



# Aktueller Humusschwund in Waldböden der Bayerischen Alpen

Ursachenermittlung, Folgenabschätzung, Gegenmaßnahmen

**Jörg Prietzel und Dominik Christopfel**

Lehrstuhl für Bodenkunde  
Technische Universität München



# Humusausstattung von Waldböden

## → wichtige Rolle für Wald und Forstwirtschaft im Gebirge

- Wurzelraum, Wasser- & Nährstoffspeicher
- v.a. in flachgründigen Böden der Alpen wichtig
- CO<sub>2</sub>-Senke/Quelle



Hinterlapberg, Langenau



Loisachtal, Grainau





## **Extremer Humusschwund nach Kahlschlag**

(Meister & Offenberger, 2004)

## **Schleichender Humusschwund**

[http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/waldbau/bergwald/wf\\_humusschwund/index\\_DE](http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/waldbau/bergwald/wf_humusschwund/index_DE)

# Fragestellungen

1. **Veränderte sich die Humusausstattung** der Waldböden in den Bayerischen Alpen in den letzten Jahrzehnten?
2. Gibt es Beziehungen von Veränderungen der Boden-Humusausstattung zum **Klimawandel** in den Bayerischen Alpen?
3. Wie wirken sich eventuelle Veränderungen des Bodenumusvorrats auf **Wachstum** und **Nährstoffversorgung** wichtiger Baumarten des Gebirgswalds aus? *Beispiel: Fichte*
4. Wie ist **nachhaltige Forstwirtschaft** in den Bayerischen Alpen unter diesen Bedingungen möglich?

# Fragestellungen

1. **Veränderte sich die Humusausstattung** der Waldböden in den Bayerischen Alpen in den letzten Jahrzehnten?





**BODEN-DAUERBEOBACHTUNGSFLÄCHE**  
Im Rahmen des vorsorgenden Bodenschutzes werden Untersuchungen auf dieser Waldfläche durch die Bayerische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt durchgeführt.  
Bitte vermeiden Sie deshalb Störungen auf dieser Fläche.  
Bayerische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt  


## 14 Bodendauerbeobachtungsflächen in den Bayerischen Alpen

- 1987: Bestimmung wichtiger Bodeneigenschaften (z.B. Humusvorrat)
- Beprobung in mehreren Parallelen (→ Erfassung der Variation)
- Wiederholungsinventur 2012 mit gleicher Methodik  
→ ermöglicht Erfassung u. statistischen Nachweis von Veränderungen



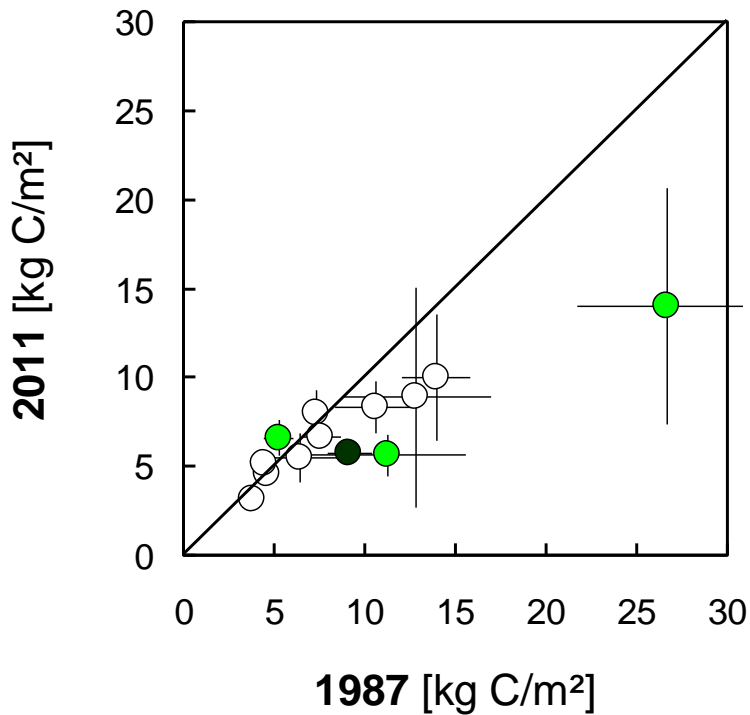
# vor fast 40 Jahren .....

## **14 Flächenpärchen unter Wald und angrenzender Lichtalmweide im Berchtesgadener Land**

- 1976: Bestimmung des Bodenumusvorrats
  - Beprobung in mehreren Parallelen ([2], 4 oder 5 Profile)
  - Wiederholungsinventur 2012 mit gleicher Methodik
- ermöglicht Erfassung u. statistischen Nachweis von Veränderungen

## Bodendauerbeobachtungsflächen 1987-2011

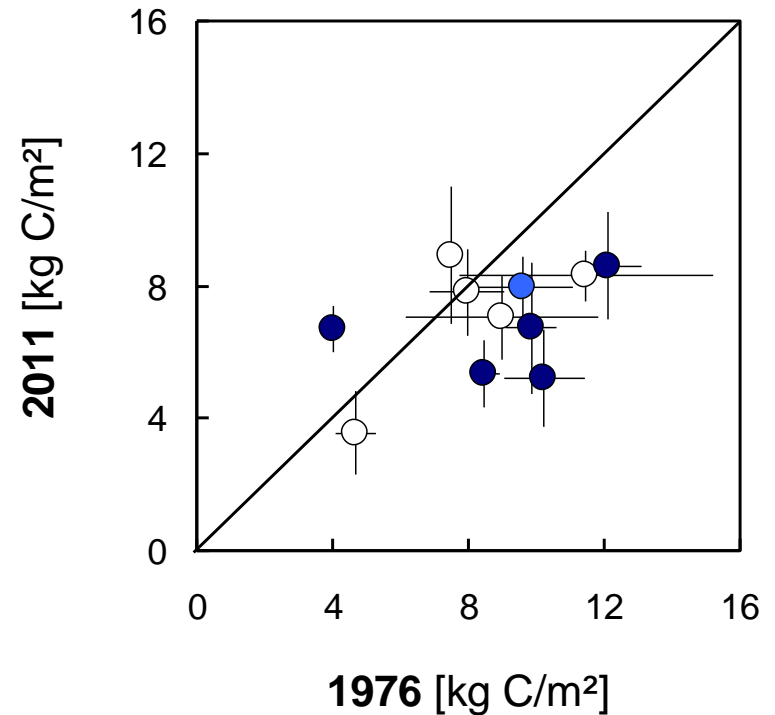
### OC-Vorrat Auflage + Mineralboden 0-30 cm



- Durchschnittlich **14% Verlust**
- Starker Humusschwund in humusreichen Böden

## Berchtesgadener Land 1976-2011

### OC-Vorrat Auflage + Mineralboden 0-30 cm



- Durchschnittlich **11% Verlust**
- Starker Humusschwund in humusreichen Böden



# Fragestellungen

2. Gibt es Beziehungen von Veränderungen der Boden-Humusausstattung zum **Klimawandel** in den Bayerischen Alpen?

# LWF: Waldklimastationen

Dietrich et al. 2014



WKS Berchtesgaden,  
Freilandmessstation



WKS Kreuth,  
Bestandesmessstation



# LWF: Regionalisierung von Klimadaten

Hera et al. 2012

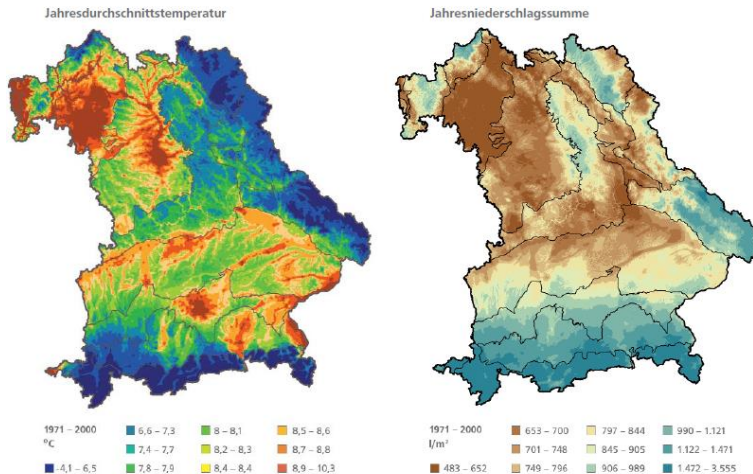


Abbildung 1: Mittlere Jahreslufttemperatur 1971–2000; die Gesamtläche Bayerns ist in zehn Temperaturklassen gleicher Flächengröße eingeteilt.

Abbildung 2: Mittlere Jahresniederschlagssumme 1971–2000; die Gesamtläche Bayerns ist in zehn Niederschlagsklassen gleicher Flächengröße eingeteilt.



zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Zeitreihen für wichtige Klimavariablen



# Trends Lufttemperatur an Alpen-Waldklimastationen

	Berchtesgaden		Kreuth		Sonthofen	
Periode	JMT		JMT		JMT	
1913-2011	<b>+0,07</b>		+0,04		<b>+0,09</b>	
1976-2011	<b>+0,42</b>		<b>+0,31</b>		+0,13	
1988-2011	+0,26		+0,13		-0,22	

Veränderungen in °C/10 Jahre. Fett gedruckte Trends signifikant ( $p < 0,05$ ).  
 Daten von Dr. Lothar Zimmermann, LWF

- **Erwärmung** (besonders in 1970iger und 1980iger Jahren) [1 bis 3°C/100J.]
- Erwärmung besonders stark **im Osten** d. Bayer. Alpen [3 bis 4°C/100J.]
- Erwärmung besonders stark **im Sommerhalbjahr** [ca. 5°C/100J.]

# Trends Niederschlagssumme an Alpen-Waldklimastationen

	Berchtesgaden		Kreuth		Sonthofen	
Periode	Jahr		Jahr		Jahr	
1913-2011	<b>+38</b>		<b>+31</b>		<b>+2</b>	
1976-2011	-17		-25		-38	
1988-2011	-111		-52		-119	

Veränderungen in mm/10 Jahre. Fett gedruckte Trends signifikant ( $p < 0.05$ )

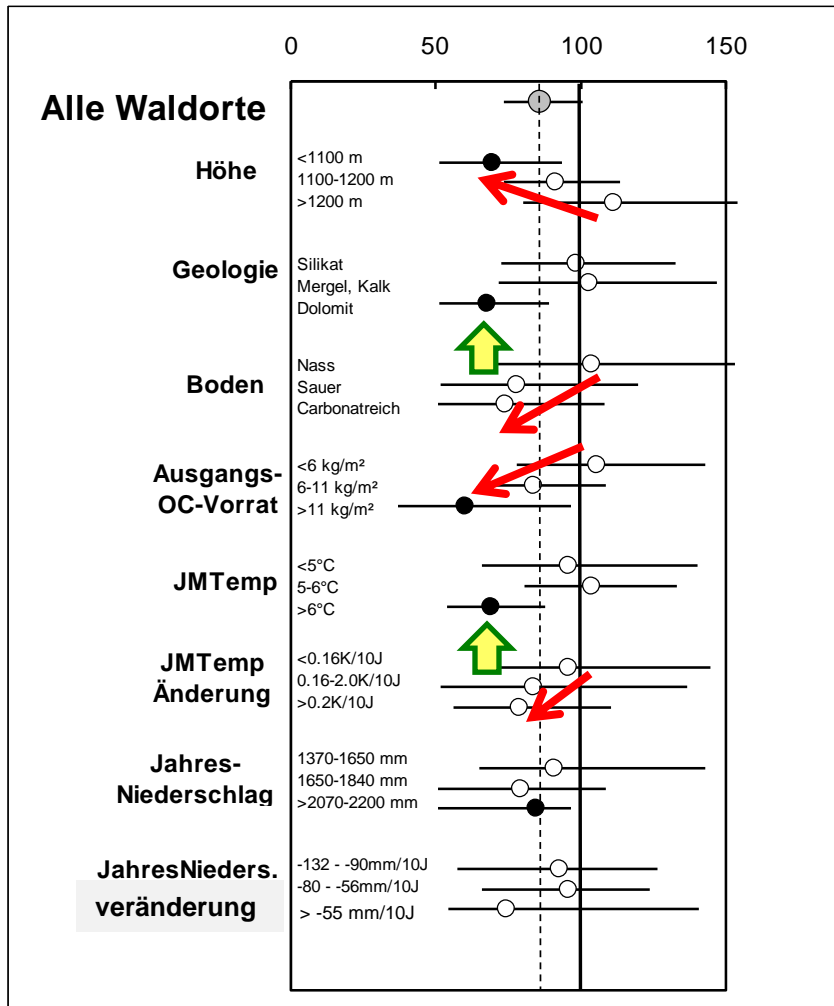
Daten von Dr. Lothar Zimmermann, LWF

- Seit 70iger Jahren: **Abnahme der Niederschläge** (in letzten Jahrzt. beschleunigt)
- am stärksten im Allgäu, Berchtesgadener Land
- Abnahme besonders stark **im Winterhalbjahr**



# Beziehungen Bodenumusveränderungen – Standort/Klimawandel

## Stratifizierte Meta-Analyse



## Humusschwund besonders ausgeprägt:

- in tiefen, warmen Lagen
- auf Dolomitstandorten
- bei Böden mit hohem Ausgangsvorrat an Humus
- auf Standorten mit hohem Anstieg der Lufttemperatur

# Fragestellungen

3. Wie wirken sich eventuelle Veränderungen des Bodenumusvorrats auf **Wachstum** und **Nährstoffversorgung** wichtiger Baumarten des Gebirgswalds aus? Beispiel: Fichte



# Beziehung Bodenumhumusvorrat – Baumwachstum

*Beispiel Hinterlapberg: Montaner Bergmischwald auf Hauptdolomithangschutt*



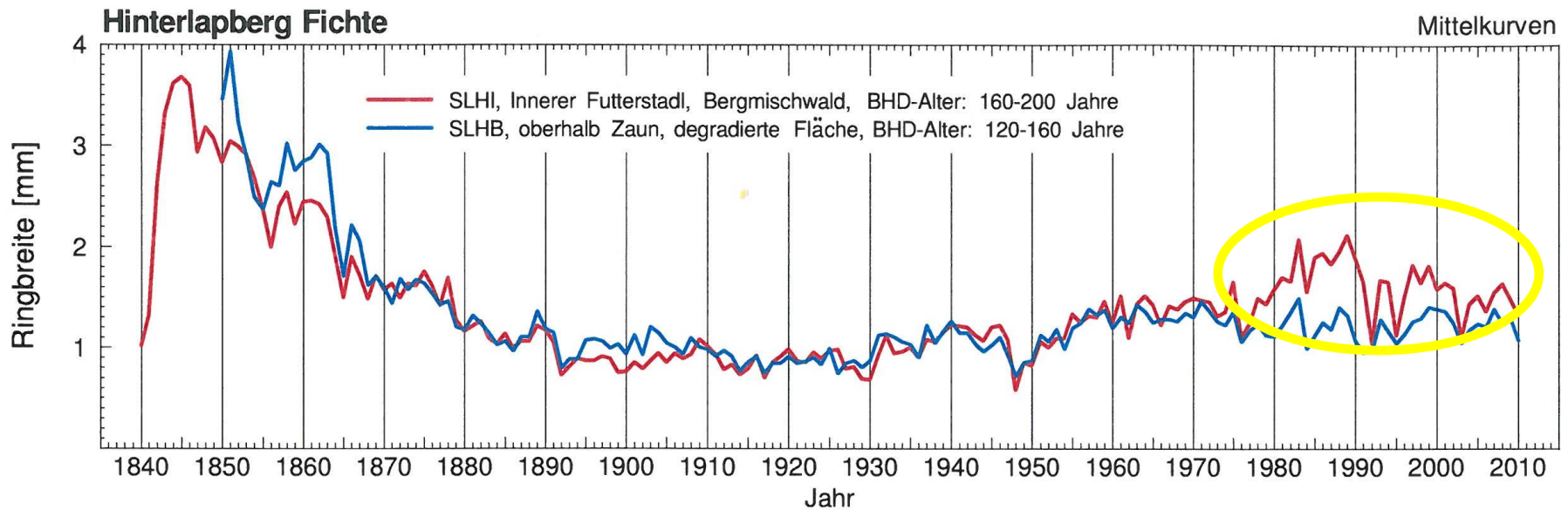
**Hauptdolomit-Südhang, humusreich**  
(4,0 kg C/m<sup>2</sup> in Humusauflage)



**angrenzender Hang, humusarm**  
(1,2 kg C/m<sup>2</sup> in Humusauflage)

# Beziehung Bodenumhumusvorrat – Baumwachstum

*Beispiel Hinterlapberg: Montaner Bergmischwald auf Hauptdolomithangschutt*



**Hauptdolomit-Südhang, humusreich**

→ Nach 1970 (Radial)Zuwachsanstieg

**Angrenzender Hang, humusarm**

→ Ausbleiben des Zuwachsanstiegs

# Beziehung Bodenumhumusvorrat(sänderungen) – Nährstoffversorgung

Bodendauerbeobachtungsflächen 1987-2011: P- und K-Status („Schulnoten-System“)

Kategorie	BDF	P BOD	dP BOD	P BOD pfl	dP BOD pfl	P ERN	dP ERN	Bewertung P Status (Schulnoten)	K BOD	dK BOD	K BOD pfl	dK BOD pfl	K ERN	dK ERN	Bewertung K Status	Bewertung P+K	100 NG	d100 NG	Humusvorrat	d Humusvorrat	Sonstiges
A	50 Drehmöser	1	3	3	5	3	2	2.8	3	1	1	1	2	1	1.5	2.2			4	1	
B	43 Immenstadt	1	3	1	4	2	1	2.0	1	4	2	2	4	3	2.7	2.3			5	2	vermutlich hohe N-Deposition
	46 Oberammergau	1	3	1	1	1	4	1.8	2	2	1	3	4	5	2.8	2.3			5	3	vermutlich hohe N-Deposition
C	44 Sonthofen	4	2	3	4	4	3	3.3	1	5	2	2	2	5	2.8	3.1			4	1	hohe N-Deposition
	45 Murnau	2	4	1	6	3	4	3.3	3	2	3	2	4	1	2.5	2.9			2	3	vermutlich hohe N-Deposition
	47 Kreuth	3	4	2	5	5	4	3.5	3	2	3	3	4	2	2.8	3.2			5	1	hohe N-Deposition
	54 Lattenberg	4	3	5	5	4	3	3.3	4	1	3	3	4	1	2.5	2.9			3	4	Humusschwund
D	51 Daxkapelle	5	5	3	6	5	4	4.7	5	1	5	2	2	4	3.2	4.0			2	5	starker Humusschwund
	52 Wank	5	1	5	1	4	3	3.2	2	1	4	2	1	1	1.8	2.6			3	2	
E	55 Mitterkaseralm	2	3	4	5	?	?	3.2	1	6	4	6	?	?	4.4	3.7	?	Lär	4	2	Degradation (P,K)
F	48 Fall	3	5	3	6	4	3	4.0	4	6	3	6	4	2	4.2	4.1			1	5	starker Humusschwund
	49 Schliersee	3	5	5	5	3	2	3.8	3	5	1	5	4	2	3.3	3.6			2	5	starker Humusschwund
F	53 Aschau	3	2	2	6	4	5	3.7	5	5	5	1	6	4	4.3	4.0			1	4	Degradiert (P,K) Humusschwund
	56 Reitalpe	5	4	4	6	?	?	4.4	5	6	5	6	?	?	5.4	4.9	?	Zir	1	4	Degradiert (P,K) Humusschwund

Auf Flächen mit starkem Humusschwund:

- P- und K-Ernährungszustand mäßig bis sehr schlecht; meist weitere Verschlechterung



# Fragestellungen

4. Wie ist **nachhaltige Forstwirtschaft** in den Bayerischen Alpen unter diesen Bedingungen möglich?
- zukünftig vermutlich **weiterer Anstieg der sommerlichen Lufttemperatur** und **Häufung extremer Witterungsbedingungen**
  - zunehmende Ablösung der bisherigen Wärmelimitierung des Baumwachstums durch **Wasser/Nährstofflimitierung**
  - Humus wichtiger **Wasser- und Nährstoffspeicher**
  - Rezente (+ bei anhaltendem Klimawandel weitere) **Bodenhumusverluste**

# Fragestellungen

4. Wie ist **nachhaltige Forstwirtschaft** in den Bayerischen Alpen unter diesen Bedingungen möglich?

→ **Humusnachhaltigkeit** wird zu zentralem Kriterium nachhaltiger Forstwirtschaft in den Bayerischen Alpen

→ **Humuspflge**: Vermeidung von Bodenhumusverlusten,  
nach Möglichkeit Steigerung der Humusvorräte

# Was bedeutet dies konkret?

## ➤ waldbauliche Maßnahmen

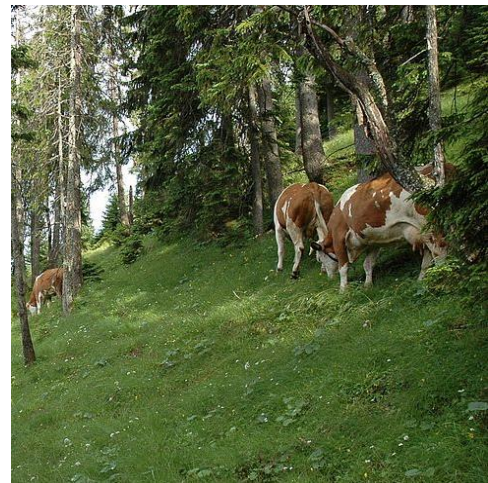
- Vermeidung von Freilagern und offenen Beständen
- Minimierung des Kalamitätsrisikos durch vielseitige Bestandesstruktur (Alters-, Baumartenmischung)
- v.a. in labilen Fi-Reinbeständen in Bergmischwald-Zone: **Pflegemaßnahmen**
- Sicherung eines reichen, vielfältigen Verjüngungsvorrats

## ➤ Jagdliche, ordnungspolit. Maßnahmen

- Verringerung zu hoher Verbissbelastung (v.a. Tanne)
- Trennung von Wald und Weide

## ➤ erntetechnische Maßnahmen

- empfindliche/degradierende/degradierte Standorte:  
**Belassung von Ernterückständen (ggf. Totholz)** im Bestand





# Zusammenfassung

1. **Veränderte sich die Humusausstattung** der Waldböden in den Bayerischen Alpen in den letzten Jahrzehnten?
  - Humusverlust in Höhe von durchschnittlich 13% in den letzten 3 Jahrzehnten
  - besonders stark auf Carbonatstandorten mit hohem Ausgangshumusvorrat
2. Gibt es Beziehungen von Veränderungen der Boden-Humusausstattung zum **Klimawandel** in den Bayerischen Alpen?
  - Wärmere Sommer, trockenere Winter (Halbjahre)
  - Starker Humusschwund in tiefen, warmen Lagen; an STO mit starkem Temperaturanstieg
3. Wie wirken sich Veränderungen des Bodenhumusvorrats auf **Wachstum** und **Nährstoffversorgung** wichtiger Baumarten (Fichte) des Gebirgswalds aus?
  - Trockenen Carbonat-Südhänge: kein Zuwachsanstieg bei Humusarmut
  - Degradierete Standorte mit Humusschwund: Mangelversorgung der Bäume mit P, K
4. Wie ist **nachhaltige Forstwirtschaft** in den Bayerischen Alpen unter diesen Bedingungen möglich?
  - **Humuspflge**, d.h. Vermeidung von Freilagen, Minimierung Kalamitätsrisiko, Begrenzung von Nährstoffexporten, Wildmanagement, Wald-Weide-Trennung





# **Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Wir danken dem  
Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten  
für die Finanzierung dieser Studie (Kuratoriumsprojekt B 69)**

**Dr. Reinhard Bochter, Wolfgang Neuerburg, Prof. Dr. Heinz Röhle  
Alfred Schubert, Dr. Christian Kölling, Dr. Lothar Zimmermann (LWF)**

**Dr. Roland Baier (NPV Berchtesgaden)**

**den Betriebs- und Revierleitern der BaySF-Gebirgsforstbetriebe  
allen Diplomanden, Masteranden, Bacheloranden, Techn. Assistenten und Hilfskräften**