

Entwicklung der Wasserstände in der Tideelbe ermittelt durch das Partialtiden(PT)-Verfahren



Was sind Partialtiden und wie entstehen sie?

Eine Partialtide ist eine Einzelschwingung mit fester Periodendauer/Frequenz (Sinus).

Fünf astronomische Zyklen tragen maßgeblich zum Tidegeschehen auf der Erde bei:

mittlerer Mondtag (τ)	1 Tag, 50 Minuten
tropischer Monat (s)	27 Tage, 7 Stunden, 43 Minuten
tropisches Jahr (h)	365 Tage, 5 Stunden, 48 Minuten
Rotation des erdnächsten Punktes auf der Mondbahn	8,85 Jahre
Rotation des aufsteigenden Knotens auf der Mondbahn	18,6 Jahre

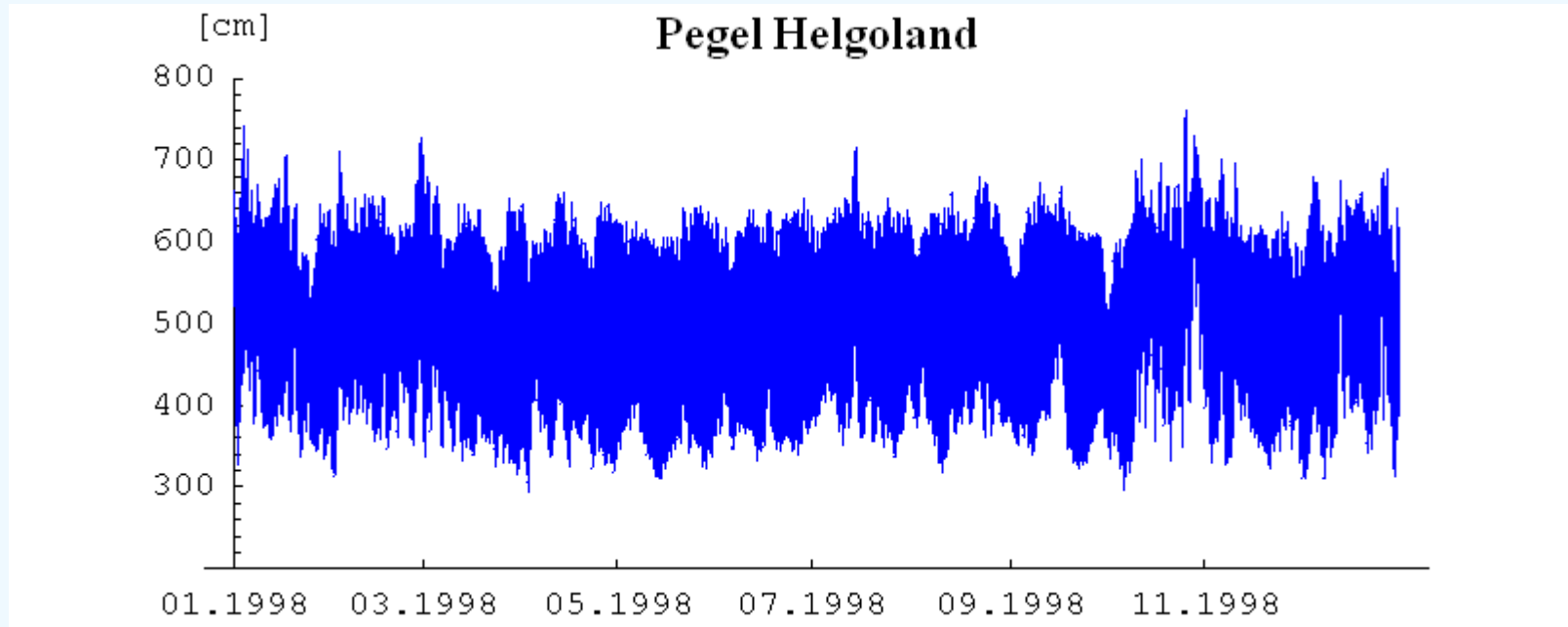
Durch Linearkombination dieser astronomischen Konstanten erhält man alle möglichen Partialtiden:

$$\text{Periodendauer}_{pT} = a\tau + bs + ch + dp + eN \quad (a,b,c,d,e \in \mathbb{N})$$

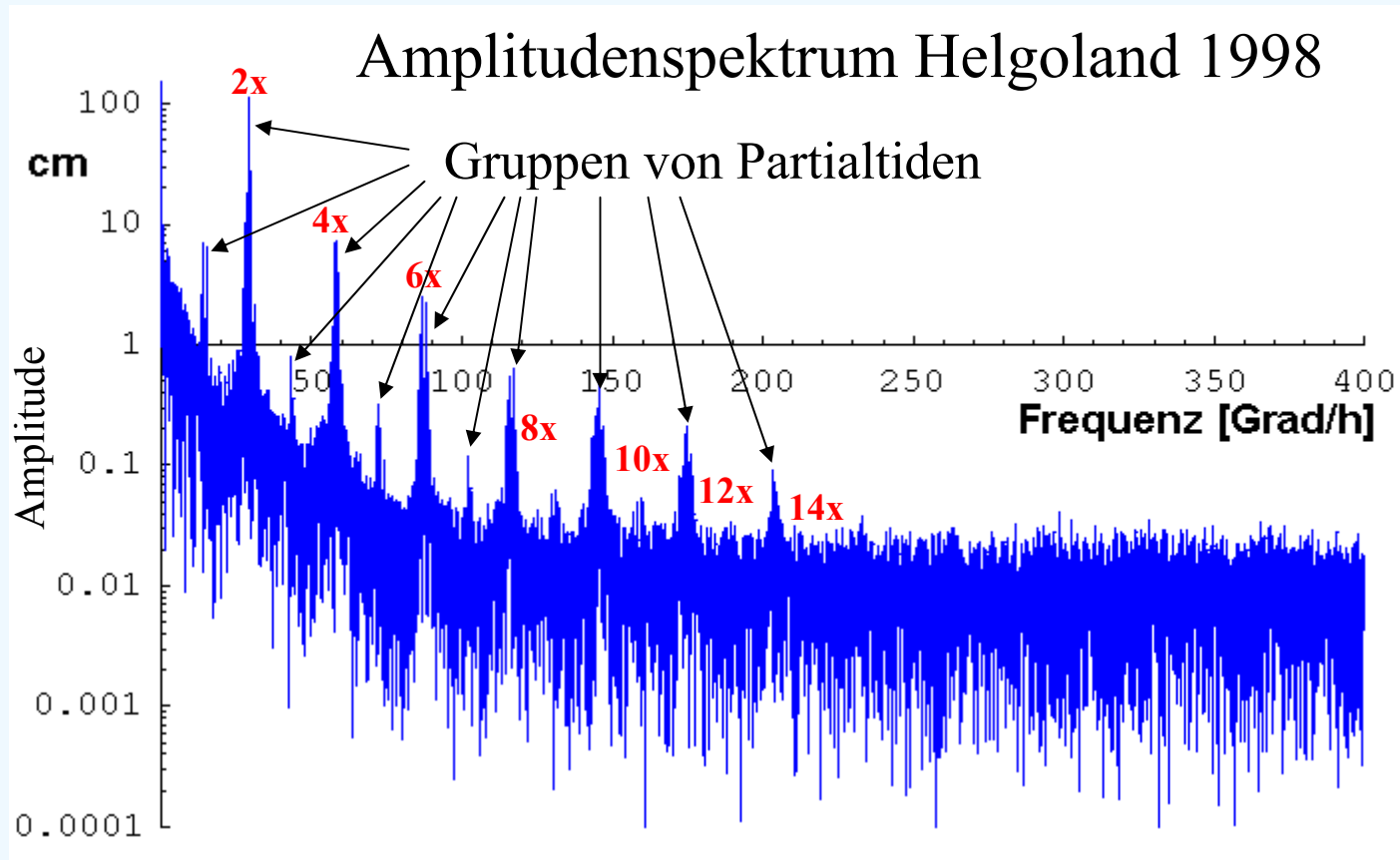
Die Tide, wie wir sie sehen ist die Summe aus Partialtiden!



Pegel Helgoland



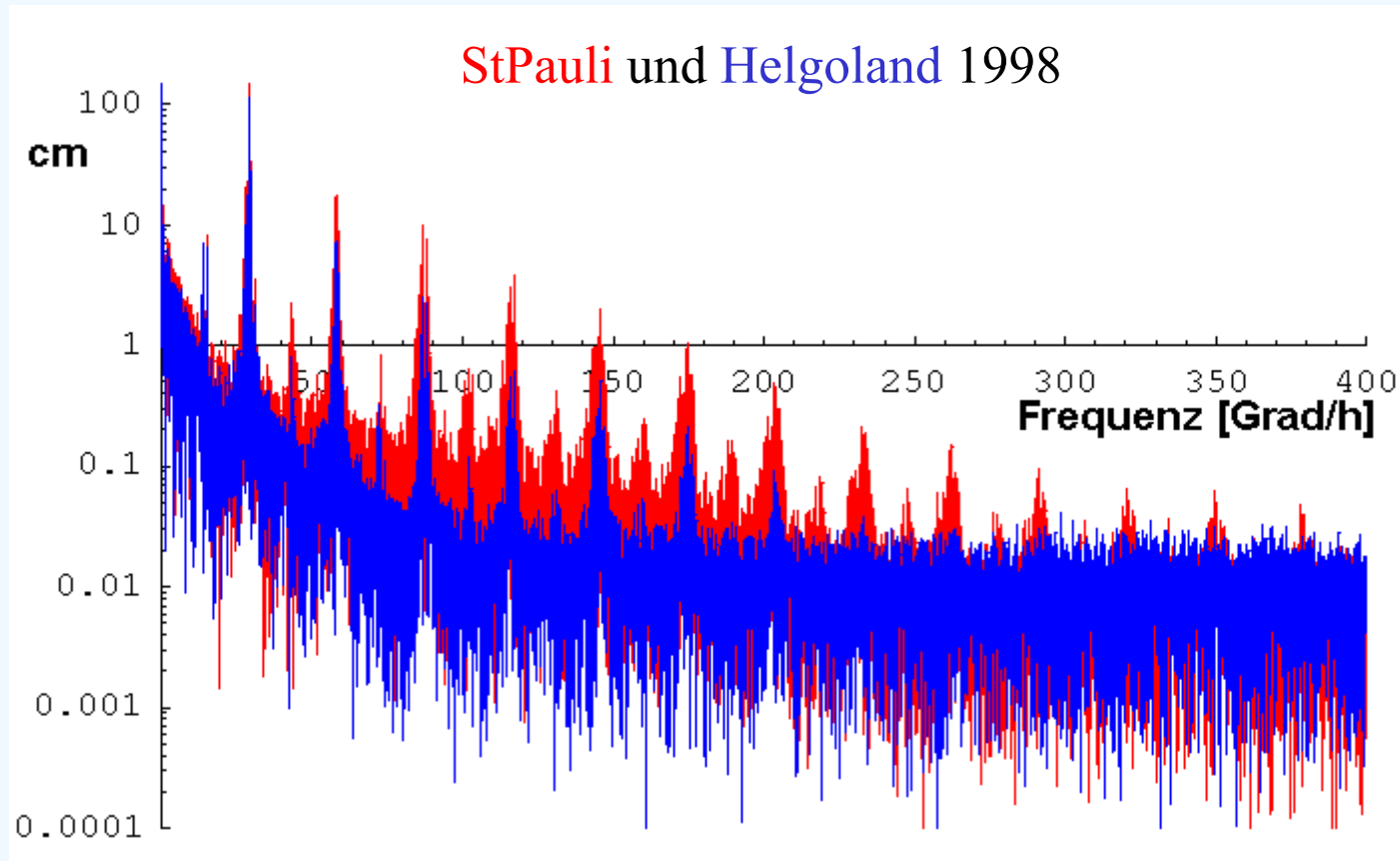
Pegel Helgoland



- die Amplitude/Energie der Gruppen nimmt mit zunehmender Frequenz ab
- der stochastische Anteil (Meteorologie) nimmt mit zunehmender Frequenz ab



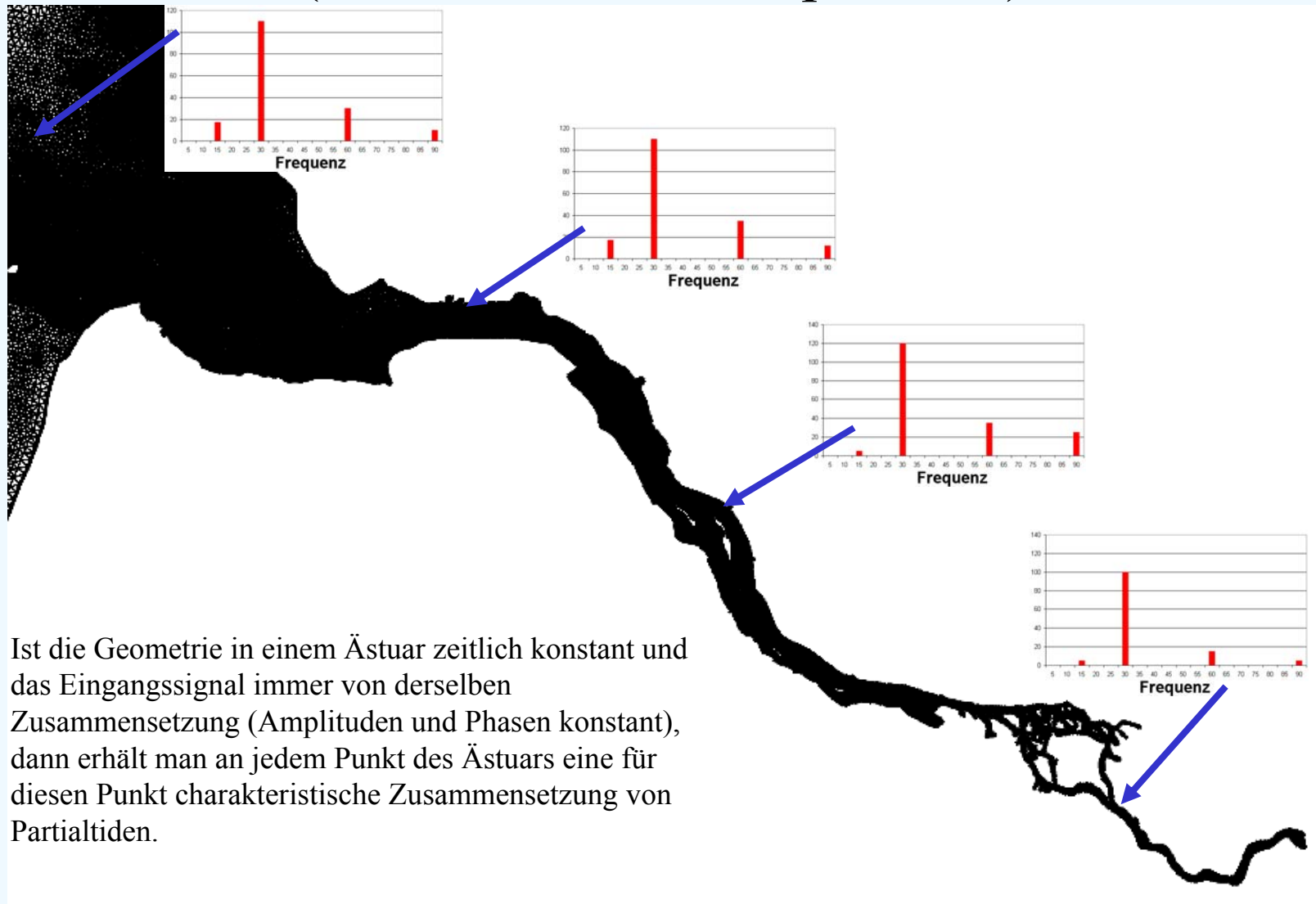
spektrale Ansicht - räumlicher Vergleich



Die Energie in den einzelnen Partialtiden der Tidewelle wird durch Reibung, Beugung, Reflexion und Interferenz umverteilt.



charakteristische Zusammensetzung der Partialtiden (charakteristisches Spektrum)



Ist die Geometrie in einem Ästuar zeitlich konstant und das Eingangssignal immer von derselben Zusammensetzung (Amplituden und Phasen konstant), dann erhält man an jedem Punkt des Ästuars eine für diesen Punkt charakteristische Zusammensetzung von Partialtiden.

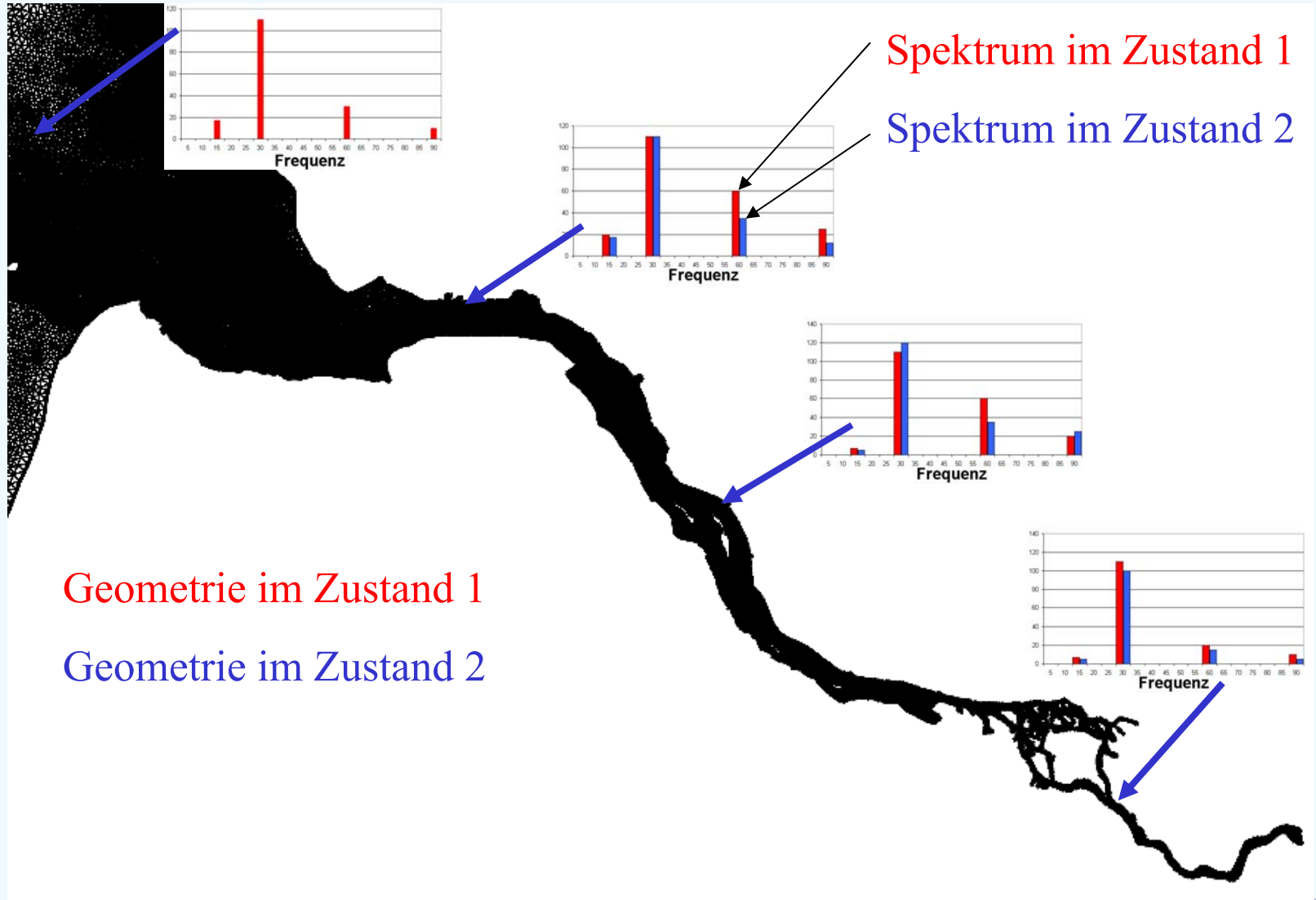


These:

***Ändert* sich die Geometrie der Elbe und bleibt das äußere Signal in der Zusammensetzung konstant, *dann ändert sich auch* das charakteristische Spektrum an einem Punkt der Elbe, da jetzt auch Reibung, Reflexion, Beugung und Interferenz durch die veränderte Geometrie verändert sind.**



Charakteristische Spektren



These:

Ändert sich die Geometrie der Elbe und bleibt das äußere Signal in der Zusammensetzung konstant, dann ändert sich auch das charakteristische Spektrum an einem Punkt der Elbe, da jetzt auch Reibung, Reflexion, Beugung und Interferenz durch die veränderte Geometrie verändert sind.

Das heißt:

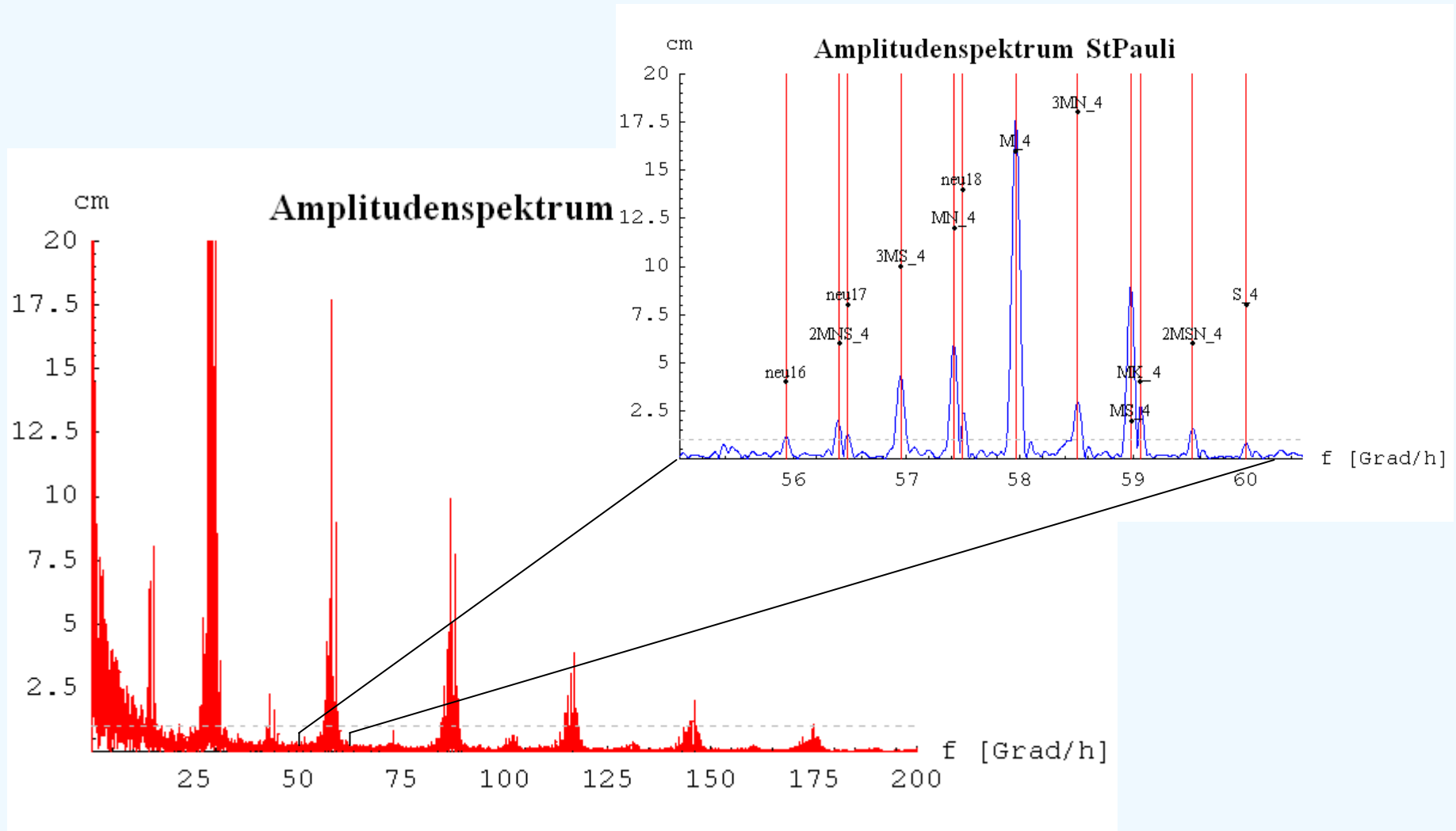
- anthropogene Veränderungen (beispielsweise an der Fahrrinne), können identifiziert und quantifiziert werden
- natürliche Veränderungen (Morphodynamik) überlagern sich und können im Tidesignal *nicht* von anthropogenen Veränderungen unterschieden werden
- auch das Oberwasser beeinflusst die Geometrie des schwingenden Wasserkörpers



Das Verfahren.



spektrale Ansicht



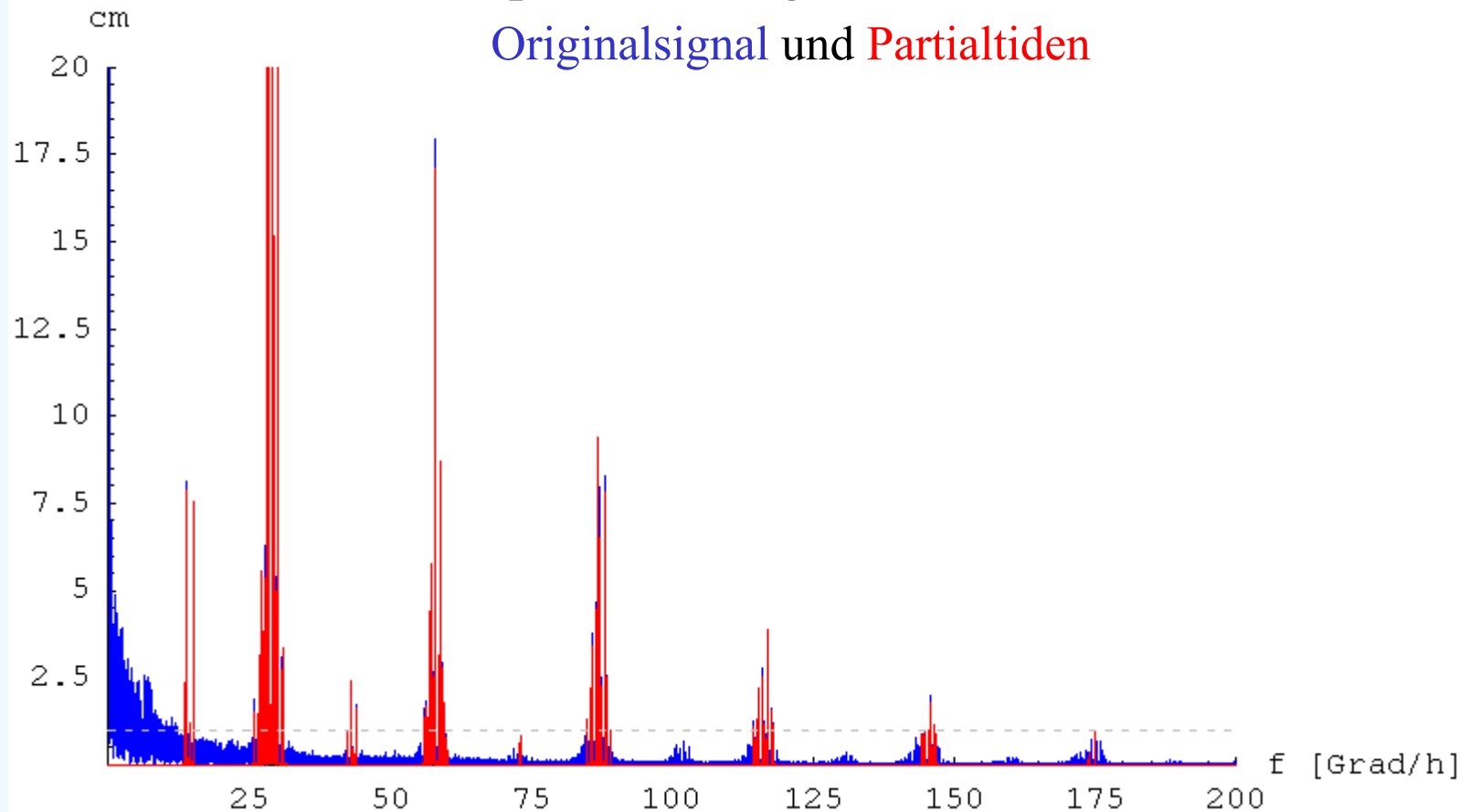
Ziel ist die Bestimmung der Partialtiden ($98 > 1$ cm).



Vor und nach der Analyse

Spektrumvergleich StPauli

Originalsignal und Partialtiden

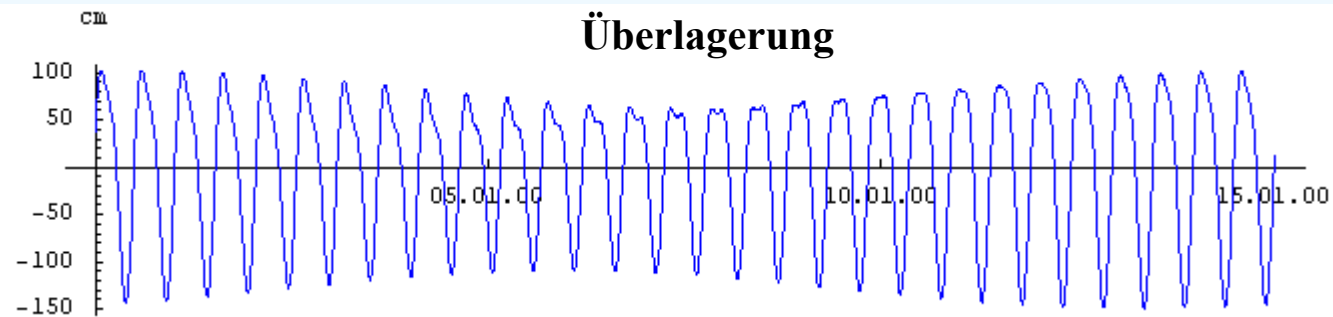
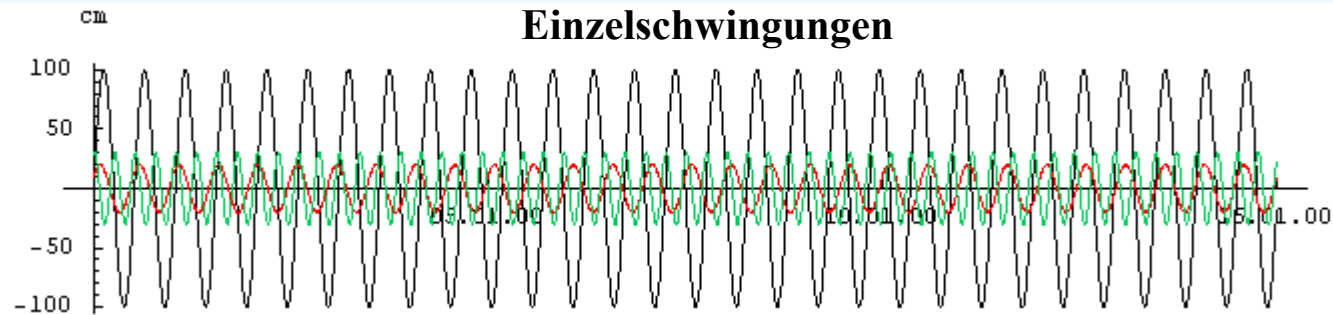


Die stochastischen (meteorologischen) Anteile wurden zum größten Teil aus dem Meßsignal entfernt.



Synthese

Alle Partialtiden geben in ihrer Überlagerung komplexe Formen.



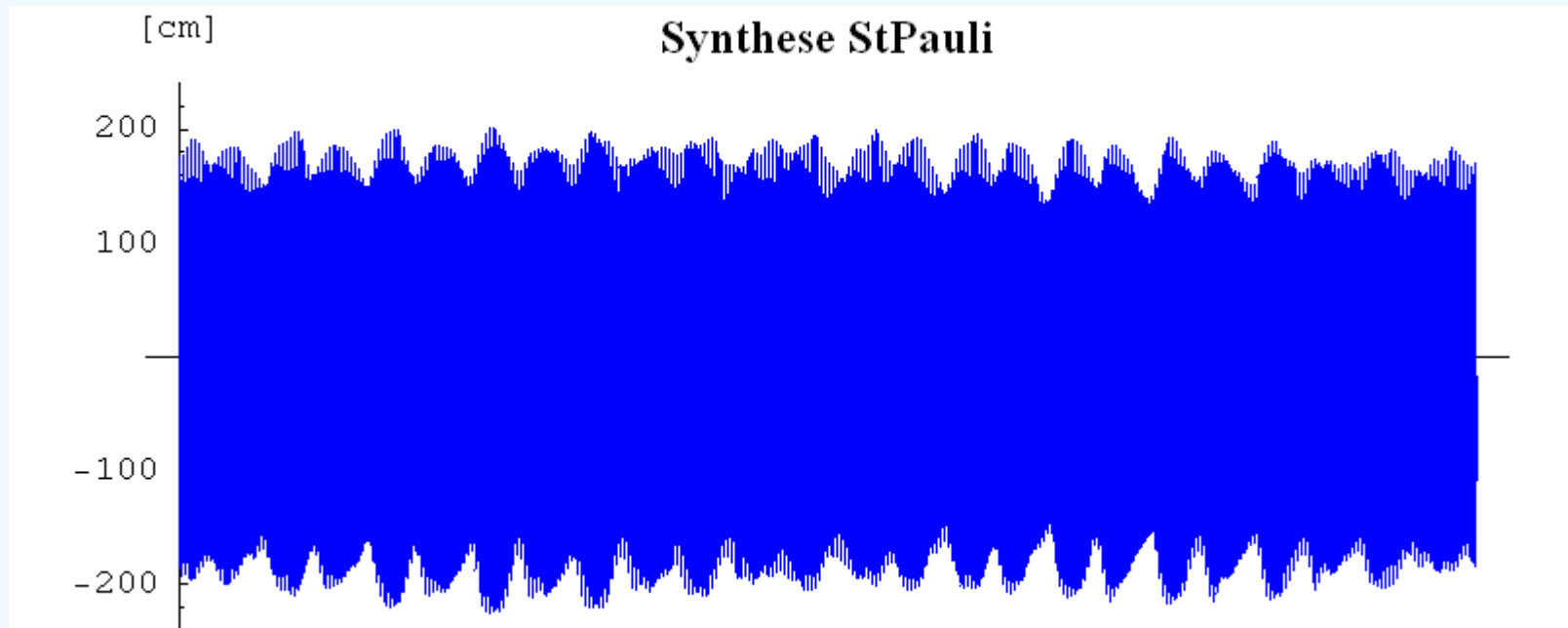
Beispiel: M₂ (100cm, 0 Grad), S₂ (20 cm, 30 Grad) und M₄ (30 cm, 70 Grad)

- Jede Partialtide schwingt symmetrisch um den Nullpunkt
- Die Extrema der Überlagerung müssen deshalb nicht symmetrisch verteilt sein
- Der Schwerpunkt/Mittelwert liegt im Nullpunkt



reale Synthese

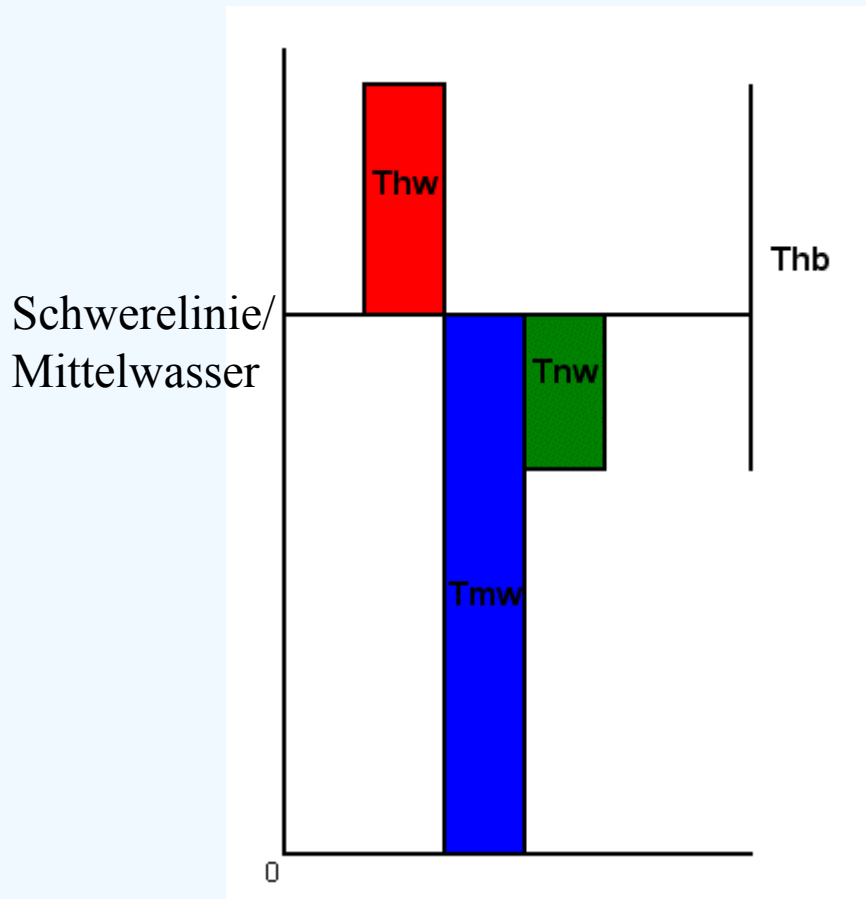
Alle 98 analysierten Partialtiden von StPauli zusammengesetzt ergeben folgendes Bild:



Überlagerungsmuster sind sowohl in kurzen Zeitreihen zu sehen als auch in dieser Jahreszeitreihe.



Schematische Darstellung der Kenngrößen



$$M_{Thw} = 628 \text{ cm}$$

$$M_{Thw_{syn}} = 102 \text{ cm}$$

$$M_{Tmw} = 526 \text{ cm}$$

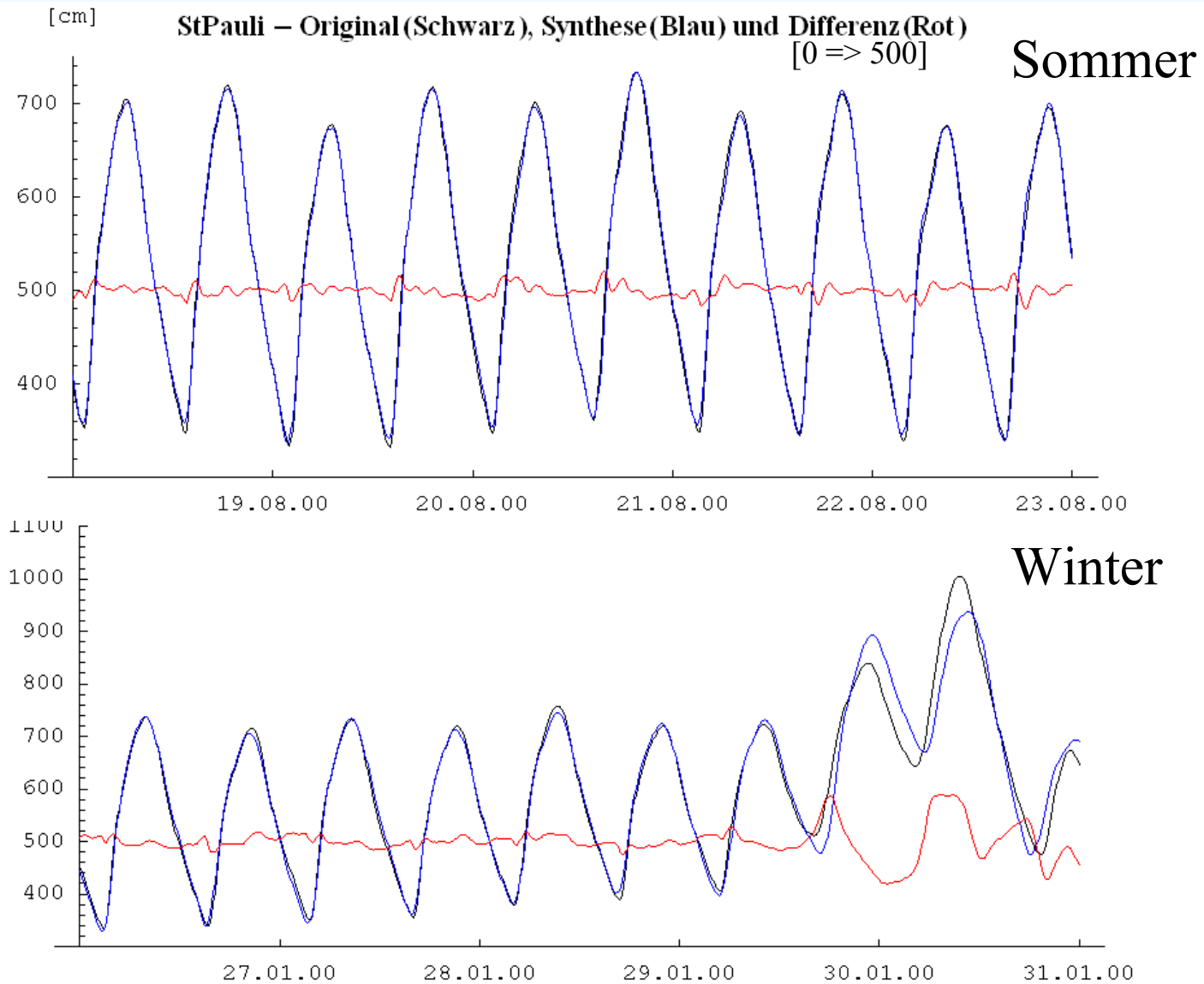
$$M_{Tnw_{syn}} = -110 \text{ cm}$$

$$M_{Tnw} = 416 \text{ cm}$$

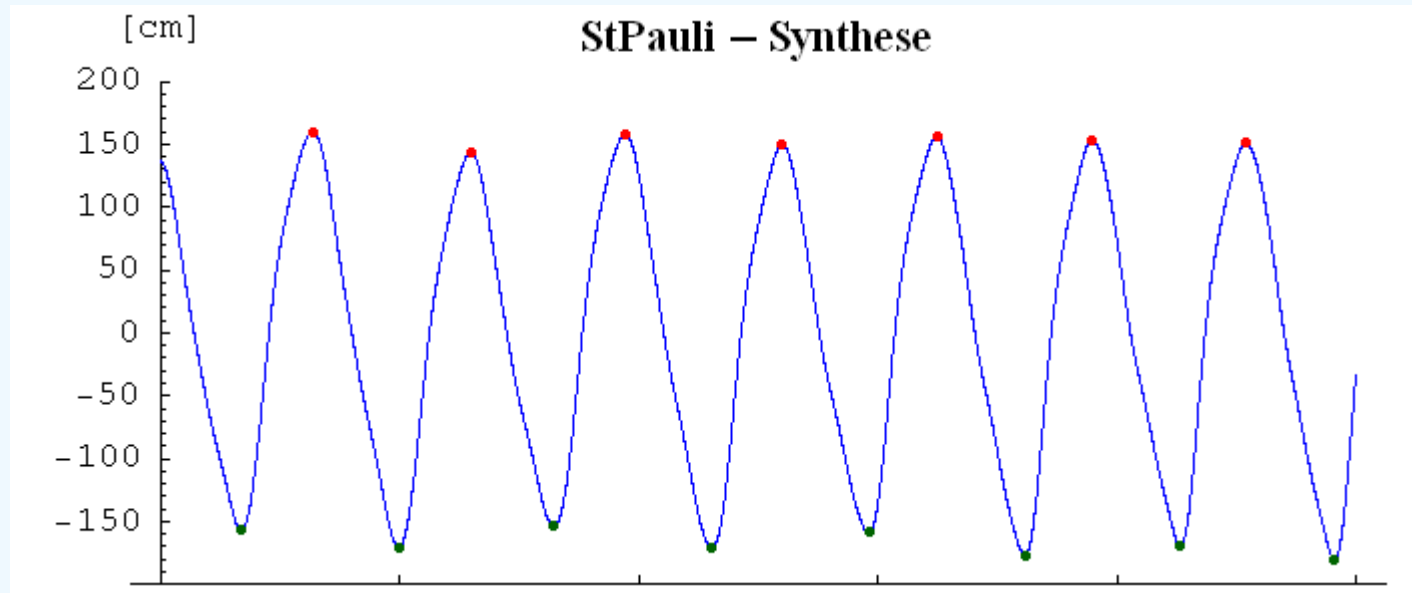
$$M_{Thb} = M_{Thw} - M_{Tnw} = 212 \text{ cm}$$

$$M_{Thb} = M_{Thw_{syn}} - M_{Tnw_{syn}} = 212 \text{ cm}$$

Meßsignal und *hindcast*(Nachhersage)



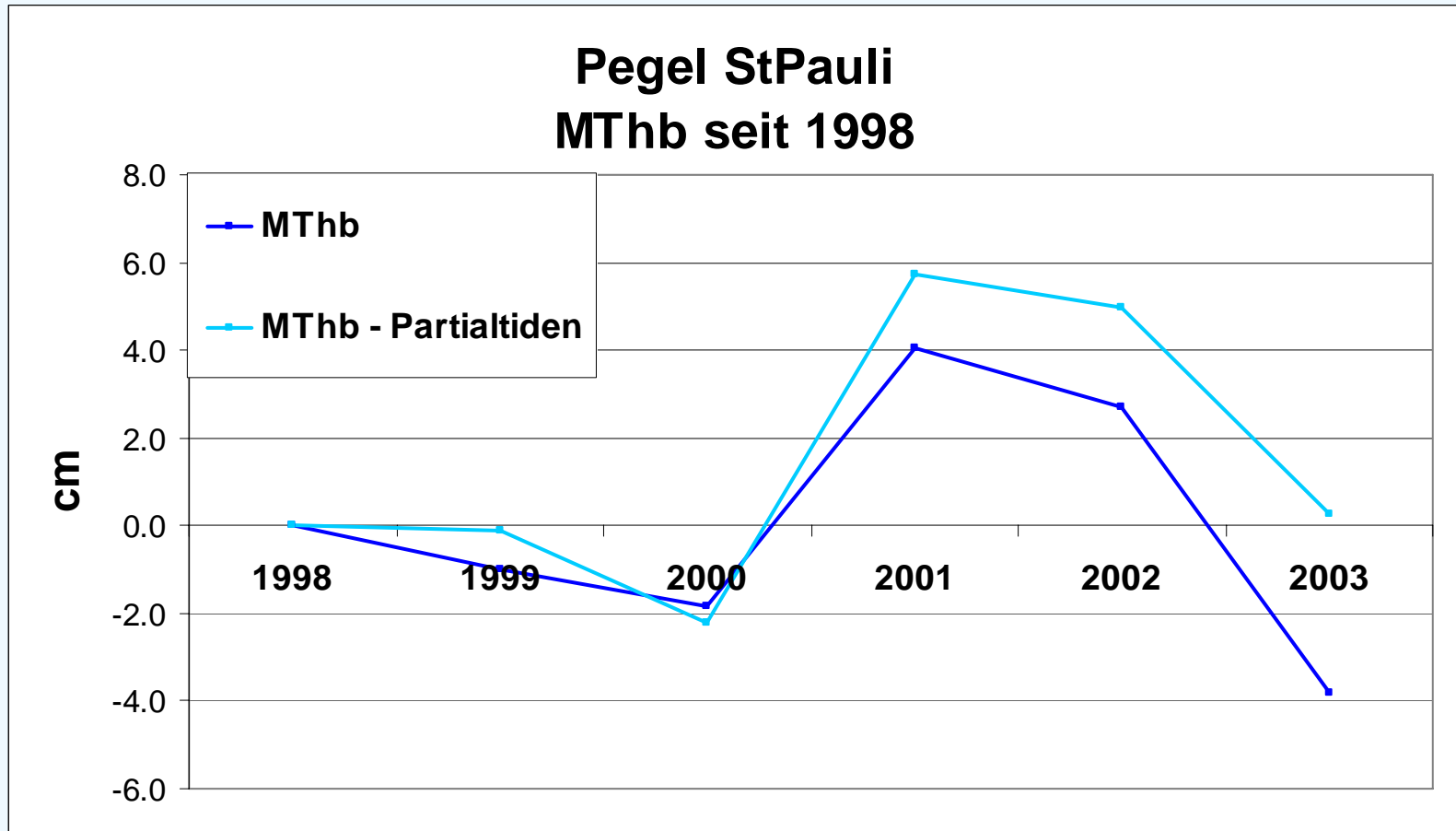
Ziel: zeitliche Entwicklung der Kenngrößen (MTnw, MThw und MThb)



Nach der Synthese aus den Partialtiden erfolgt die Bestimmung der Scheitelwerte und die Mittelung zu Jahresmitteln.

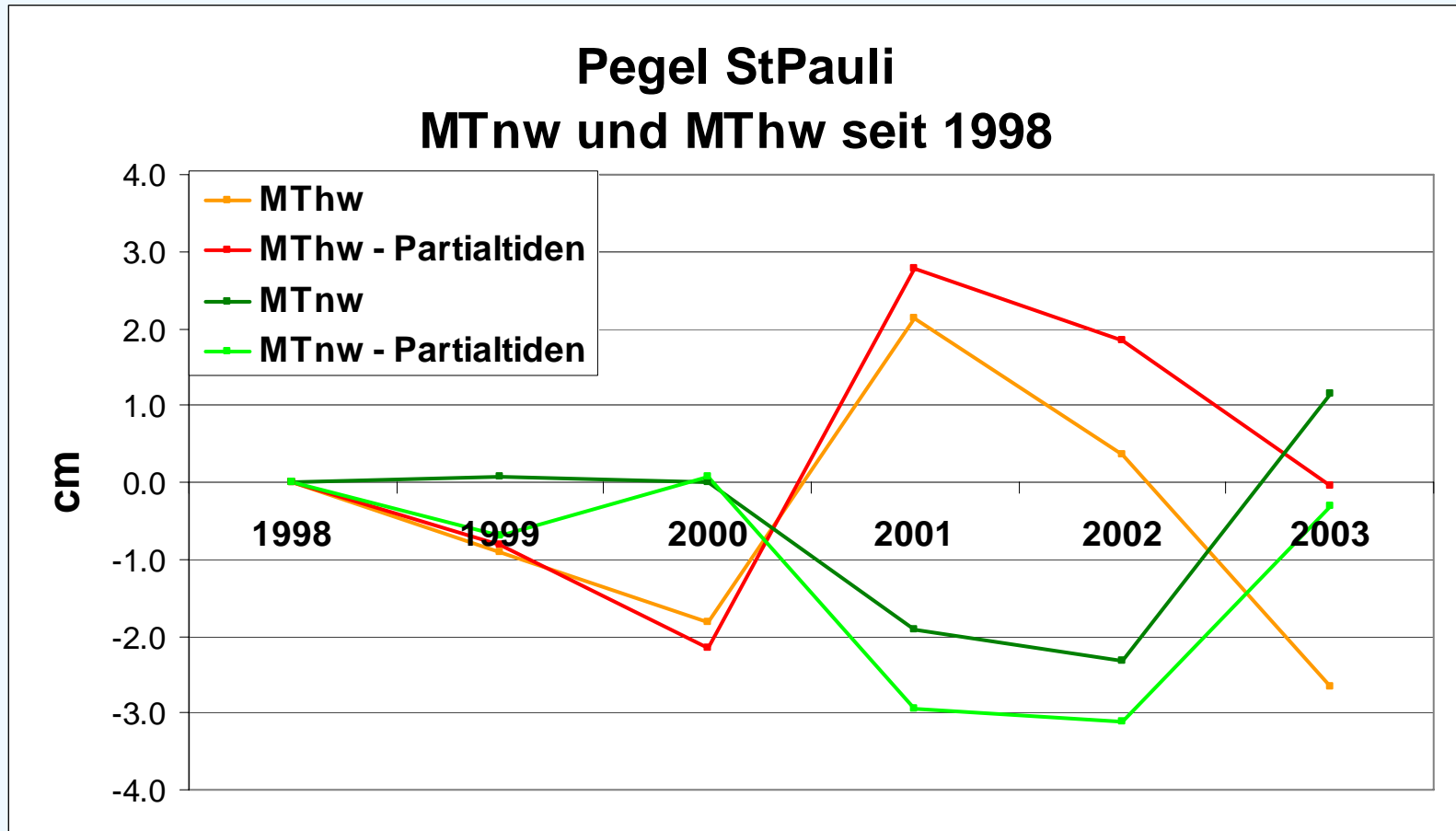


Entwicklung der Kenngrößen

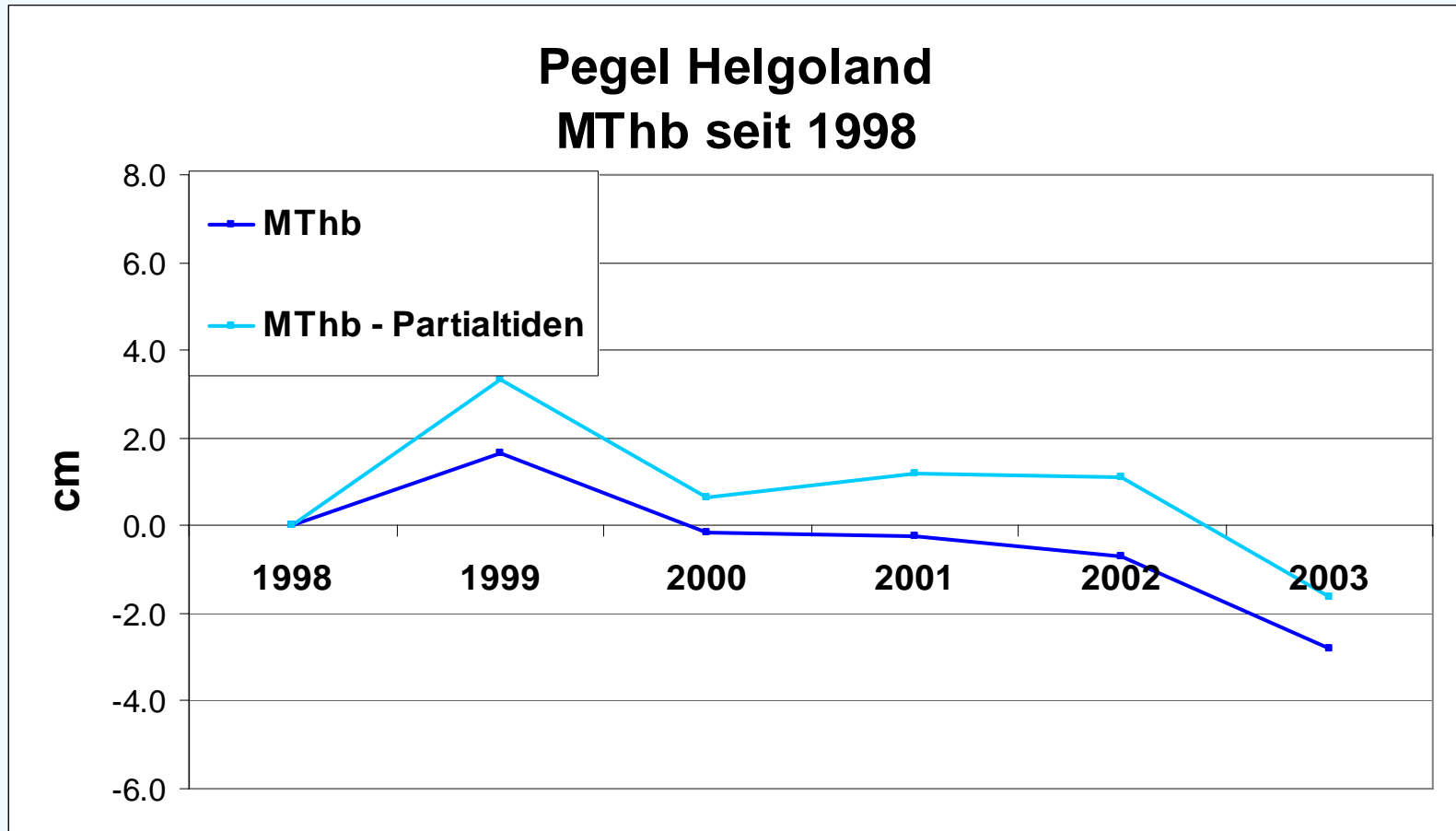


Entwicklung der Kenngrößen

(MTnw und MThw - ohne Mittelwasser)

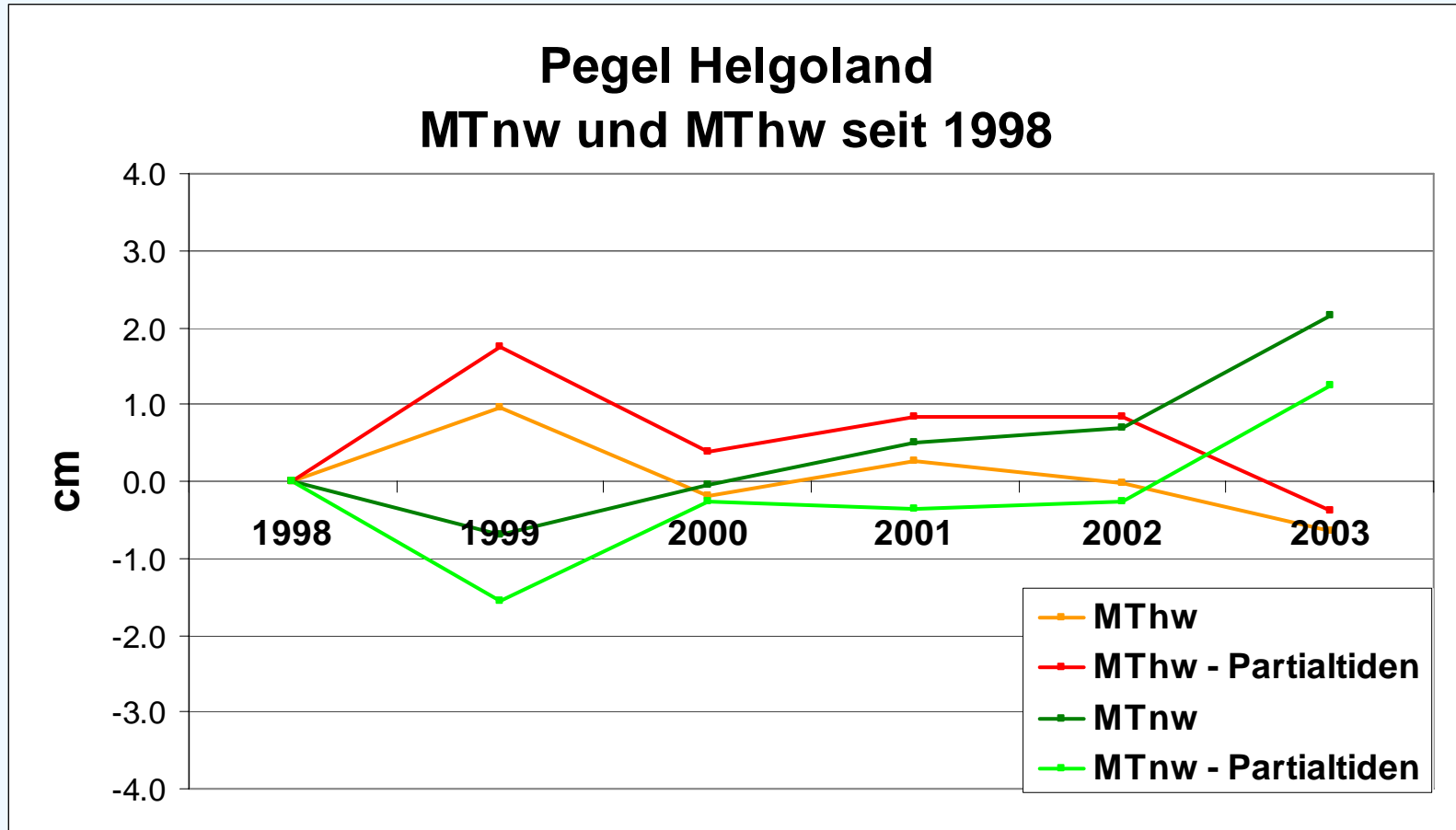


Entwicklung der Kenngrößen



Entwicklung der Kenngrößen

(MTnw und MThw - ohne Mittelwasser)



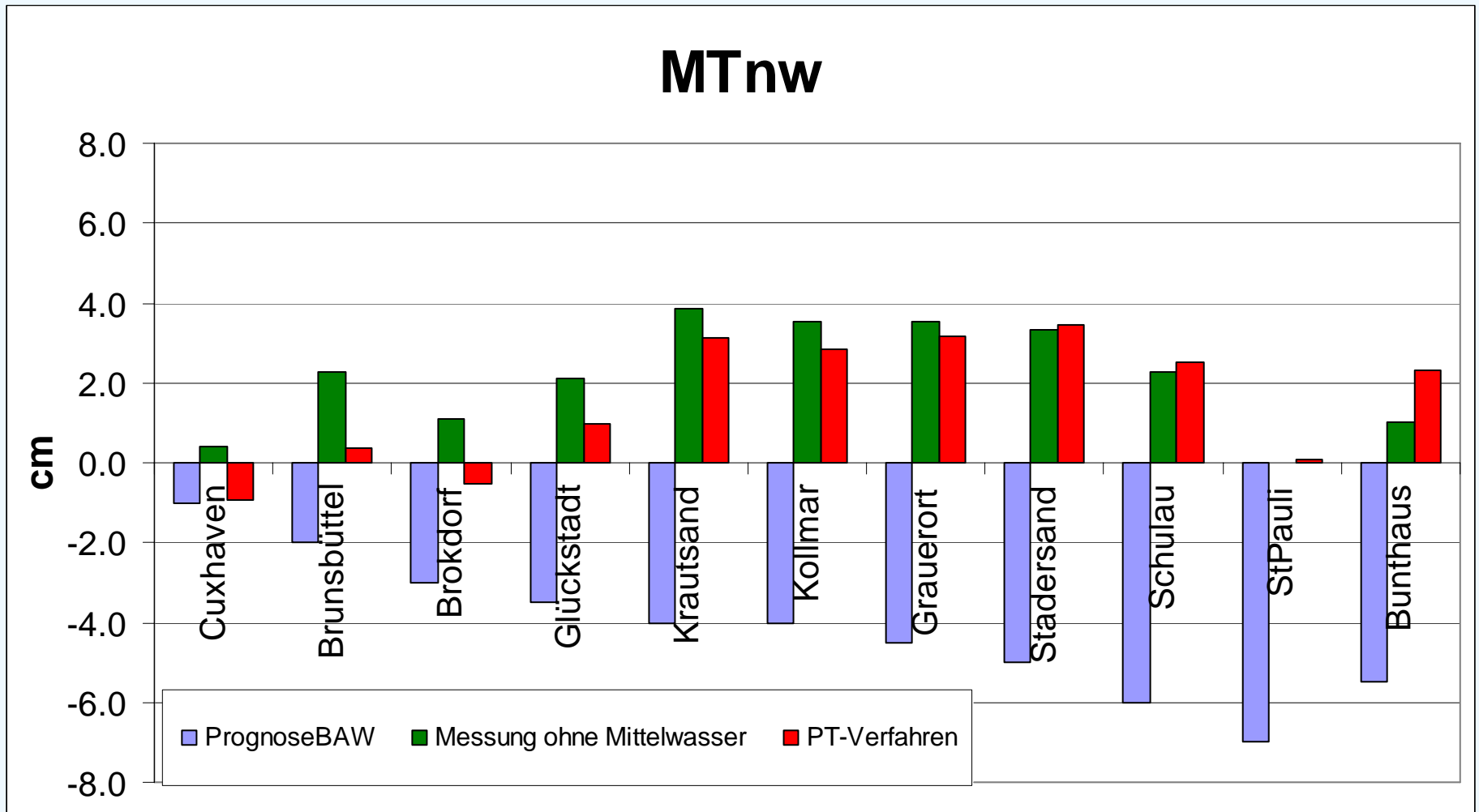
Entwicklung der Kenngrößen

Statistik mit 4 Punkten ist mangelhaft, deshalb Vergleich einzelner Jahre!

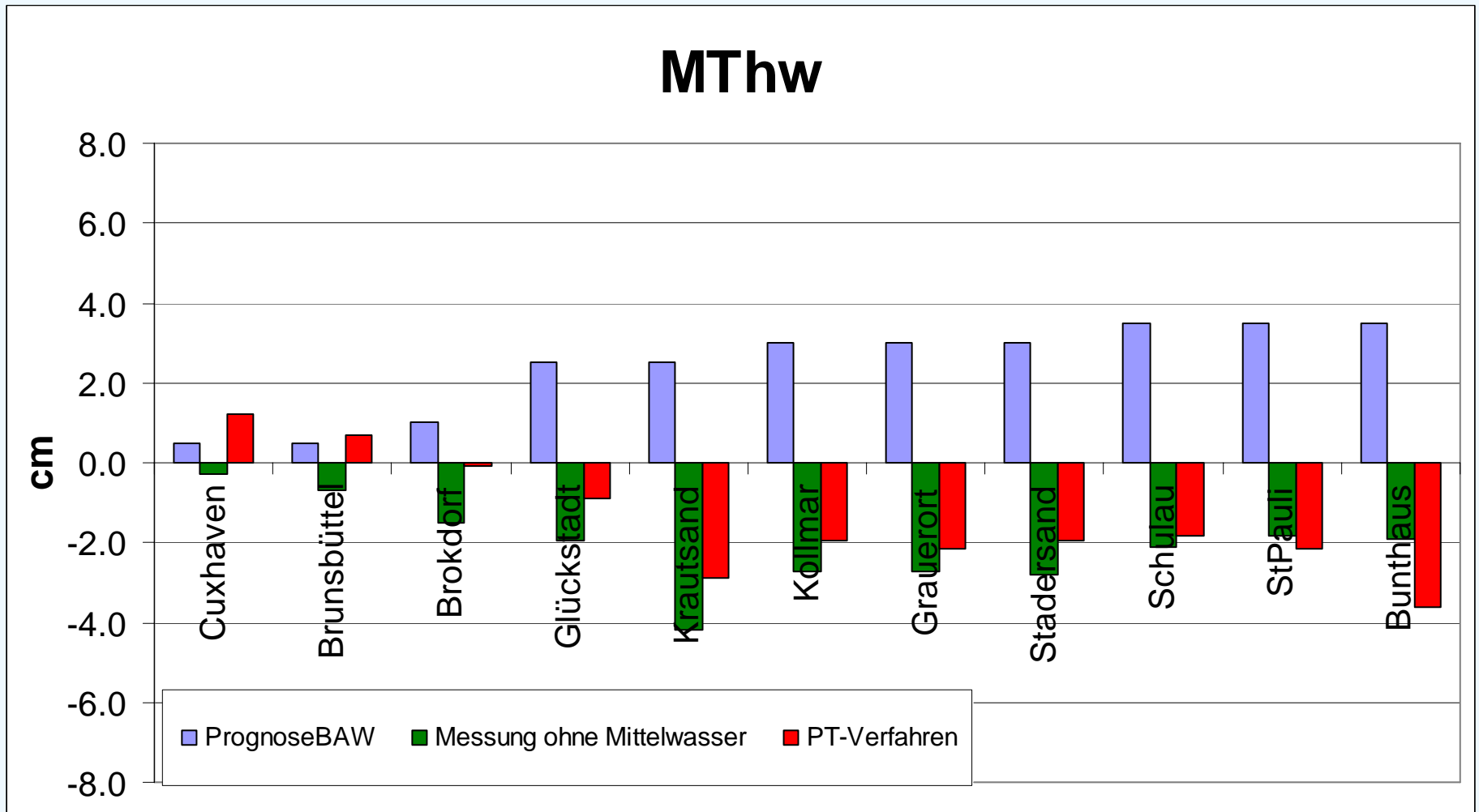
- 1998 Vergleichsjahr
- 1999 Hauptausbau
- **2000 Vergleichszeitraum**
- 2001 Eingriff in die Geometrie (Mühlenberger Loch)
- 2002 das jährliche Oberwasser ist doppelt so hoch wie die Vorjahre
- 2003 andere Nodalphase



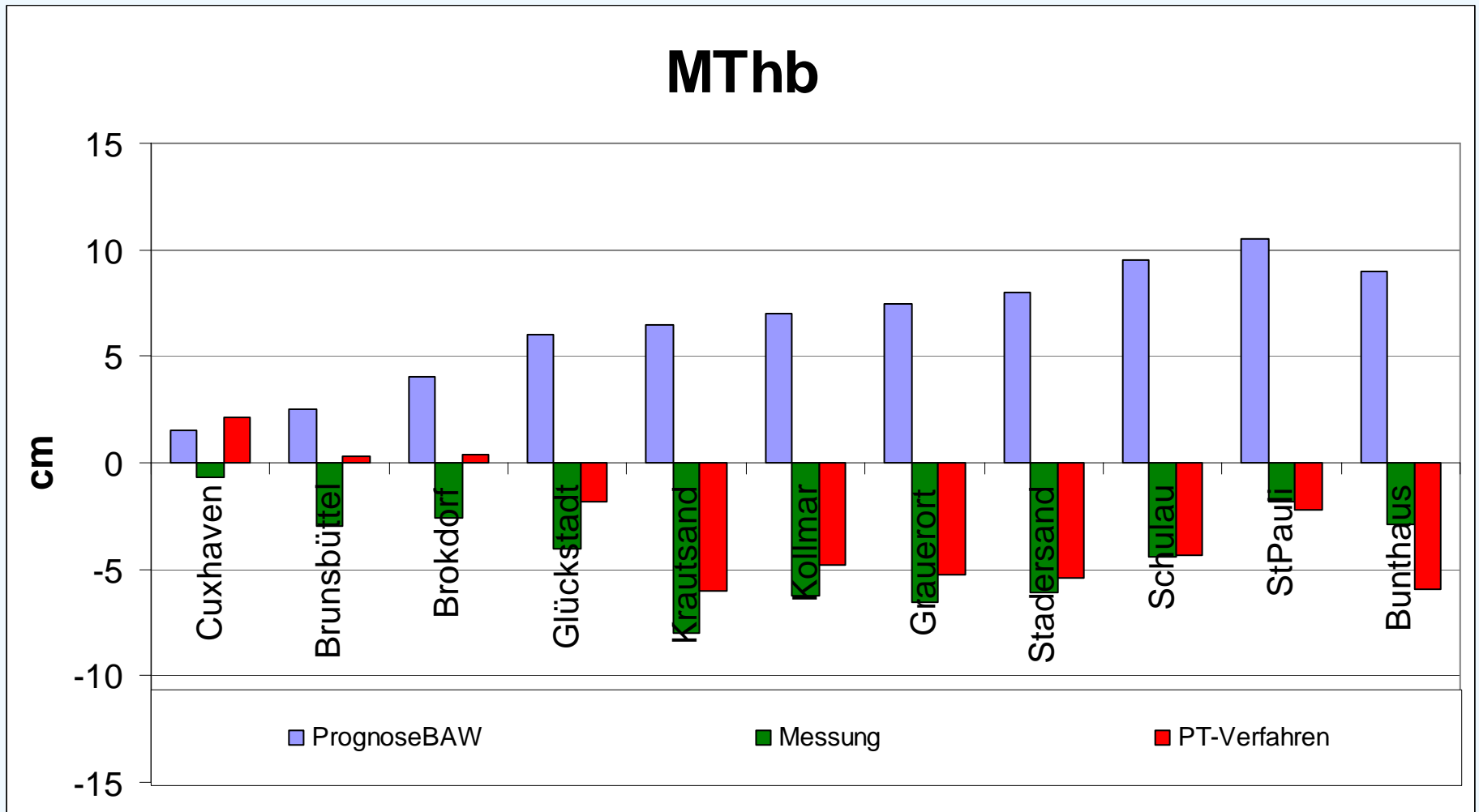
Änderungen von 1998 bis 2000



Änderungen von 1998 bis 2000



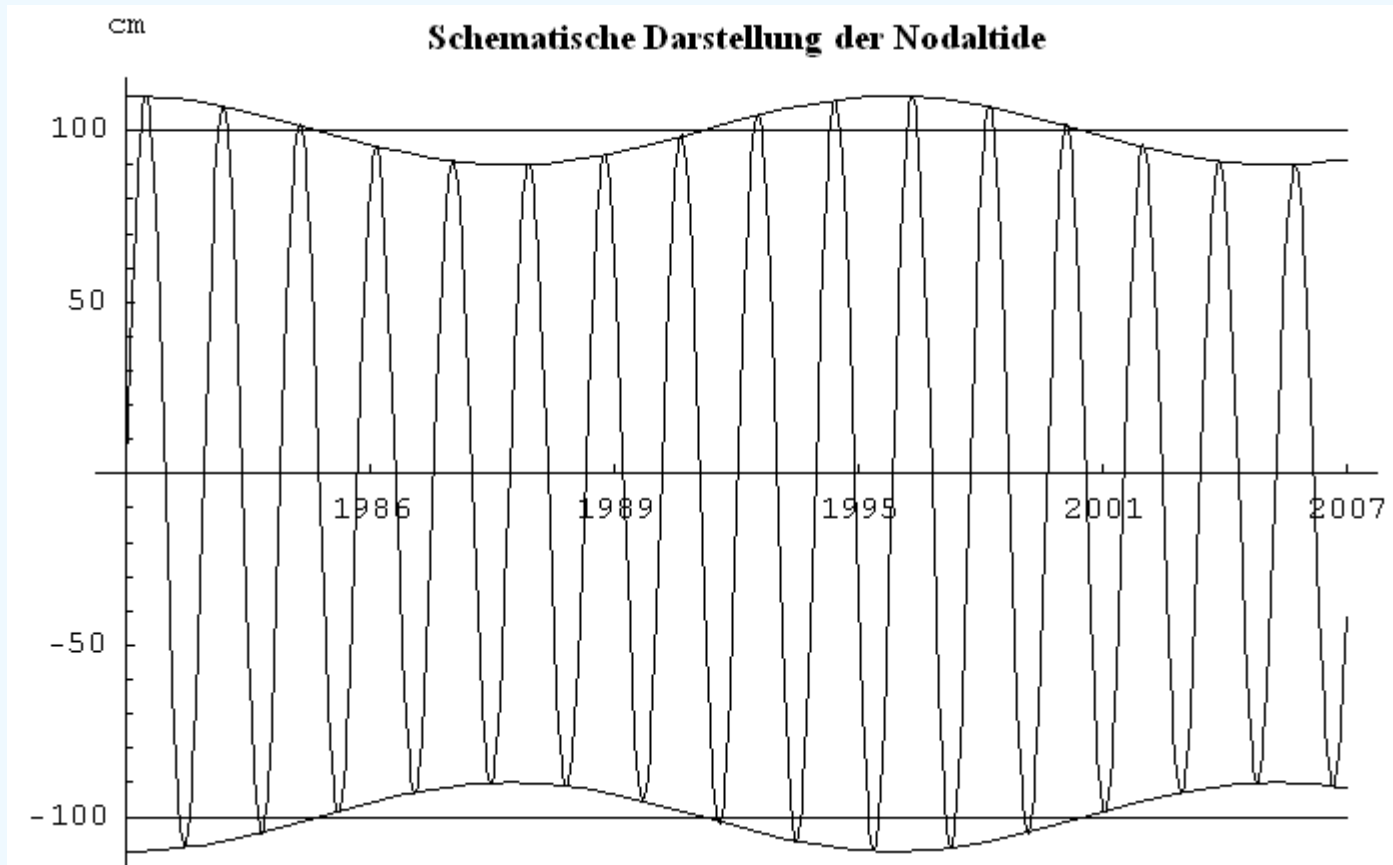
Änderungen von 1998 bis 2000



Die Nodaltide



Die Nodaltide - Schema

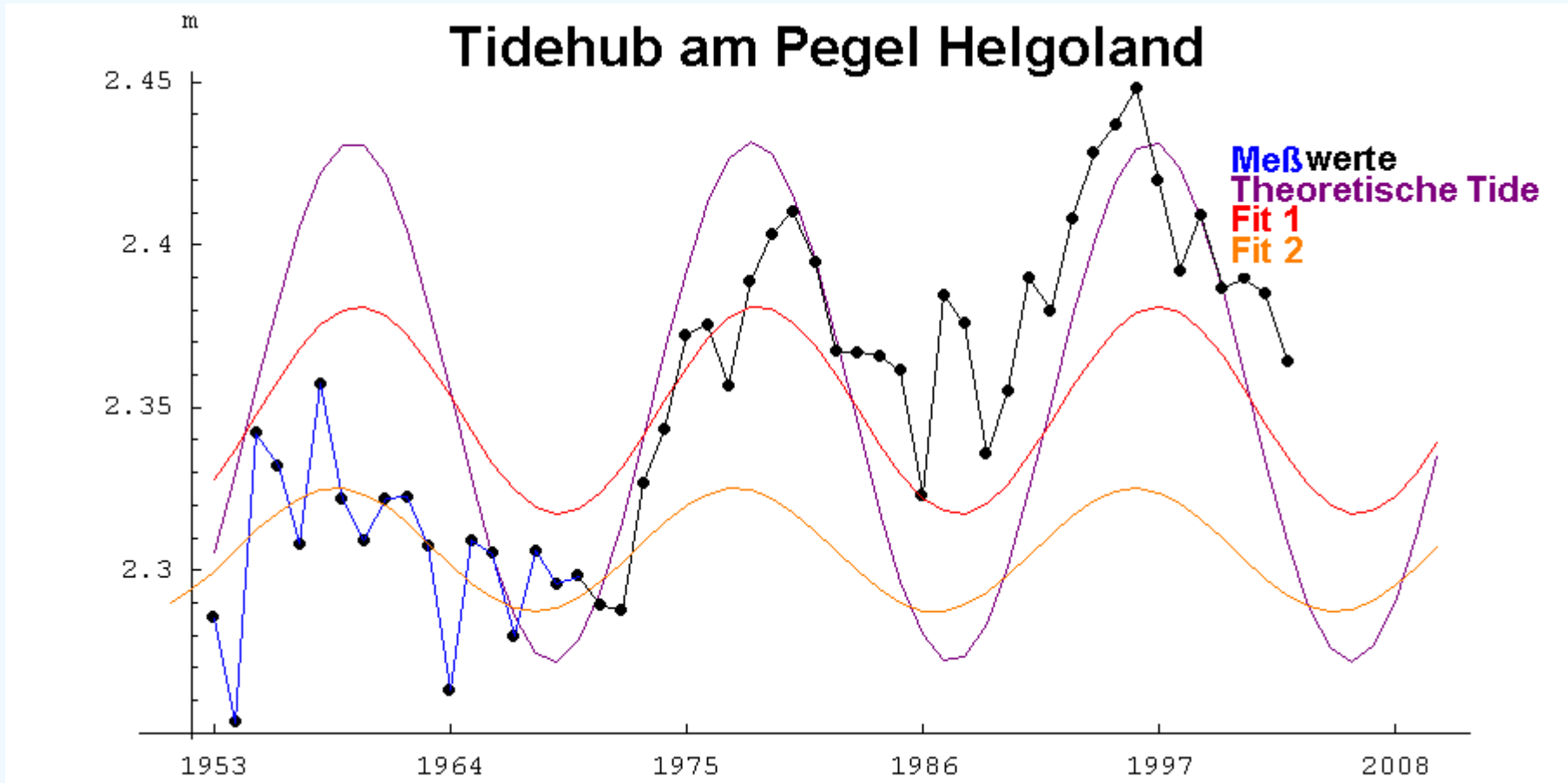


Die Nodaltide *moduliert* den Tidehub mit einer Periodendauer von 18,6 Jahren.

Das letzte Nodalmaximum lag etwa in den Jahren 1995/1996/1997; das Nodalminimum entsprechend etwa 2004/2005/2006. Die Modulation in Helgoland beträgt etwa 3cm, also 2-3% des Tidehubs.



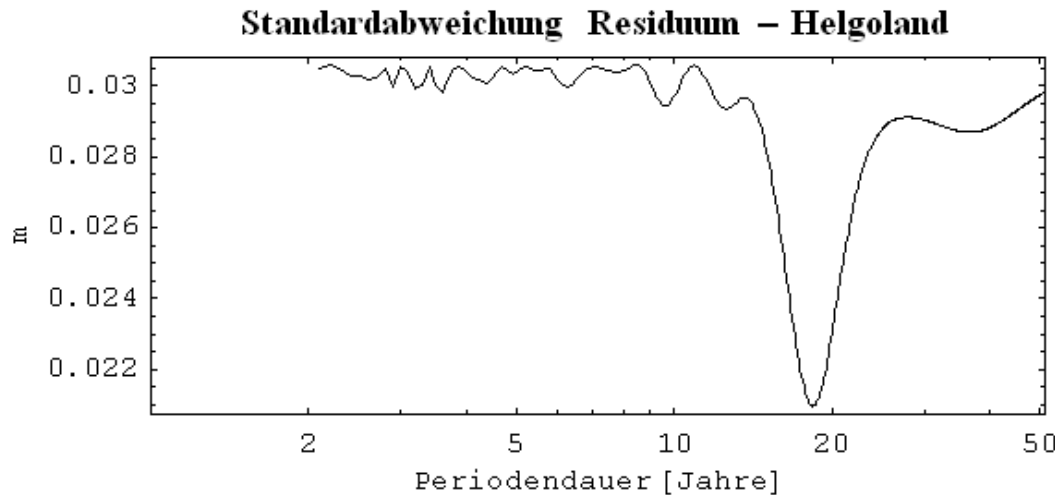
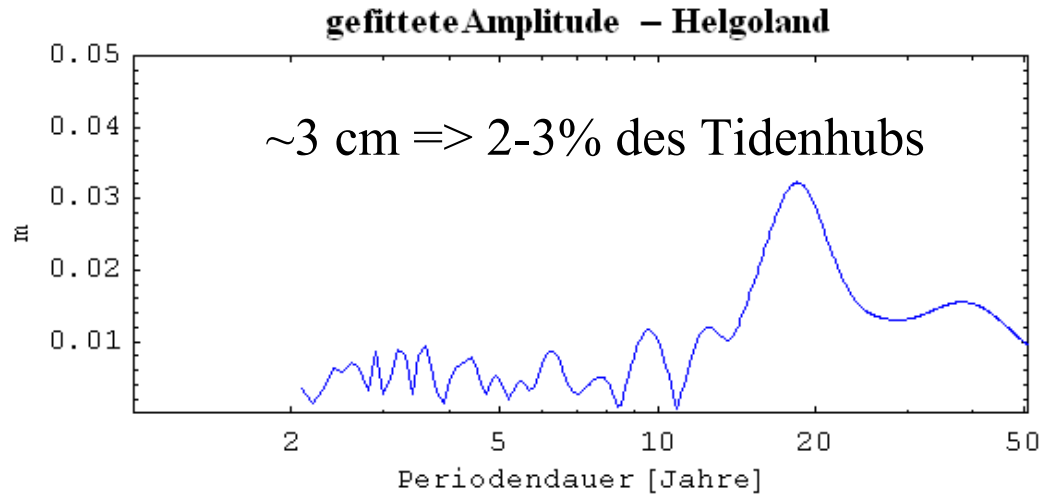
Bestimmung der Phase in Helgoland



Das Nodalmaximum liegt etwa in den Jahren 1995/1996/1997;
das Nodalminimum entsprechend etwa 2004/2005/2006.



Bestimmung der Amplitude in Helgoland

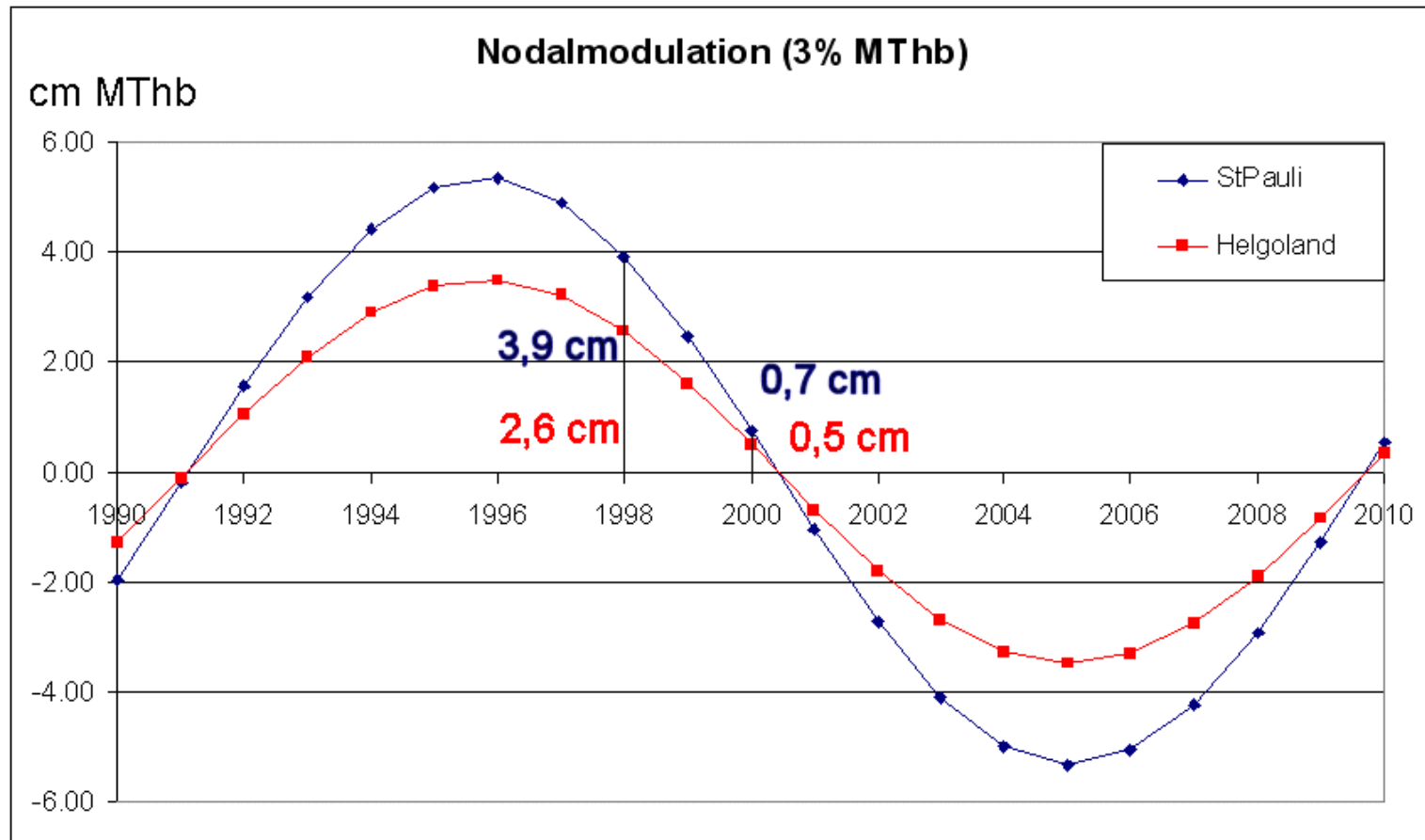


Datengrundlage sind Scheitelwerte, die in langjährigen Reihen vorliegen.

Minutenwerte, wie sie vorher verwendet wurden stehen erst ab ca. 1998 zur Verfügung.



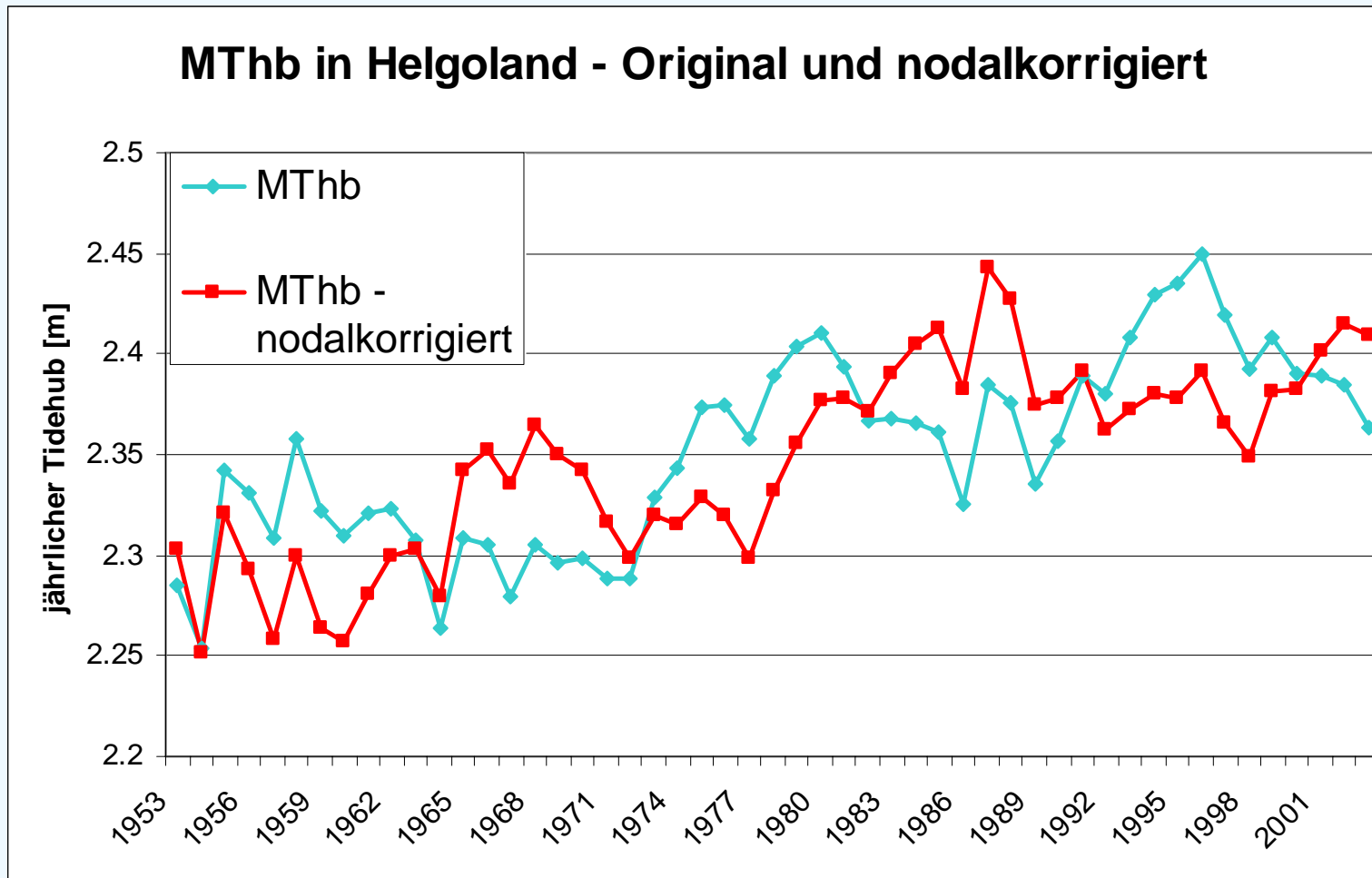
Nodaltidenkorrektur



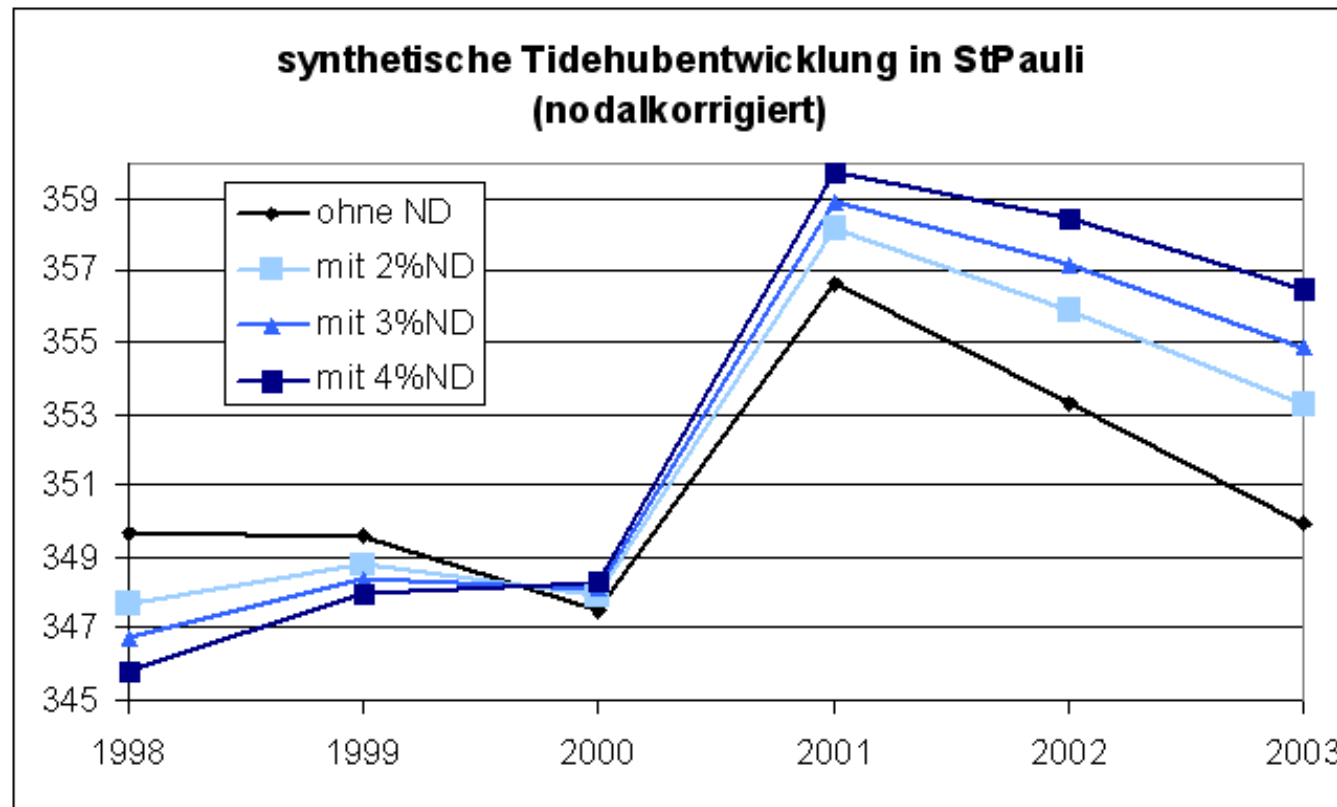
Die Modulation des Tidehubs wird mit der Nodalfunktion entzerrt, so daß das Niveau konstant ist und die Werte vergleichbar werden.



Nodalkorrektur in Helgoland



Nodaltidenkorrektur - StPauli



Mittlerer Tidehub in StPauli: 360 cm

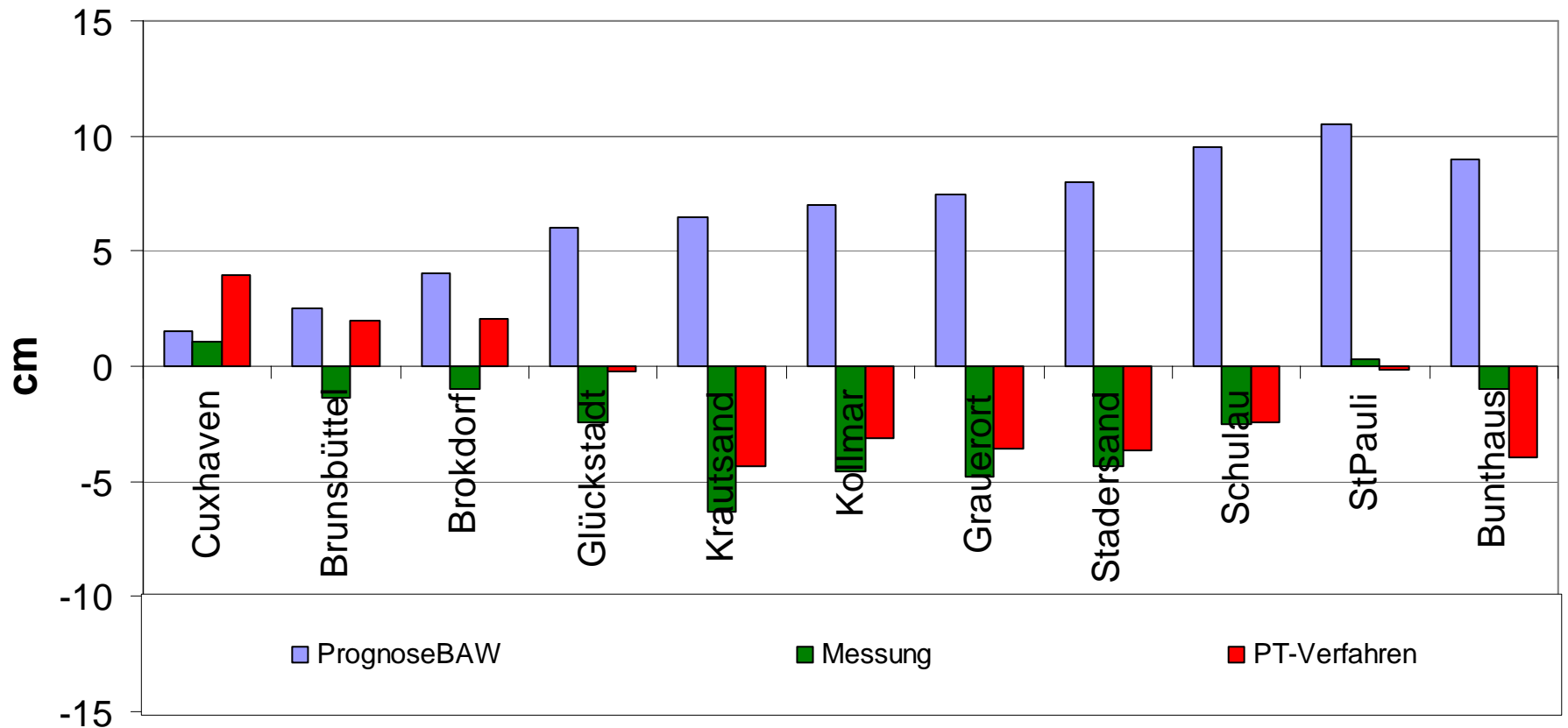
2% entsprechen etwa 7 cm

3% entsprechen etwa 11 cm



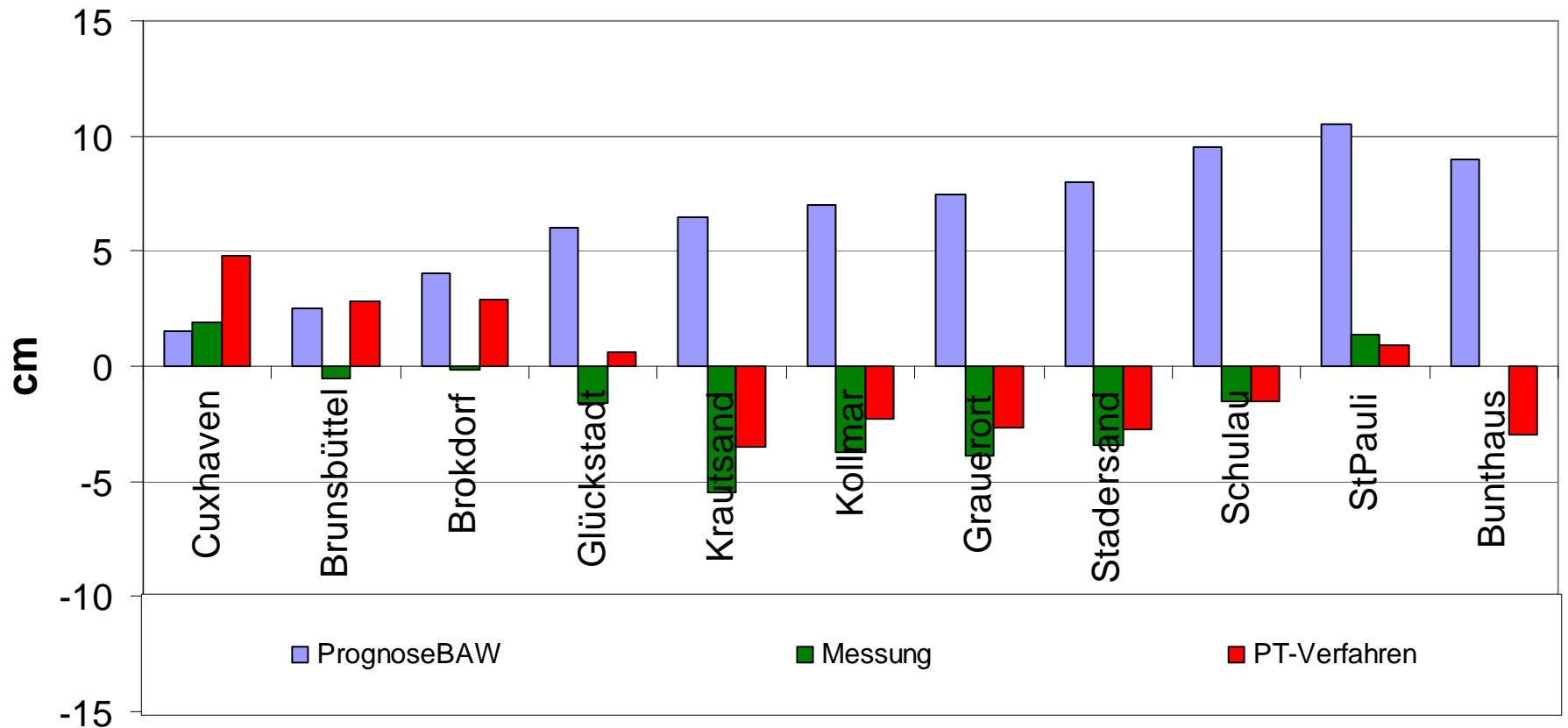
Nodaltidenkorrektur

MThb (2000-1998) - Nodalkorrektur 2%



Nodaltidenkorrektur

MThb (2000-1998) - Nodalkorrektur 3%



Zusammenfassung

- Aktuell befinden wir uns in einem Nodalminimum (2004/05/06)
Anschließend wird der Tidehub astronomisch bedingt wieder ansteigen!
- Die Amplitudenmodulation beträgt etwa 2-4 % des mittleren Tidehubs.
Eine genaue Einschätzung/Korrektur für jeden Pegel ist im Moment nicht möglich. Es können lediglich Schätzungen abgegeben werden.
- Das PT-Verfahren eliminiert einen Großteil des meteorologischen (stochastischen) Einflusses auf den Wasserstands. Man bekommt dadurch einen klareren Blick auf die Entwicklung des Wasserstands.
- Längere Zeitreihen wären von großem Wert, um Erfahrungen über Schwankungen der Partialtiden zu gewinnen.

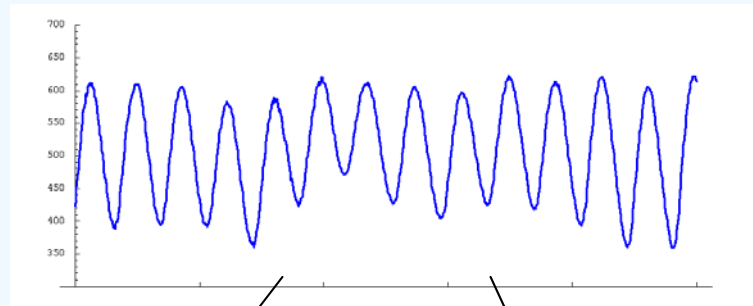


Mittelwasser

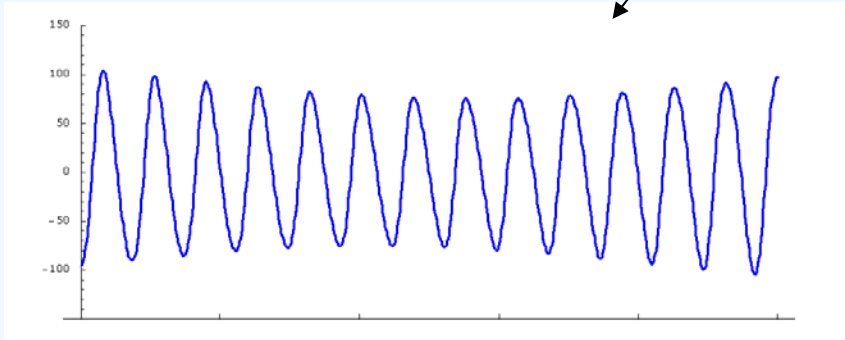


Aufbau des Tidesignals

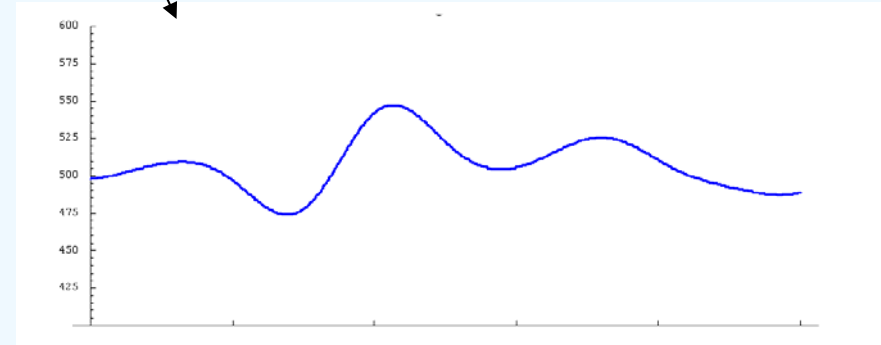
Meßsignal



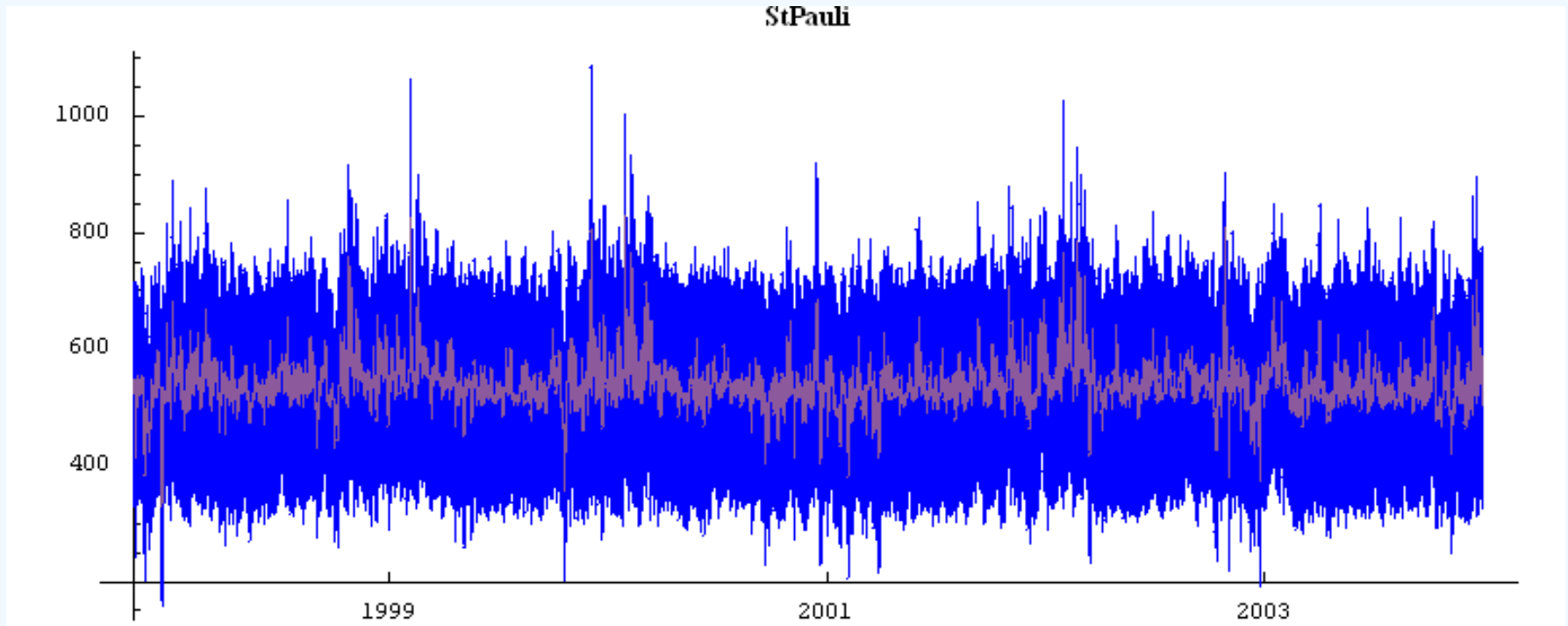
Tide



Mittelwasser



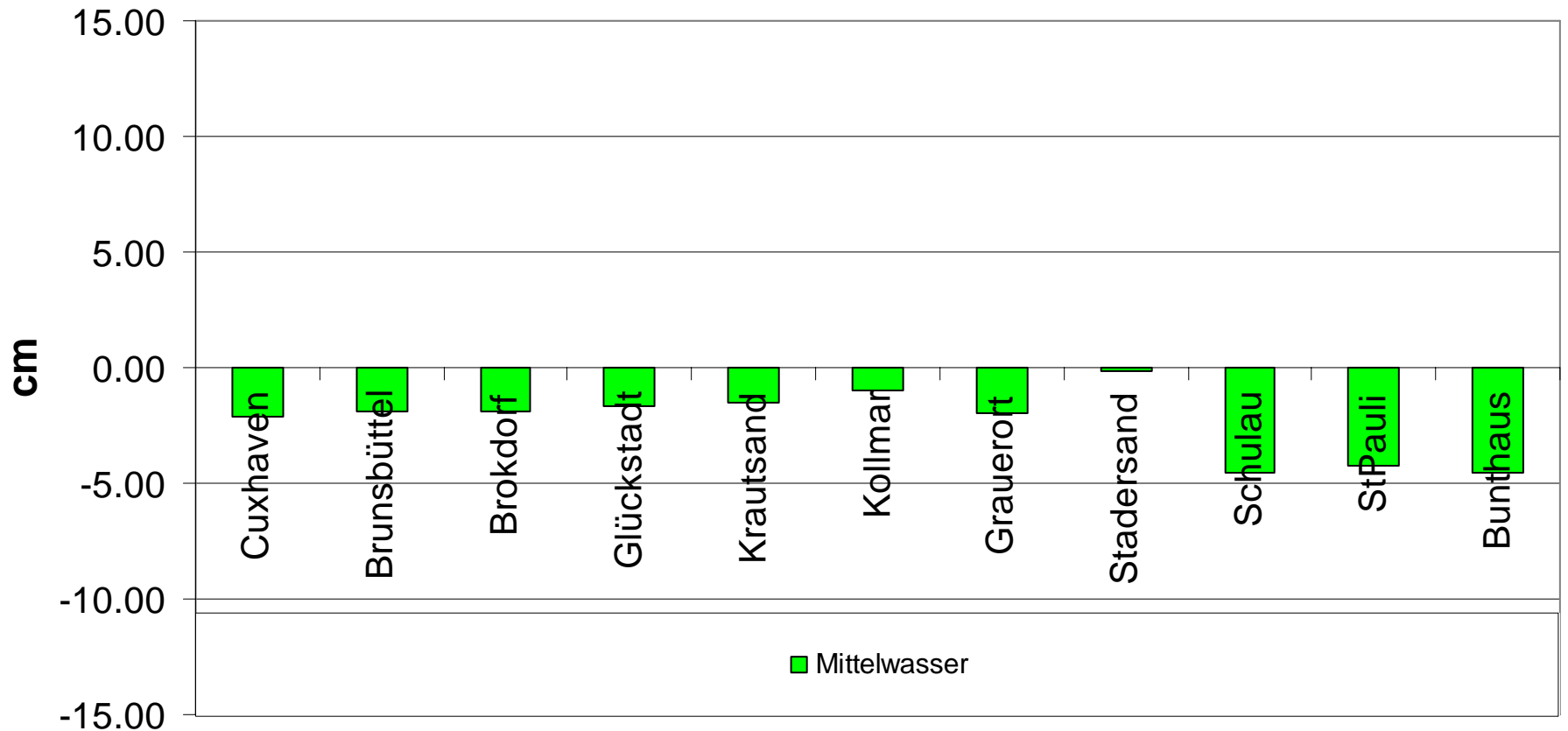
Meßsignal und Mittelwasser



Mittelwasser

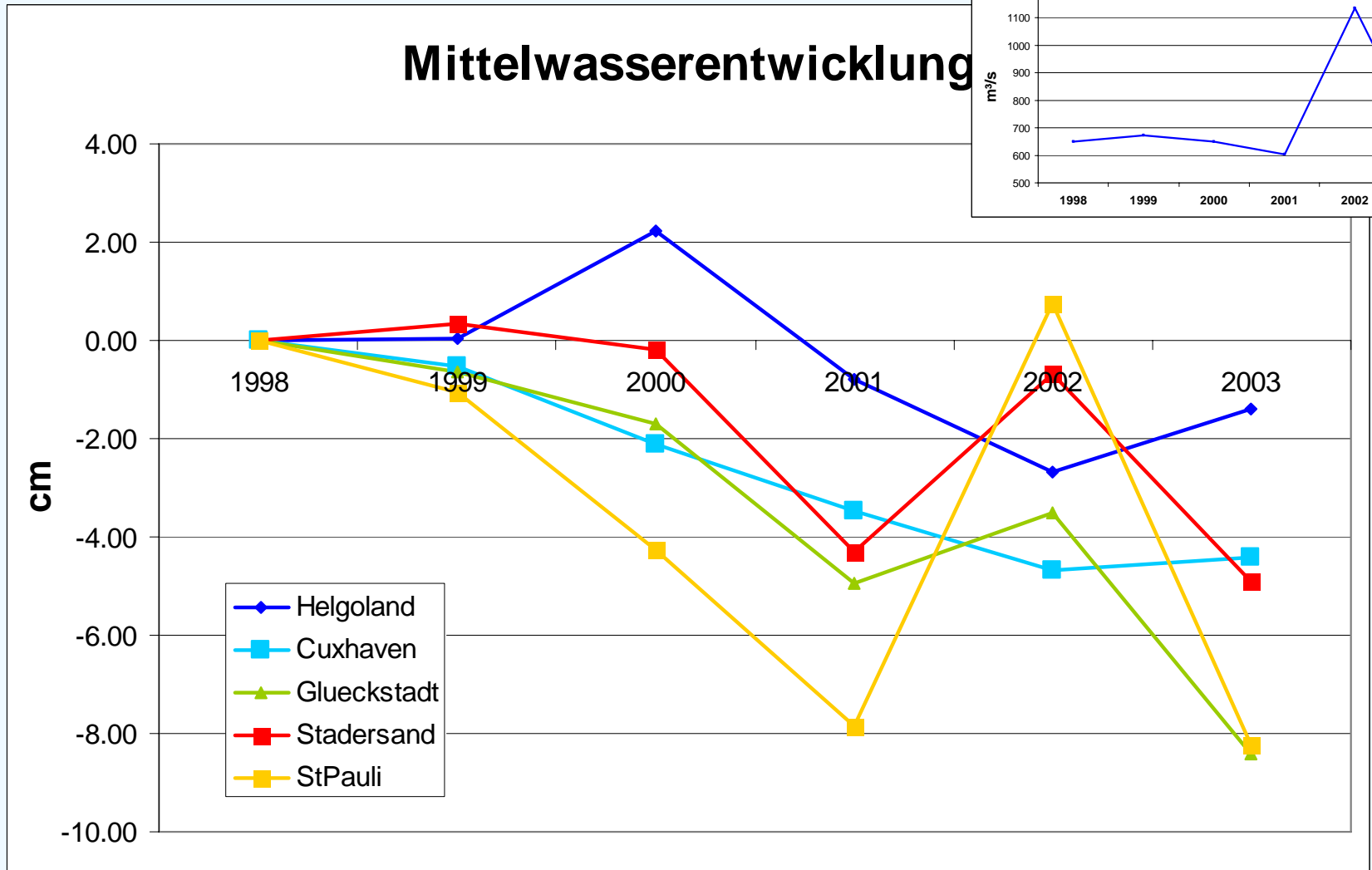
Änderungen von 1998 bis 2000

Mittelwasser (2000-1998)

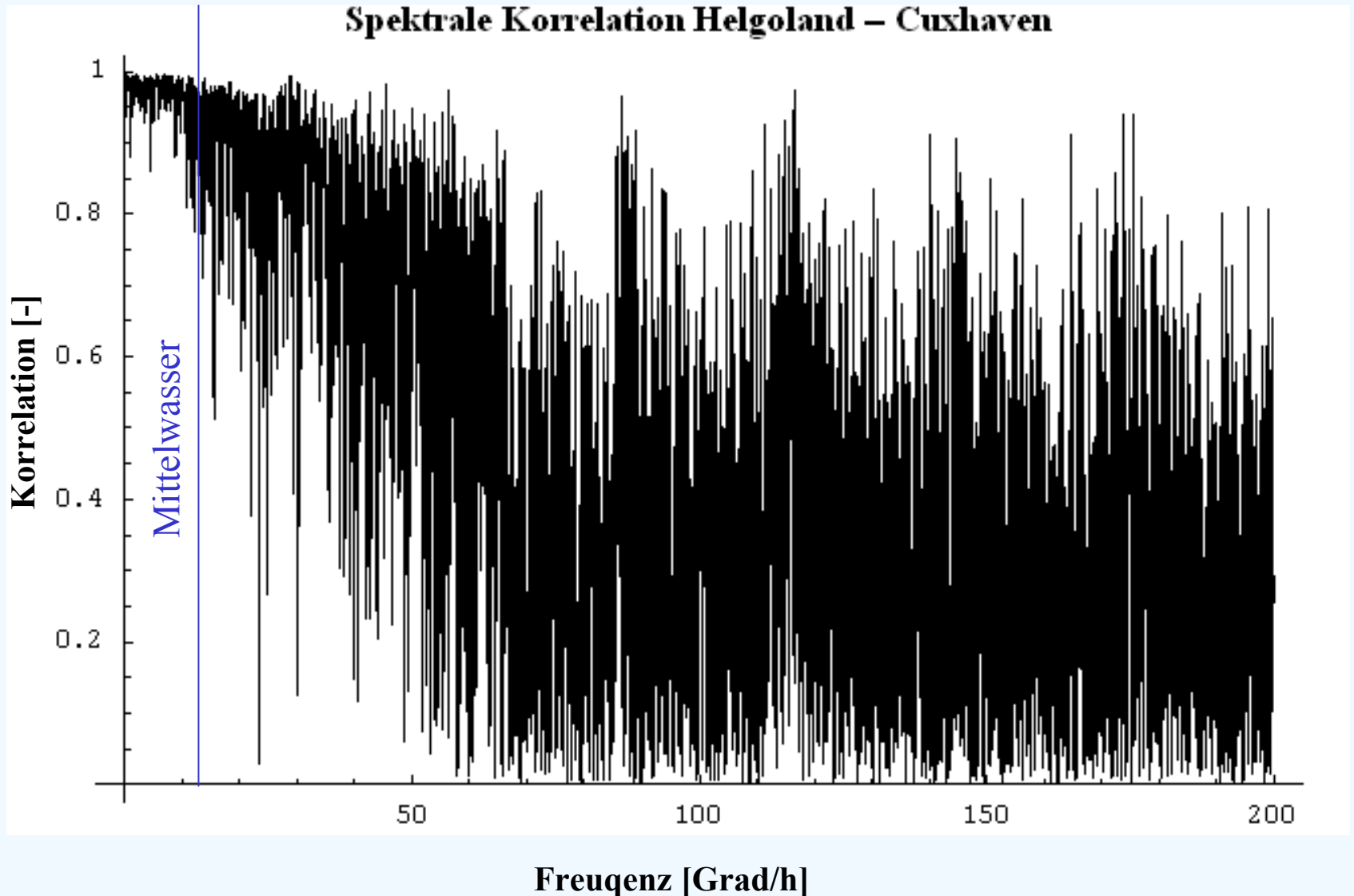


Mittelwasser

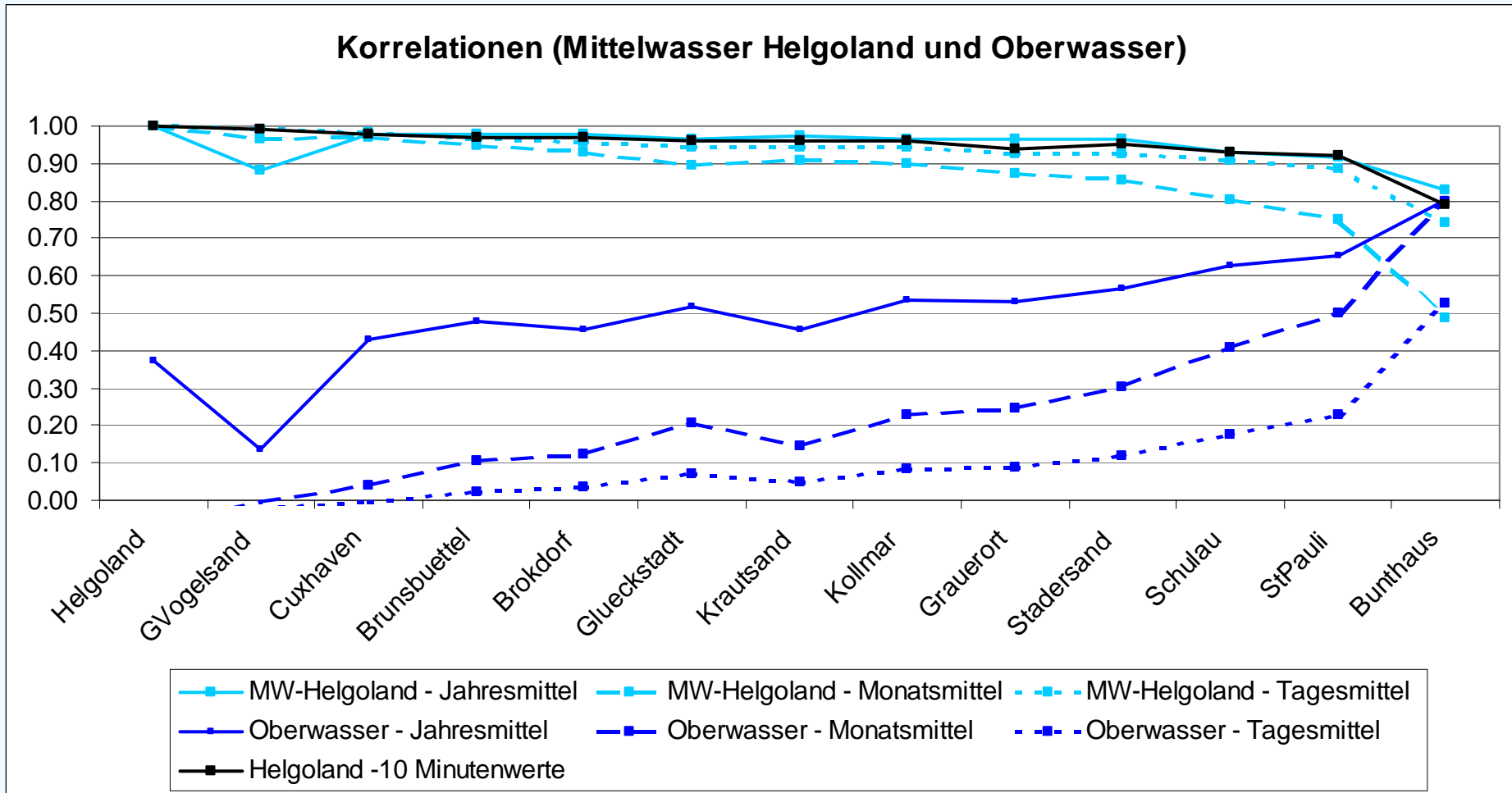
Mittelwasserentwicklung



Spektrale Gemeinsamkeiten

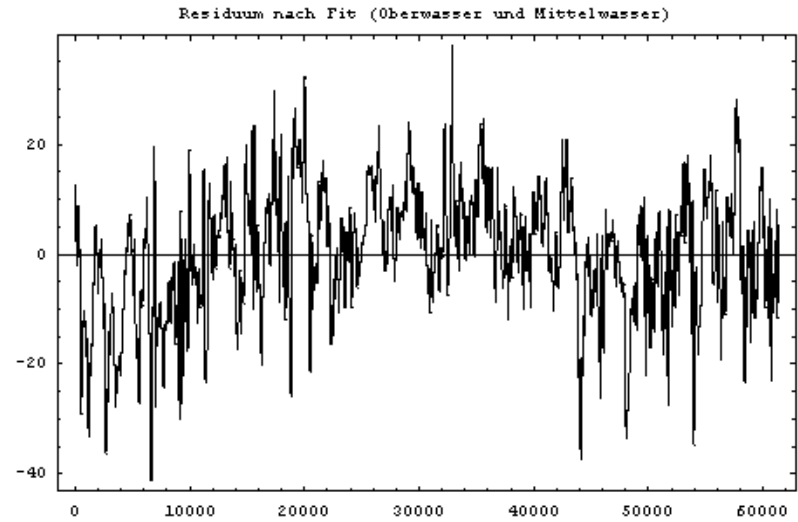
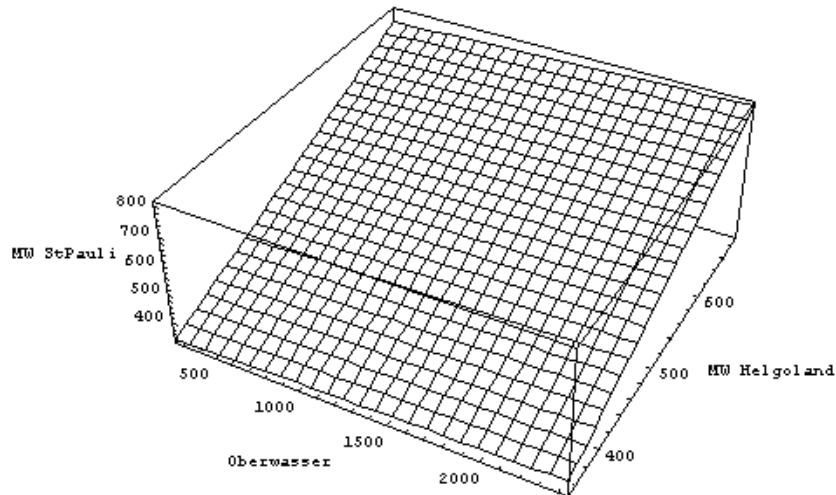
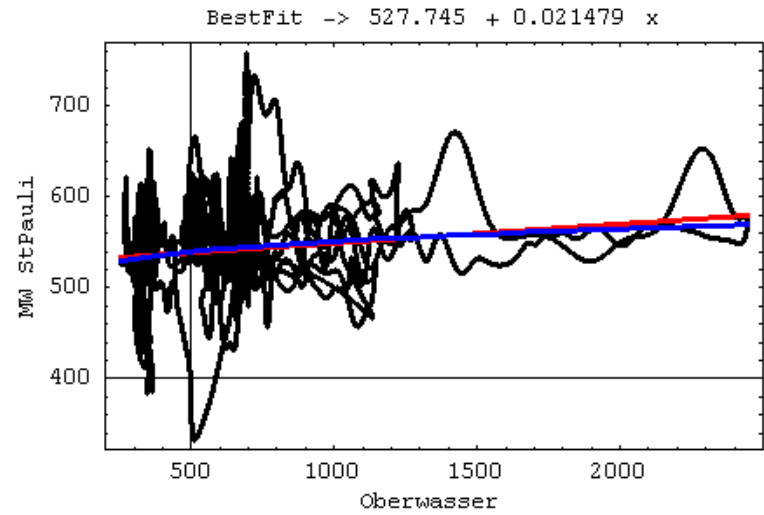
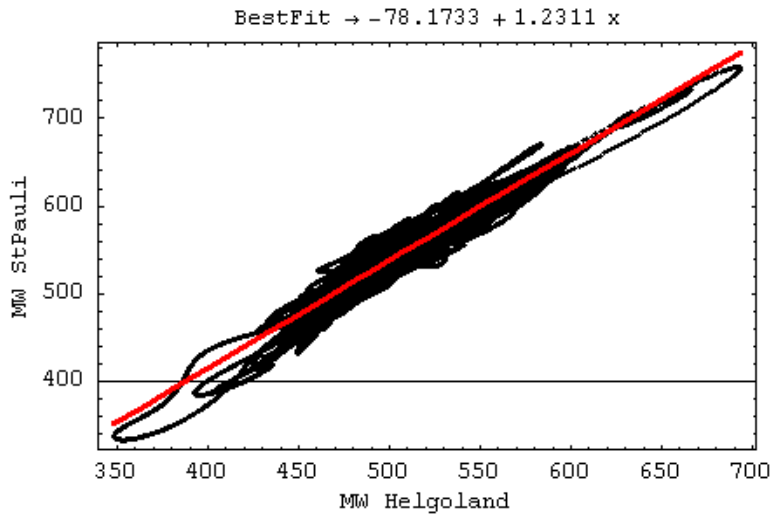


Mittelwasser-Korrelationen

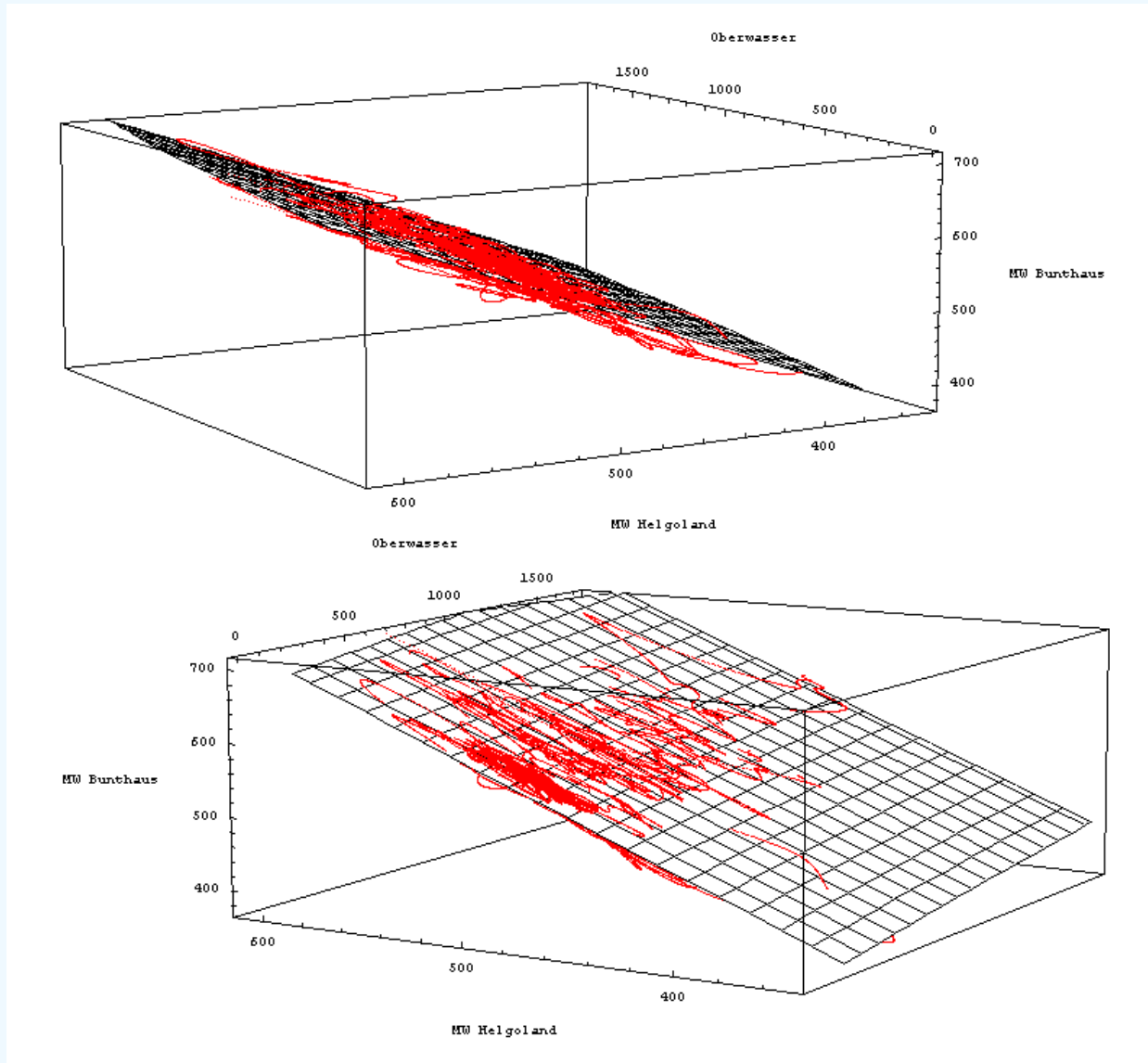


Mittelwasserberechnung

(linearer Fit: rot; nichtlinearer Fit: blau)



Mittelwasserberechnung



**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit!**

**Dank an alle
Datenaufnehmer/Bereitsteller!!!**



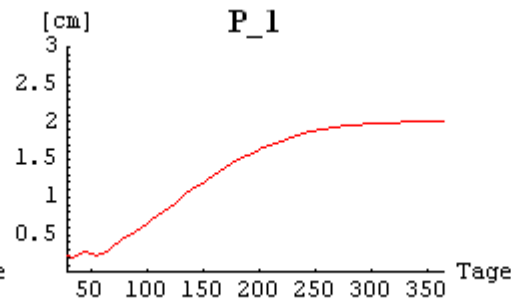
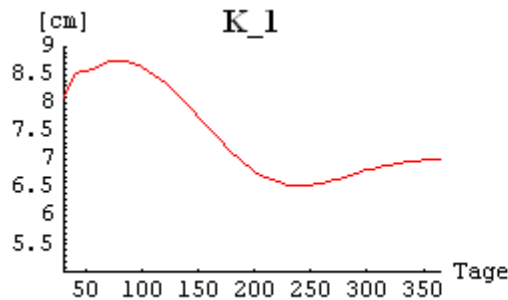
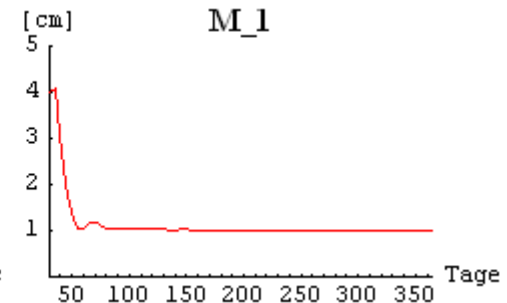
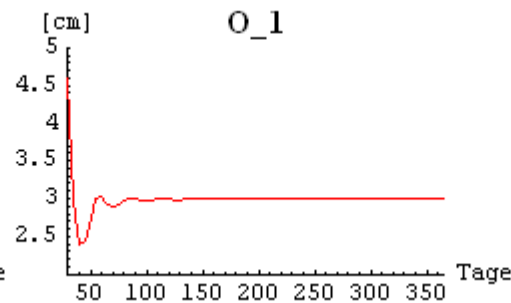
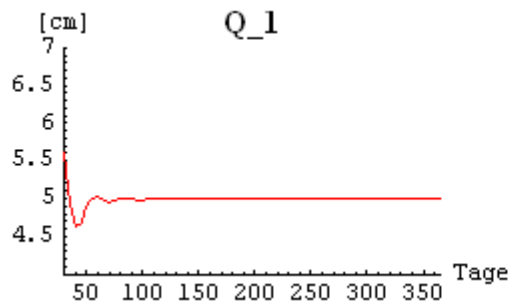
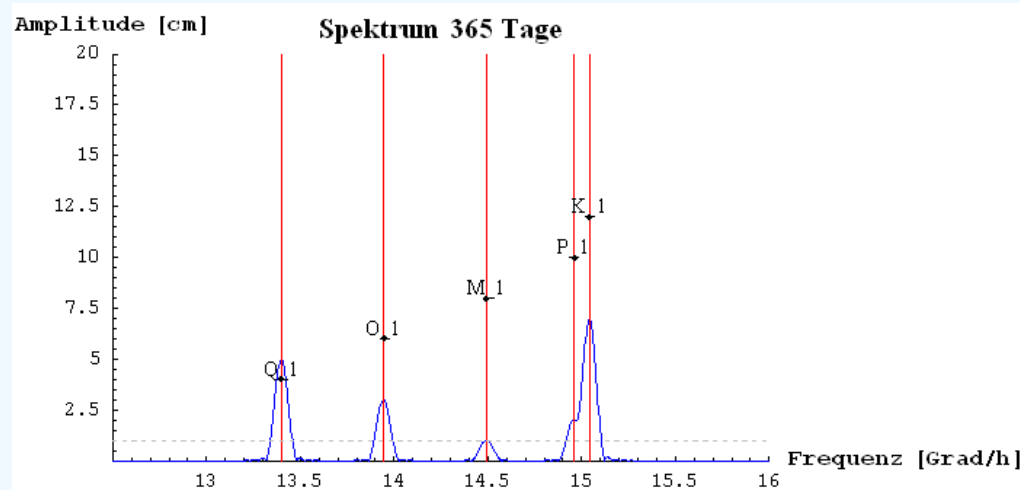
Anhang / Extras



Konvergenz



Konvergenz in der Analyse



Analysezeitraum:

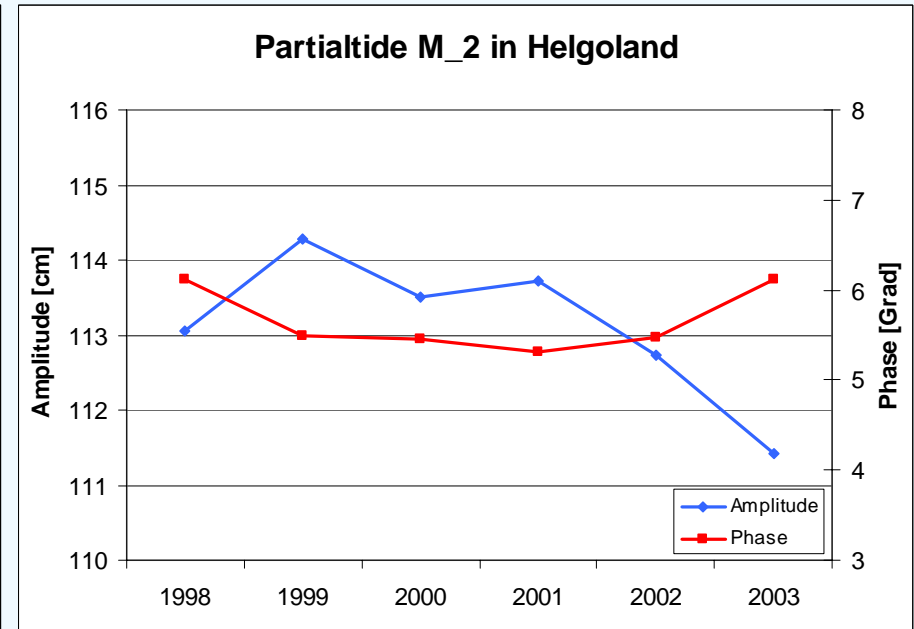
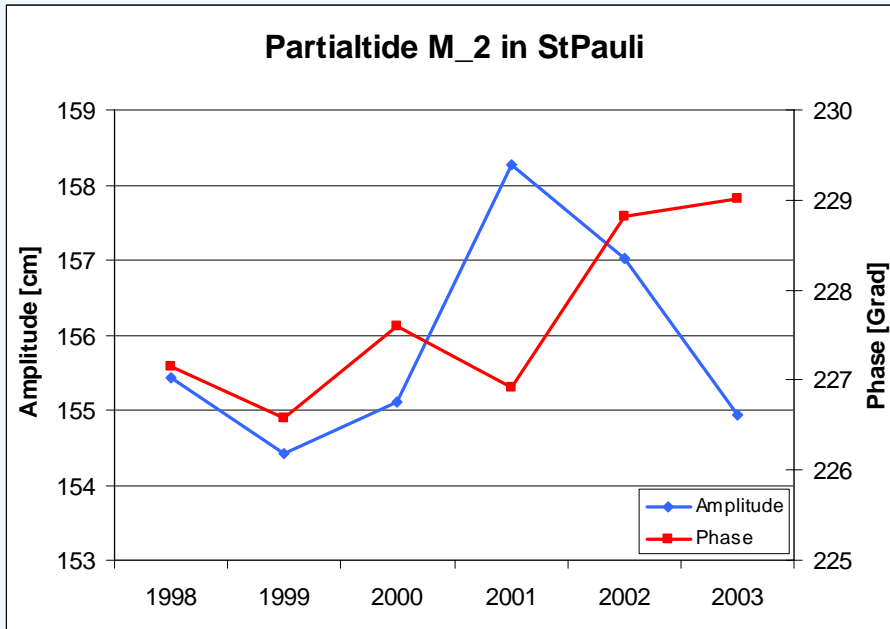
1 Jahr



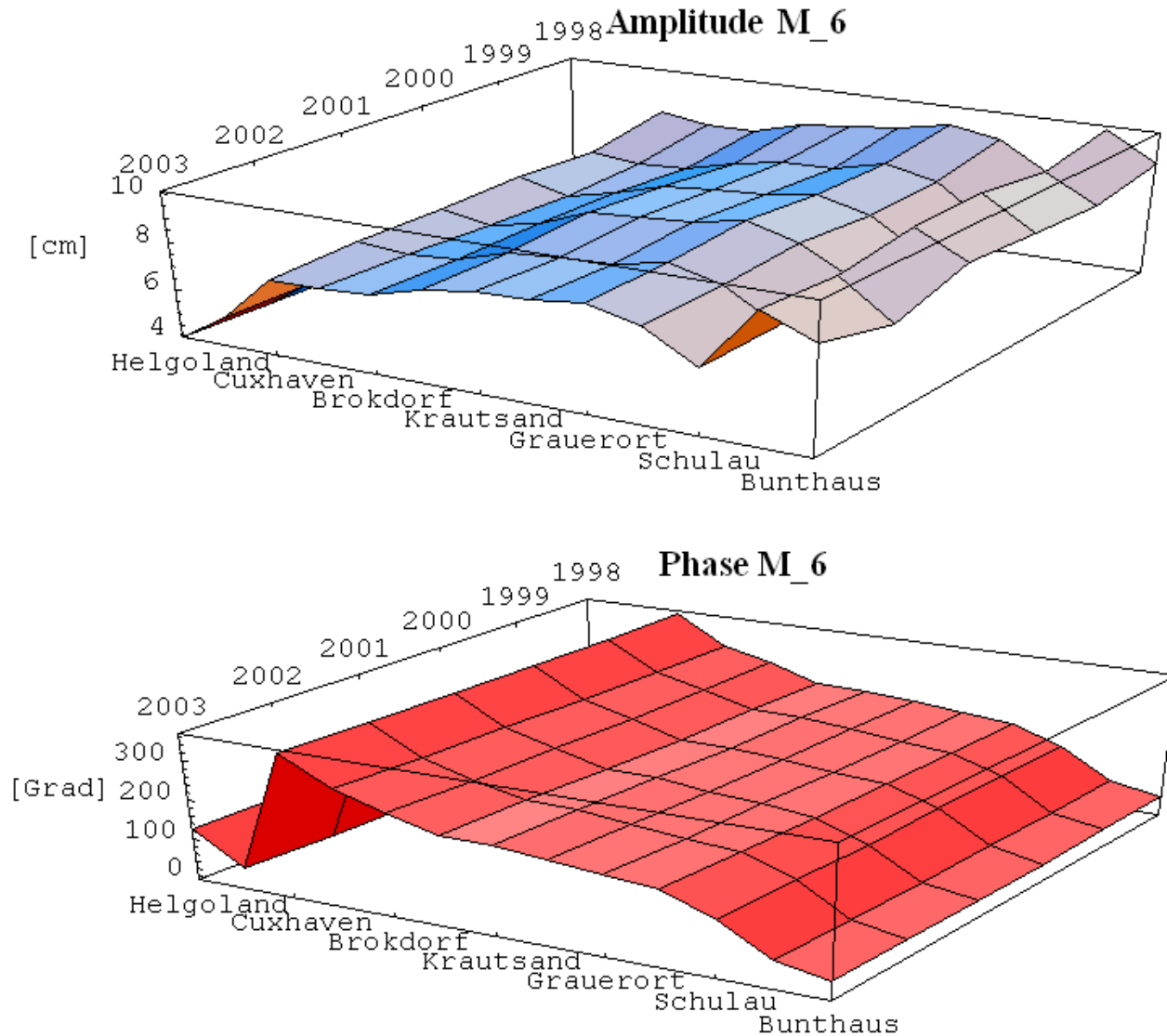
Amplitude / Phase



zeitlich aufgelöste Partialtiden



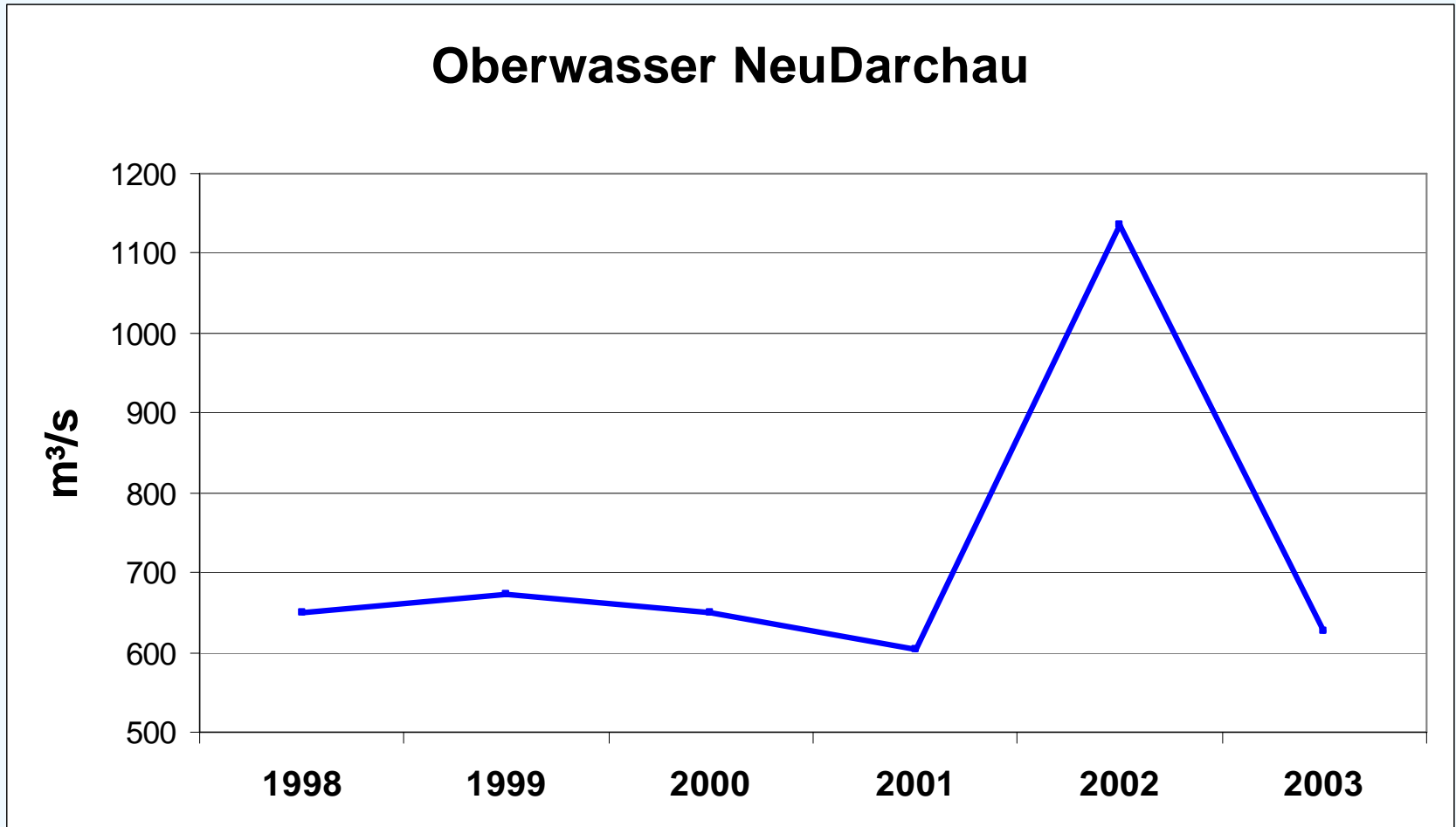
zeitlich und räumlich aufgelöste Partialtiden



Oberwasser



Oberwasser



Oberwasser

