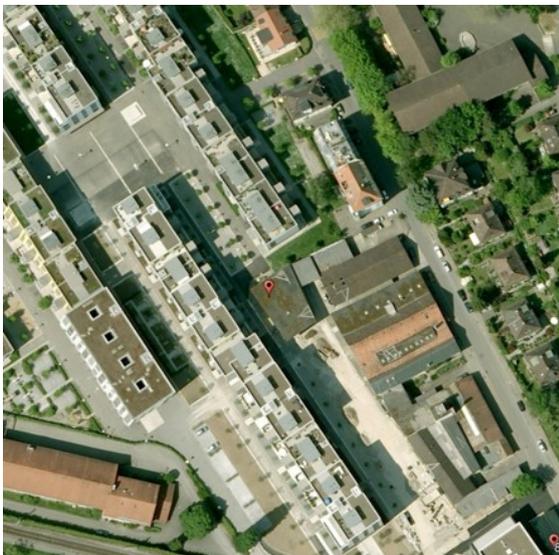


Abbildung 10: Dokumentation einer Neupflanzung in Zürich, Standort: $47^{\circ}21'52.23''N$ $8^{\circ}30'57.88''E$ (Quelle: Google Earth).

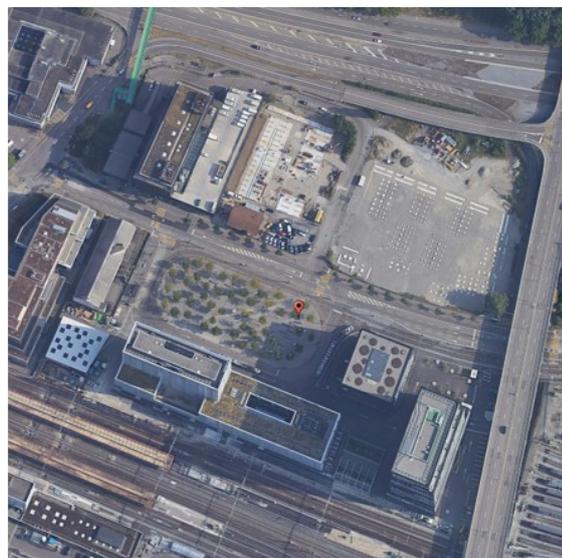


Abbildung 11: Dokumentation einer Neupflanzung in Zürich, Standort: $47^{\circ}23'32.56''N$ $8^{\circ}29'27.21''E$ (Quelle: Google Earth).

4.2 RESULTATE VON BASEL

Wie in Zürich sind auch in Basel ein Rückgang der unversiegelten Fläche und eine Zunahme der Versiegelung zu sehen. Die Ab- und Zunahme entspricht 1.63 Prozent des Untersuchungsgebietes (2'280 Hektaren), was einer Fläche von 37.2 Hektaren entspricht. In einer jährlichen Bilanz sind dies durchschnittlich 3.7 Hektaren unversiegelte Fläche, die versiegelt wurden. Abbildung 12 zeigt die Verhältnisse auf. Zu den Kategorien unversiegelte Fläche und Versiegelung gehören wiederum die in Kapitel 4.1 aufgeführten Klassen.

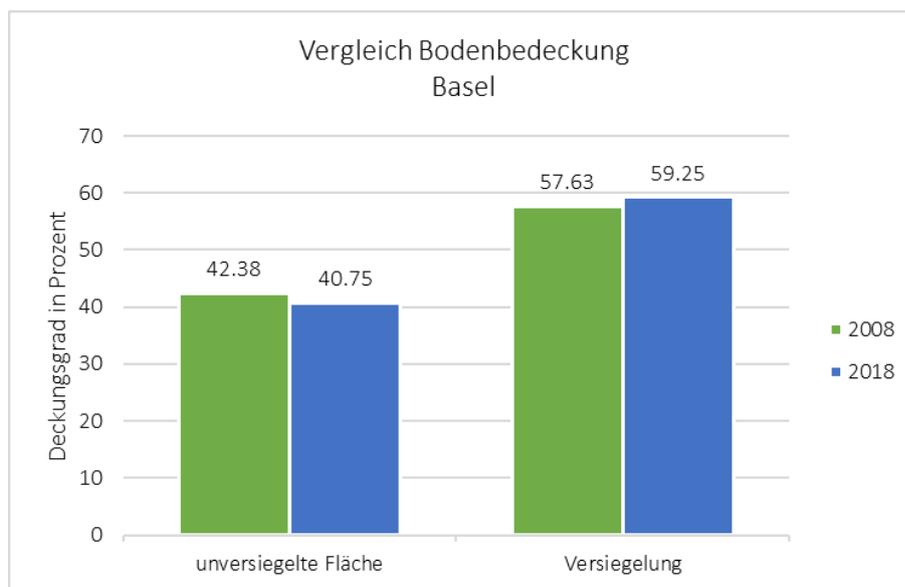


Abbildung 12: Vergleich des Bodenbedeckungsgrads von versiegelten und unversiegelten Flächen (%) für die Stadt Basel in den Jahren 2008 und 2018 (Datensatz n=800).

Wie in Abbildung 13 auf der folgenden Seite zu sehen ist, sind einige Klassen nicht von Änderungen betroffen. Die Klassen 'Stadtwald' und 'Wasser' blieben über die zehn Jahre gesehen konstant. Bei der Landwirtschaftsfläche und den Klassen 'andere Infrastruktur' und 'bare soil' konnte eine geringe Zunahme erkannt werden. Stark ist der Verlust an Grünfläche um 0.88 Prozent. Die entspricht einer Fläche von 20.1 Hektaren. In den Baumklassen konnte bei den Parkbäumen ein geringerer Rückgang als bei den Strassenbäumen festgestellt werden. Die Klassen 'Versiegelung' und 'Gebäude' nahmen beide zu. Ihre gewonnene Fläche macht 0.63 Prozent als Gebäude und 0.5 Prozent als versiegelte Fläche aus. Auf den ganzen Perimeter gerechnet sind dies 25.7 Hektaren an versiegelter Fläche durch Gebäude, Strassen und Wege, welche hinzukamen innert zehn Jahren.

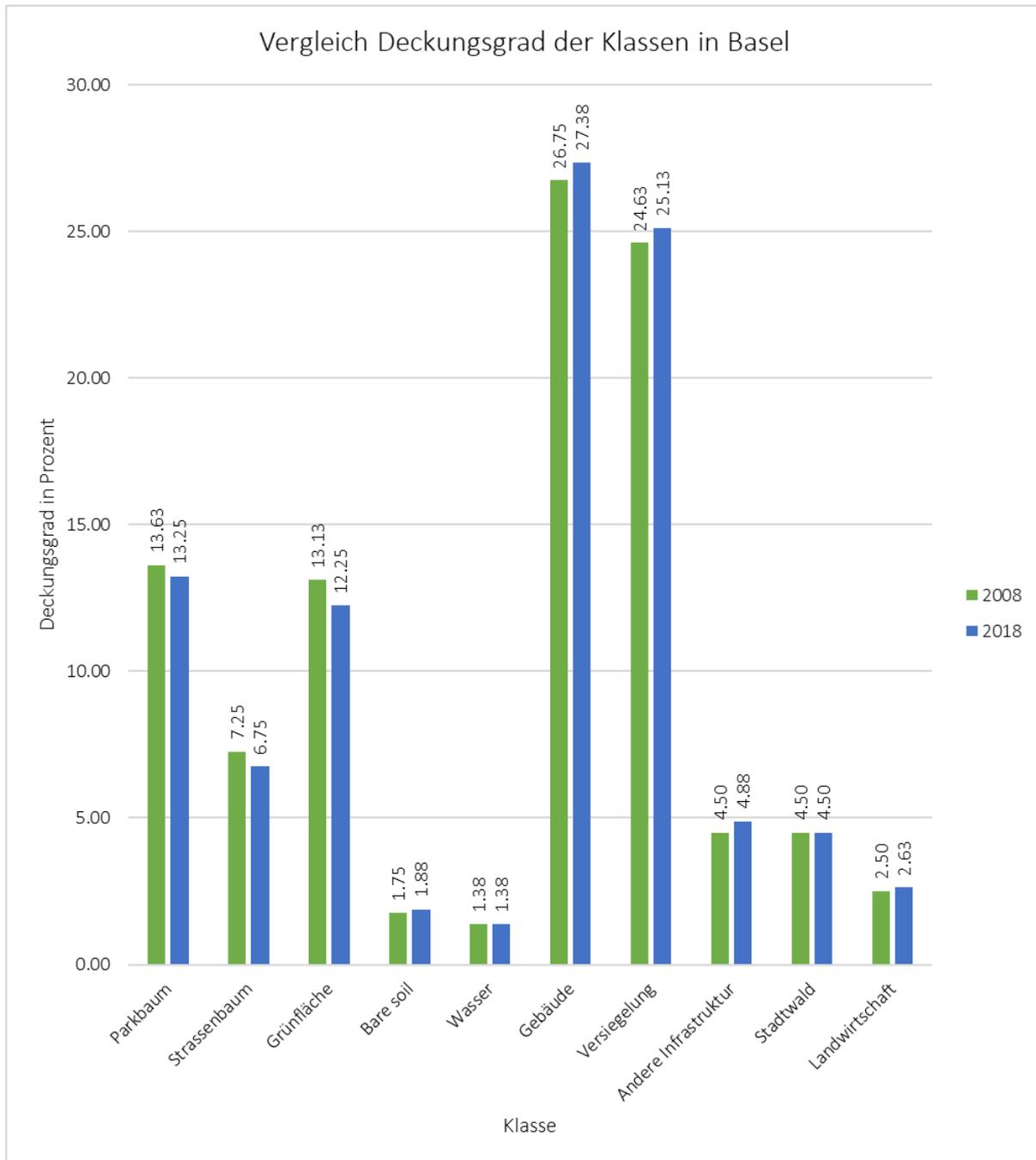


Abbildung 13: Vergleich des Deckungsgrads der Klassen (%) für die Stadt Basel in den Jahren 2008 und 2018 (Untersuchungsfläche = 2'280 Hektaren).

4.2.1 Stadtbäume

In Basel wurden 21 Baumfällungen und 14 Neupflanzungen erfasst (Tabelle 8). Der McNemar Test fällt in diesem Fall negativ aus. Die Veränderung ist somit nicht signifikant. Der Deckungsgrad aller Baumkategorien betrug im Jahre 2008 25.38 Prozent der gesamten Untersuchungsfläche. Die Fläche nahm bis zum Jahre 2018 um 0.88 Prozent ab, was einer Abnahme von 20.1 Hektaren entspricht. Das bedeutet einen durchschnittlichen jährlichen Rückgang von zwei Hektaren an Baumkronenfläche. Die Veränderung des Deckungsgrades der Parkbäume macht 0.38 Prozent aus, bei den Strassenbäumen waren es rund 0.5 Prozent. Es wurden mehr Parkbäume gefällt, aber auch mehr neu gepflanzt als Strassenbäume, was den geringeren Rückgang der Parkbäume ausmacht (Tabelle 7). Die Mehrzahl an Parkbäumen wurde auf Grünflächen gepflanzt, wozu Privatgärten sowie Parkanlagen zählen. Die Standorte von gefällten Strassenbäumen wurden vorwiegend zur neuen versiegelten Fläche.

| | | 2018 | | | | | | |
|------|----------------|----------|--------------|------------|---------|--------------|----------------|-----------|
| | | Parkbaum | Strassenbaum | Grünfläche | Gebäude | Versiegelung | Landwirtschaft | Bare soil |
| 2008 | Parkbaum | | | 3 | 4 | 4 | 0 | 2 |
| | Strassenbaum | | | 1 | 0 | 6 | 1 | 0 |
| | Grünfläche | 5 | 2 | | | | | |
| | Gebäude | 1 | 0 | | | | | |
| | Versiegelung | 4 | 2 | | | | | |
| | Landwirtschaft | 0 | 0 | | | | | |
| | Bare soil | 0 | 0 | | | | | |

Tabelle 7: Zahlen zu den Klassenwechsel des Baumbestandes bei den Baumfällungen und Neupflanzungen in Basel (Datensatz n=800).

| | Bäume | Deckungsgrad | SE |
|-----------------|-------|--------------|------|
| Baumfällungen: | 21 | 2.63 | 0.57 |
| Neupflanzungen: | 14 | 1.75 | 0.46 |
| Net: | -7 | 0.88 | 0.33 |

Tabelle 8: Summe der Baumfällungen und Neupflanzungen mit zugehörigem Deckungsgrad und zu beachtendem Standardfehler (SE) in Basel (Datensatz n=800).

4.2.2 Beispielaufnahmen

Die folgenden Beispielbilder zeigen einige Standorte in Basel auf, wo Bäume gefällt oder neu gepflanzt wurden. Die Bilder in der linken Spalte wurden im Jahre 2008 aufgenommen, welche in der rechten Spalte im Jahre 2018.



Abbildung 14: Dokumentation einer Baumfällung in Basel, Standort: $47^{\circ}32'12.50''\text{N}$ $7^{\circ}36'8.40''\text{E}$ (Quelle: Google Earth).



Abbildung 15: Dokumentation einer Baumfällung in Basel, Standort: $47^{\circ}34'17.50''\text{N}$ $7^{\circ}36'33.12''\text{E}$ (Quelle: Google Earth).

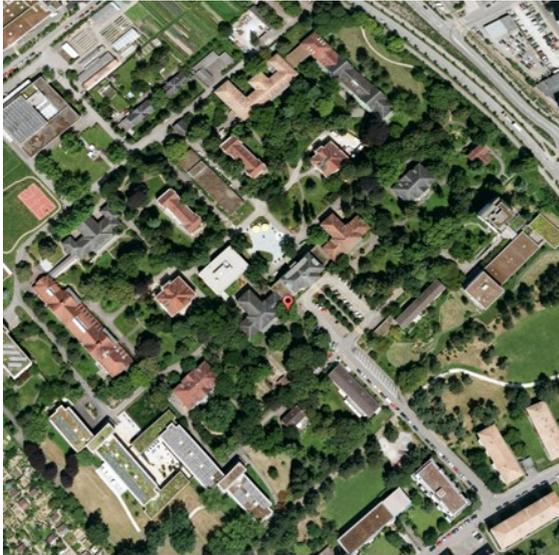


Abbildung 16: Dokumentation einer Baumfällung in Basel, Standort: $47^{\circ}34'15.47''N$ $7^{\circ}33'56.78''E$ (Quelle: Google Earth).

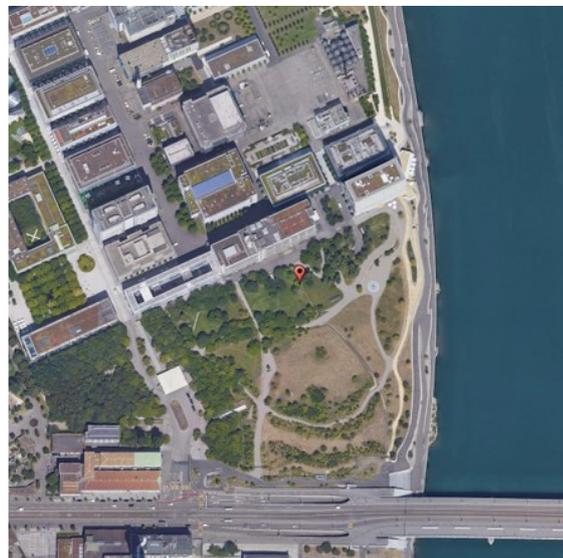


Abbildung 17: Dokumentation einer Neupflanzung in Basel, Standort: $47^{\circ}34'21.25''N$ $7^{\circ}34'55.81''E$ (Quelle: Google Earth).



Abbildung 18: Dokumentation einer Neupflanzung in Basel, Standort: $47^{\circ}32'38.52''N$ $7^{\circ}35'36.86''E$ (Quelle: Google Earth).

4.3 RESULTATE VON LAUSANNE

Die Tendenz des Verlustes an unversiegelter Fläche in den Städten ist auch in Lausanne erkennbar. Obwohl der Rückgang mit 1.37 Prozent verglichen mit den zwei zuvor behandelten Städten Zürich und Basel hier geringer ausfällt. Von der gesamten Fläche des Perimeters (1'120 Hektaren) machen diese 1.37 Prozent gute 15.3 Hektaren aus. Wie bei den drei vorgehenden Städten hält sich das Verhältnis von unversiegelter Fläche zur Versiegelung in Lausanne bei ungefähr 2:3, was in Abbildung 19 ersichtlich ist.

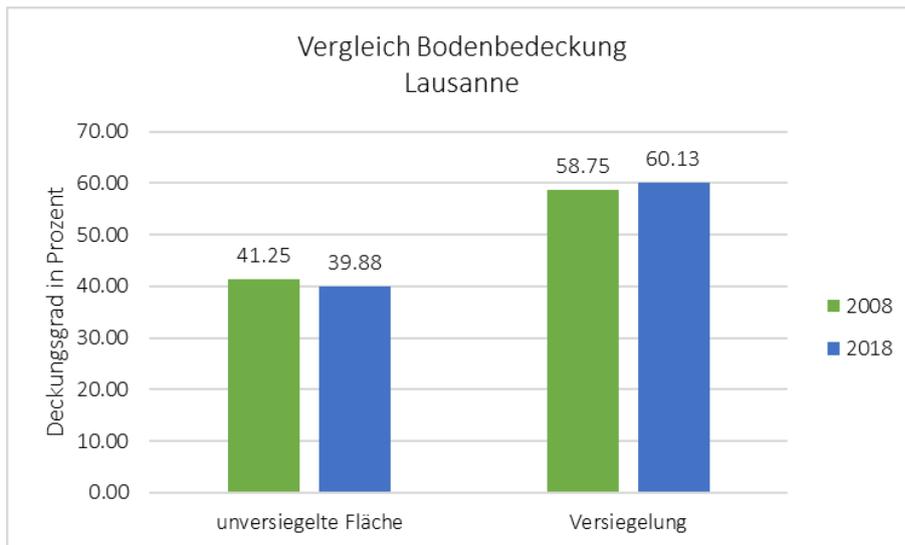


Abbildung 19: Vergleich des Bodenbedeckungsgrads von versiegelten und unversiegelten Flächen (%) für die Stadt Lausanne in den Jahren 2008 und 2018 (Datensatz n=800).

Aus Abbildung 20 auf der folgenden Seite lässt sich ablesen, dass im Perimeter keine Landwirtschafts- sowie Wasserfläche klassifiziert wurde. Als einzige Klasse blieb 'Stadtwald' über die zehn Jahre konstant. Die Klassen 'andere Infrastruktur' und 'bare soil' nahmen beide gering zu. Über ein Prozent liegt die Zunahme der Gebäudefläche. Speziell zu erwähnen ist, dass in Lausanne zwar die versiegelte Fläche im Allgemeinen zunahm jedoch die Klasse 'Versiegelung' im Einzelnen um 0.25 Prozent geringer wurde. Die vegetationsbezogenen Klassen nahmen alle ab. Der geringste Verlust zeichnet die Klasse 'Grünfläche' mit 0.12 Prozent. Höher fällt die Abnahme bei den Strassen- und Parkbäumen aus.

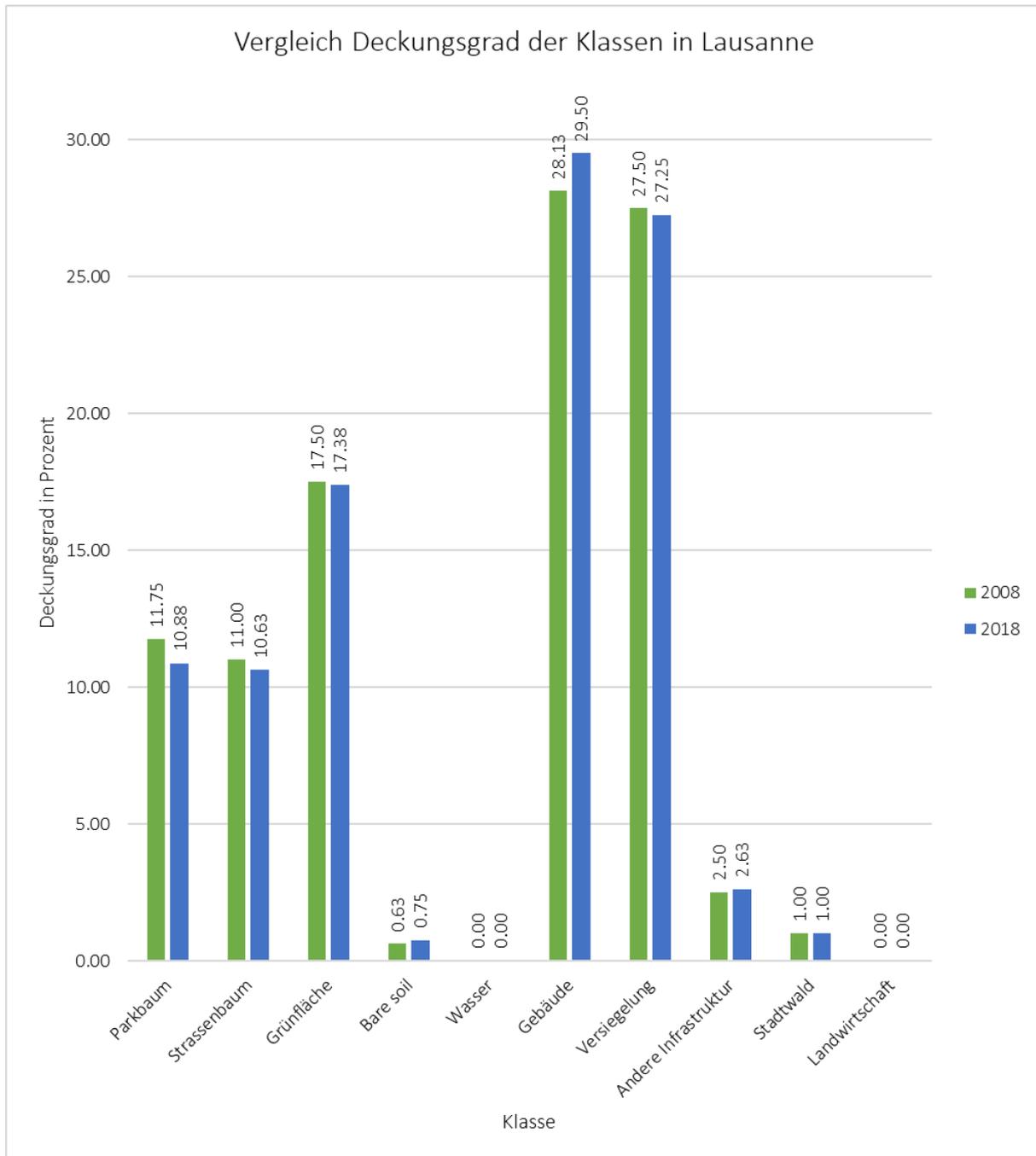


Abbildung 20: Vergleich des Deckungsgrads der Klassen (%) für die Stadt Lausanne in den Jahren 2008 und 2018 (Untersuchungsfläche = 1'120 Hektaren).

4.3.1 Stadtbäume

Betrachtet man rein die Unterschiede in den Baumklassen können folgende Erkenntnisse gemacht werden. Es konnten 16 Baumfällungen und 6 Neupflanzungen gefunden werden (Tabelle 10). Dies macht eine Differenz von 10 Bäumen aus. Dies entspricht einer nicht signifikanten Änderung basierend auf den Berechnungen des McNemar Test. Die Fläche der Strassenbäume nahmen um 0.37 Prozent ab und die der Parkbäume 0.87 Prozent. Alle Baumkategorien zusammen verzeichnen einen Rückgang der Fläche um 1.75 Prozent. Dies entspricht 19.6 Hektaren innert zehn Jahren, beziehungsweise durchschnittlich 1.96 Hektaren jährlich. Die Mehrheit der Standorte der gefällten Parkbäume blieben als Grünfläche erhalten (Tabelle 9). Es wurden weniger Parkbäume gepflanzt als Strassenbäume. Gleichzeitig wurden jedoch gleich viele Parkbäume gefällt wie Strassenbäume. Daher ist der Rückgang der Fläche in der Klasse 'Parkbäume' (0.87 Prozent) stärker als in der Klasse 'Strassenbäume' (0.37 Prozent).

| | | 2018 | | | | | |
|------|--------------|----------|--------------|------------|-----------|---------|--------------|
| | | Parkbaum | Strassenbaum | Grünfläche | Bare soil | Gebäude | Versiegelung |
| 2008 | Parkbaum | | | 6 | 0 | 2 | 0 |
| | Strassenbaum | | | 0 | 0 | 4 | 4 |
| | Grünfläche | 1 | 0 | | | | |
| | Bare soil | 1 | 0 | | | | |
| | Gebäude | 0 | 0 | | | | |
| | Versiegelung | 0 | 4 | | | | |

Tabelle 9: Zahlen zu den Klassenwechsel des Baumbestandes bei den Baumfällungen und Neupflanzungen in Lausanne (Datensatz n=800).

| | Bäume | Deckungsgrad | SE |
|-----------------|-------|--------------|------|
| Baumfällungen: | 16 | 2.00 | 0.49 |
| Neupflanzungen: | 6 | 0.75 | 0.31 |
| Net: | -10 | 1.25 | 0.39 |

Tabelle 10: Summe der Baumfällungen und Neupflanzungen mit zugehörigem Deckungsgrad und zu beachtendem Standardfehler (SE) in Lausanne (Datensatz n=800).

4.3.2 Beispielaufnahmen

Die folgenden Beispielbilder zeigen einige Standorte in Basel auf, wo Bäume gefällt oder neu gepflanzt wurden. Die Bilder in der linken Spalte wurden im Jahre 2008 aufgenommen, welche in der rechten Spalte im Jahre 2018.



Abbildung 21: Dokumentation einer Baumfällung in Lausanne, Standort: $46^{\circ}32'27.53''\text{N}$ $6^{\circ}37'54.80''\text{E}$ (Quelle: Google Earth).



Abbildung 22: Dokumentation einer Baumfällung in Lausanne, Standort: $46^{\circ}31'2.91''\text{N}$ $6^{\circ}38'6.37''\text{E}$ (Quelle: Google Earth).



Abbildung 23: Dokumentation einer Baumfällung in Lausanne, Standort: $46^{\circ}31'4.74''\text{N}$ $6^{\circ}36'49.96''\text{E}$ (Quelle: Google Earth).



Abbildung 24: Dokumentation einer Neupflanzung in Lausanne, Standort: $46^{\circ}32'21.95''\text{N}$ $6^{\circ}36'40.69''\text{E}$ (Quelle: Google Earth).



Abbildung 25: Dokumentation einer Neupflanzung in Lausanne, Standort: $46^{\circ}31'26.80''\text{N}$ $6^{\circ}38'13.23''\text{E}$ (Quelle: Google Earth).

4.4 RESULTATE VON LUGANO

In Lugano ist der Rückgang der unversiegelten Fläche beziehungsweise die Zunahme an versiegelter Fläche am stärksten zu sehen (Abbildung 26). Der Untersuchungsperimeter umfasst 1'126 Hektaren. Die Veränderung der Bodenbedeckung macht 3.75 Prozent aus, was einer Fläche von 42.2 Hektaren entspricht. Das Verhältnis von unversiegelter Fläche zu Versiegelung lag in Lugano im Jahre 2008 als einzige aller vier Städte bei fast 1:1. Mit der Veränderung geht das Verhältnis tendenziell in Richtung der anderen drei Städte, nämlich zu einem Verhältnis von 2:3.

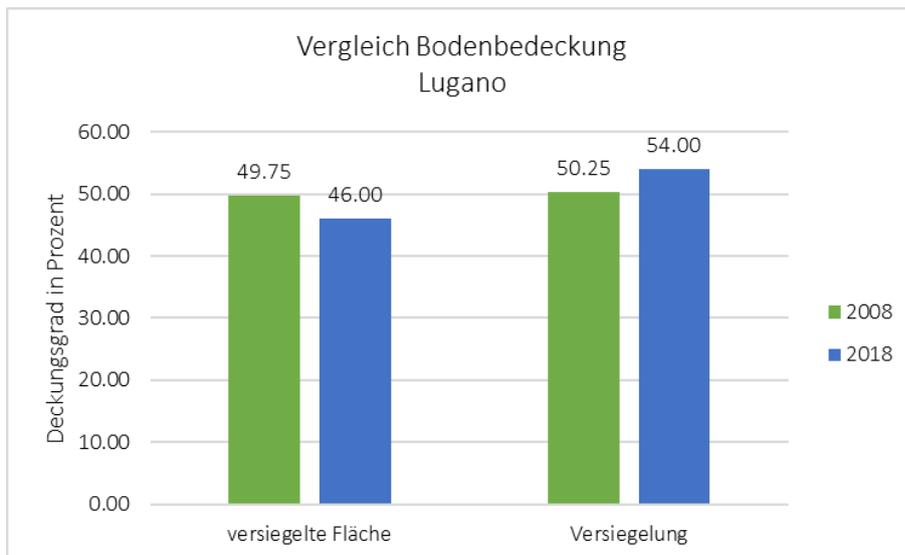


Abbildung 26: Vergleich des Bodenbedeckungsgrads von versiegelten und unversiegelten Flächen (%) für die Stadt Lugano in den Jahren 2008 und 2018 (Datensatz n=800).

In der Abbildung 27 auf der folgenden Seite ist zu sehen, dass in den Klassen 'Landwirtschaft', 'andere Infrastruktur' und 'Wasser' keine Änderung innert den zehn Jahren festgestellt wurden. Leichte Abnahmen verzeichneten die Klassen 'Stadtwald' und 'bare soil'. Mit einer Zunahme von 2.25 Prozent, was einer Fläche von 25.3 Hektaren entspricht, wurde in der Klasse 'Versiegelung' die grösste Veränderung festgestellt. Darauf folgte die Zunahme um 1.62 Prozent in der Klasse 'Gebäude'. Abnahmen verzeichneten die Klassen 'Grünfläche', 'Strassenbaum' und 'Parkbaum'. Aus diesen drei Klassen zeichnet sich in der Klasse 'Parkbaum' der stärkste Verlust mit 1.88 Prozent ab.

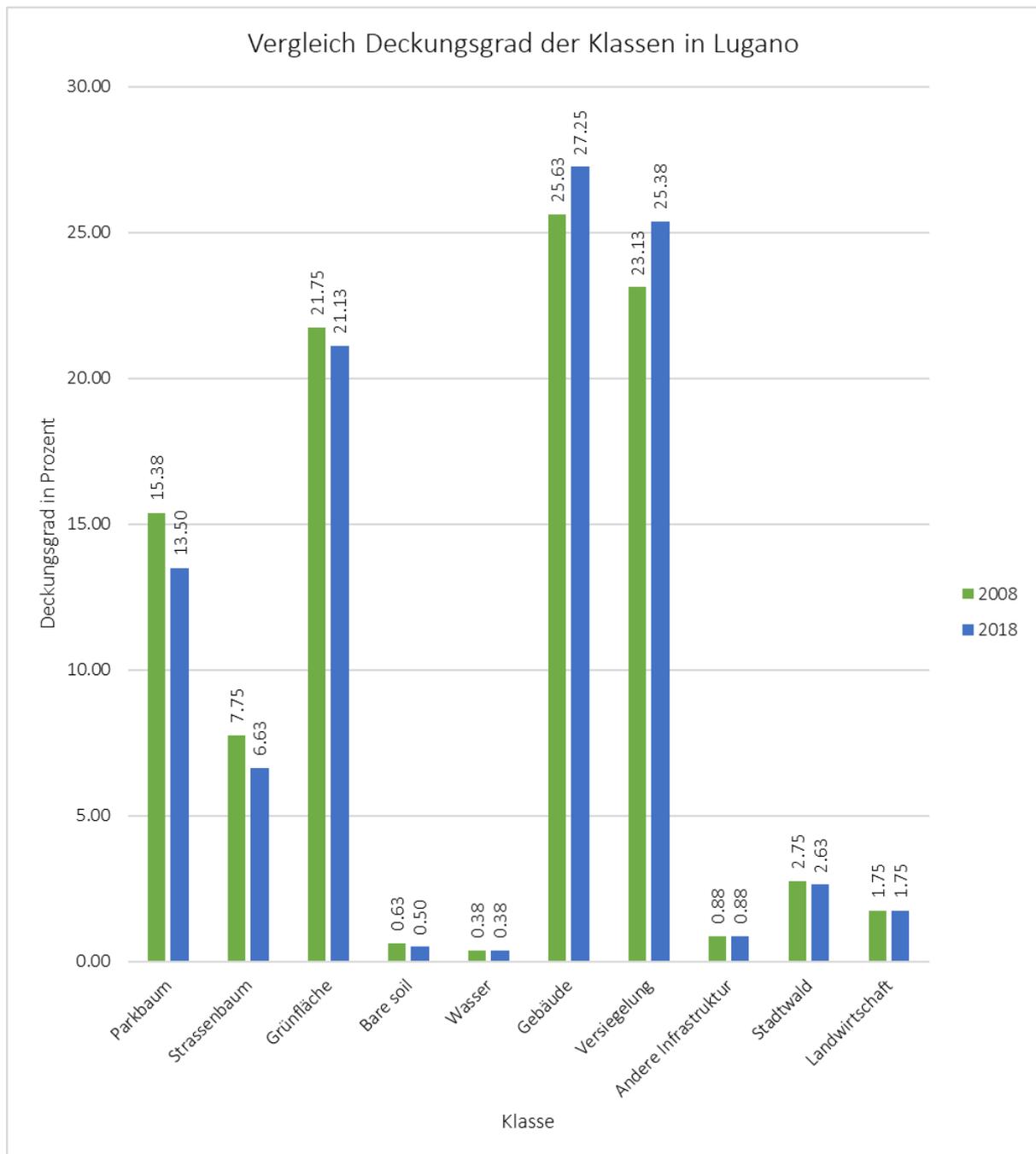


Abbildung 27: Vergleich des Deckungsgrads der Klassen (%) für die Stadt Lugano in den Jahren 2008 und 2018 (Untersuchungsfläche = 1'126 Hektaren).

4.4.1 Stadtbäume

Die erhobenen Daten zur Baumfällung und Neupflanzung zeigten in Lugano ein starkes Ungleichgewicht auf. Es wurden 26 Fällungen und nur 2 Neupflanzungen erkannt (Tabelle 12). Die Berechnung des McNemar Test ergab ein signifikanter Unterschied. Der Deckungsgrad aller Stadtbäume umfasste im Jahre 2008 25.88 Prozent der Perimeter Fläche. Diese Fläche von 291.4 Hektaren nahm innert den zehn Jahren um 3.13 Prozent (35.2 Hektaren) ab. Jährlich wurde im Durchschnitt eine Abnahme von 3.5 Hektaren verzeichnet. Die Abnahme der Parkbäume war mit 1.88 Prozent stärker als die der Strassenbäume mit 1.12 Prozent. Die Änderung der Bodenbedeckung nach einer Fällung beziehungsweise nach einer Neupflanzung ist in Tabelle 11 ersichtlich. Die meisten gefällten Parkbäume wurden neu als Grünfläche klassifiziert, gefolgt von den Klassen 'Gebäude' und 'Versiegelung'. Für die gefällten Strassenbäume entstanden gleichviele neue Grünflächen wie versiegelte Fläche. Die einzigen zwei erkannten Neupflanzungen ersetzen je eine Grünfläche und eine versiegelte Fläche.

| | | 2018 | | | | | | |
|------|--------------|----------|--------------|------------|-----------|---------|--------------|-----------|
| | | Parkbaum | Strassenbaum | Grünfläche | Bare soil | Gebäude | Versiegelung | Stadtwald |
| 2008 | Parkbaum | | | 6 | 1 | 4 | 4 | 0 |
| | Strassenbaum | | | 4 | 0 | 2 | 4 | 0 |
| | Stadtwald | | | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | Grünfläche | 1 | 0 | | | | | |
| | Bare soil | 0 | 0 | | | | | |
| | Gebäude | 0 | 0 | | | | | |
| | Versiegelung | 0 | 1 | | | | | |

Tabelle 11: Zahlen zu den Klassenwechsel des Baumbestandes bei den Baumfällungen und Neupflanzungen in Lugano (Datensatz n=800).

| | Bäume | Deckungsgrad | SE |
|-----------------|-------|--------------|------|
| Baumfällungen: | 26 | 3.25 | 0.63 |
| Neupflanzungen: | 2 | 0.25 | 0.18 |
| Net: | -24 | 3 | 0.6 |

Tabelle 12: Summe der Baumfällungen und Neupflanzungen mit zugehörigem Deckungsgrad und zu beachtendem Standardfehler (SE) in Basel (Datensatz n=800).

4.4.2 Beispielaufnahmen

Die folgenden Beispielbilder zeigen einige Standorte in Basel auf, wo Bäume gefällt oder neu gepflanzt wurden. Die Bilder in der linken Spalte wurden im Jahre 2008 aufgenommen, welche in der rechten Spalte im Jahre 2018.



Abbildung 28: Dokumentation einer Baumfällung in Lugano, Standort: $45^{\circ}59'57.72''N$ $8^{\circ}56'53.00''E$ (Quelle: Google Earth).



Abbildung 29: Dokumentation einer Baumfällung in Lugano, Standort: $46^{\circ}1'25.12''N$ $8^{\circ}58'22.43''E$ (Quelle: Google Earth).

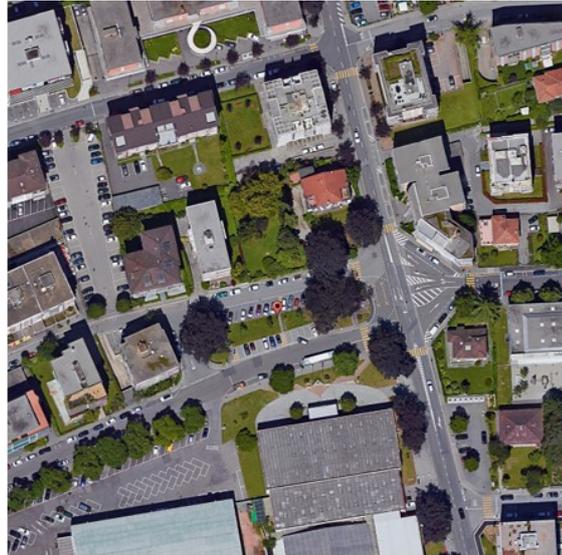


Abbildung 30: Dokumentation einer Baumfällung in Lugano, Standort: $46^{\circ} 0'27.58''N$ $8^{\circ}57'49.58''E$ (Quelle: Google Earth).

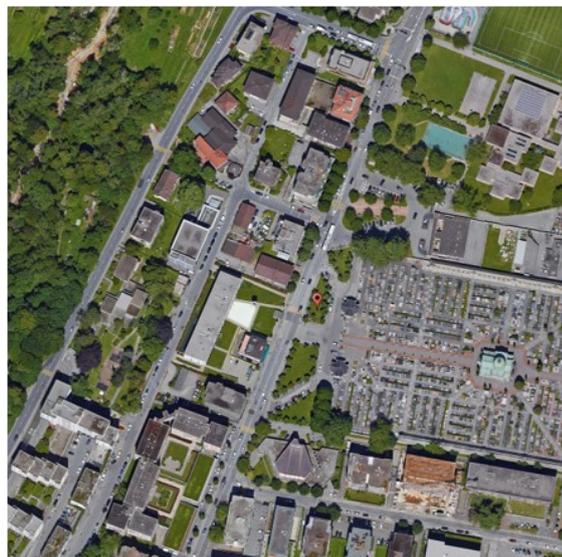


Abbildung 31: Dokumentation einer Neupflanzung in Lugano, Standort: $46^{\circ} 1'13.29''N$ $8^{\circ}57'29.29''E$ (Quelle: Google Earth).

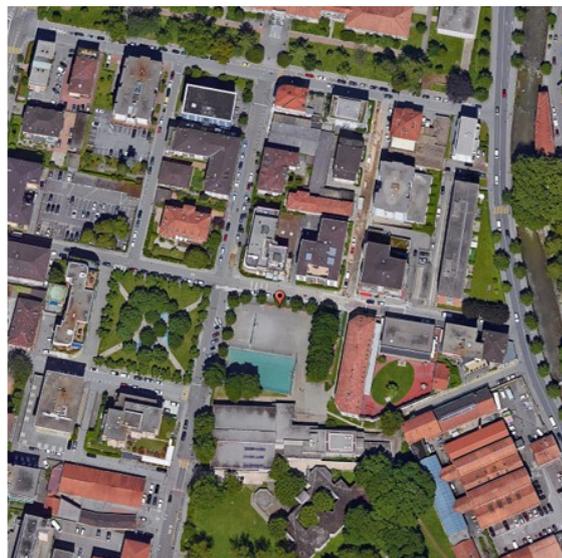


Abbildung 32: Dokumentation einer Neupflanzung in Lugano, Standort: $46^{\circ} 0'33.41''N$ $8^{\circ}57'29.33''E$ (Quelle: Google Earth).

4.5 WIE VERÄNDERT SICH DIE BODENBEDECKUNG IN DEN VIER STÄDTEN IM VERGLEICH?

Abbildung 33 zeigt den Prozentsatz der Veränderung der jeweiligen Kategorie in den vier Städten vom Jahre 2008 bis 2018. Die Kategorie ' Stadtbäume ' umfasst die Klassen ' Parkbaum ', ' Strassenbaum ' und ' Stadtwald '. Zu der Kategorie ' andere Grünflächen ' zählen die Klassen ' Grünflächen ', ' Wasser ' und ' Landwirtschaft '. Die restlichen Klassen ' Gebäude ', ' Versiegelung ', ' bare soil ' und ' andere Infrastruktur ' gehören zur Kategorie ' versiegelte Fläche '.

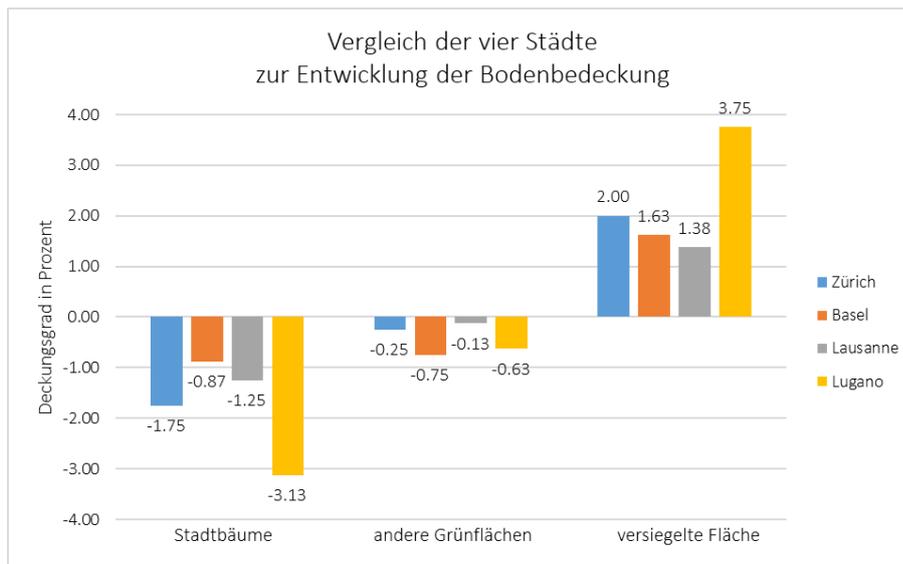


Abbildung 33: Vergleich zwischen den vier Städten bezüglich der Veränderung des Deckungsgrades (%) in den Kategorien Stadtbäume, andere Grünflächen und versiegelter Fläche (Untersuchungsflächen: Zürich= 4'830 ha, Basel=2'280 ha, Lausanne=1'120 ha, Lugano=1'126 ha).

Die Tendenz der abnehmenden grünen Infrastruktur und der Zunahme der versiegelten Fläche ist über alle Städte hinweg ersichtlich. In den Kategorien ' Stadtbäume ' und ' andere Grünflächen ' gab es in keiner der Städte eine Zunahme der Fläche. Alle Prozentsätze zeigen in den negativen Bereich, wobei der Verlust an Deckungsgrad durch Stadtbäume stärker ausfällt als der der übrigen Grünflächen. Am meisten grüne Infrastruktur (Kategorien ' Stadtbäume ' und ' andere Grünflächen ') ging in Lugano (- 3.75 Prozent) verloren. An zweiter Stelle liegt Zürich mit einem Rückgang von 2 Prozent gefolgt von Basel (- 1.62 Prozent). Am wenigsten Verlust machte Lausanne (- 1.38 Prozent). In der Kategorie ' Stadtbäume ' hat Lugano prozentual gesehen wiederum den stärksten Rückgang (- 3.13 Prozent). Basel verzeichnet die geringste Abnahme (- 0.87 Prozent). Zürich hat verzeichnet den zweit stärksten Rückgang (- 1.75 Prozent) gefolgt von Lausanne (- 1.25 Prozent). Wenige andere Grünflächen gingen in Lausanne (- 0.13 Prozent) und Zürich (- 0.25 Prozent) verloren. In dieser Kategorie verzeichnet Basel die stärkste Abnahme um 0.75 Prozent. Darauf folgt Lugano mit einem Rückgang von 0.63 Prozent. Die Zunahme der versiegelten Fläche entspricht der Summe der Abnahme der Kategorien ' Stadtbäume ' und ' andere Grünflächen '. Lausanne – Basel – Zürich – Lugano ist die Reihenfolge der Zunahme, beginnend mit der geringsten Änderung.

In Abbildung 34 werden die zusammengerechneten Deckungsgrade vier Städte in der jeweiligen Kategorie aufgezeigt. Die detaillierten Resultate sind in Anhang G aufgeführt. Total gingen in den vier Städten zusammen 1.64 Prozent (153.4 ha) an Stadtbaumfläche innert zehn Jahren verloren, von 23.05 Prozent zu 21.4 Prozent der gesamten Untersuchungsfläche (9'356 ha). Jährlich entspricht dies einer durchschnittlichen Abnahme von 15.3 Hektaren über die vier Städte hinweggesehen. Der Rückgang an der übrigen Grünfläche entsprach 0.4 Prozent (37.4 ha), beziehungsweise durchschnittlich 3.7 Hektaren in einem Jahr. Deckungsgleich zu der Summe der Abnahme an Stadtbäumen und der übrigen Grünfläche nahm die Versiegelung um 2.04 Prozent (190.9 ha) zu innert zehn Jahren.

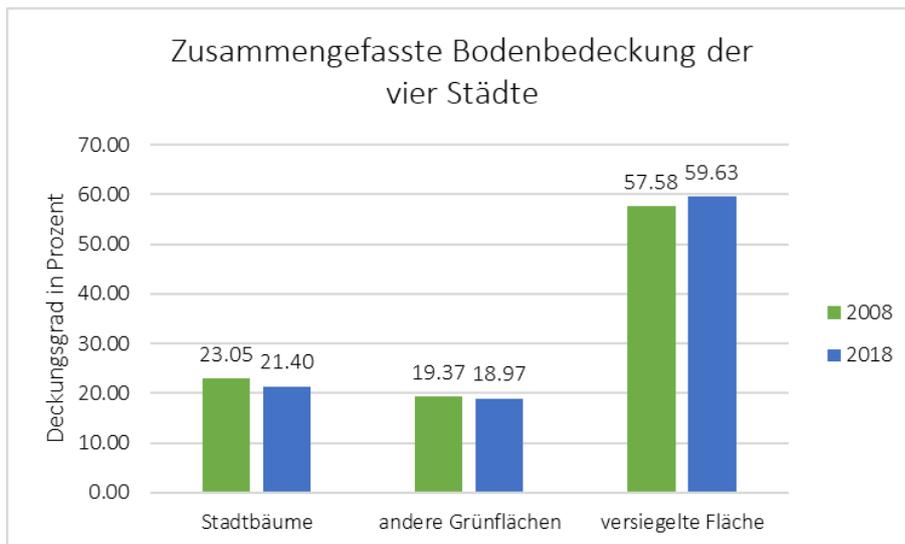


Abbildung 34: Veränderung des Deckungsgrades (%) in den Kategorien Stadtbäume, andere Grünflächen und versiegelte Flächen aller vier Städte zusammengefasst (Gesamte Untersuchungsfläche=9'356 ha).

5 DISKUSSION UND AUSBLICK

5.1.1 Erkenntnisse zur städtischen Dynamik

Die Daten bilden die zunehmende bauliche Verdichtung in allen vier Städten ab: Der Anteil an grüner Infrastruktur sank in allen vier Städten während der untersuchten Zeitspanne und der Deckungsgrad der versiegelten Fläche stieg an. Der Baumdeckungsgrad nahm verglichen mit den übrigen Grünflächen besonders stark ab.

Die markante Veränderung in einer kurzen Zeitspanne von zehn Jahren zeigt eine starke städtische Dynamik bei der Entwicklung der Bodennutzung. Nicht nur in den Klassen der Baumkategorien, sondern auch in der restlichen Bodennutzung fanden Veränderungen statt. Von den 3'200 erfassten Punkten in den vier Perimetern wechselten 8.1 Prozent ihre Klassen. Von den 800 Punkten pro Perimeter waren es in Zürich es 10.4 Prozent, in Basel 8.75 Prozent, in Lugano 8.25 Prozent und in Lausanne 4.9 Prozent der Punkte, die ihre Klasse gewechselt haben.

Zu Beginn der Datenerfassung dieser Arbeit wurden die Flächen der Perimeter betrachtet. Es wurde die ganzheitliche Erscheinung des Perimeters von der Vogelperspektive angeschaut. Die Unterschiede der Grüntöne im Jahre 2008 zum Jahre 2018 waren in allen vier Städten zu sehen. Wobei es sich im Jahre 2008 meist noch um ein sattes, dichtes Grün handelte und zehn Jahre später die Farbe verblasste und lückiger wurde. Zu dieser Aussage ist zu beachten, dass weitere Faktoren wie das Klima, der genaue Aufnahmezeitpunkt und die Aufnahmequalität Unterschiede im Erscheinungsbild verursachen können.

Im Allgemeinen wurde festgestellt, dass viele der Baumfällungen in den Wohnquartieren beziehungsweise auf privatem Raum (Gärten, Innenhöfen, Zufahrten, Wohnüberbauungen) vollzogen wurden. Oftmals konnte zudem erkannt werden, dass Baumbestände bei Neubauten oder Neugestaltung des privaten Aussenraumes ganzheitlich gefällt und nicht oder nur unbefriedigend ersetzt wurden. Für diese Aussage ist zu beachten, dass nicht bei allen Fällen der Entwicklungsstand der neuen Vegetation bereits genügend fortgeschritten war innert den zehn Jahren, um eine gültige Aussage zu machen.

Erfreulich war zu sehen, dass in allen Städten im öffentlichen Raum trotz berechnetem Rückgang Bestrebungen zur mehr Grünräumen ersichtlich waren. Es wurden Plätze und Verkehrswege begrünt und neue Grünanlagen gebaut.

5.1.2 Die rechtlichen Situation und ihre Auswirkung auf die grüne Infrastruktur

In Basel und in Lausanne gilt ein genereller, rechtlich festgelegter Baumschutz. In Zürich und Lugano beschränken sich die Regelungen auf ausgewählte Baumschutzzonen oder Baumbestände. Die vorliegenden Resultate zeigen, dass die Veränderung in Basel und Lausanne bei Baumfällungen und Baumpflanzungen nicht signifikant waren, jedoch in Zürich und Lugano ein signifikanter Unterschied besteht. Sowohl in Zürich als auch in Luzern wurden signifikant mehr Bäume gefällt als neu gepflanzt. Dieses Erkenntnis stimmt demnach mit der rechtlichen Situation in den Städten überein. Die Pflicht des Baumersatzes bei der Fällung eines geschützten Baumes in Basel und Lausanne kann dazu beigetragen haben, dass die Daten zu den Baumfällungen und Neupflanzungen annähernd im Gleichgewicht ausfielen.

Die Stadt Basel weist den geringsten Unterschied von Baumfällungen und Neupflanzungen auf. Die Recherche zu Stadtbäumen und ihrer rechtlichen Situation war in Basel am einfachsten. Es bestehen viele öffentliche, einfach zugängliche und gut verständliche Dokumente, welche von der Stadt Gärtnerei Basel zur Verfügung gestellt werden (z.B. Merkblatt zum Baumschutz auf Baustellen, Merkblatt zum Baumbestandesplan). Es macht den Eindruck, dass der Baumschutz in der Stadt einen wichtigen Stellenwert besitzt.

In Lausanne gelten ähnliche Regelungen für den Schutz der Bäume wie in Basel. Eine Fällung eines geschützten Baumes kann nur mit einer Bewilligung vollzogen werden. Es gelten auch hier die Bestimmungen zur Pflicht eines Baumersatzes, anders jedoch als in Basel muss die Neupflanzung nicht zwingend am selben Standort gemacht werden. Dies könnte ein Grund sein, dass trotz Ersatzpflicht die erfassten Daten zur Baumfällung und Neupflanzung in Lausanne nicht im vollständigen Gleichgewicht liegen. Unterschiedliche Projekte, wie «un arbre, un enfant» das im Kapitel der Untersuchungsgebiete beschrieben wurde, zeigen, dass auch die Stadt Lausanne engagiert den Erhalt des Baumbestandes in und nahe der Stadt unterstützt und fördert.

Der signifikante Unterschied in den Städten Zürich und Lugano könnte auf das Fehlen eines generellen Baumschutzgesetzes zurückzuführen sein. Die in Zürich bestehenden Schutzzonen machen lediglich einen kleinen Teil der gesamten Stadtfläche aus. Sie schützen vorwiegend innerstädtische Bereiche und historisch wertvolle Anlagen. Der fehlende Schutz in den übrigen Quartieren, das heisst die Möglichkeit, einen Baum ohne Bewilligung fällen zu dürfen, und die ausbleibende Ersatzpflicht ausserhalb dieser Schutzzonen könnten Gründe zum starken Rückgang der Stadtbäume in den zwei Städten sein.

Generell kann die Hypothese unterstützt werden, dass die Städte mit einem flächendeckenden Baumschutzgesetz einen geringeren Rückgang im Deckungsgrad der Stadtbäume verzeichnen als Städte ohne geltende Schutzbestimmungen. Die Prozentsätze des Verlustes an Stadtbäume in Zürich (1.75 Prozent) und Lugano (3.13 Prozent) innert den zehn untersuchten Jahren unterstützen die Hypothese. Der Abnahme in Basel (0.87 Prozent) und in Lausanne (1.25 Prozent) liegen deutlich unter diesen Werten.

5.1.3 Die klimatischen Standorte im Vergleich

Die Hypothese, dass es je nach klimatischer Region Unterschiede in der Entwicklung des Stadtbaumdeckungsgrades gibt kann nicht unterstützt werden. Annahmen, dass in den wärmeren Regionen die Entwicklung geringer ist, widersprechen den Resultaten. Diese Annahme wurde gemacht, da vermutet wurde, dass die Pflanzen in den warmen Regionen bereits besser an die Extrembedingungen einer Stadt (Hitze, Trockenheit und Stress) angepasst sind. Ihre Anfälligkeit auf Krankheiten oder klimatische Veränderungen würde dadurch geringer angesehen, was beides mögliche Gründe für eine Baumfällung wären.

Es wurde ferner erwartet, dass die Vegetation in Lugano üppiger ausfällt aufgrund der guten Wachstumsbedingungen. Als einzige Stadt hatte Lugano im Jahre 2008 ein Verhältnis der Grünflächen zu der versiegelten Fläche von annähernd 1:1. Die übrigen Städte wiesen weniger Grünfläche als Versiegelung auf. Die Resultate bestätigen demnach diese Erwartung. Ob diese Erwartung auch in Zukunft noch stimmig sein wird, ist nicht anzunehmen, da die Entwicklung der Bodenbedeckung tendenziell in Richtung der übrigen untersuchten Städte geht.

5.1.4 Auswirkungen auf die urbanen Ökosystemdienstleistungen

Mit dem Rückgang der Bäume in den Städten gehen nicht nur ästhetische Werte verloren, sondern viele weitere Leistungen nehmen mit der Zeit ab. Die Ökosystemdienstleistungen der Stadtbäume sind wichtige Grundlagen für die Lebensqualität in den Städten (Lee & Maheswaran, 2011). Nimmt der Baumbestand ab, werden die Effekte dieser Leistungen kleiner und können langfristig gesehen gar ganz erlöschen. Je älter und mächtiger ein Baum ist, desto wichtiger ist er für die Erfüllung der Dienstleistungen. Werden alte Bäume gefällt, geht trotz Ersatzpflanzung für viele Jahre viel Wert verloren. Ersatzpflanzungen machen auf jeden Fall Sinn, müssten jedoch nicht nur die Anzahl gefällter Bäume, sondern auch der Verlust an Grünvolumen berücksichtigen. Gerade auch im Hinblick darauf, dass heute wegen der schwierigen Bedingungen (z.B. hohe Schadstoffbelastung, Bodenverdichtung) Stadtbäume weit weniger alt werden als sie unter optimalen Bedingungen werden könnten.

Die allgemeine Abnahme an grüner Infrastruktur und die gleichzeitige Zunahme an versiegelter Fläche lässt die Städte stärker erhitzen (Stadt Zürich, 2020). Je mehr versiegelte Fläche vorhanden ist, desto mehr Sonneneinstrahlung wird absorbiert und gespeichert. Der Effekt der städtischen Wärmeinsel wird verstärkt. Unterstützt wird diese Tendenz, wenn zusätzlich die Baumbestände fehlen, die solche Flächen beschatten könnten und dadurch das bodennahe Klima spürbar kühler ausfallen würde. In der Analyse konnte gezeigt werden, dass der Grossteil der Standorte von gefälltten Bäumen zu versiegelter Fläche wurde und dies nicht nur bei Strassenbäumen, sondern auch bei Parkbäumen.

Die kühlende Wirkung auf das Mikroklima durch die Evapotranspiration des Kronendaches und die Bindung von Kohlenstoff durch die Bäume sind weitere Leistungen, die zu einem angenehmeren Klima führen.

Zudem können durch Beschattung von Gebäuden und der daraus resultierenden kühleren Temperatur im Gebäudeinnern energetische Einsparungen bei der Gebäudekühlung gemacht werden. Je weniger Bäume diese natürlichen Funktionen vollbringen können, desto schwächer fällt der Nutzen für uns Menschen aus.

Die Qualität der Stadtbäume als Luftfilter beeinflusst das Wohlbefinden der Bewohner und Bewohnerinnen und hat Einflüsse auf ihre Gesundheit (Lee & Maheswaran, 2011).

Die Akkumulation von Feinstaub und anderen Schadstoffen in Städten kann nicht rein durch einen intakten Baumbestand beseitigt werden, jedoch kann er diese verringern.

Der Verlust an alten und mächtigen Bäumen hat besonders Auswirkungen auf die Lebensraumqualität der Fauna in der Stadt. Beispielsweise kann das Fällen ohne Ersatz- oder Ausgleichpflanzung von Einzelbäumen oder Alleen, welche als Trittsteine zwischen getrennten Habitaten liegen, die Vernetzung beeinträchtigen und den Lebensraum gewisser Lebewesen einschränken oder ihre Mobilität erschweren (Gloor & Göldi Hofbauer, 2018). Weniger Stadtbäume und andere Grünflächen bedeutet weniger Lebewesen, die auf sie angewiesen sind und dies wiederum, dass die Biodiversität in den Städten sinkt.

Die Naturerlebnisse für die Bewohner und Bewohnerinnen der Stadt werden mit dieser Entwicklung geringer und ihr Bezug zur Natur, womöglich auch die Wertschätzung, kann schwinden. Nicht nur die physische Gesundheit wird von der grünen Infrastruktur begünstigt (Van den Berg et al., 2015) sondern auch die psychische Gesundheit (Haluzá & Schönbauer & Cervinka, 2014). Bäume geben der vorwiegend grauen Stadtfläche Farbe und Abwechslung im Anblick. Grünräume werden als Rückzugsorte, zur Erholung oder für Freizeitaktivitäten genutzt. Diese Aspekte wirken sich positiv auf die Psyche der Menschen aus. Der Schwund an grünen Objekten könnte vermehrt Stress, Unzufriedenheit oder Sehnsüchte auslösen die zu psychischen Krankheiten führen könnten.

Das Ortsbild einer Stadt ist von ihren Grünanlagen und Baumbeständen geprägt. Mit dem Verlust dieser verändern sich das Image und unter Umständen auch die Wertschätzung und Beliebtheit der betroffenen Stadt (Jones & Cloke, 2002).

In der amerikanischen Studie wurden die Verluste an Ökosystemdienstleistungen monetär berechnet. Die Berechnung ergab, dass in den USA der Durchschnitt des Verlustes an Ökosystemdienstleistungen pro Jahr 96 Millionen Dollar ausmacht. Werden dieselben Variablen für die vier Schweizer Städte verwendet, ergäbe dies einen durchschnittlichen Minusbetrag von 20'875 Dollar pro Jahr.

Die verwendeten Variablen basieren jedoch auf Datengrundlagen, die in den USA erhoben wurden und können nicht direkt mit der Situation in der Schweiz verglichen werden.

Für die Definition des durchschnittlichen Betrages, der ein Acre an Stadtwaldfläche generiert, wurden Zahlen aus der Wirtschaft genommen. Das Alter, die Masse und der Zustand der Bäume hatten für die Berechnungen keine Einflüsse.

5.1.5 Die Schweizer Städte im Vergleich mit urbanen Gebieten in den USA

Die Tendenz der Entwicklung in den Schweizer Städten kann mit den Ergebnissen der Studie in den USA verglichen werden. Die Datenmengen und die Grösse der Untersuchungsflächen unterscheiden sich zwar, die Erkenntnisse sind aber ähnlich. Es werden in beiden Studien gleiche Tendenzen festgestellt: eine Abnahme der grünen Infrastruktur und eine Zunahme der versiegelten Flächen.

Zu beachten ist, dass in den Staaten der USA eine Zeitspanne von nur fünf Jahren (2014 bis 2019) betrachtet wurde. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit aber eine Zeitspanne von zehn Jahren.

Durch die grössere Datenmenge kann angenommen werden, dass die Resultate der amerikanischen Studie präziser die reale Situation beschreiben als es die Analyse der vorliegenden Arbeit ermöglicht.

In der Studie von Novak & Greenfield (2018) wurden in 23 der 50 Staaten und des Bezirkes Columbia ein signifikanter Unterschied des Baumdeckungsgrades in den städtischen Gebieten festgestellt. Weitere 25 Staaten wiesen einen Verlust auf, der aber nicht signifikant war. In 3 Staaten konnte eine Zunahme am Deckungsgrad der Stadtbäume erkannt werden, welcher wiederum nicht signifikant war. Gleich wie in dieser Arbeit sind demnach annähernd die Hälfte aller Untersuchungsgebiete von einem signifikanten Rückgang gekennzeichnet. Die Studie in den USA weist Untersuchungsgebiete auf, die eine Zunahme verzeichnen. Dies konnte in der Analyse der Schweizer Städte nicht gefunden werden.

Die Resultate der amerikanischen Studie besagen, dass innert den fünf Jahren der Baumdeckungsgrad um ein Prozent über alle Staaten gesehen zurück gegangen ist. In den vier Schweizer Städten ging der Deckungsgrad gar um 1.64 Prozent zurück. Dieser stärkere Rückgang könnte jedoch mit der längeren Zeitperiode der Untersuchung begründet werden. Der Deckungsgrad der Stadtbäume lag in der USA im Jahre 2009 bei 40.4 Prozent. In der Schweiz lag der Wert im Jahre 2008 bei 23.05 Prozent. In der Analyse dieser Arbeit wurden grössere Stadtwaldflächen nicht zu den Perimetern gezählt, was als mögliche Begründung für diesen markanten Unterschied gesehen werden kann. Weiter wurden in der USA alle Staaten und der Bezirk Columbia untersucht und in dieser Analyse nur vier Städte.

Die Entwicklung auf beiden Kontinenten ist rückläufig, was klar eine internationale Problematik aufzeigt.

5.1.6 Ausblick: Monitoring und Schutz der Stadtbäume in Schweizer Städten

Das Konzept der Datenerfassung und Auswertung, wie es in dieser Arbeit und der amerikanischen Studie angewandt wurde, ist unkompliziert aufgebaut und einfach anwendbar. Die notwendigen Mittel beschränken sich auf die beiden Programme ArcGIS Pro und Google Earth, wobei letzteres kostenfrei zugänglich ist. Jedoch ist die Methodik subjektiv und fehleranfällig. Um sicherzustellen, dass die Resultate repräsentativ sind, wäre eine Überprüfung der Klassifizierungen durch eine oder mehrere zusätzliche Personen hilfreich.

Ein weiteres bekanntes Konzept ist die Vegetationsaufnahme mittels des NDVI (normierter differenzierter Vegetationsindex). Dieser Index könnte in Zukunft als zusätzliche Methode für das Monitoring des Stadtbaumdeckungsgrades angewendet werden.

Die Funktion kann im Programm ArcGIS Pro durchgeführt werden (Esri, 2020). Sie analysiert den Grünanteile eines Satellitenbildes. Der Grünanteil kann auch als relative Biomasse bezeichnet werden. Ihre weltweite Anwendung konzentriert sich zurzeit besonders auf die Überwachung von Trockenheit und der landwirtschaftlichen Produktion. Aus einem multispektralen Raster-Datenset wird der Kontrast der Eigenschaften zweier Bänder genutzt, um den Grünanteil zu bestimmen. Im roten Band wird die Absorption der Chlorophyllpigmente erfasst und im nahinfraroten Band den Pflanzen-Reflexionsgrad. Niedrige oder negative Werte aus den Berechnungen der Funktion weisen Bereiche auf ohne Vegetation und ohne festen Untergrund (Wolken, Wasser, Schnee). In Bereichen mit etwas höheren Werten stellen versiegelte Fläche dar. Mittlere Werte für Gras- oder Strauchvegetation und hohe Werte für üppige Vegetation wie urbane Baumbestände oder Waldflächen.

Für die Beobachtung der Entwicklung des Baumdeckungsgrades könnte die Funktion zu den gewünschten Untersuchungszeitpunkten durchgeführt werden. Anhand der Unterschiede der Anteile der höchst erhaltenen Werte kann die Entwicklung des Deckungsgrades bestimmt werden. Es müsste beachtet werden, dass die verwendeten Satellitenbilder zum gleichen Zeitpunkt im Jahr aufgenommen worden sind und die Qualität der Aufnahme übereinstimmt. Diese Methode kann effizient und auf grossen Flächen angewendet werden. Werden die genannten Bedingungen eingehalten, sollte die Fehleranfälligkeit sehr gering sein. Die Resultate sollten klar und einfach zu deuten sein und würden als Grundlagen zur Massnahmendefinition dienen.

Eine mögliche Massnahme wäre die generelle Bestimmung eines Baumschutzgesetzes in den Schweizer Städten. Denn allein mit der Pflanzung eines Baumes ist die Arbeit nicht getan beziehungsweise die Dienstleistungen noch nicht gewährleistet. Aspekte bei der Planung und Instandsetzung des Standortes, der Pflege und dem Schutz spielen eine grosse Rolle für seine Entwicklung (Weiss, 2015).

Die im Kapitel 2.2.5 beschriebene Fachplanung zur Hitzeminderung von Zürich könnte als Anstoss dienen, dass das einst geplante und kurzzeitig geltende Baumschutzgesetz wieder in die Gesetzgebung aufgenommen wird, was allerdings eine Änderung des kantonalen Gesetzes bedingen würde. Ein guter Baumschutz oder eine gezielte, verbindliche Politik zum Erhalt und zur Förderung von Bäumen in der Stadt wären Voraussetzung für einen wirksamen Schutz und Erhalt der bestehenden und neuen grünen Infrastruktur, damit die Ziele der Fachplanung Hitzeminderung, die Lebensqualität in der Stadt zu verbessern, erreicht werden.

Für die Stadt Lugano konnten zu wenige Informationen gefunden werden, als dass eine Aussage gemacht werden kann, ob in Zukunft eine Änderung bezüglich eines Baumschutzgesetzes geplant ist. Zu verzeichnen ist ein starker Rückgang der Stadtbäume.

Um diese Entwicklung zu stoppen, wäre ein strengerer Schutz der Bäume nötig. Gerade in einer Stadt, die bereits heute viele Hitzetage aufweist, wären Bäume für die Lebensqualität der Bevölkerung zentral. Auch in touristischer Hinsicht wäre der Erhalt der Bäume wichtig, so dass der Stadt auch in Zukunft das Bild des südlichen, vegetationsreichen Ferienortes erhalten. Es gibt Bestrebungen der Stadt, Projekte von Bewohnern und Bewohnerinnen zu unterstützen, die die neue grüne Infrastruktur in die Stadt bringen und die Biodiversität fördern (Città di Lugano, 2020). Dies zeigt, dass die Stadt bereits in die richtige Richtung plant und sich Gedanken zum Grünflächenmanagement macht.

6 SCHLUSSFOLGERUNG

Durch den Klimawandel und die wachsenden Bevölkerung wird die Situation in unseren Städten immer ernster. Der Nutzungsdruck und die Hitzebelastungen nehmen zu und werden spürbar. Die durchschnittlichen Temperaturen steigen und der Freiraum schwindet. Die Städte reagieren und expandieren oder verdichten, wo es möglich erscheint. Diese Entwicklung hat zur Folge, dass andere Infrastruktur weichen muss. Diese Arbeit konnte aufzeigen, dass in vier Schweizer Städten der Wandel zu mehr versiegelten Fläche stattfindet. Grünräume, insbesondere die Stadtbäume, sind die Verlierer dieser Entwicklung. Die teils signifikante Abnahme des Stadtbaumbestandes während des untersuchten Zeitraumes ist ein weiterer Beweis für die vorliegende Problematik. Indirekt sind nämlich nicht die Stadtbäume an sich die Verlierer, sondern wir Bewohner und Bewohnerinnen der Städte. Die Ökosystemdienstleistungen, welche die grüne Infrastruktur generiert, haben einen wichtigen, teils lebensnotwendigen Nutzen für uns. Schreitet die Entwicklung der letzten Jahre auch in Zukunft in dieselbe Richtung fort, werden diese Leistungen immer schwächer. Indessen verschlechtert sich die Lebensqualität in den Städten, die Stadtökosysteme werden beeinträchtigt und die Gesundheit der Bevölkerung kann Schaden nehmen.

Der Handlungsbedarf ist mit der zusätzlichen Belastung durch den Klimawandel in den Städten besonders hoch. Die Städteplanung sollte Massnahmen entwickeln und umsetzen, die den Aussenraum klimaangepasster gestaltet. Anzustreben ist eine Hitzeminderung, welche die Vorteile der grünen Infrastruktur nutzt.

Die Baumschutzgesetze, wie sie in Basel und Lausanne praktiziert werden, sind erfolgreiche Beispiele für den Erhalt und die Förderung der Stadtbäume. Auch die Erfassung des Baumbestandes in einem Baumkataster ist eine wichtige Grundlage für die Massnahmendefinition.

Während der Datenerfassung wurde festgestellt, dass viele der Baumfällungen ohne Ersatzpflanzung im privaten Raum passierten. Die Gründe konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht ausfindig gemacht werden. Angenommen wird, dass das Wissen über den Nutzen für das städtische System in der Bevölkerung und insbesondere bei Liegenschaftsbesitzern zu wenig vorhanden ist. Die persönlichen Gründe stehen im Vordergrund und über die langfristigen Konsequenzen für die Allgemeinheit wird hinweggesehen.

Es gilt also, die Aufmerksamkeit und die Wertschätzung auf die Stadtbäume zu lenken. Die Bevölkerung soll informiert werden, welcher Mehrwert und welche Chancen in der grünen Infrastruktur unserer Städte stecken.

Diese Arbeit wurde verfasst mit der Hoffnung, einen Beitrag für unsere Stadtbäume und deren Wertschätzung zu leisten. Die aufgezeigten Resultate zeigen klar, dass die Problematik auch in der Schweiz besteht. Es besteht ein grosser Handlungsbedarf, wenn wir weiterhin gesund und natürlich in unseren Städten leben wollen. Deshalb möchte ich diese Arbeit mit einem Zitat von Martin Luther (1483 - 1546) schliessen. Es zeigt, wie wichtig und beständig Bäume für die Bevölkerung bereits früher waren und immer noch sind.

«Und wenn ich wüsste, dass morgen die Welt unterginge,
würde ich heute noch ein Apfelbäumchen pflanzen“.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- Akademie der Naturwissenschaften Schweiz. (2019). Biodiversität, eine Garantie für Gesundheit? Swiss Academies Factsheet 14 (3).
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2018). Hitze in Städten. Grundlage für eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung. Bern: Bundesamt für Umwelt (Hrsg.), Umwelt-Wissen, 1812, 108.
- Brack, F. et al. (2017). Mehr als Grün, Profilkatalog naturnaher Pflege. Zürich: Grün Stadt Zürich (Hrsg.). 227.
- Baumschutzgesetz (BSchG). Grosser Rat des Kanton Basel-Stadt. 16. Oktober 1980. SR 789.700. Stand 29. November 2009.
- Breuste, J., Pauleit, S., Haase, D., Sauerwein, M. (2015). Stadtökosysteme, Funktion, Management und Entwicklung. Berlin: Springer Spektrum.
- Brunner, M. (2007). Bedeutende Linden. Bern/Stuttgart/Wien: Haupt.
- Buchecker, M. (2008). Welche Ansprüche hat die Bevölkerung an ihre Wohnumgebung. Forum f. Wissen 2008, 43-54
- Bundesamt für Raumentwicklung ARE. (2009). Monitoring urbaner Raum Schweiz – Analysen zu Städten und Agglomerationen. 68.
- Bundesamt für Statistik BFS (2019). Bevölkerung. Neuenburg: Bundesamt für Statistik (Hrsg.), Panorama. 11.
- Bundesamt für Statistik BFS (2018). Land- und Forstwirtschaft. Neuenburg: Bundesamt für Statistik (Hrsg.), Panorama. 9.
- Bundesamt für Statistik BFS (2019). Landschaft Schweiz im Wandel, Siedlungsentwicklung. Neuenburg: Bundesamt für Statistik (Hrsg.), BFS Aktuell. 4.
- Bundesamt für Statistik BFS (2014). Raum mit städtischem Charakter der Schweiz 2012: Eine neue Definition der Agglomerationen und weiteren städtischen Raumkategorien. Neuenburg: Bundesamt für Statistik (Hrsg.), BFS Aktuell. 8.
- Bau- und Zonenordnung (BZO). Stadt Zürich. 23. Oktober 1991. SR 700.100, Stand 2016.
- Città di Lugano. (2020). Città verde et Gestione alberatura. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.lugano.ch/temi-servizi/energia-ambiente/citta-verde.html>.
- Città di Lugano. (2020). Servizio di Statistica Urbana. Abgerufen Mai von <https://statistica.lugano.ch/site/demografia>.
- Egli, H.-R., Hasler, M., Probst, M. (2013). *Geografie, Wissen und verstehen*. Bern: hep.
- Erll, E., Pearlmutter, D., Williamson, T. (2011). Urban Microclimate, Designing the Spaces Between Buildings. New York: Earthscan.
- Esri. (2020). Erklärungen zur Funktion «NDVI». Abgerufen Juni 2020 von <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm>.
- Gloor, S., Göldi Hofbauer, M. (2018). Der ökologische Wert von Stadtbäumen bezüglich der Biodiversität. Jahrbuch der Baumpflege 22, 33-48.
- Google Earth. (2020). Der genaueste Globus der Welt. Abgerufen Juni 2020 von <https://www.google.com/earth>.

- Grant, G. (2012). *Ecosystem services come to town, Greening Cities by working with nature*. Sussex: Wiley-Blackwell.
- Grunewald, K., Bastian, O. (2012). *Ökosystemdienstleistungen, Konzept, Methode und Fallbeispiel*. Berlin: Springer Spektrum.
- Grün Stadt Zürich. (2020). *Stadtbäume, Baumschutz*. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/natur-erleben/stadtbaeume/baumschutz.html>.
- Grüne Stadt Zürich. (2020). *Unsere Themen, Baumschutz*. Abgerufen Mai 2020 von <https://gruenezuerich.ch/baumschutz>.
- Grün Stadt Zürich. (2020). *Stadtbäume, Baumpflege*. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/natur-erleben/stadtbaeume/baumpflege.html>.
- Haase, D. (2011). *Urbane Ökosysteme, Handbuch der Umwelt Umweltwissenschaften*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Haluza D., Schönbauer R., Cervinka R. (2014). *Green perspectives for public health: A narrative review on the physiological effects of experiencing outdoor nature*. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11, S. 5445–5461.
- Heller, E. (2004). *Wie Farben wirken*. Reinbeck: Rowohlt.
- Henniger, S., Leitte, A. (2017). *Applied and Planning-Oriented Urban Climatology at the University of Kaiserslautern*. Leal W. (Hrsg.), *Climate Change Research at Universities, Addressing the Mitigation and Adaption Challenges*. 389-400.
- Henniger, S., Weber, S. (2019). *Stadtklima*. Kaiserslautern/Braunschweig: utb.
- Jones O, Cloke P (2002). *Tree cultures: the place of trees and trees in their place*. University of Bristol. 252.
- Klein, D., Schulz, C. (2011). *Kohlenstoffspeicherung von Bäumen*. Freising: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft LWF (Hrsg.), *Merkblatt* 27, 6.
- Lee A. C. K., Maheswaran R. (2011). *The health benefits of urban green spaces: A review of the evidence*. *Journal of Public Health* 33, 2, 212–222.
- Loi cantonale vaudoise sur la protection de la nature, des monuments et des sites (LPNMS). Le grand conseil du canton de vaud. 10. Dezember 1969. SR 450.11. Stand 1. Januar 2017.
- Mader, G., Neubert-Mader, L. (2004). *Bäume - Gestaltungsmittel in Garten, Landschaft und Städtebau*. Köln: Komet.
- Meteoschweiz. (2020). *Schweizer Klima im Detail, Klimadiagramme*. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.meteoschweiz.admin.ch>.
- Nowak, D. J., Greenfield, E. J. (2018). *Declining Urban and Community Tree Cover in the United States*. *United States: Urban Forestry and Urban Greening*. 48.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C. (2006). *Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States*. *Urban Forestry and Urban Greening*. 5, 115-123
- Kanton Basel-Stadt. (2020). *Behörden und Organisation*. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.bs.ch>.
- Keller, D. Koepfel Mouzinho, L. (2010). *Baumanalyse Schwamendingen: Fachbericht*. Zürich: Grün Stadt Zürich (Hrsg.). 111.
- Koepf, H., Binding, G. (2016). *Bilderwörterbuch der Architektur*. Stuttgart: Kröner.

- Otaru, O. (2015). *Städtische Parkanlagen im Wandel* (Master Thesis). Zürich: Universität Zürich.
- Ordinanza municipale sulla manutenzione dei fondi nel comune di Lugano. Municipio di Lugano. 21 November 2013. Stand 2013.
- Planungs- und Baugesetz (PBG). Stadt Zürich. 7. September 1975. SR 700.100, Stand 1975.
- Qiu, G. et al. (2013). Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 12, 8, 1307 – 1315.
- Rahman, M. A. et al. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. *Freising: Building and Environment* 170, 14.
- Roloff, A. (2013). *Bäume in der Stadt*. Stuttgart: Ulmer.
- Schweppe-Kraft, B. (2010). Ökosystemdienstleistungen: ein Ansatz zur ökonomischen Bewertung der Natur. *Local land & soil news 34/35, The Bulletin of the European Land and Soil Alliance*. 11-14.
- Spohn, R., Spohn, M. (2016). *Bäume und ihre Bewohner. Der Naturführer zum reichen Leben an Bäumen und Sträuchern*. Bern: Haupt.
- Stadt Zürich (2020). *Programm Klimaanpassung, Fachplanung Hitzeminderung*. Zürich: Stadt Zürich und Grün Stadt Zürich (Hrsg.). 214.
- Stadtgärtnerei Basel. (2018). *Stadtgärtnerei Basel, Über uns, Grünstadt Schweiz*. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.stadtgaertneri.bs.ch/ueber-uns/gruenstadt-schweiz.html>.
- Stadtgärtnerei Basel. (2020). *Stadtgärtnerei Basel, Willkommen bei der Stadtgärtnerei Basel*. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.stadtgaertneri.bs.ch>.
- Stadtgärtnerei Basel. (2020). *Stadtgärtnerei, Mein Garten, Baugesuche, Baumschutz*. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.stadtgaertneri.bs.ch/mein-garten/baugesuche/baumschutz.html>.
- Stadtgärtnerei Basel. (2020). *Stadtgärtnerei, Mein Garten; Baugesuche; Baumschutz, Baumschutz auf Baustellen*. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.stadtgaertneri.bs.ch/mein-garten/baugesuche/baumschutz.html>.
- Statistisches Amt des Kantons Basel-Stadt. (2019). *Statistisches Jahrbuch des Kantons Basel-Stadt*. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.bs.ch/publikationen/statistik/statistisches-jahrbuch.html>.
- Statistik Stadt Zürich. (2020). *Bevölkerungszahlen*. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.stadt-zuerich.ch/prd/de/index/statistik/themen/bevoelkerung/daten.html>.
- Thönnessen, M., Hellack B. (2005). Staubfilterung durch Gehölzblätter. *Stadt+Grün* 12, 10-15.
- Van den Berg M. et al. (2015). Health benefits of green spaces in the living environment: A systematic review of epidemiological studies. *Urban Forestry and Urban Green*. 14, S. 806–816
- Ville de Lausanne. (2015). *Brochure: Les arbres à Lausanne*. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.lausanne.ch/officiel/administration/logement-environnement-et-architecture/parcs-et-domaines>.
- Ville de Lausanne. (2020). *Espace verts et nature*. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.lausanne.ch/vie-pratique/nature.html>.
- Ville de Lausanne. (2020). *Ville de Lausanne, Quartiers*. Abgerufen Mai 2020 von <https://www.lausanne.ch/officiel/statistique/quartiers.html>.
- Weiss, M. (2015). *Nachhaltiges Management von Stadtbäumen. Gelterkinden und Wädenswil: Grünstadt Schweiz und ZHAW (Hrsg.), Merkblatt für Nachhaltiges Management von Stadtbäumen*. 5.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Der typische Temperaturverlauf einer städtische Wärmeinsel. Die durchschnittliche Temperatur steigt mit der Zunahme der versiegelten Fläche Richtung Stadtzentrum an und nimmt in vegetationsreicheren Bereichen wieder ab (Quelle: Henniger & Weber, 2019). | 17 |
| Abbildung 2: Eine Tanzlinde in Peesten (Deutschland), die früher als Austragungsort für Veranstaltungen diente | 19 |
| Abbildung 3: Die Schutzzone definiert das Ausmass der Fläche, welche bei einem Bauvorhaben nicht tangiert werden darf bzw. geschützt werden muss (Quelle: Stadtgärtnerei Basel) | 25 |
| Abbildung 4: Satellitenbildausschnitt des Untersuchungsperimeter Basel mit den Standorten der Zufallspunkte (Quelle: Google Earth). | 33 |
| Abbildung 5: Vergleich des Bodenbedeckungsgrads von versiegelten und unversiegelten Flächen (%) für die Stadt Zürich in den Jahren 2008 und 2018 (Datensatz n=800). | 37 |
| Abbildung 6: Vergleich des Deckungsgrads der Klassen (%) für die Stadt Zürich in den Jahren 2008 und 2018 (Untersuchungsfläche = 4'830 Hektaren). | 38 |
| Abbildung 7: Dokumentation einer Baumfällung in Zürich, Standort: 47°20'25.11"N 8°31'40.27"E (Quelle: Google Earth). | 40 |
| Abbildung 8: Dokumentation einer Baumfällung in Zürich, Standort: 47°23'24.30"N 8°32'25.23"E (Quelle: Google Earth). | 40 |
| Abbildung 9: Dokumentation einer Baumfällung in Zürich, Standort: 47°21'40.21"N 8°33'59.16"E (Quelle: Google Earth). | 41 |
| Abbildung 10: Dokumentation einer Neupflanzung in Zürich, Standort: 47°21'52.23"N 8°30'57.88"E (Quelle: Google Earth). | 41 |
| Abbildung 11: Dokumentation einer Neupflanzung in Zürich, Standort: 47°23'32.56"N 8°29'27.21"E (Quelle: Google Earth). | 41 |
| Abbildung 12: Vergleich des Bodenbedeckungsgrads von versiegelten und unversiegelten Flächen (%) für die Stadt Basel in den Jahren 2008 und 2018 (Datensatz n=800). | 42 |
| Abbildung 13: Vergleich des Deckungsgrads der Klassen (%) für die Stadt Basel in den Jahren 2008 und 2018 (Untersuchungsfläche = 2'280 Hektaren). | 43 |
| Abbildung 14: Dokumentation einer Baumfällung in Basel, Standort: 47°32'12.50"N 7°36'8.40"E (Quelle: Google Earth). | 45 |
| Abbildung 15: Dokumentation einer Baumfällung in Basel, Standort: 47°34'17.50"N 7°36'33.12"E (Quelle: Google Earth). | 45 |
| Abbildung 16: Dokumentation einer Baumfällung in Basel, Standort: 47°34'15.47"N 7°33'56.78"E (Quelle: Google Earth). | 46 |
| Abbildung 17: Dokumentation einer Neupflanzung in Basel, Standort: 47°34'21.25"N 7°34'55.81"E (Quelle: Google Earth). | 46 |
| Abbildung 18: Dokumentation einer Neupflanzung in Basel, Standort: 47°32'38.52"N 7°35'36.86"E (Quelle: Google Earth). | 46 |
| Abbildung 19: Vergleich des Bodenbedeckungsgrads von versiegelten und unversiegelten Flächen (%) für die Stadt Lausanne in den Jahren 2008 und 2018 (Datensatz n=800). | 47 |
| Abbildung 20: Vergleich des Deckungsgrads der Klassen (%) für die Stadt Lausanne in den Jahren 2008 und 2018 (Untersuchungsfläche = 1'120 Hektaren). | 48 |
| Abbildung 21: Dokumentation einer Baumfällung in Lausanne, Standort: 46°32'27.53"N 6°37'54.80"E (Quelle: Google Earth). | 50 |
| | 71 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 22: Dokumentation einer Baumfällung in Lausanne, Standort: 46°31'2.91"N 6°38'6.37"E (Quelle: Google Earth). | 50 |
| Abbildung 23: Dokumentation einer Baumfällung in Lausanne, Standort: 46°31'4.74"N 6°36'49.96"E (Quelle: Google Earth). | 51 |
| Abbildung 24: Dokumentation einer Neupflanzung in Lausanne, Standort: 46°32'21.95"N 6°36'40.69"E (Quelle: Google Earth). | 51 |
| Abbildung 25: Dokumentation einer Neupflanzung in Lausanne, Standort: 46°31'26.80"N 6°38'13.23"E (Quelle: Google Earth). | 51 |
| Abbildung 26: Vergleich des Bodenbedeckungsgrads von versiegelten und unversiegelten Flächen (%) für die Stadt Lugano in den Jahren 2008 und 2018 (Datensatz n=800). | 52 |
| Abbildung 27: Vergleich des Deckungsgrads der Klassen (%) für die Stadt Lugano in den Jahren 2008 und 2018 (Untersuchungsfläche = 1'126 Hektaren). | 53 |
| Abbildung 28: Dokumentation einer Baumfällung in Lugano, Standort: 45°59'57.72"N 8°56'53.00"E (Quelle: Google Earth). | 55 |
| Abbildung 29: Dokumentation einer Baumfällung in Lugano, Standort: 46° 1'25.12"N 8°58'22.43"E (Quelle: Google Earth). | 55 |
| Abbildung 30: Dokumentation einer Baumfällung in Lugano, Standort: 46° 0'27.58"N 8°57'49.58"E (Quelle: Google Earth). | 56 |
| Abbildung 31: Dokumentation einer Neupflanzung in Lugano, Standort: 46° 1'13.29"N 8°57'29.29"E (Quelle: Google Earth). | 56 |
| Abbildung 32: Dokumentation einer Neupflanzung in Lugano, Standort: 46° 0'33.41"N 8°57'29.33"E (Quelle: Google Earth). | 56 |
| Abbildung 33: Vergleich zwischen den vier Städten bezüglich der Veränderung des Deckungsgrades (%) in den Kategorien Stadtbäume, andere Grünflächen und versiegelter Fläche (Untersuchungsflächen: Zürich= 4'830 ha, Basel=2'280 ha, Lausanne=1'120 ha, Lugano=1'126 ha). | 57 |
| Abbildung 34: Veränderung des Deckungsgrades (%) in den Kategorien Stadtbäume, andere Grünflächen und versiegelte Flächen aller vier Städte zusammengefasst (Gesamte Untersuchungsfläche=9'356 ha). | 58 |
| Titelbild: Kastanienbäume in der Delsbergerallee in Basel (Eigenaufnahme 2020, L.Schubnell) | |

TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Nachhaltigkeitsdimensionen, uÖSD und urbane Lebensqualität (Zusammenstellung nach Haase (2011)) | 15 |
| Tabelle 2: Gegenüberstellung der Ökosystemdienstleistungen von Strassen- und Parkbäumen. Die Intensität der Leistung des Baumes für die genannte Ökosystemdienstleistung wird mit dem Symbol + definiert (+ geringe Leistung, ++ ausgeprägte Leistung). | 20 |
| Tabelle 3: Gegenüberstellung der Standorte der Untersuchungsflächen Zürich, Basel, Lausanne und Lugano bezüglich der Merkmale Lage, Gewässer, Umgebung, Höhenlage, Klima, Jahresdurchschnittstemperatur, Einwohnerzahlen und Grösseneinordnung (Quellen: Statistische Ämter der Städte Zürich, Basel, Lausanne und Lugano sowie MeteoSchweiz). | 28 |
| Tabelle 4: Vierfeldertafel zur Durchführung des McNemar Tests (a = Baumbestand 2008 und 2018 vorhanden war, b= Neupflanzungen, c= Baumfällungen, d= Punkte, die weder 2008 noch 2018 als Baum klassifiziert wurden). | 36 |
| Tabelle 5: Zahlen zu den Klassenwechsel des Baumbestandes bei den Baumfällungen und Neupflanzungen in Zürich (Datensatz n=800). | 39 |
| Tabelle 6: Summe der Baumfällungen und Neupflanzungen mit zugehörigem Deckungsgrad und zu beachtendem Standardfehler (SE) in Zürich (Datensatz n=800). | 39 |
| Tabelle 7: Zahlen zu den Klassenwechsel des Baumbestandes bei den Baumfällungen und Neupflanzungen in Basel (Datensatz n=800). | 44 |
| Tabelle 8: Summe der Baumfällungen und Neupflanzungen mit zugehörigem Deckungsgrad und zu beachtendem Standardfehler (SE) in Basel (Datensatz n=800). | 44 |
| Tabelle 9: Zahlen zu den Klassenwechsel des Baumbestandes bei den Baumfällungen und Neupflanzungen in Lausanne (Datensatz n=800). | 49 |
| Tabelle 10: Summe der Baumfällungen und Neupflanzungen mit zugehörigem Deckungsgrad und zu beachtendem Standardfehler (SE) in Lausanne (Datensatz n=800). | 49 |
| Tabelle 11: Zahlen zu den Klassenwechsel des Baumbestandes bei den Baumfällungen und Neupflanzungen in Lugano (Datensatz n=800). | 54 |
| Tabelle 12: Summe der Baumfällungen und Neupflanzungen mit zugehörigem Deckungsgrad und zu beachtendem Standardfehler (SE) in Basel (Datensatz n=800). | 54 |

ANHANG

| | |
|----------|--|
| Anhang A | Satellitenbilddaufnahmen der Untersuchungsgebiete Zürich, Basel, Lausanne und Lugano |
| Anhang B | Baumschutzzonen Zürich |
| Anhang C | Resultate Deckungsgrade der Klassen |
| Anhang D | Resultate Deckungsgrade der Stadtbäume |
| Anhang E | Resultate McNemar Test |
| Anhang F | Resultate Deckungsgrade unversiegelte Flächen und Versiegelung |
| Anhang G | Resultate der zusammengefassten Bodenbedeckung der vier Städte |
| Anhang I | Poster |
| Anhang J | Eigenständigkeitserklärung |

Anhang A:



Abbildung a: Satellitenbildaufnahme (2008) des Untersuchungsgebiet in Zürich (orange Linie=Siedlungsgebiet, welches als Untersuchungsperimeter verwendet wurde und weisse Linie=gesamtes Stadtgebiet)

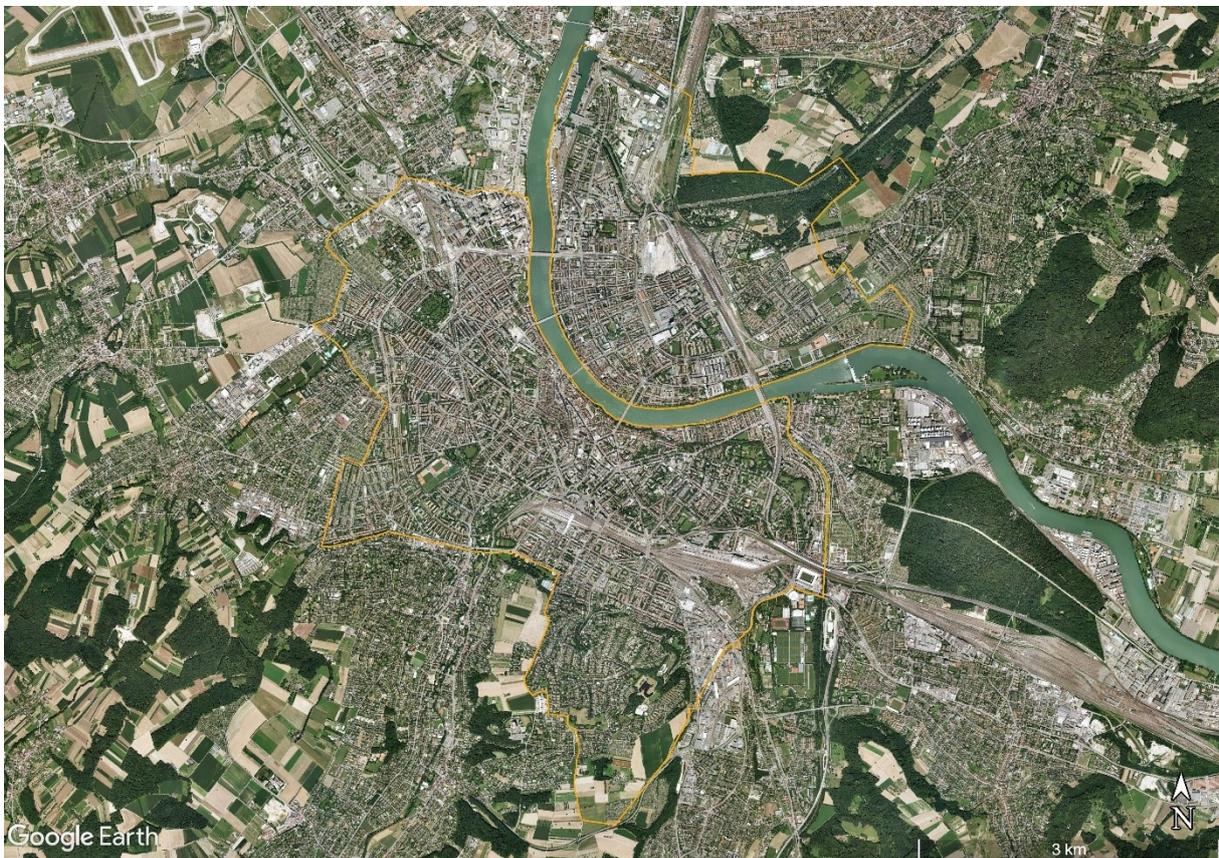


Abbildung b: Satellitenbildaufnahme (2008) des Untersuchungsgebiet in Basel (orange Linie=Siedlungsgebiet, welches als Untersuchungsperimeter verwendet wurde)

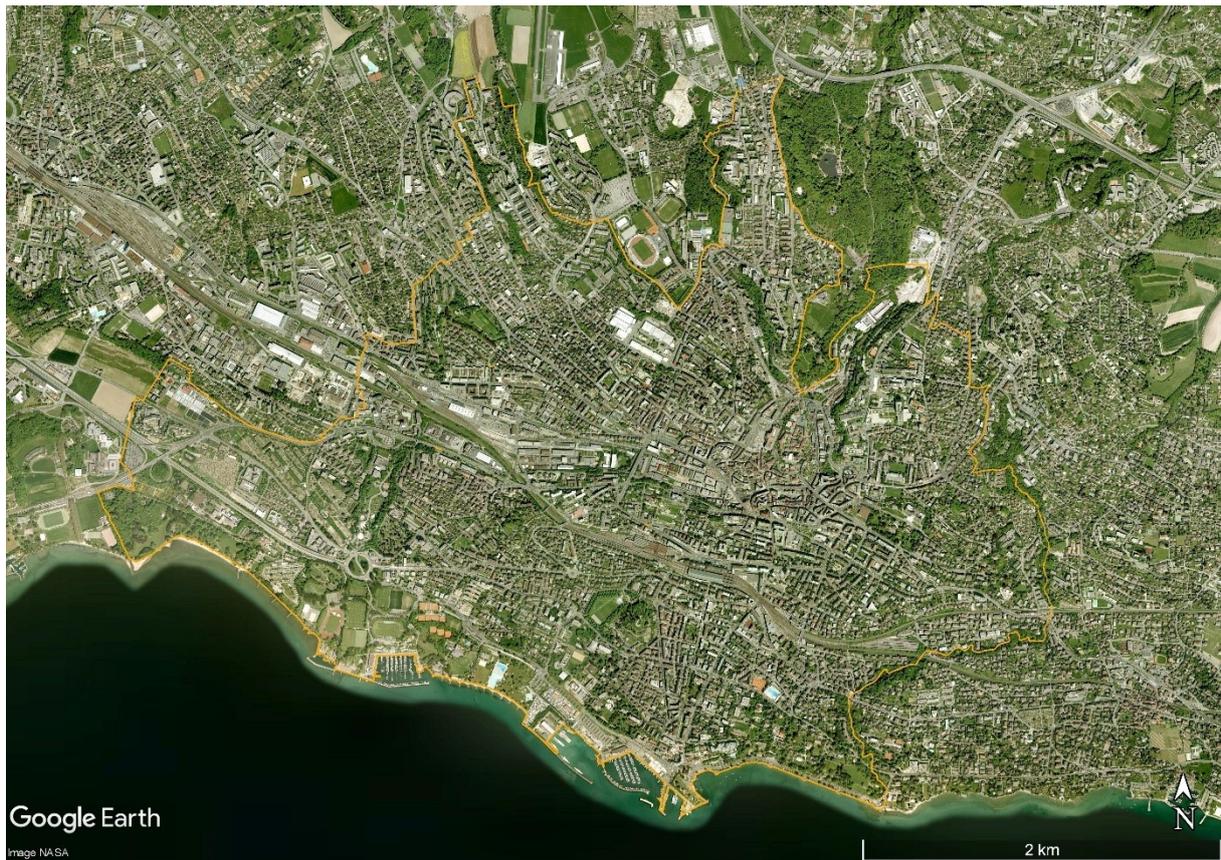


Abbildung c: Satellitenbildaufnahme (2008) des Untersuchungsgebiet in Lausanne (orange Linie=Siedlungsgebiet, welches als Untersuchungsperimeter verwendet wurde)

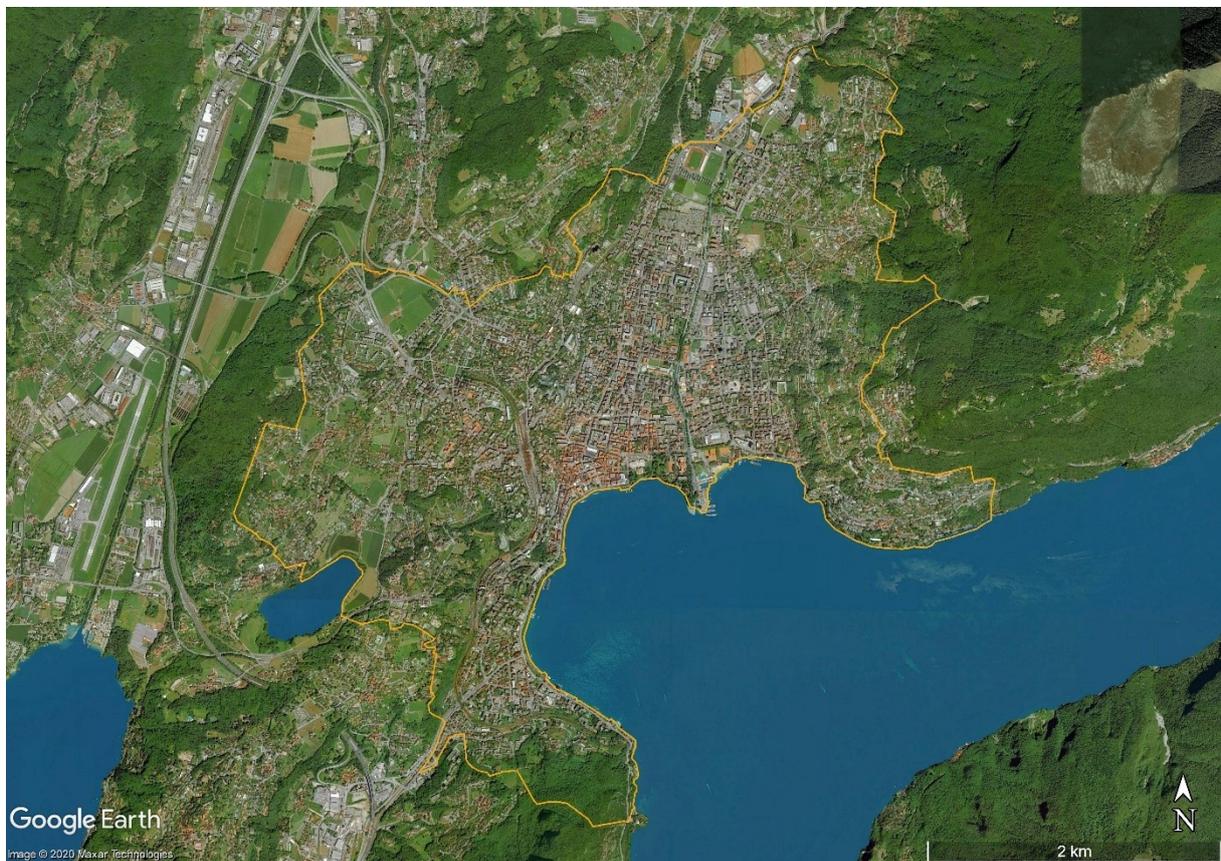


Abbildung d: Satellitenbildaufnahme (2008) des Untersuchungsgebiet in Lugano (orange Linie=Siedlungsgebiet, welches als Untersuchungsperimeter verwendet wurde)

Anhang B:



Abbildung e: Die Baumschutzzonen in der Stadt Zürich (grün), seit 2016 in Kraft gesetzt. In den Baumschutzzonen ist das Fällen von Bäumen mit einem Stammumfang von mehr als 80 Zentimetern bewilligungspflichtig.

Anhang C:

Tabelle a: Zusammenstellung der Resultate der Berechnungen zum Deckungsgrad (%) aller Klassen für die Städte Zürich, Basel, Lausanne und Lugano in den Jahren 2008 und 2018 zuzüglich des Standardfehlers (SE)

| Aufnahmejahr und Standard-Fehler | Untersuchungsperimeter | Parkbaum | Strassenbaum | Grünfläche | Bare soil | Wasser | Gebäude | Versiegelung | Anderes | Stadtwald | Landwirtschaft |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------|------------|-----------|--------|---------|--------------|---------|-----------|----------------|
| | | Deckungsgrad in Prozent | | | | | | | | | |
| 2008 | Zürich 4'830 ha | 11.5 | 9.38 | 19 | 1.13 | 0.13 | 27.75 | 26.88 | 3.25 | 0.25 | 0.75 |
| SE | | 1.13 | 1.03 | 1.39 | 0.37 | 0.12 | 1.58 | 1.57 | 0.63 | 0.18 | 0.31 |
| 2018 | | 10.25 | 8.88 | 19 | 0.25 | 0.25 | 29 | 28.13 | 3.63 | 0.25 | 0.38 |
| SE | | 1.07 | 1.01 | 1.39 | 0.18 | 0.18 | 1.6 | 1.59 | 0.66 | 0.18 | 0.22 |
| | | | | | | | | | | | |
| 2008 | Basel 2'280 ha | 13.63 | 7.25 | 13.13 | 1.75 | 1.38 | 26.75 | 24.63 | 4.5 | 4.5 | 2.5 |
| SE | | 1.21 | 0.92 | 1.19 | 0.46 | 0.41 | 1.57 | 1.52 | 0.73 | 0.73 | 0.55 |
| 2018 | | 13.25 | 6.75 | 12.25 | 1.88 | 1.38 | 27.38 | 25.13 | 4.8 | 4.5 | 2.63 |
| SE | | 1.2 | 0.89 | 1.16 | 0.48 | 0.41 | 1.58 | 1.53 | 0.76 | 0.73 | 0.57 |
| | | | | | | | | | | | |
| 2008 | Lausanne 1'120 ha | 11.75 | 11 | 17.5 | 0.63 | 0 | 28.13 | 27.5 | 2.5 | 1 | 0 |
| SE | | 1.14 | 1.11 | 1.34 | 0.28 | 0 | 1.59 | 1.58 | 0.55 | 0.35 | 0 |
| 2018 | | 10.88 | 10.63 | 17.38 | 0.75 | 0 | 29.5 | 27.25 | 2.63 | 1 | 0 |
| SE | | 1.1 | 1.09 | 1.34 | 0.31 | 0 | 1.61 | 1.57 | 0.57 | 0.35 | 0 |
| | | | | | | | | | | | |
| 2008 | Lugano 1'126 ha | 15.38 | 7.75 | 21.75 | 0.63 | 0.38 | 25.63 | 23.13 | 0.88 | 2.75 | 1.75 |
| SE | | 1.28 | 0.95 | 1.46 | 0.28 | 0.22 | 1.54 | 1.49 | 0.33 | 0.58 | 0.46 |
| 2018 | | 13.50 | 6.63 | 21.13 | 0.5 | 0.38 | 27.25 | 25.38 | 0.88 | 2.63 | 1.75 |
| SE | | 1.21 | 0.88 | 1.44 | 0.25 | 0.22 | 1.57 | 1.54 | 0.33 | 0.57 | 0.46 |

Anhang D:

Tabelle b: Zusammenstellung der Resultate der Berechnungen zum Deckungsgrad (%) der Klasse ' Stadtbäume ' für die Städte Zürich, Basel, Lausanne und Lugano in den Jahren 2008 und 2018 zuzüglich des Standardfehlers (SE) und der Differenz

| Aufnahmejahr | Untersuchungsperimeter | Stadtbäume |
|--------------|----------------------------|-------------------------|
| | | Deckungsgrad in Prozent |
| 2008 | Zürich 4'830 Hektaren | 21.13 |
| SE | | 1.44 |
| 2018 | | 19.38 |
| SE | | 1.4 |
| Differenz | | 1.75 |
| SE | | 0.46 |
| | | |
| 2008 | Basel 2'280 Hektaren | 25.38 |
| SE | | 1.54 |
| 2018 | | 24.50 |
| SE | | 1.52 |
| Differenz | | 0.88 |
| SE | | 0.33 |
| | | |
| 2008 | Lausanne 1'120 Hektaren | 23.75 |
| SE | | 1.5 |
| 2018 | | 22.5 |
| SE | | 1.48 |
| Differenz | | 1.25 |
| SE | | 0.39 |
| | | |
| 2008 | Lugano 1'126 Hektaren | 25.88 |
| SE | | 1.55 |
| 2018 | | 22.75 |
| SE | | 1.48 |
| Differenz | | 3.13 |
| SE | | 0.62 |

Anhang E

Tabelle c: Zusammenstellung der Resultate der Berechnungen des McNemar Test mit den Werten der Neupflanzungen (b) und den Baumfällungen (c) für die Städte Zürich, Basel, Lausanne und Lugano (Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$, Freiheitsgrad 1)

| McNemar Test | | | |
|---------------------|----|----|-------------|
| Untersuchungsfläche | b | c | p-Wert |
| Zürich | 14 | 28 | 0.044862271 |
| Basel | 14 | 21 | 0.310494434 |
| Lausanne | 6 | 16 | 0.055008834 |
| Lugano | 2 | 26 | 1.38269E-05 |
| Total: | 36 | 91 | 1.6535E-06 |

Anhang F:

Tabelle d: Zusammenstellung der Resultate der Berechnungen zum Deckungsgrad (%) der unversiegelten Fläche und der Versiegelung für die Städte Zürich, Basel, Lausanne und Lugano in den Jahren 2008 und 2018 zuzüglich des Standardfehlers (SE)

| Aufnahmejahr | Untersuchungsperimeter | unversiegelte Fläche | Versiegelung |
|--------------|----------------------------|-------------------------|--------------|
| | | Deckungsgrad in Prozent | |
| 2008 | Zürich 4'830 Hektaren | 41 | 59 |
| SE | | 1.74 | 1.74 |
| 2018 | | 39 | 61 |
| SE | | 1.72 | 1.72 |
| | | | |
| 2008 | Basel 2'280 Hektaren | 42.38 | 57.63 |
| SE | | 1.75 | 1.75 |
| 2018 | | 40.75 | 59.25 |
| SE | | 1.74 | 1.74 |
| | | | |
| 2008 | Lausanne 1'120 Hektaren | 41.25 | 58.75 |
| SE | | 1.74 | 1.74 |
| 2018 | | 39.88 | 60.13 |
| SE | | 1.73 | 1.73 |
| | | | |
| 2008 | Lugano 1'126 Hektaren | 49.75 | 50.25 |
| SE | | 1.77 | 1.77 |
| 2018 | | 46 | 54 |
| SE | | 1.76 | 1.76 |

Anhang G:

Tabelle e: Zusammenstellung der Resultate der Berechnungen zur Fläche und dem Deckungsgrad (%) der Kategorien ' Stadtbäume', 'andere Grünfläche' und 'versiegelte Fläche' für die gesamte Fläche aller Untersuchungsperimeter (Gesamte Fläche=9'356 ha) in den Jahren 2008 und 2018 zuzüglich des Standardfehlers (SE)

| Aufnahmejahr | | Fläche (ha) | Deckungsgrad in Prozent | SE |
|--------------|--------------------|-------------|-------------------------|------|
| 2008 | Stadtbäume | 2156.24 | 23.05 | 1.49 |
| | Andere Grünfläche | 1812.4 | 19.37 | 1.4 |
| | Versiegelte Fläche | 5387.37 | 57.58 | 1.75 |
| 2018 | Stadtbäume | 2002.58 | 21.4 | 1.45 |
| | Andere Grünfläche | 1774.78 | 18.97 | 1.39 |
| | Versiegelte Fläche | 5578.64 | 59.63 | 1.73 |

Anhang I:

Bachelorarbeit von Lisa Schubnell (2020)
 Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Wädenswil
 Betreuung: Sandra Gloor (SWILD Zürich) und Nathalie Baumann (ZHAW Wädenswil)

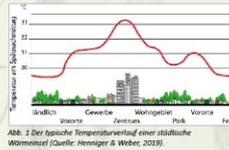


Urban tree cover

Wie entwickelt sich der Deckungsgrad der Bäume in Schweizer Städten?

Einleitung

Die Temperaturen steigen in den Städten durch den Klimawandel immer häufiger und über längere Zeit auf Extremwerte an [1]. Die Hitzebelastung ist in den Städten besonders spürbar, da die zunehmende versiegelte Fläche die Sonneneinstrahlung absorbiert und die Umgebung aufheizt. Es entstehen sogenannte städtische Wärmeinseln (Abbildung 1). Diese Entwicklung birgt Risiken für das gesamte städtische System. Die Lebensqualität für Mensch und Natur sinkt [2]. Mit gezielten Mitteln kann aber die Stadtplanung diesen Effekten entgegenwirken [3]. Eines der wichtigsten Mittel sind die **Stadt­bäume** (Abbildung 2 und 3). Sie leisten eine Vielzahl von Ökosystemdienstleistungen, die für das Stadtsystem von grossem Nutzen sind [4]. Diese Arbeit zeigt die aktuelle Entwicklung des Baumdeckungsgrades in vier Schweizer Städten auf. Die Untersuchungsgebiete sind Zürich, Basel, Lausanne und Lugano.



Aktueller Stand des Wissens

Diese Arbeit basiert auf einer Studie, welche die Entwicklung des Baumdeckungsgrades während fünf Jahren (2009 bis 2014) in allen Staaten der USA und dem Bezirk Columbia untersuchte [5]. Die Resultate der Forscher zeigten, dass der Stadtbaumdeckungsgrad in der USA um ein Prozent rückläufig ist (von 40.4 % zu 39.4 %). Dieser Rückgang bringt Verluste in den Ökosystemdienstleistungen mit sich. Wichtige Ökosystemdienstleistungen der Stadtbäume sind:

- Luftfilterung
- Klimaregulierung
- Lebensraum
- Soziale und ökonomische Leistungen

Die rechtlichen Situation bezüglich des Baumschutzes in den Städten wurde im Rahmen dieser Arbeit untersucht, um mögliche Veränderungen zu begründen. In den Städten Basel [6] und Lausanne [7] wird ein flächendeckender Baumschutz umgesetzt. Bäume werden aufgrund ihres Stammumfanges und historischem Wert geschützt. Die geschützten Bäume dürfen nur mit einer Bewilligung gefällt werden und eine Ersatzpflanzung ist Pflicht. In Zürich und Lugano gelten diese Regelungen nur in begrenzten Schutzzonen und für ausserwählte Baumbestände.

In den Städten Basel und Lausanne konnte keine signifikante Veränderung festgestellt werden, obwohl der Deckungsgrad auch rückläufig war. Dies weil sich die Anzahl der Baumfällungen und Neupflanzungen annähernd im Gleichgewicht befanden. Die Beispielaufnahmen (Abbildung 7, 8 und 9) zeigen Standorte, wo eine Baumfällung beziehungsweise eine Neupflanzung stattgefunden hat. Die linke Aufnahme zeigt das Jahr 2008, die rechte Aufnahme das Jahr 2018.

Methode

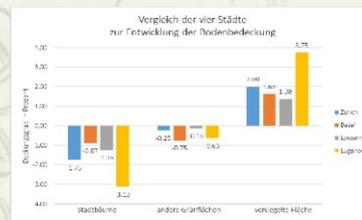
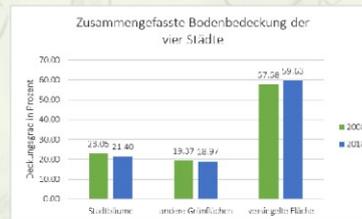
Um die Entwicklung des Baumdeckungsgrades zu untersuchen wurden Satellitenbilder vom Jahre 2008 mit solchen des Jahres 2018 verglichen.

Pro Untersuchungsperimeter wurden 800 georeferenzierte Zufallspunkte angeschaut (Abbildung 4). Die Punkte wurden nach ihrer Bodenbedeckung in Klassen eingeteilt. Es wurden zehn Klassen unterschieden, unter ihnen Parkbäume, Strassenbäume und Stadtwälder. Die Veränderungen in den Klassen wurden anhand der Berechnung des Deckungsgrades bestimmt.



Zusätzlich wurden die Baumfällungen und Neupflanzungen notiert. Aus diesen Werten wurde mit dem McNemar Test (statistischer Chi-Quadrat-Test) bestimmt ob die Unterschiede signifikant ausfielen. Die Vorbereitung und Ausführung der Datenerfassung wurde mit den Programmen ArcGIS Pro und Google Earth vorgenommen.

Die Hauptaufgabe in ArcGIS Pro war die Abgrenzung des Untersuchungsperimeters und die Verteilung der Zufallspunkte. In Google Earth konnten die historischen Satellitenbilder mit den aktuellen Bildern verglichen und die Bodenbedeckung an den Standorten der Zufallspunkte klassifiziert werden.



Resultate

Die Resultate zeigen, dass in allen vier Städten eine Abnahme des Baumdeckungsgrades stattfand. Während die Stadtbaume sowie andere Grünflächen rückläufig waren, nahm die versiegelte Fläche zu (Abbildung 5). Die Abnahme der weiteren Grünflächen fiel geringer aus als die der Stadtbaumfläche.

Die wichtigsten Ergebnisse über alle vier Städte über den Zeitraum von zehn Jahren gesehen sind:

- Rückgang von **1.64 %** Stadtbaumfläche (von 23.05 % auf 21.4 %)
- Zunahme der versiegelten Fläche um **2.04 %** (von 57.58 % auf 59.63 %)
- Signifikante** Entwicklung des Baumbestandes in den Städten Zürich und Lugano
- Auffällig viele Baumfällungen auf **privatem** Raum

Diskussion

Der Rückgang der grünen Infrastruktur hat Auswirkungen auf das Leben in den Städten [2]. Die Stadtplanung ist gezwungen Massnahmen zu ergreifen. Zum einen um die Lebensqualität für Mensch und Natur zu gewährleisten und zum andern, um die Folgen des Klimawandels zu mindern.

Basiert auf den Resultaten kann die Massnahme der Gesetzgebung zum Schutz des Baumbestandes, als erfolgreich nachgewiesen werden. Die Entwicklung in Basel und Lausanne fiel geringer aus als solche in den Städten Zürich und Lugano.

Während der Datenerfassung wurde zudem festgestellt, dass viele der Baumfällungen ohne Ersatzpflanzung im privaten Raum passierten. Es wird angenommen, dass das Wissen über den Nutzen für das gesamte städtische System in der Bevölkerung zu wenig vorhanden ist. Die persönlichen Gründe stehen im Vordergrund und über die langfristigen Konsequenzen für die Allgemeinheit wird hinweggesehen. Es gilt also, die Aufmerksamkeit und die Wertschätzung auf die Stadtbäume zu lenken. Nur so ist es möglich, für das gesamte städtische System Erfolge zu erzielen.

Die aufgezählten Resultate zeigen klar, dass die Problematik auch in der Schweiz besteht und Handlungsbedarf vorhanden ist. Das Monitoring der Entwicklung des Baumdeckungsgrades in den Städten kann in Zukunft als wertvolles Hilfsmittel für die Definition von Massnahmen und deren Erfolgskontrolle dienen.

Beispielaufnahmen:



Literaturverzeichnis:
 [1] Stadt Zürich (2020). Programm Klimaanpassung, Fachplanung Hitzeermüdung. Zürich: Stadt Zürich und Grün Stadt Zürich (Hrsg.), 214. [2] Lee A. C. K., Maheswaran R. (2011). The health benefits of urban green spaces: A review of the evidence. Journal of Public Health 33, 2, S. 212-222.
 [3] Bundesamt für Umwelt BAFU (2018). Hitze in Städten. Grundzüge für eine klimangepasste Siedlungsentwicklung. Bern: Bundesamt für Umwelt (Hrsg.), Umwelt-Wissen, 1812, 108. [4] Brniste, J., Pauleit, S., Haase, D., Sauerwein, M. (2015). Stadtkösysteme, Funktion, Management und Entwicklung. Berlin: Springer Spektrum.
 [5] Nowak, D. J., Greenfield, E. J. (2018). Declining Urban and Community Tree Cover in the United States. United States: Urban Forests and Urban Greening, 48. [6] Baumschutzgesetz (BSchZ). Grosser Rat des Kantons Basel-Stadt. 18. Oktober 1980. SR 789.700. Stand 29. November 2009.
 [7] Loi cantonale vaudoise sur la protection de la nature, des monuments et des sites (LPNMS). Le grand conseil du canton de vaud. 10. Dezember 1969. SR 430.11. Stand 1. Januar 2017.

Anhang J:



Erklärung betreffend das selbständige Verfassen einer Bachelorarbeit im Departement Life Sciences und Facility Management

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat.

Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinarmaßnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

Elsau, 02.07.2020

Unterschrift:

