Fachtagung "Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik"
8. – 10. September 2009, Erlangen

ÜBER DEN EINFLUSS DER LUVSEITIGEN TRAUFKANTENAUSBILDUNG AUF DIE STRÖMUNGSVORGÄNGE UM WALDBESTÄNDE

ABOUT THE INFLUENCE OF THE WINDWARD FOREST EDGE STRUCTURE ON THE FLOW AROUND FOREST STANDS

C. Frank, B. Ruck, M. Tischmacher
Laboratorium für Gebäude- und Umweltaerodynamik, Institut für Hydromechanik
Universität Karlsruhe, Kaiserstr. 12, 76128 Karlsruhe

Wald, luvseitige Traufkantenausbildung, Windkanal
Forest, windward forest edge structure, wind tunnel

Zusammenfassung

Experimentelle Untersuchungen in einem atmosphärischen Grenzschichtwindkanal wurden durchgeführt, um den Einfluss der luvseitigen Traufkantenausbildung auf die Strömungsvorgänge im Bereich der Waldoberkante zu erfassen. Zwei verschiedene Kantentypen wurden ausgewählt. Der Traufwinkel TW wurde für beide Kantentypen je dreifach variiert und alle schrägen Kanten wurden sowohl mit dichten als auch mit lichten Beständen kombiniert. Darüber hinaus wurde auch noch eine Konfiguration untersucht, bei der die Einströmung in den Stammbereich des dichten Walds durch die luvseitige Anordnung einer undurchlässigen Wand vollständig unterbunden wurde. Die mittleren und turbulenten Strömungsgrößen wurden mit Hilfe eines 2D-LDA-Systems erfasst. Die unterschiedlichen Messdaten werden in Form von Horizontalprofilen in unmittelbarer Kronendachnähe dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Auswirkungen der Traufkantenausbildung räumlich auf die luvseitige Bestandshälfte beschränken. Maßgeblich für den Profilverlauf in Kronendachnähe scheint insbesondere die Dichte der Traufkanten zu sein.

1. Einleitung

Der Grad der Schädigung eines Waldbestands durch Sturm hängt von zahlreichen Parametern wie Topographie, Bestandsdichte, Kronendachrauhigkeit, Baumartenzusammensetzung, Ausbildung der Traufkanten, Bodeneigenschaften etc. ab. Um waldbauliche Strategien zur Reduzierung des Sturmschadensrisikos zu entwickeln bzw. um die Sturmschadensanfälligkeit von Waldbeständen überhaupt abschätzen zu können, ist eine detaillierte Kenntnis der Zusammenhänge zwischen diesen verschiedenen Einflussparametern und dem Strömungsfeld notwendig.

2. Methoden

Die experimentellen Untersuchungen wurden im geschlossenen, 29 m langen atmosphärischen Grenzschichtwindkanal des Laboratoriums für Gebäude- und Umweltaerodynamik, Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe durchgeführt. Die Eigenschaften der im Windkanal mit Hilfe von Wirbelgeneratoren und Rauheitselementen erzeugten, neutral geschichteten atmosphärischen Grenzschicht wurden bereits in Frank und Ruck 2007 be-

schrieben. Die simulierte Grenzschicht ist charakteristisch für vorstädtisches Terrain bzw. für Waldgebiete.

Messtechnik

Die Geschwindigkeitsmessungen wurden mit Hilfe eines zweidimensionalen LDA-Systems durchgeführt, welches ausführlich in Frank 2005 beschrieben ist. An jedem Messpunkt wurden rund 26 600 Datenpunkte mit einer Frequenz von 500 Hz im Coincidence Mode aufgenommen. Eine Punktmessung dauerte somit 53 sec.

Untersuchte Konfigurationen

Waldanordnungen mit unterschiedlich ausgebildeten schrägen luvseitigen Traufkanten wurden experimentell untersucht. Dabei kamen zwei verschiedene Kantentypen zum Einsatz: Aus Einzelbäumen zusammengesetzte Kanten (EB, siehe Abb. 1b-d) und Kanten aus porösem Schaumstoff (SS, siehe Abb. 1e-g). Der Traufwinkel TW wurde für beide Kantentypen je dreifach variiert. In Abb. 1a ist der dichte Bestand mit senkrechter Traufkante und offenem Stammraum abgebildet.
Das verwendete Schaumstoffmaterial zeichnet sich durch eine sehr gleichmäßige, offenzellige Struktur aus und lässt sich mit 10 p.p.i. (d.h. 10 Poren pro inch, Zellgröße etwa 2.5 mm) und 97 % Porenvolumenanteil genauer spezifizieren. Der Druckverlustkoeffizient dieses Schaumstoffs beträgt nach Zaschke und Ruck 2006 im Modellmaßstab $k_{r,M} \approx 300\ m^{-1}$ (dies entspricht in der Natur $k_{r,N} = 1{,}5\ m^{-1}$). Die Höhe der Schaumstoffkanten betrug an der luvseitigen Bestandskante 11 cm; die Kante ist somit etwas niedriger als die mittlere Bestandshöhe H = 11.5 cm.
Die Einzelbaumkanten setzen sich aus einzelnen Bäumen zusammen, die im Abstand 2 cm x 2 cm angeordnet sind (was dem Baumabstand des dichten Waldbestands – BD 100% – entspricht). Die Kantenbäume, deren Höhe kleiner als die Kronenhöhe K des Standardbaums ist (K = 6 cm), wurden durch „Köpfen“ der Standardkrone realisiert und sind somit in Bodennähe verhältnismäßig breit. Bei den höheren Kantenbäumen wurde die Stammhöhe variiert. Die Einzelbaumkanten zeichnen sich durch eine weniger einheitliche, aber natürlicher anmutende und etwas lichtere Struktur als die Schaumstoffkanten aus.
Die verschiedenen Kanten wurden sowohl mit dem dichten (BD100, siehe Abb. 1a) als auch mit dem lichten Bestand (BD25), bei dem jede 2.-4. Reihe entfernt wurde, kombiniert. Genauere Beschreibungen dieser Bestände sind in Frank und Ruck 2008 zu finden.
Darüber hinaus wurde auch noch eine weitere Konfiguration untersucht, bei der die Einströmung in den Stammbereich des dichten Walds durch die luvseitige Anordnung einer undurchlässigen Wand vollständig unterbunden wurde, siehe Abb. 2

Die Anströmung erfolgt immer senkrecht zur Waldkante. Der Ursprung des verwendeten x,z-Koordinatensystems liegt auf der Windkanalbodenplatte am luvseitigen Rand des eigentlichen Bestands (d.h. im Lee der vorgelagerten Traufkanten) mit der x-Koordinate in horizontaler Hauptströmungsrichtung und mit der z-Koordinate in nach oben gerichteter, vertikaler Richtung.

Um die Strömungsvorgänge in Kronendachnähe zu erfassen, wurden Horizontalprofile in einer Höhe z/H = 1.13 mit einer sehr feinen horizontalen Auflösung aufgenommen (zwischen 1 cm = 0.087·H (2 m) im Bereich des luvseitigen Waldrands und 5 cm = 0.435·H (10 m) in der Nähe des leeseitigen Waldrands).

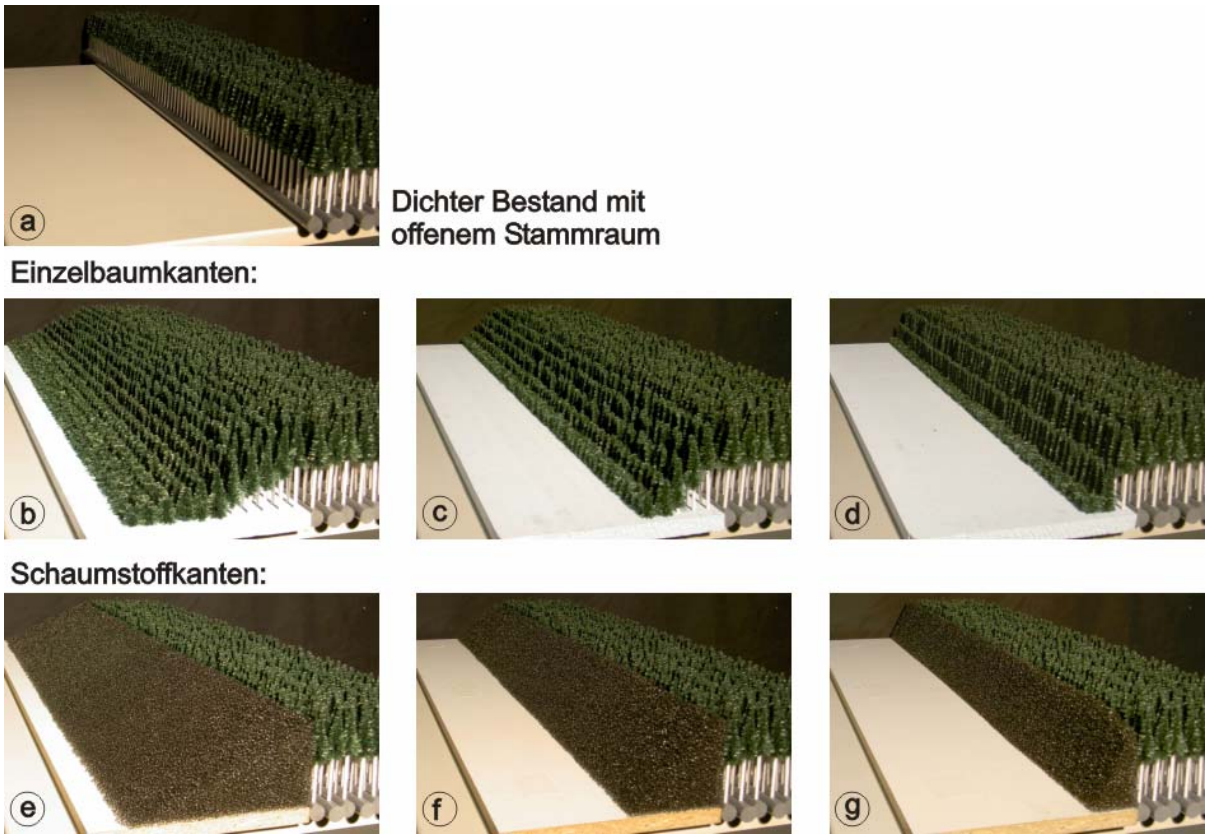

Abb. 1: Fotos der untersuchten Waldkanten: Dichter Bestand (BD100 = 600 Bäume/ha) a) mit offenem Stammraum (TW = 90°), b-d) mit Kanten aus Einzelbäumen [b) TW = 27°, c) TW = 45°, d) TW = 63°] und e-f) mit Schaumstoffkanten [e) TW = 27°, f) TW = 45°, g) TW = 63°]

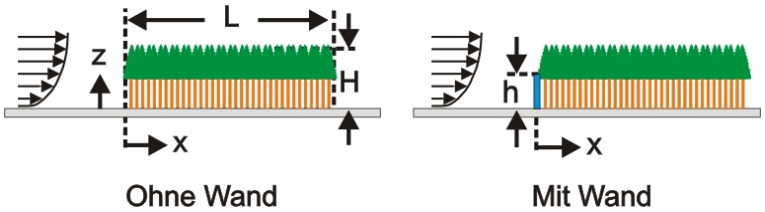

Abb. 2: Skizze des dichten Bestands mit und ohne luvseitig angeordnete, undurchlässige Wand und verwendete Nomenklatur (H = 23 m, L = 412 m, h = 0.52H)

3. Ergebnisse

Im Folgenden werden Horizontalprofile der mittleren horizontalen und vertikalen Geschwindigkeiten, u bzw. w, sowie der turbulenten kinetischen Energie TKE = $0.75\cdot(u'^2 + w'^2)$ und der Schiefe der horizontalen Geschwindigkeit Sku = $u3M/u'^3$ (= Quotient aus dem dritten Moment der horizontalen Geschwindigkeit u3M und der dritten Potenz der horizontalen Standardabweichung u') in einer Höhe z/H = 1.13 dargestellt.
Die TKE beschreibt die Höhe der turbulenten Windfluktuationen, von denen auch die Stärke der Baumschwingungen abhängt, siehe z.B. Dupont und Brunet 2008. Die Schiefe ist ein Maß für die Böigkeit und beschreibt die Asymmetrie einer Verteilung. Ist die Schiefe positiv, ist die Verteilung rechtsschief bzw. linkssteil. In diesem Fall streuen die Werte, die größer als der Mittelwert sind, stärker als die, die kleiner als der Mittelwert sind. Raupach et al. 1987 führten den Begriff der „enhanced gust zone“ für Bereiche hoher Sku-Werte ein und bringen diese mit erhöhten Windwurfschäden in Verbindung.

3.1 Traufkanteneinfluss bei lichten Waldbeständen

In Abb. 3 sind Horizontalprofile in unmittelbarer Kronendachnähe (z/H = 1.13) über lichten Waldbeständen mit unterschiedlich geneigten schrägen luvseitigen Kanten aus Einzelbäumen (Symbole) und aus porösem Schaumstoff (durchgehende Linien) aufgetragen. Zusätzlich sind in Abb. 3 auch die Kurven des lichten Bestands mit offenem Stammraum (senkrechte Kante, TW = 90°) als gestrichelte Linien eingezeichnet.
Abb. 3a zeigt, dass sich in der Nähe des luvseitigen Bestandsrands sowie für x/H > 8 die Kurven der mittleren horizontalen Geschwindigkeit aller untersuchten lichten Konfigurationen sehr ähneln. Im Bereich 1 < x/H < 8 sind die mittleren horizontalen Geschwindigkeiten über dem lichten Bestand mit offenem Stammraum am höchsten. Im Bereich 1 < x/H < 4 sind die mittleren horizontalen Geschwindigkeiten über den Schaumstoffkantenanordnungen etwas geringer als über den Einzelbaumkantenanordnungen. Der Einfluss des Traufwinkels ist sowohl bei den Schaumstoffkanten als auch bei den Einzelbaumkanten gering.
Bei der mittleren vertikalen Geschwindigkeit (Abb. 3b) sind die größten Unterschiede wiederum an der luvseitigen Bestandskante zu beobachten: Mit zunehmendem Traufwinkel geht ein Anstieg der vertikalen Geschwindigkeit einher. Die Vertikalgeschwindigkeiten sind dabei für die Wälder mit Schaumstoffkanten leicht höher als für die Wälder mit Einzelbaumkanten.
Der Strömungswinkel gegen die Horizontale beträgt unmittelbar an der luvseitigen Bestandskante zwischen 13.2° (TW = 27°) und 17.6° (TW = 63°) für die Schaumstoffkanten, zwischen 11.6° (TW = 27°) und 15.0° (TW = 63°) für die Einzelbaumkanten und 12.2° für den senkrechten Bestand. Mit zunehmendem Traufwinkel wird die Strömung unmittelbar an der luvseitigen Bestandskante demnach stärker nach oben umgelenkt, aber bereits nach x/H > ca. 1 sind keine größeren Unterschiede über den lichten Beständen mehr festzustellen.
Die turbulente kinetische Energie TKE nimmt zwischen 1 < x/H < 5 bei den Schaumstoffkantenanordnungen deutlich zu, siehe Abb. 3c, es zeigt sich jedoch leider keine klare Abhängigkeit vom Traufwinkel. Die Unterschiede zwischen lichtem Bestand mit offenem Stammraum und mit Einzelbaumkanten sind hingegen gering.
Die Schiefe der Horizontalkomponente (Abb. 3d) ist zwischen 1 < x/H < 3 über den lichten Wäldern mit schrägen Kanten etwas höher als über dem lichten Wald mit offenem Stammraum.

3.2 Traufkanteneinfluss bei dichten Waldbeständen

Dichter Bestand mit schrägen Kanten

Abb. 4a zeigt, dass sich in der Nähe des luvseitigen Bestandsrands die Kurven der mittleren horizontalen Geschwindigkeit aller untersuchten dichten Konfigurationen mit schrägen Kanten sehr ähneln. Bei den Anordnungen mit Einzelbaumkanten nimmt mit zunehmendem Traufwinkel die mittlere horizontale Geschwindigkeit im Bereich x/H > 2 leicht ab, bei den Anordnungen mit Schaumstoffkanten bereits ab x/H > 1. Die niedrigsten horizontalen Geschwindigkeiten stellen sich für x/H > 3 beim dichten Bestand mit offenem Stammraum ein. Die Unterschiede zwischen den Kurven werden mit zunehmender Entfernung zum luvseitigen Bestandsrand allmählich wieder kleiner.
Bei der mittleren vertikalen Geschwindigkeit (Abb. 4b) sind die größten Unterschiede an der luvseitigen Bestandskante zu beobachten: Mit zunehmendem Traufwinkel geht ein Anstieg der vertikalen Geschwindigkeit einher. Die Vertikalgeschwindigkeiten sind dabei für die Wälder mit Schaumstoffkanten leicht höher als für die Wälder mit Einzelbaumkanten. Für 1 < x/H < 8 sind die Vertikalgeschwindigkeiten bei den Beständen mit geneigter Kante etwas kleiner als die des dichten Bestands mit offenem Stammraum und weiter stromab sind keine nennenswerte Unterschiede mehr erkennbar. Mit zunehmendem Traufwinkel wird die Strömung im kantennahen Bereich (x/H < ca. 8) stärker nach oben umgelenkt. Der Strömungswinkel

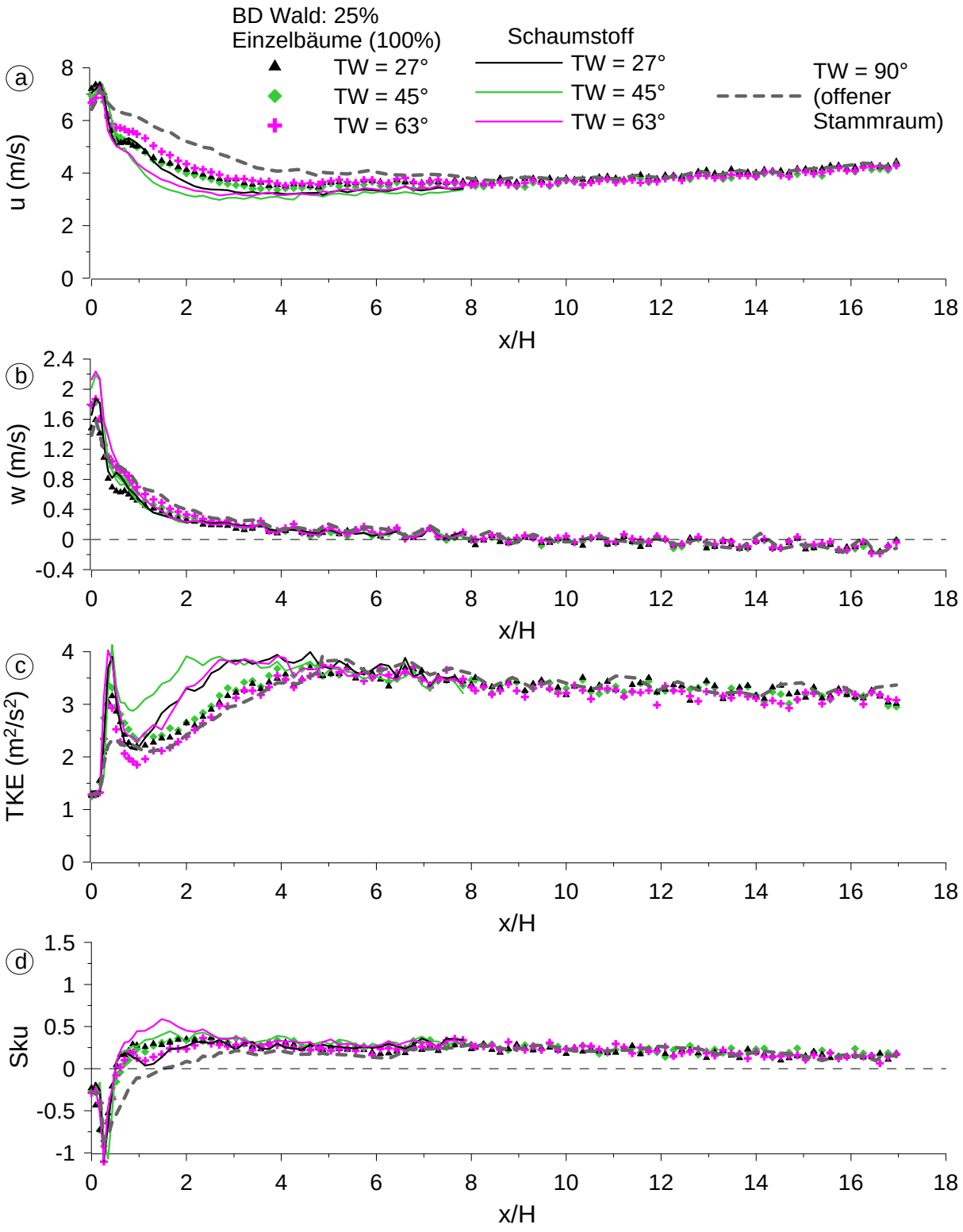

Abb. 3: Horizontalprofile in unmittelbarer Kronendachnähe (z/H = 1.13) von lichten Waldanordnungen (BD25) mit unterschiedlichen Kanten: a) mittlere horizontale Geschwindigkeit u, b) mittlere vertikale Geschwindigkeit w, c) turbulente kinetische Energie TKE und d) Schiefe der horizontalen Geschwindigkeitskomponente Sku. Dargestellt sind auch die Profile des lichten Waldbestands mit offenem Stammraum (Werte der ungestörten Anströmung in gleicher Höhe: u_0 = 5.4 m/s, w_0 = 0.07 m/s, TKE_0 = 1.60 m²/s², Sku_0 = 0.01)

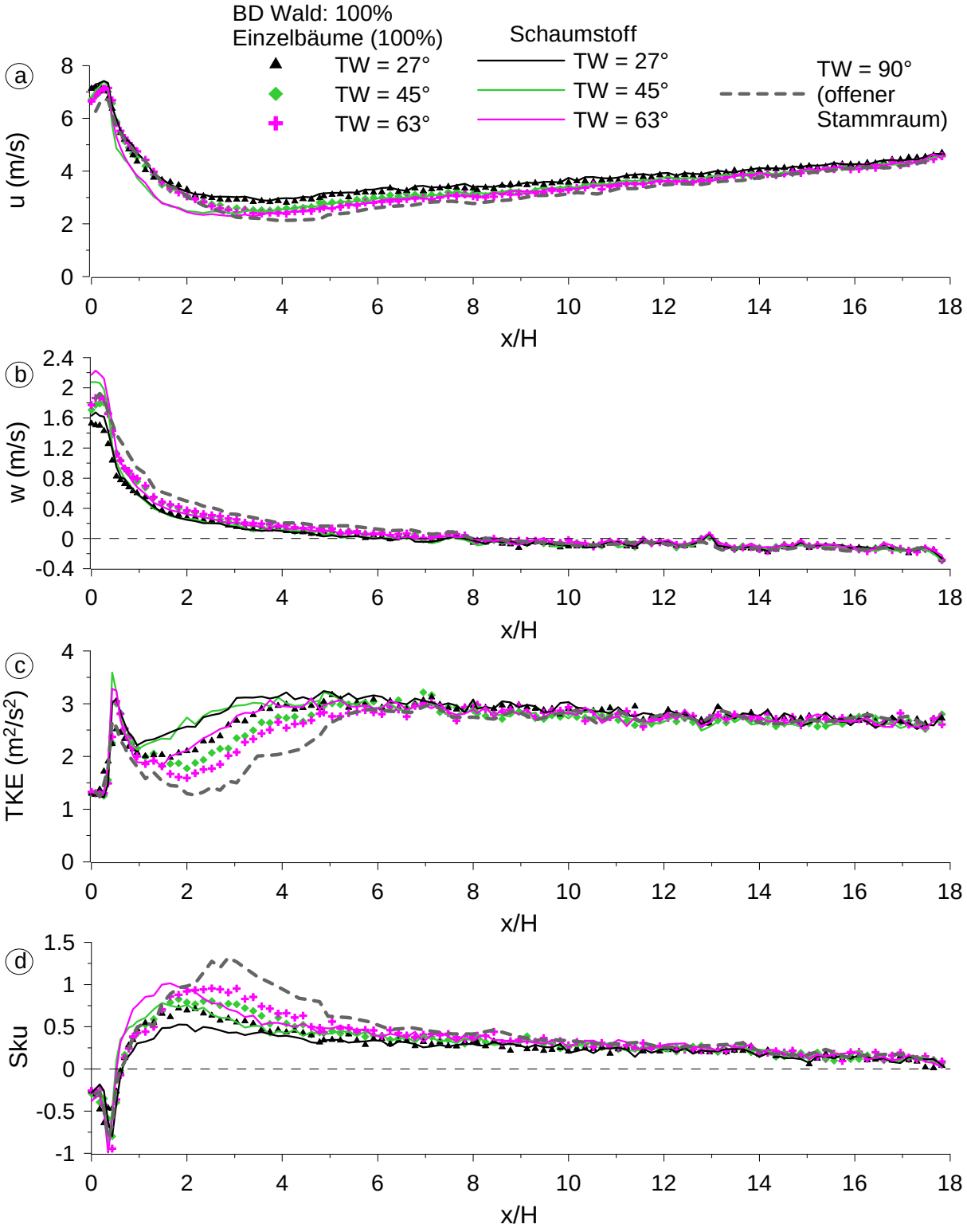

Abb. 4: Horizontalprofile in unmittelbarer Kronendachnähe (z/H = 1.13) von dichten Waldanordnungen (BD100) mit unterschiedlichen Kanten: a) mittlere horizontale Geschwindigkeit u, b) mittlere vertikale Geschwindigkeit w, c) turbulente kinetische Energie TKE und d) Schiefe der horizontalen Geschwindigkeitskomponente Sku. Dargestellt sind auch die Profile des dichten Waldbestands mit offenem Stammraum (u_0 = 5.4 m/s, w_0 = 0.07 m/s, TKE_0 = 1.60 m²/s², Sku_0 = 0.01)

gegen die Horizontale beträgt unmittelbar an der luvseitigen Bestandskante zwischen 12.8° (TW = 27°) und 18.2° (TW = 63°) für die Schaumstoffkanten, zwischen 12.1° (TW = 27°) und 14.9° (TW = 63°) für die Einzelbaumkanten und 16.5° für den senkrechten Bestand.
Die turbulente kinetische Energie TKE nimmt mit zunehmendem Traufwinkel zwischen 1 < x/H < 5 deutlich ab, siehe Abb. 4c. In diesem Bereich sind die Werte des Bestands mit offenem Stammraum am niedrigsten und Schaumstoffkanten führen hier zu höheren TKE – Werten als Einzelbaumkanten.
Die Schiefe der Horizontalkomponente (Abb. 4d) nimmt im Gegensatz dazu zwischen 1 < x/H < 6 mit zunehmendem Traufwinkel merklich zu. Die Maximalwerte der Schiefe treten bei Schaumstoffkanten etwas kantennäher auf als bei Einzelbaumkanten. Beim Bestand mit offenem Stammraum stellt sich der höchste Schiefewert aller untersuchten Konfigurationen in der größten Entfernung zur luvseitigen Bestandskante bei x/H = 3 ein.

Dichter Bestand mit undurchlässiger Wand

Die Anordnung einer undurchlässigen Wand bewirkt, dass die horizontale Geschwindigkeit u in unmittelbarer Kronendachnähe im Kantenbereich im Vergleich zur Anordnung ohne Wand leicht zunimmt (Abb. 5a). Das Minimum von u ist weniger ausgeprägt und stellt sich bereits in geringerer Entfernung zur luvseitigen Bestandskante ein. Der stromab des Minimums beobachtete Geschwindigkeitsanstieg verläuft ähnlich steil wie bei der Anordnung mit lichtem Stammraum, der lineare Ast der Kurve ist jedoch zur luvseitigen Traufkante hin verschoben. Ein Gleichgewichtszustand von u wird selbst in einer Entfernung von 18H zur luvseitigen Traufkante bei beiden Anordnungen noch nicht erreicht.
Bei der mittleren vertikalen Geschwindigkeit bewirkt die Wand in Kronendachnähe einen leichten Anstieg im Bereich der luvseitigen Traufkante und eine Abnahme im Bereich 1 ≤ x/H ≤ ca. 8 (Abb. 5b).
Der Strömungswinkel gegen die Horizontale beträgt an der luvseitigen Bestandskante 16.5° für den senkrechten Bestand ohne Wand und 18° für die Anordnung mit Wand. Im weiteren Verlauf (für 1 < x/H < 8) ist der Strömungswinkel für die Anordnung mit Wand indes deutlich kleiner als bei dichten Bestand ohne Wand.
Im Bereich ca. 1 < x/H < ca. 6 nehmen die TKE-Werte in Kronendachnähe deutlich zu (Abb. 5c) und die Schiefewerte der horizontalen Komponente deutlich ab (Abb. 5d).

Ein Vergleich der Kurven des dichten Bestands mit undurchlässiger Wand (Abb. 5) mit den Kurven des dichten Bestands mit schrägen Kanten (Abb. 4) zeigt, dass die Auswirkungen auf die Strömungsgrößen in Kronendachnähe tendenziell sehr ähnlich sind. Die Ergebnisse deuten somit darauf hin, dass die Höhe des Volumenstroms durch die luvseitige Traufkante für die Kurvenverläufe in Kronendachnähe entscheidend ist. Die Höhe des Volumenstroms ist abhängig von der Dichte der Waldkante. Mit abnehmendem Traufwinkel nimmt die Gesamtdichte der untersuchten schrägen Kanten insbesondere in Bodennähe und vor allem bei den Schaumstoffkanten zu.

3.3 Vergleich Traufkanteneinfluss bei lichten und dichten Beständen

In Abb. 6 sind die Kurven der dichten und lichten Anordnungen mit Einzelbaumkanten zusammengestellt. Abb. 6 zeigt, dass die Kantenausbildung die Strömungsgrößen in unmittelbarer Kronendachnähe vor allem über der luvseitigen Bestandshälfte beeinflusst. Weiter stromab werden die für die jeweilige Bestandsdichte typischen Kurvenverläufe, die bereits in Frank und Ruck 2008 für Anordnungen mit offenem Stammraum vorgestellt wurden, bestätigt. Der Anstieg der TKE kann dabei auf die erhöhte Kronendachrauhigkeit des lichteren Bestands zurückgeführt werden.

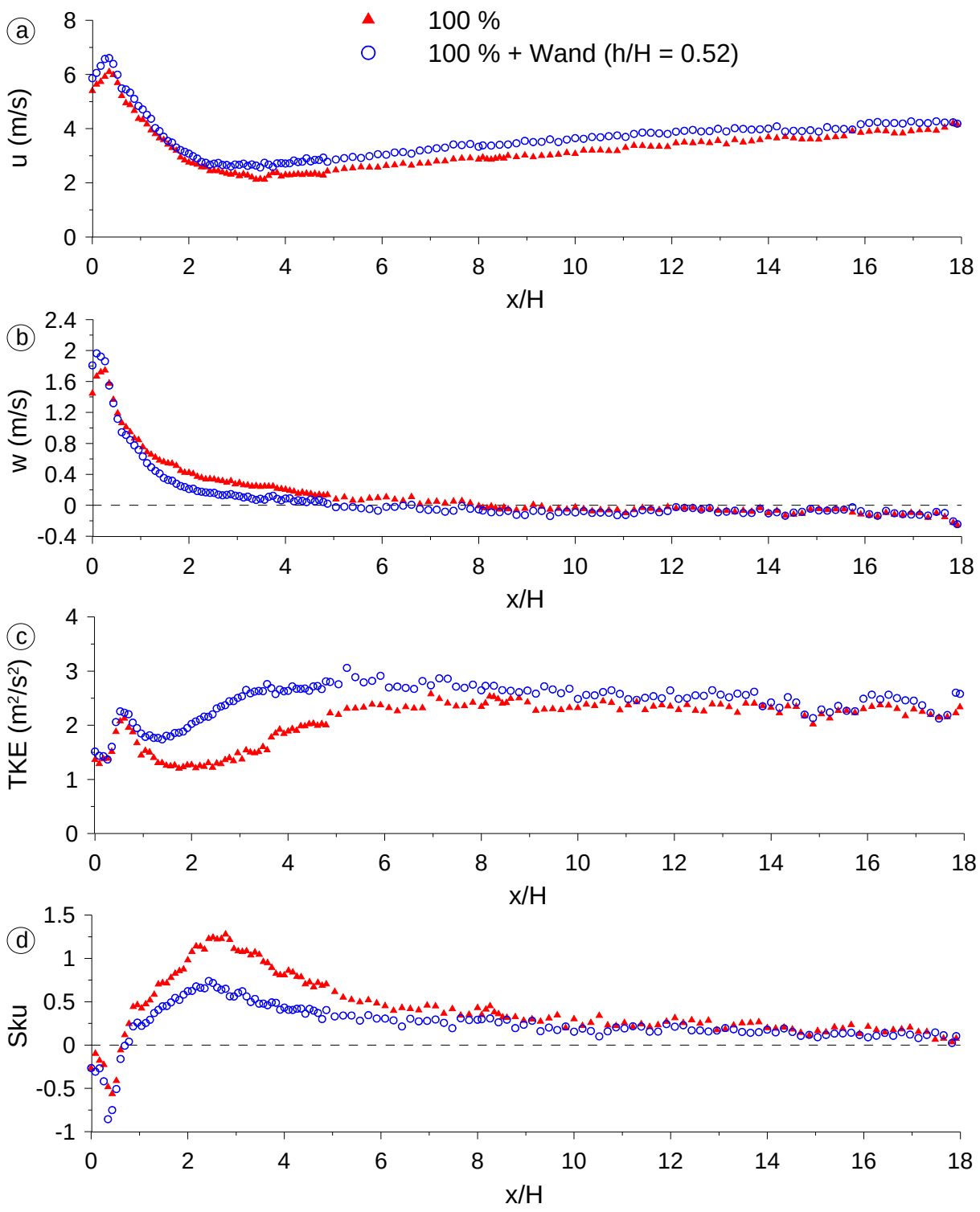

Abb. 5: Horizontalprofile in unmittelbarer Kronendachnähe (z/H = 1.13) des dichten Waldbestands (BD100) mit luvseitig angeordneter, undurchlässiger Wand (bei x/H = 0): a) mittlere horizontale Geschwindigkeit u, b) mittlere vertikale Geschwindigkeit w, c) turbulente kinetische Energie TKE und d) Schiefe der horizontalen Geschwindigkeitskomponente Sku. Dargestellt sind auch die Profile des dichten Waldbestands ohne Wand (u_0 = 5.4 m/s, w_0 = 0.07 m/s, TKE_0 = 1.60 m²/s², Sku_0 = 0.01)

Die Profile der mittleren horizontalen Geschwindigkeit über dichten und lichten Beständen werden sich ähnlicher, wenn im Luv der Bestände schräge Waldkanten identischer Struktur angeordnet werden, was darauf hindeutet, dass auch die mittlere Windbelastung in Kronendachnähe ähnlicher wird.
Darüber hinaus scheint der Traufwinkel bei dichten Beständen generell einen etwas größeren Einfluss auszuüben als bei lichten Beständen, da die Kurven beider Kantentypen über den dichten Beständen stärker streuen.

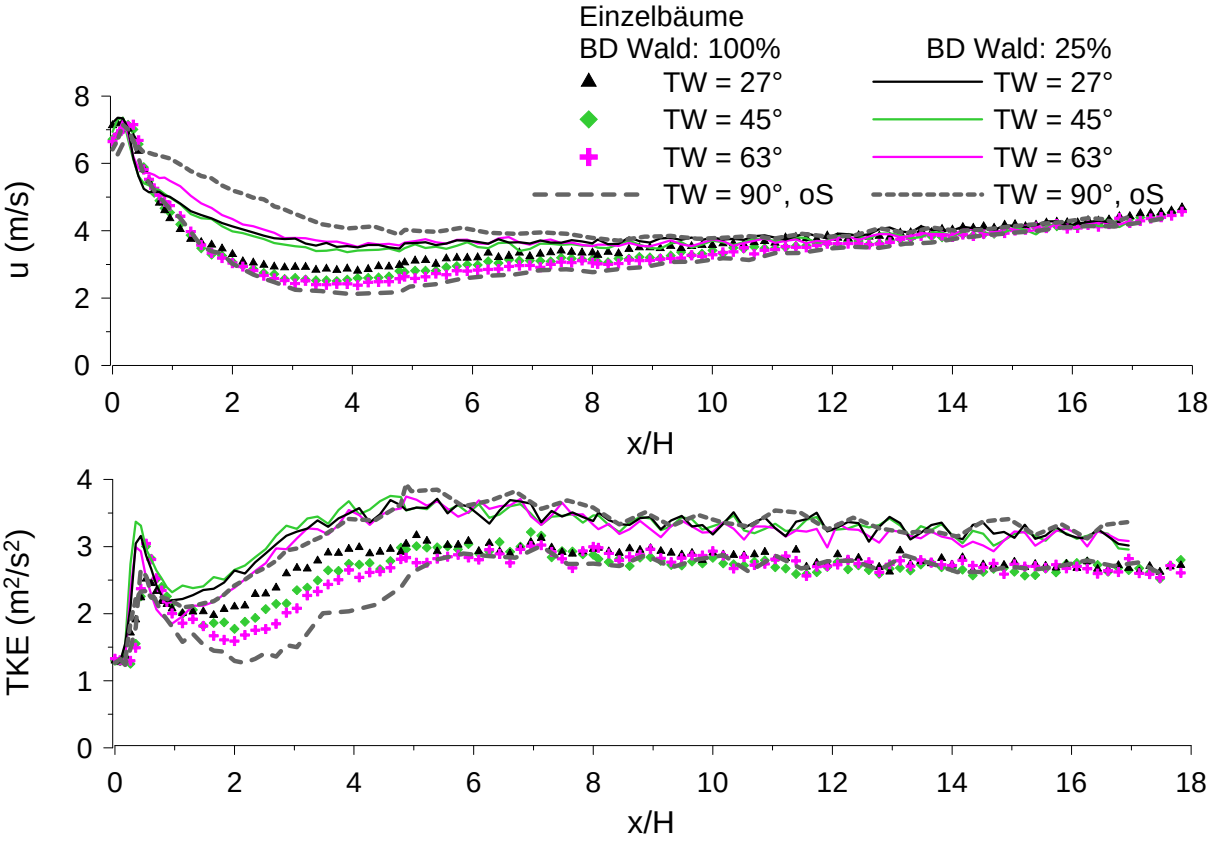

Abb. 6: Horizontalprofile in unmittelbarer Kronendachnähe (z/H = 1.13) von lichten und dichten Waldanordnungen (BD25 und BD100) mit Einzelbaumkanten: a) mittlere horizontale Geschwindigkeit u, b) turbulente kinetische Energie TKE. Dargestellt sind auch die Profile des dichten und lichten Waldbestands mit offenem Stammraum (u_0 = 5.4 m/s, TKE_0 = 1.60 m²/s²)

4. Diskussion und Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass die luvseitige Traufkantenausbildung die Strömungsvorgänge vor allem im kantennahen Bereich beeinflusst und ihre Auswirkungen somit räumlich begrenzt sind, was mit Beobachtungen von Dupont und Brunet 2008 übereinstimmt. Die Anordnung von vorgelagerten Kanten führt bei allen Konfigurationen im Bereich von 1 < x/H < ca. 6 zu einen mehr oder weniger starken Anstieg der TKE. Gleichzeitig nimmt bei den dichten Beständen in diesem Bereich aber die horizontale Schiefe ab.
Vorgelagerte schräge Traufkanten bewirken, dass sich die Biegemomente, welche auf die am Rand des eigentlichen Bestands stehenden Bäume einwirken, verringern (siehe Gardiner und Stacey 1996, Dupont und Brunet 2008. Eigene numerische Berechnungen bestätigen dies). Der Grad der Biegemomentreduktion ist abhängig vom Traufwinkel und damit auch von der Dichte der vorgelagerten Kanten. Die hier vorgestellten Horizontalprofile in unmittelbarer Kronendachnähe (z/H = 1.13) geben diese innerhalb des Bestands stattfindenden Veränderungen leider nicht zwangsläufig wieder, was auch aus den in Abb. 8 dargestellten Vertikalprofilen ersichtlich wird. Letztere bestätigen weitgehend eine Abnahme der Windbelas-

tung innerhalb des lichten Bestands bei x/H = 0.26 mit zunehmender Kantendichte. Es ist nicht davon auszugehen, dass sich beim dichten Bestand die an dieser Stelle beobachteten Trends signifikant verändern, da der luvseitig angeordnete Kantenbereich identisch ist. Die Reduktion der Windbelastung spricht für eine höhere Sturmschadensstabilität von Wäldern mit vorgelagerten Kanten.

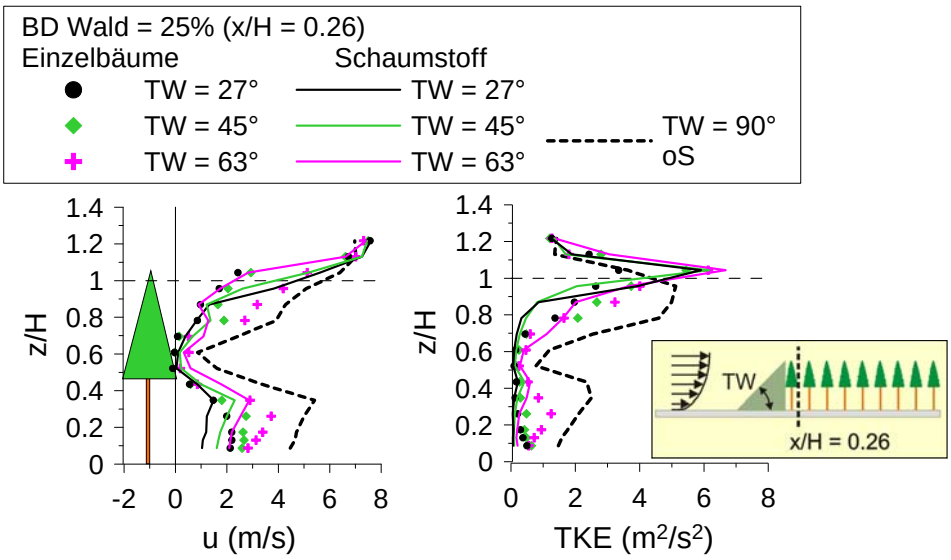

Abb. 8 Vertikalprofile der mittleren horizontalen Geschwindigkeit u (links) und der turbulenten kinetischen Energie TKE (rechts) im Lee der 1. Bestandsreihe (x/H = 0.26) in lichten Waldbeständen (BD25) mit unterschiedlichen luvseitigen Kanten

Dankesworte

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Projekts „Verbesserung der Sturmstabilität von Waldbeständen“ durchgeführt, welches Teil des RESTER - Verbundprojekts „Strategien zur Reduzierung des Sturmschadensrisikos für Wälder“ innerhalb des Forschungsprogramms „Herausforderung Klimawandel“ ist. Die Autoren möchten sich an dieser Stelle beim Umweltministerium Baden-Württemberg für die gewährte Förderung aus der Zukunftsoffensive IV bedanken.

Literatur

Dupont, S., Brunet, Y., 2008: Impact of Forest Edge Shape on Tree Stability: A Large-Eddy Simulation Study, *Forestry* 81(3), 299-316

Frank, C., 2005: *Wirksamkeit von dünnen Windschutzstreifen auf Sockelwällen in luv- und leeseitiger Anordnung*, Dissertation, Universitätsverlag Karlsruhe

Frank, C., Ruck, B., 2007: Windkanalstudie zur Strömung in Waldlichtungen, *Proc. 15. GALA-Fachtagung „Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik“*, Sept. 2007, Rostock, 9.1-9.9

Frank, C., Ruck, B., 2008: Über den Einfluss der Bestandsdichte auf die Strömungsvorgänge an Waldkanten, *Proc. der 16. GALA – Fachtagung „Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik”,* Sept. 2008, Karlsruhe, 40.1-40.10

Gardiner, B., Stacey, G., 1996: Designing Forest Edges to Improve Wind Stability, Forestry Commission, *Technical Paper* 16, 8p

Raupach, M.R., Bradley, E.F., Ghadiri, H., 1987: *A Wind Tunnel Investigation into the Aerodynamic Effect of Forest Clearings on the Nesting of Abbott´s Booby on Christmas Island*, Internal Report, CSIRO Division of Environmental Mechanics, Canberra, Australia, 21p

Zaschke, M., Ruck, B., 2006: Strömungsmuster im Bereich von Waldrändern, *Proc. 14. GALA-Fachtagung “Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik”,* Sept. 2006, Braunschweig, 58.1-58.8