



Berner
Fachhochschule

Quantifizierung der stabilisierenden Wirkung von Schutzwäldern in flachgründigen rutschgefährdeten Hängen



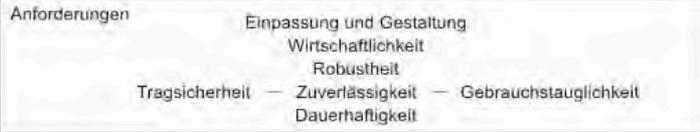
- **Wirkungsräume der Vegetationseffekte**
- **Tragwerkanalyse der Wurzelverestärkung (SOSlope)**
- **Bemessung von Wurzelwerke im Schutzwald (SlideforNET)**

Bauwerk/Tragwerk

Nutzungsanforderungen

Projektierung

Entwurf



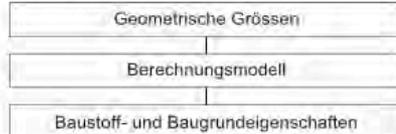
Tragwerkskonzept

Tragwerksanalyse

Einwirkungen

- mechanische
- andere physikalische
- chemische
- biologische

Tragwerksmodell



Auswirkungen

- Spannungen, Schnittgrössen, Reaktionen
- Verformungen, Verschiebungen
- bauweisen-spezifische Auswirkungen

Bemessung

Für Bemessung relevante Gefährdungsbilder

Für Bemessung relevante Nutzungszustände

Bemessungssituationen

- andauernd
- vorübergehend
- aussergewöhnlich

Grenzzustände

Tragsicherheit

- Gesamtstabilität
- Tragwiderstand
- Ermüdungsfestigkeit

Gebrauchstauglichkeit

- Funktionstüchtigkeit
- Komfort
- Aussehen

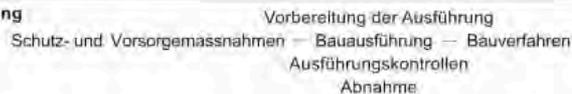
Lastfälle

Nachweis der Tragsicherheit

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Konstruktive Durchbildung

Ausführung



Nutzung

Bauwerksakten:

Nutzungsvereinbarung

Projektbasis

Statische Berechnung

Berichte, Übersichts- und Detailpläne, Materiallisten, Kostenvoranschlag, Protokolle

Technischer Bericht

Ausschreibungsunterlagen
Dokumente der Ausführung
Kontrollplan

Dokumente des ausgeführten Bauwerks



Berner
Fachhochschule

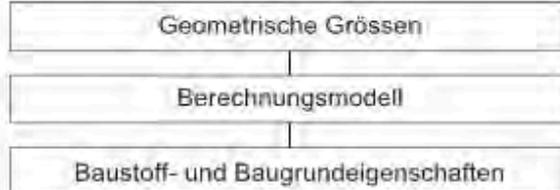
SIA 260, 2013

Tragwerksanalyse

Einwirkungen

- mechanische
- andere physikalische
- chemische
- biologische

Tragwerksmodell



Auswirkungen

- Spannungen, Schnittgrössen, Reaktionen
- Verformungen, Verschiebungen
- bauweisen-spezifische Auswirkungen

Bemessung

Für Bemessung relevante Gefährdungsbilder

Für Bemessung relevante Nutzungszustände

Bemessungssituationen

- andauernd
- vorübergehend
- aussergewöhnlich

Grenzzustände

Tragsicherheit

- Gesamtstabilität
- Tragwiderstand
- Ermüdungsfestigkeit

Gebrauchstauglichkeit

- Funktionstüchtigkeit
- Komfort
- Aussehen

Lastfälle

Nachweis der Tragsicherheit

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Konstruktive Durchbildung

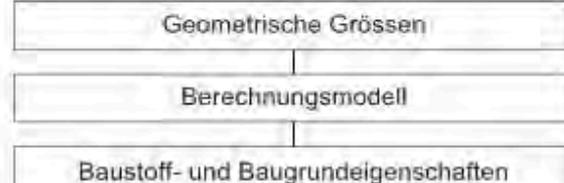
SIA 260, 2013

Tragwerksanalyse

Einwirkungen

- mechanische
- andere physikalische
- chemische
- biologische

Tragwerksmodell



Auswirkungen

- Spannungen, Schnittgrössen, Reaktionen
- Verformungen, Verschiebungen
- bauweisen-spezifische Auswirkungen

Bemessung

Für Bemessung relevante Gefährdungsbilder

Für Bemessung relevante Nutzungszustände

Bemessungssituationen

- andauernd
- vorübergehend
- aussergewöhnlich

Grenzzustände

Tragsicherheit

- Gesamtstabilität
- Tragwiderstand
- Ermüdungsfestigkeit

Gebrauchstauglichkeit

- Funktionstüchtigkeit
- Komfort
- Aussehen

Lastfälle

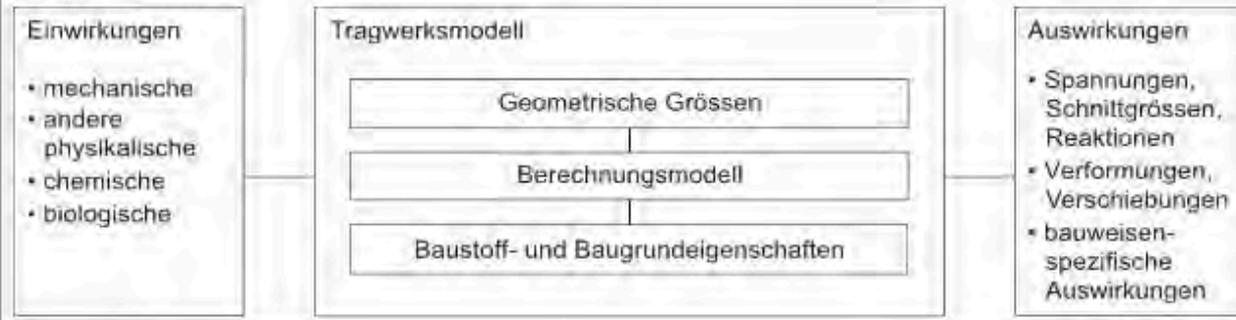
Nachweis der Tragsicherheit

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

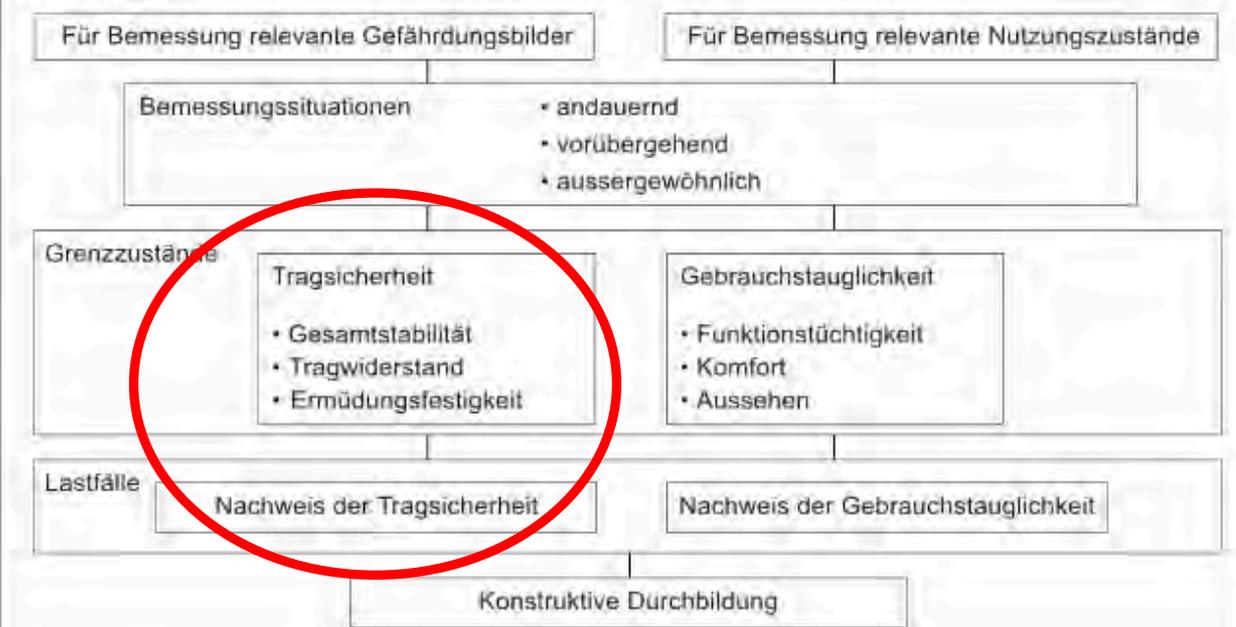
Konstruktive Durchbildung

SIA 260, 2013

Tragwerksanalyse

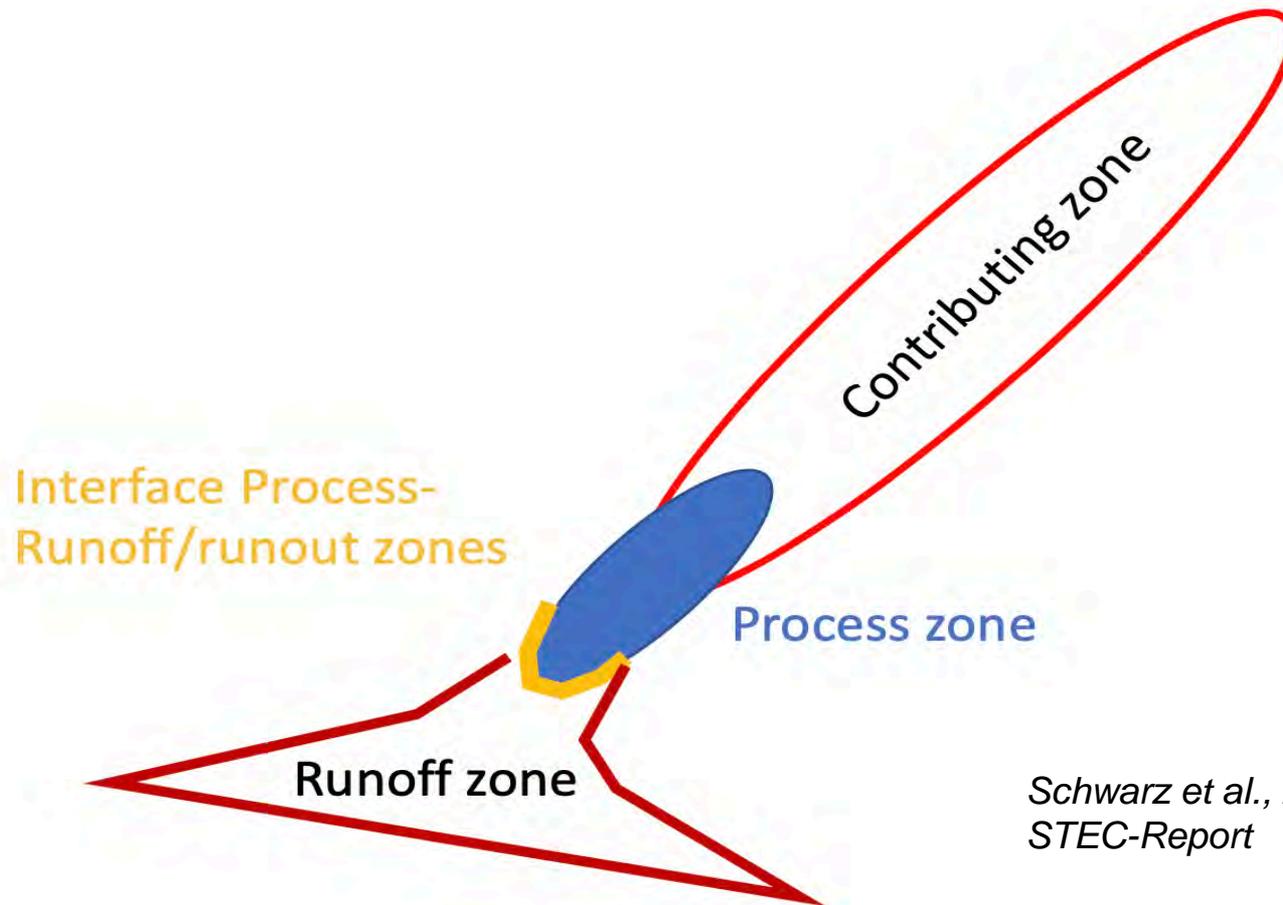


Bemessung



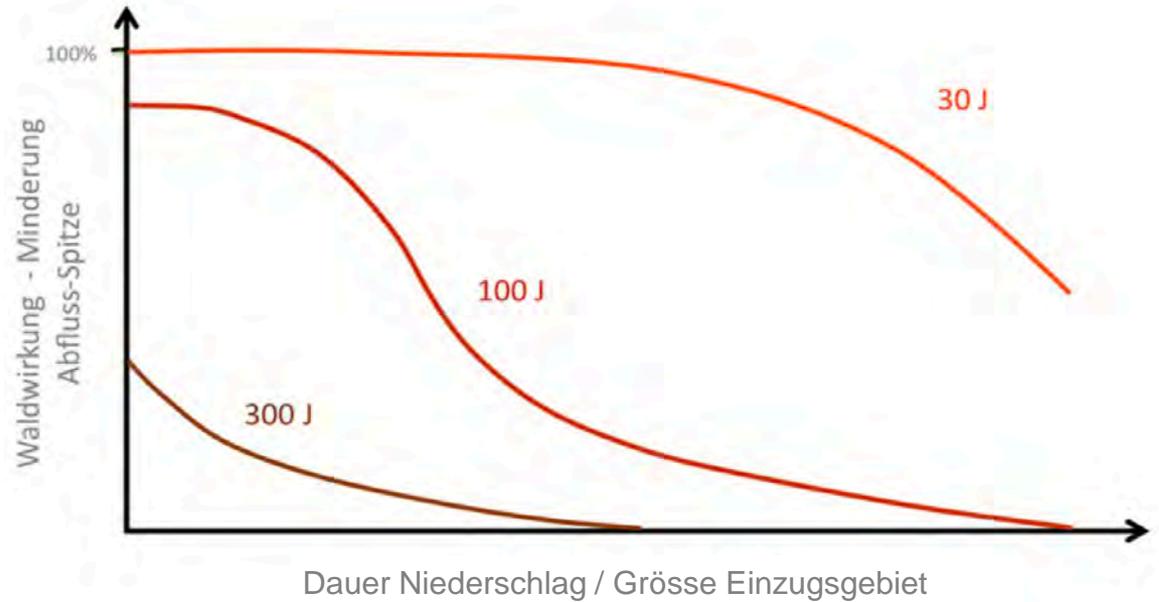
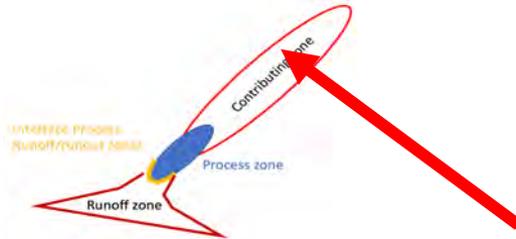
SIA 260, 2013

Wirkungsräume



Schwarz et al., 2021,
STEC-Report

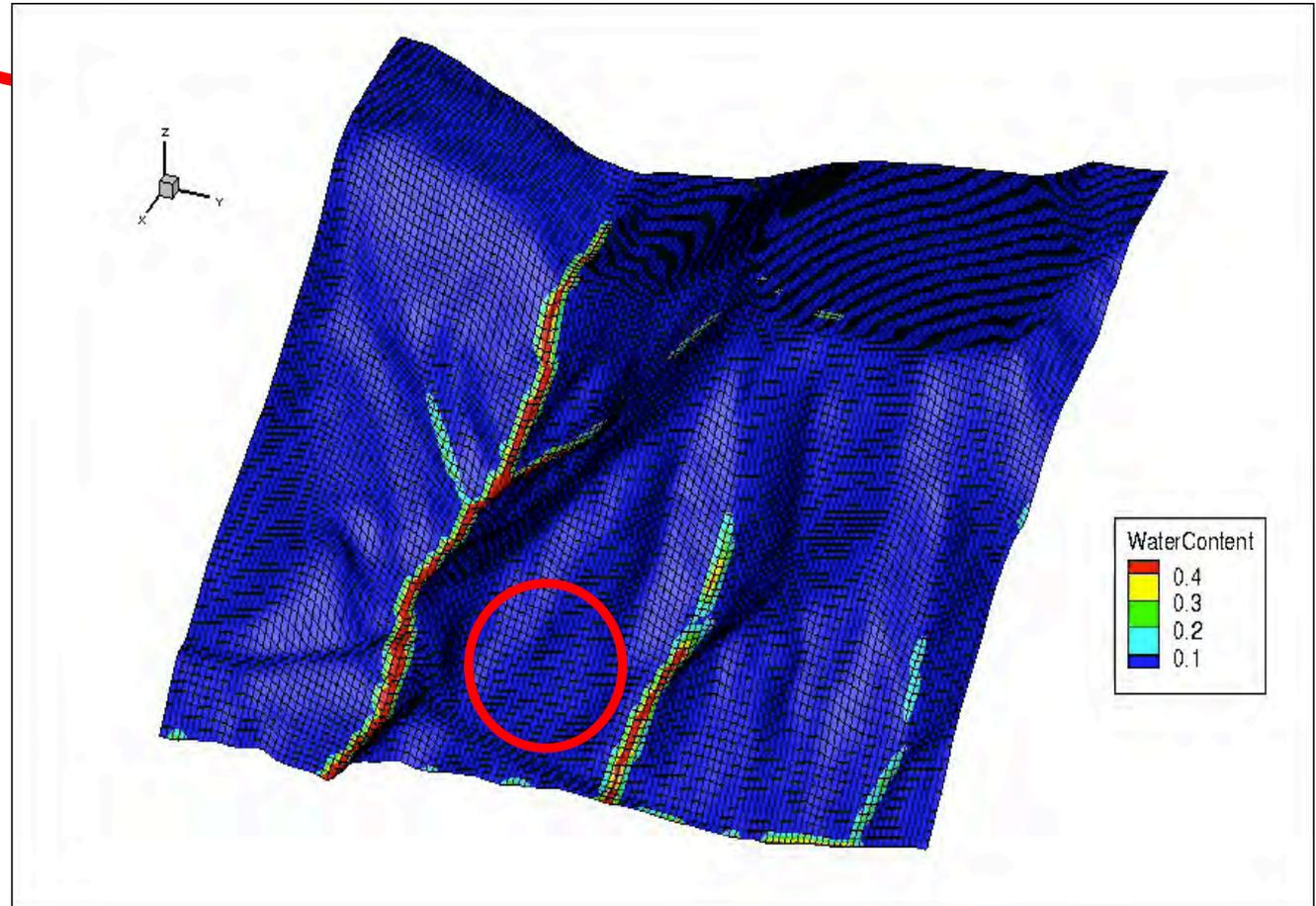
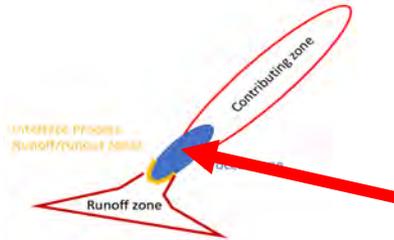
Wirkung: Hydrologisch - Abfluss



*Schwarz et al., 2013,
Forum des Wissen*



Wirkung: Hydrologisch - Drainierung



Wirkung: Hydrologisch – scheinbare Kohäsion

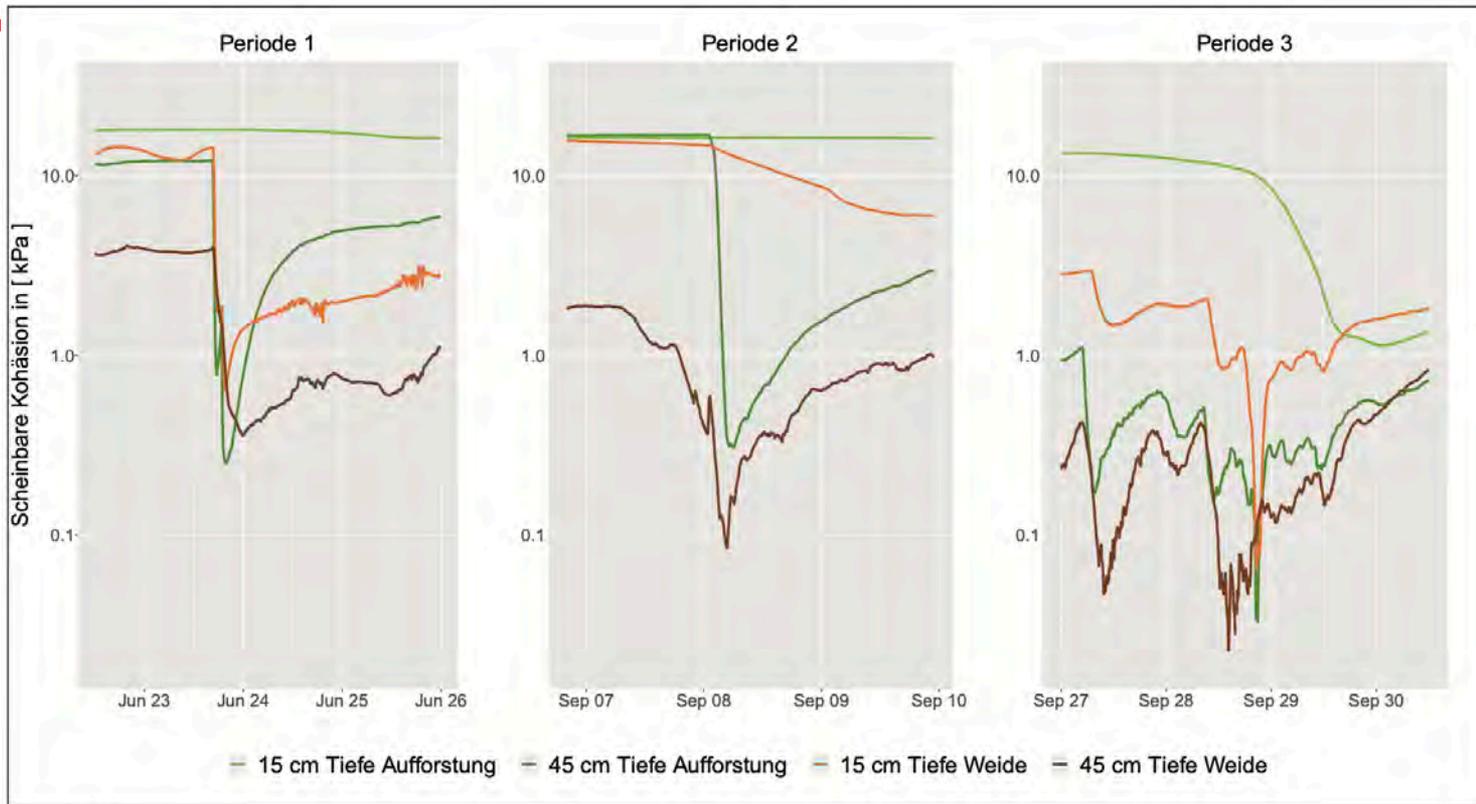
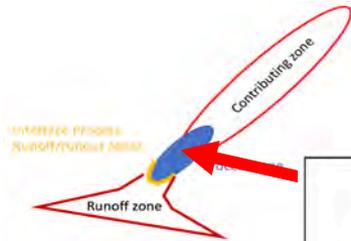
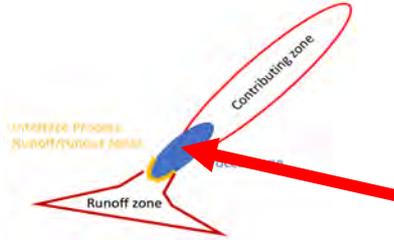


Abbildung 7: Verlauf der scheinbaren Kohäsion während der drei ausgewählten Ereignisse. Die Y-Achse ist im 10er-Logarithmus dargestellt; die Bezeichnung der Y-Achse auf der linken Seite gilt für alle drei Grafiken.

Von Wattenwyl et al.,
2023,
Ingenieurbiologie

Wirkung: Bodenbildung – Gefüge und Bodenart



Tiefe (cm)	pH	CaCO ₃ (%)	Ton	Silt	Sand
15	5	0	6	21	73
30	6.7	0.5	6	24	70
45	7.5	1.5	6	24	70
70	7.5	1	13	31	56



1933



1983

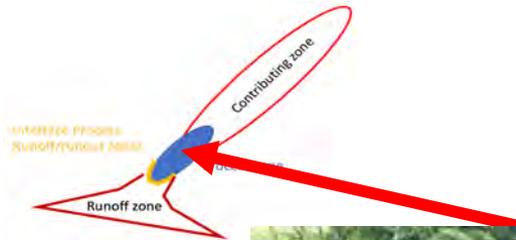


Zürcher-Gasser et al., 2023,
Fallbeispiel «Lavina, Mesocco»

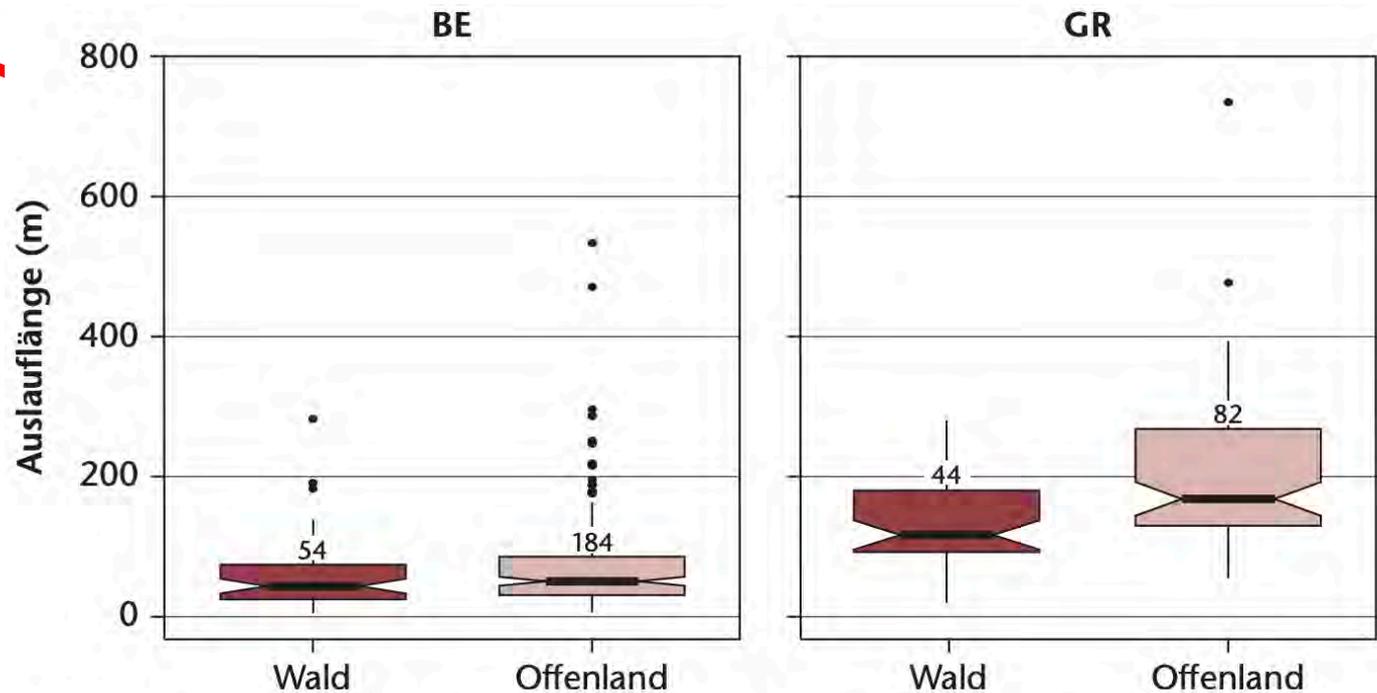
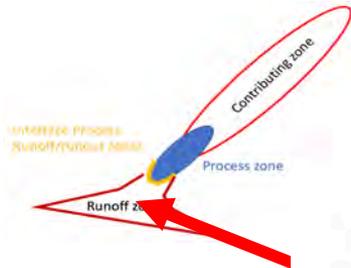
Wirkung: Mechanisch - Wurzelverstärkung



Berner
Fachhochschule



Wirkung: Mechanisch - Auslauf



Dorren et al., 2023, SZF

Abbildung 4 Verteilung der Auslauflängen der untersuchten HM-Ereignisse im Wald (rot) und im Offenland (hellrot) in den Kantonen Bern (links) und Graubünden (rechts).

Wirkung: Überblick

- Infiltrationsgebiet

. DIREKT:

Hydrologisch: **Interzeption, ET** -> Wasserspeicherung -> Abflussverhalten

. INDIREKT:

Hydrologisch: **Bodenentwicklung** -> **Durchlässigkeit, Wasserspeicherung** -> Abflussverhalten

- Entstehungsgebiet

. DIREKT:

Mechanisch: **Wurzelverstärkung**
Gewicht der Vegetation
Wind- und Schneelast

Hydrologisch: Interzeption, ET

. INDIREKT:

Mechanisch: Bodenentwicklung -> Aggregatenstabilität
ET -> Scheinbare Kohäsion

Hydrologisch: **Bodenentwicklung** -> **Durchlässigkeit** -> Reduktion Porenwasserdruck

- Auslaufgebiet

. DIREKT:

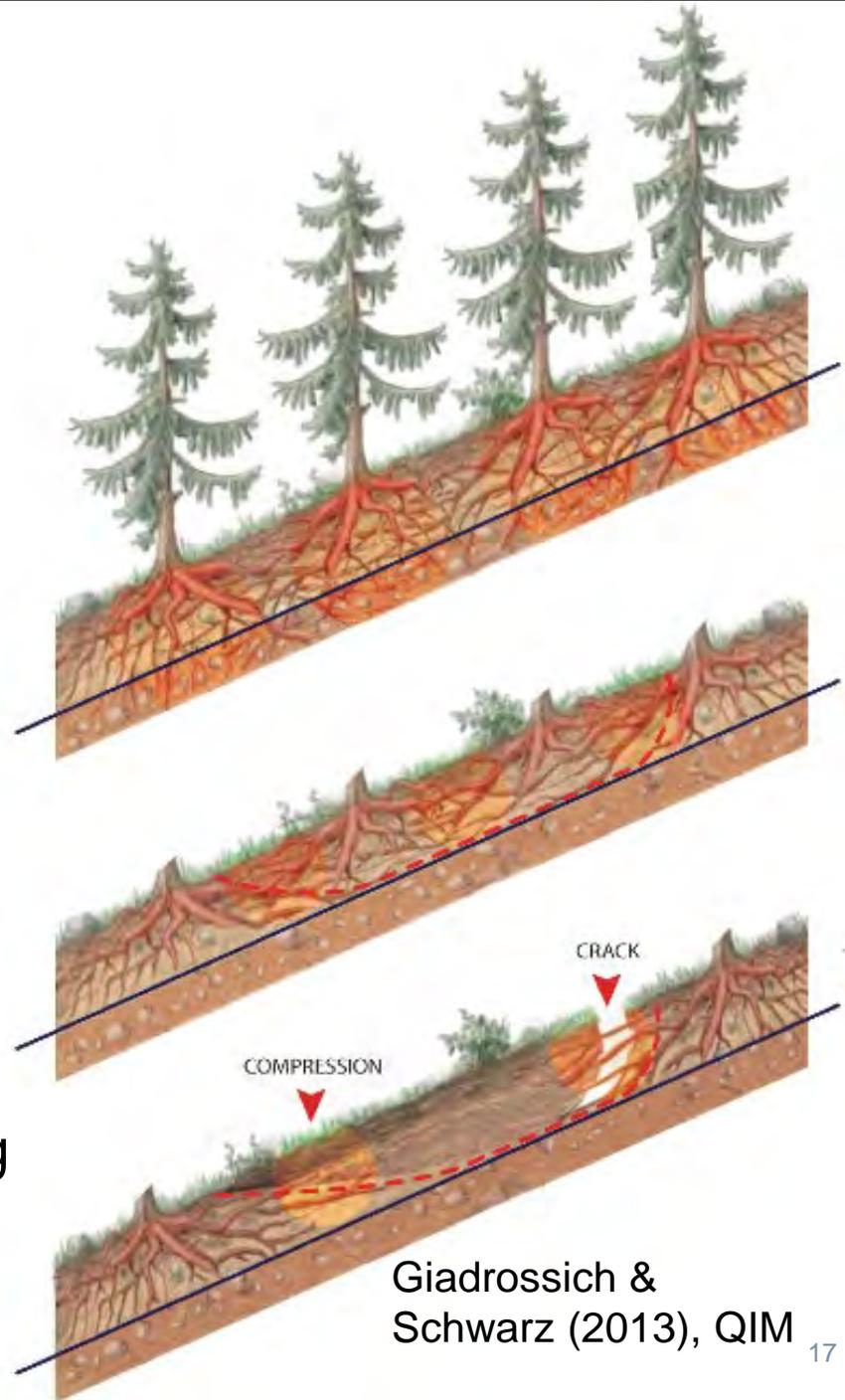
Mechanisch: Energieaufnahme, Retention
Punktenlast
Stabilisierung gegen Erosion (Minderung zusätzliche Sedimente)

Tragwerkmodell der Wurzelverstärkung

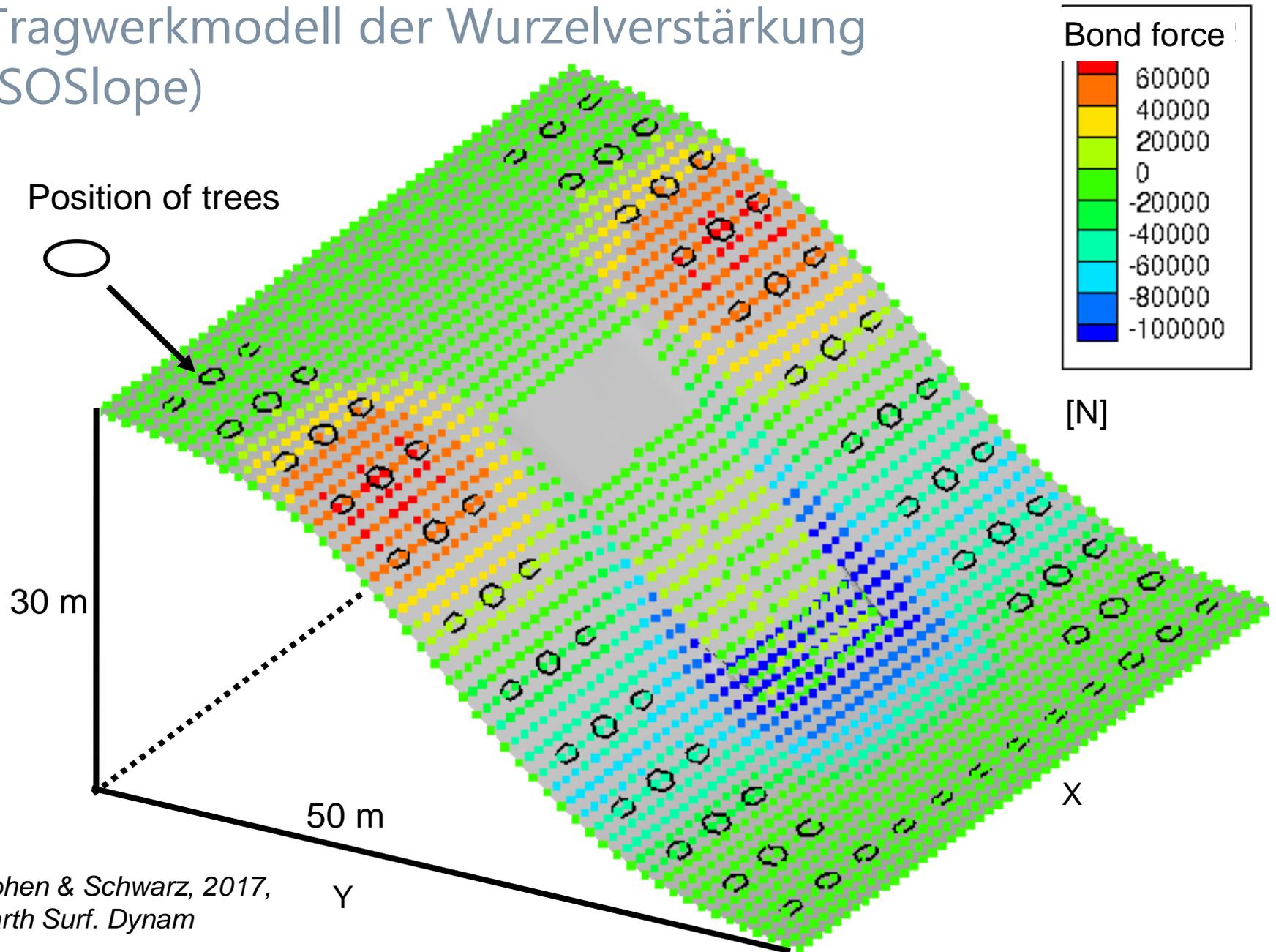
1. Durch Scherfläche: “Basale Wurzelverstärkung”. (1977).

2. Erhöhung der Steifigkeit: Höher passive Erddruckkraft (2011)

3. Laterale Wurzelverstärkung (Zug und Druck) (2001).

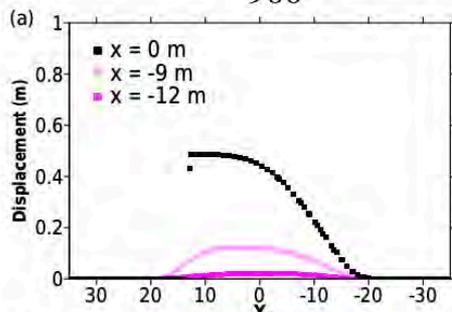


Tragwerkmodell der Wurzelverstärkung (SOSlope)

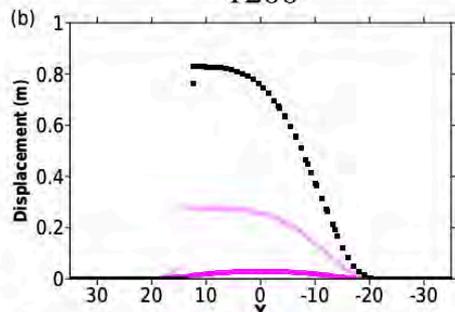


Time (min) →

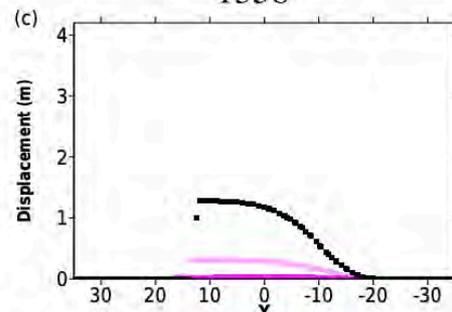
900



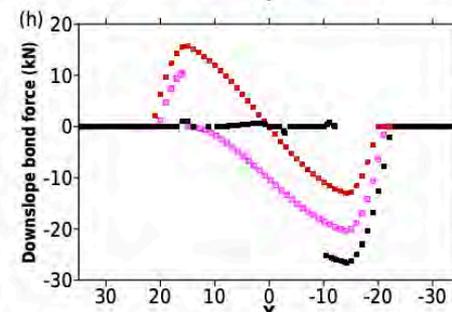
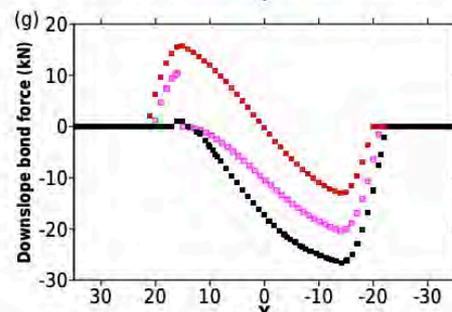
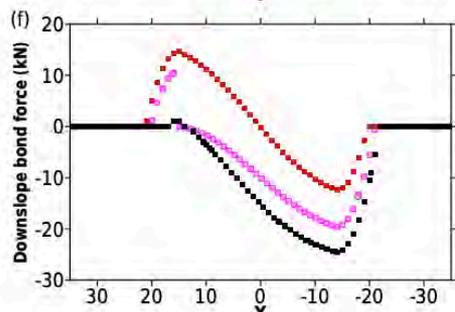
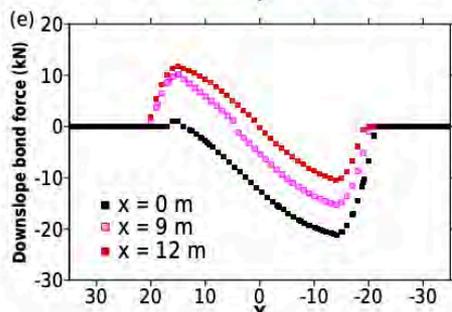
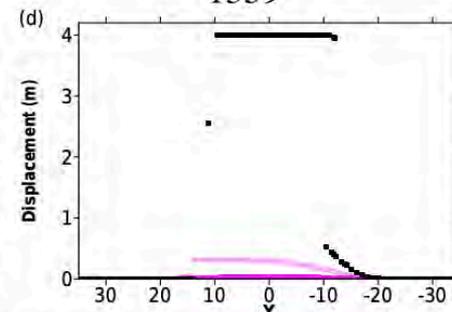
1200



1358



1359

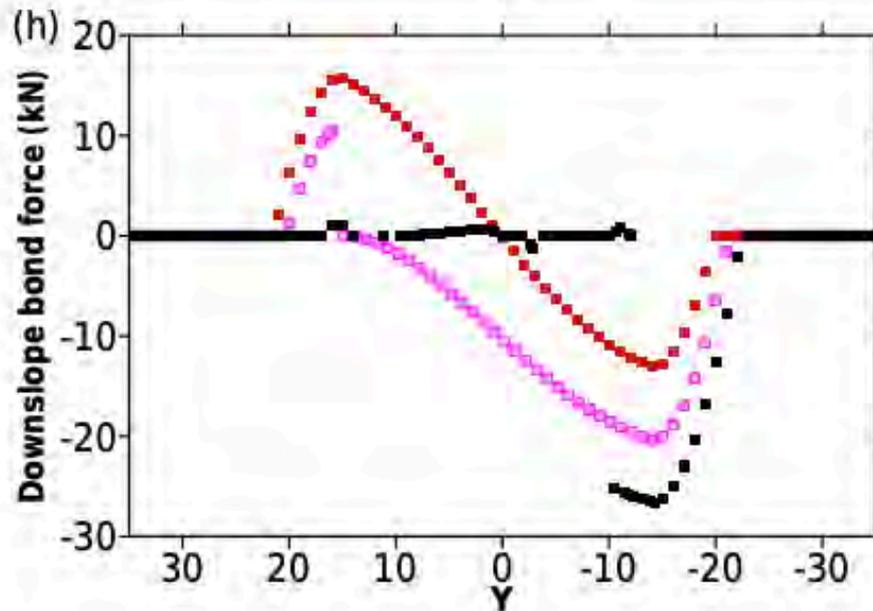
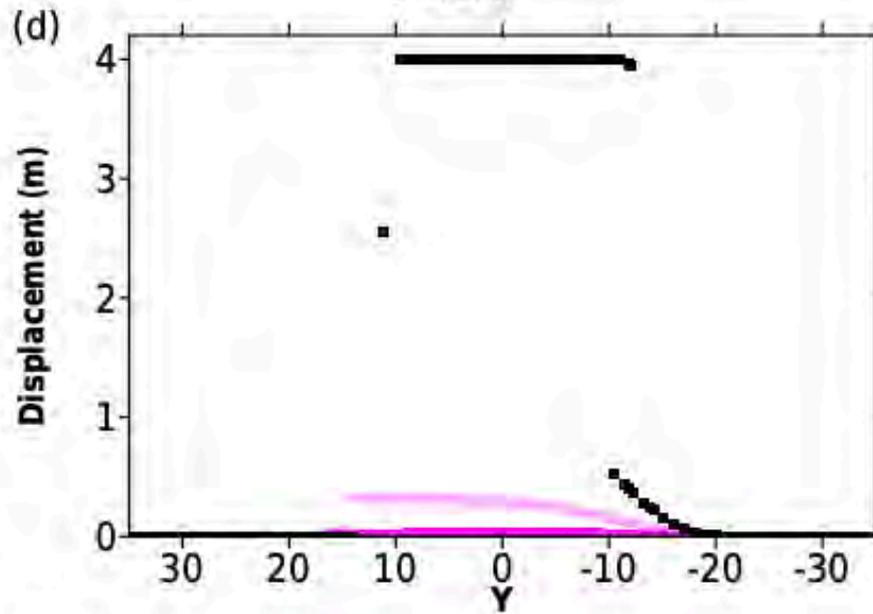


Cohen & Schwarz, 2017,
Earth Surf. Dynam

1359

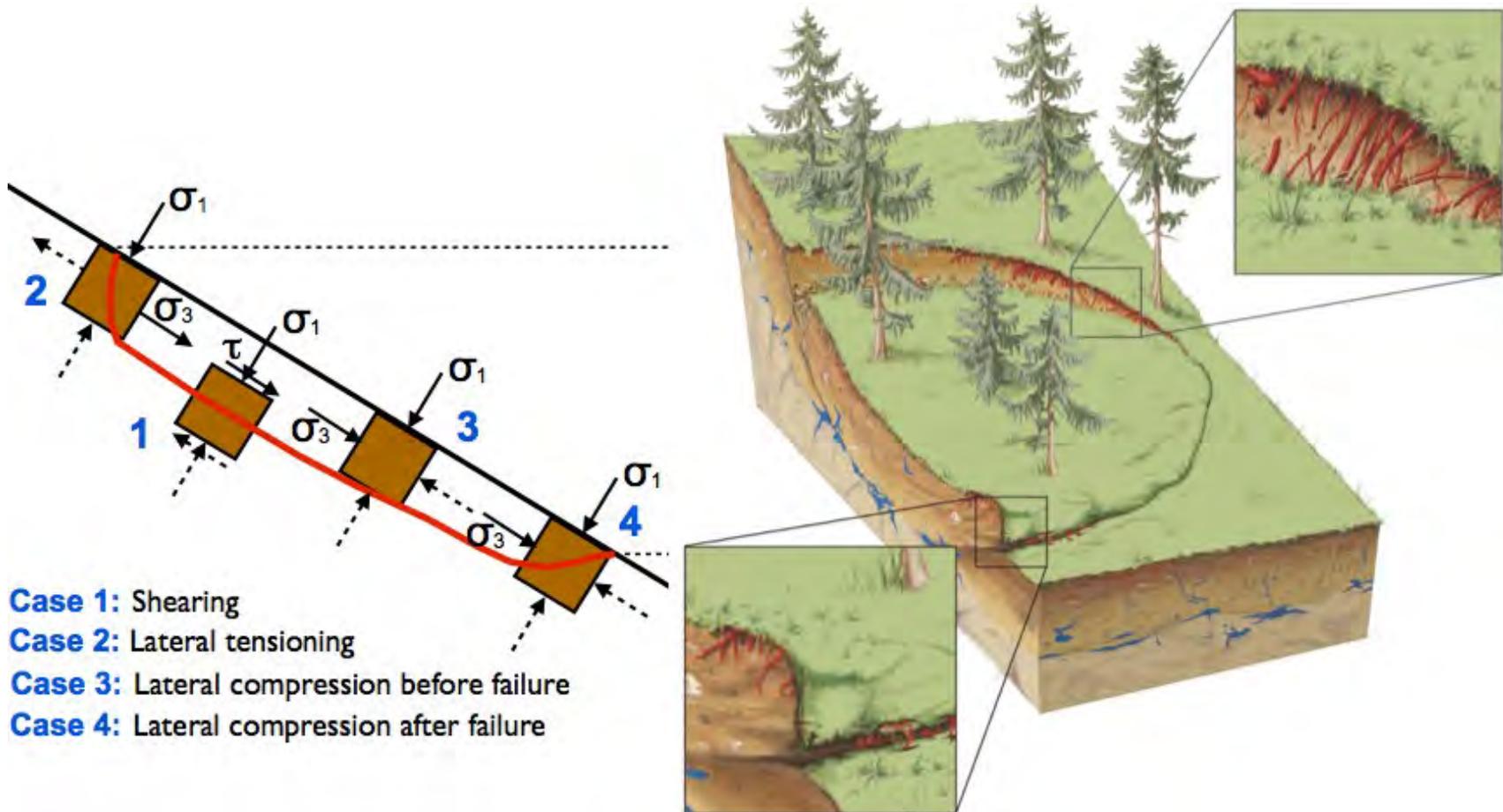


Berner
Fachhochschule



Cohen & Schwarz, 2017,
Earth Surf. Dynam

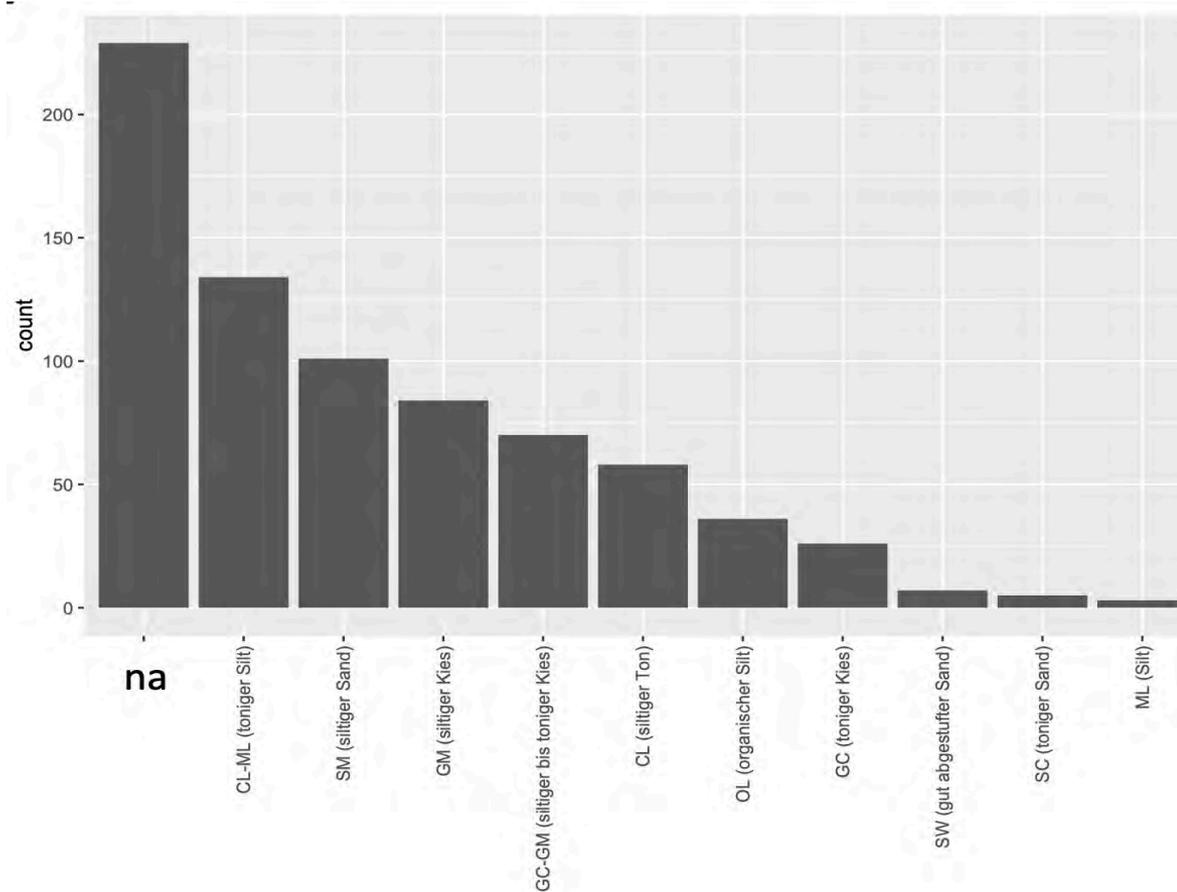
Tragwerkmodell und Bemessung der Wurzelverstärkung (SlideforNET)



Tragwerkmodell: Analyse der HM-Datenbank mit SlideforNET



Berner
Fachhochschule



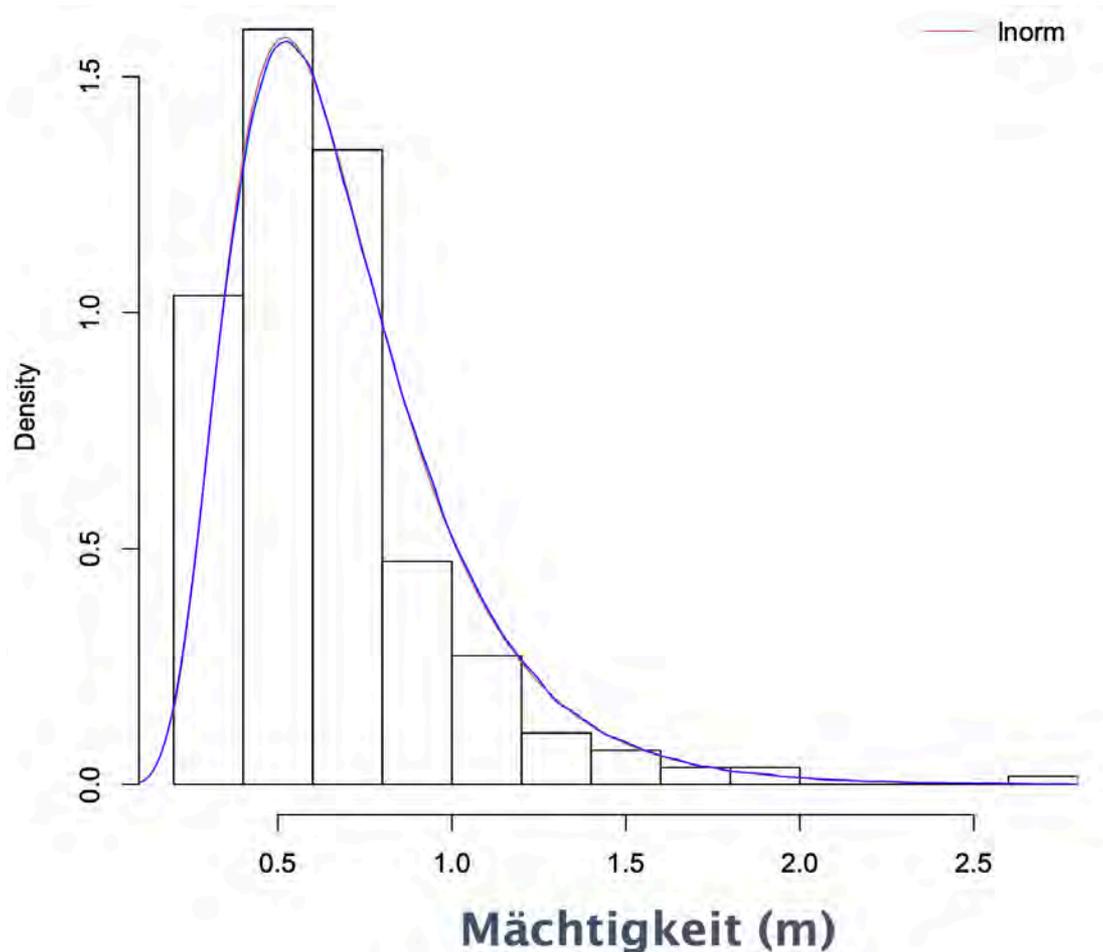
Anzahl Rutschungen in der Datenbank: 761

USCS Klassen

Tragwerkmodell : Analyse der HM-Datenbank mit SlideforNET



Berner
Fachhochschule

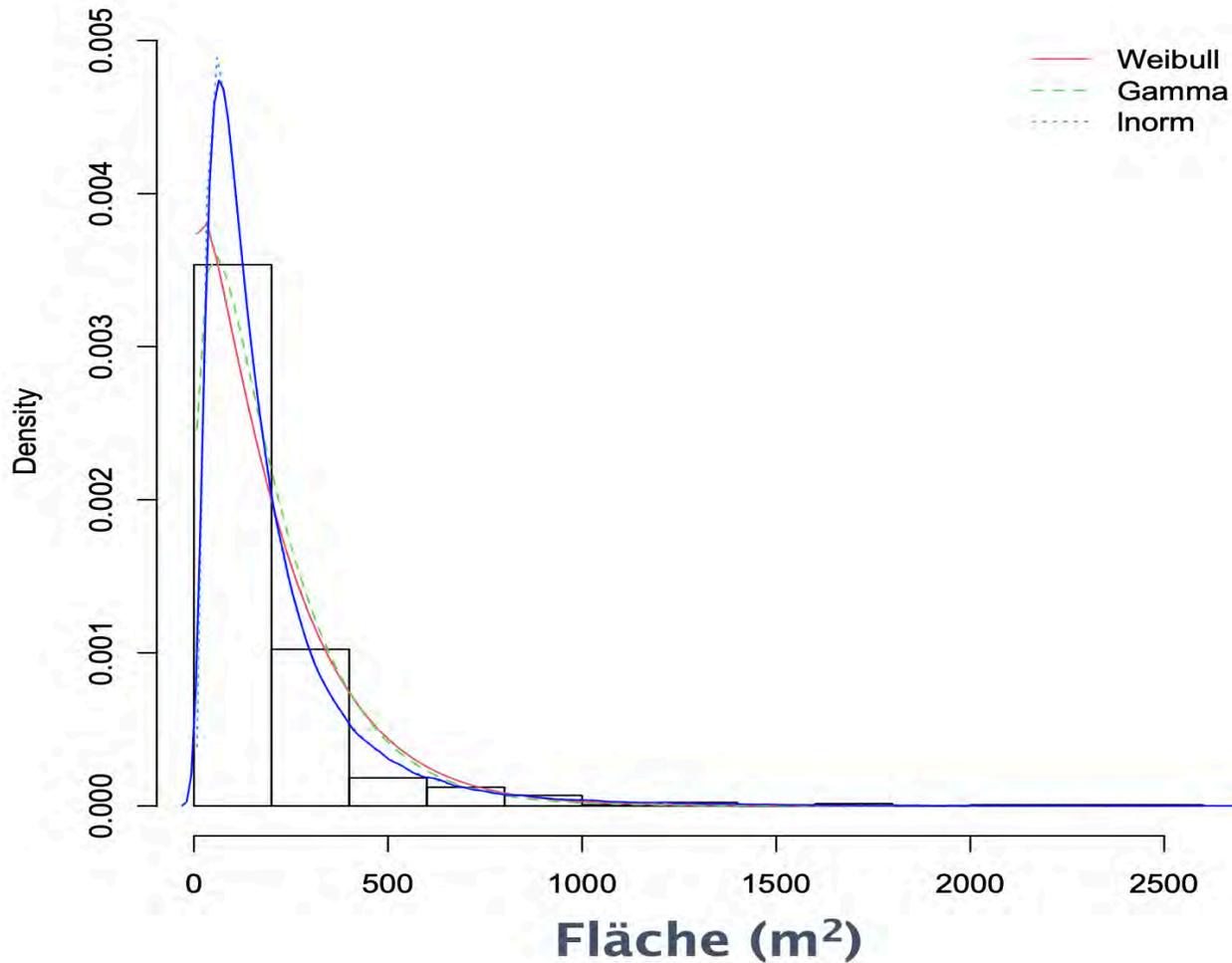


50 Percentil -> 0.6 m
90 Percentil -> 1.1m

Tragwerkmodell : Analyse der HM-Datenbank mit SlideforNET



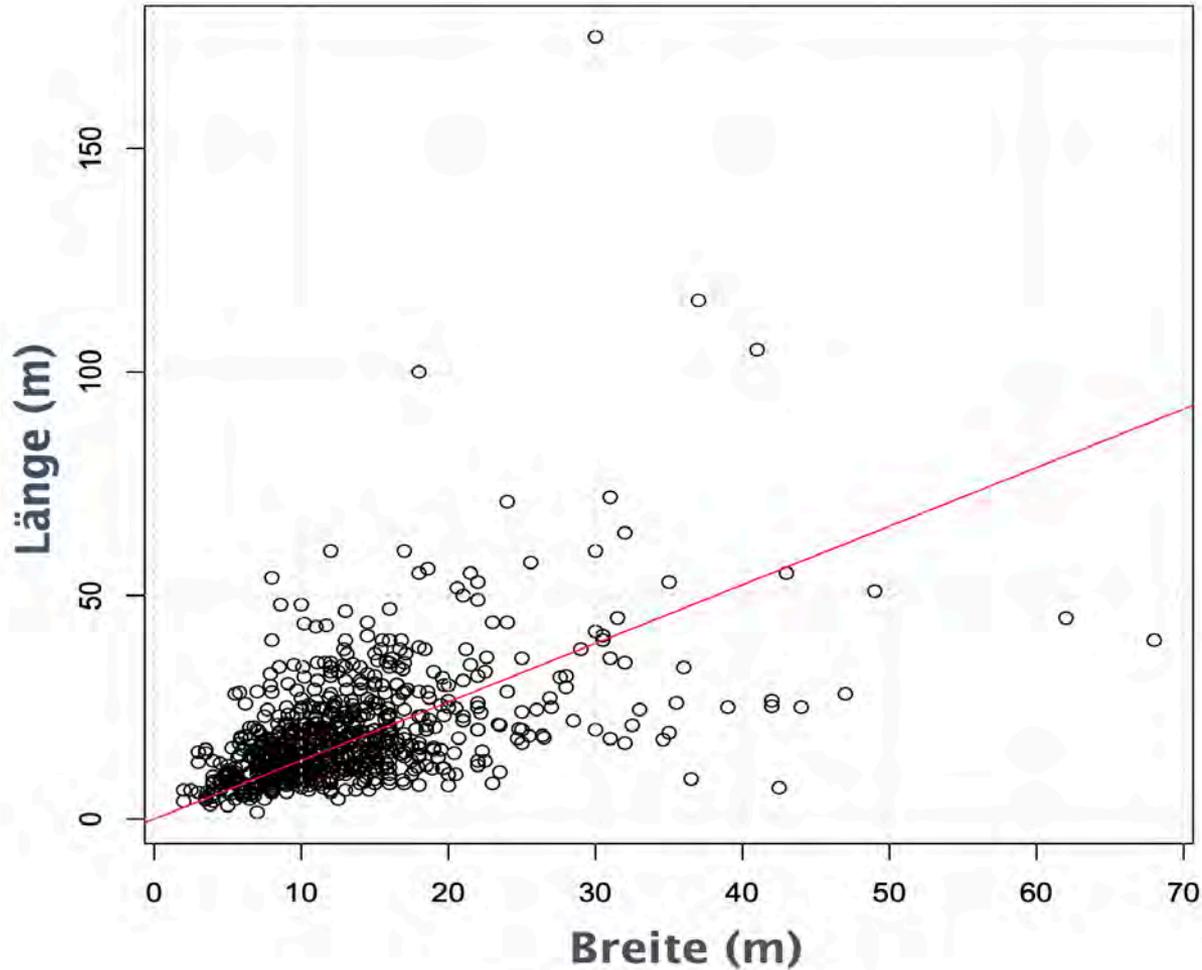
Berner
Fachhochschule



Tragwerkmodell : Analyse der HM-Datenbank mit SlideforNET



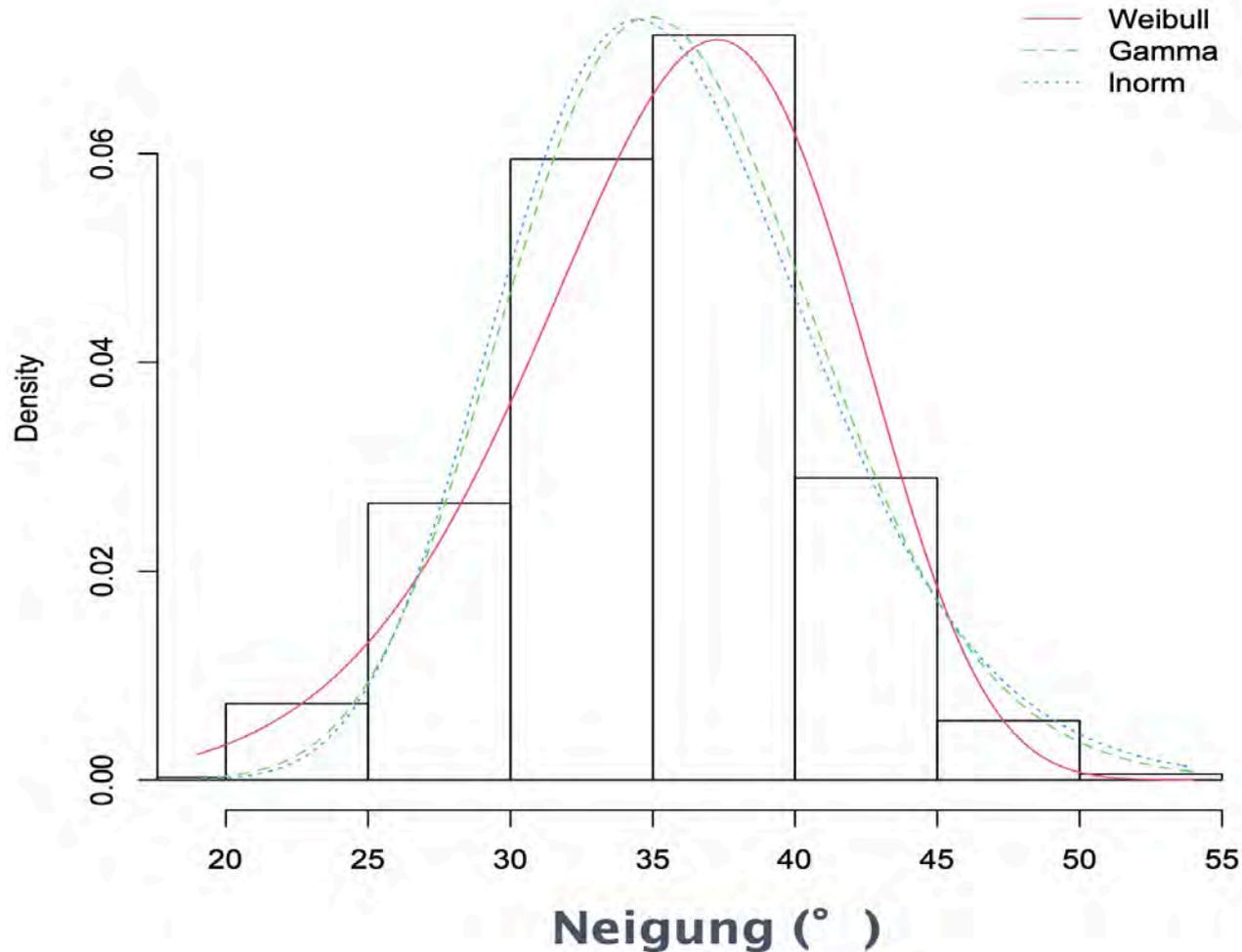
Berner
Fachhochschule



Tragwerkmodell : Analyse der HM-Datenbank mit SlideforNET



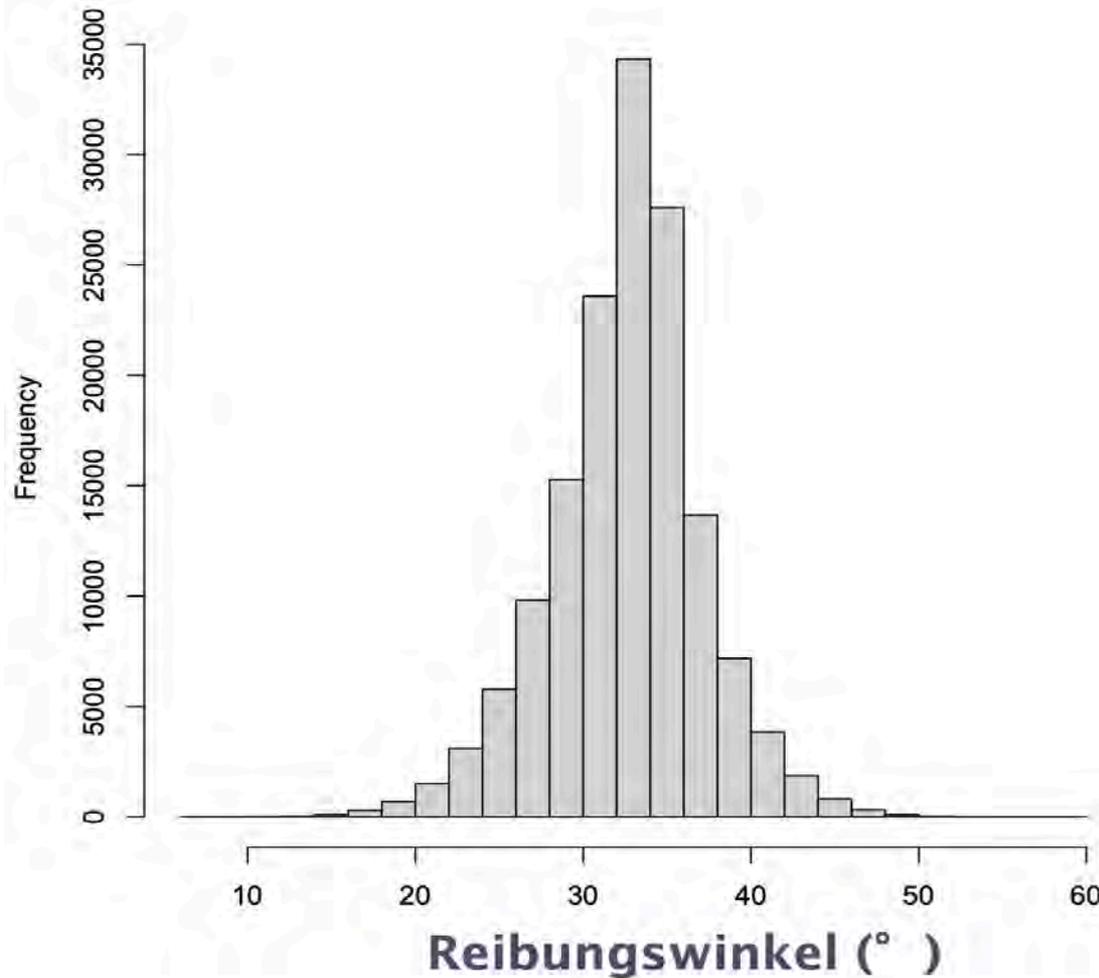
Berner
Fachhochschule



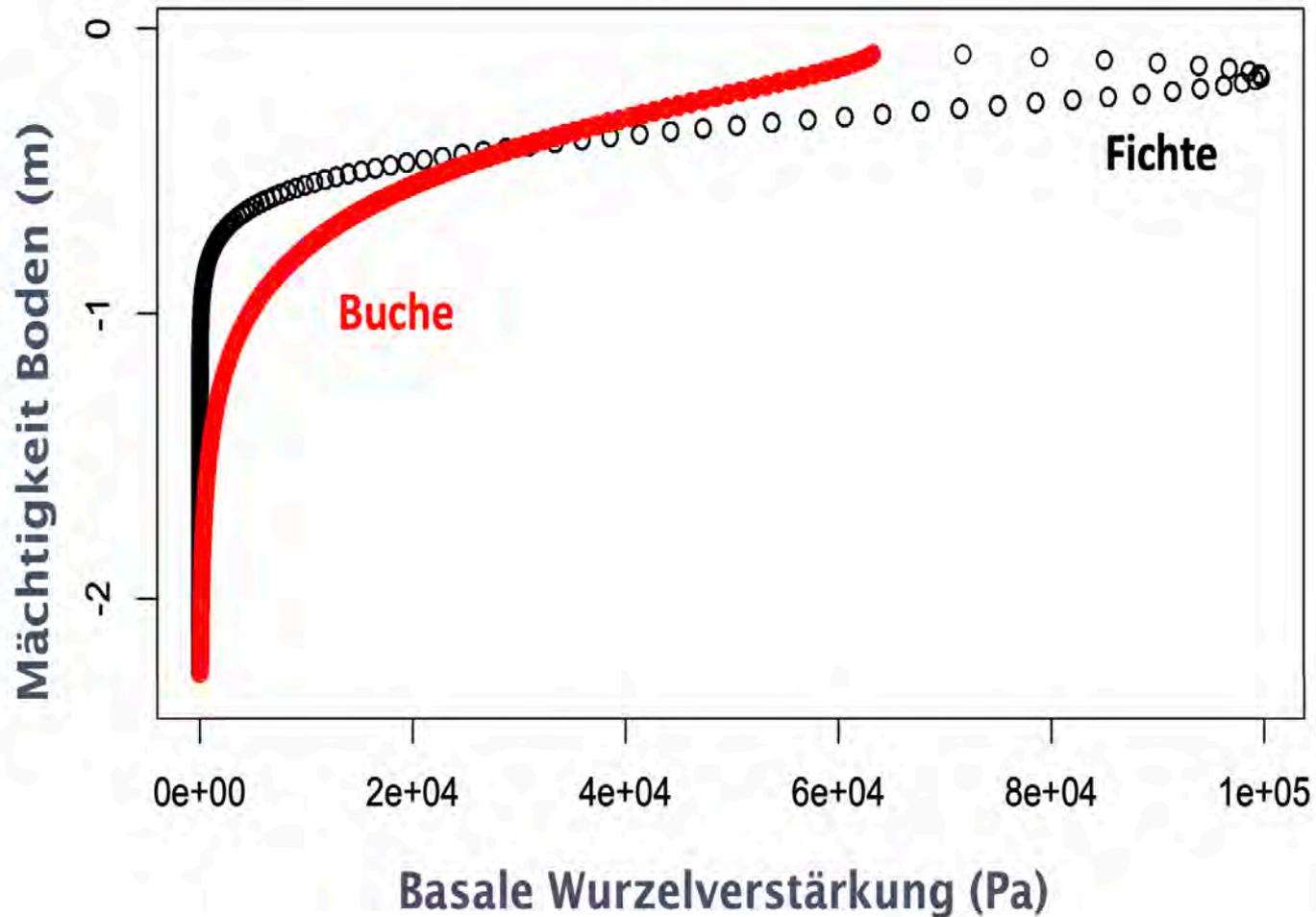
Tragwerkmodell : Analyse der HM-Datenbank mit SlideforNET



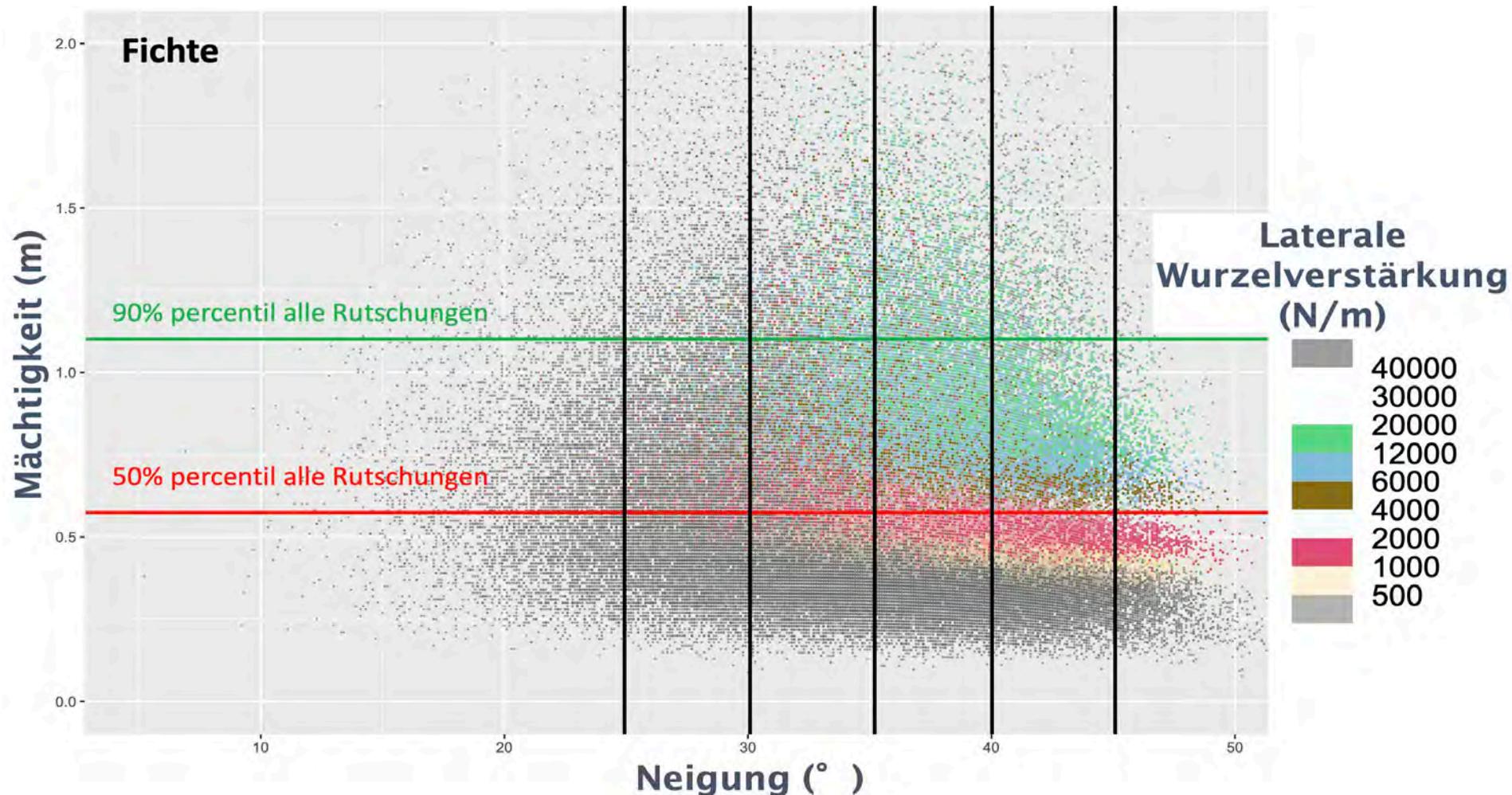
Berner
Fachhochschule



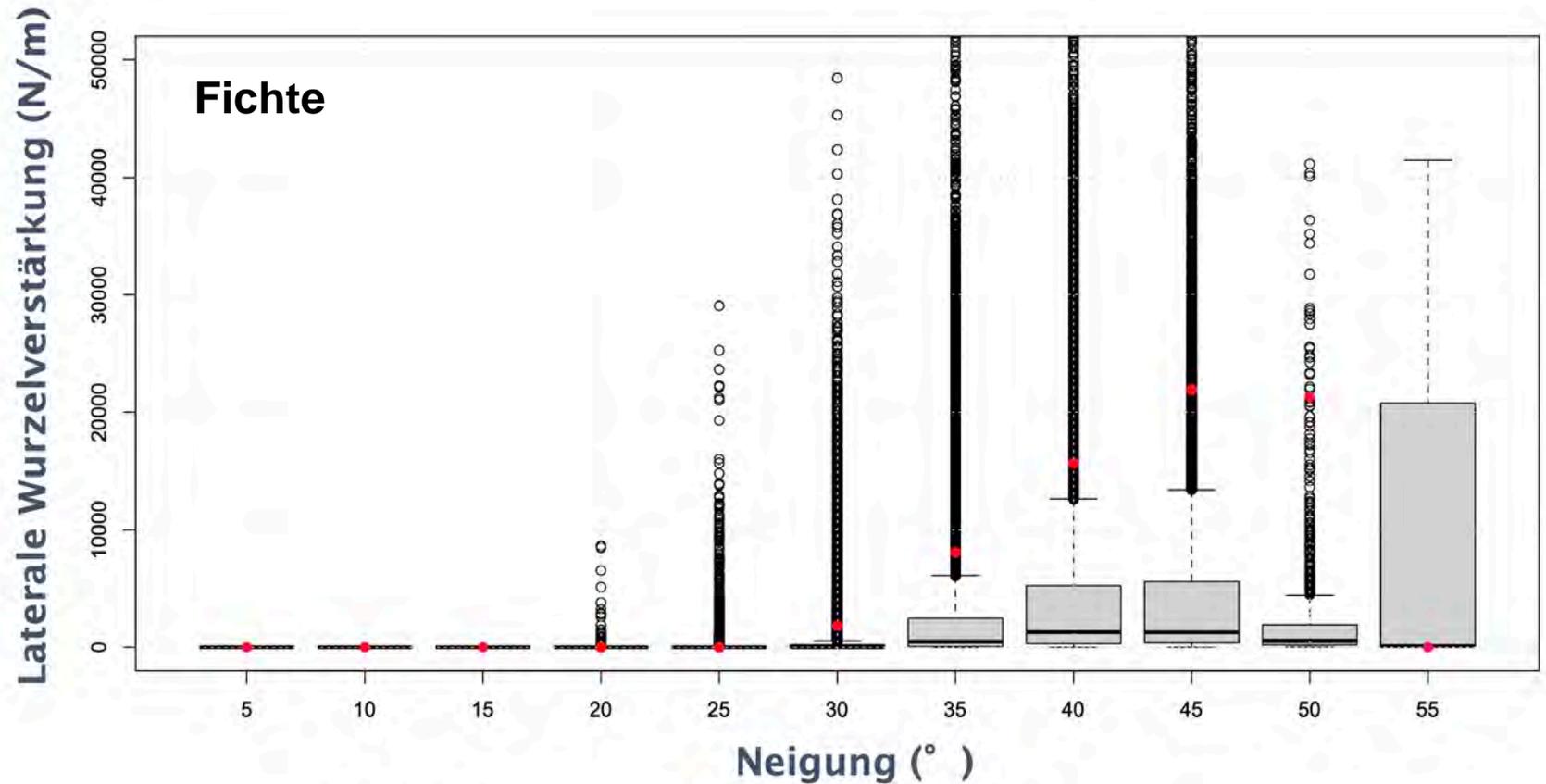
Tragwerkmodell : Analyse der HM-Datenbank mit SlideforNET



Tragsicherheit: Analyse der HM-Datenbank mit SlideforNET



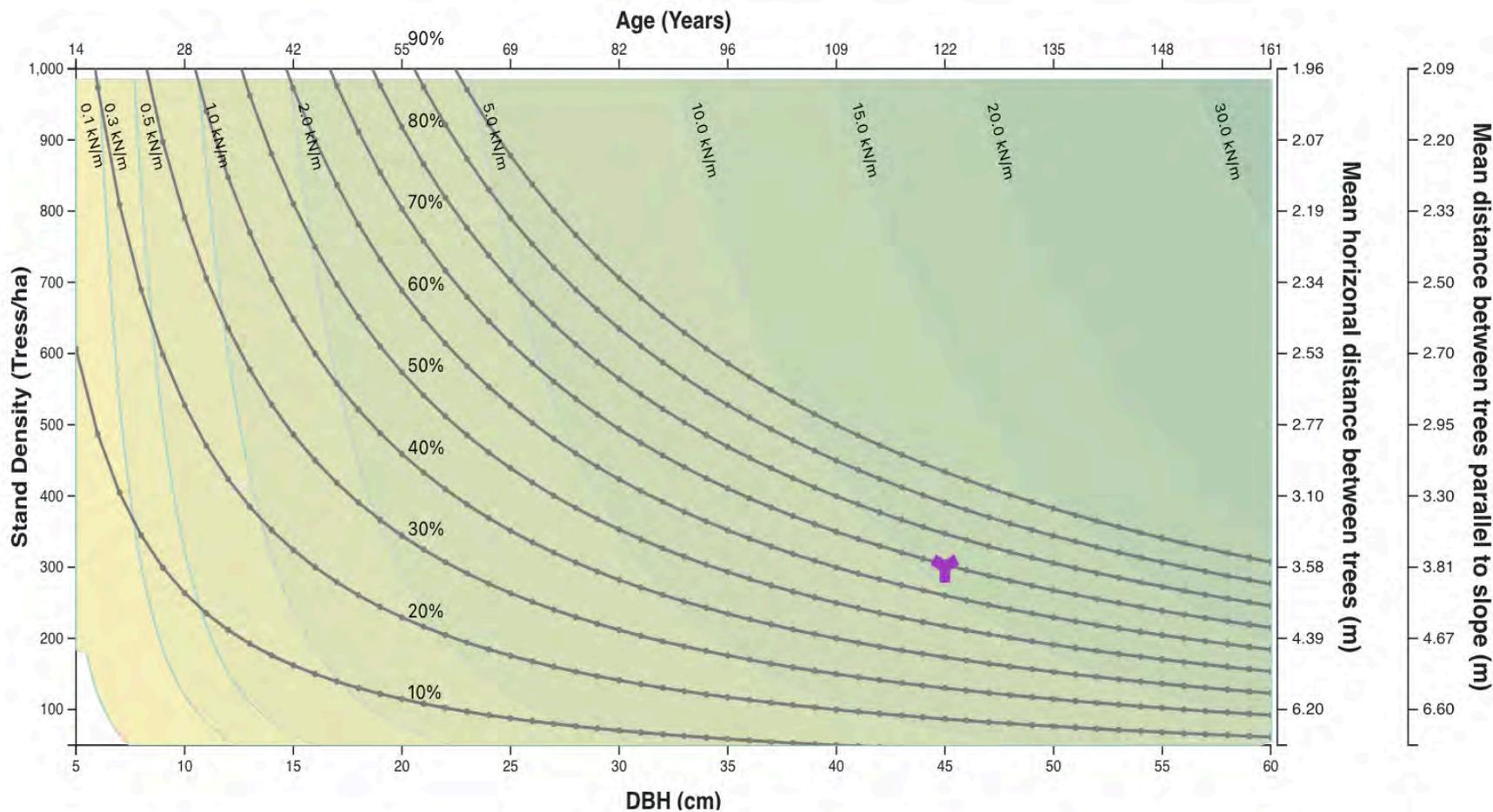
Tragsicherheit: Analyse der HM-Datenbank mit SlideforNET



Bemessung von Wurzelwerke: Analyse der HM-Datenbank mit SlideforNET



Berner
Fachhochschule



Zusammenfassung Bemessung

Neigung (°)	Minimal Laterale Wurzelverstärkung (kN/m)	Ideal Laterale Wurzelverstärkung (kN/m)
<25	0	0
25-30	0.35	1.83
30-35	1.00	8.07
35-40	1.83	15.66
>40	2.61	21.91

Zusammenfassung Bemessung

Basierend auf die Wahrscheinlichkeit das eine Rutschung entsteht
(**<50% minimal, <10% Ideal**)

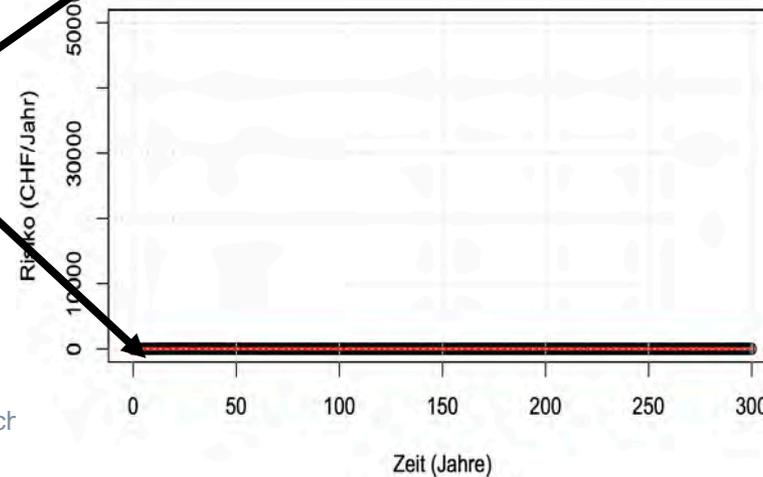
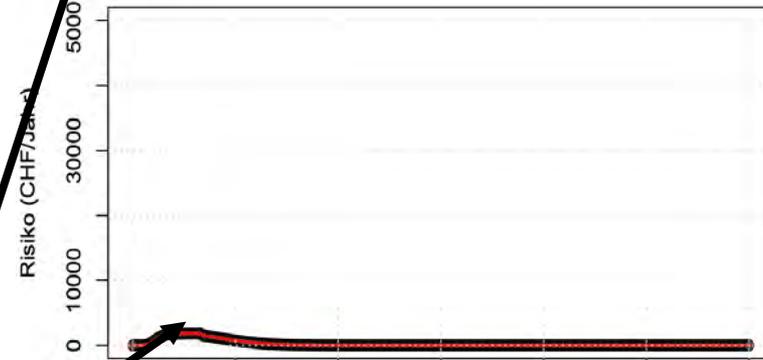
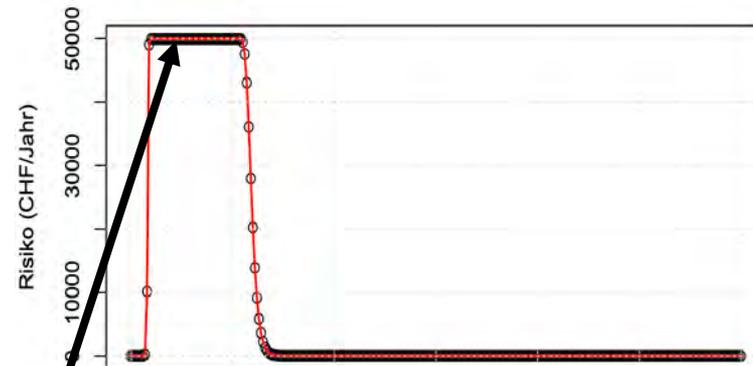
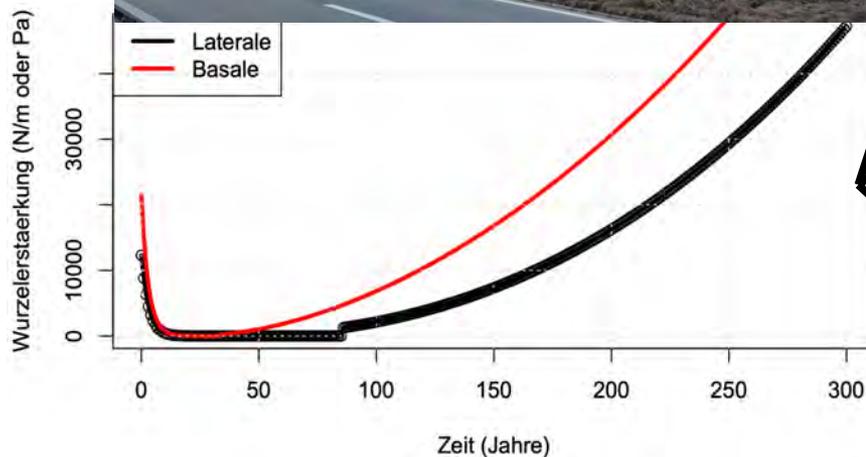
Neigung (°)	Minimaler BHD (cm) – DG (%) > 50%	Idealer BHD (cm) – DG (%) > 70%
<25	>10	>10
25-30	>15	>20
30-35	>20	>47
35-40	>25	>55
>40	>35	>55



Berner
Fachhochschule



Eintretenswahrscheinlichkeit in Lücken: Dynamik der Wurzelverstärkung





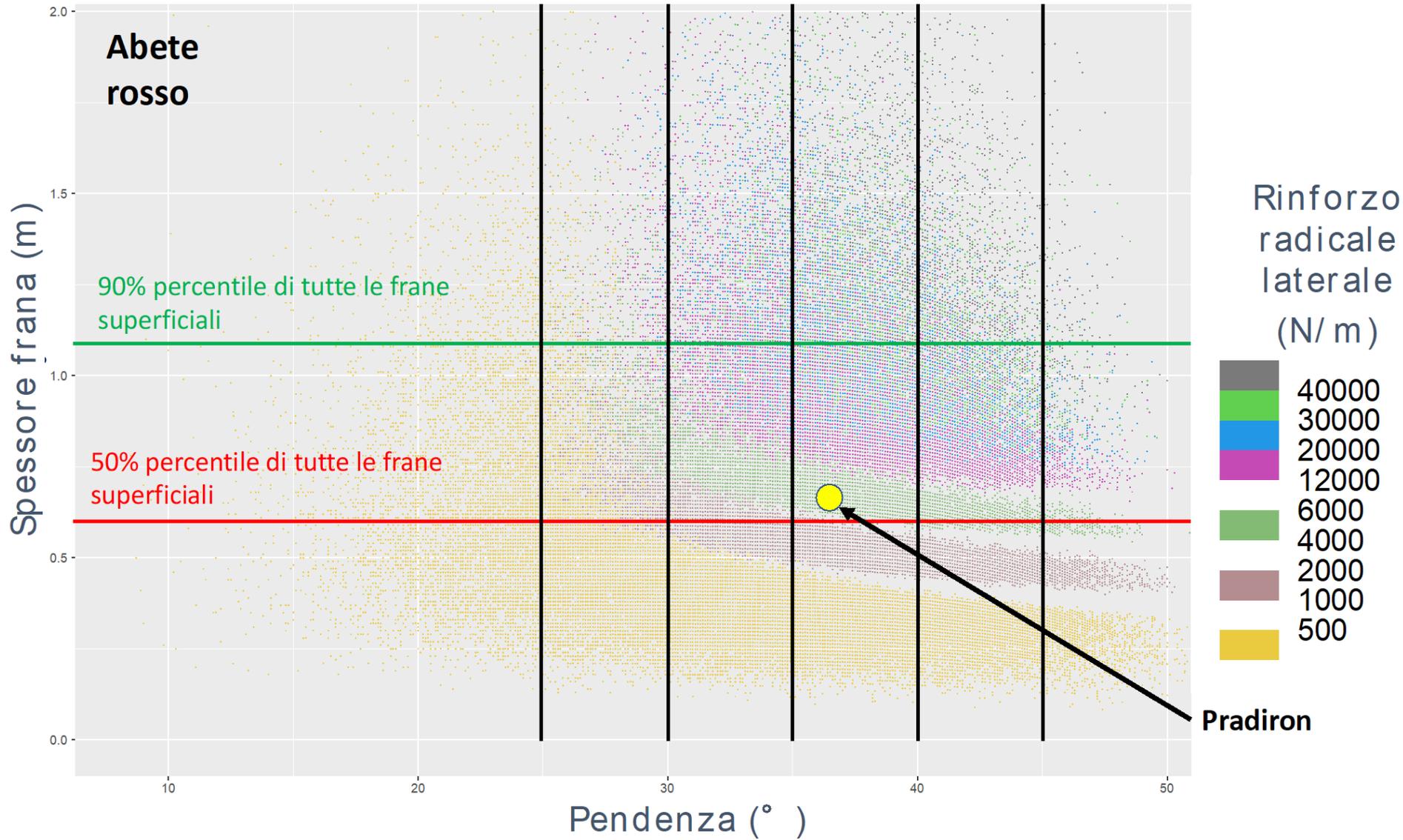
Beispiel: Pradiron



Beispiel: Pradiron



Berner
Fachhochschule



Beispiel: Pradiron



Berner
Fachhochschule

