

# Inventurbasierter Ansatz für ein Sturmschadensmodell auf Einzelbaum-Basis

*Erfahrungen aus dem Wintersturm "Lothar"  
in Baden-Württemberg (1999)*



Forstliche Versuchsanstalt  
Baden-Württemberg

**Einzelbaum Sturmschadensmodell**

**M. Schmidt, J. Bayer,**  
G. Kändler, E. Kublin,  
U. Kohnle

# Autoren

---



**Matthias Schmidt**



**Jürgen Bayer †**



**Gerald Kändler**



**Edgar Kublin**



**Ulrich Kohnle**

# Warum Einzelbaum-Ebene ?

---

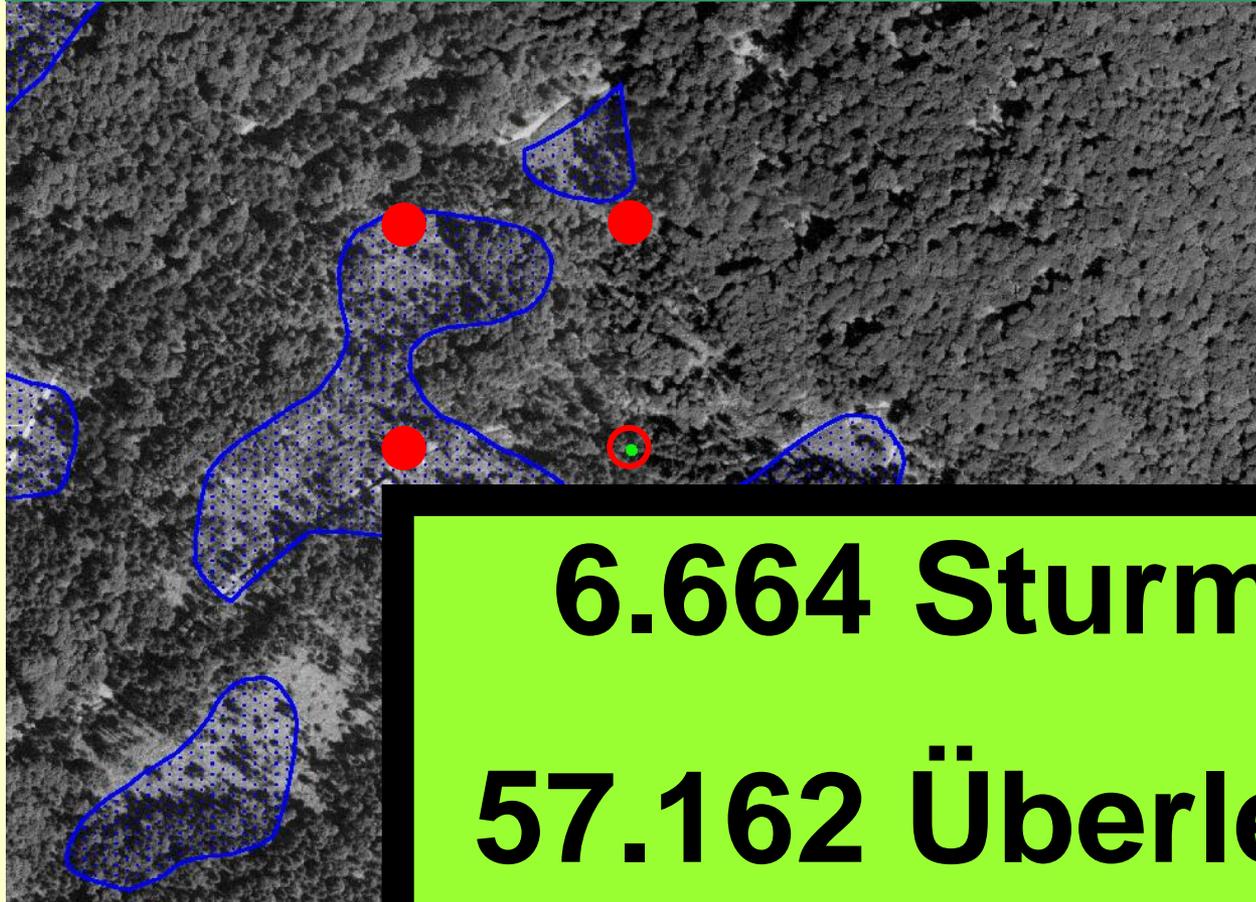
- **Schadgrad variiert im Bestand**
- *(einige)* **Faktoren wirken auf Baumebene**
- **forstbetriebliche Entscheidungshilfe**
  - waldbauliche Steuerungsmöglichkeiten
  - waldbauliche Maßnahmen wirken auf Baumebene

# *„Lothar“: 26. Dezember 1999*



<b>Vorratsverlust:</b>	<b>8 % vor Sturm</b>
<b>betroffene Waldfläche:</b>	<b>14 % stark geschädigt 4 % kahl</b>
<b>Wertverluste:</b>	<b>12 % des Holzwertes</b>
<b>bleibender Bestand:</b>	<b>37 % Entwertung</b>

# „Lothar“ in der Bundeswaldinventur (BWI II)



**6.664 Sturmmopfer**  
**57.162 Überlebende**

Attribut „beschädigt durch Lothar“: baumindividuell erhoben in der BWI

# Modellierungsansatz

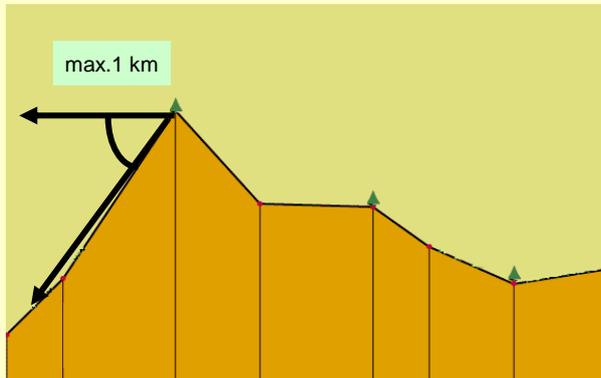
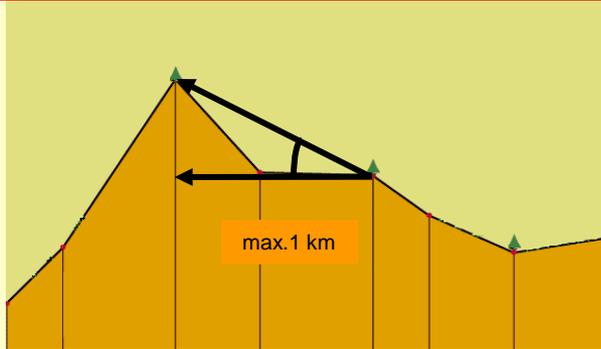
**Verallgemeinertes lineares Modell mit binär verteilter abhängiger Variabler (*glm*)**  
(*generalized linear model*)

## untersuchte/ausgewählte Prediktoren

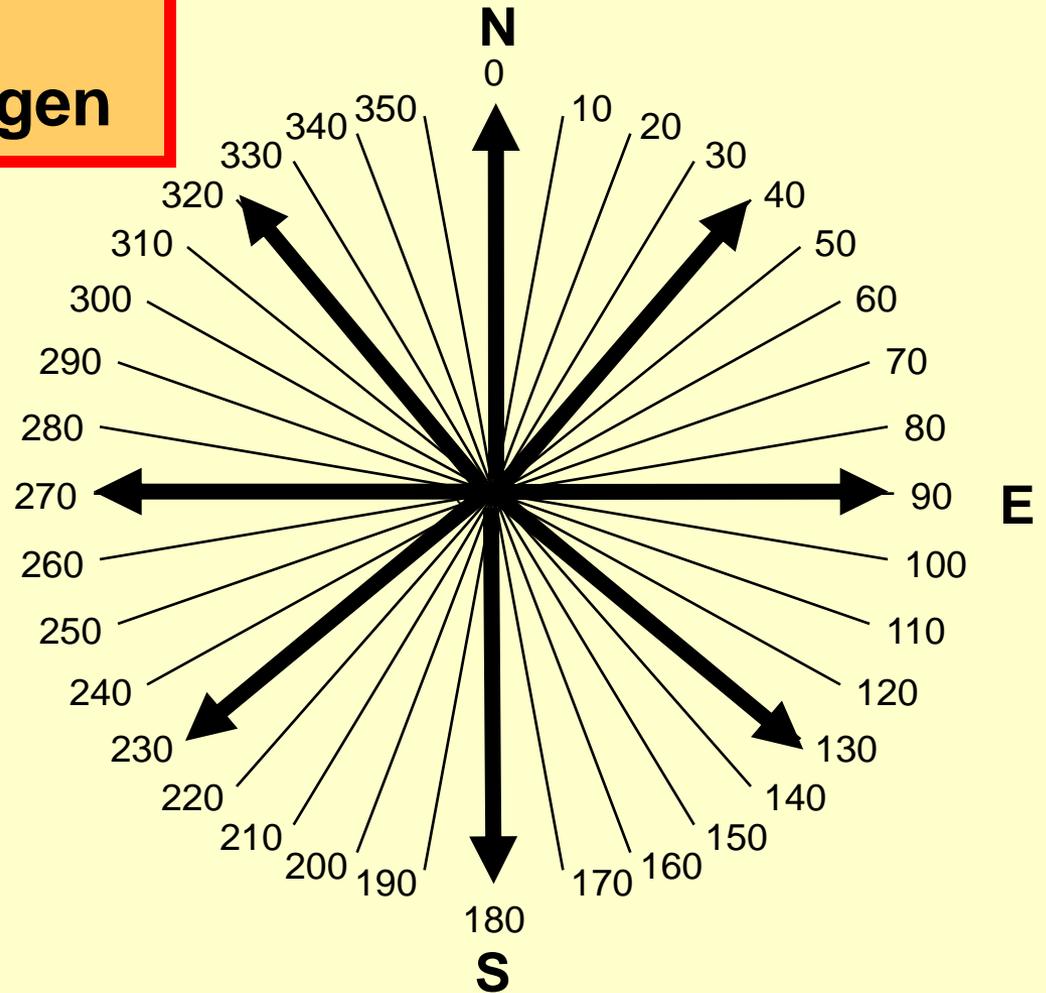
- TOPEX-to-Distance-Index (*Scott & Mitchell*)  
*Geländeexponiertheit/-exposition*
- Baumart
- Baumhöhe
- h/d-Wert
- [*Abstand zum Waldrand*]

# TOPEX

## Winkelsumme in 8 Hauptwindrichtungen



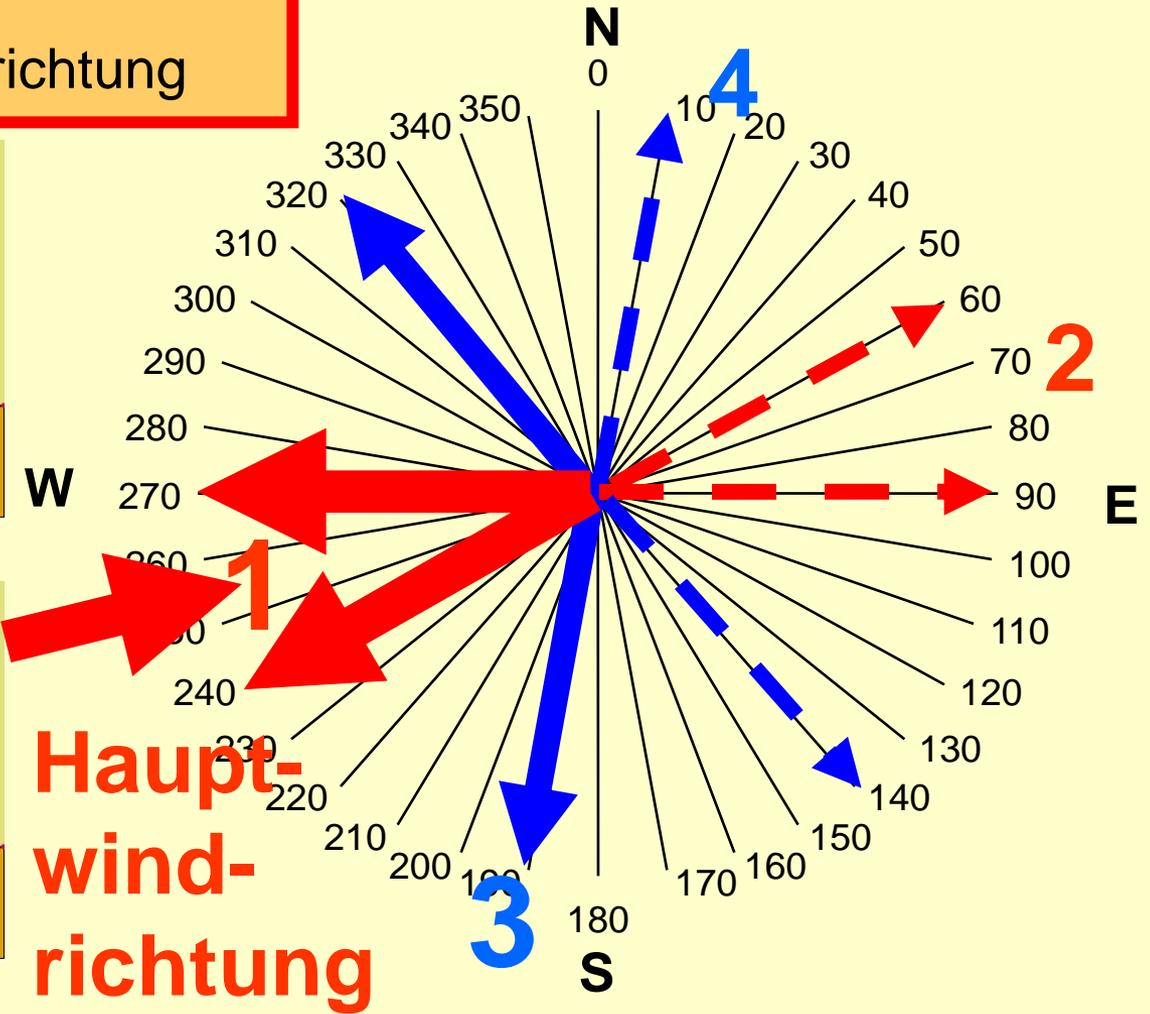
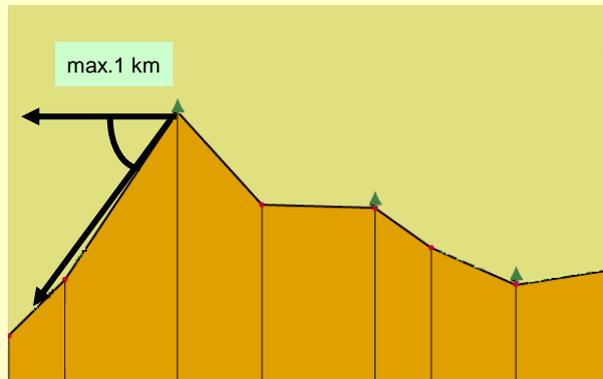
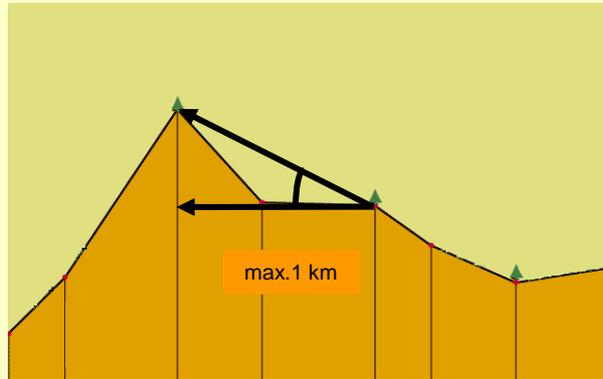
W



# TOPEX: modifiziert

## Lothar:

Gewichtung Hauptwindrichtung



# Problem:

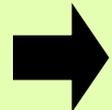
meteorologische Charakteristika unbekannt

# Annahme:

räumliche Muster der Schadensverteilung, die nicht von den Kovariablen im Model erklärt werden

*(TOPEX, Baumart, Höhe, h/d, Abstand zum Waldrand),*

werden als Effekt des Windfeldes interpretiert



Geographische Lage der Inventurpunkte dient als „Ersatz-Parameter“ der meteorologischen Charakteristika des Windfeldes

# Modellierung des räumlichen Trends

- **Annahme**: der räumliche Trend enthält (auch) Informationen über die meteorologischen Charakteristika des Windfeldes
- **Aufgabe**: Trennung des Einfluß der meteorologischen Charakteristika von den anderen Variablen
- **Konsequenz**: gleichzeitige Bestimmung der Modellkomponenten, die den räumlichen Trend charakterisieren **und** der fixen Effekte der anderen Prediktoren

# Modellierung des räumlichen Trends

## gemischtes Model (**gam**)

(**g**eneralized **a**dditive mixed **m**odel)

$$g(\pi_i) = X_i \beta + f(\text{Nord}_i; \text{Ost}_i)$$

$\pi_i$  Schadwahrsch. von Baum  $i$  am Ort with GK-coordinates Nord <sub>$i$</sub> /Ost <sub>$i$</sub>

$g$ . link Funktion (*logistisch*)

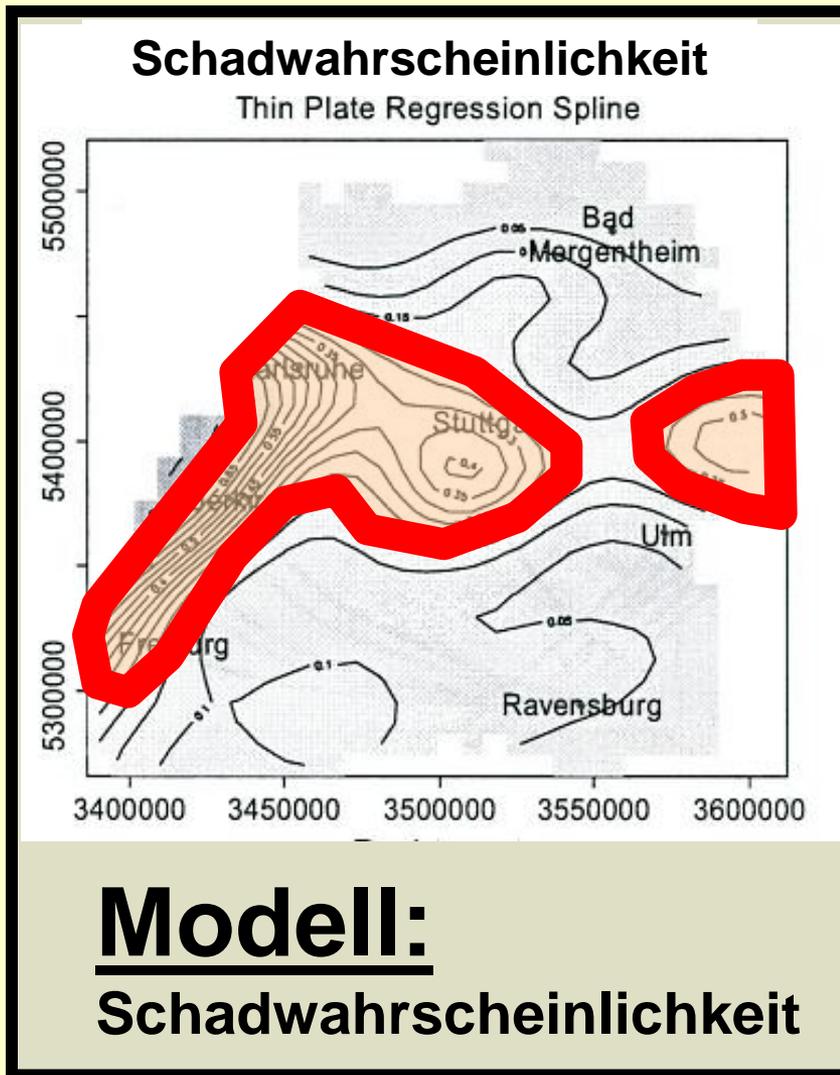
$X_i$  Vektor der unabhängigen Variablen (*TOPEX, Baumart, Höhe, etc.*)

$\beta$  Vektor der fixen Effekte, die den Einfluß der unabhängigen Variablen beschreiben

$f$  Glättungsfunktion: *thin-plate-(penalized)-regression spline*

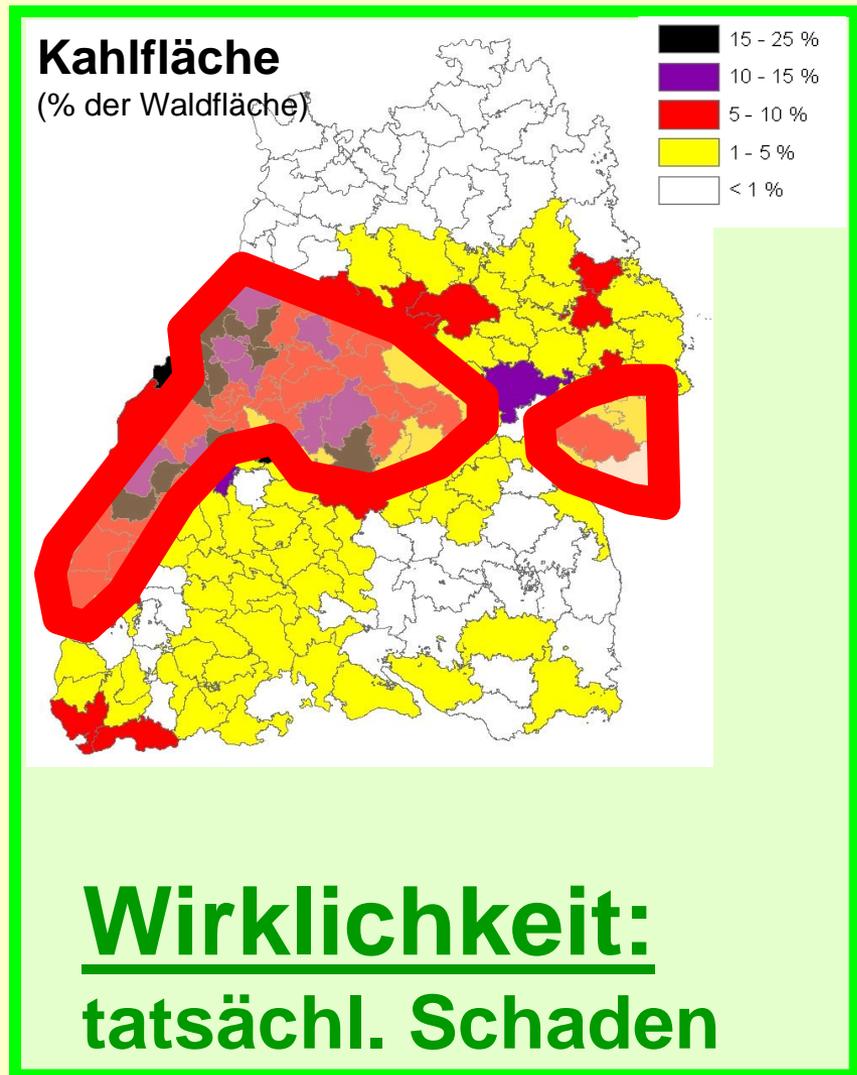
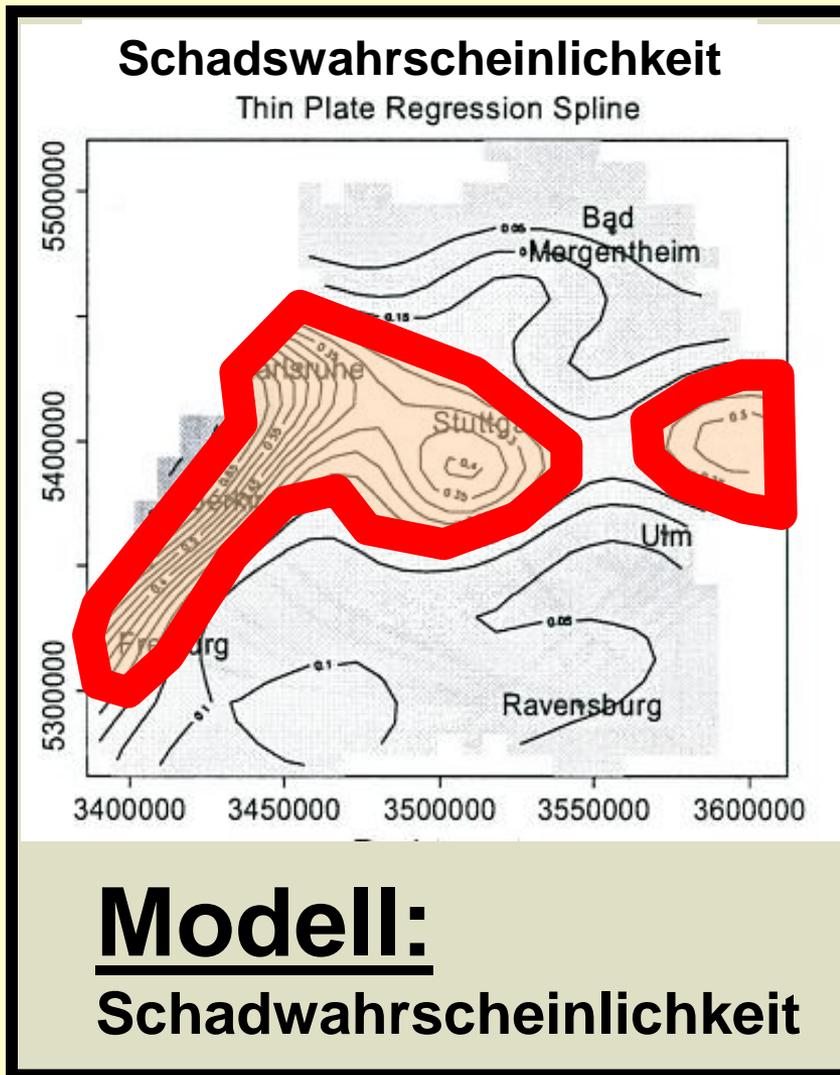
## Programmbibliothek *mgcv* in $R$

# räuml. Schadensverteilung (modelliert)



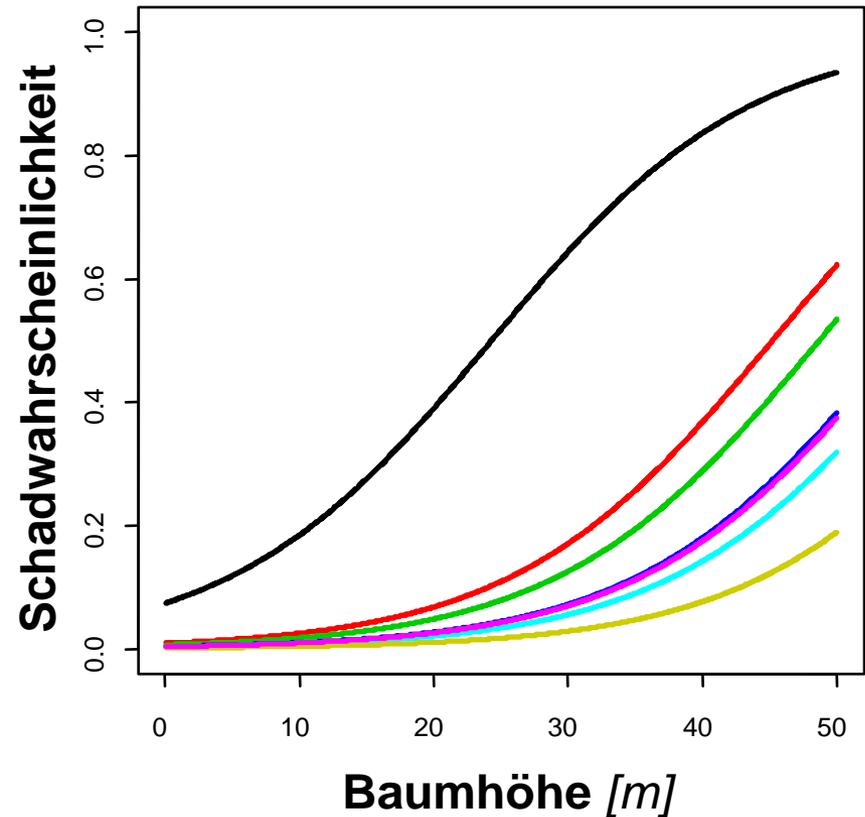
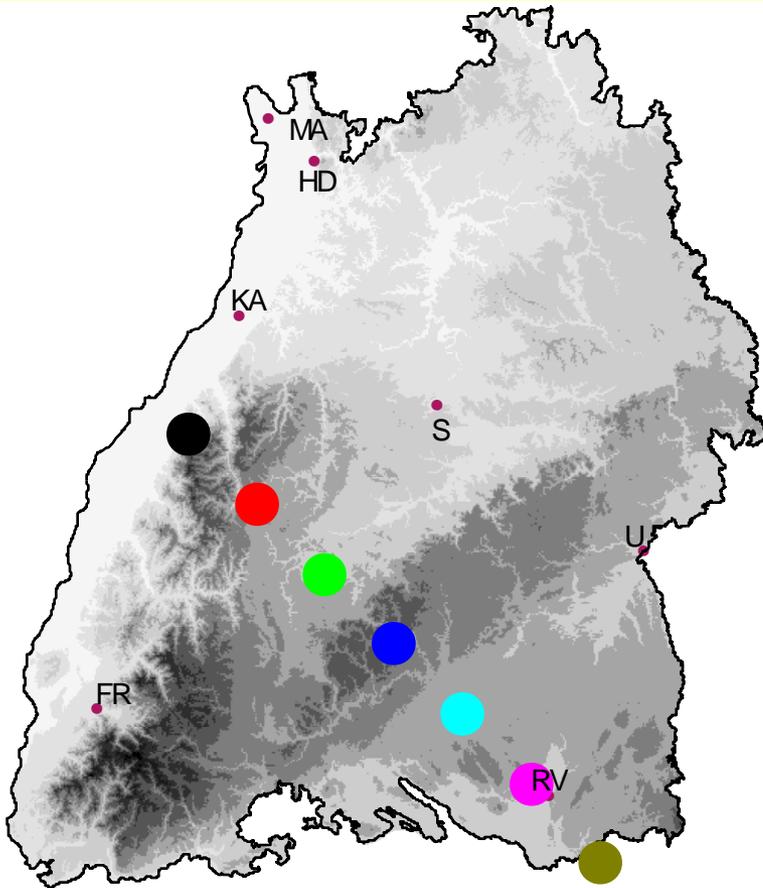
**Fichte**  
**h/d (79)**  
**Höhe (28m)**  
**mittlerer TOPEX**

# räuml. Schadensverteilung (modelliert)



# Baumhöhe / geographische Lage

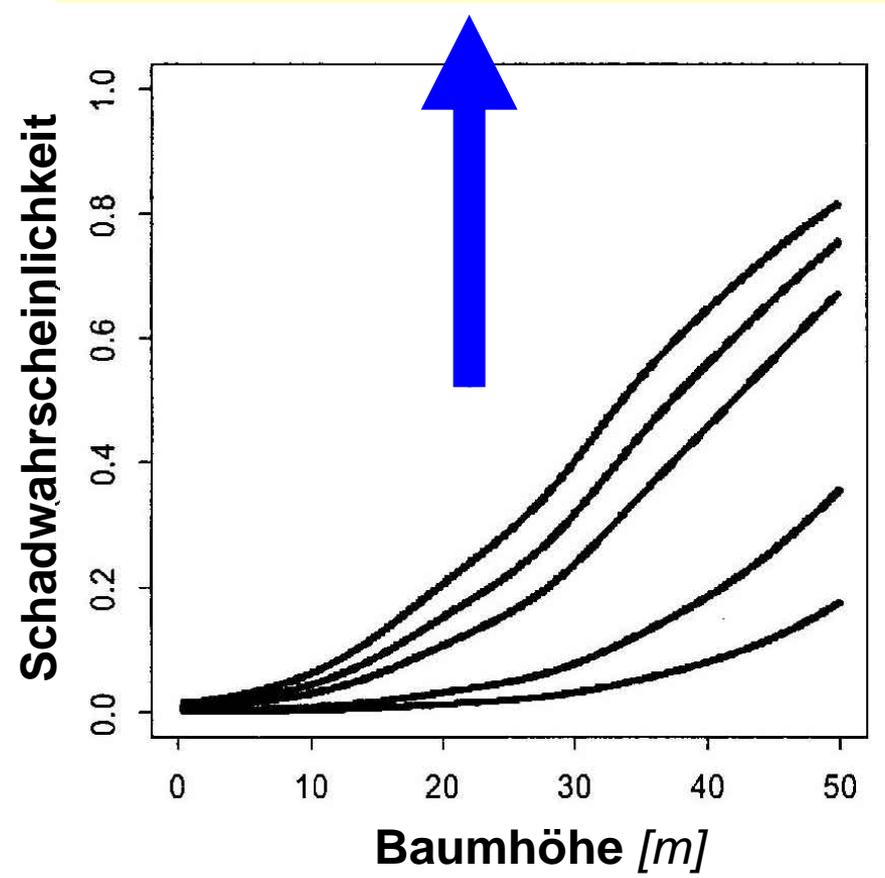
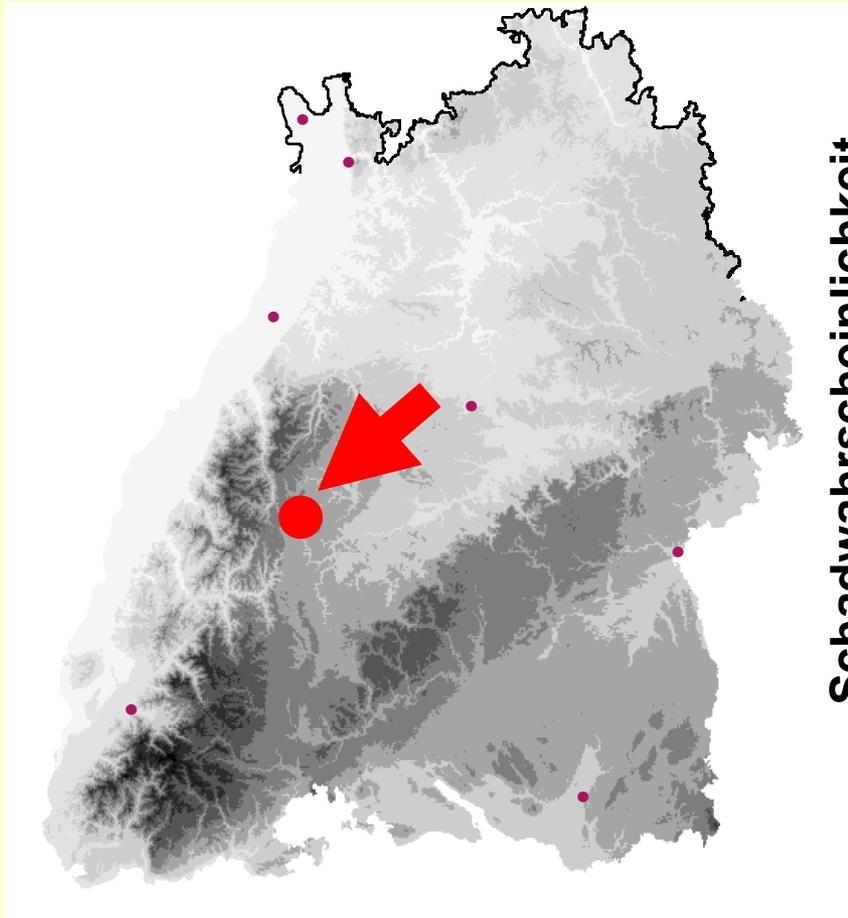
fix: Fichte, h/d-Wert, TOPEX, distance to edge



# Exposition/Exponiertheit (*TOPEX*)

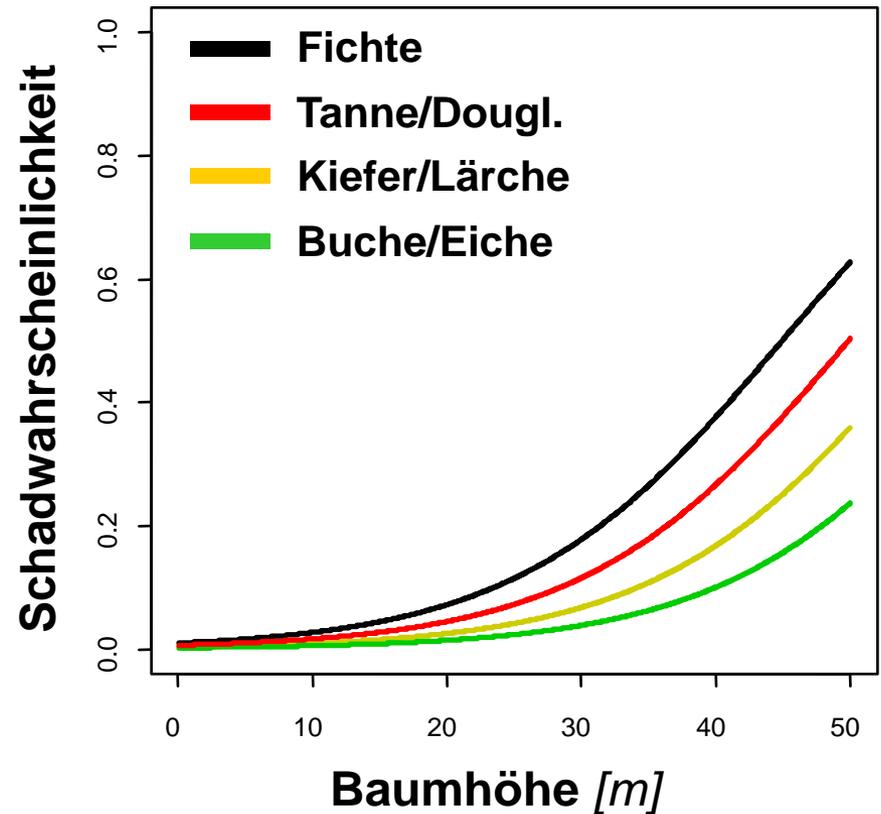
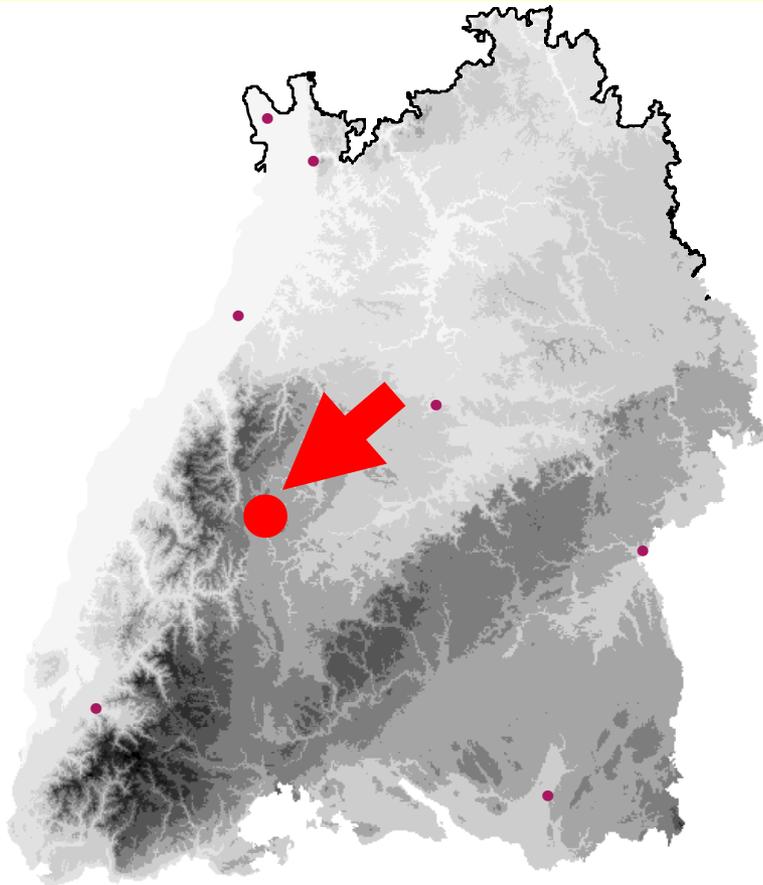
fix: geographische Lage, Fichte, h/d-Wert

**zunehmende Exponiertheit**



# Baumart

fix: geographische Lage, h/d-Wert, TOPEX



# Zusammenfassung

---

- **Inventur-basiertes statist. Schadensmodell (*gam*)**
  - Schadenswahrscheinlichkeit auf Einzelbaum-Ebene
  - **signifikante Prediktoren:**
    - (1) TOPEX, Baumart, Höhe, h/d-Wert
    - (2) G/K-Koordinaten (*räuml. Trend in der unerklärten Varianz*)
- **räuml. Trend: Ersatz für Windfeld**
  - synchrone Schätzung räuml. Trend / fixe Effekte
  - bi-variater gemischter Spline (*thin-plate-penalized-regression-spline*)
- **Sturm-Szenarien: Übertragung der Koordinaten**
- **Modellverhalten entspricht Experten-Erwartung**

# Weiterentwicklung

---

- **meteorologische Parameter**  
*(originäre Sturmcharakteristika)*
- **Standort/Boden**  
*(Wurzelraum)*
- **Belaubungsaspekt**  
*(Sommersturm)*
- **Wachstumssimulation**  
*(Szenarien)*

---

# *Danke*



Forstliche Versuchsanstalt  
Baden-Württemberg

**Einzelbaum Sturmschadensmodell**

**M. Schmidt, J. Bayer,**  
G. Kändler, E. Kublin,  
*U. Kohnle*



**Forstliche Versuchsanstalt**  
Baden-Württemberg

## **Einzelbaum Sturmschadensmodell**

**M. Schmidt, J. Bayer,**  
G. Kändler, E. Kublin,  
*U. Kohnle*

# Autoren



Matthias Schmidt



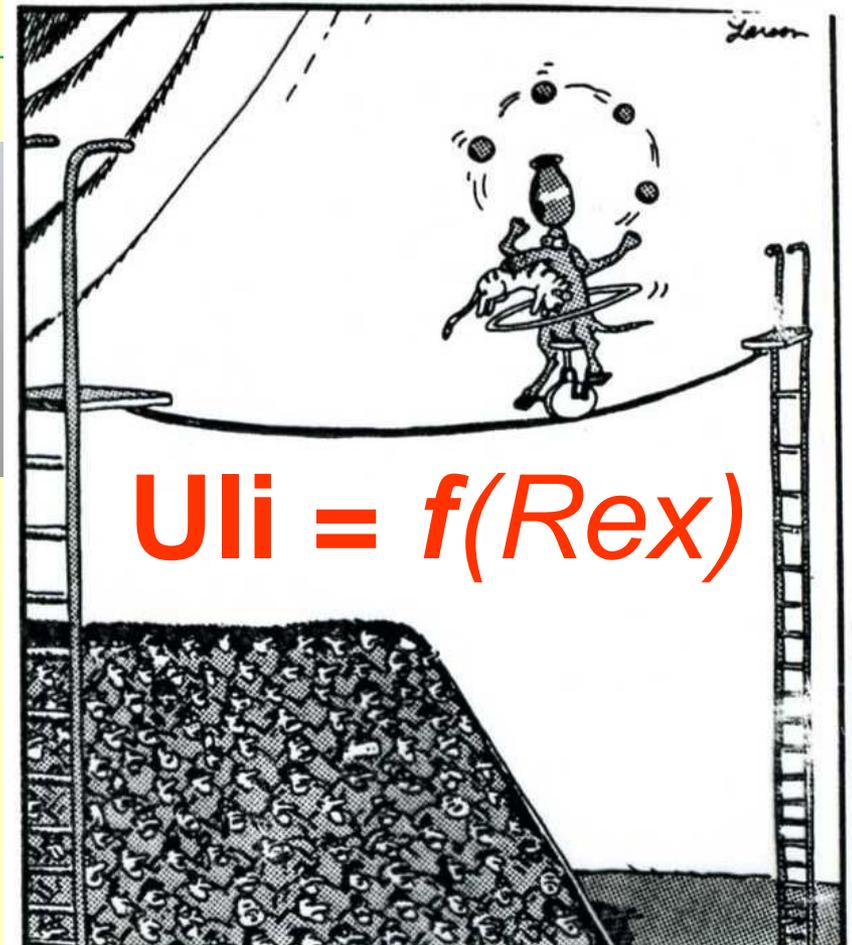
Jürgen Bayer †



Gerald Kändler



Edgar Kublin



Hoch über der atemlos gespannten Zuschauerschar versucht Rex sich zu konzentrieren. Dabei wird er jedoch einen drängenden Gedanken nicht los:

**er ist ein alter Hund –  
und das ist ein neues Kunststück**

# mechanistische – statistische Modelle

---

- **mechanistic storm damage models**
  - **direct cause – damage relations**  
*(wind speed, flow dynamics, tree statics etc.)*
  - **data gathered from defined experiment / incident**
  - **highly detailed information necessary**  
*(rarely available on a broad basis; model extrapolation)*
- **statistical storm damage models**
  - **indirect predictors**  
*(tree, stand, site characteristics etc.)*
  - **data (often) pooled from several incidents**  
*(e.g. decade)*
  - **meteorological conditions not included**  
*(generalization difficult)*

# basic modelling approach

**g**eneralized **l**inear **m**odel with binomial-distributed answering variable (*glm*)

$$\text{logit}(\pi_i) = \alpha + \beta_1 \cdot \text{species}_i + \beta_2 \cdot \text{tree\_height}_i + \beta_3 \cdot \text{hd-ratio}_i + \beta_4 \cdot \text{TOPEX}_i$$

$$\pi_i = E(y_i) \quad y_i \sim \text{binomial}(1, \pi_i) \quad \text{var}(y_i | \pi_i) = \pi_i(1 - \pi_i) / n_i$$

$$g(\pi_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_k x_{ki} = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ji} \quad (1.1)$$

$$g(\pi_i) = \log\left(\frac{\pi_i}{1 - \pi_i}\right) \quad (1.2)$$

# final model

$$g(\pi_i) = \beta_1 \text{species} + \beta_2 \text{Top\_to\_Dis\_1}_i + \beta_3 \text{Top\_to\_Dis\_2}_i + \beta_4 \text{Top\_to\_Dis\_3}_i + \beta_5 \text{Top\_to\_Dis\_4}_i + \beta_6 \text{Dis\_WWR}_i + f_1(H_{1999}_i, h/d - \text{ratio}_{1999}_i) + f_2(\text{North}_i; \text{East}_i) + \varepsilon_i$$

$\pi_i$	damage probability of tree $i$ at location with GK-coordinates $\text{North}_i/\text{East}_i$
<b>g.</b>	loglink function
<b>species</b>	tree species group; categories: spruce, fir/Douglas fir, pine/larch, beech/oak, $Alh/Aln$ (other deciduous with high [ $Alh$ ] or short [ $Aln$ ] life expectation)
<b>Top_to_Dis_1...4</b>	modified Topex-to-Distance indices summed from Topex values calculated for 8 different directions; the modified index sums 2 Topex_to_Distance values
<b>Dis_WWR</b>	variable integrating distance to the closest westerly exposed forest edge with: distance to westerly exposed edge ( $\text{DWWR} - 350$ ) <sup>3</sup> , if $\text{DWWR} < 350$ m, otherwise 0
$f_1, f_2$	smoothing functions [bi-variate thin-plate-(penalized)-regression-splines]
$\beta_1 \dots \beta_6$	fixed effects of the corresponding independent variables

# final model: *coefficients and statistics*

	<b>coefficient</b>	<b>SE</b>	<b>t-value</b>	<b>pr(&gt;t)</b>
Alh_Aln	-3.9425	0.0671	-58.76	<22e-16
beech_oak	-3.2936	0.0353	-93.39	<22e-16
spruce	-1.6575	0.0208	-79.60	<22e-16
pine_larch	-2.7436	0.0415	-66.14	<22e-16
fir_Douglas fir	-2.1254	0.0343	-61.97	<22e-16
Dis_WWR	-1.27e-08	1.29e-09	-9.91	<22e-16
Top_to_Dis_1	-0.0060427	0.0001746	-34.60	<22e-16
Top_to_Dis_2	-0.0019381	0.0001715	-11.30	<22e-16
Top_to_Dis_3	0.0039607	0.0002936	13.49	<22e-16
Top_to_Dis_4	-0.0019932	0.0003001	-6.64	3.11e-11
<b><u>significance of smoothing terms:</u></b>				
		<b>edf</b>	<b>Chi.sq</b>	<b>p-value</b>
s (h_1999, h/d-ratio_1999)		24.81	2969.7	<22e-16
s (North, East)		29	4649.3	<22e-16
<b><u>characteristics:</u></b>				
	R <sup>2</sup> (adj.) = 0.174		explained deviance = 19.4 %	
	gcv score = 0.54126		n = 63,452	

# h/d-ratio

fixed: geographical location, spruce, TOPEX-value

