

## 7. Facharbeitsgruppensitzung

# Berechnungen und Prognose von Bodenbewegungen mit Sensitivitätsanalyse im Rheinischen Braunkohlerevier

Landesamt für Natur,  
Umwelt und Verbraucherschutz  
Nordrhein-Westfalen



Düsseldorf

16.01.2018

### Vorgehen / Projektskizze

#### 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

1. Sichtung und Einarbeitung in die vom LANUV zur Verfügung gestellten Daten (Höhenzeitfolge, geologisches Schichtprofil, Grundwasserganglinien)
2. Erstellung des Schichtmodells auf Basis des Schichtprofils vom LANUV
3. Anpassung und Auswertung der Spannungen auf Basis der Grundwasserganglinien vom LANUV
4. Anpassung der Bodenbewegungsprognose an das Schichtmodell des vorgegeben Höhenfestpunktes
5. Kalibrierung der Bodenbewegungsprognose auf Basis der Höhenzeitfolge

Daran anschließend erfolgt dann die eigentliche

6. Sensitivitätsanalyse



### 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

#### 6. Sensitivitätsanalyse

mit Variation von:

- a) Ausgangsteifigkeit nichtbindig
- b) Ausgangsteifigkeit bindig
- c) Ausgangskonsolidationsbeiwert
- d) Teufenabhängige Steifigkeitszunahme nichtbindig
- e) Teufenabhängige Steifigkeitszunahme bindig
- f) Hebungsfaktor nichtbindig
- g) Hebungsfaktor bindig

### 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

Variation GW-Ganglinie:

- a) Verschiebung aller Grundwasserganglinien parallel nach oben
- b) Verschiebung aller Grundwasserganglinien parallel nach unten
- c) Verschiebung einzelner Grundwasserganglinien im Absenkungsmaximum um  $\pm 20$  m (Annahme: 7 GW-Leiter  $\times$  2 = 14 Fallunterscheidungen)

Variation Schichtmächtigkeit:

- d) „Stauchung“ aller bindigen und „Dehnung“ aller nichtbindigen Schichten
- e) „Dehnung“ aller bindigen und „Stauchung“ aller nichtbindigen Schichten
- f) Reduzierung der zu betrachtenden Endteufe bzw. der untersten Schicht
- g) Erhöhung der zu betrachtenden Endteufe bzw. der untersten Schicht

## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

1. Sichtung und Einarbeitung in die vom LANUV zur Verfügung gestellten Daten (Höhenzeitfolge, geologisches Schichtprofil, Grundwasserganglinien)
2. Erstellung des Schichtmodells auf Basis des Schichtprofils vom LANUV
3. Anpassung und Auswertung der Spannungen auf Basis der Grundwasserganglinien vom LANUV
4. Anpassung der Bodenbewegungsprognose an das Schichtmodell des vorgegeben Höhenfestpunktes
5. Kalibrierung der Bodenbewegungsprognose auf Basis der Höhenzeitfolge

Daran anschließend erfolgt dann die eigentliche

6. Neuberechnung mit Eingangsdaten aus vorhandenem Modell



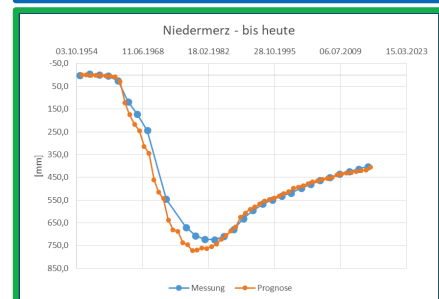
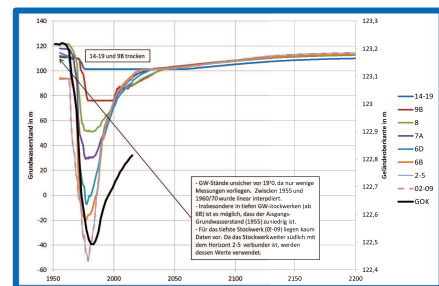
## Erste Ergebnisse



= Einwirkung =

= Reaktion =

= Widerstand =



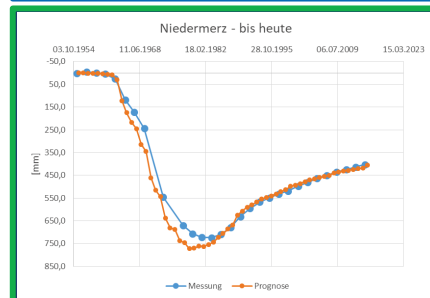
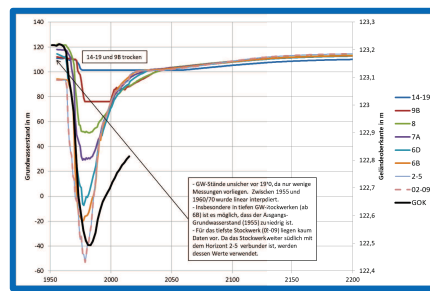
| Querschnitt<br>in m | Stärkenmäßig<br>in m | Bezeichnung der<br>Gebirgsschichten  | Geologische<br>Profilnummer<br>nach ZAI | Profilnummer<br>nach LANUV | Tiefe in m | Other<br>in m |
|---------------------|----------------------|--|---|----------------------------|------------|---------------|
| 0.3                 | 0.3                  | Mutterboden  |   |                            |            |               |
| 0.8                 | 2.2                  | Schluff  |   |                            | 10         |               |
| 6.7                 | 4.2                  | Feinkies-Grobkies, gelb-braun  |   |                            |            |               |
| 9.7                 | 3.0                  | Feinkies-Grobkies, grau-bunt, mit Steinen gerundet                             |   |                            | 10         |               |
| 12.8                | 3.1                  | Feinkies-Grobkies, grau-bunt, teilweise mit Feuersteingeröllern, Lage aus Sand |   |                            |            |               |
| 13.5                | 0.7                  | Feinkies-Grobkies, gelb-braun  |   |                            |            |               |
| 14.2                | 0.7                  | K o n i e, teilweise holzig  |   |                            |            |               |
| 14.9                | 0.4                  | Ton, grau, stark feinsandig  |   |                            |            |               |
| 15.2                | 0.6                  | Feinsand, -grau, gelblich  |   |                            |            |               |
| 16.3                | 3.1                  | Ton, dunkelgrau, Lage aus Schluff  |   |                            | 20         |               |
| 19.8                | 1.3                  | Ton, grau, schluffig   |   |                            |            |               |
| 21.3                | 1.7                  | Ton, grau, schluffig   |   |                            |            |               |
| 22.2                | 0.9                  | Feinsand-Mittelsand, grau  |   |                            |            |               |
| 23.3                | 1.1                  | Ton, dunkelgrau-braun, teilweise humos, schluffig                              |   |                            | 30         |               |
| 26.5                | 2.2                  | Feinsand-Mittelsand, grau  |   |                            |            |               |
| 31.3                | 0.8                  | Ton, grau, schluffig   |   |                            | 80         |               |



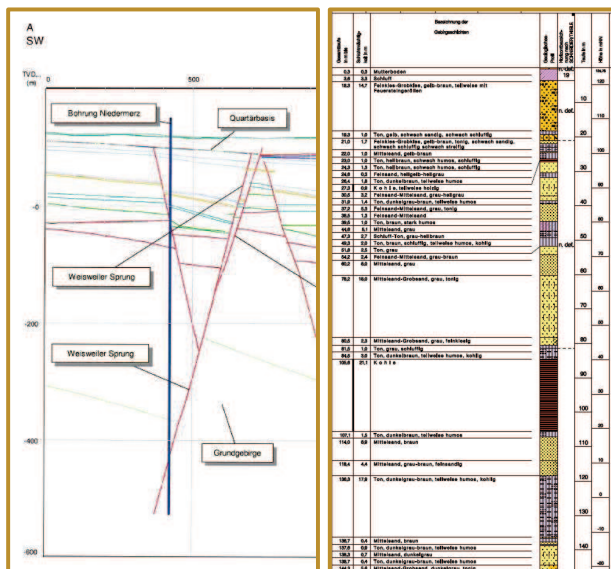
Grundwasser-  
absenkung = Einwirkung =

Setzungen /  
Hebungen = Reaktion =

Boden-  
eigenschaften = Widerstand =



## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt



### Geologie

Interpretation durch geol. Dienst

| horizont     | oberkante m | bemerkung    |
|--------------|-------------|--------------|
| 14-19        | 123,2       | nicht-bindig |
| 9C           | 101,5       | bindig       |
| 9B           | 96,7        | nicht-bindig |
| 9A           | 75,4        | bindig       |
| 8            | 69,5        | nicht-bindig |
| 7F/7D/7B     | 37          | Flöz         |
| 7A           | 34          | nicht-bindig |
| 6E           | 10,3        | Flöz         |
| 6D           | 0           | nicht-bindig |
| 6C           | -25,3       | Flöz         |
| 6B           | -53,4       | nicht-bindig |
| 6A           | -53,8       | Flöz         |
| 2-5          | -72         | nicht-bindig |
| 1            | -182,8      | bindig       |
| 02-09        | -187,4      | nicht-bindig |
| Tertiärbasis | -370        |              |



## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

| Geologie Niedermerz gem. Vorage LANUV |          |                 |           |
|---------------------------------------|----------|-----------------|-----------|
| Tiefenlage [m NN]                     | Horizont | Mächtigkeit [m] | Anmerkung |
| 123,2                                 | 14-19    | 21,7            |           |
| 101,5                                 | 9C       | 4,8             |           |
| 96,7                                  | 9B       | 21,3            |           |
| 75,4                                  | 9A       | 5,9             |           |
| 69,5                                  | 8        | 32,5            |           |
| 37                                    | 7F/7D/7B | 3               |           |
| 34                                    | 7A       | 23,7            |           |

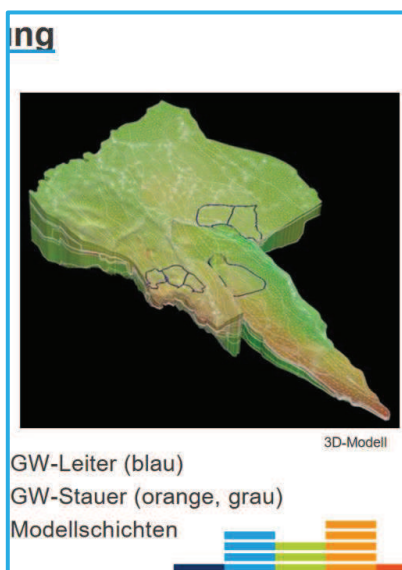
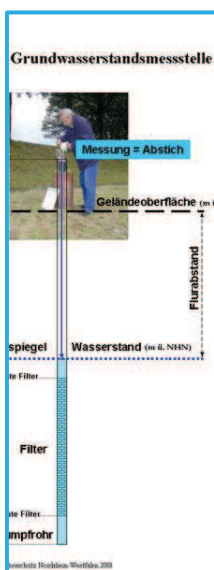
Geologie



| Geologie Profil |             |              |
|-----------------|-------------|--------------|
| horizont        | oberkante_m | bemerkung    |
| 14-19           | 123,2       | nicht-bindig |
| 9C              | 101,5       | bindig       |
| 9B              | 96,7        | nicht-bindig |
| 9A              | 75,4        | bindig       |
| 8               | 69,5        | nicht-bindig |
| 7F/7D/7B        | 37          | Flöz         |
| 7A              | 34          | nicht-bindig |
| 6E              | 10,3        | Flöz         |
| 6D              | 0           | nicht-bindig |
| 6C              | -25,3       | Flöz         |
| 6B              | -53,4       | nicht-bindig |
| 6A              | -53,8       | Flöz         |
| 2-5             | -72         | nicht-bindig |
| 1               | -182,8      | bindig       |
| 02-09           | -187,4      | nicht-bindig |
| Tertiärbasis    | -370        |              |



## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt



Grundwasser



| Grundwasserstände in allen Grundwasserleitern von 1955 bis 2017 |             |            |             |            |             |
|---|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 14-19   |             | 9B         |             | 8          |             |
| datum   | wasserstd_m | datum      | wasserstd_m | datum      | wasserstd_m |
| 01.10.1955  | 110,90      | 01.10.1955 | 111,95      | 01.10.1955 |             |
| 01.10.1956  | 110,87      | 01.10.1956 | 111,82      | 01.10.1956 |             |
| 01.10.1957  | 110,84      | 01.10.1957 | 111,69      | 01.10.1957 |             |
| 01.10.1958  | 110,81      | 01.10.1958 | 111,56      | 01.10.1958 |             |
| 01.10.1959  | 110,78      | 01.10.1959 | 111,43      | 01.10.1959 |             |
| 01.10.1960  | 110,75      | 01.10.1960 | 111,3       | 01.10.1960 |             |
| 23.10.1961  | 111,65      | 01.10.1961 | 111,17      | 01.10.1961 |             |
| 15.10.1962  | 112,40      | 01.10.1962 | 111,04      | 30.11.1962 |             |
| 22.10.1963  | 111,28      | 01.10.1963 | 110,91      | 26.10.1963 |             |
| 12.10.1964  | 110,05      | 01.10.1964 | 110,78      | 07.10.1964 |             |
| 18.10.1965  | 109,48      | 01.10.1965 | 110,65      | 06.10.1965 |             |
| 03.10.1966  | 111,25      | 01.10.1966 | 110,52      | 15.10.1966 |             |
| 24.10.1967  | 112,10      | 01.10.1967 | 110,39      | 18.10.1967 |             |
| 21.10.1968  | 110,35      | 01.10.1968 | 110,26      | 18.10.1968 |             |
| 21.10.1969  | 109,59      | 01.10.1969 | 110,13      | 17.10.1969 |             |
| 26.10.1970  | 110,05      | 01.10.1970 | 110         | 16.10.1970 |             |
| 15.10.1971  | 108,45      | 01.10.1971 | 109,06      | 15.10.1971 |             |
| 16.10.1972  | 107,36      | 05.10.1972 | 101,23      | 16.10.1972 |             |
| 16.10.1973  | 105,94      | 04.10.1973 | 99,13       | 16.10.1973 |             |
| 18.10.1974  | 103,04      | 04.10.1974 | 97,63       | 18.10.1974 |             |
| 17.10.1975  | 101,93      | 01.10.1975 | 92,77       | 17.10.1975 |             |
| 15.10.1976  | 101,5*      | 01.10.1976 | 84,54       | 15.10.1976 |             |
| 14.10.1977  | 101,5*      | 01.10.1977 | 79,03       | 14.10.1977 |             |
| 16.10.1978  | 101,5*      | 02.10.1978 | 76*         | 16.10.1978 |             |
| 17.10.1979  | 101,5*      | 03.10.1979 | 76*         | 16.10.1979 |             |
| 15.10.1980  | 101,5*      | 02.10.1980 | 76*         | 15.10.1980 |             |
| 15.10.1981  | 101,5*      | 02.10.1981 | 76*         | 15.10.1981 |             |
| 15.10.1982  | 101,5*      | 01.10.1982 | 76*         | 15.10.1982 |             |
| 14.10.1983  | 101,5*      | 01.10.1983 | 76*         | 14.10.1983 |             |
| 13.10.1984  | 101,5*      | 01.10.1984 | 76*         | 01.10.1984 |             |
| 14.10.1985  | 101,5*      | 01.10.1985 | 76*         | 01.10.1985 |             |
| 11.10.1986  | 101,5*      | 01.10.1986 | 76*         | 01.10.1986 |             |
| 12.10.1987  | 101,5*      | 01.10.1987 | 76*         | 12.10.1987 |             |
| 11.10.1988  | 101,5*      | 01.10.1988 | 76*         | 17.10.1988 |             |
| 14.10.1989  | 101,5*      | 01.10.1989 | 76*         | 14.10.1989 |             |



## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

| Datum      | GW-St  |    |        |    |        |          |        |
|------------|--------|----|--------|----|--------|----------|--------|
|            | 14-19  | 9C | 9B     | 9A | 8      | 7F/7D/7B | 7A     |
| 01.10.1955 | 110,90 |    | 111,95 |    | 122,00 |          | 118,00 |
| 01.10.1956 | 110,87 |    | 111,82 |    | 121,93 |          | 117,91 |
| 01.10.1957 | 110,84 |    | 111,69 |    | 121,86 |          | 117,83 |
| 01.10.1958 | 110,81 |    | 111,56 |    | 121,79 |          | 117,74 |
| 01.10.1959 | 110,78 |    | 111,43 |    | 121,71 |          | 117,66 |
| 01.10.1960 | 110,75 |    | 111,30 |    | 121,64 |          | 117,57 |
| 01.10.1961 | 111,65 |    | 111,17 |    | 121,57 |          | 117,68 |
| 01.10.1962 | 112,40 |    | 111,04 |    | 121,50 |          | 117,66 |
| 01.10.1963 | 111,28 |    | 110,91 |    | 120,26 |          | 116,92 |
| 01.10.1964 | 110,05 |    | 110,78 |    | 119,11 |          | 114,94 |
| 01.10.1965 | 109,48 |    | 110,65 |    | 117,78 |          | 113,08 |
| 01.10.1966 | 111,25 |    | 110,52 |    | 115,69 |          | 110,99 |
| 01.10.1967 | 112,10 |    | 110,39 |    | 113,16 |          | 102,71 |
| 01.10.1968 | 110,35 |    | 110,26 |    | 109,75 |          | 96,76  |
| 01.10.1969 | 109,59 |    | 110,13 |    | 105,47 |          | 88,91  |
| 01.10.1970 | 110,05 |    | 110,00 |    | 87,81  |          | 63,33  |
| 01.10.1971 | 108,45 |    | 109,06 |    | 77,96  |          | 49,53  |
| 01.10.1972 | 107,36 |    | 101,23 |    | 66,69  |          | 46,50  |
| 01.10.1973 | 105,94 |    | 99,13  |    | 57,40  |          | 42,69  |
| 01.10.1974 | 103,04 |    | 97,63  |    | 57,10  |          | 40,07  |
| 01.10.1975 | 101,93 |    | 92,77  |    | 52,45  |          | 32,09  |
| 01.10.1976 | 101,50 |    | 84,54  |    | 51,84  |          | 29,05  |
| 01.10.1977 | 101,50 |    | 79,03  |    | 51,86  |          | 30,13  |
| 01.10.1978 | 101,50 |    | 76,00  |    | 51,27  |          | 29,40  |
| 01.10.1979 | 101,50 |    | 76,00  |    | 52,09  |          | 30,90  |
| 01.10.1980 | 101,50 |    | 76,00  |    | 51,55  |          | 29,92  |
| 01.10.1981 | 101,50 |    | 76,00  |    | 51,01  |          | 30,92  |
| 01.10.1982 | 101,50 |    | 76,00  |    | 51,00  |          | 30,09  |
| 01.10.1983 | 101,50 |    | 76,00  |    | 51,70  |          | 31,45  |
| 01.10.1984 | 101,50 |    | 76,00  |    | 51,87  |          | 31,89  |
| 01.10.1985 | 101,50 |    | 76,00  |    | 53,36  |          | 33,91  |

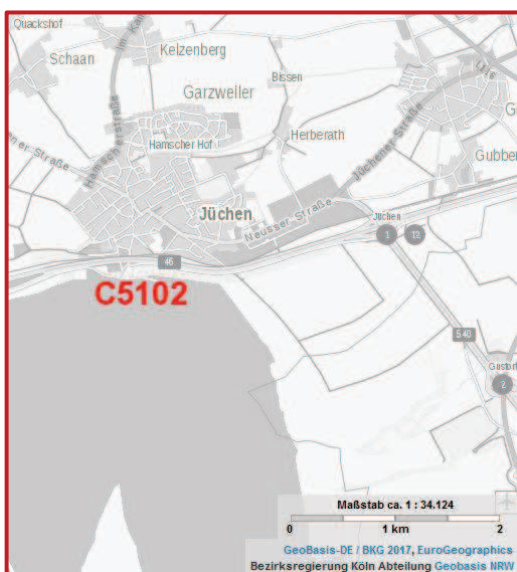
Grundwasser



| Grundwasserstände in allen Grundwasserleitern von 1955 bis 2017 |        |        |        |  |
|---|--------|--------|--------|--|
| 14-19   | 9B     | 8      |        |  |
| 01.10.1955  | 110,90 | 111,95 | 118,00 |  |
| 01.10.1956  | 110,87 | 111,82 | 117,91 |  |
| 01.10.1957  | 110,84 | 111,69 | 117,83 |  |
| 01.10.1958  | 110,81 | 111,56 | 117,74 |  |
| 01.10.1959  | 110,78 | 111,43 | 117,66 |  |
| 01.10.1960  | 110,75 | 111,30 | 117,57 |  |
| 01.10.1961  | 111,65 | 111,17 | 117,68 |  |
| 01.10.1962  | 112,40 | 111,04 | 117,66 |  |
| 01.10.1963  | 111,28 | 110,91 | 116,92 |  |
| 01.10.1964  | 110,05 | 110,78 | 114,94 |  |
| 01.10.1965  | 109,48 | 110,65 | 113,08 |  |
| 01.10.1966  | 111,25 | 110,52 | 110,99 |  |
| 01.10.1967  | 112,10 | 110,39 | 102,71 |  |
| 01.10.1968  | 110,35 | 110,26 | 96,76  |  |
| 01.10.1969  | 109,59 | 110,13 | 88,91  |  |
| 01.10.1970  | 110,05 | 110,00 | 63,33  |  |
| 01.10.1971  | 108,45 | 109,06 | 49,53  |  |
| 01.10.1972  | 107,36 | 101,23 | 46,50  |  |
| 01.10.1973  | 105,94 | 99,13  | 42,69  |  |
| 01.10.1974  | 103,04 | 97,63  | 40,07  |  |
| 01.10.1975  | 101,93 | 92,77  | 32,09  |  |
| 01.10.1976  | 101,50 | 84,54  | 29,05  |  |
| 01.10.1977  | 101,50 | 79,03  | 30,13  |  |
| 01.10.1978  | 101,50 | 76,00  | 29,40  |  |
| 01.10.1979  | 101,50 | 76,00  | 30,90  |  |
| 01.10.1980  | 101,50 | 76,00  | 29,92  |  |
| 01.10.1981  | 101,50 | 76,00  | 30,92  |  |
| 01.10.1982  | 101,50 | 76,00  | 30,09  |  |
| 01.10.1983  | 101,50 | 76,00  | 31,45  |  |
| 01.10.1984  | 101,50 | 76,00  | 31,89  |  |
| 01.10.1985  | 101,50 | 76,00  | 33,91  |  |



## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt



Messung GOK



| Leitniveaumessung |         |
|-------------------|---------|
| 5103900006        |         |
| datum             | gok_m   |
| 01.06.1951        | 123,217 |
| 01.06.1953        | 123,217 |
| 01.06.1955        | 123,215 |
| 01.06.1957        | 123,221 |
| 01.06.1959        | 123,218 |
| 01.05.1961        | 123,212 |
| 01.05.1963        | 123,191 |
| 01.06.1965        | 123,099 |
| 01.05.1967        | 123,044 |
| 01.06.1969        | 122,973 |
| 01.05.1973        | 122,671 |
| 01.06.1977        | 122,547 |
| 01.06.1979        | 122,51  |
| 01.05.1981        | 122,494 |
| 01.05.1983        | 122,493 |
| 01.04.1985        | 122,507 |





## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

| Datum      | GOK [mNN] | Gesamt [mm] |      |
|------------|-----------|-------------|------|
| 01.06.1951 | 123,217   | 0,0         | 0    |
| 01.06.1953 | 123,217   | 0,0         | 0    |
| 01.06.1955 | 123,215   | 2,0         | -2   |
| 01.06.1957 | 123,221   | -4,0        | 4    |
| 01.06.1959 | 123,218   | -1,0        | 1    |
| 01.05.1961 | 123,212   | 5,0         | -5   |
| 01.05.1963 | 123,191   | 26,0        | -26  |
| 01.06.1965 | 123,099   | 118,0       | -118 |
| 01.05.1967 | 123,044   | 173,0       | -173 |
| 01.06.1969 | 122,973   | 244,0       | -244 |
| 01.05.1973 | 122,671   | 546,0       | -546 |
| 01.06.1977 | 122,547   | 670,0       | -670 |
| 01.06.1979 | 122,51    | 707,0       | -707 |
| 01.05.1981 | 122,494   | 723,0       | -723 |
| 01.05.1983 | 122,493   | 724,0       | -724 |
| 01.04.1985 | 122,507   | 710,0       | -710 |
| 01.05.1987 | 122,528   | 670,0       | -670 |

Messung GOK



| Leitnivellement |         |
|-----------------|---------|
| 5103900006      |         |
| datum           | gok_m   |
| 01.06.1951      | 123,217 |
| 01.06.1953      | 123,217 |
| 01.06.1955      | 123,215 |
| 01.06.1957      | 123,221 |
| 01.06.1959      | 123,218 |
| 01.05.1961      | 123,212 |
| 01.05.1963      | 123,191 |
| 01.06.1965      | 123,099 |
| 01.05.1967      | 123,044 |
| 01.06.1969      | 122,973 |
| 01.05.1973      | 122,671 |
| 01.06.1977      | 122,547 |
| 01.06.1979      | 122,51  |
| 01.05.1981      | 122,494 |
| 01.05.1983      | 122,493 |
| 01.04.1985      | 122,507 |
| 01.05.1987      | 122,528 |



## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

Geologie & Grundwasser & Messung GOK

| Datum      | GW-Stand [mNN] |    |        |    |        |          |        |    |        |    |       |   |
|------------|----------------|----|--------|----|--------|----------|--------|----|--------|----|-------|---|
|            | 14-19          | 9C | 9B     | 9A | 8      | 7F/7D/7B | 7A     | 6E | 6D     | 6C | 6B    | 6 |
| 01.10.1955 | 110,90         |    | 111,95 |    | 122,00 |          | 118,00 |    | 114,50 |    | 94,20 |   |
| 01.10.1956 | 110,87         |    | 111,82 |    | 121,93 |          | 117,91 |    | 114,07 |    | 94,11 |   |
| 01.10.1957 | 110,84         |    | 111,69 |    | 121,86 |          | 117,83 |    | 113,63 |    | 94,02 |   |
| 01.10.1958 | 110,81         |    | 111,56 |    | 121,79 |          | 117,74 |    | 113,20 |    | 93,93 |   |
| 01.10.1959 | 110,78         |    | 111,43 |    | 121,71 |          | 117,66 |    | 112,76 |    | 93,84 |   |
| 01.10.1960 | 110,75         |    | 111,30 |    | 121,64 |          | 117,57 |    | 112,33 |    | 93,76 |   |

...

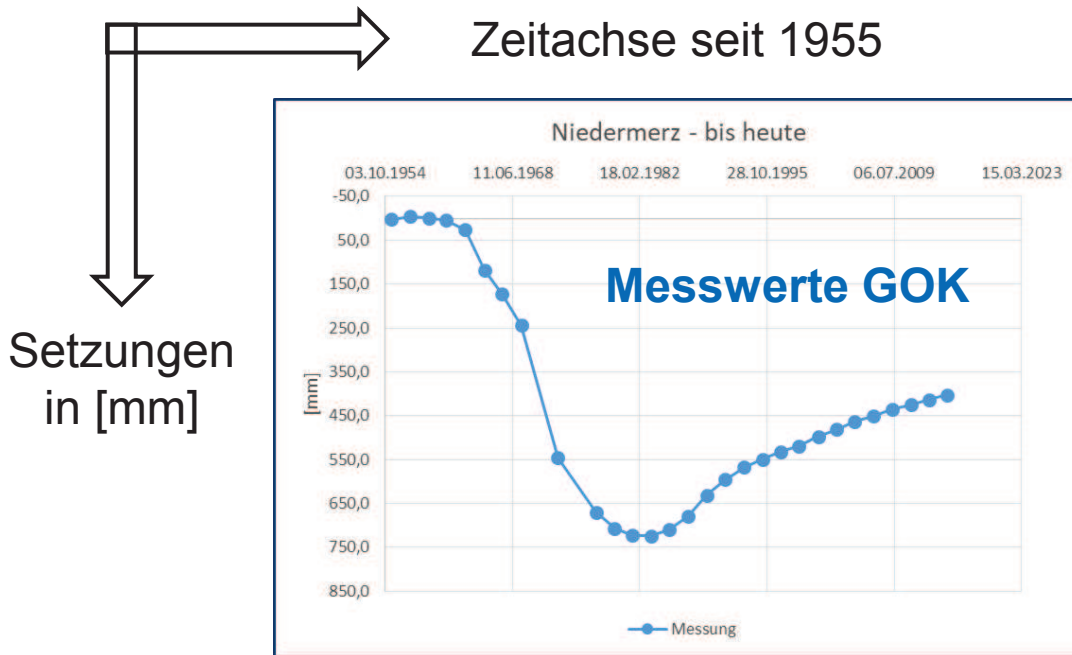
| Datum      | Spannungsänderung |                |                   |                 |                 |                   |                   |      |                |                   |                   |                 |                 |                   |
|------------|-------------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
|            | 14-19             |                | 9C                |                 |                 | 9B                |                   |      | 9A             |                   |                   | 9A              |                 |                   |
|            | UK                | 21,7           | Spannungsänderung | 101,5           | 4,8             | Spannungsänderung | Spannungsänderung | 96,7 | 21,3           | Spannungsänderung | Spannungsänderung | 75,4            | 5,9             | Spannungsänderung |
| GW(=0)     | 110,90            | m <sup>3</sup> | UK                | OK              | Mitte           | OK                | GW-Stand          | Δh   | m <sup>3</sup> | UK                | Trockenf.         | OK              | UK              | Mitte             |
| Δh         | [m]               | [m]            | Δσ <sup>z</sup>   | Δσ <sup>z</sup> | Δσ <sup>z</sup> | Δσ <sup>z</sup>   | [mNN]             | [m]  | [m]            | Δσ <sup>z</sup>   | Δσ <sup>z</sup>   | Δσ <sup>z</sup> | Δσ <sup>z</sup> | Δσ <sup>z</sup>   |
| 01.10.1955 | 0,00              | 9,40           | 0,00              | 0,00            | 0,00            | 0,00              | 111,95            | 0,00 | 0,00           | 0,00              | 0,00              | 0,00            | 0,00            | 0,00              |
| 01.10.1956 | 0,03              | 9,38           | 0,23              | 0,23            | 1,22            | 0,73              | 111,82            | 0,13 | 1,22           | 0,00              | 1,22              | 0,64            | 0,93            | 0,93              |
| 01.10.1957 | 0,03              | 9,35           | 0,23              | 0,23            | 1,22            | 0,73              | 111,69            | 0,13 | 1,22           | 0,00              | 1,22              | 0,64            | 0,93            | 0,93              |
| 01.10.1958 | 0,03              | 9,32           | 0,23              | 0,23            | 1,22            | 0,73              | 111,56            | 0,13 | 1,22           | 0,00              | 1,22              | 0,64            | 0,93            | 0,93              |
| 01.10.1959 | 0,03              | 9,29           | 0,23              | 0,23            | 1,22            | 0,73              | 111,43            | 0,13 | 1,22           | 0,00              | 1,22              | 0,64            | 0,93            | 0,93              |

...

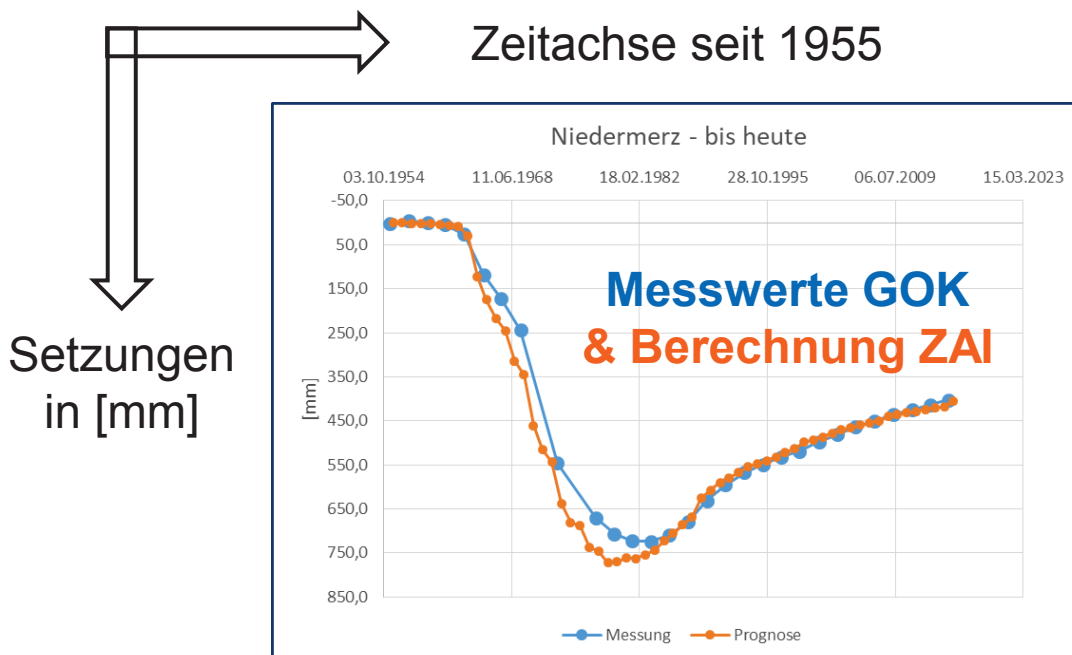
| Datum      | Gesamtsetzungen |      |      |      |      |          |      |      |      |      |      |      |       |      |
|------------|-----------------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
|            | 14-19           | 9C   | 9B   | 9A   | 8    | 7F/7D/7B | 7A   | 6E   | 6D   | 6C   | 6B   | 6A   | 2-5   | 1    |
|            | variabel        | 4,8  | 21,3 | 5,9  | 32,5 | 3        | 23,7 | 10,3 | 25,3 | 28,1 | 0,4  | 18,2 | 110,8 | 4,8  |
|            | s [mm]          |      |      |      |      |          |      |      |      |      |      |      |       |      |
| 01.10.1955 | 0,00            | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00     | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 |
| 01.10.1956 | 0,01            | 0,00 | 0,19 | 0,00 | 0,10 | 0,00     | 0,07 | 0,00 | 0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,01 | 0,00 |
| 01.10.1957 | 0,03            | 0,00 | 0,39 | 0,01 | 0,19 | 0,00     | 0,14 | 0,01 | 0,63 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | -0,03 | 0,00 |
| 01.10.1958 | 0,04            | 0,01 | 0,58 | 0,02 | 0,29 | 0,01     | 0,21 | 0,02 | 0,94 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | -0,04 | 0,00 |
| 01.10.1959 | 0,06            | 0,03 | 0,77 | 0,03 | 0,38 | 0,01     | 0,28 | 0,03 | 1,25 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | -0,05 | 0,00 |
| 01.10.1960 | 0,07            | 0,05 | 0,97 | 0,05 | 0,48 | 0,02     | 0,34 | 0,06 | 1,56 | 0,05 | 0,00 | 0,01 | -0,06 | 0,00 |
| 01.10.1961 | 0,28            | 0,07 | 1,53 | 0,08 | 0,92 | 0,02     | 0,44 | 0,09 | 2,05 | 0,08 | 0,01 | 0,01 | 0,41  | 0,00 |



## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

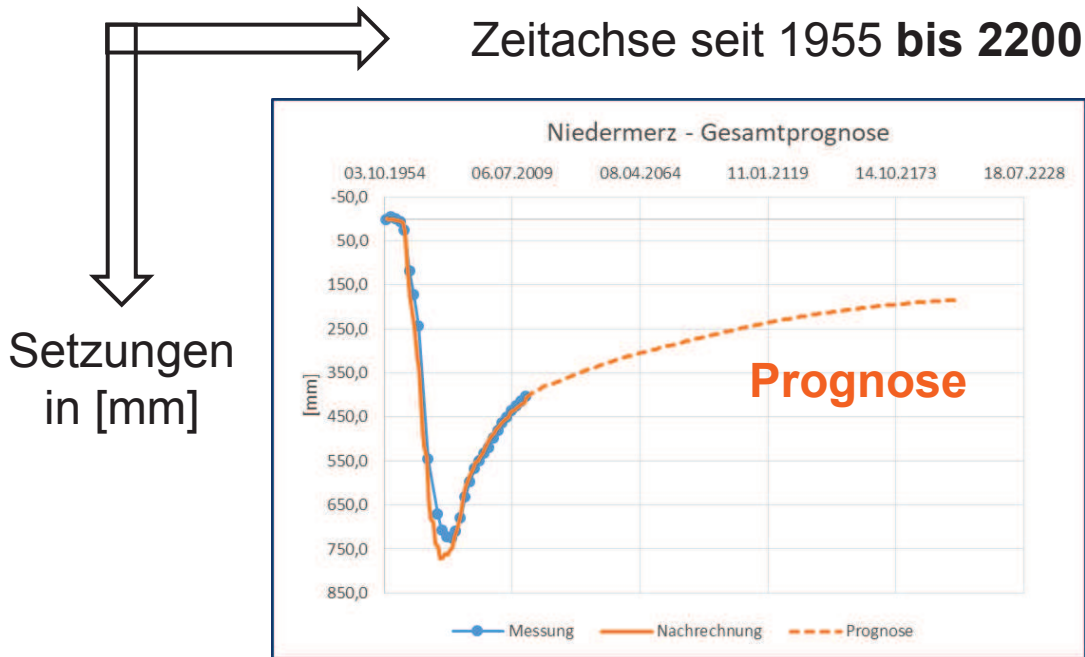


## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt





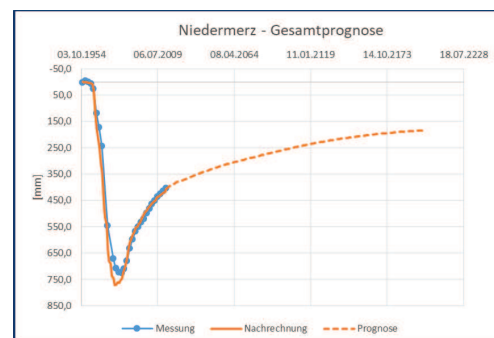
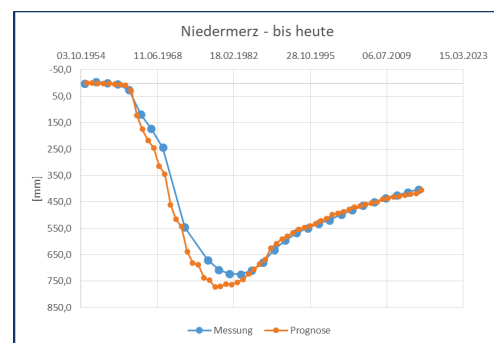
## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt



## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

### Fazit Modellierung Niedermerz:

- ▼ Datenbereitstellung über LANUV
- ▼ Modellerstellung & Kalibrierung
- ▼ Sehr gute Abbildung Setzungen
- ▼ Sehr gute Abbildung Hebungen
- ▼ Prognose bis 2200
- ▼ Basis für Sensitivitätsanalyse

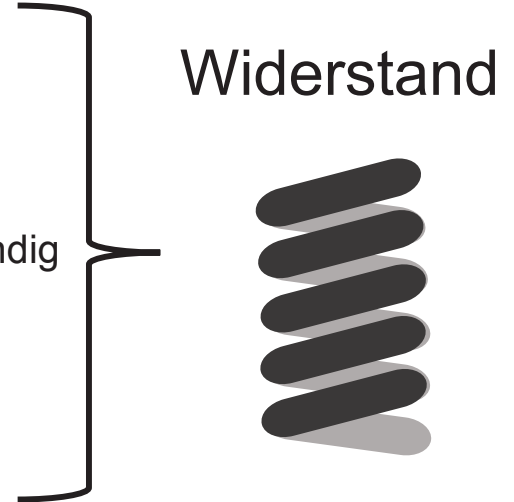


## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

### 6. Sensitivitätsanalyse

mit Variation von:

- a) Ausgangsteifigkeit nichtbindig
- b) Ausgangsteifigkeit bindig
- c) Ausgangskonsolidationsbeiwert
- d) Teufenabhängige Steifigkeitszunahme nichtbindig
- e) Teufenabhängige Steifigkeitszunahme bindig
- f) Hebungsfaktor nichtbindig
- g) Hebungsfaktor bindig

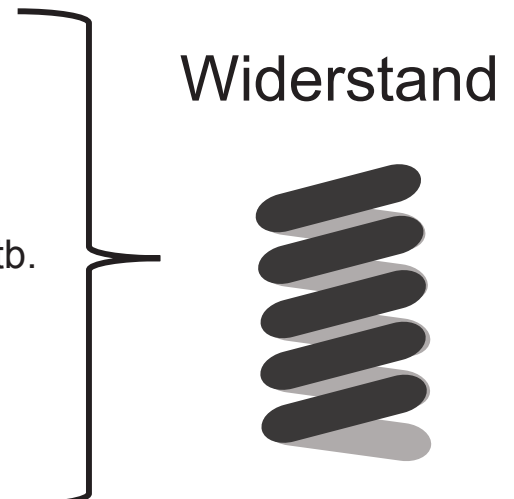


## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

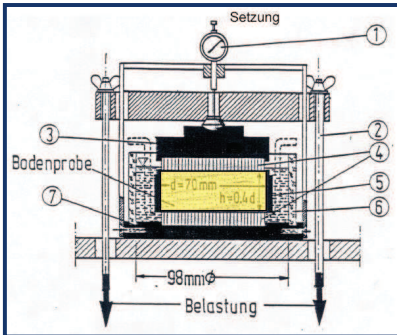
### 6. Sensitivitätsanalyse

mit Variation von:

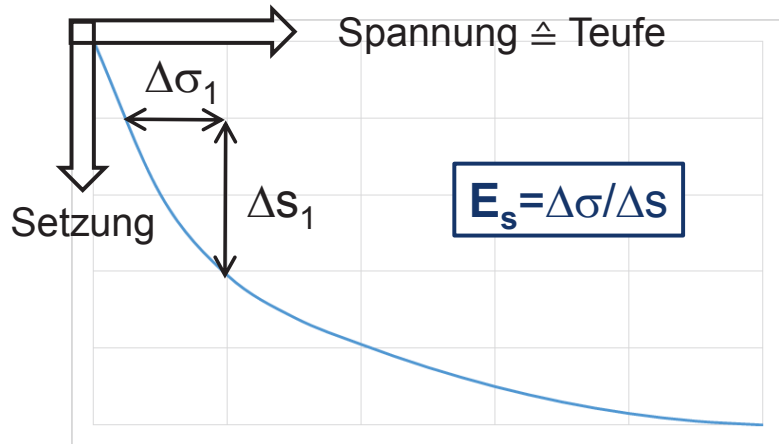
- a) **Ausgangsteifigkeit** nichtbindig
- b) Ausgangsteifigkeit bindig
- c) Ausgangskonsolidationsbeiwert
- d) **Teufenabhängige Steifigkeitszunahme** nichtb.
- e) Teufenabhängige Steifigkeitszunahme bindig
- f) **Hebungsfaktor** nichtbindig
- g) **Hebungsfaktor** bindig



## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

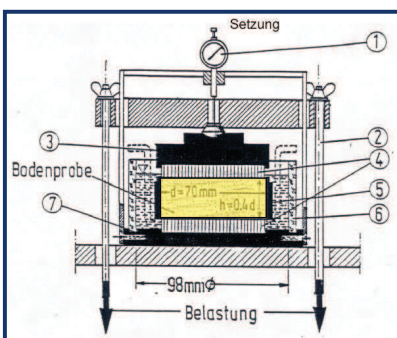


### Steifigkeit

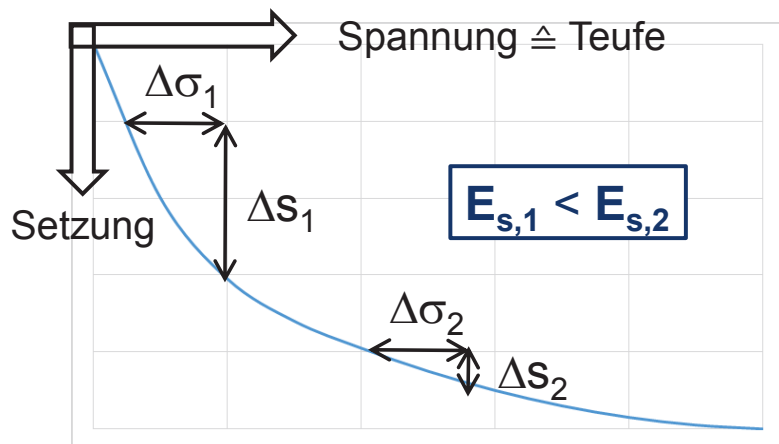


- Abschnittsweise Linearisierung:  $E_s$

## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

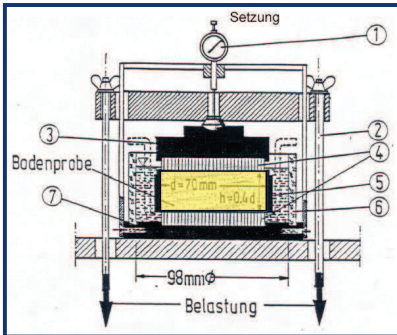


### Steifigkeit

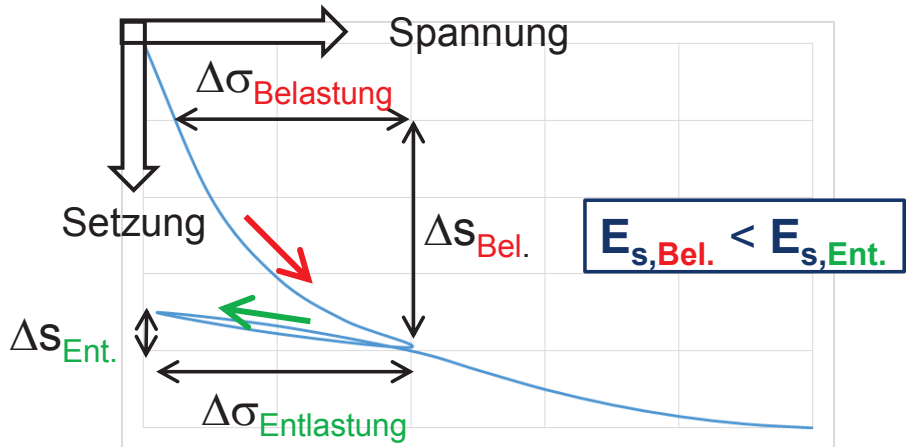


- Abschnittsweise Linearisierung:  $E_s$
- Steifigkeitszunahme mit der Tiefe

## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt



### Steifigkeit



- Abschnittsweise Linearisierung:  $E_s$
- Steifigkeitszunahme mit der Tiefe
- Steiferes Verhalten bei Entlastung

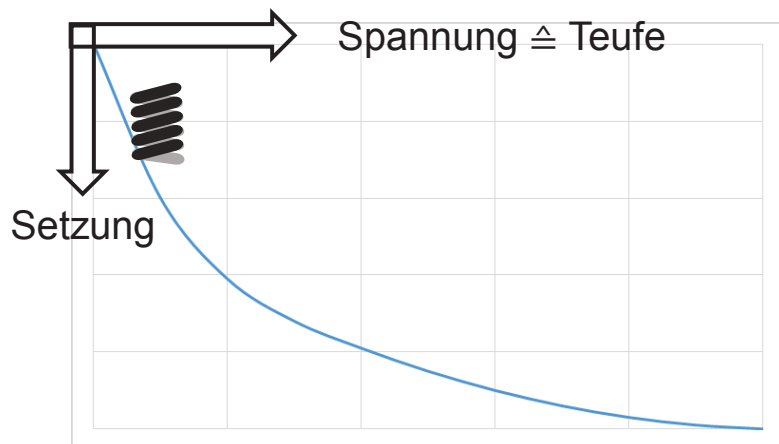
## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

GOK

100 %



### Ausgangsteifigkeit

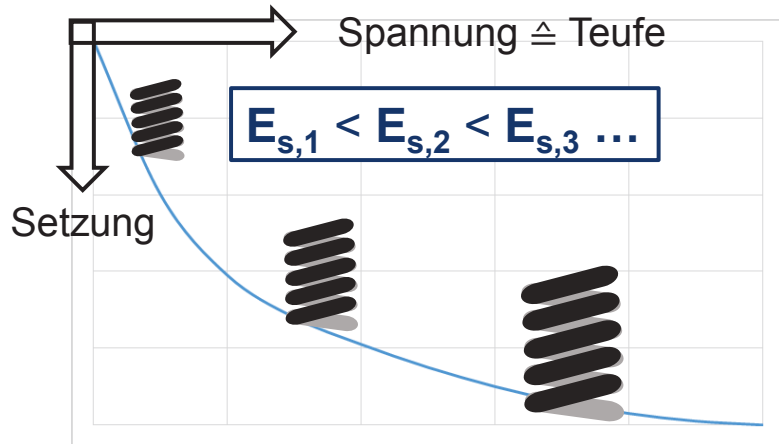
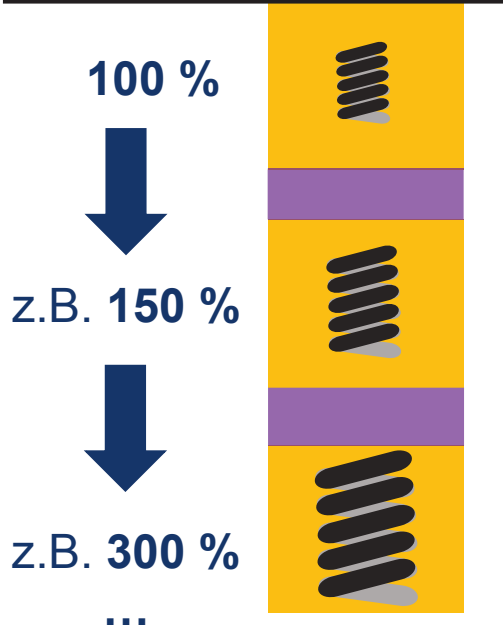


- Abschnittsweise Linearisierung:  $E_s$

## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

### teufenabhängige Steifigkeitszunahme

GOK

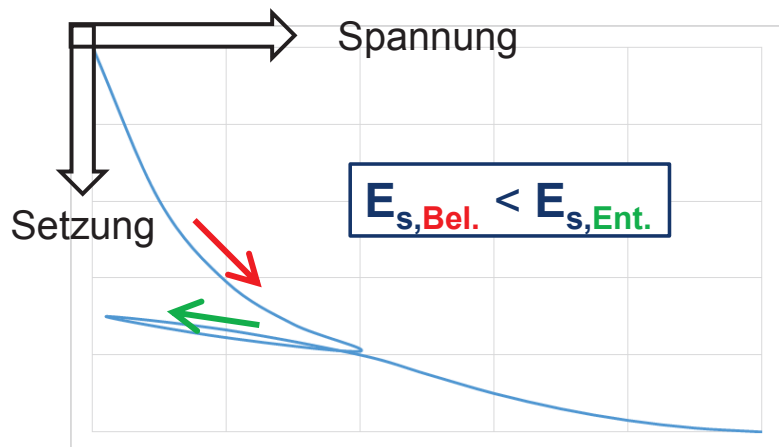


- Abschnittsweise Linearisierung:  $E_s$
- Steifigkeitszunahme mit der Tiefe

## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

### Hebungsfaktor

GOK



z.B.  $\Delta h = 70 \% \cdot \Delta s$

- Abschnittsweise Linearisierung:  $E_s$
- Steifigkeitszunahme mit der Tiefe
- Steiferes Verhalten bei Entlastung

## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

### 6. Sensitivitätsanalyse

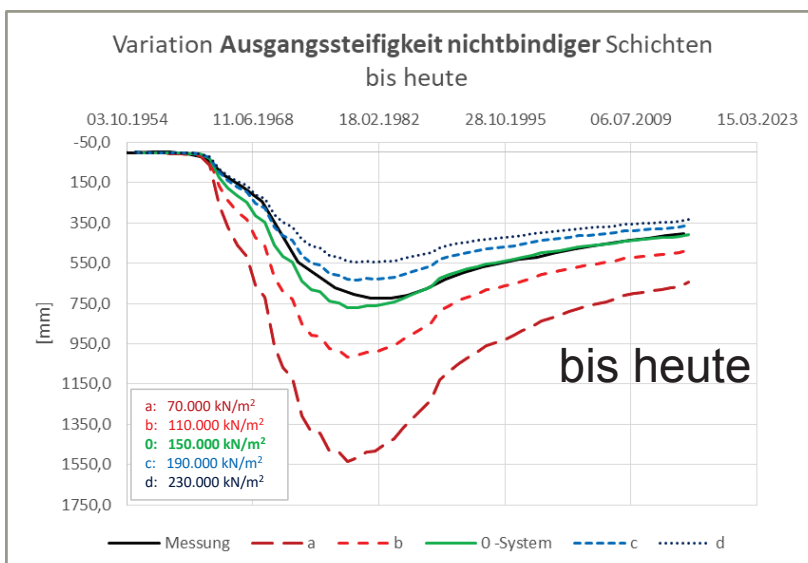
mit Variation von:

| 2.1 Parametervariation |   |              |                      | Index                            |          |           |          |          |
|------------------------|---|--------------|----------------------|----------------------------------|----------|-----------|----------|----------|
|                        |   |              |                      | a                                | b        | 0         | c        | d        |
| Nr.                    | Parameter   | Ausgangswert | Einheit              | Reduzierung                      | 0-System | 0-System  | Erhöhung | Erhöhung |
| 1                      | Ausgangsteifigkeit nichtbindig  | 150.000      | [kN/m <sup>2</sup> ] | 70.000                           | 110.000  | 150.000   | 190.000  | 230.000  |
| 2                      | Ausgangsteifigkeit bindig   | 15.000       | [kN/m <sup>2</sup> ] | 5.000                            | 10.000   | 15.000    | 20.000   | 25.000   |
| 3                      | Ausgangskonsolidationsbeiwert   | 1,E-10       | [m <sup>2</sup> /s]  | 1,E-12                           | 1,E-11   | 1,E-10    | 1,E-09   | 1,E-08   |
| 4                      | Teufenabhängige Steifigkeitszunahme nichtbindig                             | Es,nb (z)    | [%]                  | -50%                             | -25%     | Es,nb (z) | 25%      | 50%      |
| 5                      | Teufenabhängige Steifigkeitszunahme bindig                                  | Es,b (z)     | [%]                  | -50%                             | -25%     | Es,b (z)  | 25%      | 50%      |
|                        | Teufenabhängige Steifigkeitszunahme: Variation bzw. Berechnung erfolgt nach |              |                      | = 100% + (Es(z)-100%)*(100%+ij%) |          |           |          |          |
| 6                      | Hebungsfaktor nichtbindig   | 0,8          | [-]                  | 0,2                              | 0,5      | 0,8       | 0,9      | 1        |
| 7                      | Hebungsfaktor bindig  | 0,66         | [-]                  | 0,33                             | 0,5      | 0,66      | 0,9      | 1        |



## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

### a) Ausgangsteifigkeit nichtbindig



- Erhöhung

- 0-System

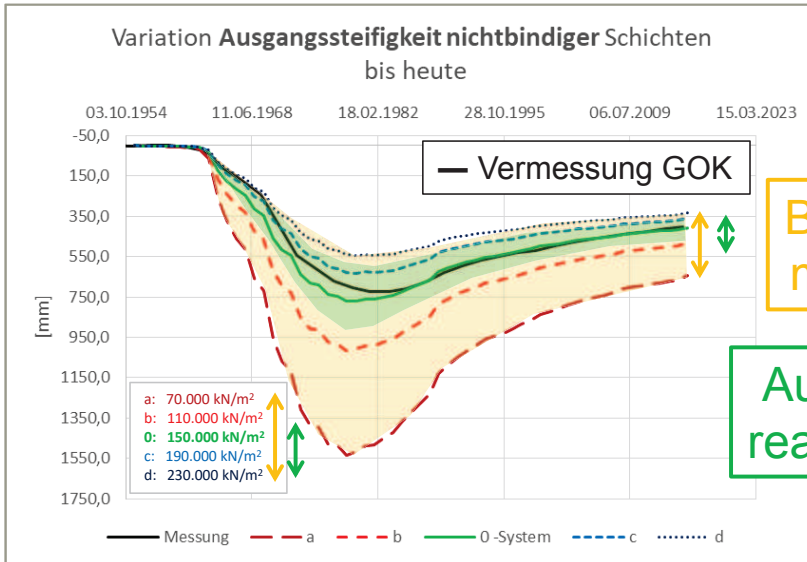
- Reduzierung





## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

a) Ausgangsteifigkeit nichtbindig



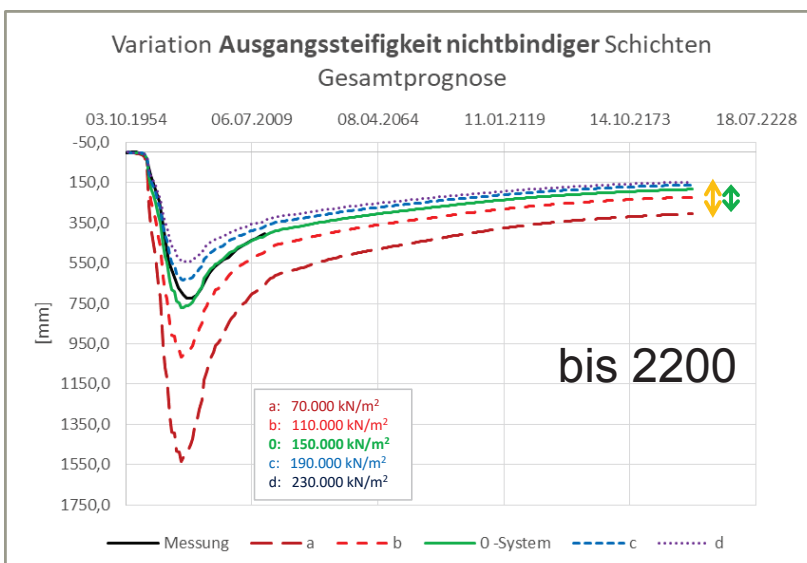
Bodenmech. theoretisch möglicher Wertebereich

Aufgrund der Messdaten realistischer Wertebereich



## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

a) Ausgangsteifigkeit nichtbindig



- Erhöhung

- 0-System

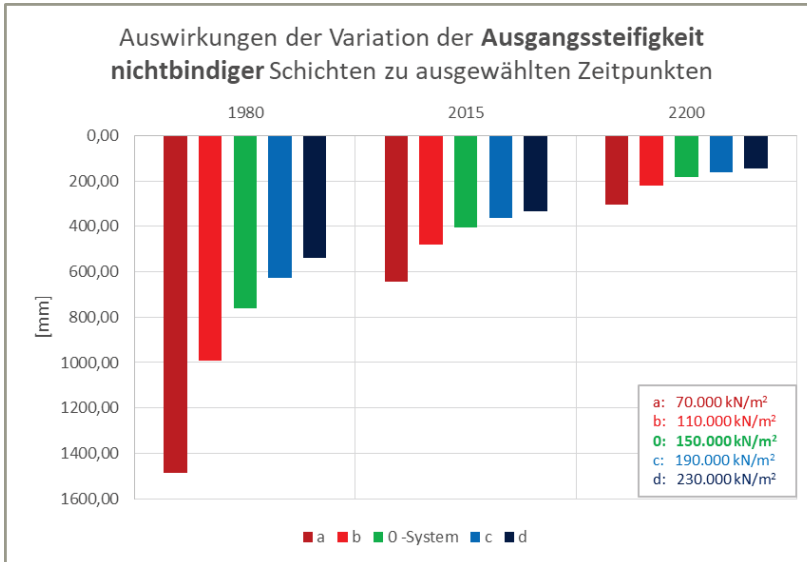
- Reduzierung

theoret. > realist. Streuweite



## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

a) Ausgangsteifigkeit nichtbindig



- Erhöhung

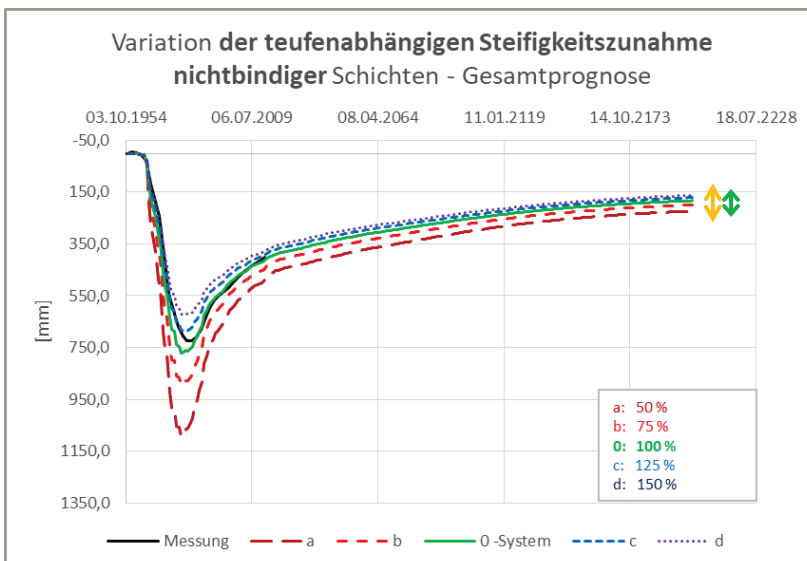
- 0-System

- Reduzierung

durchgängig  
Einfluss auf Ergebnis

## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

d) Teufenabhängige Steifigkeitszunahme nichtbindig



- Erhöhung

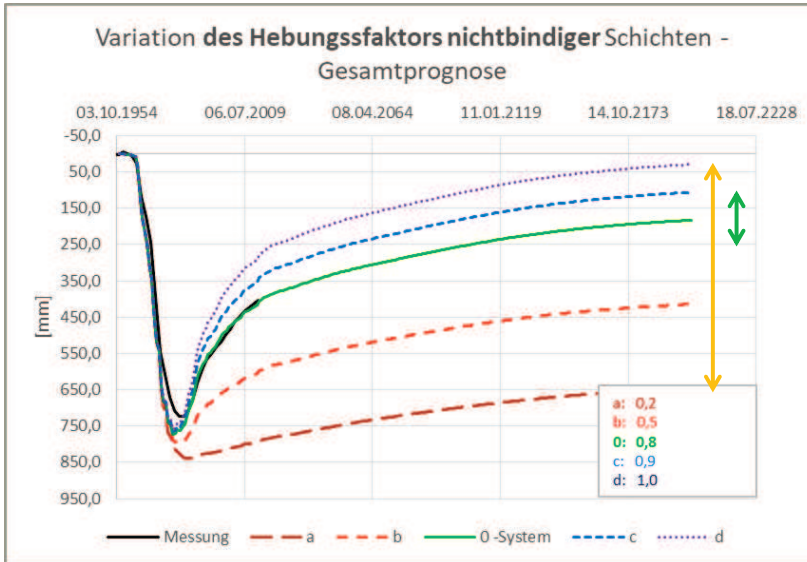
- 0-System

- Reduzierung

theoret. > realist.  
Streuweite

## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

f) Hebungsfaktor nichtbindig

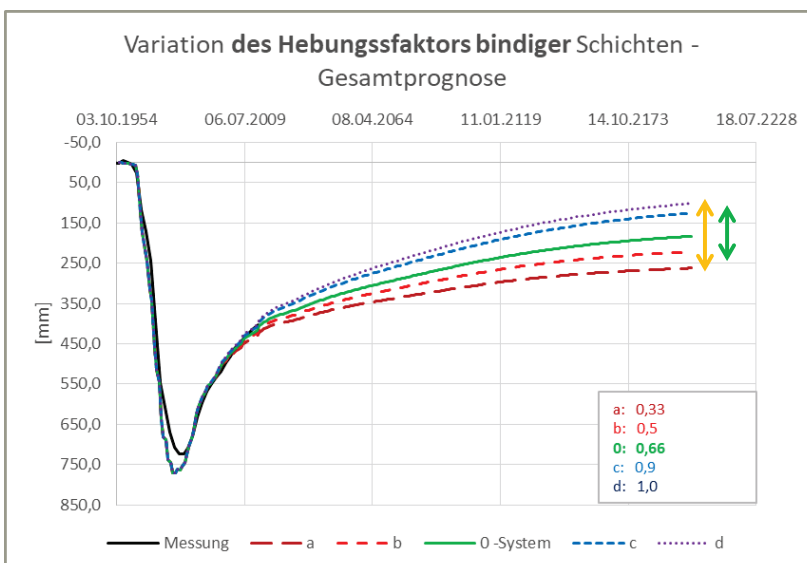


- Erhöhung
- 0-System
- Reduzierung

theoret. >> realist.  
Streuweite

## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

g) Hebungsfaktor bindig

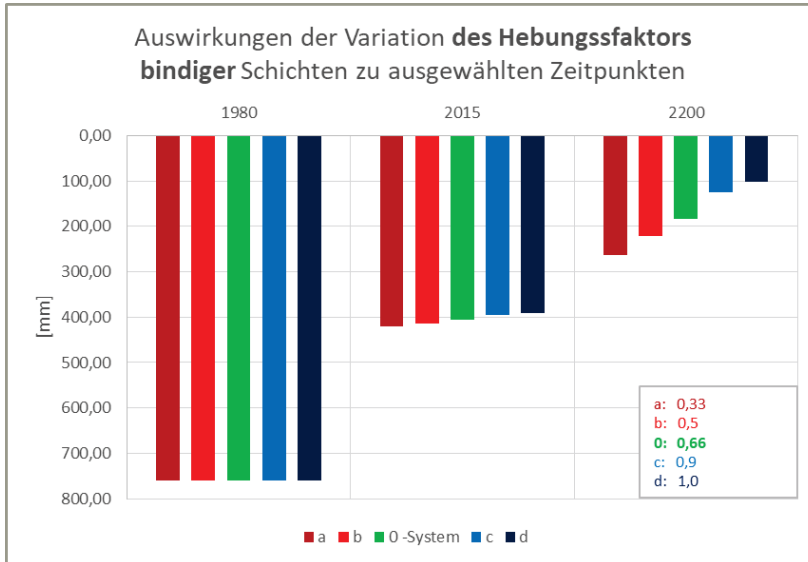


- Erhöhung
- 0-System
- Reduzierung

theoret. > realist.  
Streuweite

## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

g) Hebungsfaktor bindig



- Erhöhung

- 0-System

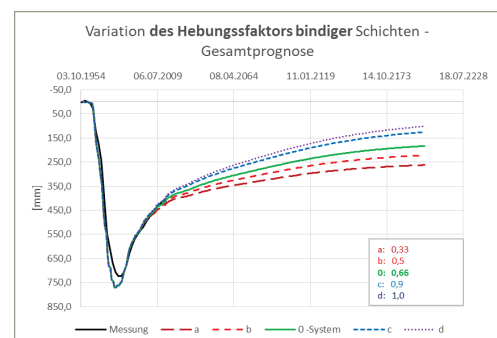
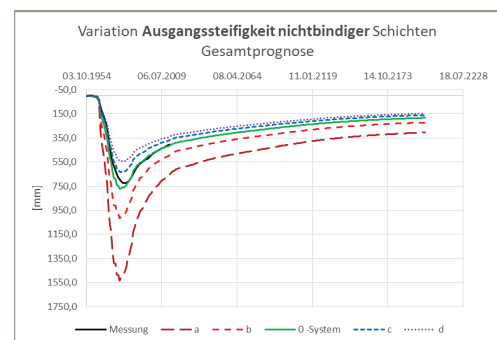
- Reduzierung

bis heute (2015)  
kaum Einfluss

## 2.1 Sensitivitätsstudie an einem vorgegebenen Höhenfestpunkt

### Fazit Variation Bodenkennwerte:

- ▼ Variation sämtlicher Eingangswerte in Abstimmung mit LANUV
- ▼ Variation innerhalb theoretisch denkbarer Wertebereiche
- ▼ Tatsächliche Streuweite i.d.R. deutlich geringer (vgl. Messwerte)
- ▼ Auswirkungen sowohl quantitativ als auch zeitlich verschieden



### 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

Variation GW-Ganglinie:

- a) Verschiebung aller Grundwasserganglinien parallel nach oben
- b) Verschiebung aller Grundwasserganglinien parallel nach unten
- c) Verschiebung einzelner Grundwasserganglinien im Absenkungsmaximum um  $\pm 20$  m (Annahme: 7 GW-Leiter x 2 = 14 Fallunterscheidungen)

Variation Schichtmächtigkeit:

- d) „Stauchung“ aller bindigen und „Dehnung“ aller nichtbindigen Schichten
- e) „Dehnung“ aller bindigen und „Stauchung“ aller nichtbindigen Schichten
- f) Reduzierung der zu betrachtenden Endteufe bzw. der untersten Schicht
- g) Erhöhung der zu betrachtenden Endteufe bzw. der untersten Schicht

### 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

Variation GW-Ganglinie:

- a) Verschiebung aller Grundwasserganglinien parallel nach oben
- b) Verschiebung aller Grundwasserganglinien parallel nach unten
- c) Verschiebung einzelner Grundwasserganglinien im Absenkungsmaximum um  $\pm 20$  m (Annahme: 7 GW-Leiter x 2 = 14 Fallunterscheidungen)

Einwirkung



## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

Variation GW-Ganglinien

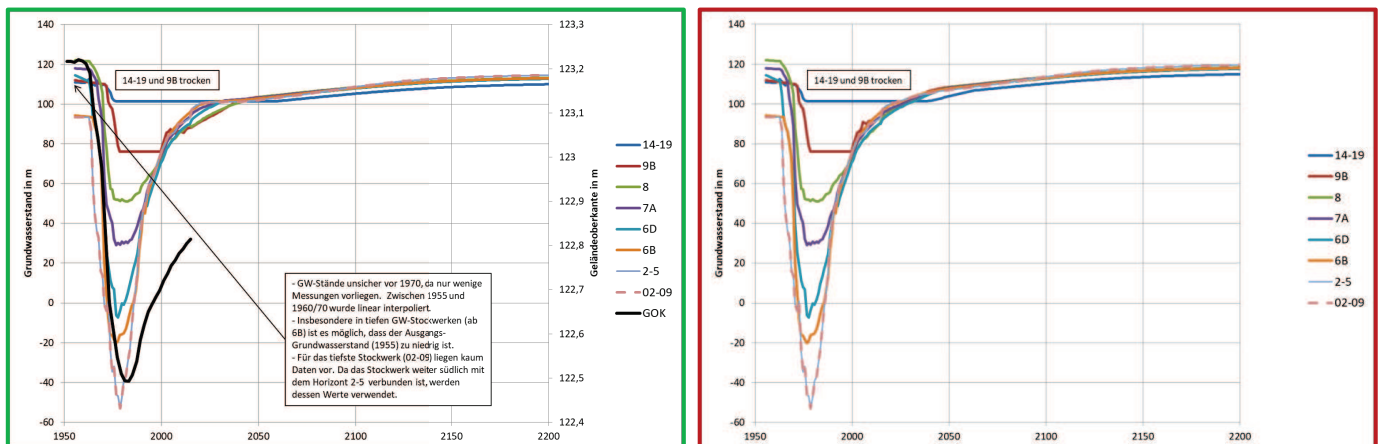
mit Variation von:

| 2.2 Variation der Grundwasser-Ganglinien |  | Index        |    |    |    |    |    |          |   |                 |     |     |     |     |     |     |
|--|--|--------------|----|----|----|----|----|----------|---|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Nr.                                      | Parameter  | a            | c  | d  | e  | f  | g  | n        | o | b               | h   | i   | k   | l   | m   | p   |
|  |  | Erhöhung [m] |    |    |    |    |    | 0-System |   | Reduzierung [m] |     |     |     |     |     |     |
| 1  | Endwert aller Ganglinien                           | 5            |    |    |    |    |    |          |   | -10             |     |     |     |     |     |     |
| 2  | Minimum der Ganglinie für Schicht 8                |              | 10 |    |    |    |    |          |   |                 | -10 |     |     |     |     |     |
| 3  | Minimum der Ganglinie für Schicht 7A               |              |    | 10 |    |    |    |          |   |                 |     | -10 |     |     |     |     |
| 4  | Minimum der Ganglinie für Schicht 6D               |              |    |    | 10 |    |    |          |   |                 |     |     | -10 |     |     |     |
| 5  | Minimum der Ganglinie für Schicht 6B               |              |    |    |    | 10 |    |          |   |                 |     |     |     | -10 |     |     |
| 6  | Minima der Ganglinien für Schichten 2-5 & 02-09    |              |    |    |    |    | 10 |          |   |                 |     |     |     |     | -10 |     |
| 7  | Minima der Ganglinien aller Schichten ab Schicht 8 |              |    |    |    |    |    | 10       |   |                 |     |     |     |     |     | -10 |



## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

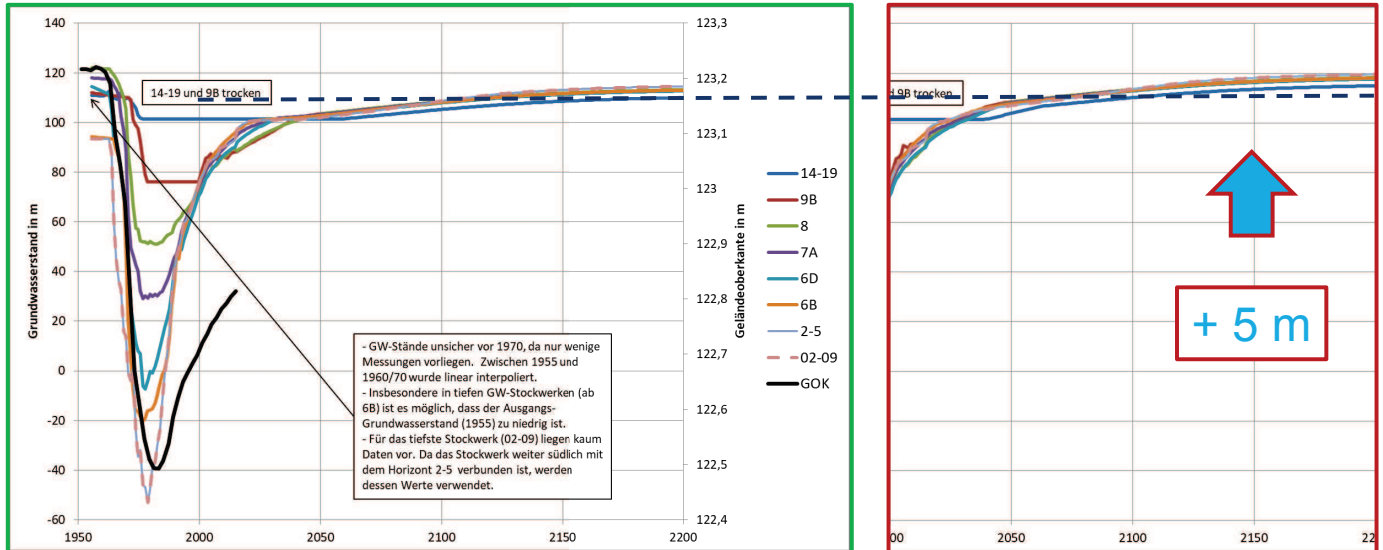
a) Endwert aller GW-Ganglinien 5 m höher





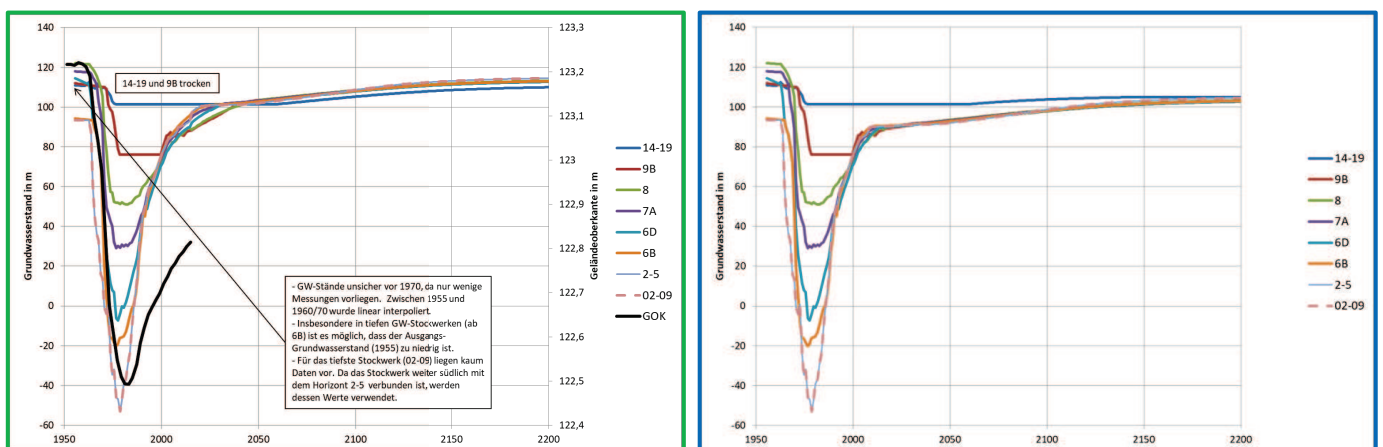
## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

a) Endwert aller GW-Ganglinien 5 m höher



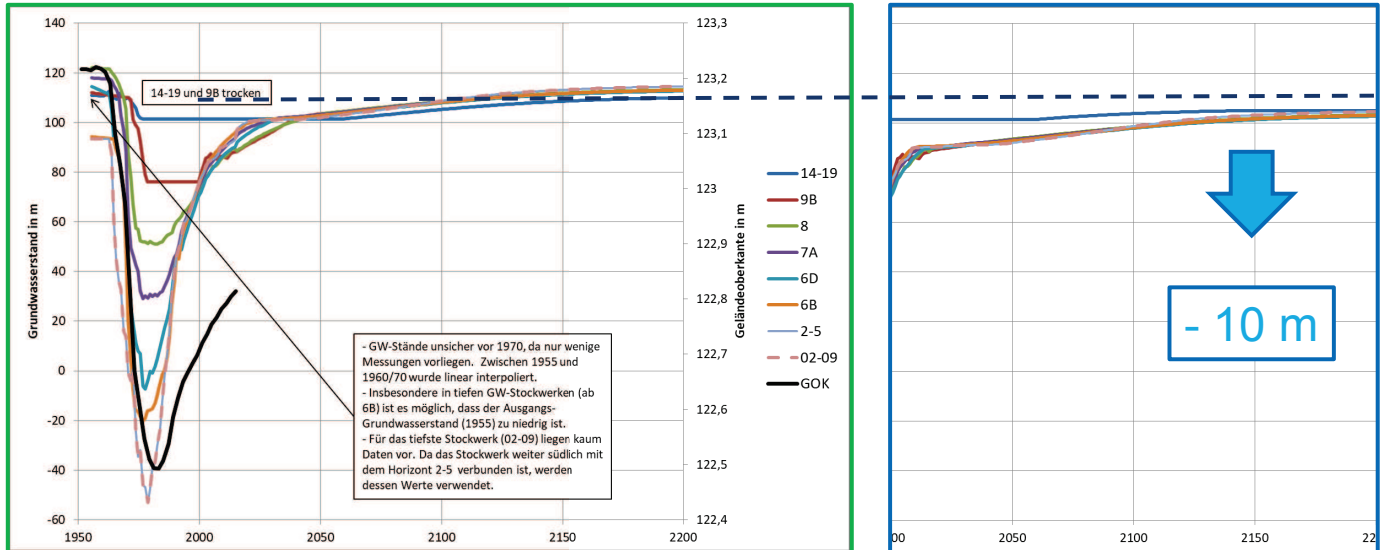
## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

b) Endwert aller GW-Ganglinien 10 m tiefer



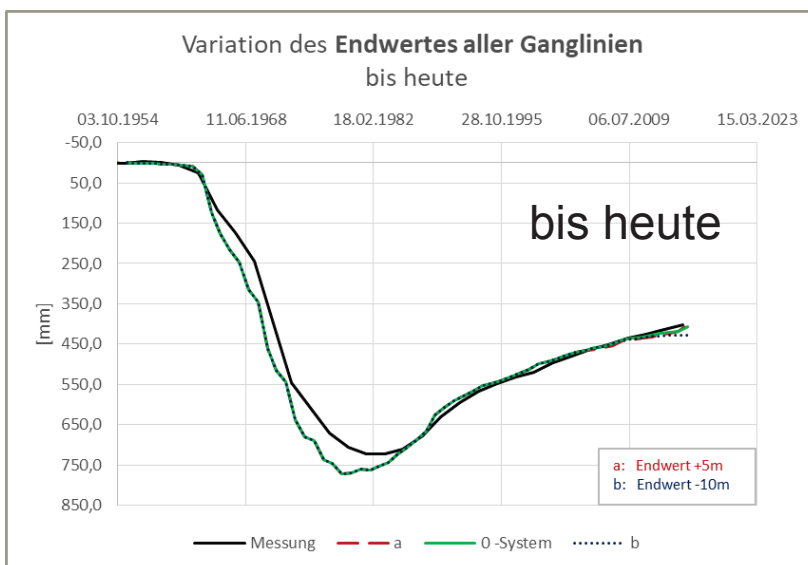
## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

b) Endwert aller GW-Ganglinien 10 m tiefer



## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

a) & b) Endwert aller GW-Ganglinien 5 m höher & 10 m tiefer



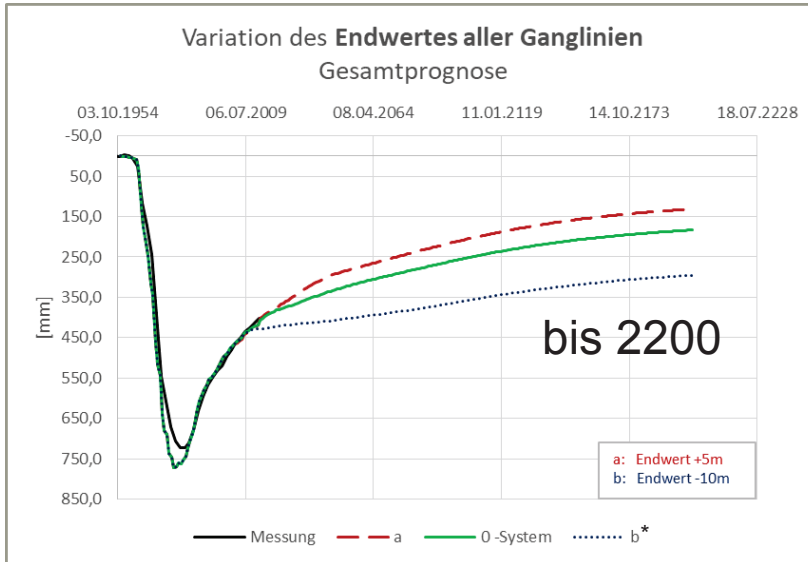
- Erhöhung

- 0-System

- Reduzierung

## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

a) & b) Endwert aller GW-Ganglinien 5 m höher & 10 m tiefer

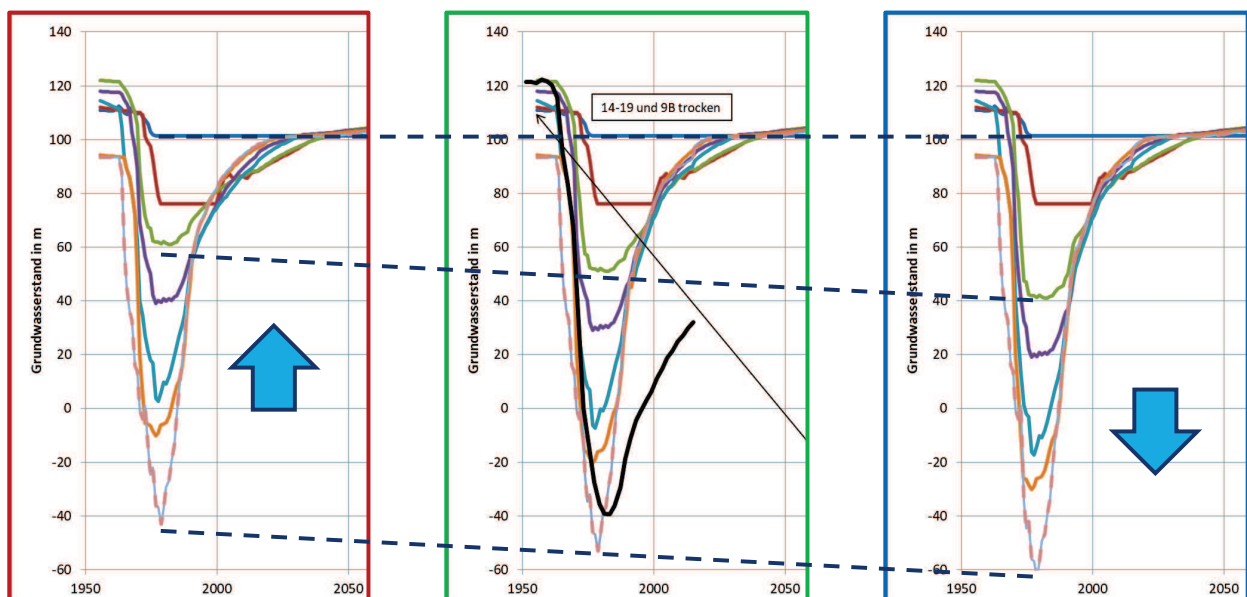


- Erhöhung
- 0-System
- Reduzierung

\* „Knick“ in Kurve aufgrund künstlich generierter GW-Ganglinien

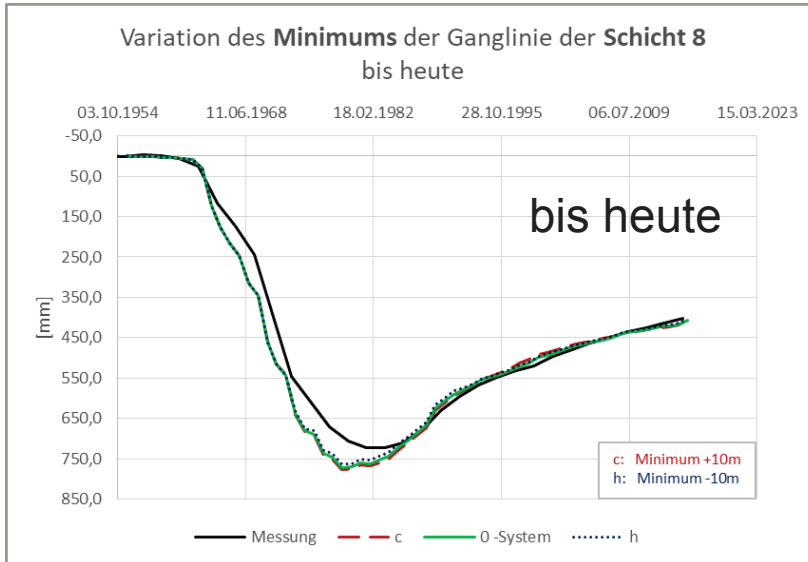
## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

c) bis m) Minima jeweils 10 m höher & 10 m tiefer



## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

c) & h) Minimum nur **Schicht 8** um 10 m höher & um 10 m tiefer

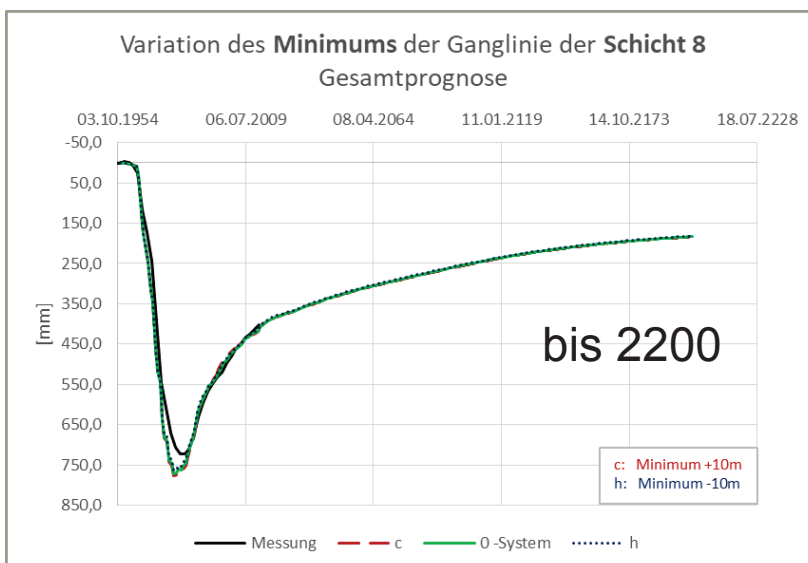


- Erhöhung
- 0-System
- Reduzierung



## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

c) & h) Minimum nur **Schicht 8** um 10 m höher & um 10 m tiefer

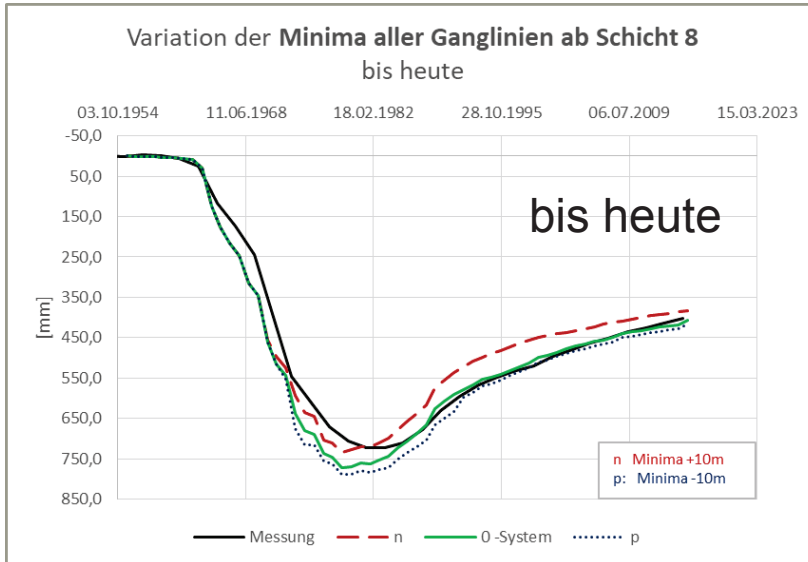


- Erhöhung
- 0-System
- Reduzierung



## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

c) bis m) Minima **aller Schichten** gleichzeitig 10 m höher & 10 m tiefer



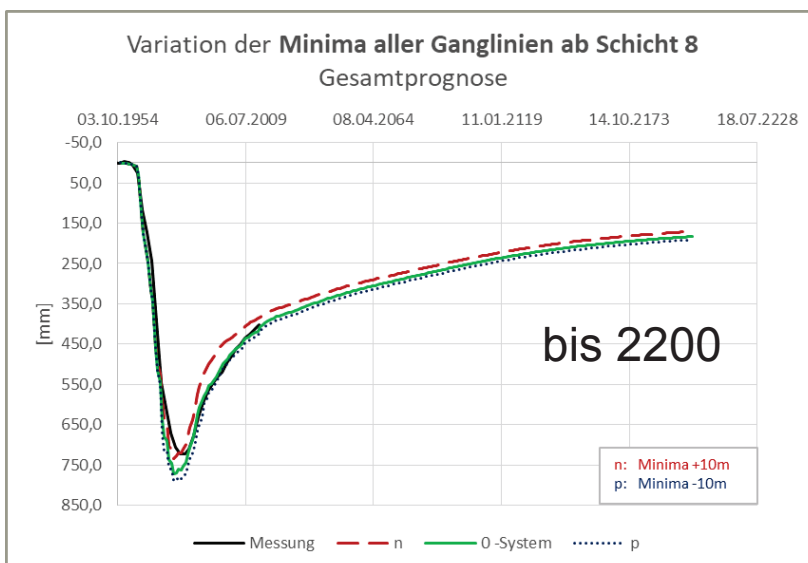
- Erhöhung

- 0-System

- Reduzierung

## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

c) bis m) Minima **aller Schichten** gleichzeitig 10 m höher & 10 m tiefer



- Erhöhung

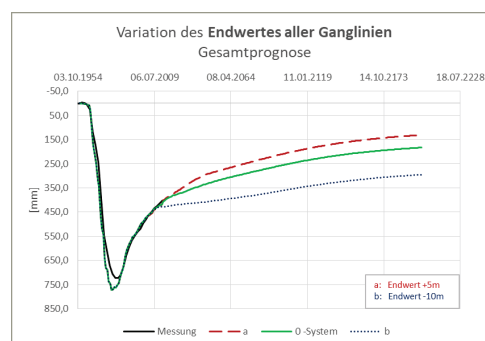
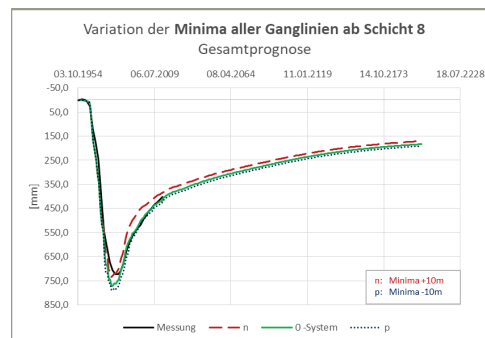
- 0-System

- Reduzierung

## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

### Fazit Variation GW-Ganglinien:

- ▼ Variation der GW-Ganglinien in Abstimmung mit LANUV
- ▼ Variation innerhalb sinnvoller Wertebereiche
- ▼ Abweichung der Minima von untergeordneter Bedeutung
- ▼ Richtige Prognose des GW-Wiederanstiegs ist bedeutsam



## Vorgehen / Projektskizze

## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

### Variation GW-Ganglinie:

- a) Verschiebung alle **Widerstand / Modell** nach oben
- b) Verschiebung aller Grundwasserganglinien parallel nach unten
- c) Verschiebung einzelner Grundwasserganglinien im Absenkungsmaximum um  $\pm 20$  m (Annahme: 7 GW-Leiter  $\times$  2 = 14 Fallunterscheidungen)

### Variation Schichtmächtigkeit:

- d) „Stauchung“ aller bindigen und „Dehnung“ aller nichtbindigen Schichten
- e) „Dehnung“ aller bindigen und „Stauchung“ aller nichtbindigen Schichten
- f) Reduzierung der zu betrachtenden Endteufe bzw. der untersten Schicht
- g) Erhöhung der zu betrachtenden Endteufe bzw. der untersten Schicht





## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

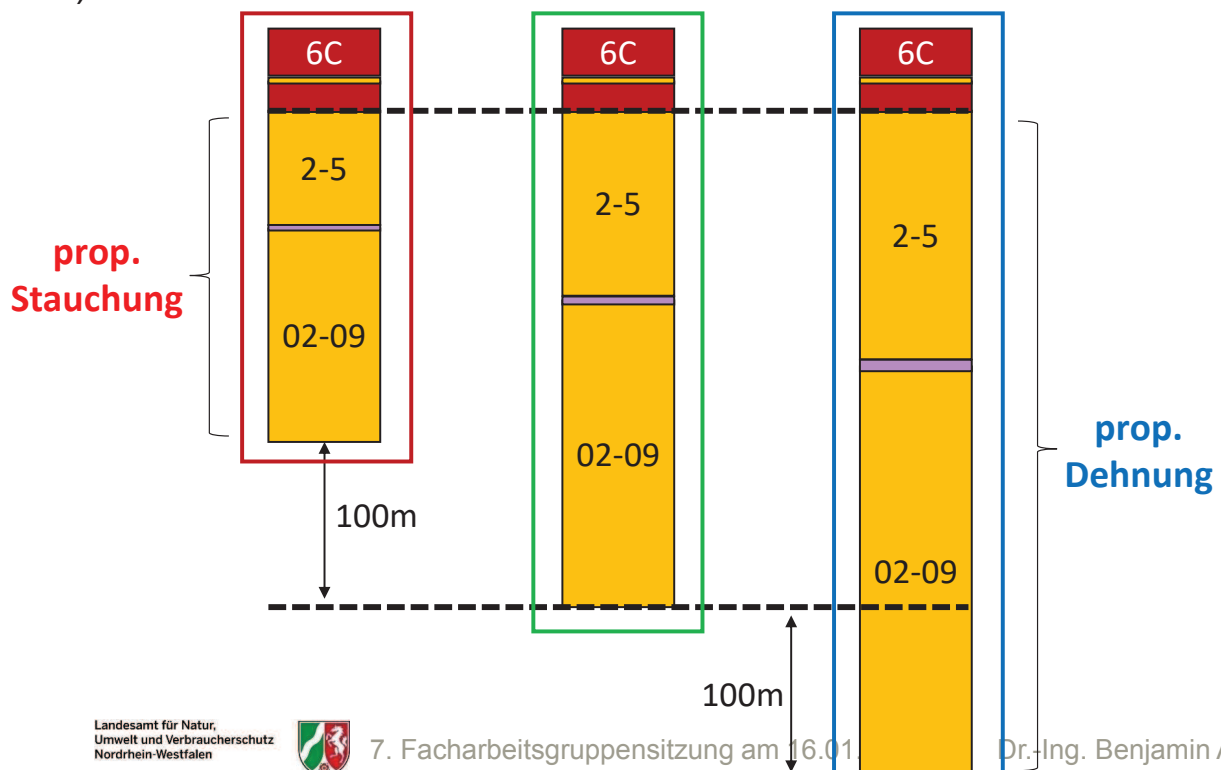
Variation der Schichtmächtigkeiten

mit Variation von:

| 2.2 Variation der Schichtenmächtigkeiten |   | Index     |   |          |   |         |   |   |
|--|---|-----------|---|----------|---|---------|---|---|
|  |   | a         | c | e        | 0 | b       | d | f |
| Nr.                                      | Parameter   | Stauchung |   | 0-System |   | Dehnung |   |   |
| 1  | Schichtunterkante der Schicht 02-09 [m]               | 100       |   |          |   | -100    |   |   |
| 2  | Schichtunterkante aller bindigen Schichten            |           | x |          |   |         | x |   |
| 3  | Schichtunterkante aller bindigen Schichten OHNE KOHLE |           |   | x        |   |         |   | x |

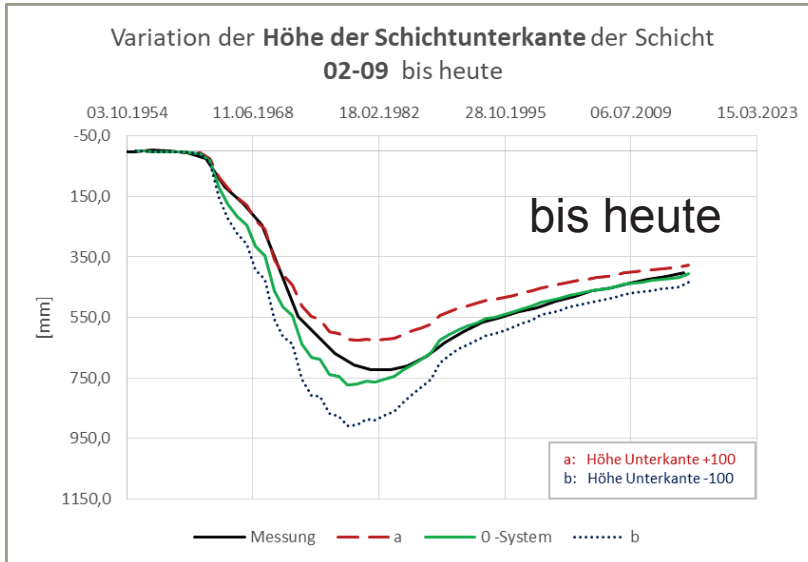
## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

a) & b) Unterkante 02-09 um 100 m höher & um 100 m tiefer



## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

a) & b) Unterkante 02-09 um 100 m höher & um 100 m tiefer



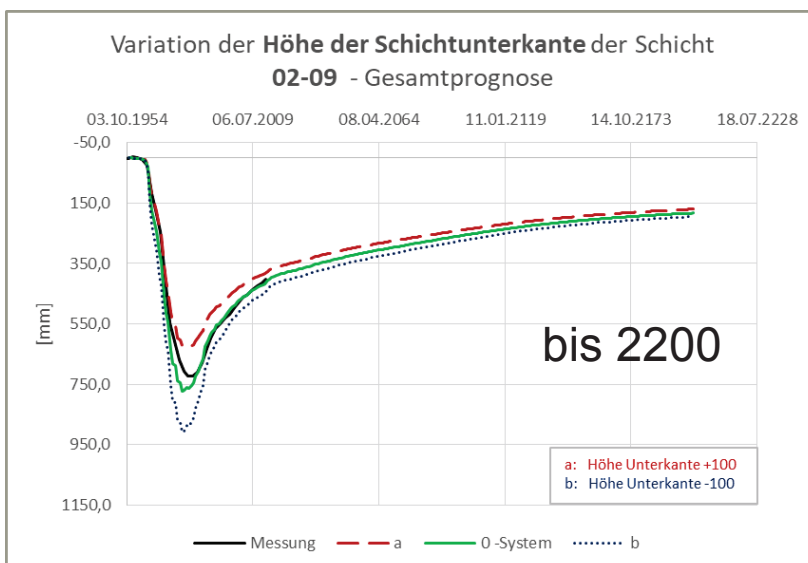
- Stauchung

- 0-System

- Dehnung

## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

a) & b) Unterkante 02-09 um 100 m höher & um 100 m tiefer



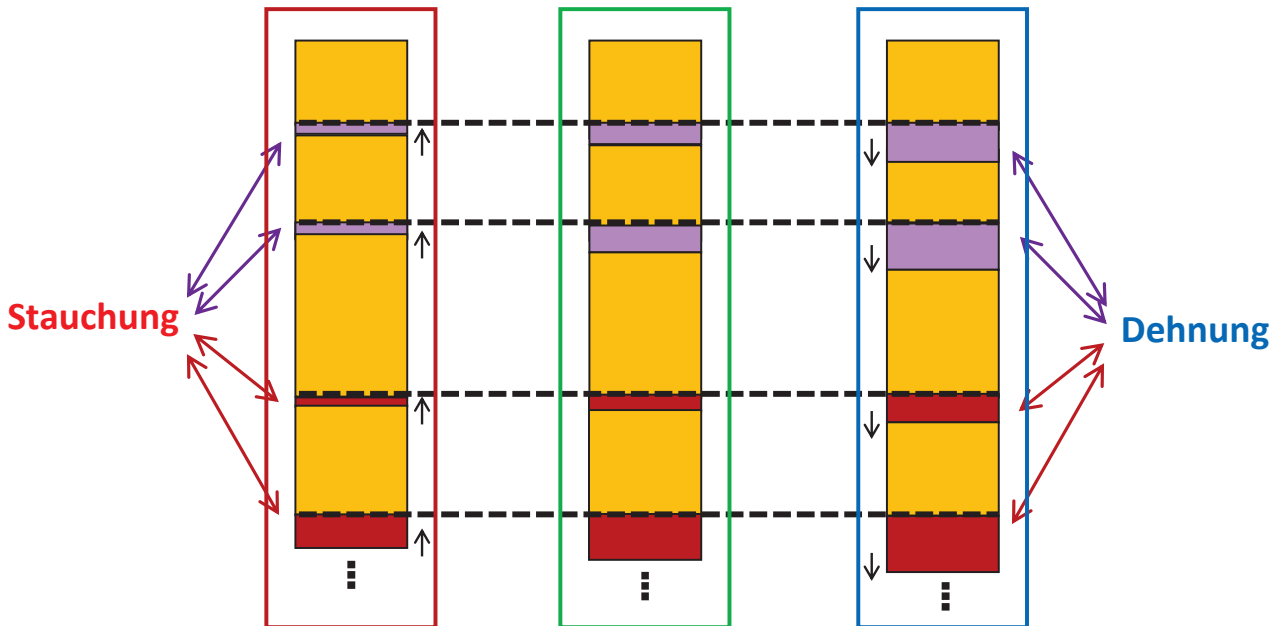
- Stauchung

- 0-System

- Dehnung

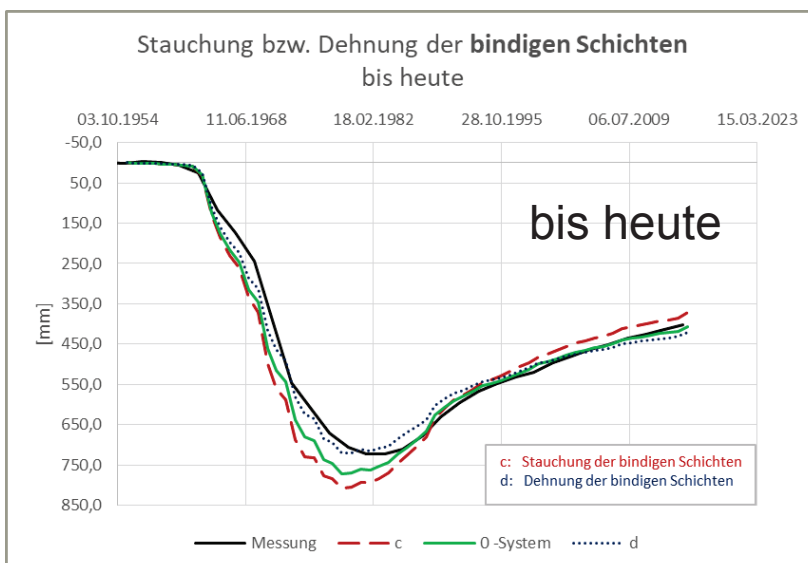
## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

c) & d) Stauchung & Dehnung der bindigen Schichten



## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

c) & d) Stauchung & Dehnung der bindigen Schichten



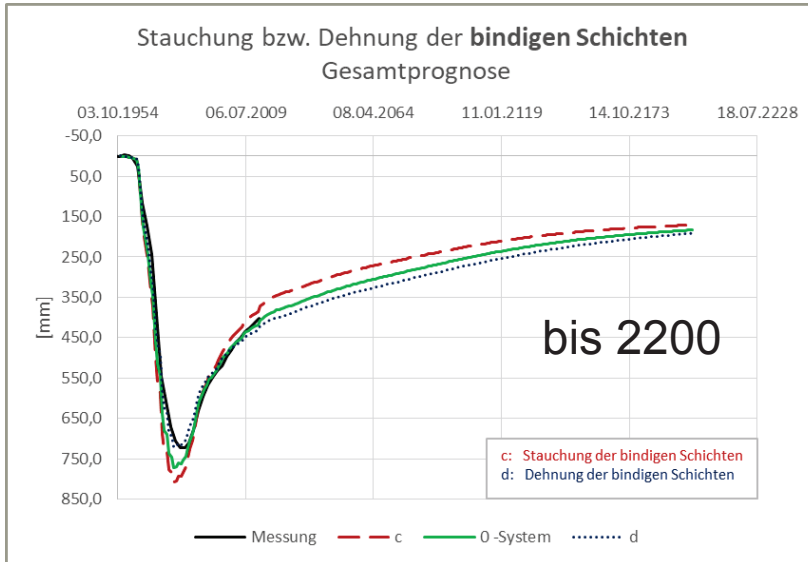
- Stauchung

- 0-System

- Dehnung

## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

c) & d) Stauchung & Dehnung der bindigen Schichten



- Stauchung

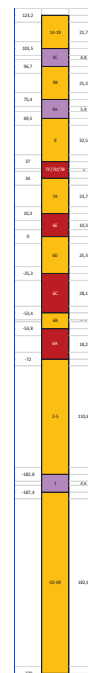
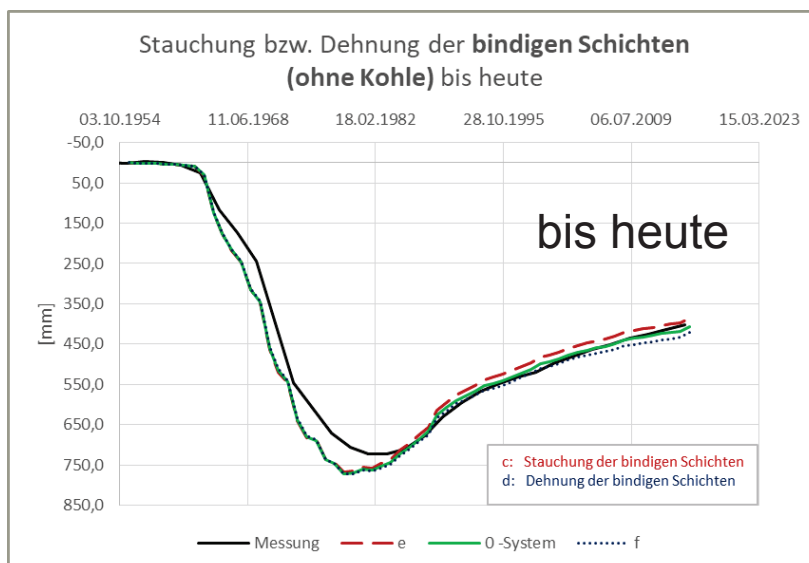
- 0-System

- Dehnung

## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

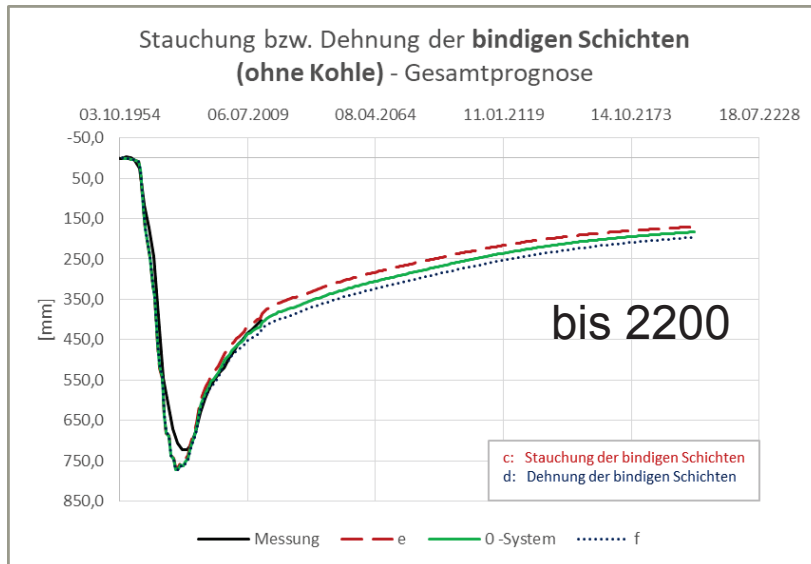
e) & f) Stauchung & Dehnung der **bindigen Schichten**

(ohne Kohle)



## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

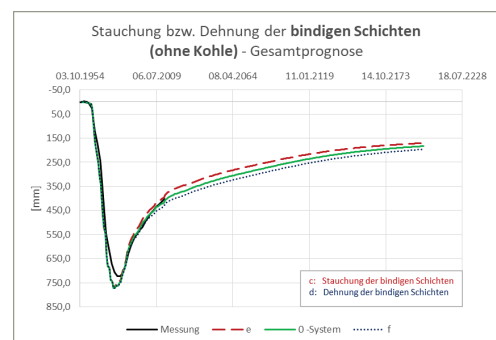
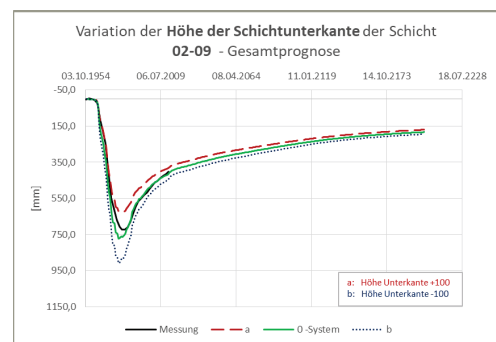
e) & f) Stauchung & Dehnung der bindigen Schichten (ohne Kohle)



## 2.2 Bewertung der Eingangsdaten

### Fazit Variation Schichtmächtigkeiten:

- ▼ Variation der Schichtmächtigkeiten in Abstimmung mit LANUV
- ▼ Variation innerhalb sinnvoller bzw. denkbarer Wertebereiche
- ▼ Mächtigkeit der untersten Schicht relevant, aber gut „kalibrierbar“
- ▼ Mächtigkeit der bindigen Schichten sind ggf. später „nachzukalibrieren“



## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

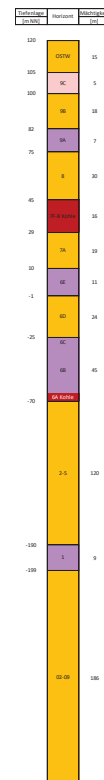
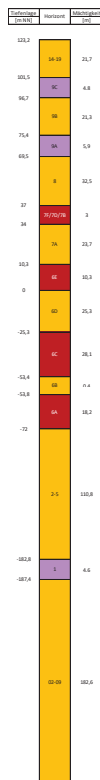
- Analog zu erstem Punkt
- **Neuberechnung** mit abweichenden **Eingangsdaten** (Schichtprofil, GW)



## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

a) Vergleich Schichtmodell

Modell  
„LANUV“



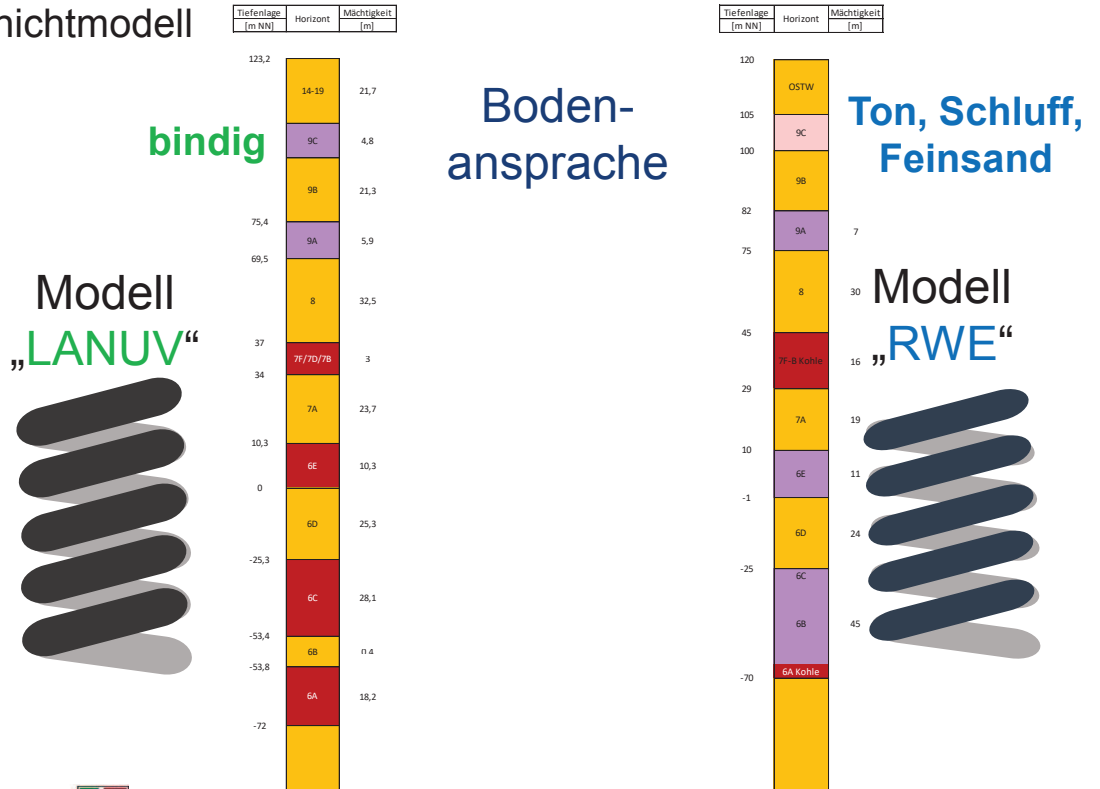
Modell  
„RWE“





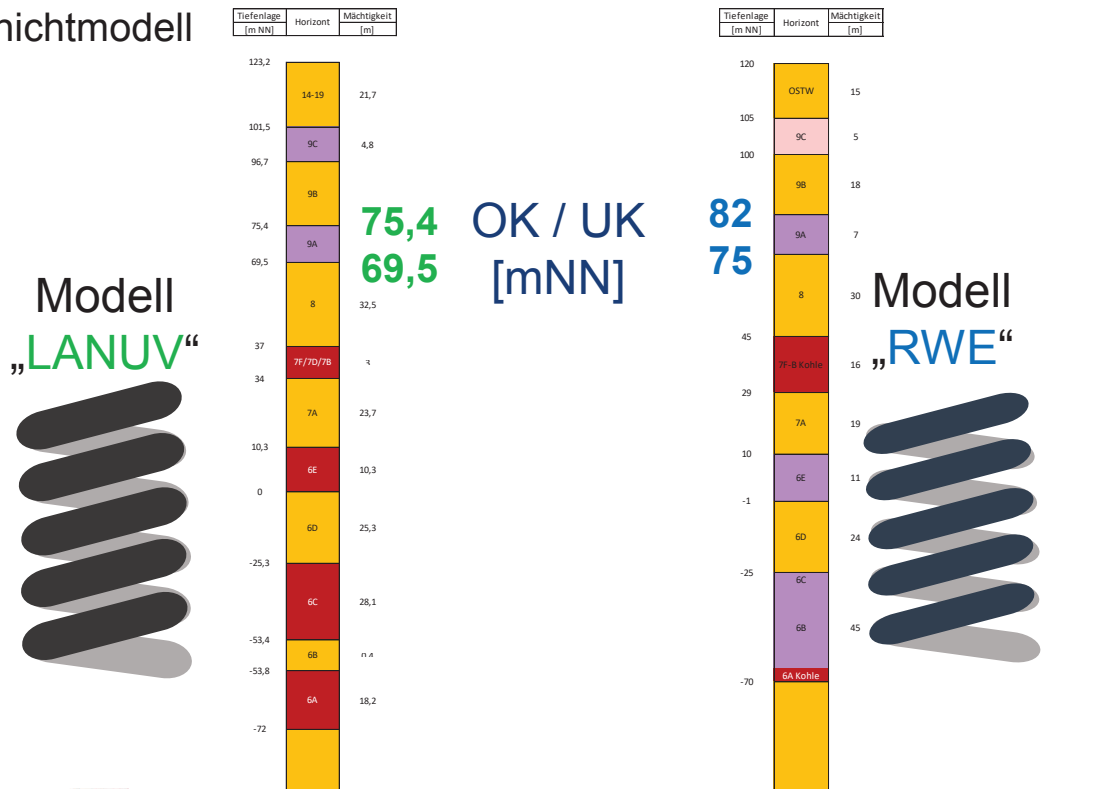
## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

a) Vergleich Schichtmodell



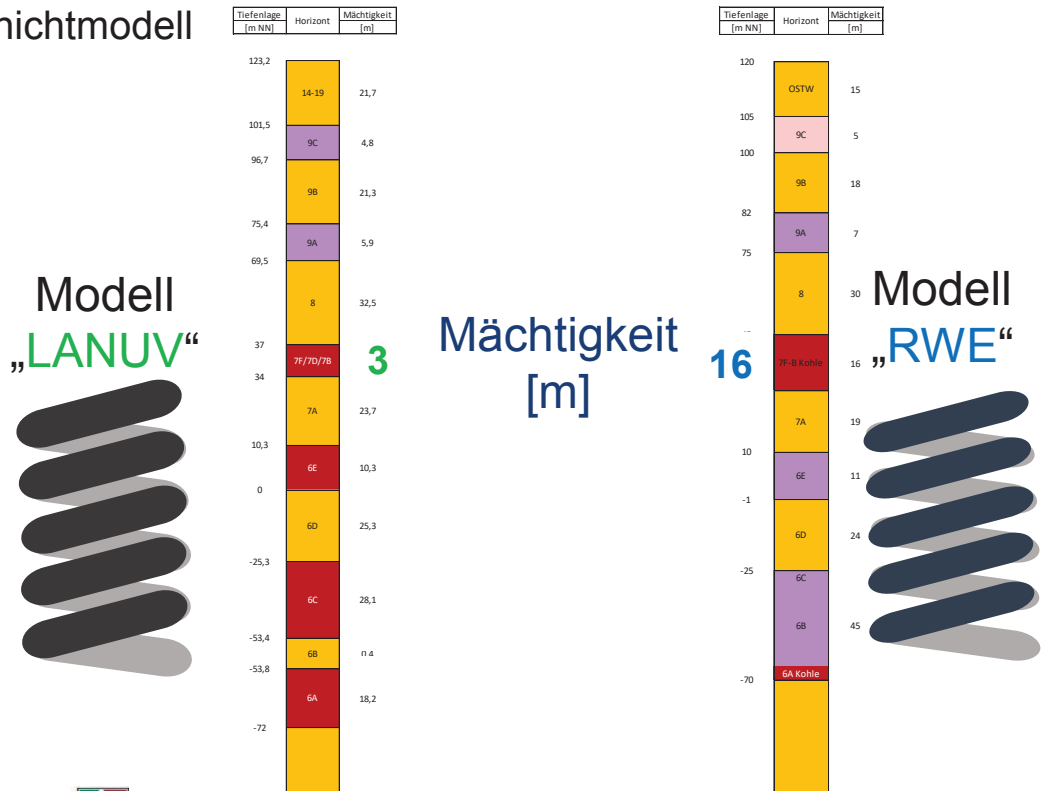
## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

a) Vergleich Schichtmodell



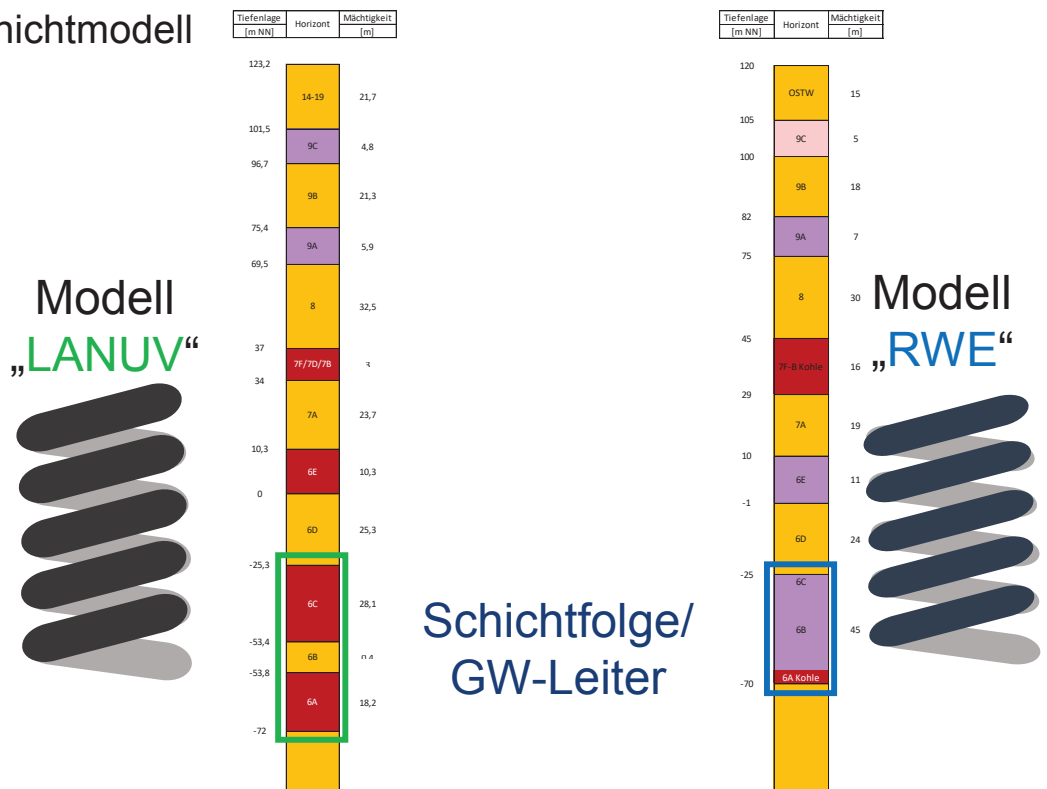
## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

a) Vergleich Schichtmodell



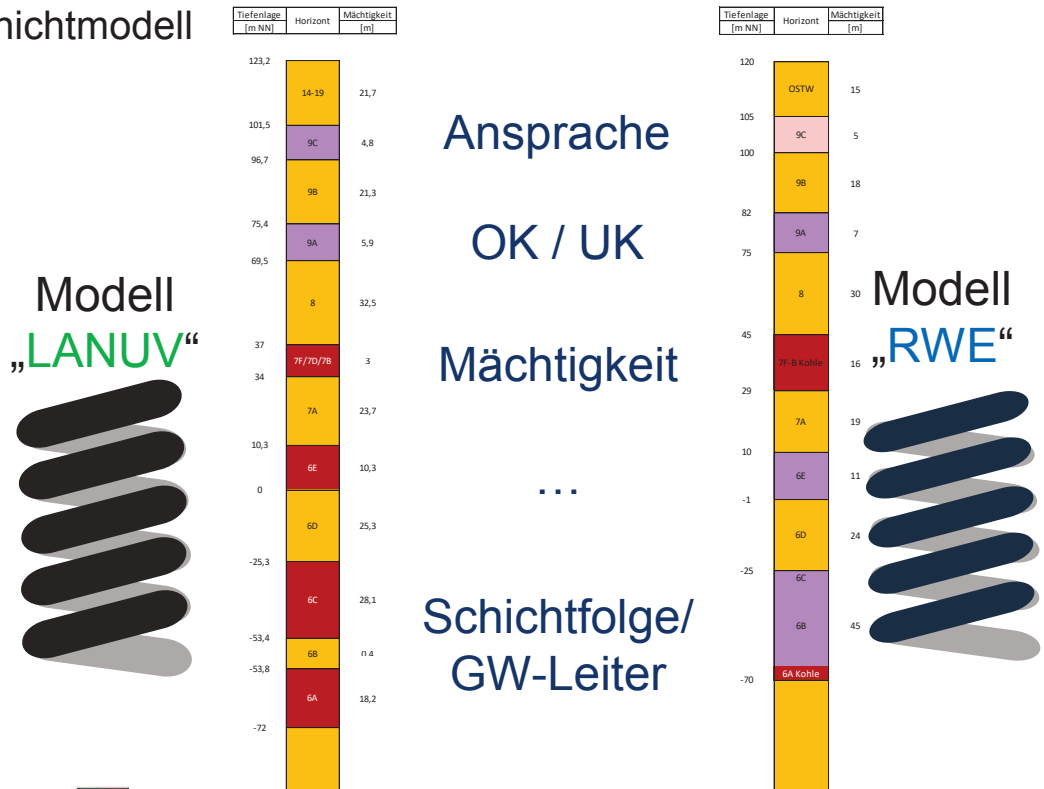
## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

a) Vergleich Schichtmodell



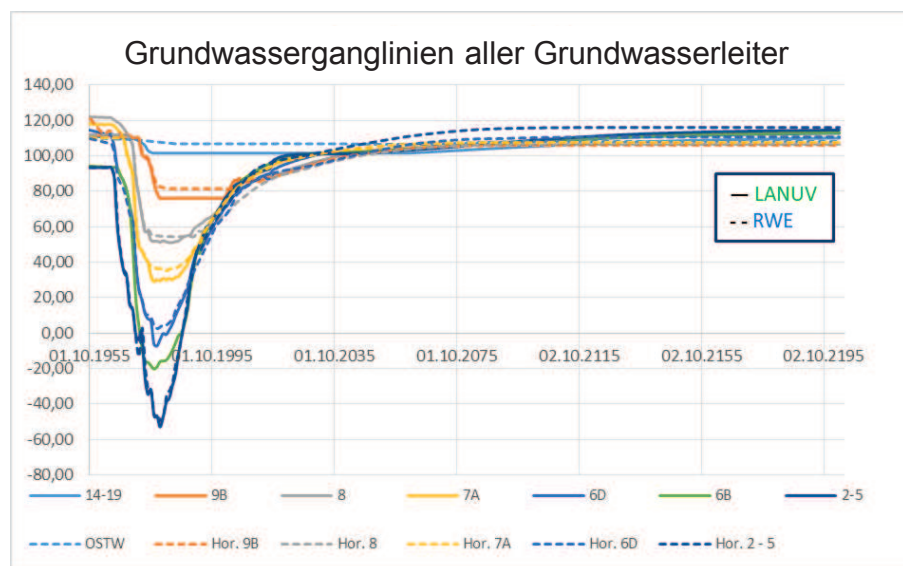
## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

### a) Vergleich Schichtmodell



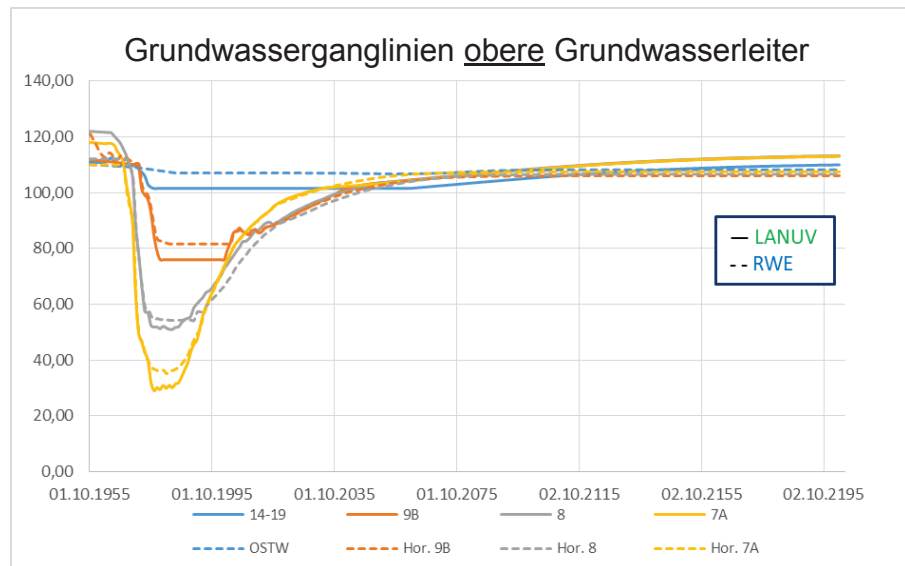
## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

### b) Vergleich GW-Ganglinien



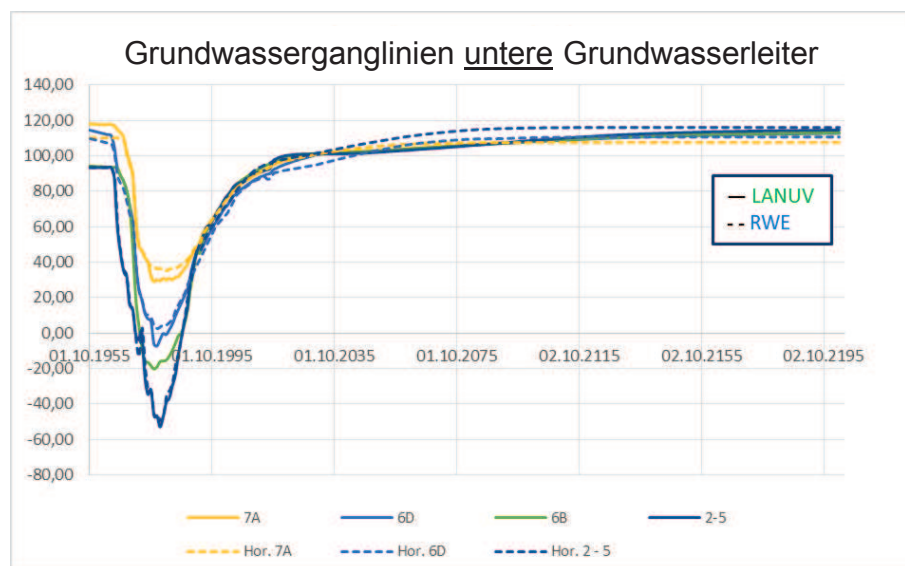
## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

b) Vergleich GW-Ganglinien



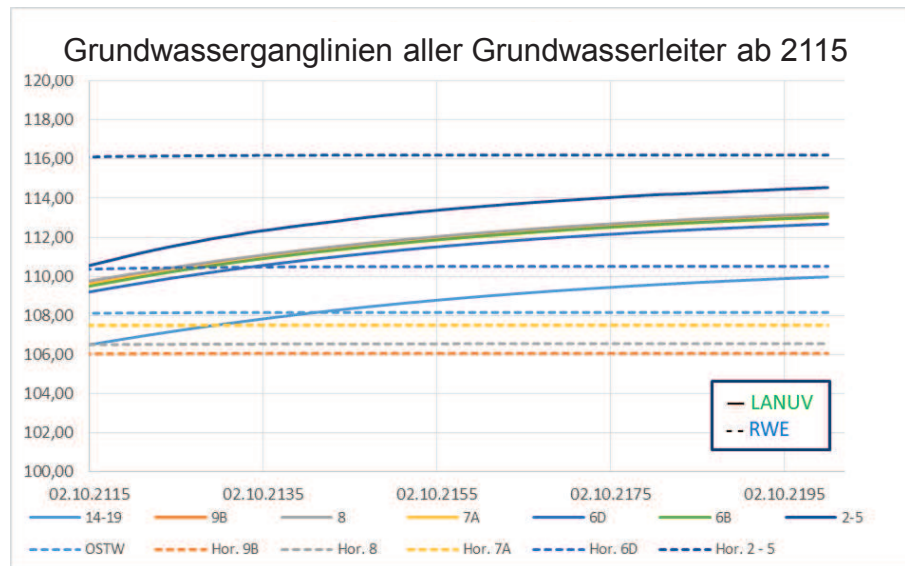
## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

b) Vergleich GW-Ganglinien



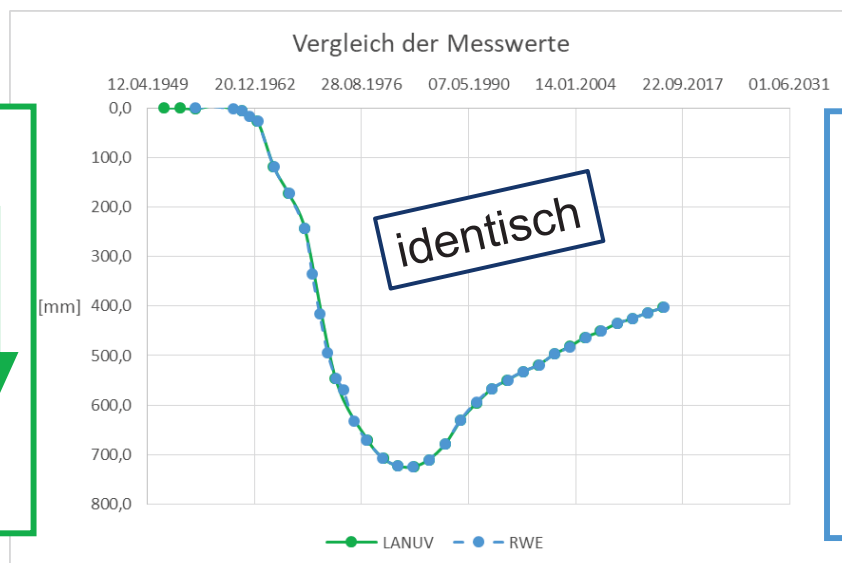
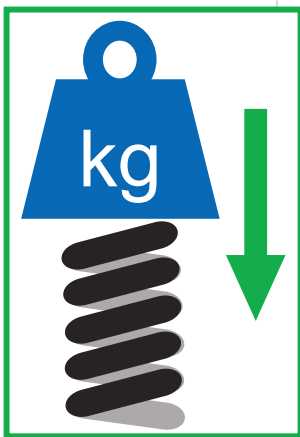
## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

### b) Vergleich GW-Ganglinien



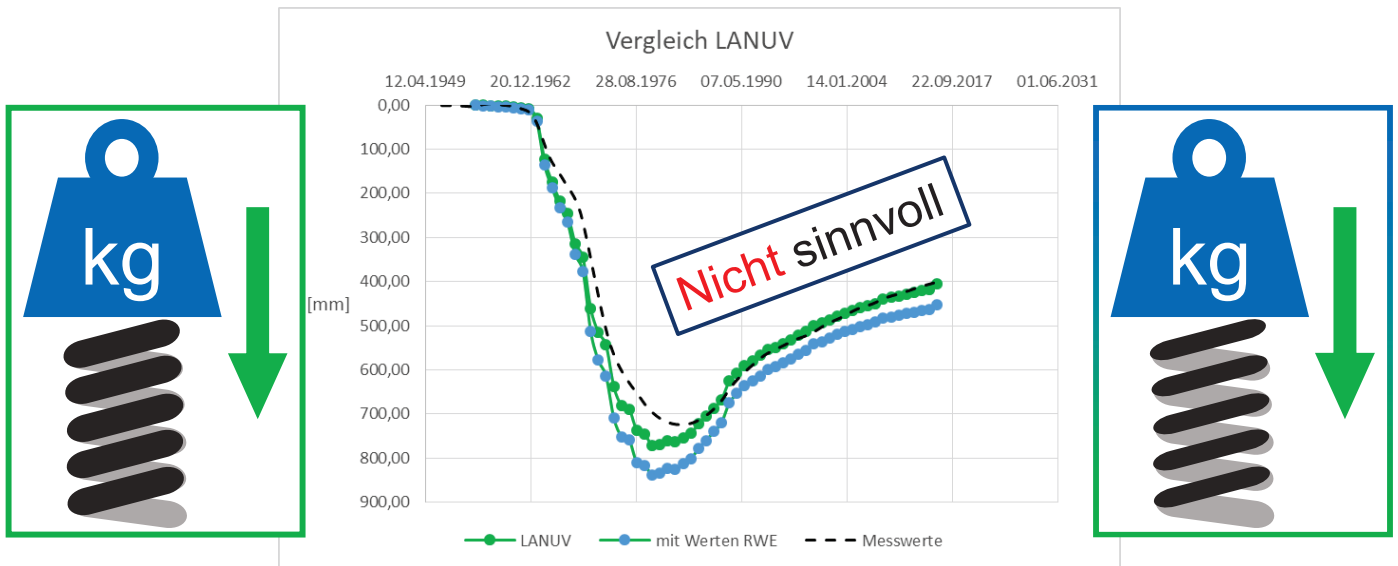
## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

### c) Vergleich Messdaten



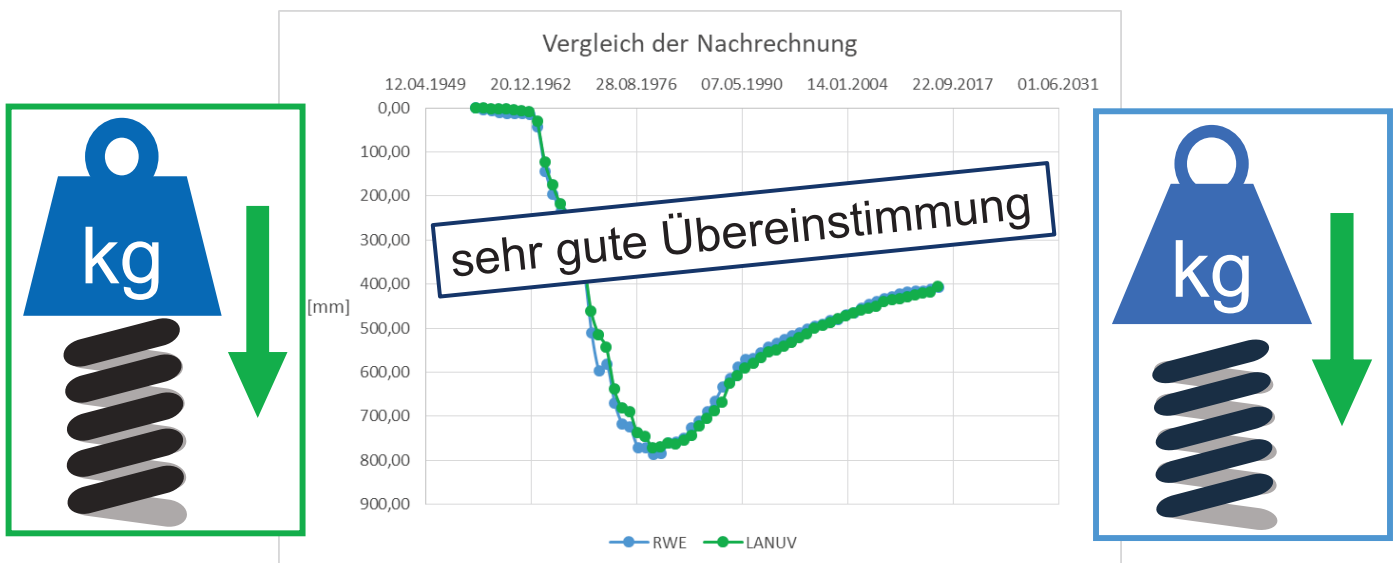
## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

d) Modell LANUV ohne Kalibrierung mit Bodenkennwerten RWE



## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

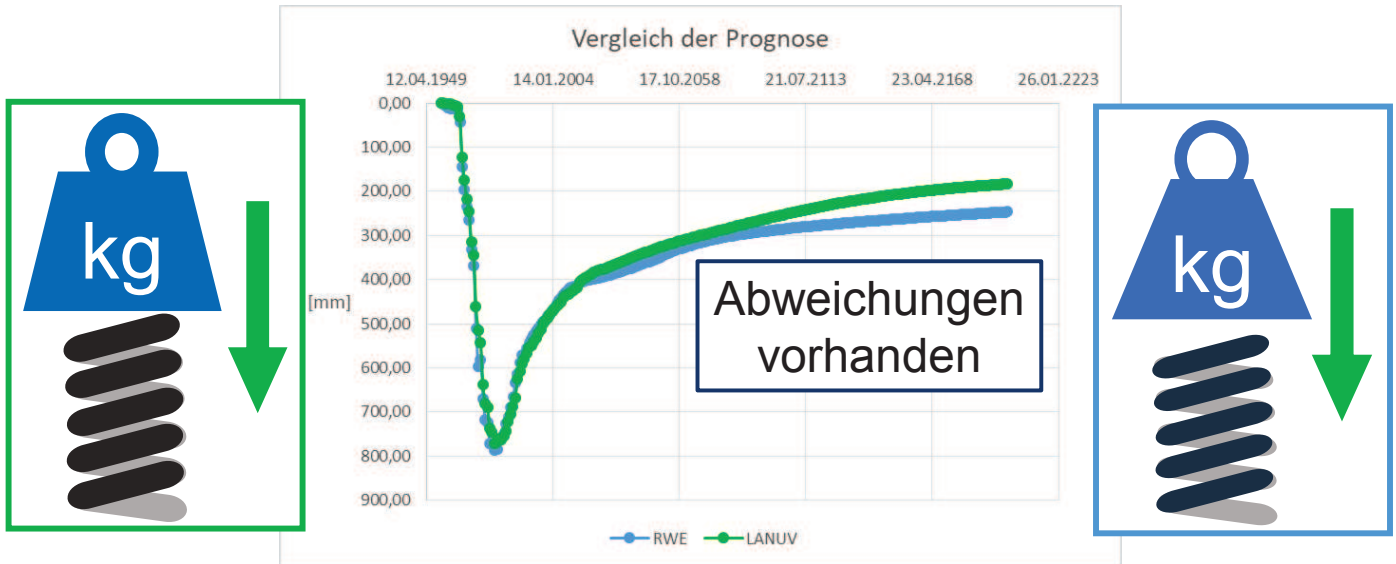
e) Vergleich Nachrechnung mit Kalibrierung





## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

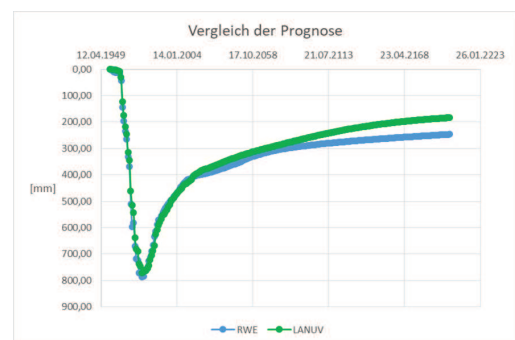
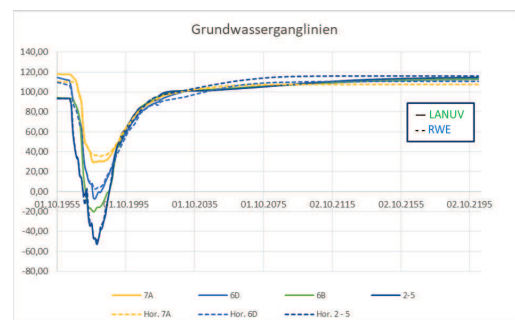
f) Vergleich Prognose mit Kalibrierung



## 2.3 Neuberechnung für einen Höhenfestpunkt

### Fazit Vergleich Niedermerz:

- ▼ Unterschiede in den Eingangsdaten (Schichtmodell & GW-Ganglinien)
- ▼ Übertragung der Bodenkennwerte zwischen den Modellen nicht sinnvoll
- ▼ Beide Modelle liefern nach Kalibrierung vergleichbare, sehr gute Ergebnisse ✓
- ▼ Geringe Unterschiede bei der Prognose, aber Anpassungen später möglich ✎



# Erste Ergebnisse

Geologie + Grundwasser ⇒ Bodenverhalten ⇒ Bewegungen



- GW-Änderungen
- Strömungskräfte
- Potentialdifferenzen
- Spannungsänderung
- Kompression
- Konsolidation ...
- Setzungen
- Hebungen ...



Realität

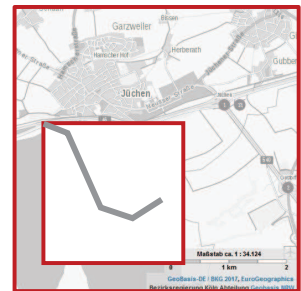


# Erste Ergebnisse

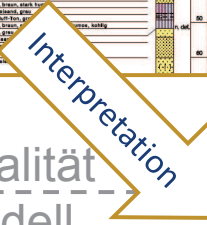
Geologie + Grundwasser ⇒ Bodenverhalten ⇒ Bewegungen



- GW-Änderungen
- Strömungskräfte
- Potentialdifferenzen
- Spannungsänderung
- Kompression
- Konsolidation ...
- Setzungen
- Hebungen ...



Realität  
Modell



+



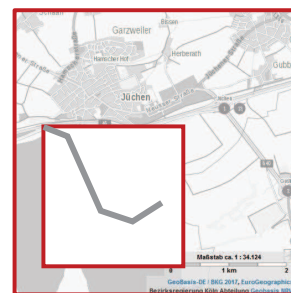
# Erste Ergebnisse

Geologie + Grundwasser ⇒ Bodenverhalten ⇒ Bewegungen

| Höhe | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil | Profil |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 113  | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    | 113    |



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Schrumpfungen ...



Interpretation

Interpretation

Bodenmechanik

Realität  
Modell



+



⇒

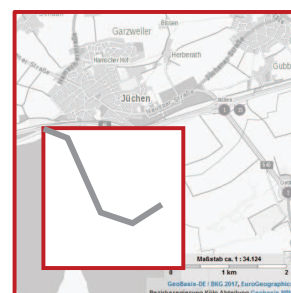


# Erste Ergebnisse

Geologie + Grundwasser ⇒ Bodenverhalten ⇒ Bewegungen



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Schrumpfungen ...



Interpretation

Interpretation

Bodenmechanik

Realität  
Modell



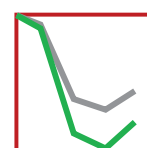
+



⇒

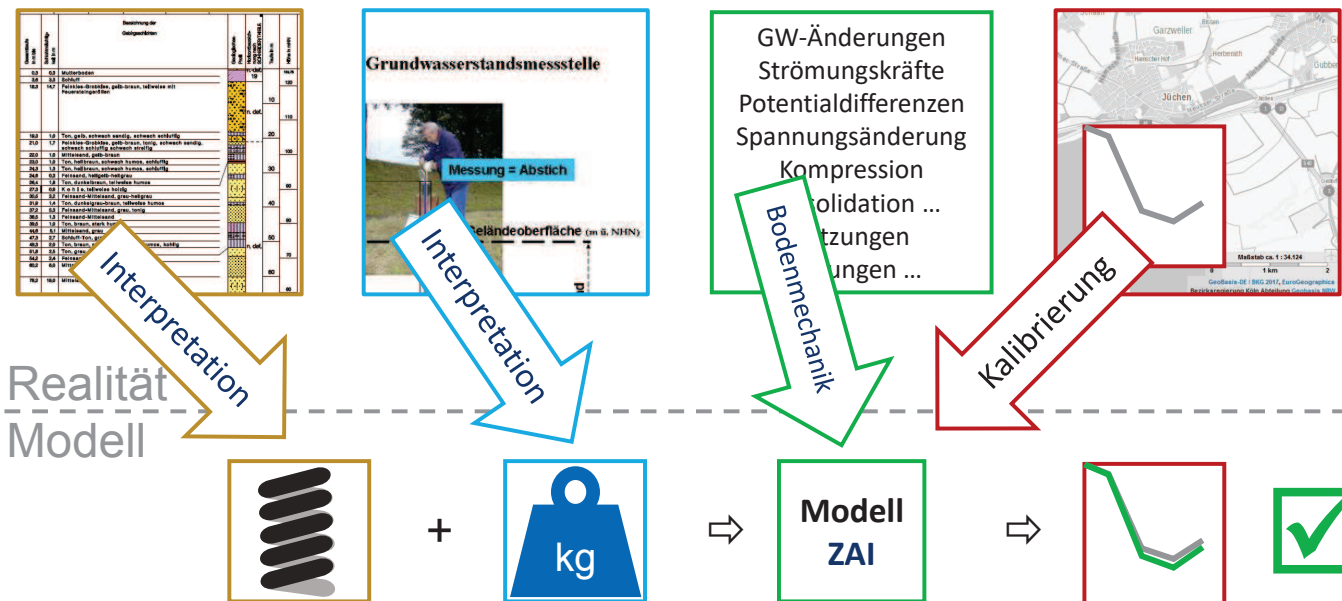


⇒



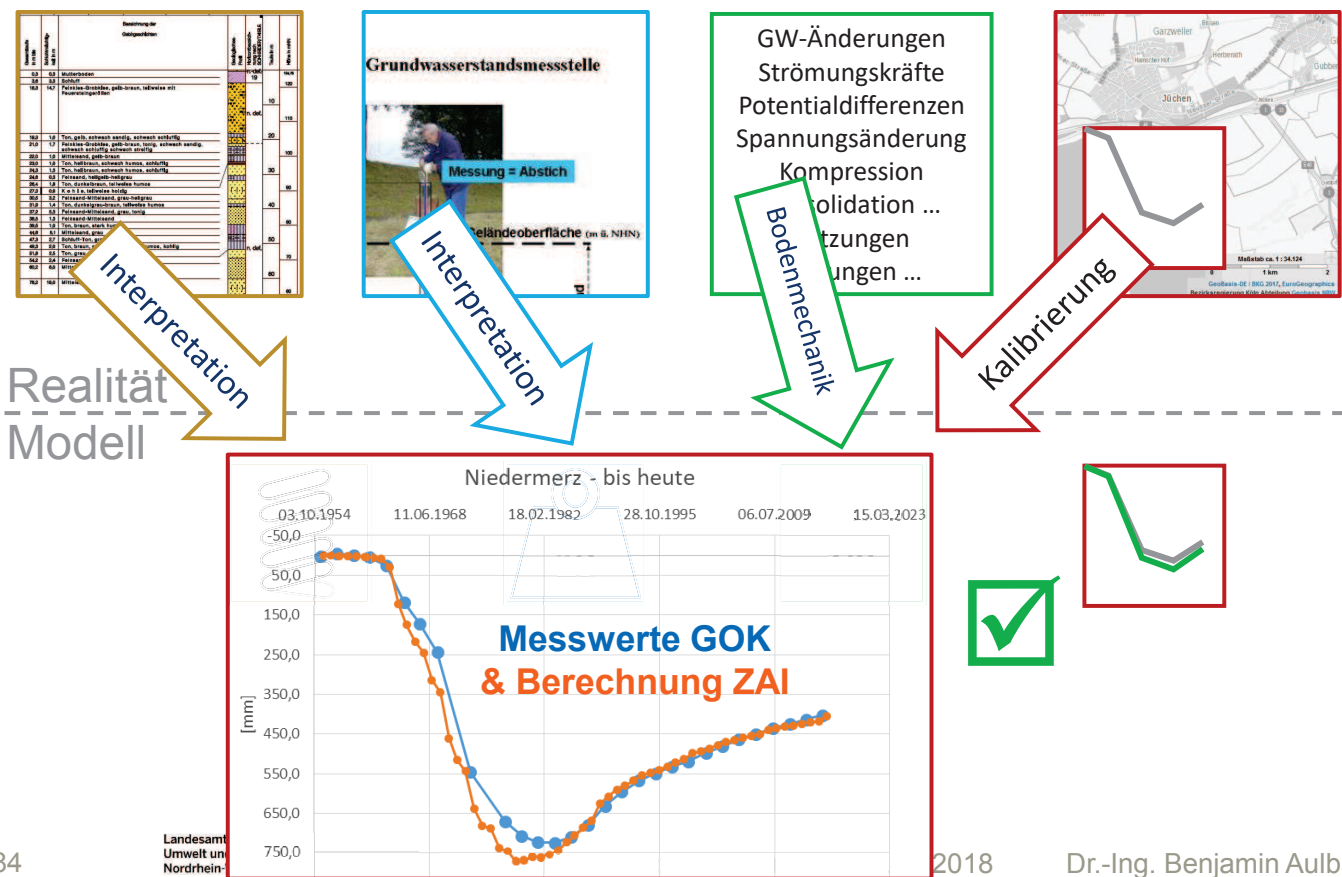
# Erste Ergebnisse

**Geologie** + **Grundwasser** ⇒ **Bodenverhalten** ⇒ **Bewegungen**



# Erste Ergebnisse

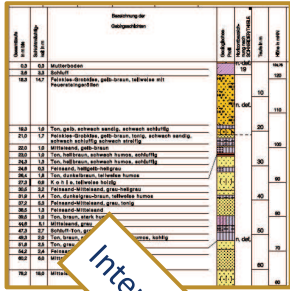
**Geologie** + **Grundwasser** ⇒ **Bodenverhalten** ⇒ **Bewegungen**





# Erste Ergebnisse

Geologie + Grundwasser ⇒ Bodenverhalten ⇒ Bewegungen



- GW-Änderungen
- Strömungskräfte
- Potentialdifferenzen
- Spannungsänderung
- Kompression
- olidation ...
- etzungen
- ungen ...



Interpretation

Interpretation

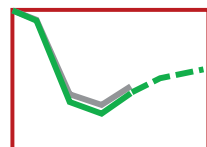
Bodenmechanik

Kalibrierung

Realität  
Modell

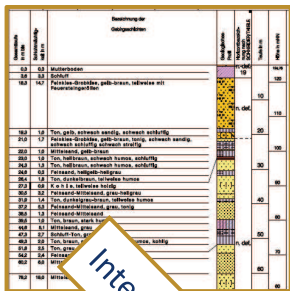


Modell  
ZAI



# Erste Ergebnisse

Geologie + Grundwasser ⇒ Bodenverhalten ⇒ Bewegungen



- GW-Änderungen
- Strömungskräfte
- Potentialdifferenzen
- Spannungsänderung
- Kompression
- olidation ...
- etzungen
- ungen ...



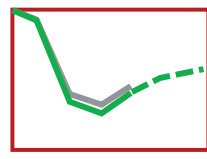
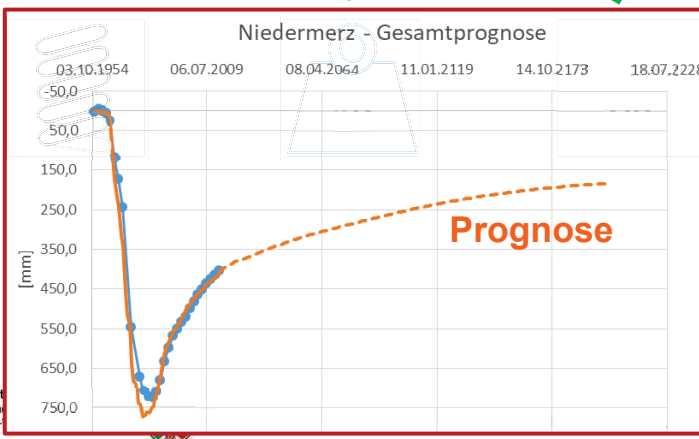
Interpretation

Interpretation

Bodenmechanik

Kalibrierung

Realität  
Modell



# Erste Ergebnisse

**Geologie** + **Grundwasser** ⇒ **Bodenverhalten** ⇒ **Bewegungen**

| Horizont | Profilnummer | Profilhöhe | Profilbreite | Profiltiefe | Profilart | Profilbeschreibung |
|----------|--------------|------------|--------------|-------------|-----------|--------------------|
| 10       | 10           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 10        | 10                 |
| 11       | 11           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 11        | 11                 |
| 12       | 12           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 12        | 12                 |
| 13       | 13           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 13        | 13                 |
| 14       | 14           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 14        | 14                 |
| 15       | 15           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 15        | 15                 |
| 16       | 16           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 16        | 16                 |
| 17       | 17           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 17        | 17                 |
| 18       | 18           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 18        | 18                 |
| 19       | 19           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 19        | 19                 |
| 20       | 20           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 20        | 20                 |
| 21       | 21           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 21        | 21                 |
| 22       | 22           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 22        | 22                 |
| 23       | 23           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 23        | 23                 |
| 24       | 24           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 24        | 24                 |
| 25       | 25           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 25        | 25                 |
| 26       | 26           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 26        | 26                 |
| 27       | 27           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 27        | 27                 |
| 28       | 28           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 28        | 28                 |
| 29       | 29           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 29        | 29                 |
| 30       | 30           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 30        | 30                 |
| 31       | 31           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 31        | 31                 |
| 32       | 32           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 32        | 32                 |
| 33       | 33           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 33        | 33                 |
| 34       | 34           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 34        | 34                 |
| 35       | 35           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 35        | 35                 |
| 36       | 36           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 36        | 36                 |
| 37       | 37           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 37        | 37                 |
| 38       | 38           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 38        | 38                 |
| 39       | 39           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 39        | 39                 |
| 40       | 40           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 40        | 40                 |
| 41       | 41           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 41        | 41                 |
| 42       | 42           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 42        | 42                 |
| 43       | 43           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 43        | 43                 |
| 44       | 44           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 44        | 44                 |
| 45       | 45           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 45        | 45                 |
| 46       | 46           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 46        | 46                 |
| 47       | 47           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 47        | 47                 |
| 48       | 48           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 48        | 48                 |
| 49       | 49           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 49        | 49                 |
| 50       | 50           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 50        | 50                 |



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Umlagerungen ...



Realität  
Modell

Interpretation

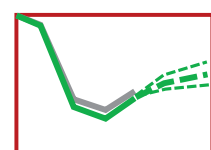
Interpretation

Bodenmechanik

Kalibrierung



Modell  
ZAI



# Erste Ergebnisse

**Geologie** + **Grundwasser** ⇒ **Bodenverhalten** ⇒ **Bewegungen**

| Horizont | Profilnummer | Profilhöhe | Profilbreite | Profiltiefe | Profilart | Profilbeschreibung |
|----------|--------------|------------|--------------|-------------|-----------|--------------------|
| 10       | 10           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 10        | 10                 |
| 11       | 11           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 11        | 11                 |
| 12       | 12           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 12        | 12                 |
| 13       | 13           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 13        | 13                 |
| 14       | 14           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 14        | 14                 |
| 15       | 15           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 15        | 15                 |
| 16       | 16           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 16        | 16                 |
| 17       | 17           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 17        | 17                 |
| 18       | 18           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 18        | 18                 |
| 19       | 19           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 19        | 19                 |
| 20       | 20           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 20        | 20                 |
| 21       | 21           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 21        | 21                 |
| 22       | 22           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 22        | 22                 |
| 23       | 23           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 23        | 23                 |
| 24       | 24           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 24        | 24                 |
| 25       | 25           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 25        | 25                 |
| 26       | 26           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 26        | 26                 |
| 27       | 27           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 27        | 27                 |
| 28       | 28           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 28        | 28                 |
| 29       | 29           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 29        | 29                 |
| 30       | 30           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 30        | 30                 |
| 31       | 31           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 31        | 31                 |
| 32       | 32           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 32        | 32                 |
| 33       | 33           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 33        | 33                 |
| 34       | 34           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 34        | 34                 |
| 35       | 35           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 35        | 35                 |
| 36       | 36           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 36        | 36                 |
| 37       | 37           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 37        | 37                 |
| 38       | 38           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 38        | 38                 |
| 39       | 39           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 39        | 39                 |
| 40       | 40           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 40        | 40                 |
| 41       | 41           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 41        | 41                 |
| 42       | 42           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 42        | 42                 |
| 43       | 43           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 43        | 43                 |
| 44       | 44           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 44        | 44                 |
| 45       | 45           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 45        | 45                 |
| 46       | 46           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 46        | 46                 |
| 47       | 47           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 47        | 47                 |
| 48       | 48           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 48        | 48                 |
| 49       | 49           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 49        | 49                 |
| 50       | 50           | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 50        | 50                 |



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Umlagerungen ...



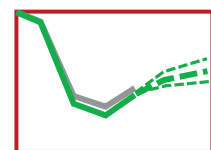
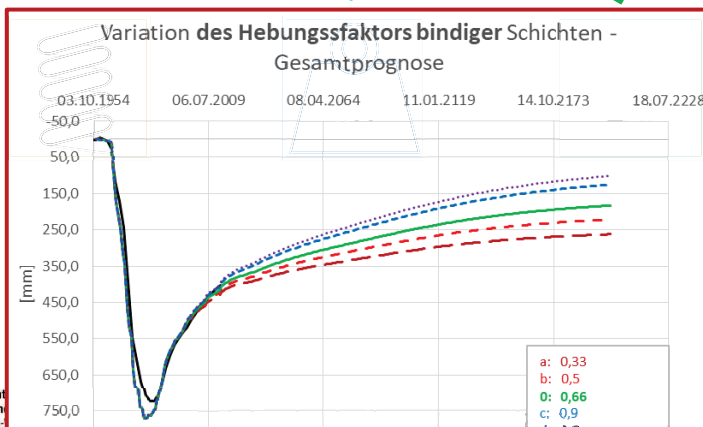
Realität  
Modell

Interpretation

Interpretation

Bodenmechanik

Kalibrierung



# Erste Ergebnisse

**Geologie** + **Grundwasser** ⇒ **Bodenverhalten** ⇒ **Bewegungen**



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Umlagerungen ...



Interpretation

Interpretation

Bodenmechanik

Kalibrierung

Realität  
Modell

LANUV:



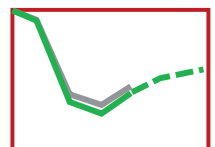
+



⇒

Modell  
ZAI

⇒



RWE:



+



⇒

Modell  
ZAI

⇒

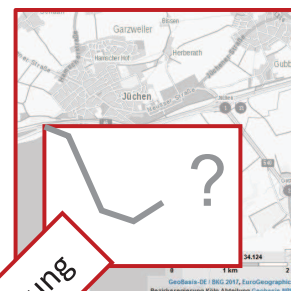


# Erste Ergebnisse

**Geologie** + **Grundwasser** ⇒ **Bodenverhalten** ⇒ **Bewegungen**



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Umlagerungen ...



Interpretation

Interpretation

Bodenmechanik

Kalibrierung

Realität  
Modell

LANUV:



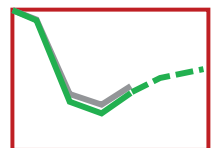
+



⇒

Modell  
ZAI

⇒



RWE:



+



⇒

Modell  
ZAI

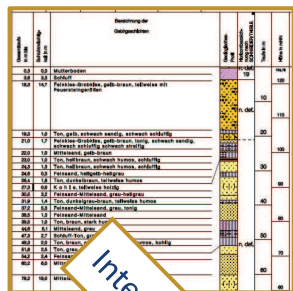
⇒





# Erste Ergebnisse

**Geologie** + **Grundwasser** ⇒ **Bodenverhalten** ⇒ **Bewegungen**



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Bewegungen ...



**Interpretation**

**Interpretation**

**Bodenmechanik**

**Kalibrierung**

Realität  
Modell

LANUV:



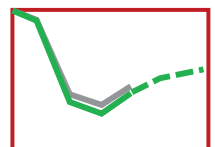
+



⇒

**Modell ZAI**

⇒



RWE:



+



⇒

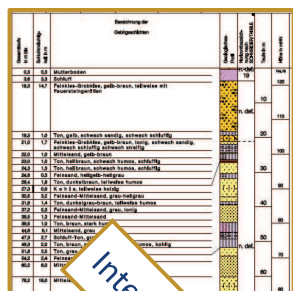
**Modell ZAI**

⇒

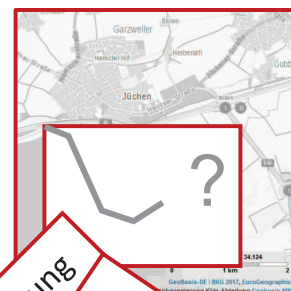


# Erste Ergebnisse

**Geologie** + **Grundwasser** ⇒ **Bodenverhalten** ⇒ **Bewegungen**



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Bewegungen ...



**Interpretation**

**Interpretation**

**Bodenmechanik**

**Kalibrierung**

Realität  
Modell

LANUV:



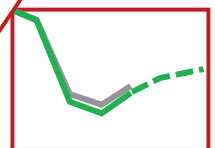
+



⇒

**Modell ZAI**

⇒



RWE:



+



⇒

**Modell ZAI**

⇒



# Erste Ergebnisse

**Geologie** + **Grundwasser** ⇒ **Bodenverhalten** ⇒ **Bewegungen**

| Horizont | Profilnummer | Profilhöhe | Profilbreite | Profiltiefe | Profilart | Profilbeschreibung |
|----------|--------------|------------|--------------|-------------|-----------|--------------------|
| 103      | 103          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 103       | 103                |
| 104      | 104          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 104       | 104                |
| 105      | 105          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 105       | 105                |
| 106      | 106          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 106       | 106                |
| 107      | 107          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 107       | 107                |
| 108      | 108          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 108       | 108                |
| 109      | 109          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 109       | 109                |
| 110      | 110          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 110       | 110                |
| 111      | 111          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 111       | 111                |
| 112      | 112          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 112       | 112                |
| 113      | 113          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 113       | 113                |
| 114      | 114          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 114       | 114                |
| 115      | 115          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 115       | 115                |
| 116      | 116          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 116       | 116                |
| 117      | 117          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 117       | 117                |
| 118      | 118          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 118       | 118                |
| 119      | 119          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 119       | 119                |
| 120      | 120          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 120       | 120                |
| 121      | 121          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 121       | 121                |
| 122      | 122          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 122       | 122                |
| 123      | 123          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 123       | 123                |
| 124      | 124          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 124       | 124                |
| 125      | 125          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 125       | 125                |
| 126      | 126          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 126       | 126                |
| 127      | 127          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 127       | 127                |
| 128      | 128          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 128       | 128                |
| 129      | 129          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 129       | 129                |
| 130      | 130          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 130       | 130                |
| 131      | 131          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 131       | 131                |
| 132      | 132          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 132       | 132                |
| 133      | 133          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 133       | 133                |
| 134      | 134          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 134       | 134                |
| 135      | 135          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 135       | 135                |
| 136      | 136          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 136       | 136                |
| 137      | 137          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 137       | 137                |
| 138      | 138          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 138       | 138                |
| 139      | 139          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 139       | 139                |
| 140      | 140          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 140       | 140                |
| 141      | 141          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 141       | 141                |
| 142      | 142          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 142       | 142                |
| 143      | 143          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 143       | 143                |
| 144      | 144          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 144       | 144                |
| 145      | 145          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 145       | 145                |
| 146      | 146          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 146       | 146                |
| 147      | 147          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 147       | 147                |
| 148      | 148          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 148       | 148                |
| 149      | 149          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 149       | 149                |
| 150      | 150          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 150       | 150                |



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Rücksetzungen ...



Interpretation

Interpretation

Bodenmechanik

Kalibrierung

Realität  
Modell

LANUV:

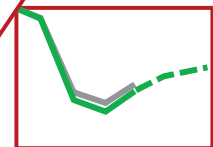


+



⇒

Modell  
ZAI



RWE:

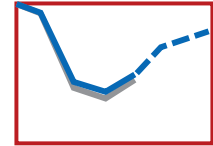


+



⇒

Modell  
ZAI



# Erste Ergebnisse

**Geologie** + **Grundwasser** ⇒ **Bodenverhalten** ⇒ **Bewegungen**

| Horizont | Profilnummer | Profilhöhe | Profilbreite | Profiltiefe | Profilart | Profilbeschreibung |
|----------|--------------|------------|--------------|-------------|-----------|--------------------|
| 103      | 103          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 103       | 103                |
| 104      | 104          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 104       | 104                |
| 105      | 105          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 105       | 105                |
| 106      | 106          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 106       | 106                |
| 107      | 107          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 107       | 107                |
| 108      | 108          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 108       | 108                |
| 109      | 109          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 109       | 109                |
| 110      | 110          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 110       | 110                |
| 111      | 111          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 111       | 111                |
| 112      | 112          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 112       | 112                |
| 113      | 113          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 113       | 113                |
| 114      | 114          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 114       | 114                |
| 115      | 115          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 115       | 115                |
| 116      | 116          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 116       | 116                |
| 117      | 117          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 117       | 117                |
| 118      | 118          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 118       | 118                |
| 119      | 119          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 119       | 119                |
| 120      | 120          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 120       | 120                |
| 121      | 121          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 121       | 121                |
| 122      | 122          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 122       | 122                |
| 123      | 123          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 123       | 123                |
| 124      | 124          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 124       | 124                |
| 125      | 125          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 125       | 125                |
| 126      | 126          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 126       | 126                |
| 127      | 127          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 127       | 127                |
| 128      | 128          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 128       | 128                |
| 129      | 129          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 129       | 129                |
| 130      | 130          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 130       | 130                |
| 131      | 131          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 131       | 131                |
| 132      | 132          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 132       | 132                |
| 133      | 133          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 133       | 133                |
| 134      | 134          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 134       | 134                |
| 135      | 135          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 135       | 135                |
| 136      | 136          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 136       | 136                |
| 137      | 137          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 137       | 137                |
| 138      | 138          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 138       | 138                |
| 139      | 139          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 139       | 139                |
| 140      | 140          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 140       | 140                |
| 141      | 141          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 141       | 141                |
| 142      | 142          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 142       | 142                |
| 143      | 143          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 143       | 143                |
| 144      | 144          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 144       | 144                |
| 145      | 145          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 145       | 145                |
| 146      | 146          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 146       | 146                |
| 147      | 147          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 147       | 147                |
| 148      | 148          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 148       | 148                |
| 149      | 149          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 149       | 149                |
| 150      | 150          | 0,00       | 0,00         | 0,00        | 150       | 150                |



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Rücksetzungen ...



Interpretation

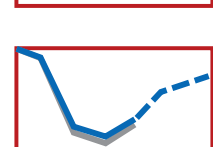
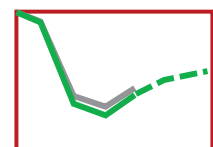
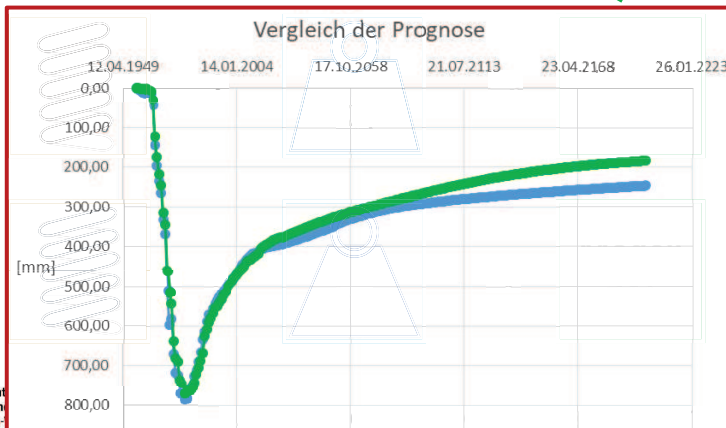
Interpretation

Bodenmechanik

Kalibrierung

Realität  
Modell

LANUV:



## 2.4 Darstellung der Ergebnisse

- Bericht – allgemein verständlich

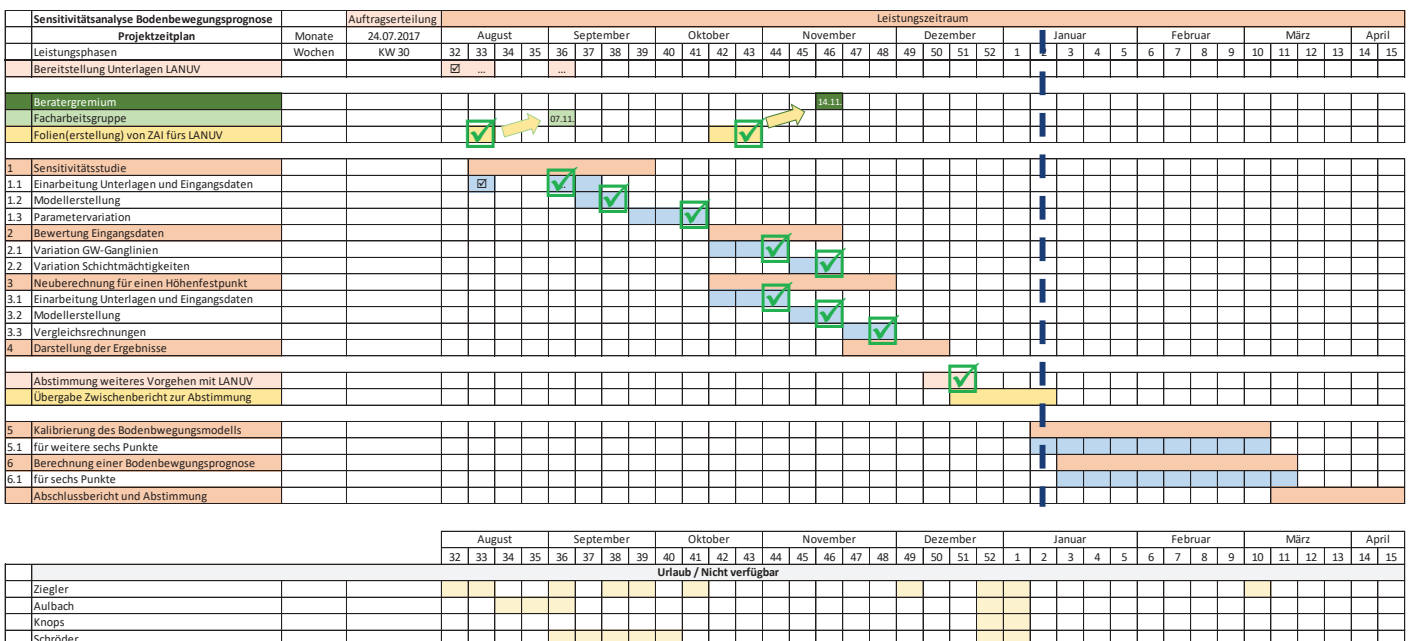
## 2.5 Kalibrierung & 2.6 Berechnung für weitere Punkte

- Analog zu erstem Punkt
- Zunächst 6 weitere Punkte
- ggf. auch mehr



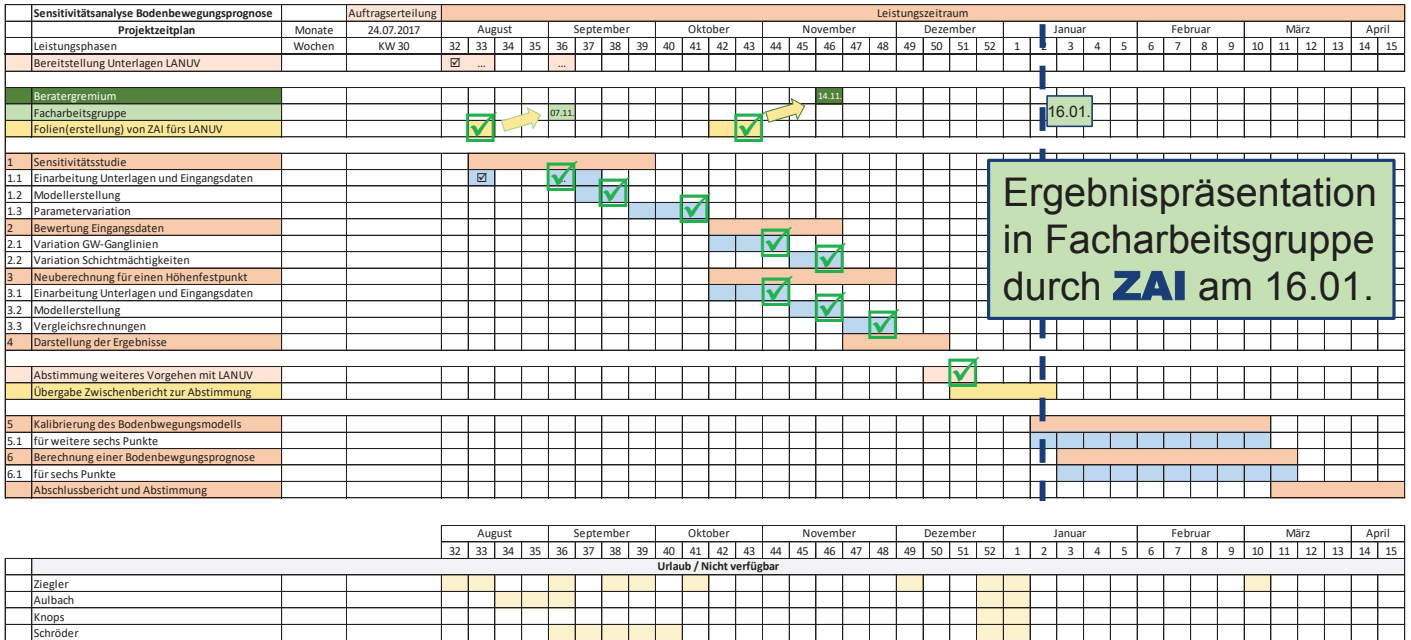
# Organisatorischer Ablauf

## Projektzeitplan Stand: 11.01.2018



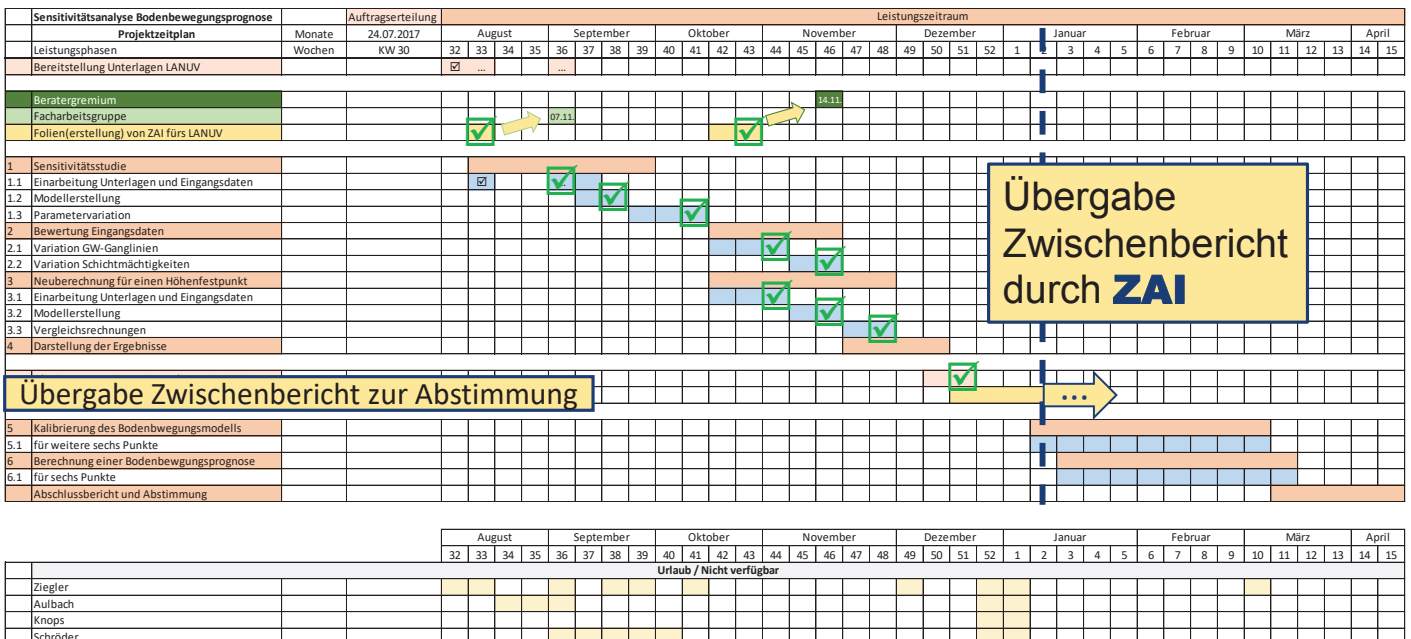
# Organisatorischer Ablauf

## Projektzeitplan Stand: 11.01.2018



# Organisatorischer Ablauf

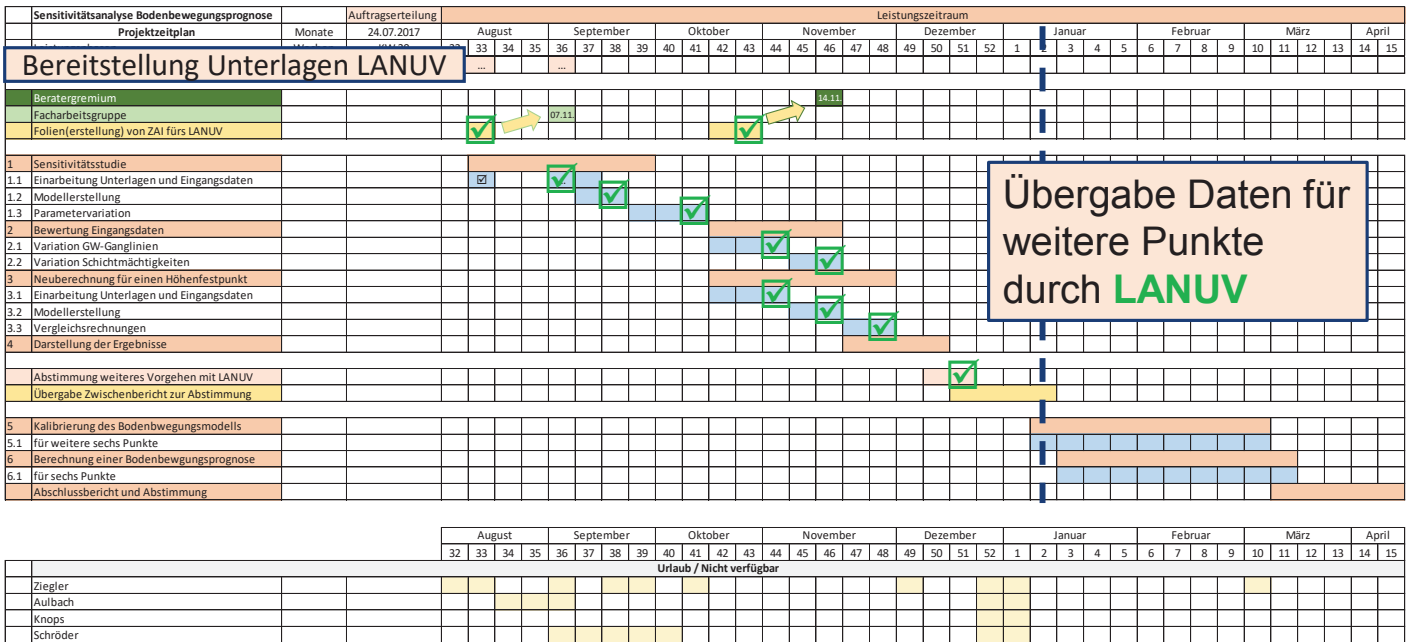
## Projektzeitplan Stand: 11.01.2018





# Organisatorischer Ablauf

## Projektzeitplan Stand: 11.01.2018



„It all starts with solid ground engineering“

