



# Ökosystemleistungen von Zürcher Stadtbäumen

Zehn ausgewählte Baumarten unter der Lupe.



**Erläuterungen zur Ausstellung  
«Bäume in der Stadt»**

# 1 Einleitung

Dieser Bericht gibt einen erweiterten Einblick in die Ausstellung «Bäume in der Stadt», zu folgenden Themen:

- Ökosystemleistungen von zehn Stadtbaumarten
- Software i-Tree

Es werden die Ökosystemleistungen von Stadtbäumen, ihre Standortbedingungen und die daraus folgenden vielfältigen Anforderungen näher untersucht. Mit der Software i-Tree können die Ökosystemleistungen und der monetäre Wert eines Baumes berechnet werden. Anhand eines Baumrades werden Stärken und Schwächen von zehn verschiedenen Baumarten, exemplarisch für alle Zürcher Stadtbäume, aufgezeigt: Spitz-Ahorn, Pyramiden-Pappel, Apfelbaum, Platane, Eibe, Ginkgo, Stiel-Eiche, Winter-Linde, Rosskastanie und Robinie.



Abbildung 1: Impressionen der Ausstellung «Bäume in der Stadt» Foto © Ayse Yavas

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Ökosystemleistungen von Zürcher Stadtbäumen</b>	<b>4</b>
2.1	Ökosystemleistungen	4
2.1.1	Aufnahme von Luftschadstoffen	4
2.1.2	Kühlung durch Verdunstung von Wasser und Schatten	4
2.1.3	Kohlenstoffaufnahme und -speicherung	5
2.2	Mit i-Tree Ökosystemleistungen berechnen	7
2.2.1	Funktionsweise des Programms	7
2.3	Leistungen von Bäumen in Zürich	7
2.4	i-Tree in der Schweiz	10
2.5	Leistungen von zehn Baumarten	11
2.5.1	Verdunstung und Filterung von Schadstoffen	12
2.5.2	Kohlenstoffaufnahme und Kohlenstoffspeicherung	13
<b>3</b>	<b>Stärken und Schwächen von zehn verschiedenen Baumarten</b>	<b>16</b>
3.1	Bedingungen in der Stadt	17
3.2	Anforderung Klimawandel	18
3.3	Ökosystemleistungen	19
3.3.1	Förderung der Biodiversität	19

# 2 Ökosystemleistungen von Zürcher Stadtbäumen

## 2.1 Ökosystemleistungen

Mit Ökosystemleistungen bezeichnet man die Leistungen der Bäume im Rahmen aller ökologischen Systeme, die für die Menschen nutzstiftende und wohltuende Wirkungen haben.

Zur Übersicht werden sie unterteilt in:

- **Versorgungsfunktion:** Frisches Wasser, Nahrung, Brennstoff etc.
- **Regulierungsfunktion:** Überschwemmungs- und Klimaregulation, Wasserreinigung, Schadstofffilterung, Kohlenstoffaufnahme und -speicherung, Kühlung der Luft etc.
- **Soziokulturelle Funktion:** Gesundheit, Erholung, Bildung, Ästhetik, Spiritualität etc.
- **Unterstützungsfunktion:** Nährstoffkreislauf, Bodenbildung, Produktion von Biomasse etc.

In diesem Bericht wird der Fokus auf eine Auswahl von Faktoren der Regulierungsfunktionen gelegt.

### 2.1.1 Aufnahme von Luftschadstoffen

Nach einer Definition des Vereins Deutscher Ingenieure handelt es sich bei Luftschadstoffen um luftfremde Stoffe, die durch natürliche Vorgänge oder menschliche Tätigkeiten in die Luft gelangen oder dort entstehen. Dadurch verändern sie den natürlichen Zustand der Atmosphäre, was eine negative Wirkung auf die Umwelt und den Menschen haben kann.

Bäume können Schadstoffe einerseits über die Spaltöffnungen der Blätter aufnehmen, andererseits auf der Cuticula anlagern. Die Cuticula ist die äusserste, wachsartige Schicht des Blattes, die die Blätter vor dem Austrocknen schützt. Die Spaltöffnungen sind schliessbare Öffnungen im Blatt, über die der Gasaustausch mit der Umgebungsluft stattfindet. Sie sind meistens nur tagsüber geöffnet.

#### 2.1.1.1 Gase

Stickstoffoxide, Schwefeloxide, Kohlenstoffmonoxide und Ozon werden hauptsächlich über die Spaltöffnungen der Blätter aufgenommen. Für die Aufnahme von Kohlenstoff strömt Luft durch die Spaltöffnungen der Blätter. Die problematischen Gase befinden sich in dieser durchströmenden Luft. In den interzellulären Zwischenräumen des Blattes werden sie im Wasserfilm gelöst und zu Säure umgewandelt.

Die Cuticula ist für die Aufnahme gasförmiger organischer Stoffe wichtig, die nur in fettigen, wachsartigen Substanzen löslich sind. Je dicker die Cuticula, desto besser funktioniert die Aufnahme.

#### 2.1.1.2 Feinstaub

Feinstaub kann auf dem Blatt haften bleiben und anschliessend vom Regen abgespült oder durch den Wind abgelöst und so der Luft entzogen werden. Bäume sind sehr effektiv, weil sie eine raue, strukturierte und grosse Blattoberfläche auf geringem Raum aufweisen.

### 2.1.2. Kühlung durch Verdunstung von Wasser und Schatten

### **2.1.2.1 Verdunstung**

Die Spaltöffnungen der Blätter regeln den gesamten Gasaustausch, d.h. die Aufnahme von CO<sub>2</sub>, die Abgabe von Sauerstoff und Wasserdampf (Verdunstung) und die Nährstoffaufnahme. Die Blätter bilden eine riesige Oberfläche und verdunsten tagsüber Wasser über die Spaltöffnungen. Bei der Verdunstung wird der Luft Energie in Form von Wärme entzogen, und die Luft in der Umgebung kühlt ab. Die Verdunstungsleistung hängt ab von den Faktoren Feuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Lichtintensität, Temperatur und Wasserverfügbarkeit. Der Baum sorgt für Wassernachschub aus den Wurzeln. So entsteht ein steter Wasserstrom von den Wurzeln in die Blätter. Dies ist nur möglich, wenn der Baum in seinem Wurzelbereich genügend Wasser finden kann.

### **2.1.2.2 Schatten**

Bäume mindern durch Reflexion auf den Blättern die einfallende Sonnenstrahlung. So gelangt weniger Strahlung auf den Boden, die Erwärmung unter dem Baum ist gebremst. Je mehr Blätterschichten der Baum hat, desto stärker ist die Abschwächung der Strahlung.

### **2.1.3 Kohlenstoffaufnahme und -speicherung**

Pflanzen nehmen Kohlenstoffdioxid über die Spaltöffnungen aus der Luft auf (1). Zusammen mit dem Licht als Energiequelle bauen sie mittels Photosynthese Kohlenhydrate auf (Abb. 2). Dies ermöglicht ihre Entwicklung und ihr Wachstum. Für den Energieverbrauch des pflanzlichen Stoffwechsels wird ungefähr die Hälfte der aufgebauten Kohlenhydrate von den Zellen wieder «veratmet», und dabei wird wiederum Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) freigesetzt (3).

Der verbleibende Kohlenstoff wird in Form verschiedener Verbindungen in der Biomasse gespeichert (2):

- in den Blättern und Nadeln für Stunden bis Monate (2a)
- in Zweigen und Ästen für Jahre (2b)
- im Stamm für Jahrzehnte bis Jahrhunderte (2c)
- in den Wurzeln und im Boden während Jahrhunderten bis Jahrtausenden (2d).

Ein grosser Anteil der Biomasse fällt als Laub und Äste wieder auf den Boden und wird von Mikroorganismen zersetzt (4).

Dabei wird der darin gebundene Kohlenstoff in Form von  $\text{CO}_2$  wieder freigesetzt. Wenn ein alter Baum schliesslich verrottet ist, also Stamm, Laub und Äste ebenfalls zersetzt wurden, halten sich Aufnahme und Abgabe von Kohlenstoff etwa die Waage.

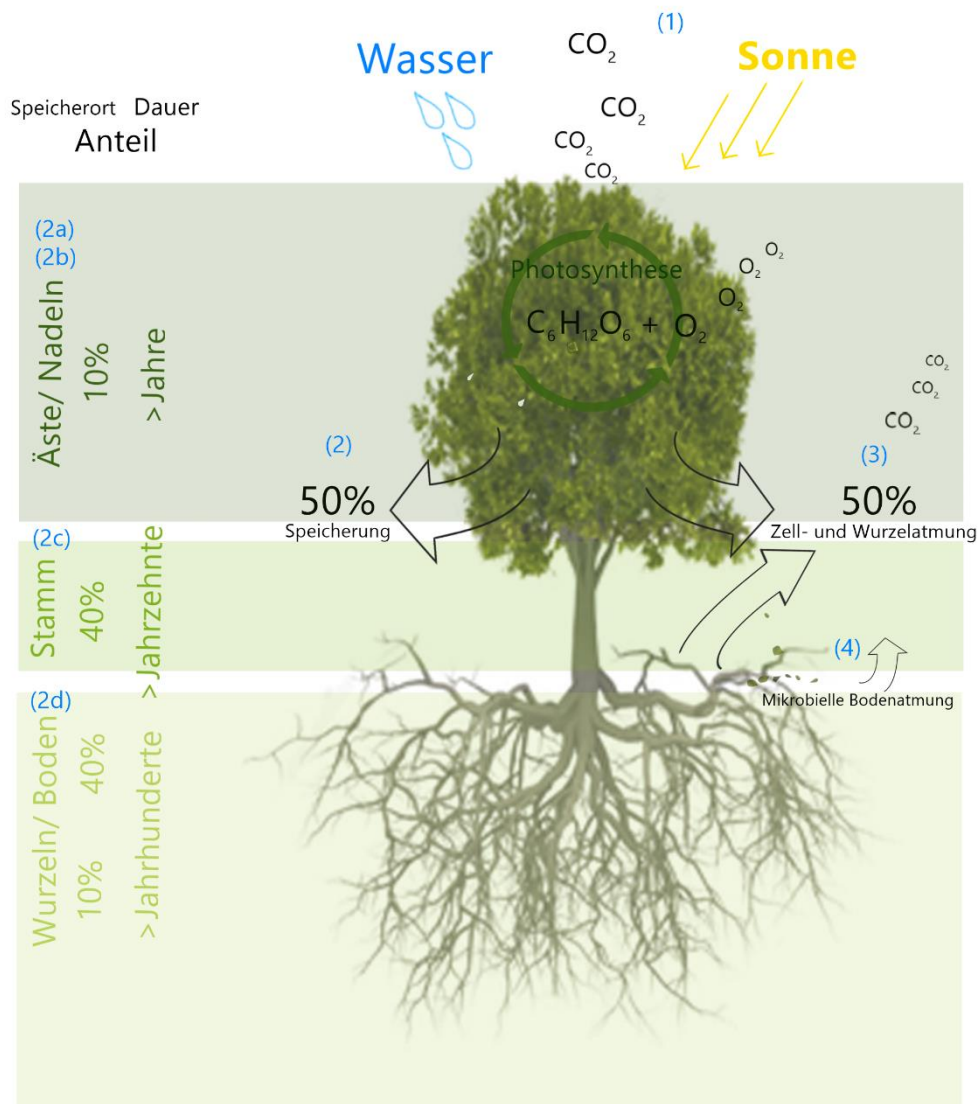


Abbildung 2: Kohlenstoffkreislauf bei einem Baum

Lebende Bäume wie auch totes Holz, das nicht verbrannt oder von Organismen zersetzt wird, sind wichtige, teilweise langfristige Speicher im Kohlenstoffkreislauf. Werden Bäume ersatzlos gefällt und das Holz vermodert oder wird verbrannt, wird der in den Pflanzen gebundene Kohlenstoff freigesetzt. Der gespeicherte Kohlenstoff kommt in kurzer Zeit wieder in die Atmosphäre und wirkt sich negativ auf unser Klima aus. Wenn nach einer Fällung das Holz jedoch in Häusern oder Möbeln verbaut wird, bleibt der Kohlenstoff für Jahrzehnte oder Jahrhunderte darin gespeichert.

## 2.2 Mit «i-Tree» Ökosystemleistungen berechnen

Mit der Software «i-Tree» können verschiedene Ökosystemleistungen von Bäumen aus dem Bereich der Regulierungsfunktion und ihr monetärer Wert berechnet werden. Einerseits können die Eliminierung von Schadstoffen wie Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Ozon und Kohlenmonoxid sowie die Filterung von Feinstaub (kleiner als 2,5 Mikrometer) bemessen und andererseits auch die Aufnahme von Kohlendioxid, die Speicherung von Kohlenstoff und die Kühlleistung durch Verdunstung berechnet werden. Das Programm wird seit 2006 vom United States Forest Service in den USA mit weiteren Institutionen entwickelt und laufend ergänzt. Als kostenlose Software mit Anwendungsempfehlungen und technischem Support ist es allen zugänglich.

### 2.2.1 Funktionsweise des Programms

Für die Berechnungen werden für jeden Baum die Felddaten vor Ort vermessen und aufgenommen. Dazu fließen als Standortdaten die jährlichen Niederschlags- und Schadstoffmessungen in die Berechnungen mit ein. Mithilfe dieser Eingaben kann das Programm die entsprechende Blattfläche und die Biomasse berechnen. Dies ermöglicht die Errechnung der Ökosystemleistungen und ihres monetären Werts.

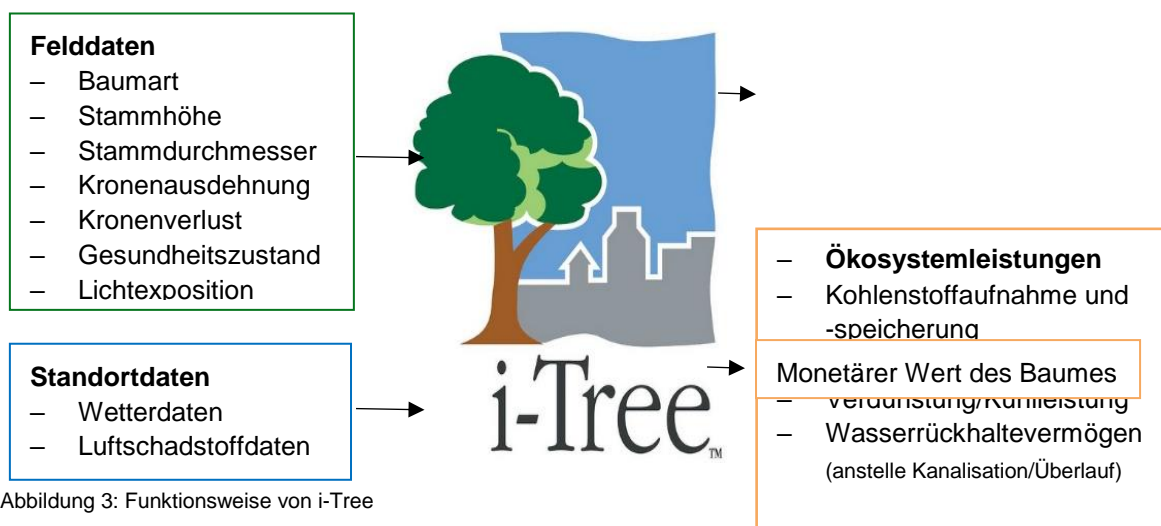


Abbildung 3: Funktionsweise von i-Tree

## 2.3 Leistungen von Bäumen in Zürich

In der Stadt Zürich wachsen rund 110 000 Bäume – ohne Berücksichtigung der Waldbäume. 22 000 Bäume stehen an Zürichs Strassen und rund 40 000 in öffentlichen Anlagen. Vermutlich nochmals so viele zieren private Grünflächen.

In Zusammenarbeit mit der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) wurden im Quartier Wiedikon, in der Umgebung der Schule Rebhügel, 254 Bäume vermessen und ihre Leistungen mit i-Tree berechnet. Aus den aufgenommenen Felddaten für diese Bäume wurde ein durchschnittliches Kronenvolumen von  $615 \text{ m}^3$  errechnet. Diese Resultate wurden mit der Berechnung basierend auf den Lidardaten verglichen. Für die Erhebung der Lidardaten überfliegt ein Flugzeug die Stadt und berechnet mithilfe von Laserstrahlen das Kronenvolumen der Bäume. Die Auswertung dieser Daten ergab ein gesamtes Kronenvolumen von  $66\,000\,000 \text{ m}^3$  für die Zürcher

Stadtbäume. Für die 110 000 Bäume resultiert somit ein durchschnittliches Volumen von 618 m<sup>3</sup> pro Baum.

Für die Ausstellung [«Bäume in der Stadt»](#) wurden weitere 15 Bäume an unterschiedlichen Orten vermessen. Die gemessenen Felddaten und die berechneten Ökosystemleistungen gemäss i-Tree der zwei unterschiedlich grossen Platanen auf dem Stadelhoferplatz und in der Bäckeranlage sowie des Stadtzürcher Durchschnittsbaums sind in Tabelle 1 und 2 abgebildet. Zudem werden auch die Resultate einer Hochrechnung auf 10 000 Durchschnittsbäume dargestellt.

**Tabelle 1: Grundlegendaten von drei Bäumen für die Berechnung mit i-Tree**



Baumart	Ahornblättrige Platane	Ahornblättrige Platane	Durchschnittsbaum
Ort	Stadelhoferplatz	Bäckeranlage	Zürich
Pflanzjahr	2015	1901	-
Höhe	11 m	35 m	20 m
Kronenvolumen	160 m <sup>3</sup>	26 680 m <sup>3</sup>	615 m <sup>3</sup>
Blattfläche	300 m <sup>2</sup>	8250 m <sup>2</sup>	407 m <sup>2</sup>



**Tabelle 2: Vergleich von Ökosystemleistungen und ihrem monetären Wert durch i-Tree**

	<b>Platane Stadelhoferplatz</b>	<b>Wert in CHF</b>	<b>Platane Bäckeranlage</b>	<b>Wert in CHF</b>	<b>Durchschnittsbaum Zürich</b>	<b>Wert in CHF</b>	<b>10 000 Durchschnittsbäume</b>	<b>Wert in CHF</b>
<b>Gebundenes Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>42 kg/J</b> 150 km Autofahrt	2	<b>81 kg/J</b> 300 km Autofahrt	4	<b>108 kg/J</b> 350 km Autofahrt	6	<b>ca. 1080 t /J</b> 3,5 Mio. km Autofahrt (85-mal um die Erde)	60 000
<b>gefilterte Luftschadstoffe (Beispiel Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>))</b>	<b>81 g/J</b> 200 km Autofahrt (Diesel)	15	<b>2 250 g/J</b> 5600 km Autofahrt (Diesel)	417	<b>105 g/J</b> 260 km Autofahrt (Diesel)	22	<b>1050 kg/J</b> 2,61 Mio. km Autofahrt (65-mal um die Erde)	22 000
<b>Verdunstung</b> Entsprechende Kühlleistung	<b>6500 l/J Wasser</b> <b>4630 kWh/J:</b> Kühlung 12m <sup>2</sup> -Raum	1155	<b>183 000 l/J Wasser</b> <b>128 000 kWh/J:</b> Kühlung 3 100m <sup>2</sup> -Wohnungen	32 077	<b>7614 l/J Wasser</b> <b>5330 kWh/J:</b> Kühlung 15m <sup>2</sup> -Raum	1300	<b>76 100 m<sup>3</sup> Wasser</b> <b>53 GigaWh/J:</b> Stromverbrauch 21 000 2-Personen-Haushalte	13 Mio.
<b>Total jährliche monetäre Werte</b>		<b>1172</b>		<b>32 498</b>		<b>1328</b>		<b>13,82 Mio.</b>

Die Tabelle 2 zeigt, dass Einzelbäume in der Stadt eine erhebliche Menge an CO<sub>2</sub> aufnehmen können und auch, dass dies nur ein Bruchteil unserer CO<sub>2</sub>-Emissionen ist. Der Vergleich der grossen Platane in der Bäckeranlage mit dem Durchschnittsbaum zeigt zudem, dass Bäume im Alter weniger CO<sub>2</sub> aufnehmen. Dies liegt daran, dass die Wachstumsrate im Alter abnimmt.

Mit den Berechnungen für einen Durchschnittsbaum kann man dem Wert eines Baumes in dieser Aufstellung nicht wirklich gerecht werden, weil der Wert in Bezug auf Hitzeminderung, Ästhetik und Ökologie kaum zu monetarisieren ist. Diese Faktoren zusammengenommen würden bei einem Baum von 20 Jahren etwa einem Wert von ca. 26 000 Franken entsprechen.

Je grösser die Blattfläche eines Baumes ist, desto grösser ist die Absorption von Schadstoffen, z.B. von Stickstoffoxyden (NO<sub>x</sub>) So ist die Wirkung von mächtigen, alten Bäumen grösser als jene von kleinen Bäumen, und die Wirkung ist im Sommer, im belaubten Zustand, grösser als im Winter.

Eine Hochrechnung (ohne i-Tree) vom Durchschnittsbaum auf alle Stadtbäume ergibt für die Bäume der Stadt Zürich Folgendes:

- Das Gesamtkronenvolumen von **66 000 000 m<sup>3</sup>** könnte die ganze Stadt Zürich mit einer 75 cm dicken Kronenschicht überdecken.
- Die Gesamtblattfläche von **44 770 000 m<sup>2</sup>** entspricht der halben Stadtfläche von Zürich.
- Die jährliche Aufnahme von **11 880 t CO<sub>2</sub>** entspricht dem Ausstoss von 38 500 000 Autokilometern (d.h. tausendmal die Erde umrunden).
- Die jährliche Verdunstung von **837 540 m<sup>3</sup>** Wasser entspricht 335 gefüllten Schwimmbecken (25 m × 50 m × 2 m). Dabei wird der Luft Wärmeenergie im Umfang von **586 GigaWh** entzogen. Diese Energiemenge entspricht dem Stromverbrauch von 231 000 Zwei-Personen-Haushalten pro Jahr oder mehr als dem halben Stromverbrauch der Stadtbevölkerung von Zürich.

Alle diese jährlichen Leistungen zusammen haben einen Gesamtwert von 165 Mio. Franken für 110 000 Bäume.

## **2.4 i-Tree in der Schweiz**

Das Programm musste zuerst für die Schweizer Anwendung angepasst und getestet werden. Seit Frühjahr 2018 steht das Modell für eine breite Anwendung in Europa zur Verfügung, und seit 2018 läuft auch das Projekt «i-Tree – Ökosystemleistungen von städtischen Bäumen und Wäldern klimaadaptiv managen», das vom BAFU (Bundesamt für Umwelt) unterstützt wird. In acht Pilotstädten der Schweiz werden erste Grundlagen erarbeitet. Dabei sollen einerseits die Bedürfnisse der urbanen Bäume, andererseits diejenigen der Gesellschaft und der Ökonomie im Zusammenhang mit dem Klimawandel berücksichtigt werden. Zürich nimmt als Pilotstadt an diesem Projekt teil.

## 2.5 Leistungen von zehn Baumarten

Für den Vergleich wurden die zehn verschiedenen Baumarten der Ausstellung «Bäume in der Stadt» benutzt: Spitz-Ahorn, Winter-Linde, Stiel-Eiche, Robinie, Apfelbaum, Pappel, Rosskastanie, Platane, Eibe und Ginkgo. Mit i-Tree wurden für jeweils zwei fiktive Grössen (siehe Abb. 3) die Verdunstung und die Schadstofffilterung sowie die Kohlenstoffaufnahme und -speicherung (Grafik 6 und 7) berechnet.

Für alle Baumarten wurden dieselben Feld- und Standortdaten angenommen.

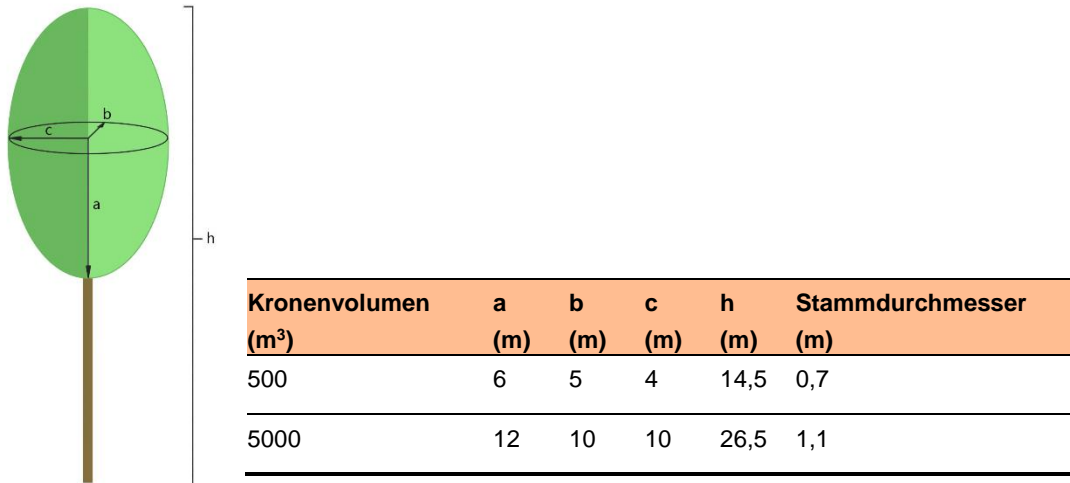


Abbildung 4: Inputdaten für die Berechnung des Kronenvolumens: die Radien (a, b, c) in die 3 verschiedenen Dimensionen, die Gesamthöhe des Baumes (h) und der Stammdurchmesser

Wie schematisch in Abbildung 4 dargestellt, wurden für alle Baumarten die identische Kronengrösse und -form ins Modell eingespeist. In dieser Analyse werden somit die Eigenheiten der unterschiedlichen Formen von verschiedenen Baumarten oder von einzelnen Bäumen nicht berücksichtigt. Dies führt zu einer leichten Überschätzung z.B. der Leistungen des Ginkgos, weil er ein sehr lichter Baum ist und nur wenig von seinem berechneten Volumen mit Ästen und Blättern bedeckt ist.

Werden Bäume im Feld vermessen, ist ein zentraler Punkt, ihre Form und deren Einfluss auf das Kronenvolumen miteinzubeziehen.

### 2.5.1 Verdunstung und Filterung von Schadstoffen

Den zehn modellierten Baumarten der Ausstellung «Bäume in der Stadt» wurden zum Vergleich ein identisches Volumen und ein gleicher Stammdurchmesser zugrunde gelegt. Das Alter ist nicht zwingend gleich. Auf dieser Basis variiert die Blattfläche von Baumart zu Baumart. Nadelbäume haben grundsätzlich die grössere Blattfläche als Laubbäume. In der Grafik 5 zeigt sich dies an der Eibe, die als einziger Nadelbaum berechnet wurde. Die Blattfläche ist umso grösser, je dichter die Krone belaubt und je grösser sie ist.

**Grafik 5: Blattfläche der zehn Baumarten**

Bei zwei unterschiedlichen Kronenvolumen



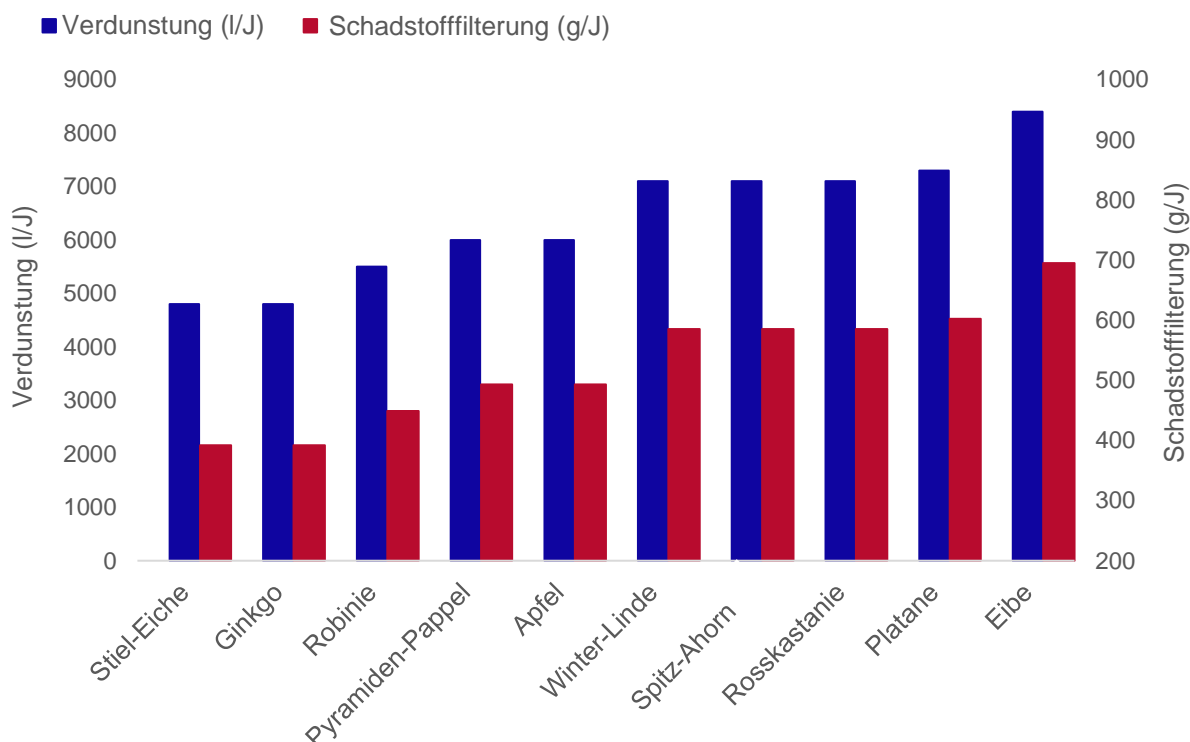
Der Ginkgo und die Stiel-Eiche weisen die kleinste Blattfläche auf, weil sie keine dichte Belaubung haben.

Grafik 5 zeigt die Baumarten in der Reihenfolge ihrer Blattflächen, die sie bei gleichem Volumen entwickeln. Analog sind auch in Grafik 6 die zehn Baumarten in der Reihenfolge ihrer Verdunstungsleistung (blau) und ihrer Schadstofffilterung (rot) angeordnet. Es zeigt sich, dass die Reihenfolge in den beiden Grafiken identisch ist. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da die Verdunstungsleistung und die Schadstofffilterung direkt von der Blattfläche abhängen. Je grösser die Blattfläche, desto mehr Oberfläche steht für die Verdunstung und die Aufnahme von Schadstoffen zur Verfügung.

Bei gleichem Kronenvolumen filtert und verdunstet die Eibe am meisten und die Stiel-Eiche am wenigsten. Die Eibe leistet fast doppelt so viel wie die Stiel-Eiche. Die Platane, die Rosskastanie und der Spitz-Ahorn sind besser geeignet, möglichst rasch eine hohe Leistung in Bezug auf Verdunstung und Schadstofffilterung zu erbringen. Ihre Blattflächen sind auch sehr gross, sie wachsen aber schneller als die Eibe und bilden deshalb rascher eine grosse Krone aus.

### Grafik 6: Schadstofffilterung und Verdunstung der zehn Baumarten

Bei einem Kronenvolumen von 500 m<sup>3</sup>



Das positive Resultat der Eibe muss also relativiert werden, weil sie sehr langsam wächst. Es dauert lange, bis sie ein Volumen erreicht, bei dem die Schadstofffilterung, die Verdunstung und die damit verbundene Kühlleistung Wirkung zeigen.

#### 2.5.2 Kohlenstoffaufnahme und Kohlenstoffspeicherung

Die beiden Abbildungen in Grafik 7 zeigen die Kohlenstoffaufnahme (blau) und die Kohlenstoffspeicherung (orange), für jede der zehn Baumarten bei zwei unterschiedlichen Stammdurchmessern auf. Das jährliche Wachstum und somit die Kohlenstoffaufnahme hängt von der Baumart und dem Alter des Baumes ab.

Die Stiel-Eiche nimmt mit einer Höhe von 14,5 m und einem Stammdurchmesser von 70 cm jährlich am meisten Kohlenstoff auf. Bei den grösseren Bäumen sind es hingegen die Pyramiden-Pappel und der Spitz-Ahorn. Der Zuwachs der Stiel-Eiche fällt ab einer gewissen Grösse auf den letzten Platz.

Jede Art hat somit ihr eigenes Optimum der jährlichen Kohlenstoffaufnahme in ihrem Alterungsprozess.

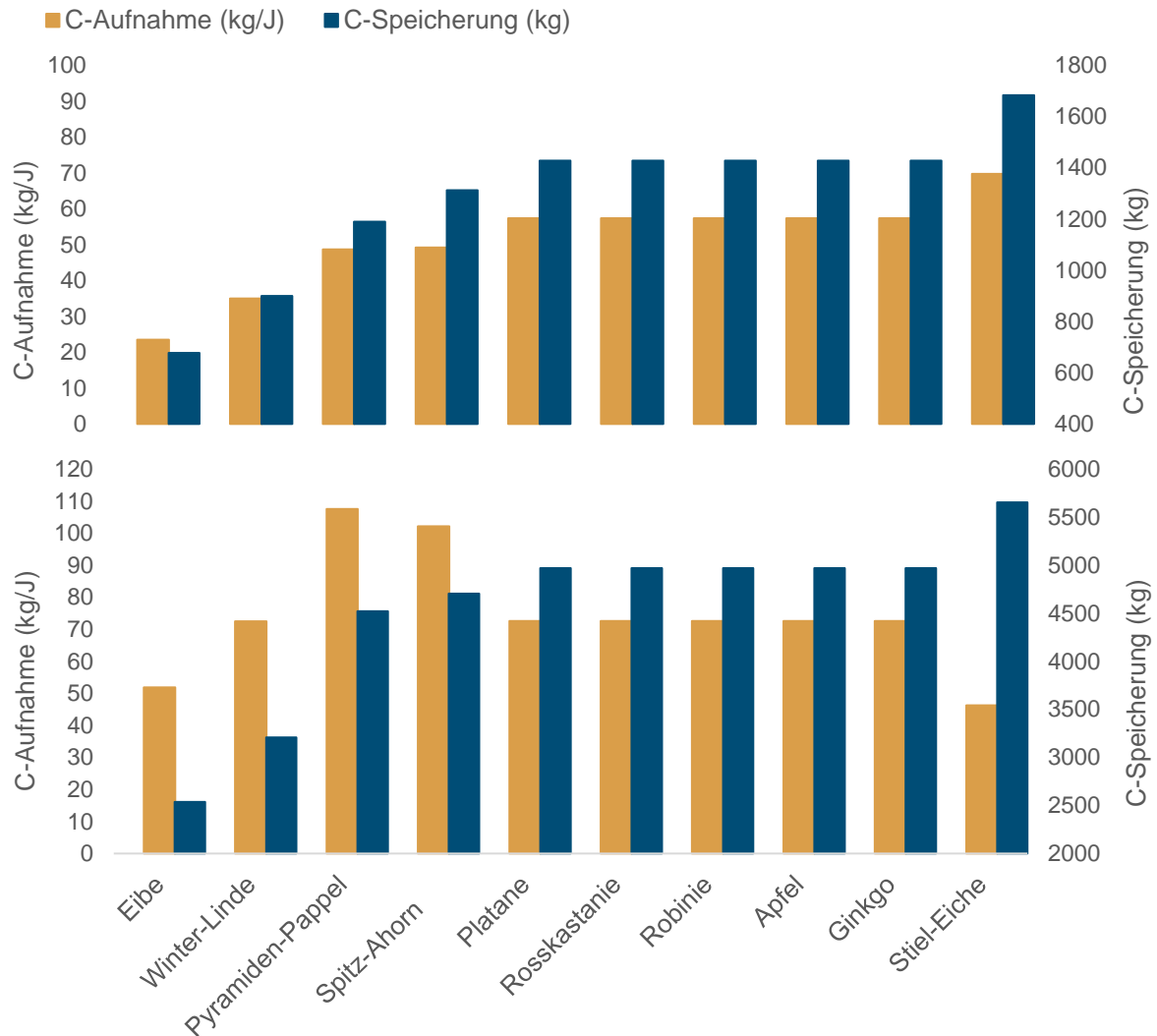
Bei der Kohlenstoffspeicherung ist die Reihenfolge der Bäume bei beiden Stammdurchmessern (70 cm und 110 cm) dieselbe. Die Stiel-Eiche speichert am meisten und

die Eibe am wenigsten. Pyramiden-Pappel, Spitz-Ahorn, Platane, Robinie, Rosskastanie, Apfelbaum und Ginkgo bewegen sich in einem vergleichbaren Rahmen.

Die Speicherkapazität einer Baumart ist zudem auch abhängig von ihrem Holzvolumen und ihrer Holzdichte. Das Holzvolumen bei gleichem Stammdurchmesser und gleicher Höhe wird ebenfalls beeinflusst von der Anzahl Äste und ihrer Dicke. Dies ist bei den verschiedenen Arten unterschiedlich.

### Grafik 7: Kohlenstoffaufnahme und -speicherung der zehn Baumarten

Bei zwei unterschiedlichen Stammdurchmessern (70 cm und 110 cm)



Die zehn Baumarten weisen, trotz identischem Stammdurchmesser und gleicher Baumhöhe, ein unterschiedliches Holzvolumen auf. Aus diesem Volumen und der Holzdichte kann die Biomasse errechnet werden. Je dichter das Holz, desto grösser die Biomasse und desto mehr Kohlenstoff kann im Baum gespeichert werden.

Die Stiel-Eiche hat ein sehr dichtes Holz ( $640 \text{ kg/m}^3$ ) und ein hohes Holzvolumen und kann so am meisten Kohlenstoff speichern. Platane, Robinie, Rosskastanie, Apfel und Ginkgo speichern laut i-Tree trotz unterschiedlicher Holzdichten gleich viel Kohlenstoff, weil sie ein unterschiedliches Holzvolumen haben.

Laubbäume haben im Allgemeinen eine höhere Dichte als Nadelbäume. Die Eibe ist eine Ausnahme. Ihre Dichte gleicht jener des Spitz-Ahorns. Bei der Eibe bildet der Stamm die Hauptmasse, die Äste hingegen haben nur noch ein sehr geringes Volumen. Deshalb kann sie am wenigsten Kohlenstoff speichern.

Theoretisch könnten Bäume am meisten Kohlenstoff aufnehmen und speichern, wenn sie in ihrer stärksten Wachstumsphase leben könnten und ihr Holz anschließend möglichst lange aufbewahrt, also z.B. verbaut würde.

Die Aufnahme wie auch die Speicherung von Kohlenstoff sind natürlich auch sehr vom Standort und von der Gesundheit des Baumes abhängig. Dies konnte in dieser Modellberechnung nicht berücksichtigt werden.

### 3 Stärken und Schwächen von zehn Baumarten

In der Ausstellung «Bäume in der Stadt» werden anhand eines Baumrades mit zehn Kriterien Stärken und Schwächen der zehn ausgewählten Baumarten aufgezeigt (Tabelle 3). Diese zehn Kriterien spielen eine Rolle bei der Auswahl von Stadtbäumen. Gemäss Andreas Roloffs Buch «Bäume in der Stadt» können, je nach Standort, bis zu 70 Kriterien berücksichtigt werden.

**Tabelle 3: Die Beurteilung von zehn Baumarten nach zehn Kriterien**

Die Wertung ist in 5 Kategorien unterteilt: Dunkelgrün ist die höchste und Rot die tiefste Wertung.

Ich ...	Spitz-Ahorn	Winter-Linde	Platane	Pyramiden-Pappel	Eibe	Apfel	Ginkgo	Ross-kastanie	Stiel-Eiche	Robinie
komme mit Bodenverdichtung klar	1	2	2	3	1	2	1	1	3	3
ertrage Streusalz	nicht gut	nicht gut	tolerant	nicht gut	nicht gut		tolerant	nicht gut	tolerant	tolerant
ertrage mehrere Frosttage	4	4	3	4	3	3	3	3	4	4
überstehe lange Trockenperioden	3	4	4	2	2	2	4	2	3	4
fördere die Biodiversität	3,6	4,6	1,6	3,6	1,8	4,6	1,2	2,6	5	1,8
filtere Feinstaub	4	4	4	3	5	3	2	4	2	3
verdunste viel Wasser	4	4	4	2	5	3	2	4	2	3
spende Schatten	4	4	4	3	3	3	2	4	2	3
nehme viel Kohlenstoff auf	3	3	4	3	2	4	4	4	5	4
werde befallen von	Wollige Napfschildlaus; Echter Mehltau	Lindenzierlaus; Lindentriebsterben	Massaria; Platanen-netzwanze; Blattbräune; Platanenkrebs	Hornissen-Glasflügler; Pappelbock		Blausieb		Kastanien-miniermotte; Blattbräune	Eichen-wirrling; Eichenpro-zessions-spinner	Hallimasch



## **3.1 Bedingungen in der Stadt**

### **3.1.1 Bodenverdichtung**

Durch die Bodenverdichtung werden die Bodenporen zusammengedrückt. Dadurch wird der Gasaustausch reduziert, viele Bodenlebewesen sterben ab. Dies bewirkt, dass der Kohlendioxidgehalt zunimmt und die Wurzelatmung beeinträchtigt wird. Aufgrund des kleineren Porenvolumens kann der Boden zudem weniger Wasser aufnehmen, Teile des Wurzelsystems sterben ab. Der Baum wird geschwächt.

Nicht alle Arten sind gleich empfindlich. Die Pyramiden-Pappel, die Stiel-Eiche und die Robine z.B. ertragen die Bodenverdichtung relativ gut, die restlichen Arten eher weniger.

### **3.1.2 Auswirkungen von Streusalz**

Das Streusalz im Winter kann auf unterschiedliche Art direkt mit dem Baum in Kontakt kommen. Es kann an den Wurzeln, am Stamm wie auch an den Blättern oder Nadeln Schaden anrichten.

Mögliche Folgen für den Baum und den Boden sind:

- Schädigung der Chloroplasten (Organellen der Zelle, die Fotosynthese betreiben)
- Blattnekrosen, Vertrocknung mit der Folge einer frühzeitigen Blattverfärbung
- Veränderung der Nährstoffzusammensetzung im Boden, was einen Einfluss auf die Nährstoffverfügbarkeit für den Baum hat.

Die empfindlichen Arten sind Rosskastanie, Spitz-Ahorn, Winter-Linde, Ginkgo, Eibe und Pyramiden-Pappel. Grundsätzlich sind Nadelbäume empfindlicher. Diese Arten sollten nicht ohne Salzschutz an eine Strasse gepflanzt werden. Untersuchungen haben ergeben, dass die Frühjahrsniederschläge wichtig sind, damit die Salz-Ionen in tiefere Bodenlagen geschwemmt werden. Fallen die Frühjahrsniederschläge aus, kommt es vermehrt zu Salzschäden.

Vor allem bei Haltestellen ist der übermässige Streusalz-Einsatz bei den Bäumen besonders sichtbar.

### **3.1.3 Anfälligkeit gegenüber Schädlingen**

In der Stadt treten aufgrund der klimatischen Gegebenheiten und des Belastungsdrucks, unter dem die Bäume leiden, gewisse Schädlinge und Krankheiten gehäuft auf.

Nicht alle zehn Baumarten werden bisher von Schädlingen so befallen, dass die Bäume ernsthaft geschwächt werden. Einen Befall durch Schadorganismen gibt es bei jeder Baumart, in den meisten Fällen ist das aber unproblematisch oder wird nur für sehr geschwächte Bäume zum Problem. Bei den nicht einheimischen Arten dauert es eine gewisse Zeit, bis sich die entsprechenden nicht einheimischen Schädlinge etablieren können. Viele Schädlinge sind auf eine Baumart spezialisiert. Die Rosskastanie z.B. wird von der Rosskastanien-Miniermotte und dem Blattbräune-Pilz stark befallen und weist zurzeit einen sehr hohen Schädlingsdruck auf.

Die oben erwähnten Bedingungen in der Stadt zeigen den extremen Belastungsdruck vor allem auf die Bäume im Strassenraum auf.

## 3.2 Anforderung Klimawandel

### 3.2.1 Trockenheitstoleranz und Winterhärte

Diese beiden Kriterien müssen, wegen der Witterungsextreme als Folge des Klimawandels, bei der Auswahl von Baumarten künftig vermehrt miteinbezogen werden. In unseren Breiten geht es insbesondere um die Hitzesommer und die vermehrten Trockenperioden. Für Schweizer Städte werden deshalb Bäume interessant, die mit wenig Jahresniederschlag auskommen und zudem heisse und trockene Perioden wie auch kühle Temperaturen aushalten können. Dieses Klima entspricht dem heutigen kontinentalen Klima der Balkanregion sowie gewisser Regionen von Nordamerika.

Um die Eignung als Stadtbaumarten bei prognostiziertem Klimawandel mit Trockenheit und Winterhärte zu bewerten, wurde die sogenannte KlimaArtenMatrix (KLAM, Andreas Roloff) entwickelt. Dabei wird den verschiedenen Baumarten für beide Faktoren eine Note von 1 bis 4 zugeordnet. Die Bewertung 1 ist am besten, das heisst die Trockenheitstoleranz bzw. die Winterhärte ist am grössten. 1.1 ist die beste Note (Tabelle 4). Diese erhält z.B. der einheimische Feld-Ahorn.

**Tabelle 4: Einteilung der Baumarten gemäss der Klima-Arten-Matrix (KLAM)**

		Winterhärte			
		.1	.2	.3	.4
Trockenstresstoleranz	1.	1.1	1.2	1.3	1.4
	2.	2.1	2.2	2.3	2.4
	3.	3.1	3.2	3.3	3.4
	4.	4.1	4.2	4.3	4.4

Von den zehn untersuchten Baumarten eignen sich nicht mehr alle für die Zukunft. Gute Werte erreichen die folgenden Arten:

- Robinie (1.1)
- Spitz-Ahorn (2.1)
- Ginkgo (1.2)
- Platane (1.2)
- Winter-Linde (2.1)

### **3.3 Ökosystemleistungen**

### **3.4 Ökosystemleistungen**

#### **3.3.1 Förderung der Biodiversität**

Bäume sind Lebensräume oder Futterquellen für andere Lebewesen. Je nach Baumart leben mehr oder weniger Arten auf ihnen. Die Biodiversität in einem Baum ist also unterschiedlich gross. Für ihre Beurteilung gibt es einen Biodiversitätsindex. Er zeigt den ökologischen Wert einer Baumart auf. Der Biodiversitätsindex für Stadtbäume wurde in einer Arbeitsgruppe von Grün Stadt Zürich unter der Leitung von Sandra Gloor, SWILD, entwickelt (Gloor und Göldi Hofbauer 2018).

Der Biodiversitätsindex für Stadtbäume berechnet sich aus den Potenzialen der Baumarten für folgende fünf Tiergruppen: Wildbienen, Käfer, Schmetterlinge, Vögel und Säugetiere. Für jede Tiergruppe wurde der Wert der Baumarten von ExpertInnen bewertet. Die Potenzialbewertung der Baumarten erfolgt in einer Skala von 1 (unbedeutend) bis 5 (maximaler Wert). Der Biodiversitätsindex ist der Durchschnittswert aus den fünf Bewertungen (Tiergruppen).

Eine ausgewachsene Stiel-Eiche z.B. kann für bis zu 1000 verschiedene Insektenarten Nahrungsquelle, Jagdgebiet oder Habitat sein, der Ginkgo hingegen nur für 10. Dies spiegelt sich im Biodiversitätsindex wider: Die Eiche hat die Bewertung 4,8 und der Ginkgo 1,2. Es besteht ein Zusammenhang zwischen diesem Wert und dem Umstand, ob eine Art einheimisch oder exotisch ist.

#### **3.4.2 Schadstofffilterung**

Entlang einer Strasse ist es sinnvoll, wenn die gepflanzten Bäume viele Schadstoffe filtern können. Je grösser die Blattfläche eines Baumes, desto mehr Schadstoffe kann er filtern. Platane, Spitz-Ahorn, Rosskastanie und Winter-Linde haben eine grosse Blattfläche und eine dichte Krone. Sie filtern deshalb viele Schadstoffe. Im Vergleich mit den anderen Arten sind der Ginkgo und die Stiel-Eiche am wenigsten effizient. Die Eibe hat zwar eine grosse Blattfläche, verträgt aber die Nähe an der Strasse schlecht und wächst zudem sehr langsam.

#### **3.4.3 Verdunstung von Wasser**

Dieser Faktor kann besonders gut in Parks genutzt werden, weil dort die Bäume gross werden können und die Verfügbarkeit von Wasser besser ist. Je grösser die Blattfläche des Baumes, desto mehr Wasser kann er verdunsten und so zur Kühlung beitragen. Spitzenplätze in dieser Hinsicht belegen Platane, Spitz-Ahorn, Rosskastanie und Winter-Linde.

#### **3.4.4 Schatten**

Der Stadtbau als Schattenspender wird entlang von Strassen, in Parks und Quartieren immer wichtiger. Je grösser die Kronenfläche eines Baumes, desto mehr Schatten spendet er. Platane, Winter-Linde, Rosskastanie und Spitz-Ahorn sind gute Schattenspender und halten die UV-Strahlung am besten zurück. Der Schattenwurf wird auch durch die Baumform beeinflusst.

### 3.4.5 Kohlenstoffaufnahme

Die Aufnahme von Kohlenstoff wird durch das Alter und die Wachstumsgeschwindigkeit des Baumes bestimmt. Bei der Grösse eines Durchschnittsbaumes sind Apfelbaum, Ginkgo, Platane, Rosskastanie und Robinie am effizientesten. Allerdings geht es bei der Pflanzung von Stadtbäumen nicht in erster Linie um die Kohlenstoffaufnahme. Die Wälder spielen dafür eine viel wichtigere Rolle. Trotzdem hat die Kohlenstoffaufnahme auch bei Stadtbäumen ein beachtliches Gewicht.

Wie in Kapitel 2.2.1 ([Funktionsweise des Programms](#)) beschrieben, wurden die Werte für Schadstofffilterung, Verdunstung, Beschattung und Kohlenstoffaufnahme mit i-Tree berechnet und evaluiert. Die Berechnungen basieren somit auf einem Modell.

---

Folgende Quellen wurden für das Kapitel 3 verwendet:

- Für die Kriterien Bodenverdichtung, Trockenheitstoleranz und Winterhärte wurde das Buch «Bäume in der Stadt» von Andreas Roloff (2013) herangezogen.
- Die Liste der Schädlinge der zehn Baumarten wurde von Dr. Beat Wermelinger, WSL, erstellt.
- Für das Kriterium Biodiversitätsindex wurden die Berichte «Der ökologische Wert von Stadtbäumen bezüglich ihrer Bedeutung für die Biodiversität» (2014) und «Biodiversität und Ökosystemleistungen von Stadtbäumen, Stand des Wissens» (2012) von Sandra Gloor, SWILD, herangezogen

## **Impressum**

### **Herausgeberin**

Grün Stadt Zürich  
Fachbereich Grüne Bildung  
Beatenplatz 2  
8001 Zürich  
stadt-zuerich.ch/gsz

T +41 44 412 27 68

### **VerfasserInnen**

Danielle Huser  
Ruedi Winkler

### **Mitwirkung**

Michael Fuchs  
Sandra Gloor, SWILD  
Ursula Pfister  
Janis Willuweit

### **Korrektorat**

Alexandra Bernoulli, Zürich

### **Bilder, Grafiken**

Grün Stadt Zürich und Einzelquellen

### **Druck**

Dieser Fachbericht existiert nur in elektronischer Form.

April, 2021