



# Vergleichende Analyse der Energiebilanz zweier Untersuchungsflächen der Landnutzungen „Grasland“ und „Wald“ in der südlichen Oberrheinebene

*J Rost*  
**Jutta Rost**

**Meteorologisches Institut der Universität Freiburg**



# Vergleichende Analyse der Energiebilanz zweier Untersuchungsflächen der Landnutzungen „Grasland“ und „Wald“ in der südlichen Oberrheinebene

1. Einleitung
2. Datengrundlage
3. Ergebnisse
  - 3.1 Verfügbare Energie
  - 3.2 Turbulente Flüsse fühlbarer und latenter Wärme
  - 3.3 Thermische Größen
4. Zusammenfassung der Ergebnisse

*J. Rost*



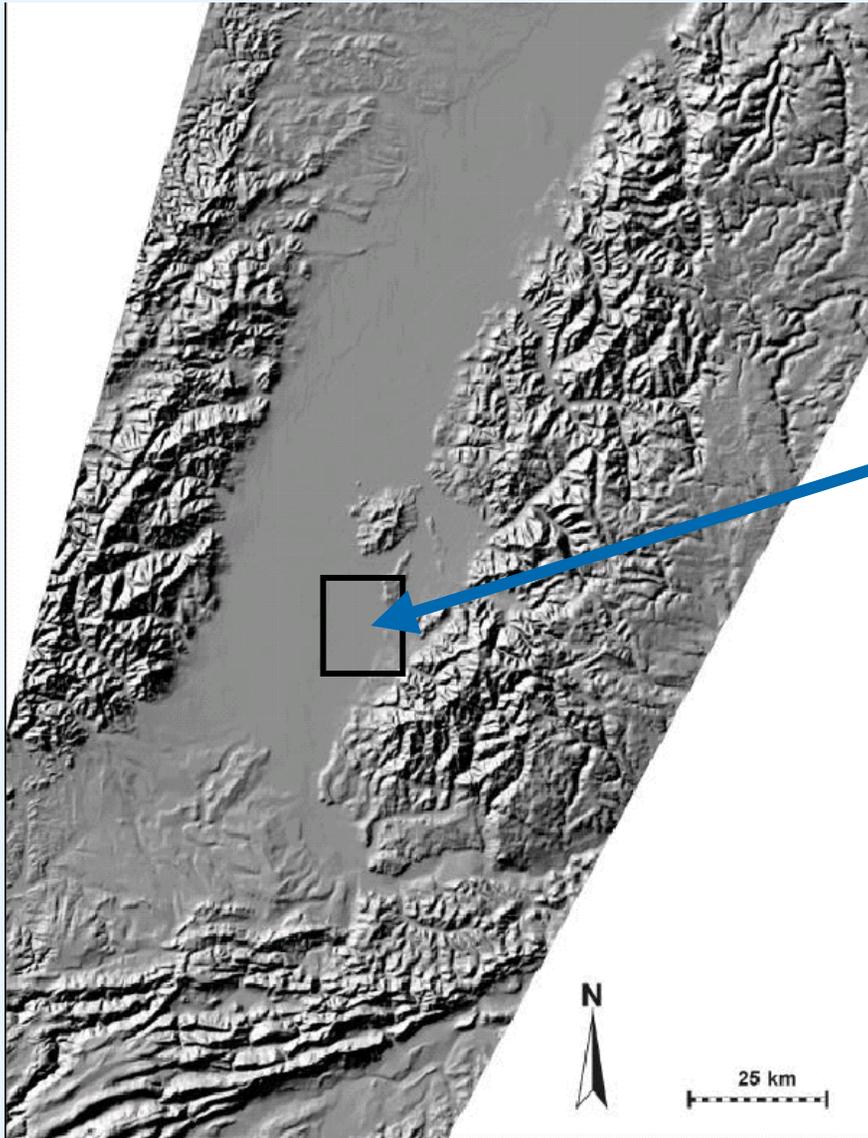
## Problematik:

- (i) Landnutzungsänderungen haben Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Speicherfähigkeit
- (ii) Änderungen der Landnutzung haben direkte physikalische Auswirkungen auf die atmosphärische Grenzschicht durch Beeinflussung
  - der Rauigkeitsparameter,
  - des Emissionsvermögens,
  - des Reflexionsvermögens sowie
  - der Vertikalprofile
- (iii) Viele bisherige Untersuchungen beschränken sich auf kurzfristige Messkampagnen (Wicke und Bernhofer, 1996), weit voneinander entfernt liegende Messstandorte (Kessler und Jaeger, 1999) oder klimatische Größen (Xia et al., 1999)

## Ziel:

Quantifizierung der Differenzen der energetischen Bedingungen über zwei verschiedenen grünen Landnutzungsarten über einen mehrjährigen Zeitraum (03/1992-09/1996, REKLIP)

- **Kiefernwald:** Forstmeteorologische Messstelle Hartheim des Meteorologischen Instituts der Universität Freiburg
  - *Pinus sylvestris* L.
  - mittlere Bestandeshöhe: ca. 12 m
  - Bestandesdichte: 3750 – 1750 Bäume/ha
- **Grasland:** ehemaliger Fliegerhorst Bremgarten (ca. 3.1 km südöstlich von der Hartheimer Messstelle)

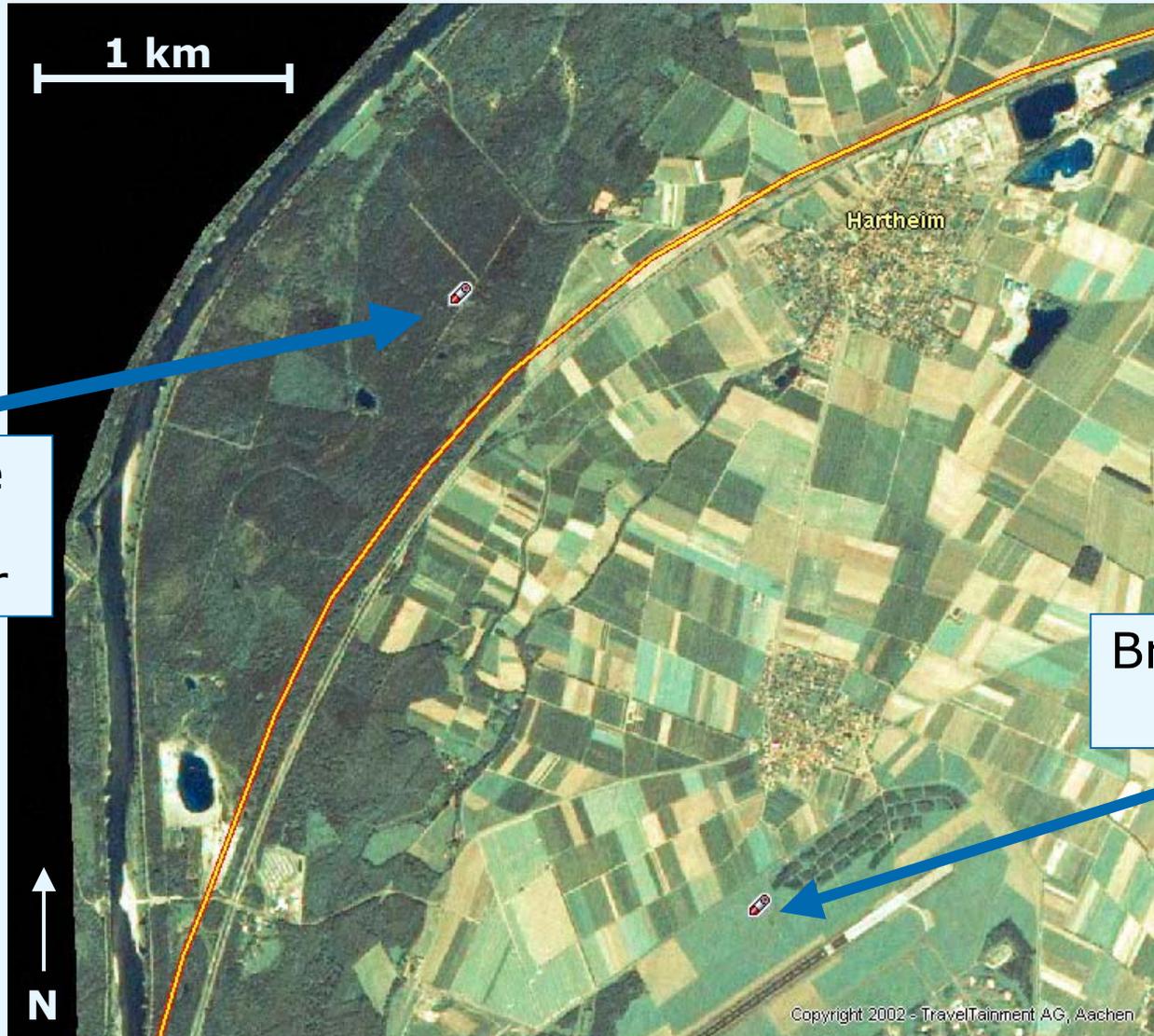


## Oberrheingraben

Untersuchungsgebiet

post

Quelle: REKLIP, 1995



Messstelle  
Hartheim:  
Waldkiefer

Bremgarten:  
Grasland

Copyright 2002 - TravelTainment AG, Aachen



## Bremgarten (Grasland)

- Globalstrahlung  $G$ , Reflexstrahlung  $R$
- Summe der Strahlungsflüsse aus dem oberen und dem unteren Halbraum
- Windgeschwindigkeit  $U$  (10 m)
- Lufttemperatur  $T_a$  (2 m & 10 m)
- Feuchttemperatur  $T_f$  (2 m & 10 m)
- Bodentemperaturen  $T_b$  (1 cm, 3 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm, 40 cm)
- Bodenwärmefluss  $B$
- Niederschlag  $N$



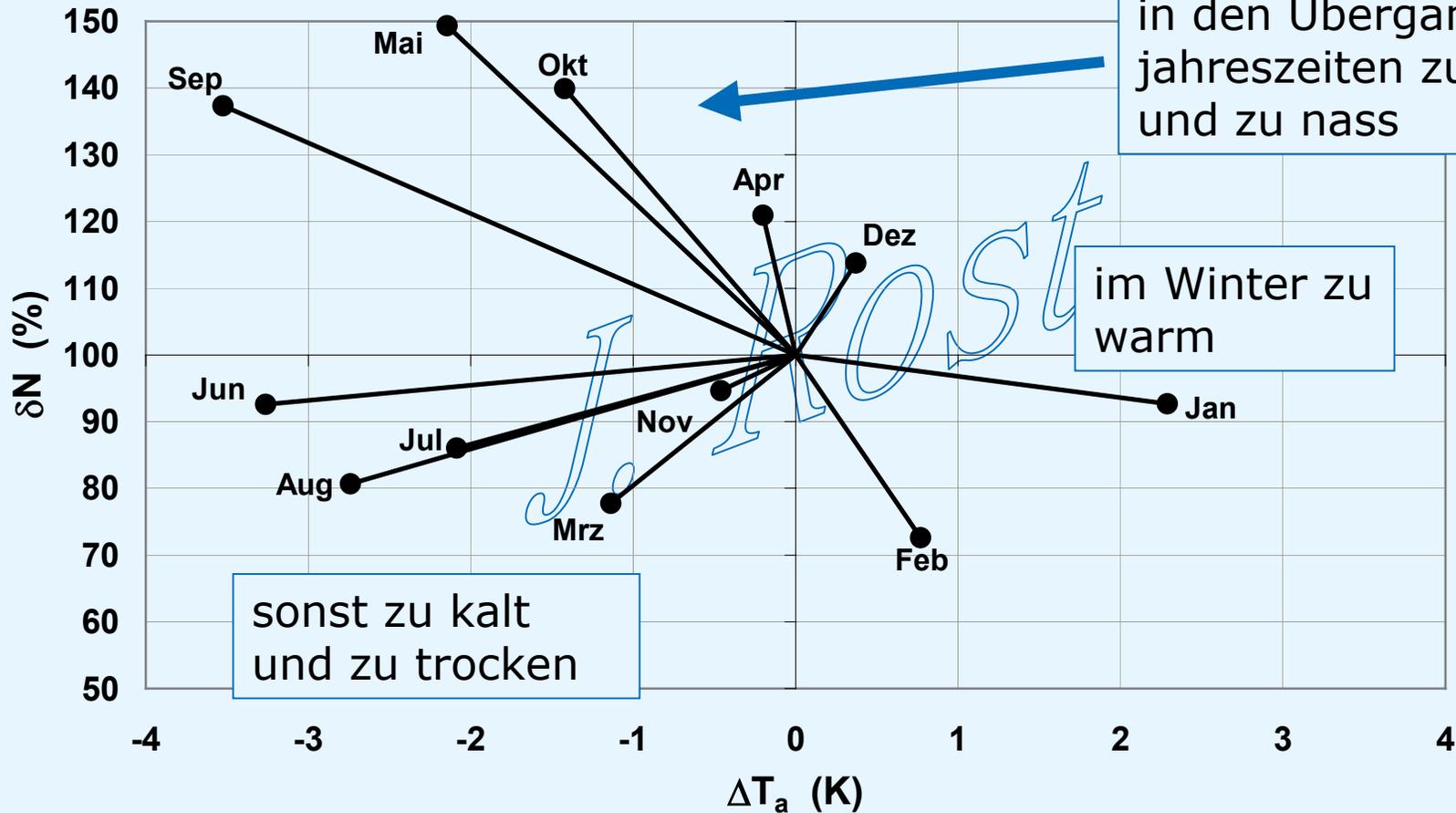
## Hartheim (Kiefernwald)

- Globalstrahlung  $G$ , Reflexstrahlung  $R$  (über dem Bestand)
- Summe der Strahlungsflüsse aus dem oberen und dem unteren Halbraum (über dem Bestand)
- Windgeschwindigkeit  $U$  (ca.  $1.0-2.4 \cdot h_c$ )
- Lufttemperatur  $T_a$  (ca.  $0.2-2.4 \cdot h_c$ )
- Feuchttemperatur  $T_f$  (ca.  $0.2-2.4 \cdot h_c$ )
- Bodentemperaturen  $T_b$
- Bodenwärmefluss  $B$
- Bodenfeuchte  $BF$  (Monatsmittel)
- Freiland-Niederschlag  $N$





Bremgarten  
März 1992 - September 1996



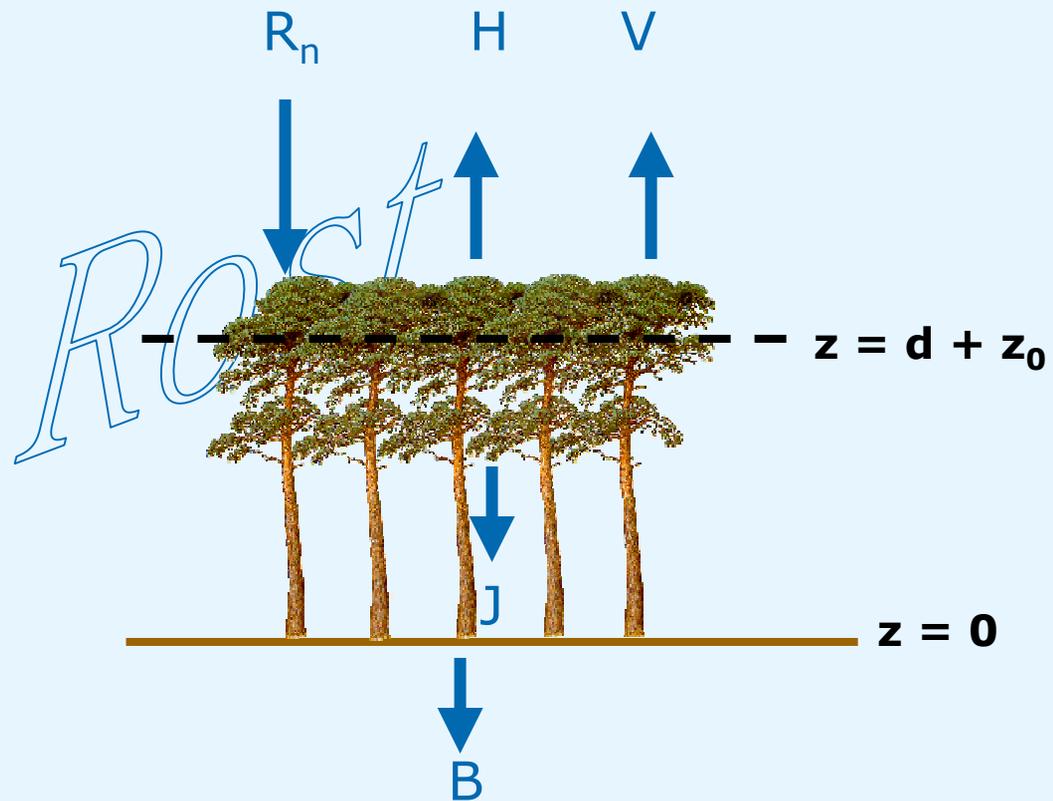
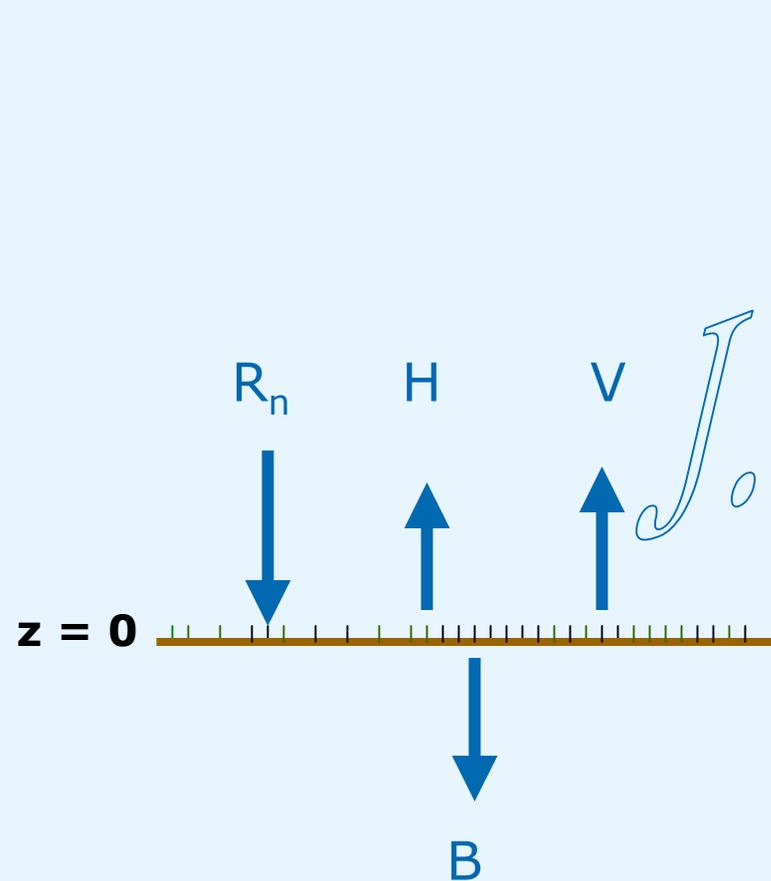


Grasland:

$$VE := R_n - B = H + V$$

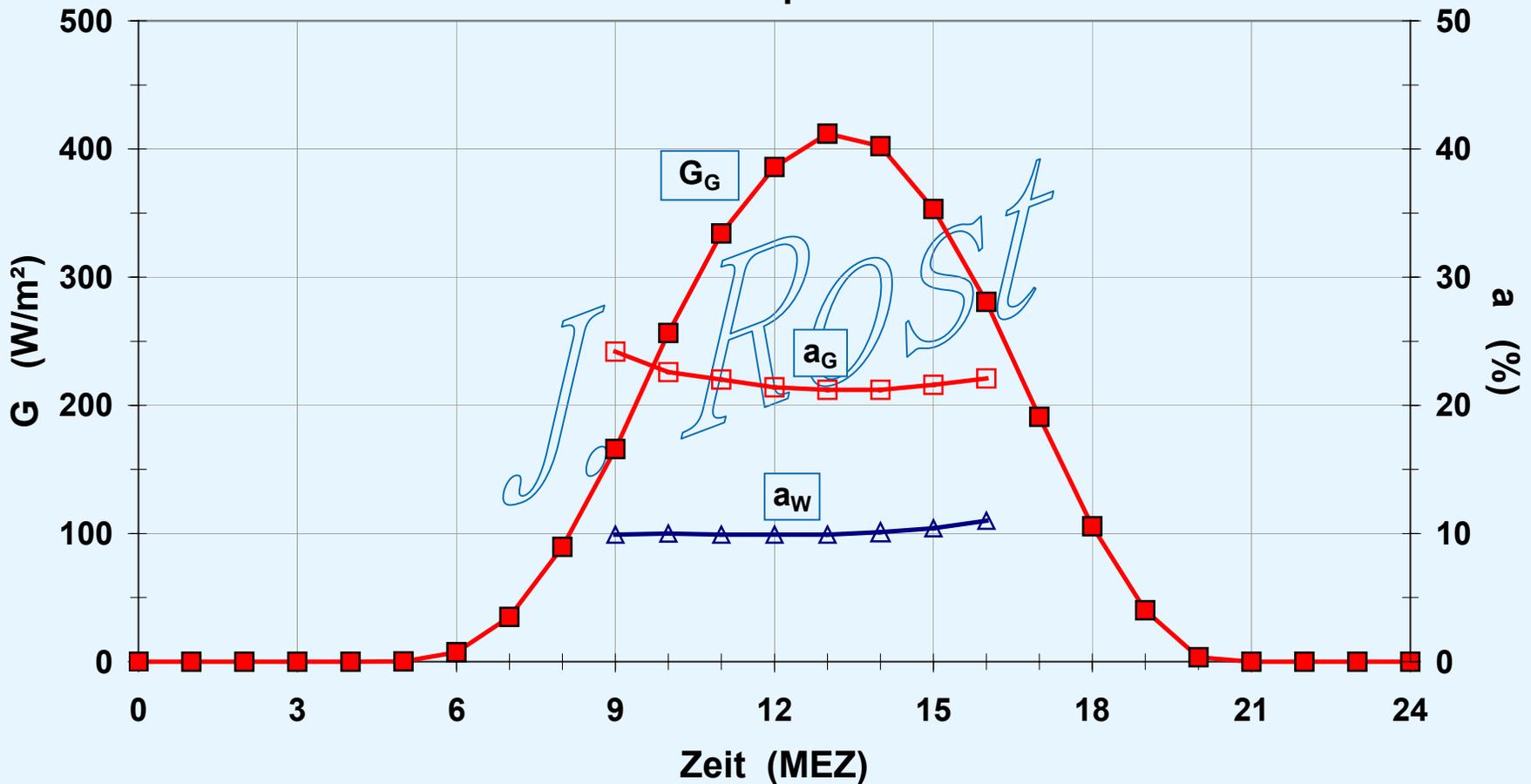
Wald:

$$VE := R_n - B - J = H + V$$



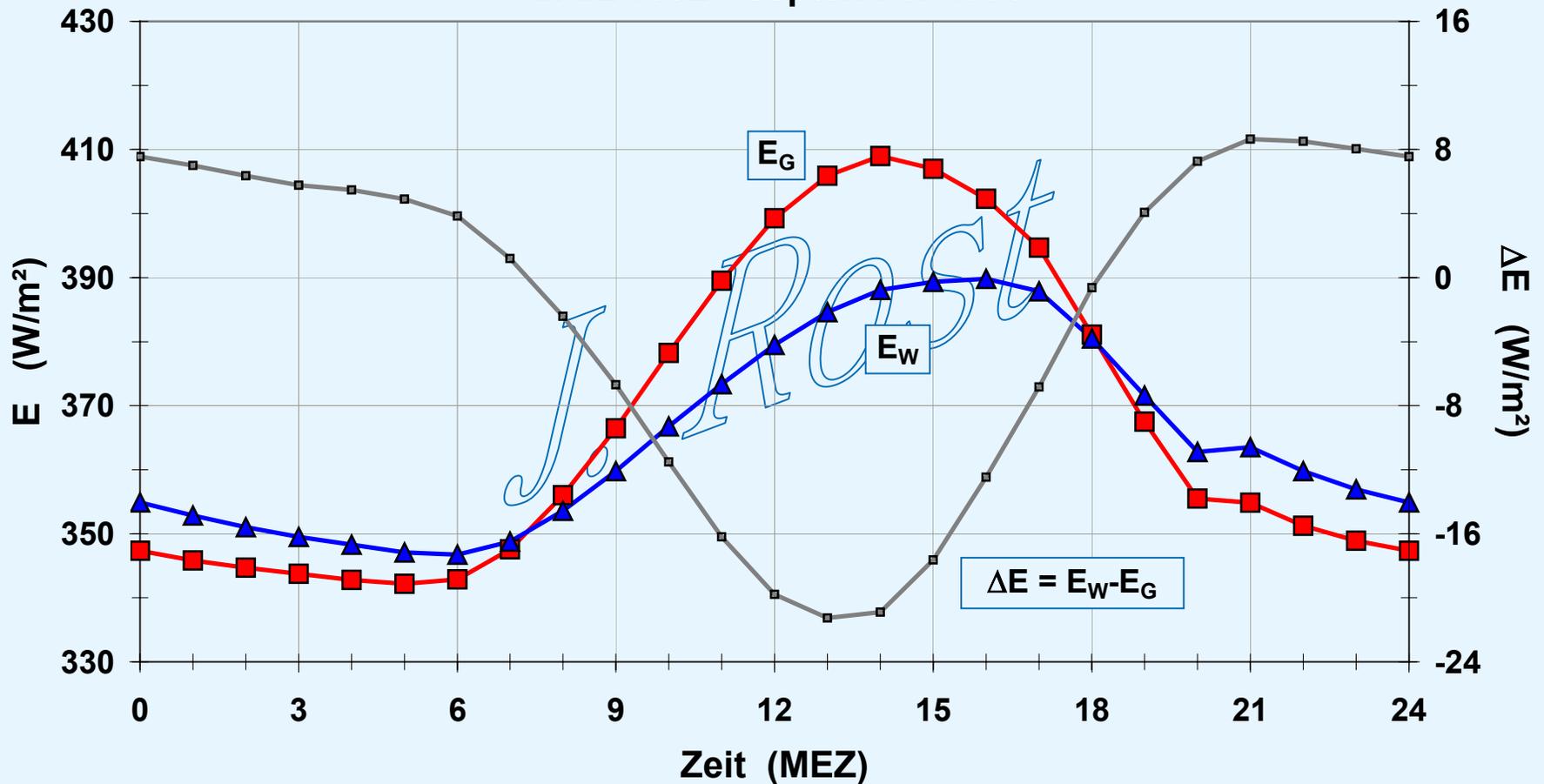


mittlerer Tagesgang  
März 1992 - September 1996



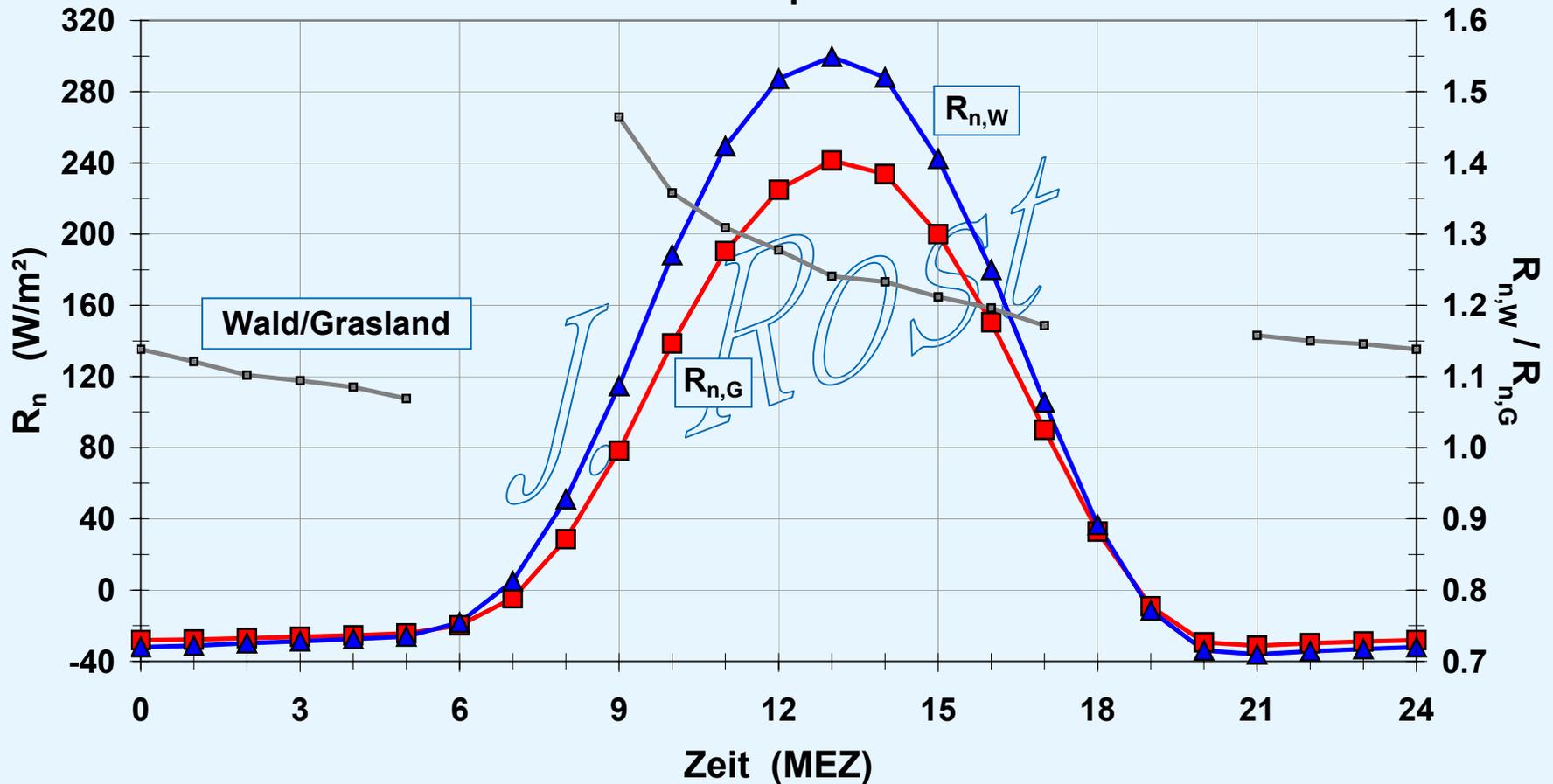


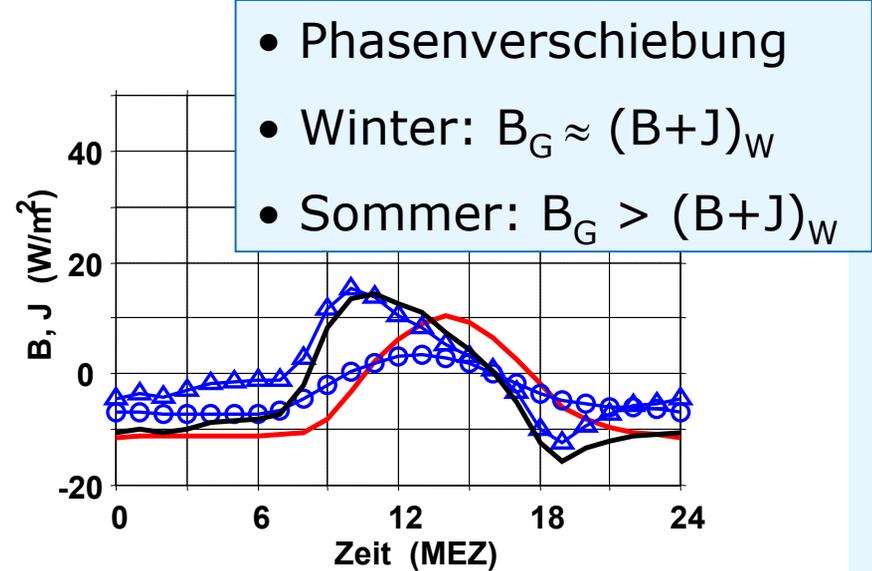
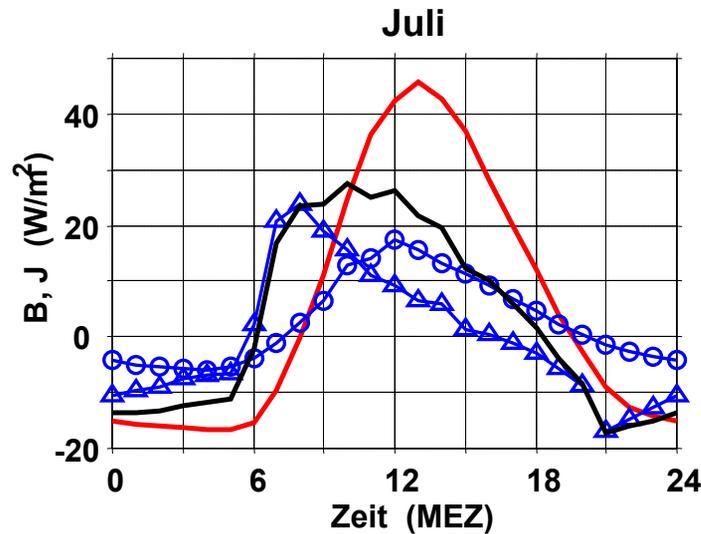
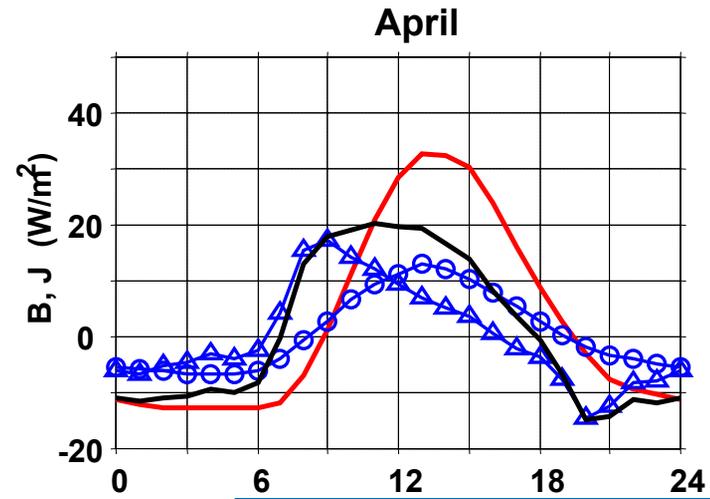
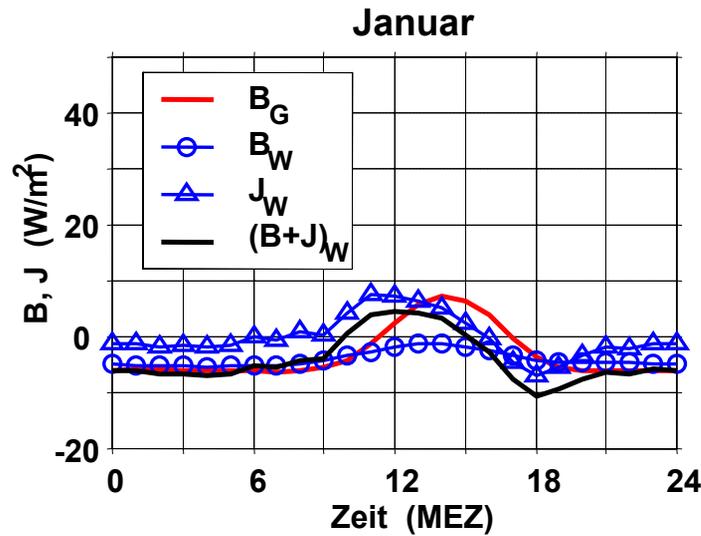
mittlerer Tagesgang  
März 1992 - September 1996





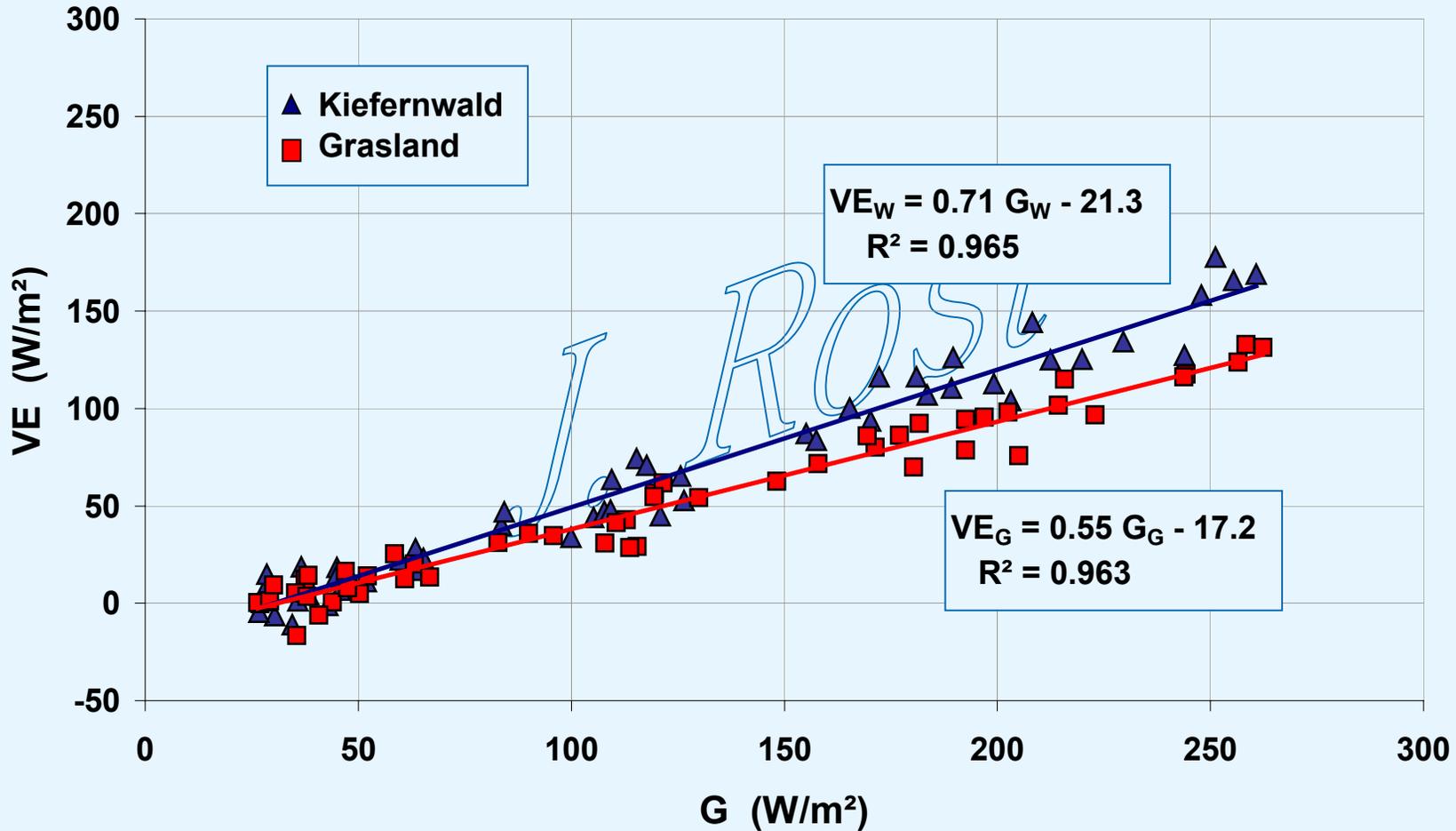
mittlerer Tagesgang  
März 1992 - September 1996







### Monatsmittelwerte März 1992 - September 1996





## Bowen-Ratio-Energy-Balance-Methode (BREB)

Ansatz: geschlossene Energiebilanz; Bowen-Ratio  $\beta$

$$\beta = H / V = [c_p \cdot \partial T_a / \partial z] / [L_v \cdot \partial q / \partial z]$$

$$H = [\beta / (1 + \beta)] \cdot VE$$

$$V = [1 / (1 + \beta)] \cdot VE$$

Vorteil: • Inputgrößen sind klimatologische Größen ( $R_n$ ,  $T_a$ ,  $q$ )

Nachteil: • bei atmosphärischen Zuständen nahe adiabatischer Schichtung nicht anwendbar

- große Fehler bei kleinen Gradienten



## Penman-Monteith-Gleichung

Ansatz: potenzielle Verdunstung wird durch Koeffizienten, welche die atmosphärische Schichtung ( $r_a$ ) und die Stomataregulation ( $r_c$ ) berücksichtigen, modifiziert

$$V = [L_v \text{ETP}_{\text{Penman}}] \cdot [1 + (\gamma / (\gamma + \delta)) \cdot (r_c / r_a)]^{-1}$$

Vorteil: • Berücksichtigung von pflanzenphysiologischen Aspekten über den Stomatawiderstand

Nachteil: • „exakte“ Wiedergabe des Stomatawiderstandes benötigt viele Messgrößen (z.B. Bodenwasserpotenzial)

## Bulk-Verfahren

Ansatz: • Aerodynamischer Ansatz

- turbulente Wärmeflüsse proportional zum Produkt  $U \cdot \Delta T_a$  bzw.  $U \cdot \Delta q$

$$H = -\rho c_p c_H U(z_2) \cdot [T_a(z_2) - T_a(z_{0m})]$$

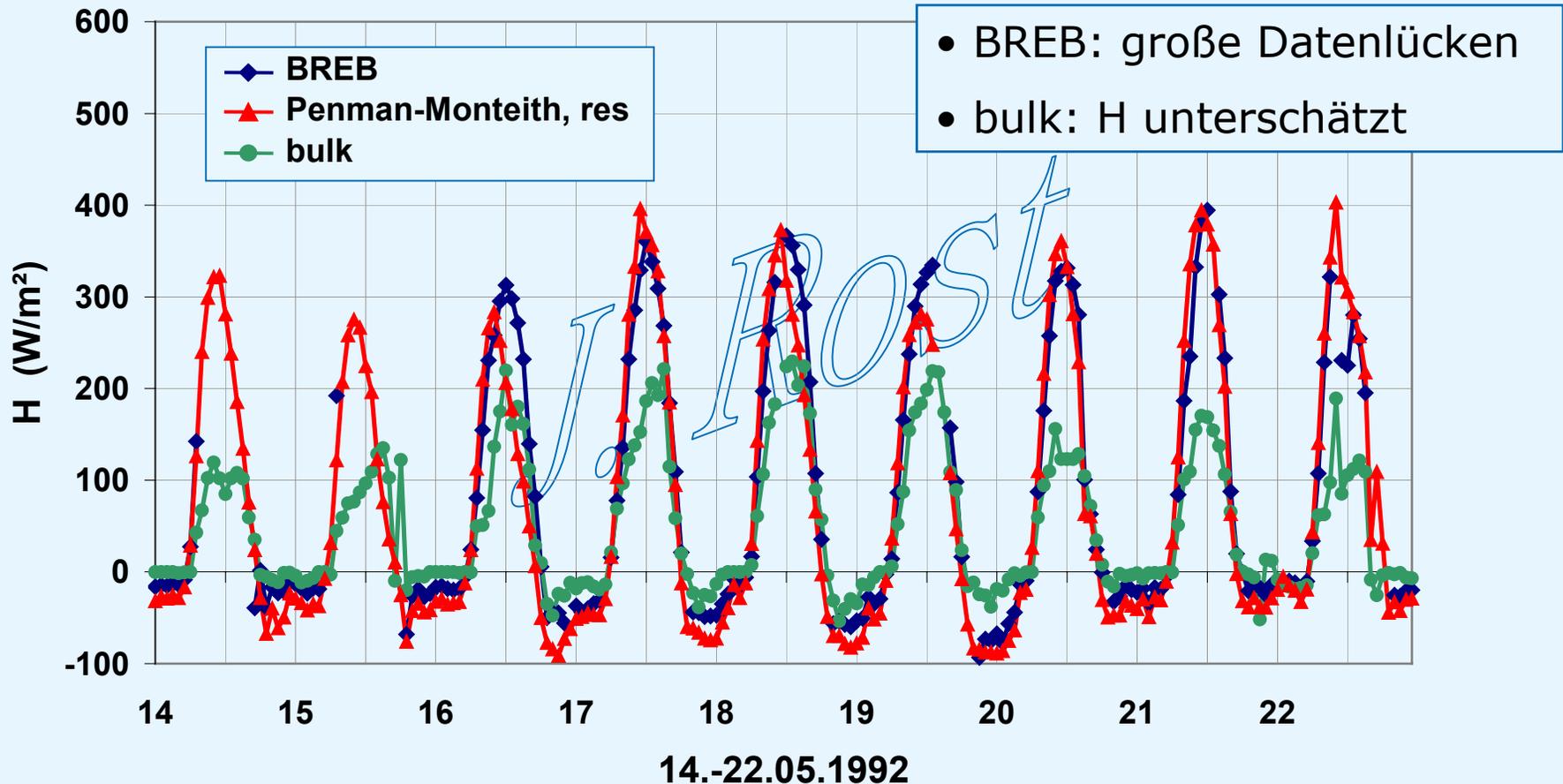
$$V = -\rho c_p c_q U(z_2) \cdot [q(z_2) - q(z_{0m})]$$

- Vorteil:
- Messungen der verfügbaren Energie fließen nicht in die Berechnungen ein
  - Schichtung der atmosph. Grenzschicht wird über MO-Korrektur berücksichtigt

- Nachteil:
- Feuchte und Temperatur an der Oberfläche nur schwer zu bestimmen
  - starke Abhängigkeit von der gewählten Oberflächenrauigkeit



### Kiefernwald HartX-Kampagne





### BREB-Verfahren

$$H = [\beta / (1 + \beta)] \cdot VE$$

$$V = [1 / (1 + \beta)] \cdot VE$$



Fehlwert ?



### Penman-Monteith

$$V = [L_v \cdot ETP_{\text{Penman}}] \cdot [1 + (\gamma / (\gamma + \delta)) \cdot (r_c / r_a)]^{-1}$$

$$H = VE - V$$

*J. Rost*

Fehlwert ?



### Bulk-Formeln

$$H = -\rho c_p c_H U(z_2) \cdot [T_a(z_2) - T_a(z_1)]$$

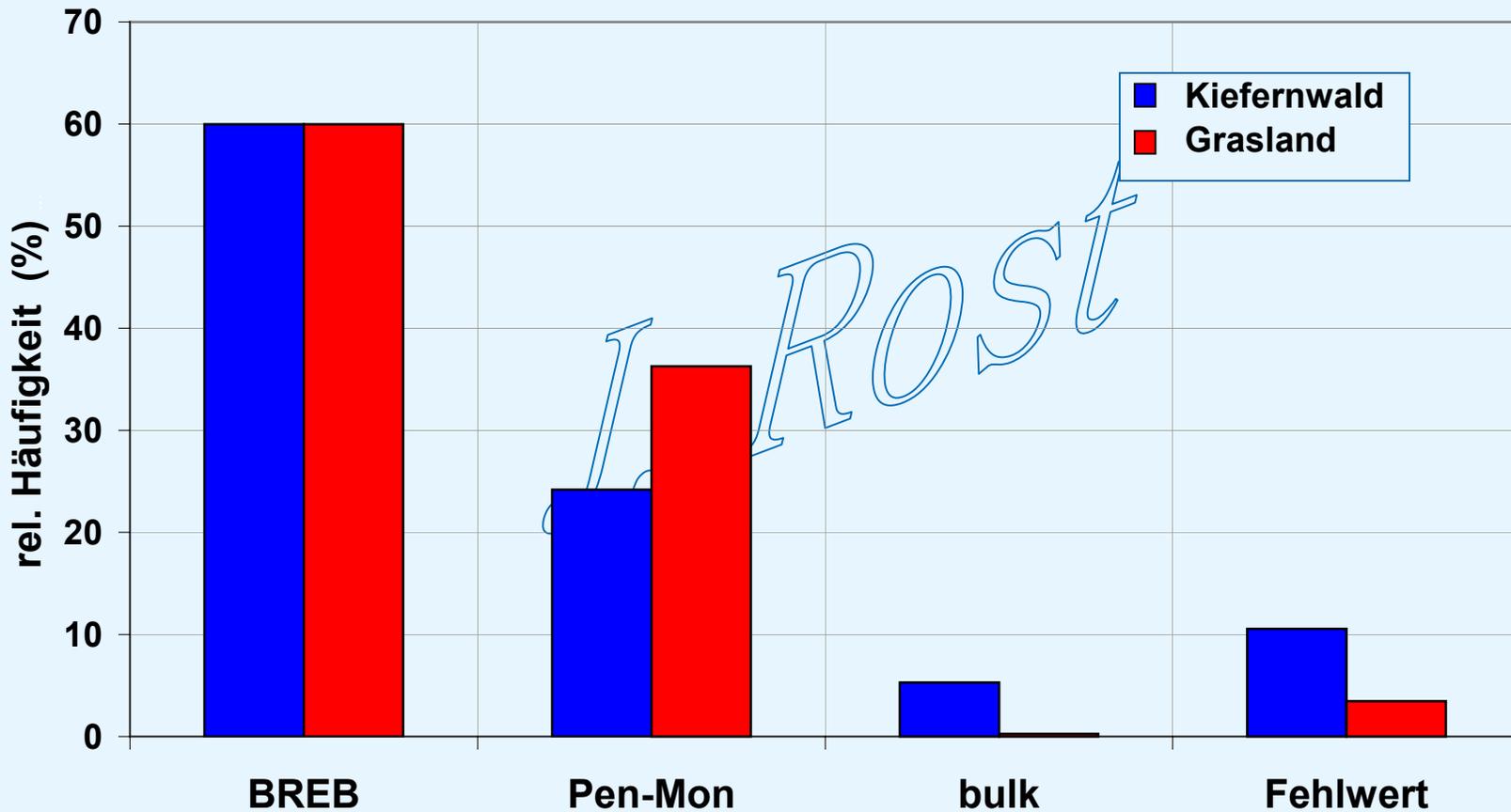
$$V = VE - H$$



Datenreihe für H und V  
mit möglichst wenig Aus-  
fällen

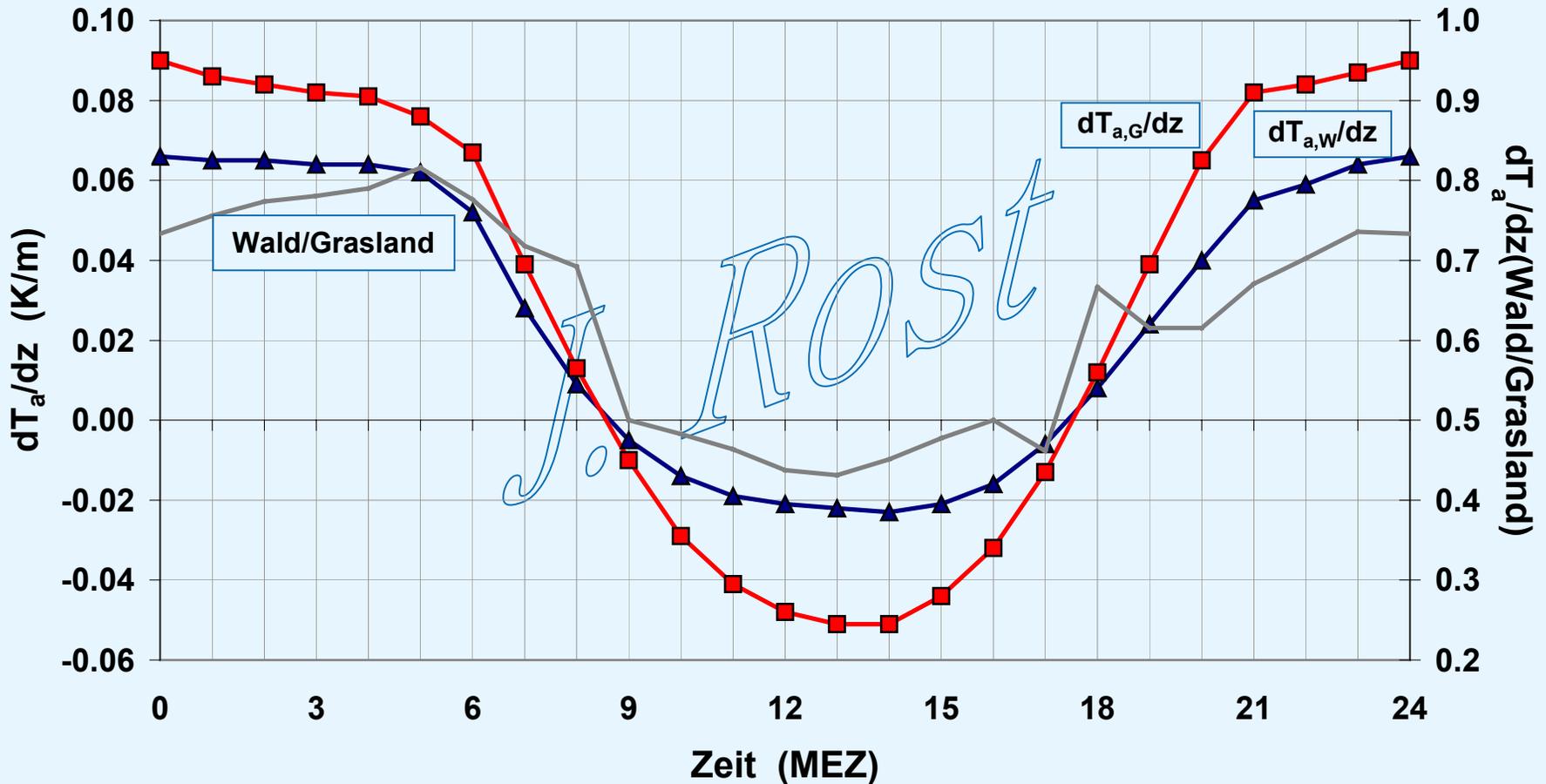


angewandte Verfahren  
März 1992 - September 1996



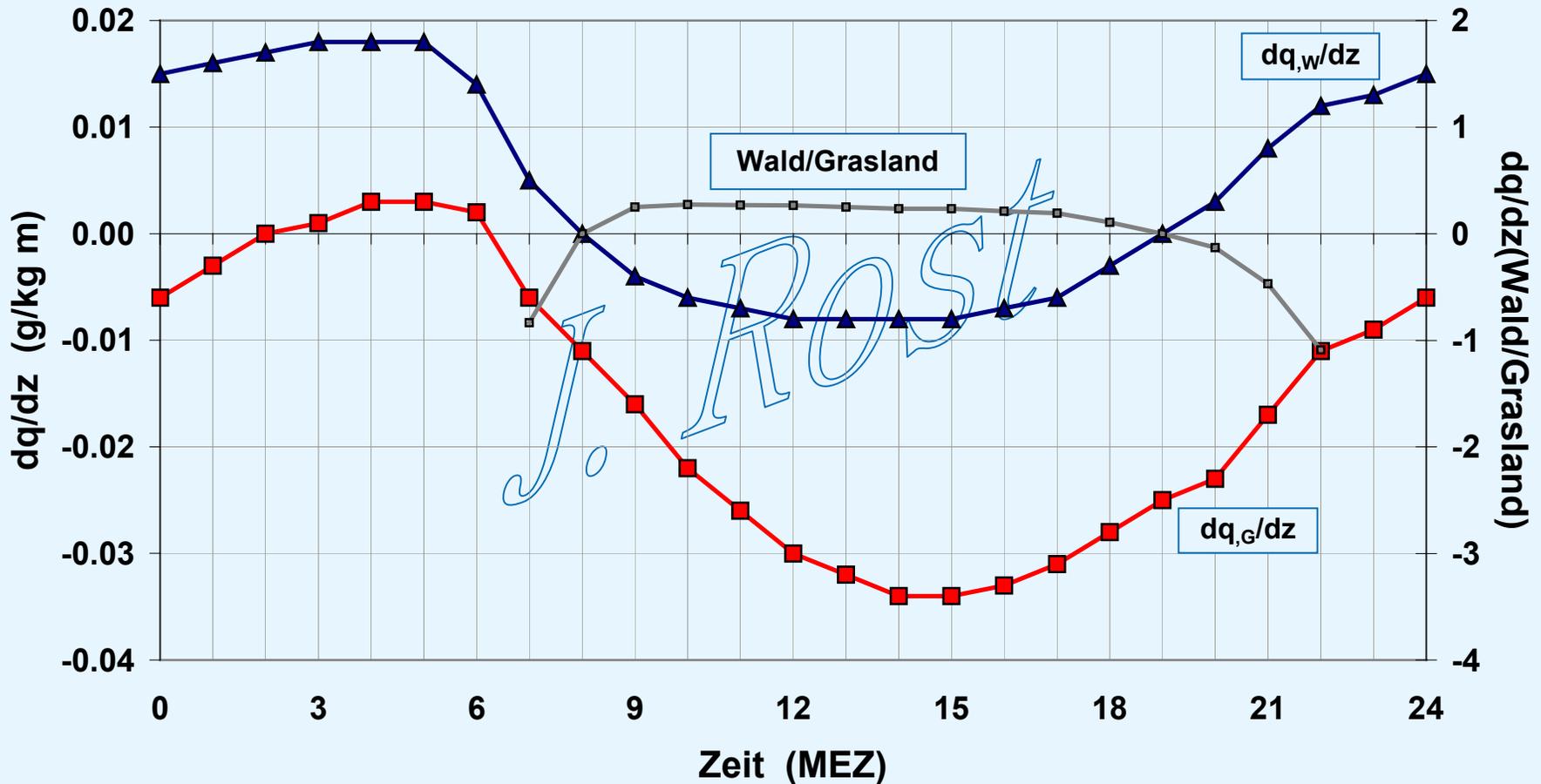


mittlerer Tagesgang  
März 1992 - September 1996



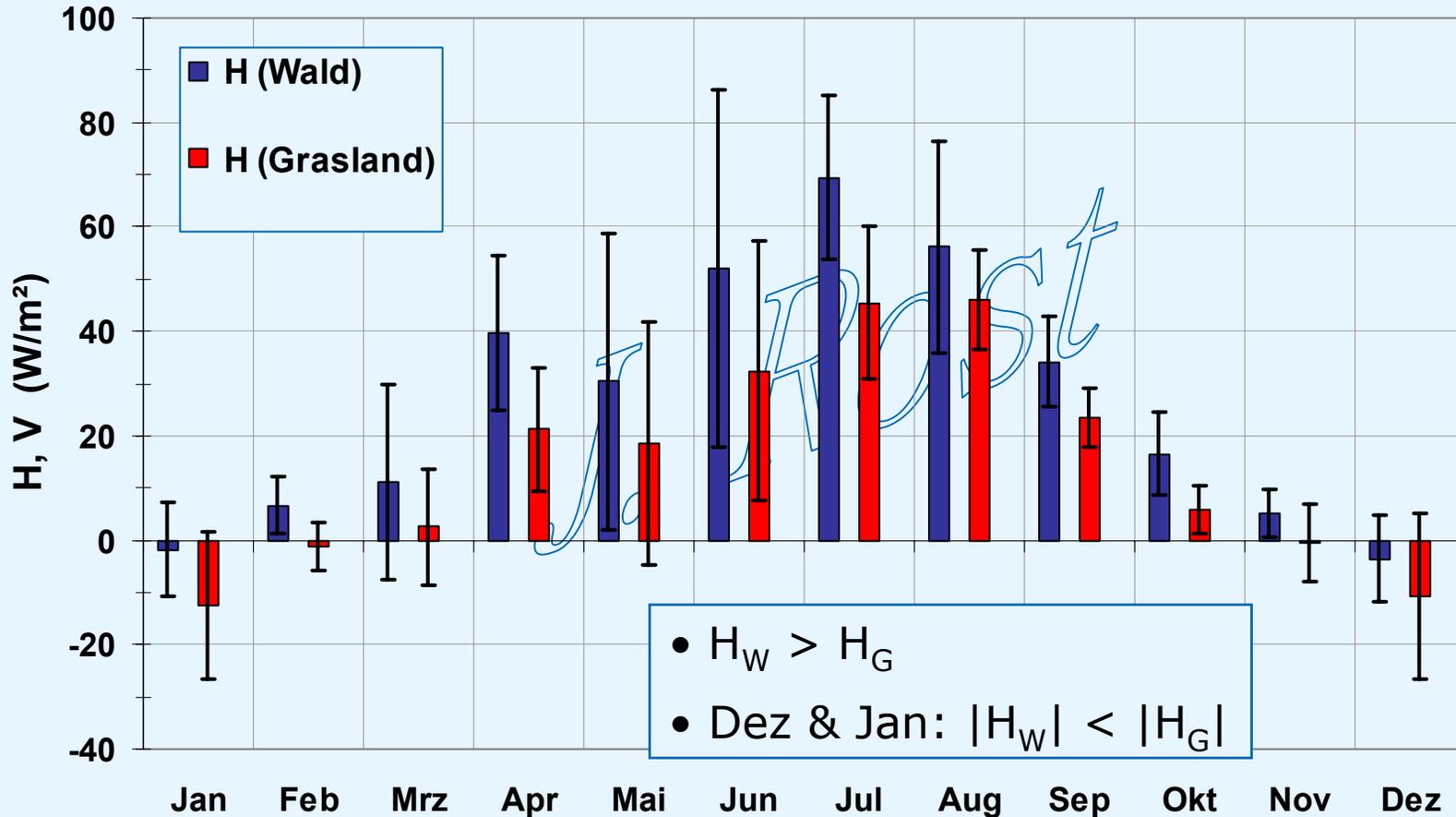


mittlerer Tagesgang  
März 1992 - September 1996



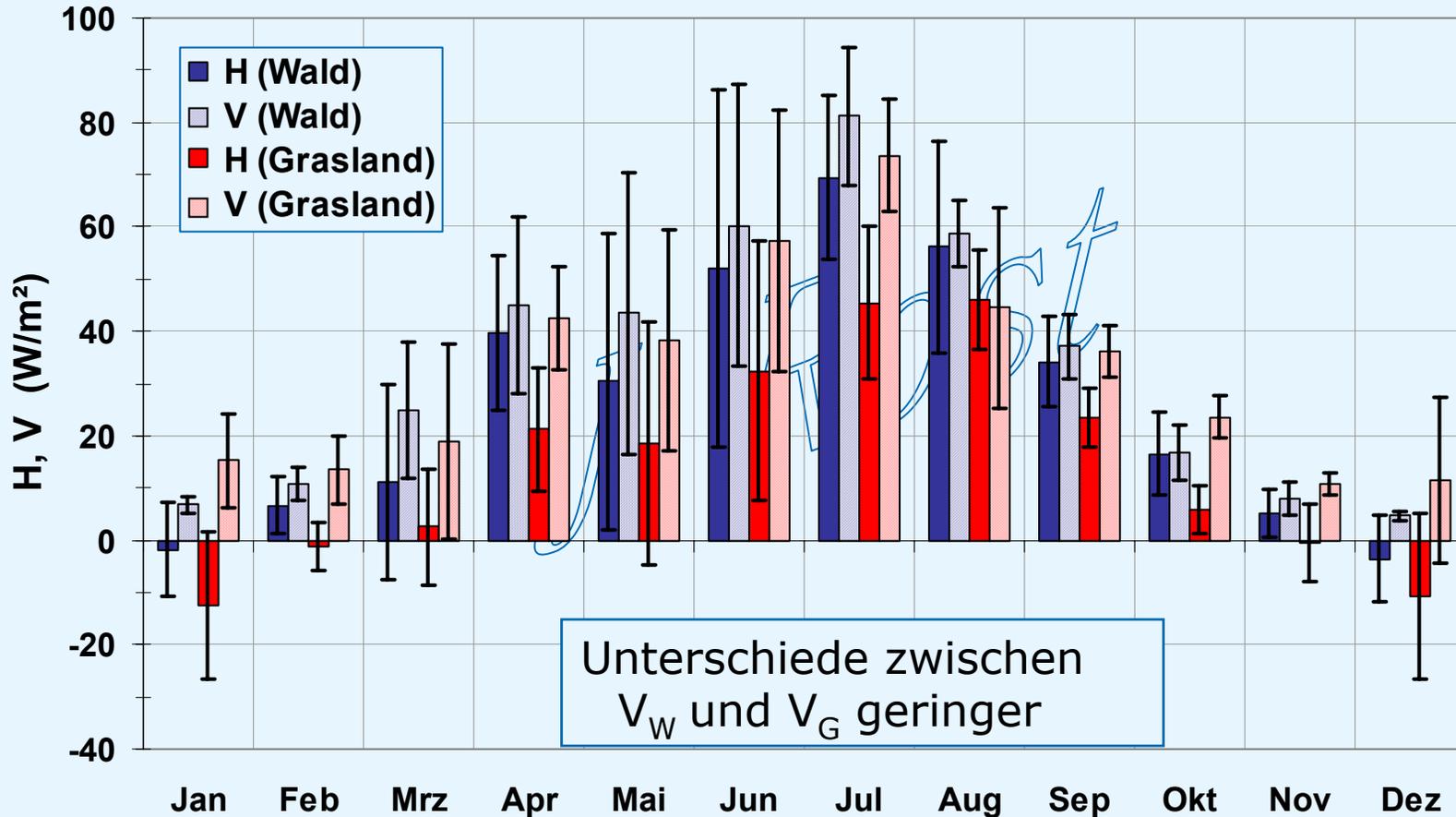


### Monatsmittelwerte März 1992 - September 1996



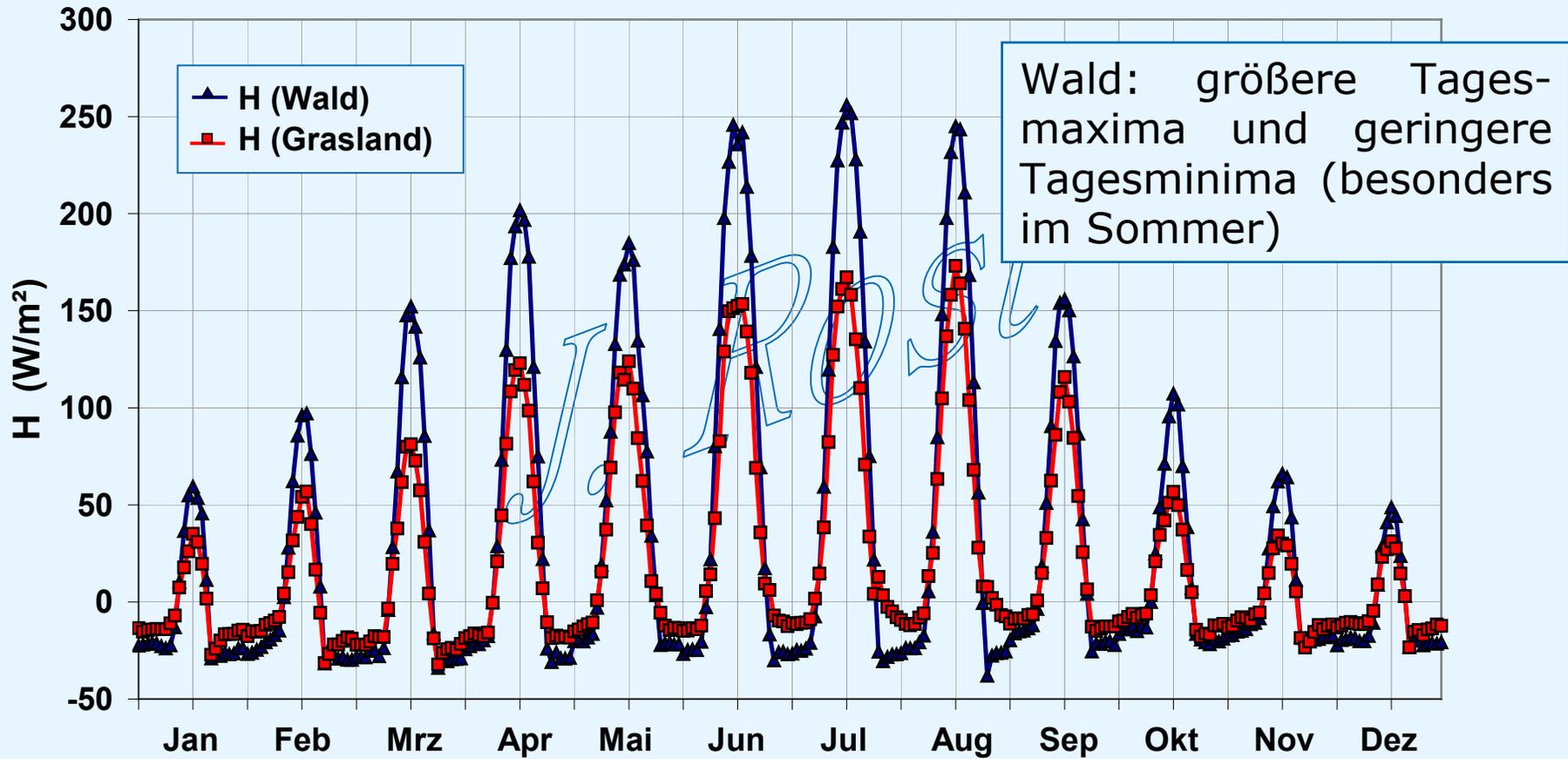


Monatsmittelwerte  
März 1992 - September 1996



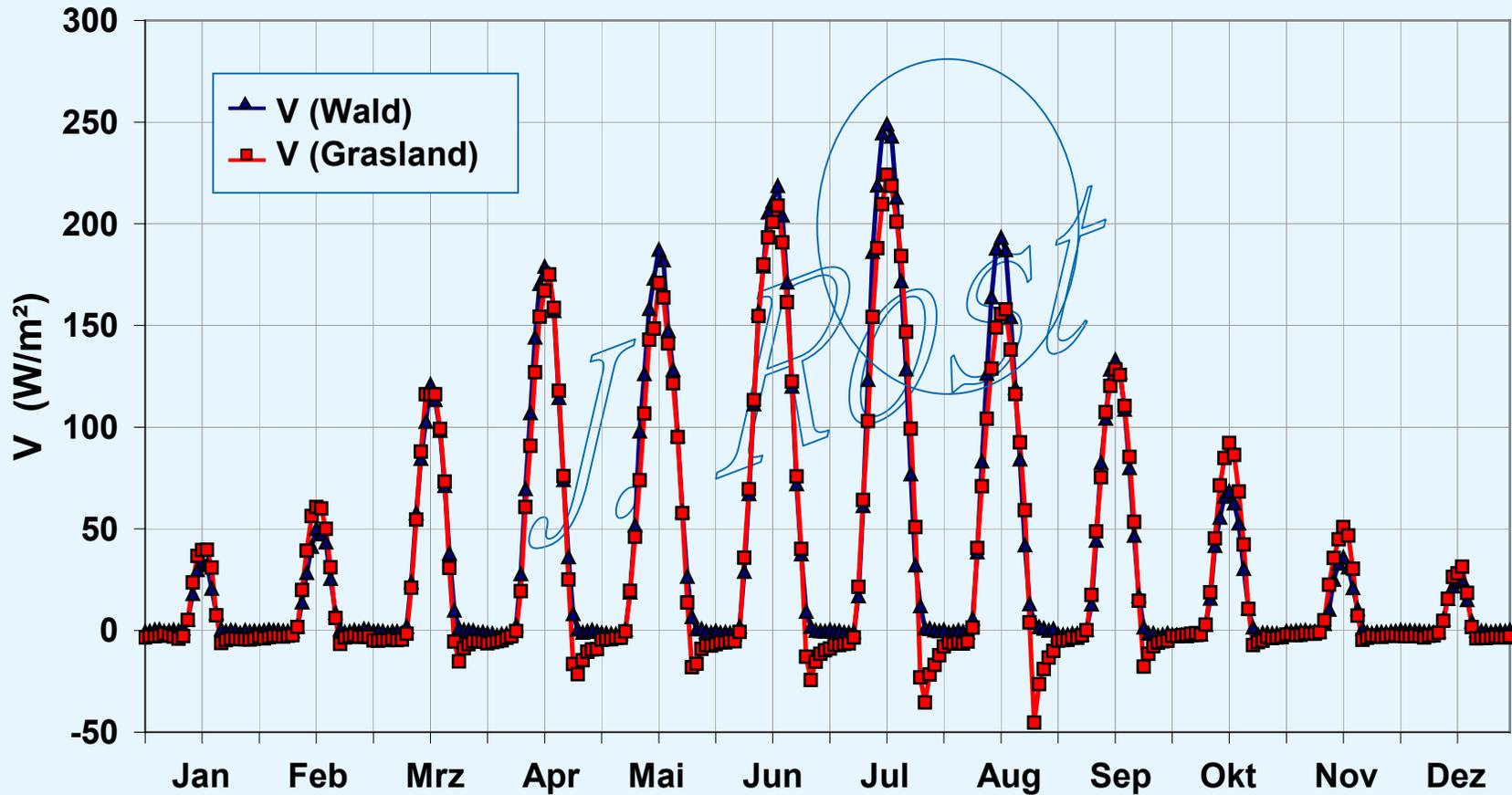


### mittlerer monatlicher Tagesgang März 1992 - September 1996



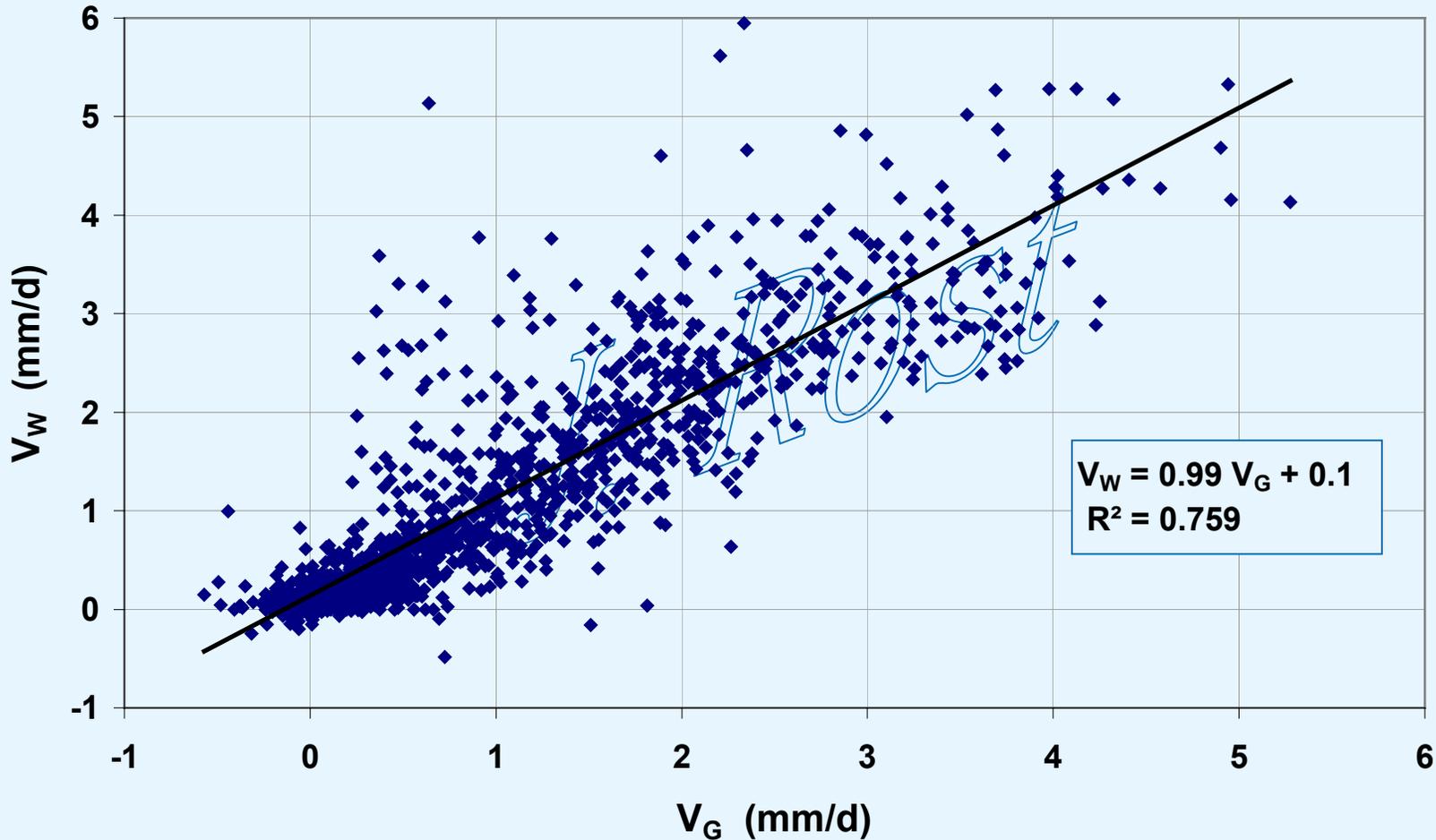


### mittlerer monatlicher Tagesgang März 1992 - September 1996

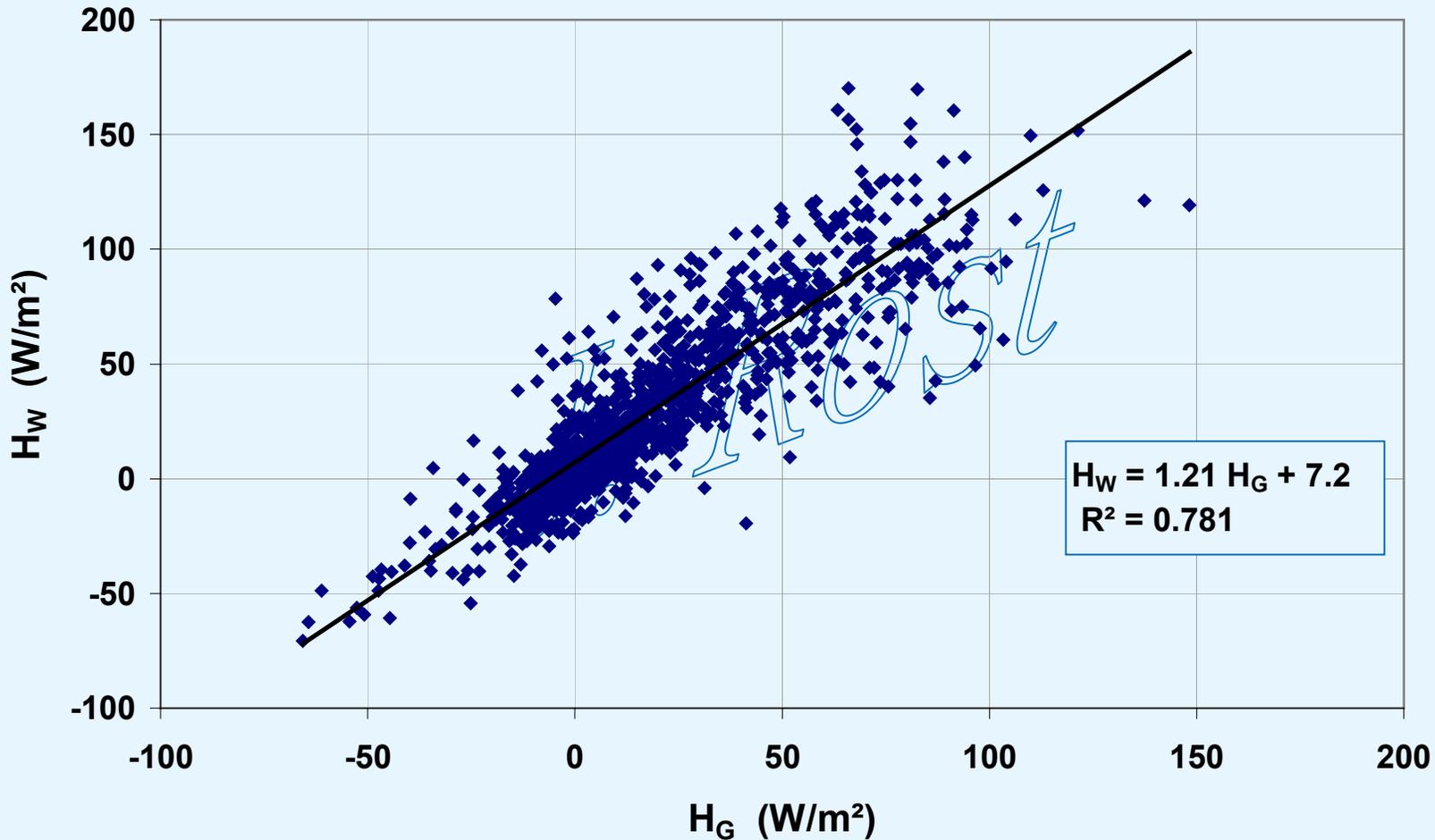




### Tagessummen der Verdunstung März 1992 - September 1996



Tagesmittelwerte  
März 1992 - September 1996





Normierte Flüsse fühlbarer und latenter Wärme mit  $R_n > 100 \text{ W/m}^2$  :

	$V_G/VE$	$V_W/VE$	$H_G/VE$	$H_W/VE$
Mrz 1992-Sep 1996	0.588	0.471	0.412	0.528

*J. Rost*



Normierte Flüsse fühlbarer und latenter Wärme mit  $R_n > 100 \text{ W/m}^2$  :

	$V_G/VE$	$V_W/VE$	$H_G/VE$	$H_W/VE$
Mrz 1992-Sep 1996	0.588	0.471	0.412	0.528

*J. Rost*



Normierte Flüsse fühlbarer und latenter Wärme mit  $R_n > 100 \text{ W/m}^2$  :

	$V_G/VE$	$V_W/VE$	$H_G/VE$	$H_W/VE$
Mrz 1992-Sep 1996	0.588	0.471	0.412	0.528
ausreichende Wasserversorgung <sup>(*)</sup>	0.597	0.470	0.403	0.530

*J. ROST*

- (\*) (i)  $CDSI = \Sigma N / \Sigma ETP > 1$   
(ii)  $CDSI (Tag_n) > CDSI (Tag_{n-1})$   
(iii) Wassersäule des Bodenwassergehaltes  $>$  permanenter Welkepunkt



Normierte Flüsse fühlbarer und latenter Wärme mit  $R_n > 100 \text{ W/m}^2$  :

	$V_G/VE$	$V_W/VE$	$H_G/VE$	$H_W/VE$
Mrz 1992-Sep 1996	0.588	0.471	0.412	0.528
ausreichende Wasserversorgung <sup>(*)</sup>	0.597 ↓	0.470 ↓	0.403	0.530
Wassermangel <sup>(**)</sup>	0.452	0.429	0.548	0.562

*J. ROST*

(\*\*\*) (i)  $CDSI = \Sigma N / \Sigma ETP < 1$

(ii)  $CDSI (Tag_n) < CDSI (Tag_{n-1})$

(iii) Wassersäule des Bodenwassergehaltes < permanenter Welkepunkt



Normierte Flüsse fühlbarer und latenter Wärme mit  $R_n > 100 \text{ W/m}^2$  :

	$V_G/VE$	$V_W/VE$	$H_G/VE$	$H_W/VE$
Mrz 1992-Sep 1996	0.588	0.471	0.412	0.528
ausreichende Wasserversorgung <sup>(*)</sup>	0.597	0.470	0.403	0.530
Wassermangel <sup>(**)</sup>	0.452	0.429	0.548	0.562

*J. PROST*

(\*\*\*) (i)  $CDSI = \Sigma N / \Sigma ETP < 1$

(ii)  $CDSI (Tag_n) < CDSI (Tag_{n-1})$

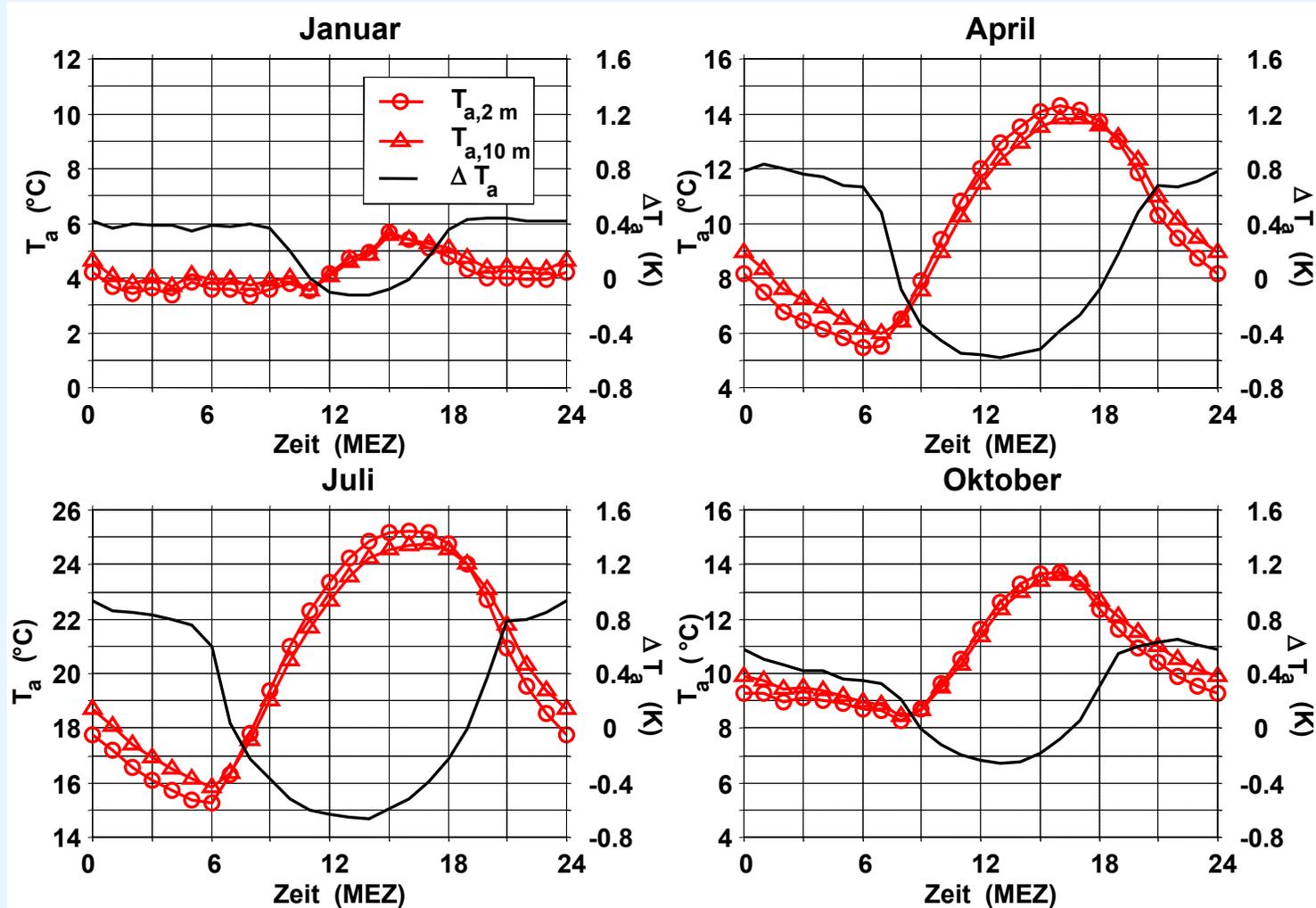
(iii) Wassersäule des Bodenwassergehaltes < permanenter Welkepunkt



*J. Rost*

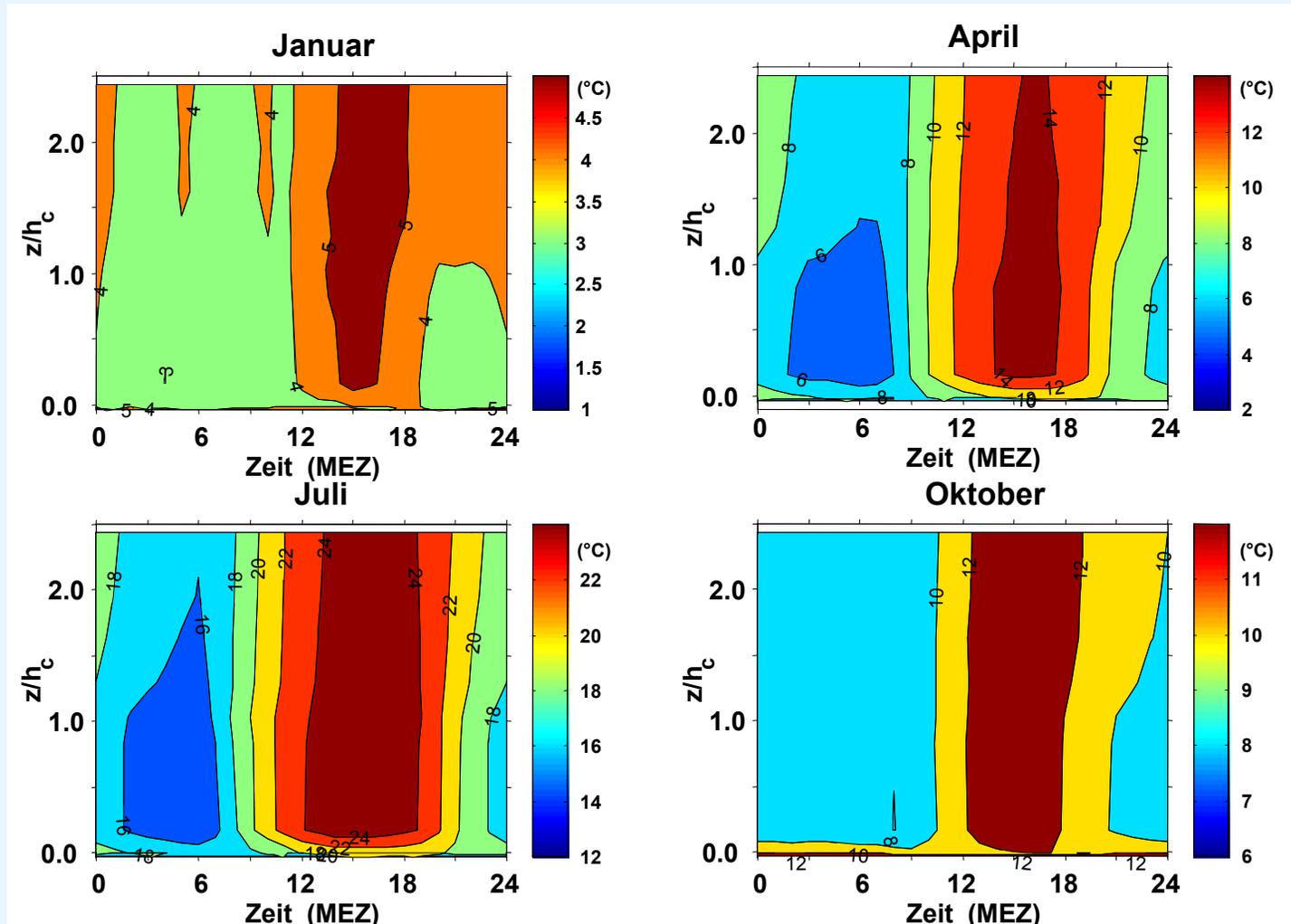


## Grasland – mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur



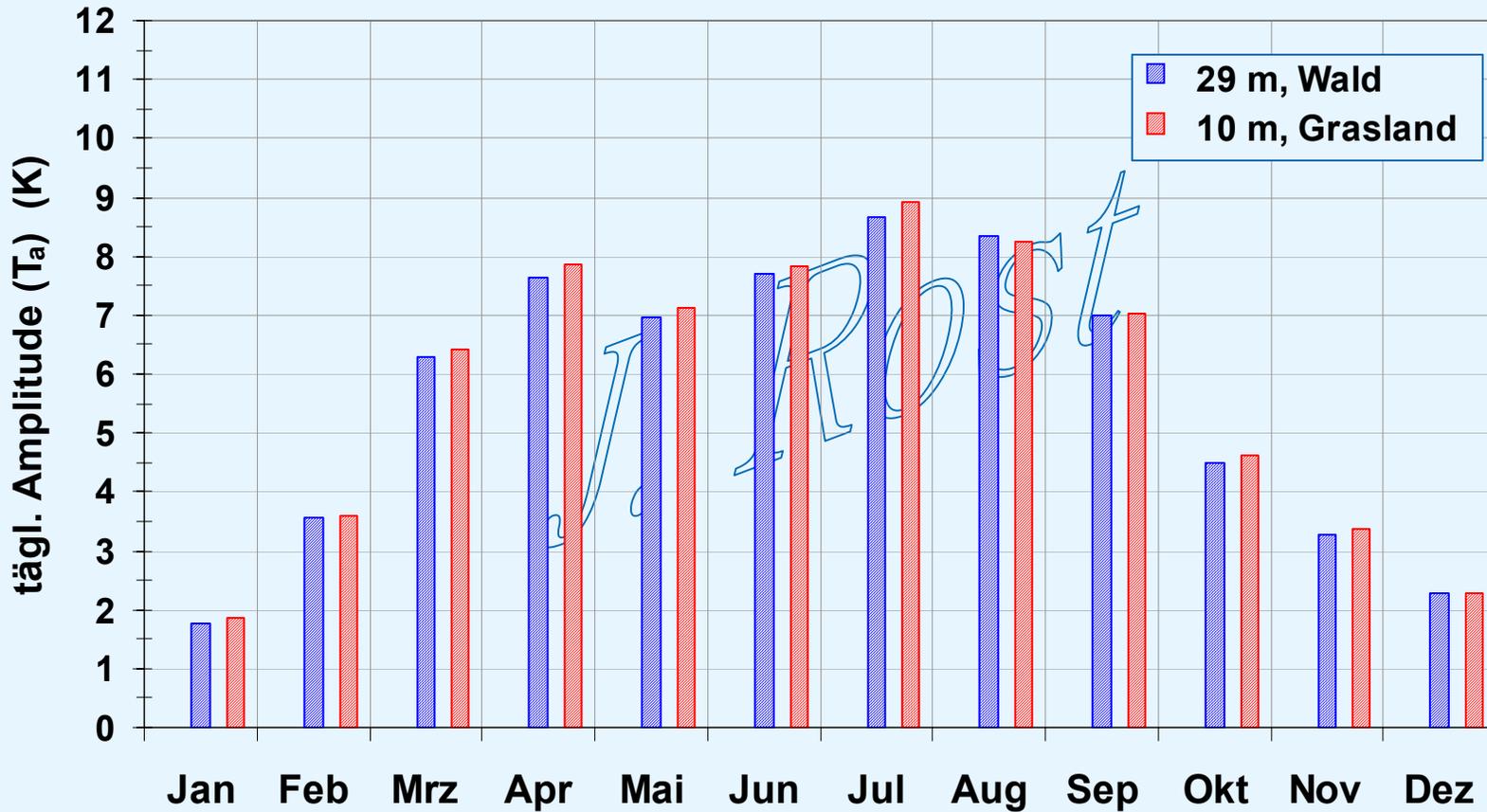


# Kiefernwald – mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur



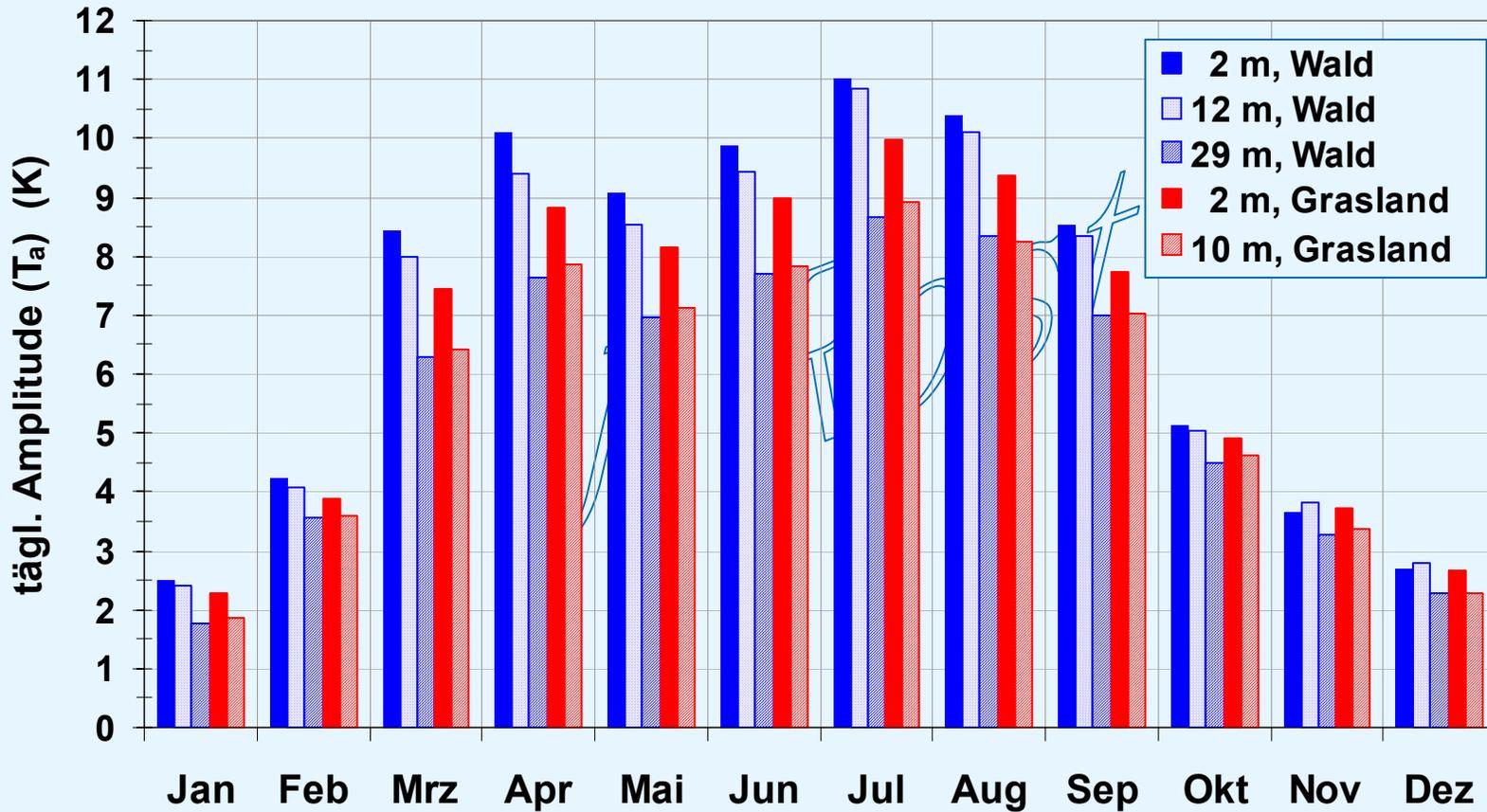


### Monatsmittelwerte März 1992 - September 1996





### Monatsmittelwerte März 1992 - September 1996



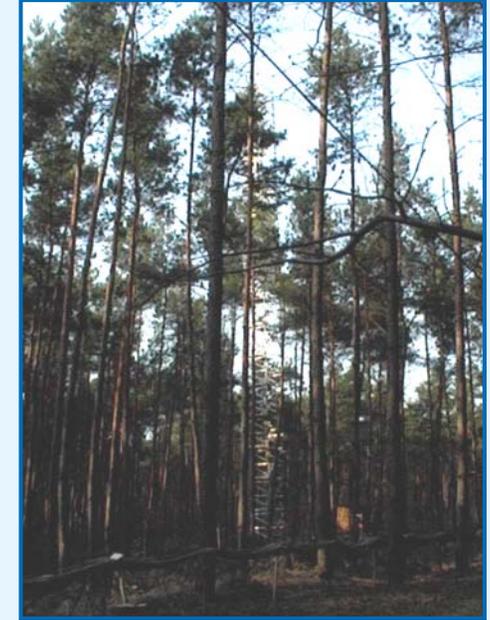
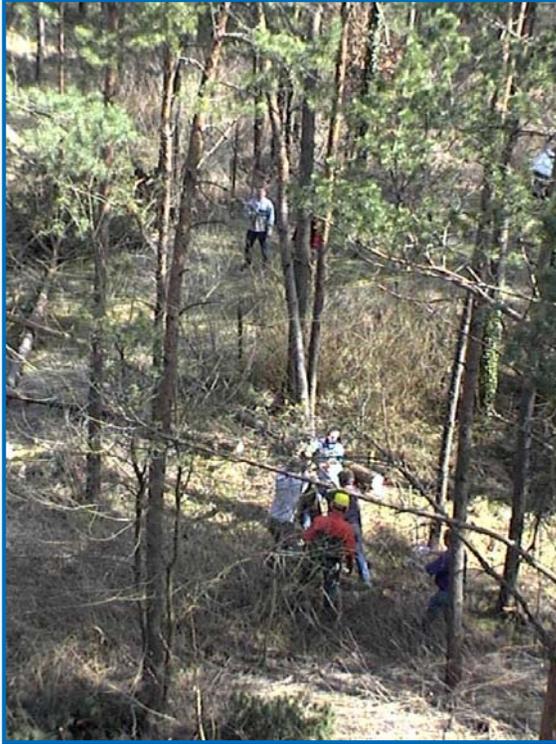


## Fazit I:

- Die in der Literatur beschriebene Dämpfung der Tagesamplituden der Lufttemperatur im Stammraum eines Waldbestandes konnte am Untersuchungsstandort Hartheim aufgrund nicht abfließender Kaltluft nicht beobachtet werden.
- Die vertikalen Gradienten sind über dem Wald deutlich verringert.

## Fazit II:

- Dem Wald steht bei gleichem Energie-Input mehr Energie zur Umwandlung in andere Wärmeflüsse zur Verfügung.
- Unterschiede in der verfügbaren Energie werden hauptsächlich durch die unterschiedliche Albedo verursacht und im geringeren Ausmaß durch die unterschiedliche langwellige Ausstrahlung.
- Normiert auf die verfügbare Energie ist die Evapotranspiration über dem Grasland größer als über dem Kiefernwald.
- Bei Trockenstress verringert sich die Differenz zwischen den normierten Verdunstungsflüssen beider Landnutzungen.



*J. ROST*

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!





*J. Rost*