

SGW

Senkungsprognose für Epe

12. Dezember 2022

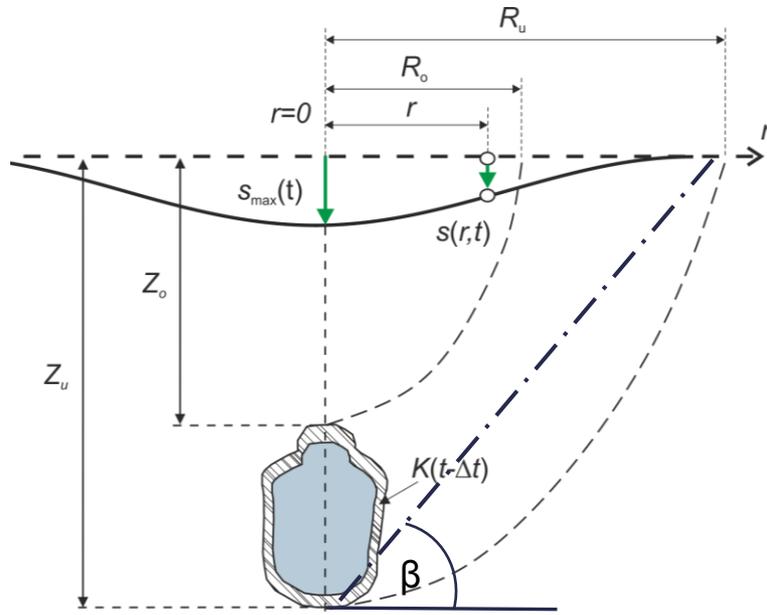


- **Allgemeines**
- **Vergleich Senkungsmodell vs. Messungen**
- **Senkungsprognose für 2030, 2050, 2070**
- **Fazit**



Vorausberechnung bei Kavernen

Kavernen werden in Dtl. seit den späten 1960er Jahren betrieben. In den 1980er Jahren wurde in Clausthal-Zellerfeld eines der heute noch gängigen Verfahren zur Senkungsvorausberechnung durch Sroka/Schober/Hartmann entwickelt. Es ist ein analytisches Verfahren, das seine Ursprünge in den 1950er Jahren in Polen hat und u.a. auch in der Steinkohle seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt wird.



nach Sroka (2015), unverö.

Konvergenzvolumen [m³]

$$K(t-\Delta t) = k(t-\Delta t) \cdot V_E \quad \text{mit } k = \text{Konvergenzrate } [\%/a]$$

$$t, \Delta t = \text{(Verzögerungs-/Übertragungs-)Zeit [a]}$$

$$V_E = \text{Anfangsvolumen für } t = 0 \text{ [m}^3\text{]}$$

Haupteinwirkungsradius R [m]

$$R = \sqrt{R_0 \cdot R_u} \quad \text{mit } R_0 = z_0 \cdot \cot \beta; R_u = z_u \cdot \cot \beta$$

mit $\beta = \text{Haupteinwirkungswinkel } [^\circ]$
 $z_0, z_u = \text{Tiefe Kavernendach und -boden [m]}$
 $R_0, R_u = \text{Radius bzgl. Kavernendach/-boden [m]}$

max. Senkung (direkt über Kaverne) [m]

$$s_{\max}(t) = \frac{a \cdot K(t-\Delta t)}{R^2}, \quad \text{mit } a = \text{Abbaufaktor []}$$

Senkung in beliebigem Abstand r zur Kaverne [m]

$$s(r,t) = s_{\max}(t) \cdot \exp\left(-\pi \frac{r^2}{R^2}\right)$$

Parameter des Kavernenfeldes Epe

$$s(r, t) = \frac{a * k(t - \Delta t) * VE}{z_o * zu * \cot^2 \beta} * \exp\left(-\pi * \frac{r^2}{z_o * zu * \cot^2 \beta}\right)$$



$$s(r, t) = \frac{k(t) * VE}{R^2} * \exp\left(-\pi * \frac{r^2}{R^2}\right)$$

für Epe:

a (Abbaufaktor) = 1 > kann entfallen

Δt (Verzögerung) = ¼ Jahre > für langfristige Betrachtungen irrelevant, kann entfallen

$\sqrt{z_o * zu} = H$ (Tiefe der Kaverne in Meter)

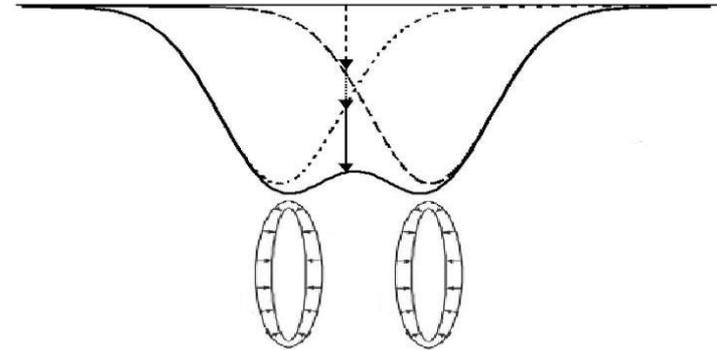
β (Haupteinwirkungswinkel) = 34°

$H * \cot \beta = R$ (Haupteinwirkungsradius in Meter)

Sobald eine Kaverne „steht“, also gebohrt und fertig gesolt ist, sind das **Ausgangsvolumen V_E** und der **Einwirkungsradius R** fixiert.

Offen bleiben also die betriebsabhängigen Parameter, **Konvergenzrate k** und die **Betriebsdauer t** .

Die oben stehende Formel muss dabei auf alle Kavernen angewandt werden, da sich die einzelnen Senkungsmulden überlagern.



Beispiele für unters. Kavernennutzungen

Produktionskaverne

Größe: 1 Mio. m³

Solphase: 20 Jahre

(ca. 50.000 m³ Hohlraumzuwachs jährlich)

Konvergenz: ca. 1 % p.a.

Gesamtkonvergenzvolumen:

103k m³

Senkung (direkt über Kaverne):

3,3 cm

Ölkaverne/solegefüllt

Größe: 1 Mio. m³

Solphase: 20 Jahre

(ca. 50.000 m³ Hohlraumzuwachs jährlich)

Konvergenz: ca. 1 % p.a.

Speicherphase: 40 Jahre

Konvergenz: 0,2 % p.a.

Gesamtkonvergenzvolumen:

180k m³ (103+77)

Senkung (direkt über Kaverne):

5,7 cm

Gaskaverne

Größe: 0,35 Mio. m³

Solphase: 7 Jahre

(ca. 50.000 m³ Hohlraumzuwachs jährlich)

Konvergenz: ca. 1 % p.a.

Speicherphase: 40 Jahre

Konvergenz: 1,2 % p.a.

Gesamtkonvergenzvolumen:

146k m³ (12+134)

Senkung (direkt über Kaverne):

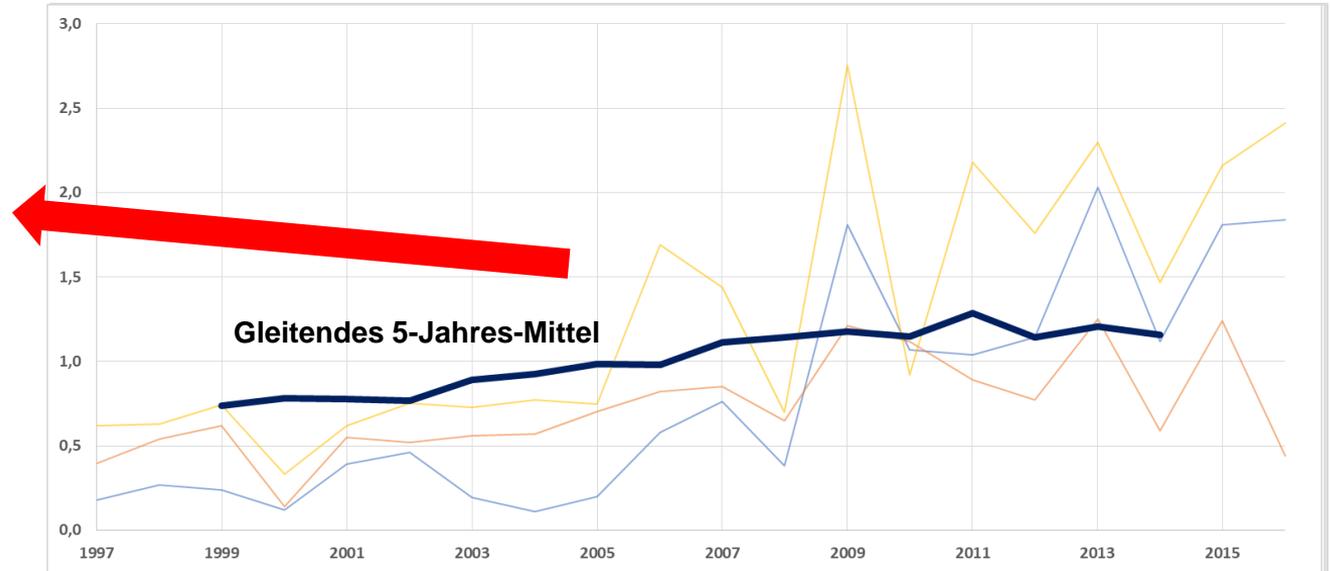
4,6 cm

Unsicherheiten bei Gaskavernen - Fahrweisen

Die Fahrweise (Intensität der Nutzung) bei Gaskavernen hat sich in den vergangenen Jahren bzw. Jahrzehnten geändert. Ursache hierfür waren v.a. die Liberalisierung des Gasmarktes, aber auch die Nutzung von Erdgas zur Stromerzeugung. Somit ist eine Prognose über die langfristige Konvergenz (und damit Senkung) von Gaskavernen schwierig bis unmöglich.

Der Betrieb der Kavernen erfolgt dabei stets innerhalb gebirgsmechanischer Vorgaben – die Sicherheit der Kavernen ist somit immer gegeben.

für langjährige Prognose:
1,2 % Volumenverlust pro
Jahr realistisch

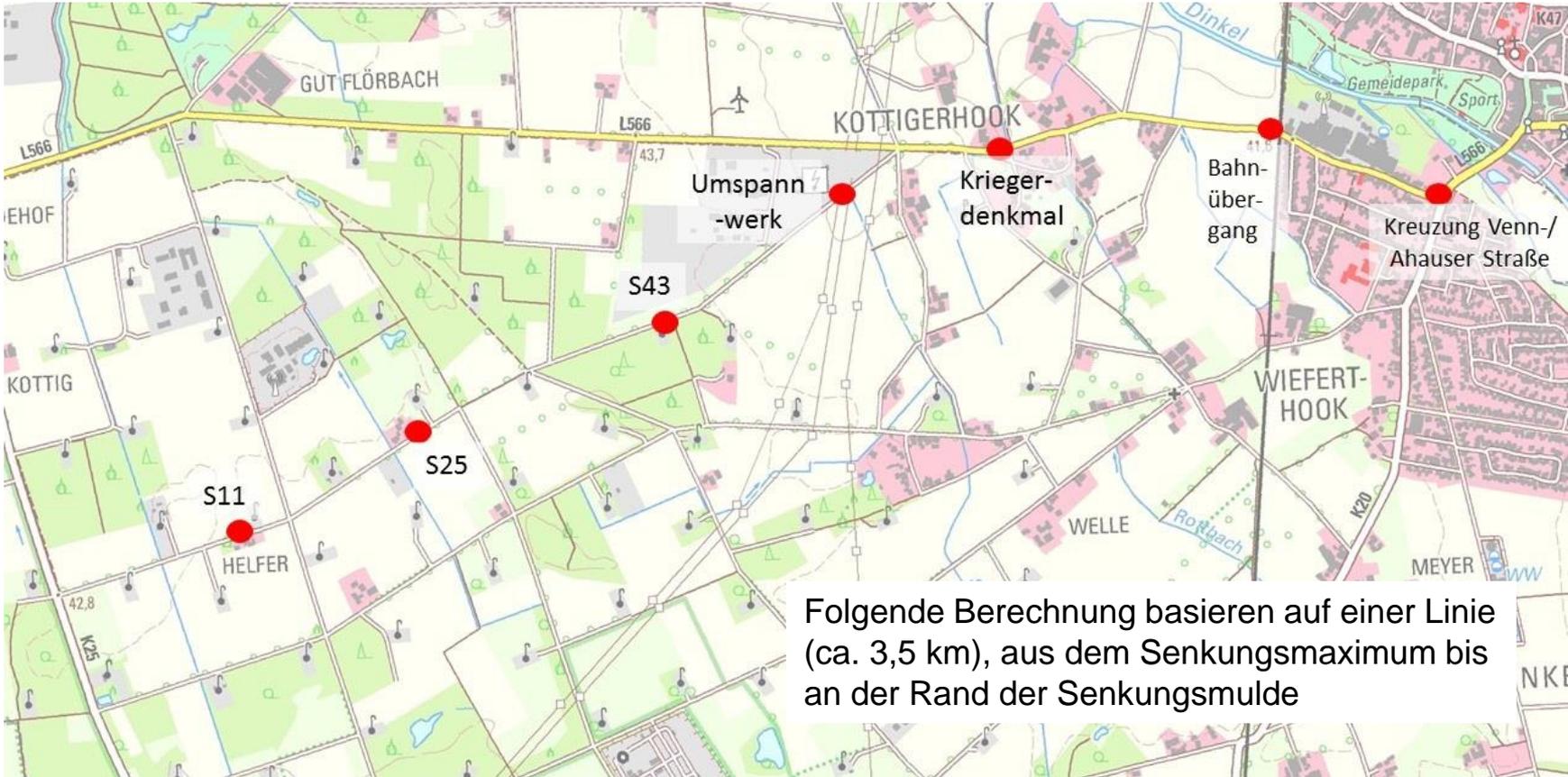


Jahreskonvergenzen [%] einzelner Gaskavernen 1997-2016

Grundlagen für die Senkungsprognose

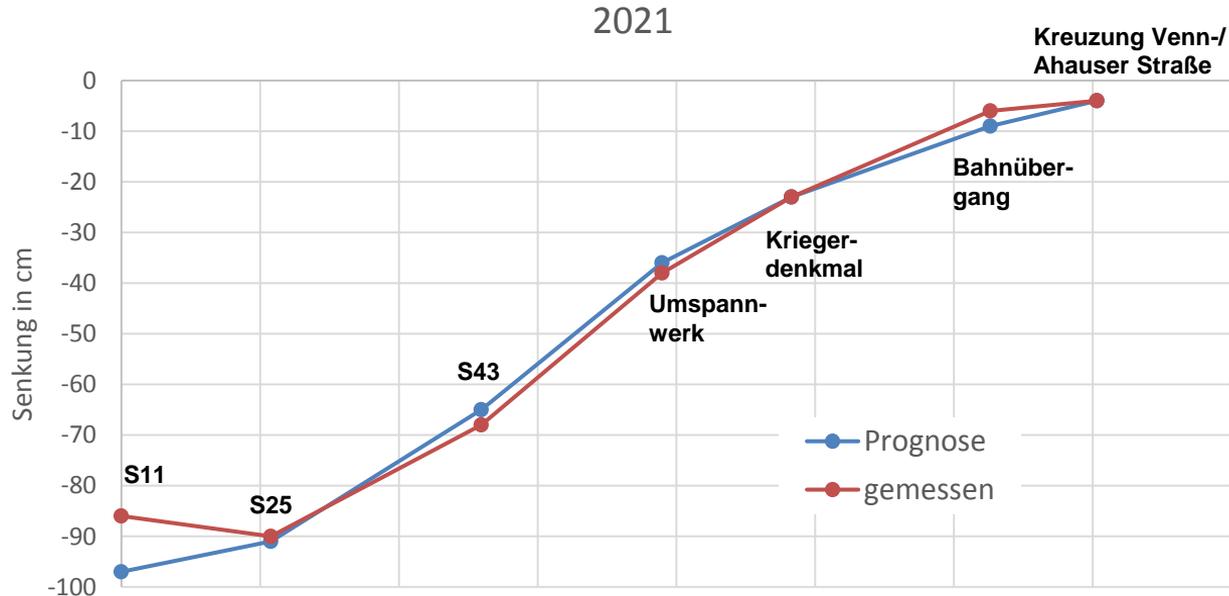
- berücksichtigt werden nur bestehende Kavernen mit ihrer heutigen Größe
 - > unproblematisch für den **östlichen** Feldesteil, da hier schon „finale“ Kavernen, deshalb aber für folgenden Betrachtungen Aussparung des **westlichen** Feldesteiles
- Für (aktive) Solegewinnungskavernen Konvergenzraten von ca. 1 % jährlich
- für Gaskavernen Annahme von 1,2 % jährlicher Konvergenz
- alle Kavernen werden mit ihrer heutigen Nutzung bis 2069 betrieben
- neue Speichermedien (H₂) sind nicht berücksichtigt, Konvergenzen dürften aber vergleichbar sein

Vergleich Senkungsmodell vs. Messungen

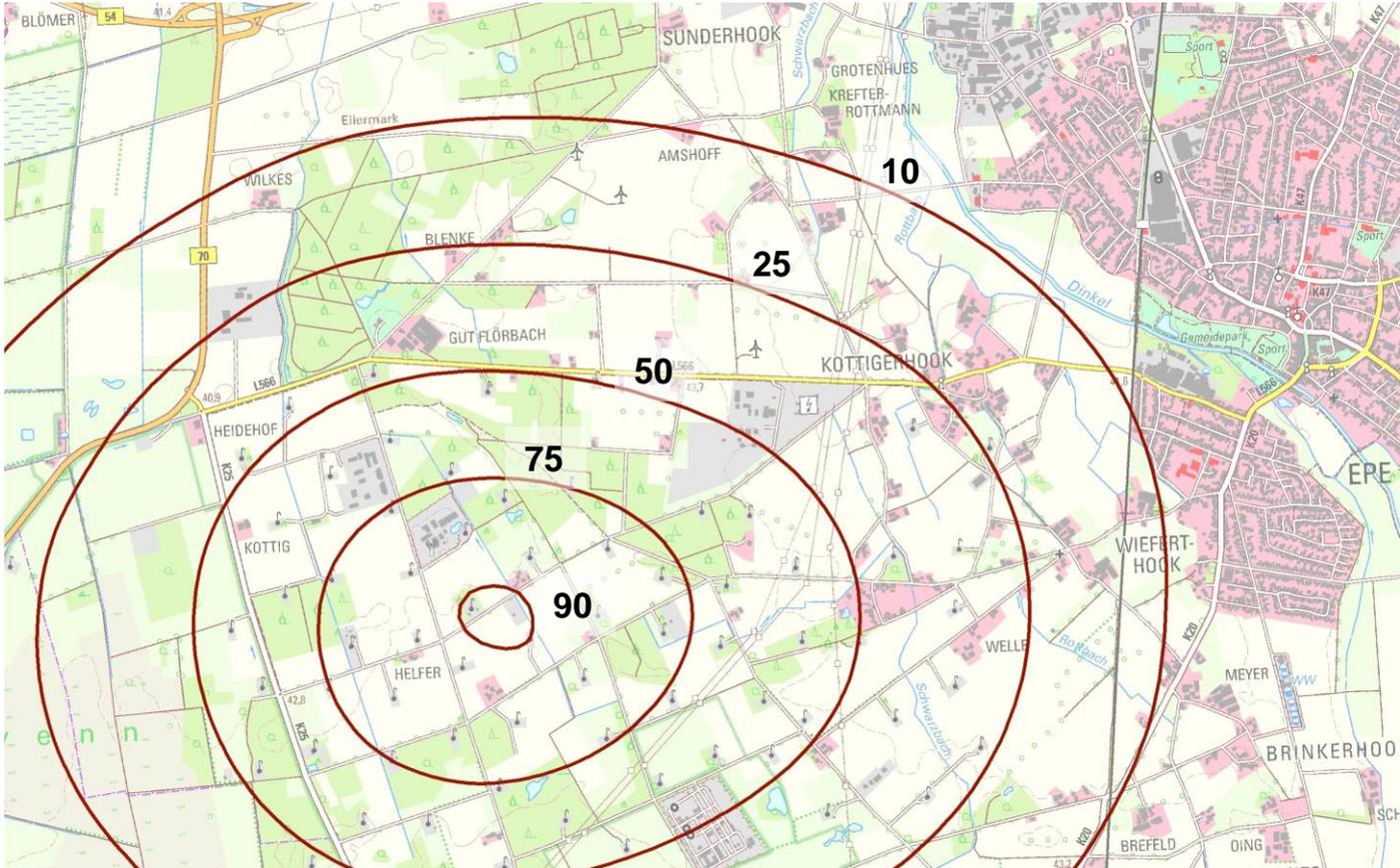


Vergleich Senkungsmodell vs. Messungen

Für 2021 zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung des Senkungs-(berechnungs-)modells mit den tatsächlich gemessenen Werten. Die Unterschätzung des Modells im Senkungsmaximum ist dem schwankenden Einfluss der Gaskavernen und deren langer Betriebszeit geschuldet.

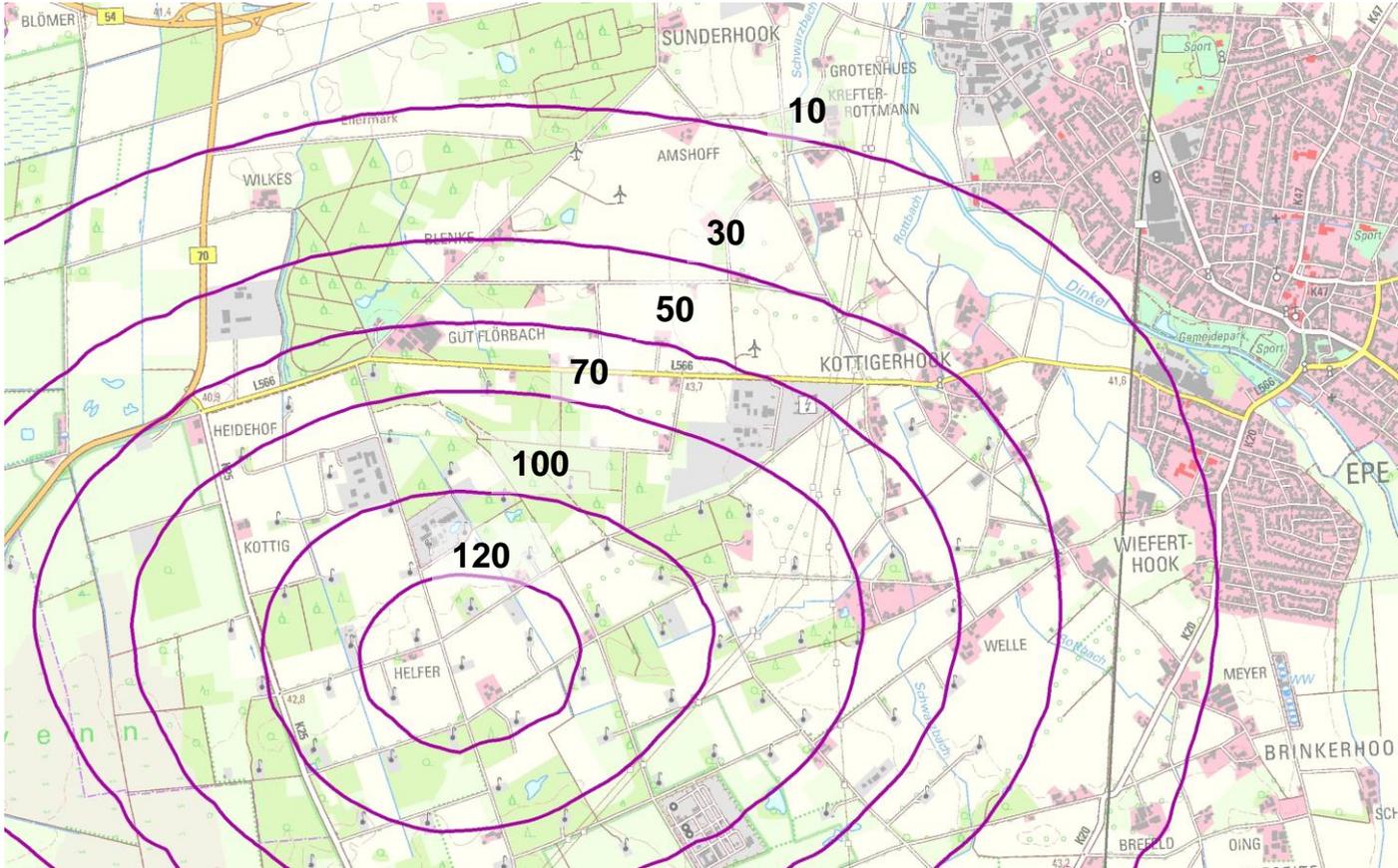


Gemessene Senkungen im Jahre 2021



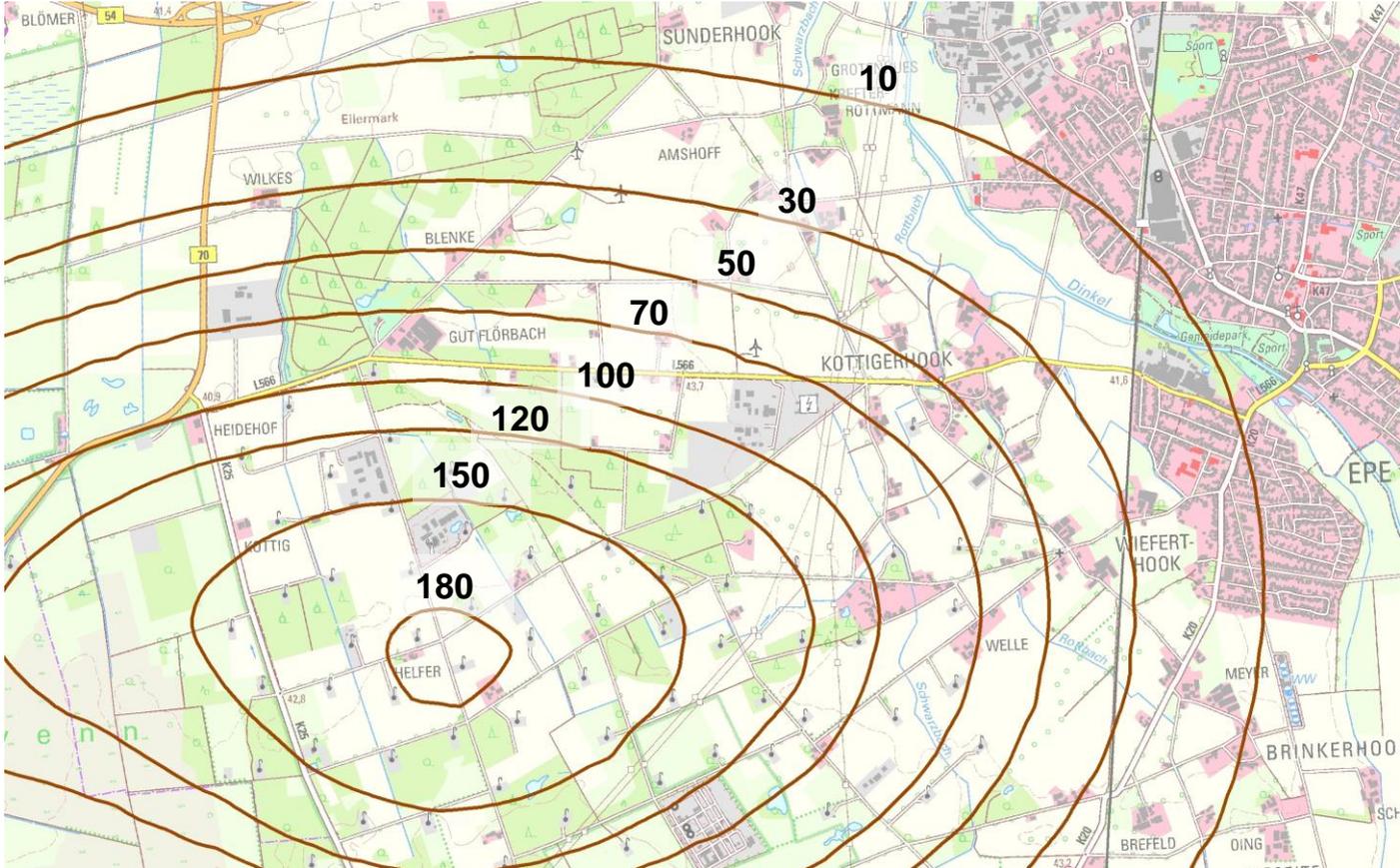
Messungen
2021
(Werte in cm)

Ergebnisse der Prognose



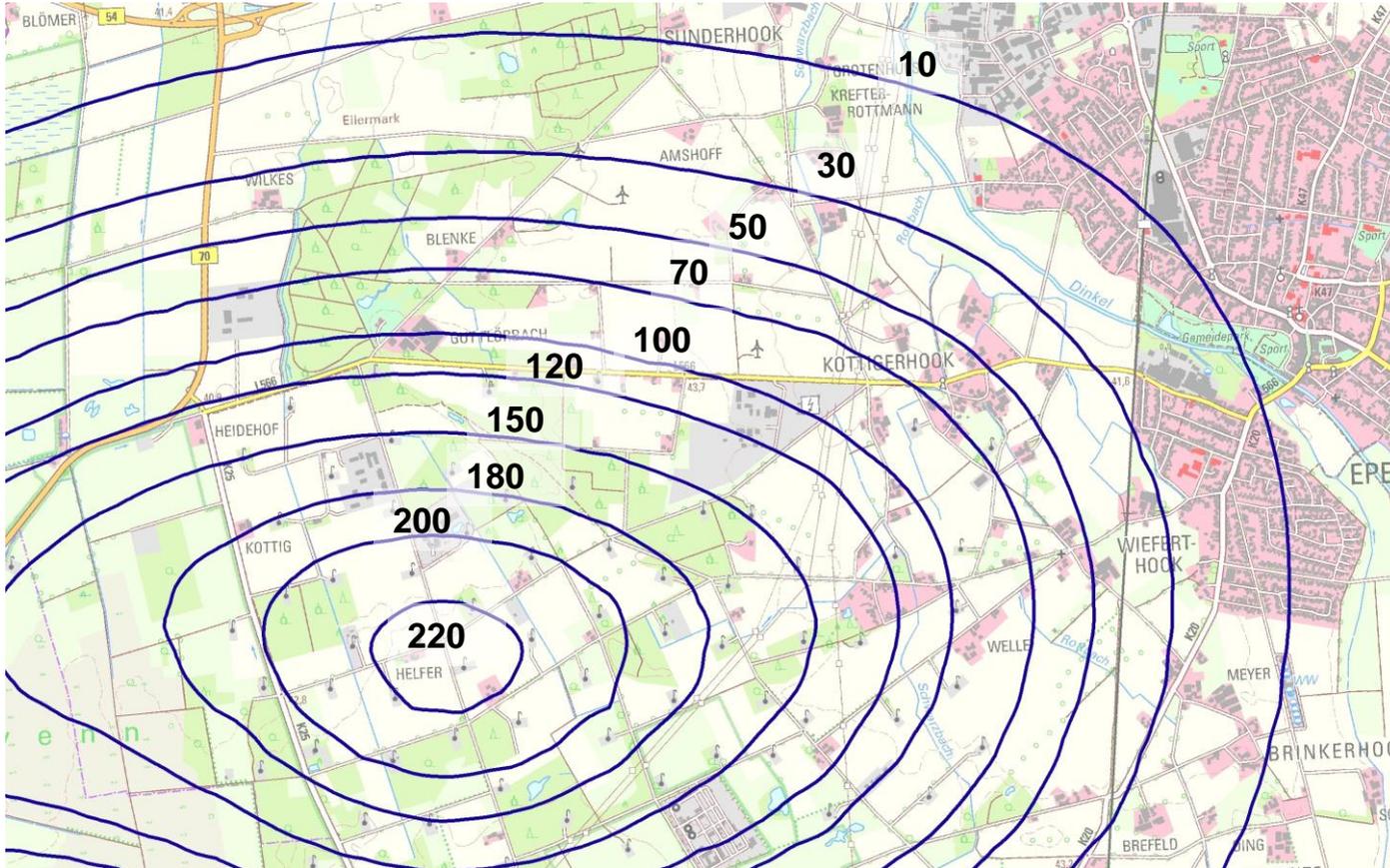
Prognose
2030
(Werte in cm)

Ergebnisse der Prognose



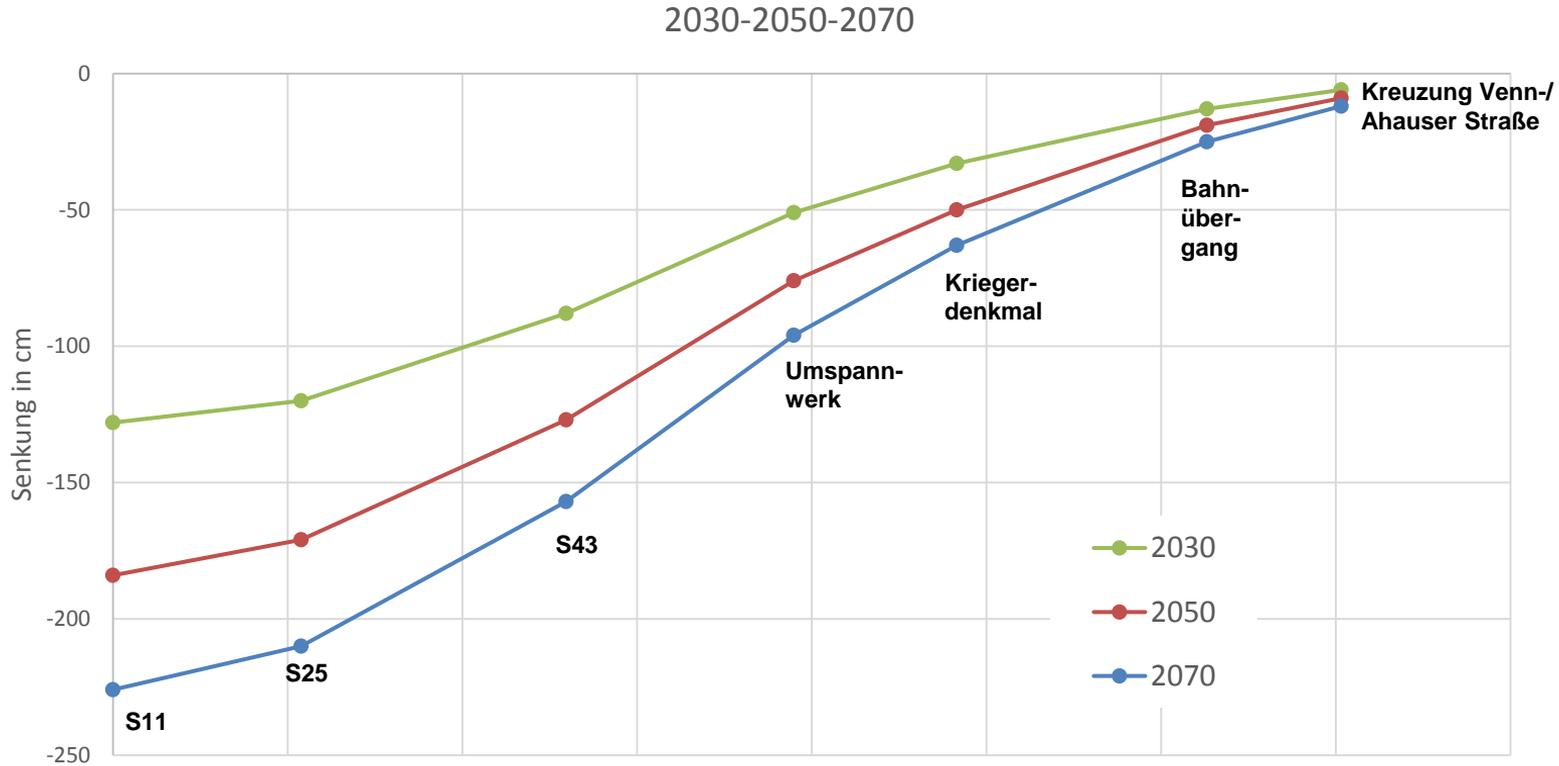
Prognose
2050
(Werte in cm)

Ergebnisse der Prognose

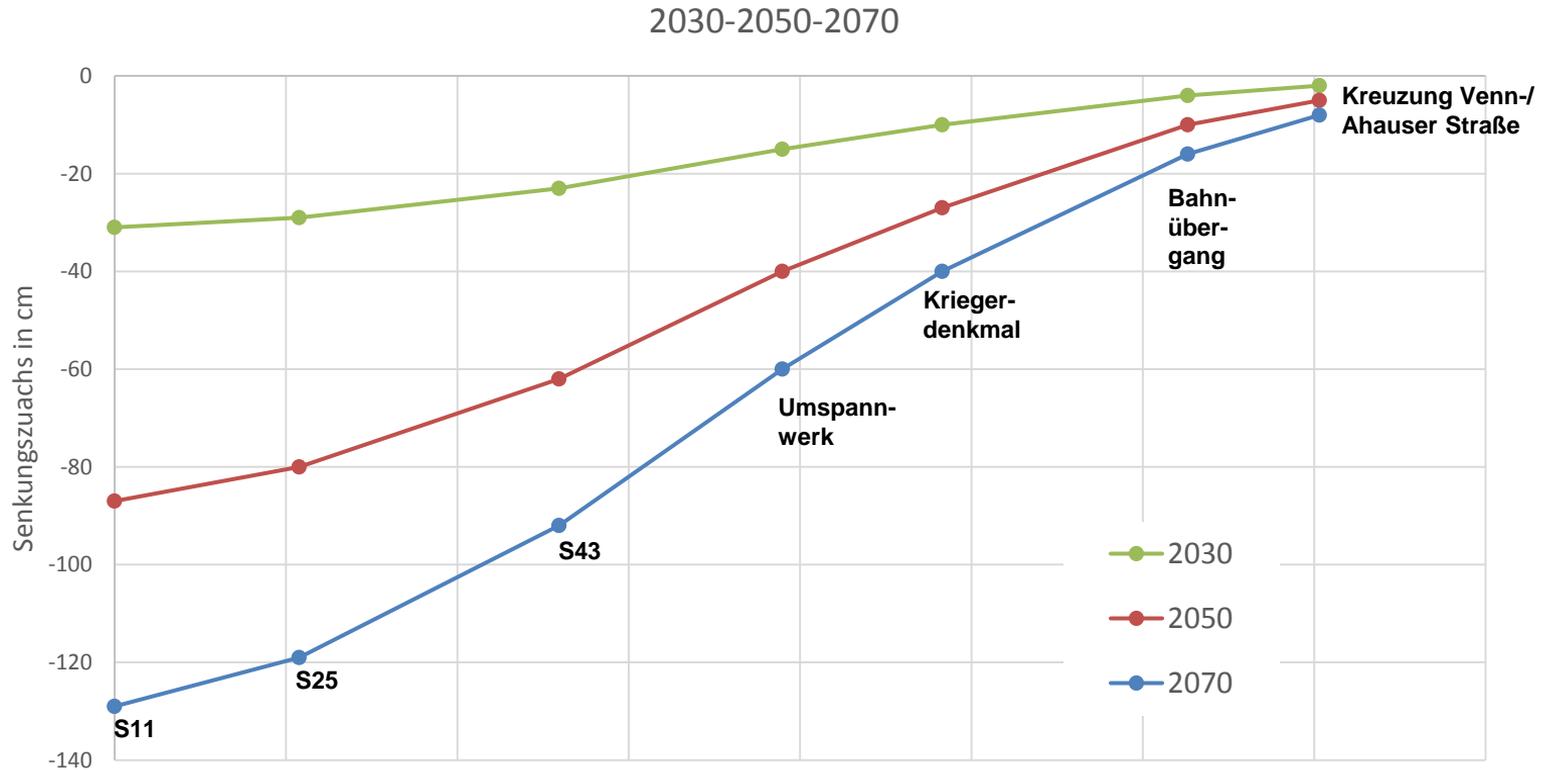


Prognose
2070
(Werte in cm)

Ergebnisse der Prognose – Schnittdarstellung



Ergebnisse der Prognose – Senkungszuwachs ab 2021



Fazit

- Die zu Grunde liegende Mathematik des analytischen Ansatzes der Senkungsberechnung hat sich in Epe bewährt.
- Trotz der Unmöglichkeit der Vorhersage der Zukunft sind realistische Prognosen möglich.
- Für Epe sind weiterhin Senkungen zu erwarten – sowohl aus der Salzgewinnung als auch der Speicherung.
- Werden die Kavernen verschlossen, wird die Konvergenz (und damit die Senkung) auf einen Bruchteil zurückgehen.
- Das langsame Senkungsgeschehen (im Zentrum der Senkungsmulde ca. 3 cm jährlich) lässt jederzeit Anpassungen der geplanten Maßnahmen (z.B. gegen Vernässungen) zu.

Haben Sie noch Fragen?

Stefan.meyer@solvay.com

+ 49 2565 60 122

