

Deichrückverlegung Vitico

Eisdruck auf Deiche Grundwassermodell zum Qualmwasser

C. Stoewahse
GGU Braunschweig





Einleitung

Deichbestand
Varianten

Eisdruck auf Deiche

Berechnungsansätze
ohne Strömung / mit Strömung
Auswirkungen auf die Standsicherheit

Grundwassermodell zum Qualmwasser

Modellbildung
Ergebnisse
Grundwasserstände
Qualmwasser

Zusammenfassung

Eisdruck auf Deiche



02/03/2018

Fragestellung



Wie wirkt sich der Eisversatz auf die Standsicherheit des Deiches aus?

- Beschädigung der wasserseitigen Dichtung
- Hoher Wasserstand
- Auflast auf dem Deich

Diese Belastungen werden in Standsicherheitsberechnungen sowieso berücksichtigt.

Neu:

- dynamische und statische Einwirkungen aus Eis
- Strömungskräfte

Welche Kräfte?



Die Eisdruckbelastung auf Bauwerke ist abhängig von:

- den Festigkeitseigenschaften des Eises, wie z.B. die Druck,- Zug- und Biegefestigkeit,
- den physikalischen Eigenschaften des Eises wie Dichte, Porenanteil, Elastizitätsmodul und Salzgehalt,
- der Eisdicke bzw. der Eistemperatur.

Druckfestigkeit von Eis



$$\sigma_0 = 2700 \cdot \dot{\varepsilon}^{1/3} \cdot \phi_B^{-1}$$

Verformungsgeschwindigkeit

mit

Salzgehalt

$$\phi_B = 19,37 + 36,18 \cdot S_B^{0,91} \cdot |\vartheta_A|^{-0,69}$$

Temperatur

Dabei sind:

σ_0 :	horizontale einachsige Eisdruckfestigkeit [MN/m ²]
$\dot{\varepsilon}$:	= 0,001, spezifische Dehnungsgeschwindigkeit [s ⁻¹]
ϕ_B :	Porosität [% _o]
S_B :	Salinität [% _o]
ϑ_A :	= ($\vartheta_o + \vartheta_u$) / 2, mittlere Eistemperatur [°C]
ϑ_u :	Temperatur an der Eisunterseite (= -1°C deutsche Ostsee, = -2°C deutsche Nordsee) [°C]
ϑ_o :	Temperatur an der Eisoberseite, entspricht Lufttemperatur [°C]

Eisdruckansatz

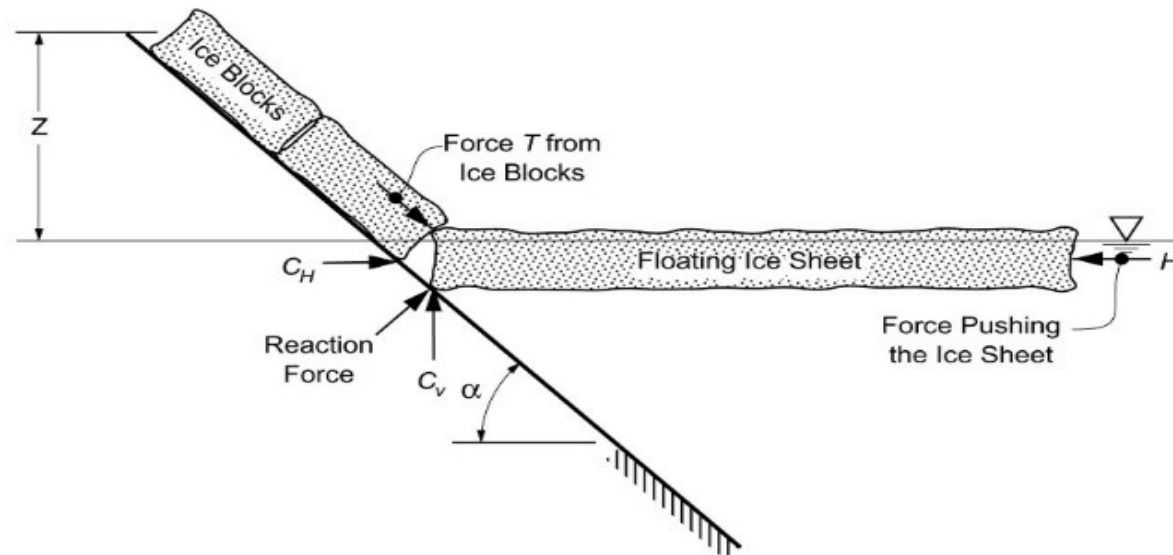


Figure 6-6. forces during an interaction of a floating ice sheet of thickness h being pushed against a wide sloping surface at an angle α with the horizontal.

Aus Literatur 10 verschiedene Berechnungsansätze.

kompliziert



$$F_H = \left(C_1 \cdot \sigma_f \cdot W \left(\frac{\rho_W \cdot g \cdot t^5}{E} \right)^{1/4} + C_2 \cdot h \cdot t \cdot W \cdot \rho_i \cdot g \right) \cdot S_F$$

F_B: Eisbruchkraft. Je größer der horizontale Druck im Eis wird, desto größer wird die Biegefestigkeit. Die Kraft F_B muss daher iterativ bestimmt werden:

$$F_B = C_1 \cdot \sigma_f \cdot D \cdot \left(\frac{\rho_e \cdot g \cdot t^5}{E} \right)^{1/4} \cdot \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot \ell}{4 \cdot D} \right) + C_2 \cdot h \cdot t \cdot D \cdot \rho_i \cdot g$$

F_P: Kraft zum Durchschieben von Eisblöcken durch das Trümmereis.

$$F_P = W \cdot h_R^2 \cdot \mu_{ij} \cdot \rho_i \cdot g \cdot (1-n) \cdot \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right)^2 \cdot \frac{1}{2 \tan \theta}$$

F_T: Kraft zum Drehen der Eisblöcke. Notwendig, um die Eisblöcke an der vertikalen Wand zu drehen.

$$F_T = 1,5 \cdot t^2 \cdot \rho_i \cdot g \cdot W \cdot \frac{\cos \theta_L}{\sin \theta_L}$$

F_R: Zusätzliche Reibungskraft. Verursacht durch das Gewicht des Trümmereises auf der nachschiebenden Eisfläche.

$$F_R = \left[\frac{1}{2} \cdot \mu_{ij} \cdot (\mu_{ij} + \mu_{ij}) \cdot \rho_i \cdot g \cdot (1-n) \cdot h_R^2 \cdot \sin \alpha \cdot \left(\frac{1}{\tan \theta} - \frac{1}{\tan \alpha} \right) \right] + \frac{1}{2} \cdot (\mu_{ij} + \mu_{ij}) \cdot \rho_i \cdot g \cdot (1-n) \cdot h_R^2 \cdot \sin \alpha$$

organizations in any case. For preliminary estimations the given values for S_F should be used to obtain conservative results.

F_L: Hebekraft. Notwendig, um das Trümmereis anzuheben, bevor die Eisfläche auf der Böschung versagen kann.

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot W \cdot h_R^2 \cdot \rho_i \cdot g \cdot (1-n) \cdot \frac{\xi_1}{\xi_2} \cdot \left(\frac{1}{\tan \theta} - \frac{1}{\tan \alpha} \right) \cdot \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right) + \frac{1}{2} \cdot W \cdot h_R^2 \cdot \rho_i \cdot g \cdot (1-n) \cdot \frac{\xi_1}{\xi_2} \cdot \tan \phi \cdot \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right)^2 + \frac{\xi_1}{\xi_2} \cdot c_R \cdot W \cdot h_R \cdot \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right)$$

(3) The model delivers results that should be treated with great caution and the design forces should be investigated by model trials and consultation of expert

einfacher



$$p'_0 = k \cdot h \cdot \sigma_B \cdot \tan \beta$$

p'_0 :	mittlere Linienlast [MN/m]
k :	= 0,33, Kontaktbeiwert [-]
h :	Dicke des Eises
σ_B :	= 1/3 σ_0 , Biegezugfestigkeit des Eises [MN/m ²]
$\tan \beta$:	Böschungsneigung [°]

Mit Strömung



$$F_{H,St} = 0,07 \cdot v_i \cdot h_i \cdot \sqrt{A_i \cdot \sigma_N} \quad [\text{MN}]$$

mit

$F_{H,St}$:	Eisstoß [MN]
v_i :	Geschwindigkeit des Eisfelds bzw. der Oberfläche des Fließgewässers [m/s]
h_i :	Dicke der Eisscholle [m]
σ_N :	Normfestigkeit des Eises, nach KORZHAVIN [20]: $\sigma_N = 0,45 \dots 0,75 \text{ MN/m}^2$

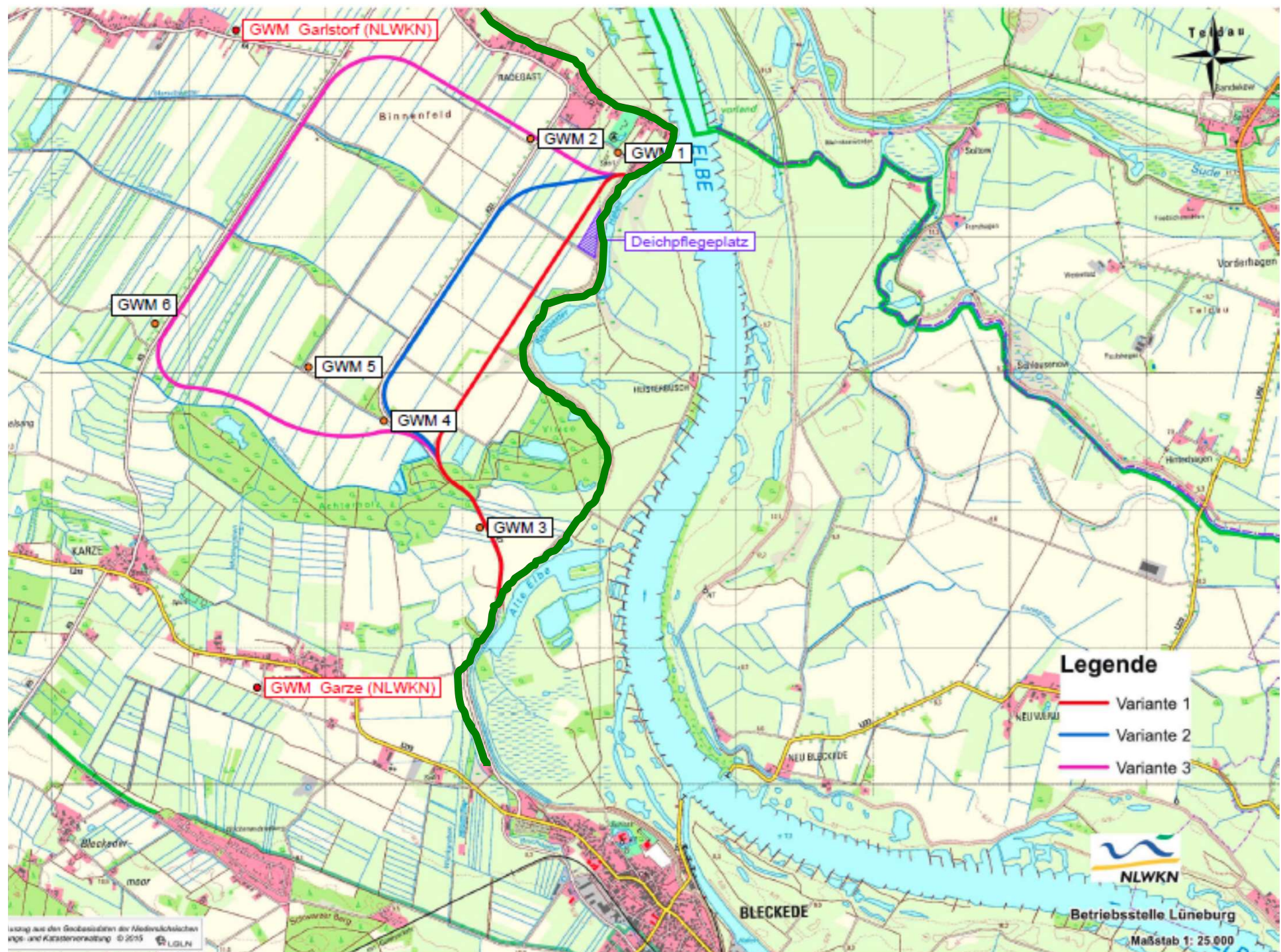
Mit Strömung



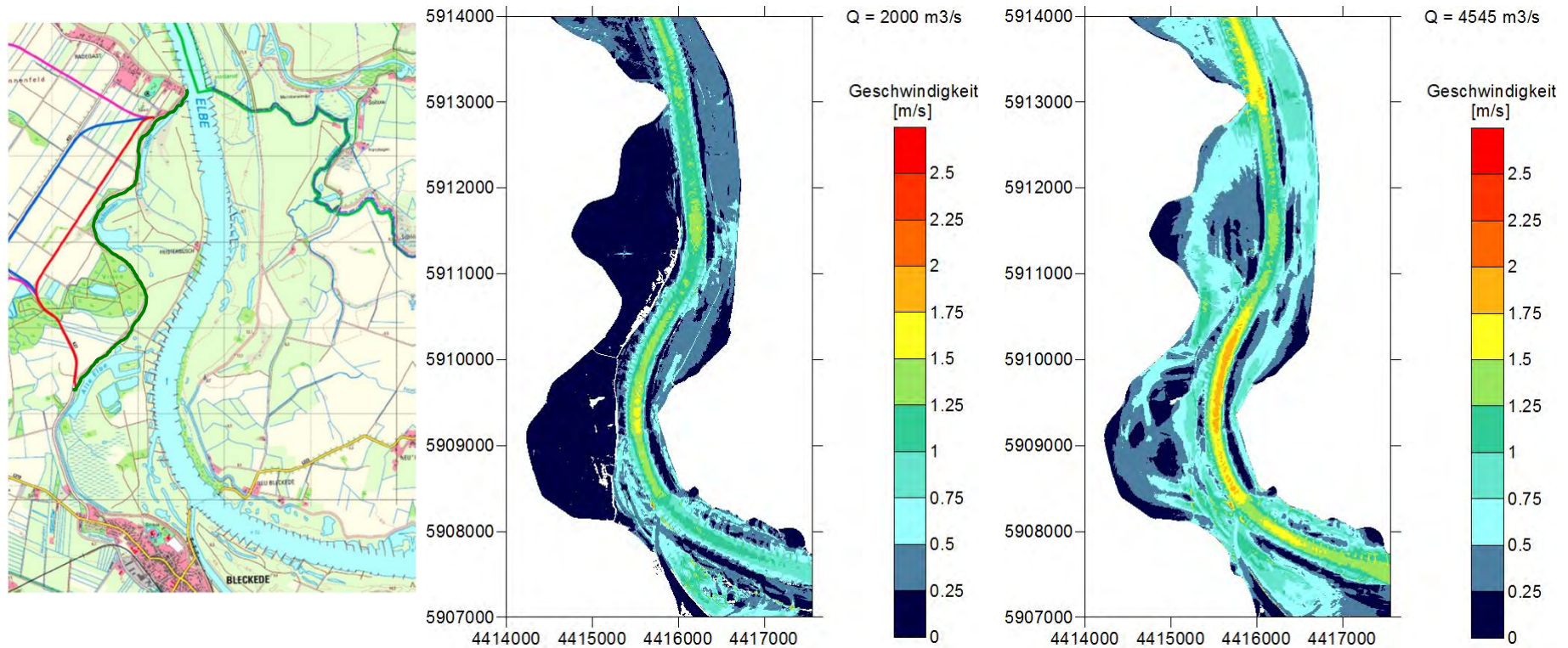
- Hohe Wasserstände infolge hoher Abflüsse im Sommer (= hohe Strömungsgeschwindigkeit).
- Eisversatz (-aufstau) tritt im Winter bei geringeren Abflüssen auf (= kleine Strömungsgeschwindigkeit).

2 Szenarien

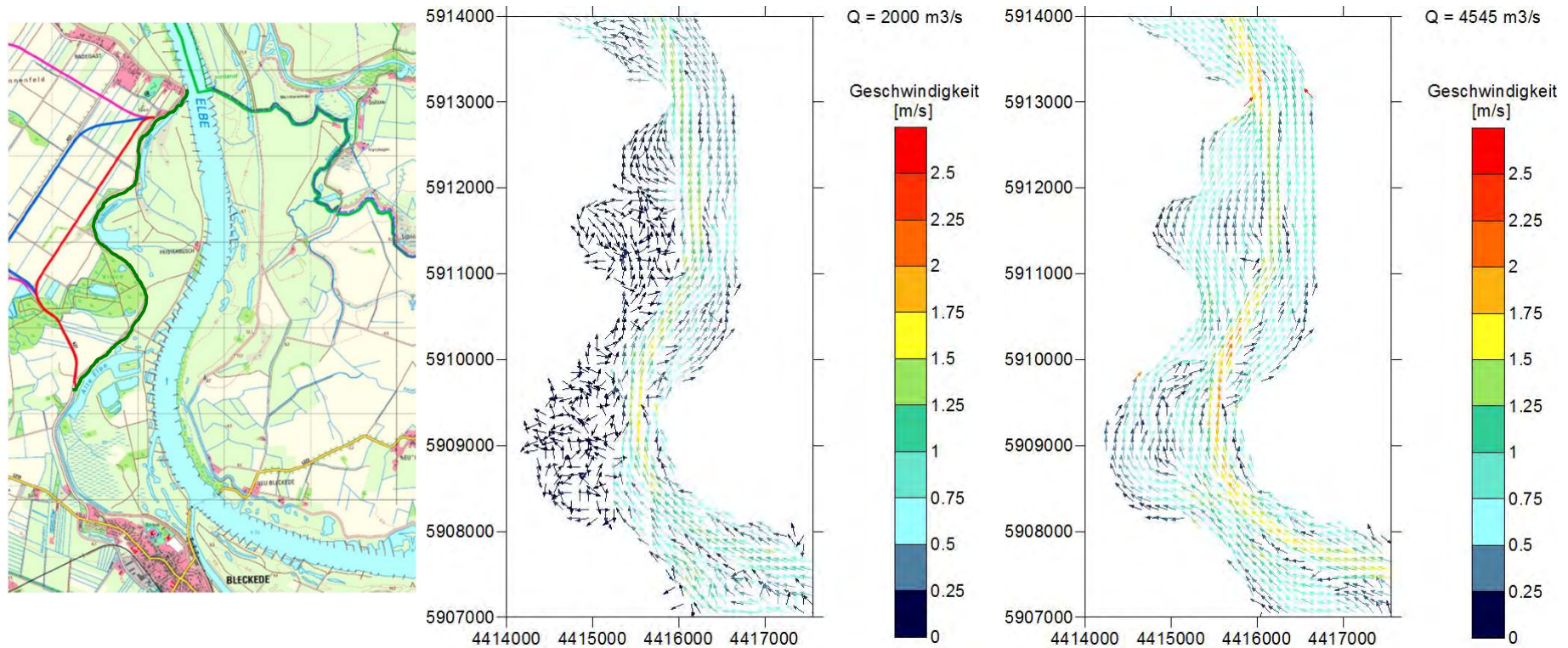
- der Hochwasserabfluss mit $4545 \text{ m}^3/\text{s}$ und
- der Abfluss mit $2000 \text{ m}^3/\text{s}$, bei dem die Elbe ausufert und das Wasser am Deich steht.



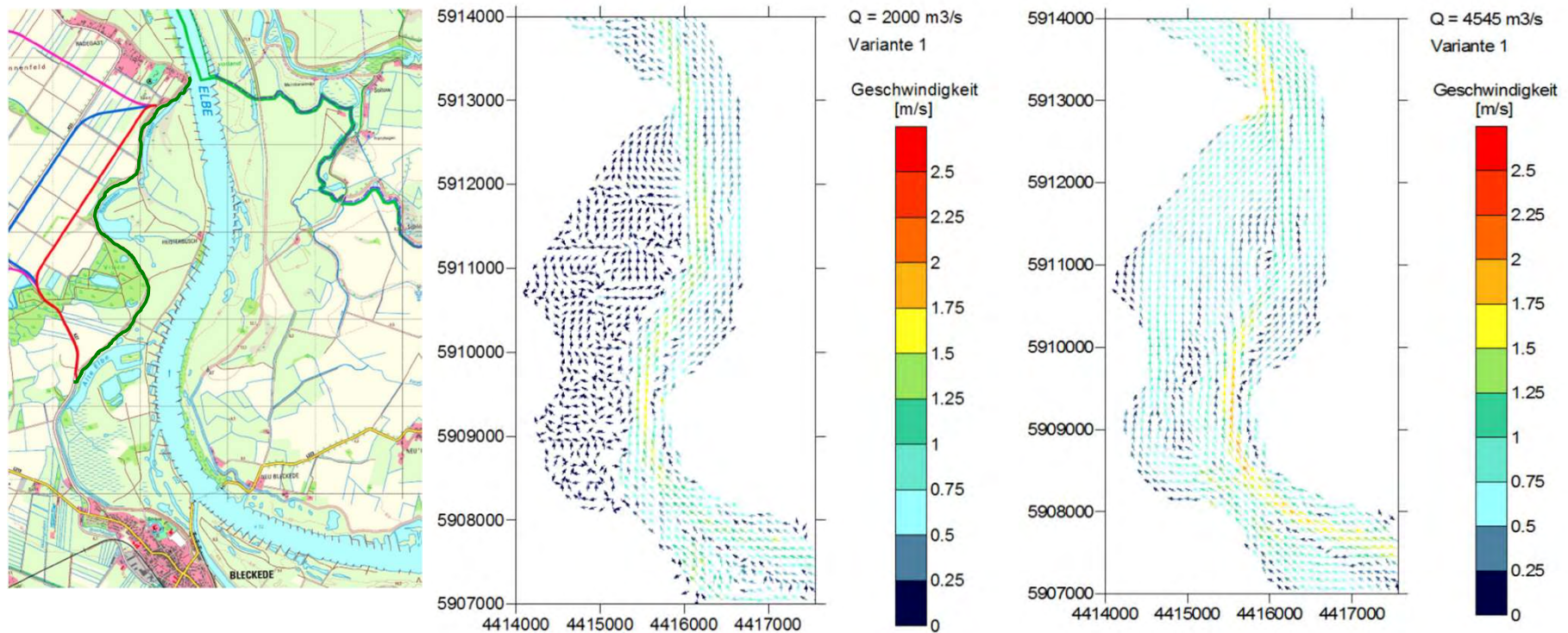
Hydraulische Berechnungen Ist-Zustand



Hydraulische Berechnungen Ist-Zustand



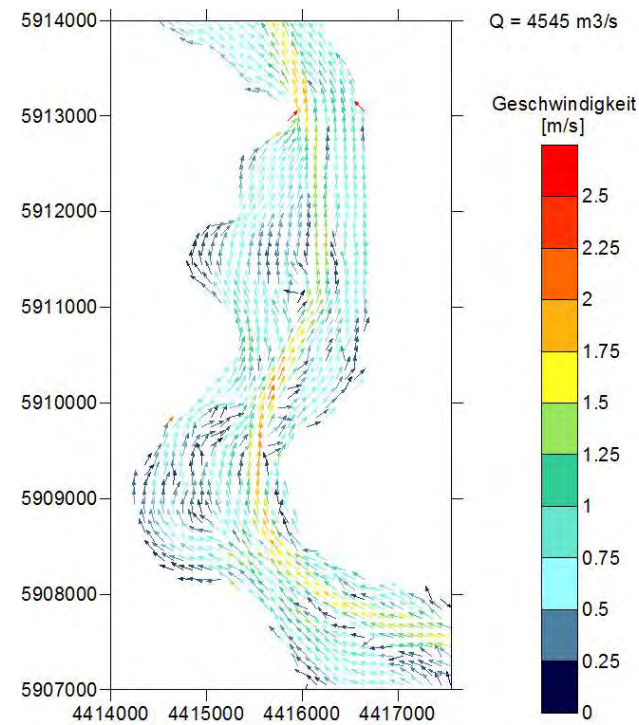
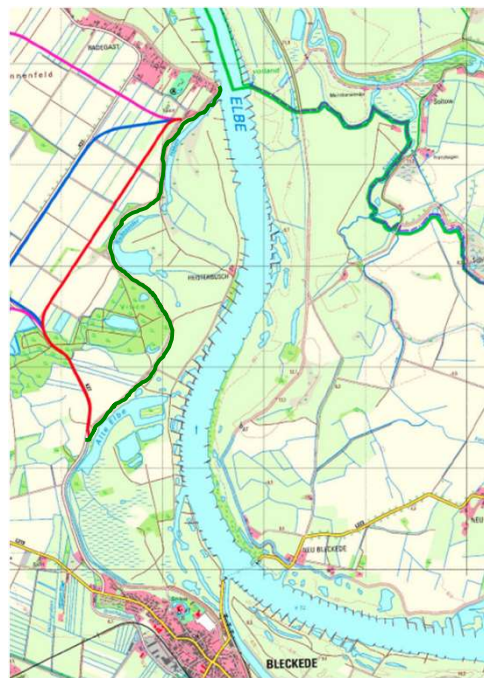
Hydraulische Berechnungen Rückverlegung



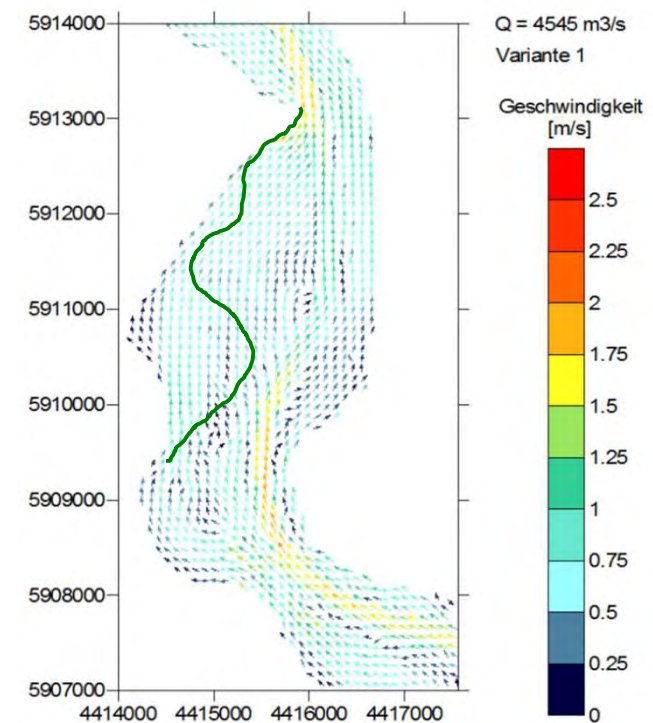
Hydraulische Berechnungen

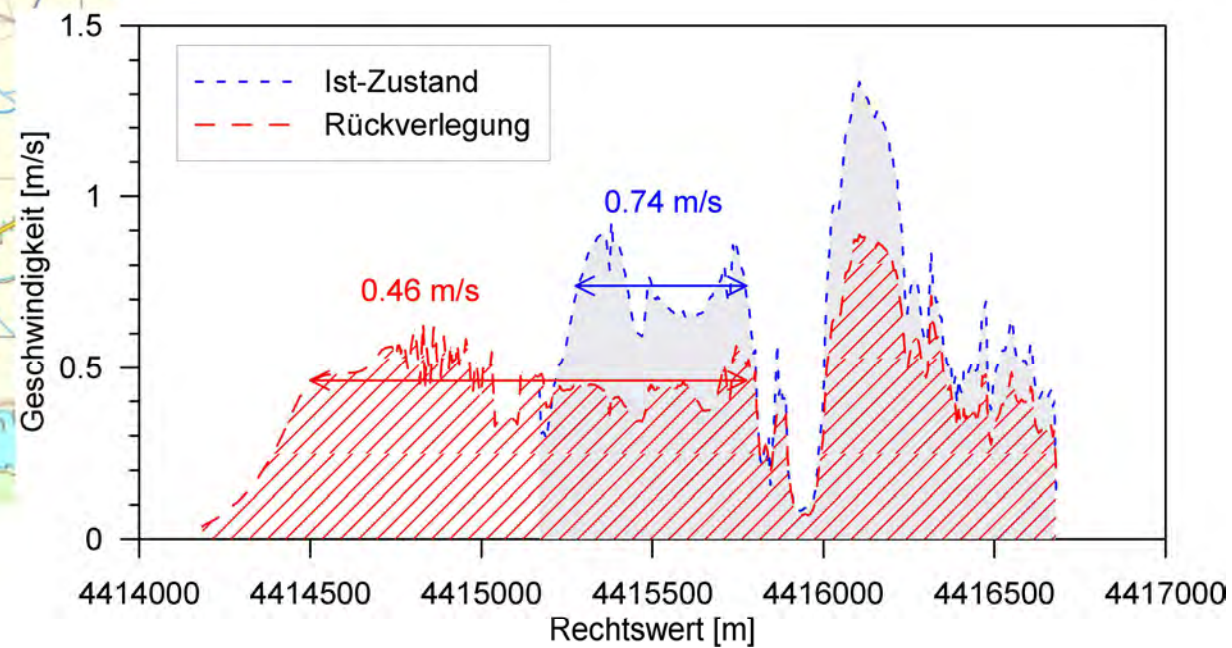
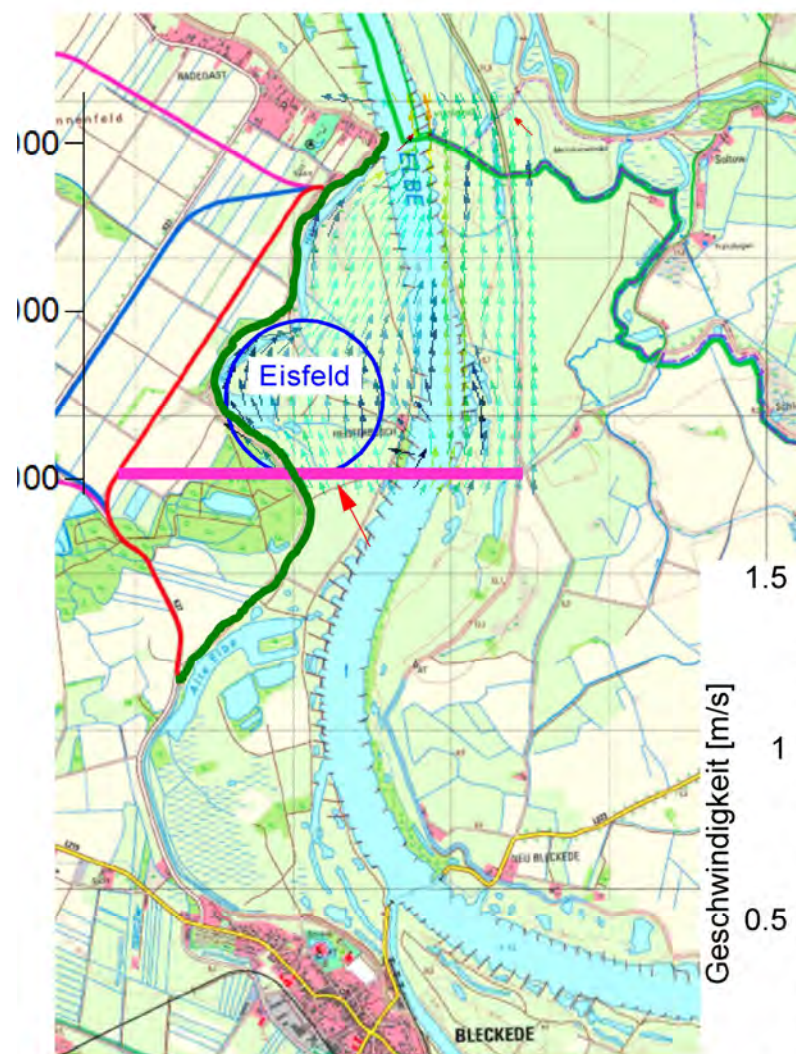


Ist-Zustand



Rückverlegung





Eislasten



	P_E [kN/m]
Shore Protection Manual	360
DIN 19704-1	45
Ice Engineering	23
Germanischer Lloyd oh	184 ^{*)}
Germanischer Lloyd mi	542 ^{*)}
Carstensen ($v = 0,03 \text{ m/s}$)	1
Carstensen ($v = 0,46 \text{ m/s}$)	11
Carstensen ($v = 0,74 \text{ m/s}$, Fläche des Eiseis = 5000 m^2)	17
Carstensen („Versagenslast“)	24
Bureau Veritas	56
EAU (2012)	39
HPA	30

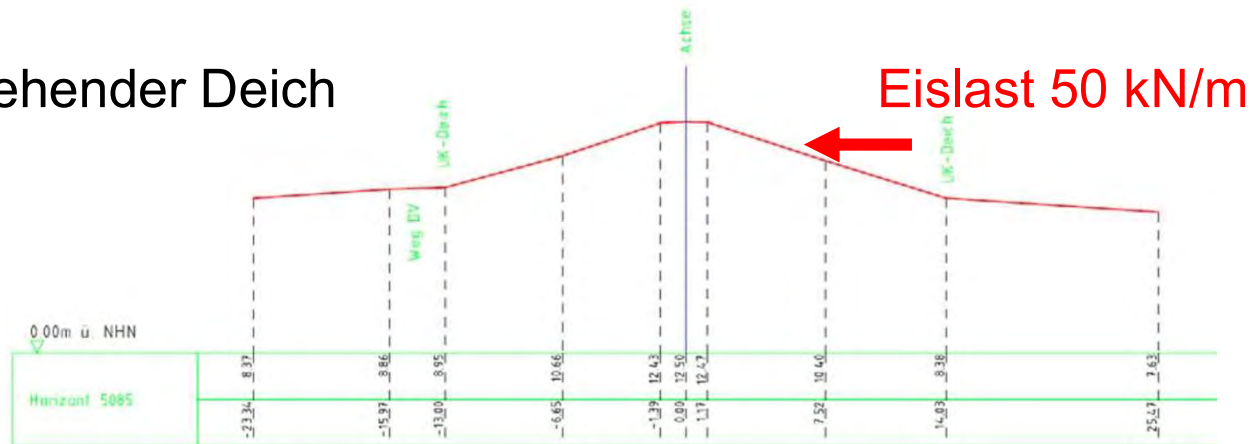
Festlegung:

Eislast 50 kN/m

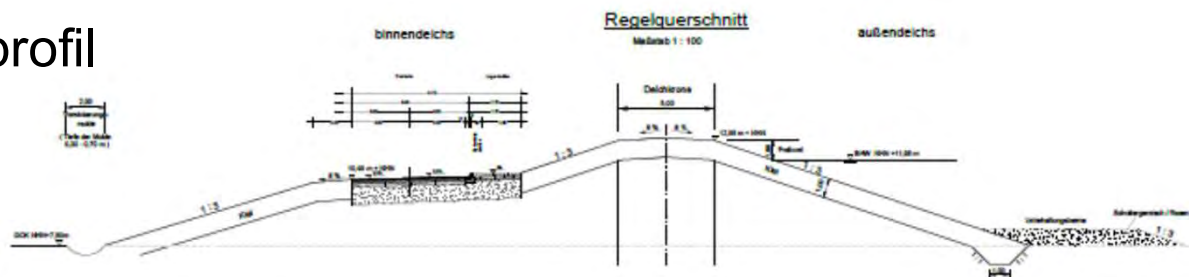
Standicherheit



Bestehender Deich



Regelprofil



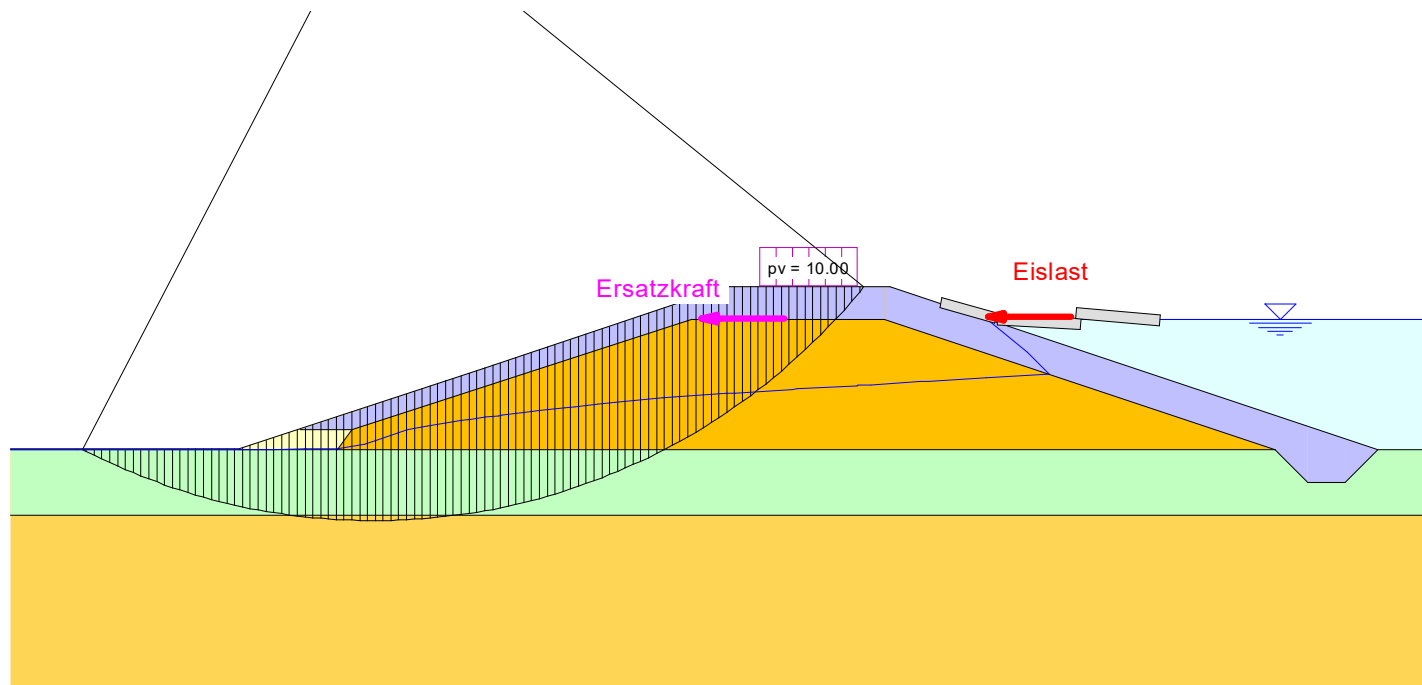
BS-P Bemessungshochwasser

BS-A Ausfall Dichtung

Standicherheit



Der Eisdruck erhöht den Ausnutzungsgrad um rd. 20 %,
die hohe Sickerlinie aus der defekten Dichtung um rd. 10 %.



Zusammenfassung Eis



- Deckwerke sind als Schutz vor Beschädigungen in den meisten Fällen ausreichend.
- Die Eislast ist als zusätzliche Verkehrslast in den jeweiligen Bemessungssituationen anzusetzen.
- Für hoch ausgelastete Deiche, für die nach herkömmlichen Berechnungsansätzen ohne Eislast Ausnutzungsgrade über 0,8 berechnet wurden, werden zusätzliche Standsicherheitsanalysen empfohlen.
- Die bestehenden Deiche an der Vitico fallen in diese Kategorie!

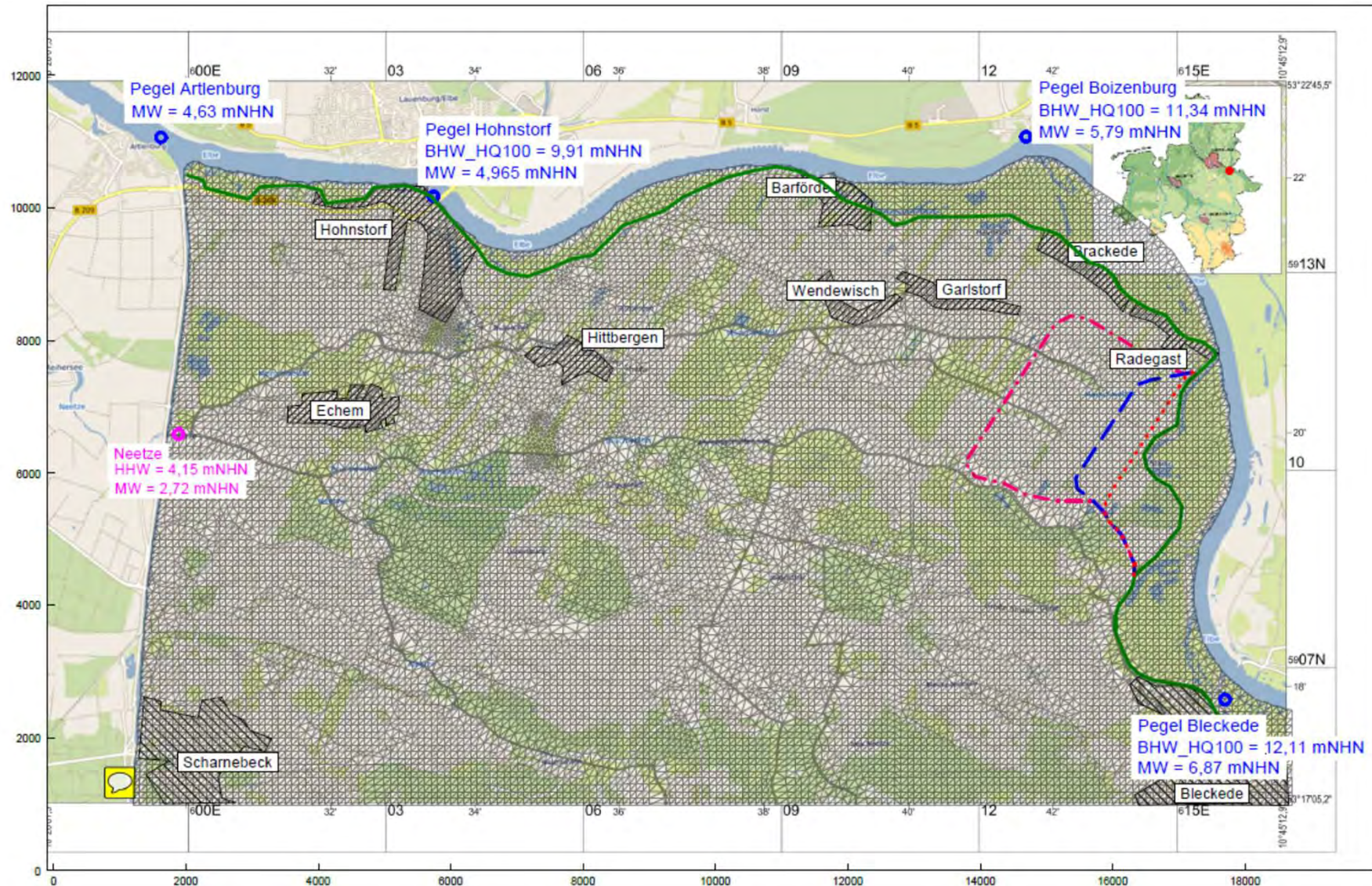
Grundwassermodell zum Qualmwasser





Aufgabenstellung:
Wie verändern sich die
Qualmwasserverhältnisse
durch die
Deichrückverlegung?

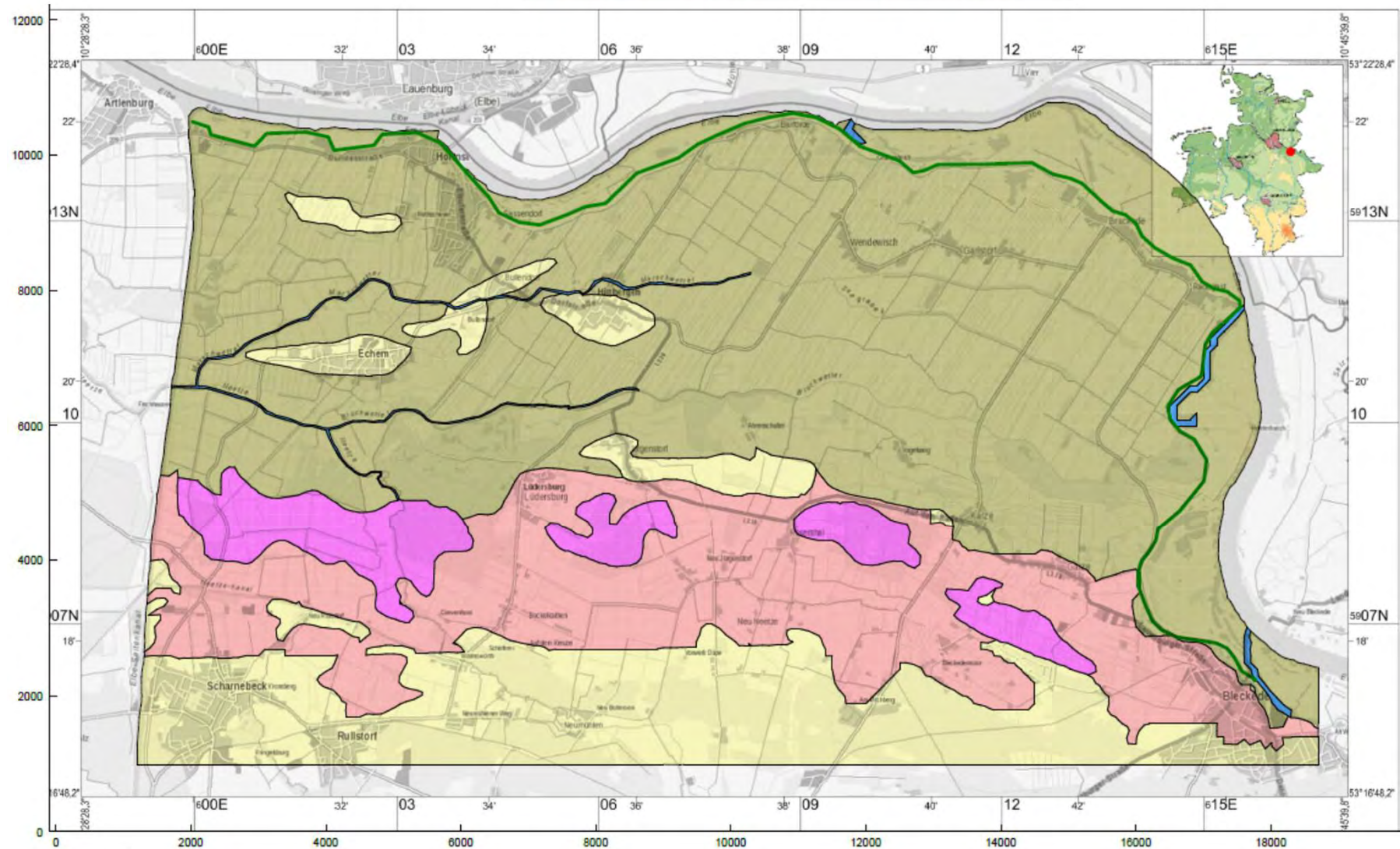
- Horizontal ebenes, 2D-Grundwassersmodell mit Deckschicht.
- Ausdehnung 16 x 10 km, nach Westen bis zum ESK.
- Gewässer teilweise berücksichtigt.
- Lokale Fehlstellen, Kleinentnahmen o. ä. nicht berücksichtigt.



Untergrund



Boden	k_{hs} [m/s]	k_{hy} [m/s]	k_v [m/s]	n_{ve} [-]	Bezeichnung
	1.000	1.000	1.000	0.99	Wasser
	$1.000 \cdot 10^{-4}$	$1.000 \cdot 10^{-4}$	-	0.20	Sand
	$1.000 \cdot 10^{-4}$	$1.000 \cdot 10^{-4}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	0.20	Auelehm über Sand
	$5.000 \cdot 10^{-6}$	$5.000 \cdot 10^{-6}$	-	0.15	Niedermoor über Sand
	$1.000 \cdot 10^{-6}$	$1.000 \cdot 10^{-6}$	-	0.20	Torf über Sand

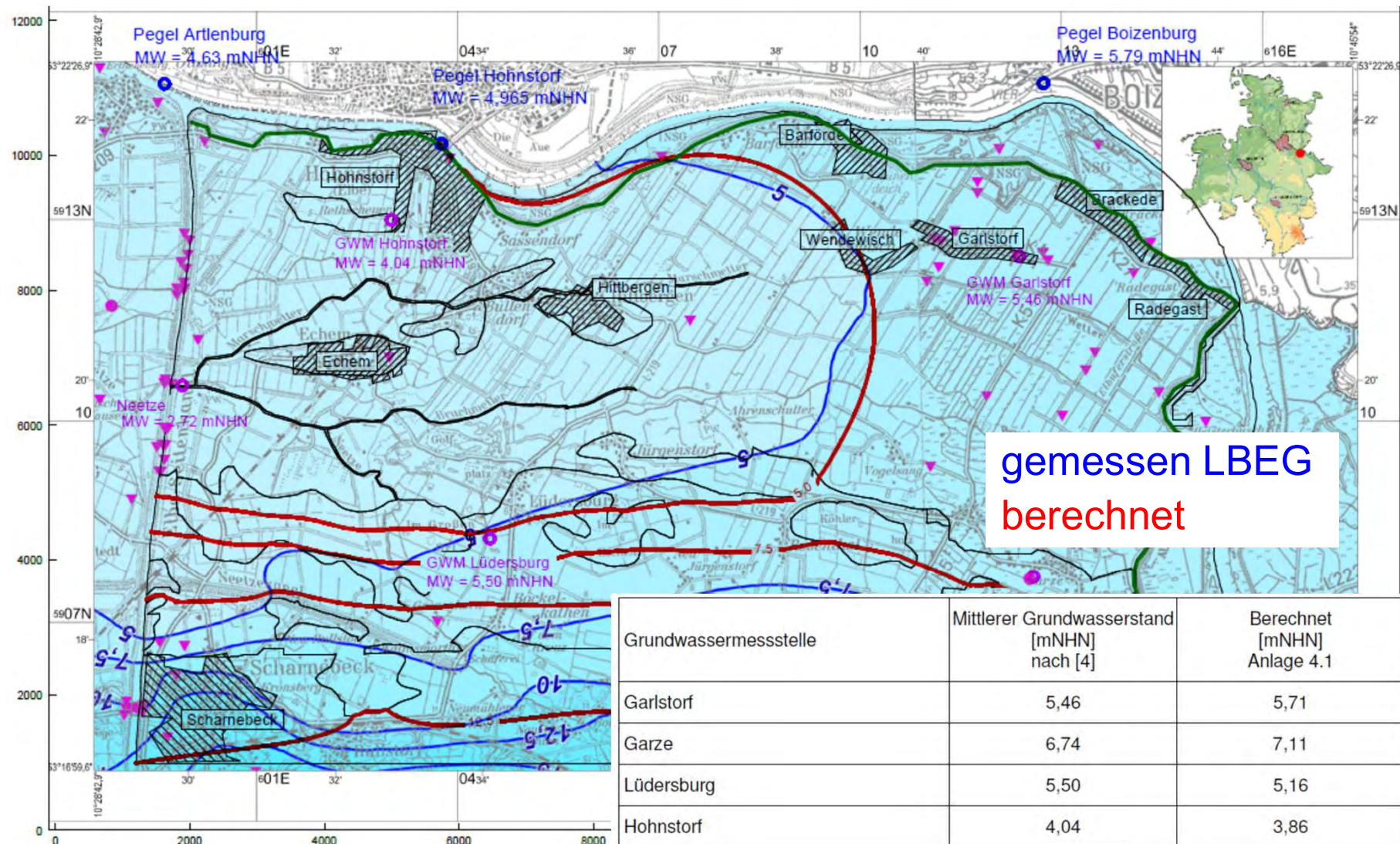


- Prognose für Hochwasser
 - Ist-Zustand
 - 3 Varianten

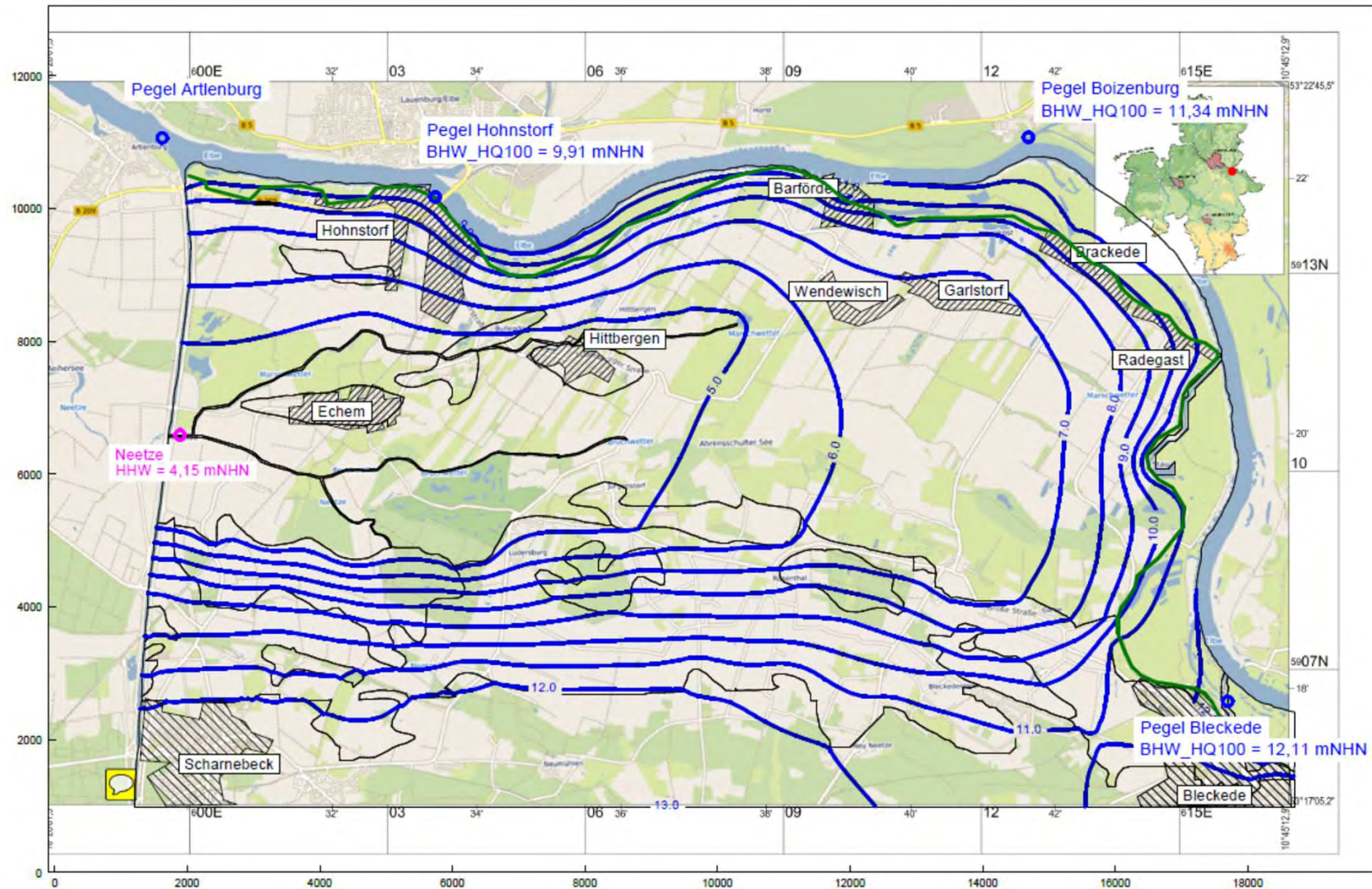
Einschränkungen!

- Stationäre Berechnung, d. h. unendlich lang andauerndes Hochwasser.
- Das Modell liefert „nur“ qualitative Aussagen zum Systemverhalten.
- Lokale Abweichungen sind möglich.
- Genauer ist möglich, aber aufwändig und zu diesem Zeitpunkt noch nicht sinnvoll.

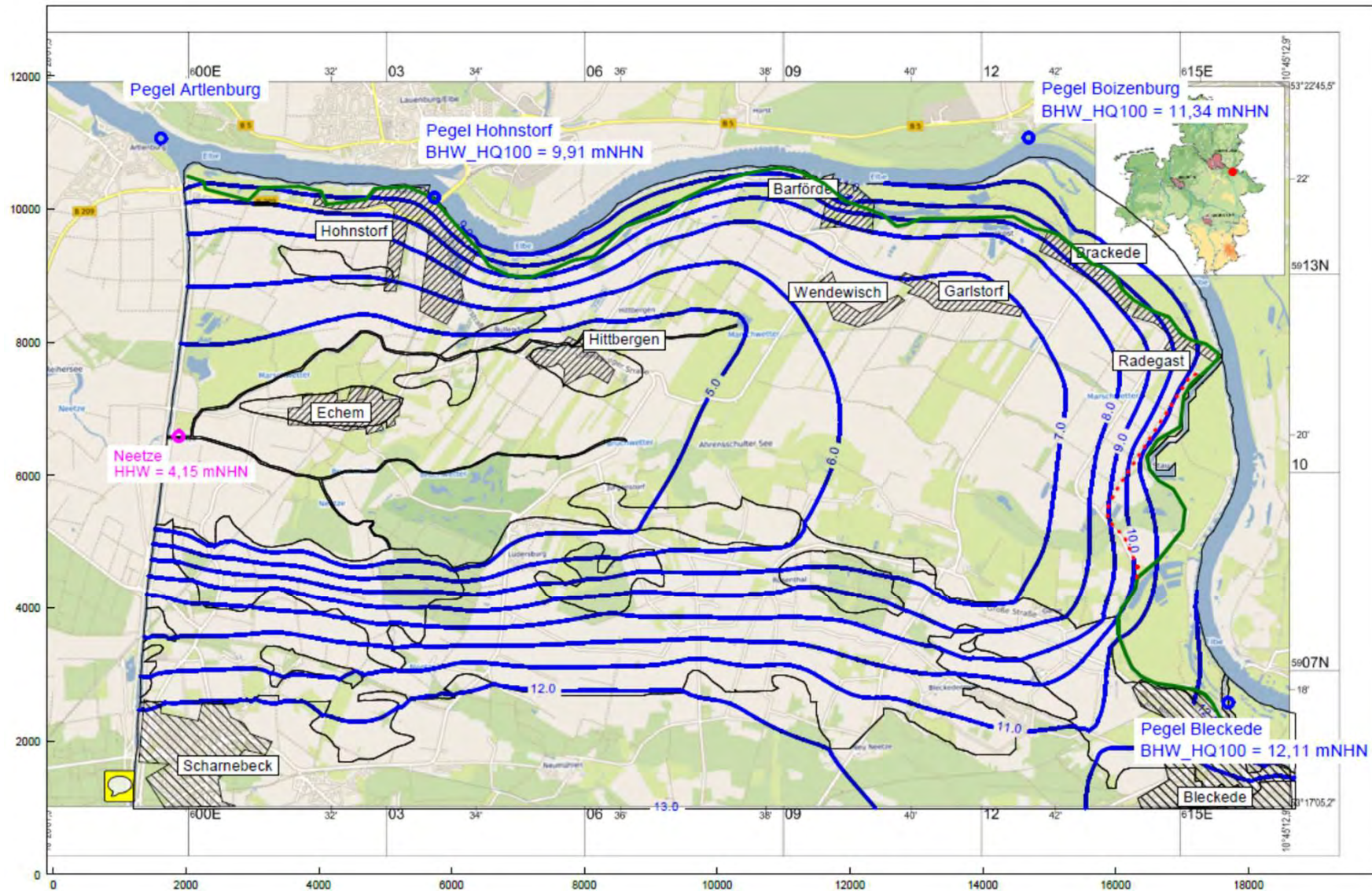
Grundwassergleichen Ist-Zustand Mittelwasser



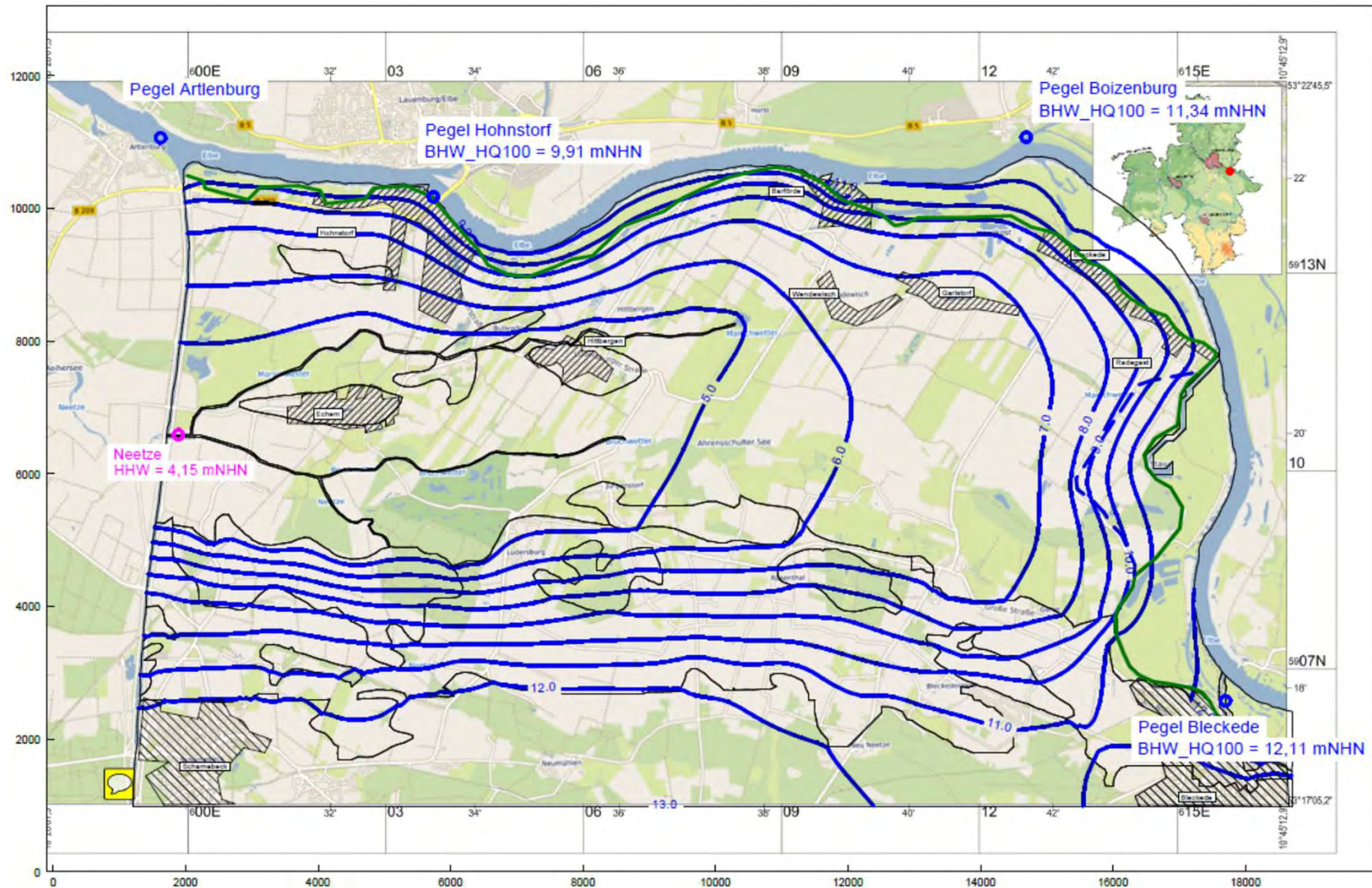
Ist-Zustand - Hochwasser



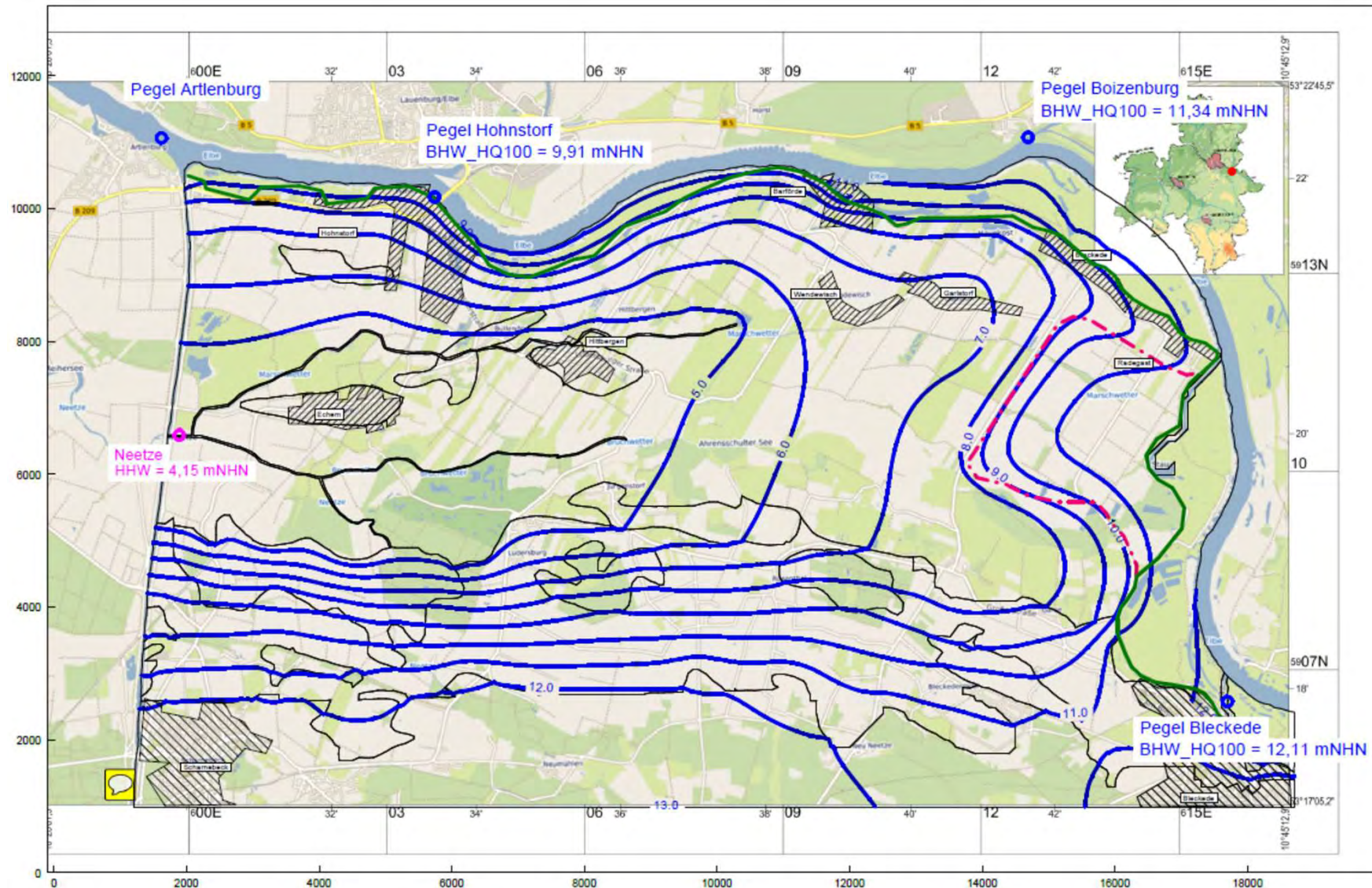
Variante 1 - Hochwasser



Variante 2 - Hochwasser



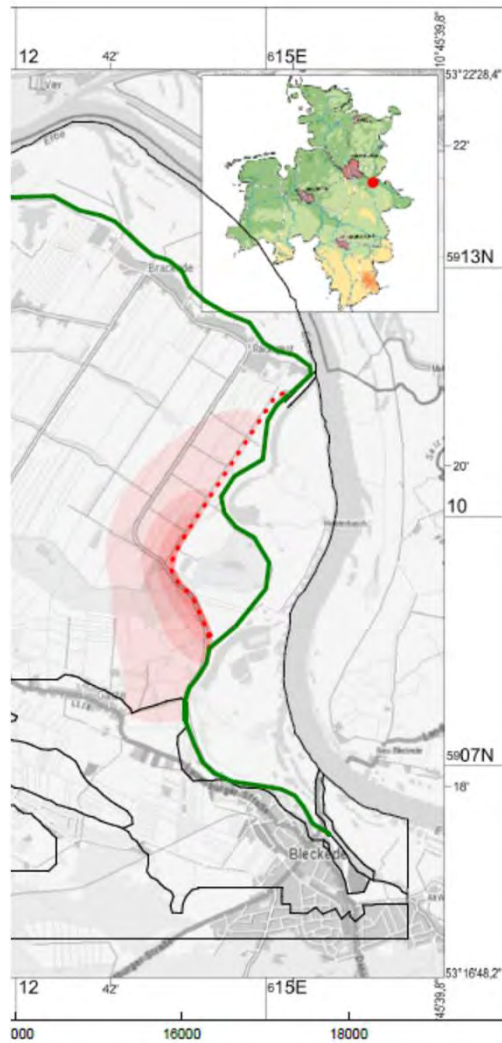
Variante 3 - Hochwasser



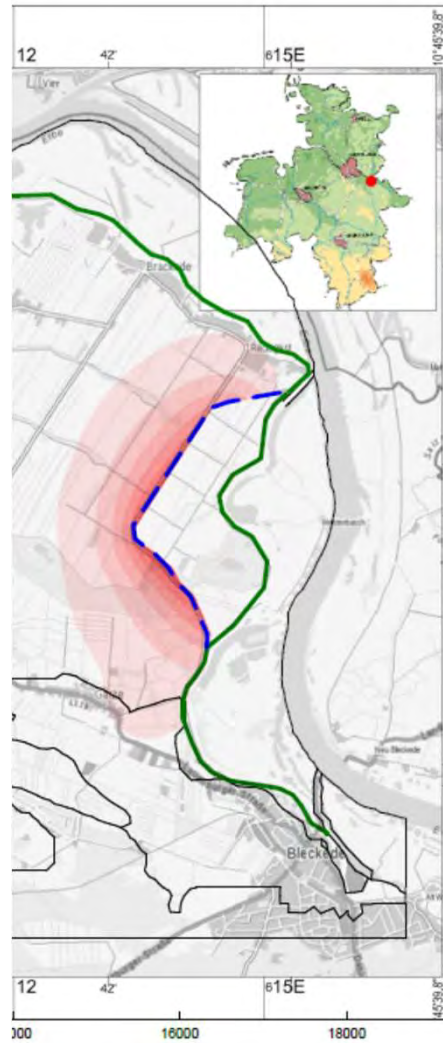
Veränderung zum Ist-Zustand



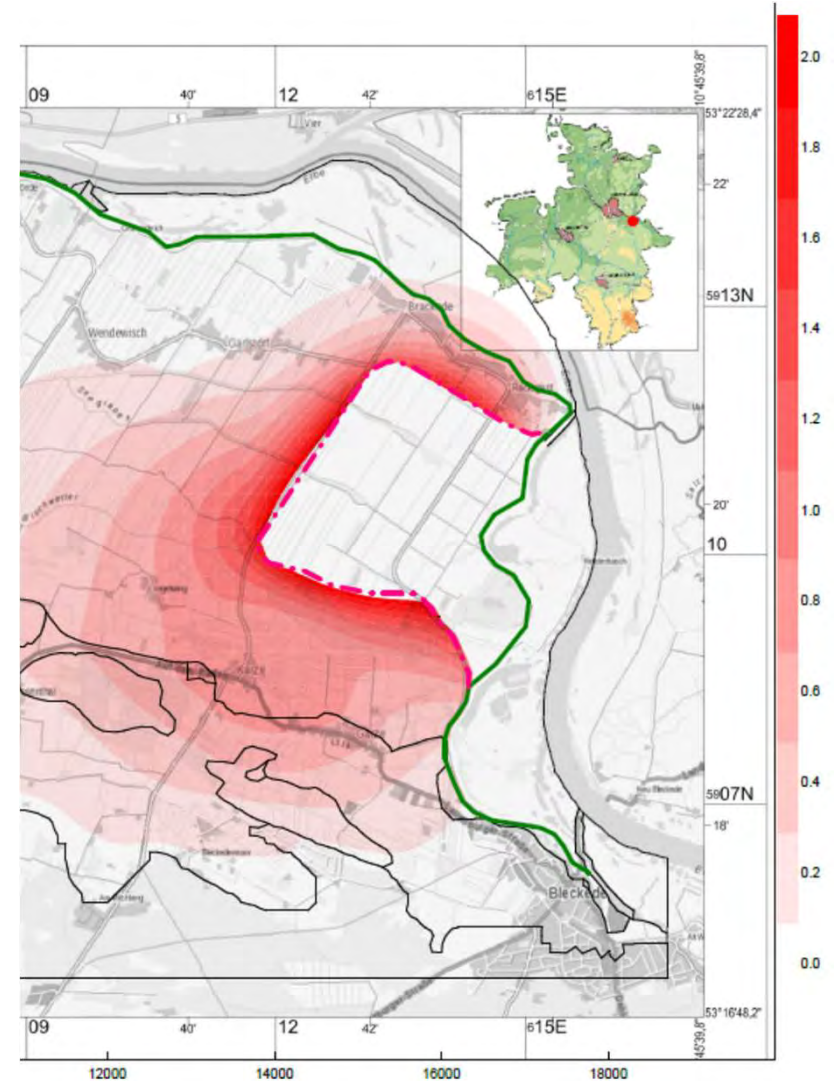
Variante 1



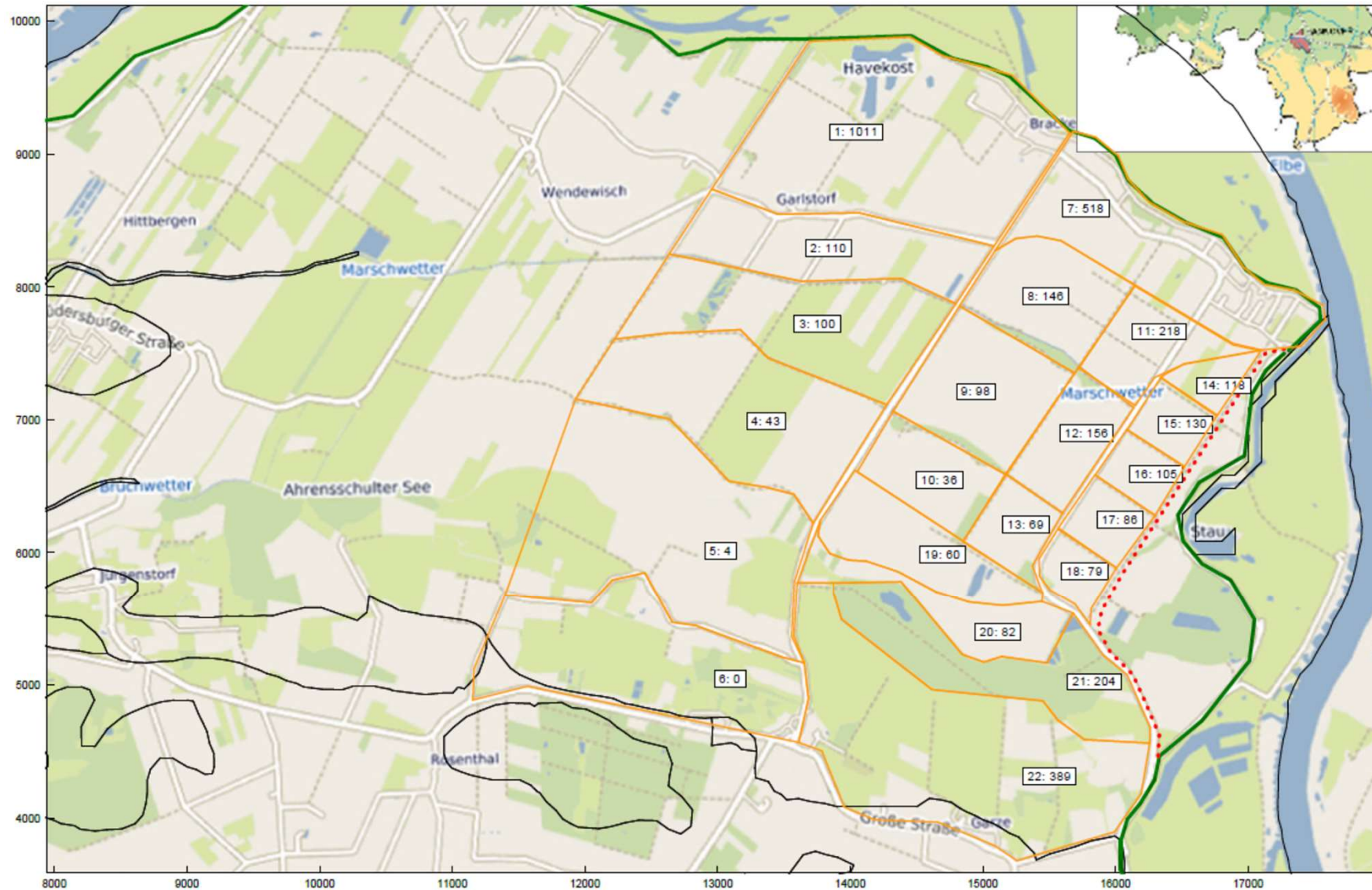
Variante 2



Variante 3



Qualmwasser



Zusammenfassung Qualmwasser



- Variante 1 wirkt sich vor allem im Süden der Rückverlegungstrasse aus. Ortslage Radegast bleibt weitgehend unbeeinflusst.
- Variante 2 reicht weiter in das Hinterland. In Radegast leichte Erhöhung gegenüber Ist-Zustand. Grundwasserstände in Radegast sind aber sowieso stark von Elbe (auch von Norden) beeinflusst.
- Variante 3: „Bucht“ nachteilig. Auswirkung bis 5 km hinter jetziger Deichlinie.

Zusammenfassung



- Der Bestandsdeich ist standsicher, weist aber Fehlhöhen auf und entspricht nicht mehr dem Stand der Technik.
- Bei Eisdruck kann die Standsicherheit des bestehenden Deiches kritisch werden.

Weitere Untersuchungen erforderlich.

- Bestehende Trasse begünstigt Eisversatz.
Variante 1 ist durch begradigte Linienführung „glatter“.
- Qualmwasser bei Variante 1 vor allem im Süden erhöht.