

# Aspekte zu Windströmungen an forstlichen Kanten

Forschungsprogramm: *Herausforderung Klimawandel*

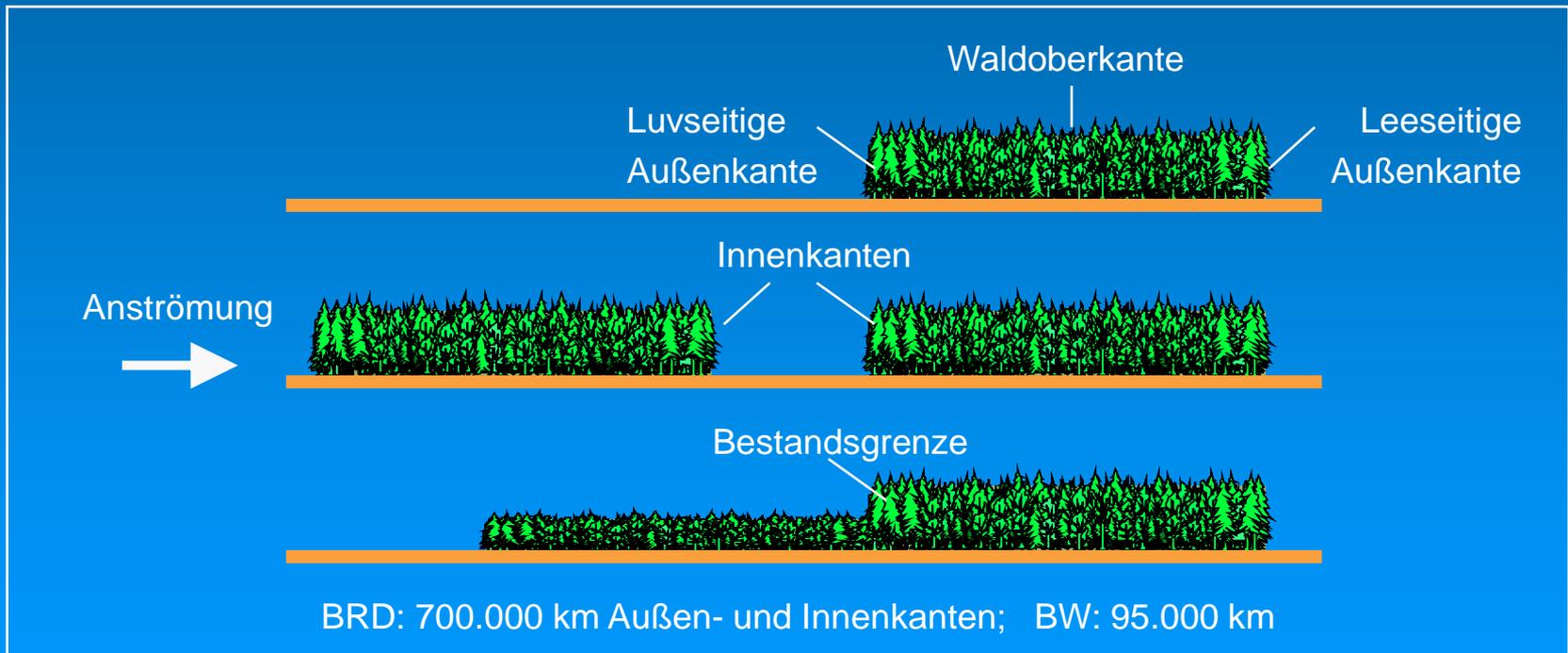
\*\*\*\*

Teilforschungsprojekt:

*Strategien zur Reduzierung des Sturmschadensrisikos für Wälder (RESTER)*

\*\*\*\*

Unterprojekt: *Verbesserung der Sturmstabilität von Waldbeständen (RESTER-UniKA-2)*



C. Frank und B. Ruck

Laboratorium für Gebäude- und Umweltaerodynamik  
Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe

# Motivation

Sturmschäden in Wäldern finden sich häufig im Bereich der ersten 100 bis 200 m stromab von luvseitigen Bestandskanten (SOMERVILLE 1980, 1989).

Windwurf setzt dabei oftmals nicht direkt am luvseitigen Bestandsrand ein, sondern erst in einiger Entfernung stromab der Waldkante.

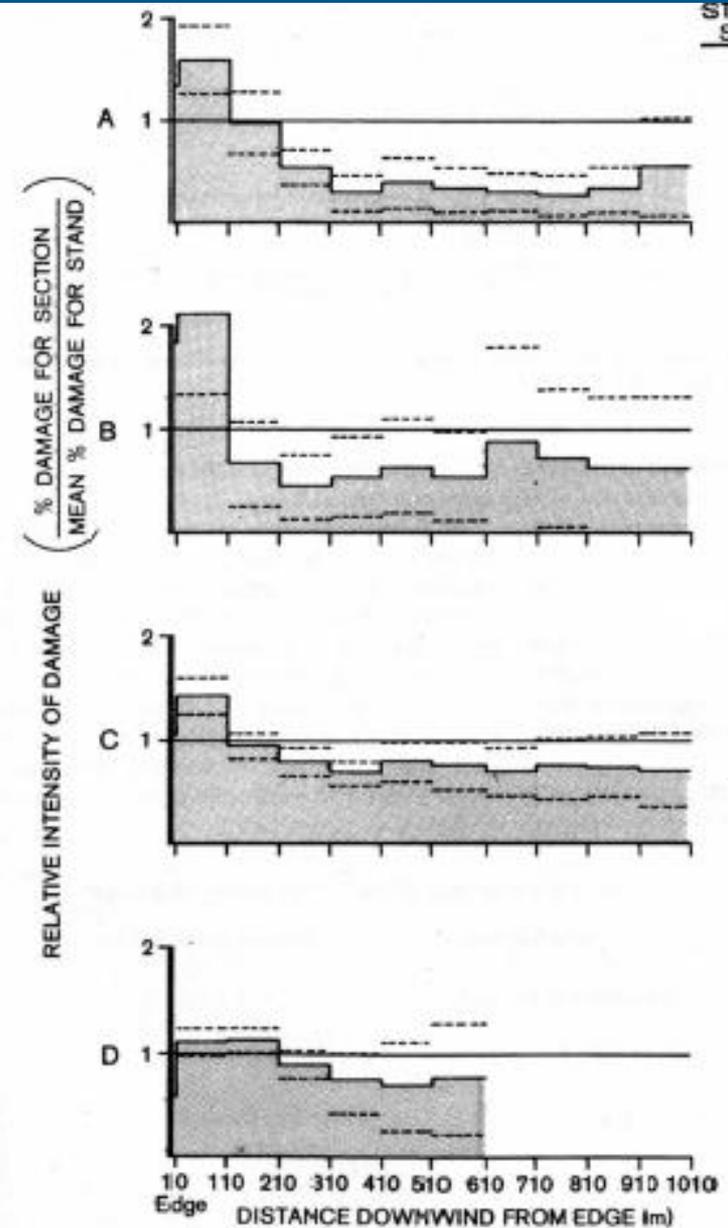


FIG. 3 - Distribution of wind damage in Canterbury Plains forests in relation to exposed edges. For (A), (B) and (C), stands were less than 25 years old with : (A) open ground to windward, (B) windward stands at least 5m shorter, and (C) open ground to windward for at least 40m and then windward stands of similar size. For (D) stands were over 25 years with open ground to windward. The solid lines indicate mean values for the stands examined and the dashed lines 95% confidence intervals.

# Ziel

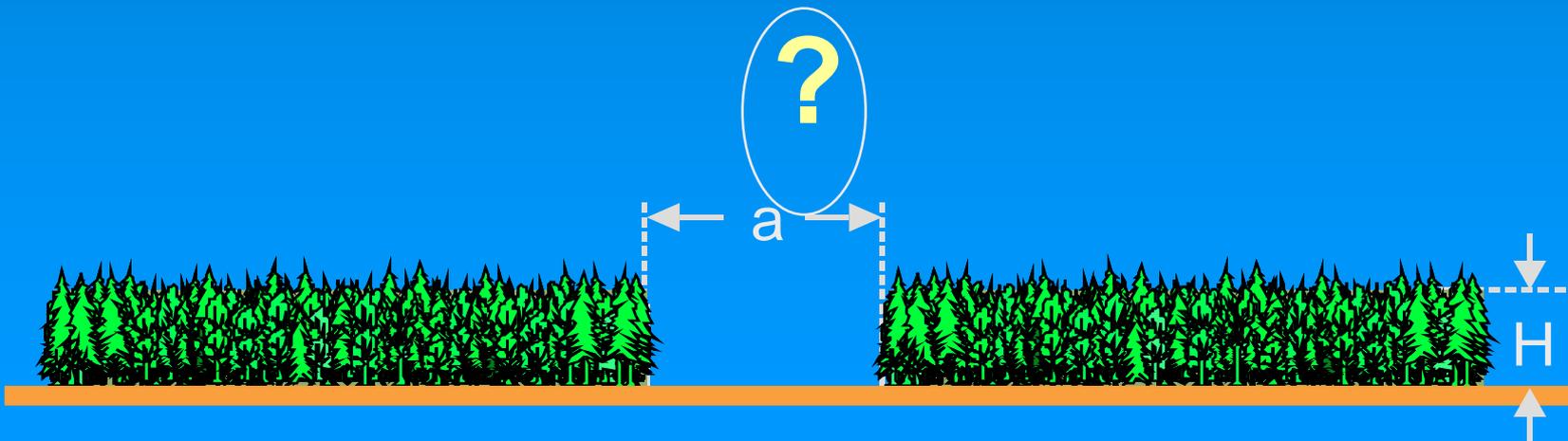
## Allgemein:

Untersuchung des Einflusses von verschiedenen Bestandseigenschaften auf die Sturmstabilität von Waldbeständen aus aerodynamischer Sicht.

- Experimentelle Untersuchungen an statischen und dynamischen Bestandsmodellen in einem atmosphärischen Grenzschichtwindkanal und
- ergänzend numerische Strömungsberechnungen (CFD, RANS – Modell).

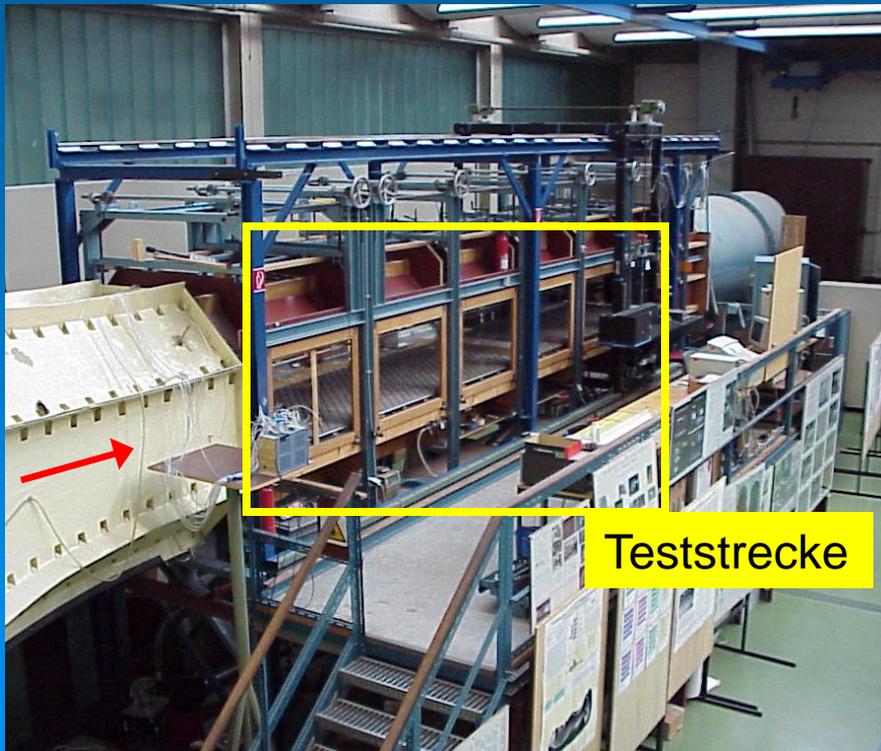
## Spezifisch:

- Welche Auswirkungen hat die Umströmung von Kanten auf die Stabilität des nachfolgenden Bestandes
  - Allgemeiner Fall einer lang gestreckten (2D-) Lichtung der Breite  $a$
  - Dreidimensionale Lichtungen



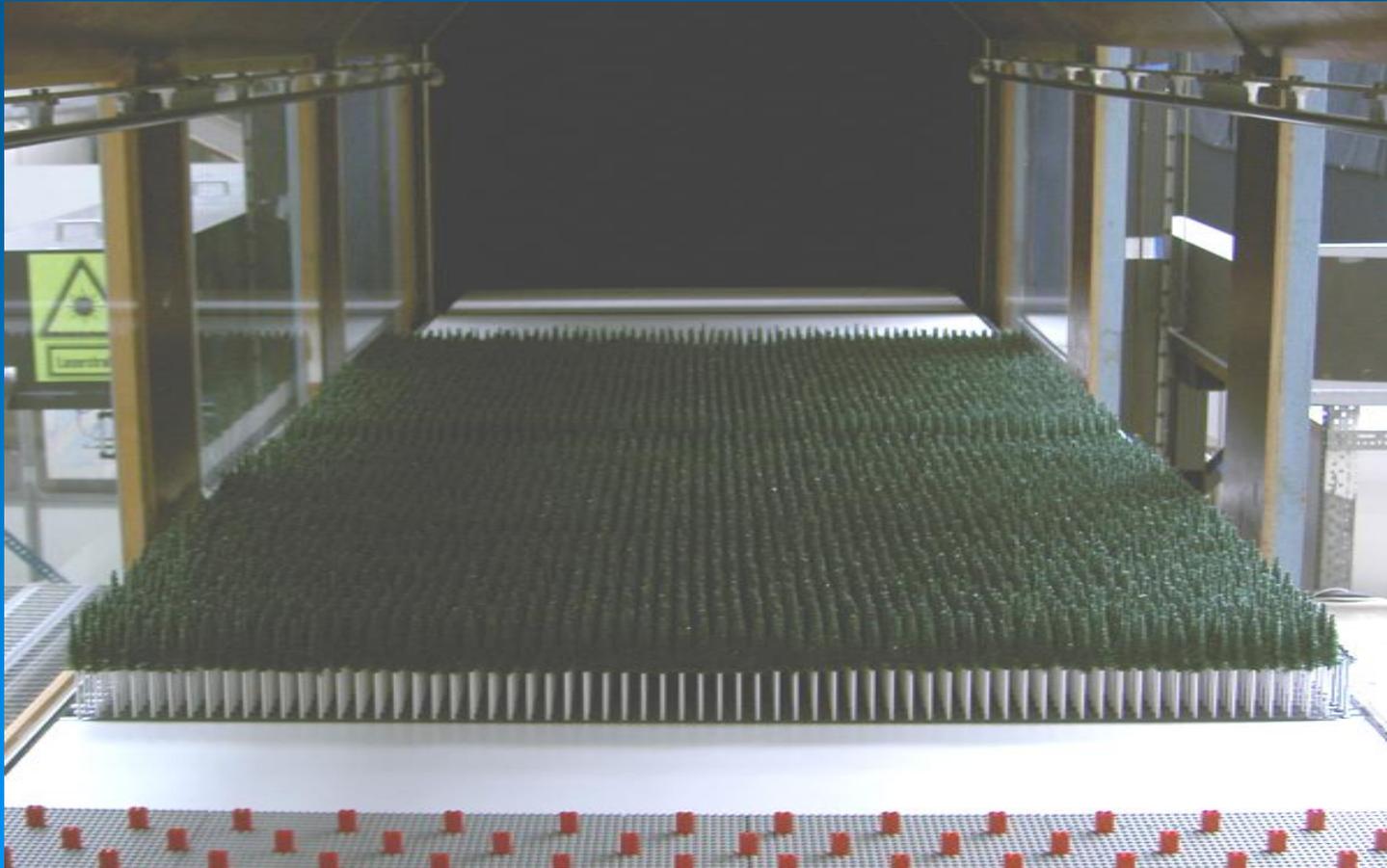
# Physikalische Modellierung

## ● Atmosphärischer Grenzschichtwindkanal



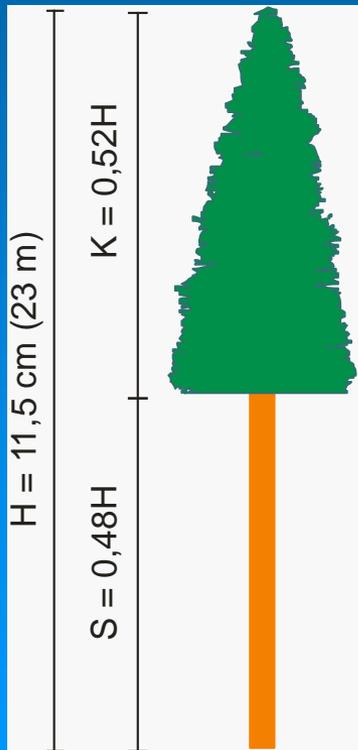
- Geschlossener Kanal
- Gesamtlänge 29 m
- Querschnitt 1.5 m x 1.5 m, (oktagonal)
- Länge Teststrecke 8 m
- Grenzschichthöhe 0.55 m
- Windgeschwindigkeit bis 45 m/s
- Leistung 90 kW

# Statisches Waldmodell

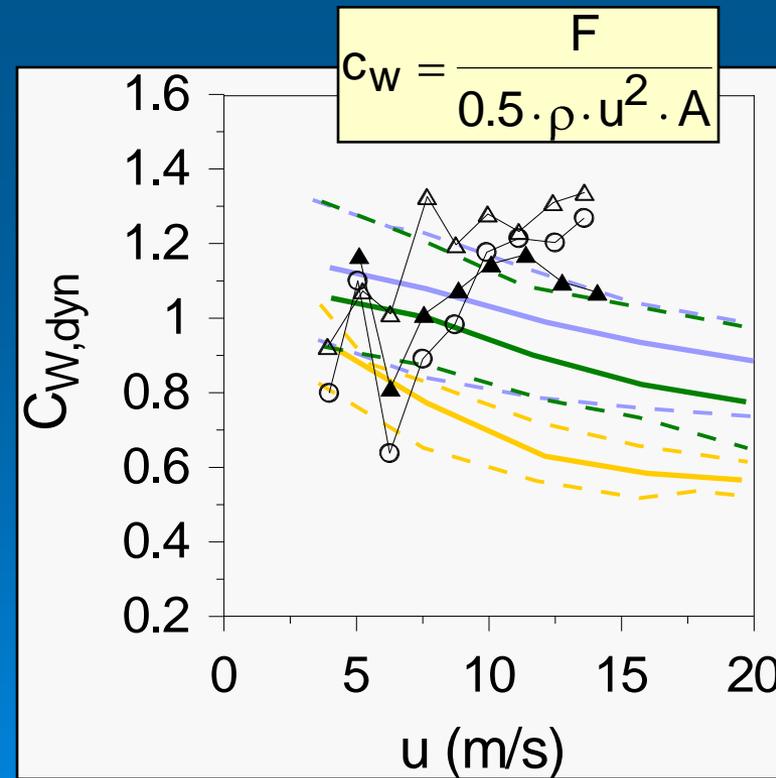


- 6 700 Modelltannen (100 Reihen a 67 Bäume)
- Modellmaßstab 1:200
- $H = 11.5 \text{ cm}$  (23 m Natur),  $L = 17.9 \cdot H$ ,  $B = 11.9 \cdot H$
- Bestandsdichte: 2 400 Bäume /  $\text{m}^2$  (Natur: 600 Bäume / ha)
- Strukturiertes, geschlossenes Kronendach

# Standardbaum



**Modelltanne:**  
 Kronenhöhe K: 6 ± 0.5 cm  
 Breite B: ca. 2.5 cm  
  
**Stamm:**  
 Material: Polystyrol - Rundrohre  
 Durchmesser D: 4 mm  
 Stammhöhe S: ca. 5.5 cm  
  
**Gesamthöhe H:** 11.5 ± 0.5 cm  
  
**Modellmaßstab:** 1:200



**Modellbäume**

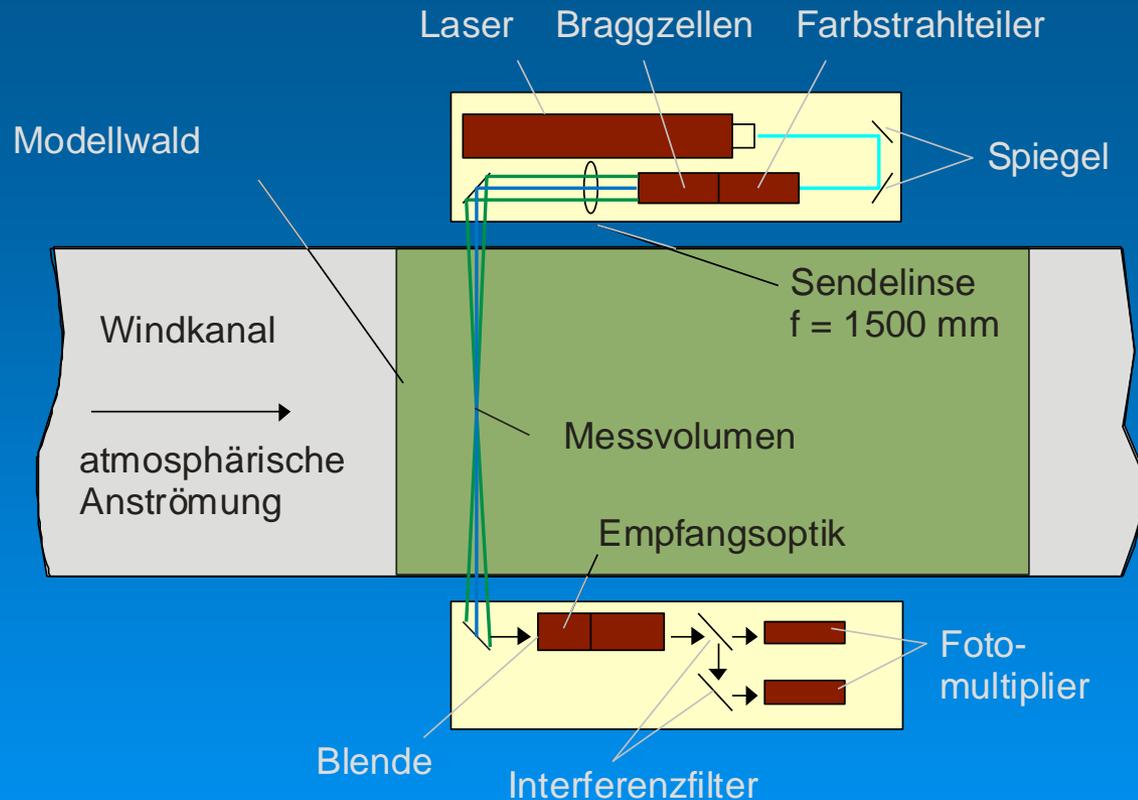
- Tanne mit Stamm
- △▲ Tanne ohne Stamm

**Naturdaten: RUDNICKI et al 2004**  
 (— Mittelwert, - - - Min / Max)

- Western Hemlock (9)
- Rote Zeder (9)
- Drehkiefer (10)

Strömungsmechanisch betrachtet stellt ein Baum ein Hindernis dar, das im unteren Bereich einen zylinderförmigen Stamm besitzt, auf dem sich ein permeables Haufwerk befindet. Strömungsmechanisch spielen die Druckverluste eine zentrale Rolle (und weniger eine 100 %ige geometrische Ähnlichkeit).

# Laserbasiertes Strömungsmesssystem (LDA)



## 2D-LDA-System

Argon-Ionen-Laser, 4 Watt  
 Brennweite  $f = 1.5 \text{ m}$   
 Vorwärtslichtstreuung

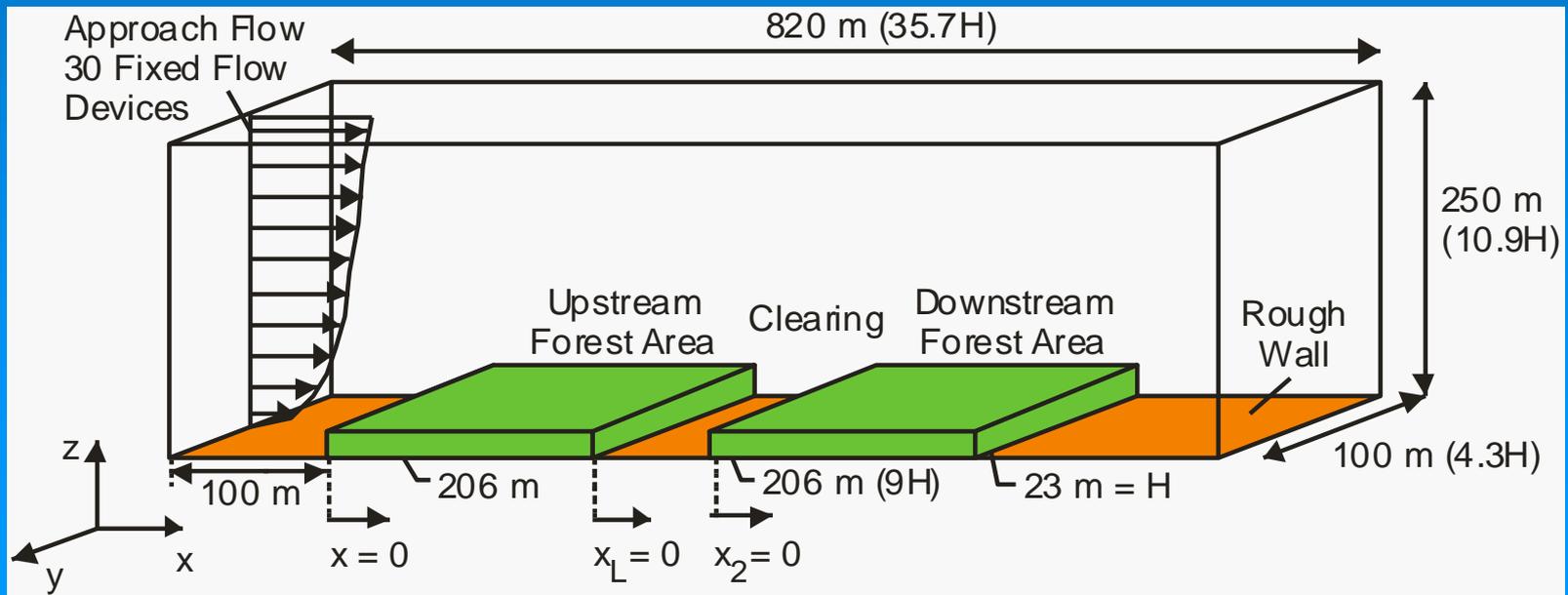
Komponente	Blau	Grün
Wellenlängen $\lambda$	488 nm	514 nm
Überlagerungshalbwinkel $\varphi$	$0.955^\circ$	$0.955^\circ$
Interferenzstreifenabstand $\Delta x$	$14.64 \mu\text{m}$	$15.42 \mu\text{m}$

Aufnahmefrequenz: 500 Hz

26.600 Datenpunkte je Messpunkt - Dauer einer Punktmessung: 53 s

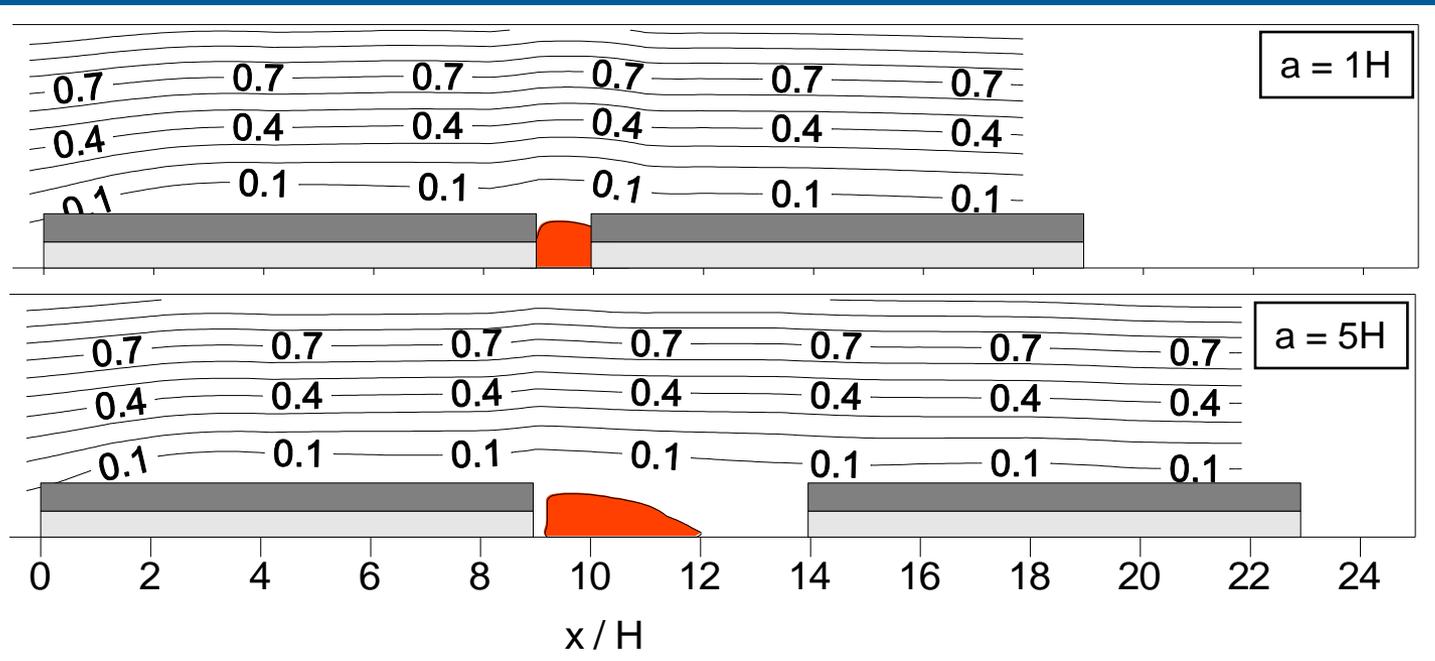
# Numerische Berechnungen

- FLOVENT V 6.1 / Flomerics Ltd.
- LVEL k- $\varepsilon$  Turbulenzmodell
- Wald:                   Volumenwiderstand:  $k_r = \Delta p / (0.5 \cdot \rho \cdot u^2) = 0.8 \text{ m}^{-1}$  (homogen)  
                              TKE – Senke an Waldkanten:  $S_{\text{TKE}} = -0.6 \cdot \text{TKE}$
- Randbedingungen:
  - Geländeoberfläche:                   raue Wand
  - Seitenflächen:                         in x-Richtung offen  
  in seitlicher Richtung und oben symmetrisch

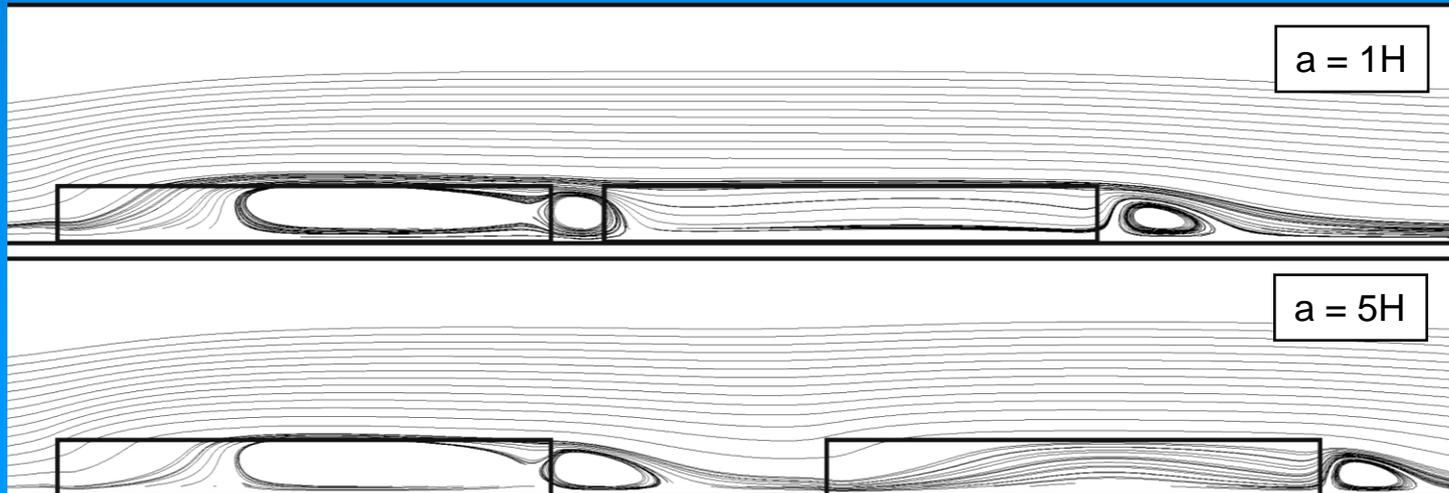


# Stromlinien

Windkanal



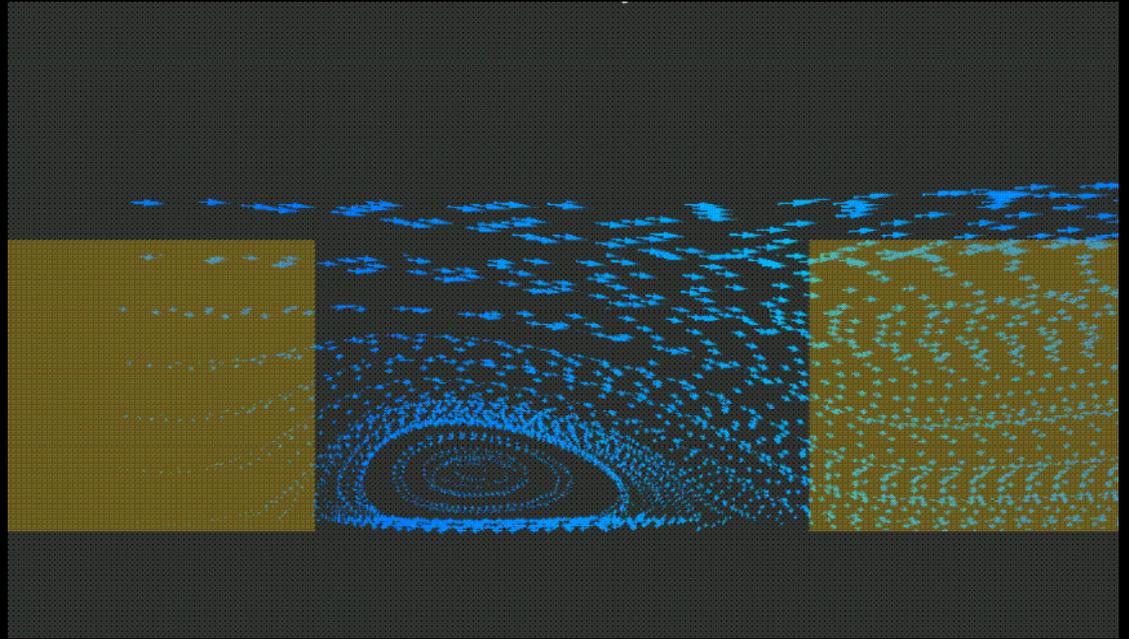
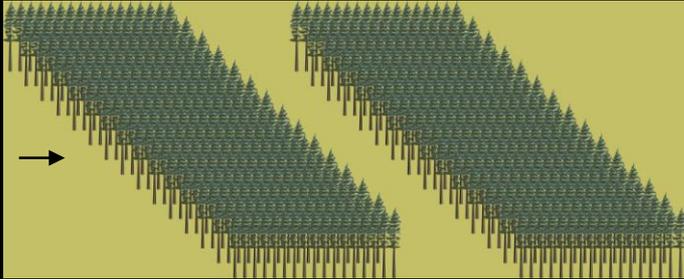
CFD



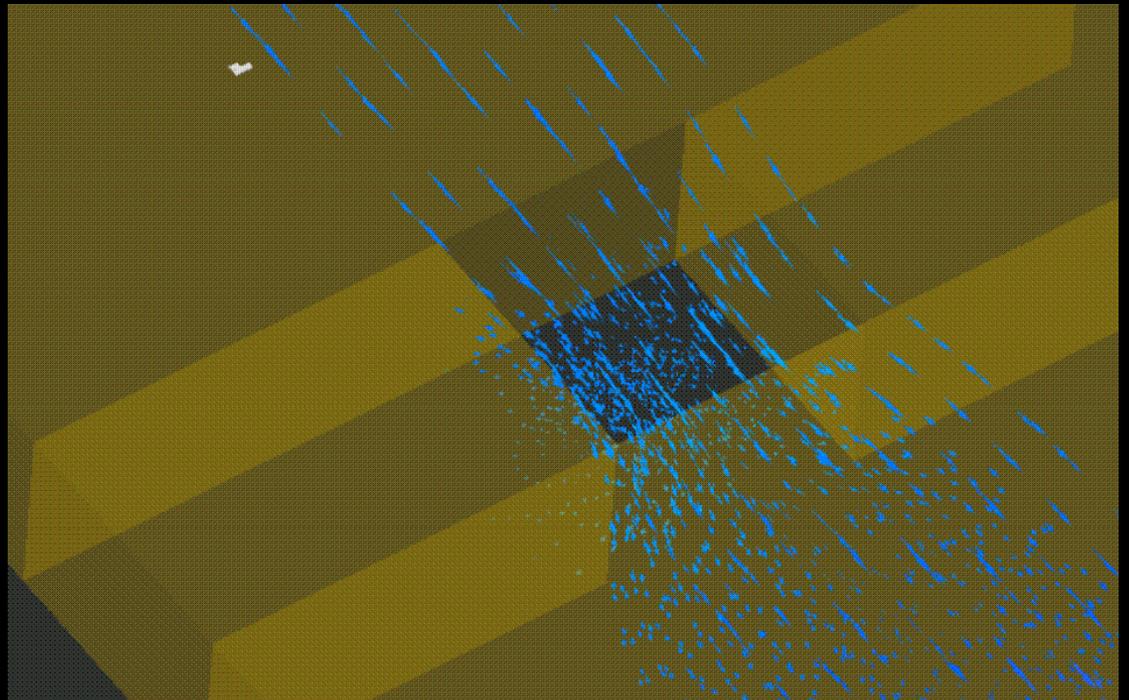
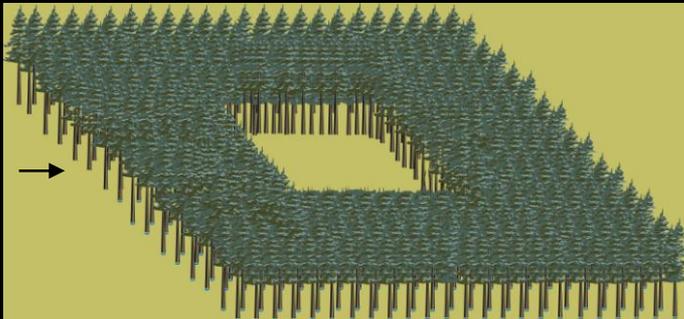
# Computerberechnungen

liefern Detailinformationen über das Strömungsfeld und Wirbelsysteme

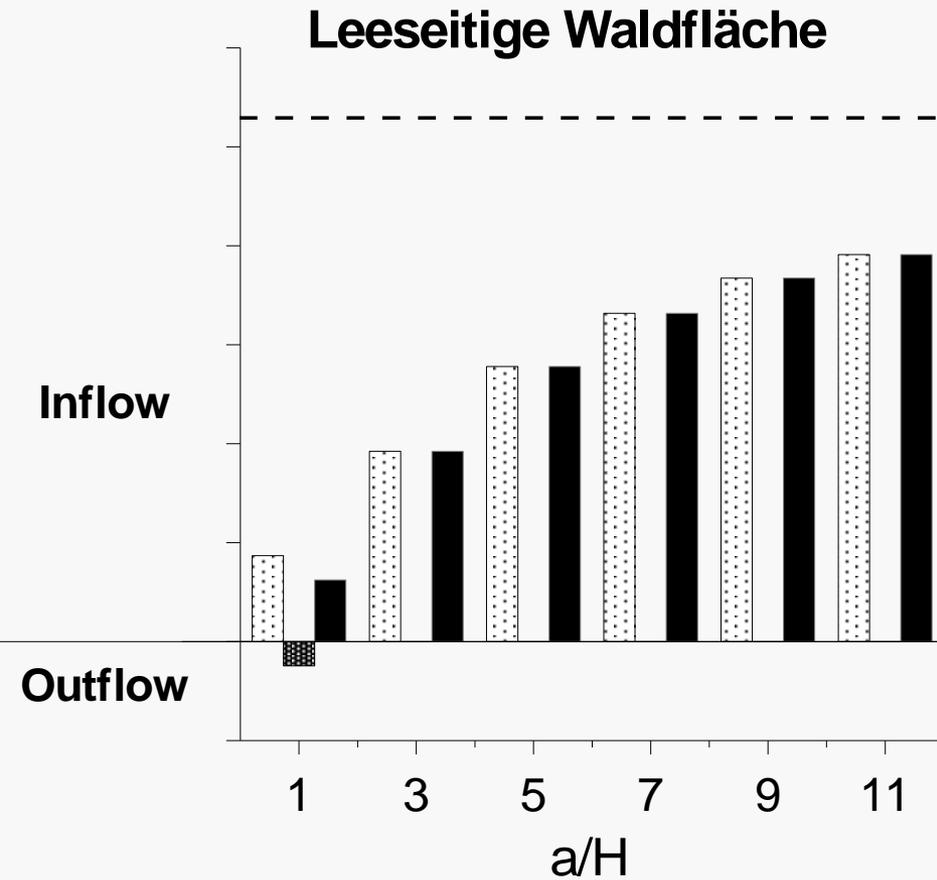
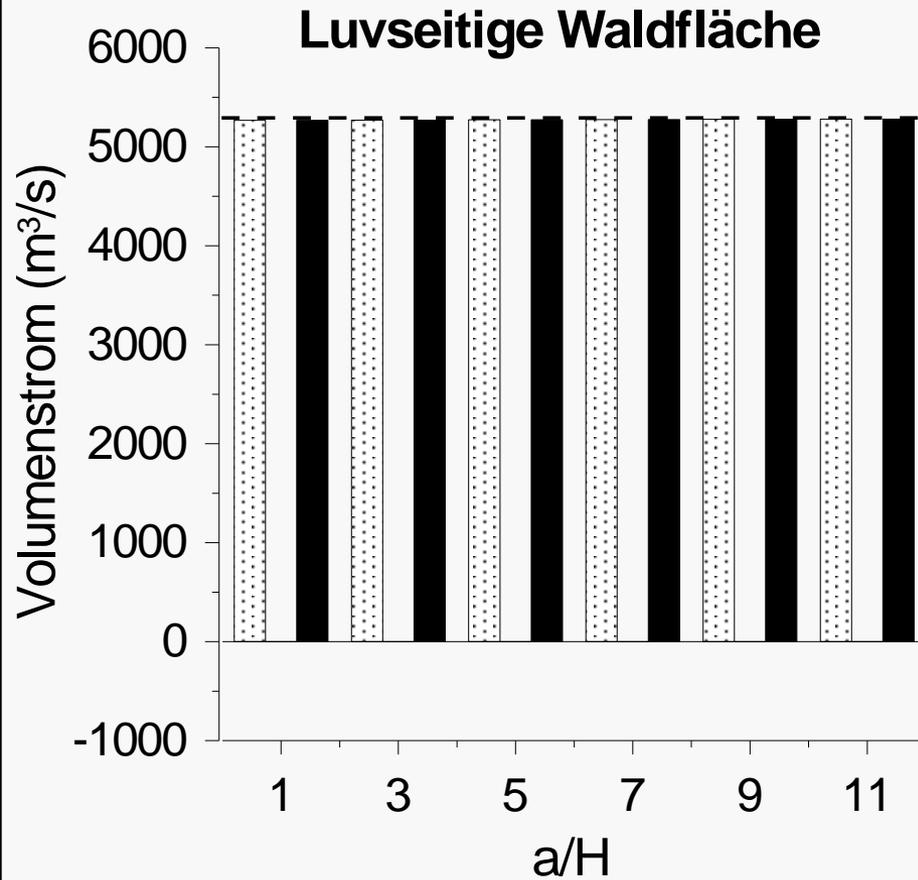
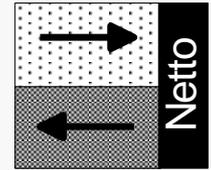
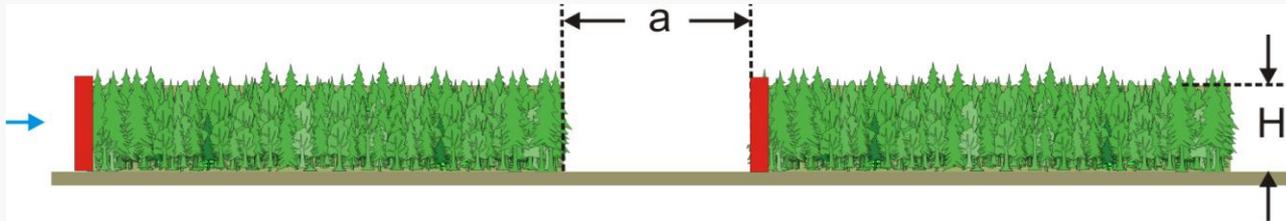
## Zweidimensionale Lichtung



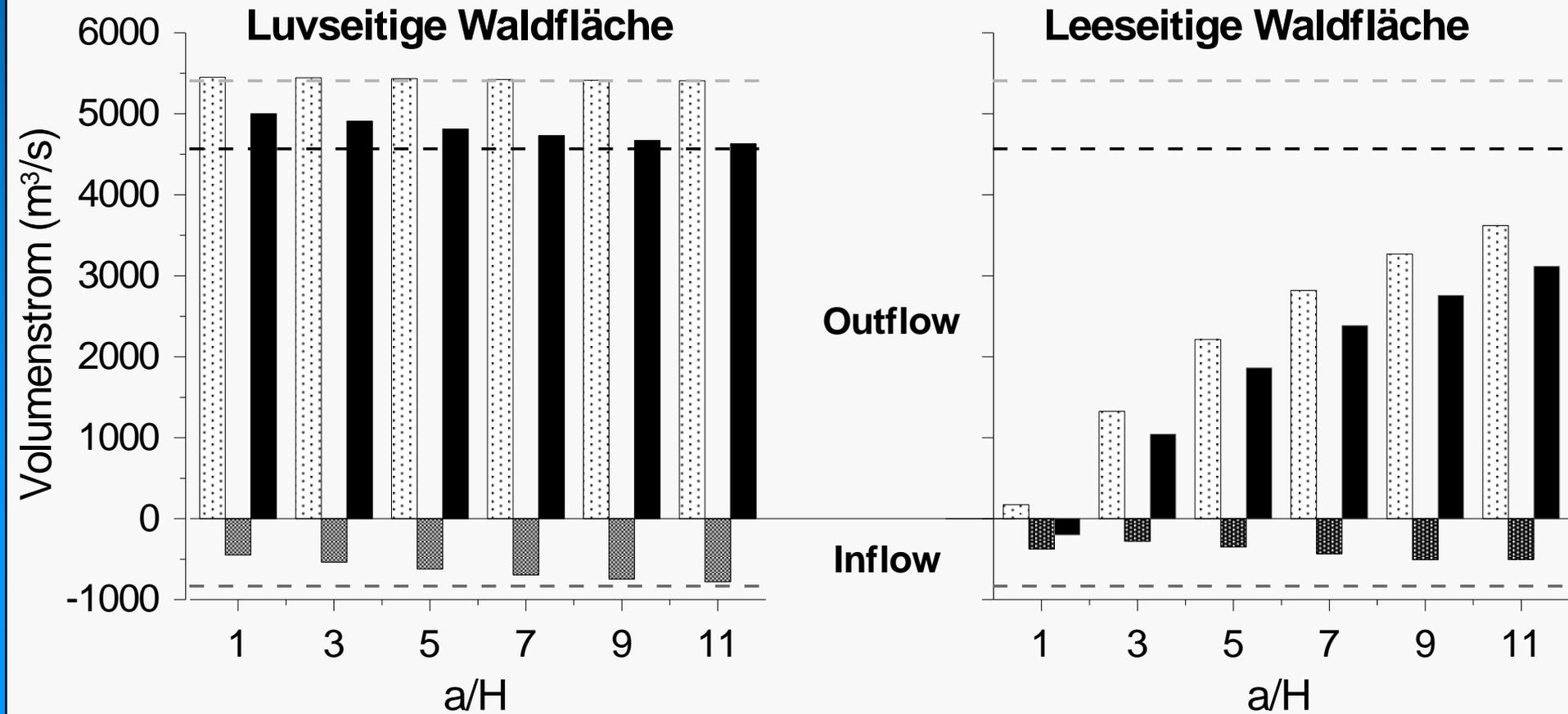
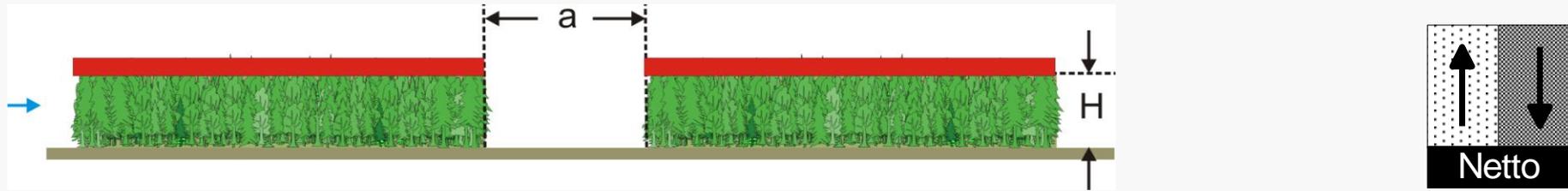
## Dreidimensionale Lichtung



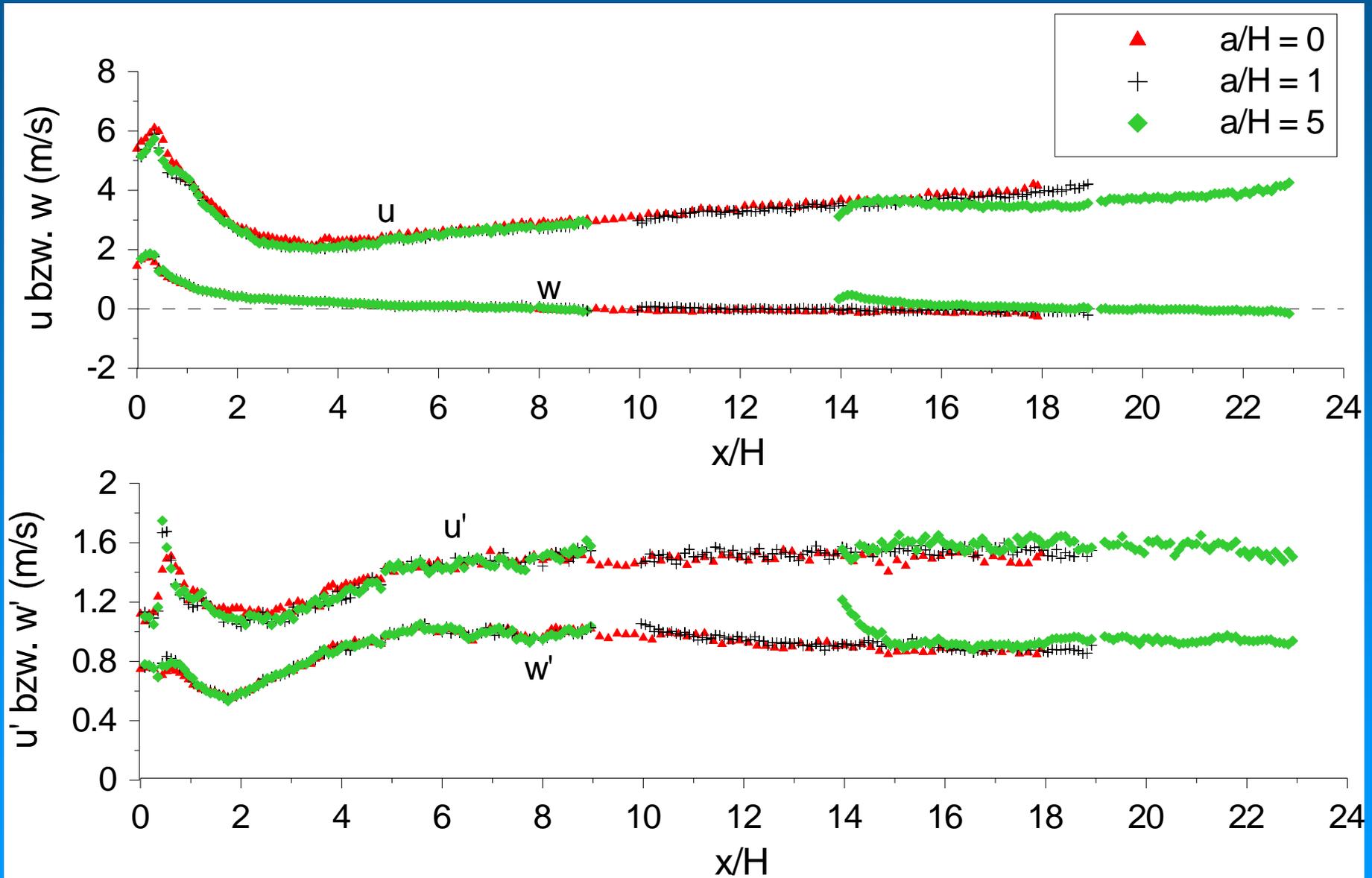
# Volumenstrom durch luvseitige Waldkanten



# Volumenstrom durch Waldoberkanten

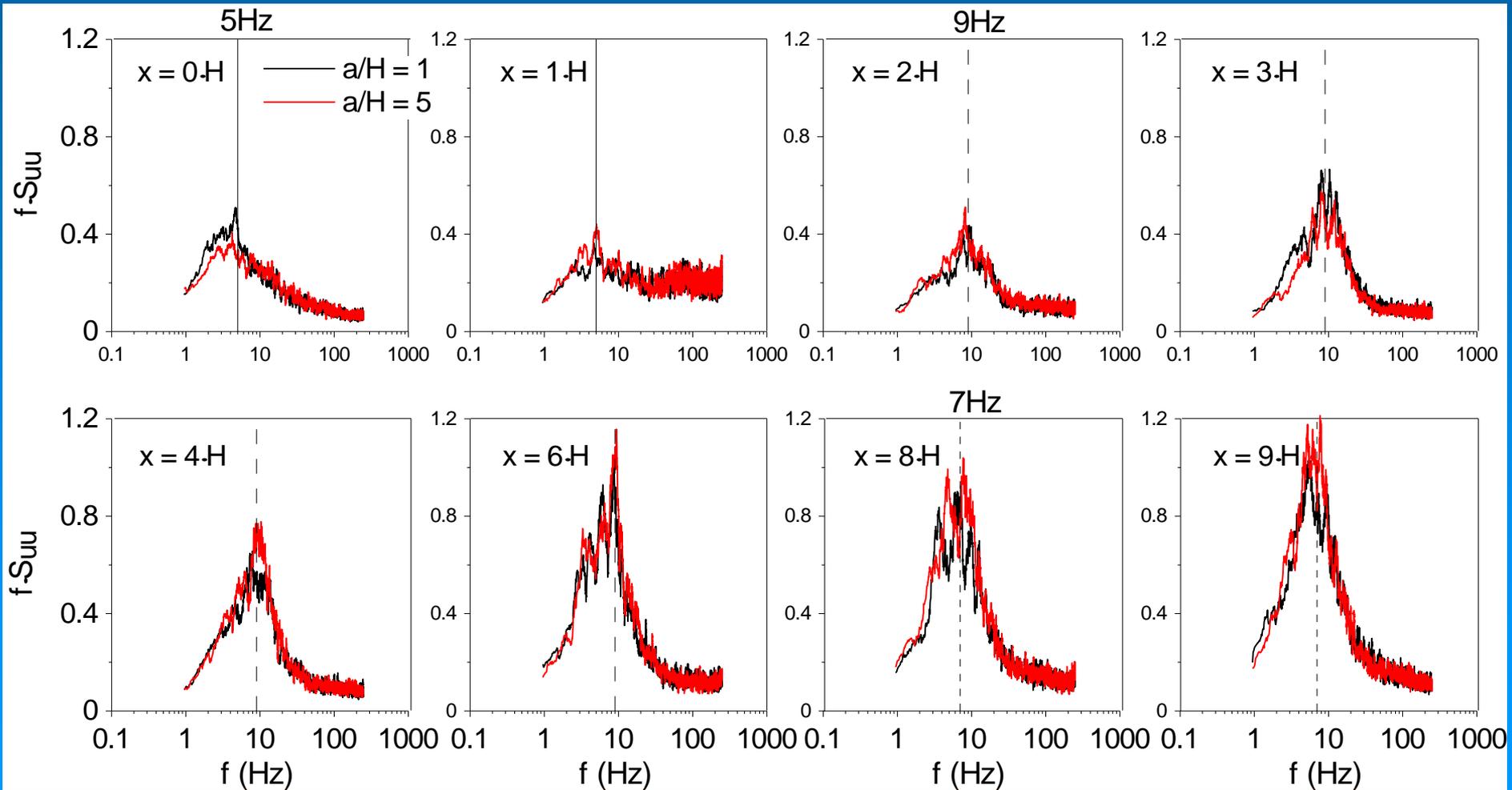
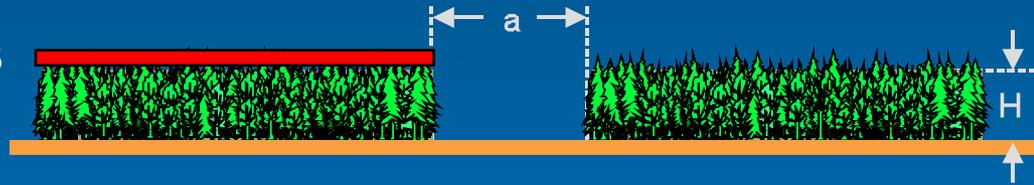


# Strömungsgrößen in Kronendachnähe ( $z/H = 1.13$ )



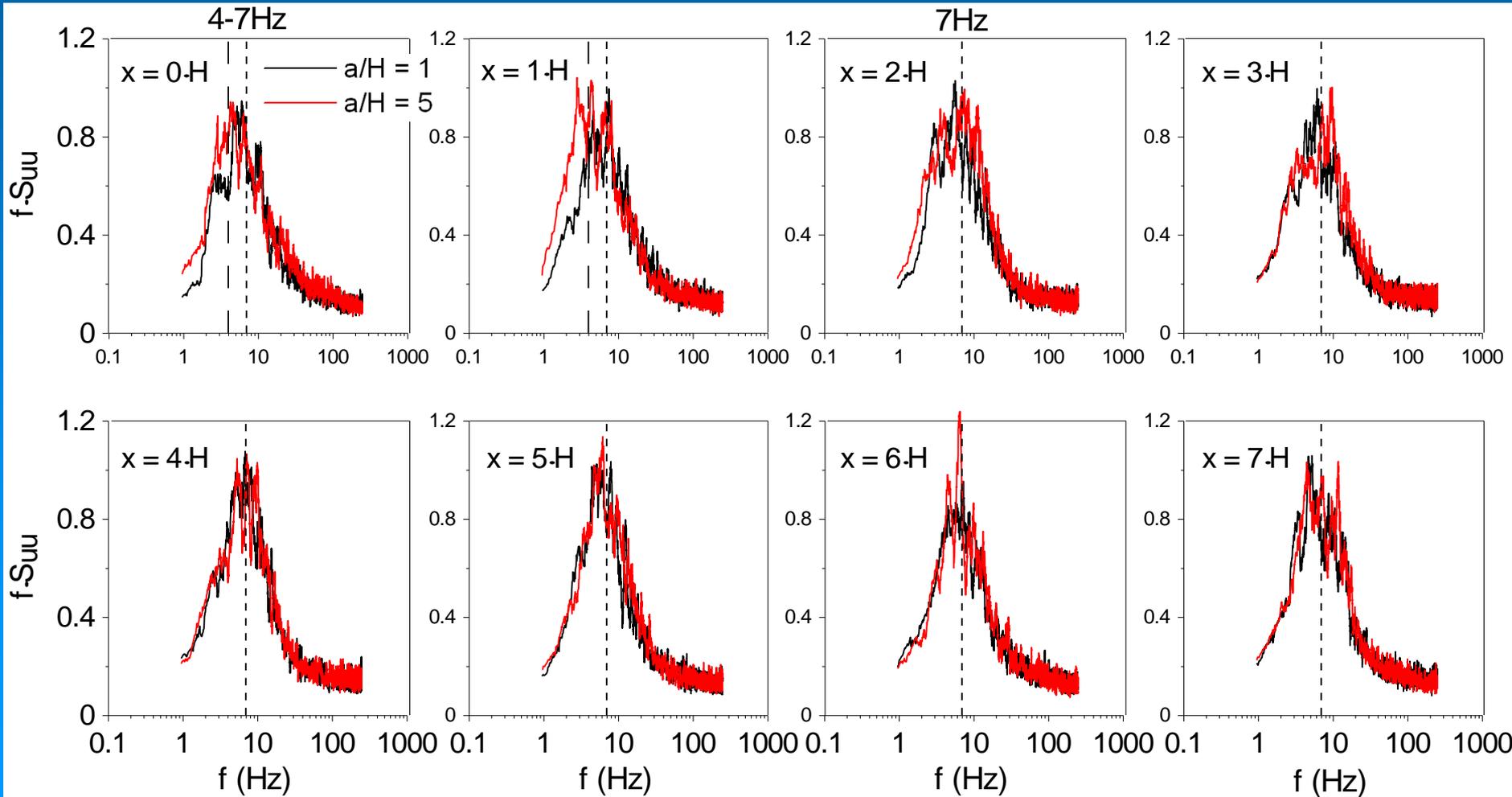
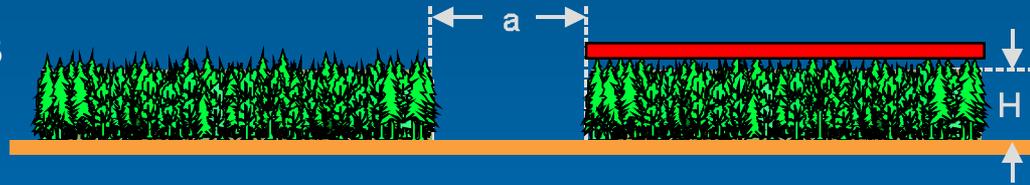
# Spektren u-Komponente →

$z/H = 1.13$



# Spektren u-Komponente →

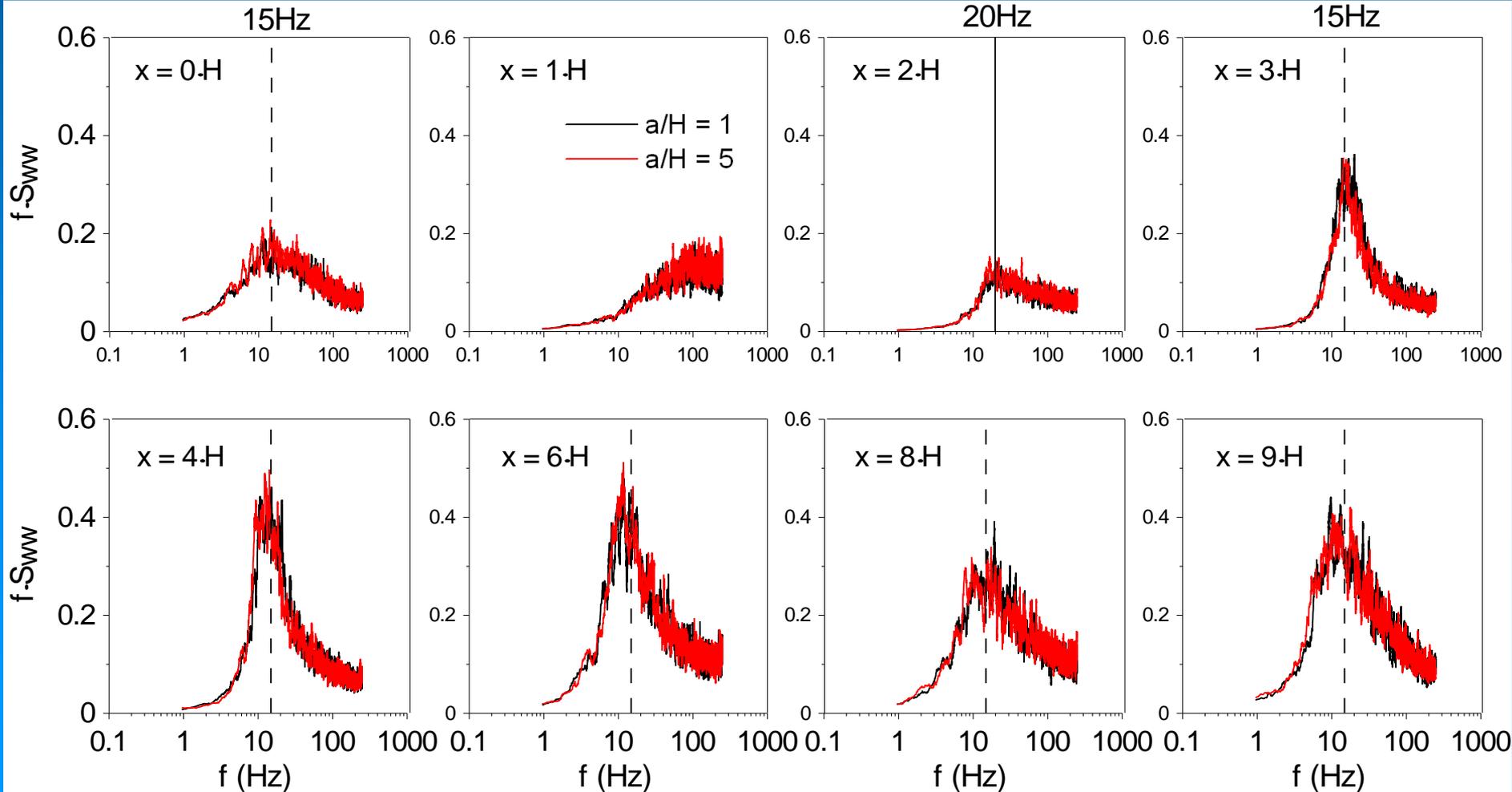
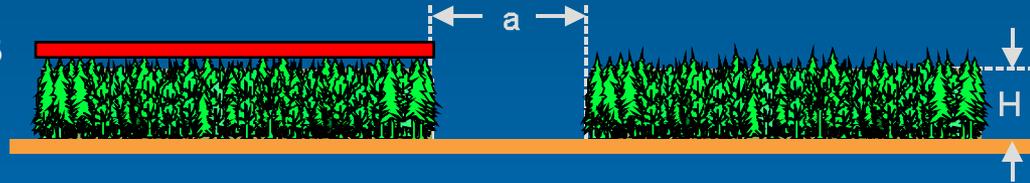
$z/H = 1.13$



# Spektren w-Komponente



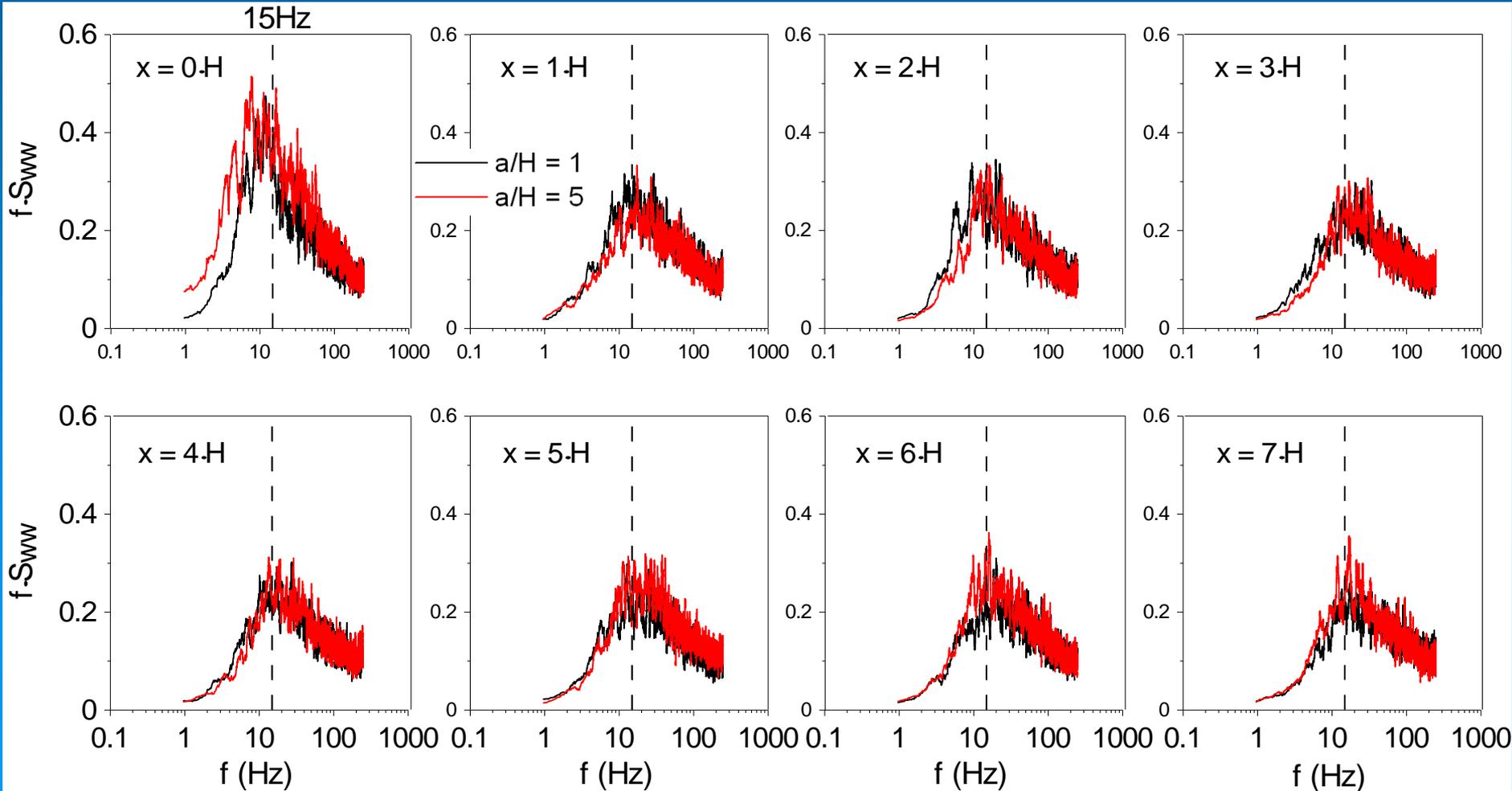
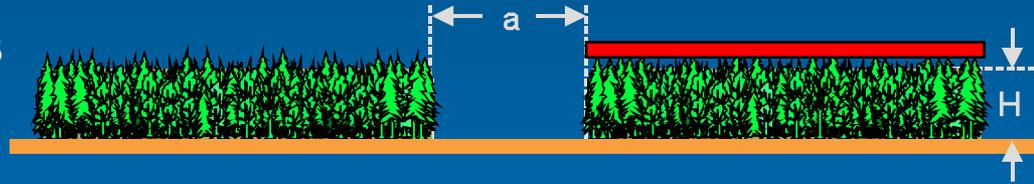
$z/H = 1.13$



# Spektren w-Komponente



$z/H = 1.13$



# Zusammenfassung

- Die experimentellen und numerischen Ergebnisse zeigen, dass durch eine Variation der Lichtungsbreite die Strömungsvorgänge insbesondere im Lichtungsbereich und im Bereich der stromab gelegenen Waldfläche beeinflusst werden. Stromauf der Lichtung ist keine signifikante Änderung der Strömungsgrößen zu beobachten.
- Für  $a/H = 1$  erstreckt sich das Rezirkulationsgebiet über die gesamte Lichtungsbreite. Für  $a/H > 3$  beträgt die Wiederanlegelänge knapp  $3H$  und das Rezirkulationsgebiet verschiebt sich leicht nach Unterstrom.
- Mit zunehmender Lichtungsbreite nimmt die Windaktivität in der Lichtung insgesamt zu.
- Die größten Veränderungen in unmittelbarer Kronendachnähe treten bei den Spektren und bei den Geschwindigkeiten stromab der luvseitigen Bestandsaussenkanten auf.

## Veröffentlichungen

- FRANK, C., RUCK, B.: 2007, Windkanalstudie zur Strömung in Waldlichtungen, *Proc. der 15. GALA – Fachtagung „Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik“*, Sept. 2007, Rostock, 9.1-9.9.
- FRANK, C., RUCK, B.: 2007, Numerical Study of the Airflow over Clearings, *Forestry*, eingereicht.

# Einordnung der Ergebnisse

Die experimentellen und numerischen Ergebnisse und Detailstudien werden dazu benutzt, die auftretenden Wurf-/Bruchkräfte auf Bäume im Bestand zu erfassen bzw. zu systematisieren (→Aufstellen eines Leitfadens in Zusammenarbeit mit den Projekten RESTER-UniFR-1 und RESTER-UniKA-2).

## Wurf-/Bruchkraft auf einen Bestandsbaum

$$F_B = C_{gs} \cdot C_{dfe} \cdot C_{es} \cdot C_{cd} \cdot C_{sl} \cdot C_{cm} \cdot C_{td} \cdot C_{sp} \cdot C_{th} \cdot C_{tw} \cdot C_{wp} \cdot C_{tp} \cdot C_{st} \cdot C_{sd} \cdot C_{rd} \cdot C_{rw} \cdot C_w \cdot \frac{\rho}{2} \cdot (\bar{u}^2 + 2 \cdot \bar{u} \cdot u'(t) + u'^2(t)) \cdot A_p$$

The diagram illustrates the components of the wind force equation, categorized into three parts: A, B, and C.

- Part A (Mean Wind Speed):** This part includes the coefficients  $C_{gs}$ ,  $C_{dfe}$ ,  $C_{es}$ ,  $C_{cd}$ ,  $C_{sl}$ ,  $C_{cm}$ ,  $C_{td}$ ,  $C_{sp}$ ,  $C_{th}$ ,  $C_{tw}$ ,  $C_{wp}$ ,  $C_{tp}$ ,  $C_{st}$ ,  $C_{sd}$ ,  $C_{rd}$ ,  $C_{rw}$ ,  $C_w$ , and the term  $\frac{\rho}{2} \cdot \bar{u}^2$ . The corresponding labels are: upwind gap size, distance from edge, edge properties, crown depth, snow load, crown mixture, tree density, species, tree height, tree weight, wood properties, topography, soil type, stem diameter, rooting depth, rooting width, tree aerodynamics, and mean wind speed.
- Part B (Wind Speed Fluctuation):** This part includes the term  $2 \cdot \bar{u} \cdot u'(t)$ . The corresponding label is: wind speed fluctuation.
- Part C (Cross Section):** This part includes the term  $u'^2(t) \cdot A_p$ . The corresponding label is: cross section.