

Windwurfmodellierung individuell aufgelöster Bäume in PALM

Helge Knoop und Günter Groß, Leibniz Universität Hannover

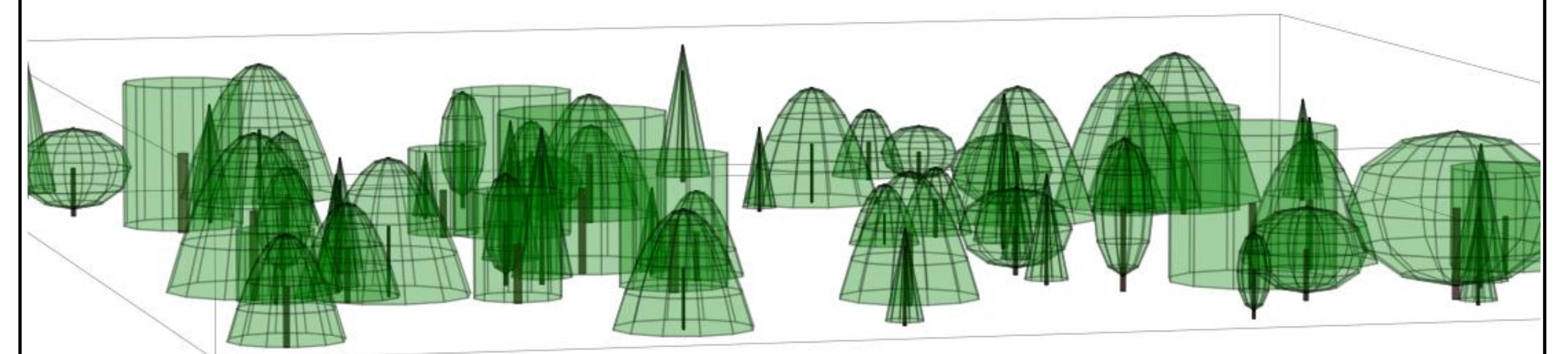
Motivation

- Bei Starkwind-Wetterlagen können Baumschäden auftreten, die von einzelnen abgebrochenen Ästen bis hin zum Abknicken ganzer Baumstämme oder der Entwurzelung des ganzen Baumes reichen.
- Für die Forstwirtschaft entsteht dadurch erheblicher wirtschaftlicher Schaden. Neben dem eigentlichen Holzschaden, kann besonders im urbanen Umfeld auch erheblicher Sachschaden oder sogar Lebensgefahr für die Stadtbevölkerung entstehen.
- Daraus resultiert ein besonderes Interesse von Stadtverwaltungen und Stadtplanern, möglichst realistisch vorhersagen zu können, welche Stadtbäume der größten Gefahr durch Windwurf ausgesetzt sind.
- Computersimulationen sind ein nützliches Hilfsmittel um die Wahrscheinlichkeit für Windwurf vorherzusagen und entsprechende präventive Maßnahmen zu planen.
- Neben möglichst genauen Informationen über die Beschaffenheit der Bäume selbst, ist eine möglichst gute Vorhersage der höchsten Windgeschwindigkeit unbedingte Voraussetzung um Sturmschäden an Stadtbäumen vorhersagen zu können.
- Während Starkwind-Wetterlagen sind Windböen als lokales turbulentes Phänomen die Ereignisse mit den höchsten Windgeschwindigkeiten.
- Um die lokale Turbulenz in der Größenordnung einzelner Bäume und typischer urbaner Strukturen aufzulösen, wird heutzutage die hochauflösende Large-Eddy-Simulation (LES) als ein angemessener und physikalischer Ansatz betrachtet.
- Das Stadtklimamodell PALM ist ein hochauflösendes LES-Modell, das in der Lage ist, komplexe urbane Umgebungen zu simulieren.



Fähigkeiten und Modellsteuerung

- PALM bietet über ein integriertes „Plant Canopy“ Modell die Möglichkeit, dreidimensional aufgelöste Vegetation und ihre Wechselwirkung mit der turbulenten Strömung zu simulieren. Bisher war dafür nur die Vorgabe der Blattflächendichte für jeden 3D-Gitterpunkt möglich.
- Mit der Entwicklung des neuen Windwurfmodells ist es nun möglich jeden 3D-Gitterpunkt über eine so-genannte „Tree ID“ eindeutig einem bestimmten Baum zuzuordnen.
- Zu jeder „Tree ID“ ist es nun möglich zusätzlich detaillierte Angaben über seine Größe, Form, Standfestigkeit, Bruchfestigkeit, Stammdicke, Elastizität und Masse zu machen.
- Aus diesen Informationen berechnet das Windwurfmodell dann für jeden Baum individuell und zu jedem Zeitschritt die aktuellen Kräfte, die auf den Stamm und das Wurzelwerk wirken.
- Ein anschließender Vergleich mit den Bruchlasten bestimmt dann, welcher Baum wann fällt.



Mathematische Beschreibung

- Das Windwurfmodell basiert auf dem Ansatz von Peltola und Kellomäki (1993) und Peltola et al. (1999), dass von Groß (2018) angepasst wurde.
- Es werden sowohl der dynamische Strömungswiderstand berechnet

$$F_u(x, y, z) = \frac{1}{2} \rho_{luft}(z) U(x, y, z)^2 B(x, y, z) c_{drag}(x, y, z),$$

- als auch die bei horizontaler Auslenkung wirkende Geschichtskraft

$$F_g(x, y, z) = M_g(x, y, z) g.$$

- Mit der Luftdichte ρ_{luft} , der horizontalen Anströmgeschwindigkeit $U(x, y, z)$, der Blattflächendichte $B(x, y, z)$, der grünen Masse $M_g(x, y, z)$, der Erdbeschleunigung g und einem empirischen Koeffizienten für den Strömungswiderstand $c_{drag}(x, y, z) = 0.6 \exp(-0.0009^7 U(x, y, z)^2)$

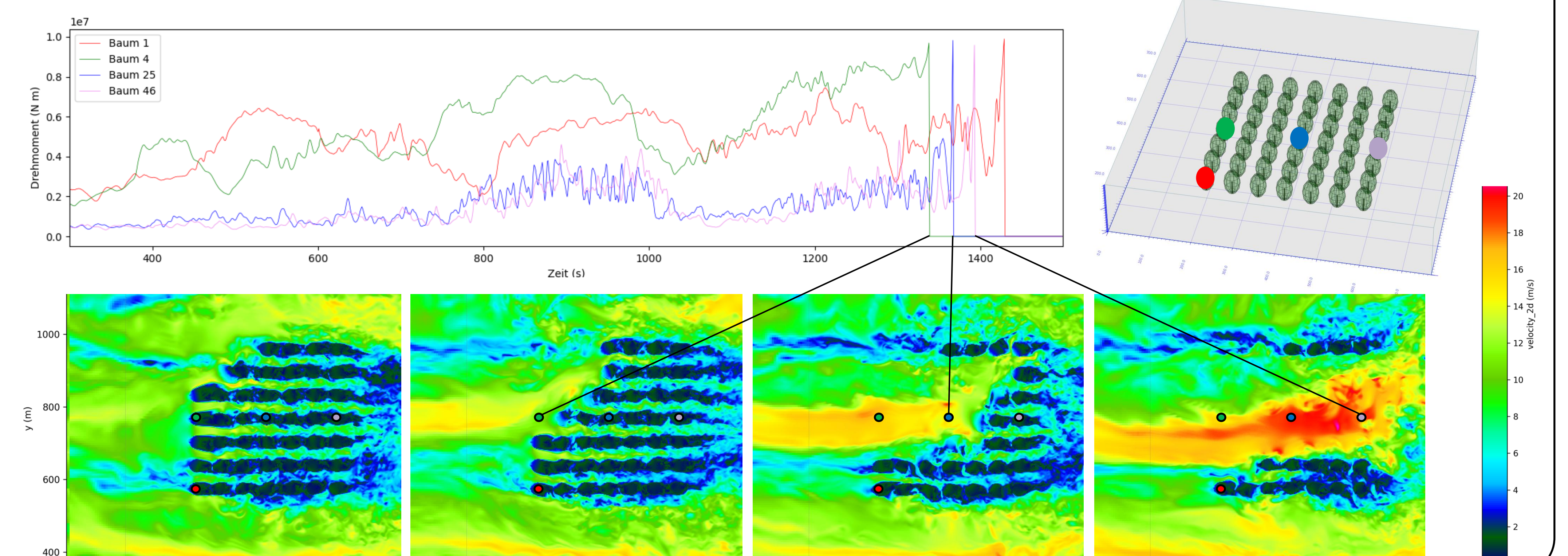
- Der gesamte Drehmoment, der auf Stamm und Wurzel wirkt, ist

$$T = \iiint (F_u(x, y, z) z + F_g(x, y, z) x(z)) dV,$$

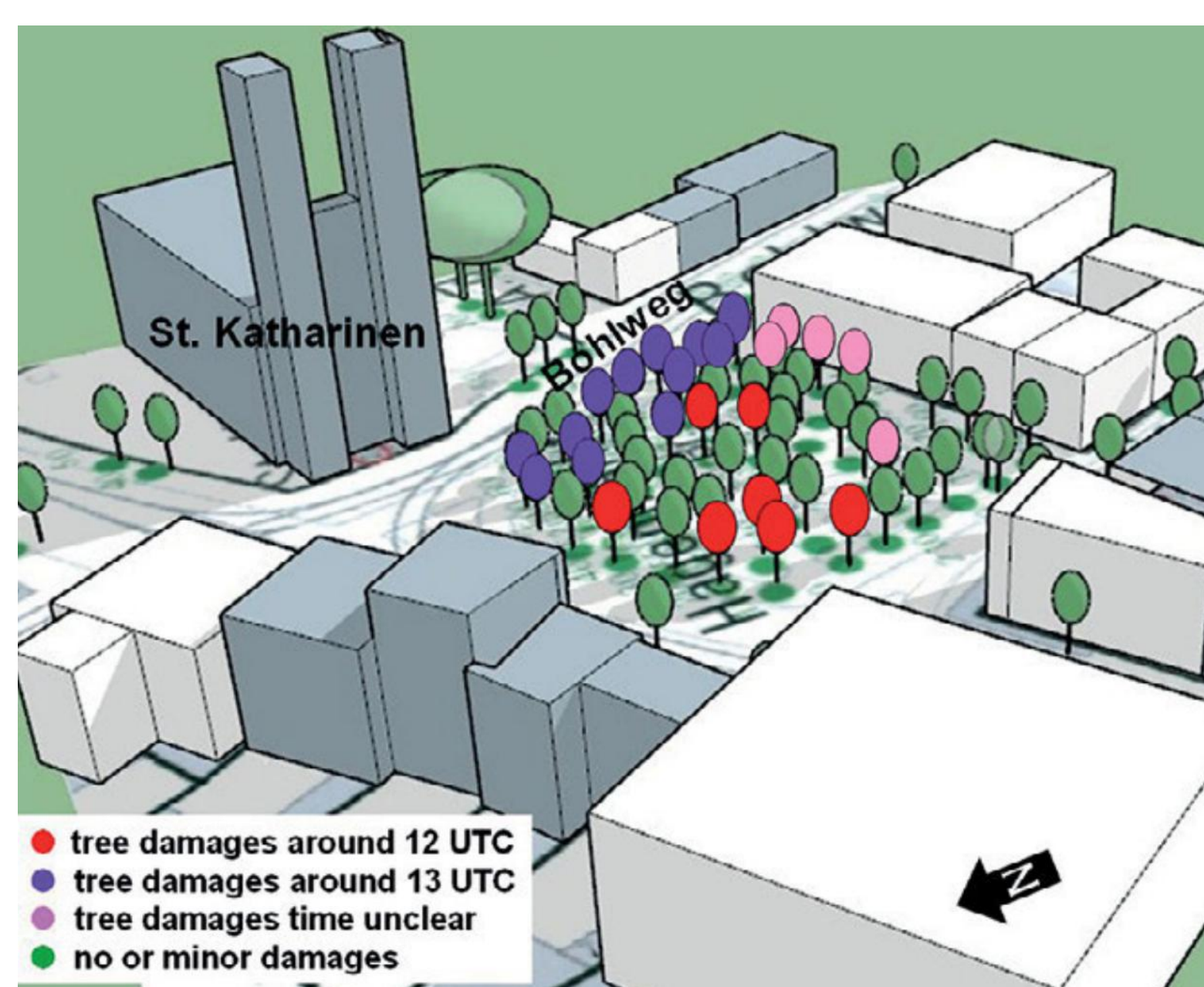
- Die Berechnung der horizontale Auslenkung $x(z)$ wird unverändert wie in Groß (2018) durchgeführt. Da die Turbulenz aufgelöst wird, kann auf einen zusätzlichen Böen-Faktor verzichtet werden.
- Ob der individuelle Baum umfällt, ergibt sich durch den Vergleich mit seinen maximalen Bruch- und Entwurzelungsdrehmomenten.

Anwendung und Evaluierung

- Für Funktionstests wurde ein einfaches Setup simuliert, das 49 Bäume enthält, die in einem 7x7 Raster angeordnet sind und von Westen (-x) mit linear über die Zeit ansteigender Windgeschwindigkeit angeströmt werden.
- Die Bildsequenz (30s Abstand) ganz unten zeigt beispielhaft den Verlauf einer starken Böe, die zum Windwurf von 32 Bäumen in einem kurzen Zeitabstand (90s) führt. Hier haben alle Bäume den gleichen Grenz-Drehmoment von 10^7 Nm
- Den Windschatten, den Baum 4 auf die dahinter stehenden Bäume 25 und 46 wirft, ist auch in der Darstellung des individuell an den Bäumen wirkenden Verlauf des Drehmoments mit der Zeit gut zu erkennen. Sobald der abschirmende Baum 4 gefallen ist, wächst die Belastung auf Baum 25 sprunghaft an. Eine Gitterstudie bestätigte, dass die Berechnung der auf die Bäume wirkenden Kräfte mit steigender Auflösung konvergiert.



Zukünftige Anwendungsmöglichkeiten



Hagenmarkt (oben), Auszug Baumkataster Braunschweig (unten)



- Aufbauend auf den bereits erfolgten Untersuchungen sind weitere Untersuchungen geplant, um den Einfluss der Einzelnen Modellparameter genauer zu evaluieren.
- Das Modell kann Stadtverwaltungen oder der Forstwirtschaft helfen, ihre präventive Baumpflege besser zu planen. Dabei ist zu beachten, dass die Verfügbarkeit und Beschaffung von präzisen Daten über die Eigenschaften einzelner Bäume oft schwierig ist und Informationen über die Bruch- und Entwurzelungslasten im besten Fall abgeschätzt werden können. Ein Relativvergleich der Belastung einzelner Stadtbäume ist jedoch ohne weiteres möglich und erlaubt auch bei beschränkter Datenlage z.B. die Identifikation besonders gefährdeter Baumstandorte.
- Darüber hinaus ist die Nachsimulation von beobachteten Windwurfereignissen zur Ursachenforschung denkbar.

Zusammenfassung

- Um die Wahrscheinlichkeit von Windwurf besonders im Urbanen Raum besser vorhersagen zu können, wurde das turbulenzauflösende Stadtklimamodell PALM um ein dreidimensionales vegetationsauflösendes Windwurfmodell erweitert.
- Es ermöglicht die Berechnung der Windbelastung auf individuelle Bäume in einem komplexen (urbanen) Gelände und berücksichtigt die gegenseitige Wechselwirkung der Bäume und ihrer jeweiligen Umgebung.
- Insbesondere wird der Windwurf der Bäume bei überschreiten ihrer individuellen Bruchlast (durch die Entfernung des Baumes) simuliert und dadurch das Ausbleiben ihrer abschirmenden Wirkung auf im Lee befindliche Bäume explizit berücksichtigt.
- Es werden idealisierte Anwendungen vorgestellt und auf zukünftige Anwendungen und Einschränkungen eingegangen.

Diese Forschung und Entwicklung ist Teil des Forschungsvorhabens „Stadtklima im Wandel“, finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. Die Simulationen wurden auf den Großrechnern des HLRN durchgeführt.