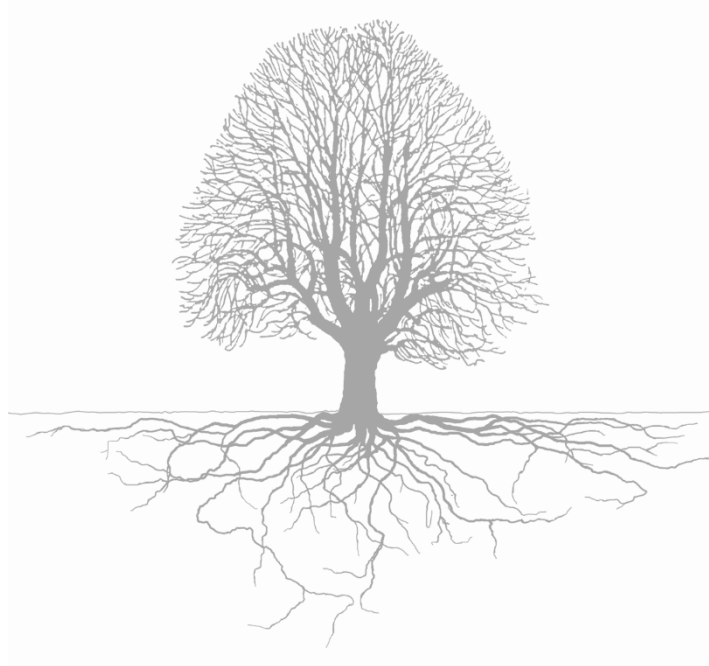


ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT FÜR UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN

DAS POTENTIAL DER QUANTIFIZIERUNG DER WERTELEISTUNG VON STADTBÄUMEN UND WALD



BACHELORARBEIT

VON

RETO ITEN

BACHELORSTUDIENGANG 2018

STUDIENRICHTUNG UMWELTINGENIEURWESEN

VERTIEFUNG URBANE ÖKOSYSTEME

ABGABEDATUM 12.01.2023

Fachkorrektoren:

Heinrich, Axel

Saluz, Andrea Gion

Impressum

Autor:

Iten Reto

Bachelorstudiengang Umweltingenieurwesen

Zitiervorschlag:

Iten, R., 2023. Das Potential der Quantifizierung der Werteleistung von Stadtbäumen und Wald. Bachelorarbeit. ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Wädenswil.

Betreuer:

Axel Heinrich

Andrea Gion Saluz

Name des Institutes:

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Departement Life Sciences und Facility Management

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

Grüntalstrasse 14, Postfach

CH-8820 Wädenswil

Schlüsselwörter:

Ökosystemleistungen, Wertleistungen, Schadenersatzberechnungen, Baumschaden, i-Tree, Strassenbäume, Stadtbäume

Keywords:

Ecosystem services, value services, damage calculations, tree damage, i-Tree, street trees, urban trees

Bild der Titelseite:

proholz.at (proholz.at/holzarten/linde)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei allen bedanken, die mich während der Erarbeitung dieser Bachelorarbeit unterstützt und motiviert haben.

Ich bedanke mich bei meinen beiden Korrektoren, Axel Heinrich und Andrea Gion Saluz, die meine Arbeit betreut und sich Zeit für Fragen und konstruktive Kritik genommen haben.

Mein spezieller Dank gilt Tal Hertig, Wissenschaftlicher Mitarbeiter der ZHAW, der mich tatkräftig bei der Ausarbeitung des Berechnungstools unterstützt hat. Ohne Ihn wäre das Berechnungstool nicht in diesem Umfang möglich gewesen.

Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn Jörg Plesse vom Sachverständigenbüro Pro Habitus sowie bei Herrn Lic. Iur. Heiko Schröder von der Advokatur Weinberg für die fachliche Unterstützung und die interessanten Diskussionen und Anregungen ganz herzlich bedanken.

Reto Iten

Zusammenfassung

Bäume erbringen verschiedene Leistungen, die der Bevölkerung von direktem oder indirektem Nutzen sind, wie Schadstoffbindung, Kühlung, Wasserrückhaltung und viele mehr. Die sogenannten Ökosystemleistungen stellen ein Allgemeingut dar und sind jederzeit für alle frei verfügbar. Sie sind insbesondere im urbanen Raum von zentraler Bedeutung, sind sie doch in der Lage, die Auswirkungen des städtischen Hitzeinseleffektes zu verringern und die Lebensraumqualität zu verbessern. Trotzdem wird den Leistungen nur eine geringe (finanzielle) Wertschätzung entgegengebracht. Mit dem Programm «i-Tree Eco» ist es heute möglich, den Wert der Ökosystemleistungen zu berechnen. Trotz dieser Möglichkeit wird die Wertleistung bei Schadensfällen an Bäumen nicht berücksichtigt, so auch in der neuen Richtlinie zur Schadenersatzberechnung von Bäumen aus dem Jahr 2018.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Berechnungstool entwickelt, um die ausfallenden Ökosystemleistungen monetär zu beziffern und eine Schadenersatzberechnung schnell und praxisorientiert zu erstellen. Die Berechnung basiert auf dem Alter des geschädigten Baumes sowie den Wertleistungen, welche er vor und nach der Schädigung erbracht hat.

Das Ziel dieser Arbeit war es, herauszufinden, ob eine Integration ausfallender Ökosystemleistungen in die Schadenersatzberechnung von Bäumen möglich ist. Dies konnte insofern beantwortet werden, als dass mit der Arbeit aufgezeigt wird, wie dass eine Berechnung und damit eine Integration möglich wäre. Ob es aus juristischer Sicht umsetzbar ist, muss in weiteren Schritten noch genauer überprüft oder durch ein gerichtliches Urteil geklärt werden. Die vorliegende Arbeit dient nun dazu, eine Diskussion rund um den finanziellen Wert ausfallender Ökosystemleistungen auszulösen.

Abstract

Trees provide various services that are of direct or indirect benefit to the population, such as pollutant retention, cooling, water retention, and many more. The so-called ecosystem services represent a common good and are always freely available to everyone. They are particularly crucial in urban areas, as they are able to reduce the impact of the urban heat island effect and improve habitat quality. Despite this, there is little (financial) appreciation of the benefits. Today, it is possible to calculate the value of ecosystem services with the program "i-Tree Eco". Despite this possibility, the value service is not taken into account in cases of damage to trees, as in the new guideline for the compensation of damage to trees from 2018.

In the context of this work, a calculation tool was developed to quantify the lost ecosystem services in monetary terms and to create a damage compensation calculation quickly and in a practice-oriented manner. The calculation is based on the age of the damaged tree as well as the value services, which it has provided before and after the damage.

The aim of this work was to find out whether an integration of failing ecosystem services into the damage compensation calculation of trees is possible. This could be answered insofar as the work shows how a calculation and thus an integration would be possible. Whether it is feasible from a legal point of view must be examined in more detail in further steps or clarified by a court ruling. The present work now serves to trigger a discussion around the financial value of failing ecosystem services.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	9
2. Theorie.....	10
2.1. Ökosystemleistungen	10
2.1.1. Auswirkungen von Schädigungen auf Ökosystemleistungen.....	12
2.1.2. Monetärer Wert von Ökosystemleistungen.....	13
2.2. Quantifizierung von Ökosystemleistungen mittels «i-Tree»	14
2.2.1. «i-Tree» in der Schweiz.....	15
2.3. Gesetzliche Grundlagen	16
2.4. Schadensersatzberechnungen bei Bäumen in der Schweiz	17
2.5. Schadensersatzberechnung in Deutschland – «Methode Koch».....	18
3. Methoden	20
3.1. Literaturrecherche	20
3.2. Anwendung «i-Tree Eco»	21
3.3. Leitfaden	22
3.4. Berechnungstool	22
3.4.1. Datengrundlage.....	23
3.4.2. Berechnungsformel	27
3.5. Schadensersatzberechnungen.....	30
3.5.1. Baumbonitur «Mythenquai».....	30
3.5.2. Fiktive Schädigungen	31
4. Ergebnisse	32
4.1. Bonitur «Mythenquai»	32
4.2. Fiktive Schädigungen	33
4.3. Fall Teilschaden	34
4.4. Fall Totalschaden.....	41
4.5. Leitfaden	47
5. Diskussion.....	51
5.1. «i-Tree Eco».....	51
5.2. Gesetzeslage	52
5.3. Berechnungstool	53
6. Fazit	56
7. Literaturverzeichnis	57
8. Abbildungsverzeichnis.....	61
9. Tabellenverzeichnis.....	62

Anhang A: Feldleitfaden für i-Tree	63
Anhang B: Baumbonitur «Ersatzbaumarten und Optimalzustand»	65
Anhang C: Ökosystemleistungen «Ersatzbaumarten und Optimalzustand»	66
Anhang D: Baumbonitur Mythenquai	67
Anhang E: Ökosystemleistungen «IST-Zustand»	68
Anhang F: Baumbonitur «Schadensfall»	69
Anhang G: Ökosystemleistungen «Schadensfall»	70
Anhang H: Leitfaden.....	71

1. Einleitung

Bäume können Schadstoffe aus der Luft filtern, CO₂ binden, Wasser verdunsten und dadurch die Umgebung kühlen und vieles mehr (Kowarik, 2016). Diese Leistungen werden Ökosystemleistungen genannt. Ökosystemleistungen sind der Gesellschaft auf direkte oder indirekte Art von Nutzen (MA, 2005). Für das Wohlergehen im urbanen Raum sind sie von zentraler Bedeutung. Durch die Klimaerwärmung gewinnen sie insbesondere in Städten immer mehr an Wichtigkeit (Thalmann, 2012). Der Verlust dieser Leistungen ist nicht nur aus ökonomischer Sicht, sondern auch aus städteplanerischer und -baulicher Sicht gewichtig (Kowarik, 2016; von Grünigen et al., 2013). Ökosystemleistungen stellen ein Allgemeingut dar und sind jederzeit für alle frei verfügbar. Obwohl kein Markt für Ökosystemleistungen vorhanden ist, kann ihnen durch Quantifizierung ein Geldwert beigemessen werden (Fuss, 2010; Schwaiger et al., 2015). Gehen diese Wertleistungen durch einen Schaden an einem Baum verloren, werden sie bei einer allfälligen Schadenersatzzahlung jedoch nicht beachtet. 2018 erschien die überarbeitete Fassung der Richtlinie zur Schadenersatzberechnung bei Bäumen. Auch in der neusten Version wird lediglich der materielle Wert von Bäumen berechnet. Schädigungen, welche zu einer Verringerung der Ökosystemleistungen führen, werden nicht berücksichtigt (VSSG & BSB, 2018). Eine Verringerung an Ökosystemleistungen bedeutet jedoch auch eine Verringerung der monetären Wertleistung und somit einen Schaden (Fuss, 2010).

Die Hürden für eine Integration ausfallender Ökosystemleistungen in die Schadenersatzberechnung sind hoch. Die bisherige Schadenersatzberechnung beruht auf dem Bundesgerichtsentscheid 127 III 73 vom 19.01.2001. Ökosystemleistungen werden darin nicht erwähnt (*BGE 127 III 73*, 2001). Ausserdem ist Stand heute juristisch nicht geklärt, ob Ökosystemleistungen als Teil eines Vermögens im Rechtssinne gelten (H. Schröder, persönliche Kommunikation, 2022) und dadurch unter das Schadenersatzrecht gemäss dem Obligationenrecht fallen würden (Art. 41 OR, 1911; Probst, 2010). Auch die monetäre Quantifizierung der Leistungen kann zu Konflikten führen, da mit speziellen Methoden bewertet werden muss.

In dieser Bachelorarbeit wird die bisherige Richtlinie und Gesetzgebung zur Schadenersatzberechnung bei Bäumen analysiert. Es soll überprüft werden, ob eine Integration der ökonomischen Wertleistungen in die Richtlinie möglich wäre. Als Resultat wird ein Leitfaden inklusive Berechnungstool ausgearbeitet, der aufzeigt, wie bei einem Schadensfall vorgegangen werden könnte. Ziel ist es, den Grundstein für eine mögliche Erweiterung der Richtlinie zu erarbeiten. Dies führt zu folgender Fragestellung:

«Ist eine Integration der mittels «i-Tree» quantifizierten Werte ausfallender Ökosystemleistungen in die Schadenersatzberechnung von Bäumen möglich?»

2. Theorie

Dass Bäume Pflanzen und somit Lebewesen sind, ist hinlänglich bekannt. Trotzdem gelten sie rechtlich gesehen als Sache. Dadurch können Schädigungen an Ihnen juristische Folgen nach sich ziehen. Doch was gilt genau als Schaden? Wie wird der Schadenersatz ermittelt? Und was haben Ökosystemleistungen damit zu tun? Im folgenden Kapitel werden die theoretischen Grundlagen rund um die Themen Ökosystemleistungen, Quantifizierung der Werteleistungen, Schaden sowie Schadenersatz erläutert.

2.1. Ökosystemleistungen

Ökosystemleistungen bezeichnen die Beiträge von Ökosystemen zum menschlichen Wohlergehen (TEEB DE, 2015). Im urbanen Raum spielen dabei insbesondere die Bäume eine zentrale Rolle. Sie tragen durch ihre Leistungen zur körperlichen und psychischen Gesundheit bei, erbringen Ressourcen, sind imstande das Mikroklima zu beeinflussen und bieten Orte für Begegnung, Austausch und Freizeit (Kowarik et al., 2016). Insgesamt werden vier Arten an Ökosystemleistungen unterschieden (vgl. Abbildung 1), wovon drei einen direkten Nutzen für die Bevölkerung erbringen. Dies wären die Vorsorgeleistungen, die Regulierungsleistungen und die kulturellen Leistungen. Als vierte Art werden die indirekten Leistungen, auch Basisleistungen genannt, dazu gezählt. Diese umfassen Leistungen wie Bodenbildungsprozesse, Nährstoffkreisläufe oder Photosynthese (Kowarik, 2016; MA, 2005). International werden die Ökosystemleistungen nach dem Weltbiodiversitätsrat IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) in 18 verschiedenen Leistungen unterteilt und bilden eine wichtige Grundlage für das Wohlergehen und die Lebensqualität der Menschen (IPBES, 2018).

Die Ökosystemleistungen eines Baumes sind abhängig von der Vitalität. Die Bäume sind im urbanen Raum vielen Stressfaktoren wie Hitze, Streusalzen, zu geringen Wurzelräumen oder verdichteten Substraten ausgesetzt. Dies wirkt sich negativ auf die Vitalität und somit auf die Erbringung der Ökosystemleistungen sowie auf die Lebenserwartung eines Baumes aus. Durch die unnatürlichen Lebensraumbedingungen erreichen die Bäume nur rund 25% ihrer Lebensdauer (Roloff, 2013). Im Schnitt liegt die Lebenserwartung eines Stadtbaumes bei 19-28 Jahren (Roman & Scatena, 2011). Damit Bäume jedoch ihr komplettes Potenzial an Ökosystemleistungen entfalten können, müssen sie voll entwickelt sein und einen hohen Stammumfang sowie ein grosses Kronenvolumen aufweisen. Erst nach rund 50 Standjahren oder einem Brusthöhendurchmesser von >40 cm erreichen sie ein hohes ökologisches Potential (Heinrich & Saluz, 2017; Niedermann-Meier et al., 2010).



Abbildung 1: Ökosystemleistungen und ihre Auswirkungen auf das menschliche Wohlergehen (MA, 2005)

Zusätzliche Stressfaktoren für die Bäume sind die fortschreitende Klimaerwärmung sowie die Zunahme an Wetterextremen. Die Klimaerwärmung hat bereits zu einem Temperaturanstieg von rund 1.0 °C gegenüber vorindustriellem Zeitalter geführt (IPCC, 2018), in der Schweiz sogar um rund 2 °C (NCCS, 2018). Die IPCC geht davon aus, dass ein weltweiter Temperaturanstieg von 1.5 °C zwischen den Jahren 2030 und 2052 erreicht werden könnte. Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit von extremen Wetterereignissen wie Starkregen, Hitzewellen und Dürreperioden (IPCC, 2018; TEEB DE, 2015). Der Temperaturanstieg ist im urbanen Raum durch den Hitzeinseleffekt, auch als urban heat island effect bekannt, besonders stark zu spüren (Blaser et al., 2016). In Schweizer Städten beträgt der Hitzeinseleffekt im Sommer im Mittel rund 2 °C, teilweise sogar bis zu 7 °C (Gehrig et al., 2018). Bäume haben das Potential durch Mikroklimaregulation, Wasserrückhaltung, Verdunstung, Verschattung sowie Speicherung von Kohlenstoff einen Beitrag zur Minderung der durch den Klimawandel verursachten Auswirkungen zu leisten. Die vielseitigen Ökosystemleistungen, welche von Bäumen in urbanen Gebieten erbracht werden, gewinnen mit fortschreitender Klimaerwärmung daher immer mehr an Bedeutung (Blaser et al., 2016; Schneider, 2020).

2.1.1. Auswirkungen von Schädigungen auf Ökosystemleistungen

Ein Schaden an einem Baum entsteht durch eine Verletzung an den Wurzeln, im Stammbereich oder im Kronenbereich (VSSG & BSB, 2018). Wird ein Baum beschädigt, beispielsweise im Kronenbereich, erfolgt eine Reduktion der Ökosystemleistungen (Fuss, 2010)(vgl. Abbildung 2).

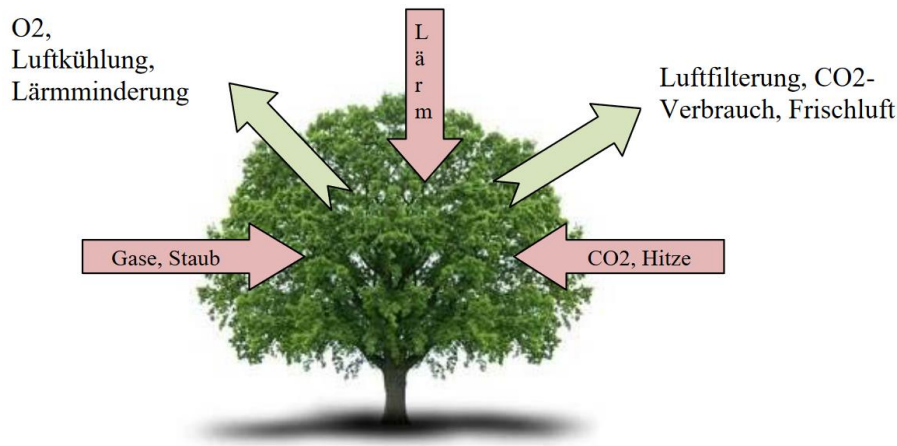


Abbildung 2: Bäume erbringen vielfältige Ökosystemleistungen. Bei einem Schaden werden diese reduziert (Fuss, 2010).

Da Bäume einen zusammenhängenden, offenen Kreislauf besitzen, wirken sich Schädigungen an einem Bereich meist auch auf andere Bereiche vom Baum aus. Ist der Wurzelbereich betroffen, wird die Wasser- und Nährstoffversorgung vermindert. Bäume reduzieren daraufhin die Blattfläche, um weniger Wasser zu verdunsten. Die beschädigten Wurzeln sind zudem einem erhöhten Risiko ausgesetzt, von holzerstörenden Pilzen befallen zu werden. Dies kann sich wiederum negativ auf die Standsicherheit auswirken. Bei Beschädigungen des Stammes kann die Statik und der Wasser- und Assimilattransport beeinträchtigt oder sogar unterbunden werden. Ausserdem kann das Dickenwachstum und die Wundheilung im Stammbereich durch Schädigungen am Kambium beeinträchtigt werden. Wenn die Schädigungen den Kronenbereich betreffen, kann es durch eine verminderte Assimilierung zu einem Absterben einzelner Wurzelpartien kommen. Ausserdem wird die Verdunstungsleistung reduziert (Fuss, 2010). Somit wirken sich Schädigungen immer, direkt oder indirekt, auf die Erbringung von Ökosystemleistungen aus.

2.1.2. Monetärer Wert von Ökosystemleistungen

Da Ökosystemleistungen nicht direkt sichtbar sind, wird ihnen oft kein oder nur ein geringer Wert beigemessen. Der Nutzen wird häufig erst erkannt, wenn die Leistungen auf einmal fehlen. So wird die Verbesserung der Luftqualität durch Bäume, die Regenwasserversickerung, die Kühlung durch Verdunstung und viele weitere Leistungen als selbstverständlich und ohne ökonomischen Wert betrachtet. Die fehlende (ökonomische) Wertschätzung führt immer wieder zu Verlust von Natur. Wegfallende Ökosystemleistungen können dann häufig nur durch hohen finanziellen Aufwand ausgeglichen werden (Kowarik, 2016; TEEB DE, 2015).

Die Monetarisierung von Ökosystemleistungen kann dazu beitragen, die Bevölkerung auf die Leistungen der Stadtnatur aufmerksam zu machen und die Wertschätzung zu steigern. Denn Wert wird oftmals nur Dingen beigemessen, deren Wert bekannt ist. Durch den in Zahlen ausgedrückten Wert wird verdeutlicht, was es bedeutet, Stadtnatur zu erhalten, bzw. zu verlieren (Kowarik, 2016). In Zahlen ausgedrückte Werte werden politisch und wirtschaftlich immer wieder genutzt, um für die Erhaltung der biologischen Vielfalt und der Ökosystemleistungen zu argumentieren. Jedoch lässt sich der genaue ökonomische Wert der Ökosystemleistungen nur schwer berechnen. Je nach angewandter Methode sind die Unterschiede entsprechend gross. Dies führt immer wieder zu Kritik. Spangenberg und Settele (2010) bemängeln, dass durch die grossen Unterschiede an Methoden keine objektiven Berechnungen angestellt werden können. Ausserdem kritisieren sie, dass viele Methoden wissenschaftlichen Standards nicht genügen und die Bedeutung quantitativer monetärer Zahlen oftmals überschätzt wird. Nichtsdestotrotz sind sie der Meinung, dass ökonomische Argumentationen, wenn auch weniger auf Entscheidungsträger, starke Auswirkungen haben können, insbesondere auf die Wissenschaft (Spangenberg & Settele, 2010).

Im Wissenschaftsjournal «Global Environmental Change» erschien der Artikel «Changes in the global value of ecosystem services» (2014). Darin wurden die weltweiten Ökosystemleistungen im Jahre 2011 auf 125 – 145 Billionen USD pro Jahr geschätzt. Hervorzuheben gilt, dass mit denselben Methoden bereits 1997 eine Schätzung erstellt wurde. Damals wurde der Wert mit 33 Billionen USD pro Jahr (46 Billionen im Jahr 2007) beziffert. Anhand dieser Daten und unter Einbezug der Landnutzungsänderungen wurde der jährliche Verlust an Ökosystemleistungen zwischen 1997 und 2011 auf 4.3 – 20.2 Billionen USD pro Jahr geschätzt (Costanza et al., 2014). Dies verdeutlicht, unabhängig wie hoch oder mit welchen Methoden andere Quellen den jährlichen Wert schätzen, das Verhältnis des jährlichen Verlustes zum Gesamtwert.

2.2. Quantifizierung von Ökosystemleistungen mittels «i-Tree»

Eine der am weitesten verbreiteten Methoden, um die Werteleistung von Bäumen zu quantifizieren, ist das open-source Programm «i-Tree». Es wurde vom USDA Forest Service mit weiteren Institutionen zusammen entwickelt und 2006 in den USA veröffentlicht (Huser et al., 2021; i-Tree, 2022). «i-Tree» besteht aus einer Vielzahl an Programmen und dient der städtischen und ländlichen Bevölkerung dazu, Waldressourcen und Waldrisiken zu beurteilen, Empfehlungen für Standort- und Baumartenwahl abzugeben und (städtische) Waldbewirtschaftungsstrategien auszuarbeiten. Es können sowohl einzelne Bäume als auch ganze Wälder beurteilt werden. Die Nutzung und die Möglichkeiten sind in den letzten zehn Jahren enorm gestiegen. An Weiterentwicklungen wird stetig gearbeitet, die Methoden verbessert und neue Tools hinzugefügt. Die Anzahl der Nutzer stieg zwischen 2017 und 2019 von 250'000 auf über 400'000 Menschen (vgl. Abbildung 3). Die Programme werden in über 130 Ländern genutzt. Es wurden bereits rund 5'000 Projekte mit der Software durchgeführt (vgl. Abbildung 4) und in mehr als 900 wissenschaftlichen Artikeln verwendet oder zitiert (Nowak, 2020; Nowak et al., 2018).



Abbildung 3: Weltweite Anzahl an i-Tree Nutzern im Jahre 2017 (Nowak et al., 2018)



Abbildung 4: i-Tree Eco Projekte im Jahr 2017 (Nowak et al., 2018)

Das Kernprogramm «i-Tree Eco» kann den monetären Wert von regulierenden Ökosystemleistungen errechnen. Dazu zählen Bindung und Eliminierung von Schadstoffen, Feinstaubbindung, die Aufnahme von Kohlendioxid, die Speicherung von Kohlenstoff und die Verdunstungsleistung. Zudem kann die Energieeinsparung durch Verschattung naheliegender Gebäude und die verringerte Menge an oberflächlichem Regenwasserabfluss errechnet werden (Huser et al., 2021; Nowak, 2020).

2.2.1. «i-Tree» in der Schweiz

2017 wurde «i-Tree Eco» von David Nowak, dem Entwickler der Software, und seinem Team für die Schweizer Anwendung angepasst (Bernasconi et al., 2018; Saluz et al., 2021). Zwischen 2018 und 2021 wurde das Programm im vom BAFU finanzierten Projekt «F.10: i-Tree – Ökosystemleistungen von städtischen Bäumen und Wäldern klimaadaptiv managen» erstmals grossflächig in der Schweiz eingesetzt. Dabei wurden klimarelevante Ökosystemleistungen von Stadtbäumen und Stadtwäldern (1'694 Individuen) in sieben Städten und einem Kanton quantifiziert (vgl. Abbildung 5) und monetarisiert (Saluz, 2019; Saluz et al., 2021). Ziel des Projektes war es, nicht nur den reinen monetären Wert zu kennen, sondern durch die Erkenntnisse auch Grünräume nachhaltiger planen zu können. (BAFU, 2020). Im Rahmen des Projektes wurden zum Abschluss klimaadaptive Managementstrategien ausgearbeitet (Saluz et al., 2021).



Abbildung 5: Die erbrachten Leistungen der Bäume aus dem Projekt "F.10" (Saluz et al., 2021)

2.3. Gesetzliche Grundlagen

Nach Schweizer Rechtsprechung bedeutet der Begriff Schaden die ungewollte Verminderung des Reinvermögens (*BGE 129 III 331, 2003*). Dies kann durch Verminderung eines aktiven, passiven oder entgangenen Gewinnes entstehen. Der Schaden entspricht dabei der Differenz des gegenwärtigen Vermögensstandes und jenem, den das Vermögen ohne das schädigende Ereignis hätte (*BGE 127 III 73, 2001; BGE 129 III 331, 2003*).

Für das Schadenersatzrecht sind in der Schweiz das Obligationenrecht (OR) und für das Eigentumsrecht das Zivilgesetzbuch (ZGB) von Relevanz. Im rechtlichen Sinne gelten Bäume als Sache (*BGE 127 III 73, 2001*). Daher sind Schäden an Bäumen, unabhängig ob mit Absicht oder durch Fahrlässigkeit gehandelt wurde, gemäss Obligationenrecht (Art. 41 OR) Schadenersatzpflichtig. Obwohl im Obligationenrecht das Schadenersatzrecht geregelt ist, wird der ersatzfähige Schaden nicht definiert (Probst, 2010). Der Berechnung, bzw. der Richtlinie zur Schadenersatzberechnung von Bäumen, liegt den Bundesgerichtsentscheiden *BGE 127 III 73* und *BGE 129 III 331* zugrunde. Diese regeln, dass der haftpflichtig relevante Schaden der Differenz zwischen dem gegenwärtigen und dem vor der Schädigung eingetretenen Wert beträgt (*BGE 127 III 73, 2001; BGE 129 III 331, 2003*).

Bäume gehören gemäss Art. 667 Abs. 2 ZGB dem Eigentümer des Grundstückes. Wird der Baum geschädigt oder zerstört, wird der Wert des Grundstückes beeinflusst und die Werteinbusse muss entsprechend festgestellt werden. Ist die Werteinbusse nicht durch verhältnismässigen Aufwand feststellbar, wird vom Baum selbst als der geschädigten Sache ausgegangen (*BGE 127 III 73, 2001; BGE 129 III 331, 2003*). Im Normalfall hat die Beschädigung eines Baumes keine Auswirkungen auf den Wert eines Grundstückes. Ausnahmen sind jedoch möglich. Als entscheidend gilt das Interesse des Eigentümers an der Wiederherstellung des Ursprungszustandes. Dadurch entsteht ein Vermögensschaden, obwohl sich der Verkehrswert des Grundstückes nicht verringert hat. Ein Geldersatz ist daher, unabhängig einer anfälligen Vermögenseinbusse, im Sinne des allgemeinen Schadenbegriffes zu leisten (Probst, 2010).

Bei Zerstörung wird der Wert der intakten Sache berechnet, dies entspricht den Anschaffungskosten eines neuen, gleichwertigen Gegenstandes. Lässt sich kein gleichwertiger Ersatz für einen zerstörten oder beschädigten Baum pflanzen, so werden die Kosten eines gleichwertigen Ersatzbaumes berechnet, welcher noch im Handel erhältlich ist und vom Alter her als geeignet für eine Pflanzung gilt. Ausserdem werden zusätzlich die Kosten für die Entfernung des Baumes, den allenfalls erforderlichen Pflegemassnahmen und die Kosten für die Wiederherstellung der Umgebung berechnet. Auch ein Betrag für die Anfangspflege kann berechnet werden (*BGE 127 III 73, 2001; BGE 129 III 331, 2003; VSSG & BSB, 2018*).

2.4. Schadensersatzberechnungen bei Bäumen in der Schweiz

Im Jahr 1967 stellte die Vereinigung Schweizer Stadtgärtnereien und Gartenbauämter VSSG erstmals Normen zur Wertberechnung von Zierbäumen auf. Nach mehreren Teil- und Totalrevisionen, welche unter anderem durch den Bundesgerichtsentscheid BGE 127 III 73 nötig wurden, entstand im Jahre 2011 die Richtlinie zur Schadenersatzberechnung von Bäumen. Diese wurde im Rahmen einer paritätischen Kommission von je zwei Vertretern der BSB (Bund Schweizer Baumpfleger) und der VSSG (Vereinigung Schweizerischer Stadtgärtnereien und Gartenbauämter) weitergeführt und 2018 veröffentlicht (VSSG, 2022; VSSG & BSB, 2018).

Angewendet wird die Richtlinie auf Zierbäume wie Einzelbäume, Alleebäume und Baumgruppen sowie auf Heckengehölze. Dabei ist irrelevant, ob es sich bei den Gehölzen und öffentliches oder privates Eigentum handelt. Ausgenommen von der Schadenersatzermittlung sind Bäume, welche zu Ertragszwecken gezogen werden, wie Obstbaum-, Baumschul- und Weihnachtsbaumkulturen sowie Wald (VSSG & BSB, 2018).

Im Falle eines Schadens wird, gestützt auf den Bundesgerichtsurteilen 127 III 73 und 129 III 331, und gemäss den Richtlinien, nicht der Wert eines Baumes berechnet, sondern lediglich ein Schadensersatzanspruch in Form einer technisch realisierbaren Ersatzpflanzung mit guten Chancen auf gesunde Entwicklung (*BGE 127 III 73*, 2001; *BGE 129 III 331*, 2003; VSSG & BSB, 2018). Laut den Richtlinien haben Vorschädigungen, solange keine frühere Schadenersatzleistung erfolgte, sowie Schädlingsbefall, Krankheiten oder mangelnde Stabilität keine Auswirkung auf die Ersatzpflanzung. Jedoch muss zwingend die Warengruppe und Erziehungsform des geschädigten Baumes beachtet werden. Auch wenn keine Ersatzpflanzung erfolgt, bleibt der Schadensersatzanspruch bestehen. Falls eine Ersatzpflanzung erfolgt, muss diese in Baumart und Grösse nicht mit den Berechnungsgrundlagen, welche der Schadenersatzermittlung zu Grunde liegt, übereinstimmen. Dies bedeutet, der Schadensersatz bleibt gleich hoch, auch wenn die Ersatzpflanzung im Wert geringer ist (VSSG & BSB, 2018).

Für die Kostenermittlung des Schadens wird das Formular «Gehölzschadenersatzberechnung» gemäss der Richtlinie BSB und VSSG verwendet (VSSG & BSB, 2018). Bewertet werden ausschliesslich messbare Kriterien, subjektive Aspekte haben keinen Einfluss auf die Berechnung des Schadensersatzes. Als messbare gelten Holzverletzungen, Wurzelverlust und Kronenverlust. Der Schädigung wird ein bestimmtes Schadenmass zugeordnet. Dieses richtet sich nach der Empfindlichkeit des Baumes sowie dem Umfang der Schädigung. Das endgültige Schadenmass ergibt sich aus der Summe der einzelnen Teilschäden, genauer aus dem

Teilschadenmass Wurzel, dem Teilschadenmass Krone und dem Teilschadenmass Holz. Anhand des gesamten Schadenmasses wird der Totalschadenbetrag, bzw. der Teilschadenbetrag errechnet (VSSG & BSB, 2018).

Als Totalschaden gilt, wenn die Schädigung den Baum mit grosser Wahrscheinlichkeit innert fünf Jahren zum Absterben führt, die Stand- oder Bruchsicherheit (Verkehrssicherheit) nicht mehr gewährleistet ist und/oder der Habitus irreversibel zerstört ist. Ebenso liegt ein Totalschaden vor, wenn die zusätzlichen Pflegekosten der Differenz zwischen Total- und Teilschadenertrag entsprechen oder übersteigen (VSSG & BSB, 2018). Als Teilschaden gilt ein Schaden, der die dem Standort entsprechende Lebenserwartung des Baumes verkürzt, die Verkehrssicherheit reduziert oder den Gesundheitszustand vermindert. Zusätzliche pflegerische Massnahmen wären zusätzlich zu entgelten, soweit diese den Betrag des Diskontes nicht übersteigen. Träfe dies zu, wäre von einem Totalschaden auszugehen. Gemäss der Richtlinie zur Schadenersatzberechnung wird im Sinne der einfachen und praktischen Rechtsauffassung und zwecks Nachvollziehbarkeit der Teilschaden gemäss seinem Schadenmass am Totalschaden berechnet (*BGE 127 III 73*, 2001; VSSG & BSB, 2018).

2.5. Schadenersatzberechnung in Deutschland – «Methode Koch»

In Deutschland wird nach dem Sachwertverfahren, auch als „Methode Koch“ bekannt, der Wert eines Baumes ermittelt. Dabei gilt ein Baum als Teil eines Grundstückes. Wird der Baum beschädigt oder entfernt, wird der Wert des Grundstückes gemindert. Für die Berechnung gibt es vier Hauptkriterien: Funktion, Ausgangsgrösse, Herstellungszeit und Wertminderung (Boegner, 2018; Hötzel & Hund, 2001).

Im Falle einer Nachpflanzung ist insbesondere die Funktion für das Grundstück wichtig. Als Funktionen gelten auch nicht messbare Kriterien, wie gestalterische oder leitende Aufgaben. Wird ein Baum nachgepflanzt, soll dies in der gleichen Gehölzgrösse geschehen. Sind die Kosten einer Naturalrestitution unverhältnismässig, so werden die Kosten einer Pflanzung in einer üblichen Grösse berechnet. In diesem Falle wird jedoch die Herstellungszeit, also jene Zeit, die der Baum zum Wachsen braucht, bis er die Funktion wieder vollständig erfüllen kann, in die Kostenermittlung einbezogen. Jährlich werden 4% für die Kosten der Pflanzung, der Anwachspflege sowie des Anwachsriskos verzinst (Boegner, 2018; Hötzel & Hund, 2001; Schulz, 2002).

Der ursprünglich 5% betragende Zinssatz wurde 1975 vom Bundesgerichtshof im sogenannten Kastanienbaumurteil festgelegt (Breloer, 2005). Ende der 90er Jahre wurde der Zinssatz, nachdem in Fachkreisen vier Jahre lang diskutiert und Arbeiten dazu verfasst wurden, auf 4% angepasst und seither in weiteren Urteilen bestätigt. Auch die Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau (FLL) hat im Gelbdruck 2021 für die neue Gehölzwertvermittlungsrichtlinie den Zinssatz von 4% vorgeschlagen (Birke, 2018; H. Breloer & Schulz, 2002). Der Zinssatz von 4% beruht auf den Prinzipien des Sachwertverfahrens der Grundstückwertvermittlung (Boegner, 2018). Dabei werden die in der Vergangenheit entstandenen Normalherstellungskosten des Gehölzes aufgezinnt. Inflationsbereinigt beträgt der Zinssatz 4%, unter der Annahme dass die Inflationsrate rund 2% beträgt (Breloer & Schulz, 2002). In der Praxis sind die 4% Zinsen aus den Gerichtsurteilen sowie durch die FLL nicht bindend. Sachverständiger haben die Freiheit und die Pflicht, die Vorgaben und Richtlinien den aktuellen Bedingungen anzupassen. Dadurch können sie den Berechnungszins für die Gehölzwertberechnung bei einer signifikanten Änderung der Zinsentwicklung erhöhen oder senken. Die Anpassung muss dabei durch den Sachverständigen auch bei möglichen Gerichtsverhandlungen vertreten werden können. Dies bedeutet, die Auslegung muss plausibel und nachvollziehbar und die Unabhängigkeit als Gutachter gegeben sein (J. Plesse, persönliche Kommunikation, 14. November 2022).

3. Methoden

Nach der Literaturrecherche wurden verschiedene Methoden angewandt, um einen Leitfaden inklusive Berechnungstool zu erstellen, der sowohl in der Praxis umsetzbar ist als auch den rechtlichen Anforderungen standhält. Für das Berechnungstool mussten verschiedene Baumbonituren erstellt werden, die Wertleistungen bonitierter Bäume errechnet und eine Berechnungsformel ausgearbeitet werden.

Im folgenden Kapitel werden die einzelnen Arbeitsschritte (vgl. Abbildung 6) beschrieben, die notwendig waren, um den Leitfaden und das Berechnungstool zu erstellen.



Abbildung 6: Arbeitsablauf zur Erstellung des Berechnungstools

3.1. Literaturrecherche

Die Literaturrecherche diente der Erarbeitung der Grundlagen. Dazu wurden folgende Hilfsmittel verwendet:

- Sachbücher
- Wissenschaftliche Papers, Sachberichte
- Zeitschriftenartikel
- Bundesgerichtsurteile, Gesetzestexte, Richtlinien
- Persönliche Kommunikation mit Experten

Die Literaturen wurden mithilfe folgenden wissenschaftlichen Suchmaschinen, Datenbanken und Bibliotheken zusammengetragen:

- Google Scholar
- ResearchGate
- ZHAW Swisscovery
- ScienceDirect
- Hochschulbibliothek Wädenswil

3.2. Anwendung «i-Tree Eco»

In unterschiedlichen Projektphasen wurde immer wieder das Programm «i-Tree Eco» benötigt. In diesem Kapitel wird beschrieben, welche Art von Daten für das Programm erhoben wurden und welche von «i-Tree» berechneten Daten in dieser Arbeit Verwendung fanden.

Um die Wertleistungen zu beziffern, benötigte «i-Tree Eco» qualitative und quantitative Daten aus Baumbonituren sowie die Klimadaten und die Bevölkerungsgrösse und -dichte vom Standort der Bäume. Dadurch konnten die Daten lokal und individuell errechnet werden. Um die monetären Ökosystemleistungen der Bäume zu beziffern, wurden folgende Parameter verwendet (vgl. Anhang A: Feldleitfaden für i-Tree):

Bauminformationen (Tree information)

- Baumart (Species)
- Brusthöhendurchmesser BHD (DBH)

Allgemeine Angaben (General Site Fields)

- Landnutzung (Land Use)
- Areal (Stratum)
- Status (Status)
- Strassenbaum/Nicht Strassenbaum (Street tree/non-street tree)
- Öffentlich/Privat (Public/private)

Baumdetails (Tree detail fields)

- Gesamthöhe (Total height)
- Lebende Kronenhöhe (Crown live top height)
- Kronenbeginn (Crown base height)
- Kronenbreite (crown width)
- Kronenvitalität (Crown health)
- Lichtexposition der Krone (Crown light exposure)

Verwaltungsangaben (Management fields)

- Baum ID (User tree ID)

Im Anschluss wurden die Daten in das Programm übertragen und an die USFS (United States Forest Service) gesendet, um die monetären Wertleistungen der Bäume zu errechnen (i-Tree Eco, 2022). Verwendet wurden aus den Berechnungen die folgenden jährlichen Wertleistungen: **Gross carbon sequestration** (Bruttokohlenstoffspeicherung), **Avoided runoff** (vermiedener Abfluss) und **Pollution removal** (Schadstoffbindung).

3.3. Leitfaden

Die Erarbeitung eines Leitfadens war das Ziel dieser Arbeit. Er wurde als Erweiterung zur bestehenden und rechtlich wirksamen «Richtlinie zur Schadenersatzberechnung von Bäumen» erstellt (VSSG & BSB, 2018). Der Leitfaden beinhaltet ein Berechnungstool, um die Schadenersatzberechnung ausfallender Ökosystemleistungen zu berechnen. Inhaltlich stützt sich der Leitfaden sowie das Berechnungstool auf den Bundesgerichtsentscheiden BGE 127 III 73 und BGE 129 III 331 sowie auf der Methode Koch aus Deutschland. Ausserdem wurden Rücksprachen mit dem Juristen Lic. Iur. Heiko Schröder aus Zürich sowie dem Baumsachverständiger Jörg Plesse vom Sachverständigenbüro Pro Habitus aus Hessen, Deutschland genommen. Die juristischen Vorgaben bildeten die Rahmenbedingungen für das weitere Vorgehen in der Arbeit.

3.4. Berechnungstool

Das Berechnungstool «Schadenersatzberechnung ausfallender Ökosystemleistungen» bildet das Kernstück des Leitfadens. Es liegt in Form einer Exceldatei vor. Für die Erarbeitung des Tools mussten in einem ersten Schritt Grundlagendaten erstellt werden. Die Ausarbeitung des Tools erfolgte in Zusammenarbeit mit dem ZHAW-Mitarbeiter Tal Hertig.

Für die Erstellung wurden folgende Daten benötigt:

- Boniturblatt für i-Tree (vgl. Anhang A: Feldleitfaden für i-Tree)
- Baumdaten (Grösse, Breite, Alter, Zuwachsrate)
- Monetäre Wertleistungen

Folgende Anwendungen wurden für die Ausarbeitung des Tools verwendet:

- Excel
- I-Tree Eco (i-Tree Eco, 2022)
- Berechnungstool «Baumalter bestimmen» (baumsicht.de, 2012)

Das Tool wurde so erarbeitet, dass der Anwender / die Anwenderin auf eine einfache und standardisierte Berechnungsgrundlage zurückgreifen und mit geringem Aufwand eine Schadenersatzberechnung für ausfallende Ökosystemleistungen erstellen kann. Dies wurde erreicht, indem das Tool den Schaden anhand des Baumalters errechnet. Dazu wurden Daten für 16 Baumarten hinterlegt. Jeder Baumart wurde in Abhängigkeit des Baumalters eine bestimmte monetäre Wertleistung zugeordnet.

Für die Datengrundlage wurden auf gemittelten Werten basierende Bonituren für Bäume mit «vollem Leistungspotential», also im Optimalzustand, sowie Bonituren für Bäumen zum Zeitpunkt einer Nachpflanzung erhoben. Durch «i-Tree Eco» wurde danach die jeweilige monetäre Wertleistung beziffert. Das Baumalter der Bäume wurde durch die Zuwachsraten errechnet

sowie mit dem Tool «Baumalter bestimmen» bestimmt (baumsicht.de, 2012). Dadurch waren die Wertleistungen der Baumarten zum Zeitpunkt der Nachpflanzung sowie zum Zeitpunkt, ab dem die maximale Wertleistung erbracht wird, bekannt. Mittels einer linearen Funktion konnte daraufhin jedem Baum eine altersabhängige Wertleistung zugeschrieben werden.

Anhand dieser Daten wurde ein Excel-Tool erstellt, das den Wert ausfallender Ökosystemleistungen in Abhängigkeit des Baumalters beziffern kann. Die Daten für die Bonituren stammen aus Literaturrecherchen sowie aus gemittelten Angaben verschiedener Baumschulen.

3.4.1. Datengrundlage

In diesem Kapitel wird die Datenerhebung für die Datengrundlage konkretisiert und genauer beschrieben.

Zu Beginn wurden 16 Baumarten ausgewählt. Die 16 Baumarten setzen sich zusammen aus den zehn häufigsten Stadtbaumarten der Stadt Zürich sowie sechs weiteren Baumarten, die in Zürich am Mythenquai bonitiert wurden (vgl. Kapitel 3.5.1)(Stadt Zürich, 2020). Danach wurden, um die Datengrundlage für das Tool zu erschaffen, für die 16 verschiedenen Baumarten zwei auf theoretischen Angaben basierende Bonituren erstellt. Es wurden Boniturdaten von Bäumen mit «vollem Leistungspotential», also im Optimalzustand, sowie Boniturdaten von Bäumen zum Zeitpunkt einer Nachpflanzung erhoben.

Für die Boniturdaten der Ersatzpflanzungen wurde im ersten Schritt gemäss der Richtlinie zur Schadenersatzberechnung von Bäumen vorgegangen. Mögliche Ersatzpflanzungen müssen der grösstmöglichen noch erhältlichen Qualität, die technisch noch realisierbar ist und gute Chancen auf gesunde Entwicklung hat, entsprechen (VSSG & BSB, 2018). Hierfür wurden die grössten noch verfügbaren Pflanzqualitäten der Baumschulen Lüscher und Lorenz von Ehren verwendet (Baumschule LVE, 2022; Lüscher, 2022). Diese entsprechen mit 55 cm Umfang (HOB 55 cm) (Ausnahme *Populus x canadensis*, HOB 35 cm) einem vergleichbaren Umfang wie jenem, der im Bundesgerichtsurteil BGE 127 III berechnet wurde (BGE 127 III 73, 2001). Für die Bonitur der 16 Baumarten wurden gemittelte Werte der von den Baumschulen aufgeführten Angaben verwendet. Die Höhe des Kronenbeginns (crown base height) wurde mit einem gemittelten Wert von 3 m angegeben. Dieser Wert ist auf die Einhaltung des Lichtraumprofils zurückzuführen. Die Gesamthöhe und -breite wurde abhängig von der Baumart angegeben. Dadurch entstanden Bonituren für optimale Ersatzbäume.

Für die Bonituren der Bäume im Optimalzustand wurde nach den Vitalitätsstufen von Roloff (2018) gearbeitet. Ein Baum erreicht in einem gewissen Alter die Vitalitätsstufe 1 (Degenerationsphase). In dieser nimmt der Längenzuwachs nur noch unwesentlich zu, die seitliche

Feinverzweigung nimmt ab. Am Ende dieser Phase, bevor die Phase 2 (Stagnation) eintritt, befindet sich der Baum im Optimum (Roloff, 1993, 2018; Wäldchen, 2020). Ab dann wächst ein Baum nur noch unwesentlich weiter, folgendermassen befinden sich die Ökosystemleistungen auf dem Höchststand. Die Höhe des Kronenbeginns wurde, wie bei den Ersatzpflanzungen, mit 3 m angegeben. Die maximale Baumhöhe und -breite wurde anhand von Literaturrecherchen festgestellt. Es wurde jeweils gemittelte Werte verwendet (Baumschule Lorberg, 2022; Baumschule LVE, 2022; Lüscher, 2022).

Die Boniturdaten finden sich im Anhang B: Baumbonitur «Ersatzbaumarten und Optimalzustand». Die Wertleistungen der einzelnen Bäume wurde durch «i-Tree Eco» ausgewertet. Die Tabelle 1: Die jährliche zeigt eine Kurzübersicht über die ökonomischen Wertleistungen zum Zeitpunkt der Pflanzung sowie bei Erreichen des Optimalzustandes. Die ausführliche Auswertung der Wertleistungen findet sich im Anhang C: Ökosystemleistungen «Ersatzbaumarten und Optimalzustand»

Tabelle 1: Die jährliche Wertleistung der 16 Baumarten. Jede Baumart wird zweimal aufgeführt, das erste Mal im Zustand der Ersatzpflanzung (weiss), das zweite Mal im Optimalzustand (blau). Der Optimalzustand entspricht dabei der maximalen Wertleistung einer Baumart.

Baum ID	Baumart	Kohlenstoffspeicherung (CHF/a)	Vermiedener Abfluss (CHF/a)	Schadstoffbindung (CHF/a)	Gesamtleistung (CHF/a)
1.1	<i>Acer platanoides</i>	9.61	0.28	2.13	12.03
1.2	<i>Acer platanoides</i>	0.58	10.92	81.8	93.30
2.1	<i>Platanus x hispanica</i>	5.33	0.27	2.04	7.64
2.2	<i>Platanus x hispanica</i>	0.36	20.58	154.15	175.09
3.1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	8.52	0.20	1.49	10.21
3.2	<i>Aesculus hippocastanum</i>	1.52	13.14	98.41	113.07
4.1	<i>Robinia pseudoacacia</i>	9.34	0.20	1.50	11.04
4.2	<i>Robinia pseudoacacia</i>	6.16	4.43	33.2	43.80
5.1	<i>Tilia x europaea</i>	14.78	0.19	1.44	16.42
5.2	<i>Tilia x europaea</i>	1.52	16.83	126.04	144.39
6.1	<i>Betula pendula</i>	12.28	0.43	3.23	15.95
6.2	<i>Betula pendula</i>	25.2	2.96	22.14	50.30
7.1	<i>Acer campestre</i>	0.11	0.17	1.25	1.52
7.2	<i>Acer campestre</i>	0.24	2.85	21.34	24.43
8.1	<i>Tilia cordata</i>	6.21	0.19	1.45	7.85
8.2	<i>Tilia cordata</i>	1.52	20.58	154.15	176.25
9.1	<i>Populus nigra</i> 'Italica'	13.93	0.13	0.95	15.01
9.2	<i>Populus nigra</i> 'Italica'	3.13	1.60	12.00	16.74
10.1	<i>Populus x canadensis</i>	4.43	0.05	0.36	4.84
10.2	<i>Populus x canadensis</i>	1.52	23.35	174.87	199.73
11.1	<i>Styphnolobium japonicum</i>	10.65	0.12	0.93	11.70
11.2	<i>Styphnolobium japonicum</i>	1.52	6.26	46.86	54.64
12.1	<i>Quercus robur</i>	7.70	0.38	2.86	10.94
12.2	<i>Quercus robur</i>	0.16	17.51	131.11	148.78
13.1	<i>Quercus robur</i> 'Fastigiata'	7.70	0.030	0.19	7.91
13.2	<i>Quercus robur</i> 'Fastigiata'	0.16	1.82	13.62	15.60
14.1	<i>Acer cappadocicum</i>	0.4	0.16	1.21	1.77
14.2	<i>Acer cappadocicum</i>	0.82	2.28	17.04	20.13
15.1	<i>Catalpa bignonioides</i>	4.13	0.16	1.18	5.47
15.2	<i>Catalpa bignonioides</i>	8.01	1.05	7.87	16.93
16.1	<i>Acer pseudoplatanus</i>	7.2	0.25	1.91	9.36
16.2	<i>Acer pseudoplatanus</i>	0.23	15.95	119.46	135.65

Für das Berechnungstool musste jedem Baum eine altersabhängige Wertleistung für jedes beliebige Alter zugewiesen werden. Dazu wurde das Alter der Ersatzpflanzungen sowie der Bäume im Optimalzustand abhängig vom Stammumfang ermittelt, bzw. errechnet. Dies geschah mithilfe des Tools von baumsicht.de. Das Tool berechnet das Alter ausgehend vom Stammumfang und den mittleren Zuwachsraten gemäss «Anhang 3 - ZierH 2000» (baumsicht.de, 2012). Nicht für alle Bäume im Optimalzustand konnte der benötigte Stammumfang recherchiert werden. Aus diesem Grund musste das Alter berechnet werden. Dazu wurde die gemittelte jährliche Zuwachsrate recherchiert. Durch die Zuwachsrate konnte, aus zweckmässigen Gründen von einer linearen Zunahme ausgehend, berechnet werden, wie lange es dauert, bis ein Ersatzbaum braucht, um die maximale Leistung zu erbringen.

Anhand der mittleren Zuwachsrate und ausgehend von einem linearen Wachstum wurde die Zeitdauer berechnet, die eine Ersatzpflanzung benötigt, bis sie die Maximalhöhe erreicht. Da das Alter der Ersatzpflanzung noch nicht in der Zeitdauer beinhaltet ist, wurde dieses noch hinzugerechnet. Dadurch erhielt man das ungefähre Alter, in dem ein Baum den Optimalzustand erreicht (vgl. Tabelle 2). Die folgende Formel wurde dazu erstellt und verwendet:

$$\text{Alter im Optimumszustand} = \frac{(\text{Baumhöhe „Optimum“} - \text{Baumhöhe „Ersatz“})}{\text{Zuwachsrate}} + \text{Alter der Ersatzpflanzung}$$

Die Formel am Beispiel von *Acer platanoides*:

Ersatzpflanzung: 19 Jahre alt, 8m hoch, Zuwachsrate 0.75 m/a
Optimum: x Jahre alt, 25m hoch

$$x = ((25\text{m} - 8\text{m}) / 0.75) + 19 = 41.666 = 42 \text{ Jahre}$$

Tabelle 2: Alter und Stammumfang der 16 Ersatzbaumarten (weiss) sowie der Baumarten im Optimalzustand (blau). Das Alter im Optimalzustand wurde ausgehend vom Alter, der Höhe und der Zuwachsrate der Ersatzbaumarten errechnet. Der Stammumfang der Bäume im Optimalzustand konnte durch das Tool von baumsicht.de errechnet werden.

Baum ID	Baumart	Stammumfang (cm)	Ungefähres Alter	Zuwachsrate (gemittelt)
1.1	<i>Acer platanoides</i>	55	19	0.75
1.2	<i>Acer platanoides</i>	121	42	0
2.1	<i>Platanus x hispanica</i>	55	20	0.6
2.2	<i>Platanus x hispanica</i>	154	57	0
3.1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	55	16	0.38
3.2	<i>Aesculus hippocastanum</i>	235	66	0
4.1	<i>Robinia pseudoacacia</i>	55	18	0.5
4.2	<i>Robinia pseudoacacia</i>	120	42	0
5.1	<i>Tilia x europaea</i>	55	26	0.3
5.2	<i>Tilia x europaea</i>	223	106	0
6.1	<i>Betula penudla</i>	55	21	0.5
6.2	<i>Betula penudla</i>	90	45	0
7.1	<i>Acer campestre</i>	55	17	0.33
7.2	<i>Acer campestre</i>	100	35	0
8.1	<i>Tilia cordata</i>	55	26	0.3
8.2	<i>Tilia cordata</i>	223	106	0
9.1	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	45	20	0.65
9.2	<i>Populus nigra 'Italica'</i>	124	46	0
10.1	<i>Populus x canadensis</i>	35	16	0.55
10.2	<i>Populus x canadensis</i>	187	69	0
11.1	<i>Styphnolobium japonicum</i>	55	26	0.45
11.2	<i>Styphnolobium japonicum</i>	183	57	0
12.1	<i>Quercus robur</i>	55	25	0.3
12.2	<i>Quercus robur</i>	216	98	0
13.1	<i>Quercus robur 'Fastigiata'</i>	55	25	0.3
13.2	<i>Quercus robur 'Fastigiata'</i>	216	98	0
14.1	<i>Acer cappadocicum</i>	55	19	0.35
14.2	<i>Acer cappadocicum</i>	95	33	0
15.1	<i>Catalpa bignonioides</i>	55	20	0.15
15.2	<i>Catalpa bignonioides</i>	91	47	0
16.1	<i>Acer pseudoplatanus</i>	55	19	0.7
16.2	<i>Acer pseudoplatanus</i>	145	50	0

Durch die Berechnung des Baumalters sowie der Berechnung der Wertleistung im jeweiligen Alter wurde es möglich, anhand einer linearen Funktion jedem Baum für jedes Alter eine Wertleistung zuzuweisen. Die tiefsten Werte bilden die Wertleistungen der Ersatzpflanzungen, die höchsten Werte die Wertleistungen des Baumes im Optimalzustand (vgl. Abbildung 7). Die gesamte Liste an Wertleistungen findet sich auch im Exceltool unter dem Worksheet «Daten». Für die Berechnung wurde in Excel die folgende Formel angewandt:

Prognose.linear=(x;y-werte;x-werte)

Formel am Beispiel von *Acer platanoides*:

Ersatzpflanzung: 19 Jahre alt, Wertleistung CHF 12.03
 Optimumszustand: 42 Jahre, Wertleistung CHF 93.30

`prognose.linear=(n; 12.03, 93.3; 19,42)`

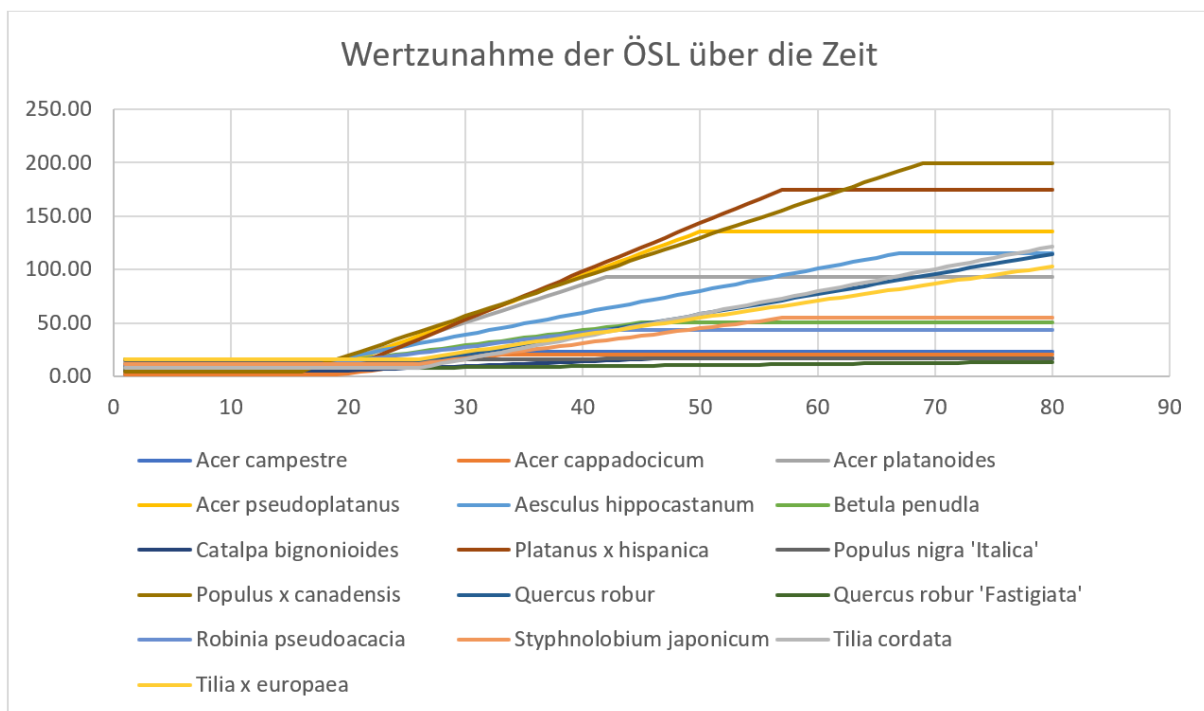


Abbildung 7: Wertzunahme der jährlich erbrachten Ökosystemleistungen der verschiedenen Baumarten über die Zeit. Die X-Achse stellt das Alter dar, die Y-Achse die Wertleistung.

3.4.2. Berechnungsformel

Durch die erarbeitete Datengrundlage kann bei einem Schaden anhand des Baumalters berechnet werden, wie hoch die ausfallenden Ökosystemleistungen sind. Der Schadenersatz setzt sich aus der Summe der ausfallenden Ökosystemleistungen über den Zeitraum, bis der SOLL-Zustand wieder erreicht ist, zusammen. Abgezogen werden kann der Gesamtwert der erbrachten Ökosystemleistungen der Neupflanzung (Totalschaden), respektive der Gesamtwert der Ökosystemleistungen nach der Schädigung (Teilschaden).

Bei einem Totalschaden kann anhand des Alters der Ersatzpflanzung die ungefähre Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des SOLL-Zustandes berechnet werden. Bei einem Teilschaden muss ein Baumsachverständiger die Zeit, bis der Baum den SOLL-Zustand wieder erreicht, abschätzen.

Da die Schäden die Ökosystemleistungen betreffen, deren Herstellung in der Vergangenheit liegt, soll, wie bei der Methode Koch, der Schadensbetrag mit einem Zinssatz von 4% über die Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes verzinst werden.

Der Schadensbetrag wird folgendermassen berechnet:

1. Zeitdauer zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes (SOLL-Zustand) berechnen, bzw. bei einem Teilschaden abschätzen
2. Summe (1) der potenziellen zukünftigen Wertleistungen des geschädigten Baumes über den Zeitraum bis zur Wiederherstellung des SOLL-Zustandes berechnen
3. Summe (2) der Wertleistungen des geschädigten Baumes nach der Schädigung (Teilschaden) / der Ersatzpflanzung (Totalschaden) über den Zeitraum bis zur Wiederherstellung des SOLL-Zustandes berechnen
4. Summe 2 wird von Summe 1 subtrahiert. Dadurch erhält man den effektiven Schadensbetrag, der über die Zeit anfällt.
5. Der Schadensbetrag wird mittels der Zinsformel über den gleichen Zeitraum mit 4% verzinst.

Da die geschädigten Bäume bereits vor der Schädigung nicht immer 100% der potenziellen Leistung ihres entsprechenden Alters erbringen, muss dies in der Berechnung berücksichtigt werden. Bei einem Totalschaden wird das reale Baumalter dem Leistungsalter angepasst, also jenem Alter, in dem dieselbe Wertleistung erbracht wird.

Erklärung am Beispiel eines *Acer campestre*:

Ein *Acer campestre* erbringt mit 30 Jahren (100%) CHF 18.07 an Wertleistungen. Die reale Leistung beträgt jedoch nur CHF 12.00 (66.41%). Das Leistungsalter liegt dadurch bei 25 Jahren, da ein 25-jähriger *Acer campestre* bei 100% Leistung die gleiche Wertleistung erbringt.

Durch die Zuordnung in ein Leistungsalter kann die effektive Zeitdauer berechnet werden, die ein Ersatzbaum (100% Leistung) benötigt, um den Ursprungszustand wiederherzustellen.

Wenn jedoch ein alter Baum geschädigt wird, der bereits das Alter, ab dem er die volle Leistung erbringt, überschritten hat (und wenn das Leistungsalter über dem Optimalalter liegt), wird rein die Zeitdauer berechnet, die notwendig ist, um den Ursprungszustand wiederherzustellen. Da die Wertleistung eines Baumes ab einem gewissen Alter nicht mehr steigt, wird die Differenz zwischen dem Alter der Nachpflanzung und dem Alter, ab dem der Optimalzustand erreicht wird, berechnet.

Erklärung am Beispiel eines *Acer campestre*:

Ein *Acer campestre* erbringt seine volle Leistung ab dem Alter von 34 Jahren. Ein 45-jähriger *Acer campestre* mit einer Leistung von 100% hätte auch ein Leistungsalter von 34 Jahren und läge somit 11 Jahre über dem vollen Leistungsalter von 34 Jahren. Da die Leistung ab 34 jedoch nicht mehr steigt, wird nur die Differenz zwischen dem Ersatzbaumalter und dem Alter, ab dem der Baum die volle Leistung erreicht, verrechnet. Eine Ersatzpflanzung für *Acer campestre* ist 17 Jahre alt. Die Differenz würde somit 17 Jahre betragen und nicht 28.

Im Falle eines Teilschadens muss der Zeitraum, der benötigt wird für die Wiederherstellung des Ursprungszustandes, abgeschätzt werden durch einen Baumsachverständiger. Um den Schadenersatz zu berechnen, werden die beiden Gesamtwertleistungen (vor und nach dem Schaden) über die Zeit bis zur Wiederherstellung benötigt. Dies wäre einerseits die gesamte Wertleistung, die der Baum über die Jahre ohne ein Schadereignis erbracht hätte und andererseits die gesamte Wertleistung, die der Baum nach dem Schadereignis bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes erbringt. Die Wertleistung, die der Baum ohne das Schadereignis erbracht hätte, wird ins Verhältnis zur effektive erbrachten (prozentualen) Leistung gesetzt. Die Wertleistung nach dem Schadereignis wird berechnet, indem mittels einer lineare Funktion die jährliche Wertzunahme bis zur Wiederherstellung des Ursprungswertes berechnet wird.

Erklärung am Beispiel eines *Acer campestre*:

Ein 30-jähriger *Acer campestre* wird geschädigt. Der Baum erbringt zum Zeitpunkt der Schädigung eine jährliche Wertleistung von CHF 14.46 (CHF 18.07 bei 100%), was einer Leistung von 80% entspricht. Ein Baumsachverständiger schätzt die Wiederherstellungszeit auf 10 Jahre. Innerhalb der nächsten 10 Jahre hätte der Baum eine Gesamtleistung im Wert von CHF 175.09 (CHF 218.86 bei 100%) erbringen können.

Der Baum erbringt nach der Schädigung noch eine Leistung von 35%, was einer jährlichen Wertleistung von CHF 6.32 entspricht. Die Gesamtleistung wird mittels einer linearen Funktion berechnet. Die jährliche Wertzunahme, bis der Ursprungswert von CHF 14.15 wieder erreicht wird, beträgt rund CHF 0.90. Die Gesamtsumme beträgt dadurch über die 10 Jahre CHF 121.97. Diese Summe kann von der Gesamtleistung, die der Baum potenziell hätte erbringen können, abgezogen werden.

3.5. Schadenersatzberechnungen

Nachdem die Datengrundlagen geschaffen und die Berechnungsgrundlage erstellt war, wurde das Tool in der Praxis getestet. Dafür wurden in Zürich Bäume bonitiert und deren Wertleistungen durch «i-Tree Eco» ermittelt. Um die Schadenersatzberechnungen mit dem Berechnungstool durchzuführen, wurden in einem nächsten Schritt die Boniturdaten mit fiktiven Schädigungen versehen. Die angepassten Boniturdaten wurden erneut ins Programm «i-Tree Eco» übertragen. Dadurch konnten die jährlichen Wertleistungen, welche die Bäume nach der «Schädigung» noch erbringen, bestimmt werden. Anhand dessen konnte der Schadenersatz berechnet werden.

3.5.1. Baumbonitur «Mythenquai»

Die Bonitur fand in Zürich entlang des Mythenquais statt (vgl. Abbildung 8). Es wurden 20 verschiedene Strassenbäume in unterschiedlichen Grössen, Arten, und Vitalitätszuständen gewählt. Die gesamte Bonitur ist im Anhang D: Baumbonitur Mythenquai" ersichtlich.

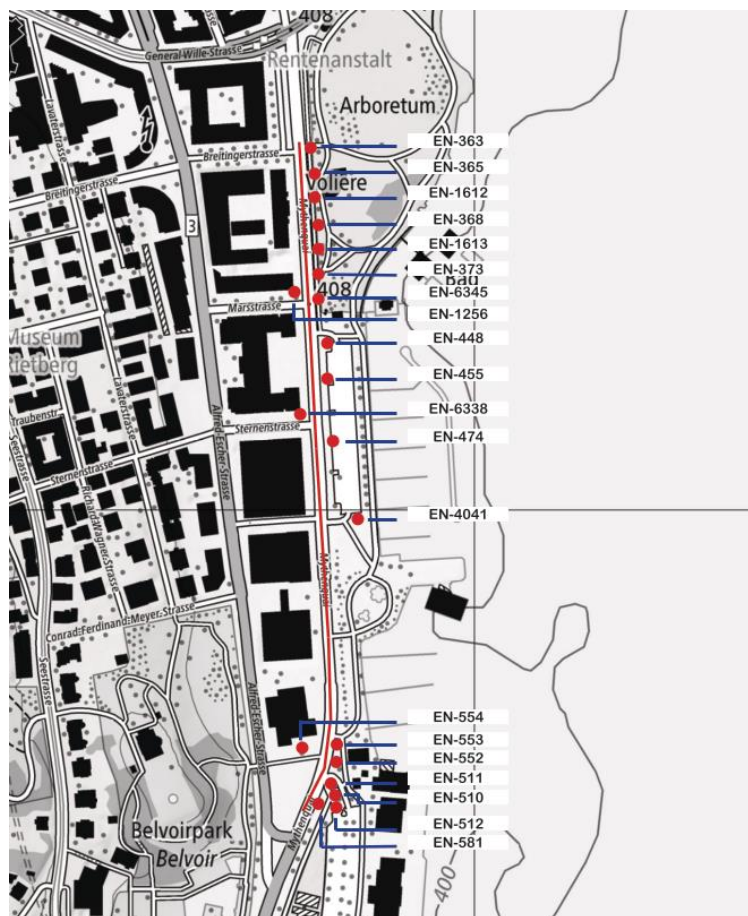


Abbildung 8: Die bonitierten Strassenbäume befinden sich entlang des Mythenquais in Zürich (geo.admin.ch, 2022, bearbeitet)

3.5.2. Fiktive Schädigungen

Um Schadensberechnungen durchzuführen, waren (fiktive) Schadensfälle notwendig. Dafür wurden sieben Bäume aus der Bonitur vom Mythenquai gewählt. Die sieben ausgewählten Individuen unterscheiden sich in der Art, im Alter und in der Vitalität. Dadurch repräsentieren sie die Bandbreite an Strassenbäumen entlang des Mythenquais. An der Bonitur dieser sieben Bäume wurden Anpassungen vorgenommen. Dadurch wurden Schadensfälle imitiert. Die Anpassungen betrafen die Bereiche «Kronenbreite», «Totholz» sowie «fehlender Kronenanteil».

4. Ergebnisse

Durch die Erarbeitung des Berechnungstools wurde es möglich, die Schadenersatzberechnung für ausfallende Ökosystemleistungen durchzuführen. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus der Bonitur, die erarbeiteten «Schadensfälle» sowie die entsprechenden Schadenersatzberechnungen präsentiert.

4.1. Bonitur «Mythenquai»

Die 20 Bäume setzen sich aus sieben *Aesculus hippocastanum*, vier *Quercus robur*, zwei *Acer cappadocicum*, zwei *Catalpa bignonioides*, zwei *Populus x canadensis* und jeweils einem *Acer pseudoplatanus*, einer *Taxus baccata* und einer *Tilia x europaea* zusammen. Die gesamte Bonitur ist im Anhang D: Baumbonitur Mythenquai" ersichtlich.

Die Wertleistung der bonitierten Bäume wurde mittels «i-Tree Eco» berechnet. Die Auswertung der jährlichen Wertleistung ist in Kurzform in der Tabelle 3 ersichtlich. Die ausführliche Auswertung ist im Anhang E: Ökosystemleistungen «IST-Zustand» zu finden.

Tabelle 3: Monetäre Wertleistungen der bonitierten Bäume im "IST-Zustand"

Kataster Nummer	Baumart	Kohlenstoffspeicherung (CHF/a)	Vermiedener Abfluss (CHF/a)	Schadstoffbindung (CHF/a)	Gesamtleistung (CHF/a)
363	<i>Aesculus hippocastanum</i>	0.11	2.62	16.70	19.43
365	<i>Aesculus hippocastanum</i>	9.13	2.05	13.04	24.21
1612	<i>Aesculus hippocastanum</i>	10.25	1.00	6.39	17.64
368	<i>Aesculus hippocastanum</i>	0.14	1.95	12.41	14.49
1613	<i>Aesculus hippocastanum</i>	6.90	2.10	13.35	22.34
373	<i>Aesculus hippocastanum</i>	1.52	5.37	34.21	41.10
1256	<i>Quercus robur</i>	9.21	1.58	10.07	20.87
6345	<i>Aesculus hippocastanum</i>	6.53	0.35	2.25	9.12
448	<i>Quercus robur</i>	8.29	0.97	6.16	15.41
455	<i>Quercus robur</i>	7.99	1.12	7.17	16.29
6338	<i>Tilia x europaea</i>	9.35	0.31	1.96	11.62
474	<i>Quercus robur</i>	10.28	1.37	8.72	20.37
4041	<i>Populus x canadensis</i>	1.52	16.74	106.66	124.91
554	<i>Populus x canadensis</i>	1.52	8.19	52.19	61.89
553	<i>Acer cappadocicum</i>	0.75	0.71	4.55	6.01
552	<i>Acer cappadocicum</i>	1.52	4.03	25.67	31.21
511	<i>Catalpa bignonioides</i>	0.76	1.85	11.81	14.42
510	<i>Catalpa bignonioides</i>	5.21	1.55	9.86	16.62
512	<i>Acer pseudoplatanus</i>	1.67	5.72	36.47	43.87
581	<i>Taxus baccata</i>	0.15	2.36	15.02	17.53

4.2. Fiktive Schädigungen

Für jeden Baum wurden zwei Schädigungen imitiert, einmal einen Astbruch und einmal eine Wurzelverletzung. Für die Schädigung «Astbruch» wurde ein Verlust von der Hälfte der noch vorhandenen Krone eingetragen, für die Schädigung «Wurzelverletzung» ein Absterben der Krone um zusätzliche 10% sowie ein Kronenverlust von ebenfalls zusätzlichen 10% (vgl. Anhang F: Baumbonitur «Schadensfall»). Die angepassten Boniturdaten wurden erneut ins Programm «i-Tree Eco» übertragen. Dadurch konnten die jährlichen Wertleistungen nach einem «Schadensfall» bestimmt werden (vgl. Anhang G: Ökosystemleistungen «Schadensfall»).

Die Kurzfassung der angepassten Boniturdaten inklusive den berechneten Wertleistungen ist in der Tabelle 4 zu sehen.

Tabelle 4: Die fiktiven Schädigungen (rote Schrift) wurden an sieben ausgewählten Bäumen (weiss) aus der Bonitur vom Mythenquai vorgenommen. Die Bäume mit den fiktiven Schäden (blau) weisen aufgrund den «Schädigungen» eine geringere Wertleistung auf als die bonitierten Bäume aus Zürich (weiss).

Kataster Nummer	Baumart	Totholz Anteil	Fehlende Krone	C-Speicherung (CHF/a)	Vermiedener Abfluss (CHF/a)	Schadstoffbindung (CHF/a)	Gesamtleistung (CHF/a)
365	<i>Aesculus hippocastanum</i>	0%	20% - 25%	0.14	3.34	21.22	24.7
365.1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	0%	55% - 60%	0.14	0.89	5.68	6.71
365.2	<i>Aesculus hippocastanum</i>	10% - 15%	30% - 35%	0.12	2.91	18.47	21.49
368	<i>Aesculus hippocastanum</i>	1% - 5%	65% - 70%	0.14	1.84	11.67	13.64
368.1	<i>Aesculus hippocastanum</i>	1% - 5%	85% - 90%	0.14	0.60	3.79	4.52
368.2	<i>Aesculus hippocastanum</i>	10% - 15%	75% - 80%	0.12	1.26	8.02	9.41
1256	<i>Quercus robur</i> 'Fastigiata'	10% - 15%	15% - 20%	9.21	1.49	9.48	20.18
1256.1	<i>Quercus robur</i> 'Fastigiata'	10% - 15%	45% - 50%	9.21	0.58	3.7	13.5
1256.2	<i>Quercus robur</i> 'Fastigiata'	20% - 25%	25% - 30%	8.14	1.31	8.32	17.77
6338	<i>Tilia x europaea</i>	1% - 5%	10% - 15%	9.35	0.29	1.85	11.49
6338.1	<i>Tilia x europaea</i>	1% - 5%	45% - 50%	9.35	0.13	0.83	10.31
6338.2	<i>Tilia x europaea</i>	10% - 15%	20% - 25%	8.37	0.26	1.63	10.26
4041	<i>Populus canadensis</i>	1% - 5%	5% - 10%	1.52	15.78	100.33	117.63
4041.1	<i>Populus canadensis</i>	1% - 5%	35% - 40%	1.52	13.05	82.95	97.51
4041.2	<i>Populus canadensis</i>	10% - 15%	15% - 20%	1.52	14.07	89.42	105.01
553	<i>Acer cappadocicum</i>	10% - 15%	40% - 45%	0.75	0.67	4.28	5.70
553.1	<i>Acer cappadocicum</i>	10% - 15%	65% - 70%	0.75	0.24	1.54	2.53
553.2	<i>Acer cappadocicum</i>	20% - 25%	50% - 55%	0.66	0.55	3.53	4.74
511	<i>Catalpa bignonioides</i>	5% - 10%	60% - 65%	0.76	1.73	10.98	13.47
511.1	<i>Catalpa bignonioides</i>	5% - 10%	75% - 80%	0.76	0.80	5.08	6.64
511.2	<i>Catalpa bignonioides</i>	15% - 20%	70% - 75%	0.68	1.27	8.10	10.06

Für die Berechnung wurde nebst der jährlichen Wertleistung auch das Baumalter benötigt. Das Alter wurde in diesem Fall nicht berechnet, sondern konnte anhand des Pflanzjahres, welches im Baumkataster hinterlegt ist, abgeschätzt werden (vgl. Tabelle 5). Es wurde davon ausgegangen, dass die Bäume bei der Pflanzung rund 12 Jahre alt waren. Das Alter wurde zusätzlich mit dem Altersberechnungstool von baumsicht.de überprüft (baumsicht.de, 2012).

Tabelle 5: Das Baumalter der sieben ausgewählten Bäume aus der Bonitur vom Mythenquai.

Baum ID	Baumart	Stammumfang (cm)	Pflanzjahr	Ungefähres Alter
365	<i>Aesculus hippocastanum</i>	73	1995	39
368	<i>Aesculus hippocastanum</i>	158	1970	64
1256	<i>Quercus robur</i>	76	2004	30
6338	<i>Tilia x europaea</i>	40	2018	16
4041	<i>Populus canadensis</i>	416	1950	84
553	<i>Acer cappadocicum</i>	101	1982	52
511	<i>Catalpa bignonioides</i>	138	1985	49

4.3. Fall Teilschaden

Für die Berechnungen des Teilschadens wurden die Wertleistungen (vor und nach der Schädigung) sowie das Alter der sieben Bäume benötigt. Die Angaben wurden ins Berechnungstool übertragen. Am Beispiel einer bonitierten *Aesculus hippocastanum* (EN-365) wird die Berechnung durch das Berechnungstool erklärt (vgl. Abbildung 9).

1. Baum wählen: *Aesculus hippocastanum*
2. Baumalter wählen: 39 Jahre
3. Mithilfe des Hilfstools die prozentuale Leistung berechnen und eintragen vor der Schädigung 42.94% (Wertleistung CHF 24.70) und nach der Schädigung 11.66% (Wertleistung CHF 6.71)
4. Jahre bis zur Wiederherstellung eintragen: 8 Jahre (ACHTUNG: muss von Baumsachverständiger abgeschätzt werden)

Das Tool berechnet danach direkt den Schadenersatz. Dieser beträgt CHF 96.71, bzw. inklusive der Aufzinsung von 4% über 8 Jahre CHF 132.35.

Anwendung (Eingabe erforderlich)

<u>Benötigte Angaben</u>				Anmerkungen
Baumart wählen (drop-down)	Aesculus hippocastanum			
Alter des geschädigten Baumes	39			Alter kann, falls unbekannt, anhand des Stammumfangs geschätzt werden.
Leistung vor der Schädigung (in %)	42.94%	jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 24.70	% - Anteil der effektiv erbrachten monetären Werteleistung des Baumes (theoretische Werteleistung im Verhältnis zur durch i-Tree errechneten Werteleistung). Bsp: eine 40-jährige Tilia cordata würde im Optimalfall eine Werteleistung von CHF 37.32 erbringen. Durch fehlendes Kronenvolumen, Astbrüche, Rückschnitte o.ä. erbringt die Linde jedoch nur eine Werteleistung von CHF 31.95. Sie erbringt somit lediglich eine Leistung von 85.82%.
Leistung nach der Schädigung (in %)	11.66%	jährliche Leistung nach der Schädigung	CHF 6.71	
Jahre bis zum Ursprungszustand	8			Anzahl Jahre, die der Baum braucht, bis er sich vom Schaden wieder erholt hat und wieder die gleiche Leistung erbringen kann wie vor der Schädigung. ACHTUNG: Muss von einem Baumsachverständiger abgeschätzt werden!

Ergebnisse (keine Eingabe erforderlich)

<u>Berechnung des Schadenersatzes</u>		Anmerkungen						
Leistung Baum Ursprungszustand	CHF 222.35	Gesamte monetäre Werteleistung, die der Baum ohne das Schadereignis erbracht hätte (im Zeitraum, bis der Ursprungszustand wiederhergestellt ist)						
Leistung nach Schädigung bis Ursprungszustand	CHF 125.64							
effektiver Schadensbetrag (exkl. Zins)	CHF 96.71	Schaden, der effektiv entsteht.						
Schadensbetrag inkl. Verzinsung	CHF 132.35	Die Herstellungskosten für die Ökosystemleistungen liegen in der Vergangenheit. Deshalb wird der effektive Schadensbetrag noch zusätzlich mit 4% aufgezinst. Der Zins wird über die Anzahl Jahre verrechnet, die notwendig sind, bis der Ursprungszustand wiederhergestellt ist.						
Hilfstool	<table border="1"> <tr> <td>Leistung bei 100% (CHF)</td> <td>Tatsächliche Leistung (CHF)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>57.53</td> <td>6.71</td> <td>Leistung in % : 11.66%</td> </tr> </table>	Leistung bei 100% (CHF)	Tatsächliche Leistung (CHF)		57.53	6.71	Leistung in % : 11.66%	Das Hilfstool rechnet die korrigierte Leistung des Baumes vor der Schädigung und nach der Schädigung aus. Es wird immer von 100% der möglichen Leistung ausgegangen, um die tatsächliche Leistung zu erhalten. ACHTUNG: Diese Felder müssen nicht ausgefüllt sein und dienen lediglich der Berechnung der tatsächlichen prozentualen Leistung des alten Baumes.
Leistung bei 100% (CHF)	Tatsächliche Leistung (CHF)							
57.53	6.71	Leistung in % : 11.66%						

Abbildung 9: Beispiel einer Schadenersatzberechnung bei einer Aesculus hippocastanum gemäss dem Berechnungstool «Schadenersatzberechnung ausfallender Ökosystemleistungen_Iten & Hertig 2022»

In den folgenden Fällen werden die Schadenersatzberechnungen für Teilschäden für dies sieben ausgewählten Bäume gemäss den Bonituren und Wertleistungen aus den Kapiteln 4.1 und 4.2 durchgeführt.

Tabelle 6: Teilschaden (Astbruch) an *Aesculus hippocastanum* EN-365

Fall 1: *Aesculus hippocastanum* (EN-365)

Baumalter: 39

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 8

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 24.70
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	27.19%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 6.71
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	7.39%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 140.79
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 79.57
Total Brutto	CHF 61.22
Total inkl. Zins (4%)	CHF 83.79

Tabelle 7: Teilschaden (Wurzelverletzung) an *Aesculus hippocastanum* EN-365

Fall 2: *Aesculus hippocastanum* (EN-365)

Baumalter: 39

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 4

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 24.70
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	27.19%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 21.49
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	23.66%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 65.92
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 58.50
Total Brutto	CHF 7.42
Total inkl. Zins (4%)	CHF 8.68

Tabelle 8: Teilschaden (Astbruch) an *Aesculus hippocastanum* EN-368

Fall 3: *Aesculus hippocastanum* (EN-368)

Baumalter: 64

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 10

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 13.64
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	12.52%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 4.92
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	4.52%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 142.59
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 92.83
Total Brutto	CHF 49.76
Total inkl. Zins (4%)	CHF 73.66

Tabelle 9: Teilschaden (Wurzelverletzung) an *Aesculus hippocastanum* EN-368

Fall 4: *Aesculus hippocastanum* (EN-368)

Baumalter: 64

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 6

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 13.64
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	12.52%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 9.41
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	8.64%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 84.94
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 69.17
Total Brutto	CHF 15.77
Total inkl. Zins (4%)	CHF 19.96

Tabelle 10: Teilschaden (Astbruch) an *Quercus robur* 'Fastigiata' EN-1256

Fall 5: *Quercus robur* 'Fastigiata' (EN-1256)

Baumalter: 30

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 12

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 20.18
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	239.19%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 13.50
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	160.01%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 258.79
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 202.08
Total Brutto	CHF 56.71
Total inkl. Zins (4%)	CHF 90.80

Tabelle 11: Teilschaden (Wurzelverletzung) an *Quercus robur* 'Fastigiata' EN-1256

Fall 6: Quercus robur 'Fastigiata' (EN-1256)

Baumalter: 30

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 9

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 20.18
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	239.19%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 17.77
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	210.63%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 190.69
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 170.78
Total Brutto	CHF 19.91
Total inkl. Zins (4%)	CHF 28.34

Tabelle 12: Teilschaden (Astbruch) an *Tilia x europaea* EN-6338

Fall 7: Tilia x europaea (EN-6338)

Baumalter: 16

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 2

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 11.49
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	69.98%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 10.31
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	62.79%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 22.98
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 21.98
Total Brutto	CHF 1.18
Total inkl. Zins (4%)	CHF 1.28

Tabelle 13: Teilschaden (Wurzelverletzung) an *Tilia x europaea* EN-6338

Fall 8: Tilia x europaea (EN-6338)

Baumalter: 16

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 2

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 11.49
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	69.98%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 10.26
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	62.48%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 22.98
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 21.75
Total Brutto	CHF 1.23
Total inkl. Zins (4%)	CHF 1.33

Tabelle 14: Teilschaden (Astbruch) an *Populus x canadensis* EN-4041

Fall 9: *Populus canadensis* (EN-4041)

Baumalter: 84

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 16

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 117.63
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	97.51%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 97.51
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	48.82%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 1'881.94
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 1'721.03
Total Brutto	CHF 160.90
Total inkl. Zins (4%)	CHF 301.37

Tabelle 15: Teilschaden (Wurzelverletzung) an *Populus x canadensis* EN-4041

Fall 10: *Populus canadensis* (EN-4041)

Baumalter: 84

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 13

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 117.63
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	97.51%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 105.01
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	52.58%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 1'529.07
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 1'447.15
Total Brutto	CHF 81.92
Total inkl. Zins (4%)	CHF 136.40

Tabelle 16: Teilschaden (Astbruch) an *Acer cappadocicum* EN-553

Fall 11: *Acer cappadocicum* (EN-553)

Baumalter: 52

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 15

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 5.70
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	28.32%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 2.53
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	12.57%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 85.51
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 61.73
Total Brutto	CHF 23.78
Total inkl. Zins (4%)	CHF 42.82

Tabelle 17: Teilschaden (Wurzelverletzung) an *Acer cappadocicum* EN-553

Fall 12: *Acer cappadocicum* (EN-553)

Baumalter: 52

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 11

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 5.70
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	28.32%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 4.74
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	23.55%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 62.71
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 57.43
Total Brutto	CHF 5.28
Total inkl. Zins (4%)	CHF 8.13

Tabelle 18: Teilschaden (Astbruch) an *Catalpa bignonioides* EN-553

Fall 13: *Catalpa bignonioides* (EN-511)

Baumalter: 49

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 20

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 13.47
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	79.56%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 6.64
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	39.22%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 269.39
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 201.09
Total Brutto	CHF 68.30
Total inkl. Zins (4%)	CHF 149.64

Tabelle 19: Teilschaden (Wurzelverletzung) an *Catalpa bignonioides* EN-553

Fall 14: *Catalpa bignonioides* (EN-511)

Baumalter: 49

Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes: 15

Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 13.47
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	79.56%
Jährlich Leistung nach der Schädigung	CHF 10.06
Jährlich Leistung nach der Schädigung (%)	59.42%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 202.04
Gesamtleistung nach der Schädigung über die Jahre	CHF 176.47
Total Brutto	CHF 25.57
Total inkl. Zins (4%)	CHF 46.06

4.4. Fall Totalschaden

Eine Schadensbetrag für die ausfallenden Ökosystemleistungen wird dann fällig, wenn die Leistungen nicht mit einer Naturalrestitution kompensiert werden können, also wenn der Baum mehr Wertleistung erbracht hat als die Ersatzpflanzung erbringen wird. Anhand dem Beispiel einer *Aesculus hippocastanum* (EN-365) (vgl. Abbildung 10), die in Zürich bonitiert wurde, wird aufgezeigt, wie der Schadensbetrag im Berechnungstool berechnet wird (vgl. Abbildung 11).



Abbildung 10: Die Kastanie EN-365 in Zürich

1. Baumart wählen: *Aesculus hippocastanum*
2. Alter des geschädigten Baumes angeben: 39 Jahre
3. Mithilfe des Hilfstools die prozentuale Leistung (korrigierte Leistung) berechnen und eintragen: 42.94% (CHF 24.70)

Das Leistungsalter (23 Jahre) sowie das Alter der Nachpflanzung (16 Jahre) wird automatisch ausgefüllt, gestützt auf den Grundlagendaten. Ebenso wird automatisch die Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes automatisch berechnet. Der Schadensbetrag für das Beispiel der Rosskastanie beträgt CHF 76.79 ohne Zins und 101.05 inklusive Zins

Anwendung (Eingabe erforderlich)

Benötigte Angaben		Anmerkungen
Baumart wählen (drop-down)	Aesculus hippocastanum	
Alter des geschädigten Baumes wählen	39	Alter kann, falls unbekannt, anhand des Stammumfangs geschätzt werden.
Leistungsalter des Geschädigten Baumes (automatisch)	23	Das Leistungsalter wird anhand der korrigierten Leistung berechnet. Bsp.: Ein Acer campestre erbringt mit 30 Jahren (100%) CHF 18.07 an Wertleistungen. Die korrigierte Leistung beträgt jedoch nur CHF 12 (66.42%). Somit liegt das Leistungsalter bei 25 Jahren, da ein 25-jähriger Acer campestre bei 100% die gleiche Wertleistung erbringen würde.
Alter des Ersatzbaumes (vorgegeben)	16	Alter der Nachpflanzung entspricht der max. noch erhältlichen und sinnvollen Grösse der Nachpflanzung. Entspricht im Worksheet "Daten" dem grünen Wert (tiefster erbrachter Wert an ÖSL)
Korrigierte Leistung alter Baum (in %)	42.94%	%-Anteil der effektiv erbrachten monetären Wertleistung des Baumes (theoretische Wertleistung im Verhältnis zur durch i-Tree errechneten Wertleistung). Bsp.: eine 40-jährige Tilia cordata würde im Optimalfall eine Wertleistung von CHF 37.32 erbringen. Durch fehlendes Kronenvolumen, Astbrüche, Rückschnitte o.ä. erbringt die Linde jedoch nur eine Wertleistung von CHF 31.95. Sie erbringt somit lediglich eine Leistung von 85.82%.
Korrigierte Leistung Ersatzbaum (vorgegeben)	100%	

Ergebnisse (keine Eingabe erforderlich)

Berechnung des Schadenersatzes		Anmerkungen
Differenz Ersatzbaumalter und Leistungsalter	7	Differenz zwischen dem Alter der Nachpflanzung und dem Leistungsalter des geschädigten Baumes
Differenz Ersatzbaumalter und Alter max. Leistung	51	Differenz vom Alter des Ersatzbaumes und dem Alter, an dem die maximale jährliche Leistung an ÖSL erbracht wird
Alter der max. Ökosystemleistung	67	Alter, ab dem die Baumart den maximalen Wert an Ökosystemleistungen erbringt
Jährliche Leistung des geschädigten Baumes (100%)	CHF 57.53	Jährliche Wertleistung, die im Optimalzustand erbracht wird
Gesamtleistung alter Baum	CHF 445.88	Leistung, die im Optimalzustand erbracht wird; berechnet über den Zeitraum bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes
Gesamtleistung neuer Baum	CHF 114.67	Leistung die im Optimalzustand erbracht wird; berechnet über den Zeitraum bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes
Jährliche Leistung des geschädigten Baumes (Korrigiert)	CHF 24.70	Reale jährliche Wertleistung; abhängig von der korrigierten Leistung.
Korrigierte Gesamtleistung alter Baum	CHF 191.46	Realer Wert, abhängig von der korrigierten Leistung des Baumes. Wird über den Zeitraum bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes gerechnet.
Korrigierte Gesamtleistung neuer Baum	CHF 114.67	Realer Wert, abhängig von der korrigierten Leistung des Baumes. Wird über den Zeitraum bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes gerechnet.
effektiver Schadensbetrag (exkl. Zins)	CHF 76.79	Für die Berechnung wird die kürzere Zeitdauer aus den Spalten "Differenz des Alters" und "Differenz Ersatzbaumalter und Alter max. Leistung" angewandt. Der Schaden ist dann beglichen, wenn der Zustand wiederhergestellt wurde, also die Ersatzpflanzung den gleichen Wert an ÖSL erbringt wie der beschädigte Baum vor dem Eintritt des Schadensfalles.
Schadensbetrag inkl. Verzinsung	CHF 101.05	Die Herstellungskosten für die Ökosystemleistungen liegen in der Vergangenheit. Deshalb wird der effektive Schadensbetrag noch zusätzlich mit 4% aufgezinst. Der Zins wird über die Anzahl Jahre verrechnet, die notwendig sind, bis der Ursprungszustand wiederhergestellt ist.

Hilfstoil	Leistung bei 100% (CHF)	Tatsächliche Leistung (CHF)	Leistung in % : 42.94%	Das Hilfstool rechnet die korrigierte Leistung des alten Baumes aus. Es muss lediglich die durch i-Tree errechnete tatsächliche Wertleistung eingetippt werden. Die 100% Leistung wird automatisch durch die Wahl der Baumart angepasst. ACHTUNG: Diese Felder müssen nicht ausgefüllt sein und dienen lediglich der Berechnung der tatsächlichen prozentualen Leistung des alten Baumes.
	57.53	24.7		

Abbildung 11: Beispiel einer Berechnung eines Schadenersatzes bei einem Totalschaden an einer *Aesculus hippocastanum* gemäss dem Berechnungstool «Schadenersatzberechnung ausfallender Ökosystemleistungen_Iten & Hertz 2022»

Die Schadenersatzberechnungen für die sieben ausgewählten Bäume aus den Kapiteln 4.1 und 4.2 werden in den folgenden Fällen berechnet und präsentiert.

Tabelle 20: Totalschaden an *Aesculus hippocastanum* EN-365

Fall 1: *Aesculus hippocastanum* (EN-365)

Baumalter	39
Leistungsalter	23
Ersatzbaumalter	16
Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes	7
Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 24.70
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	42.94%
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung	10.21 CHF
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung (%)	100%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 191.46
Gesamtleistung Ersatzpflanzung über die Jahre	CHF 114.67
Total Brutto	CHF 76.79
Total inkl. Zins (4%)	CHF 101.05

Tabelle 21: Totalschaden an *Aesculus hippocastanum* EN-368

Fall 2: *Aesculus hippocastanum* (EN-368)

Baumalter	39
Leistungsalter	17
Ersatzbaumalter	16
Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes	1
Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 13.64
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	23.71%
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung	10.21 CHF
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung (%)	100%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 13.64
Gesamtleistung Ersatzpflanzung über die Jahre	CHF 10.21
Total Brutto	CHF 3.43
Total inkl. Zins (4%)	CHF 3.57

Tabelle 22: Totalschaden an *Quercus robur* 'Fastigiata' EN-1256

Fall 3: <i>Quercus robur</i> 'Fastigiata' (EN-1256)	
Baumalter	30
Leistungsalter	176
Ersatzbaumalter	25
Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes	73
Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 20.18
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	239.19%
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung	CHF 7.91
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung (%)	100%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 2'132.78
Gesamtleistung Ersatzpflanzung über die Jahre	CHF 854.27
Total Brutto	CHF 1'278.51
Total inkl. Zins (4%)	CHF 22'394.27

Tabelle 23: Das Baumalter von *Tilia x europaea* EN-6338 liegt unter dem Alter der grösstmöglichen Ersatzpflanzung. Das bedeutet, die Pflanze kann direkt durch eine Naturalrestitution ersetzt werden. Dadurch liegt kein Schaden vor.

Fall 4: <i>Tilia x europaea</i> (EN-6338)	
Baumalter*	16
Leistungsalter	-
Ersatzbaumalter	26
Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes	-
Jährliche Leistung vor der Schädigung	11.49 CHF
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	69.98%
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung	CHF 16.42
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung (%)	100%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF -
Gesamtleistung Ersatzpflanzung über die Jahre	CHF -
Total Brutto	Kein Schaden
Total inkl. Zins (4%)	Kein Schaden

Tabelle 24: Totalschaden an *Populus canadensis* EN-4041

Fall 5: <i>Populus canadensis</i> (EN-4041)	
Baumalter	84
Leistungsalter	46
Ersatzbaumalter	16
Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes	30
Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 117.62
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	58.89%
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung	CHF 4.84
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung (%)	100%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 3'528.63
Gesamtleistung Ersatzpflanzung über die Jahre	CHF 1'744.77
Total Brutto	CHF 1'783.86
Total inkl. Zins (4%)	CHF 5'785.77

Tabelle 25: Totalschaden an *Acer cappadocicum* EN-553

Fall 6: <i>Acer cappadocicum</i> (EN-553)	
Baumalter	52
Leistungsalter	40
Ersatzbaumalter	20
Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes	20
Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 13.47
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	79.56 %
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung	CHF 5.47
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung (%)	100%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 269.39
Gesamtleistung Ersatzpflanzung über die Jahre	CHF 190.04
Total Brutto	CHF 79.35
Total inkl. Zins (4%)	CHF 173.86

Tabelle 26: Totalschaden an *Catalpa bignonioides* EN-511

Fall 7: *Catalpa bignonioides* (EN-511)

Baumalter	49
Leistungsalter	22
Ersatzbaumalter	19
Zeitdauer bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes	3
Jährliche Leistung vor der Schädigung	CHF 5.70
Jährliche Leistung vor der Schädigung (%)	28.32%
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung	CHF 1.77
Jährliche Leistung Ersatzpflanzung (%)	100%
Gesamtleistung ohne Schädigung über die Jahre	CHF 17.10
Gesamtleistung Ersatzpflanzung über die Jahre	CHF 9.24
Total Brutto	CHF 7.86
Total inkl. Zins (4%)	CHF 8.84

4.5. Leitfaden

Der Leitfaden (Abbildung 12) gibt vor, wie bei einem Schadensfall vorgegangen werden muss und wie die Schadenersatzberechnung ausfallender Ökosystemleistung in die Richtlinie zur Schadenersatzberechnung von Bäumen integriert werden kann. Der Leitfaden in Form eines Flussdiagramms vor. Eine grössere Darstellung ist im Anhang H: Leitfaden" zu finden.

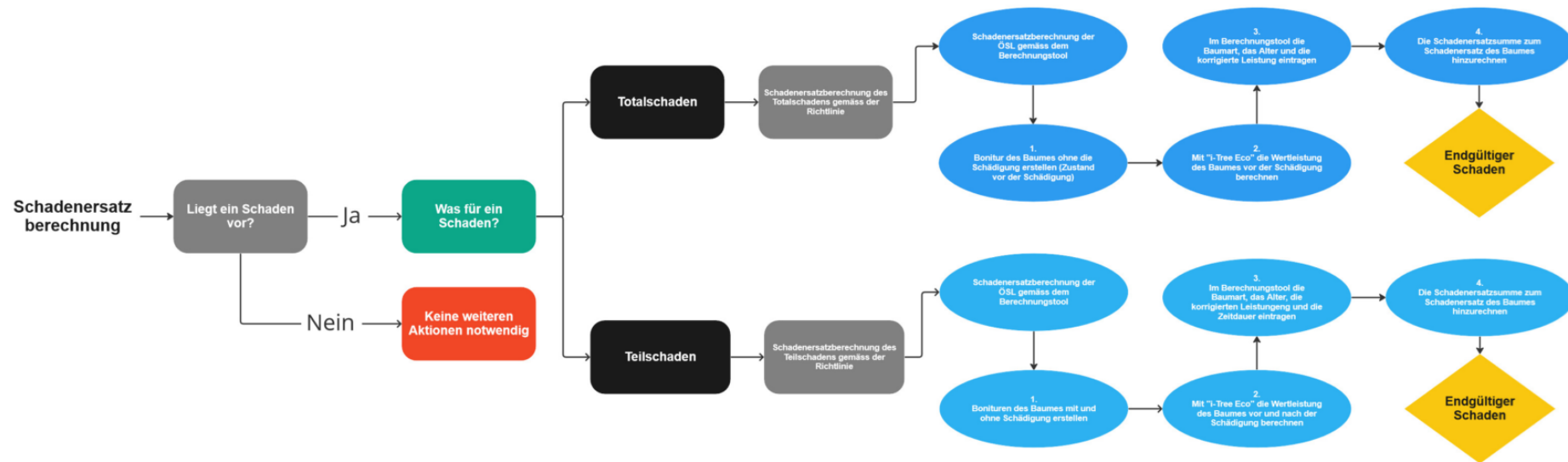


Abbildung 12: Der Leitfaden gibt den Ablauf bei einem Schadensfall vor

Die Anwendung des Leitfadens, bzw. der Ablauf des Flussdiagramms, wird anhand eines Berechnungsbeispiels aus der aus der Richtlinie aufgezeigt (VSSG & BSB, 2018). Im Beispiel der Richtlinie wird ein Totalschaden an einer *Aesculus hippocastanum* berechnet.

1. Schaden bestimmen

Liegt ein Schadensfall vor?

→ Ja

Was für ein Schaden?

→ Totalschaden

2. Schadenersatzberechnung des Totalschadens gemäss der Richtlinie

Die Richtlinie gibt vor, wie der Schadenersatz berechnet wird. Diese Berechnung bleibt weiterhin so bestehen.

Der Schadenersatz bei einem Totalschaden beträgt für das Beispiel der *Aesculus hippocastanum* insgesamt **15'012 Franken**. Dieser Betrag setzt sich aus Baumschulware (1'284.-), dem Aufwand für den Ersatz (12'285.-), dem Gutachten (450.-) sowie den Mehrwertsteuern (981.-) zusammen.

3. Schadenersatzberechnung des Totalschadens gemäss dem Berechnungstool

Das Berechnungstool «Schadenersatzberechnung ausfallender Ökosystemleistungen_Iten & Hertig 2022» funktioniert intuitiv. Die Schritte sind allesamt erklärt. Es können lediglich die Felder ausgefüllt werden, die notwendig sind für die Berechnung.

3.1. Bonitur erstellen

Für die Berechnung wird eine Baumbonitur ohne den Schaden erstellt, also im Zustand vor dem Schadereignis. Die unten aufgeführte Bonitur beruht auf Angaben des Berechnungsbeispiels in der Richtlinie. Darin wird der geschädigte Baum vor dem Schadereignis beschrieben.

Aesculus hippocastanum*	Baum Nr.	DATUM	STATUS	STAND-ORT	NUTZUNG	ALTER	BHD HÖHE	BHD (CM)	GESAMT-HÖHE
	1	23.09.22	Pflan-zung	Strasse	Gewerbe /Indust-rie	51	1.3	180	20
	LEBENDE HÖHE	KRONEN-BEGINN	BREITE N-S	BREITE O-W	TOTHOLZ	FEHLENDE KRONE	LICHT EXP.	STRASSEN-BAUM	ÖFFENT-LICH?
20	4	12	12	1% - 5%	5% - 10%	5 Sides	Yes	Yes	

*Da keine Angaben zum Totholzanteil (crown dieback) sowie zu fehlendem Kronenvolumen (crown missing) vorhanden sind, wurden Annahmen getroffen, da nicht davon auszugehen war, dass der Baum in perfektem Zustand war. Das Alter wurde mithilfe des Tools von baumsicht.de anhand des Umfangs geschätzt.

3.2. Berechnung der jährlichen Wertleistung

Anhand der Boniturdaten wird mithilfe der Software «i-Tree Eco» die jährliche Wertleistung beziffert werden.

In diesem Fall beträgt der Wert der jährlichen Ökosystemleistungen **CHF 57.31**.

Tree ID	Species Name	DBH (cm)	Replacement Value (SwF)	Carbon Storage (kg)	Carbon Storage (SwF)	Annual benefits								Total Annual Benefits (SwF/yr)	
						Gross Carbon Sequestration (kg/yr)	Gross Carbon Sequestration (SwF/yr)	Avoided Runoff (m³/yr)	Avoided Runoff (SwF/yr)	Carbon Avoided (kg/yr)	Carbon Avoided (SwF/yr)	Pollution Removal (g/yr)	Pollution Removal (SwF/yr)		Energy Savings (SwF/yr)
1	Aesculus hippocastanum	180.0	28'470.84	7'268.7	1'355.60	0.7	0.14	3.0	6.80	N/A	N/A	1'023.2	50.37	N/A	57.31
Total						1	0	3	7	N/A	N/A	1'023	50	N/A	57

3.3. Eintragen der benötigten Angaben

Vorgehensweise:

Excel Datei öffnen > Worksheet: Anwendungstool Totalschaden > Baumart wählen: *Aesculus hippocastanum* > Alter eingeben: 51 > Hilfstool: tatsächliche jährliche Wertleistung eintragen: CHF 57.31 > korrigierte Leistung: 69.71% → Resultat

Anwendung (Eingabe erforderlich)

Benötigte Angaben

Benötigte Angaben	Anmerkungen
Baumart wählen (drop-down)	Aesculus hippocastanum
Alter des geschädigten Baumes wählen	51
Leistungsalter des Geschädigten Baumes (automatisch)	39
Alter des Ersatzbaumes (vorgegeben)	16
Korrigierte Leistung alter Baum (in %)	69.71%
Korrigierte Leistung Ersatzbaum (vorgegeben)	100%

Ergebnisse (keine Eingabe erforderlich)

Berechnung des Schadenersatzes

Berechnung des Schadenersatzes	Anmerkungen
Differenz Ersatzbaumalter und Leistungsalter	23
Differenz Ersatzbaumalter und Alter max. Leistung	51
Alter der max. Ökosystemleistung	67
Jährliche Leistung des geschädigten Baumes (100%)	CHF 82.21
Gesamtleistung alter Baum	CHF 2'368.15
Gesamtleistung neuer Baum	CHF 755.30
Jährliche Leistung des geschädigten Baumes (Korrigiert)	CHF 57.31
Korrigierte Gesamtleistung alter Baum	CHF 1'650.83
Korrigierte Gesamtleistung neuer Baum	CHF 755.30
effektiver Schadensbetrag (exkl. Zins)	CHF 895.53
Schadensbetrag inkl. Verzinsung	CHF 2'207.23

Hilfstool	Leistung bei 100% (CHF)	Tatsächliche Leistung (CHF)	Leistung in %
	82.21	57.31	69.71%

Das Hilfstool rechnet die korrigierte Leistung des alten Baumes aus. Es muss lediglich die durch i-Tree errechnete tatsächliche Wertleistung eingetippt werden. Die 100% Leistung wird automatisch durch die Wahl der Baumart angepasst.
ACHTUNG: Diese Felder müssen nicht ausgefüllt sein und dienen lediglich der Berechnung der tatsächlichen prozentualen Leistung des alten Baumes.

Der Schadenersatz für die ausfallenden Ökosystemleistungen betragen:

Ohne Aufzinsung: **CHF 895.53**

Mit Aufzinsung: **CHF 2'207.23**

4. Zusammenführung

Die Kosten aus der Berechnung der ausfallenden Ökosystemleistung wird zur Schadenersatzberechnung des Baum addiert. Dadurch entsteht die Gesamtsumme.

Schadenersatz Baum: CHF 15'012.00

Schadenersatz ÖSL: CHF 2'207.23

Die Gesamtsumme beträgt **CHF 17'219.25**

5. Diskussion

Obwohl sich heutzutage mit Programmen wie «i-Tree Eco» die Wertleistungen von Bäumen schnell und einfach berechnen lassen, hat die monetäre Wertleistung von Bäumen, respektive der Wert ausfallender Ökosystemleistungen, bis anhin noch zu wenig, den Weg in die Politik und in die Gesetzgebung gefunden. Es gibt, soweit bekannt, kein Land, in dem ausfallende Ökosystemleistungen in die Schadensberechnung integriert wurden.

In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse und Resultate aus dem Ergebnisteil diskutiert.

5.1. «i-Tree Eco»

Mit dieser Arbeit konnte aufgezeigt werden, wie eine Integration möglich wäre. Jedoch gibt es verschiedene Details, die einer Umsetzung noch im Wege stehen. Dies beginnt bei der Anwendung von «i-Tree Eco». Dieses sehr hilfreiche Tool hat für die Schweizer Anwendung noch Verbesserungsbedarf. So sind bis anhin fast ausschliesslich Baumarten und nur vereinzelt Baumarten wählbar. Dies ist insbesondere bei Sorten in Säulenform, wie der *Quercus robur* 'Fastigiata', problematisch, da sich der Habitus der Sorte und der Habitus der Art grundlegend unterscheiden. Man kann das Problem zwar umgehen, indem man die Kronenbreite geringer angibt, trotzdem wird schlussendlich die Bonitur, bzw. die Berechnung, fehlerhaft sein. Dies hat sich auch in dieser Arbeit gezeigt. Die Daten der Säuleneichen sind nicht immer eindeutig und unterliegen starken Abweichungen. Ein weiterer Kritikpunkt an «i-Tree Eco» ist die nicht abschliessende Berechnung der Ökosystemleistungen. In den USA können zusätzlich zu den in dieser Arbeit berechneten Leistungen auch monetäre Werte der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit berechnet werden. Den Wert, den ein einzelner Baum durch Evapotranspiration erbringt, kann bei «i-Tree Eco» bisher ebenfalls nicht berechnet werden (i-Tree Eco, 2022). Da «i-Tree» jedoch ständig überarbeitet und weiterentwickelt wird, ist zu erwarten, dass die Anwendung mit der Zeit immer genauer und umfassender wird.

5.2. Gesetzeslage

Eine weitere Herausforderung stellt die momentane rechtliche Situation dar. Die gesetzlichen Hürden für eine Integration ausfallender Ökosystemleistungen in die bestehende und rechtlich anerkannte Richtlinie zur Schadenersatzberechnung bei Bäumen sind hoch. Für eine fundierte Diskussion rund um die gesetzliche Lage und über eine mögliche Integration in die Richtlinie zur Schadenersatzberechnung bei Bäumen wurde nicht nur Literaturrecherche betrieben, sondern auch der Jurist Lic. Iur. Heiko Schröder von der Advokatur Weinberg kontaktiert (H. Schröder, persönliche Kommunikation, 2022).

Eine Integration wäre theoretisch über verschiedene Wege möglich. Eine Möglichkeit stellt ein neues Gerichtsurteil dar. Die bisherigen Bundesgerichtsurteile BGE 127 III 73 und BGE 129 III 331 liegen bereits einige Zeit zurück und entsprechen nicht mehr unbedingt dem sozialen, technischen und ökologischen Fortschritt. Dank neuen Methoden und Messinstrumenten ist es heute möglich, die Ökosystemleistungen zu quantifizieren. Die aktuelle Rechtslage besagt, dass für die Schadensermittlung nur messbare Kriterien Anwendung finden dürfen (VSSG & BSB, 2018). Dieses Kriterium wäre durch die neuen Quantifizierungsmethoden erfüllt. Jedoch müsste auch geklärt werden, ob Ökosystemleistungen Teil eines Vermögens im Rechtssinne sind. Dafür müsste das Eigentumsrecht gemäss ZGB Art. 641 auf die Ökosystemleistungen ausgeweitet werden. Eine Ausweitung des bestehenden Gesetzes hätte den Vorteil, dass es aus juristischer Sicht einfacher umzusetzen ist als eine Ausarbeitung einer neuen Rechtsnorm.

Ein weiterer Diskussionspunkt bleibt auch, ob die Ökosystemleistungen schlussendlich nur dem/der Eigentümer*in gehört oder ob die Allgemeinheit ebenfalls einen Anspruch darauf hat. Dies könnte dann der Fall sein, wenn z.B. der/die Eigentümer*in einen alten Baum fällen möchte. Die Allgemeinheit könnte eine Beschränkung der Eigenmacht von Grundeigentümern für den Bestandesschutz fordern. In der Praxis könnte dies z.B. dadurch erfolgen, dass das Fällen von grossen Bäumen bewilligungspflichtig würde, so wie dies im Waldgesetz bereits verankert ist (WaG, 1991).

Das im Berechnungstool verwendete Prinzip der Aufzinsung gilt es ebenfalls zu diskutieren. Dieses basiert auf der Methode Koch. Die Methode Koch ist in der Schweiz nicht rechtlich anerkannt, trotzdem wurde das Prinzip aus dem deutschen Raum für diese Arbeit übernommen. Da die Herstellungskosten in der Vergangenheit liegen, erscheint es sinnvoll, den Wert, der durch die Schädigung verloren geht, mit 4% zu verzinsen. Damit werden die Kosten aus der Vergangenheit den heutigen Kosten angepasst und das verbleibende Risiko, dass der Wert nicht wiederhergestellt werden kann, gedeckt. Eine Verzinsung von in der Vergangenheit liegenden Kosten wurde bereits im Bundesgerichtsurteil BGE 129 III 331 umgesetzt. Ob die Umsetzung der Verzinsung von 4%, wie sie in dieser Arbeit angewandt wird, rechtlich durchsetzbar ist, müsste sich erst noch zeigen.

5.3. Berechnungstool

Nebst den juristischen Hindernissen bleiben weitere Herausforderungen bestehen, die vor einer Integration noch gelöst werden müssten. Dies betrifft insbesondere das Schadenersatzberechnungstool.

Das Tool wurde erstellt, um aufzuzeigen, wie die Berechnung durchgeführt werden könnte. Jedoch hat das Tool auch gewisse Schwächen. Eine Schwäche wäre, dass die Datengrundlagen auf gemittelten Werten beruhen. Das Problem der gemittelten Werte liegt darin, dass sie den Standort verschiedener Bäume nicht berücksichtigen. Strassenbäume zum Beispiel wachsen schneller als Bäume im Wald oder auf dem Land und altern daher auch schneller. Sie erbringen dadurch zwar früher höhere Ökosystemleistungen, durch die schnellere Alterung kann es jedoch auch sein, dass sie bereits in jüngerem Alter unter mangelnder Vitalität leiden, was wiederum Auswirkungen auf die Ökosystemleistungen hätte (Pretzsch et al., 2014, 2017). Zudem ist es möglich, dass durch das schnellere Wachstum und die verfrühte Alterung gar nie die volle Leistung erbracht werden kann. Diese Auswirkungen werden in den Berechnungsgrundlagen nicht berücksichtigt.

Ausserdem wird für die Berechnungen von einem linearen Zuwachs ausgegangen, was in der Realität nicht der Fall ist (Roloff, 1993, 2018). Je nach Standort kann die Entwicklung der Baumarten über ihr Alter deutlich variieren (Rötzer et al., 2017). In der Abbildung 13 wird die gemittelte Entwicklung der Baumhöhe und des Kronendurchmessers von Platanen, Robinien und Winterlinden, gestützt auf Messungen von ungefähr 1500 Bäumen, dargestellt (Rötzer et al., 2017). Es ist zu erkennen, dass das Wachstum nicht linear verläuft. Trotzdem wurde ein lineares Wachstum für diese Arbeit gewählt. Einerseits, weil die Datengrundlage für eine reale Wachstumskurve der gewählten Bäume fehlt und andererseits, weil es für eine Berechnung der

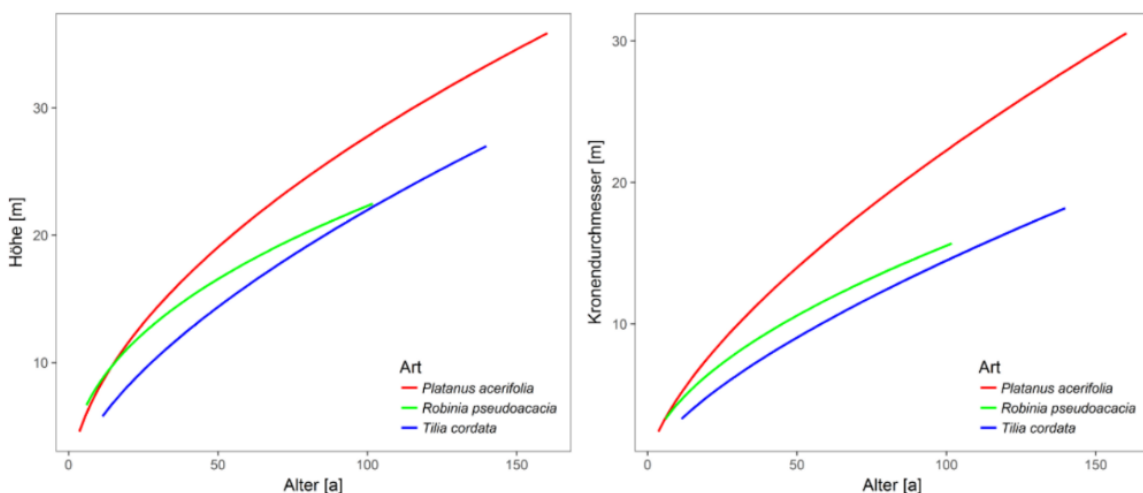


Abbildung 13: Entwicklung der Baumhöhe und des Kronendurchmessers von Platanen, Robinien und Winterlinden in Bayern an verschiedenen Standorten (Rötzer et al., 2017)

ausfallenden Ökosystemleistungen (bisher) ausreicht. Das Tool wurde bewusst schlicht gehalten, damit es in der Praxis umsetzbar ist. Ausserdem war es das Ziel dieser Arbeit, den Grundstein für Anpassungen in der aktuellen Schadenersatzberechnung zu legen. Eine vereinfachte Berechnungsgrundlage scheint daher ausreichend. Anpassungen am Berechnungstool, bzw. an den Datengrundlagen könnten bei einer allfälligen Umsetzung immer noch vorgenommen werden. Bis anhin sind ausserdem 16 Baumarten im Tool vertreten. Dadurch sind zwar die wichtigsten Stadtbaumarten abgedeckt, trotzdem müssten bei einer effektiven Integration in die Richtlinie noch weitere Baumarten aufgenommen werden.

Die Höhe der Kosten, insbesondere bei Teilschäden, sind im Verhältnis zu den Kosten durch die Schadenersatzberechnung bei Bäumen meist (sehr) gering. Dies liegt einerseits daran, dass das Alter der Ersatzpflanzungen relativ hoch ist und andererseits, dass die Schäden teilweise etwas tief kalkuliert wurden. Zudem waren die meisten der bonitierten Bäume weder sehr alt noch in äusserst vitaler Verfassung. Viele waren stark zurückgeschnitten und wiesen einen hohen Anteil an fehlender Krone auf (crown missing). Dadurch war das Leistungsalter meist relativ tief und führte folgendermassen zu tiefen Schadenersatzbeträgen. Wenn jedoch alte, vitale Bäume wie Linden oder Eichen, welche das Optimalalter erst in hohem Alter erreichen, beschädigt werden, kann die Summe doch beträchtlich hoch ausfallen. Der Schadenersatzbetrag für eine 100-jährige Winterlinde mit einer Leistung von 90% vor der Schädigung und 30% nach der Schädigung und einer Regenerationszeit von 30 Jahren liegt bei rund CHF 5'800. Der Betrag ist zwar hoch, wird aber als verhältnismässig betrachtet, da eine 100-jährige Linde in solch vitalem Zustand eine Ausnahme bildet, wenn bedenkt wird dass das Durchschnittsalter zwischen 19 und 28 Jahren liegt (Roman & Scatena, 2011). Bei Totalschäden kann es sogar zu extrem hohen Schadenersatzbeträgen kommen (vgl. Abbildung 14). Zurückzuführen ist dies auf die Zinsformel. Die Zinsformel ist eine Potenzformel, das Wachstum fällt somit exponentiell aus. Dies lässt den Schadenersatzbetrag bei langen Zeitspannen sehr hoch werden. Unverhältnismässig hohe Beträge werden im Berechnungstool zwar weitgehend verhindert, indem nur die Anzahl Jahre berechnet werden, die es bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes (Leistungsalter) wirklich benötigt. Das heisst, wenn ein Baum das Optimalalter seit vielen Jahren bereits erreicht hat, wird nicht die Altersdifferenz zwischen dem Alter der Ersatzpflanzung und dem realen Alter berechnet, sondern lediglich die Differenz bis zum Erreichen des Optimalalters. Bei alten Bäumen, die erst in hohem Alter ihr Optimum erreichen, können trotzdem extrem hohe Beträge entstehen (vgl. Abbildung 14). Ob hohe fünfstelligen Beträge noch als verhältnismässig gelten, müsste in Expertenkreisen diskutiert werden. In Deutschland werden, je nach Fall, für alte Bäume auch Schadensbeträge im höheren fünfstelligen Bereich als verhältnismässig betrachtet (J. Plesse, persönliche Kommunikation, 14. November 2022). Daher werden die Berechnungen anhand des Tools nur in absoluten Ausnahmefällen als unverhältnismässig betrachtet.

Anwendung (Eingabe erforderlich)

Benötigte Angaben		Anmerkungen
Baumart wählen (drop-down)	Tilia cordata	
Alter des geschädigten Baumes wählen	150	Alter kann, falls unbekannt, anhand des Stammumfangs geschätzt werden.
Leistungsalter des Geschädigten Baumes (automatisch)	93	Das Leistungsalter wird anhand der korrigierten Leistung berechnet. Bsp.: Ein Acer campestre erbringt mit 30 Jahren (100%) CHF 18.07 an Wertleistungen. Die korrigierte Leistung beträgt jedoch nur CHF 12 (66.42%). Somit liegt das Leistungsalter bei 25 Jahren, da ein 25-jähriger Acer campestre bei 100% die gleiche Wertleistung erbringen würde.
Alter des Ersatzbaumes (vorgegeben)	26	Alter der Nachpflanzung entspricht der max. noch erhältlichen und sinnvollen Grösse der Nachpflanzung. Entspricht im Worksheet "Daten" dem grünen Wert (besten erbrachter Wert an ÖSL)
Korrigierte Leistung alter Baum (in %)	85.00%	%-Anteil der effektiv erbrachten monetären Wertleistung des Baumes (theoretische Wertleistung im Verhältnis zur durch i-Tree errechneten Wertleistung).
Korrigierte Leistung Ersatzbaum (vorgegeben)	100%	Bsp.: eine 40-jährige Tilia cordata würde im Optimalfall eine Wertleistung von CHF 37.32 erbringen. Durch fehlendes Kronenvolumen, Astbrüche, Rückschnitte o.ä. erbringt die Linde jedoch nur eine Wertleistung von CHF 31.95. Sie erbringt somit lediglich eine Leistung von 85.82%.

Ergebnisse (keine Eingabe erforderlich)

Berechnung des Schadenersatzes		Anmerkungen
Differenz Ersatzbaumalter und Leistungsalter	67	Differenz zwischen dem Alter der Nachpflanzung und dem Leistungsalter des geschädigten Baumes
Differenz Ersatzbaumalter und Alter max. Leistung	80	Differenz vom Alter des Ersatzbaumes und dem Alter, an dem die maximale jährliche Leistung an ÖSL erbracht wird
Alter der max. Ökosystemleistung	106	Alter, ab dem die Baumart den maximalen Wert an Ökosystemleistungen erbringt
Jährliche Leistung des geschädigten Baumes (100%)	CHF 176.25	Jährliche Wertleistung, die im Optimalzustand erbracht wird
Gesamtleistung alter Baum	CHF 11'808.75	Leistung, die im Optimalzustand erbracht wird; berechnet über den Zeitraum bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes
Gesamtleistung neuer Baum	CHF 5'180.11	Leistung die im Optimalzustand erbracht wird; berechnet über den Zeitraum bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes
Jährliche Leistung des geschädigten Baumes (Korrigiert)	CHF 149.81	Reale jährliche Wertleistung; abhängig von der korrigierten Leistung.
Korrigierte Gesamtleistung alter Baum	CHF 10'037.44	Realer Wert, abhängig von der korrigierten Leistung des Baumes. Wird über den Zeitraum bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes gerechnet.
Korrigierte Gesamtleistung neuer Baum	CHF 5'180.11	Realer Wert, abhängig von der korrigierten Leistung des Baumes. Wird über den Zeitraum bis zur Wiederherstellung des Ursprungszustandes gerechnet.
effektiver Schadensbetrag (exkl. Zins)	CHF 4'857.33	Für die Berechnung wird die kürzere Zeitdauer aus den Spalten "Differenz des Alters" und "Differenz Ersatzbaumalter und Alter max. Leistung" angewandt. Der Schaden ist dann beglichen, wenn der Zustand wiederhergestellt wurde, also die Ersatzpflanzung den gleichen Wert an ÖSL erbringt wie der beschädigte Baum vor dem Eintritt des Schadensfalles.
Schadensbetrag inkl. Verzinsung	CHF 67'240.60	Die Herstellungskosten für die Ökosystemleistungen liegen in der Vergangenheit. Deshalb wird der effektive Schadensbetrag noch zusätzlich mit 4% aufgezinst. Der Zins wird über die Anzahl Jahre verrechnet, die notwendig sind, bis der Ursprungszustand wiederhergestellt ist.

Abbildung 14: Der Schadenersatz für eine 150-jährige Linde schnell durch die Verzinsung von ca. 4'800.- auf über 67'000.- hoch.

6. Fazit

Das Ziel dieser Arbeit war es, eine Möglichkeit aufzuzeigen, wie durch Schädigungen ausfallende Ökosystemleistungen in die Schadenersatzberechnung von Bäumen integrierbar wären. Dies konnte insofern erreicht werden, als dass mit dem Tool nun eine Möglichkeit besteht, die Schadenersatzberechnung auf einfache Art und Weise abzuwickeln. Das Tool sorgt für eine immer gleichbleibende Berechnung und funktioniert sehr intuitiv. Trotzdem ist die vorliegende Arbeit nicht abschliessend. Das Tool ist erst entwickelt worden und müsste bei einer allfälligen Integration in die Richtlinie noch ausgeweitet und verfeinert werden. Die rechtlichen Aspekte wurden in dieser Arbeit beleuchtet. Es konnte aufgezeigt werden, dass eine Integration theoretisch möglich wäre und dass der aktuelle rechtliche Stand nicht mehr dem heutigen Stand der Technik und des Wissens entspricht und aus diesem Grund angepasst werden sollte.

Ob ausfallende Ökosystemleistungen in den nächsten Jahren in die Richtlinie integriert werden, scheint eher unwahrscheinlich. Es bedarf vermutlich einiger Zeit, bis rechtliche Fragen geklärt und Anpassungen am Berechnungstool vorgenommen worden sind. Die Arbeit dient nun dazu, eine Diskussion rund um den monetären Wert ausfallender Ökosystemleistungen zu starten.

Auch ohne Integration in die Richtlinie kann das Tool für Städte von Interesse sein, zum Beispiel bei Bauvorhaben. Das Tool ermöglicht es, abzuschätzen, wie hoch der monetäre Wertausfall ist. Wenn ein Baum beispielsweise im Rahmen einer Baustelle entfernt und mit einem jungen Baum ersetzt wird, kann der verlorengelassene Wert beziffert werden. Dies könnte dazu führen, dass der Baumschutz in Zukunft höher gewichtet wird.

7. Literaturverzeichnis

Art. 41 OR, (1911). https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/27/317_321_377/de

BAFU. (2020). *I-Tree – Welchen Wert haben die Ökosystemleistungen von städtischen Bäumen und Wäldern?* NCCS. <https://www.nccs.admin.ch/content/nccs/de/home/news/newsdetail.html/de/nccs/2020/news/i-tree-oekosystemleistungen-dt.html#>

Baumschule Lorberg. (2022). *Online Pflanzenkatalog / günstig Bäume & Pflanzen kaufen bei Lorberg*. Lorberg.de. <https://www.lorberg.com/de/pflanzenkatalog/fa/showSorte/sorte/populus-nigra-italica/>

Baumschule LVE. (2022). *Baumschule Lorenz von Ehren* [Preiskatalog]. Lorenz von Ehren. <https://www.lve-baumschule.de/>

baumsicht.de. (2012). *Wie alt ist der Baum? Baumalter online bestimmen* [Tool]. Baumsicht. <https://baumsicht.de/alter/>

Bernasconi, A., Gubsch, M., Sabani, F., & Zürcher, N. (2018). *i-Tree Toolbox / Kurzbericht Bewertung «Bern Bundesgasse / Kleine Schanze»: Ausgewählte Ökosystemleistungen Berner Stadtbäume* [Kurzbericht]. Pan Bern.

BGE 127 III 73, BGE 127 III 73 (Bundesgericht 2001).

BGE 129 III 331, BGE 129 III 331 (Bundesgericht 2003).

Birke, M. (2018). *Leistungsprofil Baumwertermittlung (Methode Koch) ZierH (Ziergehölzhinweise)* [Informationsseite]. Baumwertermittlung nach „Methode Koch“. <https://www.baumsachverstand.de/40826/40853.html>

Blaser, J., Gardi, Oliver, Kern, Maren, Mack, Sophie, Wiedemar, Martina, & Remund, Jan. (2016). *Schlussbericht Urban Green & Climate Bern—Die Rolle und Bewirtschaftung von Bäumen in einer klimaangepassten Stadtentwicklung* [Schlussbericht]. Berner Fachhochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL.

Boegner, L. (2018). *Gehölzwertvermittlung zum Wert zweier Gehölze (Straßenbäume) als Grundstücksbestandteil nach dem Sachwertverfahren „Methode Koch* [Fachgutachten]. Büro Neumann Gusenburger. https://www.uvp-verbund.de/documents-ige-ng/igc_be/7C3F35BC-83D5-4373-893A-F74B44AD3510/GR-Gwe.pdf

Breloer, H. (2005). *Das Kastanienbaumurteil und andere Urteile zu Bäumen*. *LWF Wissen*, 48. <https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/w48-beitraege-zur-rosskastanie.pdf>

Breloer, H., & Schulz, H.-J. (2002). *Der Zinssatz von 4 % in der Gehölzwertermittlung*. *Agrarrecht, Ausgabe 5*. https://www.tree-consult.org/upload/mediapool/pdf/wertermittlung/schulz_breloer_gehoelzwert.pdf

- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S., & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change, Ausgabe 26*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378014000685>
- Fuss, K. (2010). *Gehölzwertermittlung in Österreich* [Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien]. https://abstracts.boku.ac.at/oe_list.php?paID=3&paSID=7963&paSF=-1&paCF=0&paLIST=0&language_id=DE
- Gehrig, R., König, N., & Scherrer, S. (2018). *Städtische Wärmeinseln in der Schweiz—Klimatologische Studie mit Messdaten in fünf Städten* (Fachbericht Meteo Schweiz Nr. 273). Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen/publikationen/berichte-und-bulletins/2018/staedtische-waermeinseln-in-der-schweiz-klimatologische-studie-mit-messdaten-in-fuenf-staedten.html>
- Heinrich, A., & Saluz, A. G. (2017). Lenkung der Baumwurzeln in Stadtbaums substraten. *Versuche in der Landespflege*, 22(1), 40–47. <https://doi.org/10.21256/zhaw-1459>
- Hötzel, H.-J., & Hund, F. (2001). *Aktualisierte Gehölzwerttabellen: Bäume und Sträucher als Grundstücksbestandteile an Strassen, in Parks und Gärten sowie in freier Landschaft. Einschliesslich Obstgehölze* (3. Auflage). VVW GmbH.
- Huser, D., Winkler, R., Fuchs, M., Gloor, S., Pfister, U., & Willuweit. (2021). *Ökosystemleistungen von Zürcher Stadtbäumen* [Fachbericht]. Grün Stadt Zürich.
- IPBES. (2018). *Regionales Assessment— Biologische Vielfalt und Ökosystemleistungen in Europa und Zentralasien* [Zusammenfassung]. BMUV, BMBF.
- IPCC. (2018). *1.5 °C globale Erwärmung—Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger* [Sonderbericht]. IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/07/SR1.5-SPM_de_barrierefrei.pdf
- i-Tree. (2022). *What is i-Tree*. itreetools.com. <https://www.itreetools.org/about>
- i-Tree Eco. (2022). *i-Tree Eco: Application Overview | i-Tree*. itreetools.com. <https://www.itreetools.org/tools/i-tree-eco/i-tree-eco-overview>
- Kowarik, I. (2016). *Ökosystemleistungen in der Stadt*. Naturkapital Deutschland - TEEB DE (Projekt).
- Kowarik, I., Bartz, R., & Brenck, M. (2016). *Ökosystemleistungen in der Stadt – Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen*. (Naturkapital Deutschland - TEEB DE) [Wissenschaftlicher Bericht]. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ. https://www.researchgate.net/publication/301688413_Okosystemleistungen_in_der_Stadt_-_Gesundheit_schutzen_und_Lebensqualität_erhohen
- Lüscher, U. (2022). *Lüscher Preisliste* [Preiskatalog]. Baumschulen Lüscher. <https://www.plapp.ch/php/index.php?owner=16733&Suche=aesculus%20hippo&page=detail&gattung=Aesculus&art=hippocastanum&sorte=&suche=aesculus%20hippo&merkmale=b>

- MA (Hrsg.). (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
- NCCS. (2018). *Beobachtete Klimaentwicklung in der Schweiz*. Beobachtete Klimaentwicklung in der Schweiz. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien/beobachtete-klimaentwicklung-in-der-schweiz.html>
- Niedermann-Meier, S., Mordini, M., Bütler, R., & Rotach, P. (2010). Habitatbäume im Wirtschaftswald: Ökologisches Potenzial und finanzielle Folgen für den Betrieb. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 161(10), S. 391-400.
- Nowak, D. J. (2020). *Understanding i-Tree: Summary of programs and methods* [Manuskript]. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. <https://www.nrs.fs.usda.gov/pubs/61514>
- Nowak, D. J., Maco, S., & Binkley, M. (2018). i-Tree: Global Tools to Assess Tree Benefits and Risks to Improve Forest Management. *Arboricultural Consultant*, 51(4). <https://www.itreetools.org/support/resources-overview/i-tree-international>
- Plesse, J. (2022, November 14). *Praktische Umsetzung der Methode Koch in Deutschland* [Mail an Reto Iten].
- Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E., & Rötzer, T. (2014). Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nature Communications*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/ncomms5967>
- Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E., Dahlhausen, J., Schütze, G., Perkins, D., Rötzer, T., Calden- tey, J., Koike, T., Con, T. van, Chavanne, A., Toit, B. du, Foster, K., & Lefer, B. (2017). Climate change accelerates growth of urban trees in metropolises worldwide. *Scientific Reports*, 7(1). <https://www.nature.com/articles/s41598-017-14831-w>
- Probst, T. (2010). *Der Ersatz „immateriellen Schadens“ im schweizerischen Haftpflicht- und Strassenverkehrsrecht*. 58.
- Roloff, A. (1993). *Kronenentwicklung und Vitalitätsbeurteilung ausgewählter Baumarten der gemäßigten Breiten* (Unveränd. Neuaufl.). Sauerländer.
- Roloff, A. (2013). *Bäume in der Stadt: Besonderheiten, Funktion, Nutzen, Arten, Risiken*. Verlag Eugen Ulmer.
- Roloff, A. (2018). *Vitalitätsbeurteilung von Bäumen: Aktueller Stand und Weiterentwicklung* (1. Aufl.). Haymarket Media.
- Roman, L. A., & Scatena, F. N. (2011). Street tree survival rates: Meta-analysis of previous studies and application to a field survey in Philadelphia, PA, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10(4), S. 269-274. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.05.008>
- Rötzer, T., Moser-Reischl, A., Pauleit, S., & Pretzsch, H. (2017). *Wachstum und Ökosystemleistungen von Stadtbäumen im Klimawandel*. Agrarwissenschaftliches Symposium, München. https://www.researchgate.net/publication/320622195_Wachstum_und_Okosystemleistungen_von_Stadtbäumen_im_Klimawandel

- Saluz, A. G. (2019). I-Tree – Ökosystemleistungen von Stadtbäumen. *TRANSFER*, 1, 12–13.
- Saluz, A. G., Zürcher, N., Bernasconi, A., Gubsch, M., Eggenberger, T., Stevanovic, S., & Schubert, L. (2021). *I-Tree – Bäume und Stadtwälder klimaangepasst managen* [Abschlussbericht]. BAFU. https://www.itreetools.org/documents/823/F-10_St%C3%A4dtische_B%C3%A4ume_und_W%C3%A4lder_klimaadaptiv_managen.pdf
- Schneider, L. (2020). *Potenzialflächen für Bäume im Straßenraum: Eine Analyse im Kreuzgassenviertel im Wien-Währing* [Thesis, Wien]. <https://repositum.tu-wien.at/handle/20.500.12708/16773>
- Schröder, H. (2022). *Gesetzlicher Rahmen für die Integration ausfallender ÖSL* [Mail an Reto Iten].
- Schulz, H.-J. (2002). *Richtlinie für die Wertermittlung von Schutz- und Gestaltungsgrün, Baumschulpflanzen und Dauerkulturen: Aus der Arbeit des RWA Gehölzwertermittlung. Schutz- und Gestaltungsgrün : aus der Arbeit des RWA Gehölzwertermittlung* (FLL, Hrsg.). FLL.
- Schwaiger, E., Berthold, A., Gaugitsch, H., Götzl, M., Milota, E., Mirtl, M., Peterseil, J., Sonderegger, G., & Stix, S. (2015). *Wirtschaftliche Bedeutung von Ökosystemleistungen* [Report]. Umweltbundesamt.
- Spangenberg, J. H., & Settele, J. (2010). Precisely incorrect? Monetising the value of ecosystem services. *Ecological Complexity*, 7(3). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1476945X10000267>
- Stadt Zürich. (2020). *Stadtbäume—Stadt Zürich*. stadt-zuerich.ch. <https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/natur-erleben/stadtbaeume.html>
- TEEB DE. (2015). *Naturkapital und Klimapolitik: Synergien und Konflikte* [Wissenschaftlicher Bericht]. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ.
- Thalmann, J. (2012). *Analyse des Potentials der Lebensraumqualität für vier Verdichtungsszenarien in Schlieren* [Masterarbeit]. Universität Zürich.
- von Grüningen, Kienast, F., Ott, W., & Cerny, N. (2013). *Ökosysteme und ihre Leistungen erfassen und räumlich darstellen* [Schlussbericht]. WSL, econcept. https://www.econcept.ch/media/projects/downloads/2018/01/Schlussbericht_Oekosysteme_Leistungen_erfassen_raeumlich-darstellen.pdf
- VSSG. (2022). *Richtlinie Schadenersatz Bäume – VSSG*. <https://www.vssg.ch/de/produkte/richtlinie-schadenersatz-baeume.html/94>
- VSSG, & BSB. (2018). *Richtlinie zur Schadenersatzberechnung von Bäumen*. Bund Schweizer Baumpflege & Vereinigung Schweizerischer Stadtgärtnereien und Gartenbauämter.
- Wäldchen, M. (2020). *Handreichung zur Einstufung der Vitalität von Bäumen* [Reflexionsbericht]. Baumzentrum. https://www.baumzentrum.de/images/content/_baumposter/kapitel04/BZ_Baumposter_Kapitel04-Einstufung-der-Vitalitaet-von-Baeumen.pdf

8. Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN UND IHRE AUSWIRKUNGEN AUF DAS MENSCHLICHE WOHLERGEHEN (MA, 2005)	11
ABBILDUNG 2: BÄUME ERBRINGEN VIELFÄLTIGE ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN. BEI EINEM SCHADEN WERDEN DIESE REDUZIERT (FUSS, 2010).	12
ABBILDUNG 3: WELTWEITE ANZAHL AN I-TREE NUTZERN IM JAHRE 2017 (NOWAK ET AL., 2018).....	14
ABBILDUNG 4: I-TREE ECO PROJEKTE IM JAHR 2017 (NOWAK ET AL., 2018)	14
ABBILDUNG 5: DIE ERBRACHTEN LEISTUNGEN DER BÄUME AUS DEM PROJEKT "F.10" (SALUZ ET AL., 2021).....	15
ABBILDUNG 6: ARBEITSABLAUF ZUR ERSTELLUNG DES BERECHNUNGSTOOLS.....	20
ABBILDUNG 7: WERTZUNAHME DER JÄHRLICH ERBRACHTEN ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN DER VERSCHIEDENEN BAUMARTEN ÜBER DIE ZEIT. DIE X-ACHSE STELLT DAS ALTER DAR, DIE Y-ACHSE DIE WERTLEISTUNG.	27
ABBILDUNG 8: DIE BONITIERTEN STRASSENBÄUME BEFINDEN SICH ENTLANG DES MYTHENQUAIS IN ZÜRICH (GEO.ADMIN.CH, 2022, BEARBEITET)	30
ABBILDUNG 9: BEISPIEL EINER SCHADENERSATZBERECHNUNG BEI EINER <i>AESCULUS HIPPOCASTANUM</i> GEMÄSS DEM BERECHNUNGSTOOL «SCHADENERSATZBERECHNUNG AUSFALLENDER ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN_ITEN & HERTIG 2022»	35
ABBILDUNG 10: DIE KASTANIE EN-365 IN ZÜRICH	41
ABBILDUNG 11: BEISPIEL EINER BERECHNUNG EINES SCHADENERSATZES BEI EINEM TOTALSCHADEN AN EINER <i>AESCULUS HIPPOCASTANUM</i> GEMÄSS DEM BERECHNUNGSTOOL «SCHADENERSATZBERECHNUNG AUSFALLENDER ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN_ITEN & HERTIG 2022».....	42
ABBILDUNG 12: DER LEITFADEN GIBT DEN ABLAUF BEI EINEM SCHADENSFALL VOR	47
ABBILDUNG 13: ENTWICKLUNG DER BAUMHÖHE UND DES KRONENDURCHMESSERS VON PLATANEN, ROBINIEN UND WINTERLINDEN IN BAYERN AN VERSCHIEDENEN STANDORTEN (RÖTZER ET AL., 2017)	53
ABBILDUNG 14: DER SCHADENERSATZ FÜR EINE 150-JÄHRIGE LINDE SCHNELLT DURCH DIE VERZINSUNG VON CA. 4'800.- AUF ÜBER 67'000.- HOCH.	55

9. Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: DIE JÄHRLICHE WERTLEISTUNG DER 16 BAUMARTEN. JEDE BAUMART WIRD ZWEIMAL AUFGEFÜHRT, DAS ERSTE MAL IM ZUSTAND DER ERSATZPFLANZUNG (WEISS), DAS ZWEITE MAL IM OPTIMALZUSTAND (BLAU). DER OPTIMALZUSTAND ENTSpricht DABEI DER MAXIMALEN WERTLEISTUNG EINER BAUMART.	24
TABELLE 2: ALTER UND STAMMUMFANG DER 16 ERSATZBAUMARTEN (WEISS) SOWIE DER BAUMARTEN IM OPTIMALZUSTAND (BLAU). DAS ALTER IM OPTIMALZUSTAND WURDE AUSGEHEND VOM ALTER, DER HÖHE UND DER ZUWACHSRATE DER ERSATZBAUMARTEN ERRECHNET. DER STAMMUMFANG DER BÄUME IM OPTIMALZUSTAND KONNTE DURCH DAS TOOL VON BAUMSICHT.DE ERRECHNET WERDEN.	26
TABELLE 3: MONETÄRE WERTLEISTUNGEN DER BONITIERTEN BÄUME IM "IST-ZUSTAND"	32
TABELLE 4: DIE FIKTIVEN SCHÄDIGUNGEN (ROTE SCHRIFT) WURDEN AN SIEBEN AUSGEWÄHLTEN BÄUMEN (WEISS) AUS DER BONITUR VOM MYTHENQUAI Vorgenommen. DIE BÄUME MIT DEN FIKTIVEN SCHÄDEN (BLAU) WEISEN AUFGRUND DEN «SCHÄDIGUNGEN» EINE GERINGERE WERTLEISTUNG AUF ALS DIE BONITIERTEN BÄUME AUS ZÜRICH (WEISS).	33
TABELLE 5: DAS BAUMALTER DER SIEBEN AUSGEWÄHLTEN BÄUME AUS DER BONITUR VOM MYTHENQUAI.	34
TABELLE 6: TEILSCHADEN (ASTBRUCH) AN <i>AESCULUS HIPPOCASTANUM</i> EN-365	36
TABELLE 7: TEILSCHADEN (WURZELVERLETZUNG) AN <i>AESCULUS HIPPOCASTANUM</i> EN-365	36
TABELLE 8: TEILSCHADEN (ASTBRUCH) AN <i>AESCULUS HIPPOCASTANUM</i> EN-368	37
TABELLE 9: TEILSCHADEN (WURZELVERLETZUNG) AN <i>AESCULUS HIPPOCASTANUM</i> EN-368	37
TABELLE 10: TEILSCHADEN (ASTBRUCH) AN <i>QUERCUS ROBUR</i> 'FASTIGIATA' EN-1256	37
TABELLE 11: TEILSCHADEN (WURZELVERLETZUNG) AN <i>QUERCUS ROBUR</i> 'FASTIGIATA' EN-1256	38
TABELLE 12: TEILSCHADEN (ASTBRUCH) AN <i>TILIA X EUROPAEA</i> EN-6338	38
TABELLE 13: TEILSCHADEN (WURZELVERLETZUNG) AN <i>TILIA X EUROPAEA</i> EN-6338	38
TABELLE 14: TEILSCHADEN (ASTBRUCH) AN <i>POPULUS X CANADENSIS</i> EN-4041	39
TABELLE 15: TEILSCHADEN (WURZELVERLETZUNG) AN <i>POPULUS X CANADENSIS</i> EN-4041	39
TABELLE 16: TEILSCHADEN (ASTBRUCH) AN <i>ACER CAPPADOCICUM</i> EN-553	39
TABELLE 17: TEILSCHADEN (WURZELVERLETZUNG) AN <i>ACER CAPPADOCICUM</i> EN-553	40
TABELLE 18: TEILSCHADEN (ASTBRUCH) AN <i>CATALPA BIGNONIOIDES</i> EN-553	40
TABELLE 19: TEILSCHADEN (WURZELVERLETZUNG) AN <i>CATALPA BIGNONIOIDES</i> EN-553	40
TABELLE 20: TOTALSCHADEN AN <i>AESCULUS HIPPOCASTANUM</i> EN-365	43
TABELLE 21: TOTALSCHADEN AN <i>AESCULUS HIPPOCASTANUM</i> EN-368	43
TABELLE 22: TOTALSCHADEN AN <i>QUERCUS ROBUR</i> 'FASTIGIATA' EN-1256	44
TABELLE 23: DAS BAUMALTER VON <i>TILIA X EUROPAEA</i> EN-6338 LIEGT UNTER DEM ALTER DER GRÖSSTMÖGLICHEN ERSATZPFLANZUNG. DAS BEDEUTET, DIE PFLANZE KANN DIREKT DURCH EINE NATURALRESTITUTION ERSETZT WERDEN. DADURCH LIEGT KEIN SCHADEN VOR.	44
TABELLE 24: TOTALSCHADEN AN <i>POPULUS CANADENSIS</i> EN-4041	45
TABELLE 25: TOTALSCHADEN AN <i>ACER CAPPADOCICUM</i> EN-553	45
TABELLE 26: TOTALSCHADEN AN <i>CATALPA BIGNONIOIDES</i> EN-511	46

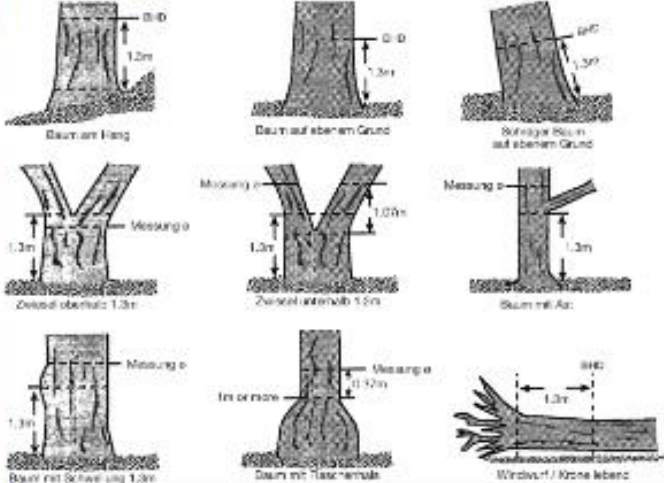
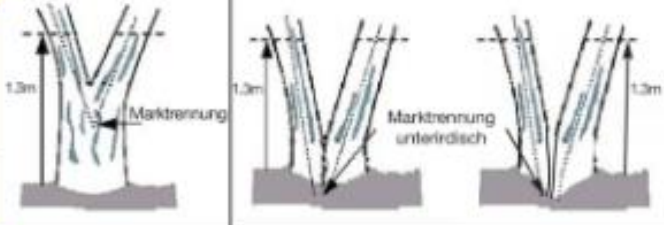



Anhang A: Feldleitfaden für i-Tree




iTree Eco – Feldleitfaden für Vollinventuren*

Was ist ein Baum?
 Welche Gehölze werden wann gemessen?
 Bei Vollinventuren werden nur Gehölze von Baumart gemessen, die einen BHD $\geq 2.54\text{cm}$ aufweisen.
 Straucharten werden nicht gemessen.

Straßenbaum [Street Tree]
 Ein Straßenbaum ist üblicherweise ein an öffentlichen Wegen gepflanzter Baum,
 der sich entlang von Strassen zwischen Bordstein und Infrastrukturen befindet.

* März 2021
 Parameter gemäss i-Tree Eco Benutzer- und Feldhandbuch, Version 6

<p>BHD-Messung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Höhe des BHD [height DBH] Angabe der BHD-Messhöhe; nach Möglichkeit wird auf 1.3m gemessen • Messung Der BDH wird mittels Kreuzmessung erfasst und die Werte gemittelt; alternativ kann ein BDH-Messband benutzt werden. • Spezialfälle in der Abbildung. 	
<p>Mehrstämmige Bäume [multi-stem trees]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liegt der Punkt der Marktrennung über dem Boden (Abb. links), wird die Pflanze als ein einziger Baum betrachtet. Der BHD jedes einzelnen Stammes (max. 6) wird separat gemessen; • Liegt der Punkt der Marktrennung unter dem Boden (Abb. Mitte und rechts), wird jeder Stamm als ein separater Baum betrachtet. 	
<p>Gesamtbaumhöhe [Total tree height] Gemessen ab Boden bis zur Baumspitze (lebend oder tot) = Oberkante von Y in der Abbildung.</p>	
<p>Lebende Baumhöhe [Live tree height] Gemessen ab Boden bis zum Ende der lebenden Kronenspitze = Oberkante von X in der Abbildung. Die Summe der Höhe von Kronenansatz und lebender Krone (Linie X in Abbildung) ergibt die Höhe des lebenden Baumes.</p>	
<p>Kronenansatz [Crown base height] Höhe ab Boden bis zum lebenden Kronenansatz; gemessen auf Höhe des grünen Laubes. Reiterationstrieb / Klebäste: Werden nicht einbezogen, sofern sie sich unterhalb des eigentlichen Kronenansatzes befinden.</p>	

Betrachtung der Krone

Für die Messung der Kronenparameter ist eine Betrachtung der Krone erforderlich, wie sie in der Abbildung dargestellt ist.



Kronenbreite [Crown width]

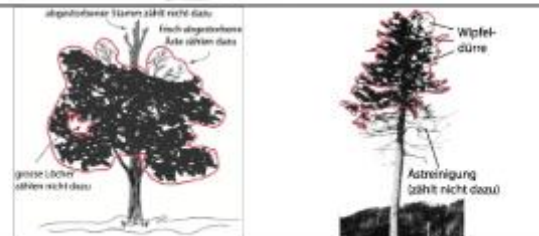
Messung der lebenden Kronenbreite in zwei Richtungen (auf 0.1 m genau):

- Nord-Süd (N-S) und Ost-West (O-W)
- Tote Bäume erhalten - 1.



Wipfeldürre % [Crown Health / dieback %]

Totastanteil im oberen und äusseren Teil der lebenden Krone (ohne natürliche Astreinigung durch eigene Kronenkonzurrenz oder eigene Beschattung des unteren Kronenbereiches) inkl. Beschattungseffekte durch andere Bäume oder Gebäude.

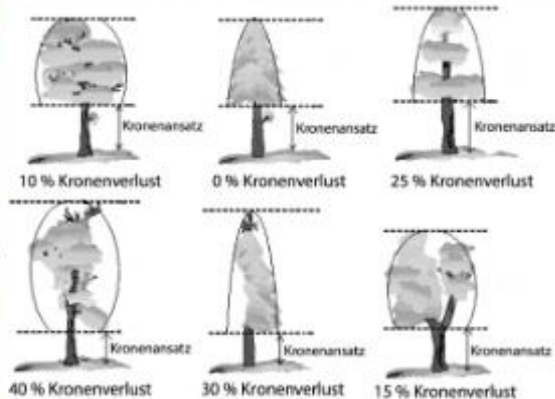


Kronenverlust % / Fehlender Kronenteil [Crown % missing]

• Messen Sie den Prozentsatz des gesamten Kronenvolumens, der nicht von Ästen und Blättern besetzt ist (siehe Abbildung 'Betrachtung der Krone')

• Visualisieren Sie den Kronenumriss der Baumart, als wäre er in ausgezeichnetem Zustand und zwar basierend auf den Messungen der Gesamtbaumhöhe, der lebenden Krone und der Höhe des Kronenansatzes. Schätzen sie den Prozentsatz des Kronenverlustes, der durch Baumschnittmassnahmen, Wipfeldürre, Nadel- oder Blattverluste, ungleichmässige Krone oder Blattanomalien verursacht ist. Normale innere Kronenlöcher aufgrund der Selbstbeschattung werden nicht gezählt.

• Reduzieren Sie den prozentualen Kronenverlust um jenen Anteil der Reiterationtriebe, der sich unterhalb der lebenden Krone befindet.

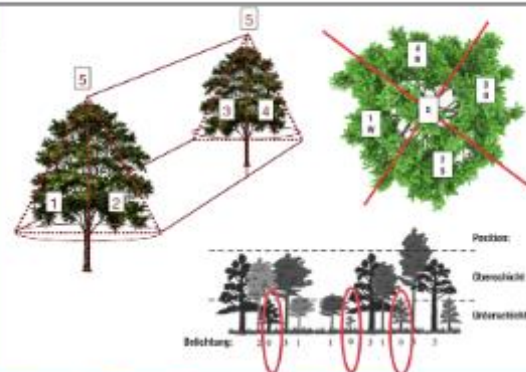


Lichtexposition Krone [CLE]

Anzahl der Seiten der Baumkrone, die bei senkrechtem Sonnenstand direktes Licht von oben oder der Seite empfangen (maximal 5).

Teilweise belichtete Segmente werden NICHT gezählt, wenn die zu messende Baumseite:

- durch Objekte oder andere Bäume (z.B. im Wald) überragt wird
- innerhalb der Kronenbreite an Gebäude grenzt und nicht grösser als diese ist.



Richtung und Entfernung zu Gebäuden [Building direction & distance] werden erfasst, für:

Erfassen Sie, ob der zu messende Baum diese Bedingungen erfüllt:

- Baumhöhe: $\geq 6.1\text{m}$; Gebäudehöhe: ≤ 3 Stockwerke / Etagen
- Gebäude ist innerhalb von 18.3m zu dem gemessenen Baum, heizbar und / oder klimatisiert; Wohnhäuser (Mehrfamilienhäuser werden als ein Gebäude behandelt)

Anhang B: Baumbonitur «Ersatzbaumarten und Optimalzustand»

User ID	TREE SPECIES	DATE	STATUS	STRATUM	LAND USE	AGE	DBH HEIGHT	DBH (cm)	TOTAL HEIGHT	CROWN (LIVE) TOP HEIGHT	CROWN BASE HEIGHT	CROWN WIDTH N-S	CROWN WIDTH E-W	CROWN % DIEBACK	CROWN % MISSING	CLE CROWN LIGHT EXP.	STREET TREE?	PUBLIC?	Zuwachsrate
1.1	Acer platanoides	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	19	1.3	55	8	8	3	3.5	3.5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.75
1.2	Acer platanoides	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	42	1.3	121	25	25	3	12	12	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
2.1	Platanus x hispanica	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	20	1.3	55	8	8	3	3.5	3.5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.6
2.2	Platanus x hispanica	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	57	1.3	154	30	30	3	20	20	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
3.1	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	16	1.3	55	6	6	3	3.5	3.5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.38
3.2	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	66	1.3	235	25	25	3	15	15	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
4.1	Robinia pseudoacacia	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	18	1.3	55	8	8	3	3.5	3.5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.5
4.2	Robinia pseudoacacia	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	42	1.3	120	20	20	3	9	9	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
5.1	Tilia x europaea	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	26	1.3	55	6	6	3	3.5	3.5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.3
5.2	Tilia x europaea	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	106	1.3	223	30	30	3	15	15	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
6.1	Betula pendula	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	21	1.3	55	8	8	3	5	5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.5
6.2	Betula pendula	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	55	1.3	90	25	25	3	7	7	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
7.1	Acer campestre	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	17	1.3	55	6	6	3	3.5	3.5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.33
7.2	Acer campestre	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	35	1.3	100	12	12	3	10	10	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
8.1	Tilia cordata	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	26	1.3	55	6	6	3	3.5	3.5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.3
8.2	Tilia cordata	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	106	1.3	223	30	30	3	20	20	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
9.1	Populus nigra 'Italica'	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	20	1.3	45	8	8	3	2.5	2.5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.65
9.2	Populus nigra 'Italica'	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	46	1.3	124	25	25	3	5	5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
10.1	Populus x canadensis	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	16	1.3	35	6	6	3	1.75	1.75	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.55
10.2	Populus x canadensis	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	69	1.3	187	35	35	3	20	20	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
11.1	Styphnolobium japonicum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	26	1.3	55	6	6	3	3.5	3.5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.45
11.2	Styphnolobium japonicum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	57	1.3	183	20	20	3	15	15	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
12.1	Quercus robur	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	25	1.3	55	8	8	3	5	5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.3
12.2	Quercus robur	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	98	1.3	216	30	30	3	25	25	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
13.1	Quercus robur 'Fastigiata'	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	25	1.3	55	8	8	3	1.0	1.0	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.3
13.2	Quercus robur 'Fastigiata'	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	98	1.3	216	30	30	3	5	5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
14.1	Acer cappadocicum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	19	1.3	55	7	7	3	3.0	3.0	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.35
14.2	Acer cappadocicum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	33	1.3	95	12	12	3	8	8	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
15.1	Catalpa bignonioides	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	20	1.3	55	6	6	3	3.5	3.5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.15
15.2	Catalpa bignonioides	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	47	1.3	91	10	10	3	6	6	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	
16.1	Acer pseudoplatanu	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	19	1.3	55	8	8	3	3.5	3.5	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	0.7
16.2	Acer pseudoplatanu	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	50	1.3	145	30	30	3	15	15	0%	0% 5 Sides	Yes	Yes	Yes	

Anhang C: Ökosystemleistungen «Ersatzbaumarten und Optimalzustand»

Tree ID	Species Name	DBH (cm)	Replacement Value (SwF)	Carbon Storage (kg)	Carbon Storage (SwF)	Annual benefits								Total Annual Benefits (SwF/yr)	
						Gross Carbon Sequestration		Avoided Runoff		Carbon Avoided		Pollution Removal			Energy Savings
						(kg/yr)	(SwF/yr)	(m³/yr)	(SwF/yr)	(kg/yr)	(SwF/yr)	(g/yr)	(SwF/yr)	(SwF/yr)	
1	Acer platanoides	55.0	5'810.68	800.0	149.21	51.5	9.61	0.1	0.28	N/A	N/A	42.8	2.13	N/A	12.03
2	Acer platanoides	121.0	21'690.64	5'304.8	989.34	3.1	0.58	4.9	10.92	N/A	N/A	1'642.6	81.80	N/A	93.30
3	Platanus x hybrida	55.0	6'050.77	547.3	102.06	28.6	5.33	0.1	0.27	N/A	N/A	40.9	2.04	N/A	7.64
4	Platanus x hybrida	154.0	29'229.41	6'225.8	1'161.09	1.9	0.36	9.2	20.58	N/A	N/A	3'095.5	154.15	N/A	175.09
5	Aesculus hippocastanum	55.0	5'410.53	858.1	160.03	45.7	8.52	0.1	0.20	N/A	N/A	29.9	1.49	N/A	10.21
6	Aesculus hippocastanum	235.0	33'609.28	7'500.0	1'398.74	8.1	1.52	5.9	13.14	N/A	N/A	1'976.2	98.41	N/A	113.07
7	Robinia pseudoacacia	55.0	3'970.00	728.6	135.88	50.1	9.34	0.1	0.20	N/A	N/A	30.1	1.50	N/A	11.04
8	Robinia pseudoacacia	120.0	14'091.32	3'837.6	715.71	33.1	6.16	2.0	4.43	N/A	N/A	666.7	33.20	N/A	43.80
9	Tilia x europaea	55.0	6'664.33	1'592.1	296.92	79.3	14.78	0.1	0.19	N/A	N/A	28.9	1.44	N/A	16.42
10	Tilia x europaea	223.0	41'510.67	7'500.0	1'398.74	8.1	1.52	7.5	16.83	N/A	N/A	2'531.0	126.04	N/A	144.39
11	Betula pendula	55.0	5'250.47	960.4	179.12	65.9	12.28	0.2	0.43	N/A	N/A	64.9	3.23	N/A	15.95
12	Betula pendula	90.0	12'815.09	3'252.9	606.66	135.1	25.20	1.3	2.96	N/A	N/A	444.7	22.14	N/A	50.30
13	Acer campestre	55.0	6'050.77	776.6	144.84	0.6	0.11	0.1	0.17	N/A	N/A	25.0	1.25	N/A	1.52
14	Acer campestre	100.0	17'584.54	3'187.5	594.46	1.3	0.24	1.3	2.85	N/A	N/A	428.6	21.34	N/A	24.43
15	Tilia cordata	55.0	7'091.16	668.7	124.71	33.3	6.21	0.1	0.19	N/A	N/A	29.0	1.45	N/A	7.85
16	Tilia cordata	223.0	44'393.63	7'500.0	1'398.74	8.1	1.52	9.2	20.58	N/A	N/A	3'095.5	154.15	N/A	176.25
17	Populus nigra v. italica	45.0	2'364.63	1'160.6	216.44	74.7	13.93	0.1	0.13	N/A	N/A	19.1	0.95	N/A	15.01
18	Populus nigra v. italica	124.0	11'755.57	7'500.0	1'398.74	16.8	3.13	0.7	1.60	N/A	N/A	241.0	12.00	N/A	16.74
19	Populus x canadensis	35.0	1'622.71	217.7	40.59	23.8	4.43	0.0	0.05	N/A	N/A	7.1	0.36	N/A	4.84
20	Populus x canadensis	187.0	16'844.79	7'500.0	1'398.74	8.1	1.52	10.4	23.35	N/A	N/A	3'511.5	174.87	N/A	199.73
21	Styphnolobium japonicum	55.0	5'552.20	1'087.4	202.80	57.1	10.65	0.1	0.12	N/A	N/A	18.7	0.93	N/A	11.70
22	Styphnolobium japonicum	183.0	30'551.07	7'500.0	1'398.74	8.1	1.52	2.8	6.26	N/A	N/A	941.1	46.86	N/A	54.64
23	Quercus robur	55.0	7'011.13	752.6	140.36	41.3	7.70	0.2	0.38	N/A	N/A	57.4	2.86	N/A	10.94
24	Quercus robur	216.0	43'287.54	6'411.7	1'195.76	0.9	0.16	7.8	17.51	N/A	N/A	2'632.9	131.11	N/A	148.78
25	Quercus robur	55.0	7'011.13	752.6	140.36	41.3	7.70	0.0	0.03	N/A	N/A	3.8	0.19	N/A	7.91
26	Quercus robur	216.0	43'287.54	6'411.7	1'195.76	0.9	0.16	0.8	1.82	N/A	N/A	273.5	13.62	N/A	15.60
27	Acer cappadocicum	55.0	5'840.69	1'516.3	282.79	2.1	0.40	0.1	0.16	N/A	N/A	24.3	1.21	N/A	1.77
28	Acer cappadocicum	95.0	15'667.30	5'475.7	1'021.22	4.4	0.82	1.0	2.28	N/A	N/A	342.2	17.04	N/A	20.13
29	Catalpa bignonioides	55.0	4'370.14	346.6	64.64	22.1	4.13	0.1	0.16	N/A	N/A	23.7	1.18	N/A	5.47
30	Catalpa bignonioides	91.0	10'689.23	1'117.3	208.37	43.0	8.01	0.5	1.05	N/A	N/A	157.9	7.87	N/A	16.93
31	Acer pseudoplatanus	55.0	5'570.59	784.7	146.34	38.6	7.20	0.1	0.25	N/A	N/A	38.3	1.91	N/A	9.36
32	Acer pseudoplatanus	145.0	25'227.85	6'860.8	1'279.52	1.3	0.23	7.1	15.95	N/A	N/A	2'398.9	119.46	N/A	135.65
Total			497'877	106'636	19'887	938	175	74	165	N/A	N/A	24'864	1'238	N/A	1'578

Anhang D: Baumbonitur Mythenquai

User ID	TREE SPECIES	DATE	STATUS	STRATUM	LAND USE	DBH HEIGHT	DBH (cm)	TOTAL HEIGHT	CROWN (LIVE) TOP HEIGHT	CROWN BASE HEIGHT	CROWN WIDTH N-S	CROWN WIDTH E-W	CROWN % DIEBACK	CROWN % MISSING	CLE CROWN LIGHT EXP.	STREET TREE?	PUBLIC?
363	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	162	7.5	7.3	3.15	10.5	9.6	20% - 25%	40% - 45%	4 Sides	Yes	Yes
365	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	73	7.3	7.3	2.05	8.45	6.75	0%	20% - 25%	3 Sides	Yes	Yes
1612	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	62	7.4	7.4	3.6	5.05	6.2	0%	5% - 10%	4 Sides	Yes	Yes
368	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	158	11.2	11.2	2.8	11.3	10.1	1% - 5%	65% - 70%	5 Sides	Yes	Yes
1613	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	96	9.8	9.8	4.3	8.1	7.4	0%	30% - 35%	2 Sides	Yes	Yes
373	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	203	15	15	3.4	13.2	10.5	1% - 5%	15% - 20%	5 Sides	Yes	Yes
1256	Quercus robur	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	76	17.5	17.5	2.45	4.8	4.5	10% - 15%	15% - 20%	5 Sides	Yes	Yes
6345	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	46	5.7	5.7	2.5	4.45	3.2	0%	10% - 15%	5 Sides	Yes	Yes
448	Quercus robur	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	85	21	21	2.95	4.8	4.15	0%	45% - 50%	2 Sides	Yes	Yes
455	Quercus robur	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	82	18.5	18.5	0.4	4.7	4.2	0%	35% - 40%	3 Sides	Yes	Yes
6338	Tilia x europaea	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	40	6.3	6.3	2.65	3.4	3.65	1% - 5%	10% - 15%	5 Sides	Yes	Yes
474	Quercus robur	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	76	21.5	21.5	0.7	4.3	4.1	1% - 5%	10% - 15%	4 Sides	Yes	Yes
4041	Populus x canadensis	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	416	24	24	2.9	22	23	1% - 5%	5% - 10%	5 Sides	Yes	Yes
554	Populus x canadensis	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	421	23	23	4.4	25	21	1% - 5%	35% - 40%	5 Sides	Yes	Yes
553	Acer cappadocicum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	101	9.5	9.2	2.9	3.6	5.8	10% - 15%	40% - 45%	4 Sides	Yes	Yes
552	Acer cappadocicum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	126	10.2	10.2	2.95	9.3	9.6	0%	10% - 15%	5 Sides	Yes	Yes
511	Catalpa bignonioides	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	138	10.8	10.8	4.15	11.9	9.8	5% - 10%	60% - 65%	4 Sides	Yes	Yes
510	Catalpa bignonioides	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	116	9.6	9.6	1.8	10.1	10.8	5% - 10%	65% - 70%	4 Sides	Yes	Yes
512	Acer pseudoplatanus	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	135	14.3	14.3	2.2	8.7	8.1	5% - 10%	10% - 15%	5 Sides	Yes	Yes
581	Taxus baccata	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	124	11.4	11.4	0	5.8	6.55	0%	40% - 45%	2 Sides	Yes	Yes

Anhang E: Ökosystemleistungen «IST-Zustand»

Benefits and Costs Summary of Individual Trees

Location: Zurich, Zurich, Schweiz/Suisse/Svizzera, Switzerland

Project: itree BA, Series: itree BA 1, Year: 2022

Generated: 01.11.2022



Tree ID	Species Name	DBH (cm)	Replacement Value (SwF)	Carbon Storage (kg) (SwF)		Annual benefits								Total Annual Benefits (SwF/yr)	
						Gross Carbon Sequestration (kg/yr) (SwF/yr)		Avoided Runoff (m³/yr) (SwF/yr)		Carbon Avoided (kg/yr) (SwF/yr)		Pollution Removal (g/yr) (SwF/yr)			Energy Savings (SwF/yr)
1	Aesculus hippocastanum	162.0	20'818.32	6'739.4	1'256.89	0.6	0.11	1.2	2.62	N/A	N/A	420.9	16.70	N/A	19.43
2	Aesculus hippocastanum	73.0	9'197.04	2'183.4	407.21	48.9	9.13	0.9	2.05	N/A	N/A	328.5	13.04	N/A	24.21
3	Aesculus hippocastanum	62.0	6'756.52	1'165.9	217.43	54.9	10.25	0.4	1.00	N/A	N/A	161.1	6.39	N/A	17.64
4	Aesculus hippocastanum	158.0	25'666.92	6'621.8	1'234.96	0.7	0.14	0.9	1.95	N/A	N/A	312.7	12.41	N/A	14.49
5	Aesculus hippocastanum	96.0	14'663.66	4'139.8	772.07	37.0	6.90	0.9	2.10	N/A	N/A	336.5	13.35	N/A	22.34
6	Aesculus hippocastanum	203.0	30'698.45	7'500.0	1'398.74	8.1	1.52	2.4	5.37	N/A	N/A	862.2	34.21	N/A	41.10
7	Quercus robur	76.0	11'344.19	1'435.4	267.71	49.4	9.21	0.7	1.58	N/A	N/A	253.9	10.07	N/A	20.87
8	Aesculus hippocastanum	46.0	3'916.64	550.5	102.66	35.0	6.53	0.2	0.35	N/A	N/A	56.6	2.25	N/A	9.12
9	Quercus robur	85.0	15'807.39	2'243.9	418.48	44.4	8.29	0.4	0.97	N/A	N/A	155.1	6.16	N/A	15.41
10	Quercus robur	82.0	14'802.34	2'088.4	389.49	42.9	7.99	0.5	1.12	N/A	N/A	180.6	7.17	N/A	16.29
11	Tilia x europaea	40.0	3'599.59	751.3	140.12	50.1	9.35	0.1	0.31	N/A	N/A	49.5	1.96	N/A	11.62
12	Quercus robur	76.0	12'648.12	1'435.4	267.71	55.1	10.28	0.6	1.37	N/A	N/A	219.8	8.72	N/A	20.37
13	Populus x canadensis	416.0	18'483.62	7'500.0	1'398.74	8.1	1.52	7.5	16.74	N/A	N/A	2'688.0	106.66	N/A	124.91
14	Populus x canadensis	421.0	18'483.62	7'500.0	1'398.74	8.1	1.52	3.6	8.19	N/A	N/A	1'315.2	52.19	N/A	61.89
15	Acer cappadocicum	101.0	14'944.01	6'117.6	1'140.91	4.0	0.75	0.3	0.71	N/A	N/A	114.5	4.55	N/A	6.01
16	Acer cappadocicum	126.0	22'875.61	7'500.0	1'398.74	8.1	1.52	1.8	4.03	N/A	N/A	646.9	25.67	N/A	31.21
17	Catalpa bignonioides	138.0	16'872.56	2'651.5	494.49	4.1	0.76	0.8	1.85	N/A	N/A	297.6	11.81	N/A	14.42
18	Catalpa bignonioides	116.0	13'855.81	1'922.2	358.48	28.0	5.21	0.7	1.55	N/A	N/A	248.5	9.86	N/A	16.62
19	Acer pseudoplatanus	135.0	21'574.00	5'559.1	1'036.77	9.0	1.67	2.5	5.72	N/A	N/A	919.2	36.47	N/A	43.87
20	Taxus baccata	124.0	21'950.53	4'580.6	854.28	0.8	0.15	1.0	2.36	N/A	N/A	378.6	15.02	N/A	17.53
Total			318'959	80'186	14'955	497	93	28	62	N/A	N/A	9'946	395	N/A	549

Anhang F: Baumbonitur «Schadensfall»

User ID	TREE SPECIES	DATE	STATUS	STRATUM	LAND USE	DBH HEIGHT	DBH (cm)	TOTAL HEIGHT	CROWN (LIVE) TOP HEIGHT	CROWN BASE HEIGHT	CROWN WIDTH N-S	CROWN WIDTH E-W	CROWN % DIEBACK	CROWN % MISSING	CLE CROWN LIGHT EXP.	STREET TREE?	PUBLIC?	Änderung
365	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	73	7.3	7.3	2.05	8.45	6.75	0%	20% - 25%	3 Sides	Yes	Yes	original
365.1	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	73	7.3	7.3	2.05	8.45	3.5	0%	55% - 60%	3 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: grosser Seitenast zerstört -> geringere Kronenbreite, höherer Anteil an Kronenverlust
365.2	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	73	7.3	7.3	2.05	8.45	6.75	10% - 15%	30% - 35%	3 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: Wurzelverletzung -> einzelne Äste abgestorben, Rückgang der Krone
368	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	158	11.2	11.2	2.8	11.3	10.1	1% - 5%	65% - 70%	5 Sides	Yes	Yes	original
368.1	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	158	11.2	11.2	2.8	11.3	6.5	1% - 5%	85% - 90%	5 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: grosser Seitenast zerstört -> geringere Kronenbreite, höherer Anteil an Kronenverlust
368.2	Aesculus hippocastanum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	158	11.2	11.2	2.8	11.3	10.1	10% - 15%	75% - 80%	5 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: Wurzelverletzung -> einzelne Äste abgestorben, Rückgang der Krone
1256	Quercus robur	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	76	17.5	17.5	2.45	4.8	4.5	10% - 15%	15% - 20%	5 Sides	Yes	Yes	original
1256.1	Quercus robur	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	76	17.5	17.5	2.45	4.8	2.5	10% - 15%	45% - 50%	5 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: grosser Seitenast zerstört -> geringere Kronenbreite, höherer Anteil an Kronenverlust
1256.2	Quercus robur	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	76	17.5	17.5	2.45	4.8	4.5	20% - 25%	25% - 30%	5 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: Wurzelverletzung -> einzelne Äste abgestorben, Rückgang der Krone
6338	Tilia x europaea	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	40	6.3	6.3	2.65	3.4	3.65	1% - 5%	10% - 15%	5 Sides	Yes	Yes	original
6338.1	Tilia x europaea	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	40	6.3	6.3	2.65	3.4	2.5	1% - 5%	45% - 50%	5 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: grosser Seitenast zerstört -> geringere Kronenbreite, höherer Anteil an Kronenverlust
6338.2	Tilia x europaea	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	40	6.3	6.3	2.65	3.4	3.65	10% - 15%	20% - 25%	5 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: Wurzelverletzung -> einzelne Äste abgestorben, Rückgang der Krone
4041	Populus x canadensis	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	416	24	24	2.9	22	23	1% - 5%	5% - 10%	5 Sides	Yes	Yes	original
4041.1	Populus x canadensis	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	416	24	24	2.9	22	15	1% - 5%	35% - 40%	5 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: grosser Seitenast zerstört -> geringere Kronenbreite, höherer Anteil an Kronenverlust
4041.2	Populus x canadensis	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	416	24	24	2.9	22	23	10% - 15%	15% - 20%	5 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: Wurzelverletzung -> einzelne Äste abgestorben, Rückgang der Krone
553	Acer cappadocicum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	101	9.5	9.2	2.9	3.6	5.8	10% - 15%	40% - 45%	4 Sides	Yes	Yes	original
553.1	Acer cappadocicum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	101	9.5	9.2	2.9	3.6	3.5	10% - 15%	65% - 70%	4 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: grosser Seitenast zerstört -> geringere Kronenbreite, höherer Anteil an Kronenverlust
553.2	Acer cappadocicum	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	101	9.5	9.2	2.9	3.6	5.8	20% - 25%	50% - 55%	4 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: Wurzelverletzung -> einzelne Äste abgestorben, Rückgang der Krone
511	Catalpa bignonioides	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	138	10.8	10.8	4.15	11.9	9.8	5% - 10%	60% - 65%	4 Sides	Yes	Yes	original
511.1	Catalpa bignonioides	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	138	10.8	10.8	4.15	11.9	5.5	5% - 10%	75% - 80%	4 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: grosser Seitenast zerstört -> geringere Kronenbreite, höherer Anteil an Kronenverlust
511.2	Catalpa bignonioides	23.09.2022	Pflanzung	Strasse	Gewerbe / Industrie	1.3	138	10.8	10.8	4.15	11.9	9.8	15% - 20%	70% - 75%	4 Sides	Yes	Yes	Teilschaden: Wurzelverletzung -> einzelne Äste abgestorben, Rückgang der Krone

Anhang G: Ökosystemleistungen «Schadensfall»

Benefits and Costs Summary of Individual Trees

Location: Zurich, Zurich, Schweiz/Suisse/Svizzera, Switzerland

Project: fiktiv, Series: fiktiv, Year: 2022

Generated: 20.12.2022



Tree ID	Species Name	DBH (cm)	Replacement Value (SwF)	Carbon Storage (kg)	Carbon Storage (SwF)	Annual benefits									Total Annual Benefits (SwF/yr)
						Gross Carbon Sequestration		Avoided Runoff		Carbon Avoided		Pollution Removal		Energy Savings	
						(kg/yr)	(SwF/yr)	(m ³ /yr)	(SwF/yr)	(kg/yr)	(SwF/yr)	(g/yr)	(SwF/yr)	(SwF/yr)	
1	Aesculus hippocastanum	162.0	27'036.78	6'739.4	1'256.89	0.7	0.14	1.5	3.34	N/A	N/A	573.5	21.22	N/A	24.70
2	Aesculus hippocastanum	162.0	27'036.78	6'739.4	1'256.89	0.7	0.14	0.4	0.89	N/A	N/A	153.4	5.68	N/A	6.71
3	Aesculus hippocastanum	162.0	23'522.00	6'739.4	1'256.89	0.7	0.12	1.3	2.91	N/A	N/A	499.0	18.47	N/A	21.49
4	Aesculus hippocastanum	158.0	25'666.92	6'621.8	1'234.96	0.7	0.14	0.8	1.84	N/A	N/A	315.4	11.67	N/A	13.64
5	Aesculus hippocastanum	158.0	25'666.92	6'621.8	1'234.96	0.7	0.14	0.3	0.60	N/A	N/A	102.4	3.79	N/A	4.52
6	Aesculus hippocastanum	158.0	23'020.85	6'621.8	1'234.96	0.7	0.12	0.6	1.26	N/A	N/A	216.8	8.02	N/A	9.41
7	Quercus robur	76.0	11'344.19	1'435.4	267.71	49.4	9.21	0.7	1.49	N/A	N/A	256.1	9.48	N/A	20.18
8	Quercus robur	76.0	11'344.19	1'435.4	267.71	49.4	9.21	0.3	0.58	N/A	N/A	100.1	3.70	N/A	13.50
9	Quercus robur	76.0	10'040.26	1'435.4	267.71	43.7	8.14	0.6	1.31	N/A	N/A	224.8	8.32	N/A	17.77
10	Tilia x europaea	40.0	3'599.59	751.3	140.12	50.1	9.35	0.1	0.29	N/A	N/A	49.9	1.85	N/A	11.49
11	Tilia x europaea	40.0	3'599.59	751.3	140.12	50.1	9.35	0.1	0.13	N/A	N/A	22.4	0.83	N/A	10.31
12	Tilia x europaea	40.0	3'228.50	751.3	140.12	44.9	8.37	0.1	0.26	N/A	N/A	44.2	1.63	N/A	10.26
13	Populus x canadensis	416.0	18'483.62	7'500.0	1'398.74	8.1	1.52	7.0	15.78	N/A	N/A	2'711.0	100.33	N/A	117.63
14	Populus x canadensis	416.0	18'483.62	7'500.0	1'398.74	8.1	1.52	5.8	13.05	N/A	N/A	2'241.3	82.95	N/A	97.51
15	Populus x canadensis	416.0	16'578.09	7'500.0	1'398.74	8.1	1.52	6.3	14.07	N/A	N/A	2'416.3	89.42	N/A	105.01
16	Acer cappadocicum	101.0	14'944.01	6'117.6	1'140.91	4.0	0.75	0.3	0.67	N/A	N/A	115.5	4.28	N/A	5.70
17	Acer cappadocicum	101.0	14'944.01	6'117.6	1'140.91	4.0	0.75	0.1	0.24	N/A	N/A	41.6	1.54	N/A	2.53
18	Acer cappadocicum	101.0	13'226.31	6'117.6	1'140.91	3.6	0.66	0.2	0.55	N/A	N/A	95.3	3.53	N/A	4.74
19	Catalpa bignonioides	138.0	16'872.56	2'651.5	494.49	4.1	0.76	0.8	1.73	N/A	N/A	296.7	10.98	N/A	13.47
20	Catalpa bignonioides	138.0	16'872.56	2'651.5	494.49	4.1	0.76	0.4	0.80	N/A	N/A	137.2	5.08	N/A	6.64
21	Catalpa bignonioides	138.0	15'038.59	2'651.5	494.49	3.6	0.68	0.6	1.27	N/A	N/A	219.0	8.10	N/A	10.06
Total			340'550	95'451	17'801	340	63	28	63	N/A	N/A	10'832	401	N/A	527

Anhang H: Leitfaden

