

AMSeL - Analyse von hochaufgelösten Tidewasserständen und Ermittlung des MSL an der deutschen Nordseeküste

Torsten Frank, Jürgen Jensen und Thomas Wahl

Untersuchungen zu Tideketten und Verweildauern



- Einführung
- Motivation
- Verweilzeitenuntersuchungen
 - Mittlere Tide
 - Verweilzeiten
 - Trenduntersuchungen
 - Sturmtidenkollektiv
- Tideketten
 - Tnw- und Thw-Folgen
 - Relative Häufigkeiten
 - Trenduntersuchungen

- ➔ Übergang vom MSL als Ruhewasserspiegel bzw. als Basis für alle weiteren Betrachtungen ...

$$X(t) = Z_o(t) + T(t) + S(t)$$

Repräsentation des beobachteten Wasserstands $X(t)$ zur Zeit t

mit $Z_o(t) = \text{MSL}$

$T(t) = \text{Astronomischer Anteil}$

$S(t) = \text{meteorologische Stau-Komponente}$

- ➔ ... zur Betrachtung des Verhaltens des Wasserstands bzw. der Bandbreite der Wasserstandsänderungen innerhalb einer und über mehrere Tiden hinweg

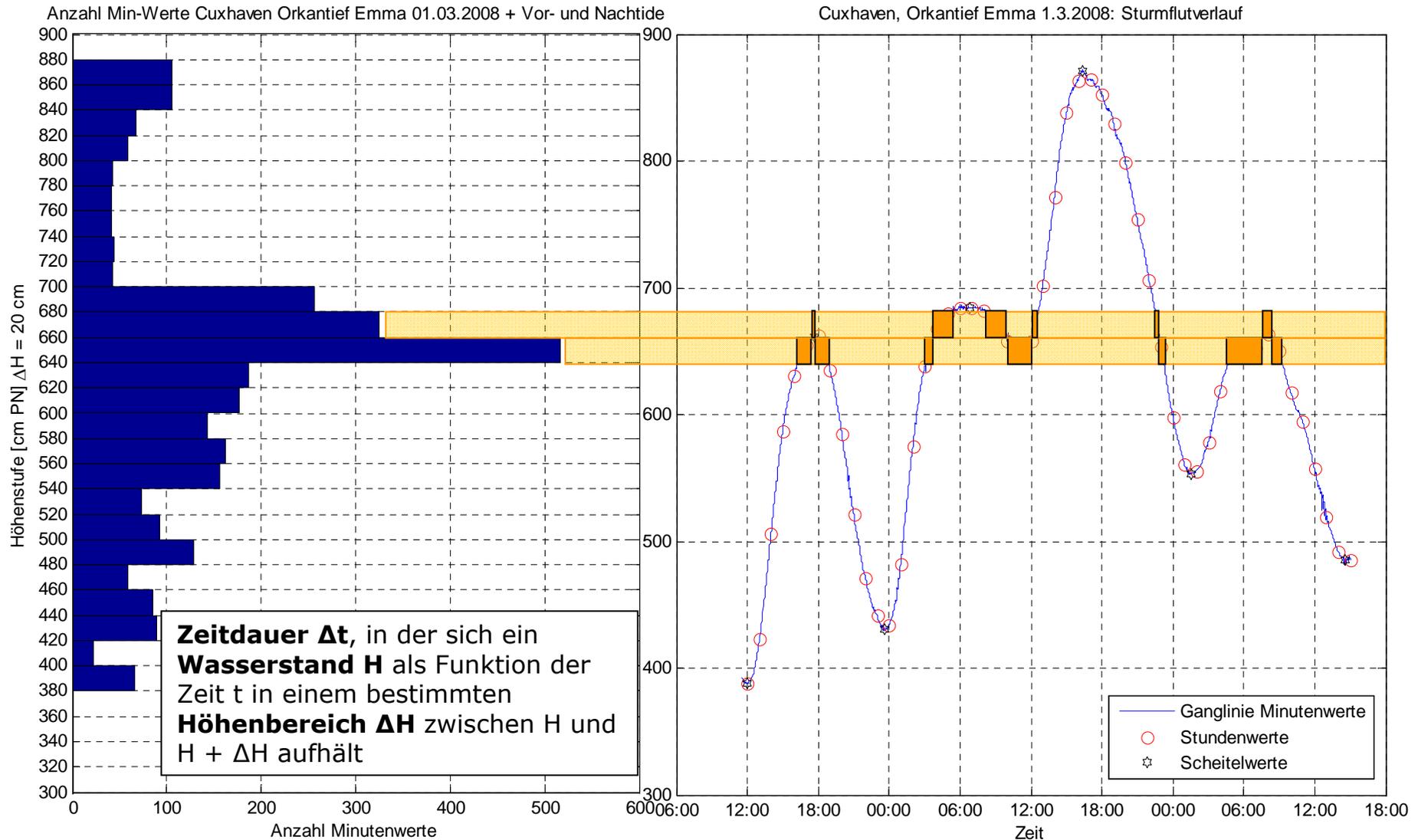
in Form von Verweilzeiten und Tideketten

kombinierte Bewegründe:

- ➔ Einteilung der Schwere einer Sturmflut
- ➔ Belastung auf Küsten, Strände, Deckwerke, Deiche etc.
- ➔ Exposition von Watt und Vegetation
- ➔ Be- oder Verhinderung der Binnenentwässerung

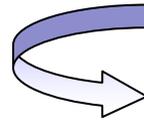
Beschreibung möglich durch:

- ➔ Scheitelwasserstand
- ➔ Überschreitungsdauer eines Wasserstandes bzw. Emersionskurve
- ➔ Verweilzeiten
- ➔ Tideketten / Thw-Folgen / Tnw-Folgen



Auswerteziträume:

- ➔ einzelne Sturmfluten
 - Kollektive von Sturmfluttiden
- ➔ Kalenderjahre
- ➔ Winter- / Sommerhalbjahr



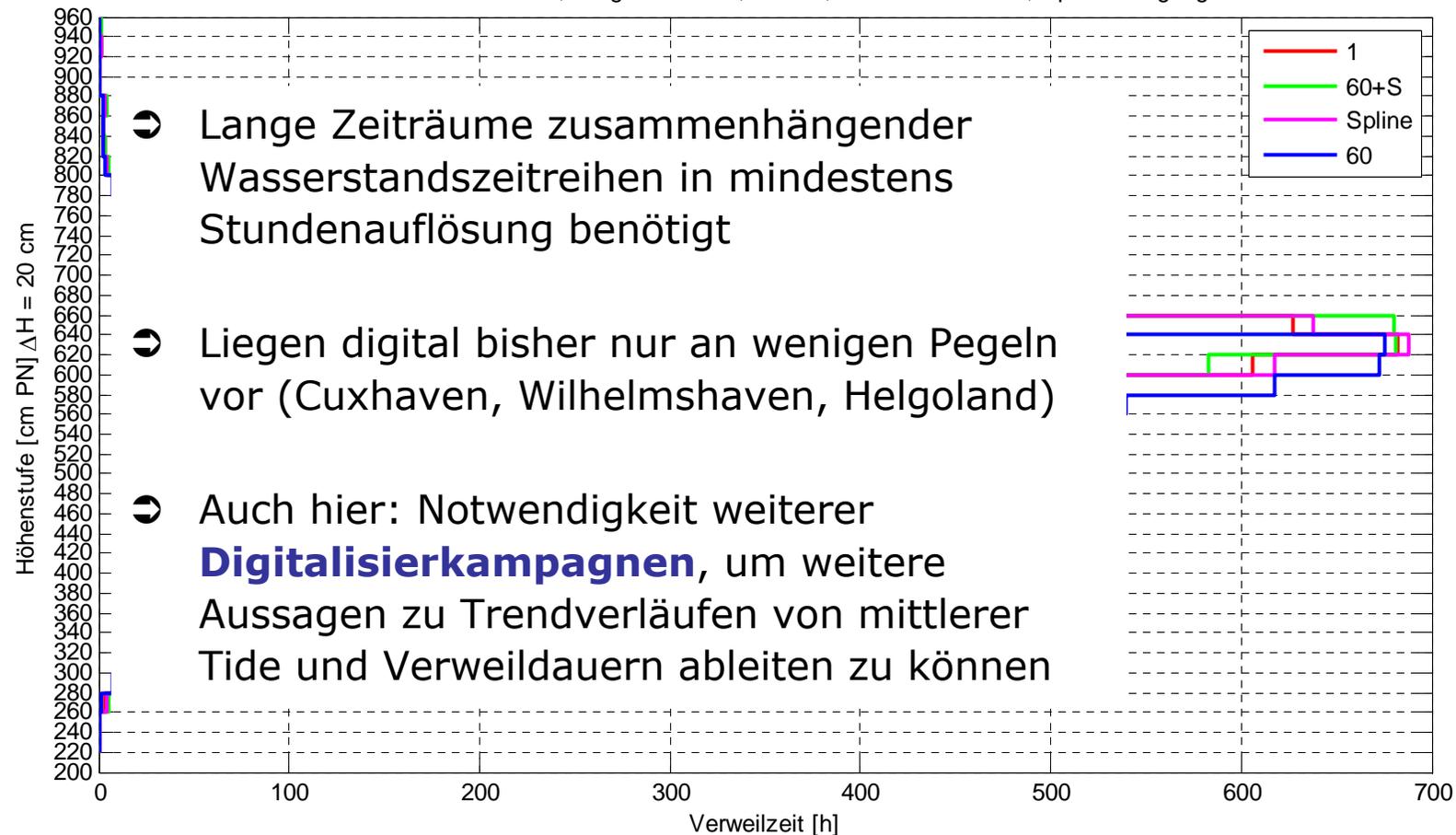
*Etwa 500 hochaufgelöste
Extremereignisse aus
XtremRisk*

Datengrundlage

- ➔ Verlauf der Tidekurve muss ausreichend aufgelöst sein
 - ➔ ~~Scheitel~~
 - ➔ Stundenwerte
 - ➔ Stundenwerte, kombiniert mit Scheitelwerten
 - ➔ Minutenwerte

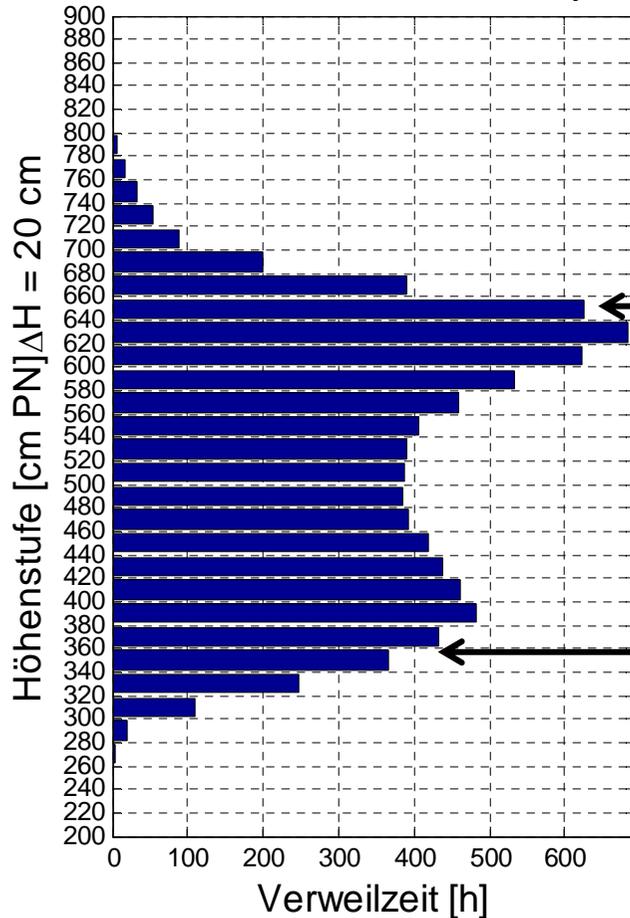
Datengrundlage:

Verweilzeiten Cuxhaven 2007, Vergleich 1 min, 60 min, 60 min + Scheitel, Spline Ausgangswerte

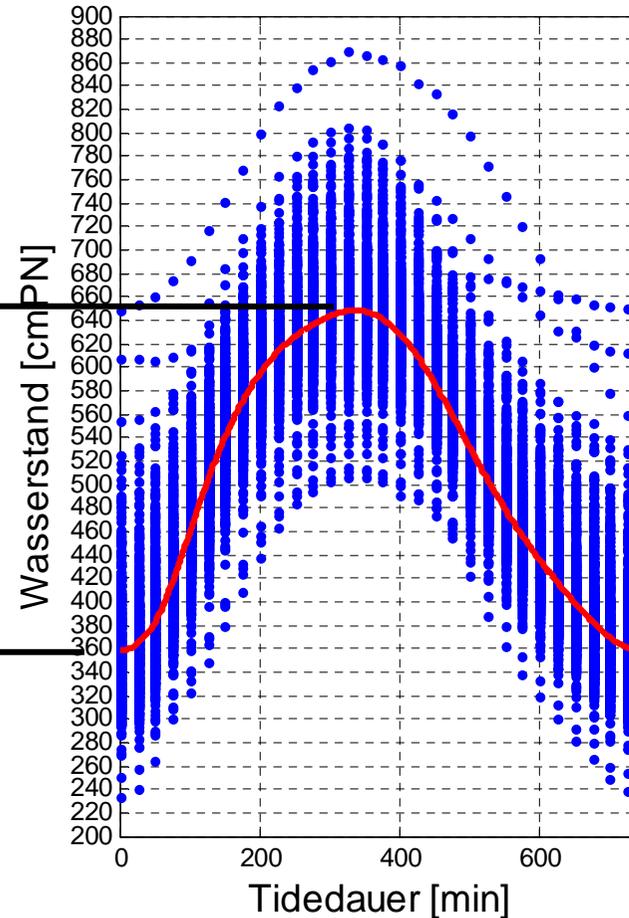


Basisauswertung

Verweilzeiten Cuxhaven Kalenderjahr 2008

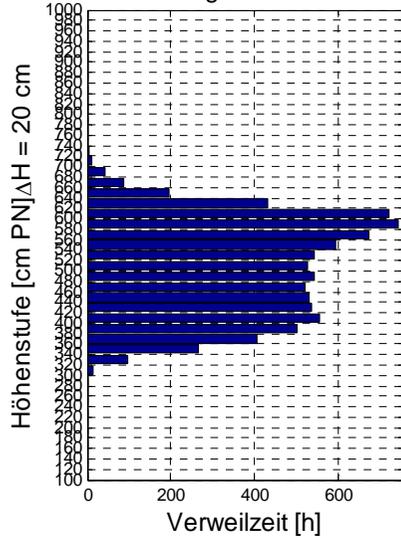


Mittlere Tidekurve Cuxhaven 2008

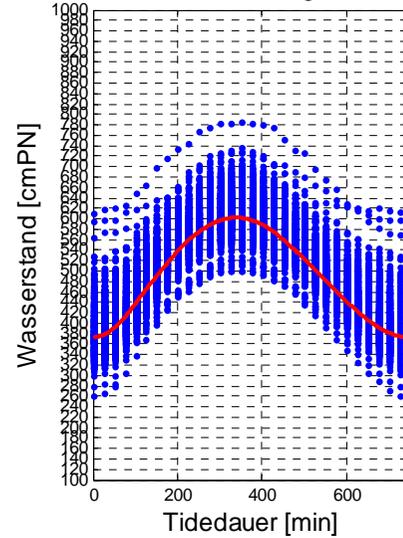


- ➔ Minutenwerte (direkt vorliegend oder aus Splines)
- ➔ Aufteilung aller Werte auf Flut- und Ebbäste, Erzeugung Mittlere Tidekurve
- ➔ Zusammenfassung aller Werte zu Verweilzeiten entsprechend Höhenstufen
- ➔ Für alle Pegel, für verschiedene Gesamt- und Teil-Zeiträume

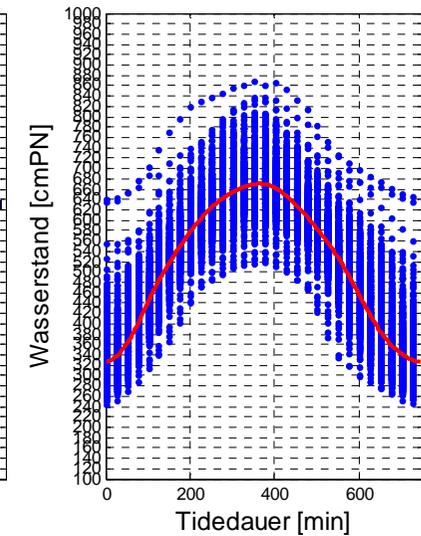
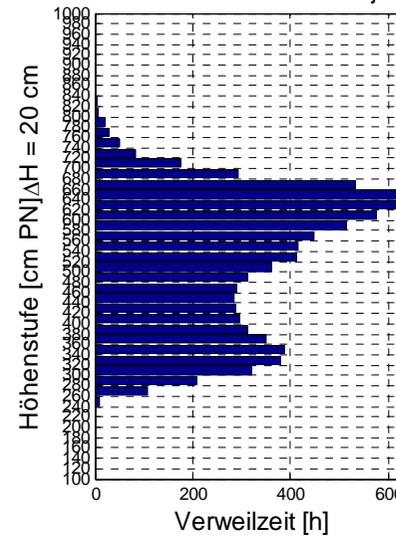
Verweilzeiten Helgoland Kal.Jahr 2008



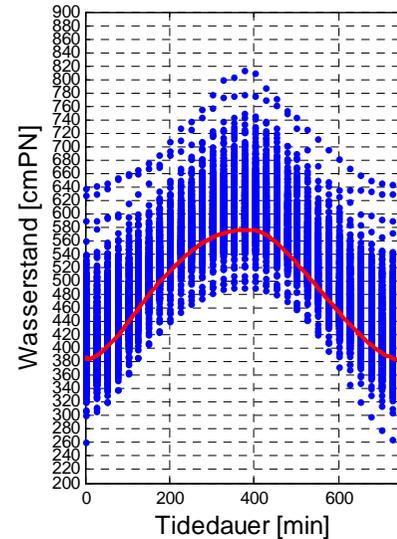
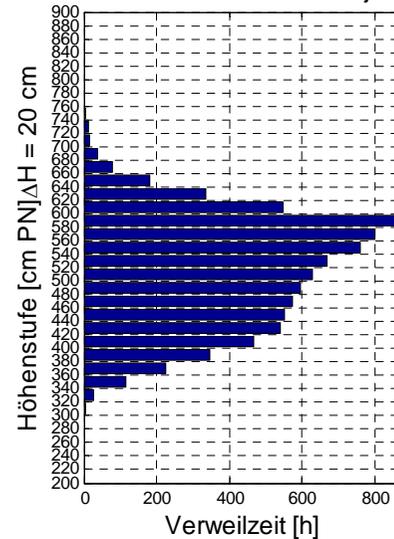
Mittlere Tidekurve Helgoland 2008



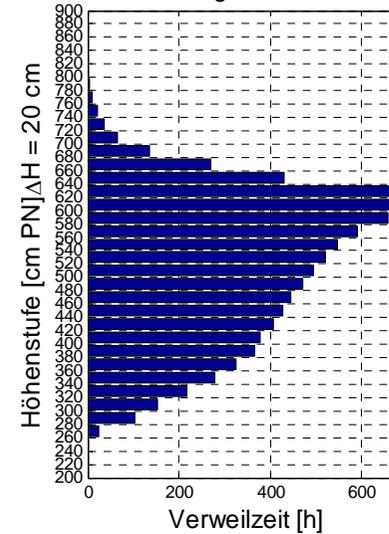
Verweilzeiten Husum Kalenderjahr 2008 Mittlere Tidekurve Husum 2008



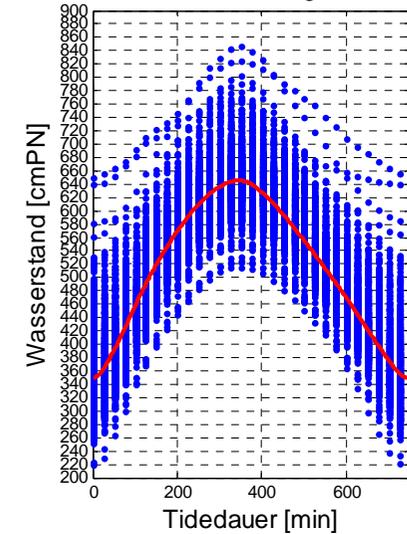
Verweilzeiten Hörnum Kalenderjahr 2008 Mean Tide Curve Hörnum 2008



Verweilzeiten Dagebüll Kal.Jahr 2008

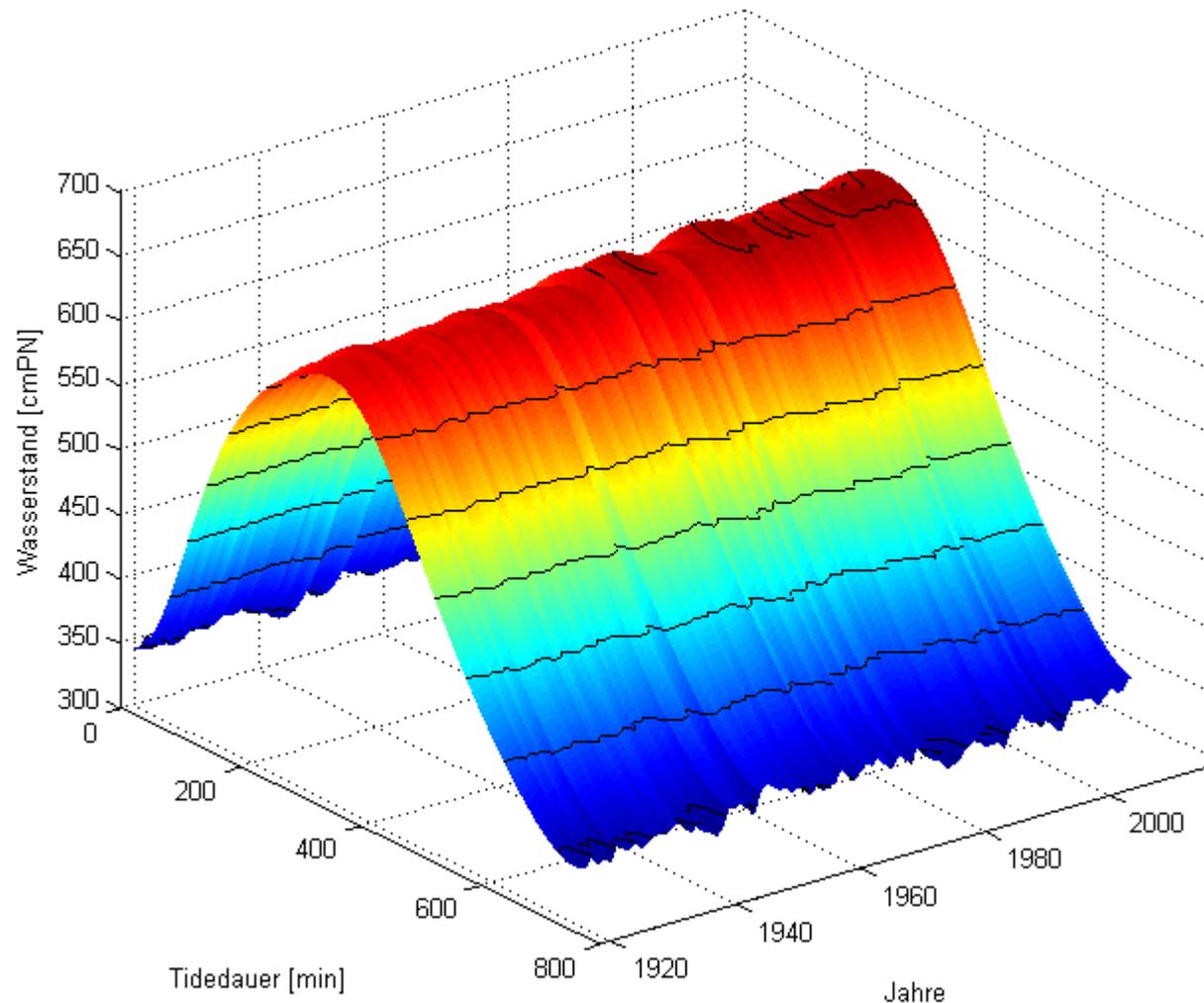


Mittlere Tidekurve Dagebüll 2008



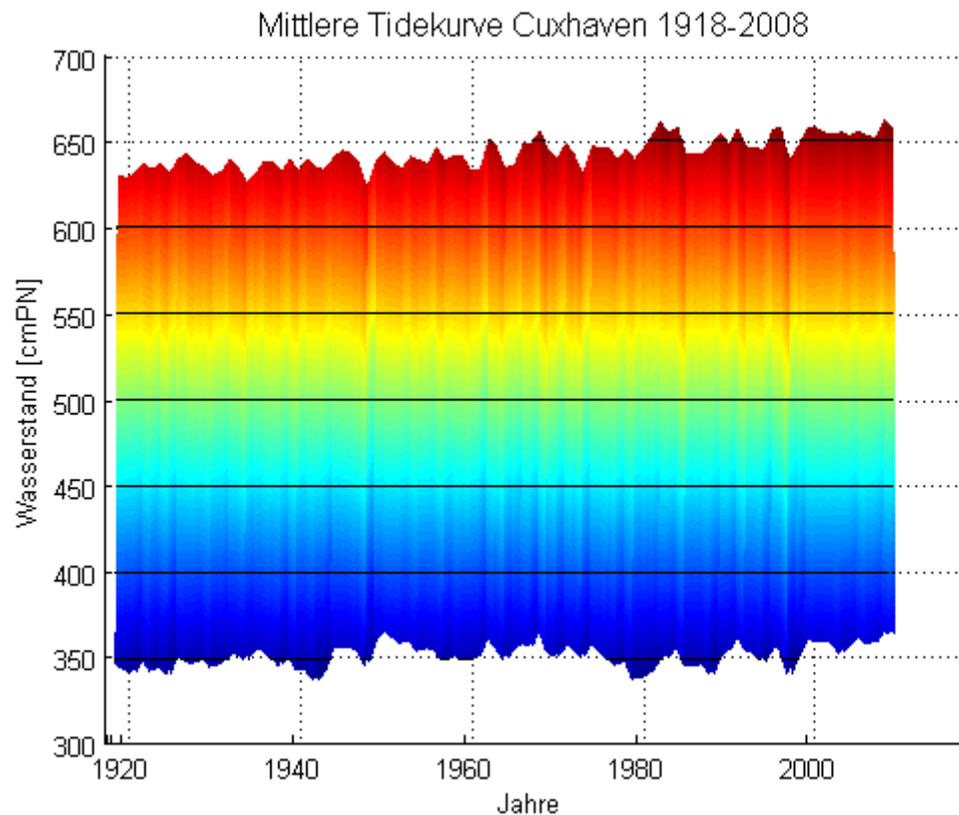
Mittlerer Tideverlauf Cuxhaven, 1918-2008

Mittlere Tidekurve Cuxhaven 1918-2008



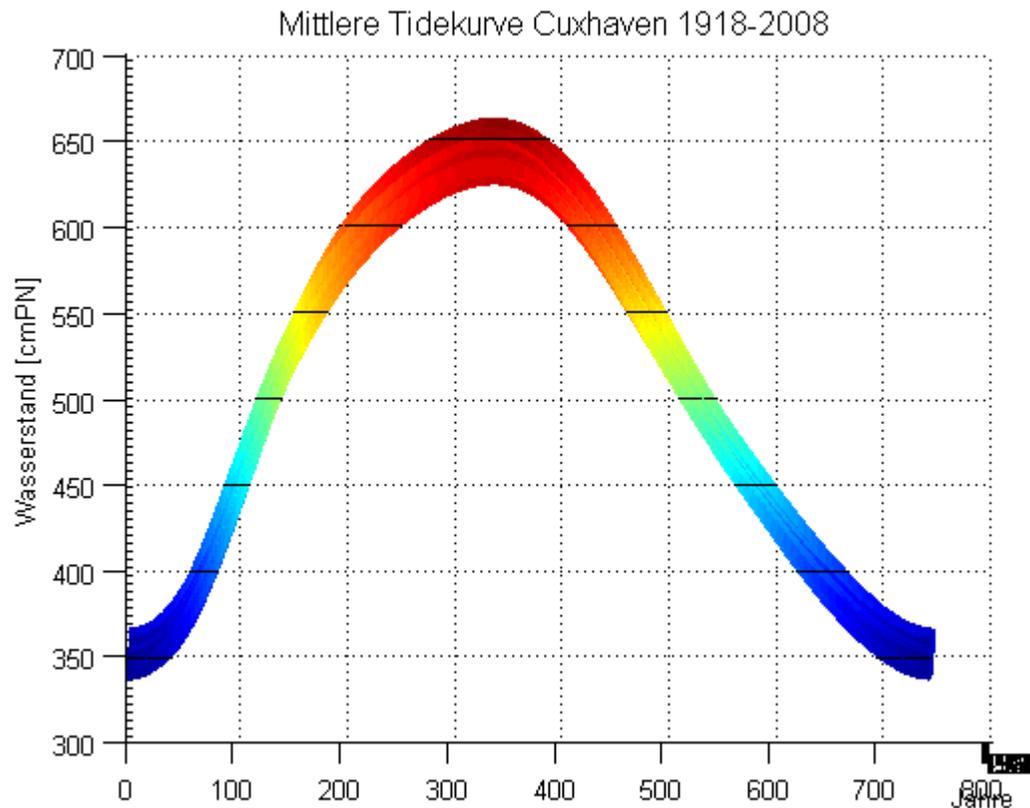
- ➔ Ergebnisse für die einzige, langjährig durchlaufend verfügbare Reihe von Stundenwerten: Cuxhaven
- ➔ Durchlaufende Kurvenfläche aller mittleren Jahrestiden
- ➔ Anhand Konturlinien schon in der Iso-Perspektive ansteigender Trend der Thw-Scheitel erkennbar

Mittlerer Tideverlauf Cuxhaven, 1918-2008



- ➔ Ansicht von der Seite zeigt sowohl Verlauf der MThw- als auch der MTnw-Scheitel

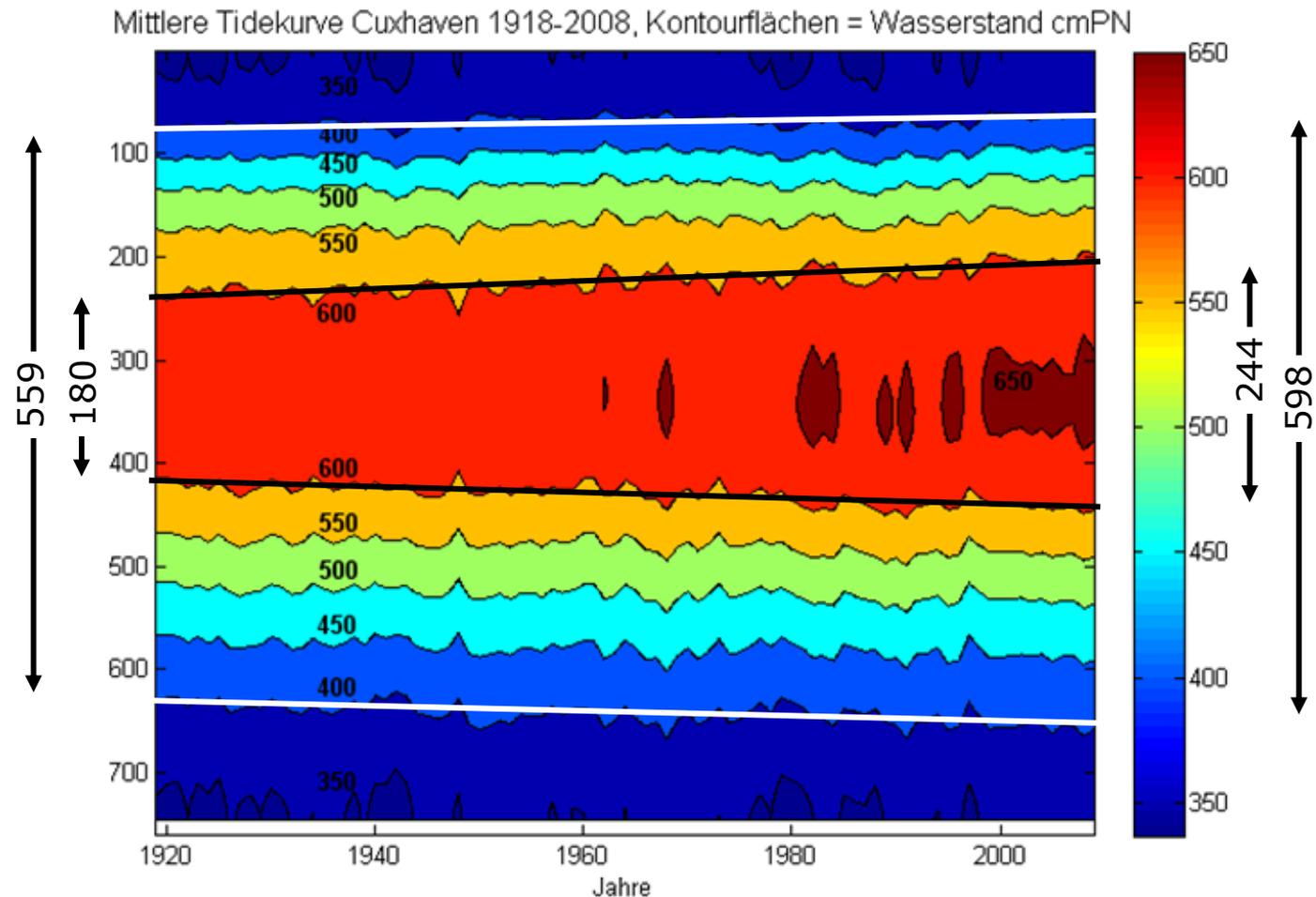
Mittlerer Tideverlauf Cuxhaven, 1918-2008



- Ansicht von der „Stirnseite“ zeigt Umhüllende aller mittleren Jahrestiden
- innere Kontur, tiefere, etwas gedrungene Tide: Anfang der Zeitreihe
- äußere Kontur, höhere, etwas steiler auflaufende Tide: Ende der Zeitreihe

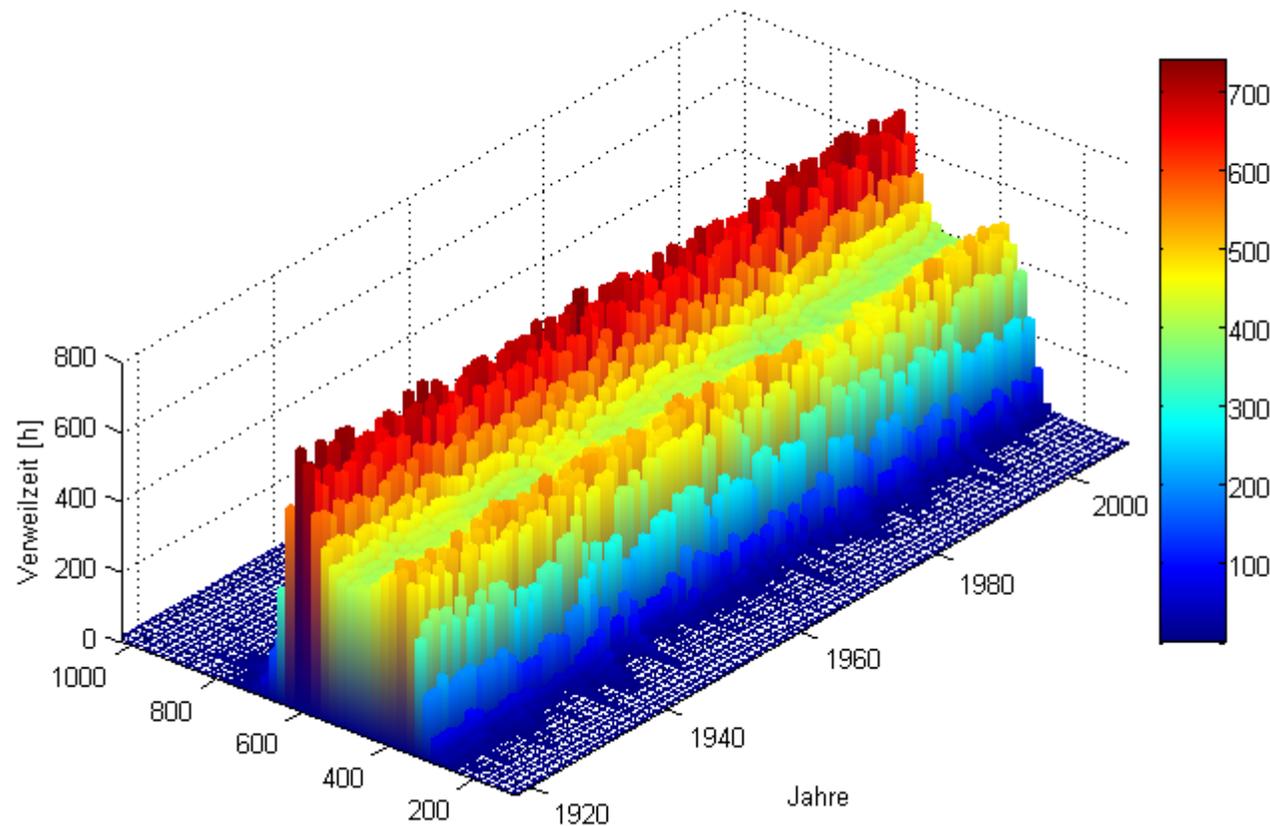
Mittlerer Tideverlauf Cuxhaven, 1918-2008

- ➔ Aufsicht von oben
in Form von
Konturflächen
- ➔ Verlauf der
Konturlinien
spiegelt Anstieg
der mittleren
Wasserstände und
Änderung der
Form der mittleren
Tide wieder
- ➔ Auskunft über
Zunahme mittlerer
Wasserstands-
dauern oberhalb
verschiedener
Niveaus
→ Vorflutsituation
→ Seegangsangriff



Verweilzeiten Cuxhaven, 1918-2008

Verweilzeiten Cuxhaven, Kalenderjahre 1918-2008

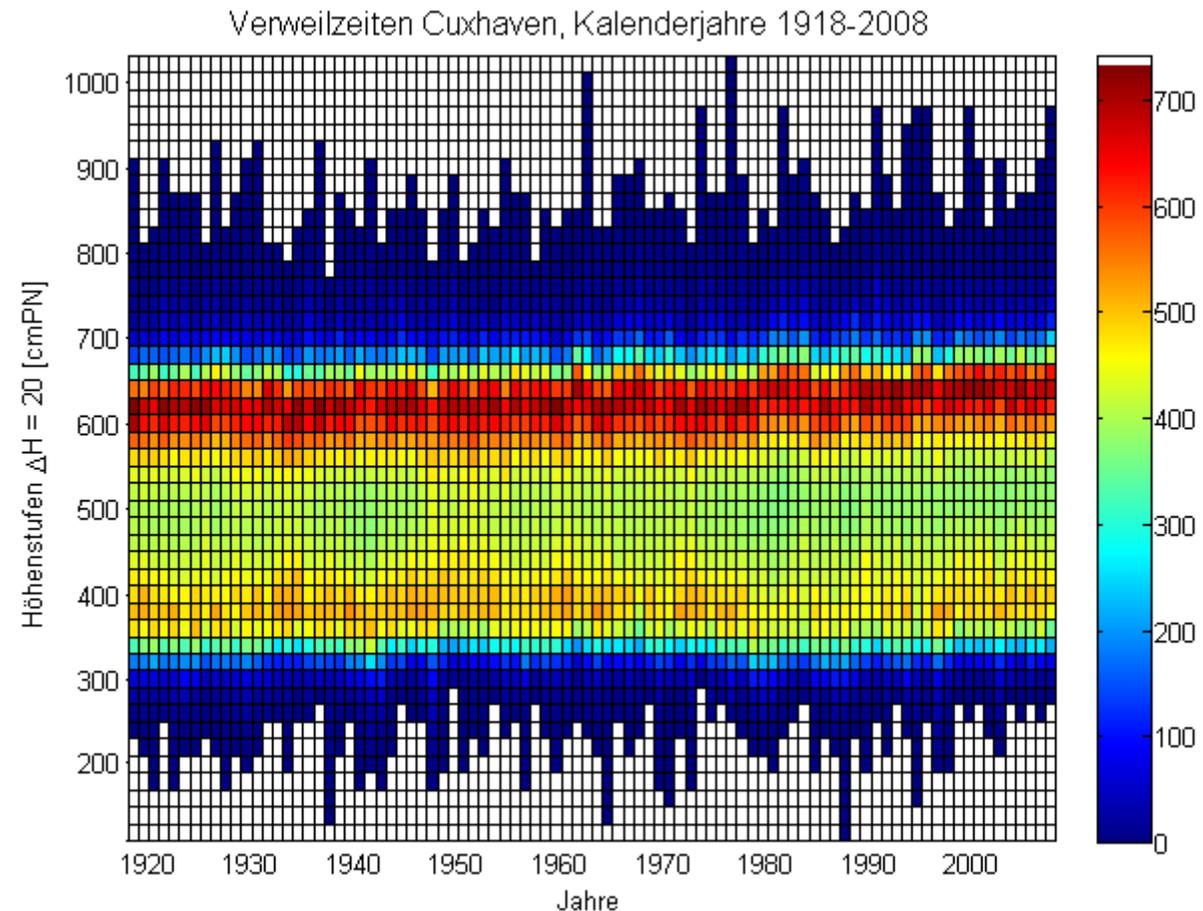
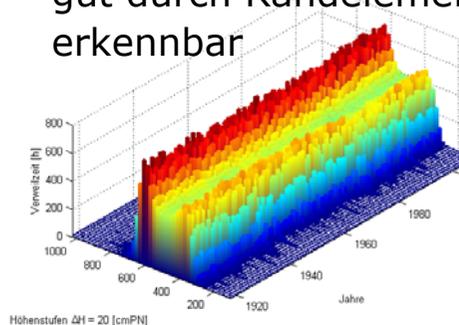


Höhenstufen $\Delta H = 20$ [cmPN]

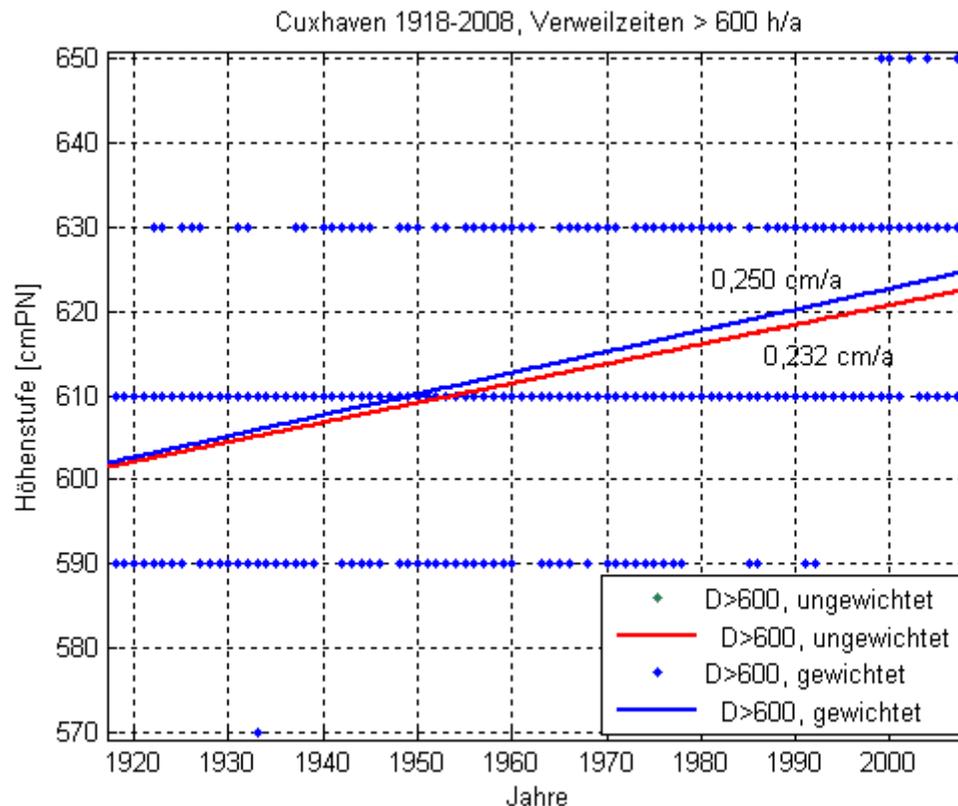
- ➔ Ergebnisse für die einzige, langjährig durchlaufend verfügbare Reihe von Stundenwerten: Cuxhaven
- ➔ Durchlaufende Reihe aller jährlichen Verweildauer-Verteilungen

Verweilzeiten Cuxhaven, 1918-2008

- Aufsicht von oben in Form von Konturflächen
- Farbigkeit der Elemente gibt die Verweilzeit in [h] an
- Bimodale Verteilung mit deutlicher HW-Gipfelinie und schwächerer NW-Gipfelinie
- Jahre mit extremen Scheitelwasserständen gut durch Randelemente erkennbar

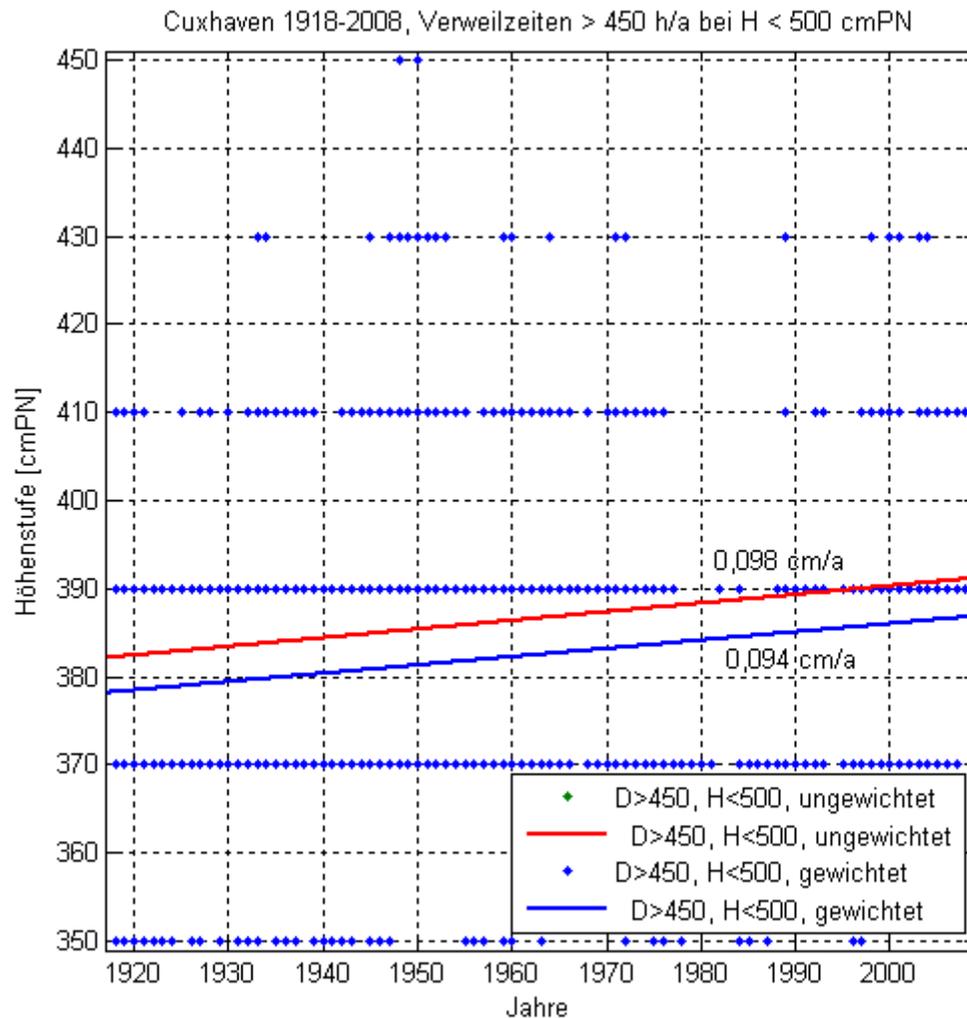


Verweilzeiten Cuxhaven, 1918-2008



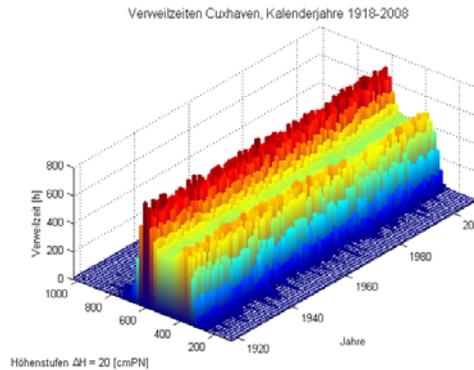
- ☞ Welche Anstiegsrate weisen die Höhenstufen der höchsten Verweilzeiten auf, z.B. > 600 h/a?
- ☞ Erzeugung entsprechender Teilmenge, Zuordnung von Verweildauer oberhalb Grenzwert als Gewicht
- ☞ Trendbestimmung

Verweilzeiten Cuxhaven, 1918-2008

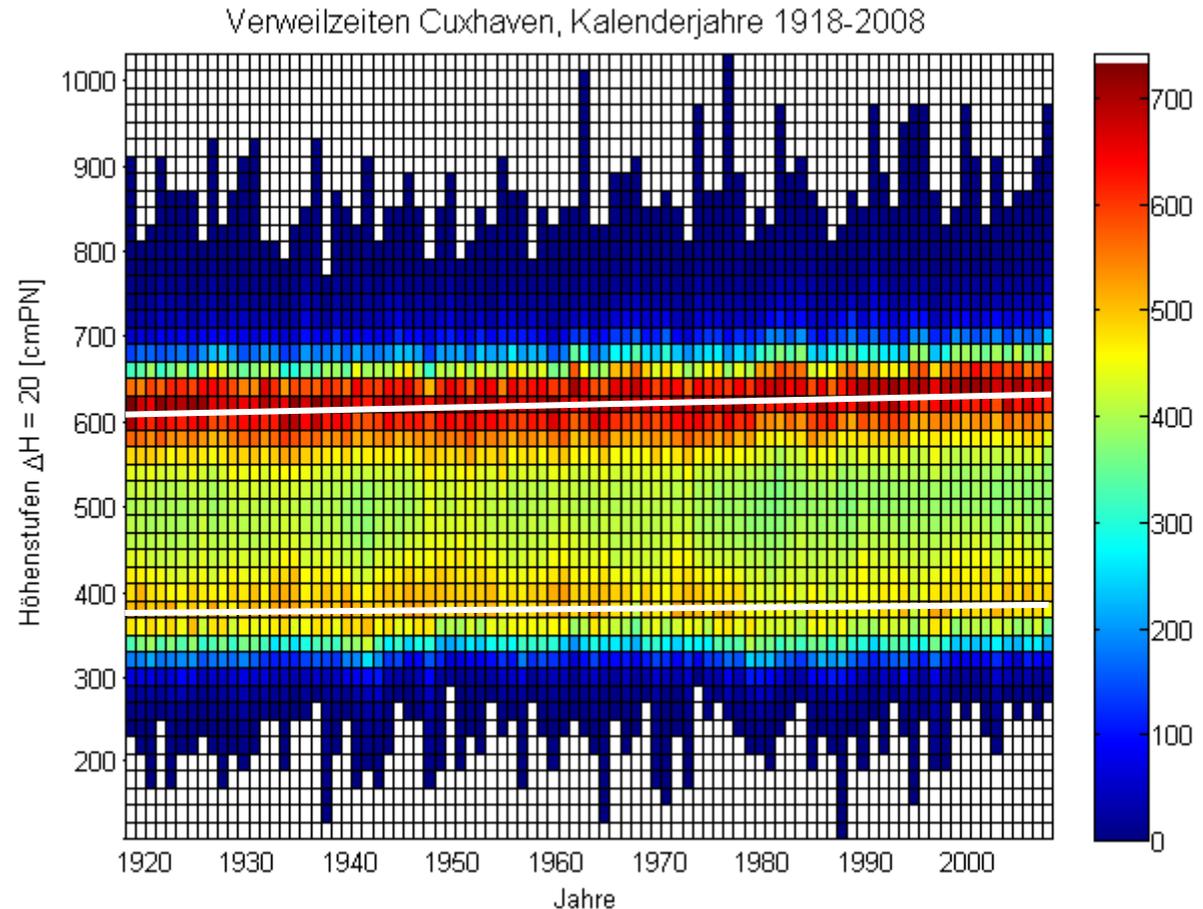


- Welche Anstiegsrate weisen die Höhenstufen des unteren, weniger ausgeprägten NW-Gipfels auf?
- Erzeugung entsprechender Teilmenge, Verweilzeiten > 450 h/a, nur Höhenstufen unterhalb H = 500 cmPN.
- Zuordnung von Verweildauer oberhalb Grenzwert als Gewicht
- Trendbestimmung

Verweilzeiten Cuxhaven, 1918-2008



- ➔ Übertrag der gewichteten Trendlinien auf die Konturflächen-Darstellung

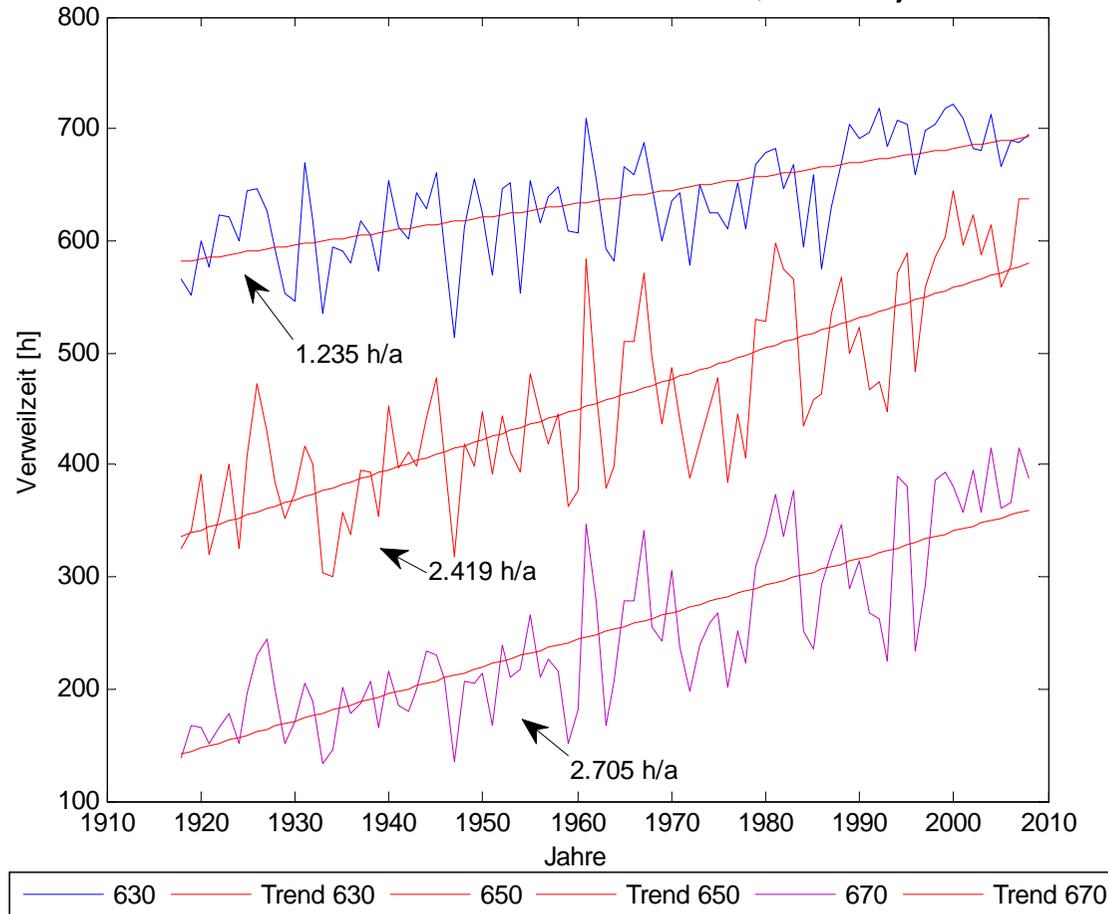


602,1 auf 624,9 [cmPN]: 3,8 % Erhöhung des Verweilzeitenbereichs > 600 h/a; 0,25 cm/a

378,2 auf 386,8 [cmPN]: 2,3 % Erhöhung des Verweilzeitenbereichs > 450 h/a; 0,09 cm/a

Verweilzeiten Cuxhaven, 1918-2008

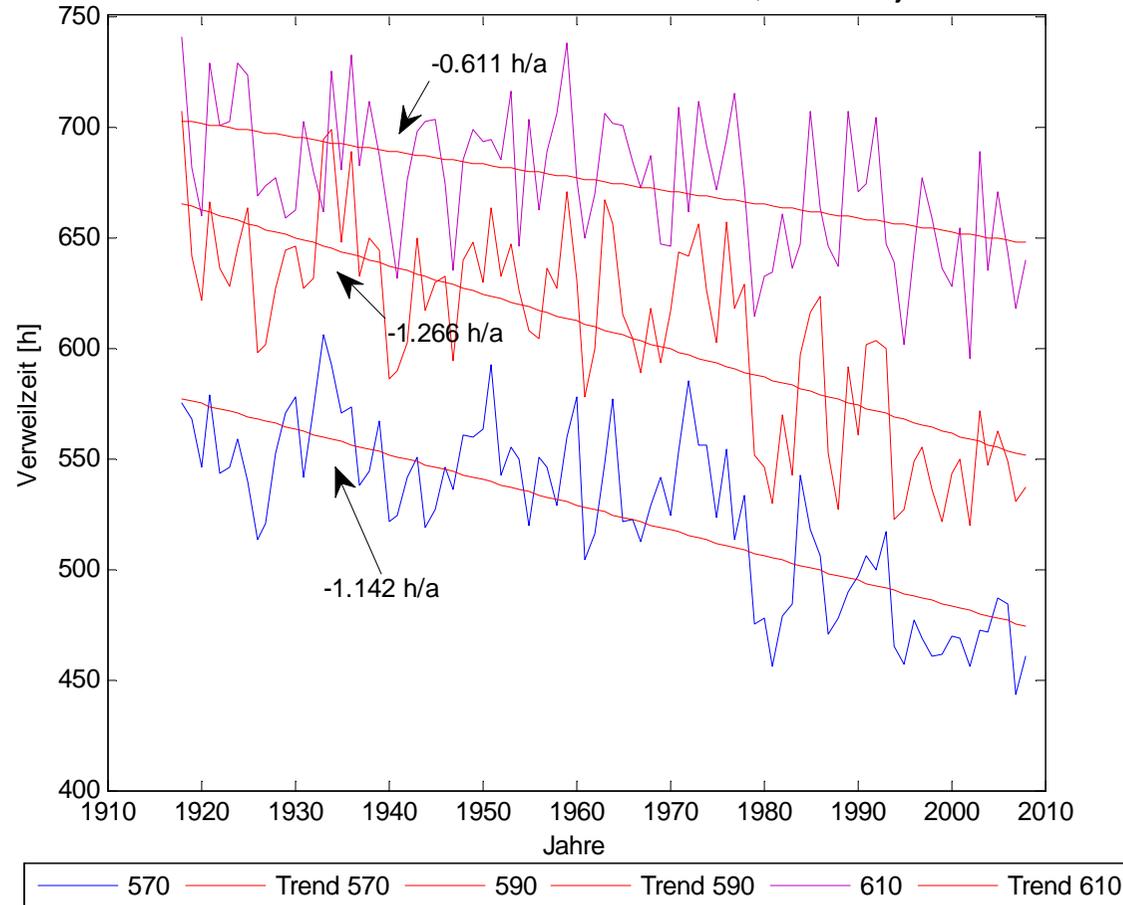
Verweilzeitenverlauf einzelner Höhenstufen Cuxhaven, Kalenderjahre 1918-2008



- Entsprechend des betrachteten Verhaltens muss es also Höhenstufen geben, in welcher die Verweilzeit des Wasserstandes einen ansteigenden Trend aufweist.
- Aber ebenso Höhenstufen, wo die Verweilzeiten absteigenden Trend aufweisen

Verweilzeiten Cuxhaven, 1918-2008

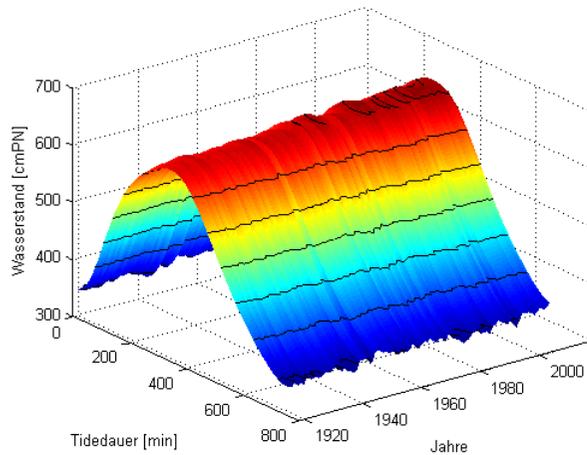
Verweilzeitenverlauf einzelner Höhenstufen Cuxhaven, Kalenderjahre 1918-2008



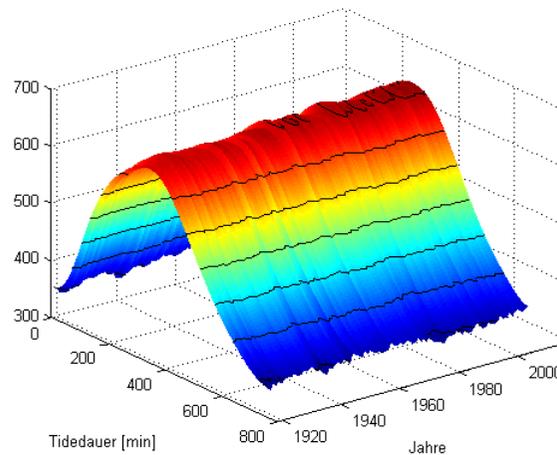
- Entsprechend des betrachteten Verhaltens muss es also Höhenstufen geben, in welcher die Verweilzeit des Wasserstandes einen ansteigenden Trend aufweist.
- Aber ebenso Höhenstufen, wo die Verweilzeiten absteigenden Trend aufweisen

Mittlerer Tideverlauf Cuxhaven, 1918-2008

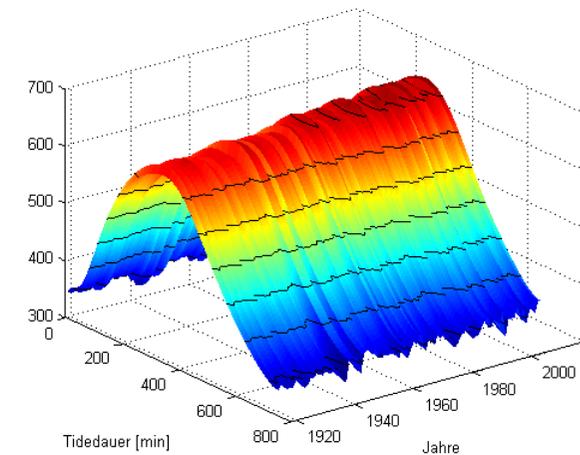
Mittlere Tidekurve Cuxhaven 1918-2008



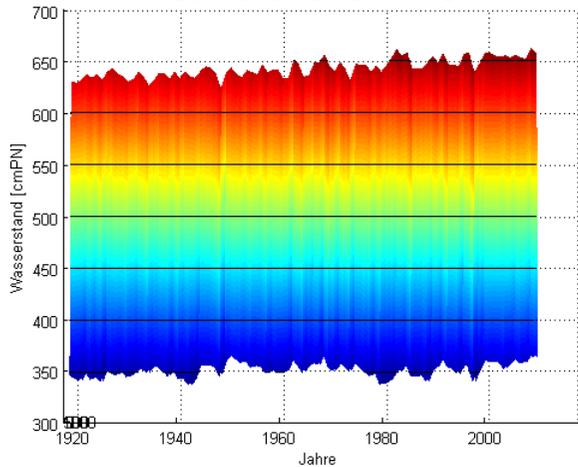
Mittlere Tidekurve Cuxhaven SoHa 1918-2008



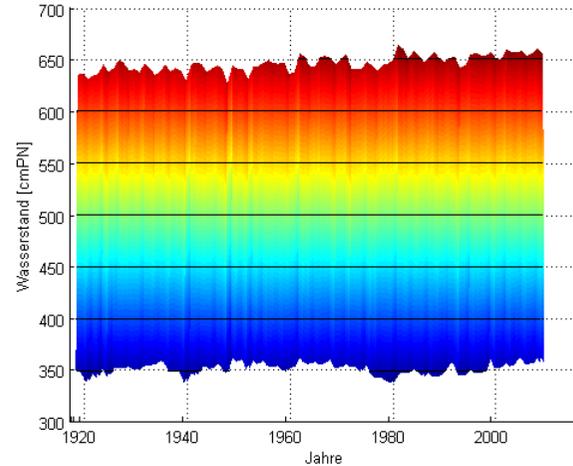
Mittlere Tidekurve Cuxhaven WiHa 1919-2008



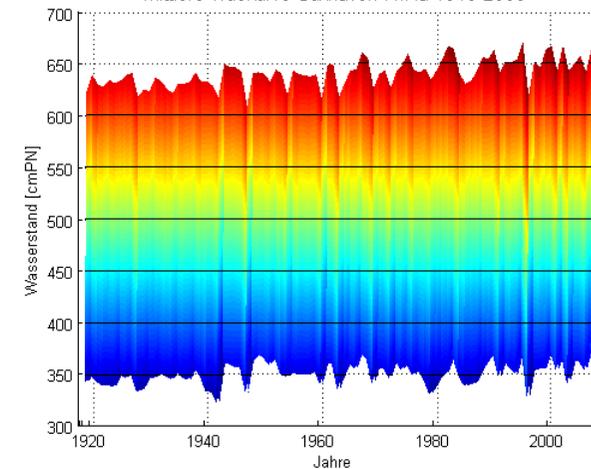
Mittlere Tidekurve Cuxhaven 1918-2008



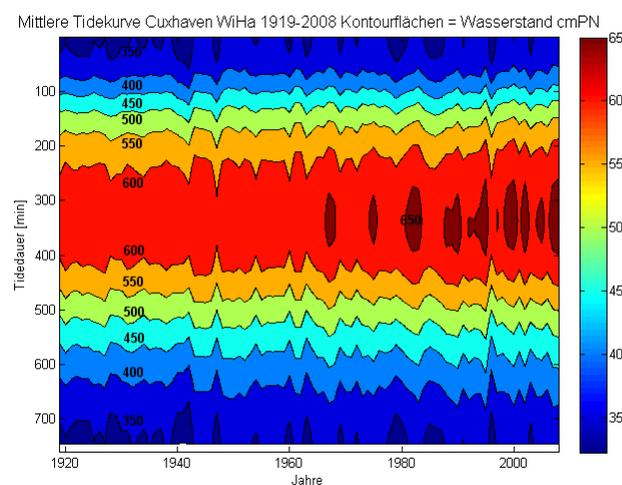
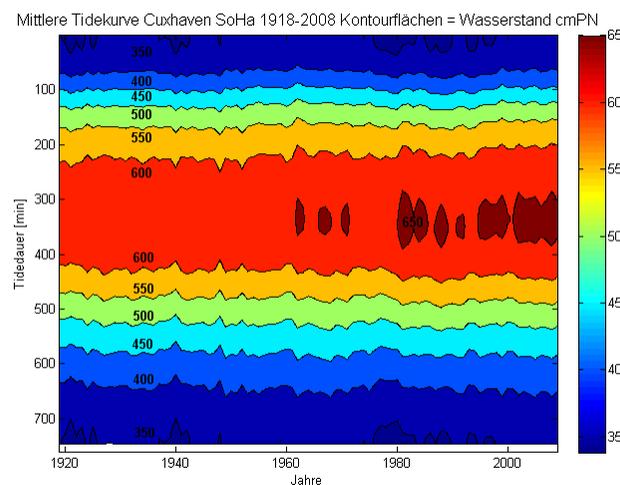
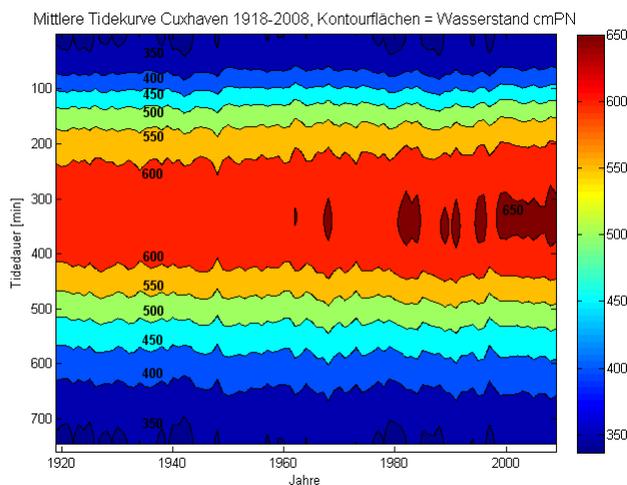
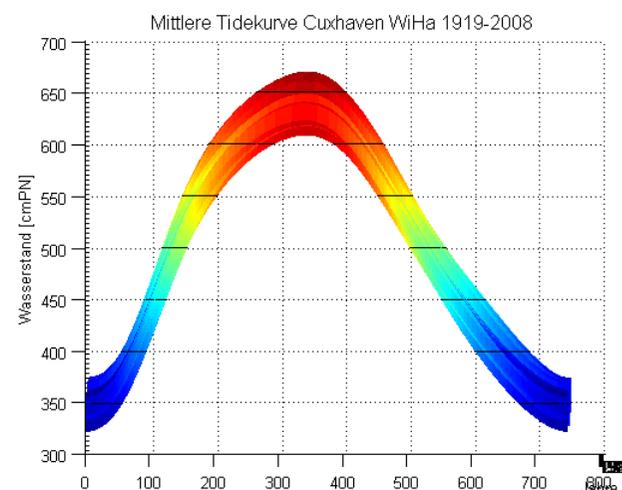
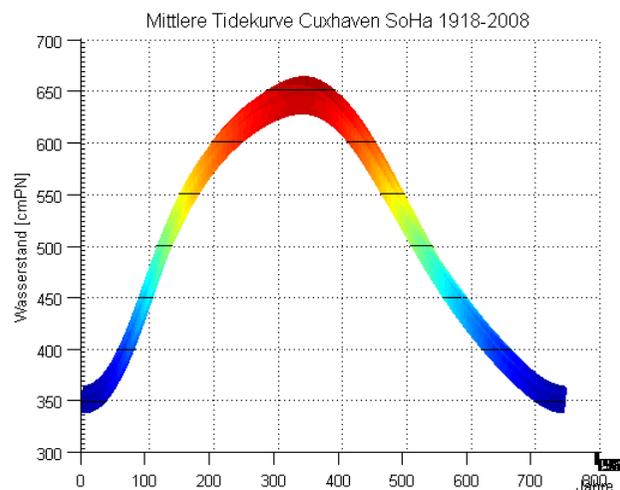
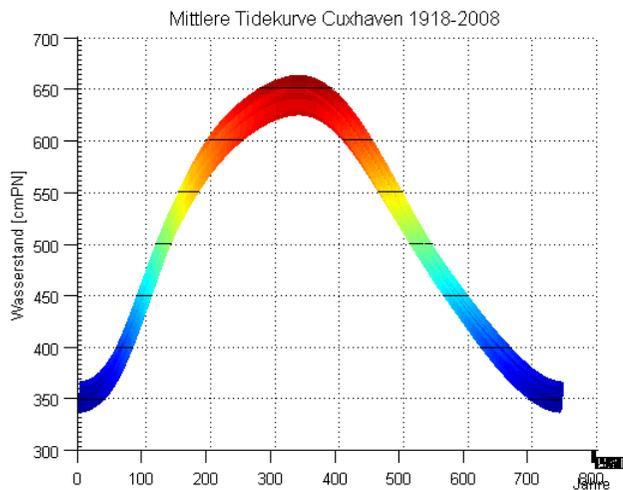
Mittlere Tidekurve Cuxhaven SoHa 1918-2008



Mittlere Tidekurve Cuxhaven WiHa 1919-2008

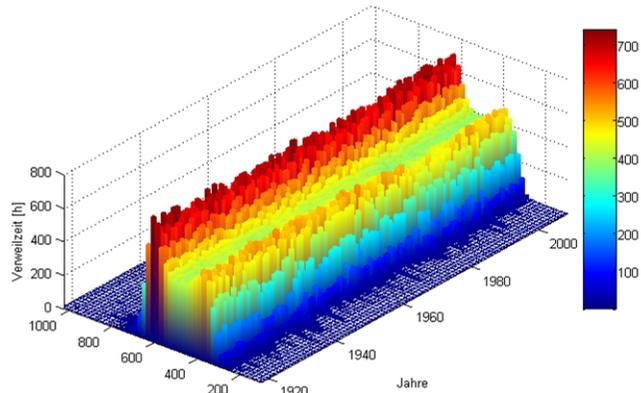


Mittlerer Tideverlauf Cuxhaven, 1918-2008

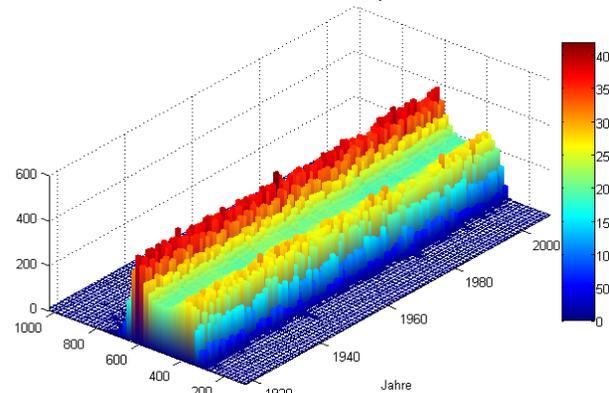


Verweilzeiten Cuxhaven, 1918-2008

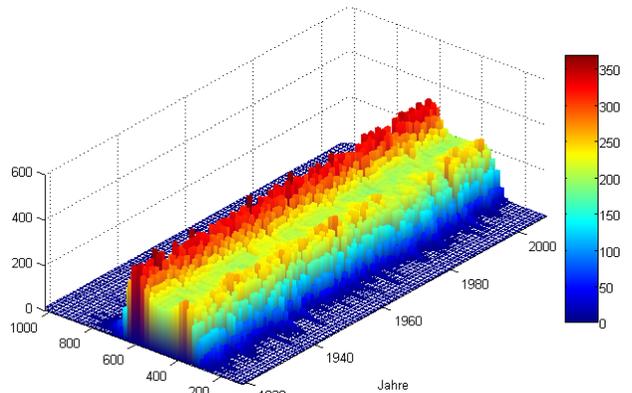
Verweilzeiten Cuxhaven, Kalenderjahre 1918-2008



Verweilzeiten Cuxhaven, Sommerhalbjahre 1918-2008

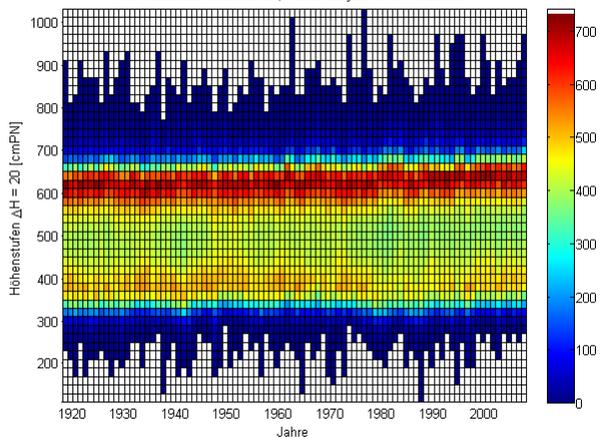


Verweilzeiten Cuxhaven, Winterhalbjahre 1919-2008

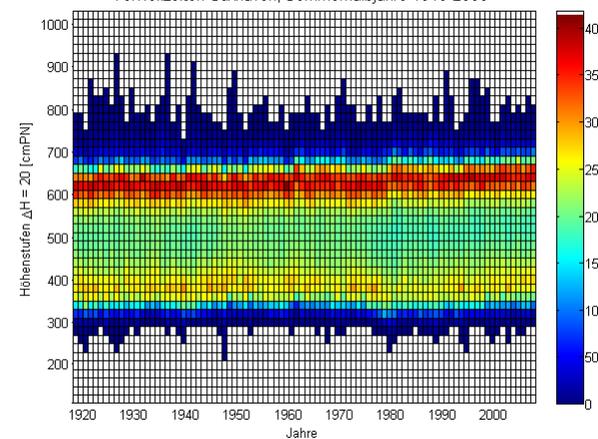


Höhenstufen $\Delta H = 20$ [cmPN]

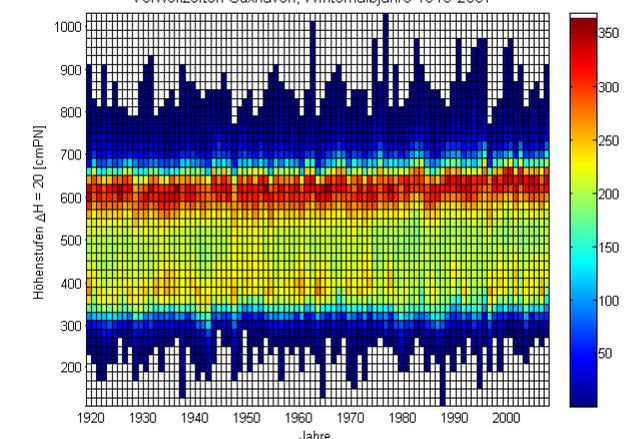
Verweilzeiten Cuxhaven, Kalenderjahre 1918-2008



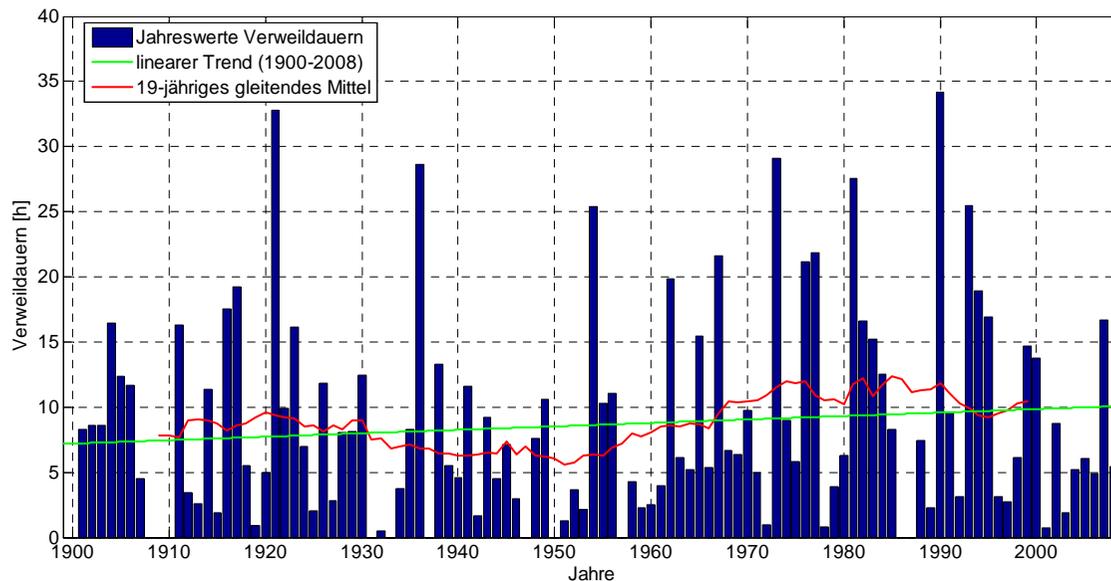
Verweilzeiten Cuxhaven, Sommerhalbjahre 1918-2008



Verweilzeiten Cuxhaven, Winterhalbjahre 1918-2007



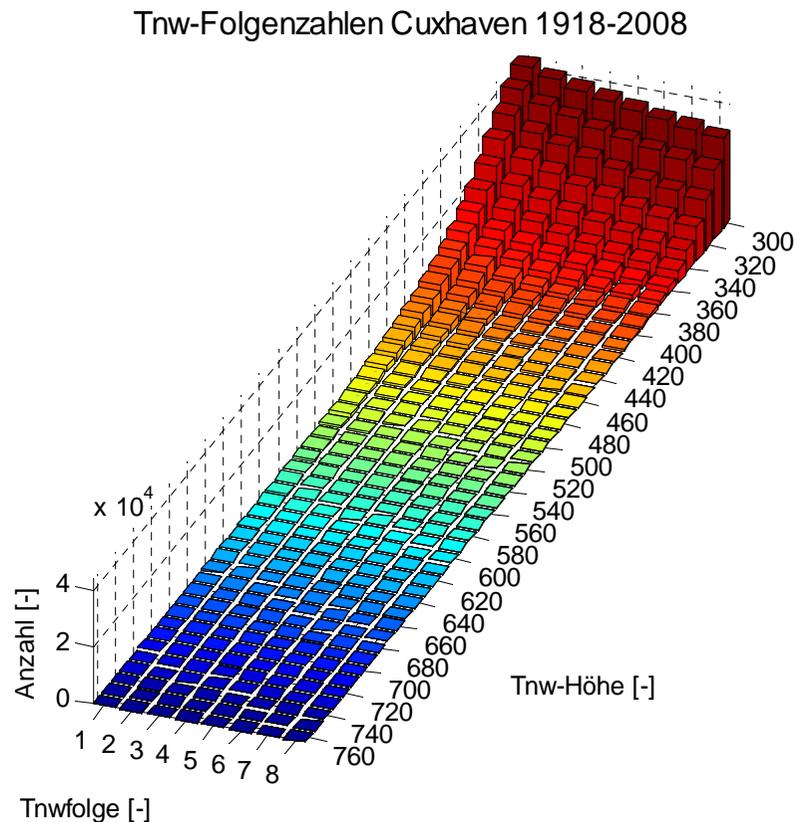
Cuxhaven, 1901-2008



- Entwicklung der kumulierten jährlichen Verweildauern für Wasserstände aufgrund Sturmflutereignissen am Pegel Cuxhaven
- durchgehend digitalisierte Ganglinien eines Sturmflutkollektivs (311 Ereignisse, Cuxhaven 1901-2008) (XtremRisk)
- Ereignisdefinition: Scheitel > 1,5 m über jeweiligen Jahres-MThw

Pegel	Lineare Trends [min/Jahr] für unterschiedliche Zeiträume (incl. Standardfehler)			
	1901-2008	1937-2008	1951-2008	1971-2008
Hörnnum	-	6,34 ± 0,21	4,08 ± 9,03	-1,20 ± 20,25
Cuxhaven	1,36 ± 2,89	3,77 ± 5,33	1,44 ± 7,97	-6,99 ± 29,32

Tnw-und Thw-Folgen Cuxhaven, 1918-2008



Verlauf der Tnw

- Wie häufig sind Tidesituationen, die Binnenentwässerung behindern oder sogar verhindern können?

Definition

- N aufeinander folgende Tnw $\geq x$ bilden eine Tidekette oder Tnw-Folge der Höhenstufe x

Grundlage

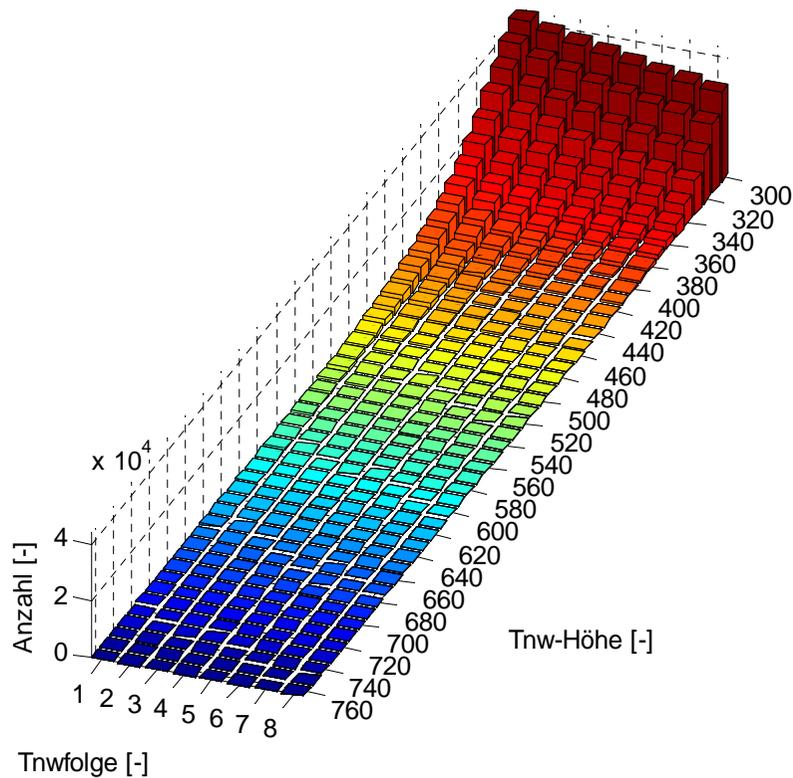
- Zeitreihe von täglichen Tnw-Scheitelwerten über mehrere Jahre

Untersuchung

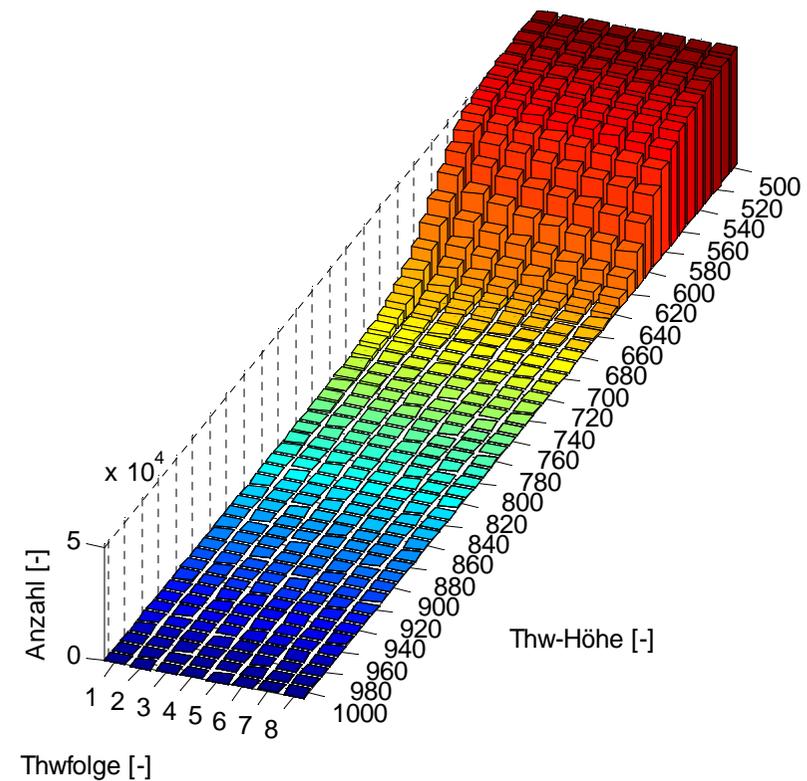
- Abprüfen der Tnw-Zeitreihe auf Bedingung Tnw $\geq x$
- Feststellen, ob Bedingung für n = 2, 3 ... aufeinander folgende Tnw erfüllt ist
- Summation der Ereignisse für Folgezahlen n
- Wiederholung für weitere Höhenstufen

Tnw-und Thw-Folgen Cuxhaven, 1918-2008

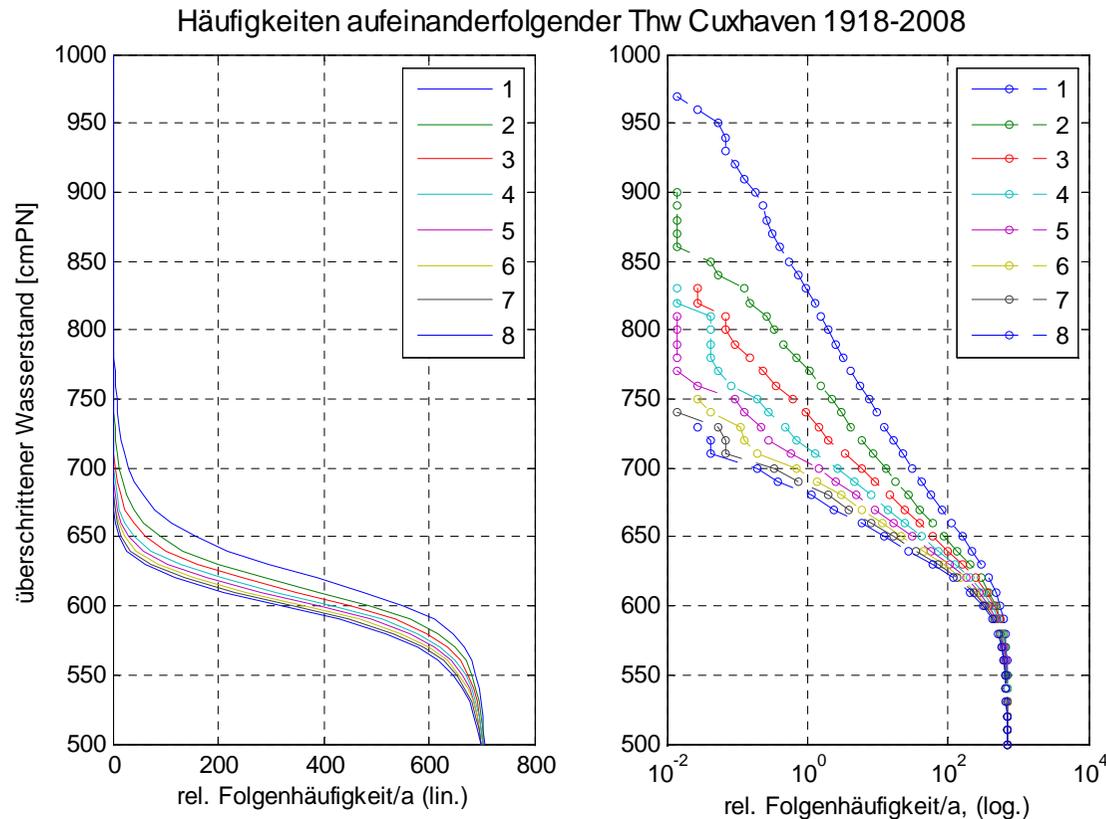
Tnw-Folgenzahlen Cuxhaven 1918-2008



Thw-Folgenzahlen Cuxhaven 1918-2008

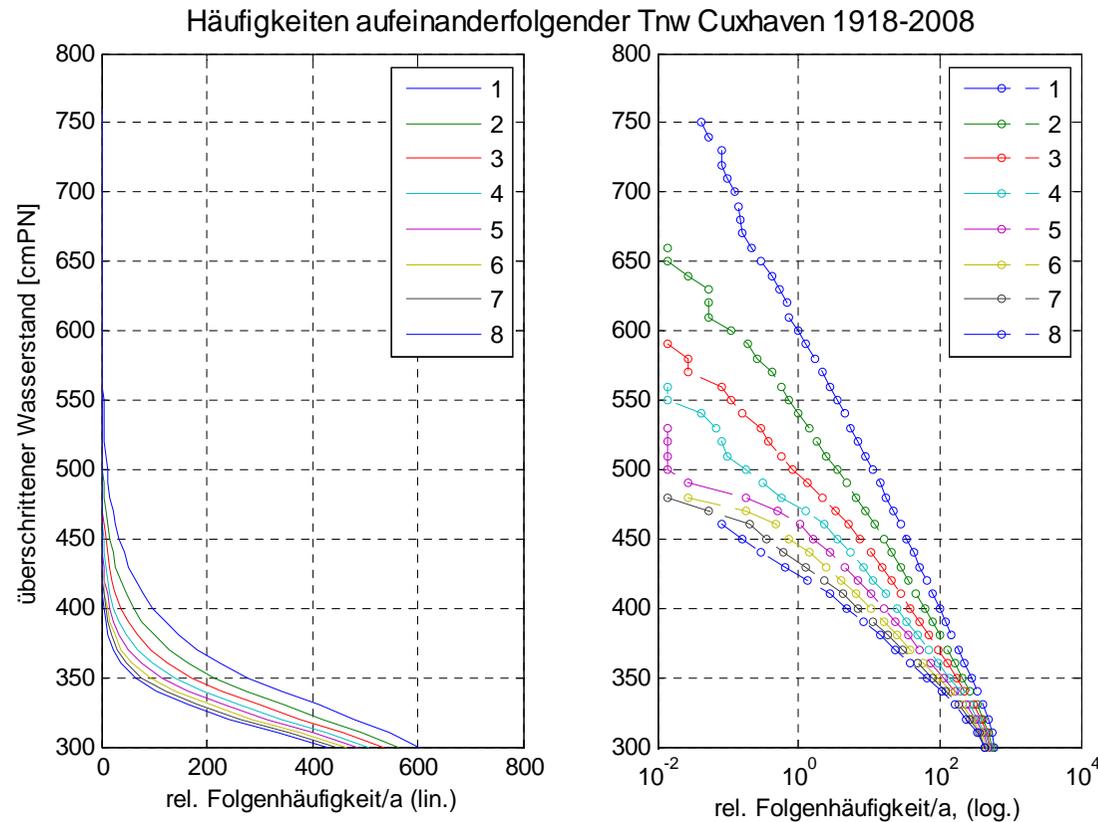


Thw-Folgen Cuxhaven, 1918-2008



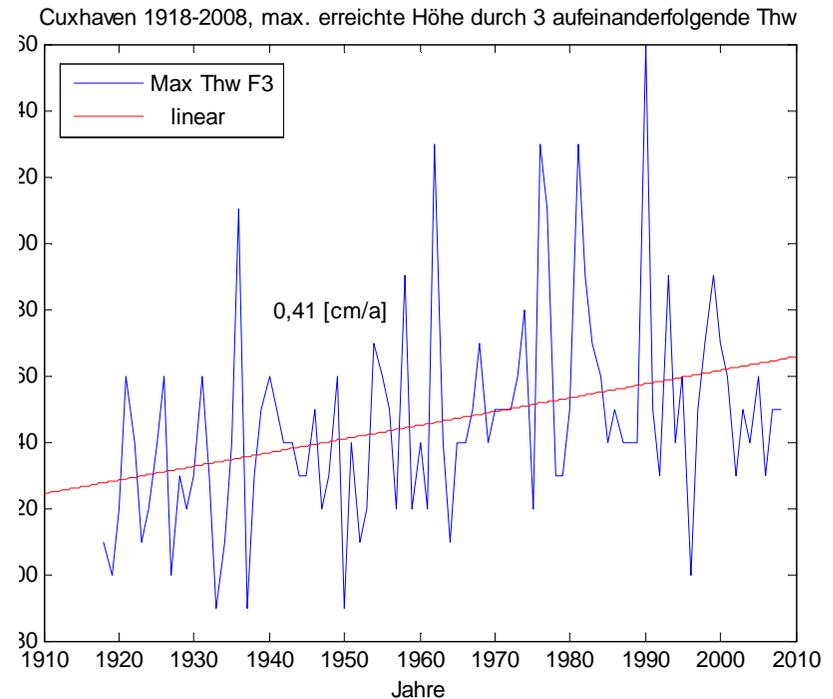
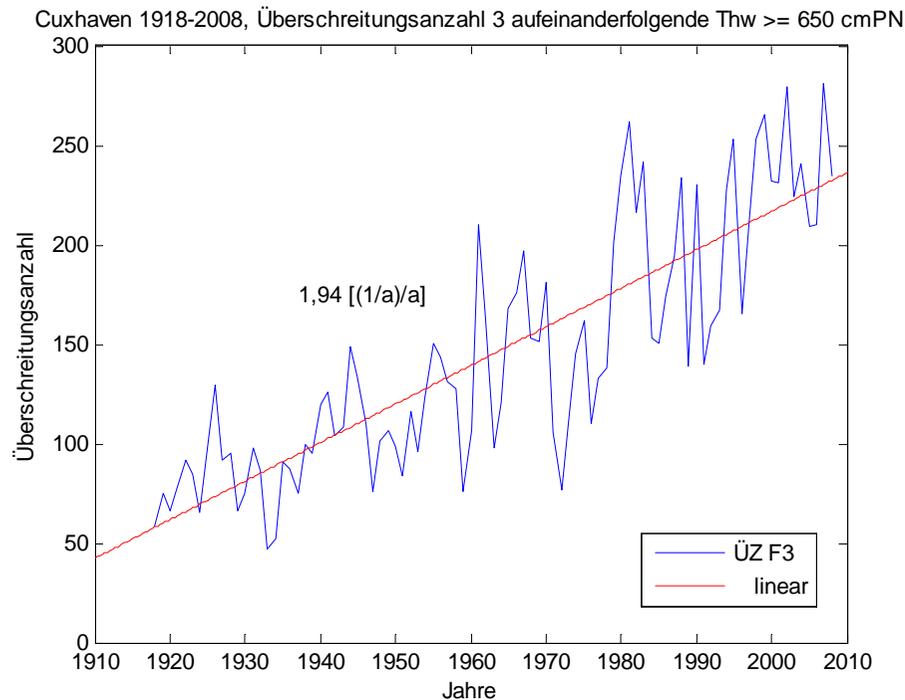
- Umwandlung in relative Häufigkeiten
- Darstellung der ermittelten Werte in linearem und logarithmischem Maßstab
- Antwort auf: Wie häufig ist mit n aufeinanderfolgenden Tnw zu rechnen, die alle eine bestimmte Höhe überschreiten

Tnw-Folgen Cuxhaven, 1918-2008



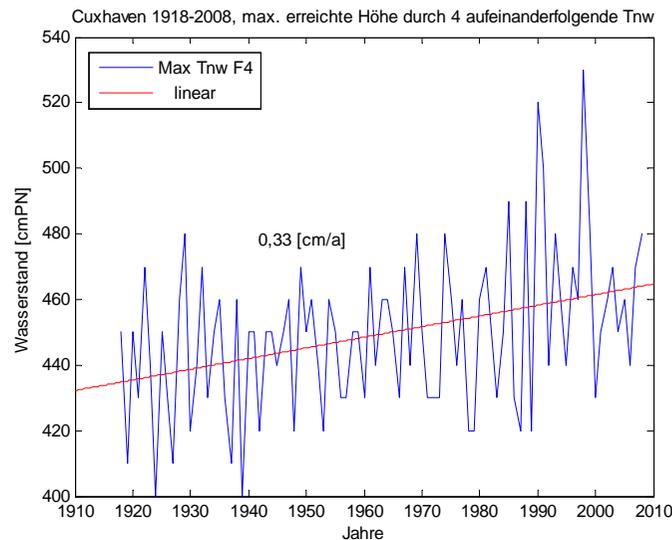
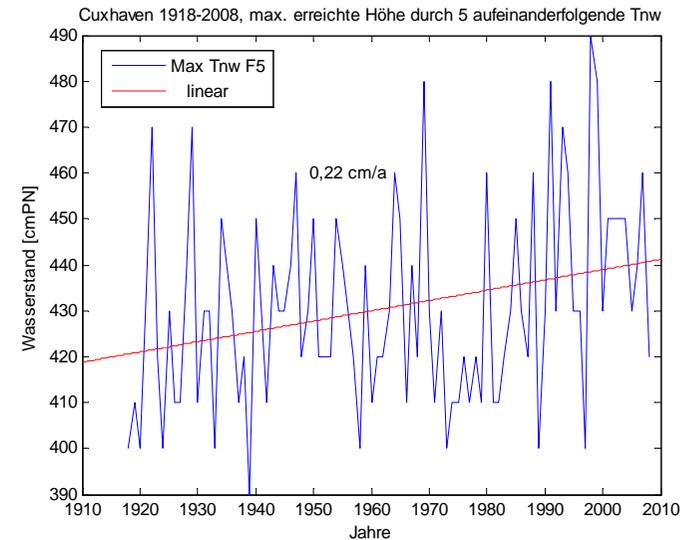
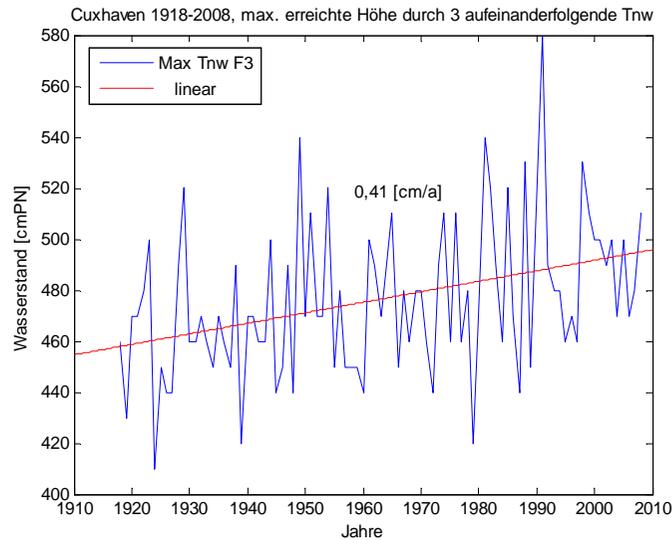
- Umwandlung in relative Häufigkeiten
- Darstellung der ermittelten Werte in linearem und logarithmischem Maßstab
- Antwort auf: Wie häufig ist mit n aufeinanderfolgenden Tnw zu rechnen, die alle eine bestimmte Höhe überschreiten

Thw-Folgen Cuxhaven, 1918-2008



- ➔ Wie entwickelt sich die Anzahl von Folgen 2, 3 und mehr hintereinander auftretender Tnw/Thw-Scheitel, welche durchgehend einen bestimmten Tnw/Thw-Wert überschreiten?
- ➔ Beispiel Folgezahl 3, Thw = 650 cmPN überschritten (\sim MThw)
- ➔ Wie hoch ist die maximale Höhe/a, die von x (z.B. 3) aufeinanderfolgenden Thw überschritten wurde?

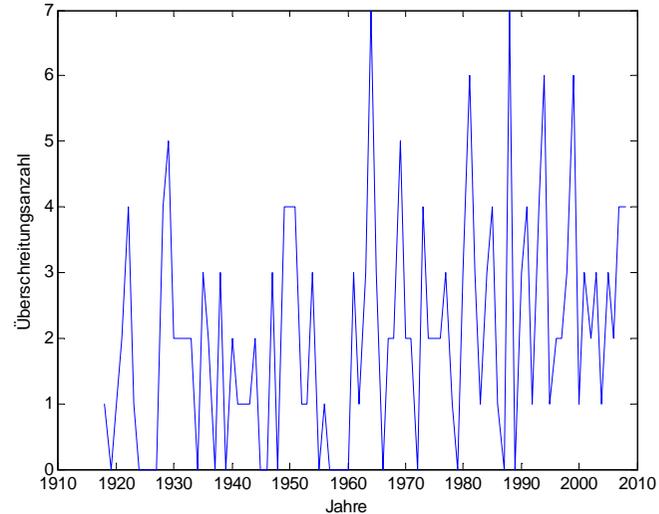
Tnw-Folgen Cuxhaven, 1918-2008



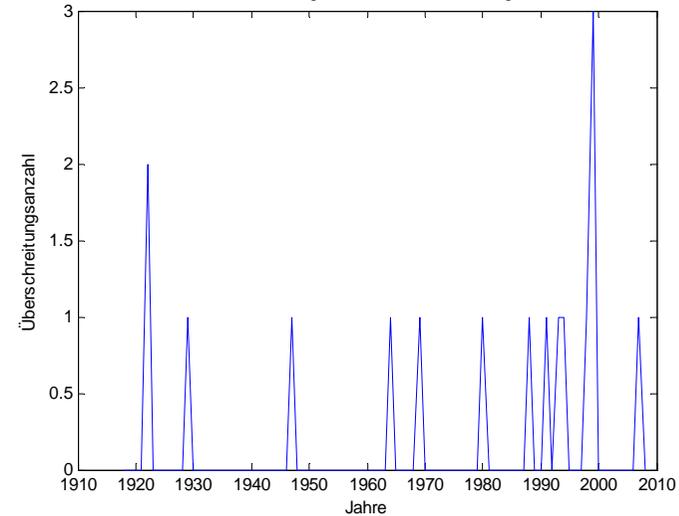
- Tnw-Verhalten besonders wichtig für die Vorflut-Situation
- Beispiel maximal erreichte Höhe durch
- 3 folgende Tnw, Anstieg 0,41 cm/a
- 4 folgende Tnw, Anstieg 0,33 cm/a
- 5 folgende Tnw, Anstieg 0,22 cm/a

Tnw-Folgen Cuxhaven, 1918-2008

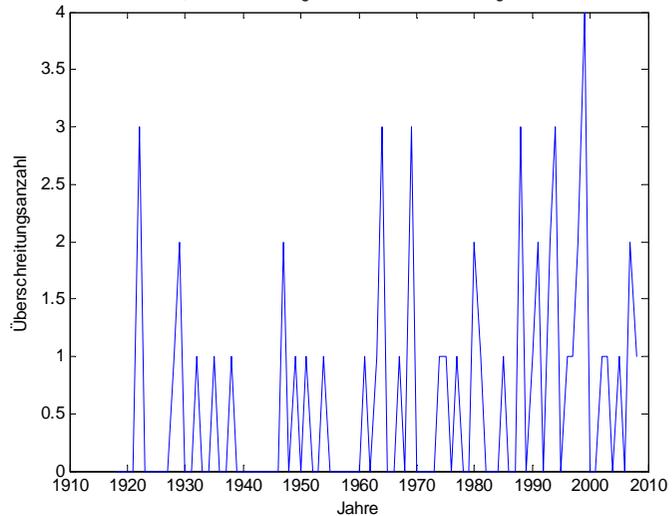
Cuxhaven 1918-2008, Überschreitungsanzahl 3 aufeinanderfolgende Tnw ≥ 460 cmPN



Cuxhaven 1918-2008, Überschreitungsanzahl 5 aufeinanderfolgende Tnw ≥ 460 cmPN



Cuxhaven 1918-2008, Überschreitungsanzahl 4 aufeinanderfolgende Tnw ≥ 460 cmPN



- ➔ Tnw-Verhalten besonders wichtig für die Vorflut-Situation
- ➔ Beispiel: wie viele Ereignisse pro Jahr treten in Form von 3, 4 und 5 in Folge auftretender Tnw ≥ 460 cmPN (\sim MTnw + 1 m) auf?
- ➔ Trend erkennbar

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Torsten Frank

Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu)

Universität Siegen

Tel.: +49(271) 740 3462

E-Mail: torsten.frank@uni-siegen.de

Backup

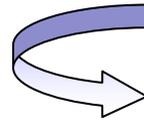
Auswahl von Höhenstufen:

- grundsätzlich frei wählbar
- sollte eine gute Auflösung in den interessierenden Höhenstufen bieten
- physikalische Gesichtspunkte:
 - Umsetzung der Energie der angreifenden Wellen
 - Führböter (1979) für Nordsee 0,25m u. 0,50m, für Ostsee 0,10m, 0,25m u. 0,50m. Vorzug jeweils: 0,25m
 - Stufenhöhe von $\Delta H = 0,25\text{m}$ entspricht bei Böschungsneigungen von etwa 1:4 bis 1:6 Längen von rund 1m
 - **$\Delta H = 0,20\text{ m}$** resultiert für Neigungen von 1:4 bis 1:6 in 0,8 bis 1,2m Länge

Auswerteziträume:

➔ einzelne Sturmfluten

- einzelne Sturmfluttide
- Tidekette



*Etwa 500 hochaufgelöste
Extremereignisse aus
XtremRisk*

➔ Monat

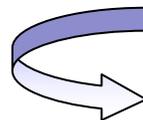
➔ Winter- / Sommerhalbjahr (Sturmflutsaison)

➔ Kalenderjahr

➔ Wasserwirtschaftsjahr

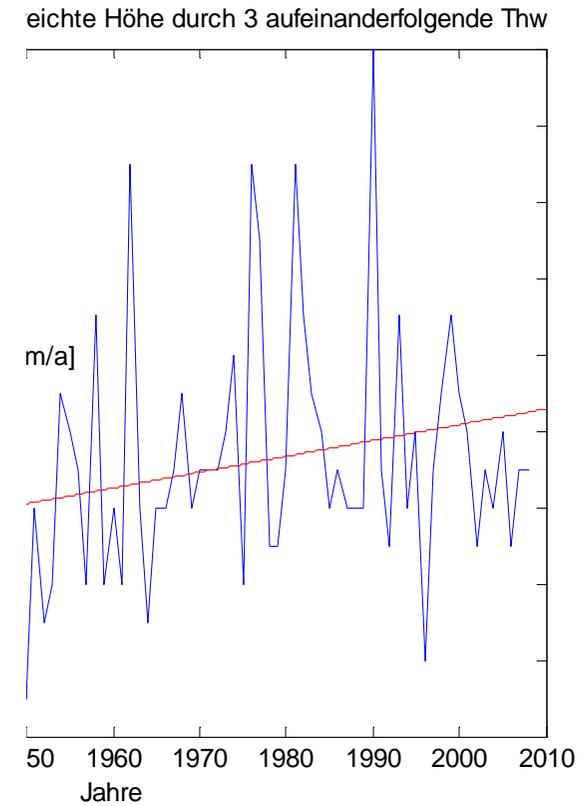
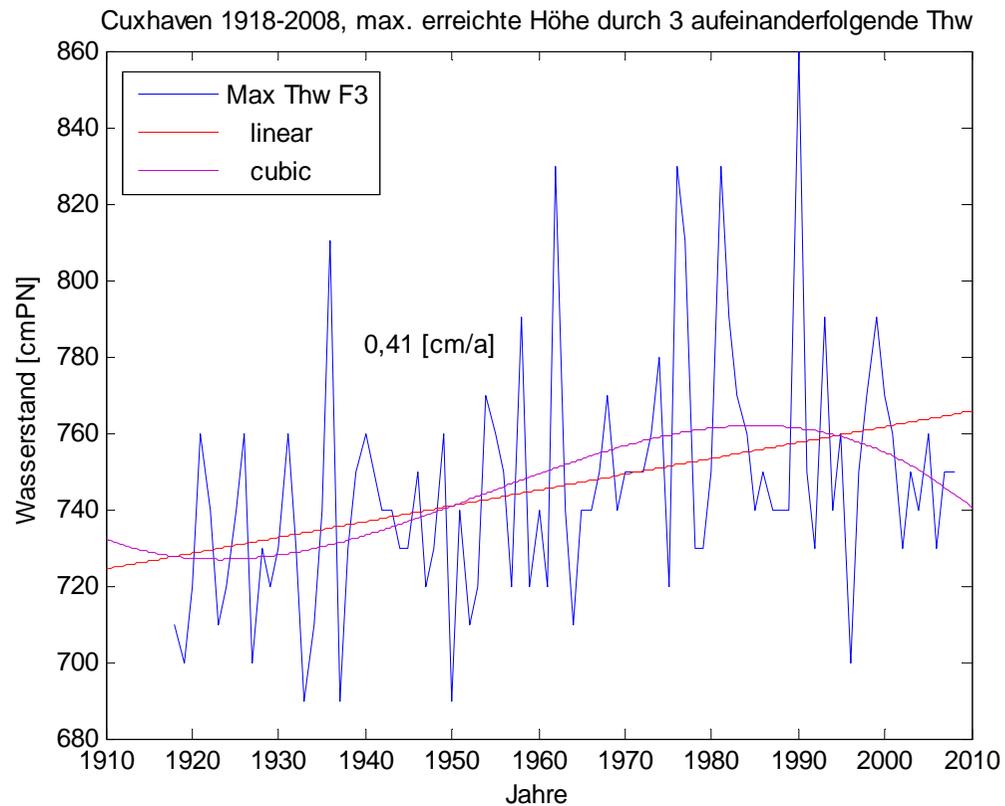
➔ Längere Zeiträume:

- Dekade
- Nodalperiode
- ...

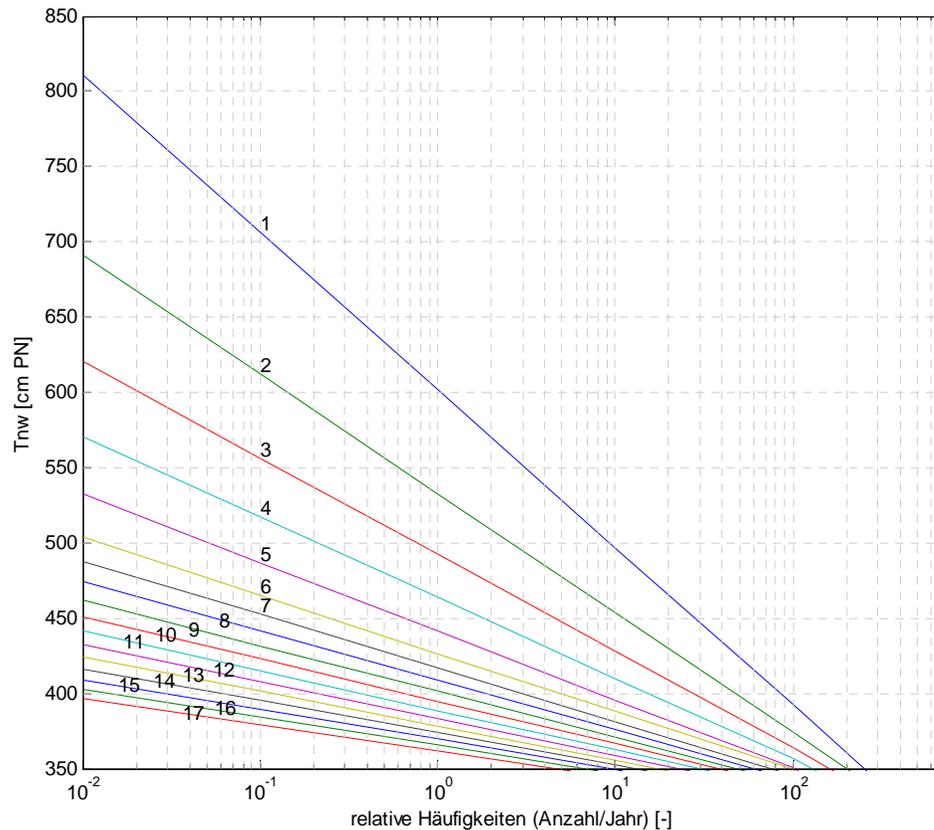


*verfügbare
Datengrundlage
berücksichtigen*

Thw-Folgen Cuxhaven, 1918-2008



Tideketten



Bisher:

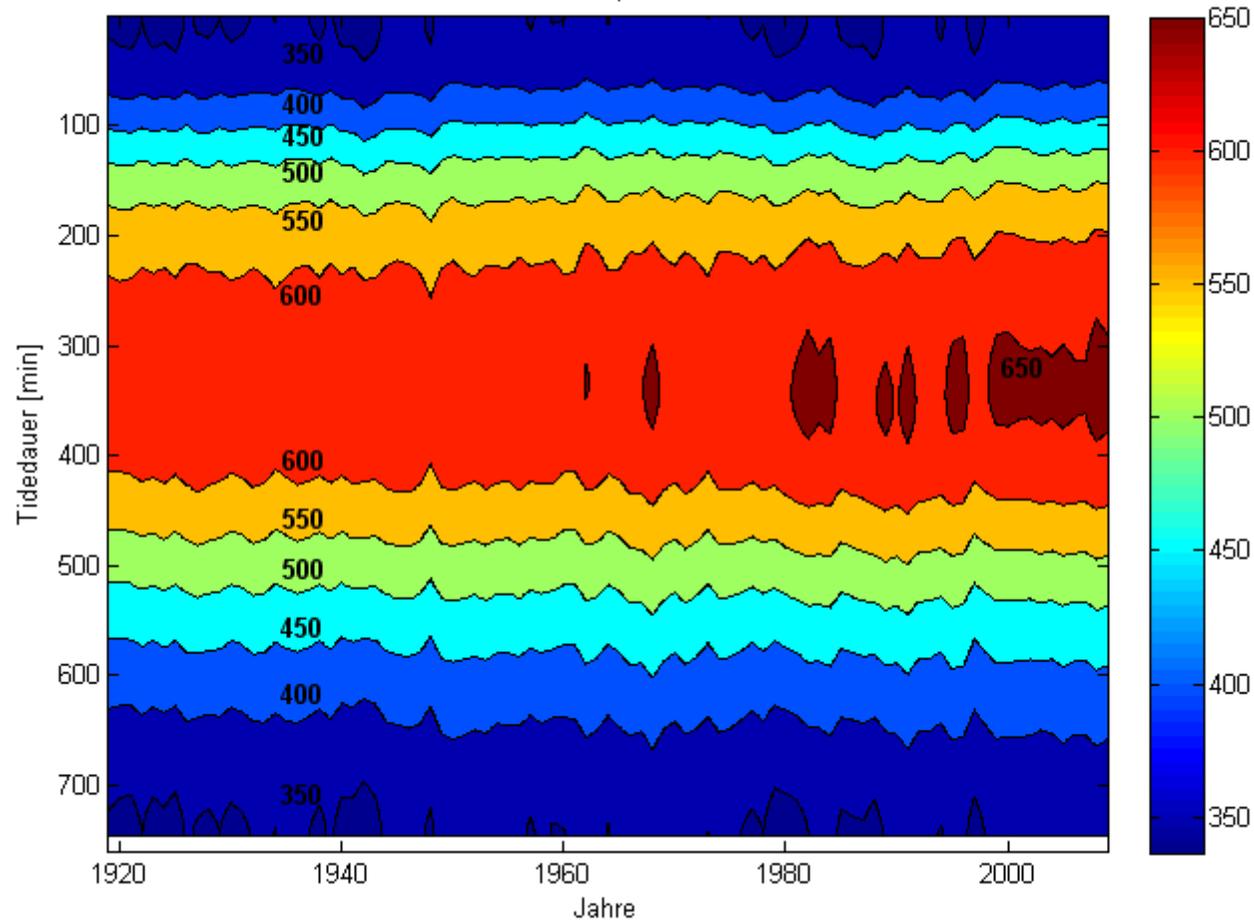
- Behandlung Tnw
- Umwandlung in relative Häufigkeiten
- Linearisierung der Beobachtungswerte und Anpassung logarithmischer Trendfunktion
- Antwort auf: Wie häufig ist mit n aufeinanderfolgenden Tnw zu rechnen, die alle eine bestimmte Höhe überschreiten

In Bearbeitung bzw. geplant:

- Verallgemeinerung auf Thw
- Weitere statistische Behandlung, z.B. auf Basis einer Dauerfunktion der Tidekurve
- Trendanalyse

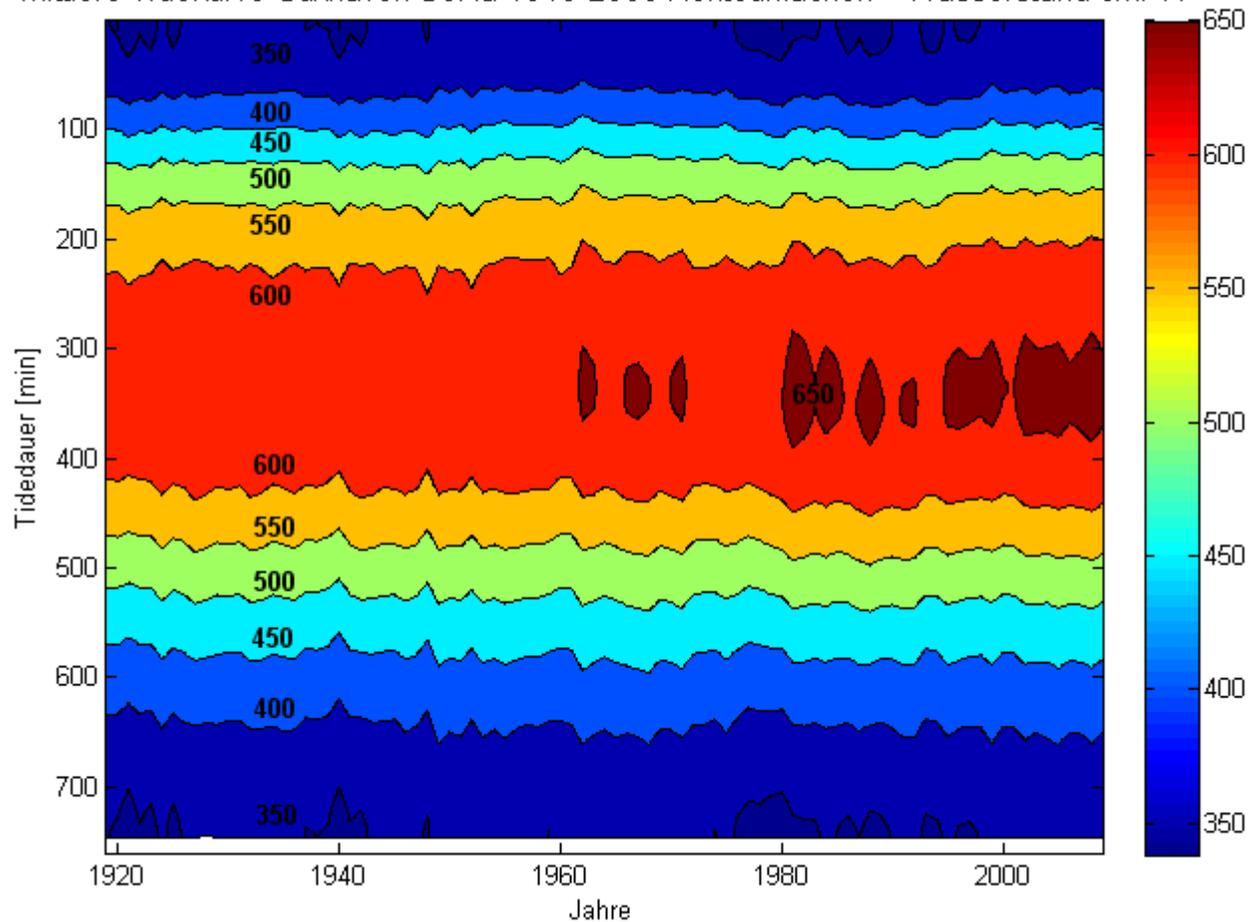
Mittlerer Tideverlauf Cuxhaven, 1918-2008

Mittlere Tidekurve Cuxhaven 1918-2008, Kontourflächen = Wasserstand cmPN



Mittlerer Tideverlauf Cuxhaven, 1918-2008

Mittlere Tidekurve Cuxhaven SoHa 1918-2008 Kontourflächen = Wasserstand cmPN



Mittlerer Tideverlauf Cuxhaven, 1918-2008

Mittlere Tidekurve Cuxhaven WiHa 1919-2008 Kontourflächen = Wasserstand cmPN

