

Baumfassaden als eine klimatisch wirksame, innovative Form der Bauwerksbegrünung



**Abschlussbericht über ein Forschungsprojekt,
gefördert unter dem AZ: 36056/01-25 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

Von

Prof. F. Köhl, Christian Burkhard, Prof. Dr. Ferdinand Ludwig, Lisa Höpfl, Bernd Eisenberg,
Prof. Dr.-Ing. Julian Lienhard

München und Kassel, Januar 2023

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az 36056/01-25

Referat Architektur
/Bauwesen

Fördersumme

€ 89.434,-

Antragstitel **Baumfassaden als eine klimatisch wirksame, innovative Form der Bauwerksbegrünung**

Stichworte urbane Ökosysteme

Laufzeit

20 Monate

Projektbeginn

23.09.2020

Projektende

29.05.2022

Projektphase(n)

1

Zwischenberichte

keine

Bewilligungsempfänger fatkoehl architekten, DipArch Florian Köhl
Strelitzer Strasse 53, 10115 Berlin
contact@fatkoehl.com

Tel 030-695 33 866

Fax 030-695 33 868

ProjektleitungChristian Burkhard Flo-
rian Köhl**Bearbeiter**

Florian Köhl

Kooperationspartner

Universität Kassel:

Prof. Dipl. Arch. Florian Kohl, V-Professor für Bauökonomie

Prof. Dr.-Ing. Julian Lienhard, Professor für Tragwerksentwurf

Technische Universität München:

Prof. Dr.-Ing. Ferdinand Ludwig, Professur für Green Technologies in

Landscape Architecture

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Das vorliegende Forschungsvorhaben untersucht die Potentiale von Baumfassaden für Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel. Der Einsatz von Baumfassaden ist eine neuartige Alternative zu herkömmlichen vertikalen Fassadenbegrünungen, die Kletterpflanzen, Stauden oder Kleingehölze als Begrünungselemente einsetzen. Am Beispiel einer Baumfassade für ein soziales Wohnungsbauprojekt in Bamberg werden durch eine exemplarische Umsetzung belastbare allgemeingültige Aussagen zur Wirkung von Baumfassaden getroffen. Mit dieser Vorgehensweise werden bestehende Wissenslücken bezüglich planungsrelevanter Parameter (z.B. Artenwahl, Statik, Wurzelraum) geschlossen.

Ziel ist es, Baumfassaden als Erweiterung des grün-planerischen und städtebaulichen Repertoires zu entwickeln und zu etablieren. Klimatische Potentiale werden genauso beleuchtet wie statische, rechtliche, architektonische und botanische Belange, um eine möglichst integrierte Planung anzustoßen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Dieses Projekt widmete sich zum ersten Mal umfassend der Baumfassade. Es erfolgte eine gestalterische, eine bautechnische-theoretische und eine praktische Auslotung der Potentiale. Am Beispiel eines sozialen Wohnungsbauprojekts in Bamberg wurden konkrete Problemfelder der praktischen Planung identifiziert und spezifische Lösungen zur Anpassung der bestehenden Gebäudeplanung und zur Umsetzung einer exemplarischen Baumfassade entwickelt.

In mehreren Arbeitsschritten wurden zuerst die entwurfsrelevanten Rahmenbedingungen für Architektur, Vegetation und Konstruktion identifiziert, diese Bedingungen anhand eines konkreten Entwurfsbeispiels – Wohnungsbau Bamberg – getestet und daraus eine allgemeine Entwurfsstrategie entwickelt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse des Projekts dienen der Umsetzung im Kontext des sozialen Wohnungsbaus. In einem europaweiten Wettbewerb wurde für eine Konversionsfläche der US-Streitkräfte in Bamberg (ca. 3 ha) ein Konzept für ein nachhaltiges und gemeinwohlorientiertes Stadtquartier gesucht.

Den Zuschlag erhielt der Volksbau Bamberg. Neben Wohnungen und Gewerbe wird ein nach der DGNB zertifizierter Stadtteil entstehen. Das von fatkoehl architekten geplante Kopfgebäude Haus N°11 im Inneren des Gebietes wird einer Baumfassade erhalten. Die Planung dieses Projekts konnte mithilfe dieses Vorhabens umgesetzt werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

VORSTELLUNG

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie wurden am 16. Und 17. Juni 2022 im Rahmen des internationalen Architekturkongresses „Anders Bauen“ an der Universität Kassel vorgestellt.

VERÖFFENTLICHUNG

1. Transforming Cities

Ausgabe: 3/2022

Abrufbar auf Researchgate: <https://www.researchgate.net/publication/363670193>

„Baumfassaden in Bamberg – Entwicklung einer neuen Form grüner Architektur mit großen klimatischen und gestalterischen Potenziale“

Autoren: Lisa Höpfl, Florian Köhl, Christian Burkhard, Julian Lienhard, Divya Pilla, Ferdinand Ludwig

2. On Sustainable Built Environment between Connections and Greenery

vol. 07 | 2022 | paper 11 | pp. 192-213

ISBN (print): 978-88-5509-445-0

Tree Façades – Integrating Trees in the Building Envelope as a new form of Façade Greening

Autoren: Lisa Höpfl, Divya Pilla, Florian Köhl, Christian Burkhard, Julian Lienhard, Ferdinand Ludwig

Weitere Veröffentlichungen sind geplant.

Fazit

Die über den Projektzeitraum geführten Untersuchungen und die praktische Arbeit an der Umsetzung einer Baumfassadenplanung in Bamberg konnten die im Vorfeld gemachten und oben beschriebenen Hypothesen zu Wirksamkeit und Nutzen von Baumfassaden als ernstzunehmende Alternative zu herkömmlichen Bauwerksbegrünungen bestätigen.

Gleichzeitig entstand erstmals ein umfassendes Forschungspapier zum Thema, welches nahezu alle Facetten der Planung von Baumfassaden berücksichtigt und daraus eine allgemeine Entwurfsstrategie für Planung, Pflanzung und Pflege ableitet. Die beispielhafte Umsetzung in Bamberg, deren Planung mittlerweile abgeschlossen ist, wird weitere Gelegenheiten bieten, den Forschungsstand fortzuschreiben und die Datengrundlage, insbesondere Datenpunkte zur Kosten-Nutzen-Abwägung, zu vervollständigen.

Die Autoren hoffen außerdem mit diesem Projekt zur Verbreitung dieses vielversprechenden Ansatzes, nämlich Bäume zur Fassadenbegrünung einzusetzen, also Baumfassaden zu pflanzen, beigetragen zu haben.

Zusammenfassung und Fazit

Das Vorhaben „Baumfassaden als eine klimatisch wirksame, innovative Form der Bauwerksbegrünung“ verfolgt das Ziel, die Potentiale von Bauwerksbegrünungen unter den Prämissen der Klimaschutz- und Klimawandelanpassung durch den Einsatz von Bäumen zu erforschen. Grundsätzlich stellen Baumfassaden eine Erweiterung des planerischen Repertoires von Gebäudebegrünungen dar. Dabei kombinieren sie nicht nur statische und mikroklimatische Vorteile, sondern lassen auch neue Nutzererfahrungen entstehen. Durch die Tiefe der Baumkrone und die Blattmasse, welche durch die horizontale Schichtung der Zweige erreicht wird, können vielfältige Ausblicke, Assoziationen und Blickbeziehungen zwischen Innen und Außen geschaffen werden. Dies führt zu einer Steigerung der Aufenthaltsqualität. Des Weiteren kann die Schattenwirkung und Transpirationsleistung von Bäumen einen signifikanten Einfluss auf die Lufttemperatur von Stadtgebieten und auf die Klimasituation in Gebäuden haben.

Die Baumfassade ergänzt bereits bekannte und intensiv beforschte Fassadenbegrünungstypologien. Grob werden bodengebundene und wandgebundene Systeme unterschieden. Erstere werden durch Rankgerüste mit Kletterpflanzen erreicht, zweitere durch Pflanzgefäße oder komplex aufgebaute Module. Bodengebundene Systeme und damit auch Baumfassaden gelten aber allgemein als robuster und weniger kosten- und wartungsintensiv als wandgebundene Systeme. Die Möglichkeit, Bäume zur Bauwerksbegrünung zu verwenden, wird in der Literatur trotzdem nur vereinzelt als Sonderfall oder unter dem Aspekt Spalierrost abgehandelt. (Pfoser, 2016, Medl et al., 2018).

Dieses Projekt widmete sich zum ersten Mal umfassend der Baumfassade. Es erfolgte eine gestalterische, eine bautechnische-theoretische und eine praktische Auslotung der Potentiale. Am Beispiel eines sozialen Wohnungsbauprojekts in Bamberg wurden konkrete Problemfelder der praktischen Planung identifiziert und spezifische Lösungen zur Anpassung der bestehenden Gebäudeplanung und zur Umsetzung einer exemplarischen Baumfassade entwickelt. Mit dieser Vorgehensweise wurden bestehende Wissenslücken bezüglich planungsrelevanter Parameter von Baumfassaden (z. B. Artenwahl, Statik, Wurzelraum) geschlossen, relevante, vegetationstechnische Grundlagen erarbeitet und Strategien bzw. Konzepte für die Verwendung von Baumfassaden als integrale Bestandteile des Gebäude- und Freiraumentwurfs entwickelt. In mehreren Arbeitsschritten wurden zuerst die entwurfsrelevanten Rahmenbedingungen für Architektur, Vegetation und Konstruktion identifiziert (Projektbericht Teil A), diese Bedingungen anhand eines konkreten Entwurfsbeispiels – Wohnungsbau Bamberg – getestet (Teil C) und daraus eine allgemeine Entwurfsstrategie entwickelt (Teil B).

Die über den Projektzeitraum geführten Untersuchungen und die praktische Arbeit an der Umsetzung einer Baumfassadenplanung in Bamberg konnten die im Vorfeld gemachten und oben beschriebenen Hypothesen zu Wirksamkeit und Nutzen von Baumfassaden als ernstzunehmende Alternative zu herkömmlichen Bauwerksbegrünungen bestätigen. Gleichzeitig entstand erstmals ein umfassendes Forschungspapier zum Thema, welches nahezu alle Facetten der Planung von Baumfassaden berücksichtigt und daraus eine allgemeine Entwurfsstrategie für Planung, Pflanzung und Pflege ableitet. Die beispielhafte Umsetzung in Bamberg, deren Planung mittlerweile abgeschlossen ist, wird weitere Gelegenheiten bieten, den Forschungsstand fortzuschreiben und die Datengrundlage, insbesondere Datenpunkte zur Kosten-Nutzen-Abwägung, zu vervollständigen. Die Autoren hoffen außerdem mit diesem Projekt zur Verbreitung dieses vielversprechenden Ansatzes, nämlich Bäume zur Fassadenbegrünung einzusetzen, also Baumfassaden zu pflanzen, beigetragen zu haben.

Inhalt

A Einleitung	7
1. Anlass	7
2. Definition und Zukunftspotentiale Baumfassade	7
2.1 Definition	7
2.2 Abgrenzung	8
2.3 Vergleich	9
2.4 Zukunftspotentiale und planerische Herangehensweisen	10
B Strategien und Grundlagen	12
1. Konstruktive Strategien (Übersicht).....	12
1.1 Anbindung mit einwachsendem Stab.....	13
1.2 Temporäre Anbindung	15
1.3 Baum frei vor Fassade stehend.....	17
1.4 Vergleich der drei Anbindevarianten.....	18
2 Räumliche Betrachtungen.....	18
2.1 Anwendungsbeispiele anhand von Variante 2	18
2.2 Räumlich sinnliche Qualitäten	21
3 Statische Betrachtungen des Baumes.....	23
3.1 Grundparameter	23
3.2 Validierung.....	26
4 Vorgehen Baumartenwahl	28
4.1 Standortabhängige Parameter	29
4.2 Gestalterische Aspekte	31
4.3 Gärtnerische Aspekte.....	32
4.4 Ökonomische Aspekte	33
4.5 Baumartenwahl - Entscheidungsprozess.....	33
5 Der Baum unterirdisch	36
5.1 Wurzelverhalten	36
5.2 Anforderungen an den Wurzelraum Baumfassade	38
5.3 Schnittstellen	41
6 Der Baum oberirdisch	43
6.1 Baumwachstumstendenzen an der Fassade und mögliche Reaktionen	43
6.2 Pflorgetechniken	44
6.3 Pflegemaßnahmen.....	45

7	Nutzen- und Klima-Aspekte	47
7.1	Anpassung an den Klimawandel	48
7.2	Klima- und Energiebilanz	51
8	Rechtliche Betrachtungen.....	54
8.1	Baurecht.....	54
8.2	Naturschutzrecht	55
C	Fallbeispiel Bamberg	57
1.	Hintergrund	57
2.	Statische Herangehensweisen	57
3.	Räumlich-architektonische Kriterien	58
4.	Studien zur Fassadenentwicklung.....	59
5.	Umsetzung	60
5.1	Baumartenwahl konkret.....	60
5.3	Bautechnische Ausführung.....	65
5.4	Brandschutz konkret.....	65
5.5	Monitoring und weitere Evaluierung	66
6.	„Reflexion“ zu integriertem Arbeiten.....	67
D	Verzeichnisse.....	68
1.	Literaturverzeichnis	68
2.	Abbildungsverzeichnis	72
3.	Tabellenverzeichnis.....	74
E	Anlage	76

A Einleitung

1. Anlass

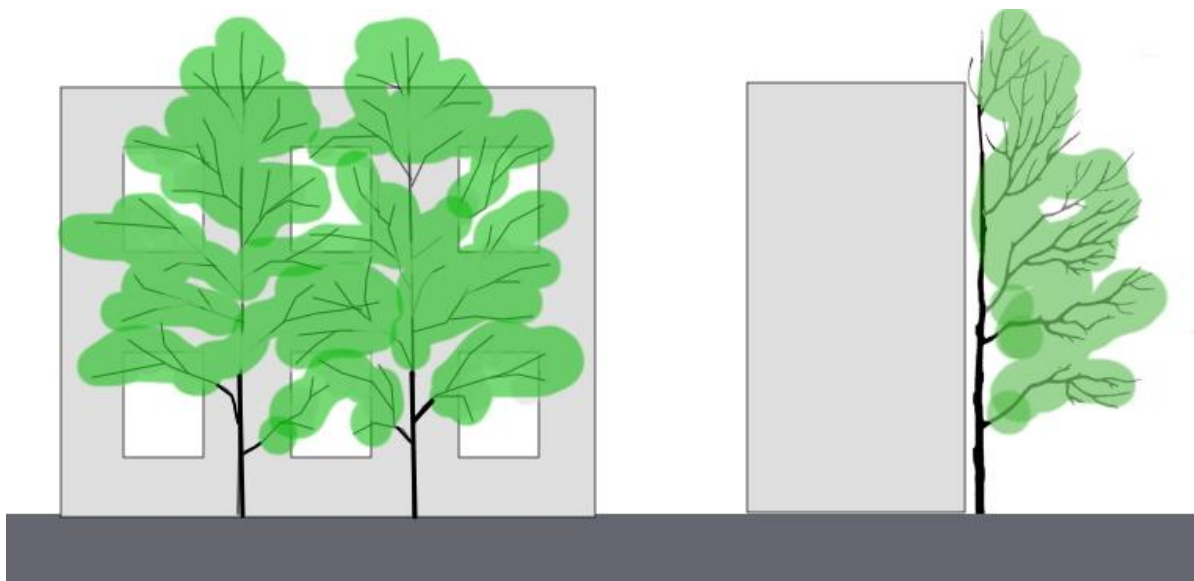
Das vorliegende Forschungsvorhaben untersucht die Potentiale von Baumfassaden für Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel. Der Einsatz von Baumfassaden ist eine neuartige Alternative zu herkömmlichen vertikalen Fassadenbegrünungen, die Kletterpflanzen, Stauden oder Kleingehölze als Begrünungselemente einsetzen. Am Beispiel einer Baumfassade für ein soziales Wohnungsbauprojekt in Bamberg werden durch eine exemplarische Umsetzung belastbare allgemeingültige Aussagen zur Wirkung von Baumfassaden getroffen. Mit dieser Vorgehensweise werden bestehende Wissenslücken bezüglich planungsrelevanter Parameter (z.B. Artenwahl, Statik, Wurzelraum) geschlossen. Außerdem werden relevante vegetationstechnische Grundlagen erarbeitet und Effektivität und Wirtschaftlichkeit solcher Lösungen in einem restingentem Umfeld, wie dem des sozialen Wohnungsbaus, getestet. Ausgangspunkt ist ein spezifischer architektonischer Entwurf, der integrativ und in Einheit mit Baubotanik, Technik, Planung, Umsetzung und Pflege ökologische, technische, wirtschaftliche und räumlich-ästhetische Potentiale der Baumfassade evaluiert.

2. Definition und Zukunftspotentiale Baumfassade

2.1 Definition

Baumfassaden sind eine Möglichkeit, das planerische Repertoire von Gebäudebegrünungen zu erweitern.

Eine Baumfassade besteht dabei aus ausladenden, großkronigen Bäumen, die so nah an ein Gebäude gepflanzt werden, dass die Baumkrone von außen gestalterisch Teil des Hauses wird, während der Nutzer des Gebäudes den Kronenraum direkt vom Stamm aus vor dem Fenster oder vom Balkon aus erleben kann. Die Pflanzung des Baumes nah an der Fassade führt, begleitet durch pflegerische Schnittmaßnahmen, zur Ausbildung einer „halben Krone“. Durch natürliche Wachstumsprozesse des Baumes entwickeln sich die Äste vom Gebäude weg hin zum Licht, wodurch der gewünschte Effekt der „halben Krone“ verstärkt wird.



2.2 Abgrenzung

Um den Unterschied verschiedener Begrünungen am Gebäude darzustellen, werden im Folgenden verschiedene Typologien schematisch vorgestellt:

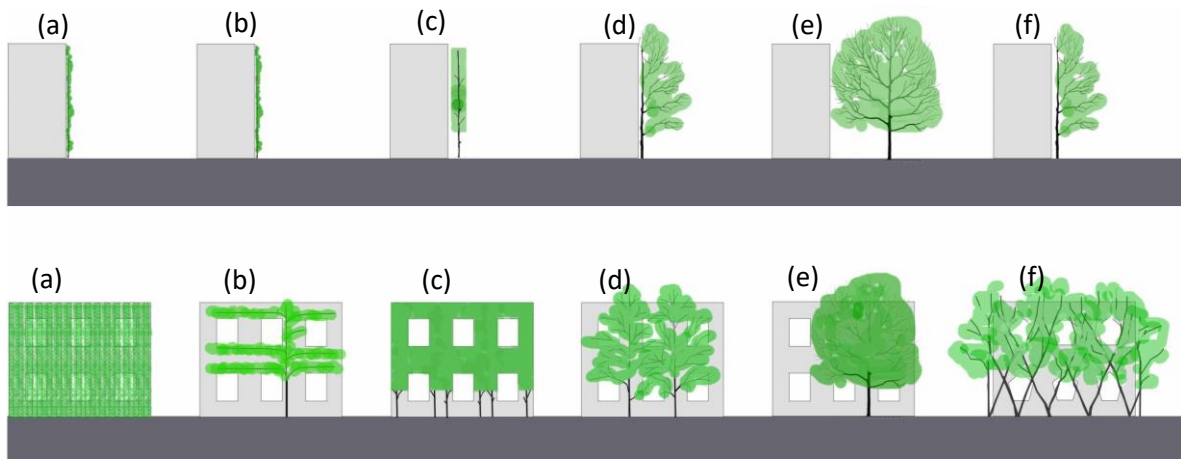
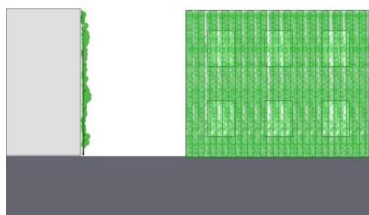


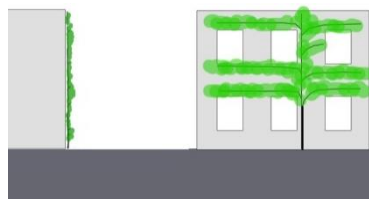
Abbildung 02: (a) bodengebundene Fassadenbegrünung, (b) Spalierbaum, (c) Hochstammhecke, (d) Baumfassade, (e) Haus vorm Baum, (f) Baubotanik Fassade in Schnitt (oben) und Ansicht (unten) (Lisa Höpfl)

2.2.1 Bodengebundene Fassadenbegrünung mit Gerüstkletterpflanzen



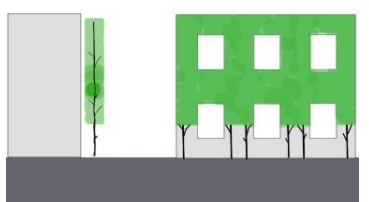
Die leitbare Begrünung mit Gerüstkletterpflanzen wächst (im Gegensatz zu Direktbegrünung durch selbstkletternde Arten) mithilfe einer Wuchshilfe (z.B. Spalier, gespannte Drähte) und mit Abstand zur Fassade. An dieser Stelle werden nur bodengebundene Systeme in die Betrachtung miteinbezogen. Die Fassadenbegrünung ist in der Regel wenig tief, beeinflusst aber je nach Anordnung der Wuchshilfen und gewählter Art durch Verschattung mögliche klimatische Effekte am Gebäude.

2.2.2 Spalierbaum



Spalierbäume sind Bäume, die an einer Hilfskonstruktion befestigt und mittels Erziehung in eine gewünschte Wuchsform gebracht werden. Sie werden häufig an einer nach Süden ausgerichteten Fassade und direkt in den Boden gepflanzt. Die Krone verfügt über eine geringe Tiefe und wächst möglichst flächig. Ziel der Spalierform ist die Nutzung der Wärmespeicherfähigkeit der Wand und damit die Steigerung des Ertrags, sowie das Erziehen einer erntegerechteren Form. Ein Dämm- oder Kühleffekt ist beim Spalierbaum nicht zu erwarten.

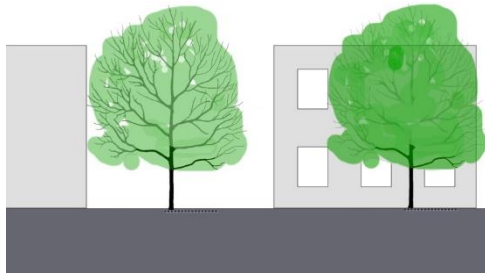
2.2.3 Hochstammhecke



Bei der an der Fassade gepflanzten Hochstammhecke handelt es sich um mehrere, nebeneinander gepflanzte Hochstämme, deren Krone mittels Schnitt in einer bestimmten, oft architektonisch vorgegebenen Form gehalten werden. Dadurch können Fenster bewusst freigehalten werden, um dem Nutzer von innen alle Blickbeziehungen nach außen zu ermöglichen. Im Gegensatz zum

Spalier verfügt die Stammhecke über eine räumliche Tiefe. Je nach Kronenvolumen ist bei Stammhecken eine klimatische Wirksamkeit auf das Gebäude möglich. Ein bekanntes Beispiel ist die Hochheckenfassade des Projekts *Gites ruraux des Jupilles* (Edouard Francois).

2.2.4 Baum vorm Haus

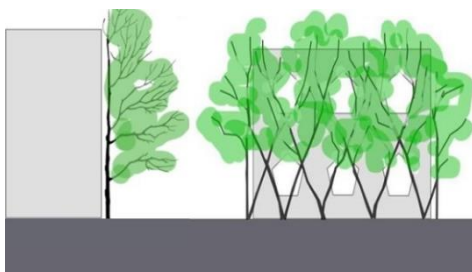


Beim Baum vorm Haus ist der Abstand zum Gebäude groß genug, um die Krone voll zu entwickeln.

Schnittmaßnahmen sind in der Regel nicht, höchstens bei Formbäumen und als Sicherheitsmaßnahme im Alter, vorgesehen. Im Gegensatz zu Spalierbäumen, Stammhecken oder Baumfassaden steht der Baum vorm Haus meist einzeln. Er verfügt zwar über ein volles Kronenvolumen, das wirkt klimatisch jedoch nur punktuell

an der Fassade. Dadurch sind kühlende Effekte durch Verschattung und Transpiration nur begrenzt möglich. Der Nutzer nimmt den Baum immer von außen wahr.

2.2.5 Baubotanik-Fassade



In der Baubotanik werden mehrere, an der Fassade gepflanzte Bäume mithilfe von Verwachsungen der Stämme oder Äste untereinander zu einer Einheit. Auch Verwachsungen zwischen Gehölzen und technischen Elementen sind möglich. Planung, Umsetzung und Pflege sind dabei allerdings sehr anspruchsvoll. Klimatisch wirkt eine Baubotanikfassade durch Verschattung und Transpiration ähnlich wie eine Baumfassade.

2.3 Vergleich

Im direkten Vergleich der am Gebäude stehenden Begrünungen werden auf der einen Seite die Komplexität von Baumfassaden in der Planung und Pflege deutlich, aber auch die hohen gestalterischen und klimatischen Potentiale. Damit ist es möglich, an den unterschiedlichsten Standorten und mit den verschiedensten architektonischen Konzepten eine Baumfassade zu etablieren. Bodengebundene Fassadenbegrünungen mit Spalierkletterpflanzen sind im Vergleich zu Baumfassaden in der Regel einfacher zu planen und umzusetzen, verfügen aber dafür nicht über eine derartige Vielfalt, räumlich-atmosphärische Aspekte und klimatische Wirksamkeit.

	Planungskomplexität	Gestaltungsvarianz	Klimatische Wirkung	Aufwand & Pflege
Bodengebundene Fassadenbegrünung	mittel - hoch	mittel	mittel	mittel
Spalierbaum	mittel	niedrig	gering	hoch
Stammhecke	hoch	hoch	hoch	hoch
Baum vorm Haus	niedrig	niedrig	niedrig	niedrig
Baubotanik-Fassade	hoch	mittel	hoch	hoch

Tabelle 01: Vergleiche von pflanzenbasierten Fassadenlösungen (Baumbasierte Fassaden in grün) (Lisa Höpfl)

2.4 Zukunftspotentiale und planerische Herangehensweisen

2.4.1 Allgemeine Potentiale

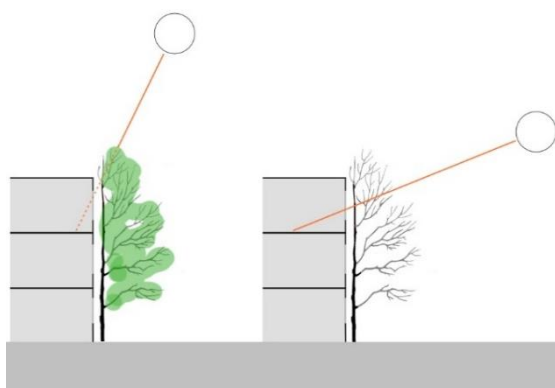
Potentiale für Baumfassaden ergeben sich aus deren räumlich-ästhetischen Qualitäten, der positiven mikroklimatischen Wirkung sowie aus ökonomischen Überlegungen, insbesondere im Vergleich zu bodengebundenen Ranksystemen, die im Gegensatz zu Baumfassaden nicht selbsttragend sind und daher eine andere Kostenstruktur aufweisen. Prinzipiell ist es erstaunlich, dass zu Baumfassaden bisher kaum tiefergehende Untersuchungen bestehen. Die Autoren dieser Studie nehmen an, dass dies unter anderem darauf zurückzuführen ist, dass Bepflanzungspläne im Rahmen einer Bebauung immer getrennt von der Gebäudeplanung in Angriff genommen werden. Zur weiterführenden Bewertung der vorhandenen Potentiale wurden im Rahmen dieses Projekts verschiedene Konstruktionsansätze untersucht. Zuerst wurden verschiedene Pflanzungsvarianten räumlich durchdekliniert. Dann wurde ein technisch, konstruktiver Ansatz entwickelt, der sich an statisch-technischen und baubotanischen Maßstäben orientiert und schließlich wurde eine Praxislösung anhand eines konkreten Neubauprojekts eines sozialen Wohnungsbaus im Bamberg entwickelt, die sich augenblicklich in der Umsetzung befindet. Die Pflanzung ist für das Jahr 2023/24 geplant.

2.4.2 Räumlich-ästhetische Potentiale

Auch aktuell gebaute und geplante Bauprojekte machen den Wunsch nach einer engen Verbindung von Bauwerken und Bäumen deutlich. Dies lässt sich durch die eingehend erwähnten mikroklimatischen Effekte, aber auch durch die räumlich-ästhetischen Wirkungen erklären: Unmittelbar an der Fassade angeordnete Bäume erzeugen im Gebäude u. a. durch differenzierte Lichtstimmungen Aufenthaltsqualitäten, wie sie sonst nur in Wäldern oder unmittelbar in natürlich gewachsenen Baumkronen erlebbar sind. Sie ermöglichen so eine intensive Naturerfahrung unmittelbar am Gebäude und stellen eine Verschattung sowie einen Sichtschutz dar. Gleichzeitig bieten sie – bei entsprechender Artenwahl und Pflege – durch das in der Tiefe gestaffelte Laubvolumen vielfältige Ausblicke.

2.4.3 Klimatische Potentiale

Durch ihr wesentlich größeres Kronenvolumen weisen Baumfassaden im Vergleich zu flächigen Fassadenbegrünungen potentiell eine noch deutlich höhere mikroklimatische Wirkung auf. So können bei Bäumen durch die hohe Beschattungs- und Transpirationsleistung lokale Temperaturreduktionen der Außenluft von bis zu 3,5°C nachgewiesen werden, während bei Fassadenbegrünungen nur bis zu 1,3°C gemessen werden (Pfoser et al. 2013, Hsieh et al. 2018, McPherson and Simpson 2003, Gillner et al. 2015). Der Baumschatten selbst kann die Oberflächentemperaturen an der Fassade um bis zu 9°C reduzieren (Berry et al. 2013).



Für den Bewohner ergibt sich eine unmittelbare Naturerfahrung und ein mikroklimatischer Mehrwert sowohl im als auch außerhalb des Gebäudes. Während in den Sommermonaten die dichte Belaubung für Beschattung und Kühlung sorgt ermöglicht die laubfreie, lichtdurchlässige Baumkrone im Winter solare Gewinne.

Abbildung 03: links: Verschattung und Kühlung des Gebäudes durch die Baumfassade im Sommer, rechts: Belichtung der Wohnräume im Winter (Lisa Höpfl)

2.4.4 Planerische Herangehensweisen

Baumfassaden sind ein innovativer Ansatz, um im Bereich der Bauwerksbegrünung neue Wege im Bereich Klimaschutz- und Klimawandelanpassung zu gehen. Einzelne, für Baumfassaden jedoch relevante Aspekte stehen noch in keinem Regelwerk und sind nur in einem integrativen Ansatz mit allen Planungsbeteiligten zu lösen. So gilt es beispielsweise auch, die Fassadengestaltung und damit letztendlich auch den Grundriss mit der Anordnung der Bäume in Einklang zu bringen. Gleichzeitig ist zu bedenken, dass auch die zeitliche Entwicklung systematisch in den Planungs- und Entwurfsprozess zu integrieren ist. Denn Bäume und damit Baumfassaden verändern mit dem Wachstum ihre Form und Größe, ihre räumliche und klimatische Wirkung und ihr Tragverhalten.

Das Thema Baumfassaden wird in diesem Leitfaden ausschließlich für Neubauten und bis zu einer Höhe von 4 Geschossen behandelt. Grund hierfür ist die bessere Abschätzbarkeit der Eigenschaften des vorhandenen Untergrundes, der Ausführung von unterirdischen Bauteilen und Infrastrukturen und daraus resultierend der besseren Kontrolle bzw. Planung des Wurzelraumes.

2.4.5 Zeitliche Dimension, Biodiversität und Ökologische Komponenten

Ein wichtiger Aspekt im Zuge der Planung von Baumfassaden stellt die Berücksichtigung des Faktors Zeit dar. Bis die Baumfassade ihre volle räumliche und klimatische Wirkung entfalten kann, vergehen, je nach gewählter Größe der Bäume bei der Pflanzung, mitunter 10-20 Jahre. Dieser Prozess des Wachsens und stetigen Veränderns ist eine ungewohnte Sicht auf die Architektur. Im Gegensatz zum Gebäudesubstanz gewinnt eine Baumfassade mit zunehmendem Alter an Wert: die Biodiversität sowie die ökologisch und klimatisch wirksamen Faktoren nehmen zu.

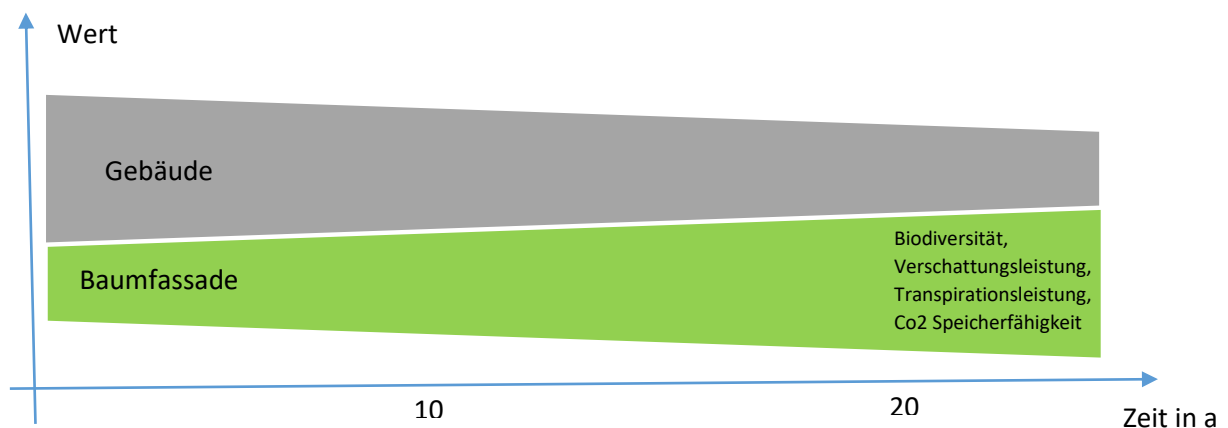


Abbildung 04: Verhältnis Gebäude Baumfassade (Lisa Höpfl)

B Strategien und Grundlagen

1. Konstruktive Strategien (Übersicht)

Anlass für die drei hier vorgestellten konstruktiven Strategien ist die differenzierte Betrachtung des Baumes in seiner Entwicklung vom Jungbaum zum ausgewachsenen Baum und sein jeweiliges Verhalten im Wind. Je nach Stadium liegen in Stamm und den Ästen unterschiedliche Flexibilitäts- bzw. Steifigkeitsgradienten vor, die je nach Windstärke zu unterschiedlich starken Bewegungsverhalten führen.

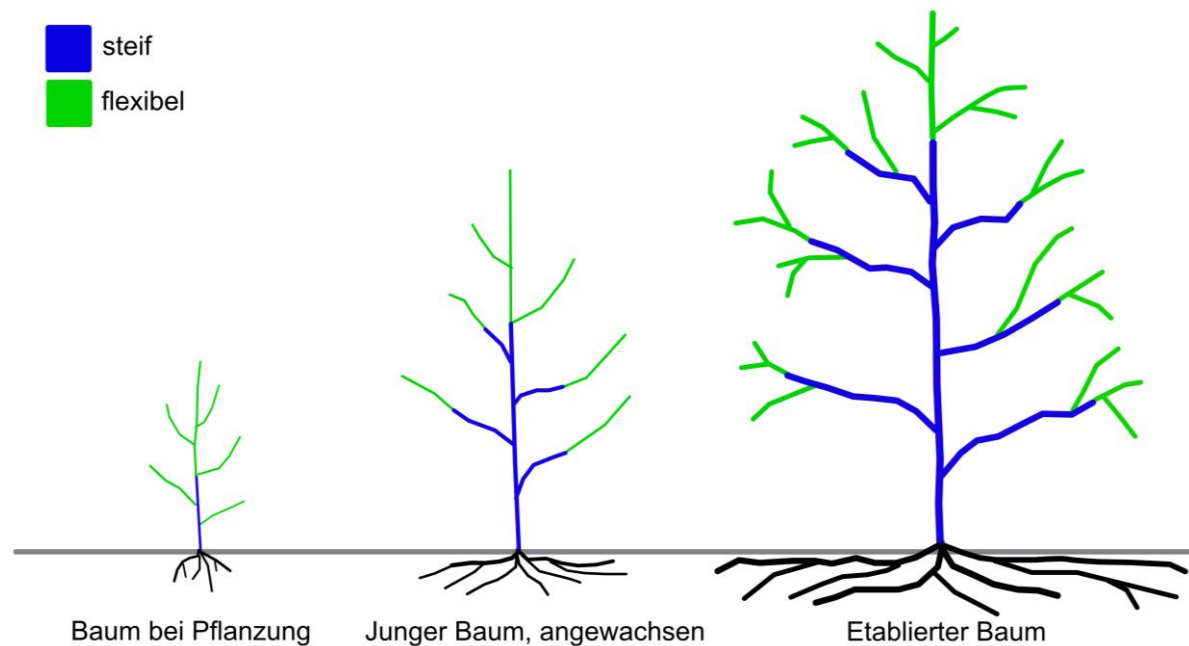


Abbildung 05: Schematische Darstellung Flexibilität – Steifigkeit des Baumes in 3 Altersstufen (Lisa Höpfl)

Das macht den Baum und das Gebäude zu unterschiedlichen Zeitpunkten und an unterschiedlichen Punkten anfällig für Schäden:

- Der Baum kann durch zu wenig verankerte Wurzeln (bei der Pflanzung oder bei schlechter Entwicklung der Wurzeln) vom Haus weg- oder zum Haus hinkippen, bis hin zur Entwurzelung
- Der Trieb, Äste und Zweige können an die Fassade schlagen, bis hin zum Abbrechen

Für die Baumfassade ergeben sich zwei Ansätze, entweder den Baum temporär oder dauerhaft zu sichern und zu stützen oder die Bewegung des Baumes in die Planung zu integrieren. Je nach geplanter Gebäudetypologie (glatte Fassade, Balkone, Laubengänge) und damit verbundenen Anknüpfungspunkten ergeben sich daraus unterschiedliche Möglichkeiten.

Für dieses Forschungsprojekt wurden nun beispielhaft 3 Varianten entwickelt, anhand derer die verschiedenen Ansätze durchgespielt sowie typische Situationen aufgegriffen und mögliche Schnittstellen angedacht wurden. Im Einzelfall sind häufig zahlreiche Anpassungen notwendig, so dass es im Entwurfsprozess zu immer neuen Varianten führen wird.

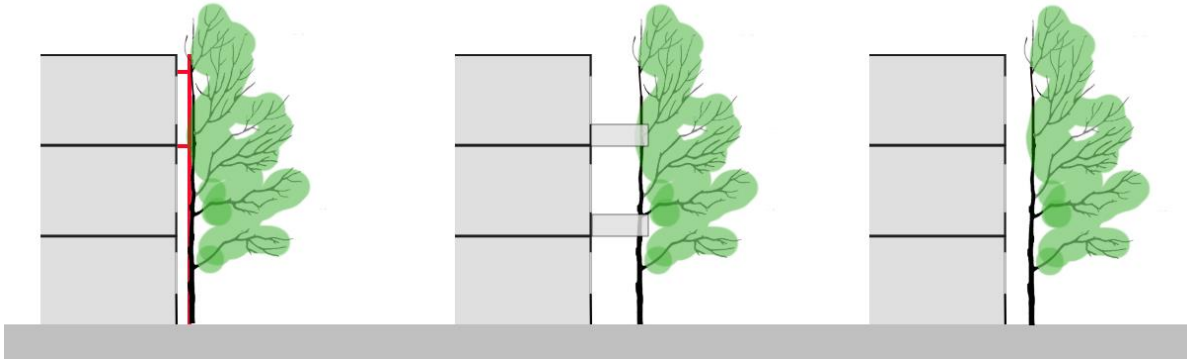


Abbildung 06: Anbindung mit einwachsendem Stab (links); Temporäre Anbindung (mitte); Baum frei vor Fassade stehend (rechts) (Lisa Höpfl)

Bei Variante 1 handelt es sich um einen Gerüststab, der dauerhaft und elastisch aufgelagert am Gebäude fixiert wird. Der Leittrieb des Baumes wird bei der Pflanzung am Gerüststab fixiert und im Zuge des Wachstums kontinuierlich um den Stab gezogen. Ziel ist eine dauerhafte Verwachsung von Stab und Baum.

Variante 2 nutzt bauliche Elemente wie Loggien, Balkone oder Laubengänge, um daran ein Bauteil zu integrieren, das den Baum umgreift und ihn temporär und nur auf Zug fixiert, bis eine ausreichende Steifigkeit erreicht ist.

Variante 3 lässt den Baum mit etwas mehr Abstand vor dem Gebäude stehen, so dass sich der Baum im Wind relativ frei bewegen kann. Hier sind nur in der Etablierungsphase temporäre Stützsysteme angedacht.

1.1 Anbindung mit einwachsendem Stab

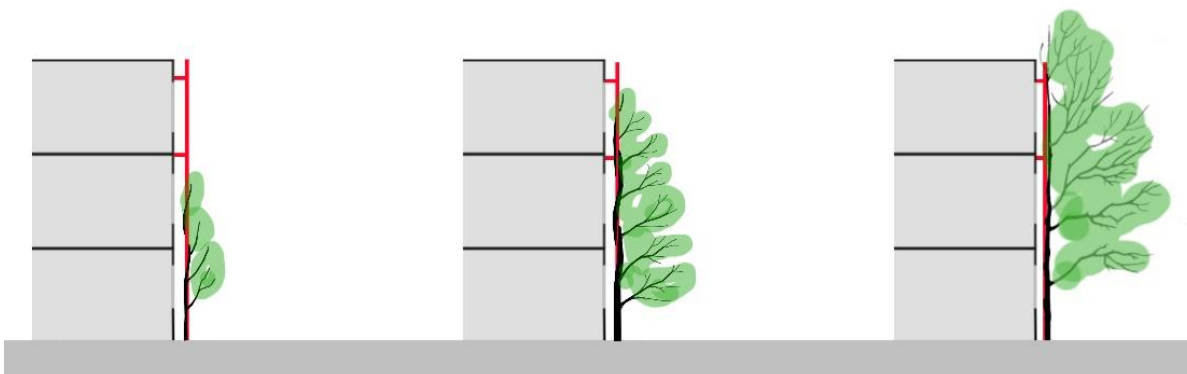


Abbildung 07: zeitliche Entwicklung Anbindung mit einwachsendem Stab (Lisa Höpfl)

Variante 1 stellt die Bäume der Baumfassade mit sehr geringem Abstand an das Gebäude. Die halbe Ballengröße des Baumes bei der Pflanzung sollte jedoch nicht unterschritten werden, damit der Baum nicht durch zusätzliche stark eingreifende Schnittmaßnahmen im Wurzelbereich geschwächt wird. Die unmittelbare Nähe zum Gebäude bedeutet, dass der Wurzelraum zu einer Seite hin stark eingeschränkt ist und sich die Wurzeln nur vom Gebäude weg ausbreiten können.

Um den jungen Baum bei seinem Verankerungs- und Anwachsprozess zu unterstützen und den älteren, stabileren Baum mit flexibler Triebspitze vor einem Abknicken bei starken Winden zu

schützen, wird ein Gerüststab vorgeschlagen, der die Hebelwirkung vermindert, das Umkippen des Baumes verhindert und die Spitze stabilisiert.

In dieser Variante ist der Gerüststab dauerhaft konzipiert. Die elastische Triebspitze wird regelmäßig um den Gerüststab geführt, so dass Baum und Stab durch das Dickenwachstum des Baumes im Laufe der Zeit zu einer Einheit verwachsen (siehe Abb. 8): Durch das Wachsen in die Höhe ist eine Erweiterung des Umfangs unabdingbar, sowohl um die Versorgung als auch die Stabilität des Baumes sicherzustellen. Teilungsprozesse im Kambium, der Gewebeschicht unter der Rinde, führen dabei zu einer ringförmigen Vergrößerung des Sprosses. Befindet sich in der Zone des Dickenwachstums ein Hindernis, wie in diesem Fall der Gerüststab, wird dieses umschlossen und im Laufe der Zeit derart „überwallt“, dass der Stab von außen nur noch partiell oder gar nicht mehr sichtbar ist.

Die Trieb-Gerüststab-Verbindung wird elastisch an speziellen Anknüpfungspunkten am Gebäude aufgelagert, wobei die Kopplung des statischen Systems Gebäude und des flexiblen Systems Gerüststab-Baum eine Herausforderung darstellt, die bereits früh im Planungsprozess angedacht werden sollte.

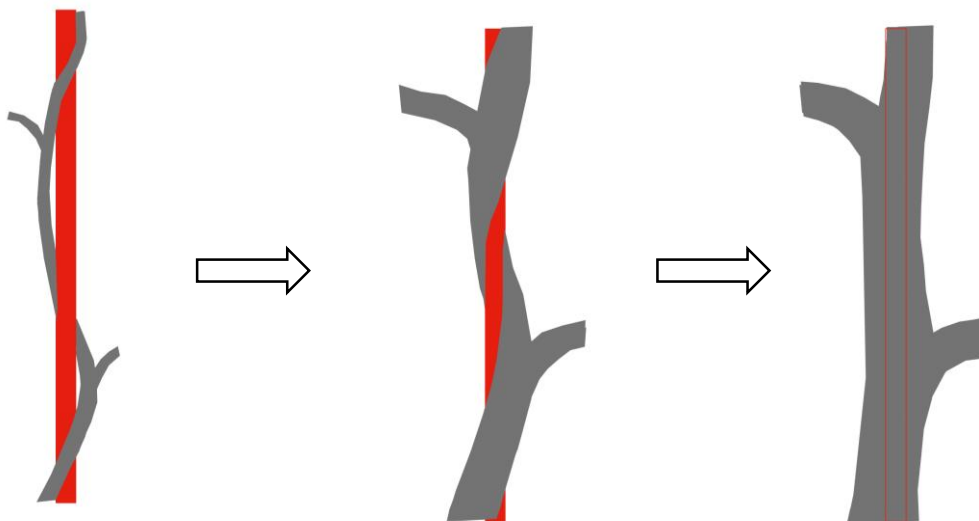


Abbildung 8: Einwachsprozess der Triebspitze um den Stab (Lisa Höpfl)

Statik Statische Simulationsmodelle haben gezeigt, dass durch die Kombination des Baumes mit eingewachsenem Stab und einer elastischen Zug-Druck-Anbindung zum festen Auflager am Gebäude Spannungsspitzen im Stamm vermieden werden können. Unter Windbelastung verteilen sich auftretende Spannungen dann harmonisch im Baum. Wird der Gerüststab schwertartig und in Richtung der Spitzen graduell verjüngt gefertigt, verstärkt sich dieser Effekt sogar noch. Durch diese Bauart wird sichergestellt, dass der Baum über den eingewachsenen Stab hinauswachsen kann, ohne am Stabende bei starken Windlasten zu brechen. Zur Modellierung des Baumes mit eingewachsenem Stab siehe Kapitel 3.

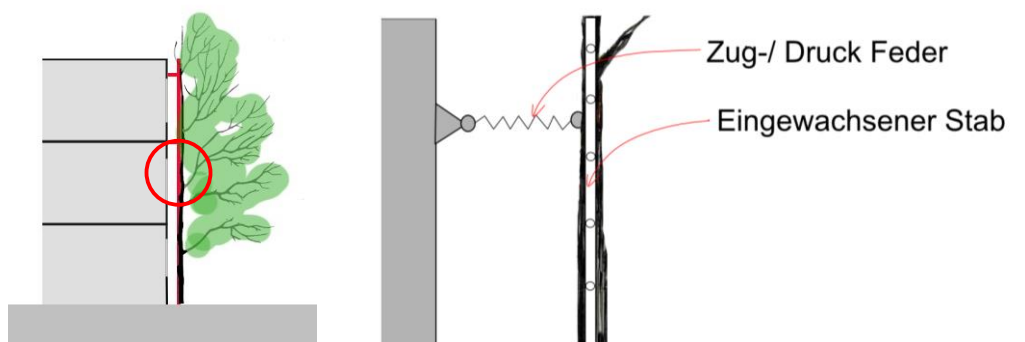


Abbildung 09: Anbindung mit eingewachsenem Stab (links) und Zoom-in des statischen Prinzips der dauerhaften Anbindung (rechts) (Lisa Höpfl)

Pflege Zur Pflege der Variante 1 gehören regelmäßige Schnitтарbeiten von Ästen, die möglicherweise Richtung Fassade wachsen sowie die kontinuierliche Führung der Triebspitze um den Gerüststab. Durch den geringen Abstand von der Fassade und ausladende Äste des Baumes ist die Erreichbarkeit des Stammes eingeschränkt. Verfügt das Gebäude über eine Attika, könnten sich speziell geschulte Gärtner bzw. Baumkletterer von dort eingebauten Sekuranten abseilen und direkt zwischen Gebäude und Baumfassade agieren. Dadurch ist eine sehr präzise Pflege möglich. Alternativ ist eine Pflege vom Boden aus mittels Hubsteiger oder Anleitern möglich, wobei die Befahrbarkeit des Untergrundes gewährleistet werden muss. Zudem ist die Erreichbarkeit an jedem Punkt der Baumfassade besonders bei ausgewachsenen Bäumen erschwert.

Vor- und Nachteile Bei Variante 1 verschmelzen Gebäude und der Baum nahezu vollständig miteinander. Dadurch entsteht nicht nur eine konstruktive, sondern auch eine visuelle Einheit, die neue räumliche Qualitäten in und am Gebäude erschafft.

Innerhalb der drei vorgestellten Varianten sind die klimatischen Effekte als am höchsten einzuschätzen. Demgegenüber sind höhere Aufwände bei der Planung, Pflege und den Kosten zu erwarten.

1.2 Temporäre Anbindung

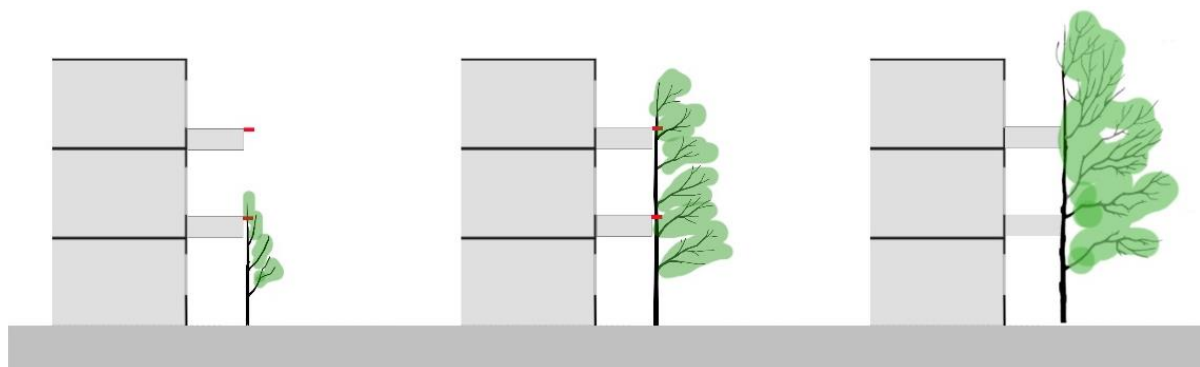


Abbildung 10: zeitliche Entwicklung der temporären Anbindung (Lisa Höpfl)

Variante 2 integriert die Anbindung des Baumes temporär in ein Bauteil des Gebäudes. Dies kann ein beispielsweise eine Loggia, ein Balkon oder Laubengang sein. Dadurch steht der Baum in einem

definierten Abstand vor dem Gebäude, wodurch einerseits der Wurzelraum weniger eingeschränkt ist und andererseits die Gefahr von Schäden am Baum oder der Fassade bei Wind reduziert sind.

Je nach Entwicklungsstadium wird der Baum an speziellen, in das Bauteil integrierte Vorrichtungen flexibel auf Zug und temporär, beispielsweise mittels elastischen Baumbindern oder Kokosstricken, festgebunden. Die Vorrichtungen können eingelassene oder auskragende Geländer oder Führungen sein. Ist der Baum etabliert, werden die temporären Anbindungen entfernt.



Abbildung 11: auskragende (links) und integrierte Anbindungsvorrichtung (rechts) (Lisa Höpfl)

Statik Wird der Baum direkt und starr am Bauteil fixiert, können bei starken Bewegungen durch Wind Spannungsspitzen im Stamm entstehen, die zu einem Bruch oberhalb der Fixierung führen können. Dies wird als Karate-Effekt beschrieben (Wessoly et. al 1995). Um dies zu vermeiden, sollte der Stamm elastisch und an möglichst vielen Punkten gehalten werden, bis die Steifigkeit des Stammes ausreichend vorhanden ist und die Fixierungen entfernt werden können.

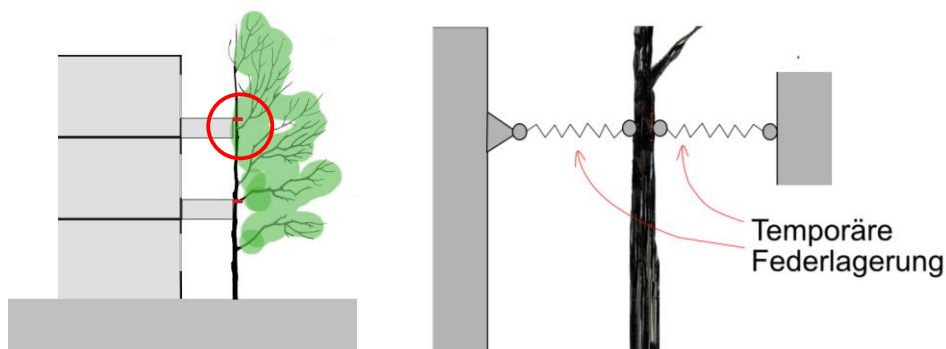


Abbildung 12: Integration der Baumfassade in einen Balkon oder Laubengang (links) und Zoom-in des statischen Prinzips der temporären Anbindung (rechts) (Lisa Höpfl)

Pflege Die Pflege dieser Variante beschränkt sich auf die Schnitтарbeiten von in Richtung Fassade wachsender Äste und das Kontrollieren, Justieren und Entfernen der temporären Anbindungen.

Vor- und Nachteile Sind am Gebäude ohnehin Balkone oder Laubengänge vorgesehen, stellt dies eine einfache und relativ kostengünstige Möglichkeit dar, die Baumfassade zu etablieren. Räumlich kann diese Variante je nach Abstand distanzierter wirken. Jedoch kann durch geschickte Pflanzung an Eckpositionen ein Baumfassaden-Sichtschutz entstehen, der wiederum räumlich und klimatisch interessant wirkt.

1.3 Baum frei vor Fassade stehend

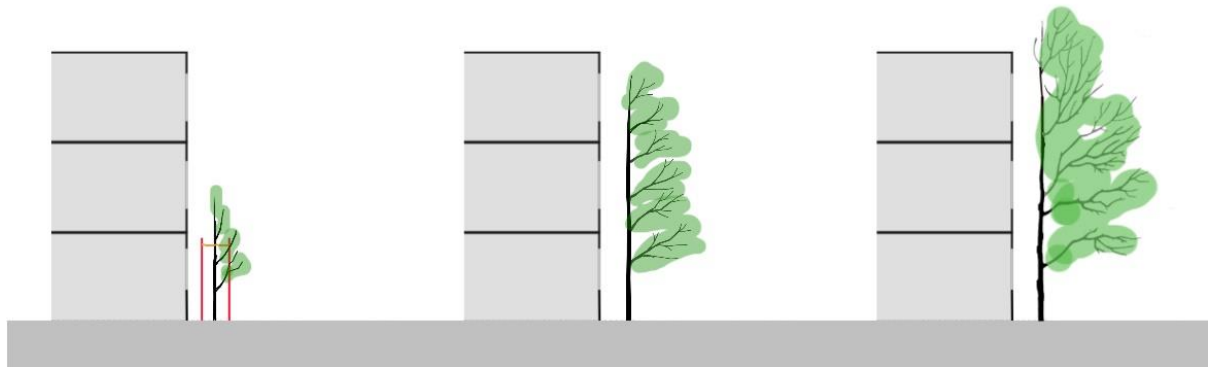


Abbildung 13: zeitliche Entwicklung Baum frei vor Fassade stehend (Lisa Höpfl)

Variante 3 rückt den Baum mit einem größeren Abstand von der Fassade ab und bindet ihn temporär und unabhängig vom Gebäude beispielsweise mit Baumpfahl, 3-Bock oder Unterflursystem nach der Pflanzung an, bis die Wurzeln ausreichend im Boden verankert sind, um den Baum zu stabilisieren. Durch den zur Fassade gehaltenen Abstand können sich die Wurzeln in beide Richtungen entwickeln, was sich positiv auf die Entwicklung des gesamten Baumes auswirkt. Ein Schwingen der Äste im Wind und ein mögliches Berühren der Fassade wird hier in Kauf genommen.

Statik Mithilfe statischer Simulationsmodelle können die Verformungen des Baumes bei maximaler Windlast ermittelt werden. Dabei werden in den Ästen überhöhte Spannungen gemessen, die im extremsten Fall bei einer Kollision mit der Fassade brechen. Dies kann in Kauf genommen werden, solange es sich nicht um den Stamm und um die Äste erster Ordnung handelt, was über den Abstand zur Fassade sichergestellt wird. Die Ergebnisse der Simulation sind art- und altersabhängig und bedürfen einer individuellen Betrachtung. Zur Modellierung von Bäumen und genauen Verformungsberechnung mittels FE-Modellen siehe Kapitel 3.

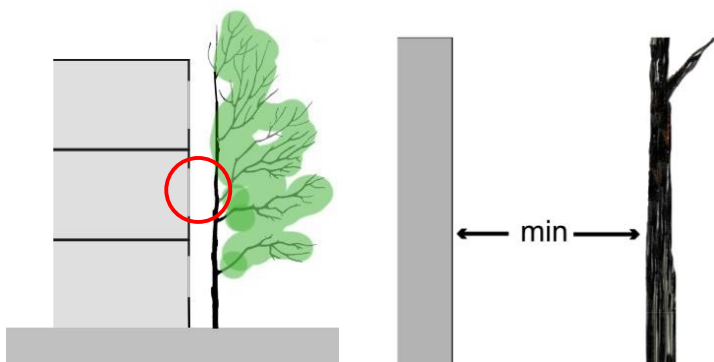


Abbildung 14: Baumfassade freistehend funktioniert über das Prinzip Abstand (Lisa Höpfl)

Pflege Die Pflege von Variante 3 besteht nur aus dem Entfernen der temporären Anbindung nach der Etablierung der Baumfassade und regelmäßigen Schnitтарbeiten der zur Fassade wachsenden Äste. Die Zugänglichkeit und die Erreichbarkeit sind dabei abhängig von den örtlichen Gegebenheiten.

Vor- und Nachteile Variante 3 hat keine direkten Schnittstellen mit dem Gebäude und ist deshalb in der Etablierung und Pflege kostengünstiger. Allerdings müssen hier bei starkem Wind mögliche Bewegungen des Baumes bis hin zur Fassade eingeplant werden.

1.4 Vergleich der drei Anbindevarianten

Vergleich	Art der Fixierung	Planungskomplexität	Pflege	Aufwand & Kosten	Möglicher Abstand zur Fassade
Var 1: Anbindung mit einwachsendem Stab	dauerhaft, elastisch, Zug-Druck-Verankerung	hoch	anspruchsvoll	hoch	Sehr gering
Var 2: temporäre Anbindung	temporär, Zug-Verankerung	mittel	mittel	mittel	Abhängig vom Bauteil
Var 3: Baum frei vor Fassade stehend	temporär zur Pflanzung	mittel	mittel	mittel	gering

Tabelle 02: Vergleich der Varianten 1-3 (Lisa Höpfl, Ferdinand Ludwig)

2 Räumliche Betrachtungen

2.1 Anwendungsbeispiele anhand von Variante 2

Der Baum wird integraler Bestandteil der Entwurfsplanung, das Leben in oder mit Bäumen wird sowohl klimatisch als auch räumlich- sinnlich für die Nutzer erfahrbar. Der Rückschnitt auf die halbe Krone erlaubt dabei den Blick aus dem Baum heraus. Wuchsform und Wuchsverhalten, Blattform und -dichte, Farben und Blüten sowie das Verhalten der Bäume eröffnen neue Potentiale für räumliche Bezüge zwischen dem Innen- und Außenraum für die Entwicklung alternativer Fassade und ermöglichen eine prozessuale Entwicklung der gesamten Architektur.

Untersucht werden hier drei räumliche Situationen der Variante 2, in denen die Architektur in ihrer formalen Ausbildung und Nutzung einen direkten Bezug zu Bäumen herstellt: Bäume vor, Bäume um und Bäume zwischen Balkonen oder Laubengängen. Das Szenario des Laubenganges und die damit verbundene Veränderung der Architektur wird von der Pflanzung bis zum ausgewachsenen Baum untersucht und gilt als übertragbar für die zwei weiteren Szenarien. Herausfordernd ist bei diesem Entwurfsansatz die Widersprüchlichkeit der Systeme, die das Nebeneinander von Baum und Gebäude architektonisch so spannungsreich machen:

statisch versus dynamisch: Während der Baum seine Stabilität durch Beweglichkeit erzeugt, gilt die umgekehrte Regel bei Gebäuden. Eine Verbindung zur gegenseitigen Unterstützung sowie ein Nebeneinander der Systeme ist deshalb mit technischen Herausforderungen verbunden, die im Weiteren untersucht und bewertet werden.

Abschluss versus Prozess: Die Wahrscheinlichkeit, dass Bäume in Ihrem neuen Umfeld anwachsen, nimmt mit zunehmender Größe und Alter der neu gepflanzten Bäume ab. Während die Gesamtform und Erscheinung des Gebäudes bei Einzug abgeschlossen ist, befinden sich die Bäume mit ihrem

geringen Kronenumfang und Höhe zum Zeitpunkt der Pflanzung noch in einem frühen Wachstumsstadium.

Licht versus Überhitzung: Herauszufinden ist die Balance zwischen genügend Licht für und Blick aus den Räumen über den Sommer bei gleichzeitiger Reduzierung der Temperaturen in den Außen- und Innenräumen. Entwurfsmomente sind hier der Abstand der Bäume vom Gebäude, die Baumart und die Dichte der Pflanzung

2.1.1 Bäume vor einem Balkon (Laubengangtypologie)

Dieses Szenario kombiniert die halben Kronen der Baumfassade mit dem privaten Raum des Balkons und dem öffentlichen Raum der Erschließung. Der auskragende Balkon ermöglicht eine Befestigung bzw. Führung der Bäume und wird zusätzlich zur Plattform für deren Pflege. Während die Verschattung der Fassade am Laubengang durch die auskragenden Flure auch bei Beginn der Pflanzung gewährleistet wird, wird der bisher offene Laubengang durch die Stämme und Äste der Bäume im weiteren Wachstumsprozess zunehmend räumlich gefasst. Auch von außen verändert sich die Fassade mit dem Wachstum der Bäume und der Belaubung der Baumkronen im Sommer.



Abbildung 15: Bäume vor dem Haus, Laubengangtypologie zum Zeitpunkt der Pflanzung (Florian Köhl, Divya Pilla)



Abbildung 16: Bäume vor dem Haus, Laubengangtypologie nach ca. 10-20 Jahren (Florian Köhl, Divya Pilla)

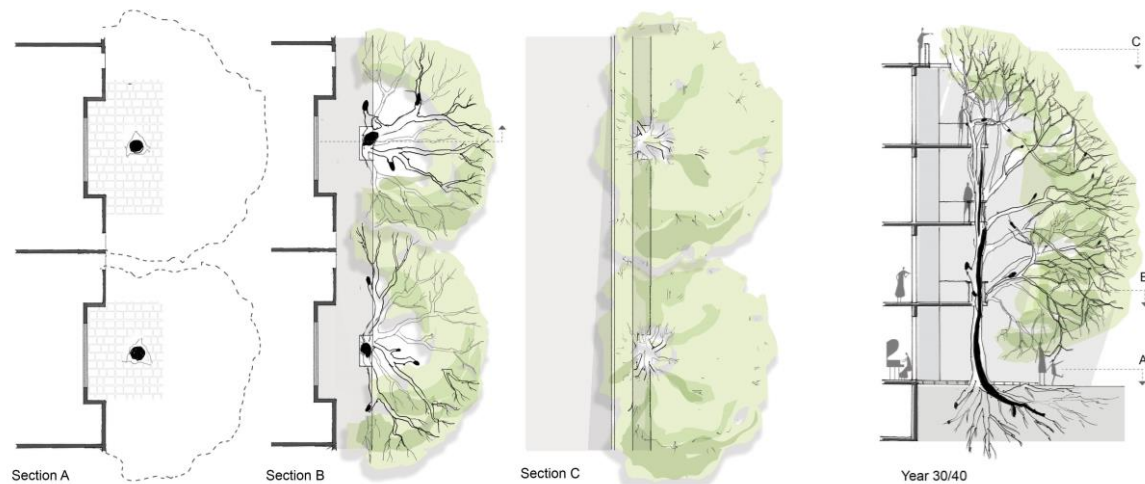


Abbildung 17: ausgewachsene Bäume vor dem Haus, Laubengangtypologie (Florian Köhl, Divya Pilla)

2.3.2 Bäume um einen Balkon (Eckbalkontypologie bei zweiseitiger Ausrichtung)

Dies Typologie ermöglicht sowohl im Außen- als auch im Innenraum ein Leben in den Bäumen. Geführt und befestigt am Balkon, entwickeln die Bäume einen Binnenraum auf dem Balkon und damit unterschiedliche Bezüge nach innen. Mit jeder Saison verändert sich das Leben auf dem Balkon. Besonders geeignet ist dieser Typ für Südwest-Ecken.

Option 3 A Green Niche | Year 10/20 | Tree type 1

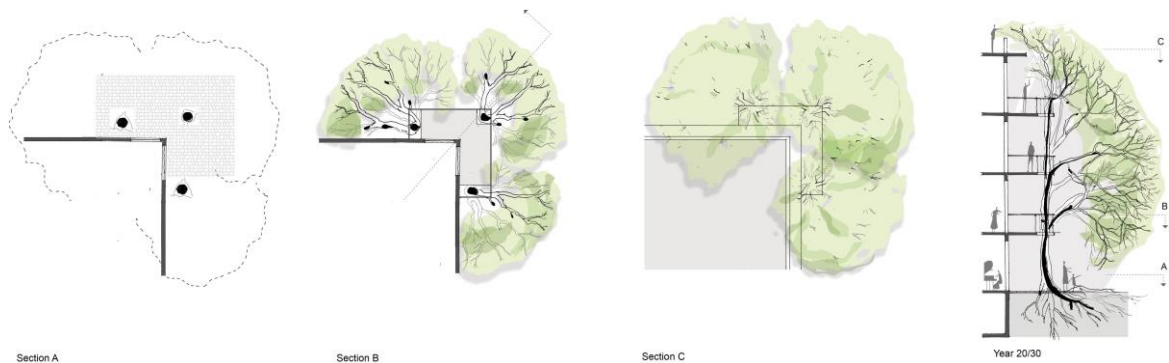


Abbildung 18: ausgewachsene Bäume am Eckbalkon (ca. 20-30 Jahre) (Florian Köhl, Divya Pilla)

2.3.3 Bäume zwischen Balkonen

Die Baumfassade ermöglicht eine natürliche Trennung zwischen naheliegenden Balkonen und ein „Leben im Baum“. In diesem Fall entsteht eine Erfahrung vom Innenraum, während der Balkon für den Blick frei bleibt. Eine Führung und Befestigung am Balkon ist möglich. Bei größerem Abstand (ca. 1,2m) kann der Baum auch freistehend gepflanzt werden (s. Fallbeispiel Bamberg)

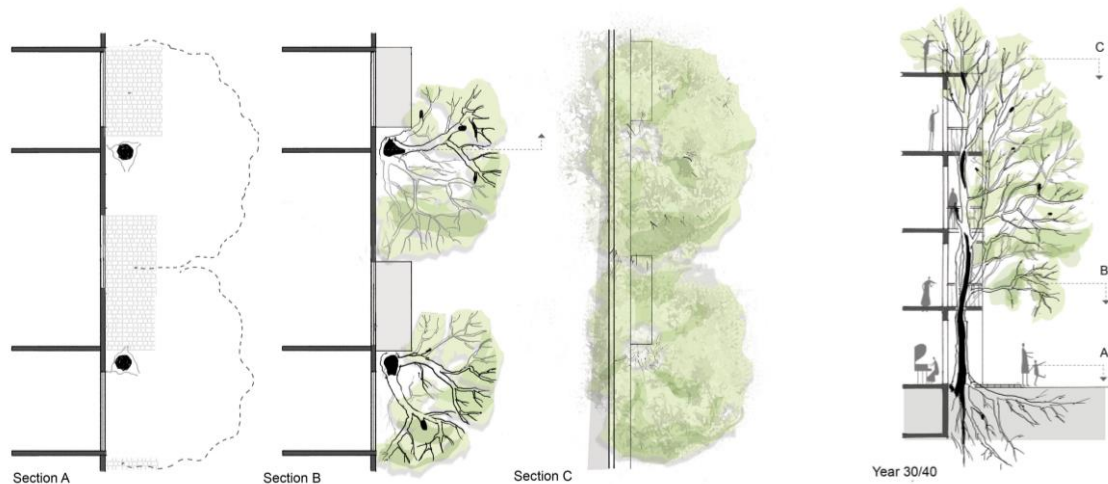


Abbildung 19: ausgewachsen Bäume zwischen Balkonen (Florian Köhl, Divya Pilla)

2.2 Räumlich sinnliche Qualitäten

Dies ist ein subjektiv-empirischer Versuch die räumlich-sinnlichen Qualitäten der Baumfassaden zu fassen. Eine Baumfassade befindet sich im ständigen Wandel.

Die räumliche Komponente und die Wirkung der Baumfassade hängt natürlich vom Abstand und der Anordnung der Bäume vor der Fassade, aber genauso vom Alter der Baumfassade und der Höhe, aus der die Baumkrone erlebt wird. Dies verändert sich im Laufe des Wachstums, aber auch innerhalb der Jahreszeiten: Während der frisch gepflanzte Baumes zunächst nur in den unteren Stockwerken erlebbar, die Krone insgesamt noch klein und die räumliche Tiefe eher gering, ist, entwickelt sich mit den Jahren ein großer, schattenspendender Baum, der durch die Tiefe seiner Äste auf jedem Stockwerk einen eigenen Kronenraum schafft. Je nach Jahreszeit schaffen Stämme, Aststrukturen und Belaubung einen Teppich von Licht- und Schattenspielen auf der Fassade, den Balkonen oder Laubengängen bis in die Wohnräume hinein.

Auch die Ausblicke ändern sich mit Jahreszeit, dem Alter des Baumes und der erlebten Höhe der Baumkrone: Im Winter gelangt Licht in die Wohnräume und der Blick öffnet sich. Er wird von Ästen in die Umgebung geleitet. Das Laub im Sommer ermöglicht eher partielle Blicke und inspiriert zu einem introvertierten Erfahren der näheren Baumkrone.

Durch die Unmittelbarkeit des Baumes werden dessen Eigenschaften für den Nutzer visuell, aber auch haptisch erfahrbar: Dazu gehören die die Textur von Stamm, Rinde und Ästen, das Ansiedeln von Moosen sowie das Überwintern der Knospen in der kalten Jahreszeit, um dann im Frühjahr auszutreiben und als buntes Laub im Herbstwind davon geweht zu werden.

Auch Regen und Wind kommen in der Erfahrung der räumlich-sinnlichen Qualitäten eine Schlüsselrolle zu. Durch das leichte oder starke Bewegen der Äste und Blätter, das zeitlich verzögerte Tropfen des Wassers nach einem Sommerregen oder der Schnee auf den Ästen im Winter werden Wetter und Jahreszeit unmittelbar sichtbar und durch neue, nicht alltägliche Beobachtungen. Bereichernd sind zum Beispiel Geräusche von schlagenden Ästen und raschelndem Laub oder Gerüche von frischem Blattgrün, Rinde oder Regen. Dies und die Möglichkeit Vögel und Insekten auf

dem Balkon oder vom Wohnzimmer aus zu beobachten, bringt eine neue Art der Naturerfahrung in die unmittelbare Wohnumgebung des Nutzers.



Abbildung 20: Blick in die Baumfassade aus dem Innenraum (Divya Pilla)



Abbildung 21: Erlebbarkeit der Bäume auf dem Balkon: älterer Baum einer Baumfassade (Divya Pilla)



Abbildung 22: partieller Ausblick aus den Bäumen (Divya Pilla)

3 Statische Betrachtungen des Baumes

Für die statische Beurteilung der windinduzierten Kräfte auf den Baum und seine Anschlüsse an das Gebäude empfiehlt es sich, den Baum in seinen verschiedenen Wachstumsstadien zu betrachten und mithilfe vereinfachter Finite-Elemente-Modelle zu rechnen. Die Grundparameter für das statische Modell eines Baumes lassen sich aus verschiedenen Quellen entnehmen und werden im Folgenden zusammenfassend am Beispiel der Roteiche und Robinie gezeigt.

3.1 Grundparameter

3.1.1 Wachstumsstadien - Querschnittsgrößen

Am Beispiel der Robinie werden folgende Querschnittsgrößen für die verschiedenen Wachstumsstadien ermittelt. Unter dem vereinfachten Ansatz, dass der Baum an der Spitze den Durchmesser 0 hat, wird mit einer linearen Extrapolation der Durchmesser auf Geländehöhe vereinfacht bestimmt.

Stadium	D BH (cm)	D Boden (cm)
7	9	11,49
9	13	15,2
12	17	19,1
15	20	21,9

Tabelle 03: Beispielhafte Annäherung an die Querschnittsgrößen einer Robinie (Julian Lienhard)

Die Querschnittswerte basieren auf Messungen. Querschnittsgrößen für andere Baumarten sind der Literatur oder eigenen Messungen zu entnehmen.

3.1.2 E-Modul und Dichte

Um aus dem statischen Modell eine korrekte Aussage über die Verformung zu erhalten, wird der E-Modul des grünen Holzes benötigt. Für die Betrachtung der Spannung im Baum wird die aufnehmbare Spannung des Holzes herangezogen. Beide Werte können sowohl für die Robinie als auch für die Roteiche aus Wessolly und Erb 2014 entnommen werden:

	Robinie	Roteiche
E-Modul [N/mm ²]	7050	7200
Aufnehmbare Spannung [N/mm ²]	20	20

Tabelle 04: E-Moduli und aufnehmbare Spannung von Robinie und Roteiche (Wessolly, Erb)

Von zentraler Bedeutung ist weiterhin der Zusammenhang zwischen dem Alter des Baumes und den auftretenden mechanische Kenngrößen. Der Zusammenhang zwischen E-Modul und dem Baumalter wird in (Speck 2009) mit Ontogeniestadien beschrieben. Werden die entsprechenden Ontogeniestadien, ausgehend von Annahme, dass der E-Modul von 7050 N/mm² das Stadium 6 darstellt, auf die Robinie übertragen, so ergibt sich das untenstehende Diagramm.

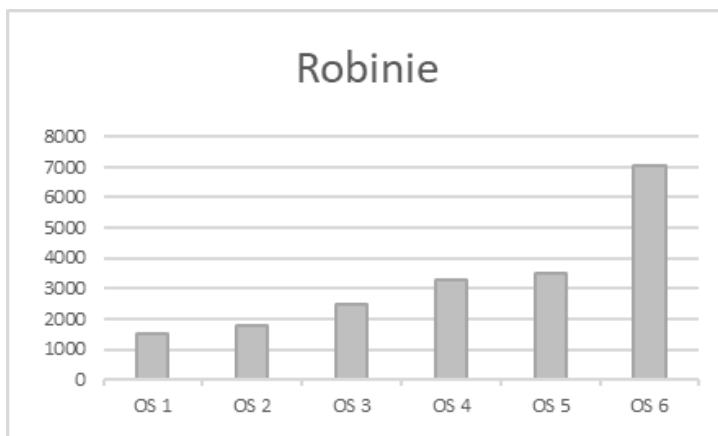


Abbildung 23: E-Moduli der Robinie in Abhängigkeit des Ontogeniestadiums

Es besteht weiterhin ein Zusammenhang zwischen dem E-Modul und dem Flächenträgheitsmoment I. Werden für die wachstumsstadiumabhängigen Stammquerschnitte die E-Moduli über das berechnete Flächenträgheitsmoment ermittelt, ergeben sich für die unterschiedlichen Stadien die entsprechenden E-Moduli in folgender Tabelle:

Stadium	Ø [cm]	R [mm]	I [mm ⁴]	Ontogeniestadium	E-Modul
7	11,49	57,45	8,6E+06	5-6	6000
9	13,00	65	1,4E+07	5-6	6300
12	19,07	95,33	6,5E+07	5-6	6600
15	21,9	109,49	1,1E+08	5-6	6900

Tabelle 05: E-Moduli für unterschiedliche Stadien (Julian Lienhard)

3.1.3 Einspannung

Für die Ermittlung der Drehfedersteifigkeit an der Einspannung im Wurzelraum wird aus dem Kippverhalten des Baumes und dem daraus resultierenden Verhalten des Wurzelraumes der Rotationswiderstand ermittelt und in eine Drehfedersteifigkeit übersetzt. Anhand bestehender

Literatur ist die Betrachtung des Wurzelraumes und dessen Kippverhalten für den Einzelfall zu bestimmen. (COUTTS 1986) untersucht beispielsweise das Verhalten des Wurzelraumes anhand 20 Meter hoher Bäume mithilfe von Zugversuchen. Dabei wurde das Biegemoment aus dem Zugversuch mit den vertikalauftretenden Verformungen auf der Druck- und Zugseite des Wurzelballens dokumentiert. Aus diesen Werten lassen in einem ersten Schritt Zug- und Druckfedersteifigkeiten ermitteln.

3.1.4 Baumgeometrie

Die Baumgeometrie spielt für die Modellierung eine zentrale Rolle. Die Geometrie des Baumes gliedert sich dabei in den Stamm und die Äste. Die Äste werden in Ordnungen unterteilt. Für ein hinreichend genaues FE-Modell ist eine Beschränkung der Ordnungszahl auf maximal 4 ausreichend.

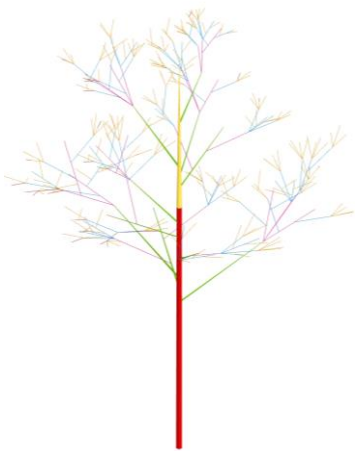


Abbildung 24: FE-Modell einer Roteiche mit Ordnungszahl 4 (Julian Lienhard)

Um Wuchsformen des Baumes abstrahiert aber möglichst naturähnlich abzubilden, können vereinfachte Faktoren in Abhängigkeit des Stammdurchmessers am Boden gesetzt werden. Durch diese Abhängigkeit können auch parametrisierte CAD Modelle des Baumes in verschiedenen Wachstumsstadien erzeugt werden. Die wesentlichen Abhängigkeiten sind in Abbildung 25 dargestellt:

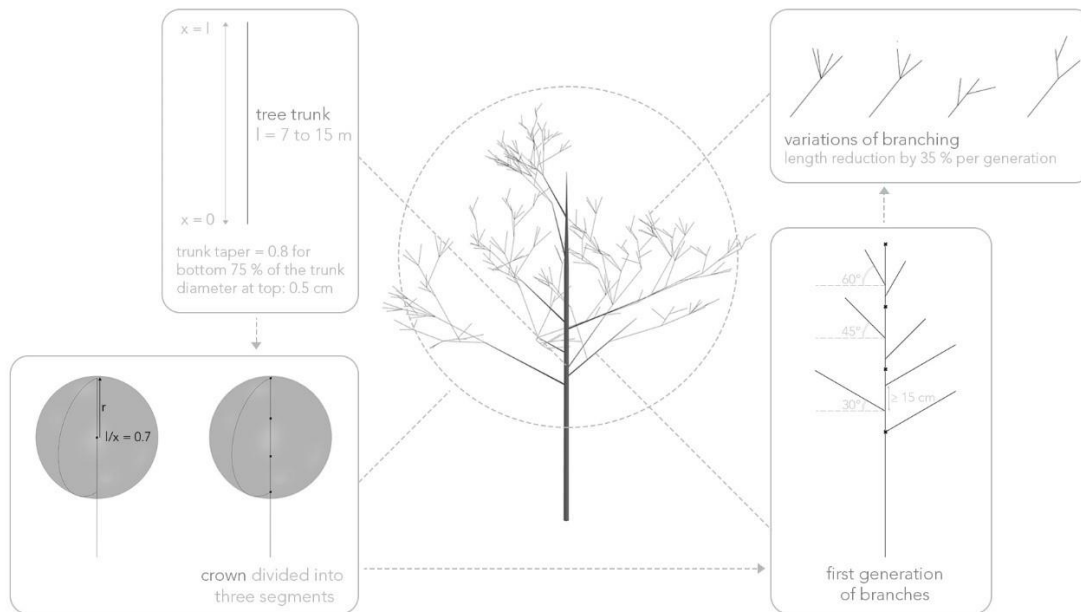


Abbildung 25: Parametrische Abhängigkeiten zur Modellierung eines Baumes am Beispiel der Roteiche (Julian Lienhard)

3.1.5 Windlastansatz

Die Ermittlung der Windlast auf den Baum erfolgt nach (Wessolly und Erb 2014). Die resultierende Windkraft wirkt demnach im Kronenschwerpunkt. Neben den Orts- und baumhöhen-spezifischen Windgeschwindigkeitsdrücken ist die Ermittlung des Druckbeiwertes c_w von Bäumen von besonderer Bedeutung. Sowohl (Ylinen 1952) als auch (Ruck 2005) beschreiben bei steigender Windgeschwindigkeit einen abnehmenden c_w Wert, was auf die Neigung der Baumkrone und der Ausrichtung des Laubes und der Äste im Wind zurückzuführen ist. Daraus ergibt sich, dass der c_w -Wert nur für den unbelasteten Baum mit einer kugelähnlichen Kronenform über 1 liegen kann. Neigt sich die betrachtete Kugel im Wind so sinkt der c_w -Wert auf etwa 0,3 - 0,6. (Wessolly und Erb 2014) geben für den c_w -Wert der Robinie 0,15 und für die Roteiche 0,25 an. Für die Fläche wird dabei die Projektion der unbelasteten Kronenfläche angesetzt.

3.2 Validierung

Die Validierung des Modells kann anhand verschiedener Kriterien durchgeführt werden. Ein sehr aussagekräftiger Parameter zur Beurteilung ist dabei die Eigenfrequenz des Baumes. Daneben kann auch die Verformung des Baumes unter Windlast herangezogen werden. Diese wird mithilfe der Schiefstellung des Baumes erfasst.

In Abbildung 26 werden die Eigenfrequenzwerte des FE-Modells einer Roteiche mit Literaturwerten für verschiedene Wachstumsstadien verglichen.

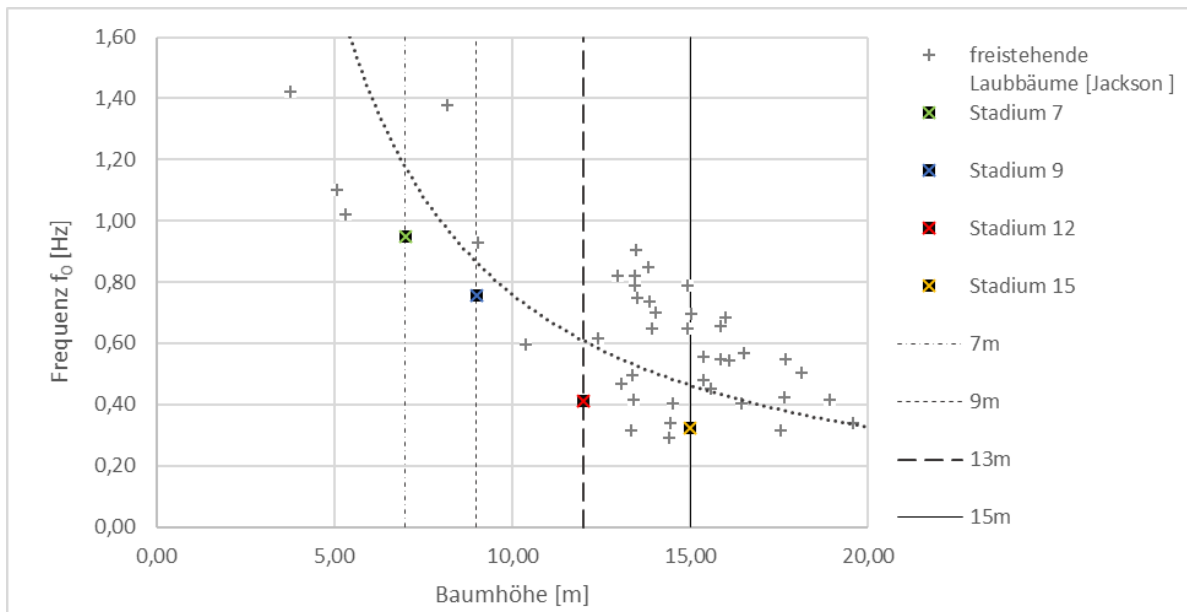


Abbildung 26: Validierung der FE- Modellierung eines Baumes am Beispiel der Roteiche (Julian Lienhard)

Es besteht eine naturgemäß starke Streuung in den Messwerten. Für eine Grenzwertbetrachtung der statischen Werte empfiehlt sich daher die Modellierung verschiedener Geometrievarianten.

3.2.1 Variante 1

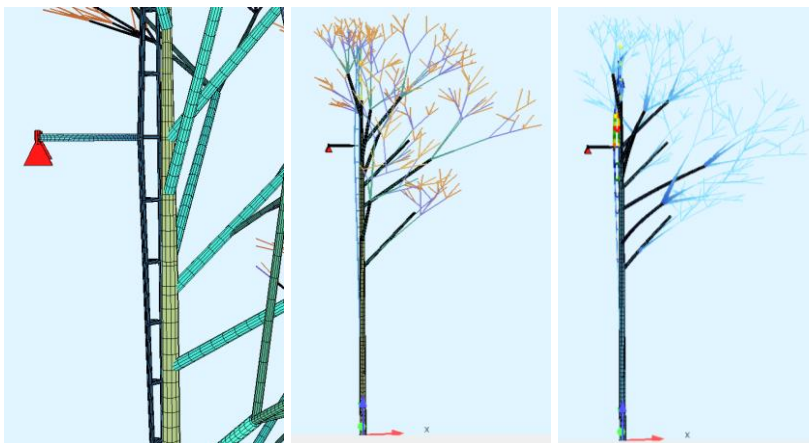


Abbildung 27: FE-Modell eines Baumes mit eingewachsenem Fachwerkstab (Julian Lienhard)

3.2.2 Variante 2

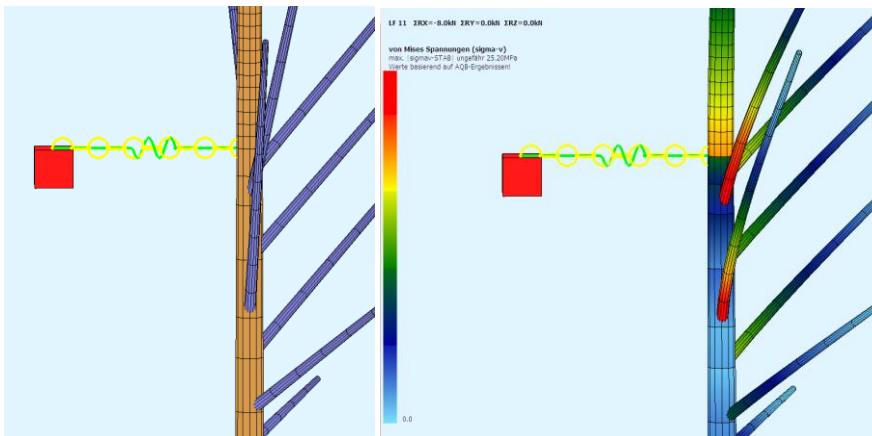


Abbildung 28: FE-Modellierung eines Baumes mit gefedertem Auflager und resultierenden Spannungsspitzen (Julian Lienhard)

3.2.3 Variante 3

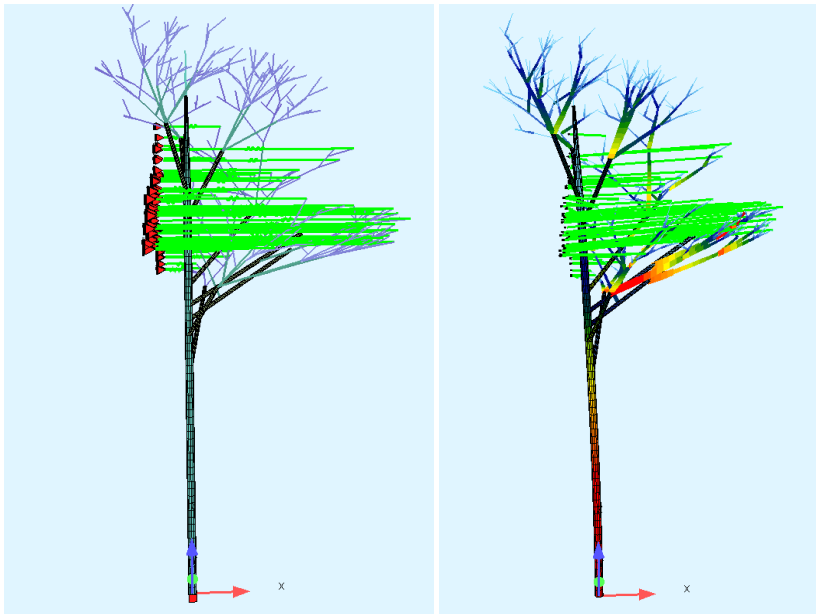
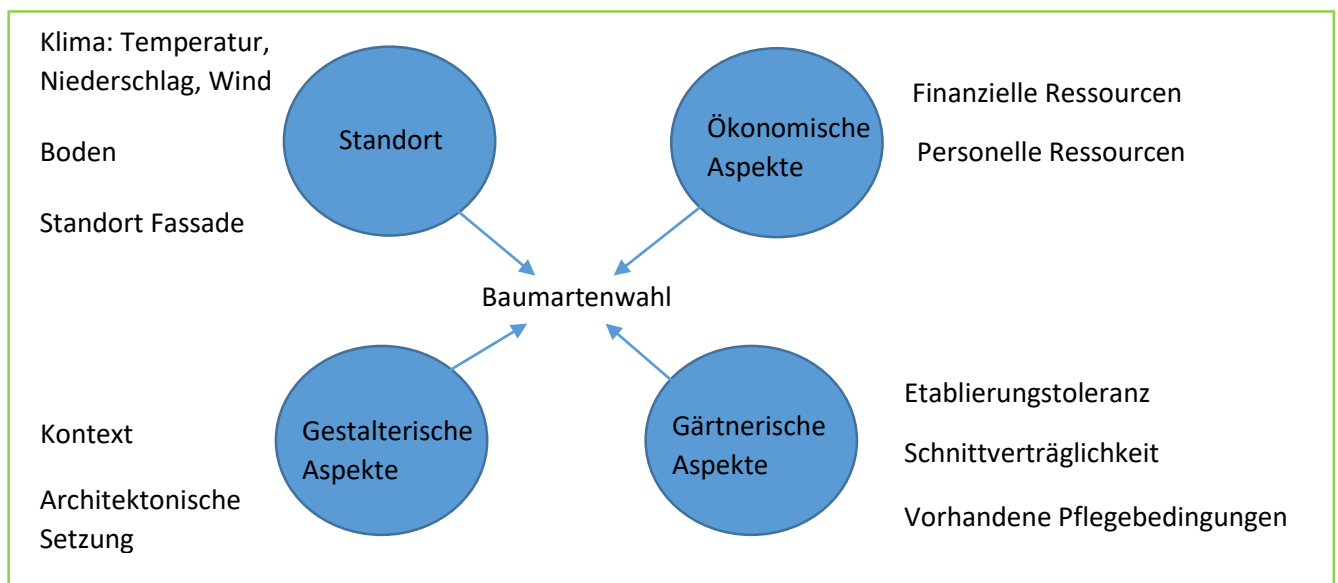


Abbildung 29: FE-Modellierung eines Baumes mit nichtlinearen Federn zur Simulation der Kollision von Ästen und Stamm mit der Fassade (Julian Lienhard)

4 Vorgehen Baumartenwahl

Der Wahl einer passenden Baumart kommt im Planungsprozess der Baumfassade eine Schlüsselrolle zu. Denn neben örtlichen Standortgegebenheiten müssen sämtliche gestalterischen und gärtnerischen Aspekte berücksichtigt und langfristig durchdacht werden. Eine große Herausforderung stellt neben den dadurch auftretenden interdisziplinären Schnittstellen zwischen Architekten, Landschaftsarchitekten, Baumpflegerinnen und Gärtnern die ständige Veränderung im Laufe der Jahreszeiten und in der Wachstumsentwicklung des Baumes dar.

Die folgenden Kategorien beschreiben kurz die wichtigsten Parameter der Baumartenwahl, um dann einen möglichen Entscheidungsprozess zu formulieren.



4.1 Standortabhängige Parameter

4.1.1 Klima

Die am Standort vorzufindenden Parameter definieren die Rahmenbedingungen für die Baumartenwahl. Klimatische Aspekte betreffen vor allem die Temperatur, den Niederschlag und den auftretenden Wind. Relevant sind dabei neben den monatlichen Durchschnittswerten besonders die auftretenden Temperaturextreme (Höchst- und Tiefstwerte der Lufttemperatur), die Dauer von Frost- oder Hitzeperioden, Niederschlagsmengen aber auch die vorherrschenden Windrichtungen im Hinblick auf deren Auswirkungen für Pflanzen (z.B. erhöhte Verdunstung) im Jahresverlauf. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) stellt dafür umfangreiche Datensätze zur Verfügung, auf die für unterschiedliche Standorte zurückgegriffen werden kann. Auch Angaben zu Trends und Prognosen in Bezug auf den Klimawandel lassen sich abfragen.

Bei der Analyse der klimarelevanten Daten sollten die Extreme für die Baumart stets verträglich sein.

4.1.2 Winterhärte

Für das Überleben von Pflanzen in einer Region ist die durchschnittlich kälteste Temperatur (mittleres absolutes Minimum der Lufttemperatur) besonders relevant. Auf dieser Grundlage erarbeitete das US-Landwirtschaftsministerium eine Einteilung in verschiedene Winterhärtezonen, deren Systematik für Mitteleuropa und Deutschland übernommen wurden (Heinze et. al 1984). Sie hat sich zum internationalen Standard für die Beurteilung der Winterhärte einer Pflanze entwickelt.

4.1.3 Niederschlag

Neben den monatlichen Durchschnittswerten sind besonders die Extreme, wie wiederkehrende Trockenperioden oder Starkregenereignisse relevant. Um eine Abschätzung für die Baumart machen zu können, ist jedoch die Bodenqualität und -beschaffenheit sowie die Ausrichtung des für die Baumfassade geplanten Gebäudes (LUV/ LEE), vorhandene Unterbauungen oder Einbauten sowie vorhandene Vegetation in die Betrachtung miteinzubeziehen. Unter Umständen sollten bereits in der Planungsphase Möglichkeiten zur zusätzlichen Bewässerung (Wasseranschluss, automatische Bewässerung) oder Drainage berücksichtigt werden.

4.1.4 Wind

Wind und die dadurch verursachten Bewegungen des Baumes bzw. der Äste sind für die Baumfassade ein sicherheitsrelevanter Faktor. So können in windgeschützten Lagen andere Baumarten verwendet werden als in windexponierten Lagen wie beispielsweise in Küstengebieten oder auf Wetterseiten. Allgemeine Einwertungen zu Wind und dessen Einfluss auf Bäume können aus der Beaufort-Skala entnommen werden: Ab dem Richtwert Bft 5 (29-38 km/h) sind Bewegungen an kleinen Bäumen sichtbar. Bei Bft 6 (starker Wind, 39 - 49 km/h) sind stärkere Zweige von größeren Bäumen in Bewegung, bei Bft 7 (50 – 61 km/h) bewegen sich große Bäume als Ganzes; bei Bft 8 (62 – 74 km/h) können einzelne Äste abreißen, ab Bft 9 können Bäume abknicken und ab Bft 10 (89 – 102 km/h) sind Baumentwurzungen möglich (spektrum.de). Das Zusammenspiel aus arttypischen Eigenschaften des Baumes (z.B. Windfestigkeit), den wirkenden Windstärken und dem vorhandenen Untergrund wirkt sich auf die Stabilität eines Baumes im Wind aus (Wegemann 2010).

4.1.5 Boden

Die Eigenschaften des vorhandenen Bodens sollten in der Planungsphase geprüft werden, und falls notwendig verbessert oder ausgetauscht werden. Kriterien sind dabei seine Zusammensetzung aus

Kiesen, Sanden, Schluffen, Tonen und der Anteil an organischer Substanz. Bodengutachten zeigen neben der Materialität und Durchlässigkeit des Untergrundes, verschiedene Schichten oder Schüttungen, auch anstehendes Bodenwasser oder wasserführende Schichten. Weitere Parameter sind die Wasserspeicherfähigkeit und die Durchlüftung des Bodens sowie der pH-Wert (Hansen et. al 1997).

Wachstumsbedingungen am Standort „Fassade“

Die klimatischen Gegebenheiten eines Standorts spiegeln den ersten Rahmen zu Parametern wie Temperaturen, Niederschlagsmengen und Windrichtungen wider. Direkt an Gebäuden weichen diese Anhaltspunkte mikroklimatisch jedoch oft erheblich ab.

4.1.6 Besonnung/ Sonnenscheindauer an der Fassade

In Abhängigkeit der Ausrichtung der Fassade zur Sonne, des Breitengrads, der Verschattung durch umliegende Gebäude oder Vegetation und möglichen Reflexionen umliegender Gebäude spielt die Besonnungsdauer für den Standort „Fassade“ eine wesentliche Rolle. Zur Bemessung sollte ein Sonnentag Anfang Mai und Ende August gewählt werden. Folgende Einteilung geben dabei Aufschluss über die Besonnungsdauer und die jeweilige Einteilung für die Pflanzenverwendung (fassadengruen.de):

- 8-12 Stunden: exponiert, vollsonnig
- 5-8 Stunden: sonnig
- 2-5 Stunden: halbschattig
- 0-2 Stunden: absonnig oder schattig

4.1.7 Höhere Temperaturen, mehr Wärmeabstrahlung

Abhängig von der Ausrichtung, dem verwendeten Material und der Farbe speichert eine Fassade im Laufe des Tages Wärme, welche in den Abendstunden und nachts wieder an die Umgebung abgegeben wird. Dieser sogenannte „Backofen“-Effekt wurde früher genutzt, um die Reife von Spalierobst zu fördern, das von der zusätzlichen Wärme profitierte. So war es möglich, Arten oder Sorten zu kultivieren, die besonders den Winter in vergleichbarer Lage normalerweise nicht überleben würden (fassadengruen.de).

Bis die Baumfassade ihr endgültige Größe erreicht hat und durch die eigene Verschattung zur Minderung der Aufheizung der Fassade beitragen kann, sollte sie besonders während der empfindlicheren Etablierungs- und Wachstumsphase gegenüber hohen Temperaturen und hitzestress-tolerant sein. Auch die im Zuge des Klimawandels erwartete Zunahme an Sommertagen ($\geq 25^{\circ}\text{C}$) und heißen Tagen ($\geq 30^{\circ}\text{C}$) ist in die Beurteilung des Standortes „Fassade“ miteinzubeziehen.

Ein wichtiges Werkzeug hierfür stellt die GALK-Liste dar: Straßenbäume in verschiedenen Städten wurden langfristig auf Hitzestress, Frosttoleranz und Phänologie untersucht und im Hinblick auf den Klimawandel bewertet. Damit können Abschätzungen für die Stresstoleranz einer Art gemacht werden, beispielsweise bei hohen Temperaturen bei zu geringem Wurzelraum (Roloff 2004) (Böll et. al 2014)

Ähnliche Ergebnisse veröffentlichte A. Roloff in der von ihm entwickelten Klima-Arten-Matrix (KLAM), die Auskunft über die artenspezifische Trockenstress-Toleranz und Winterhärte gibt (Roloff et. al 2008).

Das wärmere Mikroklima an der Fassade fördert durch die Steigerung der Verdunstungsleistung den Wasserbedarf der Pflanzen, besonders während der Etablierungs- und Wachstumsphase, aber auch im adulten Zustand während länger anhaltenden Trocken- und Hitzeperioden. Dies sollte bei der Wahl der Baumart und deren Standortansprüchen unbedingt berücksichtigt werden.

4.1.8 Wetterseite/ Wind- und Regenexposition bzw. -schatten

Die Ausrichtung und die Dimension des Gebäudes beeinflussen die auftretenden Niederschlagsmengen und Windanströmungen direkt an der Fassade und haben somit unmittelbaren Einfluss auf die Entwicklung der Baumfassade. Wird die Baumfassade an der „Wetterseite“ gepflanzt, ist sie also regelmäßig Winden und Niederschlägen ausgesetzt, gelten für den Baum andere Bedingungen als auf der Wetterschattenseite. Während auf der Wetterseite mit stärkeren Winden, welche Bäume Richtung Fassade drücken können, und mit höheren ankommenden Niederschlägen zu rechnen ist, herrscht auf der Wetterschattenseite Regen- und Windschatten. Eine Ausnahme bildet der über die Traufkante ragende Kronenbereich, der wiederum eine hohe Angriffsfläche für Winde bietet. Baumarten, die über eine hohe Windfestigkeit verfügen und wenig bruchanfällig sind, eignen sich deshalb besser für Wetterseiten. Daneben beeinflusst auch die Umgebung die Regenmenge und die Windentwicklung. Eine „windoffene Lage“, beispielsweise neben einem freien Feld, fördert durch den ständigen Luftaustausch eine hohe Verdunstung und ist nur bei gesicherter Wasserverfügbarkeit zu empfehlen (fassadengruen.de).

4.2 Gestalterische Aspekte

Eine Baumfassade birgt durch ihre unmittelbare Nähe zum Gebäude das Potential beides gestalterisch zu einer Einheit verschmelzen zu lassen. Dabei spielt neben dem Kontext und die dadurch zur Verfügung stehenden Spielräume besonders die architektonische Setzung eine Rolle.

4.2.1 Kontext

Die Planung einer Baumfassade steht immer im Kontext des unmittelbaren Gebäudeumfeldes. Die Art der Nutzung des Gebäudes, geplante Zuwege oder Verkehrsflächen, Ein- oder Unterbauungen, Versiegelungen oder offene Flächen beeinflussen die Wahl der Baumart, da diese unter Umständen über Anpassungsstrategien zur Kompensation von einschränkenden Wachstumsbedingungen verfügen muss (beispielsweise Bodenverdichtung, Versiegelung, eingeschränkter Wurzelraum)

4.2.2 Architektonische Setzung

Baumfassaden können durch die Eigenschaften ihrer Individuen das Erscheinungsbild der gesamten Architektur beeinflussen. Dieses Bild wird sich allerdings im Laufe der Entwicklung ständig ändern, so dass ein Zustand nicht konstant gehalten werden kann.

Trotzdem sollte die Wahl der Baumart zunächst am Habitus ansetzen und Kriterien wie die ausgewachsene Baumhöhe und die Kronenbreite abfragen. Zudem ist die Kronenarchitektur relevant, da diese, zusammen mit der Verschattungsdichte der Blattmasse, Auswirkungen auf die Belichtung der Innenräume hat. Demnach lässt einer offene, lichte Krone mehr Licht in die Innenräume, während eine geschlossene, dichte Krone eher abschirmt und dadurch besser kühlt. Im Winter ist die Belichtung der Innenräume durch den Abfall des Laubes in der Regel bei allen Arten ausreichend.

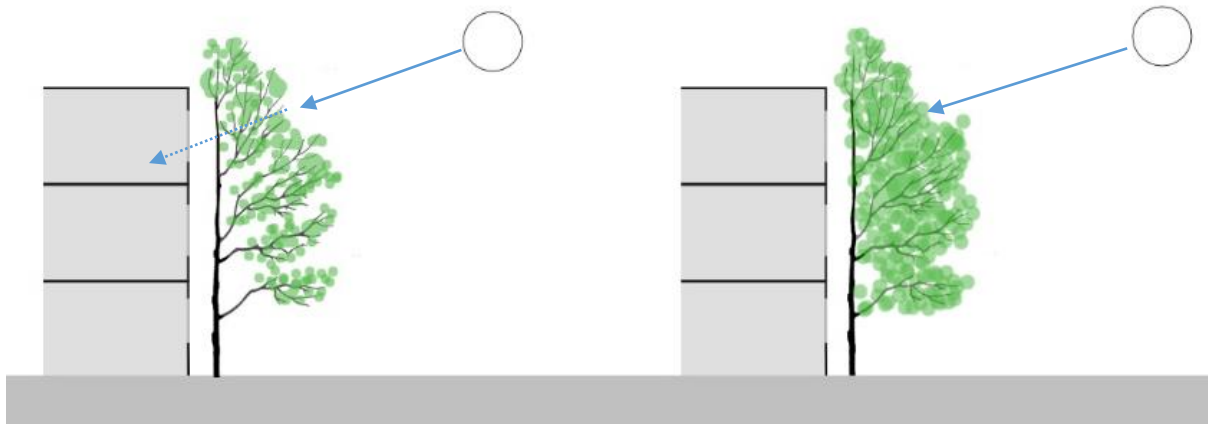


Abbildung 31: Vergleich offene, lockere Krone (links) mit geschlossener Krone und dichter Belaubung (rechts) im Sommer (Lisa Höpfl)

4.2.3 Wachstumsgeschwindigkeit

Die jährlichen Zuwachsraten geben an, um wie viel Längeneinheiten (meist in cm) die Baumart pro Jahr in die Höhe wächst. Eine Robinie wächst in den ersten Jahren beispielsweise um 70-120 cm pro Jahr, während eine Eiche nur 15-40 cm pro Jahr schafft. Diese Werte sind wichtig, damit eine Einschätzung erfolgen kann, bis wann die Baumfassade optisch mit dem Gebäude verwächst. Bei Arten mit langsamen Zuwachsraten können groß gepflanzte Bäume den Prozess beschleunigen. Angaben und Erfahrungswerte zu Wachstumsraten können bei Baumschulen abgerufen werden.

4.2.4 Texturen, Blatt- und Blütefarben

Rinden- und Laubtextur, Laubfarben sowie Blühaspekte variieren das Erscheinungsbild saisonal. Informationen hierfür finden sich in den umfassenden Gehölzporträts der Baumschulen. Auch die Materialität der Fassade beeinflusst die Wahl der Baumart hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit (Dämmung, Verschmutzung), der Wahl und Ausführung möglicher Anknüpfungspunkte oder der Bildung interessanter Kontraste zwischen der Materialität.

4.2.5 Biodiversität

Jede Baumart trägt zur Begrünung des Gebäudeumfeldes bei. Dennoch lassen sich Unterschiede bezüglich der Biodiversität einzelner Arten feststellen, wie der Biodiversitätsindex nach Gloor 2018, der den Wert einer Baumart im städtischen Umfeld für verschiedene Tiergruppen beziffert zeigt:

Aufgrund ihrer großen Bandbreite an ökologischen Ansprüchen an Bäume werden dabei folgende 5 Tiergruppen stellvertretend gewählt: Wildbienen, Käfer, Schmetterlinge, Vögel und Säugetiere. Je nach Relevanz der Baumart für die jeweilige Tiergruppe wurden ein Biodiversitätswert nach einem 5-Punktesystem vergeben. Der Durchschnittswert aller Tiergruppen ergibt den Biodiversitätsindex einer Baumart. Dieser wird in unterschiedliche Klassen und Farbschemas aufgeteilt (Gloor 2018): Klasse 1 (Wert 4–5, dunkelgrün), Klasse 2 (3–3.9, hellgrün), Klasse 3 (2–2.9, gelb), Klasse 4 (1–1.9, orange).

4.3 Gärtnerische Aspekte

4.3.1 Umpflanz- und Anwachstoleranz

Das erfolgreiche Anwachsen der Baumfassade stellt einen wichtigen Meilenstein in der Etablierung und der Akzeptanz der Baumfassade dar. Daher sollten Arten gewählt werden, die Umpflanzprozesse aus der Baumschule verkraften und die in der Anwachsphase über eine große Toleranz bezüglich

geänderten Standortbedingungen verfügen. Informationen hierzu können meist nur im intensiven Austausch mit den Experten aus der Baumschule eingeholt werden.

4.3.2 Schnittverträglichkeit

Baumarten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Fähigkeit, auf gärtnerische Manipulationstechniken zu reagieren. Dabei kommen der Verträglichkeit des Pflanzschnitts und der Reaktion des Baumes auf den Schnitt die wichtigste Rolle zu: durch das Wegschneiden der Hälfte der Krone bei der Pflanzung ändert sich die Symmetrie erheblich (siehe auch Kapitel 5.1). Zudem werden zahlreiche Wundheilungsprozesse initiiert, auf die unterschiedliche Baumarten verschieden reagieren. Auch im Pflegeprozess kommt es regelmäßig zu Schnittmaßnahmen, infolgedessen die gewählte Baumart ihr Gesamterscheinungsbild nicht verändern darf.

Die gewählten Arten sollten daher über eine gute Regenerationsfähigkeit verfügen, die ohne das Bilden von Neuaustrieben an der Schnittstelle auskommt (wie beispielsweise bei Weiden der Fall). Wichtige Erkenntnisse hierzu liefern, neben umfassenden Gehölzporträts, aktuelle und historische Techniken der Pflanzenmanipulation wie beispielsweise Hedgelaying (Müller 2013), Schneitelung (Machatschek 2002, Machatschek et. al 2008) oder die Pflanzenverwachsung der Baubotanik (Ludwig 2012). Auch der direkte Austausch mit den Baumschulen wird dringend empfohlen.

4.3.3 Pflegezugänglichkeit

Ebenfalls zu den gärtnerischen Aspekten gehört die Planung der bei Pflanzung und im späteren Verlauf notwendigen Pflegevorgänge. Dabei ist zu bedenken, mit welcher Technik (z.B. Anleitern, Hubsteiger, Abseilen) und mit welchem Fachpersonal die Pflegegänge durchgeführt werden können. Je nachdem empfehlen sich Arten mit bestimmter Kronenarchitektur (offen/ geschlossen)

4.3.4 Anfälligkeiten

Artspezifischen Merkmale wie Anfälligkeit für Krankheitserreger oder das Auslösen von Allergien sind bei der Artenwahl zu berücksichtigen.

4.4 Ökonomische Aspekte

4.4.1 Finanzielle Ressourcen

Je größer der Baum bei der Pflanzung ist, desto schneller können räumliche und klimatische Potentiale der Baumfassade eingelöst werden. Dabei steigen die Kosten je nach Art, Verfügbarkeit und in der Baumschule angefragten Qualität. Zudem beeinflusst die Anbindevariante und die damit verbundene Pflege die Kosten signifikant.

4.4.2 Personelle Ressourcen

Für die Pflege der Baumfassade ist nur speziell geschultes Pflegepersonal wie Baumkletterer oder Gärtner empfehlenswert. Dies betrifft sowohl die Schnittmaßnahmen, als auch in besonderem Maße die Anbinde- und Verwachsungstechniken.

4.5 Baumartenwahl - Entscheidungsprozess

Der Prozess zur Wahl einer passenden Baumart berücksichtigt standortspezifische, gestalterische, gärtnerische und ökonomische Komponenten. Um aus der Gesamtheit der Kriterien, die ein Baum erfüllen muss, eine geeignete Baumart zu finden, ist hier ein möglicher Entscheidungsprozess in 5 Schritten dargestellt:

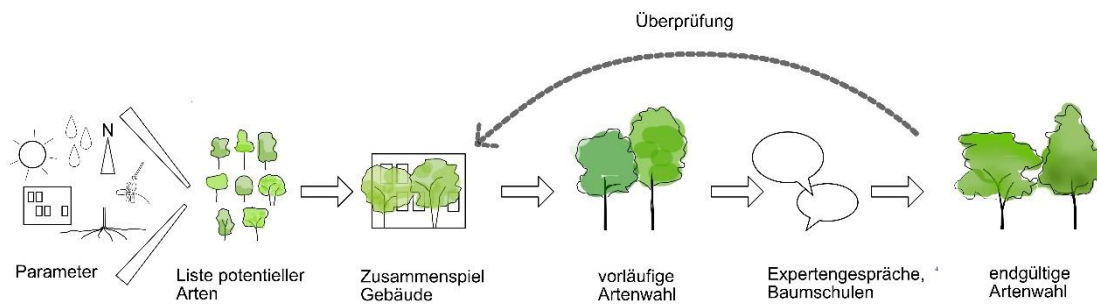


Abbildung 32: Baumartenwahl Entscheidungsprozess (Lisa Höpfl)

Zusammenfassung der Baumartenwahl in 5 Schritten:

1. Festlegung der Rahmenbedingungen und Eingangsparameter im Dialog mit allen Planungsbeteiligten.

Dazu werden zunächst die Standortfaktoren betrachtet. Diese wiederum setzen sich aus unterschiedlichen Faktoren zusammen, allen voran dem Großklima, das die Einordnung der Winterhärtezone ermöglicht. Die vorherrschende Winterhärtezone stellt die Grundlage für die Kälteresistenz der möglichen Baumarten dar. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass alle Baumarten, die unterhalb der Winterhärtezone liegen, ausscheiden. Liegt ein Vorhaben beispielsweise in der Winterhärtezone 7a (wie Stuttgart oder München) scheidet alle Arten aus, die mit Temperaturen unterhalb von $-17,7\text{ °C}$ nicht überleben können. Diesbezügliche Filter lassen sich auf den Seiten großer Baumschulen abrufen, beispielsweise bei Ebben.

In den nächsten Schritten werden mikroklimatische Besonderheiten zusammengetragen, da diese zum Teil vom Großklima abweichen: Die Ausrichtung der Fassade und damit verbundene Besonnung bzw. Verschattung auf der Fassade (z.B. durch benachbarte Gebäude oder Vegetation). Durch eine möglichst genaue Schattenanalyse (beispielsweise im 3d Modell) werden die Sonnenstunden im Jahresverlauf ermittelt, woraus die Licht- bzw. Schattentoleranz festgelegt werden kann. Auch für Niederschlagsmengen und –Verteilung, und die daraus abgeleitete Trockenheits- bzw. Überflutungstoleranz sowie die lokal auftretenden Windstärken und damit verbunden die Bruchsicherheit einer Baumart spielen eine Rolle. Bodenbeschaffenheit, das Auftreten von Staunässe oder die Verträglichkeit von urbanen Faktoren, wie mögliche Bodenverdichtung oder hoher Salzeintrag reduzieren die möglichen Arten. Auch hier lassen sich in den Suchfiltern der Baumschulen (Ebben) erste Ergebnislisten erstellen.

Vergleicht man nun diese Listen mit Studien zur Klimawandelverträglichkeit, wie z.B. den GALK-Listen, den Listen der Klimaarten-Matrix (KLAM) oder dem Biodiversitätsindex (nach Gloor) können so weitere, unpassende Arten aus der Liste ausgeklammert werden. Die genannten Listen finden sich, soweit online nicht abrufbar, im Anhang des Berichts.

Gestalterische Aspekte, wie Größe und Symmetrie des Baumes, Laubfarbe und Blütenfarbe spielen eine wichtige Rolle im landschaftsarchitektonischen und architektonischen Kontext. Da in vielen Fällen die Fassadenbäume klein gepflanzt werden, spielt auch die jährliche Wachstumsgeschwindigkeit eine wichtige Rolle im Erscheinungsbild und der klimatischen Wirksamkeit. Artspezifische Informationen bekommt der Anwender in der Regel direkt in den Baumschulen, oft auch als Angabe bei den einzelnen Gehölzporträts, beispielsweise bei Lorenz von Ehren.

Die Information zur Verträglichkeit von Schnitt oder anderen Erziehungsmaßnahmen ist häufig nicht ganz einfach abzurufen. Im Zweifel lässt man sich über die Baumart direkt in der

Baumschule beraten. Weiterführende Literatur wie bei Ludwig (2022), Müller (2013) oder Machtachek (2008)(2002) liefern Informationen in gedruckter Form, weitere Anhaltspunkte finden sich bei Ludwig (2012) oder Höpfl et al. (2021).

➔ Durch das Anwenden des Ausschlussprinzips reduziert sich die Anzahl möglicher Baumarten auf eine erste Liste potentieller Arten.

2. Erstellen einer Liste potentieller Baumarten auf Basis der zur Verfügung stehenden Standortbedingungen auf Grundlage der o.g. Parameter
3. Prüfung der potentiellen Arten im architektonischen Konzept sowie der statischen Anforderungen.

Die Liste potentieller Baumarten wird nun mit dem architektonischen Konzept abgeglichen. Dafür empfehlen sich Grundriss-, Schnitt- und Ansichtsstudien der verschiedenen Baumarten in verschiedenen zeitlichen Etappen sowie in jahreszeitlichen Unterschieden.

Für die statische Einschätzung von Baumfassaden kann das Vorgehen ähnlich der in diesem Bericht angedachten Varianten einen ersten Anhaltspunkt liefern. Für den Einzelfall, besonders bei einer gekoppelten Verbindung zwischen Baum und Gebäude bei anderen Arten bzw. Verbindungen ist eine statische Prüfung unbedingt angeraten.

Brandschutzrechtliche Belange müssen konkret mit dem örtlichen Brandschutz abgestimmt werden. Erste Einschätzungen zu begrünten Fassaden können bei Bachmeier (2020) im Anhang entnommen werden.

Auch naturschutzrechtliche Themen sind hier zu berücksichtigen. Objektbezogenen Vorhaben liegt meist ein Grünordnungsplan zugrunde, auch die lokale untere Naturschutzbehörde erteilt hierzu Informationen. Sind architektonische, statische und brandschutzrelevante abgeklärt sollte sich die Artenwahl auf einige Varianten beschränken.

4. Validierung der gewählten Arten von Experten der Baumschule

In diesem Schritt wird nochmals die Verfügbarkeit der gewählten Arten und der lieferbaren Qualität geprüft, Besonderheiten bei der Lieferung und der Pflanzung sowie der Vorbereitung des Standorts besprochen. In diesem Schritt kann es möglich sein, dass Alternativen herausgesucht und neu diskutiert werden müssen.

5. Festlegung der endgültigen Arten und erneute Überprüfung des architektonischen Konzepts

Gerade wenn im letzten Schritt Alternativen oder andere Sorten gewählt wurden, empfiehlt sich die erneute Überprüfung des architektonischen Konzepts sowie der rechtlichen Belange.

Sind die finalen Arten gewählt ist das Darstellen eines detaillierten Ausschreibungs-, Entwicklungs- und Pflegeplans unabdingbar. Dabei sind die speziellen Anforderungen an den Kronen- und Wurzelraum zu beachten, wie sie in diesem Bericht (Kapitel 5 und 6) behandelt werden.

5 Der Baum unterirdisch

Dem unterirdischen Teil des Baumes kommt eine wichtige und für die langfristige Entwicklung des oberirdischen, sichtbaren Teils maßgebliche Rolle zu. Die Wurzeln versorgen den gesamten Baum mit Wasser und Nährstoffen, speichern Reservestoffe und sorgen durch die Verankerung im Boden für dessen Stabilität. Umso wichtiger ist eine den vielseitigen Anforderungen entsprechende Planung, Vorbereitung und Erhaltung des Wurzelraumes. Dies gilt für jegliche Art von Baumpflanzungen, und durch die räumliche Begrenzung am Gebäude, ganz speziell für Baumfassaden. Um die für den Themenkomplex Wurzelraum wichtigen Parameter einzugrenzen, wird in diesem Kapitel zunächst das Wurzelverhalten von Bäumen sowohl allgemein als auch speziell bei räumlicher Begrenzung betrachtet. Anschließend sind die Anforderungen für einen baumfassadenspezifischen Wurzelraum formuliert, und zuletzt wird auf mögliche Schnittstellen aufmerksam gemacht.

5.1 Wurzelverhalten

Um das Wurzelverhalten zu verstehen werden zunächst allgemein gültige Prinzipien des Wurzelwachstums und die Bedürfnisse des unterirdischen Teils des Baumes erklärt und dann für den Fall Baumfassade spezifiziert.

5.1.1 Wurzelausbreitung und –tiefe, Wachstumsverhalten

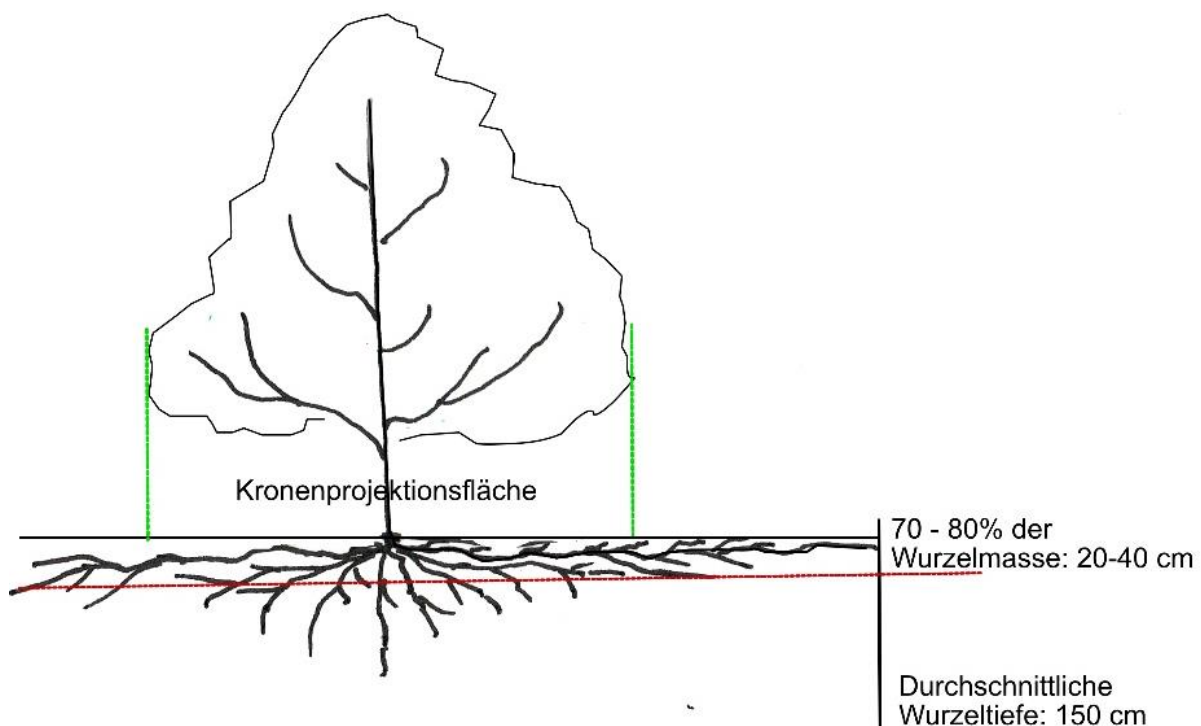


Abbildung 33: Wurzelausbreitung freistehender Baum (Lisa Höpfl)

Bei freistehenden Bäumen breiten sich die Wurzeln im Laufe des Wachstums um ein Vielfaches der Kronenprojektionsfläche aus (FLL Empfehlungen für Baumpflanzungen 2015) (Kuschera et al 2002). Die Tiefe der Durchwurzelung beträgt je nach Art bis zu 1,5 m und kann bei entsprechenden Boden-Lufthaushalt auch mehrere Meter betragen (FLL Empfehlungen für Baumpflanzungen 2010). Die höchste Wurzeldichte und höchste Durchwurzelungsintensität befindet sich in Verlängerung der

Sprossachse (Herrmann et al 2014). Der Großteil der Wurzeln befindet sich im ersten Meter unter der Oberfläche, davon befinden sich 70 bis 80 Prozent der Hauptmasse der verholzten Horizontalwurzeln laut verschiedener Angaben in Tiefen zwischen bis 20 bis 30 cm (Perry 1982) oder 40 cm (Craul 1992)

Allerdings bestehen bei der Wurzelentwicklung Unterschiede zwischen aus Sämlingen gewachsenen und gepflanzten Bäumen aus der **Baumschule**. Im Vergleich zu den Wurzelsystemen der Bäume an **Naturstandorten** werden bei Bäumen aus Ballenware so gut wie keine Wurzeln in Verlängerung der Sprossachse nach unten in das Substrat entwickelt. Dieser Bereich ist im Gegensatz zu Naturstandorten, zumindest in den ersten Jahren, nahezu „wurzelfrei“. In Folge der Wurzelkappungen und Unterschneidungen in der Baumschule wird das Wurzelsystem „umprogrammiert“. Bedingt durch die Kulturtechniken in den Baumschulen unterscheidet sich die Wurzelarchitektur von Bäumen aus Ballenware grundlegend von solchen an Naturstandorten (Herrmann et al 2014). Auch die gängige Einteilung in verschiedene Wurzelformen (Flachwurzler, Pfahlwurzler, Herzwurzler) ist bei gepflanzten Bäumen aus der Baumschule nicht mehr eindeutig zu erkennen.

Je nach Standort beeinflussen unterschiedliche weitere Faktoren die Wurzelentwicklung (Balder 1998):

- Die Bodenfeuchtigkeit: bei trockenen Standorten und Grundwasserferne bildet der Baum Wurzeln in größere Tiefen aus (>1,5m) oder sucht nach Wasser- oder Kondenswasserquellen (beispielsweise unter versiegelten Flächen oder an Leitungen). Bei hohem Grundwasserstand (Grundwasserbeeinflussung) bildet der Baum i.d.R. flache Wurzelteller aus.
- Der Bodenluftgehalt: Bei schlecht durchlüfteten Unterböden wachsen die Wurzeln wieder hoch in oberflächennähere Schichten. Für die Wurzelatmung ist das Bodenluftgemisch äußerst wichtig, da Wurzeln sehr sensibel auf Sauerstoffmangel reagieren und deswegen auch schnell absterben können. Das Verhältnis von O₂ zu CO₂ im Bodenluftgemisch sollte zwischen 16 und 20% O₂ und zwischen 0,2 und 3 % CO₂ liegen (Balder 1998). Andere Studien geben 10 bis 12 % O₂ Gehalt als nötig für gesundes Wurzelwachstum an und die Grenze für CO₂ bei 0,6% (Watson et al 2014).
- Die Nährstoffverhältnisse: Hier spielt insbesondere der Stickstoffgehalt eine wesentliche Rolle: Je höher der N₂ Gehalt im Boden ist, desto höher ist die Wurzelverzweigung und die Wurzeldichte. Bei einer N₂-Übersorgung hingegen fallen die Wurzeln 1. Ordnung kurz aus und die Wurzeln 2.Ordnung werden sukkulent.
- Die Zusammensetzung der Poren- und Skelettanteile des Bodens: Bäume in leichten Böden mit einem hohen Anteil an Grob- und Mittelporen bilden lange Feinwurzeln aus; Bäume in schweren oder verdichteten Böden bilden nur kurze, verdickte Feinwurzeln aus.

5.1.2 Räumliche Begrenzung im Wurzelraum

Auf innerstädtischen Pflanzstandorten sind unterirdisch häufig vertikale oder horizontale räumliche Begrenzungen anzutreffen: Tiefgaragendecken, Fundamente bzw. unterkellerte Gebäude, sowie kleine und größere Infrastrukturen (beispielsweise Leitungen, Kanalbauten, Straßen, U-Bahnschächte) und die damit verbundenen Einbauten. Besonders in den oberflächennahen Bereichen bis zu einer Tiefe von 1,5 bis 2 m beeinflussen sie, je nach Lage und Dimension, den Wurzelraum und damit das Wurzelwachstum.

Bei Baumstandorten mit räumlicher horizontaler Begrenzung bilden sich häufig halbseitige und flache Wurzelteller aus. Bei zusätzlich sauerstoffarmen oder verdichteten Böden reagiert der Baum häufig

mit der Bildung überirdischer Stützwurzeln oder Seitenwurzeln mit zahlreichen Senkerwurzeln (Balder 1998).

Ist der Wurzelraum eines Standorts derart begrenzt, dass sich die Wurzeln auf die ursprünglich bei der Pflanzung angelegte Baumgrube beschränken müssen und eine Ausbreitung der Wurzeln in benachbarte Areale nicht möglich ist, ballen sich die Wurzeln nestartig zusammen (Hoffmann 1954, Hoffmann 1956). Dieser sog. Blumentopfeffekt verschlechtert mit der Zeit die Wachstumsbedingungen (Balder 1998).

Auch die Wurzeln von Bäumen einer Baumfassade können sich bei unterkellerten Gebäuden im Gegensatz zu freistehenden Bäumen nur eingeschränkt ausbreiten. Je nach Pflanzabstand zur Fassade verfügt der Baum nur über den halben Wurzelraum. Zudem werden in der Regel mehrere Bäume nebeneinander gepflanzt, so dass die entstehende Wurzelkonkurrenz den zur Verfügung stehenden Raum zusätzlich einschränkt. Daher kommt der Planung des den Anforderung entsprechenden Wurzelraumes bei Baumfassaden eine essentielle Bedeutung zu.

5.2 Anforderungen an den Wurzelraum Baumfassade

5.2.1 Größe, Dimension, Substrat

Für die Empfehlungen der Größe und Dimensionierung des Wurzelraums soll an dieser Stelle auf die FLL-Richtlinie (FLL-Richtlinie Empfehlungen für Baumpflanzungen - I - 2015) verwiesen werden. Die dort gemachten Angaben beziehen sich auf grundlegende unterirdische Anforderungen für Neupflanzungen. Im Folgenden sind einzelne Punkte als wesentliche Anhaltspunkte herausgestellt:

Die Tiefe des Wurzelraums bzw. der Pflanzgrube sollten mindestens 1,5 m betragen. Die gilt auch und besonders für Baumfassaden, die auf Tiefgaragendächern geplant sind. Zudem sollte die Wurzelraumausdehnung mit einem Gesamtvolumen 12 m^3 pro gepflanzten Baum bei Pflanzung möglich sein, wobei im Fall der Baumfassaden der Ausdehnung lotrecht zur Fassade die größte Bedeutung zukommt. Darüber hinaus sind auch trapez- oder trichterförmige Wurzelräume möglich.

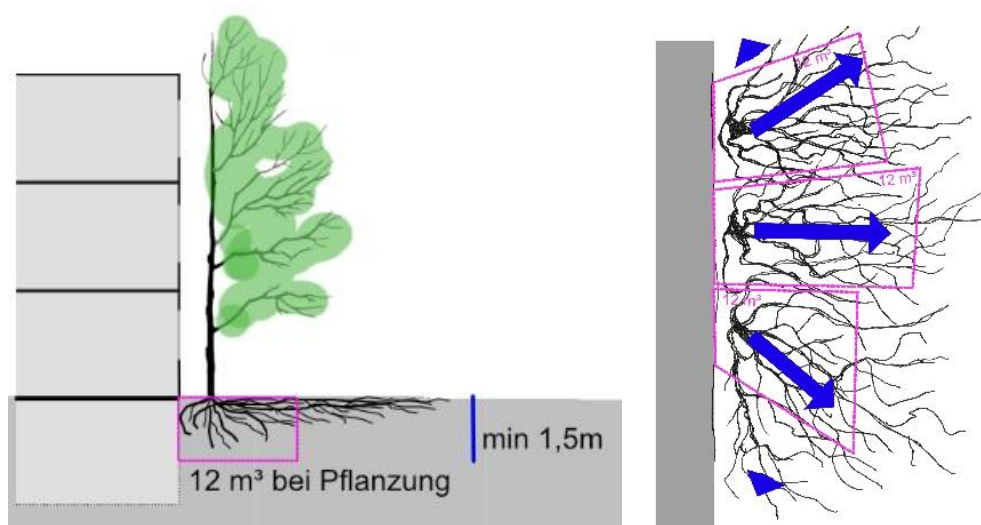


Abbildung 34: Schnitt - Wurzelentwicklung weg vom Gebäude (links); Aufsicht - Wurzelraumdimensionierung und -ausbreitung, unterirdisch, schematisch an einer Baumfassade mit 3 Bäumen (rechts) (Lisa Höpfl)

Im Laufe des Wachstums sollte es dann für den Baum möglich sein, seinen Wurzelraum über die anfänglichen 12m³ hinaus zu erschließen – entweder direkt oder beispielsweise durch das Anlegen von Wurzelkorridoren (mit entsprechendem Baumsubstrat gefüllte Belüftungsgräben von der Baumgrube in nahe, für die Bewurzelung attraktivere Areale). Um die Wurzelentwicklung Richtung der Freifläche zu fördern, können Wurzellockstoffe, wie z.B. Mykorrhiza-Pilze, eingebracht werden.

Der durchwurzelbare Raum der Baumgrube sollte nach ZTV-Vegtra-Mü-Regelungen z.B. mit FLL-geprüften Baumsubstraten befüllt werden. Diese speziellen Substrate beeinflussen die Wurzelentwicklung positiv, da die Zusammensetzung ein rasches Längenwachstum der Wurzeln, eine zügige Ausbreitung in der Baumgrube sowie die Erschließung der Wasser- und Nährstoffressourcen ermöglicht. Zudem bilden die Wurzelsysteme einen hohen Anteil an Fein- und Feinstwurzeln bei insgesamt hoher Durchwurzelungsintensität. Maßgeblich für die Wurzelentwicklung während der Anwuchsphase ist die ausgewogene Struktur des Ballen-Wurzelsystems (Fein- bis Grobwurzeln) (Herrmann et al 2014). An die Baumgruben angrenzender Boden sollte ebenfalls gelockert sein, um einen Blumentopfeffekt in der Baumgrube entgegen zu wirken (Balder 1998).

5.2.2 Wasser- & Nährstoffversorgung

Eine regelmäßige und ausreichende Versorgung der Baumfassade mit Wasser und Nährstoffen ist, in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten (Niederschlag, Bodenfeuchtigkeit, Bodenqualität), essentiell, um eine gute Entwicklung der Baumfassade zu unterstützen.

Durch die hohen Verdunstungsleistungen von Bäumen über die Blattmasse der Krone gelten Kletterpflanzen, Spalierobst und Gehölze als natürliche Bauwerksdrainage, weshalb sie früher bewusst zur Trockenhaltung von Fundamenten gepflanzt wurden (fassadengruen.de).

Eine **Bewässerung** ist dennoch zu empfehlen, damit ein möglicherweise auftretender Trockenstress der Bäume vermieden werden kann. Je nach örtlicher Gegebenheit kann die Verwendung von Regenwasser in die Planung der Bewässerung miteinbezogen werden.

Zusätzlich ist ein externer Hauswasseranschluss zu empfehlen, über den die Bäume manuell oder automatisch nach Bedarf bewässert werden können. Folgende Anhaltspunkte können bei Ermittlung des Wasserbedarfs Orientierung geben:

Lindsey (1991) setzt den Wasserbedarf des Baumes in ein Verhältnis zum benötigten Wurzelvolumen. Die aus den Untersuchungen abgeleitete Faustregel geht von 0,6 m³ Wurzelraum pro m² Kronenprojektionsfläche aus, um den Wasserbedarf des Baumes zu decken, wenn die maximale Wasserkapazität des Substrats bei 12% liegt (Lindsey 1991). Je nach Substrat sind jedoch 25 bis 48% Wasserkapazität möglich. Somit kann eine adäquate Wasserversorgung ggf. auch in kleinerem Substratvolumen erfolgen. Für eine optimale Wasserversorgung ist es empfehlenswert, den Boden-/ Substratwassergehalt zwischen 20% und 30% zu halten. Je weiter der Wassergehalt sinkt, desto stärker wird sich Trockenstress auf das Wachstum und die Vitalität des Baumes auswirken (Escalona 2002, Aranda 2020). Pflanzen können das zeitweise kompensieren, solange das Bodenluftgemisch und das Verhältnis Wasser/ Luft in Balance bleibt (Wraith et al 1998).

Nährstoffe: Der Boden-pH-Wert hat Einfluss auf die Nährstoffaufnahme der Wurzeln. Bei einem pH-Wert über 7,2 (Eisen, Magnesium) und unter 5,5 (Phosphor) können manche Nährstoffe nur noch in verringerter Menge aufgenommen werden. Bei pH-Werten unter 4,5 wird das Wurzelwachstum durch auftretende Aluminiumvergiftung begrenzt (Watson et al 2014). Regelmäßige Gaben von Düngern (im Rahmen der Fertigstellungs- und Entwicklungspflege) sind zu empfehlen (FLL-Richtlinie Empfehlungen für Baumpflanzungen - I - 2015).

5.2.3 Pflanzabstände

Zwischen den Bäumen

Bei regulären Pflanzungen empfiehlt die Forschungsgesellschaft Landesentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) in Abhängigkeit von der Wuchsklasse, 15 Meter Pflanzabstand für Bäume 1. Ordnung (Bäume, die über 20 m hoch werden), 10 Meter für Bäume 2. Ordnung (Bäume, die bis max. 20 m hoch werden) und 6 Meter für Bäume 3. Ordnung (kleinkronige Bäume, Obstbäume) (FLL-Richtlinie Empfehlungen für Baumpflanzungen - I - 2015)

In der Forstwirtschaft hingegen wird je nach Baumart und Pflanzverband wesentlich enger gepflanzt. Der Pflanzverband „orientiert sich an der Wuchsdynamik der einzelnen Baumarten und an den Qualitätserwartungen des Waldeigentümers“ (stmelf.bayern.de). Bergahorn, Spitzahorn, Linde und Esche werden beispielsweise mit Abständen von 2 m x 1,5 m bis 2 m x 1 m gepflanzt (stmelf.bayern.de). Im Laufe des Wachstums eines Forstbestandes sorgt dann ein sogenannter Self-Thinning-Prozess dafür, dass aufgrund von Konkurrenz um Licht und Nährstoffe die Anzahl der Bäume pro Fläche zurückgeht (Pretzsch 2000).

Baumfassaden stellen an dieser Stelle einen Sonderfall zwischen den oben genannten Anhaltspunkten dar. Ziel der Baumfassade ist es, durch das Verringern des Abstandes sowohl einen klimatischen als auch einen gestalterisch flächigen Effekt zu erzielen und dabei gleichzeitig dem Baum den bestmöglichen ober- und unterirdischen Entwicklungsraum zu ermöglichen.

Im Zusammenspiel mit den Anforderungen an den Wurzelraum, der mindestens 12 m³ betragen soll (bei einer empfohlenen Tiefe von 1,5 m), dürfen Abstände von mindestens 2,5 bis 3 Metern zwischen den einzelnen Bäumen nicht unterschritten werden. Diese Angabe dient natürlich nur als Anhaltspunkt, da je nach Baumart das Wachstumsverhalten (d. h. Wuchsgeschwindigkeit, die zu erwartenden Höhe und die Kronenbreite) variiert.

Pflanzabstand zur Fassade

Für den Abstand des Baumes zwischen Stamm und Fassade ist neben den oberirdischen Anbindevarianten die Größe des Wurzelballens bei der Pflanzung ausschlaggebend.

Da der Wurzelballen bei Pflanzung möglichst nicht beschädigt oder stark eingekürzt werden sollte, beträgt der Mindestabstand der Stammachse zur Wand den halben Wurzelballendurchmesser. Baumschulen verfügen meist über erste Anhaltspunkte zum Verhältnis von Stammdurchmesser und Wurzelballendurchmesser (vdberk.de).

5.2.4 Baumverankerung

Bei der Pflanzung sind die Wurzeln statisch noch nicht fest genug verankert, um den Baum standsicher vor Windwurf und Schrägwuchs zu schützen. Bis diese Stabilität erreicht ist, vergehen je nach Baumart 2 bis 3 Jahre. Bis dahin sollte mit der Pflanzung eine Baumverankerung eingeplant werden, die den jungen Spross zwar stabilisiert, jedoch nicht zu starr oder einschränkend ausgebildet ist, damit Stamm, Krone und Wurzeln nicht beschädigt werden (FLL Empfehlungen für Baumpflanzungen - II 2010).

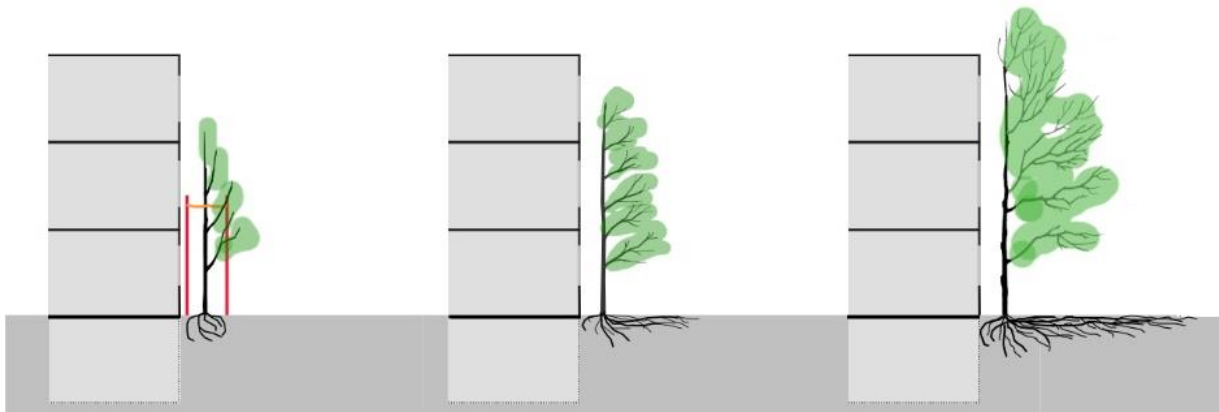


Abbildung 35: Entwicklung des Wurzelraumes der Baumfassade im Laufe der Zeit (Lisa Höpfl)

Bei Baumfassaden kann je nach Standort und gestalterischer Intension, aber vor allem nach gewählter konstruktiver überirdischer Anbindung unterschieden werden. Erfolgt die Anbindung durch den einwachsenden Gerüststab oder durch die temporäre Anbindung an ein Bauteil (z.B. Balkon), muss dies im Rahmen der Pflanzung nach Pflegevorgaben erfolgen (siehe Kapitel Baum oberirdisch, Pflege). Wird der Baum mit Abstand vor das Gebäude gepflanzt, ist eine temporäre Verankerung notwendig. Diese kann beispielsweise durch Pfahlanbindungen, Seilabspannungen oder Ballen-/ Unterflurverankerungen erfolgen (FLL Empfehlungen für Baumpflanzungen - II 2010). Unterflurverankerungen eignen sich dabei nur für größere Ballendurchmesser ($d > 60 \text{ cm}$).

Alle Arten der Verankerung mit Ausnahme des eingewachsenen Stabs sollten nach Erreichen der Stabilität (2-3 Jahre) wieder entfernt werden. Genaue Anleitungen finden sich in den FLL-Richtlinien (FLL Empfehlungen für Baumpflanzungen – II 2010).

5.3 Schnittstellen

5.3.1 Wurzelraum – Gebäude bzw. räumliche Begrenzung vertikal

Bei Untersuchungen zu möglichen Schäden am Keller bzw. Fundament des Gebäudes spielt die Dynamik des Bodenwassergehalts eine signifikante Rolle. Der Bodenwassergehalt wird durch gebäudenahen Pflanzungen beeinflusst, besonders bei tonigen Böden kann er durch Quell- und Schrumpfprozesse, je nach Tiefe des Fundamentes, Einfluss auf dessen Stabilität haben (bodenundbaum.de):

Durch die Verdunstungsprozesse des Baumes entsteht ein Wassersog im Bereich der Wurzeln, wodurch besonders ein toniger Boden trockener wird und schrumpft. Besonders im Winter verringert sich dann die Sogkraft des Baumes und der Boden quillt auf. Diese möglichen mechanischen Bewegungen sollten, je nach Bodenart und Fundamenttiefe, durch ein Bodengutachten in die Planung miteingebunden werden. Weitere Bedenken zu Schäden an Gebäuden befassen sich mit möglicherweise in die Kellerwand oder das Fundament einwachsenden Wurzeln.

Die Ausführung heutiger Betonfundamente oder weißer Wannen sind für Risse in der Regel nicht anfällig. Sollten doch Risse vorhanden oder entstanden sein, ist der beste Schutz gegen ein mögliches Einwachsen, den Wurzelraum groß genug zu dimensionieren, so dass die Versorgung mit Wasser und

Nährstoffen insgesamt ausreichend ist und der Baum nicht nach alternativen Quellen sucht (Reichwein 2002).

Bei Bedenken oder alten Mauerwerken aus Ziegeln sollte zum Schutz des Gebäudes eine Wurzelsperre an der Fassade eingebaut werden (z.B. RootBlock). Diese sollte mind. 1,5 m tief sein. Ist entlang der Fassade zur Entwässerung eine Drainagematte vorgesehen wird die Wurzelsperre wasserdurchlässig ausgeführt und vor der Drainagematte eingebaut. Ein Produkt, das beide Eigenschaften (Drainage und Wurzelschutz) vereint, ist laut Aussagen unterschiedlicher Hersteller und besonders für Baumwurzeln auf dem Markt derzeit (Stand März 2022) nicht erhältlich. Befinden sich in der Kellerwand Öffnungen, beispielsweise für Leitungen, müssen diese zusätzlich mit Wurzelsperren gesichert werden. Auch auskragende Elemente wie Lichtschächte sollten mit Wurzelsperren gesichert werden.

5.3.2 Wurzelraum – Unterbauung (Tiefgaragendecken) bzw. horizontale Begrenzung (Wegeflächen)

Tiefgaragen

Ist die statische Auslegung des Tiefgaragendachs für einen hohen Substrataufbau (1,0 – 1,5 m) und im späteren Verlauf aufgewachsenen Bäumen ausgelegt, kann eine Baumfassade auch auf überschütteten Einbauten, wie z.B. Tiefgaragendächern gepflanzt werden. Dabei sollte entweder die Dachabdichtung auch gleichzeitig die Funktion des Wurzelschutzes übernehmen oder es wird zusätzlich zur nicht-wurzelfesten Dachabdichtung eine separate Wurzelschutzbahn aufgebracht (FLL Dachbegrünungsrichtlinien 2018). Die Dachabdichtung bzw. die Wurzelschutzbahn muss das FLL-Prüfverfahren auf Durchwurzelungsfestigkeit und Rhizomfestigkeit ohne Beanstandungen erfolgreich absolviert haben. Die bei der Pflanzung notwendigen Baumverankerungspunkte sollten, wenn möglich, bereits auf dem Tiefgaragendach installiert sein.

Wegeflächen

Befindet sich die Baumfassade in unmittelbarer Nähe zu Wegeflächen, breiten sich Wurzeln gleichmäßig unter gepflasterten (und damit wasserdurchlässigen) Belägen aus, sowohl was das Wachstum in die Fläche als auch was die Wurzeltiefe betrifft. Unter asphaltierten Flächen sind keine oder kaum lebende Wurzeln zu finden (Cermak et. al 2000). Andere Studien beobachten dennoch Unterwurzelungen von asphaltierten Flächen, allerdings nur mit Wurzeln mit einem Durchmesser von 2 - 2,5 cm ohne Verzweigungen und Feinwurzeln (Balder 1998). Bestätigt wird die Beobachtung der gleichmäßigen Ausbreitung im Bereich der Pflasterflächen Hier sind z. T. ausgeprägte Wurzelmatte mit hohem Feinwurzelanteil zu finden. Der Durchwurzelungsgrad überbauter Flächen ist u. a. abhängig vom Anteil des Bodensauerstoffs, der Wasserverfügbarkeit und der Verdichtung (Balder 1998).

Um den Raum unter Verkehrsflächen für die Wurzeln verfügbar zu machen, empfiehlt sich der Einbau von verdichtbaren, tragfähigen und durchwurzelbaren Substraten und Schüttstoffen. Diese „unterbaufähigen Substrate“ werden flächig unter der obersten Tragschicht oder in begrenzten Bereichen wie z. B. in Wurzelgräben oder -kanälen eingebaut. Letzteres bietet sich insbesondere dann an, wenn Leitungstrassen eine großflächige Lösung behindern. Die eingebauten Materialien müssen den Anforderungen des Straßenbaus genügen (Reichwein 2002, FLL Empfehlungen für Baumpflanzungen - II - 2010).

5.3.3 Wurzelraum – Infrastrukturen (Leitungen)

Leitungen und Kanäle stellen in erster Linie eine Behinderung und Verengung des Wurzelraumes dar, auf die der Baum wenn möglich durch Ausweichen reagiert, soweit ihm das möglich ist. Bei großen Leitungstrassen in den Hauptbereichen des Wurzelraumes kann dies eine Sperre darstellen, die der

Baum nicht überwinden oder unterwandern kann. Von solchen Situationen abgesehen werden Leitungen in der Regel in ein künstliches Umfeld aus mittleren bis groben Sanden verlegt. Diese Substrate sind aufgrund der guten Bodenluftverhältnisse für Baumwurzeln attraktive Areale und fördern das Wurzelwachstum in diesen Bereichen (Heidger 2002). Zusätzlich kondensiert Bodenfeuchtigkeit häufig an der kühlen Oberfläche der Rohre und versorgt so die Wurzeln mit zusätzlichem Wasser. In dieser Umgebung werden Lecke, Risse, poröse Dichtungen schnell von Feinwurzeln durchdrungen, wodurch es zu einer Schädigung der Leitung kommt (Reichwein 2002). Das sekundäre Dickenwachstum der Wurzeln kann entlang von Leitungen und Rohren Schäden verursachen (Heidger 2002).

Der beste Schutz vor Schäden an unterirdischen Infrastrukturen ist die Sicherstellung von ausreichend ungestörten und großzügig bemessenen Wurzelentwicklungsräumen. Ausreichend groß dimensionierte Baumgruben können Schäden an Leitungen, Wegeflächen und Gebäuden vermeiden (FLL Empfehlungen für Baumpflanzungen - II - 2010) (Reichwein 2002). In über die Pflanzgrube hinausgehenden Bereichen soll das Wurzelwachstum beispielsweise durch Wurzelgräben oder Belüftungen gefördert werden. Darüber hinaus kann das Wurzelwachstum, wenn nötig, durch Trennelemente wie Wurzelschutzfolien begrenzt werden (Merkblatt 2013). Auch geschlossene, grabenlose Bauweisen sind eine sinnvolle Alternative, die den Schaden am Wurzelwerk minimieren. Bei der geschlossenen Bauweise bleibt der Wurzelbereich, je nach Rohrquerschnitt und Tiefe, weitgehend ungestört (Merkblatt 2013).

Ist die Leitung im Bereich des Wurzelraumes allerdings unumgänglich, können passive Schutzmaßnahmen etabliert werden, wie beispielsweise die Verwendung von porenarmer Verfüllung im Rohr- oder Leitungsgraben, der Einbau von Mantelrohren um die Rohrleitung, der Einbau von Wurzelschutzplatten oder -Folien oder das Verwenden von wurzelfesten Rohrverbindungen (Merkblatt 2013, FLL Empfehlungen für Baumpflanzungen - II - 2010).

6 Der Baum oberirdisch

Dieses Kapitel befasst sich mit den oberirdisch sichtbaren Prozessen des Baumwachstums, möglichen Pflägetechniken und notwendigen Pflegeschritten.

6.1 Baumwachstumstendenzen an der Fassade und mögliche Reaktionen

Um die verschiedenen Möglichkeiten und Notwendigkeiten der Baumanbindung zu verstehen werden an dieser Stelle zwei Grundprinzipien der Wachstumsentwicklung bzw. Tendenzen erklärt. Das erste Prinzip befasst sich mit den steifen und flexiblen Komponenten des Baumes im Laufe seiner Entwicklung.

6.1.1 Flexibilität und Steifigkeit

Bei der Pflanzung ist der Stamm des Jungbaums, je nach gewähltem Alter bzw. Größe, noch relativ flexibel. Damit er sich gerade entwickelt und Witterungseinflüssen wie Wind standhalten kann, ist es sinnvoll, ihn zu stützen oder alternativ im Boden zu verankern.

Mit zunehmender Größe stabilisieren sich der Stamm und die Hauptäste immer weiter. Flexibel bleiben dagegen die neue Triebspitze und die Enden der Äste. Um die Triebspitze und die Äste vor dem Schlagen an die Fassade bis hin zu dem Abknicken bei starken Winden zu schützen

(Karateeffekt), ist auch hier eine Anbindung oder Stütze sinnvoll. Erst der ausgewachsene Baum ist stabil genug, um die Anforderungen an der Baumfassade ohne Anbindung zu erfüllen, mit Ausnahme des ganz nah an die Fassade gepflanzten Baumes: Hier ist die Stütze mit dem Baum untrennbar verwachsen.

6.1.2 Lichtwuchstendenz/ Schrägwuchs

Ein nah am Gebäude wachsender Baum kann die Tendenz entwickeln, sich Richtung Licht und größerem Kronenraum und damit weg von der Fassade zu entwickeln. Um dieser Schrägwuchsentwicklung vorzubeugen sowie Baum und Gebäude bei starkem Wind zu schützen, werden für Baumfassaden an dieser Stelle drei Möglichkeiten vorgestellt, den Baum zu leiten:

- Mit dem Baum verwachsener Rankstab (1)
- Temporäre Anbindung, am Balkon (2)
- Pflanzung mit Abstand, Anbindung lokal und nur temporär im Jungbaumstadium (3)

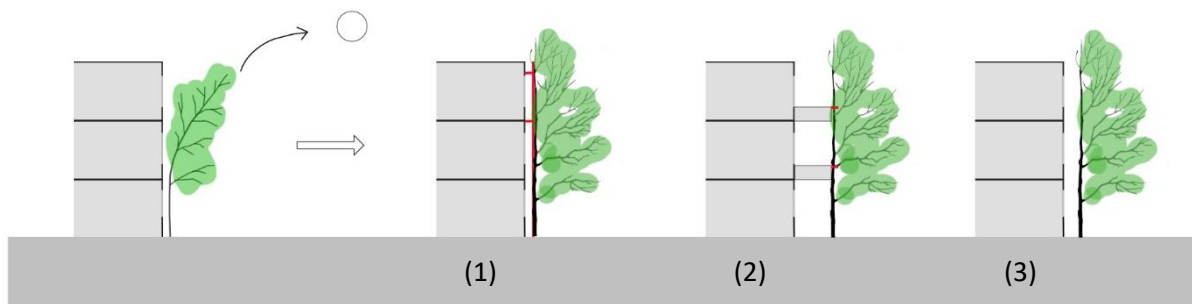


Abbildung 36: Wachstumstendenz vom Gebäude weg (links); mögliche Gegenmaßnahmen: Anbindung mit einwachsendem Stab (1), temporäre Anbindung beispielsweise am Balkon (2) und Baum frei vor dem Gebäude stehend mit Abstand (3) (Lisa Höpf)

Gleichzeitig bilden sich auf der dem Gebäude zugewandten Seite natürlicherweise weniger Äste aus. Grund dafür können neben dem eingeschränkten Lichtangebot Mechanismen ähnlich der „Crown shyness“ sein, welche auch für die nebeneinanderstehenden Bäume der Baumfassade gelten können. Dabei brechen die Äste an einem bestimmten Punkt durch das wiederholte Aneinanderschlagen oder reiben ab, sodass es wie ein natürlicher Schnittprozess wirkt (Franco 1986).

6.2 Pflorgetechniken

Je nach gewählter Baumart und den örtlichen Gegebenheiten bestehen unterschiedliche Möglichkeiten die Pflegearbeiten durchzuführen. Zu berücksichtigen sind beispielsweise bauliche Voraussetzungen am Gebäude (z.B. Balkone, Attika mit Sekuranten), Anfahbarkeit und Befahrbarkeit des Baumfassadenbereiches, finanzielle Ressourcen und Verfügbarkeit von geschultem Baumpflegepersonal.

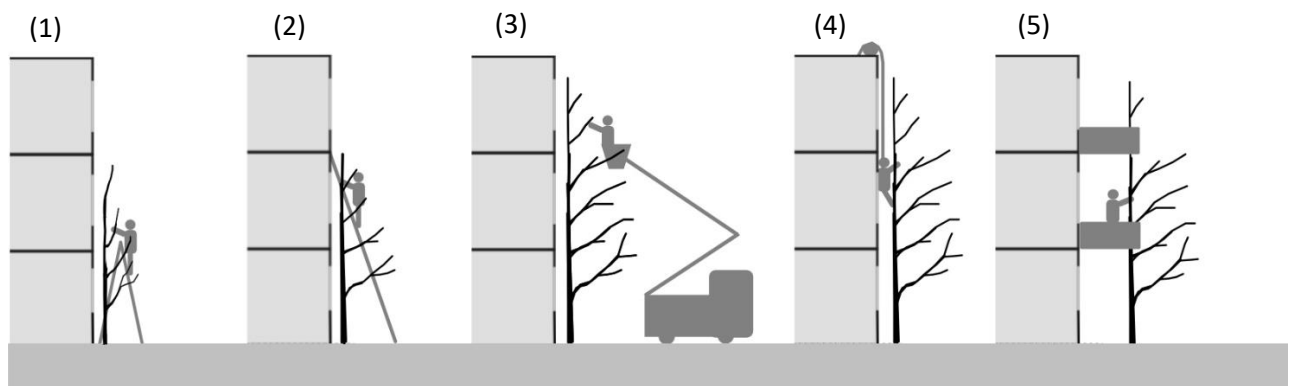


Abbildung 37: (1) Anleitern beim Pflanzschnitt; Pflegeschnitt: (2) Anleitern, (3) Hubsteiger, (4) Abseilen, (5) Zugang über Balkone (Lisa Höpfl)

6.3 Pflegemaßnahmen

6.3.1 Schnittmaßnahmen bei der Pflanzung/ Fertigstellungspflege

Allgemein

Laut FLL ist bei Laubgehölzen, abweichend zur DIN 18919, nicht nur bei wurzelnackten, sondern auch bei Ballen- und Containerware ein Pflanzschnitt durchzuführen. Dabei sollte ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Kronen- und Wurzelvolumen angestrebt werden. Zudem sind artspezifische Eigenschaften zu beachten. Der Leittrieb sollte freigestellt, Konkurrenztriebe und nach innen wachsende, kreuzende, reibende oder beschädigte Äste entfernt bzw. eingekürzt werden. Darüber hinaus wird empfohlen, das Anwachsen und die Weiterentwicklung bestimmter Baumarten durch einen intensiven Kronenrückschnitt zu fördern. Es wird empfohlen, den Leittrieb zu erhalten und zu stärken. Gegebenenfalls können die Seitenäste eingekürzt werden (FLL-Richtlinie Empfehlungen für Baumpflanzungen - I - 2015).

Baumfassade

Im Gegensatz zu regulären Baumstandorten zeichnet sich die Baumfassade nicht nur durch einen bis um die Hälfte eingeschränkten Wurzelraum, sondern auch durch einen halben Kronenraum aus (außer der Baum steht an einer Gebäudeecke).

Dem Pflanzschnitt kommt deshalb eine für die weitere Entwicklung maßgebliche Rolle zu. Zugleich greift er stark in die Kronenarchitektur und -statik ein. Damit an der Fassade durch das Reiben von Ästen keine Schäden entstehen und sich der Baum langfristig nach oben entwickelt, werden bei der Pflanzung die Hälfte bis zwei Drittel aller Seitenäste entfernt.

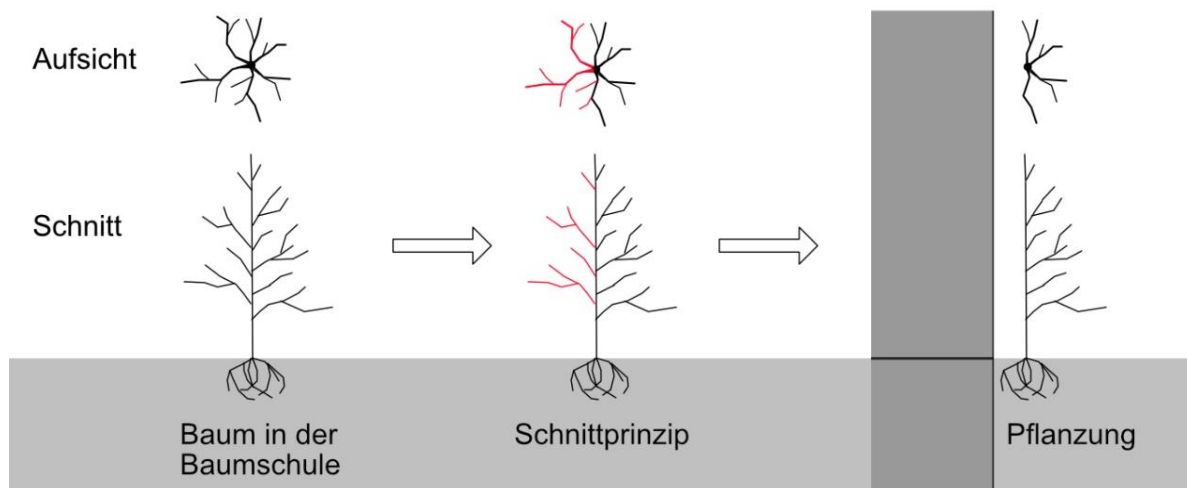


Abbildung 38: Prinzip Pflanzschnitt (Lisa Höpfl)

Gleichzeitig wird der Baum angebunden. Dies kann entweder unterirdisch (Unterflurverankerung) oder mit klassischen, temporären Anbindeverfahren erfolgen (z.B. Dreibock). Alternativ kann der Leittrieb bei entsprechender Größe auch bereits an dafür vorgesehene Bauteile an Balkonen oder Laubengängen oder an einen mit dem Gebäude verbundenen Gerüststab fixiert werden.

6.3.2 Schnittmaßnahmen bei Jungbäumen

Allgemein

Neben der fachgerechten Pflanzung werden Bäume in den ersten Jahren entwicklungspflegerisch begleitet. Die Entwicklungspflege beginnt nach der Abnahme und Fertigstellungspflege. Sie dient der Erzielung des funktionsfähigen Zustandes einer Pflanzung. Wann dieser erreicht wird, hängt u. a. von dem Begrünungsziel, der Größe des verwendeten Pflanzgutes und den Standortbedingungen ab. Je größer und damit fertiger die Bäume von der Baumschule bezogen werden, umso geringer sind die Dauer und der Aufwand für die Entwicklungspflege. Bei Baumpflanzungen für eine Allee oder mit speziellen gestalterischen Zielen kann die Entwicklungspflege dagegen Jahrzehnte in Anspruch nehmen. Die DIN 18919 definiert deshalb keine Zeiträume für die Entwicklungspflege. Sie sagt vielmehr aus, dass für die Zeit der Entwicklungspflege im Vergleich zur anschließenden Unterhaltungspflege vermehrte Leistungen erforderlich sind. Dies können z. B. mehr Arbeitsgänge für die Bodenbearbeitung sein oder Mehraufwendungen für Düngen und Wässern oder aber besondere Maßnahmen wie der Erziehungs- und Aufbauschnitt bei Bäumen. Zudem gehören beispielsweise das Anbinden des Stammes an Baumstützen, regelmäßige Erziehungs- und Aufbauschnitte oder Bodenbearbeitung und Düngung zur Entwicklungspflege (Stiftung Die Grüne Stadt 2014). Später werden zur Erziehung bestimmter Kronen- und Spalierformen, Stamm und Äste geschnitten, gebogen und durch Astklammern, Baumgurte, Baumbinder oder Kletterbinder an einer Stützstruktur in ihrer Position fixiert (FLL-Richtlinie Empfehlungen für Baumpflanzungen - I – 2015, FLL-Fachbericht zur Pflege von Jungbäumen und Sträuchern 2008, Brickell et al 2011).

Baumfassade

In der weiteren Entwicklung der Baumfassade sollten in regelmäßigen Abständen (mindestens einmal pro Jahr) fachgerechte Schnittmaßnahmen durchgeführt werden. Dabei sollte es Ziel sein, das Dickenwachstum des Stammes zu fördern und gleichzeitig das Höhenwachstum zu unterstützen. Außerdem sollte ein stabiles Astgerüst etabliert werden (baumpflegeportal.de). Neu ausgetriebene Seitenäste, die Richtung Fassade wachsen, werden beim Entwicklungsschnitt entfernt. Vorsichtige

Korrekturschnitte auf Astebene können vorgenommen werden, wenn die Fenster zu stark verdunkelt werden, so dass Blickbeziehungen zumindest teilweise möglich sind. Dabei sollte auf das Prinzip des Schlankschnitts geachtet werden (baumpflegeportal.de). Alternativ können mittels temporärer Stäbung Ausblicke geschaffen werden.

Darüber hinaus werden am Stamm die temporären Fixierungen überprüft und neu justiert, um eine Strangulation zu verhindern. Ist der Leittrieb ausreichend stabil, werden die Fixierungen gänzlich entfernt. Eine Ausnahme stellt das konstruktive System Gerüststab dar: Hier wird der Leittrieb um den Rankstab gewickelt und verwächst langfristig mit diesem zu einer Einheit. Je nach Ausformung des Rankstabs ist die Fixierung (beispielsweise mittels Baumbindern) entlang des gesamten Stamms zu prüfen.

6.3.3 Kronenpflege und Baumkontrolle

Nach Pflanzung und den ersten Jahren der Entwicklung konzentrieren sich pflegerische Eingriffe hauptsächlich auf den Kronenbereich. Frühzeitige Schnittmaßnahmen im Fein- und Schwachastbereich beugen unerwünschten Entwicklungen vor und fördern die Entwicklung vitaler Bäume. Erfordernisse im Baumumfeld (z. B. Fassaden) können es zudem notwendig machen, einzelne Äste ganz oder teilweise zu entfernen (ZTV-Baumpfleger 2017). Zeigen Bäume mit dem Alter Vergreisungserscheinungen, wird es notwendig, abgestorbene Äste zu entfernen.

In der Baumfassade sind in diesem Entwicklungsstadium keine weiteren Fixierungs- oder Justierungsarbeiten mehr nötig, da der Baum seine vollen statischen Eigenschaften ausgebildet hat. Daher sollten alle temporären Anbindungen entfernt werden.

Ist die gewünschte Baumhöhe erreicht, ist es möglich, das Kronenvolumen durch einen baumschonenden Schlankschnitt konstant zu halten. Kappungen sollten hingegen vermieden werden (baumpflegeportal.de).

Erreicht der Baum einen Zustand statischer Insuffizienz müssen alternde Bäume mithilfe von Kronensicherungen stabilisiert werden. Die Notwendigkeit wird in regelmäßig stattfindenden Kontrollen festgestellt (FLL Baumkontrollrichtlinien 2020, FLL Baumuntersuchungsrichtlinien 2013). Moderne Kronensicherungen arbeiten ausschließlich verletzungsfrei (ZTV-Baumpfleger 2017). Dabei wird zwischen dynamischen Systemen, die Schwingungen dämpfen und so einen Bruch verhindern, und statischen Systemen, die auch das Herabfallen abgebrochener Äste oder Stämme verhindern, unterschieden (ZTV-Baumpfleger 2017, FLL Baumkontrollrichtlinien 2010, FLL Baumuntersuchungsrichtlinien 2013). Diese Arbeiten sollten nur durch erfahrene Baumkletterer oder Baumpfleger erfolgen (baumpflegeportal.de).

7 Nutzen- und Klima-Aspekte

Dieses Kapitel beleuchtet den Nutzen von Baumfassaden. Das Hauptaugenmerk liegt auf klimatischen und energetischen Aspekten. Hollands und Korjenics (2019) gehen bei vertikalen Begrünungssystemen von einem dreiteiligen Nutzenkatalog aufbauend auf Auswirkungen von Begrünungen für Gebäude, Mensch und Umwelt aus.

	Auswirkung auf	Quantitative Bewertung	
		möglich	Nicht möglich
Gebäude	Energieeinsparung Heizperiode	x	
	Energieeinsparung Kühlperiode	x	
	Langlebigkeit der Fassade	x	
	Immobilienwert		x
	Gebäudeästhetik		x
Mensch	Lärminderung	x	
	CO ₂ -Reduktion	x	
	NOx-Reduktion	x	
	Feinstaub-Reduktion	x	
	Gesundheit		x
	Wohlbefinden		x
	Luftqualität allgemein		x
Umwelt	Lärminderung		x
	Mikroklima		x
	Städtische Hitzeinseln	[x]	
	Attraktivität des Stadtbildes		x
	Erhöhte Biodiversität		x
	Regenwasserrückhalt		x

Tabelle 06: Bewertungsmöglichkeiten der Nutzen der vertikalen Begrünung. In Grün, die Nutzenkategorien, die für Baumfassaden besonders relevant erscheinen.

Was quantitative Nutzenbetrachtungen anbelangt, waren Baumfassaden bisher nicht Gegenstand der Forschung. Bereits vorhandene Daten beziehen sich in erster Linie auf bodenbezogene Rank- oder Trogsysteme (z. B. Cameron, Taylor, Emmett 2015). Ein Leistungsvergleich mit Baumfassaden steht aus. Erfahrungswerte über die Nutzen-Performanz von Bäumen allgemein lässt allerdings durchaus darauf schließen, dass diese besonders im Bereich der Reduktion von städtischen Hitzeinseln mit anderen Verschattungen oder Begrünungen größeren Nutzen liefern können (Neue Landschaft 4/2020). Die geplante Umsetzung in Bamberg (Kapitel C) bietet daher zum ersten Mal die Chance robuste Messdaten zum Nutzen von Baumfassaden zu liefern.

7.1 Anpassung an den Klimawandel

Das Konzept der Baumfassade stellt gegenüber herkömmlichen begrünten Fassaden auf Basis von Rank-, Kletterpflanzen oder Stauden einen neuartigen Ansatz dar, Vegetation und damit Verdunstungskälte in das unmittelbare Wohnumfeld zu integrieren. Die Kühlwirkung (dies gilt für die Kategorien Mensch und Umwelt, siehe oben, gleichermaßen) wird heute als ein wesentlicher Nutzen von Fassadenbegrünungen angesehen. Der enorme Verlust an Vegetation weltweit und lokal beispielsweise durch Nachverdichtung von urbanen Gebieten führt zu einer Verschiebung der Strahlungsbilanz. In urbanen Gebieten ist der sog „Urban-heat-island-Effekt“ (Hitzeinsel-Effekt) neben Wärmeemissionen aus Verbrennungsprozessen primär Ausdruck für verringerte

Verdunstungsraten. Global wird knapp die Hälfte der solaren Einstrahlung der Erdoberfläche über den Verdunstungsprozess in Kühlung umgewandelt (Abb. 39). Wird das Regenwasser in Städten über die Kanalisation abgeleitet oder ohne Vegetationsanbindung in den Untergrund versickert, entsteht der Hitzeinseleffekt (Abb. 40). Dieses Phänomen nimmt zu – mit Urbanisierungsraten von täglich 1 Million Quadratmeter für Deutschland, global etwa 150 km² pro Tag.

Bäume haben durch ihre Schattenwirkung und Transpirationsleistung einen signifikanten Einfluss auf die Lufttemperatur von Stadtgebieten. Sie sind in der Lage, diesen Hitzeinsel-Effekten entgegenzuwirken und das thermische Wohlbefinden des Menschen zu steigern (Kong et al. 2017). Dabei ist besonders bemerkenswert, dass urbane Hitzeinseln nicht nur lokal hoch relevant sind, sondern global einen signifikanten Beitrag zur Erderwärmung leisten (Jacobson und Hoesve 2012). Rufenacht et al (2017) entwickelten einen Maßnahmenkatalog, um am Beispiel Singapur verschiedene Möglichkeiten zu beschreiben, wie auf diese Herausforderungen entwurflich reagiert werden kann, beispielsweise durch das Pflanzen gebäudenaher Bäume.

Laut verschiedener Studien (Hsieh et al. 2018, McPherson and Simpson 2003, Gillner et al. 2015) tragen in unmittelbarer Nähe von Gebäuden gepflanzte Bäume durch ihre Beschattungs- und Transpirationsleistung effektiv zur Reduktion des Energieverbrauchs im Inneren des Gebäudes bei. Trotz der Durchführung der Studien in unterschiedlichen Klimazonen „wird erkennbar, dass durch Baumpflanzungen in Gebäudenähe in vielen verschiedenen Klimazonen Erfolge hinsichtlich einer Reduktion des Energieverbrauchs erzielt werden können“ (Pitha et al., 2018). Laut einer Studie von Berry et al (2013) reduziert der Baumschatten „die Wandoberflächentemperaturen um bis zu 9°C und die Außenlufttemperaturen um bis zu 1°C. Die kleineren Bäume trugen wenig dazu bei, die Oberflächentemperaturen der Außenwände zu reduzieren, und die Verlagerung der hohen Bäume weiter von der Gebäudewand beseitigte ihre Kühlungs Vorteile“. Insgesamt macht die Studie deutlich, dass die Kühleffekte für das Gebäude umso höher sind, je näher ein Baum an der Fassade steht und je größer er ist.

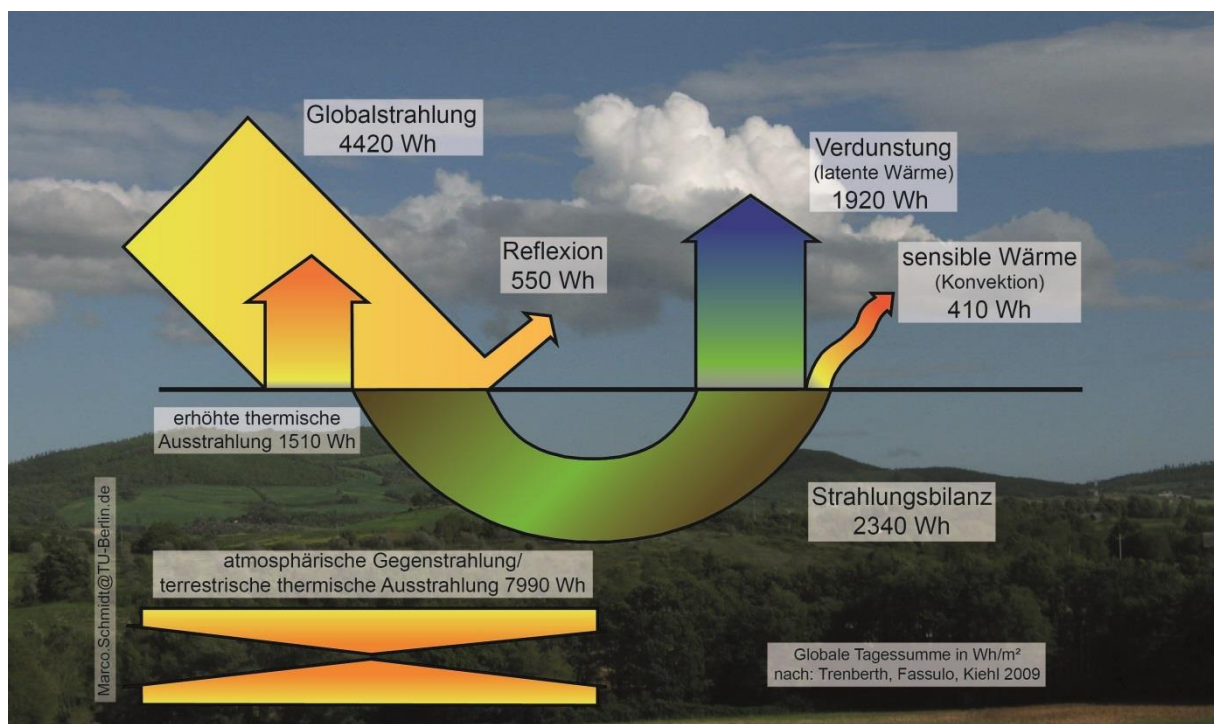


Abbildung 39: Strahlungshaushalt an der Erdoberfläche, Tagessumme eines durchschnittlichen Quadratmeters weltweit. Der Strahlungshaushalt wird dominiert von Verdunstung und Kondensation (Datenbasis nach Trenberth, Fasullo, Kiehl (2009))

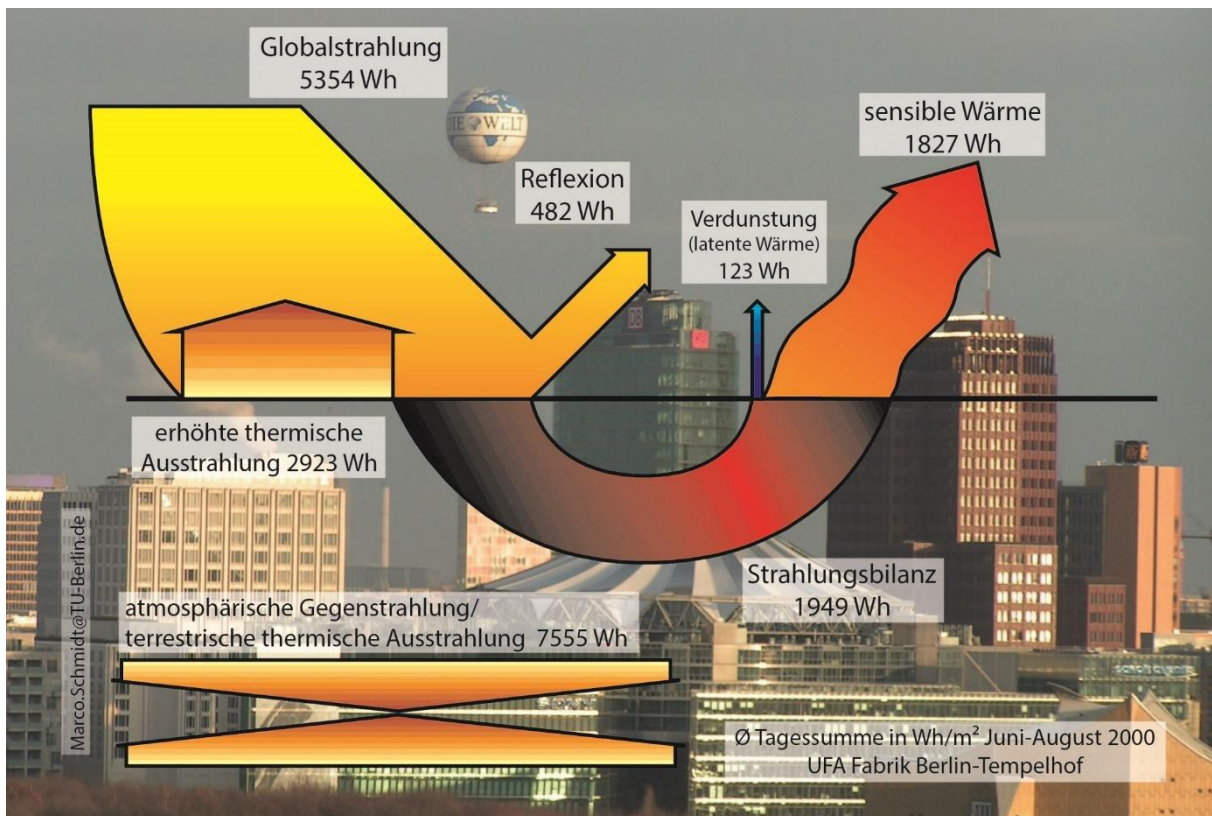


Abbildung 40: Strahlungshaushalt eines Bitumendaches als Beispiel für die Veränderung der Energiebilanz urbaner Gebiete, UFA Berlin-Tempelhof (Schmidt, 2005)

Der Ansatz, Bäume direkt als Sonnenschutz und Klimaanpassungsmaßnahme an der Fassade zu führen ist allerdings, wie oben bereits beschrieben, neu. Bisher wurden Baumpflanzungen im Stadtumfeld nur allgemein untersucht. Es liegen daher keinerlei wissenschaftliche Untersuchungen oder Ausführungserfahrungen vor. Somit gibt es bislang kein Regelwerk, keine Bauweise nach dem Stand der Technik oder den allgemeinen Regeln der Technik.

Gegenüber bekannten Ausführungsvarianten von an Seilen geführten Kletterpflanzen vor transluzenten oder opaken Bauteilen eines Gebäudes, ist der Vorteil der Baumfassade, dass die tragende Struktur durch die Pflanze selbst erbracht wird und nicht konstruktiv erfolgen muss. Nachteil ist die benötigte wesentlich längere Zeit, bis eine erfolgreiche flächendeckende Begrünung erreicht wird.

Bislang untersuchte Projekte zur passiven Wirkung als sommerlicher Wärmeschutz durch Begrünung zeigen ein hohes Potenzial für Gebäude. Je nach technischer Gebäudeausrüstung (TGA) ist entweder ein Komfortgewinn im Gebäude im Sommer zu verzeichnen, oder sogar erhebliche Einsparung von Energie bei einer konventionellen Gebäudekühlung beispielsweise über Kompressionskälteanlagen.

Einer der Hauptschwerpunkte ist aber die Anpassung an den Klimawandel. Lag in der Vergangenheit der Fokus der Freiraumplanung auf der Versickerung von Regenwasser, gerät nun vermehrt die Verdunstung in den Vordergrund. Aus gutem Grund: der Anteil der Verdunstung im Vergleich zu Grundwasserneubildung und Abfluss beträgt beispielsweise für den Raum Berlin/ Brandenburg 80 Prozent der Niederschläge. Der innovative Entwurf zur neuen DWA 102 hat die Zielstellung des

natürlichen Wasserhaushalts im Fokus und setzt nun verstärkt auf Verdunstung. Damit rückt die Gebäudebegrünung ins Zentrum der Anpassungsbemühungen.

7.2 Klima- und Energiebilanz

Die Klima- und Energiebilanz von Baumfassaden muss auf jeden Fall quantitativ evaluiert werden. Dies kann mit demselben Instrumentarium geschehen, welches seit vielen Jahren bewährter Weise bei herkömmliche Gebäudebegrünungen wie Ranksystemen eingesetzt und in der Folge beispielgebend beschrieben wird.

Am Institut für Physik der HU in Berlin Adlershof untersucht die TU Berlin seit 15 Jahren die positiven Effekte von 450 Kletterpflanzen auf die Energiebilanz des Gebäudes im Vergleich zu einem konventionellen Sonnenschutz. Außerdem werden laufend die Betriebskosten und Pflegekostenevaluiert (SenStadt 2010). Die Kletterpflanzen wachsen im natürlichen Boden wie auch in 150 Fassadenkübeln mit Anstaubewässerung. Durch dieses System ist der exakte Wasserverbrauch auch im Tagesverlauf bilanzierbar (Abb. 41). In den Sommermonaten entsteht pro Fassade eine durchschnittliche Verdunstungskälte von 280 kWh pro Tag. Es konnte nachgewiesen werden, dass dies nicht nur eine Verbesserung des Mikroklimas im direkten Gebäudeumfeld bewirkt, sondern im Vergleich zum konventionellen Sonnenschutz etwa 25 Prozent an Primärenergie und 50 Prozent an konventioneller Gebäudekühlung einspart (Abb. 42) – und das bei wesentlich geringeren Investitions- und Betriebskosten. Es ist zu erwarten, dass Baumfassaden bei denen nochmals mit reduzierten Pflegekosten zu rechnen ist, ähnliche oder vielleicht sogar bessere Werte vorweisen werden.

Für das Institut für Physik wurden außerdem die Kosten des konventionellen Sonnenschutzes mit den Kosten der Fassadenbegrünung verglichen. Im Mittel kostet der konventionelle Sonnenschutz an Reparatur- und Wartungskosten der HU Berlin 16.525 Euro pro Jahr. Für die Fassadenbegrünung werden dagegen nur etwa 1300 Euro für Bewässerung, Düngung und Schnitt ausgegeben. Für 3977 m² begrünte Fassade entspricht das 33 ct/m²a. Auch bei diesem Vergleich ist davon auszugehen, dass analog die Baumfassade gegenüber dem konventionellen mechanischen Sonnenschutz besser abschneidet.

Es kann zusammenfassend angenommen werden, dass die Baumfassade mit der herkömmlichen Fassadenbegrünung vergleichbar ist und somit über sommerliche Verschattung, Verdunstungskälte und Reduzierung der langwelligen (infrarot) Strahlung erhebliche positive Auswirkungen auf den Komfort im Gebäude und im näheren Gebäudeumfeld generiert.

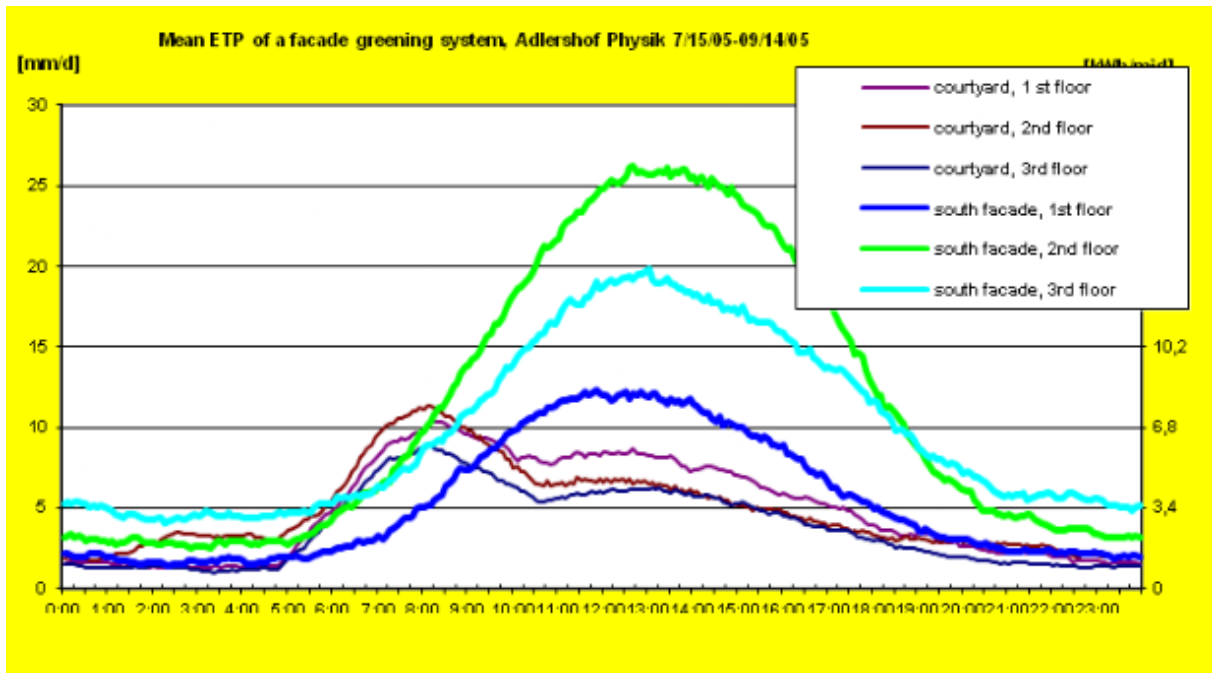


Abbildung 41: Gemessene durchschnittliche Verdunstung der Fassadenbegrünung am Institut für Physik der HU Berlin, Innenhof im Vergleich zur Südfassade

Energiebilanzmessung

Zur Einbindung in die Energiebilanzierung nach DIN 18599 zum sommerlichen Wärmeschutz von Baumfassaden kann die real gemessene kurzwellige Verschattung sowohl vom konventionellen Sonnenschutz als auch von der Fassadenbegrünung als Monatsmittelwert implementiert werden. Die 24 gemessenen Verschattungswerte werden dabei als feststehender Sonnenschutz software-seitig eingebunden. Hierbei ist es erforderlich, die Berechnungen zur Energiebilanz 24-mal durchzuführen und zusammenzufassen. Das Ergebnis einer solchen Berechnung, wie sie für das Institut für Physik durchgeführt wurde, ist der Abbildung 42 zu entnehmen. Es stellt den Vergleich aus Simulationen und Messwerten für Gebäudeheizung und Kühlung für eine südorientierte Büroraumgruppe dar. Die ersten drei Balkengruppen sind das Ergebnis nach DIN18599 ohne/ mit Sonnenschutz, Balken 4 und 5 die jeweils gemessene Verschattung am Gebäude in Adlershof. Die Ergebnisse für den automatisch gesteuerten Sonnenschutz stimmen mit der gemessenen Praxis weitgehend überein (Balken 3 und 4). Spannend ist die unerwartet gute Performance der Fassadenbegrünung im Vergleich zum konventionellen Sonnenschutz (rechte Balkengruppe 5). Im Fall des Physikgebäudes liegt dies darin begründet, dass mit 72% Glasanteil und geringen Primärenergiefaktoren der Fernwärme der Bedarf an Kälte dominiert. Doch dies ist nicht untypisch für moderne Gebäude. Während der Bedarf an Heizenergie durch Effizienzmaßnahmen kontinuierlich sinkt, steigt im Gegenzug der Bedarf an sommerlicher Klimatisierung.

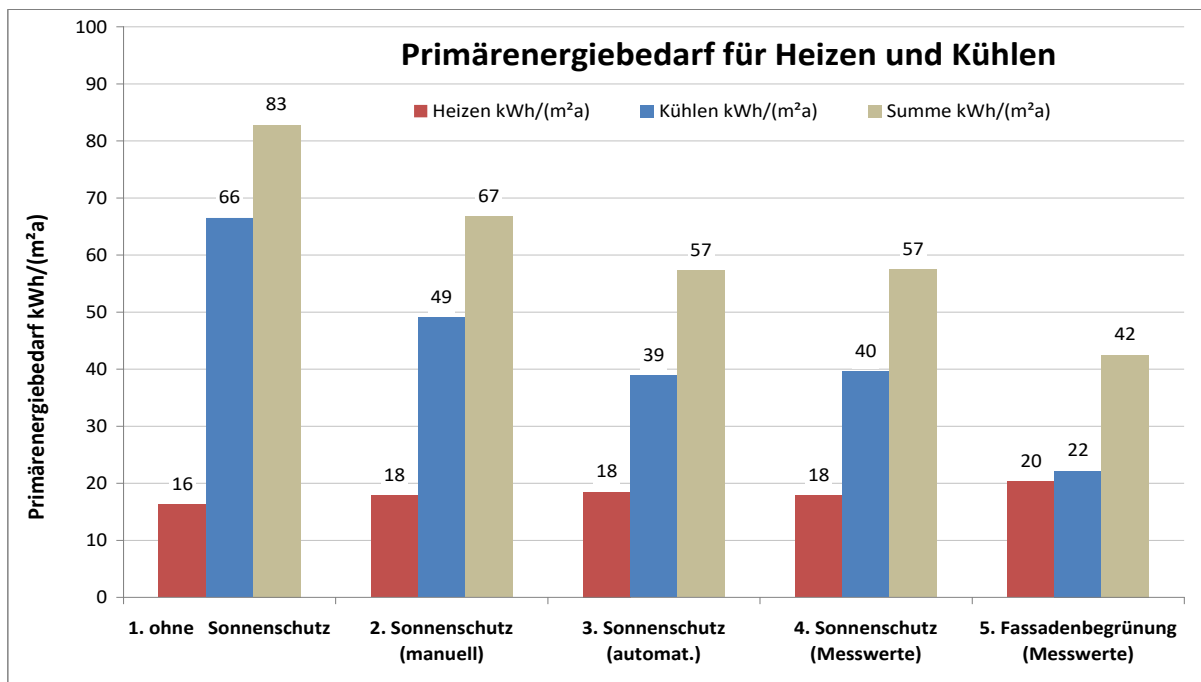


Abbildung 42: Primärenergiebedarf für eine südorientierte Büroräumgruppe am Institut für Physik, IBP:18599 und Messdaten, IBUS Architekten im Rahmen eines EnEff:Stadt Projektes des BMWi (TU Berlin 2014)

Dabei ist der große Vorteil, die Erzeugung von Verdunstungskälte, hier nicht einmal berücksichtigt. Die starke Vereinfachung der Gebäudemodelle auf kurzwellige Strahlung und Innen- zu Außentemperatur vernachlässigt wesentliche Parameter wie die langwellige Strahlungskomponente, die atmosphärische Gegenstrahlung und die Wirksamkeit des Phasenwechsels von Materialien auf die Energiebilanz. In Abbildung 43 ist die Oberflächentemperatur des Glases hinter einem konventionellen Sonnenschutz im Vergleich zur Fassadenbegrünung dargestellt, gemessen jeweils mit einem Pyrradiometer von Fa. Schenk, Wien. Bei einer Zieltemperatur von 26°C im Gebäude wird die Oberflächentemperatur hinter dem konventionellen Sonnenschutz tagsüber um 8,5 Kelvin überschritten, hinter den an Seilen geführten Kletterpflanzen nur um 1 Kelvin. Um die positiven Wirkungen der Fassadenbegrünung auf die Gebäudeenergiebilanz zu berücksichtigen ist allerdings noch eine Ergänzung der geltenden Normen erforderlich. Dieses Manko trifft auch die Baumfassade.

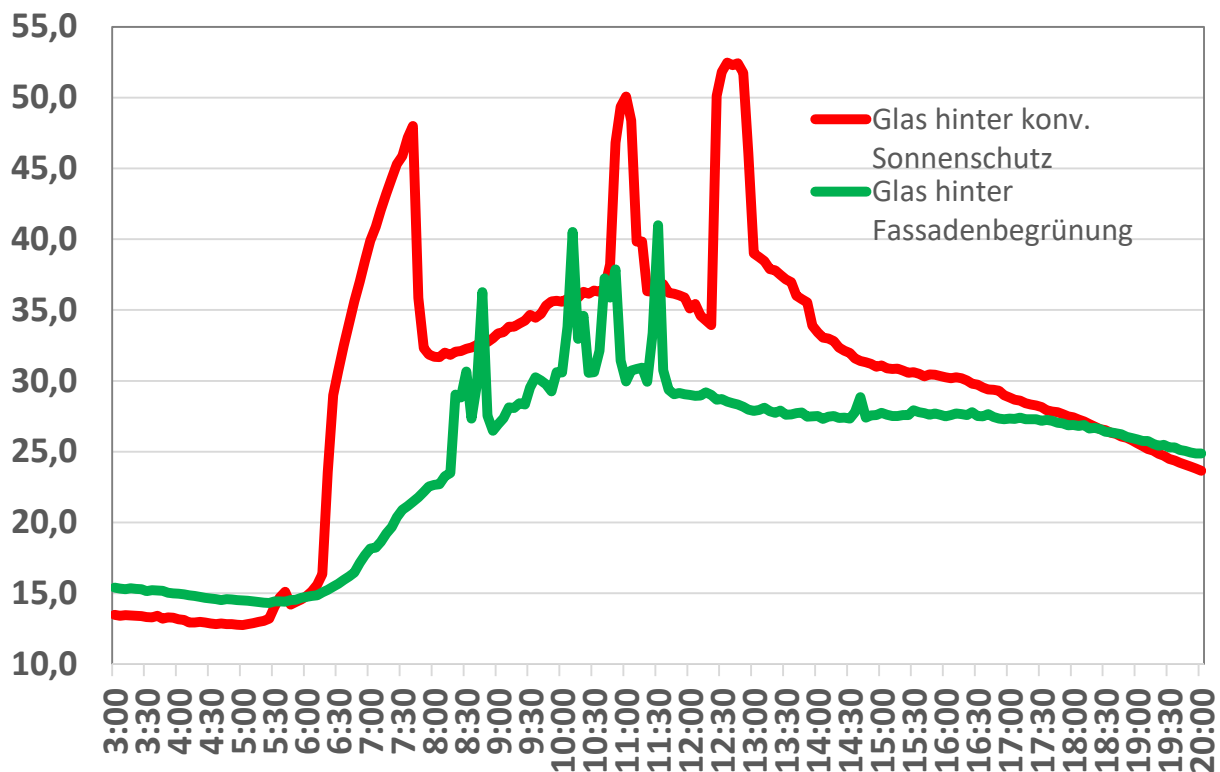


Abbildung 43: Oberflächentemperaturen einer Glasfassade in °C hinter einem konventionellen textilen Sonnenschutz im Vergleich zur Begrünung über an Seilen geführten Kletterpflanzen, Institut für Physik der HU Berlin 2018

8 Rechtliche Betrachtungen

8.1 Baurecht

8.1.1 Brandschutz

Die unterschiedlichen und häufig offengehaltenen Regeln zum Brandschutz bei begrünten Fassaden können eine kostenintensive und planerische Herausforderung bei der Installation und der späteren Pflege einer Fassadenbegrünung werden. Einschlägige Leitfäden zu Ranksystemen an der Fassade definieren hierzu Regeln, die zu aufwendigen Lösungen wie z. B. horizontalen Brandriegeln und ausführlichen Pflegeanleitungen führen können und die Umsetzung gefährden.

Der AGBF-Bund hat daraufhin Empfehlungen zum Brandschutz bei großflächig begrünten Fassaden zusammengestellt (Bachmeier 2020), bei der der Pflegezustand als maßgebliches Kriterium für die Beurteilung der Brandlast (sowohl von boden- als auch fassadengebundenen Systemen) herangezogen wird. Es gilt: Je dicker die Begrünung, desto mehr abgestorbene Trockenmasse mit einer großen Oberfläche kann an der Fassade vorliegen. Im Brandverlauf können durch die aufsteigende Wärme auch vitale grüne Pflanzenteile oberhalb des Brandes soweit thermisch aufbereitet werden, dass diese ebenfalls entzündet werden.

Deshalb ist die Art und der Umfang der Pflege analog einer Brandschutzordnung als Auflage in der Baugenehmigung festzuschreiben („Fassadengrün-Pflegeordnung“): Darin sollen Art und Umfang der Pflege- und Unterhaltungsmaßnahmen an der Fassadenbegrünung beschrieben werden, zu welcher der Eigentümer über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes hinweg verpflichtet ist. Mindestens folgende Punkte sollten darin detailliert beschrieben werden:

- Wie wird die Vitalität der Pflanzen dauerhaft sichergestellt? Hier ist zu beschreiben, wie die Fassade bewässert und gedüngt wird. Weiter ist zu beschreiben, wie dieser Vitalitätserhalt (regelmäßige Kontrolle durch Beauftragten oder automatische Systeme) sichergestellt wird.
- Wie oft muss die Fassadenbegrünung vollumfänglich gepflegt und Pflanzenteile ggf. zurückgeschnitten werden? Hierfür muss im Vorfeld definiert werden, in welchem Umfang Pflanzen an der Fassade angebracht werden und wie stark diese wachsen dürfen. Diese Volumenzunahme kann nur individuell festgelegt werden. Auch müssen hier die verwendeten Pflanzenarten und evtl. vorliegende Brandriegel berücksichtigt werden, da letztere nicht überwachsen werden dürfen.
- Es ist darzustellen, wie die Pflege bei einem möglichen Konkurs o. ä. des Herstellers dauerhaft sichergestellt wird (Bachmeier 2020).

Brandschutzrechtliche Einordnung von Baumfassaden

In den Bauordnungen werden Fassadenbegrünungen mit Rankhilfen als bauliche Anlagen oder Bauprodukt definiert, an die nach der Bauordnung oder in Vorschriften aufgrund der Bauordnung Anforderungen gestellt werden. Für Bäume, die unter die Kategorie „Andere Anlagen und Einrichtungen“ fallen, gelten davon abweichende Anforderungen.

Jedoch gibt es keine expliziten Vorschriften für Baumfassaden, bei denen die Bäume sehr nah an das Gebäude gepflanzt werden. Nach den bisherigen Erfahrungen aus dem angewandten Fall in Bamberg wird der Baum auch hier nicht als Bauliche Anlage oder als ein Bauprodukt gewertet und ist damit nicht Teil der direkten Brandlastbewertung für das Gebäude. Dies muss jedoch im Einzelfall geprüft werden. Auch ist bei Baumfassaden der zweite Rettungsweg zu gewährleisten, entweder durch zusätzliche Treppenhäuser oder über anleiterbare Fenster/Balkone an der Fassade.

8.1.2 Nachbarschaftsrecht

Mit dem Pflanzen der Baumfassade ist auch der gesetzmäßige Grenzabstand zum Nachbargrundstück einzuhalten. Die Vorgaben sind durch die Landesbauordnungen geregelt. Einige Bundesländer weisen dabei auf eine nachbarschaftliche Einigung hin, während andere die Abstände je nach Baumart und Größe zwischen 0,5 m und 8 m festlegen.

8.2 Naturschutzrecht

Der Einsatz von Baumfassaden ist auch unter dem Gesichtspunkt des Arten- und Biotopschutzes sowie der Grünordnungsplanung einzuordnen. Dabei sind neben den Regelungen des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) in erster Linie die Festsetzungen zur Bauwerksbegrünung im BauGB, den Landesbauordnungen sowie den kommunalen Satzungen zu beachten.

8.2.1 Allgemeiner Artenschutz

Laut BNatSchG ist es verboten, Bäume, Hecken, lebende Zäune, Gebüsche und andere Gehölze in der Zeit vom 1. März bis zum 30. September abzuschneiden oder auf den Stock zu setzen. Davon ausgenommen und ganzjährig zulässig sind jedoch unter anderem die schonenden, fachgerechten Form- und Pflegeschnitte zur Beseitigung des Zuwachses der Pflanzen oder zur Gesunderhaltung von Bäumen (Merkblatt Gehölzfällungen) (BNatSchG § 39 Abs. 5 Satz 1 Nr. 2).

Auch Fortpflanzungs- oder Ruhestätten von wildlebenden Tieren besonders geschützter Arten sind zu schützen. Deshalb wird empfohlen, Baumschnittmaßnahmen sowie Baumfällungen nur außerhalb der Vogelbrutzeit durchzuführen und bei Maßnahmen innerhalb der Brutzeit mit der unteren

Naturschutzbehörde Kontakt aufzunehmen. Befreiungen von artenschutzrechtlichen Verboten erteilt die zuständige Regierung als höhere Naturschutzbehörde (Merkblatt Gehölzfällungen) (BnatSchG § 44 Abs. 1 Nr. 3).

Vereinzelt gibt es innerörtliche Flächen, die in Landschafts- oder Naturschutzgebieten liegen oder auf denen sich Gehölze befinden, die als Naturdenkmal oder Landschaftsbestandteil geschützt sind. In den jeweiligen Verordnungen kann es weitergehende Bestimmungen für Gehölzentfernungen geben. Auskunft erteilt die jeweilige untere Naturschutzbehörde (Merkblatt Gehölzfällungen)

8.2.2 Bebauungsplanung, Landesbauordnungen und kommunalen Satzungen

Festsetzungen zu Bauwerksbegrünung, d. h. Dach- und Fassadenbegrünung können nach BauGB, den Landesbauordnungen sowie kommunalen Satzungen zur Gebäudebegrünung getroffen werden, wobei es umfangreichere Regelungen zur Dachbegrünung gibt und unter Fassadenbegrünung in erster Linie bodengebundene Verfahren mit Klimmern und Rankern verstanden werden (Schmauck 2019).

Bei Festsetzungen in Bebauungsplänen sollten grundsätzlich Maßnahmen zur Dach- und Fassadenbegrünung geprüft werden. Hierbei ist eine detaillierte Beschreibung aus naturschutzfachlicher Sicht förderlich. Kommunen sollten die Potentiale von Gestaltungssatzungen ausschöpfen und die baurechtlichen Möglichkeiten nutzen.

Neben Festsetzungen nach BauGB können auch Festsetzungen nach Bauordnungsrecht, welches in den jeweiligen Landesbauordnungen der einzelnen Bundesländer (LBauO) verankert ist, getroffen werden. In den Landesbauordnungen werden die Anforderungen an die Gebäude konkretisiert. Gebäudebegrünung in kommunalen Satzungen

Zur Um- und Festsetzung von Gebäudebegrünung besteht die Möglichkeit, über kommunale Gestaltungssatzungen örtliche Bauvorschriften zur Begrünung von baulichen Anlagen zu erlassen (§ 86 Abs. 1 Nr. 7 MBO).

8.2.3 Kommunale Landschaftsplanung und Grünordnungsplanung

„Landschaftspläne auf örtlicher Ebene und Grünordnungspläne haben entsprechend § 11 BNatSchG die Aufgabe, die Ziele, Erfordernisse und Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege für die Gemeinde oder Teile der Gemeinde darzustellen.“ „Wird ein Grünordnungsplan zu einem Bebauungsplan erstellt, so können dort i. d. R. objektkonkret Festsetzungen zur Gebäudebegrünung getroffen werden. Die verbindliche Festsetzung von naturschutzfachlichen und landschaftsplanerischen Inhalten erfolgt dann im Rahmen der Aufstellung der Bebauungspläne. Aussagen zur Dach- und Fassadenbegrünung können so über die Grünordnungspläne getroffen werden.“ (§ 11 BNatSchG)

8.2.4 Eingriffsregelung

Die Anerkennung von Dach- und Fassadenbegrünungen kommt als Vermeidungs- oder Minderungsmaßnahme in Betracht. Die Anforderungen an Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen hinsichtlich des funktionalen, räumlichen und zeitlichen Zusammenhangs zwischen Eingriff und Ausgleich schließen Dach- und Fassadenbegrünungen als Kompensationsmaßnahmen aus, weil Größe, Ausstattung und Substrattiefe der Dach- und Fassadenfläche diese Anforderungen in der Regel nicht erfüllen. Auch sprechen vollzugspraktische Gründe, wie Kontrollierbarkeit, Durchsetzbarkeit von Nachbesserungen, dauerhafte Sicherung u. a. gegen eine Anerkennung als Ausgleichs- oder Ersatzmaßnahme.

C Fallbeispiel Bamberg

1. Hintergrund

In einem europaweiten Wettbewerb wurde für eine Konversionsfläche der US-Streitkräfte in Bamberg (ca. 3 ha) ein Konzept für ein nachhaltiges und gemeinwohlorientiertes Stadtquartier gesucht. Den Zuschlag erhielt der Volksbau Bamberg. Neben Wohnungen und Gewerbe wird ein nach der DGNB zertifizierter Stadtteil entstehen. Das von fatkoehl architekten geplante Kopfgebäude Haus N°11 im Inneren des Gebietes eignet sich für die Umsetzung einer Baumfassade. Die Fassaden nach Süden, Westen und Osten sind freistehend. Die unterschiedlichen Ausrichtungen erfordern differenzierte Antworten bezüglich Baumauswahl und Baumdichte. Die Planung des Gebäudes und der Bäume werden miteinander abgestimmt entwickelt. Ausgewählt werden die ostseitige Hoffassade und die stark besonnte Südseite.



Abbildung 44: Lageplan für das Projekt „Lagarde Höfe“ in Bamberg (Wasmer Landschaftsarchitektur)

2. Statische Herangehensweisen

Für den ersten Ansatz der Planung wird ein Abstand von ca. 70 cm ab der Mitte des Stammes bis zur Außenkante der Fassade untersucht. Um bei diesem Abstand den Baum vor zu starker Verbiegung bzw. dem Abknicken und die Fassade vor Schäden zu schützen, wird die Dynamik des Baumes über eine Rankstütze reduziert und in das Gebäude übertragen. Ziel ist es, die Befestigungspunkte auf ein Minimum zu reduzieren. Nur zwei Punkte, der Fuß des Baumstammes und eine Druck- und Zugfeder in der Stahlbetondecke des zweiten Geschosses, sichern den Baum. Auf Grundlage der Berechnungen zum Biegeverhalten der Bäume wird die Geometrie der Rankstütze in Form eines Vierendeelträgers

entwickelt. Der Baum wird im Verlauf Wachstumsprozess während der jährlichen Baumpflege durch Verschraubung oder Manschetten an der Rankstütze nach oben geführt. Diese Anwendung ist bei geringeren Grundstücksgrößen notwendig. Zu untersuchen sind dabei die Kosten für die herzustellenden Bauteile und Anschlusses an die tragenden Teile des Gebäudes.

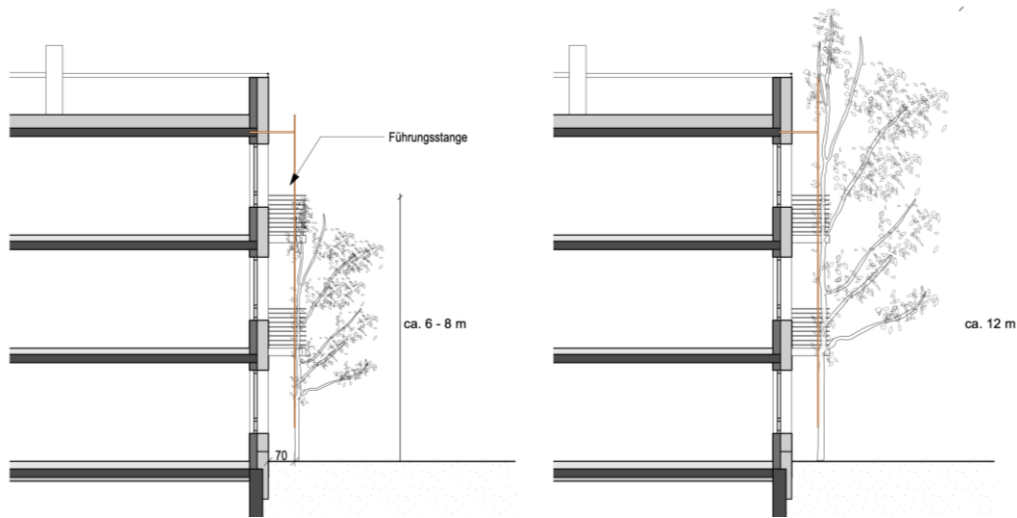


Abbildung 45: Fassadenschnitt mit Rankstütze in unterschiedlichen Wachstumsphasen (fatkoehl)

Der ökonomische Druck im Kontext des sozialen Wohnungsbaus erforderte aber schließlich eine kostengünstigere Lösung. Anstatt der Rankstütze wird die Tragfähigkeit des Baumes selbst genutzt, der Abstand zum Gebäude wird auf 120 cm erhöht, wodurch Variante 3 entsteht. Das Schadensrisiko der Befestigung zwischen einem dynamischen (Baum) und einem statischen System (Gebäude) wird dadurch minimalisiert. Die biegsamen Äste können die Fassade in einem Sturmszenario berühren, aber ihr keinen Schaden zufügen. Der erhöhte Abstand vereinfacht außerdem die Pflege. Neben dem erweiterten Wurzelraum vergrößert sich auch der Raum der Krone im Bereich der Geschosse für mehr Licht und Luft.

3. Räumlich-architektonische Kriterien

Bei der Anordnung der Bäume und der Wahl der Art spielten unterschiedliche Kriterien eine Rolle:

Zusammenspiel Baum und Gebäude:

- Wuchsform bzw. Stamm- und Astausbildung
- räumliche Ausbildung des Baumes mit und ohne Blätter
- saisonale Blattfarbe und mögliche Blütenart

Licht- und Blickdurchlässigkeit:

- Termin des Austriebes und des Blattverlustes
- Blattart und Größe
- Ausformung der Krone und Lage der Blätter am Baum

Mischung und Anordnung der Bäume:

- Einheitliche oder gemischte Baumarten pro Fassade
- Unterschiedlichkeit der Wuchsgeschwindigkeit
- Durchsetzungsfähigkeit einer Sorte

4. Studien zur Fassadenentwicklung



Abbildung 46: Zwei Entwicklungsstadien (nach 5 Jahren (9m) und nach 10 Jahren (12m)) mit gleichen Baumarten: Robinie (oben) und Roteiche (unten) an der Ostfassade (fatkoehl)

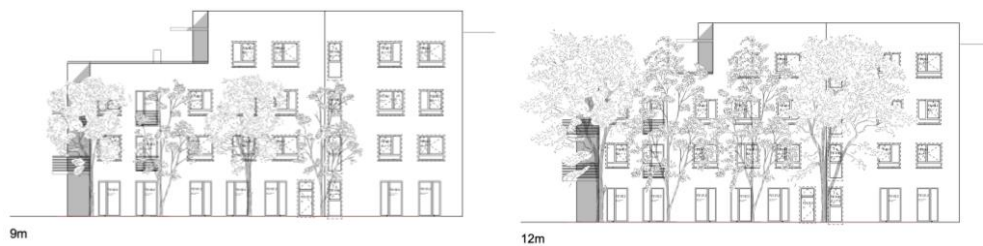


Abbildung 47: Zwei Entwicklungsstadien (nach 5 Jahren (9m) und nach 10 Jahren (12m)) mit unterschiedlichen Baumarten: Robinie und Roteiche an der Ostfassade (fatkoehl)



Abbildung 48: Gesamtbetrachtung nach Pflanzung mit farbigen Baumstämmen (fatkoehl)



Abbildung 49: Gesamtbetrachtung nach ca. 20-30 Jahren mit Baumstämmen, die als Blickfang farbig gestaltet wurden (fatkoehl)

5. Umsetzung

5.1 Baumartenwahl konkret

Die Suche und Auswahl der Bäume wurden aus vier Perspektiven betrieben: Erstens, die für die zukünftigen Bewohner relevanten Kriterien der Licht- und Blickdurchlässigkeit und der gesundheitlichen Verträglichkeit; zweitens, die für den Baum relevanten Kriterien der Bodenqualität, der Ausrichtung der Fassade und der Stress- und Überflutungstoleranz; drittens, die architektonisch relevanten Kriterien der Kronen-, Baum- und Blattform, der Licht- und Blickdurchlässigkeit (siehe oben) und viertens, die Wahl zweier möglichst unterschiedlicher Baumarten, um maximale Erkenntnisse für die drei ersten Kriterien zu erhalten.

Abhängig von den Kriterien ist eine frühzeitige Zusammenarbeit mit einer Baumschule unbedingt notwendig. Im Gegensatz zur klassischen Baumauswahl fordern die Kriterien eine präzise Auswahl der Baumart, der Wachstumsgröße, der Schnittfähigkeit und der Umsetzbarkeit. Als praktische Grundlage der Vorauswahl können die aktuellen Listen der GALK, die Baumartenmatrix von A. Roloff sowie die Beschreibungen der Arten aus den Baumschulkatalogen genutzt werden. Neben funktionalen Anforderungen wie geringer Windbrüchigkeit und gute Schnittverträglichkeit können ästhetisch-atmosphärische Merkmale wie Laubfärbung und Blüten ermittelt werden. Die Erfahrung aus Bamberg zeigt jedoch, dass für ein solches Vorhaben die Abstimmung der Baumart und Auswahl der geeigneten Bäume in einer Baumschule direkt vor Ort stattfinden sollte.

5.1.1 Prozess der Baumartenwahl

Erste Auswahlrunde: Roteiche (*Quercus rubra*) und Robinie (*Robinia pseudoacacia*)

Eine erste Bauauswahl aus den oben genannten Kriterien wurden als Grundlage für eine Beratung mit einer Baumschule vorgenommen. Die Auswahl der Bäume kann sich nach der ersten Beratungsrunde als unpassend erweisen oder ist gegeben falls nicht in den Baumschulen in Größe und Sorte vorhanden. So auch im Falle Bambergs, in dem die Roteiche (*Quercus rubra*) in der gewünschten Qualität nicht verfügbar war.

Zweite Auswahlrunde: Zerreiche (*Quercus cerris*) und Robinie (*Robinia pseudoacacia*)

Als Alternative wurde die Zerreiche angeboten, welche für den Standort ebenfalls geeignet ist,

jedoch nicht über den Aspekt der roten Laubfärbung im Herbst verfügt. Wie alle Eichenarten, kann die Zerleiche vom Eichenprozessionsspinner befallen werden und dort heftige allergische Reaktionen auslösen. Für das Kriterium der gesundheitlichen Verträglichkeit erschien diese Wahl im unmittelbaren Wohnumfeld zu riskant und hätte im Falle eines Befalls einen spürbaren Akzeptanzverlust der Nutzer zu Folge.

5.1.2 Finale Auswahl Baumart 1

Als erste Baumart wurde die Amerikanische Esche (*Fraxinus americana* 'Autumn Applause') gewählt. Das Risiko der Esche ist ihr Eschentriebsterben, das allerdings nur die Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*) betrifft. Sie erfüllt die botanischen Kriterien. Der regelmäßige Aufbau lässt die Esche gut in die halbe Kronenform schneiden. Die Eigenschaften der amerikanischen Esche entsprechen den Anforderungen des Bamberger Standortes. Architektonisch ist Ihre Blatt- und Laubform und Farbe passend. Die Sorte bringt den roten Laubaspekt im Herbst zurück an die Fassade.



Abbildung 50 (links): Blattform *Fraxinus americana*; Abbildung 51 (rechts): Habitus *Fraxinus americana*

5.1.3 Finale Auswahl Baumart 2

Als zweite Baumart wurde anstatt einer ursprünglich vorgesehenen Robinie eine Gleditsie (*Gleditsia triacanthos* ‚Skyline‘) gewählt. Im Falle der Robinie (*Robinia pseudoacacia*), die als sehr robuster, dem Klimawandel angepasste Baumart mit schönem Blühaspekt im Frühjahr und lichtdurchlässiger Blattstruktur gilt, ergab sich im Austausch mit den Baumschulen folgender Erkenntnisgewinn: Robinien wachsen besonders dann besonders robust und an den Standort angepasst, wenn sie vor Ort aus dem Sämling keimen. In der baumschulischen Anzucht und beim Verpflanzen reagiert die Robinie allerdings hochempfindlich. Ebenso scheint ihre Erziehbarkeit als Hochstamm schwierig zu sein. Um ein Scheitern des Anwachsens und die Aussicht auf intensive, schwer vorhersehbare Pflegemaßnahmen zu vermeiden, wurde zunächst die *Sophora japonica* angedacht. Diese wird jedoch im Laufe der Zeit sehr breitkronig, passt deshalb nicht in das architektonische Gefüge der Gebäude in Bamberg und blüht zudem im Hochsommer, was aus Nutzerperspektive zu Konflikten führen könnte. Nach weiteren Überlegungen stellte sich die Gleditsie (*Gleditsia triacanthos* ‚Skyline‘) als geeigneter Baum mit zur Robinie ähnlicher Blatttextur und klarem Habitus heraus.



Abbildung 52 (links): Blattform *Gleditsia triacanthos*; Abbildung 53 (rechts): Habitus und Herbstfarbe *Gleditsia triacanthos*

Die ausgewählten Bäume wurden noch in der Baumschule auf die zukünftige Wuchsform vorbereitet. Die halbe Krone wurde entfernt, die fünf Bäume werden eine weitere Saison in der Baumschule wachsen und dann direkt in Bamberg eingesetzt.



Abbildung 54 (links): Auswahl *Gleditsia triacanthos* in der Baumschule; Abbildung 55 (mitte): Zuschnitt *Gleditsia triacanthos*; Abbildung 56 (rechts): *Gleditsia triacanthos* nach Beschnitt (Florian Köhl)



Abbildung 57 (links): Zuschnitt *Fraxinus americana* in der Baumschule; Abbildung 58 (rechts): *Fraxinus americana* nach Beschnitt (Florian Köhl)



Abbildung 59: Pflanzung der 5 Bäume, Starthöhe ca. 6-7 m (Florian Köhl, Divya Pilla)



Abbildung 60: Entwicklung der Baumfassade nach ca. drei Jahren (Florian Köhl, Divya Pilla)



Abbildung 61: Entwicklung der Baumfassade nach 15-20 Jahren (Florian Köhl, Divya Pilla)

5.3 Bautechnische Ausführung

Die Details der Kellerabdichtung werden entsprechend der Normen der DIN hergestellt. Die Positionen der notwendigen Lichtschächte müssen dafür frühzeitig abgestimmt und außerhalb des Wurzelbereiches positioniert werden.

Lage, Baumartenwahl und Beziehung der Baumfassade zu den übrigen Bäumen wurde während der Entwurfsphase immer wieder angepasst. Neben notwendigen Leitungen zur Versorgung der Gebäude haben dabei zusätzliche Leitungen für eine flächige Geothermie-Anlage die Lage und Größe der Wurzelbereiche reduziert.

5.4 Brandschutz konkret



Die Brandlast der Bäume wird nicht als Teil der Brandlast des Gebäudes betrachtet. Dennoch ist für die betroffenen Wohnungen ein anleitetbarer, zweiter Rettungsweg notwendig und nachzuweisen, welcher jeweils außerhalb des Bereichs der Baumfassade durch ein baumfreies Fenster gesichert wird.

Abbildung 62: Brandlast und anleiterbare Balkone (fatkoehl)

5.5 Monitoring und weitere Evaluierung

Die Baumaßnahme in Bamberg bietet sich für eine Evaluierung äquivalent zum Forschungsprojekt in Berlin-Adlershof an. Für den Erfahrungsgewinn zur Übertragung auf zukünftige Bauprojekte ist für TGA-Planer insbesondere die Frage der Verschattung im Jahresverlauf von Bedeutung. Auch weitere positive Eigenschaften lassen sich über eine dynamische Gebäudesimulation bereits heute abbilden, wie zum Beispiel die Reduzierung der langwelligen Einstrahlung in das Gebäude insbesondere bei Fenstern gegenüber einem konventionellen Sonnenschutz. Voraussetzung für die dynamische Simulation sind aber zunächst Messungen und die Überführung der Messergebnisse in ein Simulationsmodell. Es ist auch eine Abbildung in die statische Berechnung nach DIN18599 denkbar, sobald Datenreihen von mindestens einem Jahr im Vergleich zu einem konventionellen System vorliegen, das bereits in der DIN18599 abgebildet wird. In der Realität hat sich allerdings gezeigt, dass insbesondere der sommerliche Wärmeschutz in der DIN18599 nicht korrekt dargestellt wird. Bei einem Vergleich mit real gemessenen Verbräuchen der Gebäudeklimatisierung sind höhere Verbräuche von 600 bis 800 Prozent gegenüber der Prognose aufgetreten. Aufgrund der erheblichen Unterschätzung zum sommerlichen Klimatisierungsbedarf werden daher bislang auf Verdunstungskälte und passiven sommerlichen Wärmeschutz abzielende Maßnahmen zu selten in der täglichen Planungs- und Baupraxis berücksichtigt. Auch hier sollte die Evaluierung der positiven Eigenschaften der Baumfassade, eine Variante der sogenannten „Nature based solutions“, ansetzen und Lösungsvorschläge unterbreiten.



Abbildung 63: Baumaßnahme in Bamberg im Juli 2022. Ausführung Rohbau (fatkoehl)

Die Verschattung auf die Gebäudeoberfläche wird über Pyranometer gemessen. Wichtig zur Einschätzung und zur Wirkung der Begrünung ist der parallele Vergleich von mindestens zwei Systemen, beispielsweise der Vergleich der Begrünung mit konventionellem Sonnenschutz und mit unverschatteten Gebäudeoberflächen. Die Verschattung wird mit einem Pyranometer vor und hinter der Baumfassade gemessen.

Weitere aufschlussreiche Ergebnisse sind mit Infrarot-Messungen der opaken Oberflächen der Gebäude zu erzielen. Aus den Oberflächentemperaturen lässt sich die Transmission durch die Gebäudeoberflächen berechnen. Die Messungen der Lufttemperaturen im Gebäudeumfeld und direkt an den Oberflächen führt dagegen nicht zu interpretierbaren Ergebnissen. Die Luftbewegung

bzw. Konvektion ist zu hoch um hier Effekte zu messen und interpretieren zu können. Auch Änderungen der Luftfeuchte sind nicht messbar.

Oberflächentemperaturen von transluzenten Bauteilen (Glasfenster) sind aufgrund von hohem reflektiven Anteilen des Glases nicht infrarot messbar. Hier bieten sich nur Pyrradiometer an. Führender Hersteller ist die Fa. Schenk in Wien. Die Ergebnisse entsprechen der Abbildung 43.

Die Wasserbilanz, also der Anteil der solaren Strahlung, der in die Verdunstung von Wasser umgesetzt wird, lässt sich in Bamberg nicht bilanzieren. Diese Analyse wäre nur bei Begrünungssystemen möglich, die aus Kübeln, abgeschlossenen Behältern mit Anstaubewässerung versorgt werden. Baumfassaden mit Bodenanschluss sind nur über Sekundäreffekte wie die Reduzierung der Oberflächentemperaturen bilanzierbar.

Für die optionale Bilanzierung der Baumfassade wäre die Vorbereitung durch Kabelverlegung innerhalb des Wärmeverbundsystems sinnvoll. Die Sensoranbindung erfolgt beispielsweise über ein RS485 Bussystem über ein Kabel, in das die Sensorik in Reihe geschaltet untereinander verbunden wird. Weiterer Schritt wäre die Datenaufzeichnung vor Ort, bevorzugt mit Fernüberwachung über Internet. Hier bieten sich Systeme von Fa. ICPDAS wie auch die Modbus-Datenaufzeichnung von Fa. Scheidl an.

6. „Reflexion“ zu integriertem Arbeiten

Diese Studie machte den Autoren bewusst, dass Baumfassaden nicht als Add-on für einen bestehenden Entwurf entwickelt werden können, sondern dass die bautechnischen wie entwerflichen Herausforderungen nur in einem integrativen Ansatz gelöst werden können. So gilt es beispielsweise auch, die Fassadengestaltung und damit letztendlich auch den Grundriss mit der Anordnung der Bäume ein Einklang zu bringen. Gleichzeitig ist zu bedenken, dass auch die zeitliche Entwicklung systematisch in den Planungs- und Entwurfsprozess zu integrieren ist. Denn Bäume und damit Baumfassaden verändern mit dem Wachstum ihre Form und Größe, ihre räumliche und klimatische Wirkung und ihr Tragverhalten. Dabei beeinflussen die besonderen Wachstumsbedingungen an der Fassade die Entwicklung erheblich. So bilden sich beispielsweise aufgrund der Raum- und Lichtverhältnisse einseitige, asymmetrische Kronen aus, was wiederum für das statische und dynamische Verhalten des Baumes relevant ist. Entwurf, Planung, Umsetzung und Pflege von Baumfassaden stellen also vielfältige Herausforderungen dar. Das Vorhaben bediente sich eines entwurfsbasierten Ansatzes (in Anlehnung an das Research-by-design-Konzept), um Antworten auf die damit einhergehenden Fragen zu finden.

Nach einer Aufarbeitung der entwurfsrelevanten Rahmenbedingungen werden am Beispiel eines sozialen Wohnungsbauprojekts in Bamberg die konkreten Problemfelder identifiziert und spezifische Lösungen zur Anpassung der bestehenden Planung und zur Umsetzung einer beispielhaften Baumfassade entwickelt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse werden reflektiert, abstrahiert und so verallgemeinert, dass unterschiedliche Strategien zur Übertragung auf andere Anwendungsfälle erarbeitet werden können. Durch die Planung und konkret angestrebte Umsetzung einer beispielhaften Fassade in Bamberg wird es möglich sein, langfristig (über die Projektlaufzeit des Forschungsvorhabens hinaus) die energetische bzw. mikroklimatische Wirkung messtechnisch zu erfassen und zu evaluieren, welche Faktoren das Wachstum der Baumfassaden und das Zusammenspiel zwischen Baum und Architektur maßgeblich beeinflussen.

D Verzeichnisse

1. Literaturverzeichnis

Aranda, I. et al (2020): Leaf ecophysiological and metabolic response in *Quercus pyrenaica* Willd seedlings to moderate drought under enriched CO₂ atmosphere, In: *Journal of Plant Physiology* 244:153083

Bachmeier, P. (2020) Brandschutz großflächig begrünter Fassaden; Fachausschuss Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz; Branddirektion München

Balder, H. (1998): *Die Wurzeln der Stadtbäume: ein Handbuch zum vorbeugenden und nachsorgenden Wurzelschutz*. Parey Verlag

Berry R., Livesley S.J., Aye L. (2013). Tree canopy shade impacts on solar irradiance received by building walls and their surface temperature. *Building and Environment* 69 (2013) 91-100

BMUB 2016: *Leitfaden Nachhaltiges Bauen – Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 2. Auflage Februar 2016, 175 S. www.nachhaltigesbauen.de

BBSR 2020: *Lowtech im Gebäudebereich. Fachsymposium TU Berlin am 17.05.2019*. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung; 120 S. ISBN: 978-3-87994-300-5; www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/zukunft-bauen-fp/2020/band-21.html

Böll, S., Schönfeld, P., Körber, K., Herrmann, J.V. (2014). "Stadtbäume unter Stress." *LWF aktuell* 98: 4-8.

Brickell C., Joyce, D. (2011): *Pflanzenschnitt und Formgebung*, DK Verlag Dorling Kindersley

BUKEA 2021: *Behörde für Umwelt, Energie, Klima und Agrarwirtschaft (Hamburg)*, www.hamburg.de/gruendach/15087716/pilotprojekt-vorher-nachher/ (c) BUKEA, L+ Landschaftsarchitektur, Visualisierung: *luminousfields* (ZIP, 31,3 MB), Desy Halle 36, Download DESY Halle 36: *Vision 2*

Cameron, R., Taylor, J., Emmett, M. (2015): A Hedera green façade - Energy performance and saving under different maritime-temperate, winter weather conditions, *Building and Environment* 92 (2015) 111-121

Cermak, J., Hrska J., Martinkova, M., Prax, A. (2000): Urban tree root systems and their survival near houses analyzed using ground penetrating radar and sap flow techniques, In: *Plant and Soil* 219: 103–116

Coutts, M. P. (1986): Components of Tree Stability in Sitka Spruce on Peaty Gley Soil. In: *Forestry* 59 (2), S. 173–197.

Craul, P. J. (1992): *Urban Soil in Landscape Design*. John Wiley & Sons Verlag, New York.

Escalona, J.M., Flexas, J., Medrano, H. (2002): Drought effects on water flow, photosynthesis and growth of potted grapevines, In: *Vitis Geilweilerhof Vol. 41 Issue 2*

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. - FLL (2020): *Baumkontrollrichtlinien – Richtlinien für Baumkontrollen zur Überprüfung der Verkehrssicherheit*, FLL

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. - FLL (2013): *Baumuntersuchungsrichtlinien*

FLL Empfehlungen für Baumpflanzungen Teil 1, 2015, FLL-Forschungsgemeinschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (S.31)

FLL Fachbericht zur Pflege von Jungbäumen und Sträuchern, 2008, FLL-Forschungsgemeinschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

FLL-Dachbegrünungsrichtlinien: *Richtlinie für Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen*, Ausgabe 2018

FLL-Richtlinie „Empfehlungen für Baumpflanzungen“ Teil 1: *Planung, Pflanzarbeiten, Pflege*, 2. Ausgabe 2015

FLL-Richtlinie „Empfehlungen für Baumpflanzungen“ Teil 2: *Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate*; Ausgabe 2010

- Franco, M. (1986): *The influence of neighbours on the growth of modular organisms with an example from trees; Philosophical Transactions of the Royal Society B, In: Biological sciences, Vol. 313, Issue 1159*
- Gillner, S., Vogt, J., Tharang, A., Dettmann, S., Roloff, A. (2015). *Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. Landscape and Urban Planning 143, 33–42*
- Gloor, S. (2018): *Der ökologische Wert von Stadtbäumen bezüglich der Biodiversität. In: Jahrbuch der Baumpflege 2018, 22. Jg., S. 33–48*
- Graves, W.R. (1994): *Urban soil temperature and their potential impact on tree growth*
- Hansen, R., Stahl, F., Duthweiler, S. (1997): *Die Stauden und ihre Lebensbereiche: in Gärten und Grünanlagen. Eugen Ulmer Verlag*
- Heidger, C. (2002): *Wurzeln sind lenkbar - Ergebnisse eines zehnjährigen Forschungsvorhabens zur Optimierung des Wurzelraumes von Bäumen in Straßen, Abgerufen unter: <https://docplayer.org/38694885-Wurzeln-sind-lenkbar.html> (Stand 13.05.2022)*
- Heinze, W., Schreiber, D. (1984): *"Eine neue Kartierung der Winterhartzonen für Gehölze in Europa." Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft.*
- Herrmann, J.V., Böll, S. (2014): *LWG Projekt „Stadtgrün 2021“ Wurzelentwicklung in FLL-Baumsstraten in 2. Forum Bayerisches Netzwerk „Klimabäume“ Veitshöchheim, 4.12.2014*
- Hoffmann, A. (1954): *Der Straßenbaum in der Großstadt unter besonderer Berücksichtigung der BerlinerVerhältnisse. Diss. Humboldt Universität Berlin*
- Hoffmann, A. (1956): *Zur Ökologie des Straßenbaumes. Das Gartenamt 5, S. 14*
- Hollands, J., Korjenic, A. (2019) *Ansätze zur ökonomischen Bewertung vertikaler Begrünungssysteme. Bauphysik 41, Heft 1*
- Hsieh, C.-M., Li, J.-J., Zhang, L., Schwegler, B. (2018). *Effects of tree shading and transpiration on building cooling energy use. Sustainable Cities and Society 19, 236249*
- <https://www.baumpflegeportal.de/baumpflege/pflege-baeume-neben-haus/>
- <https://www.bodenundbaum.de/haussch%C3%A4den-durch-baumwurzeln/>
- <https://www.fassadengruen.de>
- <https://www.fassadengruen.de/pflanzenwahl.html> (abgerufen am 09.12.2020)
- <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/beaufort-skala/1507>
- https://www.stmelf.bayern.de/wald/waldbesitzer_portal/048784/index.php
- <https://www.vdberk.de/beratung/Ballentabelle/>
- Ingram, D.L. et al (2015): *Review: Characterization and impact of supraoptimal root-zone temperatures in container-grown plants*
- Jacobson, M.Z., Hoesung, J.E. (2012). *Effects of urban surfaces and white roofs on global and regional climate. Journal of Climate, 25, 3, 1028–1044*
- Kong, K.L., Lau, K.K.L., Yu, C., Chena, Y., Xuc, Y., Rena, C., Ng, E. (2017). *Regulation of outdoor thermal comfort by trees in Hong Kong. Sustainable Cities and Society 31, 12–25*
- Kravčík, M.; J. Pokorný, J. Kohutiari, M. Kováč, E. Tóth (2007): *"Water for the Re-covery of the Climate - A New Water Paradigm". Publisher Municipalia. <http://www.waterparadigm.org/>*
- Kuschera, L., Lichtenegger, E. (2002): *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher, Stocker Verlag*
- Lindsey, P., Bassuk, N.L. (1991): *Specifying soil volumes to meet the water needs of mature urban street trees and trees in containers, In: Journal of Arboriculture Vol. 17 Issue 6*

- Ludwig, F. (2012): *Botanische Grundlagen der Baubotanik und deren Anwendung im Entwurf*. Institut Grundlagen Moderner Architektur und Entwerfen. Stuttgart
- Machatschek, M. (2002): *Laubgeschichten: Gebrauchswissen einer alten Baumwirtschaft, Speise- und Futterlaubkultur*. Böhlau Verlag Wien
- Machatschek, M., Kurz, P. (2008): *Alleebäume: wenn Bäume ins Holz, ins Laub und in die Frucht wachsen sollen*. Böhlau Verlag Wien
- Martin, C.A. et al (1989): *Supraoptimal root-zone temperature alters growth and photosynthesis of holly and elm in: Journal of arboriculture (USA)*
- Matzinger, A. et. al. 2017: *KURAS-Leitfaden der zielorientierten Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung*. 142 S.; www.kuras-projekt.de
- Medl, A., Stangl, R., Florineth, F. (2018a). *Vertical greening systems - A review on recent technologies and research advancement*. *Building and Environment* 107, 235-244
- Merkblatt "Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle", Gemeinschaftsausgabe DWA und DVGW, 2013, abgerufen unter: <https://www.luhe-wildenau.de>
- Merkblatt zu Gehölzfällungen, LRA Bad Tölz-Wolfratshausen; abzurufen unter <http://www.dietramszell.de>
Merkblatt_zur_Fällung_von_Gehölzen_außerhalb_des_Waldes_Stand_03.2016_pdf.
- Niklas, K. J. (1997): *Mechanical Properties of Black Locust (Robinia pseudoacacia L.) Wood. Size- and Age-dependent Variations in Sap- and Heartwood*. In: *Annals of Botany March 1997 (Volume 79)*, S. 265–272.
- Neue Landschaft (2020): „Computersimulation zeigt effektive Abkühlung urbaner Hitzeinseln“, 4/2020
- Pitha, U., Scharf, B., Zluwa, I., Pelko C., Korjenic, A., Salonen, T., Mitterböck, M. (2018): *Vegetationstechnisches und bauphysikalisches Monitoring des „Vertikalen Gartens“ der MA31 in der Grabnergasse 4-6, 1060 Wien*. Forschungsbericht. TU Wien und BOKU Wien
- Perry, T.O. (1982): *The Ecology of Tree Roots and the Practical Significance thereof*. In: *Journal of Arboriculture Vol. 8, No. 8 August 1982*, 197-211.
- Pfoser N. (2016): *Fassade und Pflanze: Potentiale einer neuen Fassadengestaltung - Eine Untersuchung zu Sachstand, Motivation und Zukunftseignung der weltweit zunehmenden Fassadenbestimmung als funktionale und ästhetische Fusion von Vegetation und vertikalen Bauteilen*. Diss. TU Darmstadt 2016
- Pretzsch, H. (2000): *Die Regeln von Reineke, Yoda und das Gesetz der räumlichen Allometrie*. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 2000, 205-210
- Reichwein, S. (2002): *Baumwurzeln unter Verkehrsflächen*. Leibniz Universität Hannover, Institut für Grünplanung und Gartenarchitektur, Hannover
- Roloff, A. (2004). *Bäume: Phänomene der Anpassung und Optimierung*. Ecomed.
- Roloff, A. et al. (2008). "Klimawandel und Baumartenwahl in der Stadt–Entscheidungsfindung mit der Klima-Arten-Matrix (KLAM)." Online at http://www.frankfurt.de/sixcms/media.php/738/klam_stadt.pdf (Accessed on 14. 01.2013).
- Ruck, B. (2005): *ÜBER DIE AERODYNAMIK DER BÄUME*. In: *Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik. Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik*. Cottbus, 06.09. - 08.09.
- Ruefenacht, L. and Acero, J. A. (2017). *Strategies for cooling Singapore: A catalogue of 80+ measures to mitigate urban heat Island and improve outdoor thermal comfort*. Cooling Singapore Verlag 2017
- Salleh, Ariel (2016): *Another climate strategy is possible*. *Pambazuka News*, 2016-01-08, Issue 756, ISSN 1753-6839, <http://www.pambazuka.net/en/category.php/features/96307>
- Schmauck, S. (2019): *Dach- und Fassadenbegrünung – neue Lebensräume im Siedlungsbereich*, BfN-Skripten 538 (2019), Online abrufbar unter: <https://www.bfn.de/sites/default/files/BfN/service/Dokumente/skripten/skript538.pdf> (Stand: 13.05.2022)
- Schmidt, M. (1992): *Extensive Dachbegrünung als Beitrag zur Verbesserung des Stadtklimas*. Diplomarbeit, TU Berlin

- Schmidt, M. (2016): *Global Warming: Confusion of Cause with Effect?* In: J. Vymazal (ed.), *Natural and Constructed Wetlands*, Springer International Publishing Switzerland 2016, DOI 10.1007/978-3-319-38927-1_19
- SenStadt (2010): *Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung - Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung. Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung*. 72 S. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen
- Sorauer, P. (1985): *Handbuch der Pflanzenkrankheiten: Meteorologische Pflanzenpathologie. Witterung und Klima als Umweltfaktoren. Kälte und Frost*, 1, 107-326
- Speck, T. (2009): *Baubotanik, Bionik, Biotechnologie*. In: De Bryun G., Ludwig F. und Schwertfeger, H. (Hsg.): *Lebende Bauten. Trainierbare Tragwerke*. Berlin: Lit-Verlag (2009)
- Stiftung DIE GRÜNE STADT, 2014: <https://www.die-gruene-stadt.de/baeume-in-der-stadt.pdf>
- TU Berlin (2014): *HighTech-LowEx: Energieeffizienz Berlin Adlershof 2020 - Abschlussbericht Teil 8 Energieeffiziente Gebäude*. BMWi EnEff: Stadt, Förderkennzeichen 03ET1038A und B. 258 S.
- Watson, G.W. et al (2014): *The management of tree root systems in urban and suburban settings: a review of soil influence on root growth in: Arboriculture & Urban Forestry* 40(4):193-217
- Watson, G.W. et al (2014): *The management of tree root systems in urban and suburban settings: a review of soil influence on root growth*, In: *Arboriculture & Urban Forestry* Vol. 40 Issue 4:193-217
- Wegmann E. (2010): *Verminderung der Sturmgefährdung unserer Wälder*, in: *Züricher Wald* 1/2010
- Wessolly, L. (2010): *25 Jahre Baumstatik – Eine Bilanz*. In: *ProBaum* (3).
- Wessolly, L., Erb, M. (2014): *Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle*. Berlin [u.a.]: Patzer.
- Wessolly, L.; Vetter, H., 1995: *Kronensicherung in Bäumen*. *Neue Landschaft* (2), 104–110
- Wraith, J.M., Wright, C.K. (1998): *Soil water and root growth: in HortScience* Vol. 33, Issue 6
- Wright, David (2017): *Humans as agents in the termination of the African Humid Pe-riod*. *Frontiers in Earth Science* 5(4): doi: 10.3389/feart.2017.00004 (2017)
- Wright, David (2017): *Humans may have transformed the Sahara from lush paradise to barren desert*. *The Conversation*. March 16, 2017.
- Ylinen, A. (1952): *Über die mechanische Schaftformtheorie der Bäume* (76). Online verfügbar unter <https://silvafennica.fi/pdf/article4626.pdf>, zuletzt geprüft am 30.07.2021.
- ZTV-Baumpflege – *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Baumpflege*, 2017, FLL-Forschungsgemeinschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schnitt (links) und Ansicht (rechts) einer Baumfassade	8
Abbildung 2: (a) bodengebundene Fassadenbegrünung, (b) Spalierbaum, (c) Hochstammhecke, (d) Baumfassade, (e) Haus vorm Baum, (f) Baubotanik Fassade	8
Abbildung 3: Verschattung und Kühlung des Gebäudes durch die Baumfassade im Sommer, Abbildung rechts: Belichtung im Winter	10
Abbildung 4: Verhältnis Gebäude Baumfassade	11
Abbildung 5: Schematische Darstellung Flexibilität – Steifigkeit des Baumes in 3 Altersstufen	12
Abbildung 6: Links: Anbindung mit einwachsendem Stab; Mitte: Temporäre Anbindung; Rechts: Baum frei vor Fassade stehend	13
Abbildung 7: zeitliche Entwicklung Anbindung mit einwachsendem Stab	13
Abbildung 8: Einwachsprozess der Triebspitze um den Stab	14
Abbildung 9: Anbindung mit eingewachsenem Stab (links) und Zoom-in des statischen Prinzips der dauerhaften Anbindung	15
Abbildung 10: zeitliche Entwicklung der temporären Anbindung	15
Abbildung 11: auskragende (links) und integrierte Anbindungsvorrichtung	16
Abbildung 12: Integration der Baumfassade in einen Balkon oder Laubengang (links) und Zoom-in des statischen Prinzips der temporären Anbindung	16
Abbildung 13: zeitliche Entwicklung Baum frei vor Fassade stehend	17
Abbildung 14: Baumfassade freistehend funktioniert über das Prinzip Abstand	17
Abbildung 15: Bäume vor dem Haus, Laubengangtypologie zum Zeitpunkt der Pflanzung	19
Abbildung 16: Bäume vor dem Haus, Laubengangtypologie nach ca. 10-20 Jahren	19
Abbildung 17: ausgewachsene Bäume vor dem Haus, Laubengangtypologie	20
Abbildung 18: ausgewachsene Bäume am Eckbalkon (ca. 20-30 Jahre)	20
Abbildung 19: ausgewachsen Bäume zwischen Balkonen	21
Abbildung 20: Blick in die Baumfassade aus dem Innenraum	22
Abbildung 21: Erlebbarkeit der Bäume auf dem Balkon: älterer Baum einer Baumfassade	22
Abbildung 22: partieller Ausblick aus den Bäumen	23
Abbildung 23: E-Moduli der Robinie in Abhängigkeit des Ontogeniestadiums	24
Abbildung 24: FE-Modell einer Roteiche mit Ordnungszahl 4	25
Abbildung 25: Parametrische Abhängigkeiten zur Modellierung eines Baumes am Beispiel der Roteiche	26
Abbildung 26: Validierung der FE- Modellierung eines Baumes am Beispiel der Roteiche	27
Abbildung 27: FE-Modell eines Baumes mit eingewachsenem Fachwerkstab	27
Abbildung 28: FE-Modellierung eines Baumes mit gefedertem Auflager und resultierenden Spannungsspitzen	28
Abbildung 29: FE-Modellierung eines Baumes mit nichtlinearen Federn zur Simulation der Kollision von Ästen und Stamm mit der Fassade	28
Abbildung 30: Schematische Darstellung der in die Baumartenwahl einfließenden Parameter	29
Abbildung 31: Abbildung oben: Vergleich offene Krone mit geschlossener Krone und dichter Belaubung im Sommer	32
Abbildung 32: Baumartenwahl Entscheidungsprozess	34
Abbildung 33: Wurzelausbreitung freistehender Baum	36
Abbildung 34: Abb. links: Schnitt - Wurzelentwicklung weg vom Gebäude; Abb. Rechts: Wurzelraumdimensionierung und -ausbreitung, unterirdisch, schematisch an einer Baumfassade mit 3 Bäumen	38

Abbildung 35: Entwicklung des Wurzelraumes der Baumfassade im Laufe der Zeit.....	41
Abbildung 36: links: Wachstumstendenz vom Gebäude weg; Abbildung rechts: mögliche Gegenmaßnahmen: Anbindung mit einwachsendem Stab (1), temporäre Anbindung beispielsweise am Balkon (2) und Baum frei vor dem Gebäude stehend mit Abstand (3).....	44
Abbildung 37: (1) Anleitern beim Pflanzschnitt; Pflegeschnitt: (2) Anleitern, (3) Hubsteiger, (4) Abseilen, (5) Zugang über Balkone/ Laubengänge.....	45
Abbildung 38: Prinzip Pflanzschnitt.....	46
Abbildung 39: Strahlungshaushalt an der Erdoberfläche, Tagessumme eines durchschnittlichen Quadratmeters weltweit. Der Strahlungshaushalt wird dominiert von Verdunstung und Kondensation [Datenbasis nach Trenberth, Fasullo, Kiehl (2009)]	50
Abbildung 40: Strahlungshaushalt eines Bitumendaches als Beispiel für die Veränderung der Energiebilanz urbaner Gebiete, UFA Berlin-Tempelhof (Schmidt, 2005)	50
Abbildung 41: Gemessene durchschnittliche Verdunstung der Fassadenbegrünung am Institut für Physik der HU Berlin, Innenhof im Vergleich zur Südfassade	52
Abbildung 42: Primärenergiebedarf für eine südorientierte Büroraumgruppe am Institut für Physik, IBP:18599 und Messdaten, IBUS Architekten im Rahmen eines EnEff:Stadt Projektes des BMWi (TU Berlin 2014)	53
Abbildung 43: Oberflächentemperaturen einer Glasfassade in °C hinter einem konventionellen textilen Sonnenschutz im Vergleich zur Begrünung über an Seilen geführten Kletterpflanzen, Institut für Physik der HU Berlin 2018	54
Abbildung 44: Lageplan für das Projekt „Lagarde Höfe“ in Bamberg (Wasmer)	57
Abbildung 45: Fassadenschnitt mit Rankstütze links in unterschiedlichen Wachstumsphasen.....	58
Abbildung 46: Zwei Entwicklungsstadien mit gleicher Baumart (oben Robinie, unten Roteiche) an der Ostfassade	59
Abbildung 47: Mischung der Baumarten (Robinie/ Roteiche) an der Ostfassade	59
Abbildung 48: Gesamtbetrachtung nach Pflanzung mit farbigen Baumstämmen	59
Abbildung 49: Gesamtbetrachtung nach ca. 20-30 Jahren mit Baumstämmen, die als Blickfang farbig gestaltet wurden	60
Abbildung 50: Blattform <i>Fraxinus americana</i>	61
Abbildung 51: mögliche Baumform <i>Fraxinus americana</i>	61
Abbildung 52: Blattform <i>Gleditsia triacanthos</i>	62
Abbildung 53: Herbstfarbe <i>Gleditsia triacanthos</i>	62
Abbildung 54: Auswahl <i>Gleditsia triacanthos</i>	62
Abbildung 55: Zuschnitt <i>Gleditsia triacanthos</i>	62
Abbildung 56: <i>Gleditsia triacanthos</i> nach Beschnitt	62
Abbildung 57: <i>Fraxinus americana</i> nach Beschnitt	62
Abbildung 58: <i>Fraxinus americana</i> nach Beschnitt	63
Abbildung 59: Pflanzung der 5 Bäume, Starthöhe ca. 6-7 m	63
Abbildung 60: Entwicklung der Baumfassade nach ca. drei Jahren.....	64
Abbildung 61: Entwicklung der Baumfassade nach 15-20 Jahren	65
Abbildung 62: Brandlast und anleiterbare Balkone	66
Abbildung 63: Baumaßnahme in Bamberg im Juli 2022. Ausführung Rohbau.	66

3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 01: Vergleiche von pflanzenbasierten Fassadenlösungen.....	9
Tabelle 02: Vergleiche der Varianten 1-3.....	18
Tabelle 03: Beispielhafte Annäherung an die Querschnittsgrößen einer Robinie.....	23
Tabelle 04: E-Moduli und aufnehmbare Spannung von Robinie und Roteiche.....	24
Tabelle 05: E-Moduli für unterschiedliche Stadien.....	24
Tabelle 06: Bewertungsmöglichkeiten der Nutzen der vertikalen Begrünung.....	48

Projektleitung:

Quest – GbR, C. Burkhard und F. Köhl
Strelitzer Straße 53
10115 Berlin
E-Mail: info@qst.eco

Bearbeitung:**Technische Universität München**

Professur für Green Technologies in Landscape Architecture
TUM School of Engineering and Design
Prof. Dr. Ferdinand Ludwig: A1, A2, B1, B2
Lisa Höpfl: A2, B1, B4, B5, B6, B8, C6
Bernd Eisenberg: B8

Universität Kassel

Institut für Architektur, Fachgebiet Bauwirtschaft und Projektentwicklung, Prof. Dipl. Arch. Florian Köhl
Prof. Florian Köhl: A1, B2, C1-5

Universität Kassel

Institut für Architektur, Fachgebiet Tragwerksentwurf, Prof. Dr.-Ing. Julian Lienhard
Prof. Dr.-Ing. Julian Lienhard: B3

Quest GbR

Christian Burkhard: B7

Gastbeiträge

Marco Schmidt: B7

Redaktion und Layout:

Lisa Höpfl, Christian Burkhard, Bernd Eisenberg

Förderung und Finanzierung:

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)



E Anlage

Baumfassaden in Bamberg

Entwicklung einer neuen Form grüner Architektur mit großen klimatischen und gestalterischen Potenziale

Stichwörter: Baumfassade, Gebäudebegrünung, grüne Architektur

Autoren: Lisa Höpfl, Florian Köhl, Christian Burkhard, Julian Lienhard, Divya Pilla, Ferdinand Ludwig

Erschienen in TRANSFORMING CITIES, 3/2022

Abrufbar auf Researchgate: <https://www.researchgate.net/publication/363670193>

AGBF Bund

Brandschutz großflächig begrünter Fassaden

Fachausschuss Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz

Branddirektion München

Bachmeier, P. (2020)

Der ökologische Wert von Stadtbäumen bezüglich der Biodiversität

Erschienen in: Jahrbuch der Baumpflege 2018, 22. Jg., S. 33–48

Gloor, S. (2018)

Klimawandel und Baumartenwahl in der Stadt - Entscheidungsfindung mit der Klima-Arten-Matrix (KLAM)

Von Prof. Dr. Andreas Roloff, Dr. Stephan Bonn und Dipl.-Forstw. Sten Gillner (2008).

Baumfassaden in Bamberg

Entwicklung einer neuen Form grüner Architektur mit großen klimatischen und gestalterischen Potenzialen

Baumfassade, Gebäudebegrünung, grüne Architektur

Lisa Höpfl, Florian Köhl, Christian Burkhard, Julian Lienhard, Divya Pilla, Ferdinand Ludwig

Die Etablierung von Baumfassaden in Städten verspricht neue Wege des Klimaschutzes und der Klimaanpassung am Gebäude und auf Quartiersebene. Für ein soziales Wohnungsbauprojekt in Bamberg werden große Bäume so nah an die Fassade gepflanzt, dass sie zur Verschattung und Kühlung des Gebäudes beitragen, den Prozess des stetigen Wandels in die Architektur verankern und neue architektonische und räumliche Qualitäten erzeugen. Ein interdisziplinäres Team hat sich mit möglichen Herangehensweisen, Schnittstellen und der Umsetzung auseinandergesetzt.

In allen bekannten Klimawandel-Anpassungsstrategien, die in den vergangenen Jahren von und für Städte erarbeitet wurden, wird eine vermehrte Verwendung von Vegetation, insbesondere von Bäumen gefordert [1] Begründet ist diese Forderung durch die bekannten positiven Klimaeffekte, die sowohl durch die hohe Verschattungsleistung als auch durch die hohe Transpirationsleistung entstehen. Ein interdisziplinäres Team hat sich im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten, praxisbasierten Forschungsvorhabens mit der Frage beschäftigt, ob Bäume so nah an eine Fassade gepflanzt werden können, dass sie als eine neue Kategorie der Bauwerksbegrünung als „Baumfassaden“ etabliert werden können. In der aktuellen Stadtplanung werden Bäume derzeit nur mit einem gewissen Abstand zum Gebäude gepflanzt, damit sich Krone und Wurzeln adäquat entwickeln können, aber auch um möglichen Sturmschäden

an der Fassade vorzubeugen. Bedenken hinsichtlich Beschädigungen des Gebäudfundaments oder der unterirdischen Infrastruktur durch Wurzeln sind weit verbreitet [2], weshalb es ungewöhnlich erscheint, Bäume und Gebäude bewusst zusammen zu planen. Dokumentationen im urbanen Kontext verschiedener Städte zeigen jedoch, dass es bereits zahlreiche Beispiele für fassadennahe Bäume gibt (Bild 1).

Wenn ein Baum derart nah an einer Fassade wächst, ist seine normale Reaktion, die Ast- und Kronenentwicklung zur Fassade hin zu minimieren und sich zu mehr Raum und Licht hin zu entwickeln. Durch das bewusste Pflanzen von Bäumen direkt am Gebäude und das gleichzeitige Beschleunigen des natürlichen Wachstumsverhaltens durch ein Beschneiden der zu Fassade gerichteten Äste führt dies zu folgender Definition:

Bild 1:

Fassadennahe Bäume an verschiedenen Standorten in München.

© Fotos 1 – 4: Ferdinand Ludwig, Foto 5: Mahtab Baghaiepoor



Eine Baumfassade besteht aus ausladenden, großkronigen Bäumen, die so nah an ein Gebäude gepflanzt werden, dass die Baumkrone von außen visuell Teil des Hauses wird. Die Pflanzung des Baumes nah an der Fassade führt, begleitet durch pflegerische Schnittmaßnahmen, zur Ausbildung einer „halben Krone“ (Bild 2). Die Bewohner der Gebäude können den Baum unmittelbar vor dem Fenster oder vom Balkon aus erleben und es entsteht der Eindruck, sich direkt in der Baumkrone zu befinden, im Baum zu leben.

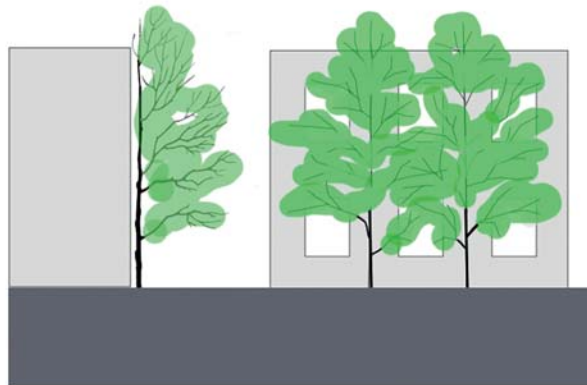


Bild 2:
Schematischer Schnitt und Ansicht einer Baumfassade.
© Zeichnung: Lisa Höpfl

Ausgangspunkt des Projekts

In einem europaweiten Wettbewerb wurde für eine Konversionsfläche (etwa 3 ha) der US-Streitkräfte in Bamberg ein Konzept für ein nachhaltiges und gemeinwohlorientiertes Stadtquartier, die zukünftigen „Lagarde-Höfe“ gesucht. Den Zuschlag erhielt der Vorschlag der Volksbau Bamberg: neben Wohnungen und Gewerbe wird ein nach der DGNB zertifizierter Stadtteil entstehen. Unterschiedliche Architekturbüros, darunter fatkoehl architekten, planen die einzelnen Gebäude, so auch das Kopfgebäude Haus N° 11, das sich im Inneren des neuen Viertels befindet und dessen Fassaden nach Süden, Westen und Osten orientiert sind. Bereits in der Entwurfsphase entstand der Wunsch, das Gebäude auf eine innovative Art zu begrünen, um eine vielfältige und lebendige Wohnumgebung mit angenehmem Mikroklima zu schaffen.

Inspiriert von den Arbeiten des Forschungsgebiets Baubotanik (TU München) und baubotanischen Entwürfen des Office for Living Architecture (OLA) war der Wunsch der Architekten, in Bamberg ein grünes Pilotprojekt mit Baumfassaden zu initiieren, das innerhalb der ökonomischen Rahmenbedingungen des sozialen Wohnungsbaus realisierbar ist. Für dieses Vorhaben fand sich ein interdisziplinäres Forschungsteam aus Architekten, Landschaftsarchitekten und Tragwerksplanern zusammen, um konzeptionelle Ansätze zu entwickeln, die kritischen Punkte zu identifizieren und konstruktiv-technische und gestalterische Grundlagen für eine Umsetzung zu entwickeln.

Erste Überlegungen

Ausgewählt wurden die ostseitige Hoffassade und die stark besonnte Südseite für eine potenzielle Baumfassade. Bereits in ersten Planungsgesprächen stellte sich heraus, dass das Verständnis von Baumwachstum und Baumstatik, insbesondere bei Wind, ein Schlüsselfaktor bei der Gestaltung von Baumfassaden ist. Untersucht wurde dafür der Baum in seiner Entwicklung vom Jungbaum zum

ausgewachsenen Baum und sein jeweiliges Verhalten im Wind. Je nach Stadium liegen im Stamm und den Ästen unterschiedliche Flexibilitäts- bzw. Steifigkeitsgradienten vor, die je nach Windstärke zu unterschiedlich starken Bewegungen führen [3]. Das macht den Baum und das Gebäude zu unterschiedlichen Zeitpunkten und an unterschiedlichen Punkten anfällig für Schäden:

1. Der Baum kann sich aufgrund zu geringer Wurzelverankerung (bei der Pflanzung oder bei schlechter Entwicklung) vom Haus weg- oder zum Haus hinneigen oder gar entwurzelt werden und kippen.
 2. Zweige und Äste können an die Fassade schlagen, diese beschädigen oder selbst abbrechen
- Von diesem Risiko ausgehend wurden für das Projekt zwei Prinzipien im Umgang mit dem sich ändernden Verhalten des Baumes entwickelt: die zusätzliche Sicherung oder Abstützung des Baumes (dauerhaft oder temporär) oder die Integration der Bewegung des Baumes in die Planung.

Architektonische Voraussetzungen und Entwicklung konstruktiver Varianten

Die Kubatur und die Gestaltung der Fassade waren zum Planungszeitpunkt der Baumfassade bereits weitestgehend festgelegt. Das drei- bzw. in manchen Bereichen viergeschossige Gebäude ist mit regelmäßig angeordneten Fensteröffnungen ausgestattet und verfügt über Balkone am zurückspringenden Teil der Südfassade. Basierend auf den zwei identifizierten Prinzipien wurden drei Konstruktionsvarianten entwickelt.

Bei Variante (1) werden die Bäume sehr nah vor das Gebäude gepflanzt. Der Abstand zwischen Fassade und Stammmitte beträgt lediglich etwa 70 cm und stellt genau die Hälfte des Wurzelballens bei der Pflanzung dar. Um den jungen Baum bei seinem Verankerungs- und Wachstumsprozess zu unterstützen und den älteren, stabileren Baum mit flexibler Triebspitze vor dem Abknicken bei starkem Wind zu schützen, wird vorgeschlagen,

die Bewegungsdynamik über eine an der Fassade dauerhaft verbleibende, aber elastisch angebundene Wachstumsstütze zu reduzieren (Bild 3 – 1). Der flexible Spross des Baumes wird ab dem Zeitpunkt der Pflanzung regelmäßig um die Wachstumsstütze nach oben geführt, so dass mit zunehmender Dicke beide Elemente zu einer Einheit verwachsen (vgl. Forschungen zu baubotanischen Strukturen [4, 5]. Hierzu wurde ein Feder-Dämpfer-System konzipiert, das die auftretenden Kräfte thermisch entkoppelt an der Rohbaukonstruktion verankert, sodass dabei keine Wärmebrücken entstehen. Die Kopplung des starren Systems Gebäude mit dem flexiblen System Wachstumsstütze – Baum stellt eine Herausforderung dar, die bereits früh im Planungsprozess und in der Kostenkalkulation angedacht werden sollte. Der Ansatz wurde aufgrund des vergleichsweise hohen technischen Aufwands und der damit verbundenen, im sozialen Wohnungsbau nicht darstellbaren Kosten für das Projekt verworfen.

Eine weitere Variante (2) entwickelte sich aus den an der Südfassade befindlichen Balkonen. Auskragende Elemente (wie zum Beispiel auch Laubengänge) können genutzt werden, um den Baum temporär und elastisch beispielsweise mit Baumanbindern oder Kokosstricken an speziellen, in das Bauteil integrierte, eingelassene oder auskragende Geländer anzubinden (Bild 3 – 2). Ist der Baum etabliert, werden die temporären Anbindungen entfernt. Der Ansatz technisch deutlich einfacher, unter anderem auch deshalb, weil keine (zusätzliche) Durchdringung der thermischen Gebäudehülle nötig ist.

Da bei dem Projekt Balkone nur partiell vorhanden sind und der ökonomische Druck im Kontext des sozialen Wohnungsbaus eine noch kostengünstigere Lösung erforderte, wird bei der Variante (3) statt der Wachstumsstütze oder der Anbindung am Balkon die eigene Tragfähigkeit des Baumes genutzt und der Abstand zum Gebäude auf ca. 120 cm erhöht (Bild 3 – 3). Das Schadensrisiko zwischen dem dynamischen System (Baum) und dem statischen System (Gebäude) wird dabei minimalisiert. Basierend auf Beobachtungen und ersten Simulationen des dynamischen Verhaltens des Baumes im Wind

kann davon ausgegangen werden, dass in diesem Fall die biegsamen Äste die Fassade in einem Sturmszenario zwar berühren können, ihr aber keinen Schaden zufügen und lediglich kleine Zweige abbrechen. Diese Variante wurde zur Umsetzung ausgewählt.

Klimatische Aspekte

Durch ihr wesentlich größeres Kronenvolumen weisen Baumfassaden im Vergleich zu flächigen Fassadenbegrünungen potenziell eine noch deutlich höhere mikroklimatische Wirkung auf. So können bei Bäumen durch die hohe Transpirationsleistung lokale Temperaturreduktionen der Außenluft von bis zu 3,5° C nachgewiesen werden, während bei Fassadenbegrünungen nur bis zu 1,3° C gemessen werden [6]. Durch die reine Verschattung des Baumes reduziert sich die Wandoberflächentemperaturen um bis zu 9° C [7].

Räumliche-zeitliche Aspekte

Die Frage nach der räumlichen Wirkung der Baumfassade eröffnet der Architektur neue Gestaltungsmöglichkeiten und ist deshalb ein essentieller Bestandteil des Entwurfsprozesses. Während die Entwicklung des Gebäudes mit dem Einzug der ersten Nutzer*innen abgeschlossen ist, befindet sich die Baumfassade zu diesem Zeitpunkt noch im Anfangsstadium des Wachstums. Bis zum Erreichen der angestrebten Höhe und eines maximalen Kronenvolumens dauert es je nach Art 20 – 30 Jahre (Bilder 4 – 6). Die räumlichen Erfahrungen sind also einem ständigen Wandel unterworfen. Das Denken in solchen Zeitdimensionen beeinflusst auch die Lebenszyklen und Bedürfnisse der Bewohner sowie die sozialen Komponenten der Architektur.

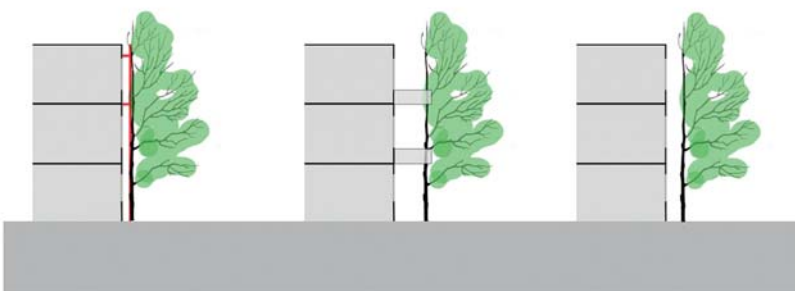
Neben der zeitlichen Komponente werden räumliche Qualitäten insbesondere durch die Anordnung der Bäume und den Abstand der Baumfassade vor dem Gebäude beeinflusst. Entscheidend für die räumliche Wirkung des „Lebens in der Baumkrone“ ist in erster Linie die konkret gewählte Baumart. Ihre Kronenarchitektur, die Belaubungsdichte und jahreszeitlich bedingte Eigenschaften (zum Beispiel der Zeitpunkt des Laubaustriebs) ermöglichen eine adäquate Belichtung der Innenräume bei gleichzeitiger Gebäudekühlung durch Verschattung sowie einen natürlichen Sichtschutz oder mögliche Blickbeziehungen in die Umgebung.

Qualitativ-ästhetische Aspekte

Baumstämme, Aststrukturen und Blattwerk bilden je nach Jahreszeit ein komplexes Licht- und Schattenspiel, das sich von den Balkonen, über die

Bild 3:

Für Bamberg entwickelte strukturelle Varianten:
 (1) Baum mit eingewachsener Wachstumsstütze,
 (2) Integration und temporäre Anbindung des Baumes am Balkon,
 (3) Baum frei vor der Fassade stehend.
 © Zeichnung: Lisa Höpfl



Fassade bis in die Wohnräume hinein erstreckt. Die Ausblicke ändern sich mit der Jahreszeit, dem Alter des Baumes und der erlebbaren Höhe der Baumkrone: Im Winter dringt Licht in die Wohnräume und der Blick öffnet sich, gelenkt von den Ästen, in die Umgebung. Im Sommer ermöglicht das Laub nur partielle Ausblicke und eine introvertiertere Erfahrung der Baumkrone. Durch die Unmittelbarkeit des Baumes werden dessen Eigenschaften für die Nutzer nicht nur visuell, sondern auf vielfältige Arten sinnlich erfahrbar: die Textur von Stamm, Rinde und Ästen, das Ansiedeln von Moosen, das Überwintern der Knospen in der kalten Jahreszeit, das Austreiben der Blätter im Frühjahr genauso wie der Laubfall im Herbst.

Regen und Wind spielen beim Erleben sinnlicher Qualitäten eine zentrale Rolle. Durch die sanfte oder starke Bewegung von Ästen und Blättern im Wind, das verzögerte Abtropfen von Wasser nach einem Sommerregen oder durch Schnee auf den Ästen im Winter werden Wetter und Jahreszeit intensiv erfahrbar. Das Erlebnis wird durch neue, nicht alltägliche Beobachtungen, wie Geräusche von schlagenden Ästen und raschelndem Laub und Gerüche nach frischem Blattgrün, Rinde oder Regen bereichert. Dies und die Möglichkeit, Vögel und Insekten auf dem Balkon oder vom Wohnzimmer aus zu beobachten, bringen eine neue Art von Naturerlebnis in das unmittelbare Wohnumfeld der Nutzer (Bild 7).

Prozess der Baumartenwahl

Die Artenwahl für Bamberg erfolgte zunächst nach Standortkriterien. Berücksichtigt wurden das örtliche Klima, die vorhandenen Bodeneigenschaften, die Ausrichtung und die damit verbundene Besonnungsdauer an der Fassade. Da es sich bei Fassaden durch ihre Wärmespeicherkapazität und den eingeschränkten Wurzelraum um „Extremstandorte“ handelt, mussten die Arten besonders hitze- und trockenheitstolerant sein, gleichzeitig aber auch wenig anfällig für Windbruch.

Mit der daraus abgeleiteten Liste potenziell in Frage kommender Arten erfolgte eine Prüfung im Zusammenspiel mit dem architektonischen Konzept. Die Bedürfnisse der zukünftigen Bewohner nach Licht- und Blickdurchlässigkeit sowie einer möglichst hohen gesundheitlichen Verträglichkeit wurden dabei ebenfalls berücksichtigt. Als Grundlage für die Vorauswahl wurden Listen der GALK [8], die Baumartenmatrix von A. Roloff [9] sowie die Beschreibungen der Arten in Baumschulkatalogen herangezogen. Ergebnisarten der Vorauswahl waren die Roteiche (*Quercus rubra*) und die Robinie (*Robinia pseudoacacia*).

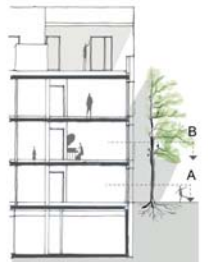
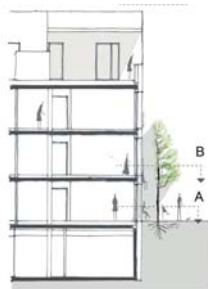


Bild 4:
Baumfassade
Bamberg nach
Pflanzung.

© Zeichnung:
Divya Pilla,
Florian Köhl

Bild 5:
Baumfassade
Bamberg nach
drei Jahren.

© Zeichnung:
Divya Pilla,
Florian Köhl

Bild 6:
Baumfassade
Bamberg nach
10-15 Jahren.

© Zeichnung:
Divya Pilla,
Florian Köhl

Bild 7:
Blick in die
Baumkrone eines
zufällig in unmittelbarer Nähe vor dem Gebäude wachsenden Baumes. Vergleichbare ästhetische Eindrücke sind bei einer gezielt angelegten Baumfassade zu erwarten.
© Ferdinand Ludwig



Bild 8:
Halbe Kronen-
Bäume in der
Baumschule.
Links Seitansicht
(Januar), Mitte
Frontalansicht
(Juli), rechts
Seitenansicht des
gleichen Baumes.
© Florian Köhl,
Britta Herold

Nach umfassenden Beratungen mit der Baumschule zu den gewählten Arten stellte sich heraus, dass die Roteiche in der gewünschten Qualität nicht verfügbar war. Als Alternative wurde zunächst die Zerreiche (*Quercus cerris*) diskutiert, die für den Standort ebenfalls geeignet ist. Wie alle Eichenarten kann die Zerreiche jedoch vom Eichenprozessionsspinner befallen werden, der starke allergische Reaktionen auslösen kann, was im unmittelbaren Wohnumfeld zu riskant wäre und im Falle eines Befalls einen spürbaren Akzeptanzverlust der Nutzer*innen zur Folge hätte. Die finale Auswahl fiel schließlich auf die amerikanische Esche (*Fraxinus americana* „Autumn Applause“), die den Anforderungen des Bamberger Standortes entspricht, sich durch ihren regelmäßigen Aufbau gut in die halbe Kronenform schneiden lässt, sich in das architektonische Konzept integriert und durch die Sorte den roten Laubaspekt im Herbst an die Fassade bringt. Vom Eschentriebsterben ist diese Sorte nicht betroffen.

Für die Robinie (*Robinia pseudoacacia*), die als sehr robuster, dem Klimawandel angepasste Baumart mit schönem Blühaspekt und lichtdurchlässiger Blattstruktur gilt, ergab sich im Austausch mit den Baumschulen folgende Erkenntnis: Robinien wachsen besonders dann sehr robust und an den Standort angepasst, wenn sie vor Ort aus dem Sämling keimen. In der baumschulischen Anzucht und beim Verpflanzen reagiert die Robinie jedoch vergleichsweise empfindlich, ebenso ist es relativ schwer, einen geraden durchgehenden Leittrieb zu erziehen. Um ein Scheitern des Anwachsens und intensive,

schwer vorhersehbare Pflegemaßnahmen zu vermeiden, wurde auch von der Robinie abgesehen und zunächst der Schnurbaum (*Sophora japonica*) angedacht. Dieser wird jedoch im Laufe der Zeit sehr breitkronig, passt deshalb nicht in das architektonische Gefüge der Gebäude und blüht zudem im Hochsommer, was aus Nutzerperspektive zu Konflikten führen könnte (Belästigung durch Insekten). Nach weiteren Überlegungen stellte sich die Gleditschie (*Gleditsia triacanthos* ‚Skyline‘) als geeigneter Baum mit lockerer Blatttextur und klarem Habitus heraus. Die ausgewählten Bäume wurden in der Baumschule in Größen von etwa 7,5 m bei einem Stammumfang von ungefähr 35 cm einzeln ausgewählt und auf die zukünftige Wuchsform vorbereitet, indem die zu einer Seite wachsenden Äste entfernt wurden. Die fünf Bäume wachsen noch eine weitere Saison in der Baumschule (Bild 8), bis sie direkt in Bamberg gepflanzt werden.

Schlussbetrachtung

Bei dem Forschungsprojekt zu Baumfassaden in Bamberg handelt es sich um ein Pilotprojekt, das außerhalb geltender Normen umgesetzt wird. Um weiterführende Erkenntnisse aus der baulichen Umsetzung und Entwicklung gewinnen zu können, ist eine Begleitforschung vorgesehen. Ein ausführlicher Bericht über den bisherigen Forschungsstand erscheint im Herbst 2022 unter dem Titel „Strategien für das Entwerfen von Baumfassaden“ und auf der Internetseite: www.baumfassaden.de.

Danksagung

Die Autor*innen danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Förderung des Projekts (Förder-Nummer: 36056/01-25), vertreten durch *Sabine Djahanschah*.

Weitere Danksagungen an:

Beratung: *Andreas Detter, Marco Schmidt*, Baumschule Bruns

Projekt Bamberg:

Bauherr: *pro.b*, vertreten durch *Andreas Stahl*
Landschaftsplanung: *Georg Wasmer*

LITERATUR

- [1] *Kögl, L.*: Bundesumweltamt fordert mehr Bäume und Schatten in den Städten, in ZEIT ONLINE, veröffentlicht am 03.07.2022. Verfügbar unter <https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2022-07/umweltbundesamt-hitze-staedte-schatten-baeume>; abgerufen am: 13.07.2022
- [2] ARD-Bericht: Millionen-Schäden durch Baumwurzeln, in: Plusminus, das ARD-Wirtschaftsmagazin, 2015, veröffentlicht am 24.06.15, 21:45 – 22:15
- [3] *Wessolly, L., Erb, M.*: Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle. Patzer-Verlag Berlin, 2014.
- [4] *Ludwig, F., Storz O.*: Baubotanik – Mit lebenden Pflanzen konstruieren. Baumeister, In: Zeitschrift für Architektur 11 (2005) S. 72 – 75.
- [5] *Ludwig, F.*: Joining Living Wood – Lebendes Holz verbinden. Conceptual Joining, Wood Structures from Detail to Utopia – Holzstrukturen im Experiment, Birkhäuser: (2021) S. 228 – 235.
- [6] *Pfoser, N., Henrich, J., Jenner, N., Schreiner, J., Unten Kanashiro, C., Weber, S., Heusinger, J.*: Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. B. u. S. B. f. B. u. R. F. Z. B. Bundesministeriums für Verkehr, Technische Universität Darmstadt Technische Universität Braunschweig, 2013.
- [7] *Berry R., Livesley S.J., Aye L.*: Tree canopy shade impacts on solar irradiance received by building walls and their surface temperature. Building and Environment 69 (2013) p. 91 – 100.
- [8] Gartenamtsleiterkonferenz des Deutschen Städtetages – GALK: Straßenbaumliste 2006 – Beurteilung von Baumarten für die Verwendung im städtischen Straßenraum, 2006.
- [9] *Roloff, A. et al.*: Klimawandel und Baumartenwahl in der Stadt – Entscheidungsfindung mit der Klima-Arten-Matrix (KLAM), 2008. Online unter: http://www.frankfurt.de/sixcms/media.php/738/klam_stadt.pdf

AUTOR*INNEN



Dipl.-Ing. **Lisa Höpfl**

Green Technologies in Landscape Architecture
Technische Universität München
Kontakt: lisa.hoepfl@mytum.de



Prof. Dipl.-Ing. Arch. **Florian Köhl**
Bauwirtschaft und Projektentwicklung

FB Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung
Universität Kassel
Kontakt: koehl@asl.uni-kassel.de



Christian Burkhard

Quest GbR, Berlin
Kontakt: cb@qst.eco



Prof. Dr.-Ing. **Julian Lienhard**
Professor für Tragwerksentwurf

FB Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung
Universität Kassel
Kontakt: lienhard@uni-kassel.de



Divya Pilla
Architektin und Landschaftsarchitektin
(Indien),
M.A.-Studentin Landschaftsarchitektur

Technische Universität München
Kontakt: divya.pilla91@gmail.com



Prof. Dr.-Ing. **Ferdinand Ludwig**
Green Technologies in Landscape
Architecture

Technische Universität München
Kontakt: ferdinand.ludwig@tum.de

All you
can read



TRANSFORMING CITIES

Alles zusammen zum Superpreis:

Die Papierausgabe in hochwertigem Druck, das ePaper zum Blättern am Bildschirm und auf dem Smartphone, dazu alle bisher erschienenen Ausgaben im elektronischen Archiv – so haben Sie Ihre Fachzeitschrift für den urbanen Wandel immer und überall griffbereit.

AboPlus: Print + ePaper + Archiv

www.transforming-cities.de/magazin-abonnieren

Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren und
des Deutschen Feuerwehrverbandes

Brandschutz großflächig begrünter Fassaden

(2020-03)



26. Mai 2020

Fachausschuss Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz
der deutschen Feuerwehren
c/o Branddirektion München
An der Hauptfeuerwache 8
80331 München

Ltd. BD Dipl.-Ing. (FH) Peter Bachmeier
Telefon: 089 2353-40000
Telefax: 089 2353-40099
E-Mail: bfm.vb-leitung.kvr@muenchen.de

Veranlassung

Die Temperaturen steigen im Sommer in den Städten an, hinzu kommt die politische Diskussion zur Feinstaubbelastung. Parallel dazu werden durch Nachverdichtung Bäume und Gärten aus Städten mit hohem Siedlungsdruck zurückgedrängt. Die intensive Dachnutzung mit begrünten Flächen beginnt bereits in den meisten Großstädten.

Derzeit werden auch begrünte Fassaden intensiv diskutiert. Diesen wird zugeschrieben, durch ihre Pflanzen Feinstaub aus der Luft filtern und CO₂ in Sauerstoff umwandeln zu können. Auch geht eine gewisse Kühlwirkung, bedingt durch das gespeicherte Wasser, von der begrünten Fassade sowohl für das Gebäude als auch für die Umgebung aus. Neben den bauphysikalischen Vorteilen ist auch das ökologische Erscheinungsbild für viele Städteplaner ansprechend.

Die Anordnung an oder vor der Fassade ist zudem von Relevanz für den Brandschutz. Neben der Pflanzenart (z.B. dauerhafte Begrünung) spielt vor allem auch die Instandhaltung, Pflege und Wartung der Systeme eine entscheidende Rolle. Ein weiterer Faktor ist die Bewässerung des Systems und das Vorhandensein von vertrocknetem oder totem Pflanzmaterial (Vitalität). Auch die Brennbarkeit der verwendeten Pflanzen (u.a. Wassergehalt, Anteil ätherischer Öle etc.) ist zu bewerten.

Die Belange des vorbeugenden wie auch des abwehrenden Brandschutzes sind derzeit in diesem Kontext noch nicht abschließend wissenschaftlich untersucht.

Zwar handelt es sich bei Begrünungssystemen formal um keine Bauprodukte (wofür bereits Anforderungen bzgl. des Brandschutzes definiert sind), jedoch sind Pflanzen bzw. Teile davon grundsätzlich brennbar und können zu einer raschen Brandausbreitung über mehrere Geschosse hinweg beitragen, weshalb nachfolgende Anforderungen formuliert werden.

Systemunterscheidung

Es werden grundsätzlich zwei Arten von Systemen zur Fassadenbegrünung unterschieden:

- **Fassadengebundene Systeme**, bei denen die Wurzelschicht in einem Pflanzenträger an der Wand liegt. Bewässerung und Düngung muss an der Fassade stattfinden.
- **Bodengebundene Systeme** mit der Wurzelschicht in einem Behälter am Fuß der Wand sowie Rankhilfen an der Fassade. Bewässerung und Düngung finden am Fuß der Wand statt.

Die Brandlast ist bei beiden Systemen maßgeblich vom Pflegezustand der Pflanzsysteme abhängig. Je dicker die Begrünung, desto mehr abgestorbene Trockenmasse mit einer großen Oberfläche kann an der Fassade vorliegen. Im Brandverlauf können durch die aufsteigende Wärme auch vitale grüne Pflanzenteile oberhalb des Brandes soweit thermisch aufbereitet werden, dass diese ebenfalls entzündet werden. Dies bedarf jedoch noch der näheren wissenschaftlichen Untersuchung in Verbindung mit Großbrandversuchen, bei denen die folgenden gängigen Brandszenarien betrachtet werden sollten:

- Brand eines Nachbarobjektes mit resultierender Wärmestrahlung
- Brand außerhalb des Gebäudes: brennender PKW, Balkonbrand oder brennende Abfalltonne
- Brand innerhalb des Gebäudes mit Flammenschlag nach außen durch eine Öffnung in der Fassade.

Pflegeordnung

Bei einer Fassadenbegrünung hängt die Quantität der Brandlast auch von der Pflege der Pflanzen ab. Aus diesem Grund ist Art und Umfang dieser Pflege analog einer Brandschutzordnung als Auflage in der Baugenehmigung festzuschreiben („Fassadengrün-Pflegeordnung“): Darin wird Art und Umfang der Pflege- und Unterhaltungsmaßnahmen an der Fassadenbegrünung beschrieben, zu welcher der Eigentümer über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes hinweg verpflichtet ist. Mindestens folgende Punkte sind darin detailliert zu beschreiben:

- Wie wird die Vitalität der Pflanzen dauerhaft sichergestellt? Hier ist zu beschreiben, wie die Fassade bewässert und gedüngt wird. Weiter ist zu beschreiben, wie dieser Vitalitätserhalt (regelmäßige Kontrolle durch Beauftragten oder automatische Systeme) sichergestellt wird.
- Wie oft muss die Fassadenbegrünung vollumfänglich gepflegt und Pflanzenteile ggf. zurückschnitten werden? Hierfür muss im Vorfeld definiert werden, in welchem Umfang Pflanzen an der Fassade angebracht werden und wie stark diese wachsen dürfen. Diese Volumenzunahme kann nur individuell festgelegt werden. Auch müssen hier die verwendeten Pflanzenarten und evtl. vorliegende Brandriegel berücksichtigt werden, da letztere nicht überwachsen werden dürfen.
- Es ist darzustellen, wie die Pflege bei einem möglichen Konkurs o.ä. des Hersteller dauerhaft sichergestellt wird.

Bewertungsrichtlinie

Nachfolgende schutzzielorientierte Bewertung soll Planenden Lösungsansätze aufzeigen und Brand-schutzdienststellen bei der Bewertung von begrünten Fassaden unterstützen.

Verhinderung der Brandentstehung und der Brandausbreitung

Betrachtung der drei Brandszenarien:

1. Brand eines Nachbarobjektes mit einhergehender Wärmestrahlung

Ausgehend vom derzeitigen Erfahrungsstand der Feuerwehren kann angenommen werden, dass analog zu § 30 (2) Nr.1 MBO ein Abstand von mindestens 5 m zu bestehenden oder nach den bau-rechtlichen Vorschriften zulässigen künftigen Gebäuden in Kombination mit einer Pflegeordnung für die Begrünung ausreichend ist, um eine Brandausbreitung auf diesem Wege zu verhindern. Pflanzen mit einem hohen Anteil ätherischer Öle sollten aufgrund ihrer erhöhten Entzündlichkeit nicht für Fas-sadenbegrünungen zum Einsatz kommen.

2. Brand am Gebäudesockel

Um die Begrünung einer starken Flammenbeaufschlagung durch eine brennende Abfalltonne, Unrat oder PKW zu entziehen, ist eine Bepflanzung erst ab einer Höhe von mindestens 3 m über Gelände-oberfläche zulässig.

Eine Bepflanzung ab dem Sockel ist möglich, wenn Kraftfahrzeuge nicht direkt am Gebäude abge-stellt werden können, Abfalltonnen eingezäunt und abseits der Fassade aufgestellt sind oder ähnliche bauliche Maßnahmen getroffen wurden.

3. Brand innerhalb des Gebäudes mit Flammenüberschlag nach außen

Zur Verhinderung der Brandausbreitung sind um Öffnungen in der Fassade brandlastfreie Bereiche oder Brandriegel vorzusehen oder die Nutzungseinheit mit einer automatischen Löschanlage zu schützen. Dadurch wird der Flammenüberschlag aus dem Gebäude verhindert bzw. so lange verzögert, bis Löschmaßnahmen durch die Feuerwehr möglich sind, vgl. unten stehende Varianten.

Um ein vertikales Durchlaufen der Flammen zu verhindern, bedarf es geeigneter Schutzmaßnahmen.

Besonders ist auf den Schutz des Anschlussbereiches Wand/Dach zu achten, da hier eine immer trockene und i.d.R. ungeschützte Anschlussstelle vorliegt. Dazu muss in jeder u.g. Variante die Bepflanzung einen Mindestabstand von 1,0 m vom Anschlussbereich Wand/Dach einhalten.

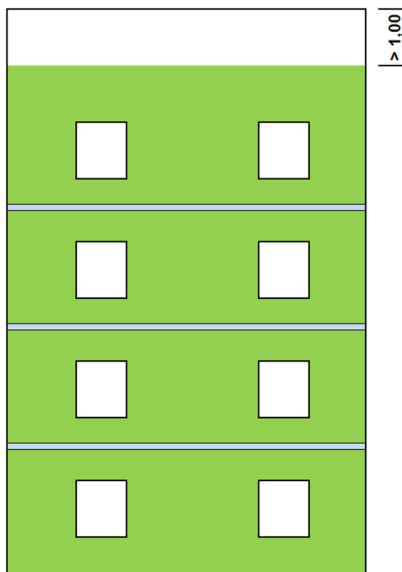
Eine geeignete Schutzmaßnahme gegen vertikale Brandausbreitung sind öffnungslos vor der Fassade angebrachte, horizontale Brandriegel. Diese dürfen auch über die Lebensdauer des Gebäudes nicht überwachsen werden (regelmäßige Pflege). Falls keine geringere Dimensionierung nachgewiesen kann, sollten die Bleche mindestens 20 cm auskragen. Eine Ausführung der Brandriegel aus Stahlblech (Min-destdicke 1 mm) erscheint geeignet, die direkte Flammenbeaufschlagung von oberhalb des Brandriegels liegendem Pflanzenmaterial zu verhindern, um so eine vertikale Brandausbreitung wirksam zu verlangsamen, bis Löschmaßnahmen durch die Feuerwehr möglich sind.

Für **fassadengebundene** Systeme („living walls“ etc.) sind durchgängige Brandriegel zwischen den Ge-schossen zu installieren (vgl. Variante a) in unten stehender Abbildung).

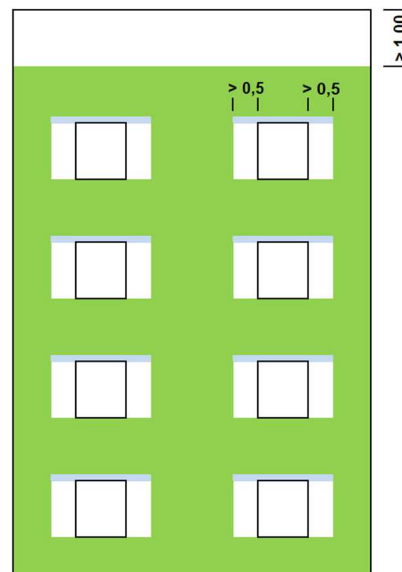
Für **bodengebundene** Systeme (Kletterpflanzen) kann die Anbringung von Brandriegeln auf die Fenster-stürze beschränkt werden (vgl. Variante b) in unten stehender Abbildung).

Alternativ zu Brandriegeln können verschiedene Varianten akzeptiert werden:

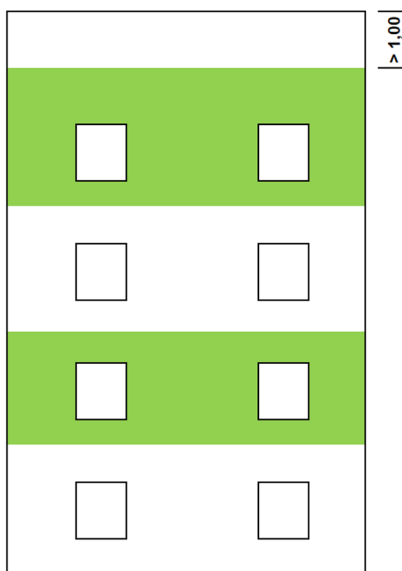
- brandlastfreie (unbepflanzte) Fassadenabschnitte mit einer Höhe von mindestens 3 m bzw. der Höhe eines Vollgeschosses (vgl. Variante c) in unten stehender Abbildung).
- brandlastfreie (unbepflanzte) Bereiche um Öffnungen in der Fassade herum von mindestens 0,5 m zu jeder Seite und 1,0 m oberhalb der Öffnung mit geschossweise verspringenden Öffnungen (vgl. Variante d) in unten stehender Abbildung).
- streifenartige Bepflanzung der Fassade mit einem seitlichen Abstand von mindestens 0,5 m zu jeder Öffnung in der Fassade (vgl. Variante e) in unten stehender Abbildung).
- kassettenartige Ausführung der Bepflanzung mit einer Größe bis zu 3,0 m x 3,0 m (vgl. Variante f) in unten stehender Abbildung).



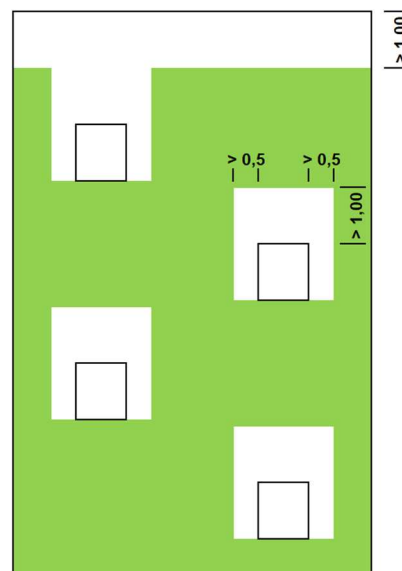
a) Brandriegel zwischen Geschossen



b) Brandriegel an Fensterstürzen



c) unbepflanzte Geschosse



d) unbepflanzte Bereiche um Öffnungen

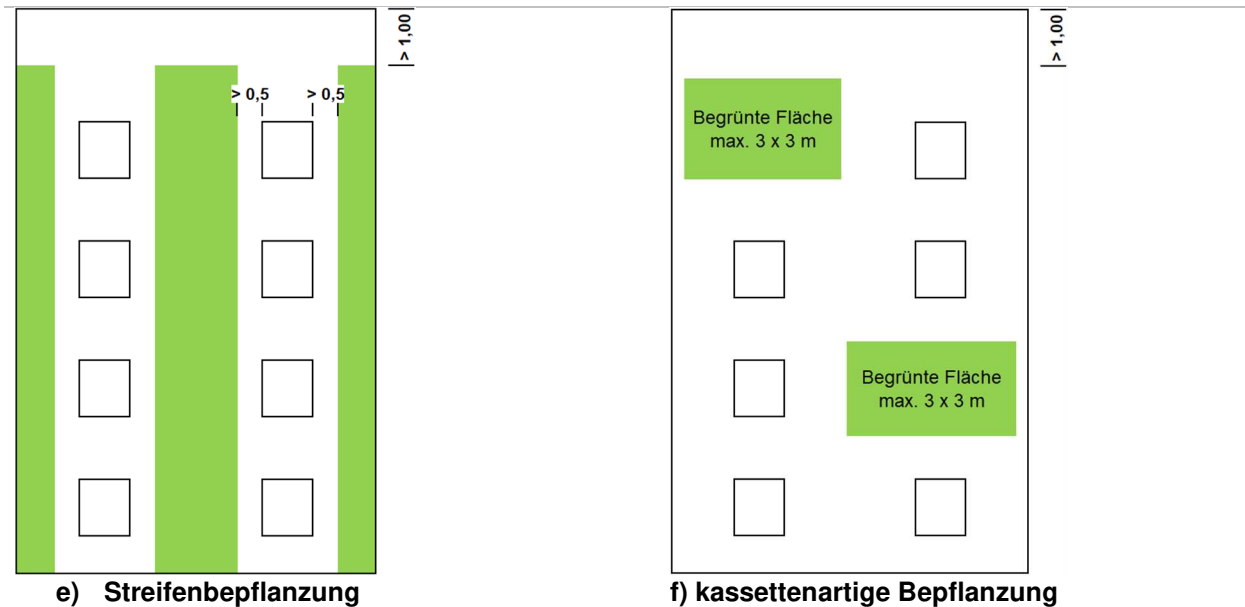


Bild: Darstellung typischer zulässiger Begrünungsvarianten (in Anlehnung an [2])

Rettung von Menschen und Tieren ermöglichen

Im Bereich von Treppenträumen muss sichergestellt sein, dass Brandrauch einer brennenden begrünten Fassade nicht eindringen kann.

Durch begrünte Fassaden dürfen Rettungswege, die über tragbare Leitern oder Hubrettungsfahrzeuge der Feuerwehr sichergestellt werden, nicht beeinträchtigt werden.

Ermöglichen wirksamer Löscharbeiten

Wirksame Löscharbeiten müssen von der Feuerwehr immer durchgeführt werden können. Bis zu welcher Höhe eine Fassade begrünt werden kann, ist abhängig von der Leistungsfähigkeit der örtlichen Feuerwehr und ggf. an der Fassade wirksamen Löschanlagen.

Handgeführte Rohre können vom Bodenniveau einen Fassadenbrand bis zu einer Höhe von 15 m wirksam bekämpfen. Höhere Löschmaßnahmen durch die Feuerwehr sind nur unter Zuhilfenahme eines Hubrettungsgerätes möglich bis zur Hochhausgrenze. Feuerwehrezufahrten und –aufstellflächen müssen hierfür zwingend vorhanden sein, auch wenn die Rettungswege baulich sichergestellt werden.

Bei vor- und zurückspringenden Fassaden mit großen Balkonen oder Terrassen kann ggf. zum Ansatz gebracht werden, dass auch von diesen aus Löschmaßnahmen an der darüber liegenden Fassade vorgetragen werden können. Die Betrachtung muss im Einzelfall erfolgen.

Verifikationsverfahren: Brandversuch

Zur Überprüfung der Wirksamkeit der geplanten Schutzmaßnahmen gegen die besonderen, aus der großflächigen Fassadenbegrünung resultierenden Gefahren, sollten (insbesondere bei Abweichungen von den hier aufgeführten Vorgaben) Brandversuche für die jeweils im Einzelfall geplanten Anordnungen durchgeführt werden. Als Prüfzenario erscheint die Prüfung nach DIN 4102-20 und zukünftig DIN 4102-24 geeignet. Bis zur Etablierung der DIN 4102-24 ist für Brandereignisse, die von außen auf die Fassadenbegrünung einwirken, das Prüfverfahren für Sockelbrände gemäß Prüfauftrag der Bauministerkonferenz (Anhang 5 zur Muster-VV TB, Ausgabe 2019/1) geeignet.

Übersicht Fallunterscheidungen

Die nachfolgenden Tabellen stellen unterschieden in zwei Fälle die relevanten Prüfaspekte für die Brandschutzdienststelle dar:

1. Die Fassade wird vollflächig oder linienförmig begrünt
2. Die Fassade ist kassettenartig begrünt (Größe der Elemente maximal 3,0 x 3,0 m und mindestens 1 m Abstand zu anderen Elementen)

Je nach Nutzung können die Anforderungen im Einzelfall erhöht oder vermindert werden; für den Aspekt der Fassadenbegrünung erscheint die Gefährdung in folgender Reihenfolge anzusteigen: Büro/Verwaltung, Wohnen, Beherbergungsstätte, Gebäude mit erhöhter Anzahl nicht selbstrettungsfähiger Personen.

Prüfaspekte bei großflächig begrünten Fassaden

Schutzziel	GK 1-3 (bis 7 m)	GK 4 (bis 13 m)	GK 5 bis 22 m	GK 5 > 22m
Brandentstehung verhindern	/	/	Pflegeordnung erstellen.	Pflegeordnung erstellen.
Brandausbreitung verhindern	Brandabschnitte dürfen nicht überwachsen werden. Übergriff von Feuer auf die Dachkonstruktion muss verhindert werden.	Brandabschnitte dürfen nicht überwachsen werden. Übergriff von Feuer auf die Dachkonstruktion muss verhindert werden. Rankhilfen nicht brennbar, Trägersysteme mind. B1	Brandabschnitte dürfen nicht überwachsen werden. Übergriff von Feuer auf die Dachkonstruktion muss verhindert werden. Rankhilfen nicht brennbar, Trägersysteme mind. B1 Brandriegel in jedem Geschoss oder ein Geschoss ohne Begrünung zwischen zwei begrünten Etagen. Keine Brandriegel nötig, wenn <ul style="list-style-type: none"> Abstand zu Öffnungen > 1 m und wirksame Löscharbeit (wegen der Höhe) möglich bleiben. durch Vor- oder Rückspringen der Fassade eine Brandweiterleitung ausgeschlossen werden kann. 	Brandabschnitte dürfen nicht überwachsen werden. Übergriff von Feuer auf die Dachkonstruktion muss verhindert werden. Rankhilfen nicht brennbar, Trägersystem mind. B1 Brandriegel in jedem Geschoss oder ein Geschoss ohne Begrünung zwischen zwei begrünten Etagen. Keine Brandriegel nötig, wenn <ul style="list-style-type: none"> Abstand zu Öffnungen > 1 m und wirksame Löscharbeit (wegen der Höhe) möglich bleiben. durch Vor- oder Rückspringen der Fassade eine Brandweiterleitung ausgeschlossen werden kann. Begrünte Außenwände müssen raumabschließend feuerbeständig ausgeführt sein
Rettung von Mensch und Tier sicherstellen	/	/	Keine Rettungswegfenster im Bereich flächig begrünter Fassaden.	Keine begrünte Fassade um Fenster eines notwendigen Treppenraumes. ¹
Sicherstellung wirksamer Löscharbeiten	/	/	Feuerwehruzufahrten und Aufstellflächen für Hubrettungsgeräte	Feuerwehruzufahrten und Aufstellflächen für Hubrettungsgeräte Löschmaßnahmen durch handgeführte Rohre über Balkone/Terrassen möglich? Wirksame und betriebssichere Löschanlage (z.B. Tandemanlage nass-trocken, Wassernebellöschanlage, die auch zur Bewässerung eingesetzt werden kann, o.ä.), mindestens ab 22 m OKF mit Löschvorrichtungen an der Fassade in jedem dritten Geschoss.

¹ entfällt bei Sicherheitstuppenraum oder zweitem baulichem Rettungsweg

Prüfaspekte bei kassettenartig begrünten Fassaden

Schutzziel	GK 1-3 (bis 7 m)	GK 4 (bis 13 m)	GK 5 bis 22 m	GK 5 > 22 m
Brandentstehung verhindern	/	/	Pflegeordnung erstellen.	Pflegeordnung erstellen.
Brandausbreitung verhindern	Brandabschnitte dürfen nicht überwachsen werden. Übergriff von Feuer auf die Dachkonstruktion muss verhindert werden.	Brandabschnitte dürfen nicht überwachsen werden. Übergriff von Feuer auf die Dachkonstruktion muss verhindert werden. Trägersystem mind. B1	Brandabschnitte dürfen nicht überwachsen werden. Übergriff von Feuer auf die Dachkonstruktion muss verhindert werden. Trägersystem mind. B1	Brandabschnitte dürfen nicht überwachsen werden. Übergriff von Feuer auf die Dachkonstruktion muss verhindert werden. Trägersystem mind. B1 Begrünte Außenwände müssen raumabschließend feuerbeständig ausgeführt sein
Rettung von Mensch und Tier sicherstellen	/	/	Keine Rettungswegfenster im Bereich flächig begrünter Fassaden.	Keine begrünte Fassade um Fenster eines notwendigen Treppenraumes. ²
Sicherstellung wirksamer Löscharbeiten	/	/	Feuerwehruzufahrten und Aufstellflächen für Hubrettungsgeräte	Feuerwehruzufahrten und Aufstellflächen für Hubrettungsgeräte Löschmaßnahmen durch handgeführte Rohre über Balkone/Terrassen möglich?

² Gilt nicht bei Sicherheitstreppenraum oder zweitem baulichem Rettungsweg

Literaturverzeichnis

- [1] Werner, D.; Pommer, G.; et al.: Brandverhalten von Grünfassaden in großmaßstäblichen Versuchen - Magistratsabteilung 39, Magistrat der Stadt Wien, 2018, Wien
Online unter: http://www.brandschutz.at/BS/BK_19/Adobe/BK_19_42_.pdf, Abruf am 18.02.2020
- [2] Wiener Umweltschutzabteilung MA 22 (Hrsg.): Leitfaden Fassadenbegrünung, Magistratsabteilung 22, Arbeitsgruppe 25 ÖkoKaufWien, Magistrat der Stadt Wien, 2019, Wien
Online unter: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/fassadenbegruenung-leitfaden.pdf>, Abruf am 18.02.2020
- [3] Werner, D.; Pöhn, C.; Enzi, V.: Naturbrandversuch an Fassadenbegrünung, in: Der Österreichische Brandschutzkatalog 2017 – Baulicher Brandschutz. www.brandschutz.at
Online unter: http://www.brandschutz.at/BS/BK_17/Adobe/BK_17_56_.pdf, Abruf am 18.02.2020
- [4] Preiss, J.: Können Fassadenbegrünungen brennen? In: BuGG- Fassadenbegrünungssymposium, 25.09.2018, Hamburg
Online unter: https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-vortraege/fassaden_hamburg_2018/Juergen_Preiss.pdf, Abruf am 18.02.2020
- [5] Brandwein, T.: Statistisches über Brände mit Kletterpflanzen und Strategien zu ihrer Vermeidung.
Online unter: https://www.brand-feuer.de/images/e/ea/Statistisches_%C3%BCber_Br%C3%A4nde_mit_Kletterpflanzen_-_Thorwald_Brandwein_10.03.2015.pdf, Abruf am 18.02.2020

Der ökologische Wert von Stadtbäumen bezüglich der Biodiversität

The ecological value of urban trees with respect to biodiversity

von Sandra Gloor und Margrith Göldi Hofbauer

Zusammenfassung

Urbane Gebiete sind Orte erstaunlich hoher Biodiversität. Grünräume in Siedlungsgebieten sind auch für die Lebensqualität der Bevölkerung ein wichtiger Faktor. Bäume erfüllen eine Reihe von Ökosystemleistungen und spielen für die urbane Biodiversität eine Schlüsselrolle. Sie bieten Lebensraum und Nahrungsgrundlage und erschließen die dritte Dimension auch dort, wo der Boden durch andere Nutzungen besetzt ist. Der Wert eines Baums für die Biodiversität wird maßgeblich von den Faktoren Baumart, Alter und Standort beeinflusst. Mit zunehmender Verdichtung und Modernisierung der Kernstädte geraten jedoch Grünräume unter Druck. Ihre Planung muss deshalb hohen Qualitätsanforderungen genügen, auch bezüglich der Biodiversität. In der vorliegenden Studie wurden Empfehlungen für die Praxis formuliert und ein Biodiversitätsindex für häufig gepflanzte Baumarten entwickelt. Sie sollen ermöglichen, die Biodiversität bei der Planung des urbanen Baumbestands einzubeziehen.

Summary

Urban areas contain astonishingly high levels of biodiversity. Green spaces in urban areas are also a major contributor to the life quality of the urban population. Trees provide an array of ecosystem services and play a key role in promoting urban biodiversity. In addition to providing habitat and supplying food, they open up a third dimension even in places where the ground is occupied by other uses. The value of a tree for biodiversity is influenced by factors such as its species, age and location. With increasing densification and modernization of urban cities, green spaces have found themselves under pressure. Their planning has to meet high quality standards, also with respect to biodiversity. In this study, we formulate recommendations for practice. Moreover, we have developed a biodiversity index for commonly planted tree species. The recommendations and the biodiversity index should act as a tool to help facilitate the inclusion of biodiversity into the planning of urban tree composition.

1 Einleitung

Städte und Siedlungen sind Orte erstaunlich hoher Biodiversität, die mit derjenigen durchschnittlicher ländlicher Gebiete oder Waldlebensräume vergleichbar ist (SATTLER et al. 2010). Diese hohe Artenvielfalt ist nicht nur aus ökologischer Sicht von Bedeutung. Vielfältige Grün- und Freiräume in Siedlungsgebieten haben auch für die Lebensqualität der städtischen Bevölkerung eine wichtige Bedeutung.

Bäume spielen für die Biodiversität im Siedlungsraum eine Schlüsselrolle. Sie bieten Lebensraum und Nahrungsgrundlage für verschiedene Organismen und erfüllen eine Vielzahl an Ökosystemleistungen. Sie erschließen Lebensraum in der dritten Dimension auch dort, wo der Boden bereits durch andere Nutzungen besetzt ist. Trotzdem spielt heute bei der Baumartenwahl in Siedlungsgebieten das Kriterium der Biodiversität eine untergeordnete Rolle. Dies sollte sich in Zukunft ändern, denn damit gewinnt nicht nur die Ar-



Abbildung 1: Ersatzneubau einer Wohnsiedlung aus den 1960er Jahren. Zusätzlich zu den neuen Gebäuden wurde auch eine Tiefgarage unter den Innenhof gebaut. Bäume wachsen nur noch am Rand des Innenhofs.

tenvielfalt, sondern auch die Lebensqualität der Stadtbevölkerung.

2 Urbane Grün- und Freiräume unter Druck

Mit zunehmender Verdichtung und Modernisierung von Kernstädten und dem Wandel in den Wohn- und Arbeitsgebieten geraten wertvolle Grün- und Freiräume immer mehr unter Druck: Sie werden überbaut, Flächen werden neu versiegelt, bei der Unterkellerung von Grünräumen bleiben oft nur noch kleine Bodenvolumina, die kein Wachstum von größeren Bäumen mehr zulassen.

Bei Renovierungen und Neubauten verschwinden vielfach die ehemaligen Baumbestände (Abbildung 1). Mit dem Verschwinden von Bäumen ist in den meisten Fällen ein Rückgang der lokalen Biodiversität verbunden. Hinzu kommt dabei auch der Verlust aller anderen Ökosystemleistungen, welche die Bäume im Siedlungsraum erbringen, etwa der ausgleichende, kühlende Einfluss auf das trockenwarme Stadtklima oder die positive Wirkung auf die Luftqualität.

3 Bäume spielen Schlüsselrolle für urbane Biodiversität

Die Relevanz von Bäumen für die Biodiversität im Siedlungsraum kann nicht überschätzt werden. Keine andere Pflanzenform ist so vielfältig wie der Baum, mit den unterschiedlichsten ökologischen Nischen und vielgestaltigen Pflanzenteilen (Abbildung 2). Die mehrjährigen verholzten Baumteile bieten zudem Organismen Lebensraum, die mehrjährige Larvenstadien durchlaufen oder ermöglichen es Wirbeltieren, Strukturen an Bäumen wie etwa Baumhöhlen über mehrere Jahre hinweg zu nutzen.

Die vergleichende Studie BiodiverCity (OBRIST et al. 2012) in drei Schweizer Städten zeigte exemplarisch für die Vögel den großen ökologischen Wert von Bäumen im Siedlungsraum auf: Die Erhöhung der Anzahl der Bäume im Siedlungsraum stellte die effektivste Maßnahme dar, um dessen Biodiversität zu fördern (FONTANA et al. 2011).



Abbildung 2: Der Spitzahorn (*Acer platanoides*), wegen seiner Widerstandsfähigkeit gerne in Städten gepflanzt, spielt als weit verbreitete, einheimische Baumart für die Biodiversität eine wichtige Rolle (Foto: Grün Stadt Zürich).

4 Baumartenwahl im Siedlungsraum

Bei der Baumartenwahl stehen heute gestalterische und planerische Kriterien, Standorte wie Straßen oder Grünanlagen und Standortbedingungen wie die Bodenbeschaffenheit oder die Exposition im Vordergrund. ROLOFF zählt in seinem Buch „Bäume in der Stadt“ über 70 mögliche Auswahlkriterien für die Baumartenwahl auf (ROLOFF 2013). Der Einfluss der Baumarten auf die urbane Tier- und Pflanzenwelt spielt bei der Baumartenwahl heute eine untergeordnete Rolle. Dies trägt der großen Bedeutung, welche Bäume für die Biodiversität im Siedlungsraum haben, zu wenig Rechnung.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es deshalb, eine Methode zu entwickeln, welche eine Bewertung von

Baumarten bezüglich ihrer Bedeutung für die Biodiversität ermöglicht. Außerdem sollten praktische Empfehlungen für die Förderung der Biodiversität im Siedlungsraum im Zusammenhang mit Bäumen formuliert werden.

Es liegt auf der Hand, dass aus ökologischer Sicht nicht jeder Baum die gleiche Bedeutung für die Biodiversität hat. Eine Vielzahl von Faktoren bestimmt den ökologischen Wert eines Stadtbaumes: Art und Sorte, Standort, Bodenvolumen, Alter und Gesundheitszustand, Kronenvolumen, Schnitt und Pflege, Abstand zu Gebäuden, Exposition, Bodenbeschaffenheit und Bewuchs etc. Die Dimensionen, welche die Unterschiede des ökologischen Wertes annehmen können, werden oft verkannt, da sie nicht linear verlaufen, visuell nicht zu erfassen und auf Plänen nicht erkennbar sind.

4.1 Das Potenzial eines Baumes

Drei Faktoren stehen für die Bedeutung eines Baumes für die Biodiversität im Vordergrund:

1. die Baumart
2. das Alter
3. der Standort des Baumes

Bäume derselben Art können sich in ihrer Bedeutung für die Biodiversität beträchtlich unterscheiden. Frei stehende Bäume können z. B. eher ihr maximales Potenzial entfalten als Bäume in einer Baumgruppe, was die Wuchsgröße und Form anbelangt. Auch die nähere Umgebung hat einen Einfluss auf den Biodiversitätswert eines Baumes. Es ist eine andere Situation, ob der Baum auf einem versiegelten Platz oder in einem Park steht. Schließlich spielt auch die Vegetation der unmittelbaren Umgebung oder die historische Entwicklung des Standorts eine wichtige Rolle.

Die Bewertung der Baumart nach ökologischen Kriterien verdeutlicht demzufolge primär das Potenzial eines Baumes, das je nach Situation nicht oder noch nicht ausgeschöpft werden kann. Sie bildet eine gute Ausgangslage für die Berücksichtigung der Biodiversität bei der Baumartenwahl.

4.2 Vorgehen bei der Baumartenwahl in der Praxis

In der Praxis wird bei der Baumartenwahl im Siedlungsraum in einem ersten Schritt der Standort über die Palette von Baumarten bestimmen, die an einem konkreten Ort gepflanzt werden können. Dabei spielen verschiedene Faktoren wie die Bodenbeschaffenheit, mikroklimatische Verhältnisse oder die Überbauungssituation eine Rolle. An stark befahrenen Straßen herrschen andere Bedingungen als an einer wenig befahrenen Straße in einem Wohnquartier oder in einer Grünanlage. Je nach Situation werden dann für die Baumartenwahl weitere Kriterien hinzugezogen.

Die in der vorliegenden Arbeit formulierten Empfehlungen und die Bestimmung des ökologischen Wertes von Stadtbäumen bezüglich der Biodiversität sollen es ermöglichen, den wichtigen Faktor Biodiversität in die

Baumartenwahl einbeziehen zu können. Selbstredend kann die Biodiversität nicht immer das entscheidende Kriterium sein, gerade an belasteten Standorten wie z. B. an stark befahrenen Straßen. Umso mehr sollte deshalb in wenig belasteten Situationen die Biodiversität als wichtiges Kriterium mit einbezogen werden.

5 Sechs Empfehlungen für die Förderung der Biodiversität im Siedlungsraum

5.1 Einheimisch oder exotisch?

Bereits seit vielen hundert Jahren wurden Pflanzenarten von Menschen aus anderen Erdteilen eingeführt. Bei diesen eingeführten Arten spricht man von Archäophyten (Einführung vor 1500 n. Chr.) und Neophyten (Einführung nach 1500 n. Chr.). Den Wendepunkt markiert das Jahr 1492 mit der Entdeckung Amerikas (KEGEL 1999). Besonders unter den Archäophyten gibt es sehr wertvolle Arten, wie etwa die Apfelbäume. Für die Familie der Rosengewächse ist bekannt, dass je länger sie etabliert sind, desto mehr Insektenarten auf ihnen leben (LEATHER 1986). Eine Verallgemeinerung des ökologischen Werts von Bäumen bezüglich des Status „einheimisch“ oder „exotisch“ oder „eingeführt“ ist deshalb kaum möglich (ALEXANDER et al. 2006). Je näher gebietsfremde Baumarten mit standortheimischen Arten verwandt sind, desto eher bieten auch gebietsfremde Baumarten Insekten und anderen Tiergruppen einen Lebensraum (KENNEDY & SOUTHWOOD 1984).

Trotzdem kann gesagt werden, dass in neuerer Zeit eingeführte Baumarten meist von weniger Tierarten genutzt werden als einheimische Baumarten (SOUTHWOOD 1961; KENNEDY & SOUTHWOOD 1984; TALLAMY et al. 2008), die eine lange gemeinsame Entwicklungsgeschichte mit der sie umgebenden Fauna und Flora durchlebt haben.

Empfehlung 1: Einheimische Baumarten oder nicht-einheimische Arten mit hohem ökologischem Wert pflanzen

Zur Förderung der Biodiversität sollen wo immer möglich einheimische Baumarten gepflanzt werden. Gebietsfremde Baumarten sollten so gewählt werden, dass sie einen möglichst hohen ökologischen Wert aufweisen.

5.2 Invasive Neophyten

Ein Erfahrungswert zeigt, dass rund 10 % der etablierten Neophyten, die sich bei uns in selbstständigen Beständen halten können, das Potenzial haben, sich zu invasiven Neophyten zu entwickeln (tens rule, WILLIAMSON 1996). Sie breiten sich in der Folge enorm aus und bilden oft undurchdringliche Massenbestände. Damit haben sie auf die einheimische Biodiversität in zweifacher Hinsicht einen negativen Einfluss: Sie verdrängen die einheimische Flora und bieten meist keinen geeigneten Lebensraum oder Nahrung für die einheimische Fauna.

Eingeführte Pflanzenarten können sich über viele Jahrzehnte hinweg unauffällig verhalten und dann plötzlich invasiv werden. Was diese Entwicklung auslöst, ist nicht vorauszusehen. Im Zuge der Klimaveränderungen ist zu erwarten, dass weitere, heute noch unproblematische, nicht standortheimische Pflanzen ein invasives Potenzial entwickeln (KLEINBAUER et al. 2010; CONEDERA & SCHOENENBERGER 2014). Aus diesen Gründen sollten standortfremde Pflanzen nur mit Zurückhaltung gepflanzt werden.

In vielen Ländern werden Nationale Schwarze Listen der nachweislich schädlichen sowie Watchlisten der potenziell schädlichen invasiven Neophyten geführt. In Europa sind folgende drei Baumarten auf den Schwarzen Listen aufgeführt, die im Siedlungsraum häufig vorkommen:

- Götterbaum (*Ailanthus altissima* aus China),
- Essigbaum (*Rhus typhina* aus Nordamerika) und
- Robinie (*Robinia pseudoacacia* aus Nordamerika).

Die Robinie ist allerdings vor allem in der Nähe von Rohbodenstandorten und Offenlandbiotopen mit nährstoffarmer Ausprägung problematisch. Sie wird in Städten u.a. auf Grund ihrer Hitzeverträglichkeit oft als Straßenbaum gepflanzt, was in innerstädtischen Bereichen Sinn machen kann. Aus Sicht der Biodiversität sollte jedoch auf allen anderen, weniger belasteten Standorten auf die Robinie verzichtet werden, insbesondere in Grünanlagen und Gärten.

Empfehlung 2: Keine invasiven Neophyten pflanzen
Invasive Neophyten können zumindest mittelfristig

Probleme verursachen und die einheimische Flora verdrängen. Sie sollten deshalb vermieden bzw. nur in begründeten Ausnahmefällen (z. B. in gartendenkmalpflegerisch bedeutsamen Objekten oder in innerstädtischen Bereichen) gepflanzt werden.

5.3 Baumarten: Wildformen statt Sorten

Im Siedlungsraum werden oft Zuchtformen und nicht Wildformen einer Baumart gepflanzt. Für den Straßenraum werden die Wildformen oft durch robustere Sorten ersetzt, die sich für die extremen Umweltbedingungen besser eignen. Aber auch in Grünanlagen, in der Umgebung von Wohnsiedlungen oder in Privatgärten werden in vielen Fällen nicht die Wildformen gepflanzt. Im Handel ist die Auswahl an Wildformen meist eingeschränkt.

Grundsätzlich gilt, dass die einheimische Fauna an die Wildformen der Baumarten angepasst ist. Wenn möglich sollten deshalb die Wildformen den Zuchtformen vorgezogen werden. Dies gilt besonders für Sorten mit gefüllten Blüten, die bezüglich Nektar und Blüten oft stark reduziert oder steril sind und somit als Nahrungsgrundlage für Insekten ganz oder teilweise wegfallen.

Empfehlung 3: Wildformen verwenden

Für die gezielte Förderung der Biodiversität sollten bevorzugt die Wildformen der einheimischen Baumarten gepflanzt werden, insbesondere sollten keine Sorten mit gefüllten Blüten gepflanzt werden

5.4 Mischkultur statt Monokultur

Neben der Baumart beeinflusst auch die Baumartenzusammensetzung eines Areals die Biodiversität maßgeblich. Da verschiedene Tierarten auf bestimmte Baumarten spezialisiert sind oder diese zumindest bevorzugen, erhöht eine hohe Vielfalt unter den Bäumen auch die Biodiversität der Fauna ihrer Umgebung (Abbildung 3). Aus Sicht der Artenvielfalt sind deshalb in der Baumplanung und im Unterhalt Baumbestände mit einer Mischung aus Nadel- und Laubholzbäumen anzustreben (SÄTTLER et al. 2010; FERENC et al. 2013). Die Vorteile einer hohen Baumartenvielfalt sind auch bezüglich der zum Teil neu auftretenden Schadorga-



Abbildung 3: Friedhofareal Sihlfeld in der Stadt Zürich: Eine Vielfalt an Laub- und Nadelbäumen von einheimischen und exotischen Baumarten und die Pflege des alten Baumbestandes und einer naturnahen Umgebung bewirken eine hohe lokale Biodiversität (Foto: REGULA STÖSSEL).

nismen für Bäume besonders relevant, da diese oft eine einzelne Baumart befallen (THOMSEN 2014). Bei Befall mit Schadorganismen verliert eine Baumpflanzung mit einer Vielfalt an Baumarten nicht den gesamten Bestand und der Schadorganismus kann sich im Bestand nicht gleich schnell ausbreiten.

Empfehlung 4: Baumartenvielfalt gezielt fördern
Aus Sicht der Biodiversität und der Pflanzengesundheit ist zu empfehlen, an einem Standort verschiedene Laub- und Nadelholzbäume gemischt zu pflanzen und damit einen vielfältigen Baumbestand auf einem Areal anzustreben.

5.5 Die Bedeutung des Baumalters

Neben der Baumart ist das Alter eines Baumes der zweite zentrale Faktor, der dessen Bedeutung für die Biodiversität maßgeblich beeinflusst, wobei die Bio-

diversität meist mit zunehmendem Alter größer wird. Alte Bäume weisen neben einem großen Kronenvolumen auch eine Vielzahl von Strukturen auf, die jungen Bäumen noch fehlen, etwa Hohlräume, Stammhöhlen, abgebrochene Äste und Totholz (JUILLERAT & VÖGELI 2006; Gürlich 2009; MEIER 2009), die für eine Vielzahl von Tieren, Pflanzen, Pilzen, Moosen und Flechten enorm wertvoll sind.

Im Siedlungsraum eröffnet sich ein Spannungsfeld zwischen den Sicherheitsbedürfnissen der Bevölkerung und Haftungsrisiken und dem großen ökologischen Stellenwert von alten Bäumen und Totholz (MUFF 2012). Auf den ersten Blick scheinen deshalb Alt- und Totholz im Siedlungsraum nicht die gleiche Rolle spielen zu können wie im Wald. Gerade historische Parkanlagen und Alleen sind jedoch häufig Relikt- und Refugienstandorte (Abbildung 4), weil hier die Ausschöpfung des natürlichen Wuchspotenzials, anders als im Wirtschaftswald, aus gestalterischen

Gründen kontinuierlich gefördert worden ist (MÖLLER 2012). Alte Bäume sind Repräsentanten einer früheren Zeit, in der die Verbreitung bestimmter Tiere und Pflanzen noch häufiger war. Heute können alte Parkbäume letzte Rückzugsorte für Tiere oder Pflanzen sein, die im umgebenden Siedlungsraum ausgestorben sind. Werden diese alten Bäume gefällt, gehen mit ihnen unwiederbringlich die letzten lokalen Vorkommen dieser Tiere verloren (JULLERAT & VÖGELI 2006). Unter diesem Gesichtspunkt sind deshalb nicht nur allgemein alte Bäume sehr wichtig, sondern es ist auch jeder einzelne alte Baum überproportional wichtig. Alte Bäume sind deshalb nach Möglichkeit zu erhalten und deren Vorkommen durch frühzeitige Ersatzpflanzungen zu sichern.

Empfehlung 5: Alte Bäume erhalten, Ersatzpflanzungen planen

Pflege und Unterhalt sind so auszurichten, dass die alten Bäume möglichst lange erhalten bleiben. Mit rechtzeitigen Baumpflanzungen und standortnahem Baumerersatz

sowie umsichtiger Baumpflege ist für den Erhalt und Ersatz alter Bäume zu sorgen.

5.6 Baumumgebung naturnah geplant und gepflegt

Die Umgebung eines Baumes spielt eine wichtige Rolle dabei, ob der Baum sein ökologisches Potenzial entfalten kann. Wenn die Umgebung naturnah geplant und gepflegt wird, z. B. mit einer artenreichen Wildstaudenbepflanzung der Baumscheiben oder einer Magerwiese in der Umgebung eines Parkbaums, kann die Biodiversität zusätzlich gefördert werden (Abbildung 5 und 6). Außerdem können naturnahe, vielfältige Unterpflanzungen von Bäumen verschiedene Funktionen übernehmen, welche für den Baum selber nützlich sind, etwa eine Kühlung des Wurzel- und Stammfußbereichs, Schutz vor Salzeintrag, Schutz vor mechanischen Schäden oder positive Auswirkungen auf das Bodenleben (HEINRICH & SALUZ 2017).



Abbildung 4: Alte Bäume im Siedlungsraum sind oft Reliktstandorte aus früheren Zeiten.



Abbildung 5: Baumscheibe mit artenreicher Wildkräuterunterpflanzung (Foto: MAX RUCKSTUHL, GSZ)

Empfehlung 6: Baumumgebung naturnah planen und pflegen

Eine naturnahe Planung und Pflege sowohl der unmittelbaren Baumumgebung als auch des weiteren Umfelds eines Baumes steigern die Biodiversität eines Standorts und wirken sich gleichzeitig positiv auf die Baumgesundheit aus.

6 Der Biodiversitätsindex von Baumarten

Das Potenzial verschiedener Baumarten bezüglich ihres Werts für die Biodiversität ist sehr unterschiedlich und umfasst eine beachtliche Bandbreite. Für die Praxis wäre deshalb ein Index hilfreich, der dieses Potenzial aufzeigt und bewertet. Wir haben einen Biodiversitätsindex entwickelt, der sich aus dem Wert einer Baumart für verschiedene Tiergruppen berechnet. Dafür wurden fünf Tiergruppen ausgewählt, die eine

große Bandbreite von ökologischen Ansprüchen an Bäume stellen und deshalb stellvertretend für einen Großteil der Fauna stehen und folgende Kriterien erfüllen:

1. Die Tiergruppen sollen für den Siedlungsraum relevant und repräsentativ sein.
2. Die Tiergruppen sollen unterschiedliche Pflanzenteile (z. B. Knospen, Blüten, Blätter, verholzte Teile) der Bäume nutzen. Dabei soll sowohl die Funktion des Baumes als Lebensraum als auch als Nahrungsgrundlage berücksichtigt werden.
3. Die Organismengruppen sollen sogenannte „attraktive“ Arten (Flagship-Arten) umfassen, deren Förderungswürdigkeit auch für Laien nachvollziehbar ist (HOME et al. 2009).

Aufgrund dieser Kriterien wurden folgende fünf Wildtiergruppen ausgewählt:

- Wildbienen
- Käfer
- Schmetterlinge

- Vögel
- Säugetiere

Für jede Tiergruppe wurden Experten für die Bewertung der Baumarten hinzugezogen, welche in der entsprechenden Tiergruppe über eigene, langjährige Forschungserfahrung verfügen und profunde Kenner der entsprechenden Fachliteratur der jeweiligen Tiergruppe sind. Die Experten beurteilten zum einen die Bedeutung der Bäume für die Biodiversität der jeweiligen Tiergruppe im Allgemeinen und zum anderen die Bedeutung der häufigsten Baumarten im Siedlungsraum bezüglich der entsprechenden Tiergruppe mit 1 (wenig bedeutend) bis 5 (sehr bedeutend) Punkt(en). Bei fehlendem Wissen oder fehlender Fachliteratur wurde die Baumart nicht bewertet (keine Punktzahl).

6.1 Wildbienen

Wildbienen sind von folgenden Ressourcen abhängig: Pollen- und Nektarquellen als Nahrung für Imagines und Larven sowie Kleinstrukturen und Standorte für die Anlage der Nester. Dabei ist eine enge Nachbarschaft von Nist- und Nahrungshabitaten für die Sicherung stabiler Wildbienenpopulationen essenziell (ZURBUCHEN & MÜLLER 2012; AMIET & KREBS 2014; WESTRICH 2015). Der Großteil der Bienenarten nistet in selbstgegrabenen Hohlräumen im Erdboden. Immerhin maximal 25 % der Wildbienenarten legen ihre Nester jedoch in Hohlräumen im Holz an. Bäume spielen also für die Nistplätze durchaus eine gewisse Rolle (WESTRICH 2015). Für Nistplätze eignen sich Gänge in Totholz, insbesondere in totem Altholz an besonnten Stellen von noch lebenden Bäumen.

Für das Überleben der Wildbienen ist neben den Nistplätzen das Blütenangebot entscheidend. Neben Krautpflanzen und strauchartigen Gehölzen eignet sich auch eine Reihe von Baumarten als Nahrungsquelle (Abbildung 7). Für Wildbienen wichtig ist dabei vor allem die Pflanzengattung, z. T. auch die Familie, die Baumarten spielen dagegen eine untergeordnete Rolle. Eine Wildbiene sucht z. B. gern an Ahornen Nektar, es ist aber weniger von Bedeutung, ob dieser Ahorn einheimisch ist. Wertvolle Baumfamilien und Baumgattungen, mit denen die Biodiversität der Wildbienen gefördert werden können, sind:



Abbildung 6: Wildkräutersamenmischungen, welche für Baumunterpflanzungen verwendet und auch an die Stadtbevölkerung abgegeben werden (Foto: Grün Stadt Zürich).



Abbildung 7: Wildbiene auf Salweide (Foto: MAJA DUMAT, CC Lizenz BY 2.0)

- **Ahornarten** (Gattung *Acer*): viele Blüten, Nektar ist leicht zugänglich.
- **Eichen**: Pollenquellen, der Nektar stammt aus anderen Quellen.
- **Weiden**: Frühblüher
- **Rosaceae**: allgemein wichtig (v. a. mit den Gattungen *Prunus*, *Crataegus* und *Sorbus*, für kurze Zeit auch die als Straßenbäume beliebten Japanischen Kirschbäume *Prunus serratula* und *Prunus subhirtella*, allerdings nur bei trockenem Wetter und nur Sorten mit nicht gefüllten Blüten, WESTRICH 2015).
- **Lindenarten** (Gattung *Tilia*)

Als Bienenweiden gelten exotische Baumarten der Familie der Fabaceae wie z. B. die Robinie (*Robinia pseudoacacia*), Gleditschie (*Gleditsia*) und der Schnurbaum (*Styphnolobium japonicum*). Allerdings gilt dies in erster Linie für die Honigbienen und weit weniger für Wildbienen (ANDREAS MÜLLER, mündl. Mitteilung). Es wäre zu untersuchen, inwieweit die kleineren Wildbienen die zum Teil großen, kräftigen Blüten für die Nahrungssuche nutzen können.

6.2 Käfer

Käfer stehen in enger Beziehung zu Bäumen. Dabei können Käfer je nach Art oder Lebensabschnitt von ganz unterschiedlichen Teilen der Bäume profitieren. Eine besonders große Gruppe unter den Käfern, die sogenannten Totholzarten oder xylobionten Arten, ist während eines Teils ihres Lebenszyklus abhängig von Totholz oder absterbendem Holz, von Baupilzen oder vom Vorkommen anderer Organismen, die Totholz abbauen (BREDE et al. 2000; JULLERAT & VÖGELI 2006). Besonders wichtig sind dabei gut besonnte, südexponierte Totholzbereiche an Bäumen (stehendes Totholz), welche von xerothermophilen, d. h. Trockenheit und Wärme liebenden, Käfer- und anderen Insektenarten bewohnt werden. Viele Bäume ermöglichen es dabei den Käfern, in den verholzten Teilen mehrjährige Entwicklungsphasen zu durchlaufen. Liegendes Totholz wird je nach Zersetzungsstadium von unterschiedlichen Käferarten besiedelt. 74 Käferfamilien und 1.500 Käferarten (ein Fünftel aller 6.700 Käferarten) sind auf Totholz angewiesen.

Alte Bäume im Siedlungsraum sind oft Resthabitate aus Zeiten, als in ihrer Umgebung heute seltene Tier- und Pflanzenarten noch allgemein verbreitet waren. Heute sind sie, außer in den Resthabitaten, mehrheitlich verschwunden. Käfer haben meist keinen großen Ausbreitungsradius, weshalb sie darauf angewiesen sind, dass an einem Standort ihre Lebensräume, z. B. Bäume mit Mulmhöhlen, ohne Unterbrechung vorhanden sind. Muss ein alter Baum gefällt werden, ist es wichtig, dass in unmittelbarer Nähe ein anderer Baum mit demselben Brutangebot steht. Käfer verschwinden, wenn alte Bäume gefällt werden und keine weiteren daneben stehen, welche die Rolle als Habitatbäume übernehmen können (Abbildung 8).

Totholz wird noch immer mehrheitlich als Risiko für die Bevölkerung, Schadenssymptom und Fremdkörper an den Bäumen in Alleen und Grünanlagen angesehen. Verschiedene Arbeiten der vergangenen Jahre zeigen jedoch auf, dass eine umsichtige Pflege alter Bäume auch im Siedlungsraum Totholzbereiche ermöglicht (JULLERAT & VÖGELI 2006; MÖLLER 2012).

6.3 Schmetterlinge: Tag- und Nachtfalter

Bäume sind für Schmetterlinge als Lebensraum und Futterpflanze wichtig (Abbildung 9 und 10). Allerdings brauchen Schmetterlinge in unterschiedlichen Phasen ihres Lebens verschiedene Lebensraumelemente, etwa neben Bäumen spezifische Krautpflanzen oder Sträucher. Die nahe Umgebung eines Baumes ist deshalb neben der Baumart ebenfalls sehr wichtig. Etwa ein Drittel der Großschmetterlinge (Nacht- und Tagfalter) ist bei der Reproduktion auf Bäume angewiesen, bei den Nachtfaltern ist es von der Masse der Tiere her gesehen bis zur Hälfte der Individuen (EBERT 2005). EBERT (2005) macht in seinem Werk über die Schmetterlinge Baden-Württembergs folgende Angaben zu Bäumen und Sträuchern als Nahrungspflanzen. Für die 812 Großschmetterlingsarten sind:

- 28 % stark als Imago und/oder Raupe von Bäumen abhängig,
- 26 % von Sträuchern,
- 40 % von Gehölzen (Bäume und/oder Sträucher),
- 5 % von Flechten und Moosen.



Abbildung 8: Großer Lindenprachtkäfer (*Lamprodila rutilans*) auf Linde (Foto: SIGA, CC BY-SA 3.0)

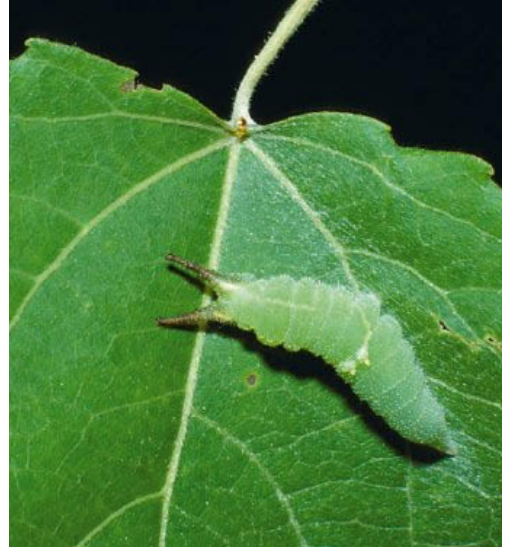


Abbildung 9: Raupe des Kleinen Schillerfalters, der sich auf der Zitterpappel entwickelt (Foto: JÜRGEN MANGELSDORF, Flickr).

Alte Bäume spielen für Schmetterlinge nicht eine gleich große Rolle wie für andere Insektengruppen. Bäume erfüllen jedoch ganz unterschiedliche Funktionen für Schmetterlinge und fast alle ihre Teile können je nach Schmetterlingsart genutzt werden: die Borke für Eiablage, Blätter und Blüten als Nahrung für Raupen, Blüten als Nektarquelle, Baumsäfte und Früchte als Nahrung, Holzteile für holzbewohnende Arten.

Neben den Bäumen können auch die Kletterpflanzen an Bäumen von großer Bedeutung sein, etwa Efeu, welcher mit seinem Blütenangebot im späten Herbst einmalig ist, oder Waldreben, die Nachtfaltern als Futterpflanze dienen.

6.4 Vögel

Bäume sind für die Biodiversität von Vögeln im Siedlungsraum von zentraler Bedeutung. Dabei spielt allein schon die Anzahl der Bäume eine wichtige Rolle: Je mehr Bäume in einem Gebiet vorkommen, desto mehr Vogelarten können dort leben (FERENC 2013; ROLOFF 2013). Ideal ist dabei eine Mischung aus Koniferen und Laubbäumen (FONTANA et al. 2011). Eine gan-



Abbildung 10: Falter des Kleinen Schillerfalters (Foto: DIETER UMLAU, Flickr)

ze Reihe wissenschaftlicher Arbeiten zeigt die Wichtigkeit von Bäumen im Siedlungsraum für die Artenvielfalt und im Speziellen für Vögel auf (KIRKPATRICK et al. 2012; PROPPE 2013; STROHBACH et al. 2013). Bäume haben für Vögel verschiedene Funktionen. Sie bieten als Nahrungspflanzen (Blätter, Blüten, Samen, Früchte etc.) den Vögeln direkt Nahrung (Abbildung 11) oder sie



Abbildung 11: Amsel auf Vogelbeere (Eberesche, *Sorbus aucupari*) (Foto: CORINNA JOHN, Flickr)



Abbildung 12: Die Schlafplätze des Großen Abendseglers, einer häufigen Fledermausart im Siedlungsraum, befinden sich in Baumhöhlen. Diese werden z. T. auch als Winterschlafhöhlen benutzt (Foto: FABIO BONTADINA, SWILD).

sind Lebensraum für Kleintiere, die von Vögeln gefressen werden. Je nach Lebensphase der Vögel sind solche Kleintiere eine wichtige Futtergrundlage. Hausperlinge z. B., die als Altvögel Samen- und Insektenfresser sind, benötigen während der Jungenaufzucht Insekten (VINCENT 2005). Bäume bieten zudem wichtige Strukturen etwa als Rückzugsort, Warte für die Jagd, Niststandort auf Ästen oder in Baumhöhlen etc. (TURCEK 1961).

6.5 Säugetiere

Bäume spielen für viele der rund 90 einheimischen Säugetierarten eine Rolle (TURCEK 1967). Für einzelne Gruppen, wie etwa baumhöhlenbewohnende Fledermausarten (Abbildung 12), sind Bäume als Quartierstandort eine Voraussetzung für ihr Vorkommen. Andere Arten leben mehrheitlich oder häufig auf Bäumen, wie etwa die Haselmaus (auf Sträuchern und Bäumen), das Eichhörnchen oder der Siebenschläfer (SPOHN & SPOHN 2016).

Auch als Nahrungslieferanten sind Bäume wichtig. Neben Trieben, Knospen und Blättern spielen besonders Samen, Früchte und Nüsse eine wichtige Rolle für die Ernährung. Säugetiere tragen ihrerseits durch den Verzehr von Früchten und Samen zusammen mit Vögeln zur Verbreitung von Baumarten bei.

7 Eine bewertete Baumartenliste für die Praxis

Die Baumartenliste, welche den Experten vorgelegt wurde, basiert auf dem Baumkataster der Stadt Zürich (Stand Juni 2013), wo 70.590 Bäume erfasst sind. Die Straßenbäume sind vollständig erfasst, die übrigen Baumtypen nur teilweise. Für die Artenliste wurden die 30 am häufigsten gepflanzten Arten der drei Kategorien „Straßenbäume“ (21.639 Bäume), „Bäume in Grünanlagen und auf Schularealen“ (24.057 Bäume) und „Bäume auf privaten Arealen“ (16.448 Bäume) ausgewählt. Die Sorten von derselben Art wurden zusammengefasst. Die drei Baumartenlisten wurden zusammengeführt und ergaben eine Liste von 49 Baumarten, welche 77 % aller im Baumkataster aufgeführten Bäume umfassen. Diese Liste wurde durch 19, aktuell in der Stadt Zürich häufig gepflanzte Baumarten ergänzt. Ebenfalls in die Liste aufgenommen wurden zwei ökologisch wertvolle Arten: die Zitterpappel (*Populus tremula*) und die Sal-Weide (*Salix caprea*).

Die Baumartenliste umfasst 70 Baumarten bzw. Gattungen, die Arten zusammenfassen, welche als verschiedene Sorten gepflanzt werden, z. B. verschiedene Pflaumensorten, die als *Prunus* sp. in der Tabelle 1 aufgeführt sind. Die Bewertung wurde von Experten für die entsprechende Tiergruppe vorgenommen,

basierend auf den Erfahrungen aus eigenen Forschungsprojekten und auf wissenschaftlichen Publikationen. Ein Stern bedeutet einen geringen Wert für die Biodiversität der Artengruppe, 5 Sterne bedeuten einen hohen Wert für die Biodiversität. Ø bezeichnet den Durchschnittswert aus den vorhandenen Wer-

tungen. Es sind für jede Baumart mindestens 4 der 5 Bewertungen vorgenommen worden. Eingeteilt wurden die Durchschnittswerte in vier Klassen, wobei Klasse 1 (Ø 4 bis 5) die wertvollsten Baumarten umfasst und Klasse 4 (Ø 1 bis 1,9) die am wenigsten wertvollen.

Tabelle 1: Eine Auswahl der häufigen Baumarten der Stadt Zürich (20 von 70 Arten) und ihre Bewertung bezüglich der Biodiversität (sortiert nach Artnamen)

Baumart, deutsch	Baumart, botanisch	Wildbienen	Käfer	Schmetterlinge	Vögel	Säuger	Ø
Amerikanische Spitzweiche	<i>Quercus rubra</i>	****	****	**	****	***	3,4
Apfelbäume	<i>Malus</i> sp.	*****	****	****	****	****	4,2
Baumnuss (Walnuss)	<i>Juglans regia</i>	**	*	**	**	****	2,2
Bergahorn	<i>Acer pseudoplatanus</i>	*****	****	****	****	***	4,0
Blauglockenbaum	<i>Paulownia tomentosa</i>		*	*	**	**	1,5
Buche	<i>Fagus sylvatica</i>	**	****	*****	***	****	3,6
Eiche, exotisch	<i>Quercus</i> sp.	****	****	***	****	***	3,6
Föhre	<i>Pinus sylvestris</i>	*	****	***	****	****	3,2
Ginkgo	<i>Ginkgo biloba</i>	*	*	*	**	*	1,2
Platane	<i>Platanus x hispanica</i>	*	*	*	*	****	1,6
Robinie	<i>Robinia pseudoacacia</i>	**	*	*	*	****	1,8
Roskastanie	<i>Aesculus hippocastanum</i>	**	**	**	**	*****	2,6
Sal-Weide, Kätzchenweide	<i>Salix caprea</i>	*****	****	*****	***	****	4,2
Schnurbaum	<i>Sophora japonica</i>	**	*	*	***	*	1,6
Schwarzpappel	<i>Populus nigra</i>	*	****	*****	***	*****	3,6
Silber-Ahorn	<i>Acer saccharinum</i>	*****	***	*	**	**	2,6
Stiel-Eiche, einheimisch	<i>Quercus robur</i>	*****	*****	*****	*****	*****	5,0
Tulpenbaum	<i>Liriodendron tulipifera</i>	**	*	*	**	**	1,6
Vogelbeere, Eberesche	<i>Sorbus aucuparia</i>	*****	***	****	***	***	3,6
Winterlinde	<i>Tilia cordata</i>	*****	****	*****	*****	****	4,6

■ = Klasse 1 (4–5), ■ = Klasse 2 (3–3,9), ■ = Klasse 3 (2–2,9), ■ = Klasse 4 (1–1,9)

Die Bewertung wurde von Experten für die entsprechende Tiergruppe vorgenommen, basierend auf den Erfahrungen in eigenen Forschungsprojekten und wissenschaftlichen Publikationen. Ein Stern bedeutet einen geringen Wert für die Biodiversität der Artengruppe, 5 Sterne bedeuten einen hohen Wert für die Biodiversität. Ø bezeichnet den Durchschnittswert aus den vorhandenen Wertungen. Es sind für jede Baumart mindestens 4 der 5 Bewertungen vorgenommen worden. Eingeteilt wurden die Durchschnittswerte in vier Klassen, wobei Klasse 1 (Ø 4 bis 5) die wertvollsten Baumarten umfasst und Klasse 4 (Ø 1 bis 1,9) die am wenigsten wertvollen.

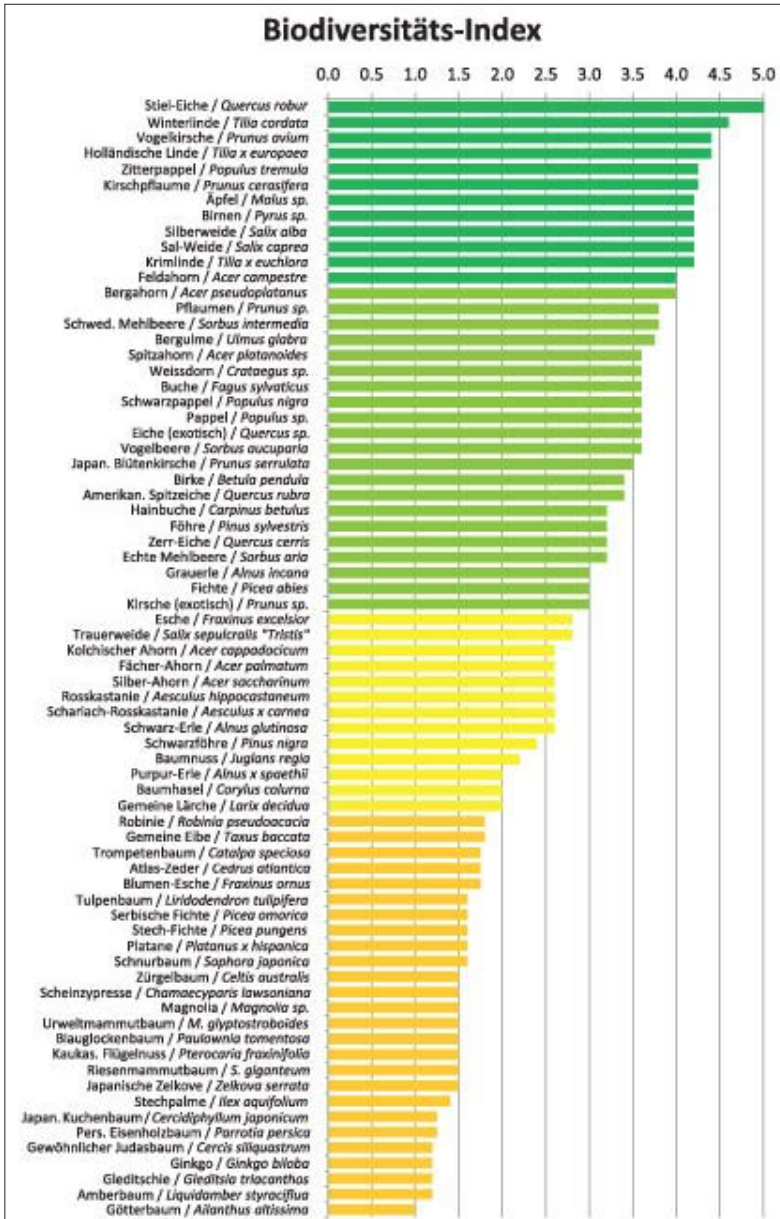


Abbildung 13: Biodiversitätsindex, sortiert nach dem Durchschnittswert. Der Biodiversitätsindex ist der Durchschnittswert aus den Bewertungen bezüglich der fünf Tiergruppen: Klasse 1 (Wert 4–5, dunkelgrün), Klasse 2 (Wert 3–3.9, hellgrün), Klasse 3 (2–2.9, gelb), Klasse 4 (1–1.9, orange) (Stand Nov. 2017).

8 Ausblick

Erstmals liegt damit eine Bewertung des ökologischen Potenzials von 70 in Mitteleuropa häufig gepflanzten Stadtbaumarten für die Praxis vor. Für die Umsetzung

müssen nun Instrumente geschaffen werden, die es ermöglichen, diesen Wert in die Planung von Grün- und Freiräumen im Siedlungsraum einzubeziehen (z. B. bei Bewertungen von alternativen Bepflanzungskonzepten). Dabei sollen sowohl die vorliegenden Empfeh-

lungen als auch der Biodiversitätsindex für die Baumartenwahl berücksichtigt werden (Abbildung 13).

Der hier vorgeschlagene Biodiversitätsindex bewertet die Baumart. Die Bewertungen wurden von Experten der entsprechenden Tiergruppen aufgrund eigener Forschungserfahrungen und Literaturstudium vorgenommen. Noch nicht berücksichtigt wird dabei das sich mit zunehmendem Alter verändernde ökologische Potenzial einer Baumart, etwa bezüglich des Kronenvolumens, des Potenzials, Totholzstrukturen zu bilden oder weiterer Ökosystemleistungen. Zudem ist der ökologische Wert von vielen standortfremden, sogenannten exotischen Baumarten für die einheimische Fauna unzureichend untersucht und kann damit bei vielen Arten noch nicht befriedigend in deren Biodiversitätsindex einfließen. Gerade im Hinblick auf den Klimawandel und die oft belasteten Standorte in urbanen Gebieten werden häufig exotische Baumarten gepflanzt, welche den Bedingungen besser standhalten als einheimische Arten. Hier ist zusätzliche Forschung vonnöten. Wünschenswert wäre deshalb eine Weiterentwicklung des Biodiversitätsindex, welche weitere Baumarten bewertet und zusätzliche Aspekte in die Baumartenbewertung einbezieht.

Dank

Den Expertinnen und Experten für verschiedene Organismen danken wir für ihre wertvollen Auskünfte zu den ökologischen Beziehungen zwischen Bäumen und ihrer jeweiligen Organismengruppe: *Dr. Fabio Bontadina* (Säugetiere), *Adrienne Frey* (Käfer), *Thomas Kissling* (Schmetterlinge), *Dr. Andreas Müller* (Wildbienen), *Dr. Thomas Sattler* (Vögel), *Dr. Beat Wermelinger* (Insekten), *Mathias Vögeli* (Käfer), *Dr. Antonia Zurbuchen* (Wildbienen). Herzlichen Dank an die Baumfachleute von Grün Stadt Zürich *René Lagler*, *Hans-Jürg Bosshard* und *Hans Grob* und an das Projektteam „Bäume in der Stadt“ von GSZ für die zahlreichen Anregungen zum vorliegenden Projekt.

Literatur

- ALEXANDER, K.; BUTLER, J.; GREEN, T., 2006: The value to different tree and shrub species to wildlife. *British Wildlife*, 17–28.
- AMIET, F.; KREBS, A., 2014: Bienen Mitteleuropas. Haupt Verlag, Bern, 424 S.
- CONEDERA, M.; SCHOENENBERGER, N., 2014: Wann werden gebietsfremde Gehölze invasiv? Ein methodologischer Ansatz. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 165, 6, 158–165.
- BREDE, H., KLEINSCHMIT, H.; KELM H.-J. et al., 2000: Habitatbäume und Totholz im Wald. Merkblatt Nr. 38, Niedersächsische Landesforsten, Deutschland.
- EBERT, G., 2005: Die Schmetterlinge Baden-Württembergs. Band 10, Ergänzungsband. Eugen Ulmer, Stuttgart, Tabelle Gliederung Lebensraum, Tabelle Nahrungspflanzen, 197–367.
- FERENC, M.; SEDLÁČEK, O.; FUCHS, R., 2013: How to improve urban greenspace for woodland birds: site and local-scale determinants of bird species richness. *Urban Ecosystems*, 1–16.
- FONTANA, S.; SATTLER, T.; BONTADINA, F.; MORETTI, M., 2011: How to manage the urban green to improve bird diversity and community structure. *Landscape and Urban Planning* 101, 278–28.
- GÜRLICH, S., 2009: Die Bedeutung alter Bäume für den Naturschutz. Alt- und Totholz als Lebensraum für bedrohte Artengemeinschaften. In: DUJESIEFEN, D. (Hrsg.): *Jahrbuch der Baumpflege 2009*. Haymarket Media, Braunschweig, 189–198.
- HEINRICH, A.; SALUZ, A.G., 2017: Unterpflanzungen fördern Gehölze längerfristig. *G+plus*, Magazin für die grüne Branche, Schwerpunkt Bäume 17, 13–15.
- HOME, R.; KELLER, C.; NAGEL, P.; BAUER, N.; HUNZIKER, M., 2009: Selection criteria for flagship species by conservation organizations. *Environ. Conserv.* 36, 2, 139–149.
- JULLERAT, L., VÖGELI, M., 2006: Pflege alter Bäume zum Erhalt der Totholzkäfer im Stadtgebiet. Bericht, Centre Suisse de Cartographie de la Faune CSCF, Neuchâtel, 20 S.
- KEGEL, B., 1999: Die Ameise als Tramp. Von biologischen Invasionen. Ammann Verlag, Zürich, 420 S.
- KENNEDY, C.E.J.; SOUTHWOOD, T.R.E., 1984: The Number of Species of Insects Associated with British Trees: A Re-Analysis. *Journal of Animal Ecology* 53, 2, 455–478.
- KIRKPATRICK, J.B.; DAVISON, A.; DANIELS, G.D., 2012: Resident attitudes towards trees influence the planting and removal of different types of trees in eastern Australian cities. *Landscape and Urban Planning* 107, 2, 147.
- KLEINBAUER, I.; DÜLLINGER, S.; PETERSEIL, J.; ESSL, F., 2010: Climate change might drive the invasive tree *Robinia pseudoacacia* into nature reserves and endangered habitats. *Biological Conservation*, 141, 382–390.
- LEATHER, S.R., 1986: Insect Species Richness of the British Rosaceae: The Importance of Host Range, Plant Architecture, Age of Establishment, Taxonomic Isolation and Species-Area Relationships. *Journal of Animal Ecology* 55, 3, 841–860.
- MEIER, S., 2009: Beurteilung des ökologischen und ökonomischen Wertes von Habitatbäumen in Wirtschaftswäldern am Beispiel des Forstbetriebs Baden. Masterarbeit an der ETH Zürich, Departement Umweltwissenschaften, Institut für Terrestrische Ökosysteme, 107 S.
- MÖLLER, G., 2012: Habitatbäume und Baumpflege. Erkennung, Erhalt und Entwicklung der Lebensräume rechtlich geschützter Käferarten. In: DUJESIEFEN, D. (Hrsg.): *Jahrbuch der Baumpflege 2012*, Haymarket Media, Braunschweig, 68–80.
- MUFF, F., 2012: Keine Bäume mehr am Strassenrand? *Umweltpraxis* 69, Juli 2012, 23–24.

- OBRIST, M.K.; SÄTLER, TH.; HOME, R.; GLOOR, S.; BONTADINA, F.; NOBIS, M.; BRAAKER, S.; DUELLI, P.; BAUER, N.; DELLA BRUNA, P.; HUNZIKER, M.; MORETTI, M., 2012: Biodiversität in der Stadt – für Mensch und Natur. Merkblatt für die Praxis 48, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 12 S.
- PROPPE, D.S.; STURDY, C.B.; ST CLAIR, C.C., 2013: Anthropogenic noise decreases urban songbird diversity and may contribute to homogenization. *Global change biology* 19, 4, 1075–1084.
- ROLOFF, A., 2013: Bäume in der Stadt. Eugen Ulmer, Stuttgart, 254 S.
- SÄTLER, T.; DUELLI, P.; OBRIST, M.K.; ARLETTAZ, R.; MORETTI, M., 2010: Response of arthropod species richness and functional groups to urban habitat structure and management. *Landscape Ecol.* 25, 941–954.
- SOUTHWOOD, T.R.E., 1961: The Number of Species of Insect Associated with Various Trees. *Journal of Animal Ecology* 30, 1, 1–8.
- SPOHN, M.; SPOHN, R., 2016: Bäume und ihre Bewohner. Haupt Verlag, Bern, 104 S.
- STROHBACH, M.W.; LERMAN, S.B.; WARREN, P.S., 2013: Are small greening areas enhancing bird diversity? Insights from community-driven greening projects in Boston. *Landscape and Urban Planning* 114, 69–79.
- TALLAM, D.W.; SHROPSHIRE, K.J., 2008: Ranking Lepidopteran Use of Native Versus Introduced Plants. *Conservation Biology* 23, 4, 941–947.
- THOMSEN, I.M., 2014: Das Eschentriebsterben an Stadt- und Straßenbäumen – eine Situationsbeschreibung aus Dänemark. In: DUJESIEFEN, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2014. Haymarket Media, Braunschweig, 101–108.
- TURCEK, F., 1961: Ökologische Beziehungen der Vögel und Gehölze. Verlag der Slowakischen Akademie der Wissenschaften, Bratislava, 212 S.
- TURCEK, F., 1967: Ökologische Beziehungen der Säugetiere und Gehölze. Verlag der Slowakischen Akademie der Wissenschaften, Bratislava, 330 S.
- VINCENT, E.K., 2005: Investigating the causes of the decline of the urban House Sparrow *Passer domesticus* population in Britain. PHD Thesis, de Montfort University, Leicester, 302 S.
- WESTRICH, P., 2015: Wildbienen. Die anderen Bienen. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 168 S.
- WILLIAMSON, M., 1996: Biological Invasions. Chapman & Hall, London.
- ZURBUCHEN, A., MÜLLER, A., 2012: Wildbienenschutz – von der Wissenschaft zur Praxis. Haupt Verlag, Bern, Bristol-Stiftung, Zürich, Stuttgart, Wien, 162 S.

Autorinnen

Sandra Gloor ist seit dem Studium als Wildtierbiologin selbstständig und arbeitet seit 20 Jahren in der Geschäftsleitung der privaten Arbeitsgemeinschaft SWILD für Stadtökologie, Wildtierforschung und Kommunikation. Sie promovierte zum Thema Siedlungsfüchse und arbeitet in den Arbeitsschwerpunkten Siedlungsökologie, Citizen Science und Kommunikation.

Dr. Sandra Gloor
SWILD – Stadtökologie,
Wildtierbiologie,
Kommunikation
Wubstrasse 12
CH-8003 Zürich
Tel.: +41 (0) 44 450 68 07
E-Mail: sandra.gloor@swild.ch



Margrith Göldi Hofbauer studierte nach einer Lehre als Zierpflanzengärtnerin Landschaftsarchitektur an der Hochschule für Technik, Rapperswil. Sie absolvierte ein Nachdiplomstudium in Raumplanung und ein CAS in Betriebswirtschaft und Führungskompetenz in der öffentlichen Verwaltung. Sie ist Co-Fachbereichsleiterin Freiraumplanung bei Grün Stadt Zürich.

Margrith Göldi Hofbauer
Grün Stadt Zürich
Beatenplatz 2
CH-8001 Zürich
Tel.: +41 (0) 44 412 42 79
margrith.goeldi@zuerich.ch



Klimawandel und Baumartenwahl in der Stadt – Entscheidungsfindung mit der Klima-Arten-Matrix (KLAM)

Von Prof. Dr. Andreas Roloff, Dr. Stephan Bonn und Dipl.-Forstw. Sten Gillner

Zusammenfassung

Mit einer Forschungsstudie werden auf Grundlage vorhandener belastbarer Publikationen über 250 der in mitteleuropäischen Städten, Parks und Gärten verwendeten Gehölzarten hinsichtlich ihrer Eignung bei dem prognostizierten Klimawandel eingeordnet und bewertet. Dafür wurde eine neue Klima-Arten-Matrix (KLAM) entwickelt. Für diese werden Trockenstress-Toleranz und Winterhärte in jeweils 4 Stufen als entscheidende Kriterien herangezogen, um die Gehölze zweidimensional in 16 Kategorien abnehmender Toleranz einzustufen (von Kategorie 1.1, den bestgeeigneten Arten, bis 4.4, den nur sehr eingeschränkt verwendbaren Arten). Damit liegt erstmalig eine fundierte Entscheidungsmatrix für Planungen der Gehölzverwendung in der Stadt unter dem Gesichtspunkt des Klimawandels vor. Diese Ergebnisse sollen daher eine Diskussionsgrundlage sein.

Zielstellung

In einer laufenden Forschungsstudie erfolgt eine Bewertung von heimischen, neu- und nichtheimischen Baumarten im Hinblick auf ihre Toleranz gegenüber dem Klimawandel auf dem Stand des Wissens. Dabei orientiert sich die Benotung vorrangig an den Kriterien Trockentoleranz einschließlich der Ansprüche an die Bodenfeuchte und an der geforderten Winterhärte.

Das Ziel der Untersuchung besteht darin, eine Auswahl von Baumarten zu benennen, die sommerliche Trockenstressperioden gut überdauern, an die extremen städtischen Klimasituationen angepasst sind und gleichzeitig den winterlichen Temperaturen in Deutschland standhalten. Da die Bewertung anhand von Literaturstudien erfolgt, können nur Arten berücksichtigt bzw. bewertet werden, für die ausreichend zuverlässige Informationen vorliegen. Aus dieser Zielstellung heraus wurden einerseits Gehölzarten bewertet, die schon bisher eine breite Verwendung im urbanen Bereich erfahren haben, zum anderen wurden durch die Literaturrecherchen aber auch bisher selten verwendete Baumarten einbezogen, die in Gebieten mit ähnlichen Wintertemperaturen, aber verstärkten sommerlichen Trockenzeiten natürlich vorkommen. Bei Annahme der Prognosen für die nächsten Jahrzehnte,

mit abnehmenden Sommerniederschlägen bei gleichzeitiger Zunahme von Starkniederschlägen und steigenden Temperaturen besonders in den Städten, wird klar, dass eine Bewertung von Bäumen hinsichtlich ihrer Eignung für trockene Standorte unbedingt vorrangig ist.

Erschwerend für eine solche Bewertung sind die Tatsachen (ROLOFF 2004, 2006, ROLOFF & PIETZARKA 2007, ROLOFF et al. 2008),

- dass Gehölze über ein beeindruckendes Anpassungspotenzial an sich verändernde Umweltverhältnisse verfügen,
- dass man aus dem natürlichen Vorkommen einer Baumart nur sehr eingeschränkt auf die potenzielle Standortsamplitude schließen kann (Unterschied ökologisches/physiologische Optimum),
- dass das Baumalter große Bedeutung hat: junge Bäume können sich meist besser/schneller anpassen als alte,
- und dass Gehölze aufgetretenen Stress zur Anpassung an sein nochmaliges Auftreten nutzen können.

Klimaänderung und Baumartenwahl

Vor dem Hintergrund des bereits stattfindenden Klimawandels stellt sich die Frage, wie Park- und Stadtbäume, die schon jetzt teilweise extremen Bedingungen ausgesetzt sind (WITTIG 2002), mit weiteren Verschlechterungen ihrer Standortbedingungen zurechtkommen werden. Baumbiologische Konsequenzen und sich daraus ergebende Handlungsempfehlungen sind in ROLOFF & RUST (2007) dargelegt.

Der in Zukunft wachsenden Bedeutung von Bäumen im urbanen Bereich steht daher nunmehr ihre zunehmende Gefährdung durch Witterungsextreme und hier insbesondere sommerliche Hitze- und Dürreperioden gegenüber (ROLOFF 2006).

Klimatische Verhältnisse von potenziellen Herkunftsgebieten

In Deutschland gibt es bereits eine breite Streuung der klimatischen Verhältnisse. Beispielhaft für den Westen des Landes soll hier die Klimastation in Essen-Bredeney mit 931 mm jährlichem Niederschlag und einem deutlich ozeanisch geprägten Klima genannt werden. Demgegenüber liegen Leipzig-Schkeuditz mit 512 mm und Erfurt-Bindersleben mit 500 mm Jahresniederschlag im subkontinentalen Klimabereich. Da Klimaforscher von einem Rückgang der Sommerniederschläge um bis zu 50 % ausgehen (STOCK 2007), sollten zukünftige Stadtbäume ihr natürliches Areal in Klimazonen mit maximal ca. 500 mm jährlichem Niederschlag oder weniger haben. Ein weiteres wichtiges Kriterium bei der

Auswahl der Klimazonen ist möglicher Frost bis in den Mai hinein und eine ausreichende Winterfrosthärte.

Für die Verwendung als Stadtbäume in Deutschland sollten nur Arten in Betracht gezogen werden, welche mindestens den Bereich der jährlichen durchschnittlichen Tagesminimumtemperatur von -17,8 °C bis -23,3 °C ertragen. Dieser Wertebereich entspricht der Winterhärtezone 6 (nach HEINZE & SCHREIBER 1984, BÄRTELS 2001, ROLOFF & BÄRTELS 2006), sie gilt hier zwar vornehmlich für Ostdeutschland, damit ist und bleibt man aber auf der sicheren Seite, was so beabsichtigt ist. Nach HEINZE & SCHREIBER (1984) ist eine 80-prozentige Überlebenschance eines Gehölzes in der ihm zugeordneten niedrigsten Winterhärtezone zu erwarten.

Vorgehensweise für die Bewertung der Trockentoleranz und der Winterhärte

Für die Bewertung der Baumarten wurden zunächst der Lebensbereich sowie die Boden- und Klimafaktoren nach KIERMEYER (1995) und ROLOFF & BÄRTELS (2006) hinsichtlich ihrer Eignung für trockene Standorte eingeordnet. Dabei erfolgt eine Benotung von 1 bis 4. Die Note 1 wurde vergeben, wenn sich die Art in der jeweiligen Kategorie als sehr gut geeignet für trockene Standorte erweist, und die Zuordnung 4 erfolgte bei nur sehr eingeschränkter Eignung.

Auch die Gesamtnote der Winterhärte, in die die Einzelwertungen der Winterhärtezone, der Winterhärte, der Frostempfindlichkeit und der Spätfrostgefährdung einfließen, wurde mit sehr geeignet (1), geeignet (2), problematisch (3) und sehr eingeschränkt geeignet (4) klassifiziert.

Am folgenden Beispiel für die Flaum-Eiche (*Quercus pubescens* WILLD. subsp. *pubescens*) wird die Vorgehensweise erläutert (Tab. 2).

Der Lebensbereich (Spalte A) der Flaum-Eiche, also die Standorte ihres bevorzugten Vorkommens, sind die Steppengehölze und Trockenwälder. Deshalb ist diese Baumart an sommertrockenes, warmes Klima adaptiert und erhält die Bewertung 1. Der Bodenfaktor (Spalte B) der Flaum-Eiche deutet auf einen mäßig trockenen bis frischen Standort, auf dem sie Luft- und Bodentrockenheit verträgt (Bewertung 2). Auch die Angaben zum Klimafaktor (Spalte C) konnten mit 1 (sehr geeignet für trockene Standorte) bewertet werden.

Tabelle 1: Bewertung der Trockentoleranz und Winterhärte am Beispiel der Flaum-Eiche (*Quercus pubescens* WILLD. subsp. *pubescens*)

<i>Quercus pubescens</i> WILLD. subsp. <i>pubescens</i>	Trockentoleranz			Winterhärte				I	J	K	L
	A	B	C	E	F	G	H				
Einordnung	6	3	2	6b		(x)	(x)	>20			
Einzelwertung (Note)	1	2	1	1	1	2	3				
Gesamt (Finalnoten)			1,33				1,75		1	1	w*
Bewertung (Notenpaar)				1.2							

* w = winterhart

Erläuterung:

- A Lebensbereich nach ROLOFF & BÄRTELS (2006)
- B Bodenfaktoren nach ROLOFF & BÄRTELS (2006)
- C Klimafaktoren nach ROLOFF & BÄRTELS (2006)
- E Winterhärtezone nach ROLOFF & BÄRTELS (2006)
- F Frostempfindlich nach ROLOFF & BÄRTELS (2006)
- G Frosthart nach ROLOFF & BÄRTELS (2006)
- H Spätfrostgefährdet nach ROLOFF & BÄRTELS (2006)
- I Höhe in m nach ROLOFF & BÄRTELS (2006)
- J Trockentoleranz nach weiteren Literaturangaben
- K Bodenansprüche nach weiteren Literaturangaben
- L Winterhärte nach weiterer Literatur

Anschließend werden diese drei Einzelnoten durch einfache Mittelwertbildung zu einem Gesamtwert der Trockentoleranz für die Angaben nach ROLOFF & BÄRTELS (2006) verdichtet, der für die Flaum-Eiche 1,33 beträgt und somit auf eine sehr gute Eignung für Trockenstandorte verweist. Als zweiter Parameter wurde die Winterhärte bewertet. Dabei ist die Flaum-Eiche nach ROLOFF & BÄRTELS (2006) ab der Winterhärtezone 6b zu finden (Spalte E; sehr geeignet = 1), nicht frostempfindlich (Spalte F) und mäßig bis meist frosthart (Spalte G; geeignet = 2). Gelegentlich können Spätfroste Schäden verursachen (Spalte H), deshalb wurde dieser Punkt mit 3 (kritisch) bewertet. Insgesamt ist die Flaum-Eiche jedoch in unseren Breiten winterhart genug, was durch den Mittelwert von 1,75 zum Ausdruck kommt (Tab. 1).

Zusätzlich wurden der Gesamtwert für die Eignung für Trockenstandorte und der Gesamtwert für die Winterhärte durch Literaturstudien (z.B. BÄRTELS 2001, HIEKE 1989, KRÜSSMANN 1977, 1983, MEYER 1982, SAKAI & LARCHER 1987, SCHÜTT et al. 2007, SKINNER & WILLIAMS 2004, SOMMER 2007, WARDA 2001) jeder einzelnen Baumart überprüft und nach den Kriterien Trockentoleranz (Spalte J: trockenresistent, dürreresistent, verträgt Trockenheit, reagiert empfindlich auf Trockenheit, etc.), Bodenansprüche (Spalte K: toleriert Bodentrockenheit, verträgt mäßig trockene Böden, frische, feuchte Böden etc.) und Winterhärte (Spalte L: winterhart, frostempfindlich, spätfrostgefährdet, frühfrostgefährdet) bewertet. Am Beispiel der Flaum-Eiche wird durch die Bewertung weiterer Literaturangaben die bis dahin ermittelte sehr gute Eignung für Trockenstandorte bei einer ausreichend

bis guten Winterhärte bestätigt (Tab. 1, Spalten J, K, L). Daraufhin wurde die Flaum-Eiche letztendlich mit dem Notenpaar 1.2 bewertet und in die entsprechende Kategorie 1.2 aufgenommen, d.h. dass sie in der Kategorie Trockentoleranz als sehr geeignet und in der Kategorie Winterhärte als geeignet eingestuft wird.

Sind nach ROLOFF & BÄRTELS (2006) für die betreffende Art mehrere Lebensbereiche angeführt, in denen die Art eine unterschiedliche Bewertung der Trockentoleranz erzielte, richtet sich die Endbewertung der Trockentoleranz für ROLOFF & BÄRTELS (2006) grundsätzlich nach der besseren Benotung, da hier nicht das standortspezifische Optimum der Art von Interesse ist, sondern die Eignung für Trockenstandorte. Arten, die eine abweichende Bewertung nach weiteren Literaturangaben im Vergleich zur Gesamtwertung nach ROLOFF & BÄRTELS (2006) erhielten, wurden nochmals kritisch daraufhin beurteilt, ob sie sich für trockene Standorte eignen.

Ergebnisse

Ausgehend von der Bewertung können die Baumarten in 4 verschiedene Kategorien der Trockentoleranz eingestuft werden. Dabei sind diese Kategorien nochmals nach dem Grad der Winterhärte in 4 Spalten untergliedert, wodurch sich insgesamt 16 Unterkategorien bzw. "Notenpaare" ergeben. Diese lassen sich auch als Matrix darstellen (Klima-Arten-Matrix = KLAM, ROLOFF et al. 2008) und dadurch besser in ihrer Einstufung vorstellen (Abb. 1).

		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

Abb.1: Abstufungen in der Klima-Arten-Matrix (KLAM) mit 16 Bewertungen ("Notenpaare") nach Trockentoleranz und Winterhärte

Abstufungen in Ampelfarben: grün = "sehr gut geeignet": 1.1, 1.2 / grün-gelb = "gut geeignet": 1.3, 2.1, 2.2 / gelb = "geeignet aber z.T. problematisch": 2.3, 3.1, 3.2, 3.3 / rot = "nur sehr eingeschränkt geeignet": 1.4, 2.4, 3.4, 4.1, 4.2, 4.3 / violett = "ungeeignet": 4.4

In dem nachfolgenden Auszug aus der sog. Klima-Arten-Matrix (Tab. 2) sind heimische und nichtheimische Baumarten mit einer Endhöhe von über 10 m einbezogen, die mit eindeutigem Ergebnis geprüft wurden. Nicht enthalten sind Bäume mit einer Endhöhe unter 10 m, Sträucher und Kletterpflanzen, sowie Bäume, deren Prüfung negativ ausfiel oder über die noch nicht hinreichende Informationen vorliegen. Zudem sind mögliche Pathogenrisiken und weitere spezielle Faktoren nicht berücksichtigt, die entweder nicht hart bewertbar sind oder für die jeder Anwender der Matrix selbst unterschiedliche zusätzliche Ansprüche formuliert, wie z.B. ästhetische Kriterien, Salztoleranz u.ä. (s. SOMMER 2007). Nachfolgend werden nur die bestgeeigneten Baumarten der Kategorien 1.1-1.2 und 2.1-2.2 ("Favoriten") vorgestellt, zu den weiteren Arten und Straßenbaumarten siehe ROLOFF et al. (2008 a, b), darin wurde auch eine Abgleichung mit der GALK-Liste (2006) vorgenommen.

Tabelle 2: Klima-Arten-Matrix (KLAM), Auswahl "Favoriten" – Einstufung wichtiger Baumarten nach ihrer Eignung für eine Verwendung im Stadtbereich bei prognostiziertem Klimawandel (fett: heimische Arten); Version 05-2008

1.1 Bäume, die nach der Bewertung in beiden Kategorien (**Trockentoleranz, Winterhärte** [Frostempfindlichkeit, Frosthärte, Spätfrostgefährdung]) als **sehr geeignet** eingestuft werden

Botanischer Name	Deutscher Name
<i>Acer campestre</i> L. subsp. <i>campestre</i>	Feld-Ahorn
<i>Acer negundo</i> L. subsp. <i>negundo</i>	Eschen-Ahorn
<i>Acer x zoeschense</i> Pax	Zoeschener Ahorn
<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	Grau-Erle
<i>Cladrastis sinensis</i> Hemsl.	Chinesisches Gelbholz
<i>Fraxinus pallisiae</i> Wimott ex Pallis	Behaarte Esche
<i>Juniperus communis</i> L. subsp. <i>communis</i>	Gewöhnlicher Wacholder
<i>Juniperus scopulorum</i> Sarg.	Westliche Rotzeder
<i>Juniperus virginiana</i> L.	Rotzeder
<i>Ostrya carpinifolia</i> Scop.	Gemeine Hopfenbuche
<i>Phellodendron sachalinense</i> (Fr. Schmidt) Sarg.	Sachalin-Korkbaum
<i>Pinus heldreichii</i> H. Christ	Panzer-Kiefer
<i>Pinus nigra</i> Arnold subsp. <i>nigra</i>	Schwarz-Kiefer
<i>Pinus sylvestris</i> L. var. <i>sylvestris</i>	Wald-Kiefer
<i>Prunus avium</i> (L.) L. var. <i>avium</i>	Vogel-Kirsche
<i>Quercus bicolor</i> Willd.	Zweifarbige Eiche
<i>Quercus macrocarpa</i> Michx. var. <i>macrocarpa</i>	Klettenfrüchtige Eiche
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Gemeine Robinie
<i>Robinia viscosa</i> Vent.	Klebrige Robinie
<i>Sorbus aria</i> (L.) Crantz	Echte Mehlbeere
<i>Sorbus badensis</i> Düll.	Badische Eberesche
<i>Sorbus x thuringiaca</i> (Ilse) Fritsch	Thüringer Mehlbeere
<i>Tilia mandshurica</i> Rupr. et Maxim.	Mandschurische Linde
<i>Ulmus pumila</i> L. var. <i>pumila</i> (<i>U. mandshurica</i> Nakai)	Sibirische Ulme

1.2 Bäume, die nach der Bewertung in der Kategorie **Trockentoleranz** als **sehr geeignet** eingestuft werden, und in der Kategorie **Winterhärte** mit **geeignet** bewertet werden

Acer opalus Mill. subsp. opalus	Schneeballblättriger Ahorn
<i>Acer rubrum</i> L.	Rot-Ahorn
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	Drüsiger Götterbaum
<i>Carya tomentosa</i> (Lam. ex Poir.) Nutt.	Spottnuss
<i>Catalpa speciosa</i> (Warder ex Barney) Engelm.	Prächtiger Trompetenbaum
<i>Cedrus brevifolia</i> (Hook.f.) Henry	Zypern-Zeder
<i>Cedrus libani</i> A.Rich. subsp. <i>libani</i>	Libanon-Zeder
<i>Celtis caucasica</i> Willd.	Kaukasische Zürgelbaum
<i>Celtis occidentalis</i> L. var. <i>occidentalis</i>	Amerikanischer Zürgelbaum
<i>Cupressus arizonica</i> Greene var. <i>arizonica</i>	Arizona-Zypresse
<i>Diospyros lotus</i> L.	Lotuspflaume
<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl subsp. <i>angustifolia</i>	Schmalblättrige Esche
<i>Fraxinus quadrangulata</i> Michx.	Blau-Esche
<i>Ginkgo biloba</i> L.	Ginkgo, Fächerbaum
<i>Gleditsia japonica</i> Micq.	Japanische Gleditschie
<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	Amerikanische Gleditschie
<i>Maackia amurensis</i> Rupr. et Maxim. var. <i>amurensis</i>	Asiatisches Gelbholz
<i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K. Koch	Virginische Hopfenbuche
<i>Pinus bungeana</i> Zucc.ex Endl.	Bunges Kiefer
<i>Pinus ponderosa</i> Douglas ex C. Lawson	Gelb-Kiefer
<i>Pinus rigida</i> Mill.	Pech-Kiefer
<i>Platanus x hispanica</i> Münchh. (<i>P. x acerifolia</i> Ait.)	Ahornblättrige Platane
Populus alba L.	Silber-Pappel
Quercus cerris L.	Zerr-Eiche
<i>Quercus coccinea</i> Münchh.	Scharlach-Eiche
<i>Quercus frainetto</i> Ten.	Ungarische Eiche
<i>Quercus macranthera</i> Fisch. et C.A. Mey. ex Hohen.	Persische Eiche
<i>Quercus montana</i> Willd. (<i>Q. prinus</i> L.)	Kastanien-Eiche
<i>Quercus muehlenbergii</i> Engelm.	Gelb-Eiche
Quercus pubescens Willd. subsp. pubescens	Flaum-Eiche
<i>Sophora japonica</i> L.	Japanischer Schnurbaum
Sorbus domestica L.	Speierling
Sorbus latifolia (Lam.) Pers.	Breitblättrige Mehlbeere
Sorbus torminalis (L.) Crantz	Elsbeere
<i>Thuja orientalis</i> L. (<i>Platyclusus orientalis</i> (L.) Franco)	Morgenländischer Lebensbaum
<i>Tilia tomentosa</i> Moench	Silber-Linde

2.1 Bäume, die nach der Bewertung in der Kategorie **Trockentoleranz** als **geeignet** eingestuft werden, und in der Kategorie **Winterhärte** mit **sehr geeignet** bewertet werden

<i>Acer buergerianum</i> Miq.	Dreispitziger Ahorn
Acer platanoides L.	Spitz-Ahorn
<i>Aesculus x carnea</i> Hayne	Rotblühende Kastanie
<i>Alnus x spaethii</i> Callier	Spaeths Erle
Betula pendula Roth	Sand-Birke
Carpinus betulus L.	Gewöhnliche Hainbuche
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marshall var. <i>pennsylvanica</i>	Grün-Esche, Rot-Esche
<i>Malus tschonoskii</i> (Maxim.) C.K. Schneid.	Woll-Apfel
<i>Picea omorika</i> (Pancic) Purk.	Serbische Fichte
<i>Populus x berolinensis</i> (K. Koch) Dippel	Berliner Pappel
Populus tremula L.	Zitter-Pappel
Sorbus intermedia (Ehrh.) Pers.	Schwedische Mehlbeere

<i>Tilia cordata</i> Mill. <i>Tilia x euchlora</i> K. Koch	Winter-Linde Krim-Linde
--	-----------------------------------

2.2 Bäume, die nach der Bewertung in beiden Kategorien (Trockentoleranz und Winterhärte) als geeignet eingestuft werden

<i>Alnus cordata</i> (Loisel.) Desf.	Herzblättrige Erle
<i>Carya ovata</i> (Mill.) K.Koch	Schuppenrinden-Hickory
<i>Castanea sativa</i> Mill.	Essbare Kastanie
<i>Celtis bungeana</i> Blume	Bungens Zürgelbaum
<i>Corylus colurna</i> L.	Baum-Hasel
<i>x Cupressocyparis leylandii</i> Dallim.	Leylandzypresse
<i>Diospyros virginiana</i> L.	Persimone
<i>Eucommia ulmoides</i> Oliv.	Guttaperchabaum
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Gemeine Esche
<i>Gymnocladus dioica</i> (L.) K. Koch	Amerikanischer Geweihbaum
<i>Nyssa sylvatica</i> Marshall	Wald-Tupelobaum
<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.	Amur-Korkbaum
<i>Pinus peuce</i> Griseb.	Rumelische Kiefer
<i>Platanus occidentalis</i> L.	Amerikanische Platane
<i>Pyrus communis</i> L.	Kultur-Birne
<i>Pyrus pyraaster</i> Burgsd.	Wild-Birne
<i>Quercus imbricaria</i> Michx.	Schindel-Eiche
<i>Quercus palustris</i> Münchh.	Sumpf-Eiche
<i>Quercus robur</i> ssp. <i>sessiliflora</i> (Salisb.) A. DC.	Trauben-Eiche
(<i>Q. petraea</i> (Matth.) Liebl.)	
<i>Quercus rubra</i> L.	Rot-Eiche
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq.	Japanische Ulme
<i>Zelkova serrata</i> (Thunb. Ex Murray) Makino	Japanische Zelkove

Literatur

- BÄRTELS, A. (2001): Enzyklopädie der Gartengehölze. Stuttgart: Ulmer, 800 S.
- GALK (Gartenamtsleiterkonferenz des Deutschen Städtetages), 2006: Straßenbaumliste 2006 – Beurteilung von Baumarten für die Verwendung im städtischen Straßenraum. www.galk.de
- HEINZE, W.; SCHREIBER, D. (1984): Eine neue Kartierung der Winterhärtezonen für Gehölze in Mitteleuropa. Mitt. Dt. Dendrol. Ges. 75: 11-56
- HIEKE, K. (1989): Praktische Dendrologie. 2-bändig. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag
- KIERMEYER, P. (1995): Die Lebensbereiche der Gehölze. 3. Aufl. Pinneberg: Verlagsges. Grün ist Leben, 108 S. + CD
- KRÜSSMANN, G. (1977): Handbuch der Laubgehölze. 3-bändig. Berlin, Hamburg: Parey, 466 S.
- KRÜSSMANN, G. (1983): Handbuch der Nadelgehölze. Berlin, Hamburg: Parey, 396 S.
- MEYER, F.H. (Hrsg.) (1982): Bäume in der Stadt. Stuttgart: Ulmer, 380 S.
- ROLOFF, A. (2004): Bäume – Phänomene der Anpassung und Optimierung. Landsberg: Ecomed, 276 S.
- ROLOFF, A. (2006): Bäume in der Stadt – was können sie fernab des Naturstandortes ertragen? Forst u. Holz 61: 350-355

- ROLOFF, A., BÄRTELS, A. (2006): Flora der Gehölze - Bestimmung, Eigenschaften, Verwendung. Stuttgart: Ulmer, 847 S.
- ROLOFF, A.; BONN, S.; GILLNER, S. (2008a): Konsequenzen des Klimawandels – Vorstellung der Klima-Arten-Matrix (KLAM) zur Auswahl geeigneter Baumarten. Stadt+Grün 57: 53-60
- ROLOFF, A.; BONN, S.; GILLNER, S. (2008b): Klimawandel und Baumartenwahl in der Stadt – als Straßenbäume geeignete Arten. Allg. Forstztschr. / Der Wald 63: 398-399
- ROLOFF, A.; PIETZARKA, U. (2007): Zur Baumartenwahl am urbanen Standort – welche Bedeutung hat die Unterscheidung von "Pionier-/Klimaxbaumarten"? In: DUJESIEFKEN, D.; KOCKERBECK, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2007, 157-168. Braunschweig
- ROLOFF, A.; RUST, S. (2007): Reaktionen von Bäumen auf die Klimaänderung und Konsequenzen für die Verwendung. In: ROLOFF, A.; THIEL, D.; WEIß, H. (Hrsg.): Urbane Gehölzverwendung im Klimawandel und aktuelle Fragen der Baumpflege. Forstw. Beitr. Tharandt Beiheft 6: 16-28
- SAKAI, A.; LARCHER, W. (1987): Frost survival of plants. Berlin et al.: Springer, 321 S.
- SCHÜTT, P.; WEISGERBER, H.; LANG, U.-M.; ROLOFF, A.; STIMM, B. (2007): Enzyklopädie der Holzgewächse – Handbuch und Atlas der Dendrologie. Landsberg: Ecomed, 4.321 S.
- SKINNER, H.; WILLIAMS, S. (2004): Best trees and shrubs for the prairies. Calgary, Alberta: Fifth House, 213 S.
- SOMMER, N. (2007): Gehölzsortimente und ihre Verwendung. BdB-Handbuch V. Wien: Österr. Agrarverlag, 144 S.
- STOCK, M. (2007): www.pik-potsdam.de/~stock
- WARDA, H.-D. (2001): Das große Buch der Garten- und Landschaftsgehölze. Bad Zwischenahn: Bruns Pflanzen, 935 S.
- WITTIG, R. (2002): Siedlungsvegetation. Stuttgart: Ulmer, 252 S.

Autoren:

Prof. Dr. ANDREAS ROLOFF. Dr. STEPHAN BONN und Dipl.-Forstw. STEN GILLNER
 Institut für Forstbotanik und Forstzoologie der TU Dresden
 Pienner Str. 7
 01737 Tharandt
 Tel. 035203-3831202; Fax 035203-3831272
 e-mail: roloff@forst.tu-dresden.de