

Sebastian  
Leuzinger

# Blatttemperatur von Bäumen im städtischen Umfeld

---

**PRO** BAUM ZEITSCHRIFT  
FÜR PFLANZUNG,  
PFLEGE UND  
ERHALTUNG

# Blatttemperatur von Bäumen im städtischen Umfeld

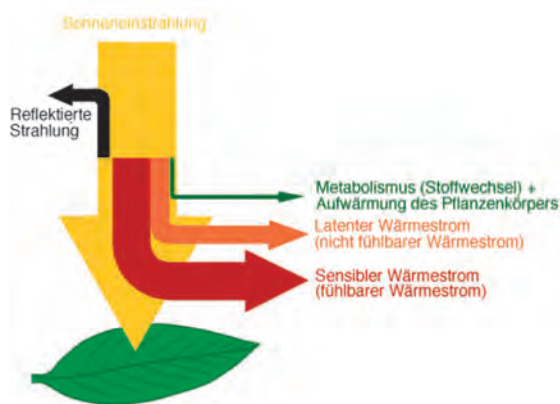
Stadt- und Parkbäume werden mit der globalen Erwärmung zunehmend höheren Temperaturen ausgesetzt. **Doch nicht alle Baumarten reagieren gleich auf hohe Lufttemperaturen.**

Damit beschäftigt sich eine Studie des Botanischen Instituts in Zusammenarbeit mit dem Institut für Meteorologie der Universität Basel. Die Ergebnisse müssen unter Umständen bei Pflanzungen berücksichtigt werden.

Siebzig Prozent des Wassers, das über Europa verdunstet wird, stammt aus den Blättern der Pflanzen. Die Transpirationskühlung, die dabei entsteht, wird von den Pflanzen gesteuert, letztere kann man damit als eigentliche Klimaingenieure bezeichnen. Im urbanen Umfeld tragen Grünflächen nebst ihrer ästhetischen Wirkung wesentlich zur Kühlung und damit zu unserem Wohlbefinden bei. Dies ist vor allem in größeren Siedlungen, die wie Hitzeinseln wirken, von Bedeutung. Gezielte Baumpflanzungen können erheblich zur Energieersparnis beitragen, da sich im besten Fall Klimaanlage erübrigen. Auf der anderen Seite sind unsere Stadt- und Parkbäume durch die globale Erwärmung zunehmend höheren Temperaturen ausgesetzt. Nicht alle Baumarten reagieren aber gleich auf hohe Lufttemperaturen, was unter Umständen bei Pflanzungen berücksichtigt werden muss.

## Das Blatt als Klimaanlage

Um zu verstehen, wie Bäume unser Stadtklima beeinflussen, aber auch wie sich erhöhte Temperaturen auf unsere Bäume auswirken, müssen wir uns zuerst vor Augen führen, was mit der Energie geschieht, die mit der Sonnenstrahlung auf ein einzelnes Blatt einwirkt. Wenn wir einen nassen Finger in die Luft halten, so fühlt sich dieser kühler an als ein trockener. Obwohl Blätter sich an der Oberfläche nicht nass sind, funktionieren sie genauso. Mit nur einem Prozent Porenfläche können sie durch interne Oberflächenvergrößerung gleich viel Wasser verdunsten wie eine gleich große Wasseroberfläche. Wenn das Wasser knapp wird, schließen die Blätter ihre Poren, die Transpirationskühlung verringert sich. Die Pflanze hat also über das Stellorgan ‚Blattpore‘ die Möglichkeit, ihre Oberflächentemperatur zu beeinflussen. Die mit der Sonneneinstrahlung auf dem Blatt eintreffende Energie beträgt in etwa  $500 \text{ W/m}^2$ , was der Energie fünf herkömmlicher  $100 \text{ W}$  Glühlampen entspricht. Würde diese Energie nicht zu einem großen Teil laufend abgeführt, würde sich das Blatt beliebig erwärmen. Zur Abführung der Strahlungsenergie stehen dem Blatt grundsätzlich vier Wege zur



Verfügung: (1) die Abgabe von Wärme an die umgebende Luft durch Konvektion (sensibler oder fühlbarer Wärmestrom), (2) die Transpirationskühlung (latenter oder nicht-fühlbarer Wärmestrom), (3) die Weitergabe von Wärme an den Pflanzenkörper, und (4), die Umsetzung von Energie in der Photosynthese. (Abb. 1)

Wie viel Energie als fühlbare Wärme an die Umgebung abgegeben wird, hängt mehrheitlich von der Beschaffenheit der Blattoberfläche (Behaarung, Form, Blattrandung, Farbe, Wachsschicht) sowie der Blatt- und Astarchitektur zusammen. Evolutiv betrachtet haben Blätter unter anderem deshalb eine bestimmte Gestalt, um optimal gekühlt, beziehungsweise optimal aufgewärmt zu werden. Ein Extrembeispiel sind dicht wachsende alpine Polsterpflanzen, die, bei einer Umgebungstemperatur von nur mal  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , durch anatomische Anpassungen mit einer Oberflächentemperatur von  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  locker tropische Verhältnisse und dementsprechend auch hohe Wachstumsraten schaffen. Bäume dagegen sind mit ihrer Wuchsform viel stärker an die Lufttemperatur gekoppelt, können aber immer noch um mehrere Grad Celcius von ihr abweichen, wie später gezeigt wird. Kurzfristig, das heißt während eines Tagesverlaufs, bleibt dem Blatt noch die Anpassung der Transpirationskühlung anhand der Öffnungsweite der Blattporen, was sich direkt auf den latenten Wärmestrom auswirkt. Dabei werden sehr große Energiemengen umgesetzt.

Sebastian Leuzinger

Abb. 1: Die Blattenergiebilanz (vereinfacht): Vom Nettoenergieeintrag auf ein Blatt fließt nur ein kleiner Teil in den Metabolismus und in die Erwärmung der Pflanzenteile. Der grösste Teil wird als fühlbare Wärme abgeleitet und zur Umwandlung von Wasser zu Wasserdampf (latenter Wärmestrom) verbraucht.

Grafik: S. Riedl, Basel

Abb. 2: Ein Teil des Basler Rheinuferes als Thermalbild. Dächer werden über 60°C heiss, Grünflächen bleiben kühl.  
R. Vogt und S. Leuzinger

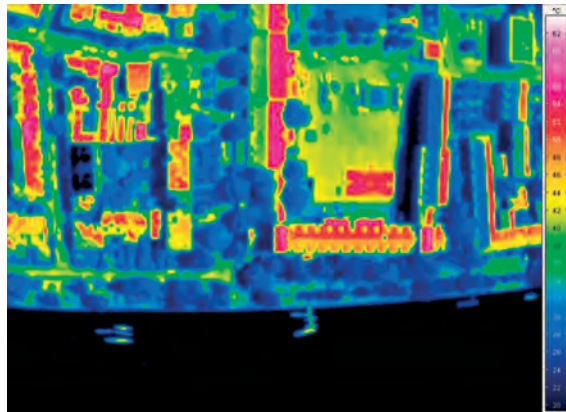


Abb. 4: Thermalbild eines Mischwalds bei einer Lufttemperatur von 25°C. Aus: Leuzinger S, Körner C (2007) Tree species diversity affects canopy leaf temperatures in a mature temperate forest. Agricultural and Forest Meteorology 146: 29–37. Grafik: S. Riedl, Basel

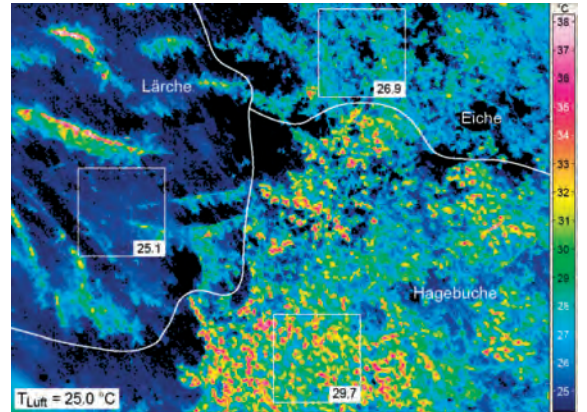
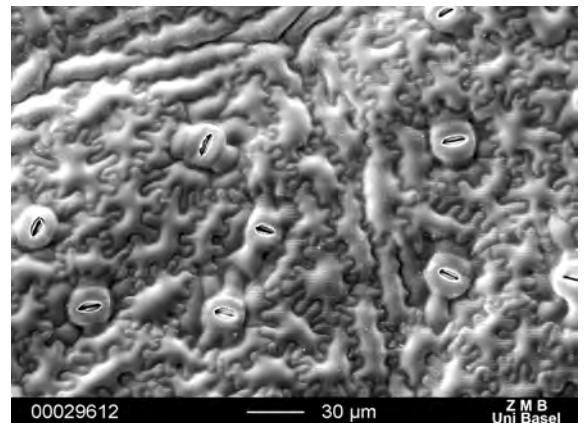
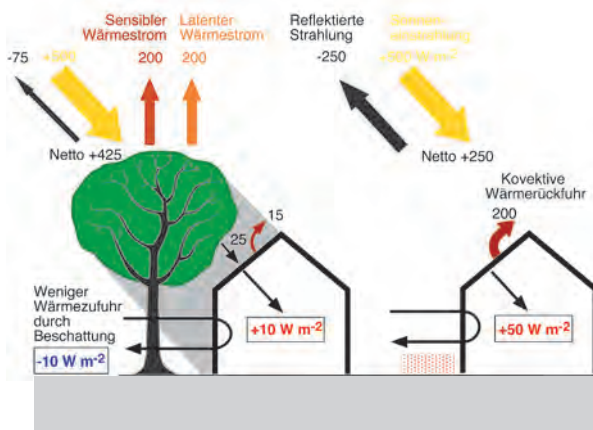


Abb. 3: Die Kühlwirkung der Bäume auf Häuser. Erklärungen im Text. Grafik: S. Riedl, Basel



Blick durch ein Mikroskop auf die Spaltöffnungen eines Blattes. Im Tagesverlauf kann das Blatt mit ihrer Hilfe die Transpirationskühlung regulieren.

### Unterschätzte Kühlwirkung der Bäume

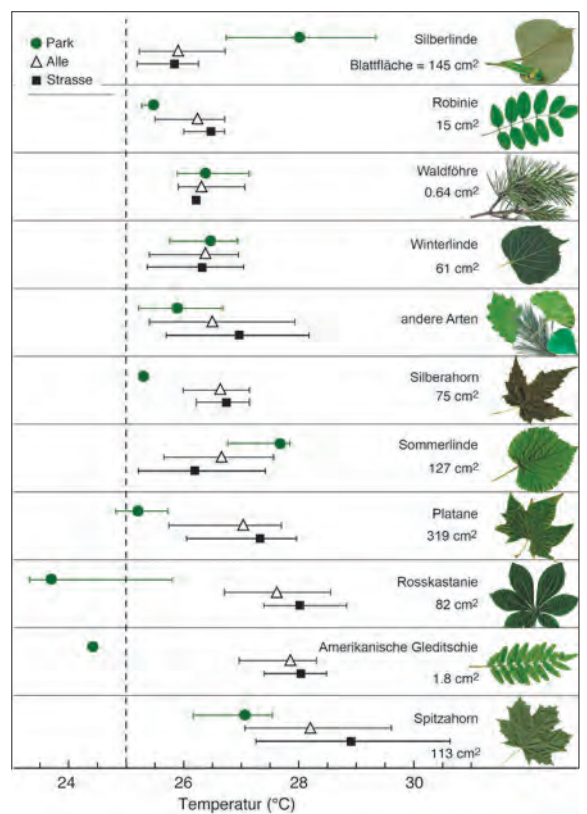
Die Energie, die für diese Umsetzung von Wasser zu Wasserdampf benötigt wird, entzieht sich dem System und kühlt die Umgebung entsprechend ab. Umgekehrt gesprochen fehlt diese Kühlwirkung in städtischer Umgebung, wo praktisch die gesamte Energie, die durch die Sonnenstrahlung eintrifft in fühlbare Wärme umgewandelt wird. In Los Angeles zum Beispiel werden die Kosten, die zur Kühlung dieser städtischen Hitzeinsel aufgewendet werden müssen auf \$ 100 Mio. pro Jahr geschätzt. Eine Thermal fotografie aus 300-m-Höhe des Rheinuferes in Basel veranschaulicht die massive Hitze, die von Straßen und Dächern ausgeht. (Abb. 2) Die dunkle (kühle) Fläche ist der Rhein, Dächer heizen sich bis auf über 60 °C auf, Bäume und Grünflächen bleiben um die 26 °C.

Anhand eines Beispiels mit einem Einfamilienhaus lässt sich einfach errechnen, welche ökologischen und damit auch ökonomischen Vorteile gezielte Baumpflanzungen bewirken können. Betrachten wir zwei vereinfachte Szenarien eines allein stehenden Hauses, einmal mit gezielter Baumpflanzung und einmal ohne. (Abb. 3)

Bei einer brutto Einstrahlung von 500 W/m<sup>2</sup> werden an der wenig reflektierenden Baumkrone 75 W/m<sup>2</sup> zurückgeworfen, von den verbleibenden 425 W/m<sup>2</sup> werden je 200 W/m<sup>2</sup>

Abb. 5: Mittlere Oberflächentemperaturen von Bäumen in Parks und Strassenschluchten an einem Sommertag in der Stadt Basel.

Aus: Leuzinger S, Vogt R, Körner C (2010) Tree surface temperature in an urban environment. Agricultural and Forest Meteorology 150: 56–62, Grafik: S. Riedl, Basel



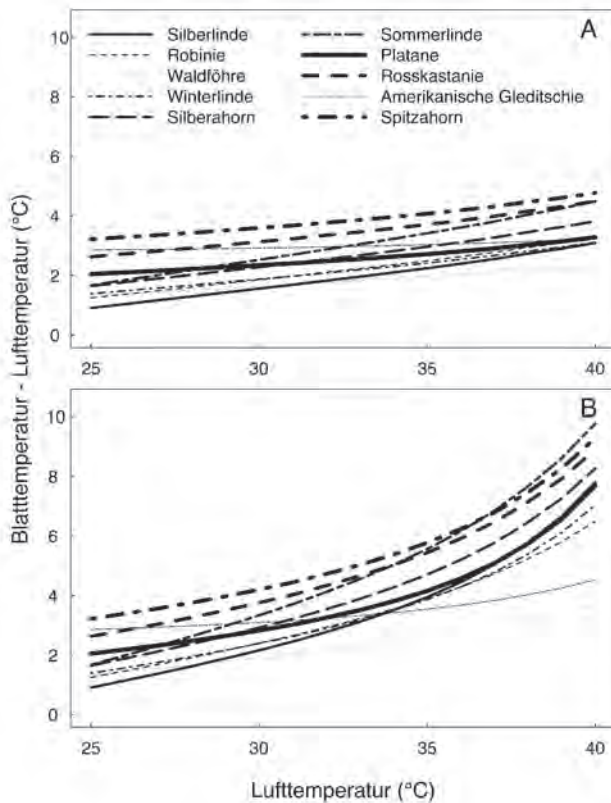


Abb. 6: Modellierte Differenz zwischen Kronentemperatur und Lufttemperatur bei steigender Umgebungstemperatur, (A) bei genügend Bodenwasser und (B) bei Wasserknappheit.

in sensible resp. latente Wärme umgewandelt. Auf dem Dach des beschatteten Hauses treffen also nur noch 25 W/m<sup>2</sup> ein, 15 W/m<sup>2</sup> werden dort in fühlbare Wärme umgewandelt, nur 10 W/m<sup>2</sup> heizen das Haus auf, die aber durch den verminderten advektiven Wärmestrom dank der kühleren Außentemperatur kompensiert werden.

Im Fall ohne Bepflanzung wird (je nach Beschaffenheit der Außenwände und des Daches) im besten Fall etwa die Hälfte der auftreffenden Strahlung zurückgeworfen. Weitere 200 W/m<sup>2</sup> verlassen das System ebenfalls als fühlbaren Wärmestrom, das Haus wird dann immer noch mit einer Energie von 50 W/m<sup>2</sup> bestrahlte Wand- und Dachoberfläche aufgeheizt, der mit entsprechenden Kühlanlagen entgegnet werden kann. Über den Daumen gepeilt bewirkt ein Baum, der eine 100 m<sup>2</sup> große Fläche beschattet, in unserem Beispiel also eine Ersparnis von 10,- Euro/Tag (bei einem Strompreis von 20 Cent/ kWh). Die Kosten für die Baumpflege und gegebenenfalls Bewässerung sind um ein Vielfaches geringer.

### Wie beeinflusst die Klimaerwärmung unsere Stadtbäume?

Nebst der beschriebenen positiven Wirkung, die Bäume auf unser Stadtklima haben, steht natürlich auch die Frage im Raum, wie urbane Bäume, die ohnehin schon erschwerten



# Städte atmen auf.



Bodenverbesserung

Bewässerungsdüngung

Pflanzenschutz

Düngung



■ Bäume verbessern das Stadtklima und die urbane Lebensqualität. Sie produzieren Sauerstoff, binden Kohlendioxid, filtern Staub und Lärm.

Floranid® Baumkraft unterstützt diese Funktionen nachhaltig durch Förderung eines gesunden Baumwachstums. Die kali- und magnesiumstarke Nährstoffformulierung kombiniert mit dem Nutzorganismus *Bacillus subtilis* Selektion E4-CDX® sorgt für vitale Wuchskraft, optimale Wurzelentwicklung und erhöhte Stresstoleranz der Stadtbäume.



COMPO EXPERT ist durch jahrzehntelange Forschungsarbeit der kompetente Partner für die moderne Düngung von Stadtbäumen und urbanen Pflanzungen.

Weitere Informationen finden Sie in unserem „Ratgeber Stadtbäume“ oder unter [www.compo-expert.de](http://www.compo-expert.de)

### Thermographie

Eine Thermalkamera misst die Infrarotstrahlung und ermittelt daraus die Temperatur der abgebildeten Gegenstände. Die hier verwendete Kamera der Firma Infratec (Dresden) zeigt auf einem Bild bis zu 300 000 Temperaturpunkte. Diese werden dann mit einer Farbuordnung (zum Beispiel Blau = kühl, Rot = warm) für das menschliche Auge sichtbar gemacht. Um Unterschiede in den Oberflächentemperaturen zwischen den Baumarten zu messen, wurden Waldstücke und Teile der Stadt Basel an einem Sommertag mit einem Helikopter überflogen. Dabei zeigte sich zum Beispiel, dass die Lärche mit ihren sehr dünnen, luftumspülten Nadeln fast exakt die Lufttemperatur widerspiegelt, währenddessen sich die Kronentemperatur der Hagebuche und der Eiche einige Grad Celcius über der Lufttemperatur befindet. (Abb. 4)



Bäume in freier Landschaft und in der Stadt sind unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt. Im Zuge der globalen Erwärmung kann es dabei kritisch werden.

Wachstumsbedingungen ausgesetzt sind (Bodenversiegelung, mechanische Belastung, Schadstoffbelastung, etc.), auf die Klimaerwärmung reagieren. Genau dies zu erforschen war das Ziel einer Studie, die das Botanische Institut in Zusammenarbeit mit dem Institut für Meteorologie der Universität Basel durchführte.

Die Thermalkamera, die dabei zur Anwendung kam, bildet gleichzeitig tausende von Temperaturpunkten ab, die zusammengefügt ein Bild ergeben (siehe Box).

Auch in der Stadt tendieren Koniferen dazu, mit ihren gut an die Umgebungsluft gekoppelten, feinen Nadeln meist relativ nahe an der Lufttemperatur zu bleiben. (Abb. 5) Großblättrige Arten weisen meist höhere Blatttemperaturen auf. Bäume in Parks sind generell kühler als solche in Straßenschluchten. Der Spitzahorn (*Acer platanoides*) zeigt in

asphaltierter Umgebung im Mittel die höchsten Blatttemperaturen von bis zu 5 Grad über der Lufttemperatur. Eindeutig am kühlfsten bleibt die Rosskastanie in Parks (ca. 1 Grad unter der Lufttemperatur). Wichtig anzumerken ist, dass eine hohe Kronentemperatur nicht automatisch bedeutet, dass der Baum unter Hitzestress leidet, jedoch kann zum Beispiel bei hohen Blatttemperaturen die Schädlingsanfälligkeit steigen. Die mittlere Lufttemperatur von 25°C, bei der die Studie durchgeführt wurde, ist noch nicht besonders hoch und bereitet unseren Bäumen kaum Probleme. Was aber, wenn mit der Klimaerwärmung die Temperaturen steigen?

### Stadtbäume im Klimawandel

Um zu sehen, wie sich Oberflächentemperaturen von Baumkronen bei steigender Umgebungstemperatur verhalten, wurde anhand der gemessenen Daten ein Modell entwickelt, das sämtliche Blatteigenschaften (Größe, Verdunstungsrate) berücksichtigt und Blatttemperaturen bei steigender Lufttemperatur und variabler Wasserversorgung simuliert. In Abb. 6 sind zwei Szenarien dargestellt: Oben bei genügend Bodenwasser (A) und unten bei sehr trockenen Verhältnissen (B). Bei Lufttemperaturen bis zu 40 °C kombiniert mit schlechter Wasserversorgung werden die heißesten Blatttemperaturen bei ca. 50 °C zu liegen kommen. Obwohl eigentliche Hitzeschäden an Proteinen erst bei Blatttemperaturen über 50 °C auftreten, erhöht sich die Schädlingsanfälligkeit unter solchen Bedingungen dramatisch. Interessanterweise sind Arten, die bei 25 °C Umgebungstemperatur am wärmsten sind, bei höherer Lufttemperatur nicht automatisch auch am wärmsten. Als Beispiel sei hier die Amerikanische Gleditschie (*Gleditsia triacanthos*) erwähnt. Während sie bei 25 °C Lufttemperatur zu den wärmsten Arten gehört, ist sie bei 40 °C am kühlfsten. Dies veranschaulicht das komplexe Zusammenspiel der Blattanatomie, der Astarchitektur, der Blattphysiologie (Öffnungsweite der Blattofen) und der Umweltbedingungen, aus deren Kombination schließlich die Blatttemperatur resultiert. Obwohl die direkte Einwirkung von Hitze auf die Blätter unserer Stadtbäume wohl sekundär ist, können diese Resultate bei zukünftigen Bepflanzungen berücksichtigt werden, insbesondere im Zusammenhang mit anderen Faktoren (zum Beispiel Schadstoff- und Schädlingsanfälligkeit). Wichtig bei der Auswahl von Arten bleibt aber nach wie vor die langjährige gärtnerische Erfahrung.

### Erratum

In der Pro Baum 4/2010 ist auf der Seite 9 ganz rechts eine *Zelkova serrata* 'Green Vase' abgebildet. In der Bildunterschrift wurde sie versehentlich als *Ulmus* 'Lobel' bezeichnet. Wir bedauern dies.