

**Untersuchung regionaler Windwirkung, hydrodynamischer Systemzustände und Oberwassereinflüsse auf das  
Sturmflutgeschehen in Tideästuarien**

# **Vergleichende Analyse der Sturmflutempfindlichkeit für Ems, Jade-Weser und Elbe**

**Elisabeth Rudolph**

**Bundesanstalt für Wasserbau**

**Dienststelle Hamburg**

**WWW-Server: <http://www.hamburg.baw.de/>**

**September 2000**

## Vergleichende Analyse



Image: DLR

**untersuchte Ästuarie von**

- Ems
- Jade - Weser
- Elbe

**ausgewählte Sturmfluten**

- 3.1.1976: steile Windstaukurve, mittleres Oberwasser
- 28.1.1994: füllige Windstaukurve, hohes Oberwasser

**beispielhaft untersuchte Einflussfaktoren**

- Oberwasser: MNQ und HHQ
- Topographie: Rinnenaufhöhung um 2 - 4 m
- lokaler Wind über dem Ästuar

**Bedeutung der Einflussfaktoren entlang der Ästuarie?**

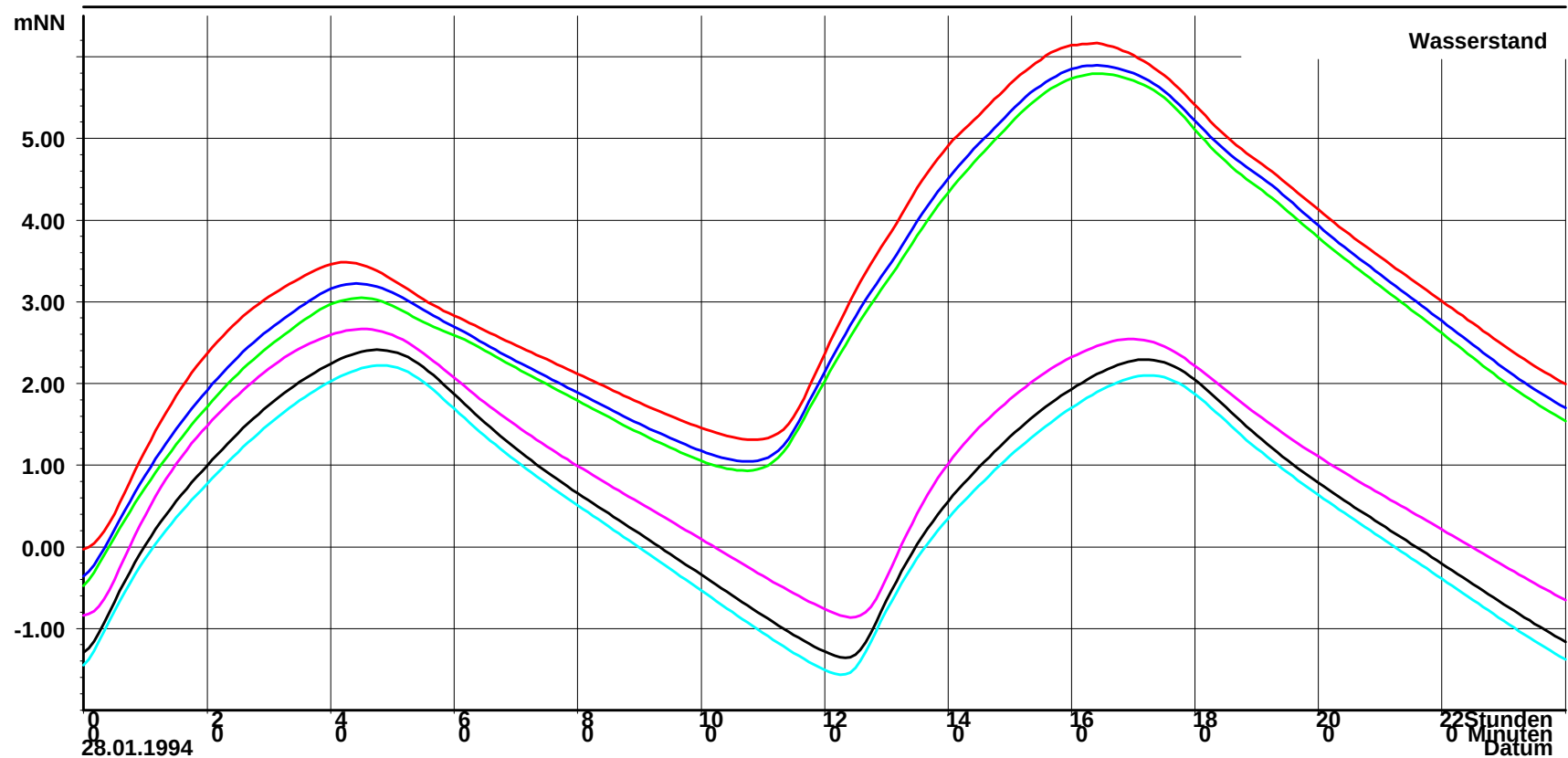
## Oberwasservariationen

|                   | ST1: Referenz<br>(Messung) |             | OW3: MNQ      |            | OW4: HHQ      |             |
|-------------------|----------------------------|-------------|---------------|------------|---------------|-------------|
|                   | Q [ $m^3/s$ ]              |             | Q [ $m^3/s$ ] |            | Q [ $m^3/s$ ] |             |
|                   | SF76                       | SF94        | SF76          | SF94       | SF76          | SF94        |
| <b>Ems</b>        | <b>166</b>                 | <b>348</b>  | <b>38</b>     | <b>38</b>  | <b>1200</b>   | <b>1200</b> |
| <b>Jade/Weser</b> | <b>249</b>                 | <b>1140</b> | <b>80</b>     | <b>80</b>  | <b>3500</b>   | <b>3500</b> |
| <b>Elbe</b>       | <b>500</b>                 | <b>1356</b> | <b>277</b>    | <b>277</b> | <b>3620</b>   | <b>3620</b> |

**MNQ: mittleres niedrigstes Oberwasser**

**HHQ: höchstes je gemessenes Oberwasser**

## SF94 Wasserstand St.Pauli (Elbe km 621)

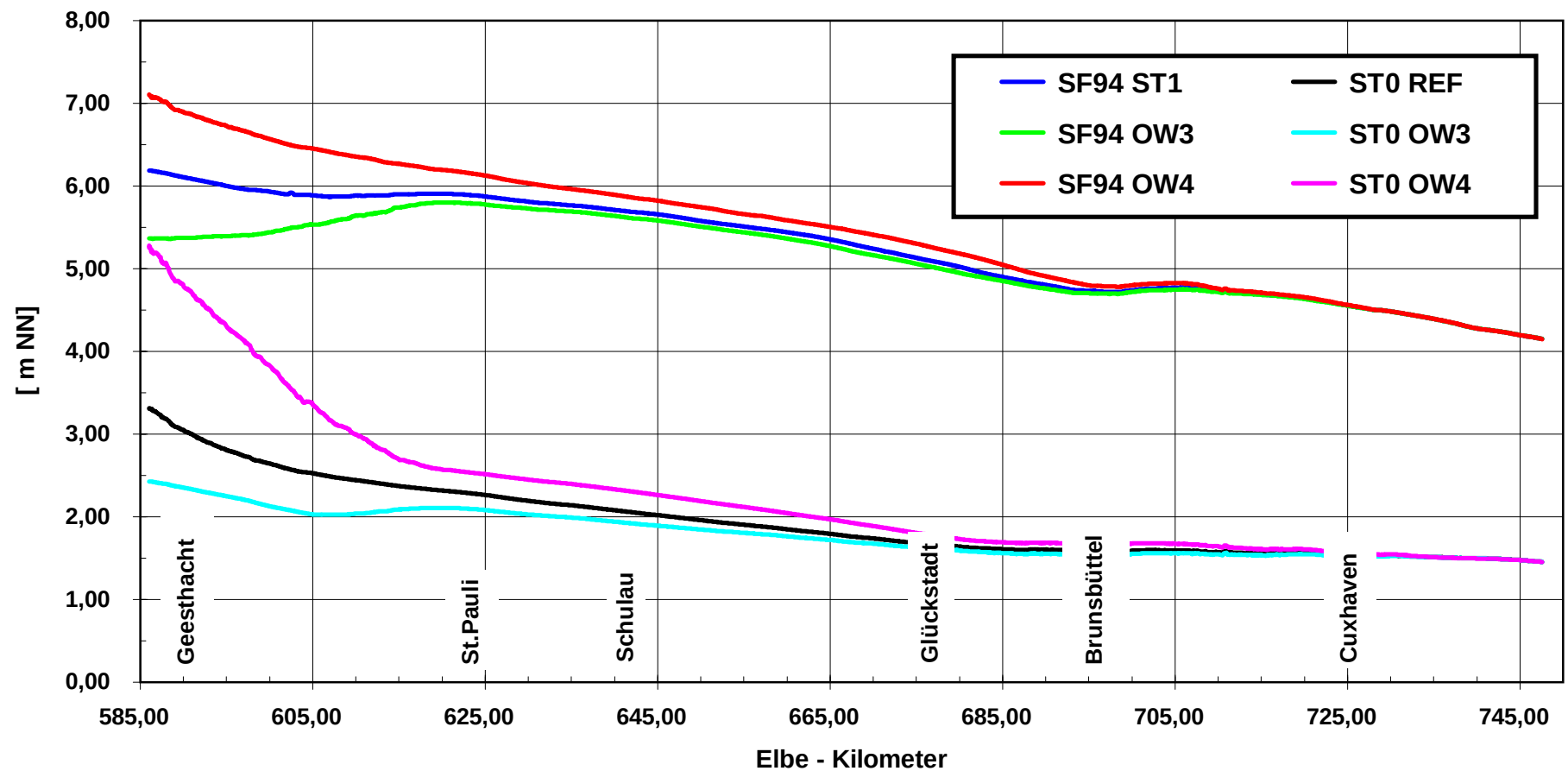


Sturmflut: **ST1**: IST mit gemessenem Q (Ref.) **OW3**: MNQ **OW4**: HHQ  
 astronomische Tide: **ST0**: IST mit gemessenem Q **ST0OW3**: MNQ **ST0OW4**: HHQ

**Oberwasser beeinflusst: Hochwasser, Niedrigwasser, Eintrittszeit, Steiggeschwindigkeit**

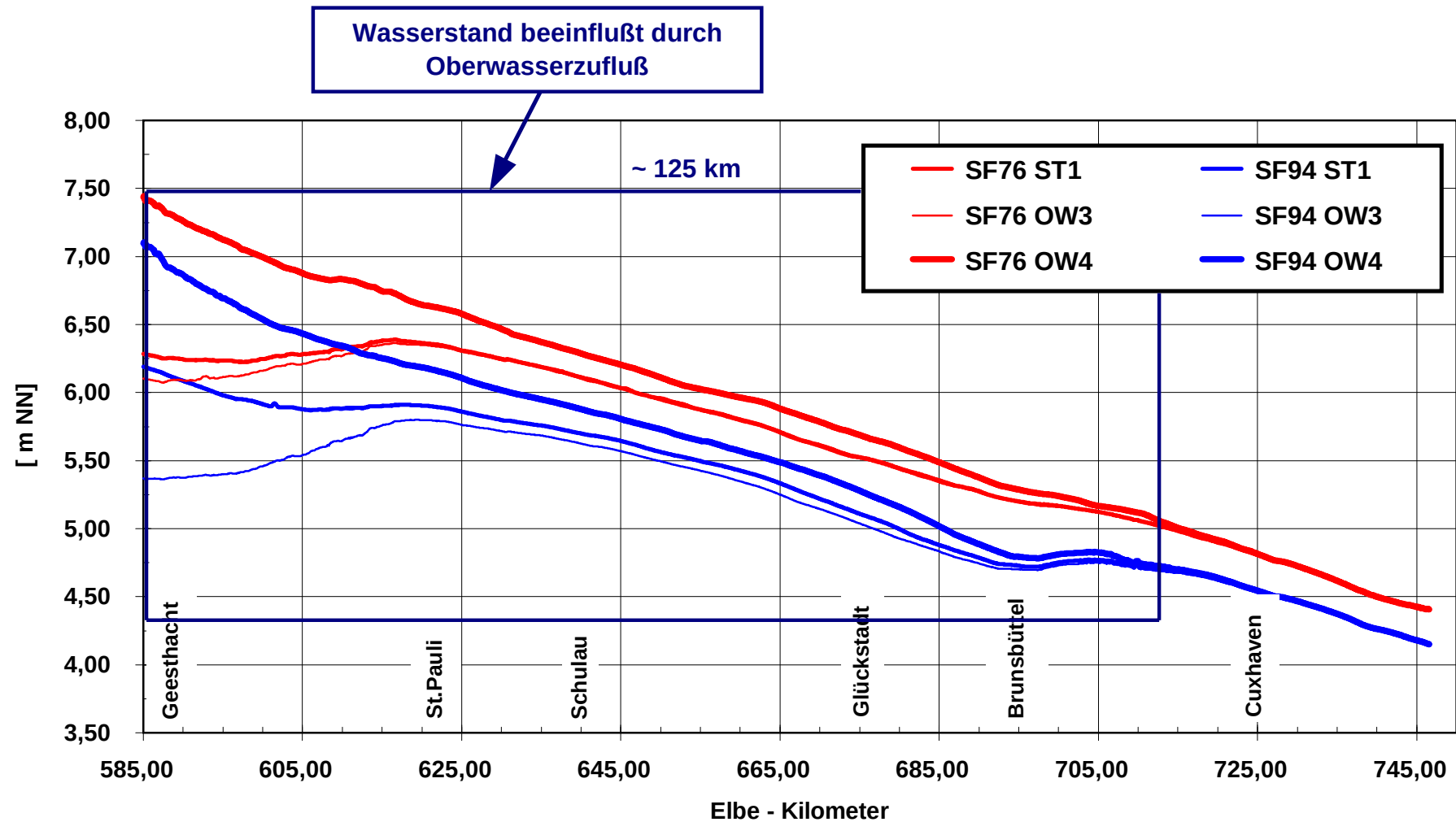
## SF94 Elbe: Oberwasservariationen

### Sturmflutscheitelwasserstand entlang der Elbe



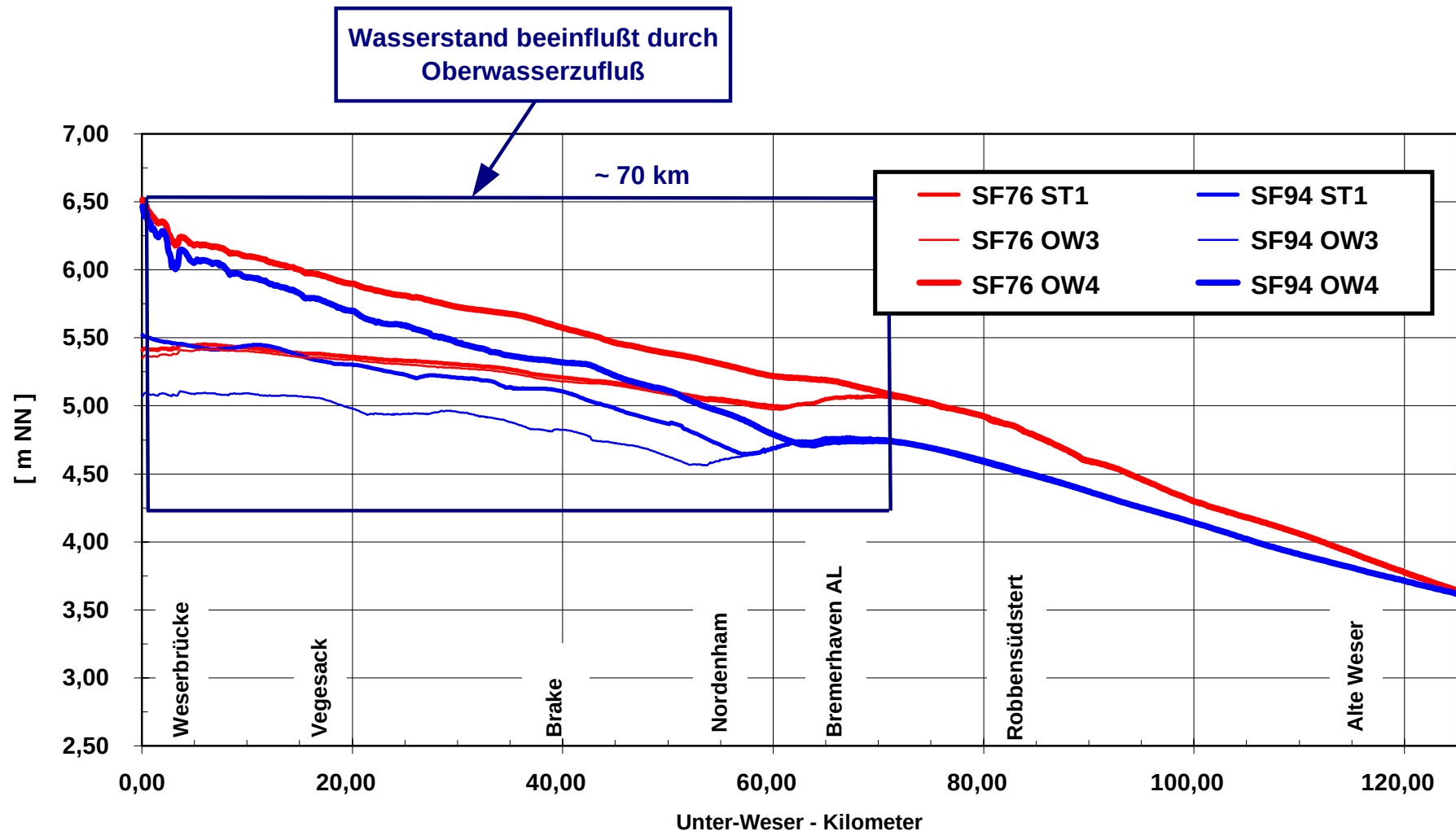
# Oberwasservariationen Elbe

## Sturmflutscheitelwasserstand SF76 und SF94



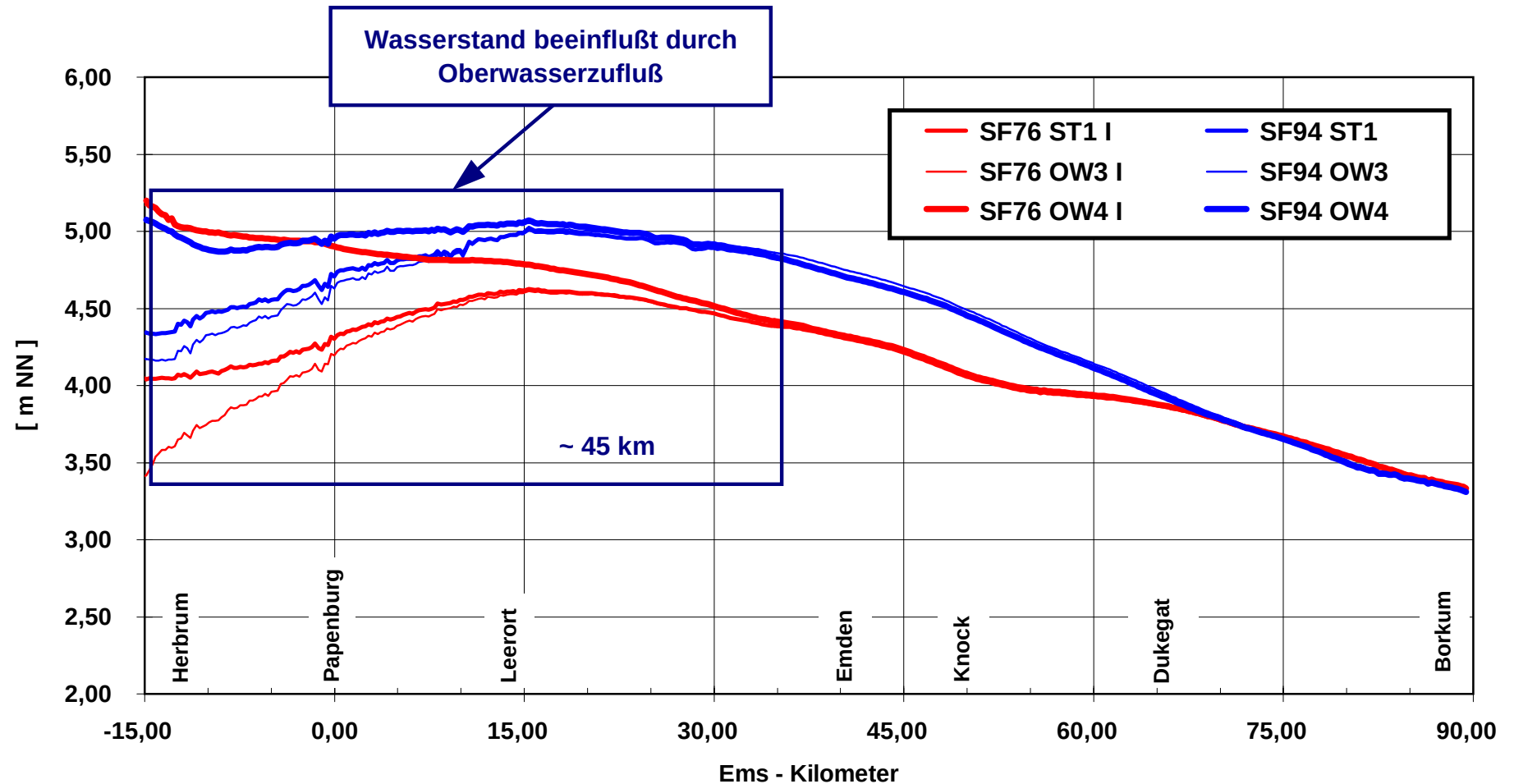
# Oberwasservariationen Weser

## Sturmflutscheitelwasserstand SF76 und SF94



# Oberwasservariationen Ems

## Sturmflutscheitelwasserstand SF76 und SF94





## Oberwasservariationen: Unterschiede zum Referenzlauf

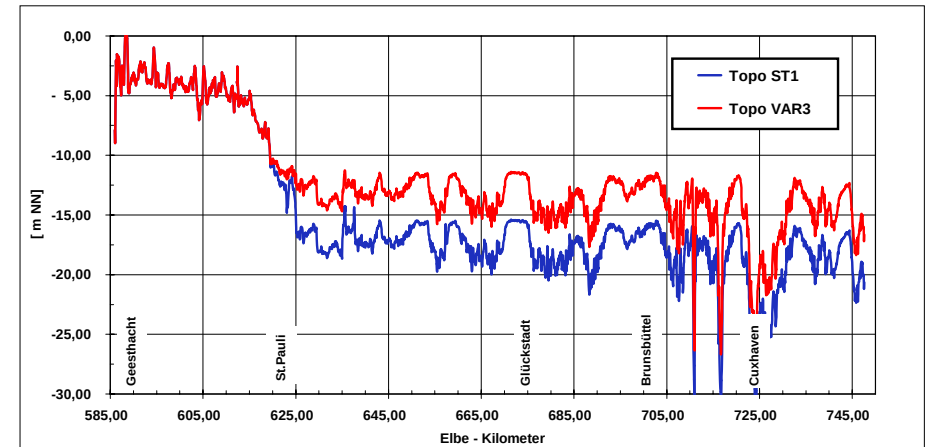
| Ästuar | Länge<br>ab<br>Wehr | Ort und<br>Stromkilometer | OW3: MNQ            |                     | OW4: HHQ            |                     |
|--------|---------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|        |                     |                           | SF76                | SF94                | SF76                | SF94                |
|        |                     |                           | $\Delta$ HW<br>[cm] | $\Delta$ HW<br>[cm] | $\Delta$ HW<br>[cm] | $\Delta$ HW<br>[cm] |
| Ems    | 0                   | Wehr Herbrum -14          | -49                 | -17                 | +108                | +70                 |
|        | 21                  | Weener 7                  | -5                  | -3                  | +33                 | +16                 |
|        | 49                  | Pogum 35                  | <1                  | +4                  | +3                  | <1                  |
|        | 65                  | Knock 50                  | <1                  | +3                  | +2                  | <1                  |
|        | 79                  | Dukegat 65                | <1                  | +2                  | <1                  | <1                  |
| Weser  | 0                   | Wehr Hemelingen -4        | -8                  | -56                 | +157                | +150                |
|        | 22                  | Vegesack 18               | -3                  | -28                 | +56                 | +43                 |
|        | 43                  | Brake 39                  | -3                  | -29                 | +37                 | +21                 |
|        | 71                  | Bremerhaven 67            | <1                  | -2                  | +10                 | -2                  |
|        | 84                  | Robbensüdsteert 80        | 0                   | <1                  | <1                  | <1                  |
| Elbe   | 0                   | Wehr Geesthacht 586       | -18                 | -82                 | +115                | +91                 |
|        | 25                  | Bunthaus 609N             | -5                  | -27                 | +53                 | +50                 |
|        | 55                  | Schulau 641               | -1                  | -7                  | +18                 | 18                  |
|        | 110                 | Brunsbüttel 696           | <1                  | -3                  | +9                  | +7                  |
|        | 138                 | Cuxhaven 724              | <1                  | <1                  | <1                  | <1                  |

⇒ 20 km stromab der Wehre: oberwasserbedingte Änderung nur noch 30 % - 50 %

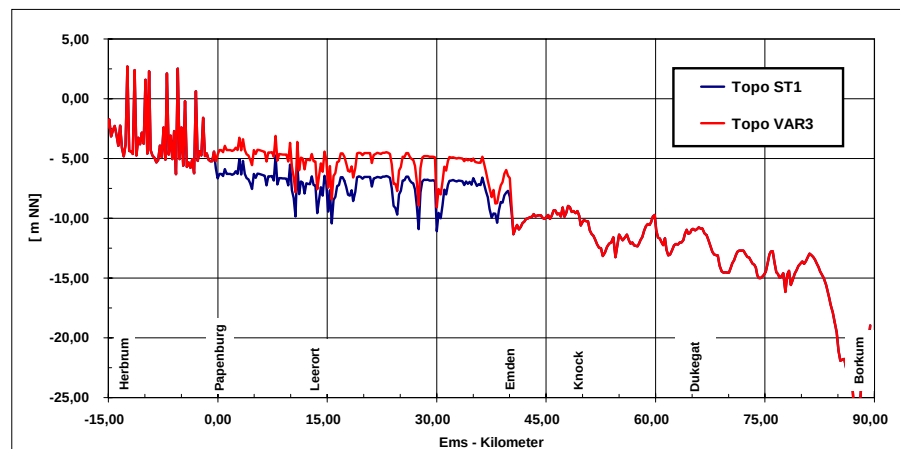
# Topographievariationen

**ST1:** Ist-Zustand

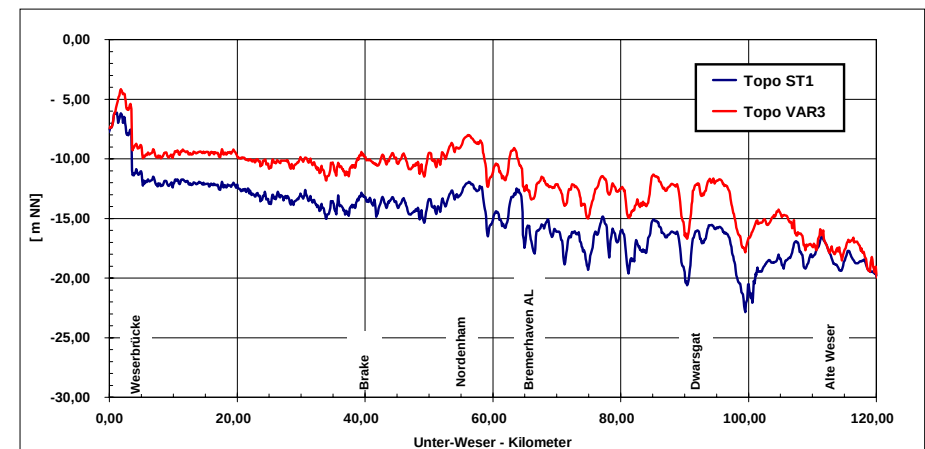
**VAR3:** Aufhöhung der Rinnen um 2 m (Ems)  
bzw. 4 m (Elbe und Weser)



**Elbe**



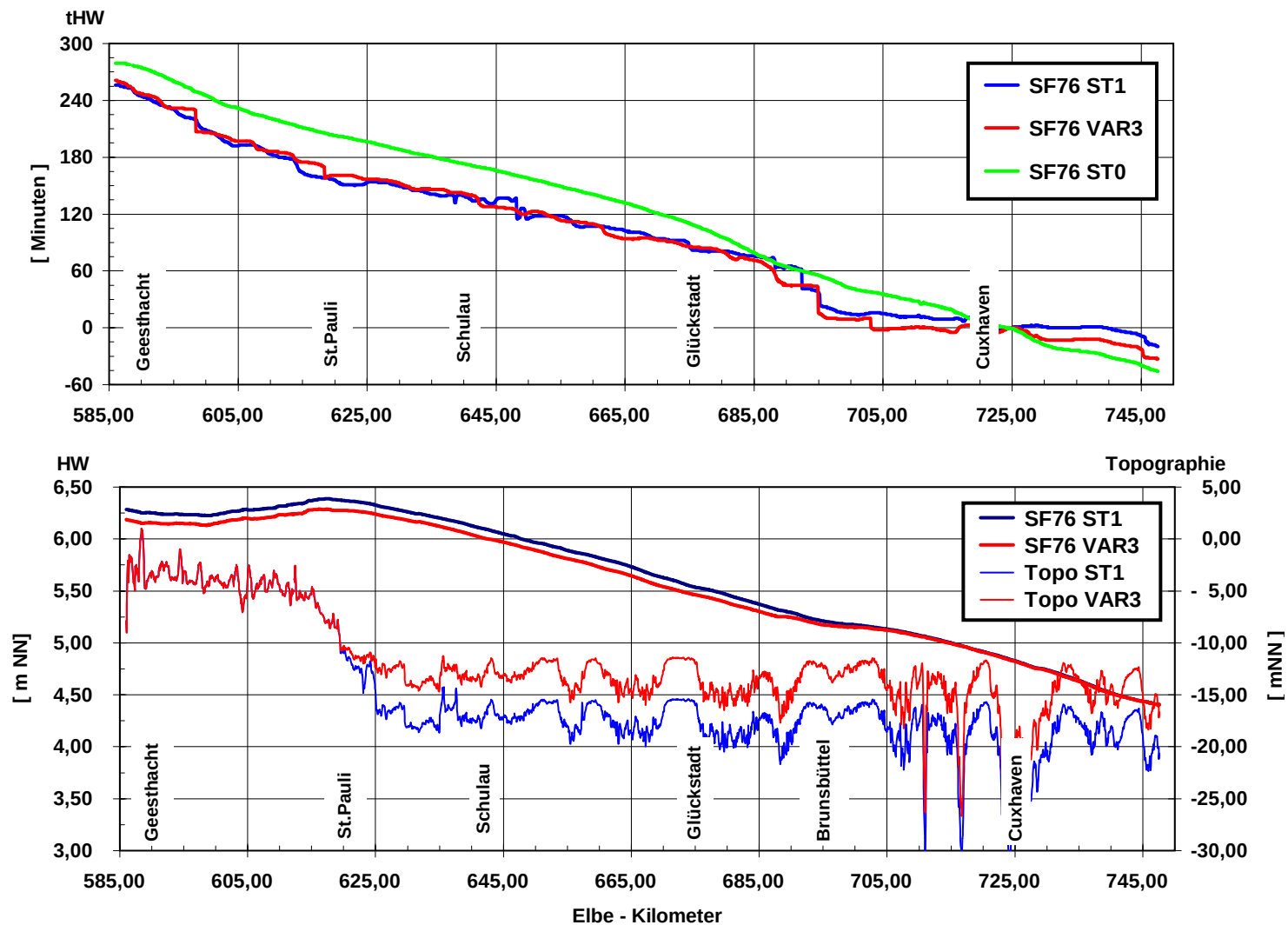
**Ems**



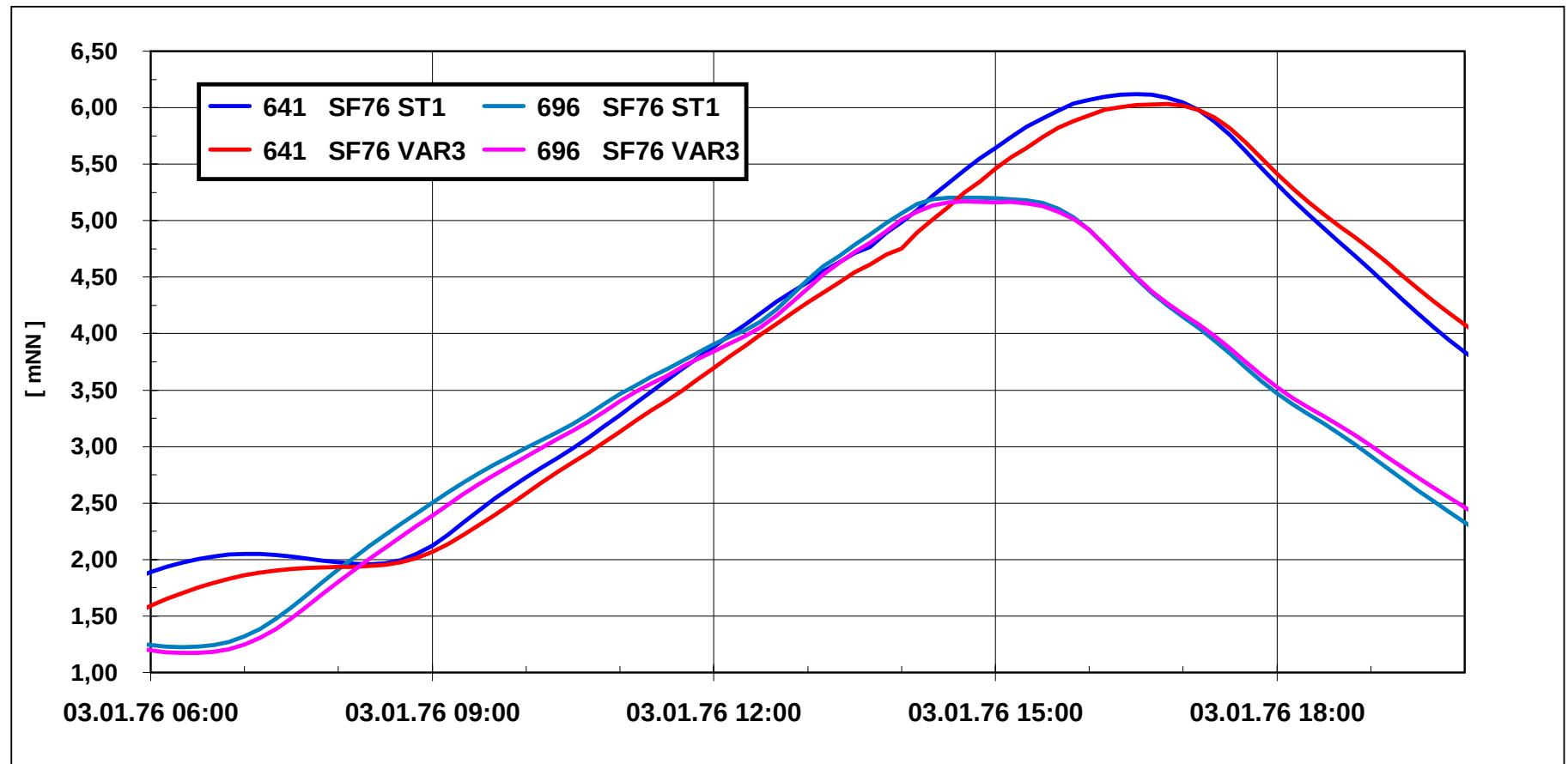
**Weser**

# Topographievariation Elbe

## Eintrittszeit und Sturmflutschwergewasserstand SF76

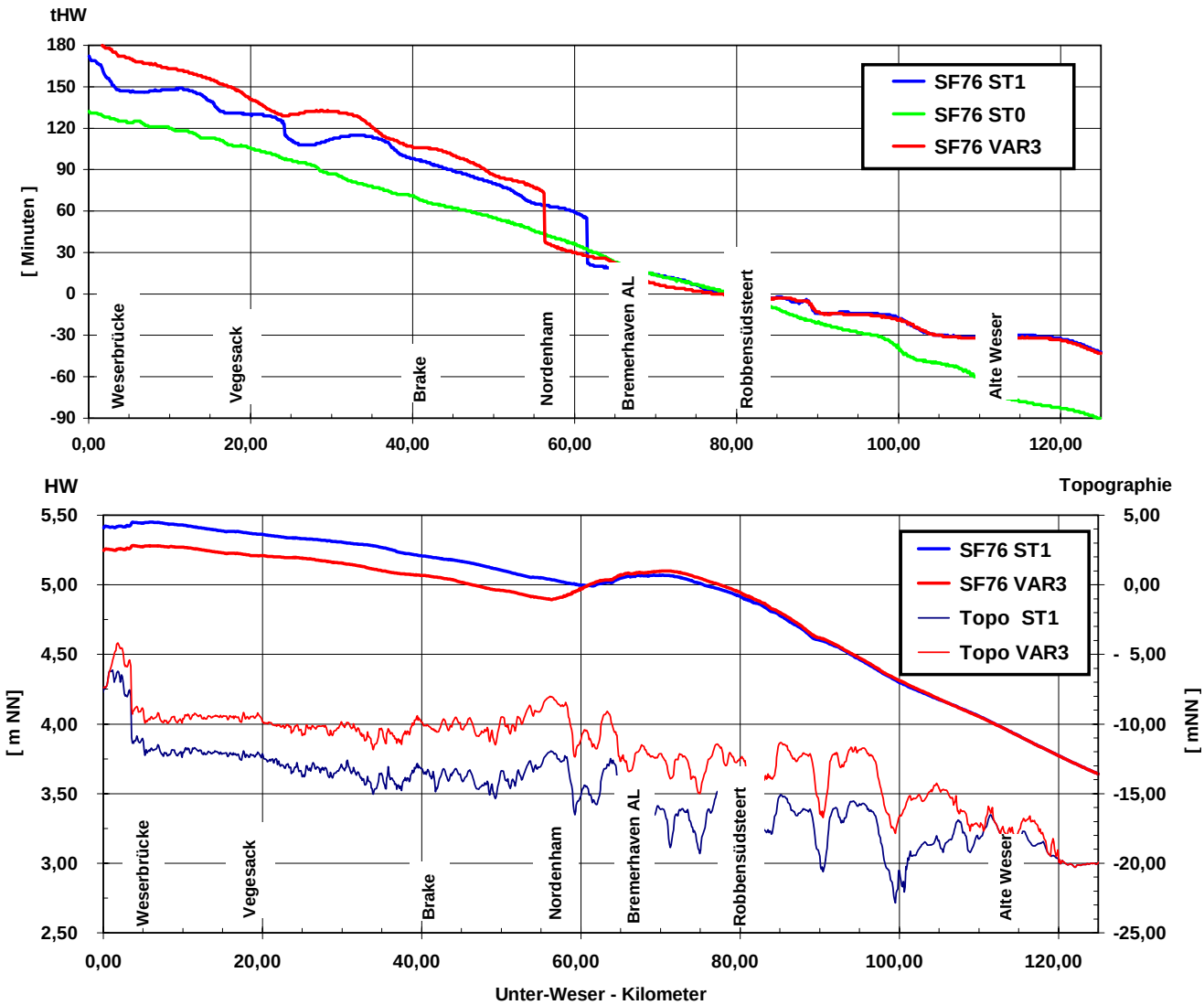


## SF94 Wasserstand Elbe km 696 (Brunsbüttel) und Elbe km 641 (Schulau)



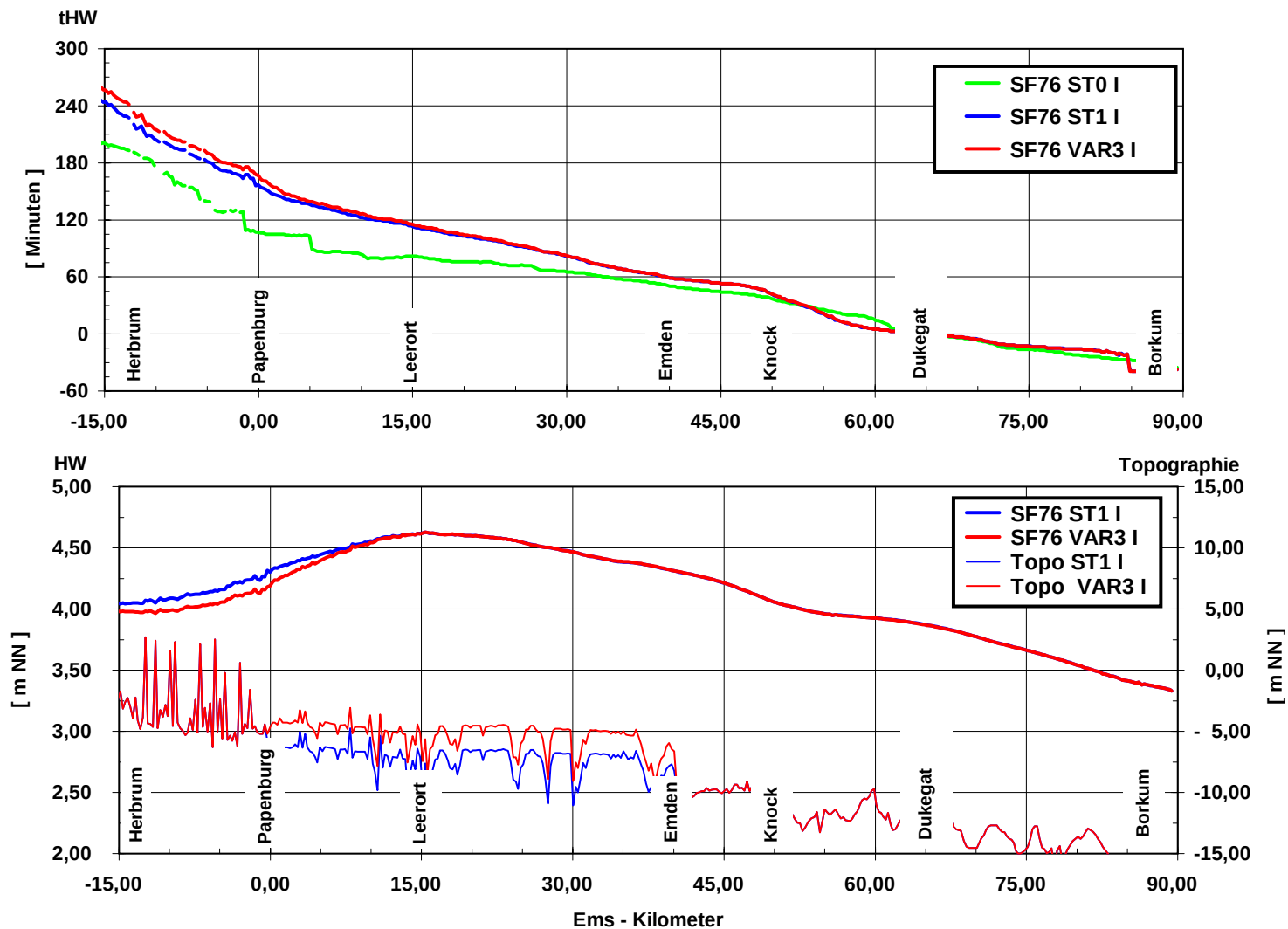
# Topographievariation Weser

## Eintrittszeit und Sturmflutschwelle Wasserstand SF76



# Topographievariation Ems

## Eintrittszeit und Sturmflutschwellestand SF76



## Topographievariation: Unterschiede zum Referenzlauf

| Ästuar | Länge<br>ab<br>Wehr | Ort und<br>Stromkilometer | VAR3: Aufhöhung der Rinne |                       |                     |                       |
|--------|---------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
|        |                     |                           | SF76                      |                       | SF94                |                       |
|        |                     |                           | $\Delta$ HW<br>[cm]       | $\Delta$ tHW<br>[min] | $\Delta$ HW<br>[cm] | $\Delta$ tHW<br>[min] |
| Ems    | 0                   | Wehr Herbrum -14          | -7                        | +14                   | -6                  | +10                   |
|        | 21                  | Weener 7                  | -3                        | +3                    | -6                  | +1                    |
|        | 49                  | Pogum 35                  | <1                        | 0                     | <1                  | -2                    |
|        | 65                  | Knock 50                  | <1                        | 0                     | <1                  | -2                    |
|        | 79                  | Dukegat 65                | <1                        | 0                     | <1                  | 0                     |
| Weser  | 0                   | Wehr Hemelingen -4        | -15                       | +1                    | -13                 | +24                   |
|        | 22                  | Vegesack 18               | -3                        | +1                    | -16                 | +30                   |
|        | 43                  | Brake 39                  | -3                        | +3                    | -19                 | +5                    |
|        | 71                  | Bremerhaven 67            | <1                        | +1                    | <1                  | +8                    |
|        | 84                  | Robbensüdsteert 80        | 0                         | 0                     | <1                  | 0                     |
| Elbe   | 0                   | Wehr Geesthacht 586       | -10                       | +5                    | -13                 | +23                   |
|        | 25                  | Bunthaus 609N             | -9                        | -1                    | -15                 | +28                   |
|        | 55                  | Schulau 641               | -9                        | +4                    | -16                 | +22                   |
|        | 110                 | Brunsbüttel 696           | -3                        | -11                   | -4                  | +2                    |
|        | 138                 | Cuxhaven 724              | <1                        | 0                     | <1                  | 0                     |

⇒ aufhöhungsbedingte Änderungen im HW erst stromauf der Mündungstrichter

⇒ Änderungen im tHW aufgrund veränderter Form der Sturmflutidekurve

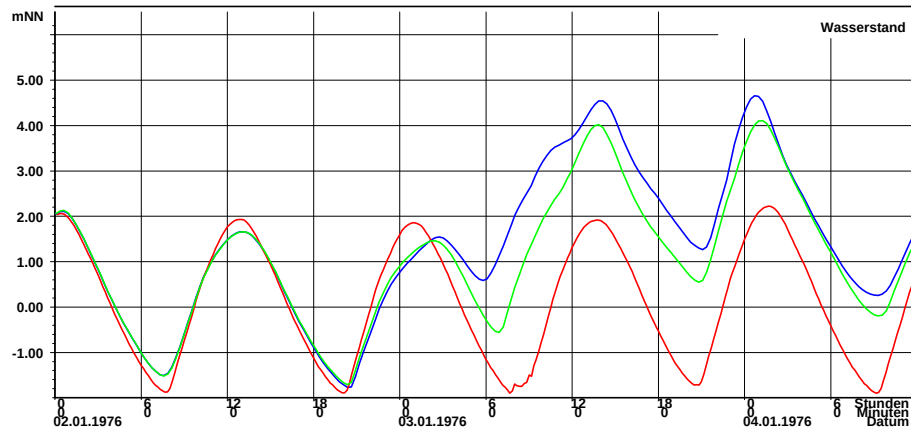
## Windeinfluss

### Sturmflut 3.1.1976

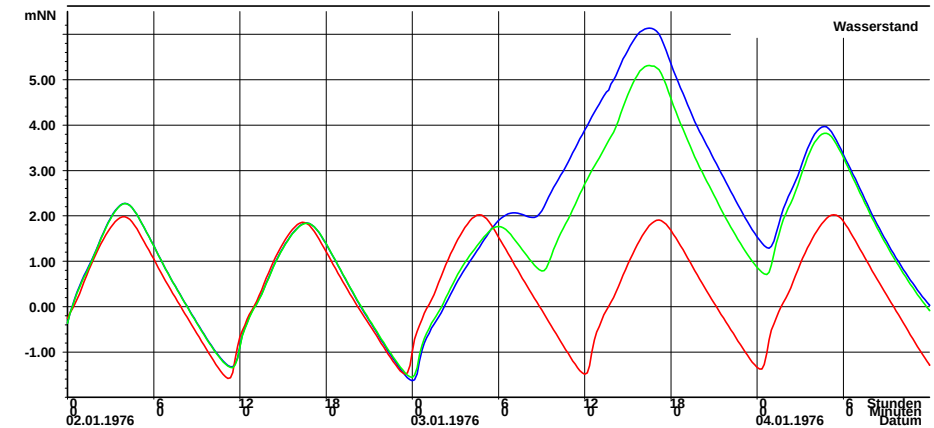
**ST1:** Ist-Zustand (Referenz)

**W0:** ohne lokalen Wind

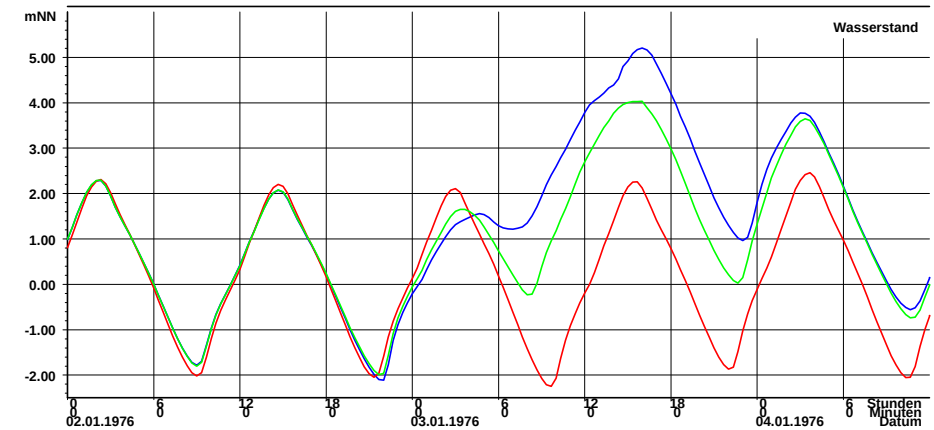
**ST0:** astronomische Tide



Wasserstandsentwicklung Ems-km 25 (Terborg)



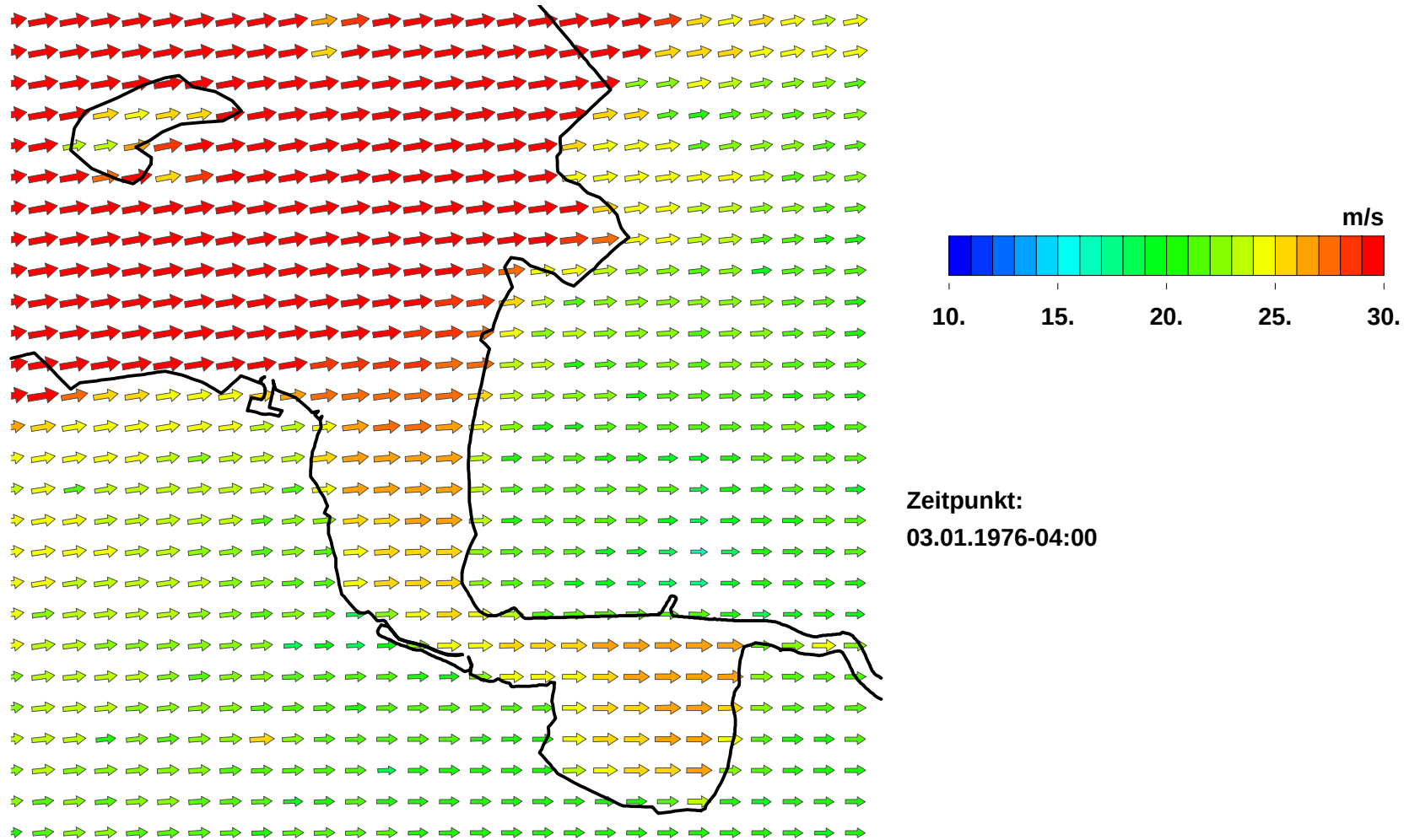
Wasserstandsentwicklung Elbe-km 640 (Schulau)



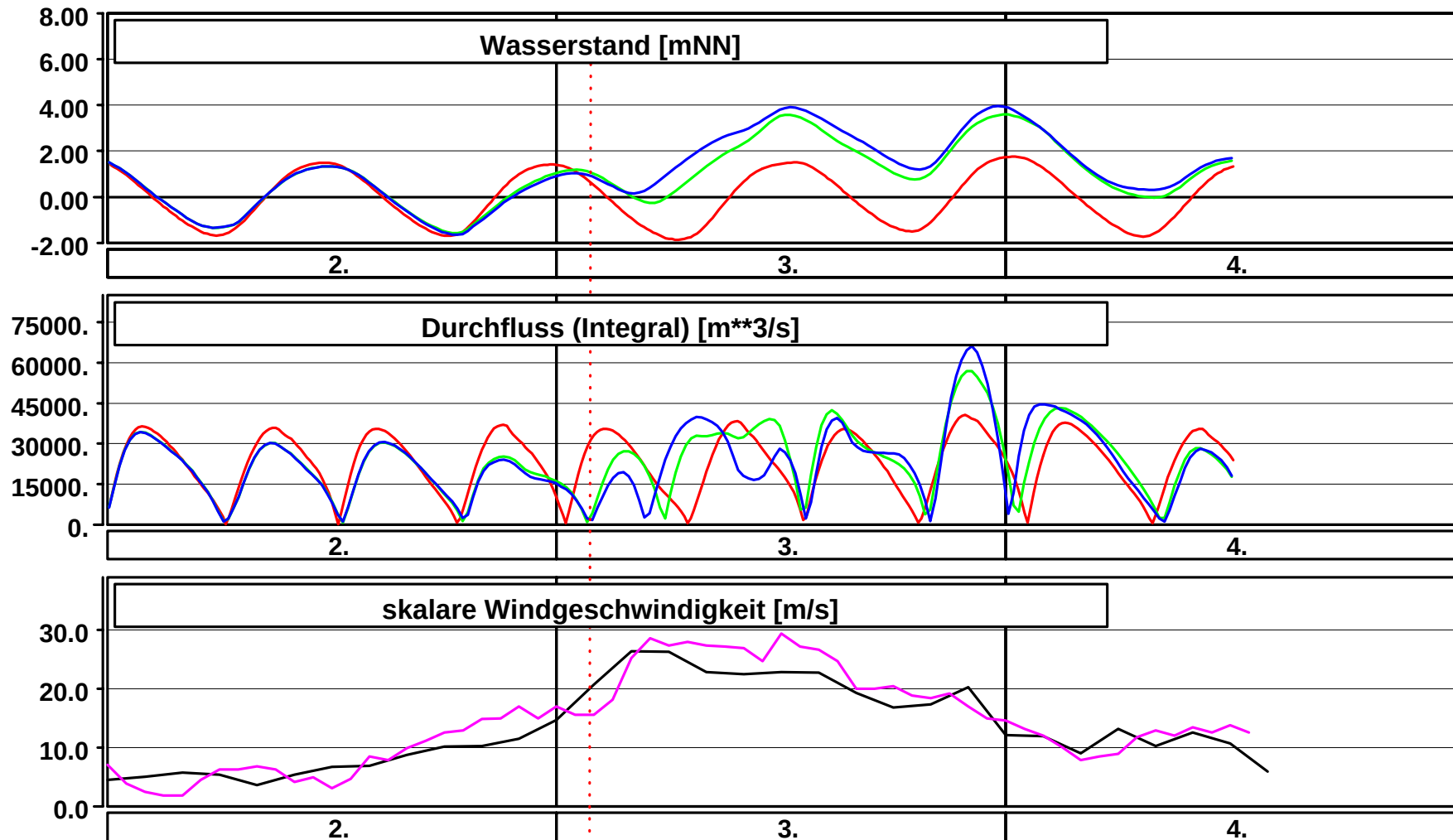
Wasserstandsentwicklung Weser-km 40 (Brake)



## EMS SF76 ST1: Windgeschwindigkeit 3.1.1976 4:00 (Ebbstrom)



# SF76 Wasserstand, Durchfluss und Wind bei Ems km 65 (Dukegat)



Wasserstand und Durchfluss

ST1: IST - Zustand

W0: ohne lokalen Wind

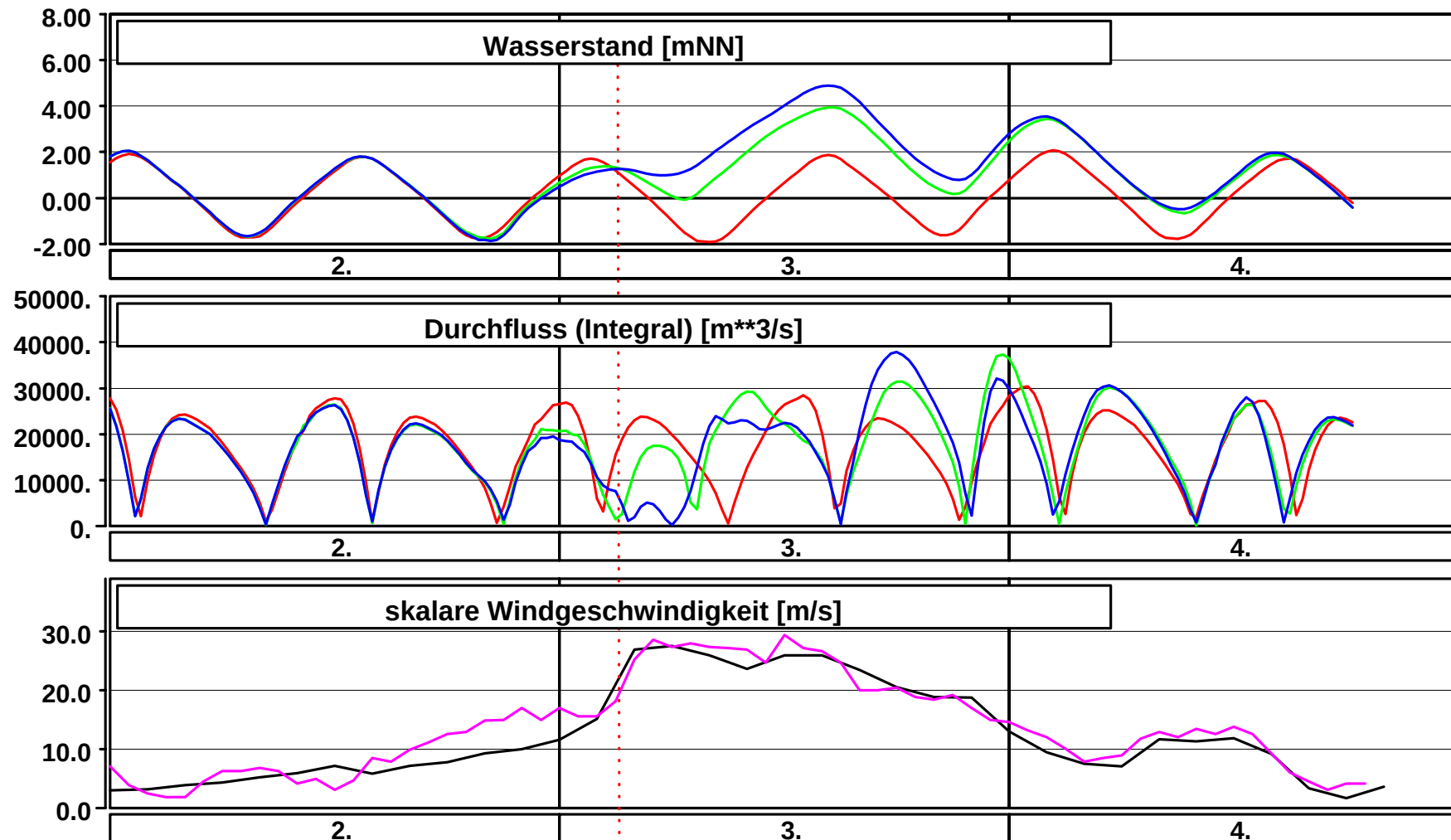
ST0: astron. Tide

Windgeschwindigkeit

ST1: MKW-Wind bei Ems km 65

Messung: Scharhörn

# SF76 Wasserstand, Durchfluss und Wind bei Weser km 80 (Robbensüdsteert)



Wasserstand und Durchfluss

ST1: IST - Zustand

W0: ohne lokalen Wind

ST0: astron. Tide

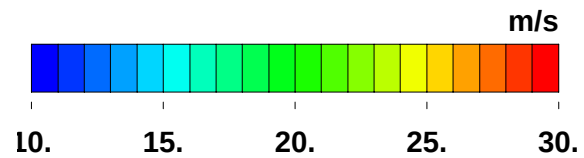
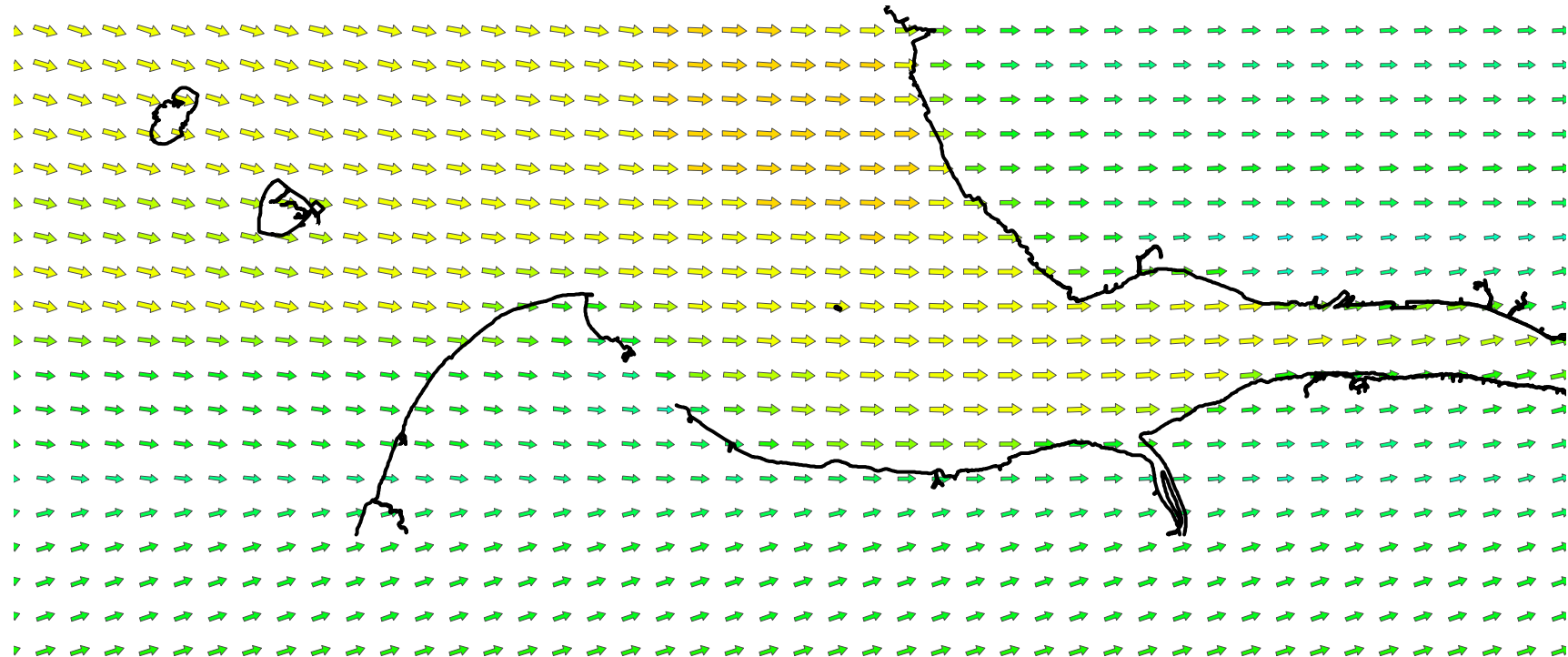
Windgeschwindigkeit

ST1: MKW-Wind bei Weser km 80

Messung: Scharhörn

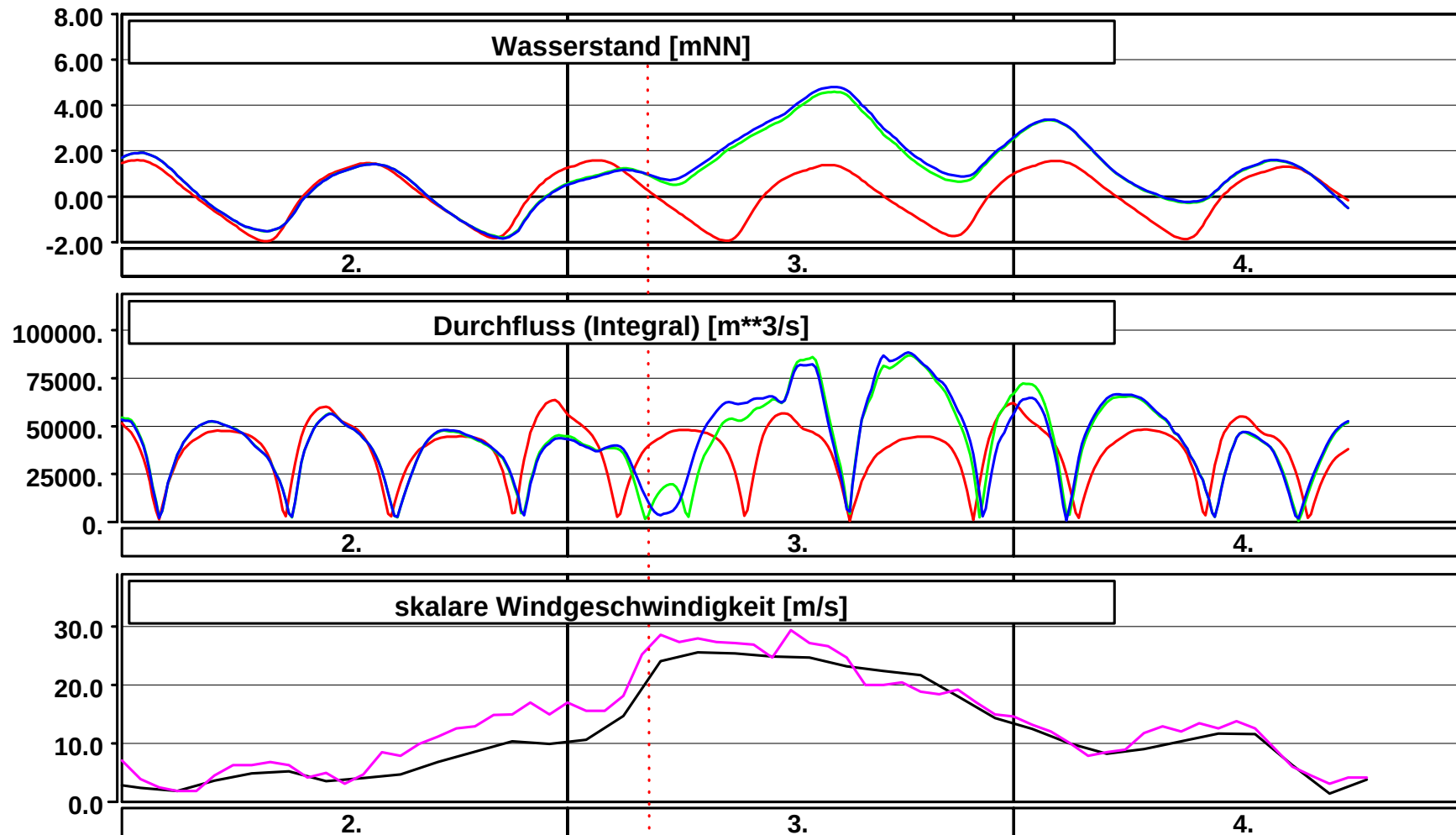


## ELBE SF76 ST1: Windgeschwindigkeit 3.1.1976 5:00 (Ebbstrom)



Zeitpunkt:  
03.01.1976-05:00

## SF76 Wasserstand, Durchfluss und Wind bei Elbe km 730 (Cuxhaven)



Wasserstand und Durchfluss

ST1: IST - Zustand

W0: ohne lokalen Wind

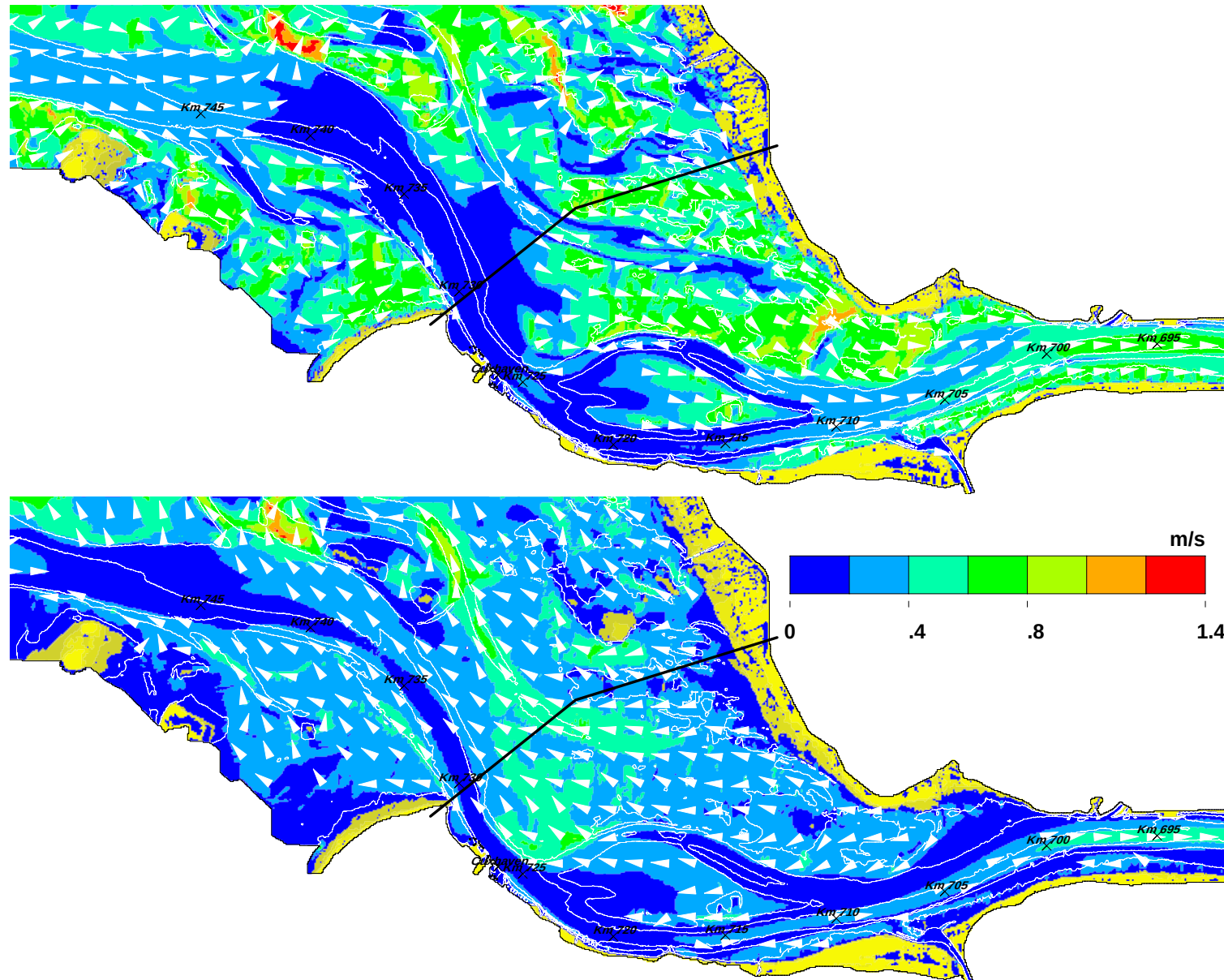
ST0: astron. Tide

Windgeschwindigkeit

ST1: MKW-Wind bei Elbe km 730

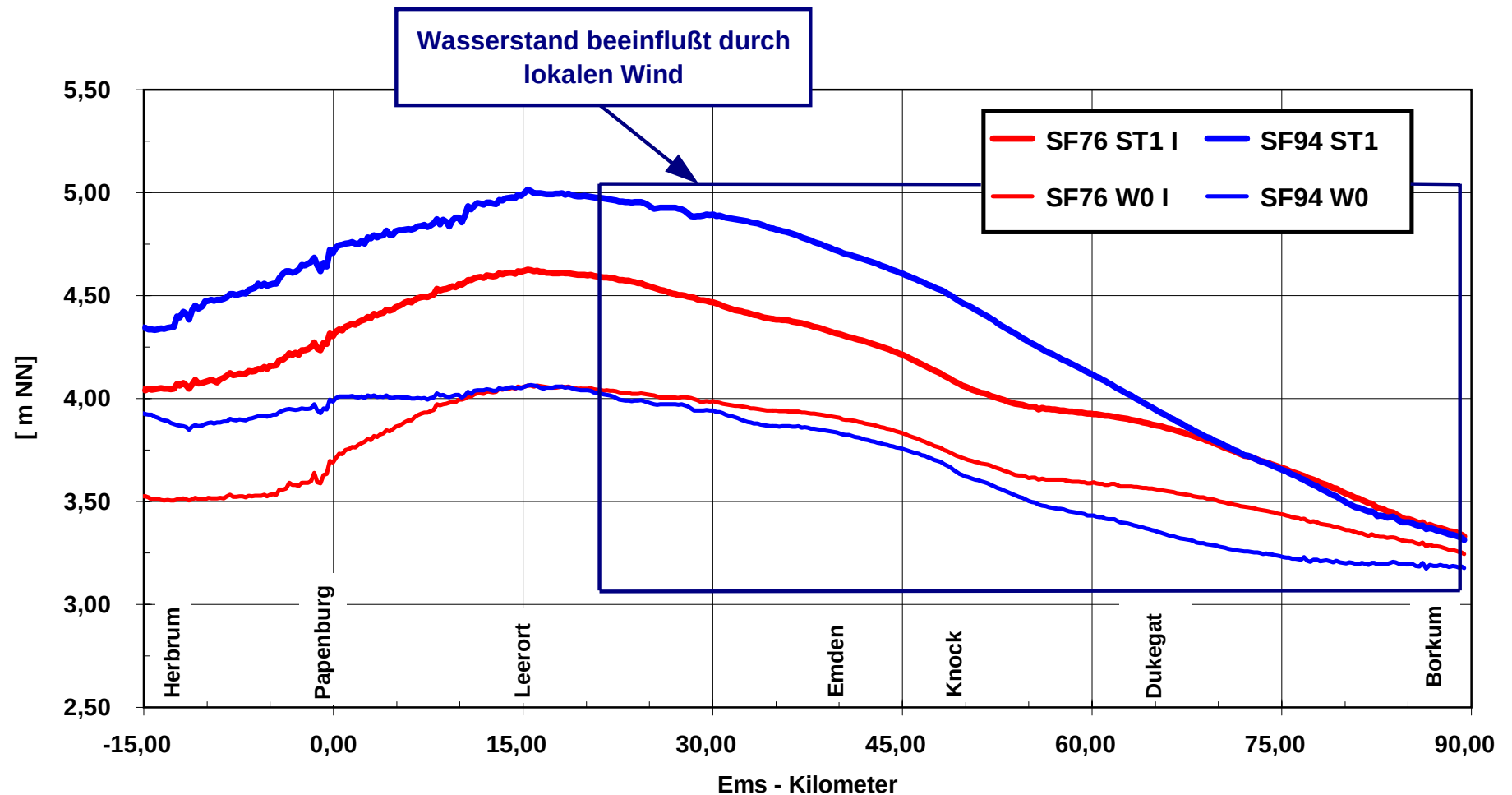
Messung: Scharhörn

# Elbe SF76 Strömung: ST1 (oben) und W0 (unten) 3.1.76 5:00 (Ebbstrom)



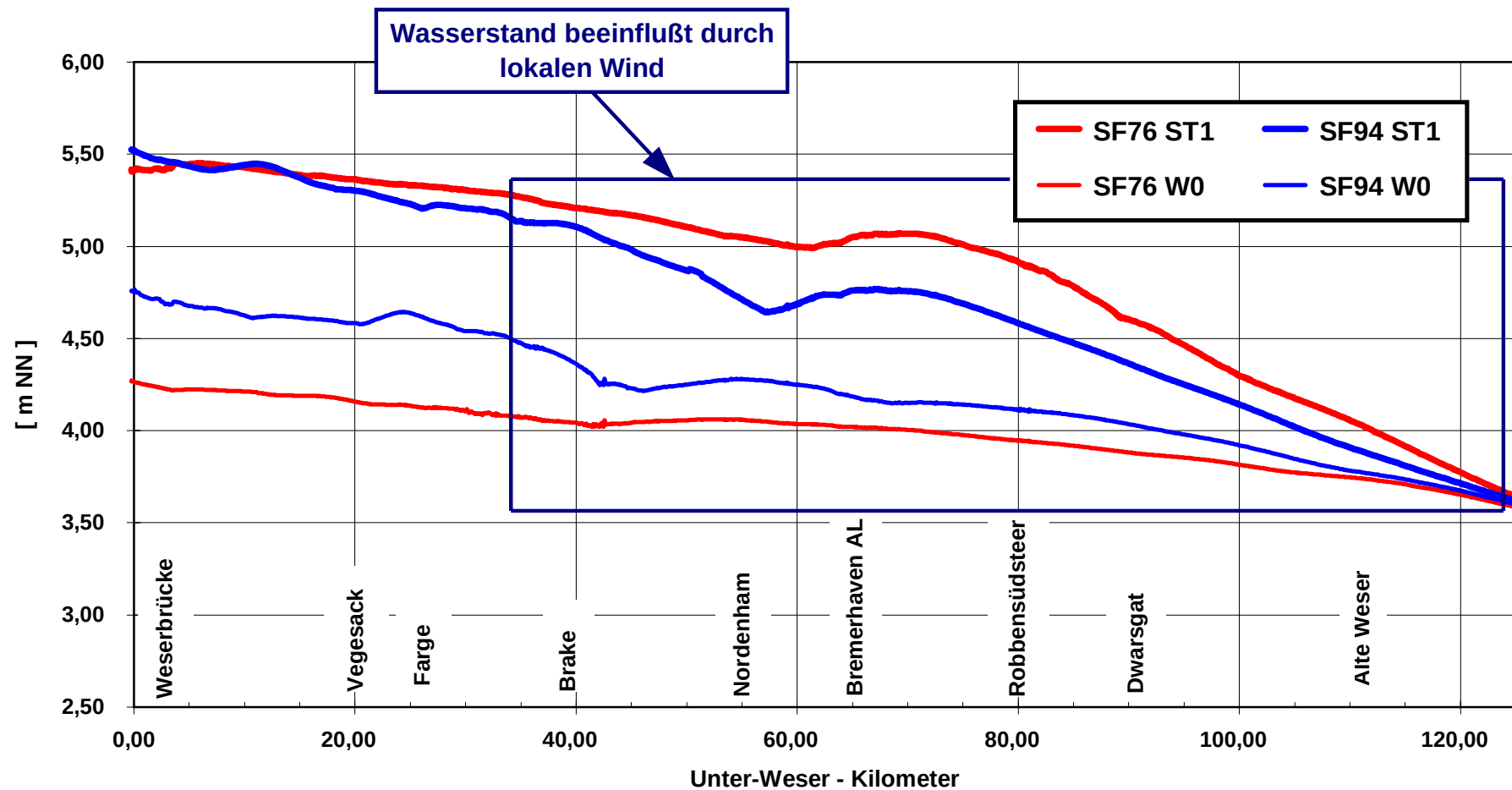
## Windeinfluss Ems

### Sturmflutscheitelwasserstand SF76 und SF94



# Windeinfluss Weser

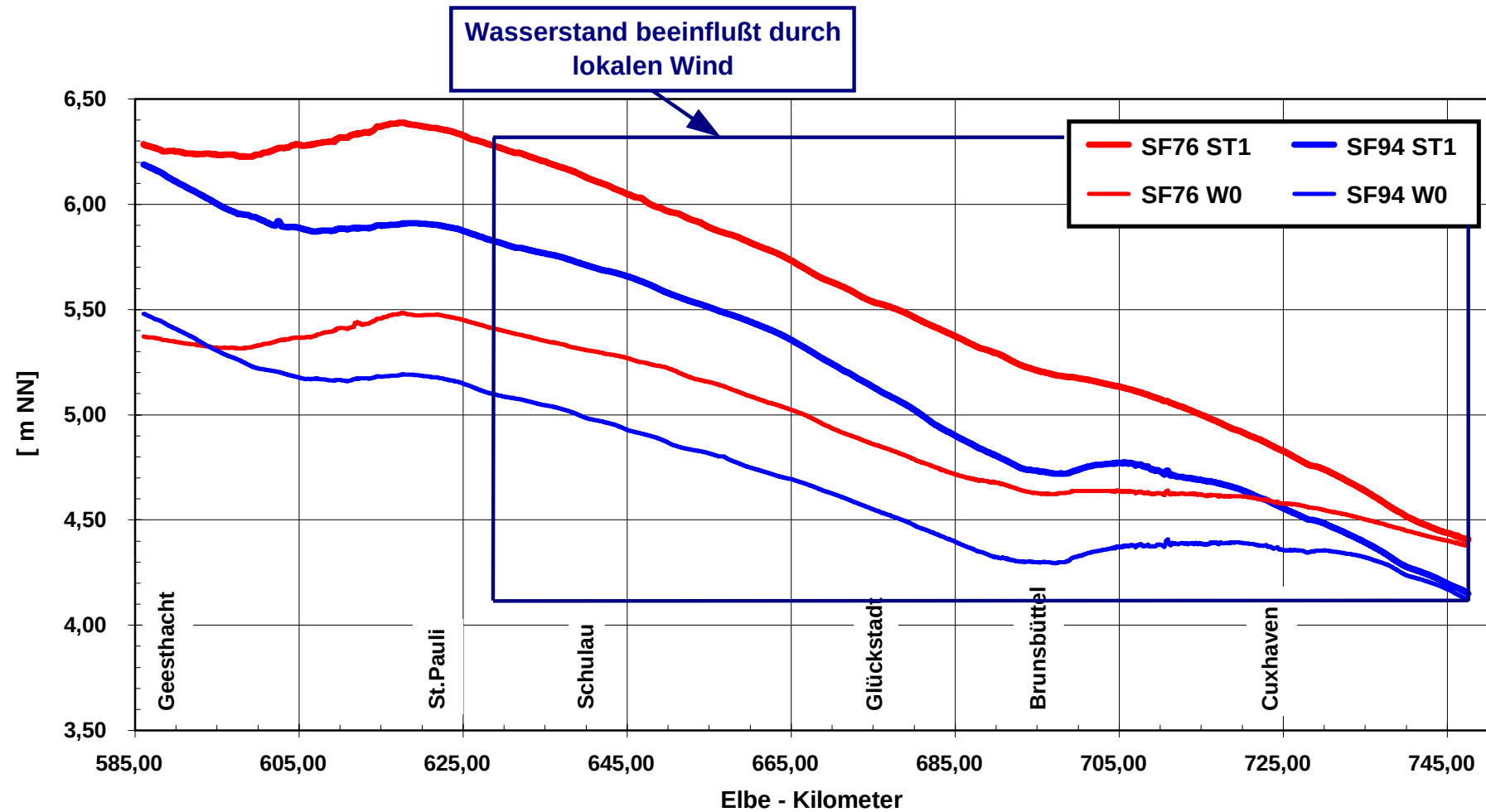
## Sturmflutscheitelwasserstand SF76 und SF94





# Windeinfluss Elbe

## Sturmflutscheitelwasserstand SF76 und SF94



## Einfluss des lokalen Windes

| Ästuar | Länge<br>ab<br>Wehr | Ort und<br>Stromkilometer | W0: ohne lokalen Wind       |                             |
|--------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|        |                     |                           | SF76<br>$\Delta$ HW<br>[cm] | SF94<br>$\Delta$ HW<br>[cm] |
| Ems    | 0                   | Wehr Herbrum -14          | -53                         | -43                         |
|        | 21                  | Weener 7                  | -56                         | -84                         |
|        | 39                  | Terborg 25                | -53                         | -96                         |
|        | 49                  | Pogum 35                  | -44                         | -95                         |
|        | 65                  | Knock 50                  | -35                         | -83                         |
|        | 79                  | Dukegat 65                | -31                         | -59                         |
| Weser  | 0                   | Wehr Hemelingen -4        | -111                        | -70                         |
|        | 22                  | Vegesack 18               | -119                        | -72                         |
|        | 43                  | Brake 39                  | -117                        | -73                         |
|        | 71                  | Bremerhaven 67            | -105                        | -60                         |
|        | 84                  | Robbensüdsteert 80        | -97                         | -47                         |
| Elbe   | 0                   | Wehr Geesthacht 586       | -91                         | -71                         |
|        | 25                  | Bunthaus 609N             | -90                         | -71                         |
|        | 37                  | St.Pauli 623N             | -86                         | -72                         |
|        | 55                  | Schulau 641               | -81                         | -72                         |
|        | 110                 | Brunsbüttel 696           | -58                         | -43                         |
|        | 138                 | Cuxhaven 724              | -26                         | -21                         |

⇒ Einflussbereich tiefer in Elbe ( 100 km) als in Ems ( 40 km) oder Weser ( 40 km)

## Wesentliche Ergebnisse

- 2 Sturmfluten: 3.1.1976 und 28.1.1994 in 3 Ästuaren: Ems, Jade-Weser und Elbe
- Sensitivitätsstudien: Oberwasserzufluss, Topographie und Wind
- Bedeutung der **Topographie**:
  - aufhöhungsbedingte Änderungen im HW erst stromauf der Mündungstrichter
- Bedeutung des **Oberwassers**:
  - erhöht/senkt deutlich den Sturmflutscheitelwasserstand im oberen Teil der Ästuar
  - bereits 20 km stromab der Wehre halbiert sich die oberwasserbedingte Änderung des Sturmflutscheitelwasserstandes
- Bedeutung des **lokalen Windes über dem Ästuar**
  - hoher Wind während Ebbe be-/verhindert das Abfließen des Wassers vor der Sturmflut (Bedeutung Windrichtung  $\Leftrightarrow$  Ausrichtung Ästuar)
  - hoher Wind während Flut hilft beim Füllen
- kennzeichne Bereiche in den Ästuaren empfindlich für
  - Topographieänderungen
  - Oberwasservariationen
  - lokalen Wind