

## **Simulation der Binnenzuflüsse zum Nord-Ostsee-Kanal mit LARSIM als Beitrag einer vorausschauenden Wasserbewirtschaftung**

Jochen Hohenrainer<sup>1</sup>, Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach<sup>1</sup>, Christian Elpers<sup>2</sup>,  
Martin Hunger<sup>2</sup>, Dennis Meißner<sup>1</sup> und Silke Rademacher<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

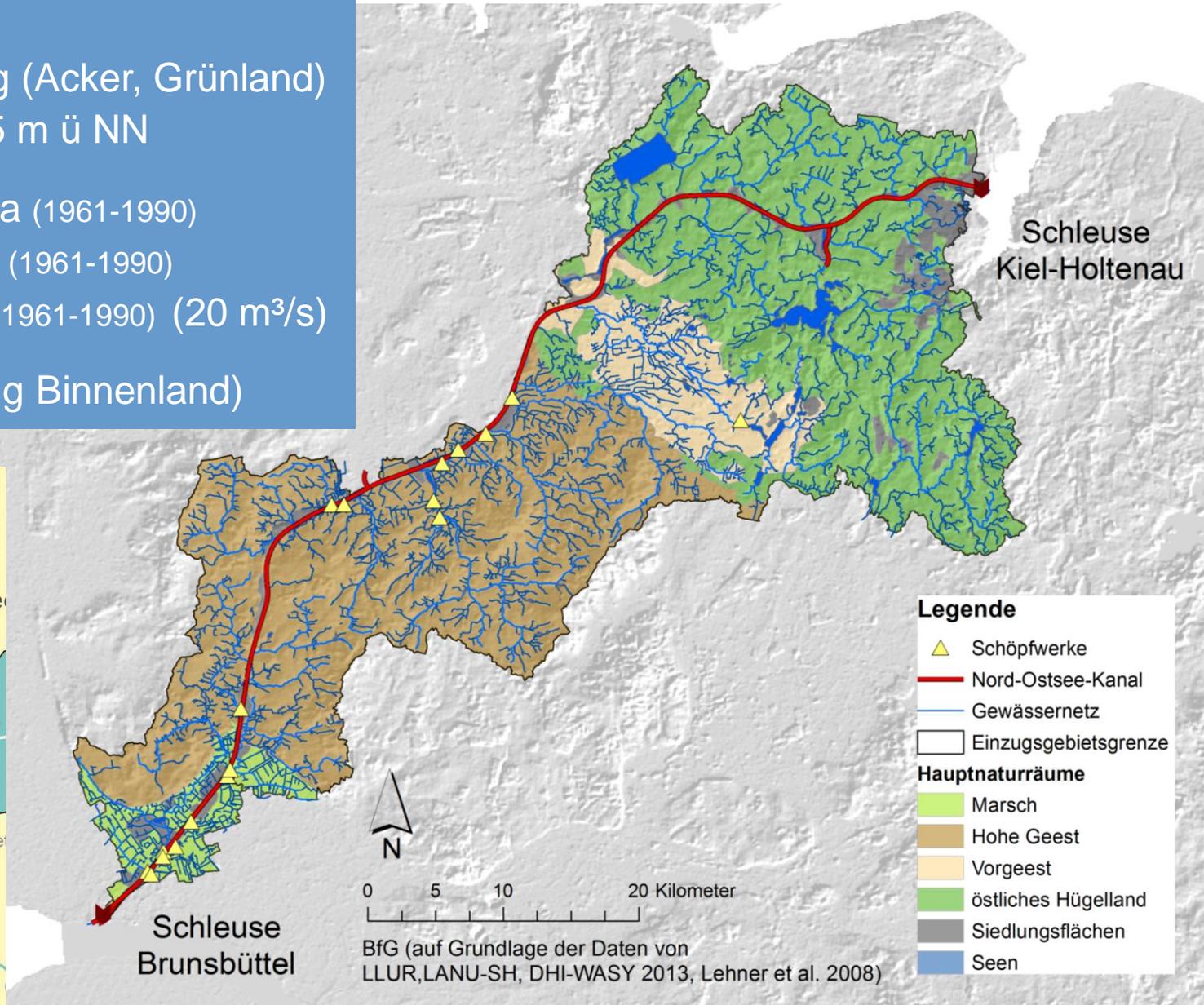
<sup>2</sup>Aquantec Gesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Karlsruhe

Internationaler LARSIM-Anwenderworkshop am 9./10.03.2016 in Augsburg

1. Gebietscharakteristika
2. Wassermengenbewirtschaftung NOK
3. Konzept der Modellsysteme
4. Globalstrahlung und Sonnenscheindauer in LARSIM NOK

# 1 Einzugsgebiet Nord-Ostsee-Kanal (NOK)

- Einzugsgebietsgröße: 1530 km<sup>2</sup>
- 4 Hauptnaturräume
- überwiegend landwirt. Nutzung (Acker, Grünland)
- Geländehöhe: ca. -5 bis ca. 85 m ü NN
- (korr.) Niederschlag: 910 mm/a (1961-1990)
- reale Verdunstung: 500 mm/a (1961-1990)
- Abflusshöhe: 410 mm/a (1961-1990) (20 m<sup>3</sup>/s)
- 18 Schöpfwerke (Entwässerung Binnenland)



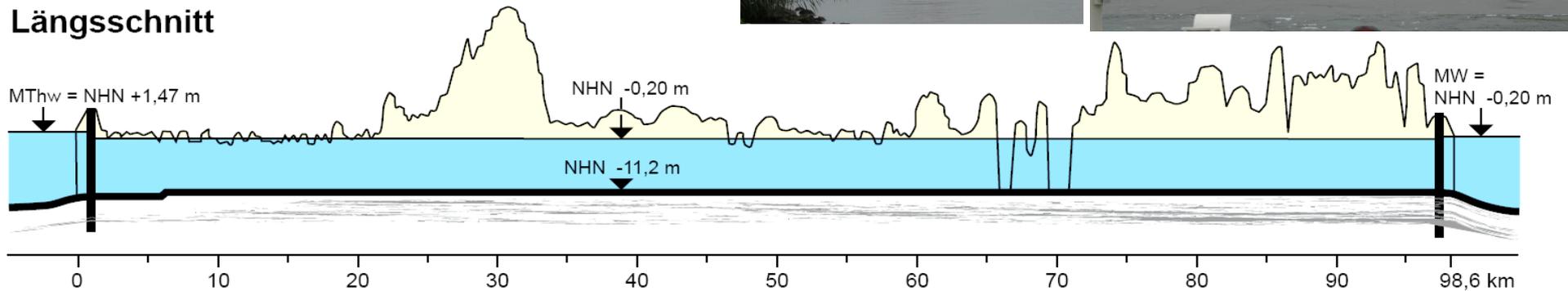
# 1 Bundeswasserstraße Nord-Ostsee-Kanal

- Länge: ca. 100 km
- Breite: 162,0 m (NOK-km 0,0 bis 87,0)  
102,5 m (NOK-km 87,0 bis 96,7)
- Sohltiefe 11,0 m
- 2 Hauptschleusen (Brunsbüttel, Kiel-Holtenau)
- 2 Nebenschleusen, 10 Brücken, 2 Wehre

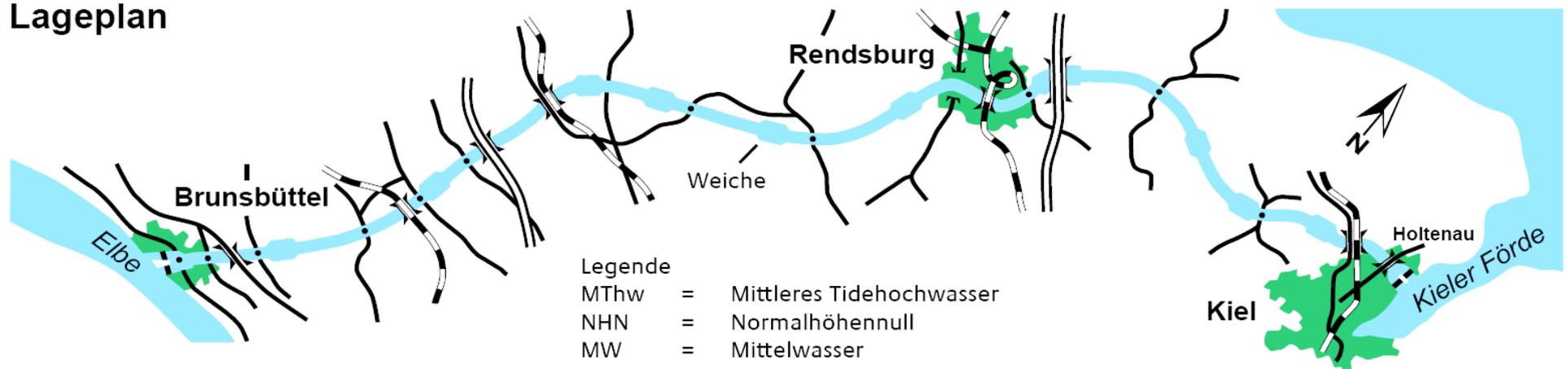


- meist befahrene künstliche Seeschiffahrtsstraße der Welt
  - 32 589 Schiffe (99,1 Mio. t) (2014)
  - zum Vergleich: Gütermengen Rhein (Emmerich) 156,8 Mio. t (2013)
- Quelle: WSV

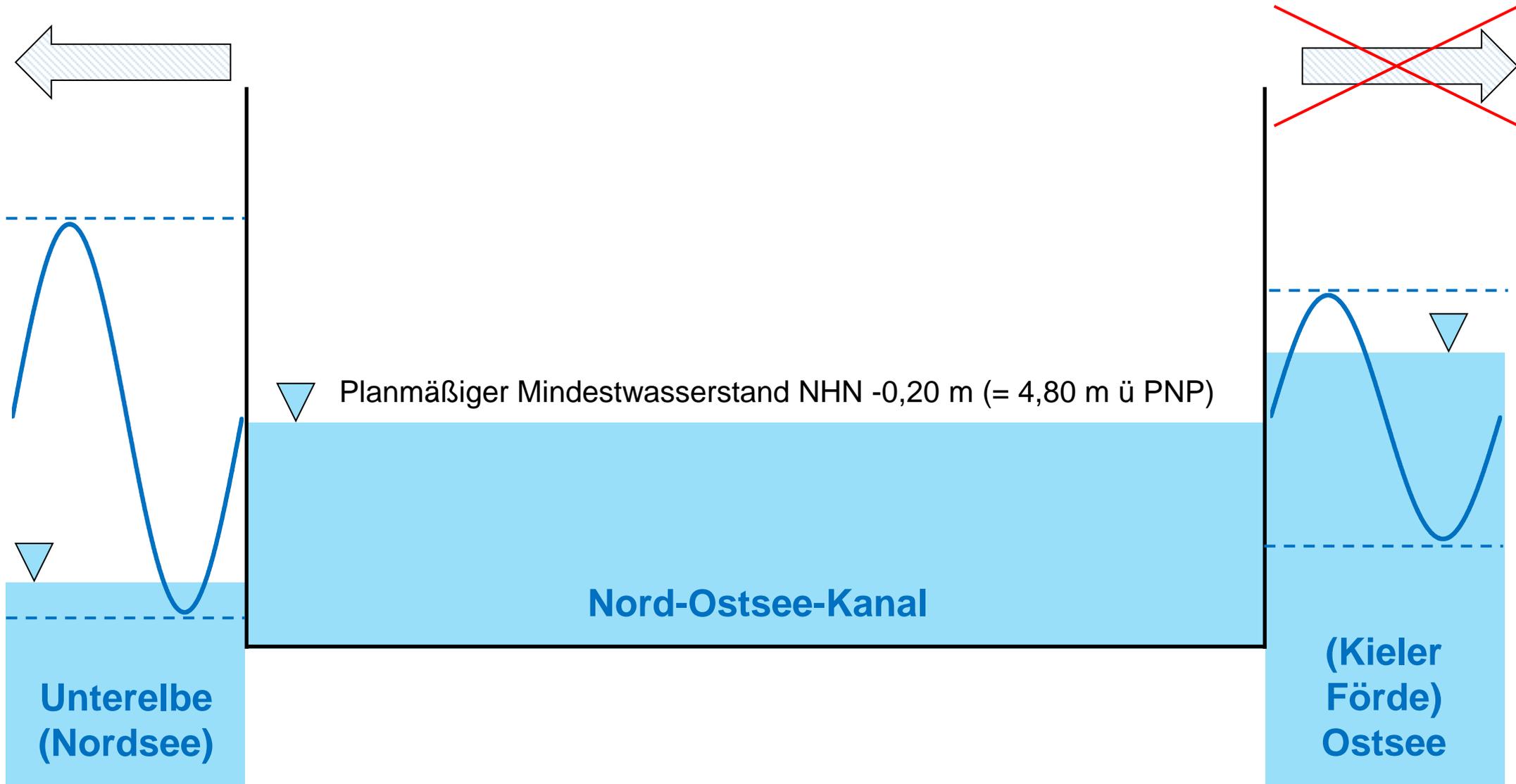
**Längsschnitt**



**Lageplan**



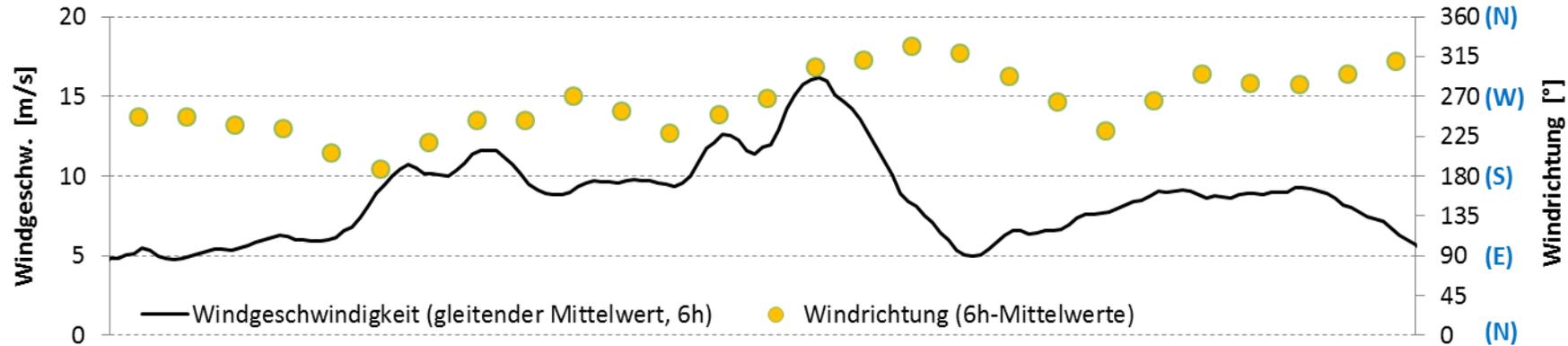
# 1 Entwässerung Nord-Ostsee-Kanal



# 2 Wassermengenbewirtschaftung NOK

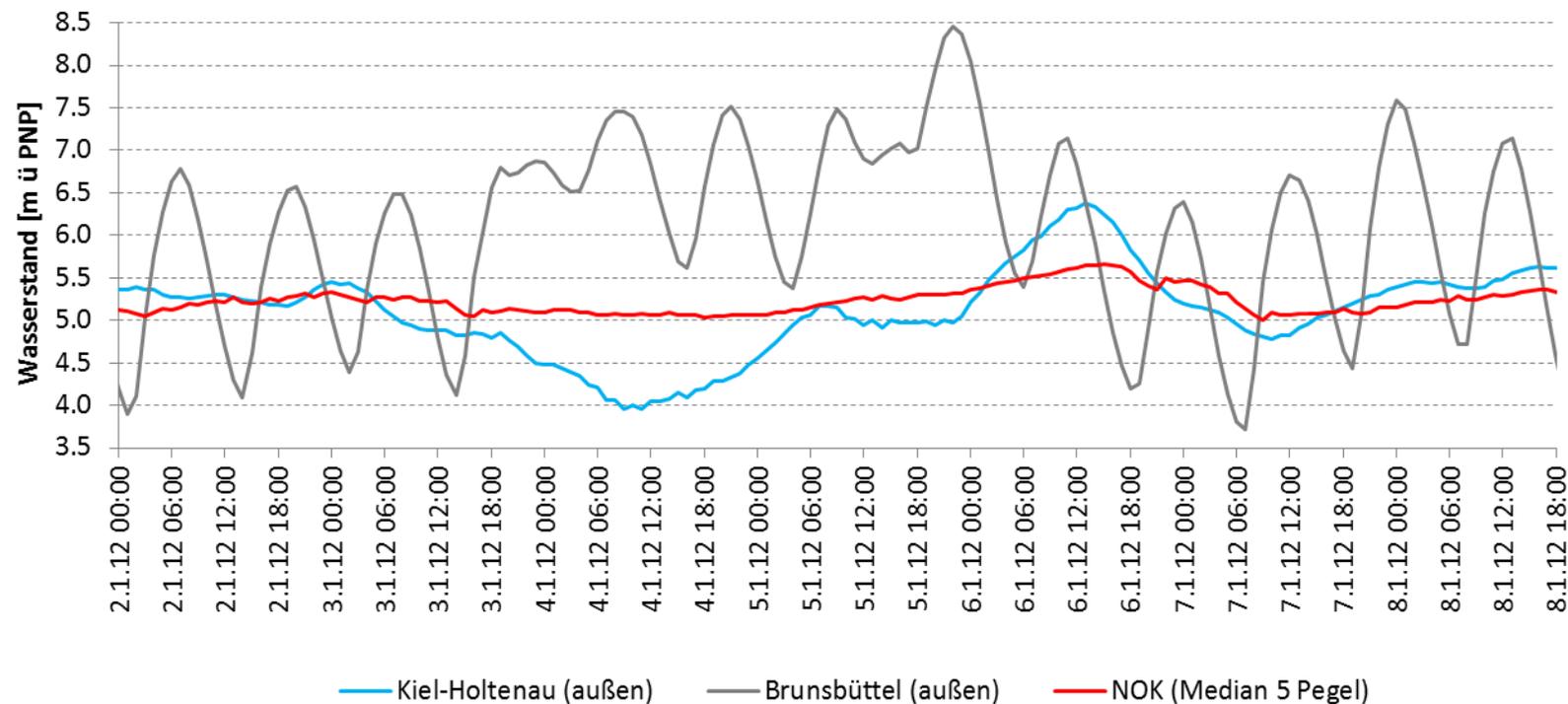
## Starke Westwinde...

Windmessung (DWD-Station Cuxhaven)



## ...Anstieg Tidehoch- und Tideniedrigwasser Nordsee

Wasserstände außen und binnen



### Ziel: Vorausschauende Wasserbewirtschaftung des Nord-Ostsee-Kanals

- Anlagensicherheit
- Gewährleistung eines möglichst reibungslosen Ablaufs des Schiffsverkehrs und
- des Betriebs der Wasserstraße einschließlich des Querverkehrs durch die Fähren

Auftrag GDWS ASt Nord, 28.01.2014 an die BfG:

Aufbau und Anwendung Wasserbewirtschaftungs- und Vorhersagemodellsystem

Fokus: 2 Zeithorizonte

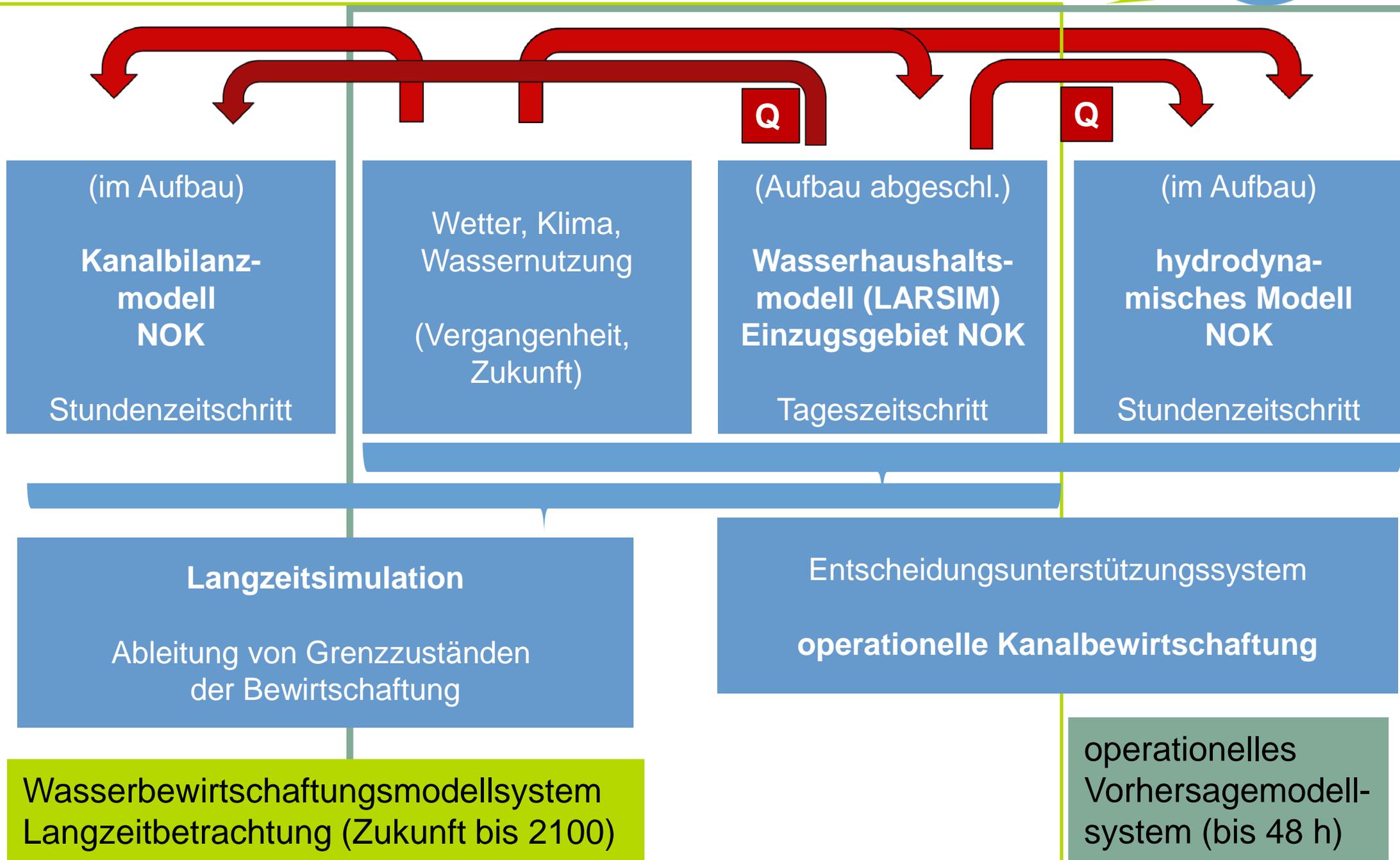
#### (A) Operationelles Vorhersagesystem (Kurzzeitvorhersagen)

Entscheidungshilfe im Entwässerungsbetrieb (kritische Vorwarnzeit bis 48 h)

#### (B) Langzeitbetrachtung

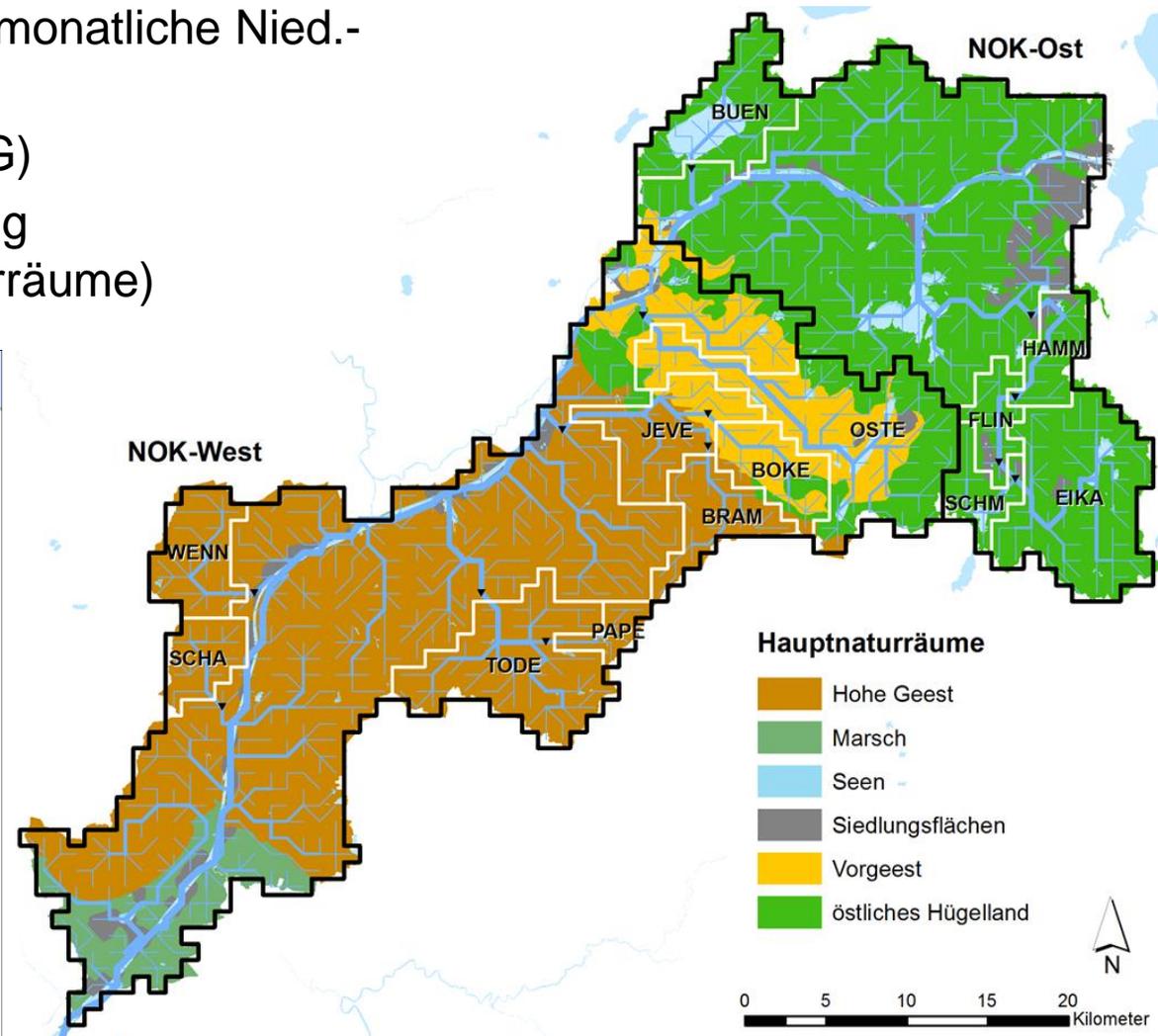
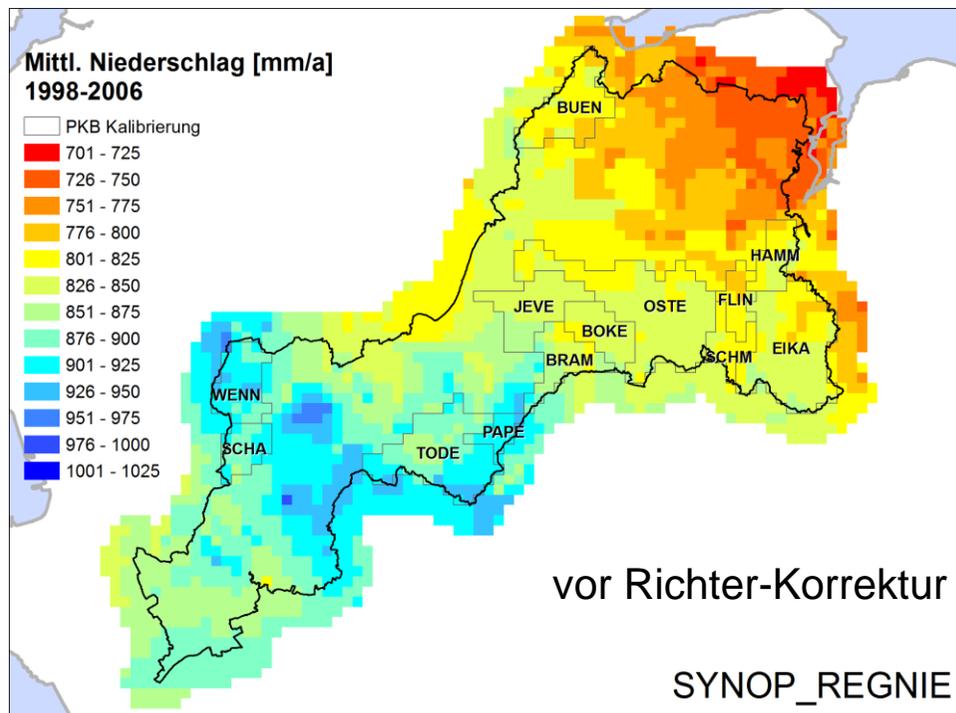
Ableitung Grenzzustände Bewirtschaftung NOK, zukünftige Auftretensveränderung (21. Jh.)  
Klimaprojektionen & veränderte betriebliche Erfordernisse der Wasserstraße

# 3 Modellsysteme



# 3 Wasserhaushaltsmodell LARSIM NOK

- 2 Teilmodelle (West, Ost), 1527 Rasterzellen (1x1 km<sup>2</sup>)
- 18 Schöpfwerke (West)
- Räumliche Interpolation SYNOP-Daten (Delft-FEWS):  
**IDW** bzw. **REGNIE-Hintergrundfelder**, monatliche Nied.-  
Korrektur nach Richter (1995)
- Kalibrierung: 13 Abflusspegel (37 % EZG)
- Unbeobachtetes Gebiet: Regionalisierung  
Modellparameter (3 Klassen, Hauptnaturräume)



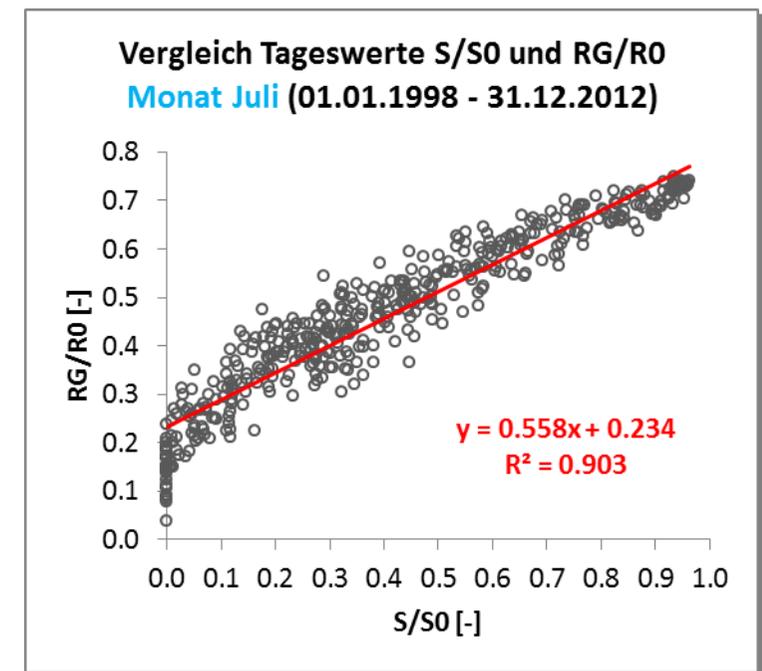
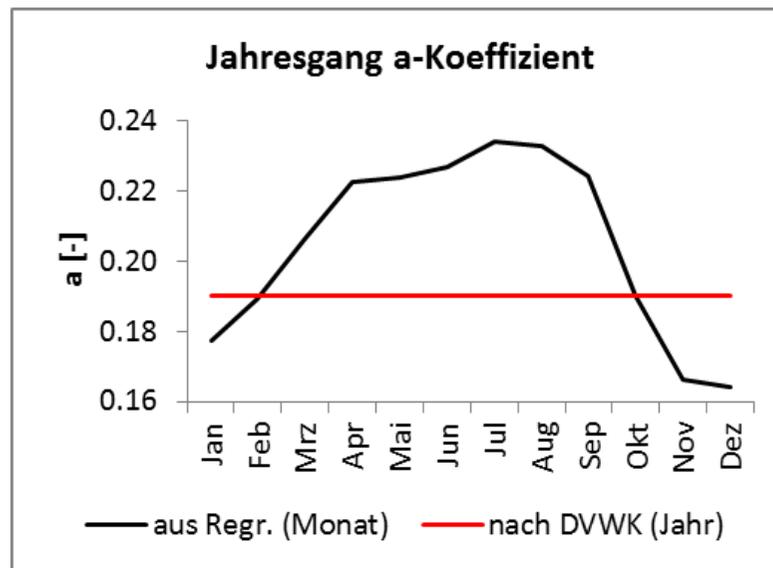
# 4 Globalstrahlung und Sonnenscheindauer

## Hintergrund

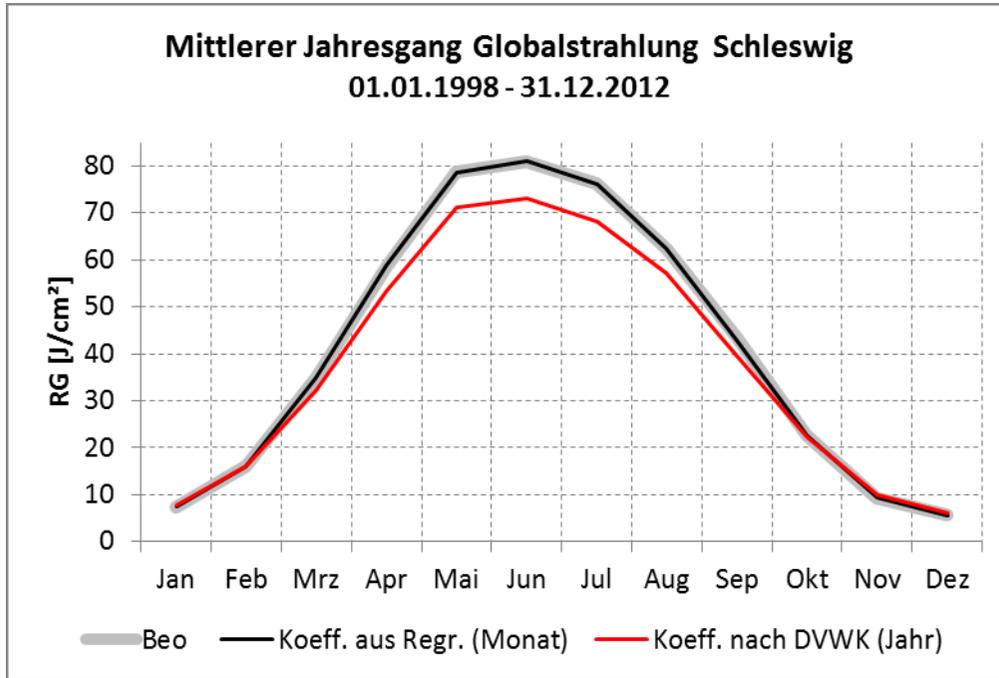
- Globalstrahlung **RG** für Evapotranspiration in LARSIM
- Geringe Messnetzdicke → Ableitung aus Sonnenscheindauer **S** (SYNOP-Daten)
- Ångström-Formel:  $RG = R_0 * (a + b * S/S_0)$  (vgl. DVWK 238/1996)  
R<sub>0</sub>: extraterr. Globalstr., S<sub>0</sub>: astronom. mögl. Sonnenscheindauer, a & b: empirische Koeffizienten

## Vorgehen

- Tageswerte DWD-Station Schleswig (01/1998 – 12/2012)
- Neuberechnung **a** und **b**: monatliche lineare Regression
- Vergleich mit „Standardwerten“ für D (z.B. DVWK 238/1996)



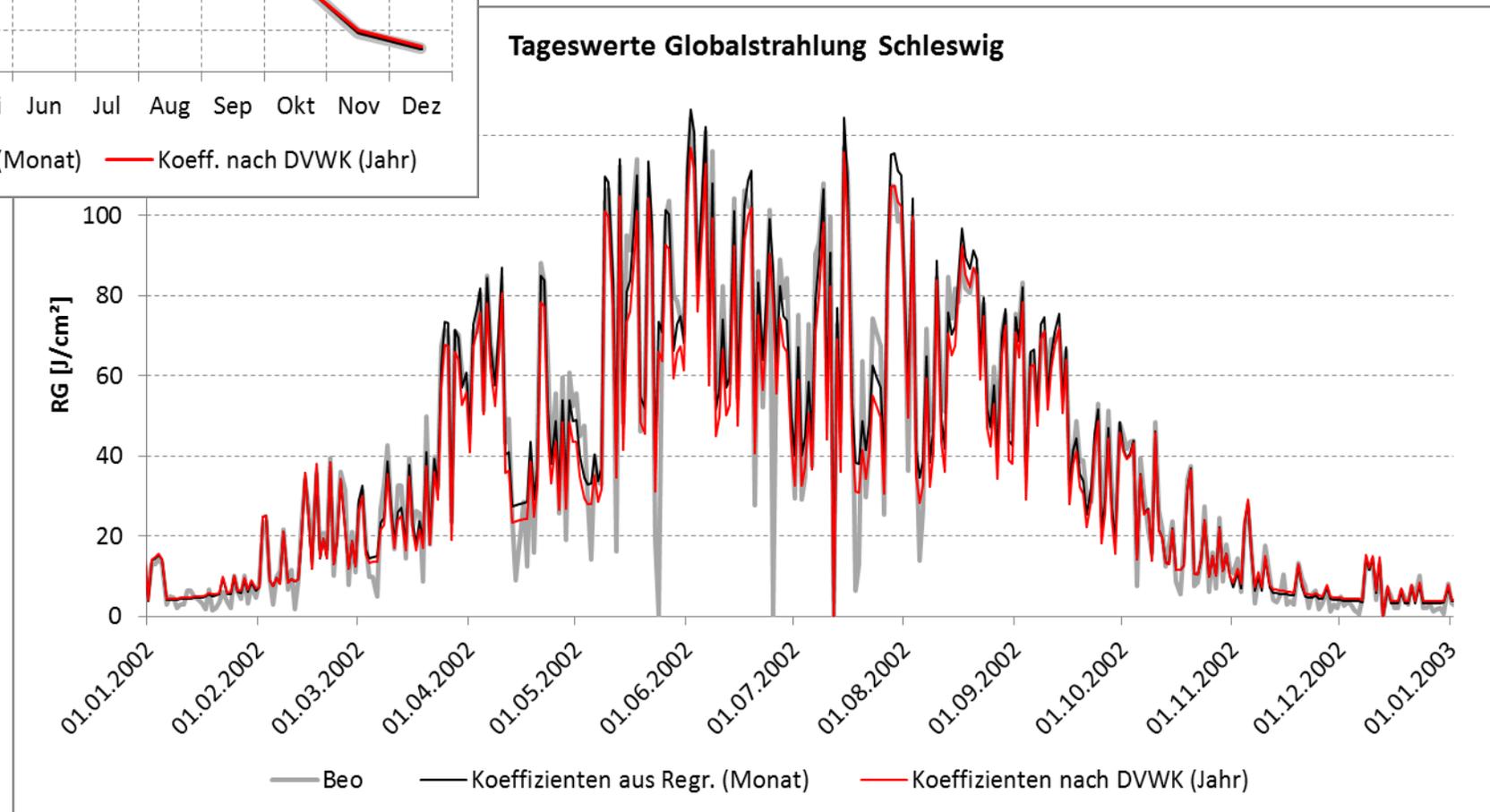
# 4 Vergleich Globalstrahlung



## Globalstrahlung nach DVWK vs. Beo Schleswig

durchschnittliche Abweichung, je nach Monat

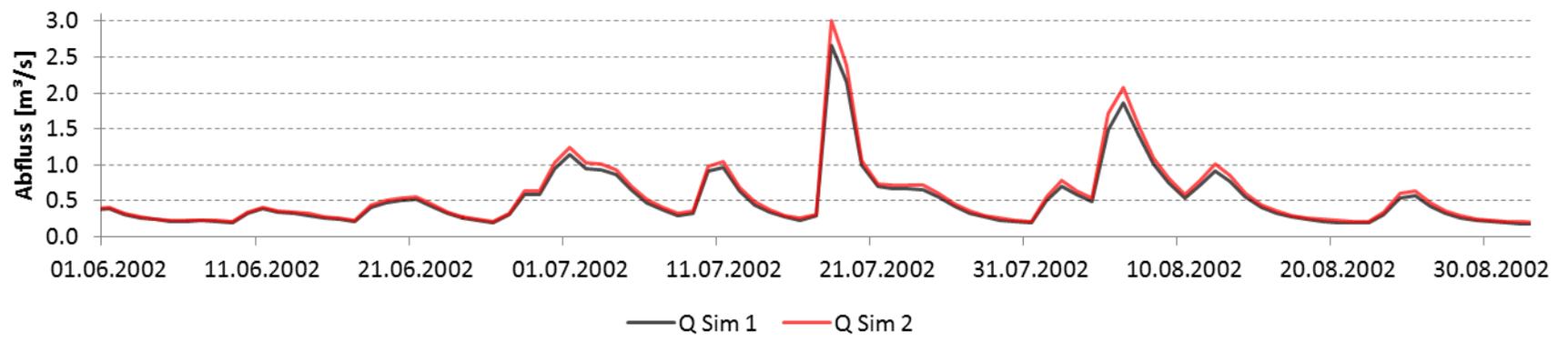
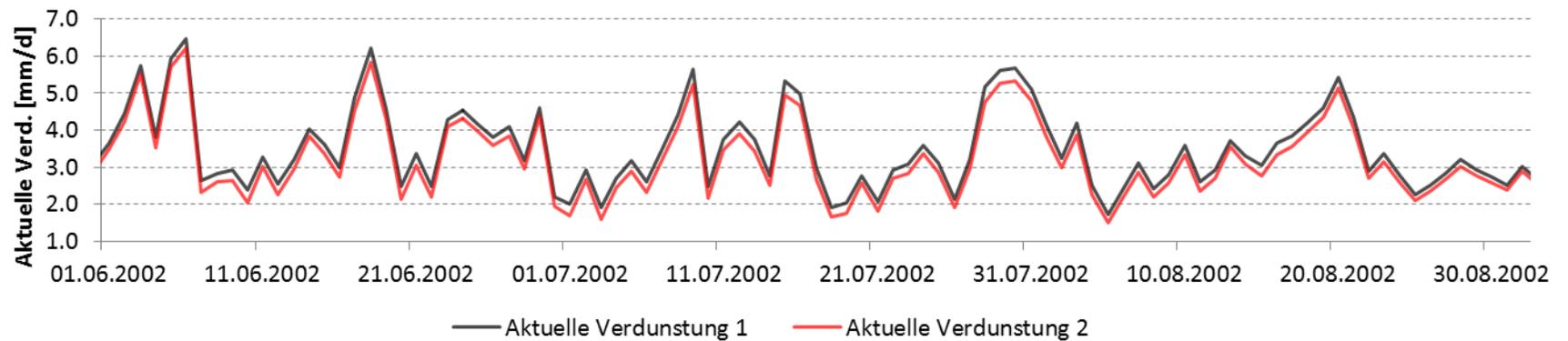
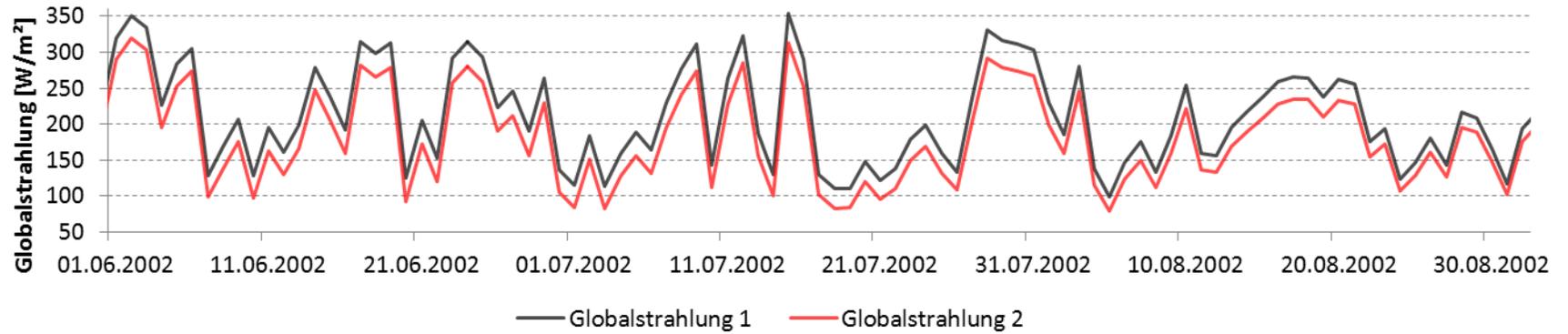
- von -10,3 % (Juli)
  - bis +9,0 % (Dezember)
- Unterschätzung Evapotranspiration im Sommer



# 4 Beispiel: PKB Wennbüttel/Gieselau (35,0 km<sup>2</sup>)

Jun.-Aug.  
2002

- RG +16 %
- Vakt. + 8 %
- Qsim - 8 %

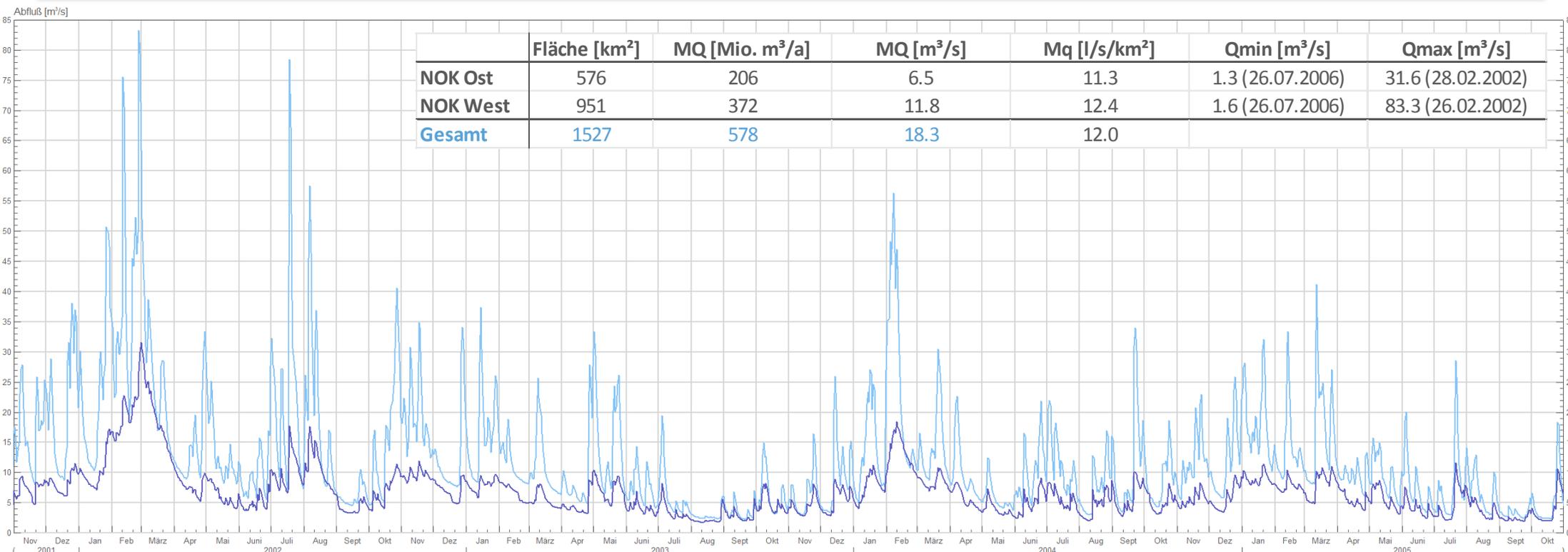


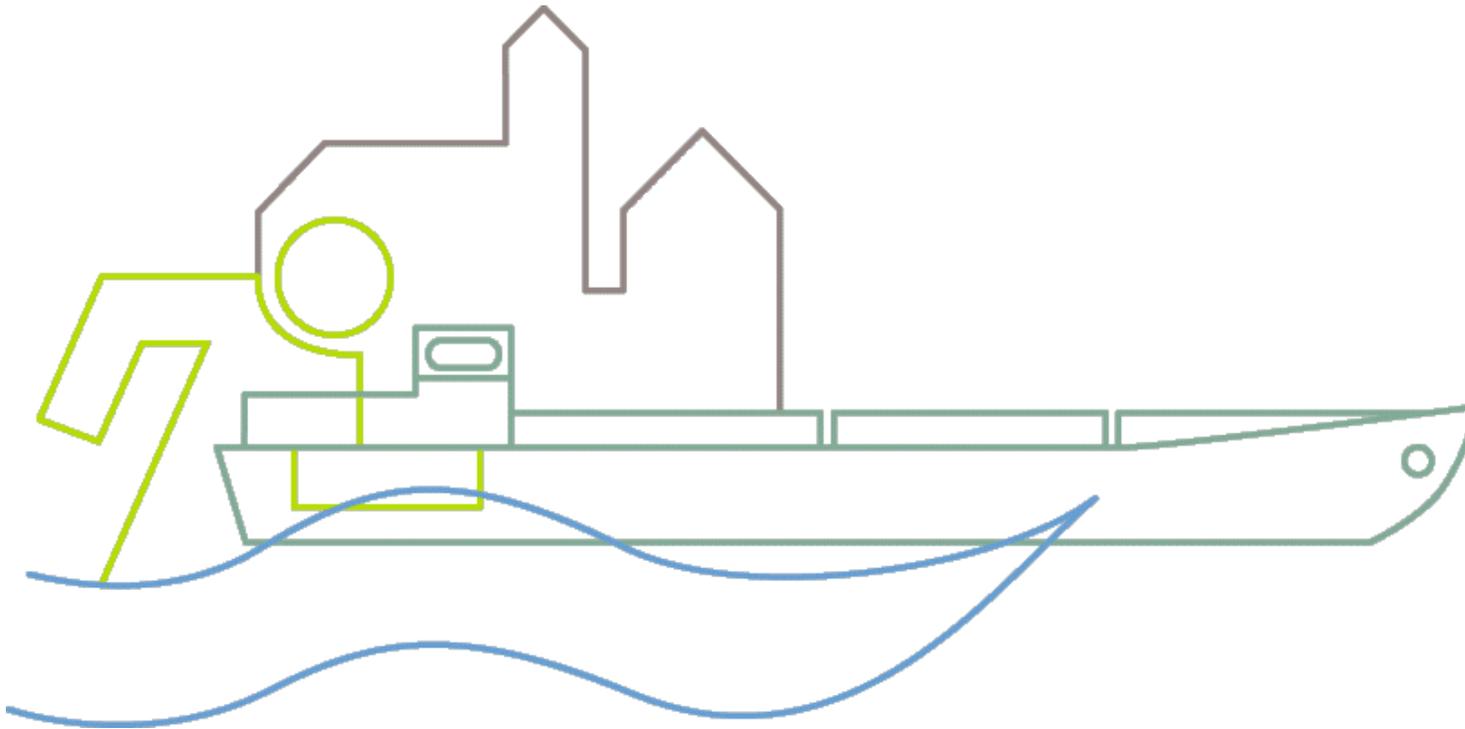
# Simulation der Binnenzuflüsse zum NOK mit LARSIM

## Umsetzung in LARSIM NOK

- LARSIM-externe Umwandlung SYNOP-Sonnenscheindauer → Globalstrahlung
- monatliche Ångström-Koeffizienten (abgeleitet für Station Schleswig)

## Simulation der Binnenzuflüsse zum Nord-Ostsee-Kanal mit LARSIM → Details im nachfolgenden Vortrag ...





# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

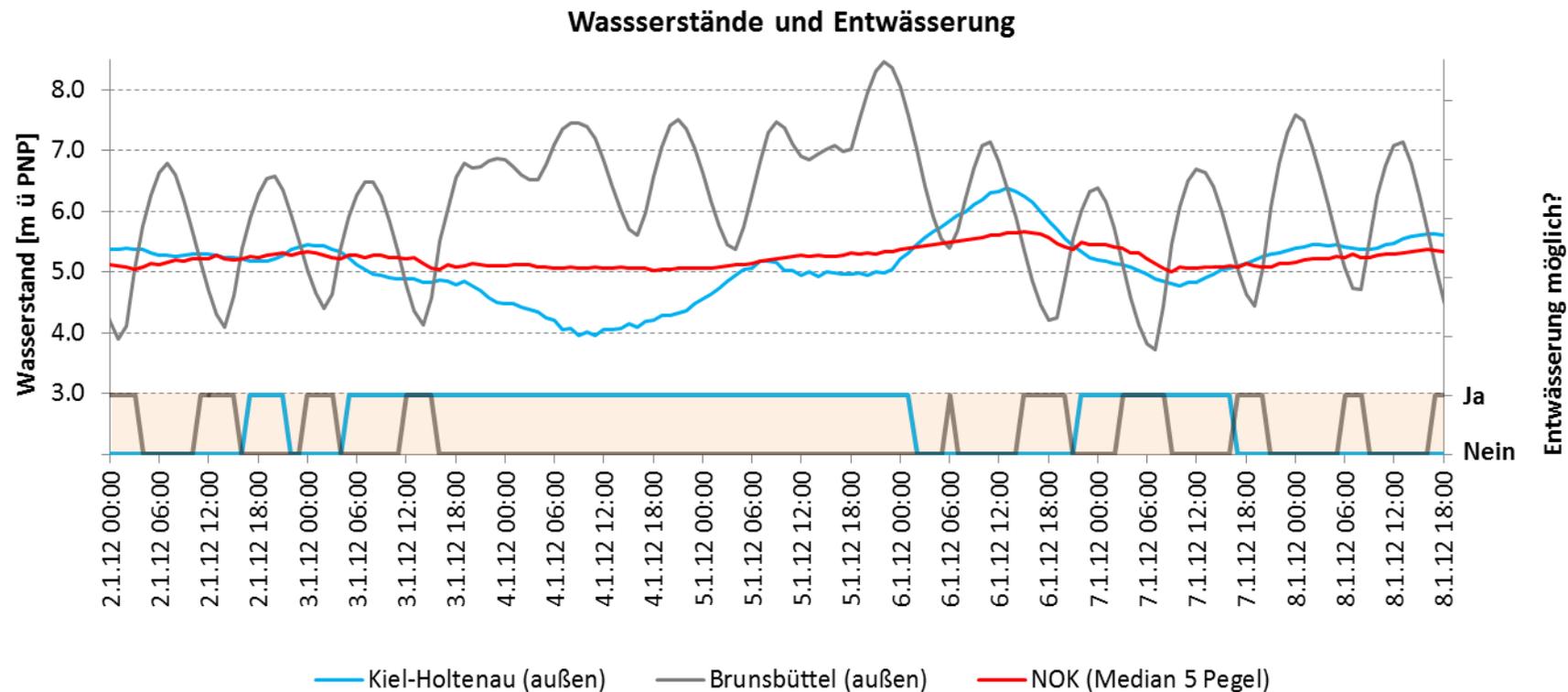
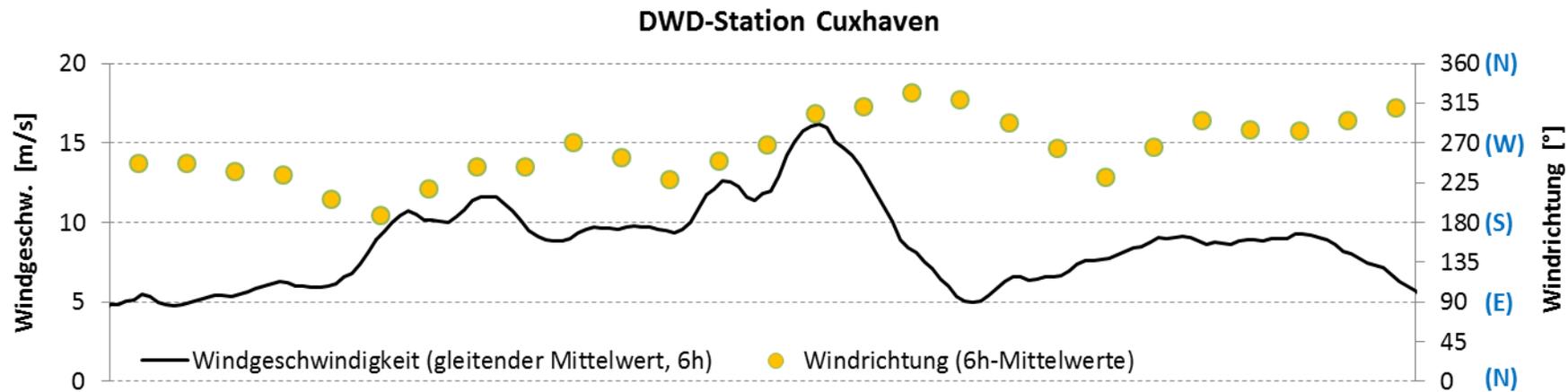
Dipl.-Hyd. Jochen Hohenrainer

Quantitative Gewässerkunde  
Bundesanstalt für Gewässerkunde  
Am Mainzer Tor 1  
56068 Koblenz

Tel.: 0261/1306-5180, Fax: 0261/130-5280  
E-Mail: [hohenrainer@bafg.de](mailto:hohenrainer@bafg.de)  
[www.bafg.de](http://www.bafg.de)

Reserve....

# 2 Wassermengenbewirtschaftung NOK



# 3 Vorhersagesystem

Operationell seit Januar 2015: Einfache Vorwarnung aus aggregierten Niederschlagsmesswerten und -vorhersage (SYNOP, COSMO-EU, ICON)



COSMO-EU

Deutschland und angrenzende Gebiete

Gebietsniederschlag als 6-Stunden-Summe / fester Niederschlagsanteil

| Einzugsgebiet  | 21.02.00:00 | 21.02.06:00 | 21.02.12:00 | 21.02.18:00 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Rhein bis Basel  | 4,3         | 3,3         | 0           |             |
| Neckar   | 4,3         | 0           | 1           |             |
| Main   | 4,6         | 0           | 2           |             |
| Mosel  | 3,9         | 0           | 0           |             |
| Rhein von Basel bis Andernach ohne Neckar, Main, Mosel     | 3,5         | 0           | 0           |             |
| Rhein von Andernach bis D-NL Grenze                        | 6,7         | 0           | 3           |             |
| Donau bis Ingolstadt                                       | 4,9         | 12          | 2           |             |
| Isar   | 6,8         | 10          | 3           |             |
| Inn  | 15,2        | 34          | 7           |             |
| Donau von Ingolstadt bis Achleiten ohne Isar, Inn          | 6,0         | 10          | 3           |             |
| Oder bis Polecko   | 1,3         | 0           | 2           |             |
| Lausitzer Neiße  | 4,0         | 13          | 3           |             |
| Warthe   | 1,2         | 0           | 2           |             |
| Oder von Polecko bis Widuchowa ohne Laus. Neiße, Warthe    | 2,5         | 0           | 2           |             |
| Elbe bis Ústí nad Labem                                    | 4,7         | 28          | 1           |             |
| Mulde  | 3,6         | 6           | 2           |             |
| Saale  | 2,3         | 0           | 2           |             |
| Elbe von Ústí nad Labem bis Barby ohne Mulde, Saale        | 4,1         | 2           | 2           |             |
| Elbe von Barby bis Neu-Darchau                             | 2,6         | 0           | 1           |             |
| Werra  | 3,5         | 0           | 3           |             |
| Eder   | 4,9         | 0           | 3           |             |
| Fulda ohne Eder  | 3,5         | 0           | 2           |             |
| Diemel   | 3,8         | 0           | 3           |             |
| Aller  | 1,9         | 0           | 2           |             |
| Weser bis Pegel Intschede ohne Werra, Fulda, Diemel, Aller | 2,0         | 0           | 2           |             |
| Ems bis Versen   | 2,5         | 0           | 2           |             |
| Nord-Ostsee-Kanal  | 2,3         | 0           | 1           |             |



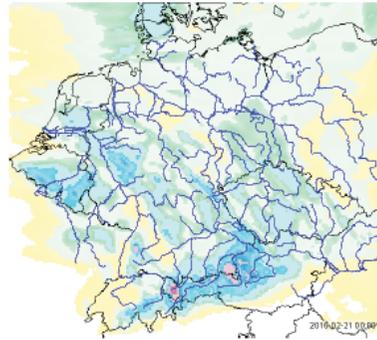
## COSMO-EU Vorhersage des Gesamtniederschlags

Deutschland und angrenzende Gebiete

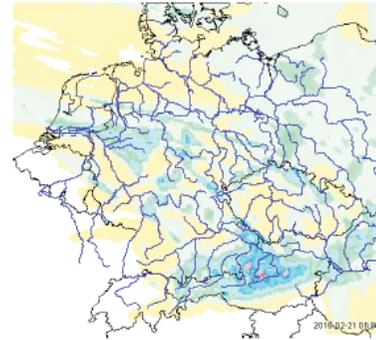
COSMO-EU von Sa, 20.02.2016 18:00 UTC Blatt 1 von 2



So, 21.02.2016 00:00 6h-Summe



So, 21.02.2016 06:00 6h-Summe



So, 21.02.2016 12:00 6h-Summe



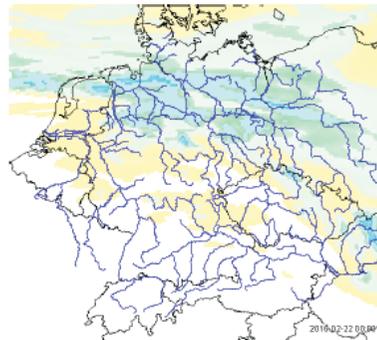
So, 21.02.2016 18:00 6h-Summe



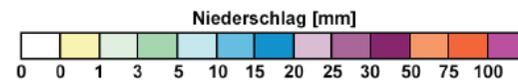
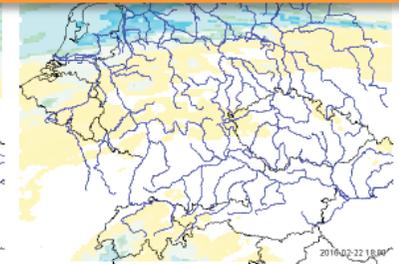
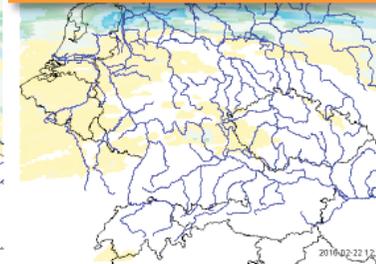
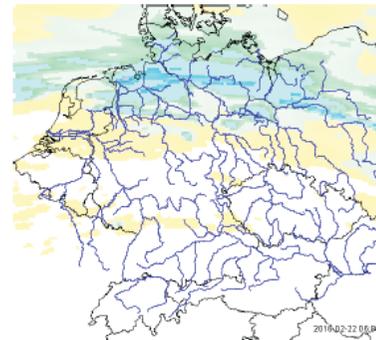
### So, 21.02.2016 18:00 6h-Summe



Mo, 22.02.2016 00:00 6h-Summe



Mo, 22.02.2016 06:00 6h-Summe

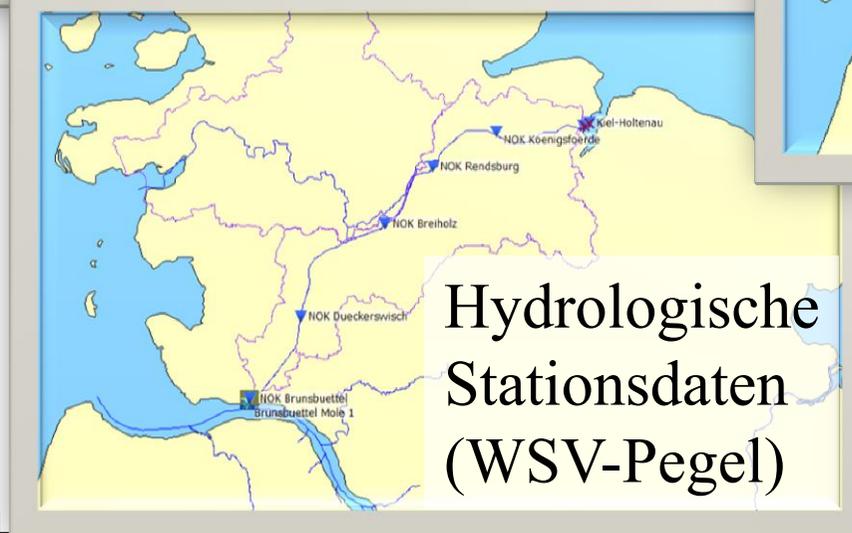
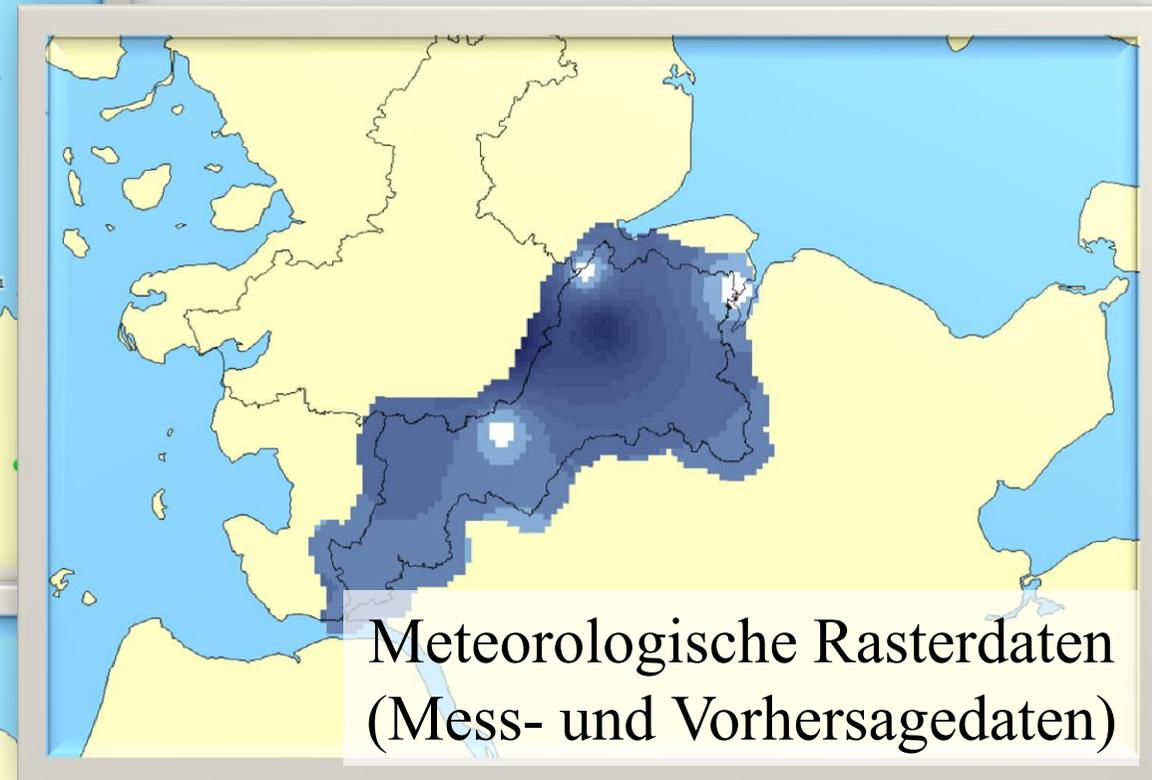


Nord-Ostsee-Kanal

2,3 0 | 1,0 0 | 0,4 0 | 4,9 0

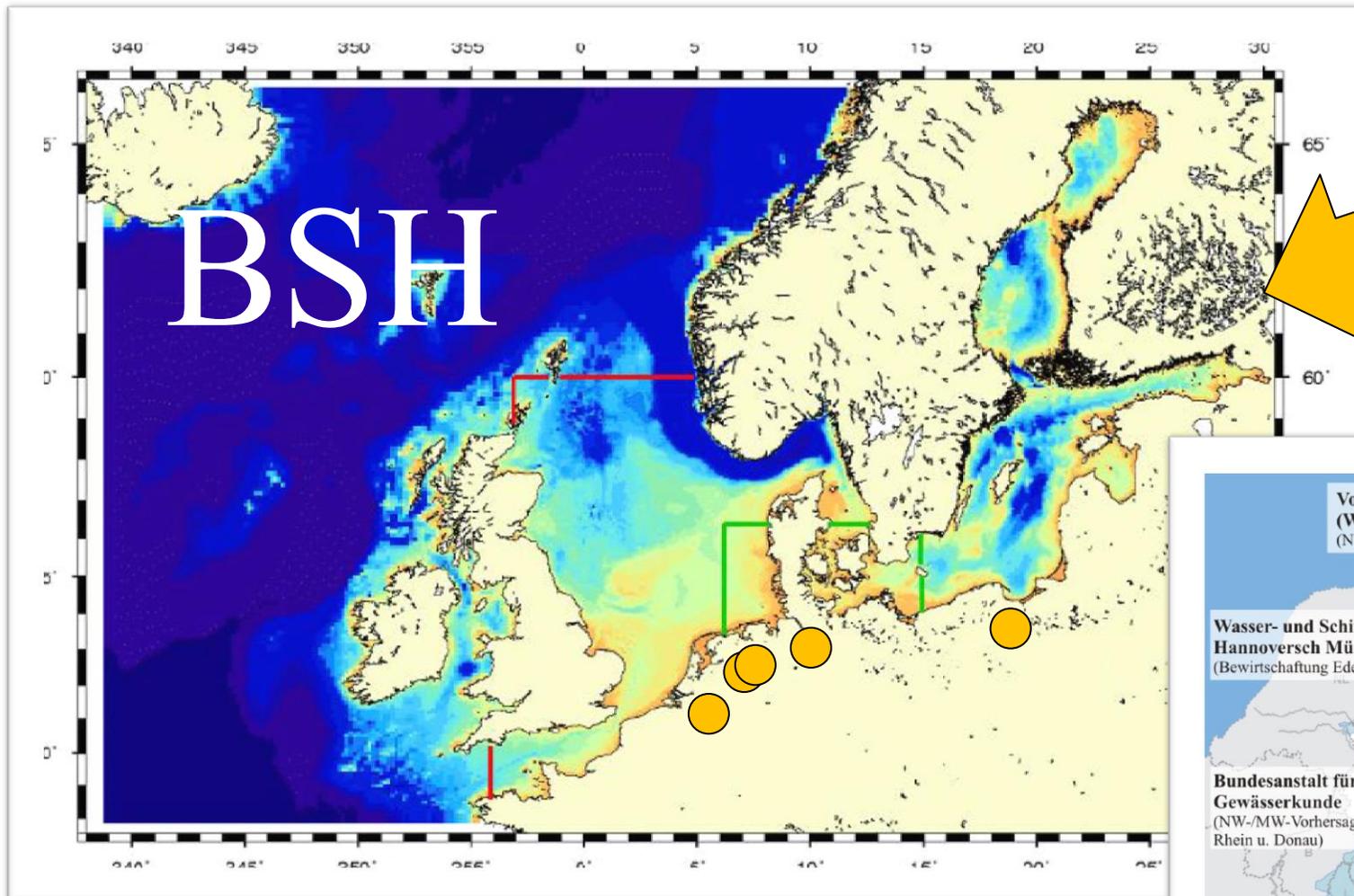
Prognosedaten: COSMO-EU des Deutschen Wetterdienstes

# Operationelles Vorhersagesystem NOK

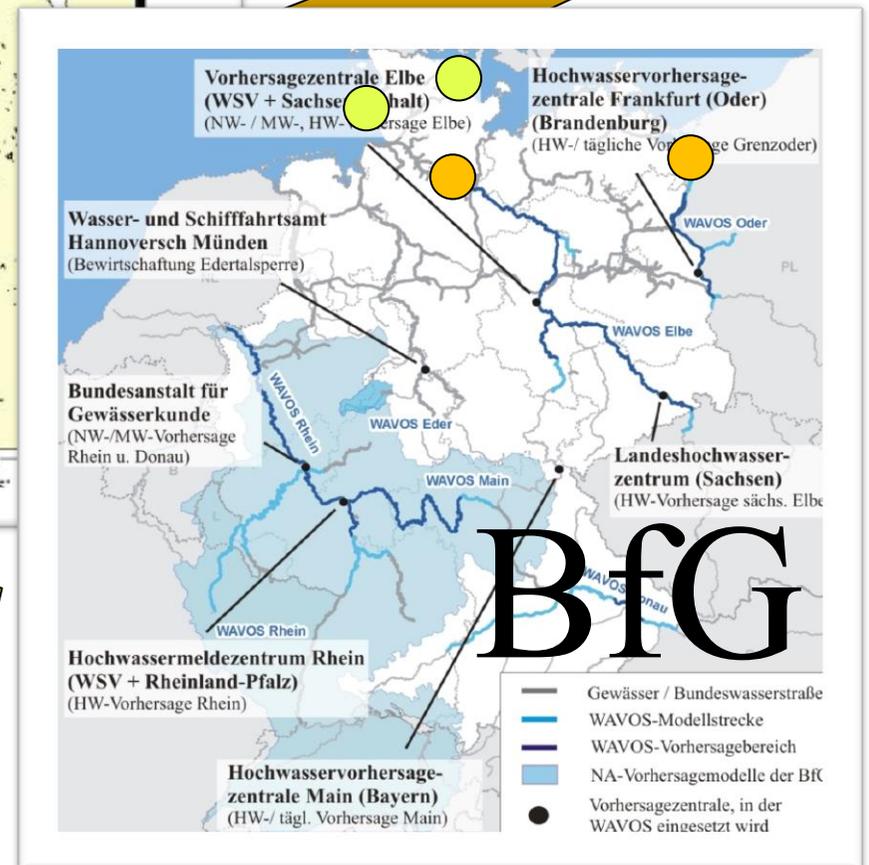


- ✓ Datenfluss NOK bereits im BfG-Vorhersagesystem implementiert
- Implementierung Modelle fehlt noch

# Wasserstandsvorhersagesysteme



Messdaten + Vorhersagen



Vorhersagen

# Kanalmodell – Vorhersage

Benötigt werden operationelle Messdaten und Vorhersagen für die

- Außenwasserstände der Kieler Förde (Holtenau) und der Unterelbe (Brunsbüttel) ✓ **Bereits mit BSH abgesprochen**
- sowie operationelle Daten der Entwässerungsmengen (und Schleusungsmengen)

Ohne operationelle Erfassung  
und Bereitstellung ist

- keine sinnvolle Vorhersage  
der Wasserstände im Kanal  
und
- keine Verbesserung der  
Modelle möglich



# Wie geht es weiter?

## Gemeinsam

- Begleitung/Abnahme des Auftrages Wasserhaushaltsmodell

## Langzeitsimulation

- Erarbeitung des Feinkonzeptes zur Ereignisanalyse in Absprache mit DWD/BSH/BAW
- Ergebnisse Ende 2016/2017

## Operationelle Vorhersage

- Vergabe zur Anpassung des operationellen Vorhersagesystems wird nach Fertigstellung Wasserhaushaltsmodell im IV. Quartal 2015
- prä-operationeller Betrieb ab III.Quartal 2016

# 4 Globalstrahlung und Sonnenscheindauer

## Hintergrund

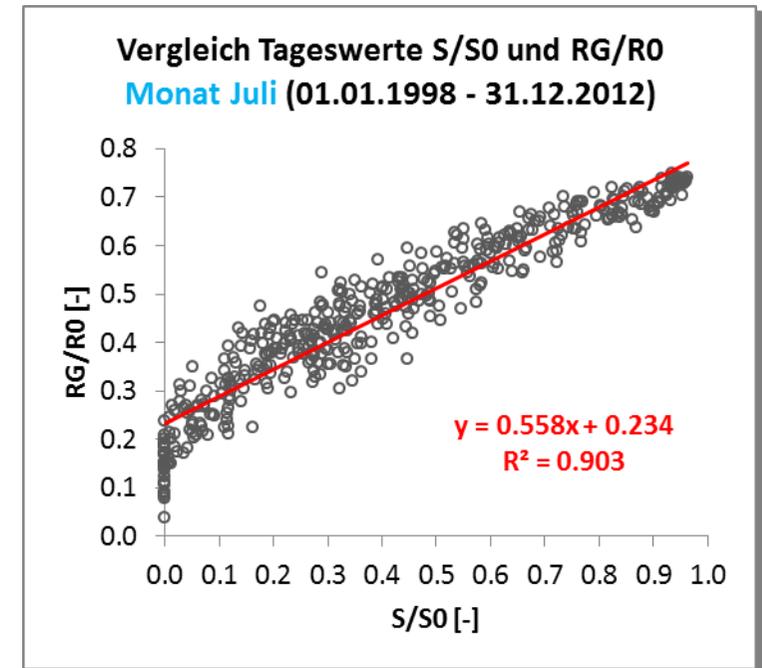
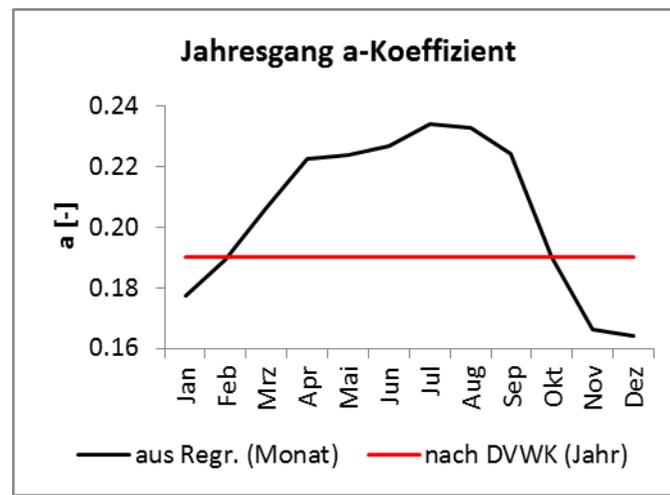
- Globalstrahlung **RG** für Evapotranspiration in LARSIM
- Geringe Messnetzdichte → Ableitung aus Sonnenscheindauer **S** (SYNOP-Daten)
- Ångström-Formel:  $RG = R_0 * (a + b * S/S_0)$  (vgl. DVWK 238/1996)

R0: extraterr. Globalstr., S0: astronom. mögl. Sonnenscheindauer, a & b: empirische Koeffizienten

## Vorgehen

- Tageswerte DWD-Station Schleswig (01/1998 – 12/2012)
- Neuberechnung **a** und **b**: monatliche lineare Regression
- Vergleich mit „Standardwerten“ für D (z.B. DVWK 238/1996)

**Jahresgang bei Koeffizienten!**



| Schleswig | Jan   | Feb   | März  | Apr   | Mai   | Jun   | Jul   | Aug   | Sep   | Okt   | Nov   | Dez   | Jahr  | DVWK (D) |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| a         | 0,177 | 0,189 | 0,206 | 0,222 | 0,224 | 0,227 | 0,234 | 0,233 | 0,224 | 0,190 | 0,166 | 0,164 | 0,196 | 0,190    |
| b         | 0,551 | 0,549 | 0,598 | 0,574 | 0,577 | 0,571 | 0,558 | 0,538 | 0,548 | 0,558 | 0,571 | 0,559 | 0,590 | 0,550    |