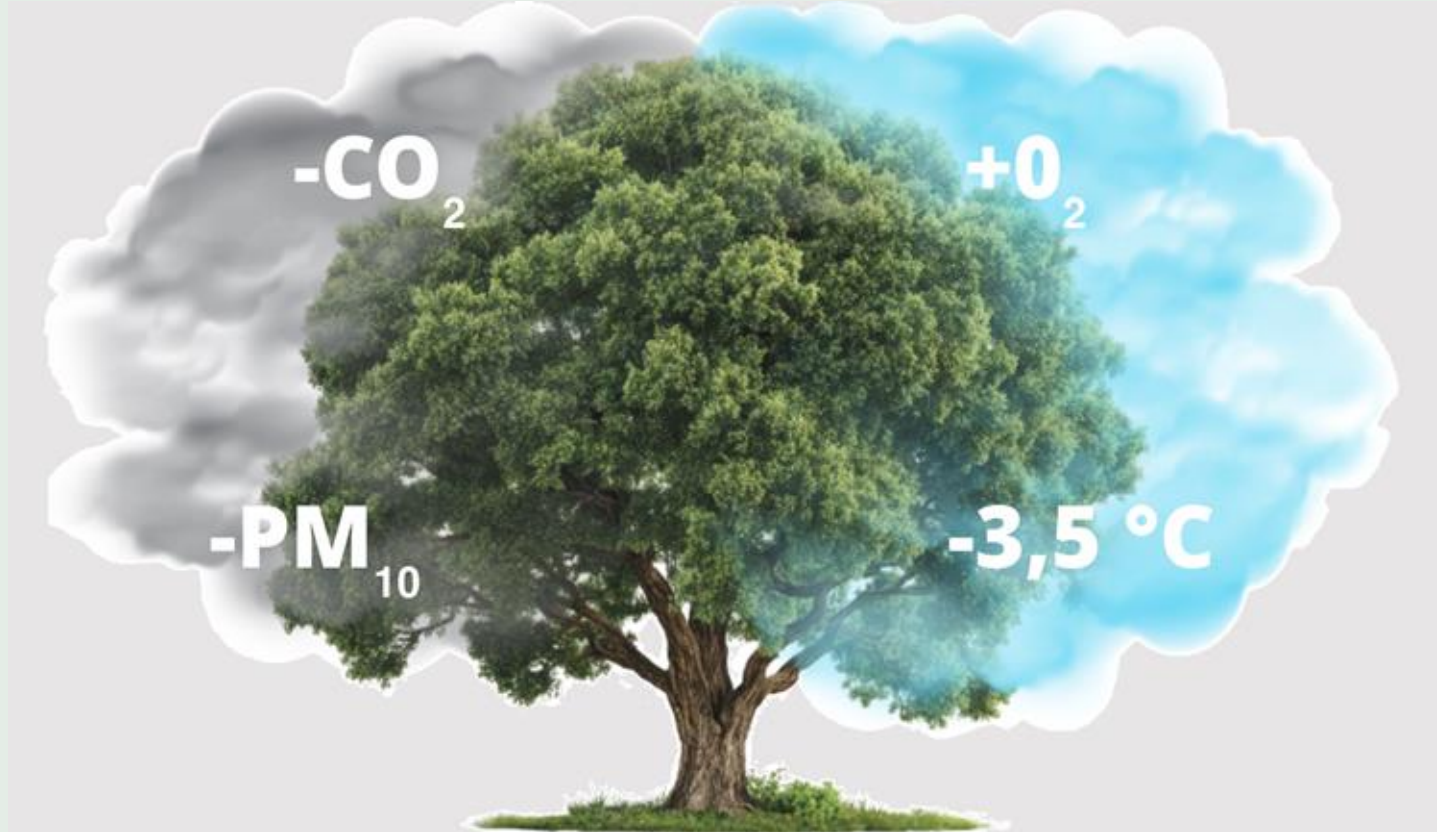


Ökosystemleistungen öffentlicher Grünflächen quantifizieren

Ansätze mit GreenSpaces

Paolo Viskanic
R3GIS, Bozen (I) und München (D)



Was ist dieser Baum wert?

In 25 Minuten wissen Sie es — mit einer Genauigkeit, die vor acht Jahren noch nicht möglich war.

Grün wird geschätzt. Selten beziffert.



Was heute meistens zählt

„Bäume sind wichtig“, „Grün tut gut“ — Aussagen, die niemand bestreitet, aber die in einer Haushaltsdebatte kein Gewicht haben.



Was eine Entscheidung braucht

Eine Zahl: kg CO₂, Liter Wasser, Euro pro Jahr — belastbar, nachvollziehbar, vergleichbar mit jeder anderen Investition.

Die Forschungsprojekte



Projektdauer: 2018-2021

Partner: R3GIS (Koordinator, IT), Anthea (Stadtwerke Rimini, IT), ZZM (Grünraum Verwaltung Krakau, PL), Universität Mailand (IT), ProGea4D (PL)

Dienstleister: Universität Florenz (IT), CISMA (IT)

Budget: 2,5 M€



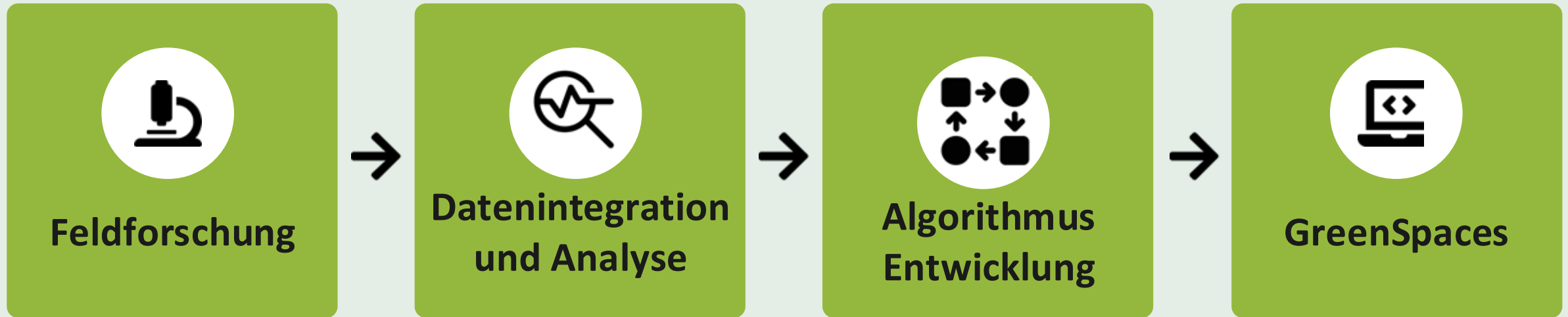
Projektdauer: 2019-2022

Partner: R3GIS (Koordinator IT), Demetra Specialist (IT), Stadt Bozen (IT), Benicchio Giardini (Koordinator CH), Stadt Lugano (CH)

Dienstleister: Universität Mailand (IT), Universität Florenz (IT), CISMA (IT)

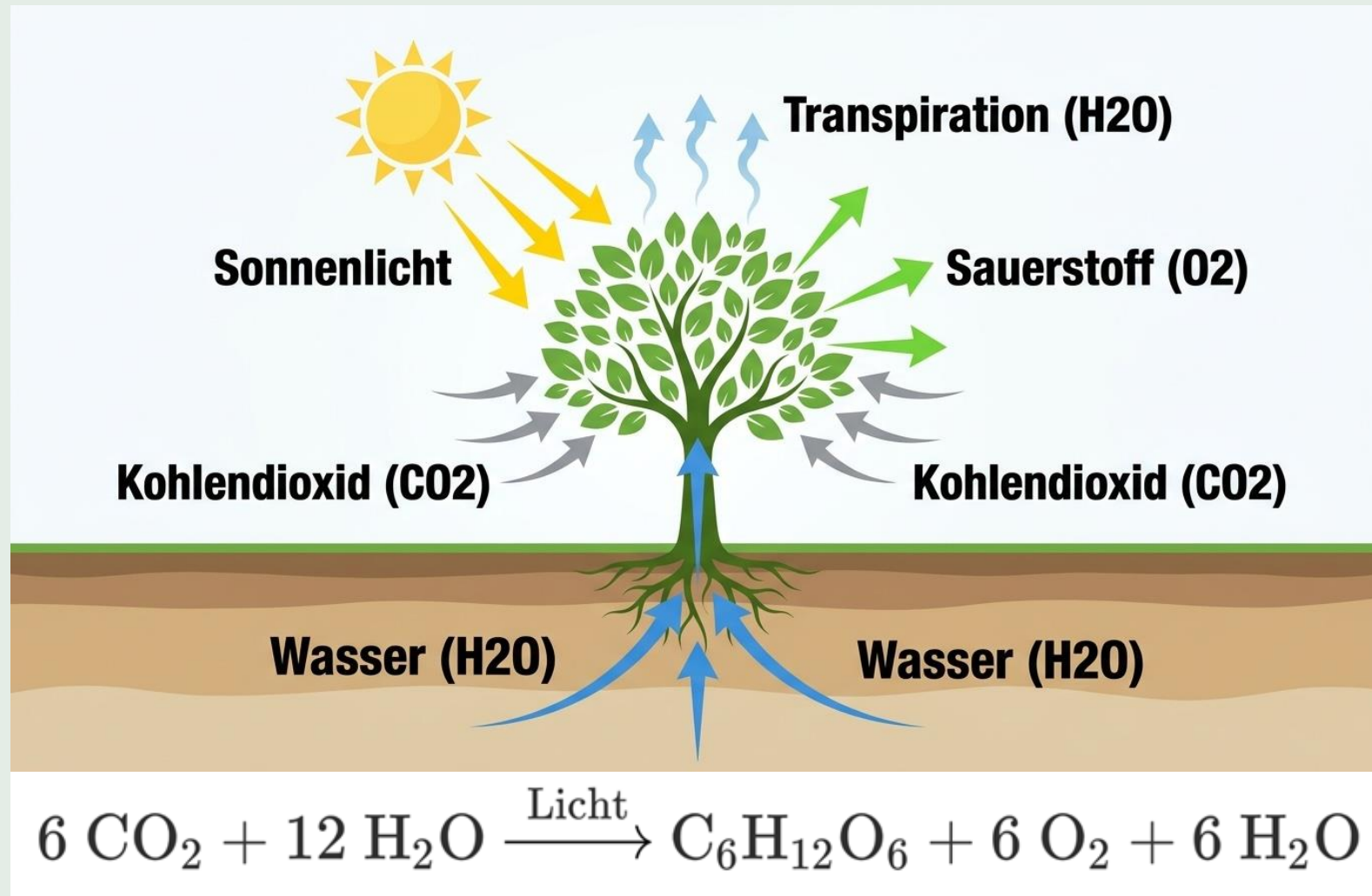
Gesamtbudget: 1,1 M€

Vier Schritte, ein Werkzeug



Wissenschaftlicher Beirat und Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen

Feldforschung: die wissenschaftlichen Prinzipien



Feldforschung: Auswahl der Bäume und Sträucher

- Auswahl von repräsentativen Bäumen/Sträucher in unterschiedlichen Wachstumsphasen
- Mindestens 5 Jahre alte, etablierte Bäume oder Sträucher
- Echte Park- und Straßen Standorte
- Für Bäume Zugang per Hubarbeitsbühne, über mehrere Jahre wiederholt
- Mindestens 6 Pflanzen pro Art und Standorttyp (gepflastert / nicht gepflastert)



Feldforschung: Untersuchte Baumarten

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Anzahl Messungen Wachstumskurven	Anzahl Messungen Gasaustausch	Anzahl Messungen Feinstaub	Stadt
<i>Acer negundo</i> L.	Eschen-Ahorn	80	22	12	Rimini
<i>Acer platanoides</i> L.	Spitz-Ahorn	135	28	12	Kraków
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	Gewöhnliche Rosskastanie	230	50	24	Rimini, Kraków
<i>Cornus alba</i> L.	Weißer Hartriegel	29	28	12	Kraków
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Gewöhnliche Esche	128	28	12	Kraków
<i>Ligustrum lucidum</i> Aiton	Glänzender Liguster	76	22	12	Rimini
<i>Pinus nigra</i> J.F.Arnold	Schwarzkiefer	–	–	12	Kraków
<i>Pinus pinea</i> L.	Schirmkiefer (Pinie)	–	–	12	Rimini
<i>Platanus × acerifolia</i> (Aiton) Willd.	Ahornblättrige Platane	78	22	12	Rimini
<i>Populus nigra</i> L. 'Italica'	Pyramidenpappel	174	50	24	Rimini, Kraków
<i>Prunus laurocerasus</i> L.	Lorbeerkirsche	12	22	12	Rimini
<i>Quercus ilex</i> L.	Steineiche	110	22	12	Rimini
<i>Quercus robur</i> L.	Stieleiche	215	50	24	Rimini, Kraków
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	Vogelbeere (Eberesche)	103	28	12	Kraków
<i>Tilia cordata</i> Mill.	Winterlinde	146	28	12	Kraków
<i>Tilia × europaea</i> L.	Holländische Linde	109	22	12	Rimini
<i>Ulmus laevis</i> Pall.	Flatter-Ulme	87	28	12	Kraków
Totale		1.712	450	240	

17 Baumarten, 1712 Bäume, 2 Städte

Feldforschung: untersuchte Straucharten

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Anzahl Exemplare	Stadt
<i>Deutzia scabra</i> Thunb.	Raue Deutzie (Sternchenstrauch)	30	Bozen
<i>Elaeagnus</i> × <i>ebbingei</i>	Ebbings Ölweide	23	Lugano
<i>Euonymus japonicus</i> Thunb.	Japanisches Pfaffenhütchen	18	Bozen
<i>Forsythia</i> × <i>intermedia</i>	Garten-Forsythie	54	Lugano, Bozen
<i>Laurus nobilis</i> L.	Echter Lorbeer	22	Lugano
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	Gewöhnlicher Liguster	23	Lugano
<i>Pittosporum tobira</i>	Klebsame (Pittosporum)	54	Lugano, Bozen
<i>Prunus laurocerasus</i> L.	Lorbeerkirsche	54	Lugano, Bozen
<i>Viburnum tinus</i> L.	Lorbeer-Schneeball	30	Bozen
TOTALE		259	

9 Straucharten, 259 Pflanzen, 2 Städte

Feldforschung: Datenerfassung im Feld



3D Messungen mit
LiDAR



Gasaustausch auf der
Blattoberfläche



Feinstaub Ablagerung
auf den Blättern



Licht Penetration der
Baumkrone



Wetterdaten (Radiation,
pot. Evapotranspiration)

Datenintegration und analyse: Transpiration und CO₂

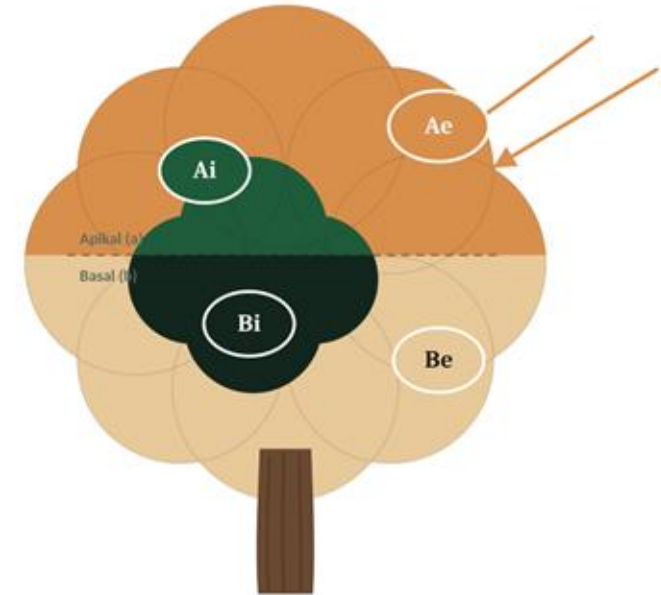
Die Messungen der Transpiration pro Flächeneinheit werden auf die ganze Baumkrone skaliert, wobei die Position der Blätter eine relevante Rolle spielt:

- Ae: am stärksten belichtete Blätter (Apikal, extern)
- Ai: Apikal aber beschattet da intern
- Be: Basal, extern
- Bi: am wenigsten belichtet da Basal und intern.

Je mehr Licht die Blätter ausgesetzt sind, desto höher die photosynthetische Aktivität.

METHODE • MULTILAYER-MODELL

Kronenschichtung nach Sonnenexposition



Zwei Schichten × zwei Lichtzonen

Die Krone wird in zwei Schichten geteilt: Apikal (a, oben) und Basal (b, unten). Jede Schicht besteht aus sonnenexponierten Außenblättern (e) und schattierten Innenblättern (i) — daraus ergeben sich vier Blattklassen: Ae, Ai, Be, Bi.

Ae am stärksten belichtet **Ai** apikal, aber beschattet **Be** basal, sonnenexponiert **Bi** am stärksten beschattet

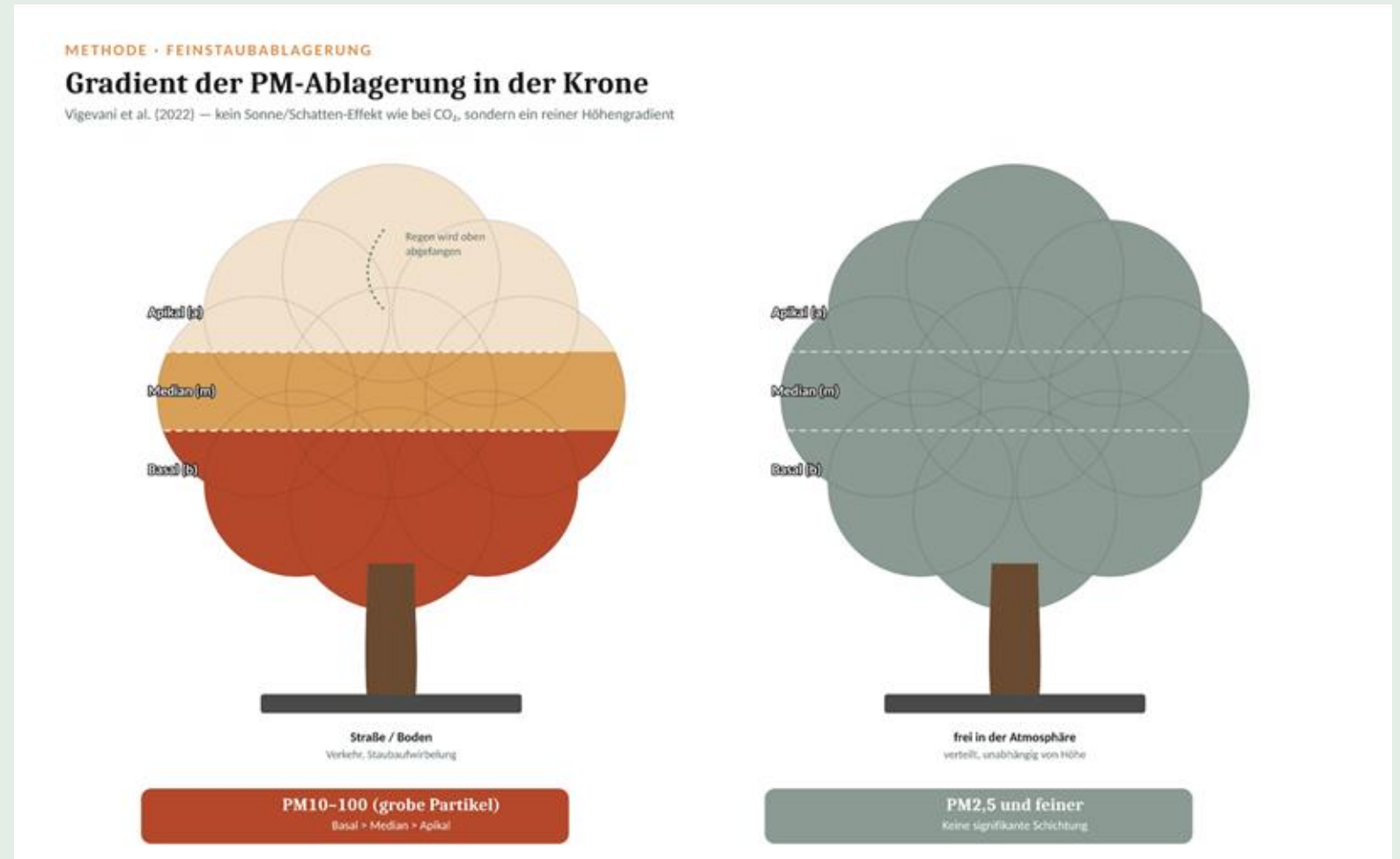
Grundlage: Multilayer-Sun-Shade-Modell, Fini et al. (2023), Science of the Total Environment, 903, 166198

Datenintegration und analyse: Feinstaub Ablagerung

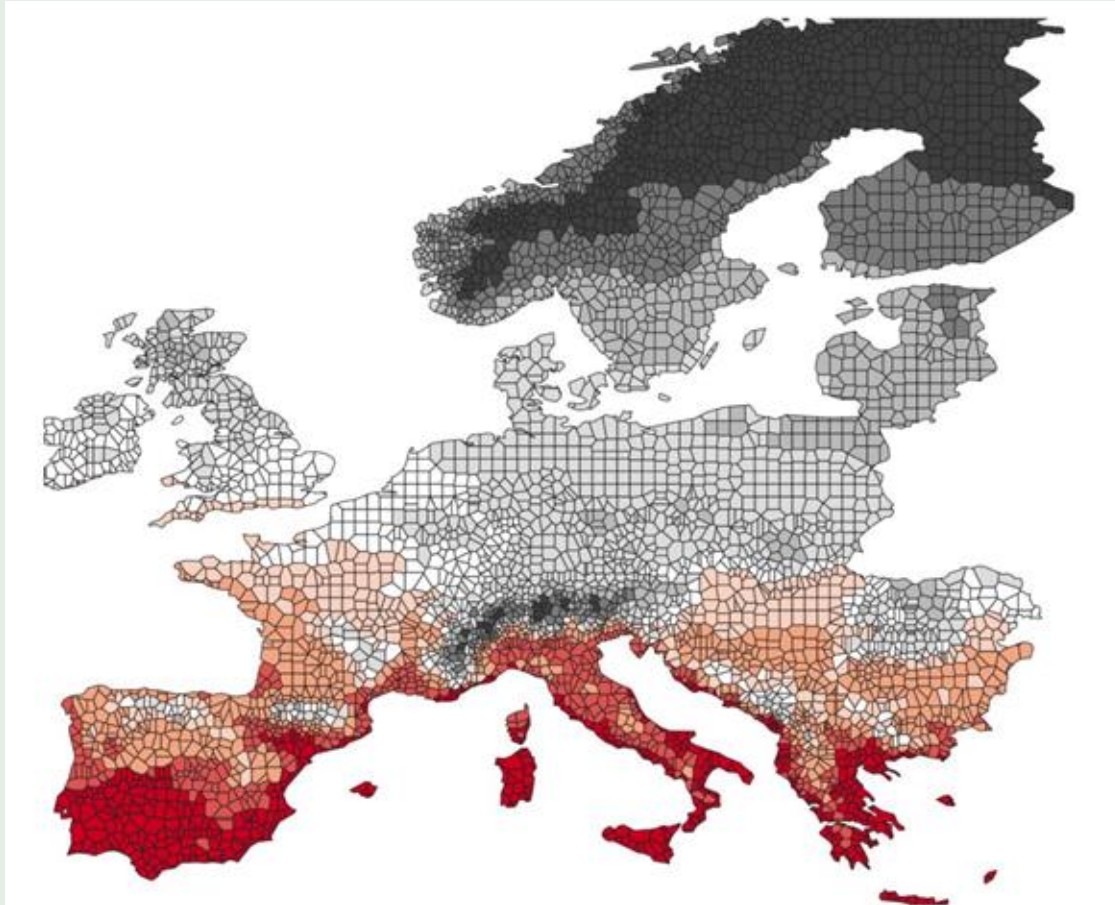
Bäume: 2.160 Blattproben
von 17 Arten über 3 Jahre in
verschiedene Saisonen in
Rimini und Krakau
entnommen.

Sträucher: 383 Blattproben
von 9 Straucharten in Frühling,
Sommer, Herbst und Winter
entnommen in Lugano und
Bozen.

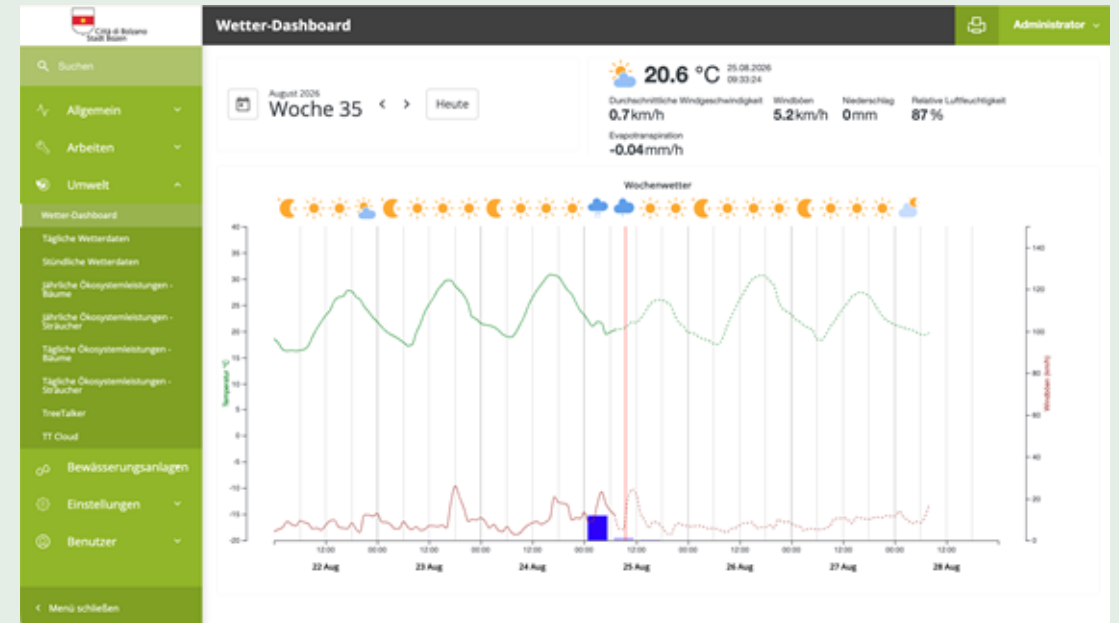
Alle Blattproben wurden im
Labor gewaschen, filtriert und
nach Größe der Partikel
getrennt und gewogen.



Prozessbasierte Berechnungen brauchen Wetterdaten



- Stündliche Messdaten (Deutscher Wetterdienst)
- 72-Stunden- Vorhersagen (Deutscher Wetterdienst)
- Historische Realanalysen ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)



Kühlung: auch Sträucher zählen



Penman-Monteith-Gleichung

Berechnet, wie viel Energie eine Pflanze der Umgebung durch Transpiration entzieht.

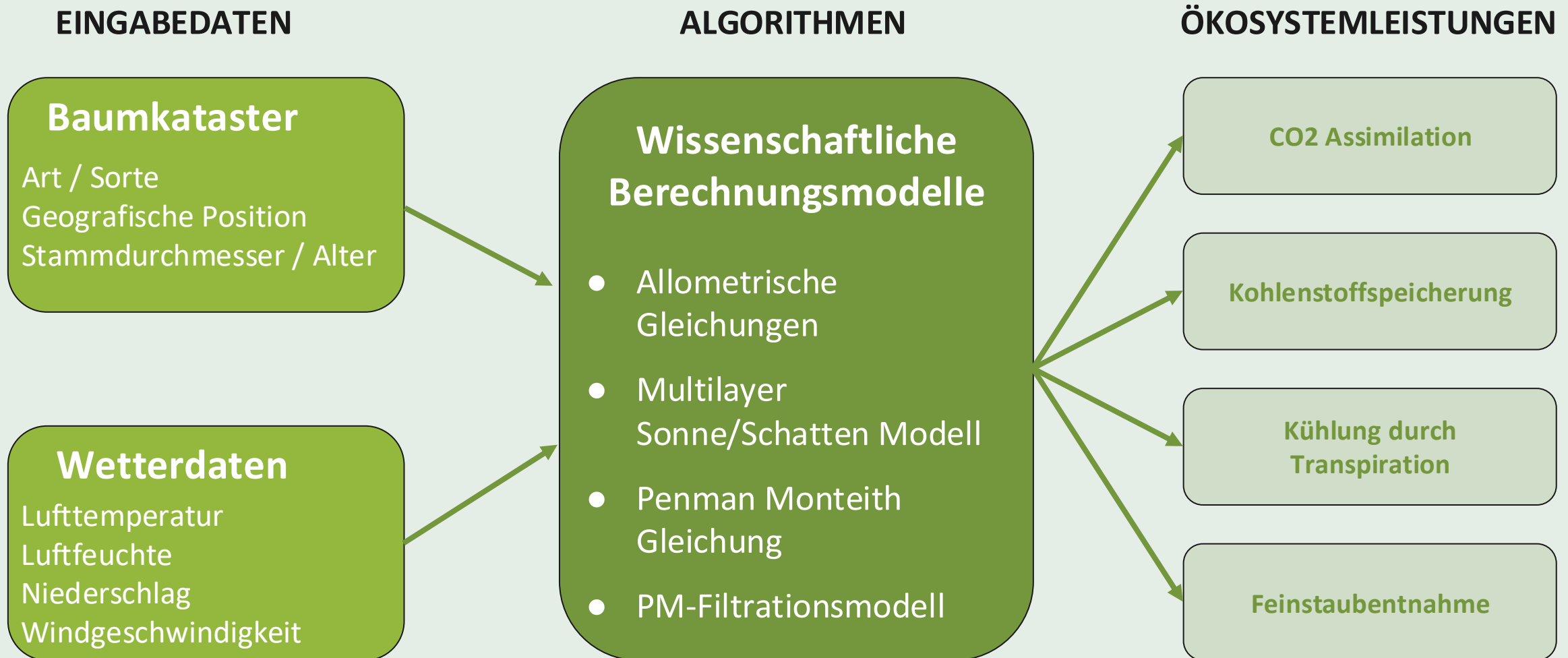
$$\lambda E = \underbrace{[\Delta(R_n - G)]}_{\text{Energie}} + \underbrace{\rho \cdot c_p \cdot (e_s - e_a)}_{\text{Aerodynamik}} / \underbrace{[r_a]}_{\text{Widerstand}} \cdot [\Delta + \gamma \cdot (1 + r_s/r_a)]$$

130 W/m²

Wenn 1 Liter Wasser von der Blattoberfläche verdunstet, führt dies 2.450 kJ Energie als latente Wärme ab.

Transpiration pro Blattfläche Einheit wird verwendet, um den Wasserverbrauch und die durch die Bestands-Transpiration abgeführte latente Wärme zu berechnen.

Algorithmus Entwicklung



Drei Stufen der Datenqualität

Direkt gemessen

Hochauflösende Koeffizienten für Arten und Klimazonen, die in den eigenen Feldstudien untersucht wurden und in wissenschaftlichen Publikationen dokumentiert sind.

Präzision



Abdeckung



Aus wiss. Literatur

Koeffizienten für weitere Arten aus wissenschaftlicher Literatur, in die Algorithmen integriert und bei neuen Veröffentlichungen ständig aktualisiert.

Präzision



Abdeckung



GlobAllomeTree DB

Generische Koeffizienten für Arten, zu denen weder eigene Messungen, noch spezifische Literatur vorliegen.

Präzision



Abdeckung



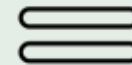
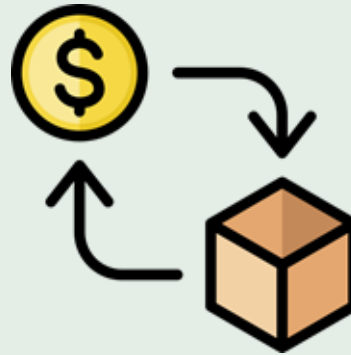
Pflanzennamen müssen Plants of the World (POW) bzw. International Plant Name Database (IPND) entsprechen.

Monetarisierung der Ökosystemleistungen

**Physische
Ökosystemleistung**



**Spezifischer
Kostensatz**



**Ökonomischer Wert
der
Ökosystemleistung**



Quellen Kosten Ökosystemleistungen

Ökosystemleistung

Einheitskosten / Grenzkosten

Datenquelle

Eingesparte Energie
(kWh/a)

Stromkosten (€/kWh)

Durchschnittliche jährliche Stromkosten für Haushaltskunden.

EU-Länder: Eurostat-Portal.

Schweiz: Eidgenössische Elektrizitätskommission (ElCom).

Einzelnes Land: zuständige Regierungsbehörde.

Gespeichertes CO₂
(tCO₂/a)

Soziale Kohlenstoffkosten (€/tCO₂)

Grenzkosten der Auswirkungen auf Umwelt und menschliche Gesundheit, die durch die Emission einer Tonne Treibhausgase verursacht werden.

Weltbank:

Kostenkomponenten auf nationaler Ebene und für Bepreisung Initiativen aus dem Emissionshandelssystem (ETS).

Absorbiertes PM und NO₂

(kg/a)

Soziale Kosten pro Schadstoff (€/kg)

Externe Kosten im Zusammenhang mit den Auswirkungen und Schäden, die jeder Schadstoff auf die Gesundheit der exponierten Bevölkerung hat.

EcoSense-Modelldatenbank:

In der EU gültig, Weiterentwicklung/Aktualisierung der ExterneE-Datenbank mit Prognosen der sozialen Einheitskosten pro Schadstoff und Land bis 2050.

Die Platanen am Prinzregentenufer, Nürnberg

95 rund 100-jährige Platanen · Werte für 2025

8.400 kg

CO₂ äquivalent von
bereits gespeicherten
Kohlenstoff

> 2 kg

PM10 gefiltert pro Jahr

52.000 L

Regenwasser
abgefangen

600 kWh

Energie eingespart

620 € / Jahr

pro Baum

~ 60.000 € / Jahr

für die gesamte Allee mit 95 Bäumen

Das BENEFITS-Modul in GreenSpaces



CO₂ und O₂



PM10 / PM2,5



Kühlung



Wasserabfang



Wirtschaftl. Wert

Bereits im Einsatz bei:

Milano · Padova · Rimini · Bozen · Kraków · Lugano · u.v.m.

Automatische Berechnung für jeden Baum im Kataster — täglich aktualisiert mit Wetterdaten von DWD und ECMWF ERA5-Land.

Rechnen Sie Ihren eigenen Baum

1. Standort auf der Karte wählen
2. Baumart auswählen
3. Stammdurchmesser oder Alter eingeben



ecosystem.r3gis.com/calculator

Auch als API verfügbar

Was das Modell (noch) nicht leistet



Koeffizienten gelten für die untersuchten Klimazonen (Cfa/Cfb/Alpenregion) — Übertragung auf **neue Klimazonen** erfordert Vorsicht.



Für **seltene Arten**: Rückgriff auf Literatur oder GlobAllomeTree, weniger standortspezifisch.



Allometrische **Modelle sind bis 65 Jahre kalibriert** — bei Altbäumen arbeitet das Modell an der Grenze.

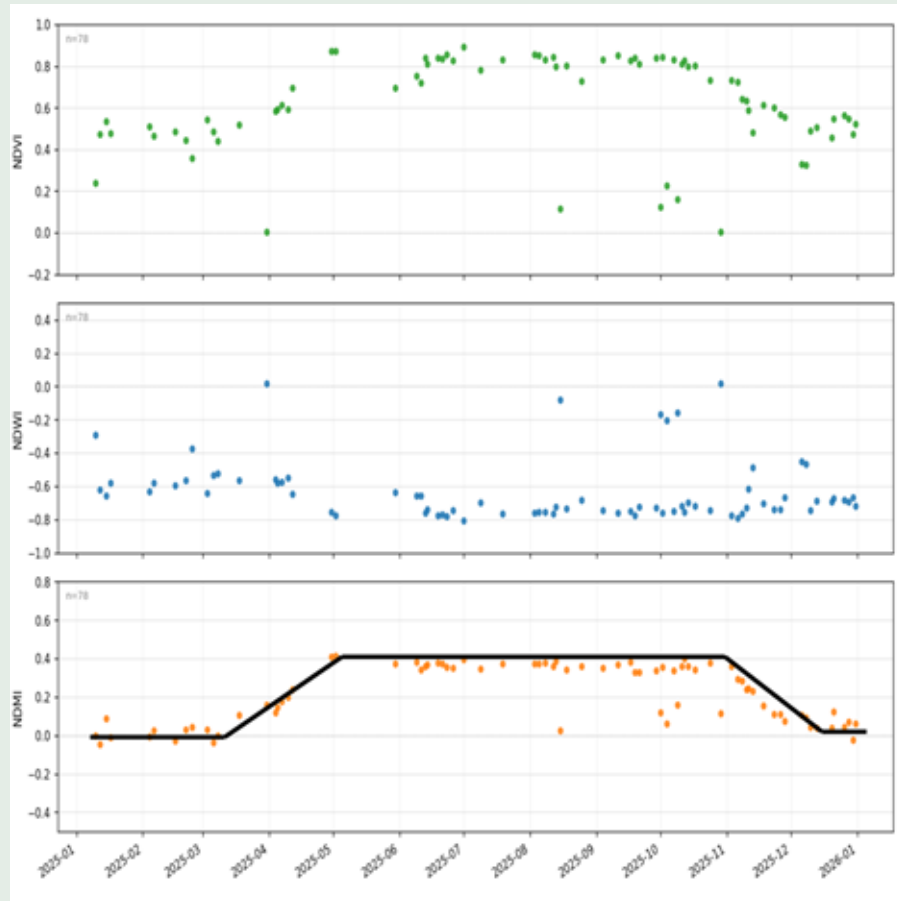


Wie vital ist der Baum? Derzeit wird mit einer Durchschnitts **Vitalität** gearbeitet. In Zukunft Anpassung durch Satellitendaten.



Beginn und Ende der vegetativen Periode sind derzeit festgesetzt. In Zukunft werden sie über **Satellitendaten** ermittelt.

Einbindung von Satellitendaten



Unser wissenschaftlicher Beirat



Dr. Andy Hiron

Senior Lecturer für Arboristik und urbane Forstwirtschaft am University Centre Myerscough (UK). Er begann seine berufliche Laufbahn als kletternder Baumpfleger und Pflanzengesundheitstechniker im Vereinigten Königreich, in Australien und den USA, bevor er 2004 in die akademische Laufbahn wechselte.



Prof. Franco Guzzetti

Außerordentlicher Professor im Bereich Geomatik (CEAR-04/A) am Politecnico di Milano (Department of Architecture, Construction Engineering and Built Environment).



Prof. Alessio Fini

Professor für Arboristik und urbane Forstwirtschaft an der Università degli Studi di Milano (Department of Agricultural and Environmental Sciences – Production, Landscape, Bioenergy).



Prof. Dr. habil. Hartmut Balder

Er studierte Gartenbauwissenschaften an der Leibniz Universität Hannover, wo er seine Promotion und Habilitation im Bereich Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz am Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz erwarb.



Prof. Francesco Ferrini

Ordentlicher Professor für Arboristik und Baumkultur an der Università degli Studi di Firenze sowie ein renommierter italienischer Experte für urbane Forstwirtschaft, mit über 400 veröffentlichten Arbeiten zu Bäumen, grüner Infrastruktur und der Interaktion zwischen Pflanzen und Umwelt.



Dr. Ing. Philipp Schönfeld

Dr. Philipp Schönfeld (TU Berlin) vereint Praxis als Bauleiter mit 30 Jahren Forschung an der LWG Veitshöchheim. Der Experte für Pflanzenkunde leitete den Schaugarten, lehrte Techniker und prägt als Autor und Gremienmitglied das moderne Stadtgrün.



Acht Jahre Feldforschung stecken heute in einem Werkzeug mit wenigen Klicks.

Wissenschaftlich fundiert. Nicht geschätzt.



CO₂-assimilation, sequestration, and storage by urban wood growing in parks and along streets in two climatic zones

Alessio Fini^{1,*}, Irene Vigevari^{1,2,3,4}, Denise Corsini^{1,2,3}, Piotr Wężyk^{4,5}, Katarzyna Bajorek-Zydroń⁶, Osvaldo Failla⁷, Edoardo Cagnolati¹, Lukasz Mi Sebastian Comin⁸, Marco Gibin⁹, Alice Pasquini¹⁰, Francesco Ferrini¹¹, Pi



Particulate Pollution Capture by Seventeen W Growing in Parks or along Roads in Two European Cities

Irene Vigevari^{1,2,3,4}, Denise Corsini², Jacopo Mori², Alice Pasquini⁴, Marco Gibin¹, Sebastian Comin¹, Przemysław Szwałko⁵, Edoardo Cagnolati⁶, Francesco Ferrini² and Alessio Fini¹



Shrubs Matter: An Evaluation of the Capacity of Nine Shrub Species to Dissipate Latent Heat and to Remove CO₂ and Airborne PM

Sebastian Comin^{1,2,4}, Denise Corsini¹, Irene Vigevari^{3,4}, Caterina Villa⁵, Christian Paolo Viskanic⁶, Francesco Ferrini^{4,5} and Alessio Fini¹

Effects of management on the provisioning of ecosystem services by mature urban trees

A. Fini^{1,*}, I. Vigevari^{2,3}, D. Corsini¹, P. Wężyk^{4,5}, E. Cagnolati⁶, L. Mielczarek⁷, A. Pasquini¹⁰, F. Ferrini² and P. Viskanic⁸

¹Department of Agricultural and Environmental Sciences - Production, Landscape, Agroenergy, University of Milan, Milan, 20133, Italy; ²Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry, University of Florence, Florence, 50144, Italy; ³University School for Advanced Studies Pavia, Pavia, 27100, Italy; ⁴ProGea 4D sp. zoo, Kraków, 31-223, Poland; ⁵University of Agriculture in Krakow, Krakow, 31-120, Poland; ⁶Anthea S.r.l., Rimini, 47923, Italy; ⁷Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie (ZZM), Kraków, 30-059, Poland; ⁸R3 GIS S.r.l., Bolzano, 39100, Italy.

Danke — und auf morgen



Workshop 6 — morgen

*„Ökosystemleistungen öffentlicher
Grünflächen berechnen, verstehen und
kommunizieren – GreenSpaces in der Praxis“*



Paolo Viskanic
R3GIS GmbH, ZNL Deutschland
paolo.viskanic@r3gis.com



ecosystem.r3gis.com/calculator



Diese Präsentation wird unter der Creative Commons Lizenz CC BY4.0 zur Verfügung gestellt (freie Verwendung unter Nennung der Quelle)