

1. Introduction

The purpose of this document is to present the expected third octave noise spectra for the V172 EnVentus™ turbine.

Test results for this turbine are not yet available, so data are based on test results from turbines with rotors that are as close as possible in size to the V172. All results are thus based upon internal measurement results obtained on V136 turbines.

2. Method

2.1 Procedure

During measurements, a very large number of correlated values for noise emission spectra and turbine operating parameters are identified.

From these a relation between noise emission within each 1/3 octave band, wind speed and operational conditions are extracted. By combination of these extracted values and the actual turbine operation and rotor size, an estimate of the actual 1/3 octave performance is obtained.

The frequency content is limited to the frequency range 6.3 Hz to 16 kHz to secure that measurement system limitations are not influencing the findings. The stated spectral values are thus representative for the expected noise emission from the turbine at each wind speed.

The method is verified as giving results corresponding to direct measured values.

The reported wind speed range covers hub height wind speeds from 3 to 15 m/s. Extrapolations outside this wind speed range is not possible due to limitations in the measured input data.

The stated values do not in any way enable issuing guarantees.

2.2 Physical environment

The results are valid for the downwind reference position as defined according to IEC 61400-11 Ed.3.

Applicable environmental conditions are thus corresponding to the standardized requirements as described directly and indirectly in IEC 61400-11.

These can be interpreted as air density 1.225 kg/m³, yaw errors below +/- 15 deg. and vertical inflow angles below +/- 10 deg. Blade condition is clean and undamaged.

3. Results

3.1 Results V172 PO7200

Frequency	Hub height wind speeds [m/s]												
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
6.3 Hz	22.2	21.9	18.7	20.4	24.7	28.4	30.0	30.5	31.2	32.6	33.1	32.9	32.3
8 Hz	28.5	28.3	25.5	27.4	31.6	35.3	36.8	37.3	38.0	39.2	39.6	39.5	38.9
10 Hz	34.5	34.4	31.9	34.0	38.2	41.8	43.3	43.7	44.4	45.4	45.8	45.6	45.2
12.5 Hz	40.2	40.1	38.0	40.2	44.3	47.9	49.5	49.8	50.4	51.3	51.6	51.5	51.0
16 Hz	45.9	45.8	44.1	46.0	50.1	53.7	55.2	55.5	56.0	56.8	57.1	57.0	56.6
20 Hz	51.3	51.2	49.8	51.9	55.9	59.1	60.6	60.9	61.3	62.0	62.2	62.1	61.7
25 Hz	56.7	56.6	55.5	57.4	61.4	64.5	66.0	66.2	66.6	67.2	67.4	67.2	66.9
31.5 Hz	61.6	61.6	60.7	62.8	66.8	69.5	71.0	71.2	71.5	72.0	72.2	72.1	71.8
40 Hz	66.1	66.0	65.4	67.8	71.7	74.5	76.0	76.1	76.4	76.8	76.9	76.8	76.6
50 Hz	70.0	70.0	69.6	72.2	76.1	79.0	80.5	80.6	80.8	81.2	81.3	81.2	81.0
63 Hz	73.4	73.4	73.2	76.1	80.0	83.1	84.5	84.6	84.8	85.0	85.1	85.0	84.8
80 Hz	76.2	76.3	76.3	79.4	83.3	86.5	87.9	88.0	88.1	88.3	88.4	88.3	88.2
100 Hz	78.5	78.6	78.8	82.2	86.0	89.4	90.8	90.9	91.0	91.1	91.1	91.1	90.9
125 Hz	80.3	80.4	80.7	84.4	88.1	91.7	93.1	93.1	93.2	93.3	93.3	93.3	93.2
160 Hz	81.7	81.7	82.1	86.0	89.7	93.5	94.8	94.9	94.9	95.0	94.9	94.9	94.8
200 Hz	82.5	82.6	83.1	87.1	90.8	94.7	96.0	96.0	96.1	96.1	96.1	96.0	96.0
250 Hz	83.4	83.5	84.1	87.7	91.4	95.4	96.7	96.7	96.7	96.7	96.7	96.6	96.6
315 Hz	83.9	84.0	84.7	88.3	92.0	95.6	96.9	96.9	96.9	96.8	96.8	96.8	96.8
400 Hz	84.5	84.5	85.3	88.6	92.2	95.7	97.1	97.0	97.0	97.0	96.9	96.9	96.9
500 Hz	84.7	84.8	85.5	88.8	92.4	95.5	96.8	96.8	96.8	96.7	96.7	96.7	96.7
630 Hz	84.6	84.7	85.4	88.7	92.2	95.4	96.6	96.6	96.6	96.5	96.5	96.5	96.6
800 Hz	84.2	84.2	84.9	88.2	91.7	94.8	96.1	96.1	96.0	96.0	96.0	96.0	96.1
1 kHz	83.4	83.4	84.1	87.3	90.8	93.9	95.1	95.1	95.1	95.1	95.1	95.1	95.2
1.25 kHz	82.3	82.2	82.9	86.0	89.5	92.6	93.8	93.8	93.8	93.8	93.8	93.9	93.9
1.6 kHz	80.8	80.8	81.3	84.4	87.9	90.9	92.1	92.1	92.1	92.2	92.2	92.3	92.4
2 kHz	79.0	78.9	79.4	82.4	85.9	88.9	90.1	90.1	90.1	90.2	90.3	90.3	90.4
2.5 kHz	76.9	76.8	77.1	80.1	83.5	86.5	87.7	87.7	87.7	87.8	88.0	88.0	88.1
3.15 kHz	74.4	74.2	74.4	77.3	80.7	83.7	84.9	84.9	85.0	85.1	85.3	85.4	85.5
4 kHz	71.6	71.4	71.4	74.2	77.6	80.6	81.7	81.8	81.9	82.1	82.3	82.4	82.5
5 kHz	68.5	68.2	68.0	70.7	74.1	77.0	78.2	78.2	78.4	78.7	78.9	79.0	79.1
6.3 kHz	65.0	64.6	64.3	66.8	70.2	73.1	74.3	74.3	74.5	74.9	75.2	75.3	75.4
8 kHz	61.1	60.8	60.2	62.6	65.9	68.9	70.0	70.1	70.3	70.8	71.1	71.2	71.3
10 kHz	57.0	56.5	55.7	58.0	61.3	64.2	65.3	65.5	65.7	66.3	66.7	66.8	66.9
12.5 kHz	52.4	52.0	50.9	53.0	56.3	59.2	60.3	60.5	60.8	61.4	61.9	62.0	62.1
16 kHz	47.6	47.0	45.7	47.7	50.9	53.9	54.9	55.1	55.5	56.2	56.7	56.9	56.9
A-wgt	94.6	94.6	95.2	98.6	102.2	105.6	106.9	106.9	106.9	106.9	106.9	106.9	106.9

Table 1: V172 PO7200, expected 1/3 octave band performance
 (Blades with serrated trailing edges)

3.2 Results V172 PO7200-0S

Frequency	Hub height wind speeds [m/s]												
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
6.3 Hz	13.8	12.6	13.2	17.0	20.8	24.2	25.7	25.7	25.7	25.9	26.5	27.3	28.1
8 Hz	21.2	20.1	20.7	24.5	28.3	31.7	33.2	33.2	33.1	33.3	33.8	34.6	35.3
10 Hz	28.1	27.2	27.8	31.6	35.4	38.8	40.2	40.2	40.2	40.3	40.8	41.5	42.2
12.5 Hz	34.7	33.9	34.5	38.3	42.1	45.5	46.9	46.9	46.9	47.0	47.4	48.0	48.6
16 Hz	41.3	40.6	41.2	44.6	48.4	51.7	53.2	53.2	53.1	53.2	53.6	54.1	54.7
20 Hz	47.5	46.8	47.5	50.9	54.7	57.6	59.1	59.1	59.0	59.1	59.4	59.9	60.4
25 Hz	53.7	53.1	53.8	56.8	60.6	63.5	65.0	64.9	64.9	65.0	65.3	65.7	66.1
31.5 Hz	59.4	58.9	59.6	62.6	66.4	69.0	70.4	70.4	70.4	70.4	70.7	71.0	71.5
40 Hz	64.5	64.1	64.8	68.0	71.7	74.5	75.9	75.9	75.8	75.8	76.1	76.4	76.7
50 Hz	69.1	68.7	69.5	72.8	76.6	79.4	80.8	80.8	80.7	80.8	80.9	81.2	81.5
63 Hz	73.2	72.8	73.6	77.1	80.8	83.8	85.2	85.2	85.1	85.2	85.3	85.5	85.8
80 Hz	76.6	76.3	77.1	80.7	84.5	87.7	89.0	89.0	89.0	89.0	89.1	89.3	89.5
100 Hz	79.4	79.2	80.0	83.8	87.5	90.9	92.3	92.3	92.2	92.2	92.3	92.5	92.6
125 Hz	81.7	81.6	82.3	86.3	90.0	93.6	94.9	94.9	94.9	94.9	94.9	95.0	95.2
160 Hz	83.5	83.4	84.1	88.2	91.9	95.6	97.0	97.0	96.9	96.9	97.0	97.0	97.2
200 Hz	84.8	84.7	85.4	89.6	93.2	97.1	98.5	98.4	98.4	98.4	98.4	98.5	98.6
250 Hz	86.0	86.0	86.7	90.5	94.1	98.1	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5
315 Hz	86.9	86.9	87.5	91.3	94.9	98.5	99.9	99.9	99.8	99.8	99.8	99.8	99.9
400 Hz	87.7	87.7	88.4	91.7	95.3	98.9	100.3	100.3	100.2	100.2	100.2	100.2	100.2
500 Hz	88.2	88.2	88.9	92.1	95.8	99.0	100.3	100.3	100.3	100.2	100.2	100.2	100.2
630 Hz	88.3	88.3	89.0	92.2	95.8	99.0	100.3	100.3	100.3	100.3	100.2	100.2	100.2
800 Hz	88.0	88.1	88.6	91.8	95.4	98.6	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.8	99.8
1 kHz	87.4	87.4	87.9	91.1	94.6	97.8	99.1	99.1	99.1	99.1	99.1	99.0	99.0
1.25 kHz	86.3	86.4	86.8	90.0	93.5	96.6	97.9	97.9	97.9	98.0	97.9	97.9	97.8
1.6 kHz	84.9	84.9	85.4	88.4	91.9	95.1	96.3	96.3	96.4	96.4	96.4	96.3	96.3
2 kHz	83.1	83.1	83.5	86.5	90.0	93.1	94.3	94.4	94.4	94.5	94.5	94.4	94.3
2.5 kHz	80.9	80.9	81.2	84.2	87.7	90.8	92.0	92.0	92.1	92.2	92.2	92.1	92.0
3.15 kHz	78.3	78.3	78.6	81.5	85.0	88.0	89.2	89.3	89.3	89.4	89.5	89.4	89.3
4 kHz	75.3	75.3	75.5	78.4	81.8	84.9	86.1	86.1	86.2	86.3	86.4	86.3	86.2
5 kHz	72.0	71.9	72.1	74.9	78.3	81.4	82.5	82.6	82.7	82.8	82.9	82.9	82.8
6.3 kHz	68.3	68.2	68.3	71.0	74.4	77.5	78.6	78.7	78.8	79.0	79.0	79.0	79.0
8 kHz	64.2	64.1	64.0	66.8	70.1	73.1	74.3	74.3	74.5	74.7	74.8	74.8	74.7
10 kHz	59.7	59.5	59.4	62.1	65.5	68.4	69.6	69.6	69.8	70.0	70.2	70.2	70.1
12.5 kHz	54.8	54.6	54.4	57.1	60.4	63.3	64.5	64.5	64.7	65.0	65.1	65.2	65.2
16 kHz	49.5	49.3	49.1	51.6	54.9	57.9	59.0	59.0	59.2	59.5	59.7	59.8	59.8
A-wgt	97.8	97.8	98.4	101.8	105.4	108.8	110.1	110.1	110.1	110.1	110.1	110.1	110.1

Table 2: V172 PO7200-0S, expected 1/3 octave band performance
 (Blades without serrated trailing edges)

3.3 Results V172 SO1

Frequency	Hub height wind speeds [m/s]												
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
6.3 Hz	21.5	21.4	18.4	19.7	23.8	26.8	25.4	25.5	28.4	30.6	31.3	31.2	30.7
8 Hz	27.8	27.7	25.2	26.7	30.7	33.7	32.5	32.6	35.2	37.2	37.8	37.7	37.2
10 Hz	33.8	33.8	31.6	33.2	37.2	40.2	39.2	39.3	41.7	43.5	44.0	43.9	43.4
12.5 Hz	39.5	39.5	37.7	39.4	43.4	46.3	45.6	45.7	47.8	49.4	49.8	49.7	49.3
16 Hz	45.2	45.3	43.8	45.3	49.2	52.1	51.6	51.6	53.5	54.9	55.3	55.2	54.8
20 Hz	50.6	50.7	49.5	51.1	55.0	57.5	57.1	57.2	58.8	60.0	60.4	60.3	60.0
25 Hz	56.0	56.1	55.2	56.6	60.4	63.0	62.7	62.8	64.2	65.2	65.5	65.4	65.1
31.5 Hz	60.9	61.0	60.4	62.0	65.8	68.0	67.9	68.0	69.2	70.1	70.3	70.2	70.0
40 Hz	65.3	65.5	65.1	67.0	70.8	73.0	73.1	73.2	74.2	74.9	75.1	75.0	74.8
50 Hz	69.3	69.4	69.3	71.5	75.2	77.6	77.8	77.8	78.6	79.3	79.4	79.3	79.1
63 Hz	72.7	72.8	72.9	75.4	79.0	81.6	81.9	82.0	82.6	83.1	83.2	83.1	83.0
80 Hz	75.5	75.7	76.0	78.7	82.3	85.1	85.5	85.5	86.1	86.4	86.5	86.4	86.3
100 Hz	77.8	78.0	78.5	81.4	85.0	88.0	88.5	88.5	88.9	89.2	89.2	89.2	89.1
125 Hz	79.6	79.8	80.4	83.6	87.2	90.3	90.9	90.9	91.2	91.4	91.4	91.4	91.3
160 Hz	81.0	81.1	81.9	85.2	88.8	92.1	92.7	92.8	93.0	93.1	93.1	93.0	93.0
200 Hz	81.8	82.0	82.8	86.4	89.9	93.3	94.0	94.0	94.1	94.2	94.2	94.1	94.1
250 Hz	82.7	82.9	83.8	87.0	90.5	94.0	94.8	94.8	94.8	94.8	94.8	94.7	94.7
315 Hz	83.2	83.4	84.4	87.6	91.1	94.2	95.0	95.0	95.0	95.0	94.9	94.9	94.9
400 Hz	83.8	84.0	85.0	87.8	91.2	94.4	95.2	95.2	95.2	95.1	95.1	95.1	95.1
500 Hz	84.0	84.2	85.2	88.1	91.5	94.2	95.0	95.1	95.0	94.9	94.8	94.8	94.9
630 Hz	83.9	84.1	85.1	87.9	91.3	94.0	94.9	94.9	94.8	94.7	94.7	94.7	94.7
800 Hz	83.5	83.6	84.6	87.4	90.8	93.4	94.3	94.3	94.2	94.1	94.1	94.2	94.2
1 kHz	82.7	82.8	83.8	86.5	89.9	92.5	93.4	93.4	93.3	93.2	93.2	93.3	93.3
1.25 kHz	81.6	81.7	82.6	85.3	88.6	91.2	92.0	92.1	92.0	92.0	92.0	92.0	92.1
1.6 kHz	80.1	80.2	81.0	83.7	86.9	89.5	90.3	90.3	90.3	90.3	90.4	90.5	90.5
2 kHz	78.3	78.3	79.1	81.7	84.9	87.5	88.2	88.3	88.3	88.4	88.5	88.5	88.6
2.5 kHz	76.2	76.2	76.8	79.3	82.5	85.1	85.8	85.8	85.9	86.0	86.2	86.2	86.3
3.15 kHz	73.7	73.7	74.1	76.6	79.8	82.3	82.9	82.9	83.1	83.3	83.5	83.6	83.7
4 kHz	70.9	70.8	71.1	73.4	76.6	79.1	79.7	79.7	80.0	80.3	80.5	80.6	80.7
5 kHz	67.7	67.6	67.7	70.0	73.1	75.6	76.0	76.1	76.5	76.9	77.1	77.3	77.3
6.3 kHz	64.2	64.1	64.0	66.1	69.2	71.7	72.0	72.0	72.6	73.1	73.4	73.6	73.6
8 kHz	60.4	60.2	59.9	61.9	65.0	67.4	67.6	67.7	68.4	69.0	69.4	69.5	69.6
10 kHz	56.2	56.0	55.4	57.3	60.4	62.8	62.8	62.9	63.7	64.5	65.0	65.1	65.2
12.5 kHz	51.7	51.4	50.6	52.3	55.4	57.7	57.7	57.7	58.8	59.7	60.2	60.4	60.4
16 kHz	46.9	46.5	45.4	46.9	50.0	52.3	52.1	52.2	53.4	54.5	55.1	55.3	55.3
A-wgt	93.9	94.0	94.9	97.9	101.3	104.2	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0

Table 3: V172 SO1, expected 1/3 octave band performance
 (Blades with serrated trailing edges)

3.4 Results V172 SO2

Frequency	Hub height wind speeds [m/s]												
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
6.3 Hz	21.5	21.4	18.4	19.7	23.8	25.1	23.6	24.1	27.2	29.6	30.4	30.3	29.8
8 Hz	27.8	27.8	25.2	26.7	30.7	32.1	30.8	31.3	34.0	36.2	36.9	36.8	36.3
10 Hz	33.8	33.8	31.6	33.2	37.2	38.8	37.6	38.0	40.5	42.4	43.0	42.9	42.5
12.5 Hz	39.5	39.5	37.7	39.4	43.4	45.0	44.0	44.4	46.6	48.3	48.8	48.8	48.4
16 Hz	45.2	45.3	43.8	45.3	49.2	50.9	50.0	50.4	52.3	53.8	54.3	54.2	53.9
20 Hz	50.6	50.7	49.5	51.1	55.0	56.4	55.7	56.0	57.7	59.0	59.4	59.3	59.0
25 Hz	56.0	56.1	55.2	56.6	60.5	61.9	61.3	61.6	63.1	64.2	64.5	64.5	64.2
31.5 Hz	60.9	61.0	60.4	62.0	65.9	67.1	66.6	66.8	68.1	69.0	69.3	69.2	69.0
40 Hz	65.3	65.5	65.1	67.0	70.8	72.1	71.8	72.0	73.0	73.9	74.1	74.0	73.8
50 Hz	69.3	69.4	69.3	71.5	75.2	76.7	76.5	76.7	77.5	78.2	78.4	78.3	78.1
63 Hz	72.7	72.8	72.9	75.4	79.1	80.8	80.7	80.8	81.5	82.1	82.2	82.1	82.0
80 Hz	75.5	75.7	76.0	78.7	82.3	84.4	84.3	84.4	85.0	85.4	85.5	85.4	85.3
100 Hz	77.8	78.0	78.5	81.4	85.1	87.3	87.4	87.4	87.9	88.2	88.2	88.2	88.1
125 Hz	79.6	79.8	80.4	83.6	87.2	89.7	89.8	89.9	90.2	90.4	90.4	90.4	90.3
160 Hz	81.0	81.1	81.9	85.2	88.8	91.5	91.7	91.7	91.9	92.0	92.1	92.0	91.9
200 Hz	81.8	82.0	82.8	86.4	89.9	92.7	93.0	93.0	93.1	93.1	93.2	93.1	93.1
250 Hz	82.7	82.9	83.8	87.0	90.5	93.5	93.7	93.8	93.8	93.8	93.8	93.7	93.7
315 Hz	83.2	83.4	84.4	87.6	91.1	93.7	94.0	94.0	94.0	93.9	93.9	93.9	93.9
400 Hz	83.8	84.0	85.0	87.8	91.3	93.9	94.2	94.2	94.2	94.1	94.1	94.1	94.1
500 Hz	84.0	84.2	85.2	88.1	91.5	93.7	94.1	94.1	94.0	93.9	93.8	93.8	93.9
630 Hz	83.9	84.1	85.1	87.9	91.3	93.5	93.9	93.9	93.8	93.7	93.7	93.7	93.7
800 Hz	83.5	83.6	84.6	87.4	90.8	93.0	93.4	93.4	93.2	93.1	93.1	93.2	93.2
1 kHz	82.7	82.8	83.8	86.5	89.9	92.1	92.4	92.4	92.3	92.2	92.2	92.3	92.3
1.25 kHz	81.6	81.7	82.6	85.3	88.6	90.8	91.1	91.1	91.0	91.0	91.0	91.1	91.1
1.6 kHz	80.1	80.2	81.0	83.7	87.0	89.1	89.4	89.4	89.4	89.4	89.4	89.5	89.6
2 kHz	78.3	78.3	79.1	81.7	84.9	87.0	87.3	87.3	87.3	87.4	87.5	87.6	87.6
2.5 kHz	76.2	76.2	76.8	79.3	82.6	84.6	84.8	84.8	84.9	85.1	85.2	85.3	85.4
3.15 kHz	73.7	73.7	74.1	76.6	79.8	81.8	81.9	82.0	82.2	82.4	82.5	82.6	82.7
4 kHz	70.9	70.8	71.1	73.4	76.7	78.6	78.7	78.7	79.0	79.3	79.5	79.7	79.8
5 kHz	67.7	67.6	67.7	70.0	73.1	75.0	75.0	75.1	75.5	75.9	76.2	76.3	76.4
6.3 kHz	64.2	64.1	64.0	66.1	69.3	71.1	71.0	71.1	71.7	72.2	72.5	72.6	72.7
8 kHz	60.4	60.2	59.9	61.9	65.0	66.7	66.5	66.7	67.4	68.1	68.4	68.6	68.7
10 kHz	56.2	56.0	55.4	57.3	60.4	62.0	61.7	61.9	62.8	63.6	64.0	64.2	64.3
12.5 kHz	51.7	51.4	50.6	52.3	55.4	56.9	56.5	56.7	57.8	58.8	59.3	59.5	59.6
16 kHz	46.9	46.5	45.4	46.9	50.0	51.5	51.0	51.2	52.5	53.6	54.1	54.4	54.5
A-wgt	93.9	94.0	94.9	97.9	101.3	103.7	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0

Table 4: V172 SO2, expected 1/3 octave band performance
 (Blades with serrated trailing edges)

3.5 Results V172 SO3

Frequency	Hub height wind speeds [m/s]												
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
6.3 Hz	21.5	21.4	18.4	19.7	23.8	23.1	22.1	22.8	25.9	28.5	29.4	29.4	29.0
8 Hz	27.8	27.8	25.2	26.7	30.7	30.3	29.4	30.0	32.7	35.1	35.9	35.9	35.5
10 Hz	33.8	33.8	31.6	33.2	37.2	37.0	36.2	36.8	39.2	41.3	42.1	42.0	41.7
12.5 Hz	39.5	39.5	37.7	39.4	43.4	43.4	42.7	43.2	45.3	47.2	47.9	47.8	47.5
16 Hz	45.2	45.3	43.8	45.3	49.2	49.4	48.7	49.2	51.1	52.7	53.3	53.3	53.0
20 Hz	50.6	50.7	49.5	51.1	55.0	55.0	54.4	54.8	56.5	57.9	58.4	58.4	58.1
25 Hz	56.0	56.1	55.2	56.6	60.4	60.6	60.1	60.4	61.9	63.1	63.5	63.5	63.2
31.5 Hz	60.9	61.0	60.4	62.0	65.8	65.8	65.4	65.7	66.9	68.0	68.3	68.3	68.0
40 Hz	65.3	65.5	65.1	67.0	70.8	71.0	70.6	70.9	71.9	72.8	73.1	73.0	72.8
50 Hz	69.3	69.4	69.3	71.5	75.2	75.6	75.4	75.6	76.4	77.2	77.4	77.3	77.2
63 Hz	72.7	72.8	72.9	75.4	79.0	79.8	79.6	79.7	80.4	81.0	81.2	81.2	81.0
80 Hz	75.5	75.7	76.0	78.7	82.3	83.4	83.2	83.3	83.9	84.3	84.5	84.4	84.3
100 Hz	77.8	78.0	78.5	81.4	85.1	86.4	86.3	86.4	86.8	87.1	87.2	87.2	87.1
125 Hz	79.6	79.8	80.4	83.6	87.2	88.8	88.7	88.8	89.1	89.3	89.4	89.4	89.3
160 Hz	81.0	81.1	81.9	85.2	88.8	90.7	90.6	90.7	90.9	91.0	91.0	91.0	90.9
200 Hz	81.8	82.0	82.8	86.4	89.9	92.0	91.9	92.0	92.1	92.1	92.1	92.1	92.1
250 Hz	82.7	82.9	83.8	87.0	90.5	92.7	92.7	92.7	92.8	92.8	92.8	92.7	92.7
315 Hz	83.2	83.4	84.4	87.6	91.1	93.0	93.0	93.0	93.0	92.9	92.9	92.9	92.9
400 Hz	83.8	84.0	85.0	87.8	91.3	93.2	93.3	93.2	93.2	93.1	93.1	93.0	93.0
500 Hz	84.0	84.2	85.2	88.1	91.5	93.0	93.1	93.1	93.0	92.9	92.8	92.8	92.9
630 Hz	83.9	84.1	85.1	87.9	91.3	92.9	92.9	92.9	92.8	92.7	92.7	92.7	92.7
800 Hz	83.5	83.6	84.6	87.4	90.8	92.3	92.4	92.4	92.3	92.1	92.1	92.2	92.2
1 kHz	82.7	82.8	83.8	86.5	89.9	91.4	91.5	91.4	91.3	91.3	91.3	91.3	91.3
1.25 kHz	81.6	81.7	82.6	85.3	88.6	90.1	90.2	90.1	90.1	90.0	90.0	90.1	90.1
1.6 kHz	80.1	80.2	81.0	83.7	87.0	88.4	88.4	88.4	88.4	88.4	88.4	88.5	88.6
2 kHz	78.3	78.3	79.1	81.7	84.9	86.3	86.3	86.3	86.4	86.4	86.5	86.6	86.7
2.5 kHz	76.2	76.2	76.8	79.3	82.5	83.9	83.9	83.9	84.0	84.1	84.2	84.3	84.4
3.15 kHz	73.7	73.7	74.1	76.6	79.8	81.0	81.0	81.0	81.2	81.4	81.6	81.7	81.8
4 kHz	70.9	70.8	71.1	73.4	76.6	77.8	77.7	77.8	78.1	78.4	78.6	78.7	78.8
5 kHz	67.7	67.6	67.7	70.0	73.1	74.2	74.1	74.2	74.6	75.0	75.3	75.4	75.5
6.3 kHz	64.2	64.1	64.0	66.1	69.3	70.2	70.0	70.1	70.7	71.3	71.6	71.7	71.8
8 kHz	60.4	60.2	59.9	61.9	65.0	65.8	65.6	65.7	66.5	67.1	67.5	67.7	67.8
10 kHz	56.2	56.0	55.4	57.3	60.4	61.0	60.8	61.0	61.8	62.7	63.1	63.4	63.5
12.5 kHz	51.7	51.4	50.6	52.3	55.4	55.9	55.6	55.8	56.8	57.9	58.4	58.6	58.7
16 kHz	46.9	46.5	45.4	46.9	50.0	50.4	50.0	50.2	51.5	52.7	53.3	53.6	53.7
A-wgt	93.9	94.0	94.9	97.9	101.3	103.0	103.0	103.0	103.0	103.0	103.0	103.0	103.0

Table 5: V172 SO3, expected 1/3 octave band performance
 (Blades with serrated trailing edges)

3.6 Results V172 SO4

Frequency	Hub height wind speeds [m/s]													
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s	
6.3 Hz	21.5	21.4	18.4	19.7	23.3	21.3	21.2	22.0	24.7	27.3	28.4	28.5	28.1	
8 Hz	27.8	27.7	25.2	26.7	30.3	28.6	28.4	29.1	31.6	33.9	34.9	35.0	34.6	
10 Hz	33.8	33.8	31.6	33.2	36.9	35.4	35.3	35.9	38.1	40.2	41.1	41.1	40.8	
12.5 Hz	39.5	39.5	37.7	39.4	43.0	41.9	41.8	42.3	44.3	46.1	46.8	46.9	46.6	
16 Hz	45.2	45.3	43.8	45.3	48.9	47.9	47.8	48.3	50.1	51.6	52.3	52.3	52.1	
20 Hz	50.6	50.7	49.5	51.1	54.7	54.0	53.9	54.4	55.9	56.8	57.4	57.4	57.2	
25 Hz	56.0	56.1	55.2	56.6	60.2	59.7	59.6	60.0	61.3	62.0	62.5	62.5	62.3	
31.5 Hz	60.9	61.0	60.4	62.0	65.6	65.3	65.2	65.6	66.7	66.9	67.3	67.3	67.1	
40 Hz	65.3	65.5	65.1	67.0	70.5	70.4	70.4	70.7	71.6	71.7	72.0	72.0	71.9	
50 Hz	69.3	69.4	69.3	71.5	75.0	75.0	75.0	75.2	76.0	76.1	76.4	76.3	76.2	
63 Hz	72.7	72.8	72.9	75.4	78.9	79.1	79.0	79.2	79.8	79.9	80.2	80.1	80.0	
80 Hz	75.5	75.7	76.0	78.7	82.2	82.5	82.5	82.6	83.1	83.3	83.4	83.4	83.3	
100 Hz	77.8	78.0	78.5	81.4	84.9	85.4	85.4	85.5	85.8	86.1	86.2	86.2	86.1	
125 Hz	79.6	79.8	80.4	83.6	87.1	87.6	87.6	87.7	88.0	88.3	88.4	88.3	88.3	
160 Hz	80.9	81.1	81.9	85.2	88.7	89.4	89.3	89.4	89.6	90.0	90.0	90.0	89.9	
200 Hz	81.8	82.0	82.8	86.4	89.8	90.5	90.5	90.5	90.6	91.1	91.1	91.1	91.0	
250 Hz	82.7	82.9	83.8	87.0	90.4	91.2	91.2	91.2	91.2	91.7	91.7	91.7	91.7	
315 Hz	83.2	83.4	84.4	87.6	91.0	91.8	91.8	91.8	91.8	91.9	91.9	91.9	91.9	
400 Hz	83.8	84.0	85.0	87.8	91.2	92.1	92.1	92.1	92.0	92.1	92.0	92.0	92.0	
500 Hz	84.0	84.2	85.2	88.1	91.4	92.3	92.3	92.3	92.2	91.9	91.8	91.8	91.8	
630 Hz	83.9	84.1	85.1	87.9	91.2	92.2	92.2	92.2	92.0	91.7	91.7	91.7	91.7	
800 Hz	83.5	83.6	84.6	87.4	90.7	91.6	91.6	91.6	91.5	91.2	91.1	91.1	91.2	
1 kHz	82.7	82.8	83.8	86.5	89.8	90.7	90.7	90.7	90.6	90.3	90.3	90.3	90.3	
1.25 kHz	81.6	81.7	82.6	85.3	88.5	89.4	89.4	89.4	89.3	89.0	89.0	89.1	89.1	
1.6 kHz	80.1	80.2	81.0	83.7	86.9	87.7	87.7	87.7	87.7	87.4	87.5	87.5	87.6	
2 kHz	78.3	78.3	79.1	81.7	84.8	85.6	85.6	85.6	85.6	85.5	85.5	85.6	85.7	
2.5 kHz	76.2	76.2	76.8	79.3	82.4	83.1	83.1	83.2	83.3	83.2	83.3	83.4	83.4	
3.15 kHz	73.7	73.7	74.1	76.6	79.7	80.3	80.3	80.3	80.5	80.5	80.6	80.7	80.8	
4 kHz	70.9	70.8	71.1	73.4	76.5	77.0	77.0	77.1	77.3	77.4	77.7	77.8	77.9	
5 kHz	67.7	67.6	67.7	70.0	73.0	73.4	73.4	73.5	73.8	74.1	74.3	74.5	74.6	
6.3 kHz	64.2	64.1	64.0	66.1	69.1	69.3	69.3	69.5	70.0	70.3	70.6	70.8	70.9	
8 kHz	60.4	60.2	59.9	61.9	64.8	64.9	64.9	65.1	65.7	66.2	66.6	66.8	66.9	
10 kHz	56.2	56.0	55.4	57.3	60.2	60.1	60.1	60.3	61.1	61.7	62.2	62.5	62.6	
12.5 kHz	51.7	51.4	50.6	52.3	55.2	54.9	54.9	55.1	56.1	56.9	57.5	57.8	57.9	
16 kHz	46.9	46.5	45.4	46.9	49.8	49.3	49.3	49.6	50.7	51.8	52.4	52.7	52.8	
A-wgt	93.9	94.0	94.9	97.9	101.2	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	

Table 6: V172 SO4, expected 1/3 octave band performance
 (Blades with serrated trailing edges)

3.7 Results V172 SO5

Frequency	Hub height wind speeds [m/s]													
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s	
6.3 Hz	21.5	21.4	18.4	19.7	21.5	19.7	19.9	20.7	23.3	26.5	27.6	27.8	27.5	
8 Hz	27.8	27.7	25.2	26.7	28.6	27.0	27.2	27.8	30.3	33.1	34.1	34.3	34.0	
10 Hz	33.8	33.8	31.6	33.2	35.3	33.9	34.1	34.7	36.8	39.4	40.3	40.4	40.1	
12.5 Hz	39.5	39.5	37.7	39.4	41.6	40.4	40.5	41.1	43.0	45.3	46.1	46.2	45.9	
16 Hz	45.2	45.3	43.8	45.3	47.6	46.5	46.6	47.1	48.8	50.8	51.5	51.6	51.3	
20 Hz	50.6	50.7	49.5	51.1	53.5	52.6	52.7	53.1	54.6	56.4	57.0	57.1	56.8	
25 Hz	56.0	56.1	55.2	56.6	59.0	58.3	58.4	58.8	60.1	61.6	62.1	62.2	61.9	
31.5 Hz	60.9	61.0	60.4	62.0	64.6	64.0	64.1	64.4	65.5	66.8	67.2	67.3	67.1	
40 Hz	65.3	65.5	65.1	67.0	69.6	69.2	69.2	69.5	70.4	71.5	71.9	71.9	71.7	
50 Hz	69.3	69.4	69.3	71.5	74.1	73.8	73.9	74.1	74.9	75.7	76.0	76.0	75.9	
63 Hz	72.7	72.8	72.9	75.4	78.1	77.9	77.9	78.1	78.7	79.4	79.7	79.7	79.5	
80 Hz	75.5	75.7	76.0	78.7	81.4	81.4	81.4	81.5	82.0	82.6	82.8	82.8	82.6	
100 Hz	77.8	78.0	78.5	81.4	84.2	84.2	84.3	84.4	84.8	85.2	85.3	85.3	85.2	
125 Hz	79.6	79.8	80.4	83.6	86.4	86.5	86.6	86.6	86.9	87.2	87.3	87.3	87.2	
160 Hz	80.9	81.1	81.9	85.2	88.1	88.3	88.3	88.3	88.5	88.7	88.7	88.7	88.7	
200 Hz	81.8	82.0	82.8	86.4	89.2	89.5	89.5	89.5	89.6	89.7	89.7	89.7	89.6	
250 Hz	82.7	82.9	83.8	87.0	89.9	90.2	90.2	90.2	90.2	90.2	90.2	90.2	90.2	
315 Hz	83.2	83.4	84.4	87.6	90.5	90.8	90.8	90.8	90.8	90.7	90.7	90.7	90.7	
400 Hz	83.8	84.0	85.0	87.8	90.7	91.1	91.1	91.1	91.0	90.9	90.9	90.8	90.8	
500 Hz	84.0	84.2	85.2	88.1	90.9	91.3	91.3	91.3	91.2	91.1	91.0	91.0	91.0	
630 Hz	83.9	84.1	85.1	87.9	90.8	91.2	91.2	91.2	91.1	90.9	90.9	90.9	90.9	
800 Hz	83.5	83.6	84.6	87.4	90.3	90.7	90.7	90.6	90.5	90.4	90.4	90.4	90.4	
1 kHz	82.7	82.8	83.8	86.5	89.4	89.7	89.7	89.7	89.6	89.5	89.5	89.5	89.6	
1.25 kHz	81.6	81.7	82.6	85.3	88.1	88.4	88.4	88.4	88.4	88.3	88.3	88.3	88.4	
1.6 kHz	80.1	80.2	81.0	83.7	86.4	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.8	86.8	
2 kHz	78.3	78.3	79.1	81.7	84.4	84.6	84.6	84.6	84.7	84.7	84.8	84.9	85.0	
2.5 kHz	76.2	76.2	76.8	79.3	81.9	82.2	82.2	82.2	82.3	82.4	82.5	82.6	82.7	
3.15 kHz	73.7	73.7	74.1	76.6	79.1	79.3	79.3	79.3	79.5	79.8	79.9	80.0	80.1	
4 kHz	70.9	70.8	71.1	73.4	75.9	76.0	76.0	76.1	76.4	76.7	76.9	77.1	77.2	
5 kHz	67.7	67.6	67.7	70.0	72.4	72.4	72.4	72.5	72.9	73.4	73.6	73.8	73.9	
6.3 kHz	64.2	64.1	64.0	66.1	68.4	68.3	68.4	68.5	69.0	69.6	70.0	70.1	70.3	
8 kHz	60.4	60.2	59.9	61.9	64.1	63.9	63.9	64.1	64.7	65.5	65.9	66.2	66.3	
10 kHz	56.2	56.0	55.4	57.3	59.4	59.1	59.1	59.3	60.1	61.1	61.6	61.8	62.0	
12.5 kHz	51.7	51.4	50.6	52.3	54.3	53.8	53.9	54.2	55.1	56.3	56.8	57.1	57.3	
16 kHz	46.9	46.5	45.4	46.9	48.8	48.2	48.3	48.6	49.7	51.1	51.8	52.1	52.3	
A-wgt	93.9	94.0	94.9	97.9	100.7	101.0	101.0	101.0	101.0	101.0	101.0	101.0	101.0	

Table 7: V172 SO5, expected 1/3 octave band performance
 (Blades with serrated trailing edges)

3.8 Results V172 SO6

Frequency	Hub height wind speeds [m/s]												
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
6.3 Hz	21.5	21.4	18.4	19.7	19.3	18.4	18.8	19.4	21.7	25.0	26.6	26.9	26.6
8 Hz	27.8	27.7	25.2	26.6	26.5	25.7	26.1	26.7	28.7	31.7	33.1	33.4	33.1
10 Hz	33.8	33.8	31.6	33.2	33.3	32.6	33.0	33.5	35.3	38.0	39.2	39.5	39.2
12.5 Hz	39.5	39.5	37.7	39.4	39.8	39.2	39.4	39.9	41.5	43.9	45.0	45.2	45.0
16 Hz	45.2	45.3	43.8	45.2	45.8	45.3	45.5	46.0	47.4	49.5	50.5	50.6	50.4
20 Hz	50.6	50.7	49.5	51.1	51.9	51.4	51.7	52.0	53.2	55.1	55.9	56.1	55.9
25 Hz	56.0	56.1	55.2	56.6	57.6	57.2	57.4	57.7	58.7	60.3	61.1	61.2	61.0
31.5 Hz	60.9	61.0	60.4	62.0	63.2	62.8	63.0	63.3	64.2	65.6	66.2	66.2	66.1
40 Hz	65.3	65.5	65.1	67.0	68.3	68.0	68.2	68.4	69.2	70.3	70.8	70.9	70.7
50 Hz	69.3	69.4	69.3	71.4	72.9	72.7	72.8	73.0	73.6	74.6	75.0	75.0	74.9
63 Hz	72.7	72.8	72.9	75.3	76.9	76.8	76.9	77.0	77.5	78.3	78.6	78.6	78.5
80 Hz	75.5	75.7	76.0	78.7	80.4	80.3	80.3	80.5	80.9	81.5	81.7	81.7	81.6
100 Hz	77.8	78.0	78.5	81.4	83.2	83.2	83.2	83.3	83.6	84.1	84.2	84.2	84.2
125 Hz	79.6	79.8	80.4	83.6	85.5	85.5	85.5	85.6	85.8	86.1	86.2	86.2	86.1
160 Hz	80.9	81.1	81.9	85.2	87.2	87.2	87.3	87.3	87.4	87.6	87.7	87.7	87.6
200 Hz	81.8	82.0	82.8	86.3	88.4	88.4	88.4	88.5	88.5	88.6	88.7	88.6	88.6
250 Hz	82.7	82.9	83.8	87.0	89.1	89.1	89.2	89.2	89.2	89.2	89.2	89.2	89.1
315 Hz	83.2	83.4	84.4	87.6	89.8	89.8	89.8	89.8	89.8	89.7	89.7	89.7	89.7
400 Hz	83.8	84.0	85.0	87.8	90.0	90.1	90.1	90.0	90.0	89.9	89.8	89.8	89.8
500 Hz	84.0	84.2	85.2	88.1	90.3	90.3	90.3	90.3	90.2	90.1	90.0	90.0	90.0
630 Hz	83.9	84.1	85.1	87.9	90.1	90.2	90.2	90.2	90.1	89.9	89.9	89.9	89.9
800 Hz	83.5	83.6	84.6	87.4	89.6	89.7	89.7	89.6	89.6	89.4	89.4	89.4	89.4
1 kHz	82.7	82.8	83.8	86.5	88.7	88.8	88.8	88.7	88.7	88.5	88.5	88.5	88.6
1.25 kHz	81.6	81.7	82.6	85.3	87.4	87.5	87.5	87.4	87.4	87.3	87.3	87.3	87.4
1.6 kHz	80.1	80.2	81.0	83.7	85.7	85.8	85.8	85.8	85.7	85.7	85.7	85.8	85.9
2 kHz	78.3	78.3	79.1	81.7	83.6	83.7	83.7	83.7	83.7	83.8	83.8	83.9	84.0
2.5 kHz	76.2	76.2	76.8	79.3	81.2	81.2	81.2	81.2	81.3	81.5	81.6	81.7	81.8
3.15 kHz	73.7	73.7	74.1	76.5	78.3	78.3	78.4	78.4	78.5	78.8	79.0	79.1	79.2
4 kHz	70.9	70.8	71.1	73.4	75.1	75.1	75.1	75.2	75.4	75.8	76.0	76.2	76.3
5 kHz	67.7	67.6	67.7	69.9	71.5	71.4	71.5	71.6	71.9	72.4	72.7	72.9	73.0
6.3 kHz	64.2	64.1	64.0	66.1	67.5	67.4	67.5	67.6	68.0	68.6	69.0	69.2	69.4
8 kHz	60.4	60.2	59.9	61.8	63.1	63.0	63.0	63.2	63.7	64.5	65.0	65.3	65.4
10 kHz	56.2	56.0	55.4	57.2	58.3	58.1	58.2	58.4	59.0	60.1	60.7	61.0	61.1
12.5 kHz	51.7	51.4	50.6	52.2	53.2	52.9	53.0	53.3	54.0	55.3	56.0	56.3	56.4
16 kHz	46.9	46.5	45.4	46.9	47.6	47.3	47.5	47.7	48.6	50.1	50.9	51.3	51.4
A-wgt	93.9	94.0	94.9	97.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Table 8: V172 SO6, expected 1/3 octave band performance
 (Blades with serrated trailing edges)

3.9 Results V172 SO7

Frequency	Hub height wind speeds [m/s]												
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
6.3 Hz	21.5	21.4	18.4	19.3	17.2	17.2	17.8	18.2	20.3	23.7	25.5	26.0	25.8
8 Hz	27.8	27.7	25.2	26.2	24.5	24.5	25.1	25.4	27.3	30.3	32.0	32.5	32.3
10 Hz	33.8	33.8	31.6	32.9	31.4	31.5	32.0	32.3	33.9	36.7	38.2	38.6	38.4
12.5 Hz	39.5	39.5	37.7	39.1	38.0	38.0	38.4	38.7	40.2	42.6	44.0	44.3	44.1
16 Hz	45.2	45.3	43.8	45.0	44.1	44.1	44.5	44.8	46.1	48.2	49.4	49.7	49.5
20 Hz	50.6	50.7	49.5	50.8	50.3	50.3	50.6	50.9	52.0	53.9	54.9	55.1	55.0
25 Hz	56.0	56.1	55.2	56.3	56.0	56.0	56.3	56.5	57.5	59.1	60.0	60.2	60.1
31.5 Hz	60.9	61.0	60.4	61.8	61.7	61.7	62.0	62.2	63.0	64.4	65.1	65.3	65.2
40 Hz	65.3	65.5	65.1	66.8	66.9	66.9	67.2	67.3	68.0	69.2	69.8	69.9	69.8
50 Hz	69.3	69.4	69.3	71.3	71.6	71.6	71.8	71.9	72.5	73.4	73.9	74.0	74.0
63 Hz	72.7	72.8	72.9	75.2	75.7	75.7	75.8	75.9	76.4	77.2	77.6	77.7	77.6
80 Hz	75.5	75.7	76.0	78.5	79.2	79.2	79.3	79.4	79.8	80.4	80.7	80.7	80.7
100 Hz	77.8	78.0	78.5	81.3	82.1	82.1	82.2	82.3	82.6	83.0	83.2	83.3	83.2
125 Hz	79.6	79.8	80.4	83.5	84.4	84.4	84.5	84.5	84.8	85.1	85.2	85.2	85.2
160 Hz	80.9	81.1	81.9	85.1	86.2	86.2	86.2	86.3	86.4	86.6	86.7	86.7	86.7
200 Hz	81.8	82.0	82.8	86.2	87.4	87.4	87.4	87.5	87.5	87.6	87.7	87.7	87.6
250 Hz	82.7	82.9	83.8	86.9	88.1	88.1	88.1	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
315 Hz	83.2	83.4	84.4	87.5	88.8	88.8	88.8	88.8	88.8	88.7	88.7	88.7	88.7
400 Hz	83.8	84.0	85.0	87.7	89.1	89.1	89.1	89.1	89.0	88.9	88.9	88.8	88.9
500 Hz	84.0	84.2	85.2	88.0	89.4	89.4	89.3	89.3	89.2	89.1	89.0	89.0	89.1
630 Hz	83.9	84.1	85.1	87.8	89.2	89.2	89.2	89.2	89.1	89.0	88.9	88.9	88.9
800 Hz	83.5	83.6	84.6	87.3	88.7	88.7	88.7	88.7	88.6	88.5	88.4	88.4	88.4
1 kHz	82.7	82.8	83.8	86.5	87.8	87.8	87.8	87.8	87.7	87.6	87.5	87.5	87.6
1.25 kHz	81.6	81.7	82.6	85.2	86.5	86.5	86.5	86.5	86.4	86.4	86.3	86.4	86.4
1.6 kHz	80.1	80.2	81.0	83.6	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.8	84.9
2 kHz	78.3	78.3	79.1	81.6	82.7	82.7	82.8	82.8	82.8	82.8	82.9	83.0	83.1
2.5 kHz	76.2	76.2	76.8	79.2	80.3	80.3	80.3	80.3	80.4	80.5	80.6	80.7	80.8
3.15 kHz	73.7	73.7	74.1	76.4	77.4	77.4	77.5	77.5	77.6	77.8	78.0	78.2	78.3
4 kHz	70.9	70.8	71.1	73.3	74.2	74.2	74.2	74.3	74.4	74.8	75.1	75.2	75.4
5 kHz	67.7	67.6	67.7	69.8	70.5	70.5	70.6	70.6	70.9	71.4	71.8	72.0	72.1
6.3 kHz	64.2	64.1	64.0	65.9	66.5	66.5	66.6	66.6	67.0	67.7	68.1	68.4	68.5
8 kHz	60.4	60.2	59.9	61.7	62.0	62.0	62.2	62.3	62.7	63.6	64.1	64.4	64.6
10 kHz	56.2	56.0	55.4	57.1	57.2	57.2	57.4	57.5	58.1	59.1	59.8	60.1	60.3
12.5 kHz	51.7	51.4	50.6	52.1	52.0	52.0	52.2	52.3	53.0	54.3	55.1	55.5	55.7
16 kHz	46.9	46.5	45.4	46.7	46.4	46.4	46.6	46.8	47.6	49.1	50.0	50.5	50.7
A-wgt	93.9	94.0	94.9	97.7	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0

Table 9: V172 SO7, expected 1/3 octave band performance
 (Blades with serrated trailing edges)

3.10 Results V172 SO8

Frequency	Hub height wind speeds [m/s]													
	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s	
6.3 Hz	21.5	21.4	18.4	18.2	15.7	16.1	16.7	17.3	19.0	22.0	24.4	25.1	25.0	
8 Hz	27.8	27.7	25.2	25.3	23.0	23.4	24.0	24.5	26.0	28.8	30.9	31.5	31.4	
10 Hz	33.8	33.8	31.6	32.0	30.0	30.3	30.9	31.3	32.7	35.2	37.0	37.6	37.5	
12.5 Hz	39.5	39.5	37.7	38.3	36.6	36.9	37.4	37.8	39.0	41.2	42.8	43.3	43.2	
16 Hz	45.2	45.3	43.8	44.6	42.8	43.0	43.5	43.8	44.9	46.8	48.3	48.7	48.6	
20 Hz	50.6	50.7	49.5	50.6	49.0	49.2	49.6	49.9	50.8	52.5	53.8	54.1	54.1	
25 Hz	56.0	56.1	55.2	56.5	54.7	54.9	55.3	55.5	56.4	57.8	58.9	59.2	59.1	
31.5 Hz	60.9	61.0	60.4	61.9	60.5	60.6	60.9	61.1	61.9	63.1	64.0	64.3	64.2	
40 Hz	65.3	65.5	65.1	66.8	65.7	65.8	66.1	66.3	66.9	67.9	68.7	68.9	68.8	
50 Hz	69.3	69.4	69.3	71.2	70.4	70.5	70.7	70.9	71.4	72.3	72.9	73.0	73.0	
63 Hz	72.7	72.8	72.9	74.9	74.5	74.6	74.8	74.9	75.3	76.0	76.5	76.7	76.6	
80 Hz	75.5	75.7	76.0	78.1	78.1	78.1	78.3	78.4	78.7	79.2	79.6	79.7	79.7	
100 Hz	77.8	78.0	78.5	80.7	81.0	81.0	81.1	81.2	81.5	81.9	82.2	82.2	82.2	
125 Hz	79.6	79.8	80.4	82.8	83.3	83.4	83.5	83.5	83.7	84.0	84.2	84.2	84.2	
160 Hz	80.9	81.1	81.9	84.3	85.1	85.1	85.2	85.2	85.4	85.6	85.7	85.7	85.6	
200 Hz	81.8	82.0	82.8	85.4	86.4	86.4	86.4	86.4	86.5	86.6	86.7	86.6	86.6	
250 Hz	82.7	82.9	83.8	86.4	87.1	87.1	87.1	87.1	87.2	87.2	87.2	87.2	87.1	
315 Hz	83.2	83.4	84.4	87.0	87.8	87.8	87.8	87.8	87.8	87.7	87.7	87.7	87.7	
400 Hz	83.8	84.0	85.0	87.6	88.1	88.1	88.0	88.0	88.0	87.9	87.9	87.8	87.8	
500 Hz	84.0	84.2	85.2	87.9	88.3	88.3	88.3	88.3	88.3	88.2	88.1	88.0	88.0	
630 Hz	83.9	84.1	85.1	87.8	88.2	88.2	88.2	88.2	88.1	88.0	87.9	87.9	87.9	
800 Hz	83.5	83.6	84.6	87.3	87.7	87.7	87.7	87.7	87.6	87.5	87.4	87.4	87.4	
1 kHz	82.7	82.8	83.8	86.4	86.8	86.8	86.8	86.8	86.7	86.6	86.6	86.6	86.6	
1.25 kHz	81.6	81.7	82.6	85.1	85.5	85.5	85.5	85.5	85.5	85.4	85.4	85.4	85.4	
1.6 kHz	80.1	80.2	81.0	83.5	83.9	83.9	83.8	83.8	83.8	83.8	83.8	83.9	83.9	
2 kHz	78.3	78.3	79.1	81.5	81.8	81.8	81.8	81.8	81.8	81.9	81.9	82.0	82.1	
2.5 kHz	76.2	76.2	76.8	79.1	79.3	79.3	79.3	79.4	79.4	79.6	79.7	79.8	79.9	
3.15 kHz	73.7	73.7	74.1	76.3	76.4	76.5	76.5	76.5	76.7	76.9	77.1	77.2	77.3	
4 kHz	70.9	70.8	71.1	73.1	73.2	73.2	73.3	73.3	73.5	73.8	74.1	74.3	74.4	
5 kHz	67.7	67.6	67.7	69.6	69.5	69.6	69.7	69.7	70.0	70.4	70.8	71.1	71.2	
6.3 kHz	64.2	64.1	64.0	65.7	65.5	65.6	65.7	65.8	66.1	66.7	67.2	67.5	67.6	
8 kHz	60.4	60.2	59.9	61.4	61.0	61.1	61.3	61.4	61.8	62.5	63.2	63.5	63.7	
10 kHz	56.2	56.0	55.4	56.7	56.2	56.3	56.5	56.7	57.2	58.1	58.8	59.2	59.4	
12.5 kHz	51.7	51.4	50.6	51.7	51.0	51.1	51.3	51.5	52.1	53.2	54.1	54.6	54.8	
16 kHz	46.9	46.5	45.4	46.3	45.4	45.5	45.8	46.0	46.7	48.0	49.1	49.6	49.9	
A-wgt	93.9	94.0	94.9	97.5	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	

Table 10: V172 SO8, expected 1/3 octave band performance
 (Blades with serrated trailing edges)

4. Limitations

The values as stated in the present document are to be regarded as “best estimates” for the octave band performance for the turbine. The values are to be regarded as informative and cannot in any way be used as guaranteed for any projects.

The complete document can be handed out as pdf and must always be referred to using the complete document DMS number.

5. Recalculation to 10 m wind speeds

In case 10 m height wind speed references are required, recalculation of the stated values can be made using the following procedure:

1. The stated hub height wind speeds are recalculated to 10 m reference height.
2. Integer 10 m height wind speed related sound power levels are calculated using linear interpolation between the nearest non-integer values.

Recalculation is made using procedures as defined in IEC 61400-11 ed.3. Appendix D.

Anhang H Grundlagen Lärmmodellierung: Weibull-Parameter

Weibull-Parameter

WEA 1

Ost: 2'715'807

Nord: 1'268'587

		A-Parameter	Windgeschw	k-Parameter
		[m/s]	[m/s]	
Global		6.255	5.560	1.819
Nacht	19.00-6.50	6.665	5.910	1.954
Tag	7.00-18.50	5.813	5.189	1.690

WEA2

Ost: 2'715'521

Nord: 1'268'994

		A-Parameter	Windgeschw	k-Parameter
		[m/s]	[m/s]	
Global		6.481	5.760	1.825
Nacht	19.00-6.50	6.906	6.123	1.961
Tag	7.00-18.50	6.024	5.376	1.695

WEA3

Ost: 2'716'247

Nord: 1'269'170

		A-Parameter	Windgeschw	k-Parameter
		[m/s]	[m/s]	
Global		6.548	5.820	1.820
Nacht	19.00-6.50	6.977	6.186	1.955
Tag	7.00-18.50	6.085	5.432	1.691

Anhang I Lärm: Emissionsberechnungen pro Anlage und Windenergieanlage

Lärmberechnung - Emissionen ohne Verdünnung

Schalleistungspegel, Berechnung und Resultate

Konfiguration	H	H	H
Hersteller	Enercon	Enercon	EnVentus
Typ	E-160	E-175 EP5	2-7.2 MW50/60
Betriebsmodus	106.0 dB	OM-V0-12-0	P07200
Tageslänge	24 heures	24 heures	24 heures
Nabenhöhe	166	175	175
Periode 10	1440	1440	1440
Windgeschwindigkeit Ht	(m/s)	(dB(A))	(dB(A))
0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0
3	97.3	102.9	94.6
4	97.3	102.9	94.6
5	97.3	102.9	95.2
6	101.2	103.8	98.6
7	104.4	106.2	102.2
8	105.9	106.9	105.6
9	106.0	107.5	106.9
10	106.0	107.5	106.9
11	106.0	107.5	106.9
12	106.0	107.5	106.9
13	106.0	107.5	106.9
14	106.0	107.5	106.9
15	106.0	107.5	106.9
16	106.0	107.5	106.9
17	106.0	107.5	106.9
18	106.0	107.5	106.9
19	106.0	107.5	106.9
20	106.0	107.5	106.9
21	106.0	107.5	106.9
22	106.0	107.5	106.9
23	106.0	107.5	106.9
24	106.0	107.5	106.9
25	106.0	107.5	106.9

Korrekturfaktoren

Corrections	Schallpegel (dB)
K1	5
K2	0
K3	4
Bodenreflexion	1
Luftabsorption	0
CadnaA Unsicherheit	0
Total corrections	10

Schalleistungspegel L_r

WEA1 2715807 / 1268587			
	A	k	Schalleistungspegel L _r gemäss LSV:
	[m/s]	[]	
Tag	5.81	1.69	111.4
Nacht	6.67	1.95	112.3

WEA2 2715521 / 1268994			
	A	k	Schalleistungspegel L _r gemäss LSV:
	[m/s]	[]	
Tag	6.02	1.70	111.6
Nacht	6.91	1.96	112.5

WEA3 2716247 / 1269170			
	A	k	Schalleistungspegel L _r gemäss LSV:
	[m/s]	[]	
Tag	6.09	1.69	111.7
Nacht	6.98	1.96	112.6

WEA1 2715807 / 1268587			
	A	k	Schalleistungspegel L _r gemäss LSV:
	[m/s]	[]	
Tag	5.81	1.69	113.6
Nacht	6.67	1.95	114.4

WEA2 2715521 / 1268994			
	A	k	Schalleistungspegel L _r gemäss LSV:
	[m/s]	[]	
Tag	6.02	1.70	113.8
Nacht	6.91	1.96	114.6

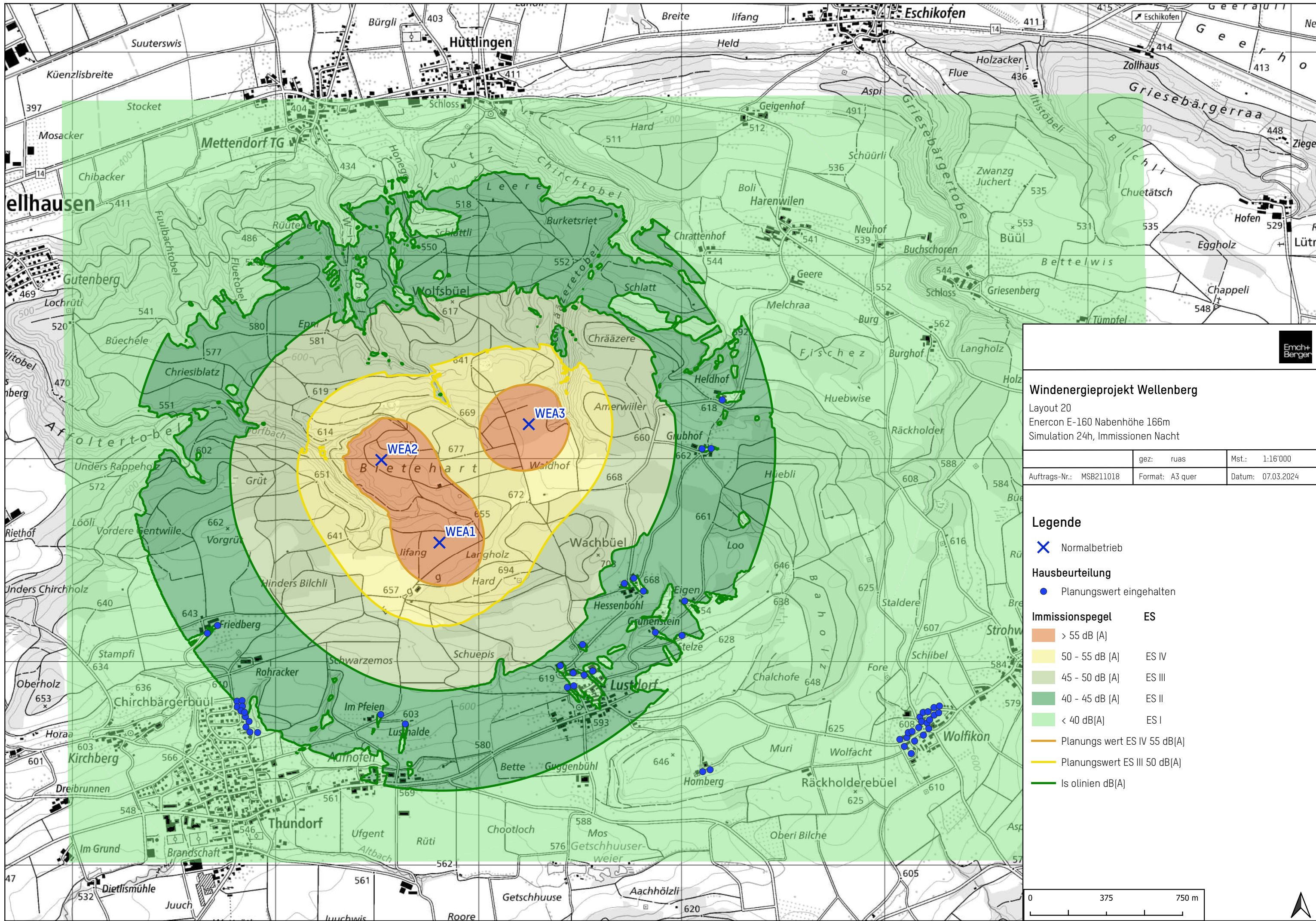
WEA3 2716247 / 1269170			
	A	k	Schalleistungspegel L _r gemäss LSV:
	[m/s]	[]	
Tag	6.09	1.69	113.9
Nacht	6.98	1.96	114.5

WEA1 2715807 / 1268587			
	A	k	Schalleistungspegel L _r gemäss LSV:
	[m/s]	[]	
Tag	5.81	1.69	111.0
Nacht	6.67	1.95	112.0

WEA2 2715521 / 1268994			
	A	k	Schalleistungspegel L _r gemäss LSV:
	[m/s]	[]	
Tag	6.02	1.70	111.3
Nacht	6.91	1.96	112.3

WEA3 2716247 / 1269170			
	A	k	Schalleistungspegel L _r gemäss LSV:
	[m/s]	[]	
Tag	6.09	1.69	111.4
Nacht	6.98	1.96	112.4

Anhang J Lärm: Karten der Immissionsberechnungen pro Anlagentyp

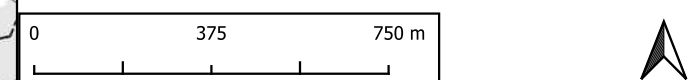


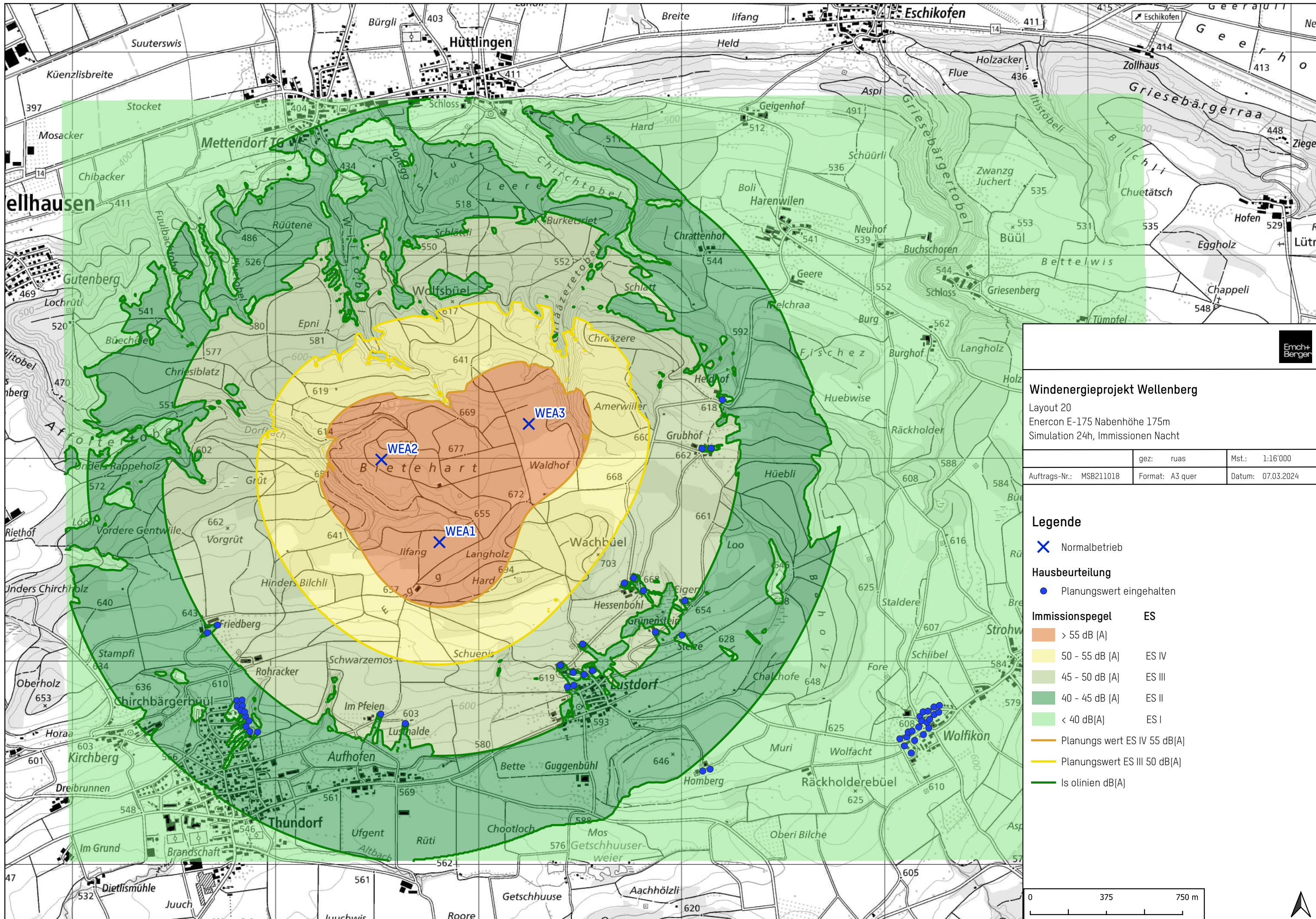
Windenergieprojekt Wellenberg
 Layout 20
 Enercon E-160 Nabenhöhe 166m
 Simulation 24h, Immissionen Nacht

gez:	ruas	Mst.:	1:16'000
Auftrags-Nr.:	MSB211018	Format:	A3 quer
		Datum:	07.03.2024

Legende

- X Normalbetrieb
- Hausbeurteilung**
- Planungswert eingehalten
- Immissionspegel ES**
- > 55 dB (A) ES
- 50 - 55 dB (A) ES IV
- 45 - 50 dB (A) ES III
- 40 - 45 dB (A) ES II
- < 40 dB(A) ES I
- Planungswert ES IV 55 dB(A)
- Planungswert ES III 50 dB(A)
- Isolinien dB(A)

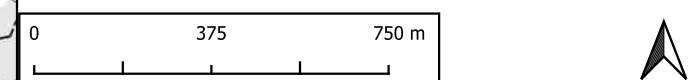


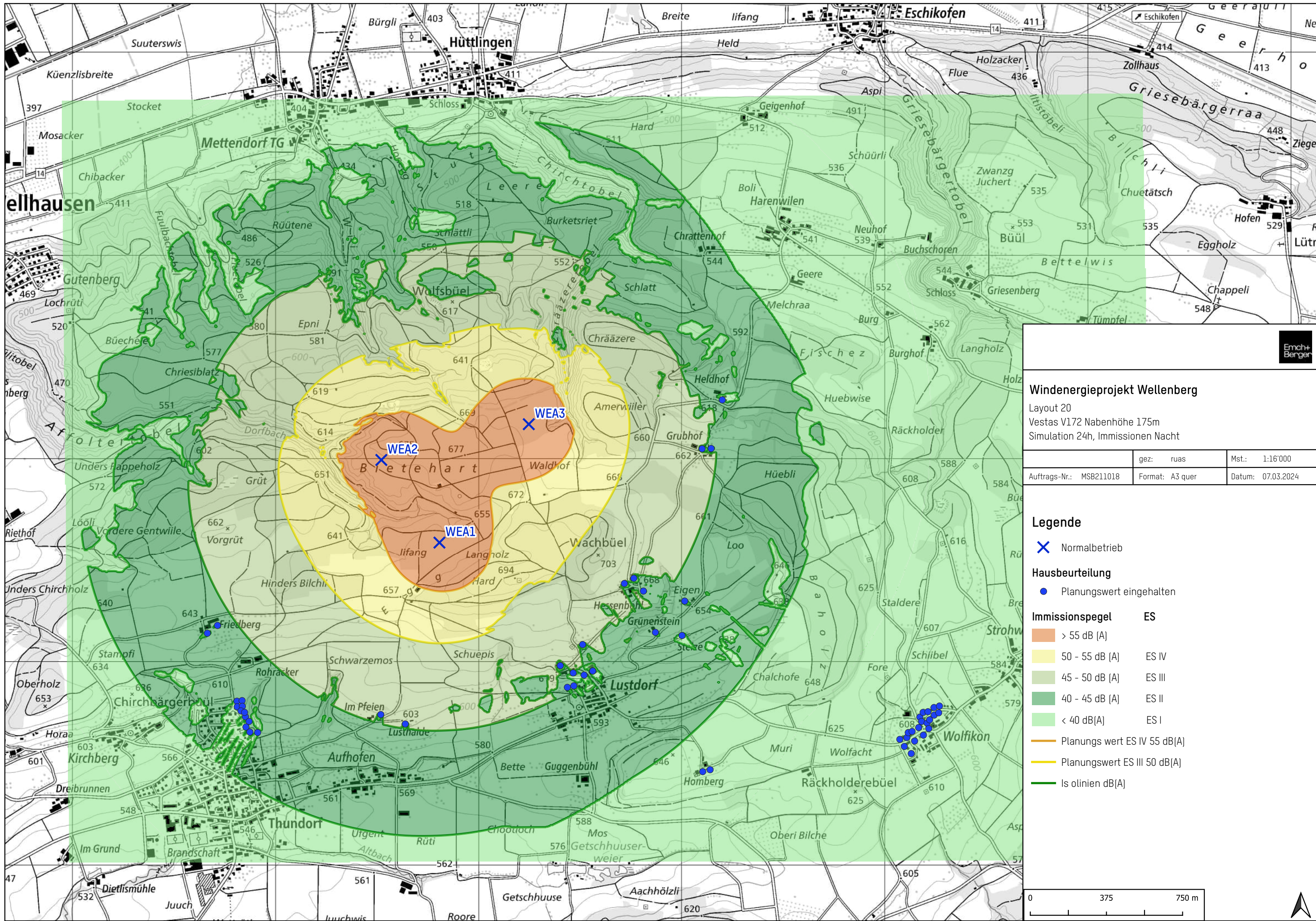


Windenergieprojekt Wellenberg
 Layout 20
 Enercon E-175 Nabenhöhe 175m
 Simulation 24h, Immissionen Nacht

gez:	ruas	Mst.:	1:16'000
Auftrags-Nr.:	MSB211018	Format:	A3 quer
		Datum:	07.03.2024

- Legende**
- ✕ Normalbetrieb
 - Hausbeurteilung**
 - Planungswert eingehalten
 - Immissionspegel ES**
 - > 55 dB (A) ES
 - 50 - 55 dB (A) ES IV
 - 45 - 50 dB (A) ES III
 - 40 - 45 dB (A) ES II
 - < 40 dB(A) ES I
 - Planungswert ES IV 55 dB(A)
 - Planungswert ES III 50 dB(A)
 - Isolinien dB(A)



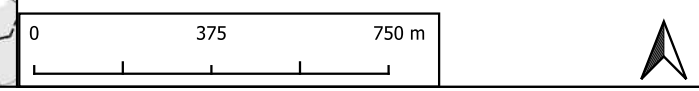


Windenergieprojekt Wellenberg
 Layout 20
 Vestas V172 Nabenhöhe 175m
 Simulation 24h, Immissionen Nacht

gez:	ruas	Mst.:	1:16'000
Auftrags-Nr.:	MSB211018	Format:	A3 quer
		Datum:	07.03.2024

Legende

- ✕ Normalbetrieb
- Hausbeurteilung**
- Planungswert eingehalten
- Immissionspegel ES**
- > 55 dB (A)
- 50 - 55 dB (A) ES IV
- 45 - 50 dB (A) ES III
- 40 - 45 dB (A) ES II
- < 40 dB(A) ES I
- Planungswert ES IV 55 dB(A)
- Planungswert ES III 50 dB(A)
- Isolinien dB(A)



Anhang K Bericht: Baugrundsondierungen

Thundorf: Windpark, redimensioniertes Projekt mit 3 Windenergieanlagen

Kurzbericht

5. Dezember 2023

Thema: **Einschätzung Baugrund**
Auftraggeber: Emch + Berger Revelio AG
Schlösslistrasse 23
3001 Bern

1 Einleitung

Auf dem Gemeindegebiet von Thundorf soll im Bereich des Wellenbergs ein Windpark für die Stromproduktion erstellt werden. Auf Grundlage von verfügbaren Unterlagen und 10 durchgeführten Baggersondierungen haben wir mit dem Bericht vom 8. Dezember 2022 an acht Standorten den Baugrund von dort geplanten Windparkanlagen ein erstes Mal beurteilt. Inzwischen steht ein redimensioniertes Projekt mit 3 Anlagen zur Diskussion. Mit dem vorliegenden Kurzbericht soll hierzu eine erste Einschätzung des Baugrunds als Grundlage für die Beurteilung der Machbarkeit an den neuen Standorten erfolgen.

Für die drei neuen Standorte sind grössere Windenergieanlagen geplant. War im Bericht vom 8. Dezember 2022 noch von Fundamentgrössen bis rund 23 m ausgegangen worden, ist nun von Fundamentdurchmessern bis max. 32 m auszugehen (Referenz: Windenergieanlage Enercon E175). Die Einbindung der Fundamente in den Untergrund dürfte bis rund 3 m betragen.

Grundlage bildet das E-Mail von Frau Nina Kuchlin, Emch+Berger Revelio AG, vom 24. Oktober 2023 mit Angaben zur Lage der neuen Standorte und den Fundamentgrössen.

Für die Beurteilung wurde keine Feldbegehung durchgeführt.

2 Standorte

Um Verwechslungen mit den Standortbezeichnungen in unserem ersten Bericht zu vermeiden, wurden die Bezeichnungen der Windenergieanlagen (WEA) mit der Abkürzung L20 (Layout 20 von Emch + Berger Revelio) ergänzt.

Das redimensionierte Projekt sieht folgende Windenergie-Anlagen vor (vgl. *Beilage 1*):

- WEA1-L20: 2'715'807.36/ 1'268'587.26 Mittig von WEA1, WEA2, WEA3 und WEA4 des ursprünglichen Projekts (Abstand ca. 300–500 m).
- WEA2-L20: 2'715'807.36/ 1'268'587.26 Bisheriger Standort.
- WEA3-L20: 2'716'247.40/ 1'269'170.02 54.6 m im SSW von WEA5 des ursprünglichen Projekts.

3 Beurteilung der Standorte

3.1 WEA1-L20

Gelände: Das Gelände fällt wenig steil nach NNE ab. Im Fundamentbereich besteht eine Höhendifferenz der Geländeoberfläche von maximal 2.6 m (651.8–654.4 m ü. M.).

Datengrundlage: Sondierungsbefunde zum Aufbau des Untergrundes bestehen nur im Abstand von 300–500 m zu WEA1-L20.

In südwestlicher Richtung zeigen die Baggersondierungen BS1 und BS3 bis in die erreichten Tiefen von 3.2 m resp. 2.3 m Moränenmaterial (Grundmoräne, in BS1 unter verschwemmter Moräne bis in 2.8 m Tiefe).

In nordöstlicher Richtung zeigen die Baggersondierungen BS2 und BS4 ab 0.9–1.2 m Tiefe verwitterte Obere Süsswassermolasse (OSM). Dabei hat sich aus Mergeln ein tonig-siltiges Lockergestein gebildet. In BS2 wurde in 3.0 m Tiefe unverwitterter Sandstein der OSM erreicht.

Schichtaufbau: Im Bereich von WEA1-L20 ist zu erwarten, dass ab einigen Metern Tiefe weitgehend unverwitterter Molassefels (v. a. Sandstein, Siltstein und Nagelfluh) oder dicht gelagerte Grundmoräne anzutreffen ist. Es ist jedoch möglich, dass stark verwitterte OSM bis in grössere Tiefe reicht und sich daraus bei feinkörniger Ausprägung (Mergel, Siltstein) ein tonig-siltiges Lockergestein gebildet hat. Auch können Moräneablagerungen in grösserer Mächtigkeit vorliegen, wobei diese neben Grundmoräne auch aus feinkörnigen Schwemmablagerungen oder lokalen randglazialen Stillwasserablagerungen mit erhöhtem Tonanteil bestehen können.

Tragfähigkeit, Foundation: Unverwitterte OSM und Grundmoräne weisen eine sehr hohe bis hohe Tragfähigkeit auf und ermöglichen oberflächennah liegend eine Flachfundation. Reichen wenig tragfähige verwitterte OSM oder feinkörnige quartäre Lockergesteine bis in grössere Tiefe, können Fundamentvertiefungen notwendig werden.

Grundwasserschutz: WEA-1-L20 liegt knapp ausserhalb einer geplanten Grundwasserschutzzone S3 einer Quelfassung im WSW des Anlagestandorts. Der Abstand zur entsprechend geplanten Grundwasserschutzzone S3 zum Fundament beträgt minimal rund 8 m. Dies kann von Bedeutung sein,

wenn der Installationsplatz bis in diesen Bereich reicht oder wenn die definitive Schutzzone ausgeweitet würde.

WEA2-L20

Der Standort WEA2-L20 wurde mit dem neuen, reduzierten Projekt belassen.

Das Gelände im Fundamentbereichs ist grösstenteils relativ flach, steigt jedoch im NNE rasch steil an. Die maximale Höhendifferenz der Geländeoberfläche beträgt im Fundamentbereich 2.8 m (664.9–666.7 m ü. M.). Für das Fundament muss der Hang im NNE entsprechend voraussichtlich einige Meter angeschnitten werden.

Die hier durchgeführte Baggersondierung BS2 zeigt unter einer bis in 0.9 m Tiefe reichenden Unterbodenlage verwitterte Nagelfluh (0.9–2.1 m) sowie verwitterte Mergel (2.1–3.0 m) der OSM. In 3.0 m Tiefe wurde mässig zementierter Sandstein angetroffen. Mit Fundamentvertiefungen bis in rund 3–4 m Tiefe unter Terrain in wenig verwitterte OSM dürfte eine Flachfundation realisierbar sein.

Es werden keine Quellen oder Grundwasserschutz zonen tangiert.

WEA3-L20

Gelände: Das Gelände steigt mässig steil nach WSW an. Im Fundamentbereich besteht eine Höhendifferenz der Geländeoberfläche von maximal 2.6 m (664.1–666.7 m ü. M.).

Datengrundlage: WEA3-L20 liegt 94 m im SSW der Baggersondierung BS5 in vergleichbarer Höhenlage. BS5 zeigt unterhalb des Ober- und Unterbodens bereits in 0.6 m Tiefe gut zementierte Nagelfluh der OSM.

Die Anlage liegt zudem rund 400 m im NNE der Baggersondierung BS4. Aufgrund der Distanz ist diese jedoch nur bedingt repräsentativ. Auch in BS4 wurde die OSM untief angetroffen, jedoch bis zur erreichten Tiefe von 2.9 m stark verwittert. Es wird daher vermutet, dass die OSM in diesem Gebiet grossräumig oberflächennah anstehend ist oder zumindest als Verwitterungsprodukt den oberflächennahen Untergrund bildet.

Schichtaufbau: Voraussichtlich dürfte der Untergrund im Bereich von WEA3-L20 wie in BS5 untief aus weitgehend unverwitterter Nagelfluh bestehen. Es ist jedoch möglich, dass die OSM als Mergel oder Sandstein vorliegt und die Verwitterung bis in grössere Tiefe reicht oder auch eine mächtigere quartäre Lockergesteinsbedeckung besteht (vorwiegend Moränematerial). Entsprechend ist eine tonig-siltige Lockergesteinsbedeckung nicht gänzlich auszuschliessen.

Tragfähigkeit, Foundation: Es wird vermutet, dass in rund 3 m Tiefe unverwitterte OSM (Nagelfluh) anzutreffen ist, welche eine sehr hohe Tragfähigkeit aufweist. Auf dieser kann flach fundiert werden.

Sollte der Untergrund bis in über 3 m Tiefe aus verwitterten Mergeln oder lokal mächtigeren setzungsempfindlichen Lockergesteinen bestehen, müssten Fundamentvertiefungen eingeplant werden.

Grundwasser- Es sind keine Quellen oder Grundwasserschutzzonen vorhanden, wel-
schutz: che tangiert werden könnten.

Im Bereich aller drei Standorte sind keine Bodenbelastungen bekannt (keine Einträge im Kataster der belasteten Standorte oder der Hinweiskarte Bodenbelastungen). Auch befinden sie sich nicht in einer Zone archäologischer Funde.

4 Schlussfolgerungen

Grundsätzlich werden alle drei Windenergieanlage-Standorte in Bezug auf den Baugrund als realisierbar angesehen. Die Unsicherheiten sind dabei am Standort WEA2-L20 gering, am Standort WEA3-L20 etwas erhöht und am Standort WEA1-L20 am grössten. Wir empfehlen entsprechend im Bereich von WEA1-L20 und WEA2-L20 Sondierungen durchzuführen, welche Aufschluss über den tatsächlichen Aufbau des Untergrunds geben. In einem ersten Schritt eignen sich hierfür Baggersondierungen, wie sie bereits andernorts durchgeführt wurden. Für fundierte, belastbare Aussagen und zur Bestimmung der Bodenkennwerte sind an allen drei Standorten weitere, tieferreichende Sondierungen, wie z.B. Kernbohrungen, Drucksondierungen oder Rammsondierungen sowie Laboruntersuchungen an Felsproben, notwendig.

Frauenfeld, 5. Dezember 2023

Dr. Roland Wyss GmbH

Sig. T. Stoll

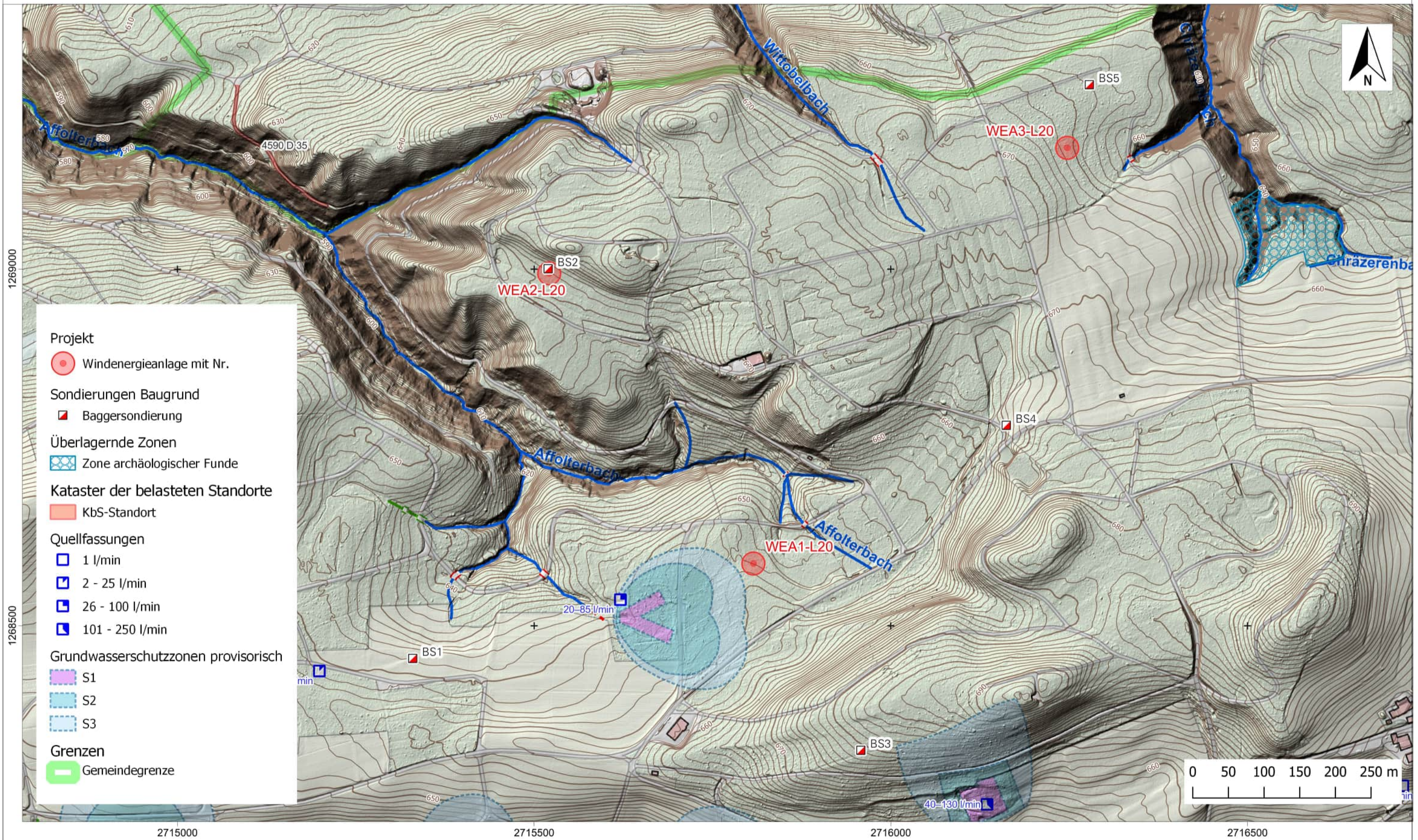
Bearbeitung: Andreas Blum, dipl. Erdw. BENEFRI UniBe, Geologe CHGEOL

Beilagen und Anhänge:

- Beilage 1: Übersicht, 1:5'000

Übersicht

Situation 1:5'000



Thundorf: Windpark

Baugrunduntersuchung

Frauenfeld, 8. Dezember 2022

Auftraggeber: Emch+Berger Revelio AG
Schlösslistrasse 23
3001 Bern

INHALT

1	EINLEITUNG	4
2	AUSGEFÜHRTE ARBEITEN, VERWENDETE UNTERLAGEN	4
3	GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE	5
3.1	Übersicht	5
3.1.1	Felsuntergrund	5
3.1.2	Lockergesteine	5
4	BEURTEILUNG DER STANDORTE	7
4.1	Ausgangslage	7
4.2	Windenergieanlage WEA1	7
4.3	Windenergieanlage WEA2	8
4.4	Windenergieanlage WEA3	9
4.5	Windenergieanlage WEA4	9
4.6	Windenergieanlage WEA5	10
4.7	Windenergieanlage WEA6	11
4.8	Windenergieanlage WEA7	11
4.9	Windenergieanlage WEA8	12
4.10	Rampe Forststrasse, Bereich KbS-Standort Reg. Nr. 4611 D 23	13
4.11	Erdbaumechanische Kennziffern der angetroffenen Schichten	13
5	ZUSAMMENFASSUNG, SCHLUSSFOLGERUNGEN, EMPFEHLUNGEN	15

FIGUREN UND TABELLEN

Figur 1:	Geologische Übersicht mit Lage der Windenergieanlagen.	6
Tabelle 1:	Geotechnische Kennziffern für die Lockergesteine (Typische Werte, ohne Sicherheitsfaktor).	14

BEILAGEN

- Beilage 1: Übersicht, Situation 1:10'000.
- Beilage 2: Windanlage WEA1, Situation 1:1'000.
- Beilage 3: Windanlage WEA2, Situation 1:1'000.
- Beilage 4: Windanlage WEA3, Situation 1:1'000.
- Beilage 5: Windanlage WEA4, Situation 1:1'000.
- Beilage 6: Windanlage WEA5, Situation 1:1'000.
- Beilage 7: Windanlage WEA6, Situation 1:1'000.
- Beilage 8: Windanlage WEA7, Situation 1:1'000.
- Beilage 9: Windanlage WEA8, Situation 1:1'250.
- Beilagen 10–19: Baggersondierungen BS1 bis BS9.

1 EINLEITUNG

Auf dem Wellenberg ist auf dem Gemeindegebiet von Thundorf ein **Ausgangslage** Windpark mit 8 Windenergieanlagen geplant. Diese sollen jeweils eine Masthöhe von 166 m erreichen. Der maximale Abstand zwischen den Anlagen beträgt rund 2.5 km, der Minimale rund 0.45 km. Sie kommen auf Koten zwischen 636 und 679 m ü. M. zu liegen (Kulmination Wellenberg: 694 m ü. M.).

An den 8 Standorten war mit einer ersten Voruntersuchung der Bau-grund zu beurteilen. Für die Beurteilung der Foundation war von jeweils rund 23 m breiten Fundamenten, welche rund 1.4 m in den Untergrund einzubetten sind, auszugehen.

Die Arbeiten erfolgten auf Grundlage unserer Offerte vom 4. April 2022. **Auftrag** Die Auftragserteilung erfolgte telefonisch am 13. September 2022 durch Nina KÜchlin, Emch+Berger Revelio AG.

Folgende Aspekte waren von uns primär zu bearbeiten:

Zielsetzungen

- Beschreibung von Aufbau, Beschaffenheit und Wasserführung des Untergrunds und der hydrogeologischen Verhältnisse an den acht Standorten.
- Beurteilung der Tragfähigkeit und Setzungsempfindlichkeit (geschätzte charakteristische Bodenkennwerte).
- Empfehlungen betreffend Fundationsmöglichkeiten.
- Empfehlungen für ergänzende Untersuchungen.

2 AUSGEFÜHRTE ARBEITEN, VERWENDETE UNTERLAGEN

Im Rahmen der Ausarbeitung des vorliegenden Berichts wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

**Ausgeführte
Arbeiten**

- Auswertung bestehender Daten.
- Ausarbeitung Sondierungskonzept in Absprache mit dem Auftraggeber.
- Organisation und Begleitung von 10 Baggersondierungen in Absprache mit dem Auftraggeber, dem Revierförster und den kantonalen Behörden (AfU TG, Amt für Archäologie).
- Darstellung, Auswertung und Interpretation der Untersuchungsergebnisse.
- Verfassen des vorliegenden Berichts.

Folgende Unterlagen wurden für die ausgeführten Untersuchungen verwendet:

**Verwendete
Unterlagen**

- Emch+Berger AG, 2022: Windpark Thundorf, Situation 1:10'000, 16. Februar 2022.

**Projektspezifische
Grundlagen**

- Dr. Roland Wyss GmbH, 2022: Thundorf: Windpark, Sondierungskonzept Baggersondierungen, Kurzbericht vom 26. Oktober 2022.
- Enercon GmbH, 2005: Requirements catalogue for soil investigations. Technische Grundlagen
- Enercon GmbH, 2012: Fundamentdatenblatt / Foundation Data Sheet, E-138 EP3 E2-HT-149-ES-C-02, Flachgründung mit Auftrieb, WZ 2, GKII (DIBt-Richtlinie, Fassung Oktober 2012), WTC WK IIIA (IEC 61400-1, 3rd edition, 2005-08).
- Amt für Umwelt, TG, 2000: Kataster der belasteten Standorte (KbS), Reg. Nr. 4611 D 23, Objekt Kehrrechtdeponie "Chalchofe". Geologische /Hydro-geologische Unterlagen
- Amt für Umwelt, TG, 2000: Grundwasserkarte des Kantons Thurgau.
- Hofmann, F, 1975: Vulkanische Tuffe auf dem Wellenberg E von Frauenfeld und neue Funde auf dem thurgauischen Seerücken. Eclogae Geol. Helv., Vol. 68/2.
- Geiger, E., 1943: Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt Pfyn-Märs-tetten-Frauenfeld-Bussnang inkl. Erläuterungen.
- Schläfli, A. (Hrsg.), 1999: Geologie des Kantons Thurgau, mit einer Übersichtskarte 1:50'000. Mitt. thurg. naturf. Ges. 55.

3 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

3.1 Übersicht

3.1.1 Felsuntergrund

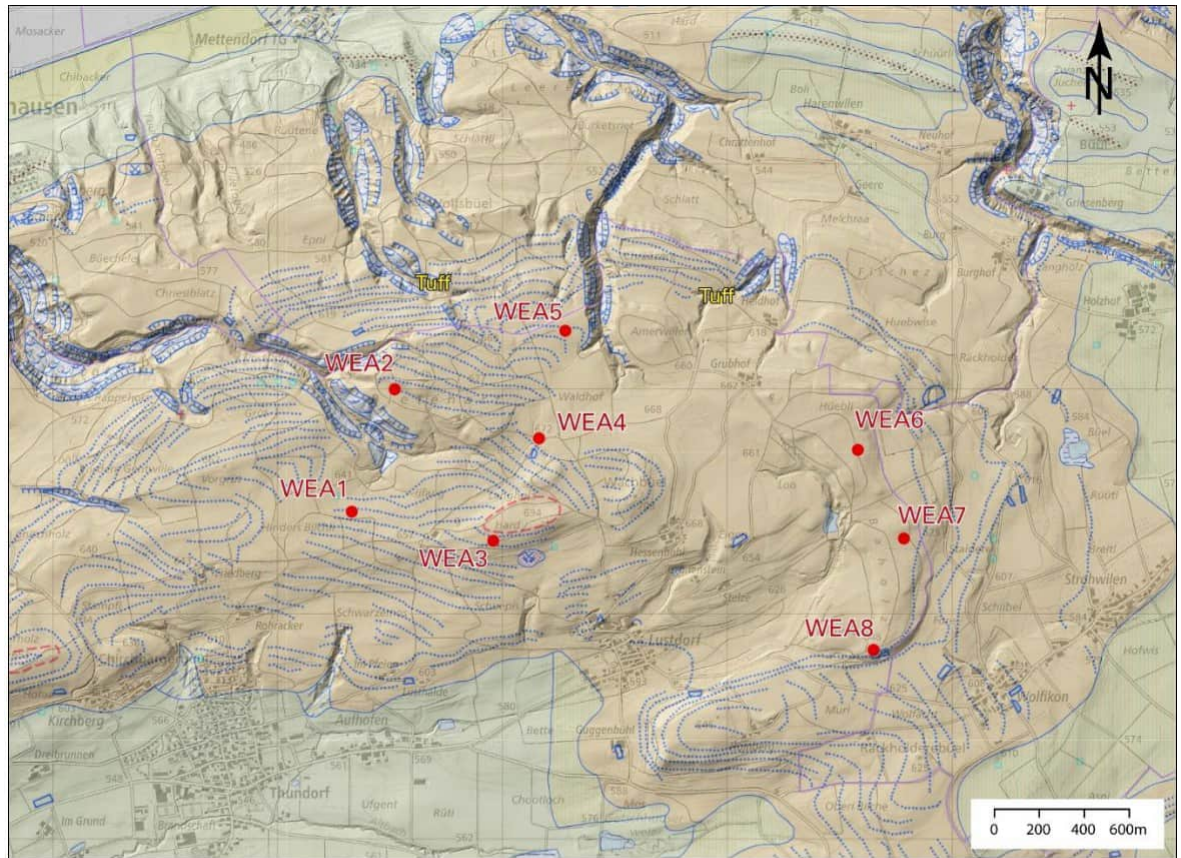
Der Felsuntergrund auf dem Wellenberg wird durch die flach nach SSE einfallende Obere Süsswassermolasse (OSM) aufgebaut. Diese wurde vor rund 15 Mio. Jahren durch die weitverzweigten Flusssysteme der Hörnlischüttung mit Abtragungsmaterial der Alpen gebildet. Die oberste Schichtabfolge bildet am Wellenberg die «Konglomeratstufe». Es handelt sich hier primär um Nagelfluh, Sandsteine, Siltsteine und Mergel. Lokal wurden darin an zwei Standorten auch vulkanische Tufflagen mit erhöhtem quellfähigem montmorillonitreichem Tonanteil beschrieben (Hoffmann 1975, siehe *Figur 1*). Diese liegen jeweils auf einer Kote von rund 615 m ü. M. und damit mindesten rund 20 m tiefer als die Fundamente der geplanten Windanlagen.

Obere Süsswassermolasse (OSM)

3.1.2 Lockergesteine

Die OSM ist oberflächlich in verschiedenem Masse verwittert. Z. T ist diese Verwitterung so stark, dass die Zementation weitgehend fehlt und das Material als Lockergestein beschrieben werden muss, auch wenn das Gefüge des ursprünglichen Festgesteins noch weitgehend erkennbar ist. Aus Nagelfluh hat sich dabei meist Kies mit reichlich Sand, aus Sand- und Siltsteinen Sand resp. Silt und aus Mergeln toniger Silt bis siltiger Ton gebildet.

Verwitterte Süsswassermolasse



Figur 1: Geologische Übersicht mit Lage der Windenergieanlagen.

Quellen: GeoCover (nach Geiger, 1943), Relief swissALTI3D.

- Beige: Obere Süsswassermolasse (OSM).
- Beige-grün gestreift: OSM unter geringmächtiger Bedeckung.
- Blaugepunktete Linien: Nagelfluh in der OSM.
- Hellgrün: Moräneablagerungen.
- Rot gestrichelt: Glaziale Rundhöcker.
- Hellblaue Kreise: Quellen.

Die Lage der Tuff-Vorkommen nach Hoffmann (1975) wurde ergänzt.

Während der letzten Eiszeiten wurde der Wellenberg von Ost nach West **Moränematerial** durch den Rheingletscher vollständig überflossen und entsprechend geprägt. Der Rheingletscher hinterliess dabei verbreitet eine an dessen Basis abgelagerte **Grundmoräne** mit variabler Mächtigkeit. Das meist gut abgestufte Material (Grob- bis Feinfraktion) ist in der Regel vorbelastet und dadurch entsprechend wenig setzungsempfindlich und gut tragfähig. Oberflächennah kann die Grundmoräne aufgrund postglazialer Witterungseinflüsse auch aufgelockert sein, mit entsprechend erhöhter Setzungsempfindlichkeit und mit nur mittlerer Tragfähigkeit. Bereichsweise liegt aber auch nicht glazial vorbelastetes Material vor, welches direkt aus abschmelzendem Eis abgelagert wurde (Deckmoräne, Obermoräne).

Durch randglaziale Ausschwemmungen und Umlagerungsprozesse wurde Moränenmaterial lokal umgelagert. Solche **verschwemmte**

Moräne weist einen erhöhten Sortierungsgrad auf und ist meist inhomogen aufgebaut.

Oberflächlich ist unter dem humosen Oberboden meist ein durch bio- **Bodenschichten** gene Aktivität und Witterungseinflüsse entstandener Unterboden vorhanden mit verbreitet erhöhtem Feinanteil und Auflockerung im Vergleich zum darunter liegenden Ausgangsmaterial.

Verbreitet wurde meist im Zusammenhang mit Geländeanpassungen **Künstliche** Material umgelagert und z. T. grossflächig aufgebracht. Das Material **Auffüllungen** kann sehr heterogen sein, Fremdstoffanteile und auch Schadstoffbelastungen aufweisen.

4 HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Die Standorte der Windenergieanlagen auf dem Wellenberg befinden sich grundsätzlich ausserhalb von Grundwassergebieten, welche für die Trinkwassernutzung von Bedeutung sind. Lokal sind dennoch in der Umgebung wasserführende Schichten vorhanden, welche z. T. Quellen speisen und mit kleineren Fassungen genutzt werden (vgl. *Beilagen 1–9*). Es werden jedoch keine Schutzzonen tangiert und es ist auch nicht zu erwarten, dass auf der Grundwasserkarte aufgeführte Quellen ohne Schutzzonen durch die Bautätigkeiten massgeblich beeinflusst werden. **Grundwassergebiete, Quellen**

5 BEURTEILUNG DER STANDORTE

(Lage der Baggersondierungen siehe *Beilagen 2–9*, für die Resultate *Beilagen 10–19*).

5.1 Ausgangslage

Im Folgenden wird der Baugrund im Bereich der acht Windenergieanlagen beschrieben. In Bezug auf die mögliche Fundation wird von einem rund 23 m breiten Fundament ausgegangen, welches rund 1.4 m in den Untergrund eingebettet wird. **Ausgangslage**

5.2 Windenergieanlage WEA1

Die Windenergieanlage WEA1 kommt im Gebiet «Vorders Bilchli» auf **Gelände** die Parzelle: Nr. 213 in Wiesland rund 30 m nördlich einer Flurstrasse zu liegen (siehe *Beilage 2*). Das Gelände ist leicht nach Norden abfallend. Im Bereich eines rund 23 m breiten Fundaments beträgt der Höhenunterschied der Oberfläche rund 1.1 m.

In der 3.2 m tiefen Baggersondierung BS1 (*Beilage 10*) wurde unter **Angetroffener** einer bis in 1.1 m Tiefe reichenden, tonig-siltigen Ober- und Unterbo- **Schichtaufbau** denlage verschwemmte Moräne angetroffen, welche aus siltigem bis sauberem Sand und siltigem Kies besteht. Darunter wurde in 2.8–3.2 m Tiefe (Schachtende) kiesreiche Grundmoräne angetroffen.

In 2.6–2.8 m Tiefe wurde an der Basis der verschwemmten Moräne **Wasserführung** über der Grundmoräne ein geringer Wasserzutritt verzeichnet.

Das angetroffene Material ist gut baggerfähig.

Baggerfähigkeit

Das in BS1 angetroffene Material eignet sich grundsätzlich für Schüttungen, sofern an dieses keine erhöhten Anforderungen gestellt werden. **Wiederverwendbarkeit Aushub**

Bei einer Einbindetiefe im unteren, nördlichen Bereich von rund 1.4 m **Tragfähigkeit**, kommt das Fundament rund 1.4–2.5 m unter Terrain und somit in die **Foundation** siltig-sandigen Schichten der verschwemmten Moräne zu liegen. Diese dürften eine mittlere Setzungsempfindlichkeit und Tragfähigkeit aufweisen. Die rund 0.3–1.4 m tiefer angetroffene Grundmoräne dürfte dagegen wesentlich weniger setzungsempfindlich sein und entsprechend eine Tragfähigkeit aufweisen, welche als mittel bis gut eingestuft wird. Mit entsprechenden Fundamentvertiefungen wird eine Flachfundation grundsätzlich als realisierbar angesehen. Jedoch sind hierfür noch ergänzende Untersuchungen notwendig.

Da mit der Baggersondierung die vermutliche relativ gut tragfähige **Ergänzende Grundmoräne** nur über 0.4 m Mächtigkeit sondiert wurde, die Konsistenz/Lagerungsdichte nur grob abgeschätzt werden und der laterale Verlauf ihrer Oberfläche relativ rasch ändern kann, sind ergänzende Sondierungen an diesem Standort notwendig. Hierzu eignen sich beispielsweise Druck- oder Rammsondierungen.

5.3 Windenergieanlage WEA2

Die Windenergieanlage WEA2 kommt im plateauartigen Gebiet «Bie- Gelände tehart» auf der Parzelle Nr. 2003 am Hangfuss eines lokalen, rund 8 m hohen, und mit rund 17° nach SSW abfallenden steileren Hang zu liegen. Im Bereich eines rund 23 m breiten Fundamentes fällt das Gelände über eine Höhe von 1.7 m nach SSW ab (665.3–667.0 m ü. M., siehe *Beilage 3*).

Die 3.1 m tiefe Baggersondierung BS2 (*Beilage 11*) zeigt unter einer bis **Angetroffener** in 0.9 m tiefe reichenden, Unterbodenlage verwitterte Nagelfluh (0.9– **Schichtaufbau** 2.1 m) sowie verwitterte Mergel (2.1–3.0 m) der **Oberen Süsswasser-molasse**. Aus der verwitterten Nagelfluh ist ein tonig-siltiger bis siltiger Kies mit viel Sand und aus den Mergeln ein toniger Silt mittlerer Plastizität entstanden. Zuunterst wurde ein mässig zementierter Sandstein der Oberen Süsswassermolasse angetroffen (3.0–3.1 m).

Die Baggersondierung BS2 war weitgehend trocken. Es wird nicht mit **Wasserführung** einer wesentlichen Wasserführung gerechnet.

Das angetroffene Material ist bis zur unverwitterten OSM in 3.0 m Tiefe **Baggerfähigkeit** gut baggerbar.

Das in BS2 angetroffene Material eignet sich für Schüttungen, sofern an dieses keine erhöhten Anforderungen gestellt werden. **Wiederverwendbarkeit Aushub**

Die Fundamente kommen in die verwitterten Schichten der Obere Süsswassermolasse zu liegen. Diese dürften meist eine mittlere Setzungsempfindlichkeit und entsprechend Tragfähigkeit aufweisen. Mit rund **Tragfähigkeit, Foundation**

1.5–2.0 m tiefen Fundamentvertiefungen bis in die kaum verwitterten Schichten der Oberen Süsswassermolasse dürfte eine Flachfundation zu realisieren sein.

Mit der Baggersondierung BS2 wurde die kaum verwitterte Obere Süss- **Ergänzende** wassermolasse (Sandstein) in 3 m Tiefe nur knapp erreicht. **Ergänzende Sondierungen** Sondierungen an diesem Standort sind zur Erkundung des Verlaufs der Felsoberfläche angezeigt. Hierzu eignen sich beispielsweise Rammsondierungen.

5.4 Windenergieanlage WEA3

Die Windenergieanlage WEA3 kommt im Gebiet «Hard» auf der Parzelle **Gelände** Nr. 2017 auf die Südseite eines nach WSW verlaufenden, runden Geländerückens zu liegen. Der Hang fällt hier mit rund 5° nach SSW ein. Im Bereich eines rund 23 m breiten Fundamentes steigt er rund 2.0 m an (678.5–670.5 m ü. M., siehe *Beilage 4*).

Die Baggersondierung BS3 (*Beilage 12*) erschloss unter einer bis in **Angetroffener** 0.6 m tiefe reichenden Unterbodenlage Grundmoräne, welche bis zum **Schichtaufbau** Schachtende 2.3 m u. T. reicht. Diese weist einen vergleichsweise geringen Feinanteil auf und ist mitteldicht (oben) bis dicht (unten) gelagert.

In der Baggersondierung BS3 wurde kein Wasser angetroffen.

Wasserführung

Das angetroffene Material ist gut baggerbar. Erschwerend können ein- **Baggerfähigkeit** zelne grössere Findlinge sein.

Das in BS3 angetroffene Material unterhalb des Unterbodens eignet sich **Wiederverwend-** aufgrund des relativ geringen Fein- und des erhöhten Kiesanteils grund- **barkeit Aushub** sätzlich für Schüttungen, auch wenn an diese erhöhte Anforderungen gestellt werden (z. B. für Geländeanpassungen).

Die Fundamente kommen, soweit erkundet, in rund 1.4–3.4 m Tiefe **Tragfähigkeit**, weitgehend in dicht gelagerte Grundmoräne zu liegen. Diese dürften **Fundation** meist geringe Setzungsempfindlichkeit und entsprechend hohe Tragfähigkeit aufweisen. Entsprechend dürfte hier eine Flachfundation zu realisieren sein.

Mit der 2.3 m tiefen Baggersondierung BS3 wurde die hangseitig zu **Ergänzende** erwartende Einbindetiefe von rund 3.4 m und auch der Molassefels **Sondierungen** nicht erreicht. **Ergänzende Sondierungen** an diesem Standort würden verlässlichere Bodenkennwerte liefern und mit ihnen könnte auch die Tiefenlage der Felsoberfläche ermittelt werden. Falls die Felsunterlage stärker verwittert ist, was insbesondere bei Mergeln von Bedeutung sein kann, könnte auch dies erkannt werden. Als Sondierungen eignen sich beispielsweise Rammsondierungen oder gegebenenfalls Kernbohrungen.

5.5 Windenergieanlage WEA4

Der aktuell geplante Standort der Windenergieanlage WEA4 liegt im **Ge-** Gelände **Gelände** «Rüteli» auf der Parzelle Nr. 2004 im Wiesland unmittelbar oberhalb eines Flurweges in einem rund 9° steilen, nach Osten abfallenden Hang.

Im Bereich eines rund 23 m breiten Fundamentes steigt der Hang mit rund 3.7 m relativ stark an (664.3–668.0 m ü. M., siehe *Beilage 5*).

Die Baggersondierung BS4 (*Beilage 13*) zeigt unter einer bis in 1.2 m **Angetroffener** tiefe reichenden Unterbodenlage bis zum Schachtende in 2.9 m Tiefe **Schichtaufbau verwitterte Obere Süsswassermolasse**. Dabei handelt es sich in 1.2–1.8 m Tiefe um leicht siltigen Kies mit viel Sand (verwitterte Nagelfluh) und in 1.8–2.9 m Tiefe um siltigen Ton bis tonigen Silt (verwitterte Mergel). Der unverwitterte Molassefels wurde nicht erreicht.

In der Baggersondierung BS4 wurde kein Wasser angetroffen. **Wasserführung**

Das angetroffene Material ist gut baggerbar. Sollte tiefer im Hang un- **Baggerfähigkeit** verwitterte Nagelfluh angetroffen werden, dürfte diese nur erschwert baggerbar sein.

Das in BS4 angetroffene Material eignet sich aufgrund des hohen Fein- **Wiederverwend-**anteils (Ton/Silt) kaum für Schüttungen, an welche erhöhte Anforderun- **barkeit Aushub**gen gestellt werden.

Die Fundamente kommen, soweit erkundet, zumindest talseitig in die **Tragfähigkeit**, verwitterten Schichten der Obere Süsswassermolasse zu liegen. Diese **Foundation** dürften meist eine mittlere Setzungsempfindlichkeit und entsprechend **Tragfähigkeit** aufweisen. In Bezug auf die Foundation sind als Entschei- **Tragfähigkeit** dungsgrundlage weitere Untersuchungen notwendig. Aufgrund der Hanglage sind an diesem Standort talseitig möglicherweise vergleichs- weise tief reichende Fundamentvertiefungen notwendig.

Mit der Baggersondierung BS4 wurde die weitgehend unverwitterte **Ergänzende** Obere Süsswassermolasse nicht erreicht und aufgrund der Hanglage ist **Sondierungen** die erreichte Sondiertiefe für belastbare Aussagen ungenügend. Deshalb sind für diesen Standort ergänzende Sondierungen zur Erkundung des Verlaufs der unverwitterten Felsoberfläche und für die Bestimmung der Lagerungsdichte resp. der Konsistenz der überlagernden Lockergesteine (verwitterte OSM) angezeigt. Hierzu eignen sich beispielsweise Ramm- oder Drucksondierungen, ggf. auch Kernbohrungen.

5.6 Windenergieanlage WEA5

Die Windenergieanlage WEA5 kommt im Gebiet «Waldholz» auf den **Gelände** Parzellen Nr. 2023 und 2036 in bewaldetes, flach nach ENE abfallendes Gelände zu liegen. Im Bereich eines rund 23 m breiten Fundamentes steigt der Hang hier rund 0.8 m an (664.4–665.2 m ü. M., siehe *Bei-lage 6*).

Die Baggersondierung BS5 (*Beilage 14*) musste aufgrund des dichten **Angetroffener** Waldes in rund 40 m Entfernung im NNE des geplanten Mastes der **Schichtaufbau** Windenergieanlage WEA5 ausgeführt werden. Aufgrund der relativ flachen Geländemorphologie wird sie dennoch für eine Erstbeurteilung als repräsentativ angesehen. In der 0.7 m tiefen Baggersondierung BS5 folgt unterhalb des Ober- und Unterbodens bereits in 0.6 m Tiefe gut zementierte Nagelfluh der OSM.

In der Baggersondierung BS5 wurde kein Wasser angetroffen. **Wasserführung**

Das angetroffene Material ist bis 0.6 m Tiefe gut, die Nagelfluh darunter **Baggerfähigkeit** nur bedingt baggerbar.

Die Nagelfluh unterhalb des Unterbodens eignet sich, einmal durch den **Wiederverwend-** Abbau aufgelockert, auch für Schüttungen, an welche erhöhte Anfor- **barkeit Aushub** derungen gestellt werden.

Die Fundamente dürften auch in der rund 40 m von BS5 entfernten **Tragfähigkeit,** Windenergieanlage WEA5 in die Nagelfluh der OSM zu liegen kommen. **Foundation** Diese ist nicht setzungsempfindlich und sehr gut tragfähig. Entspre- chend ist eine Flachfundation mit grosser Wahrscheinlichkeit realisier- bar.

Die Baggersondierung BS5 ist relativ weit von WE5 entfernt. Zur Veri- **Ergänzende** fizierung sind ergänzende Sondierungen im Fundamentbereich von **Sondierungen WEA5** zu empfehlen.

5.7 Windenergieanlage WEA6

Die Windenergieanlage WEA6 kommt im Gebiet «Kirchholz» auf der Par- **Gelände** zelle Nr. 2067 auf der Ostseite eines Plateaus in bewaldetes, relativ flach nach Osten abfallendes Gelände zu liegen. Im Bereich eines rund 23 m breiten Fundamentes steigt der Hang rund 1.2 m an (659.0–660.2 m ü. M., siehe *Beilage 7*).

In der 0.7 m tiefen Baggersondierung BS6 (*Beilage 15*) folgt unterhalb **Angetroffener** des Ober- und Unterbodens bereits in 0.6 m Tiefe oberflächlich zwar **Schichtaufbau** etwas verwitterte, aber sonst gut zementierte Nagelfluh der OSM.

In der Baggersondierung BS6 wurde kein Wasser angetroffen. **Wasserführung**

Das angetroffene Material ist bis in 0.6 m Tiefe gut, die Nagelfluh da- **Baggerfähigkeit** runter nur bedingt baggerbar.

Die Nagelfluh unterhalb des Unterbodens eignet sich, einmal durch den **Wiederverwend-** Abbau aufgelockert, auch für Schüttungen, an welche erhöhte Anfor- **barkeit Aushub** derungen gestellt werden.

Die Nagelfluh der OSM ist nicht setzungsempfindlich und sehr gut trag- **Tragfähigkeit,** fähig. Entsprechend ist eine Flachfundation realisierbar. **Foundation**

Auch wenn die Nagelfluh sich über den gesamten Fundamentbereich **Ergänzende** erstrecken dürfte, so können zur Überprüfung ergänzende Sondierungen **Sondierungen** im übrigen Fundamentbereich von WEA6 bis unter das Fundationsni- veau sinnvoll sein, z. B. mittels Kurzbohrungen. Damit könnte auch Ma- terial für Bestimmung der Felskennwerte im Labor gewonnen werden.

5.8 Windenergieanlage WEA7

Die Windenergieanlage WEA7 kommt im Gebiet «Baholz» auf der Par- **Gelände** zelle Nr. 2067 im bewaldeten Bereich zu liegen, welcher relativ flach nach SSE abfällt. Im Bereich eines rund 23 m breiten Fundamentes steigt der Hang rund 1.0 m an (645.8–646.8 m ü. M., siehe *Beilage 8*).

In der 0.7 m tiefen Baggersondierung BS7a (*Beilage 16*) im östlichen **Angetroffener** Bereich des Fundaments von WEA7 folgt unterhalb des Ober- und **Schichtaufbau**

Unterbodens bereits in 0.9 m Tiefe oberflächlich zwar etwas verwitterte, aber sonst gut zementierte Nagelfluh der OSM.

In der Baggersondierung BS6 wurde kein Wasser angetroffen.

Wasserführung

Das angetroffene Material ist bis in 1.6 m Tiefe gut, die Nagelfluh da- **Baggerfähigkeit** runter nur bedingt baggerbar.

Die Nagelfluh unterhalb des Unterbodens eignet sich, einmal durch den Abbau aufgelockert, auch für Schüttungen, an welche erhöhte Anforderungen gestellt werden.

Wiederverwendbarkeit Aushub

Die Nagelfluh der OSM ist nicht setzungsempfindlich und sehr gut tragfähig. Entsprechend ist eine Flachfundation realisierbar.

Tragfähigkeit, Foundation

Auch wenn die Nagelfluh sich über den gesamten Fundamentbereich erstrecken dürfte, so können zur Überprüfung ergänzende Sondierungen im übrigen Fundamentbereich von WEA7 bis unter das Fundationsniveau sinnvoll sein, z. B. mittels Kurzbohrungen. Damit könnte auch Material für Bestimmung der Felskennwerte im Labor gewonnen werden.

Ergänzende Sondierungen

Die nur 0.3 m tiefe Baggersondierung BS7b (*Beilage 17*) wurde im bergseitigen Hanganschnitt der Forststrasse, rund 110 m im SSE von WEA7, ausgeführt. Sie zeigt, dass die Nagelfluh hier praktisch an der Oberfläche anstehend ist. Für den vorgesehenen Installationsplatz (blau in *Beilage 17*) bedeutet dies, dass, soll er flach erstellt werden, relativ viel Nagelfluh abgetragen werden müsste, da er sich über eine Kuppe in einen steileren Hang erstreckt.

Installationsplatz

5.9 Windenergieanlage WEA8

Die Windenergieanlage WEA8 kommt im Gebiet «Chalchofe - Umbruch» auf der Parzelle Nr. 2067 in einen bewaldeten Bereich unmittelbar im SSE einer Forststrasse im südlichsten Bereich eines Plateaus zu liegen (siehe *Beilage 9*). Das Gelände fällt hier leicht nach Süden ab, wobei ein rund 23 m breites Fundament in einen Höhenbereich von 645.8–647.2 m) zu liegen kommt und dabei bis in an den oberen Rand eines 16 m hohen und durchschnittlich 26° steil nach Süden abfallenden Hanges reicht. In diesem steileren Hang befindet sich nach Osten versetzt eine alte, 45 m breite und bis 12 m hohe Abbaunische mit steilen Nagelfluhwänden (Gebiet «Umbruch»). Deren Abbaukante liegt 24 m südöstlich des Mastachse von WEA8.

Gelände

In der 0.6 m tiefen Baggersondierung BS8 (*Beilage 18*) im nördlichen Bereich des Fundaments von WEA7 folgt unterhalb des Ober- und Unterbodens bereits in 0.5 m Tiefe oberflächlich etwas verwitterte, aber sonst gut zementierte Nagelfluh der OSM. Auch in der bis rund 9 m hoch aufgeschlossenen Felswänden der nahegelegenen Abbaunische ist ausschliesslich Nagelfluh aufgeschlossen (Höhenbereich 636.0–645.0 m ü. M.). Es wird entsprechend davon ausgegangen, dass die Nagelfluh auch im Bereich von WEA8 mindestens 10 m mächtig ist.

Angetroffener Schichtaufbau

In der Baggersondierung BS6 wurde kein Wasser angetroffen.

Wasserführung

Das angetroffene Material ist bis in 0.5 m Tiefe gut, die Nagelfluh da- runter nur bedingt baggerbar.

Baggerfähigkeit

Die Nagelfluh unterhalb des Unterbodens eignet sich, einmal durch den Abbau aufgelockert, auch für Schüttungen, an welche erhöhte Anforderungen gestellt werden. **Wiederverwendbarkeit Aushub**

Die Nagelfluh der OSM ist nicht setzungsempfindlich und sehr gut tragfähig. Auch wird die nahegelegene Abbaunische aufgrund der Standfestigkeit der Nagelfluh und der günstigen, gewölbten Form in einer ersten Einschätzung nicht als problematisch für die Stabilität des Baugrunds angesehen. Entsprechend dürfte bei WEA8 eine Flachfundation realisierbar sein. Eine eingehendere Beurteilung erachten wir bei Vorliegen detaillierterer Fundationspläne als angezeigt. **Tragfähigkeit, Foundation**

In Bezug auf die Realisierbarkeit einer Flachfundation werden keine ergänzenden Sondierungen als zwingend notwendig erachtet. **Ergänzende Sondierungen**

5.10 Rampe Forststrasse, Bereich KbS- Standort Reg. Nr. 4611 D 23

Rund 120 m im WSE von WEA8 führt die als Zufahrstrasse vorgesehene Forststrasse über eine künstlich aufgeschüttete Rampe (Koord. 2'717'543/1'267'799). Mit dieser Rampe überwindet die Strasse eine vermutlich durch Abbauarbeiten künstlich geschaffene 4–5 m hohe Steilböschung. Die Schüttung ist im Kataster der belasteten Standorte (KbS) unter der Reg. Nr. 4611 D 23 als Kehrichtdeponie «Chalchofe» verzeichnet. Sie weist den Status «Eintrag» auf und es sind «keine schädlichen oder lästigen Einwirkungen zu erwarten». Mit der Baggersondierung BS9 wurde das Material randlich der Strasse sondiert (siehe *Beilage 9*). Dies um abschätzen zu können, ob sie Belastungen durch Schwerlasttransporte gewachsen ist. **Ausgangslage, Gelände**

In der 1.0 m tiefen Baggersondierung BS9 (*Beilage 19*) auf der Nordwestseite der Rampe wurde primär Kies und Steine mit viel Sand, Hu- **Angetroffener Schichtaufbau** mus und ca. 30% Fremdstoffanteil angetroffen. Der Fremdstoffanteil besteht v.a. aus Betonbruchstücken und Ziegeln sowie wenig Keramik, Glas, Plastik, Folien und Schlacke. Aufgrund der Morphologie dürfte die Mächtigkeit der künstlich aufgefüllten Materials bis 4 m betragen.

Das angetroffene Material ist locker gelagert und entsprechend set- **Tragfähigkeit** zungsempfindlich und wenig tragfähig. Unter der Forststrasse resp. deren Kofferung dürfte das Material besser verdichtet und entsprechend etwas besser tragfähig sein. Ob dies für Schwerlasttransporte genügt, kann aufgrund der ausgeführten Sondierung BS9 jedoch noch nicht abschliessend beurteilt werden.

Um die Tragfähigkeit der Forststrasse im Bereich der Rampe besser ab- **Ergänzende** schätzen zu können, würden sich ergänzende Rammsondierungen oder **Sondierungen** evtl. auch Plattendruckversuche eignen.

5.11 Erdbaumechanische Kennziffern der angetroffenen Schichten

Aufgrund der in den Baggersondierungen angetroffenen Schichten und **Lockergesteine** basierend auf unseren Erfahrungen werden für die verschiedenen

Schichten Bodenkennwerte für erdmechanische Berechnungen abgeschätzt (siehe *Tabelle 1*). Dabei handelt es sich um typische Kennwerte, welche im Einzelfall auch abweichen können, etwa als Folge einer erhöhten Konsolidierung oder durch stärkere Auflockerung resp. verstärktes Aufweichen. Durch die Grösse des Projektbereichs und der entsprechend erhöhten Variationsbreite einzelner Lithologien und aufgrund fehlender Versuche vor Ort (z. B. Ramm- oder Drucksondierungen), zeigen die Angaben für die einzelnen Schichten ein relativ weites Spektrum. Die für spezifische erdstatische Berechnungen benötigten charakteristischen Bodenkennwerte sind aus den angegebenen Kennwerten abzuleiten.

Die Angaben in *Tabelle 5* beziehen sich auf Material, welches in den Sondierungen angetroffen wurde und durch den baulichen Eingriff nicht aufgelockert oder aufgeweicht ist. Wichtig ist daher im Lockergestein ein sorgfältiger Aushub «vor Kopf» und eine entsprechende Wasserhaltung. Durch rasches Einbringen einer Sauberkeitsschicht ist ein Aufweichen und Auflockern der Baugrubensohle zu verhindern.

Schichtbezeichnung	Bodenkennwerte Typische Lagerungsdichte/ Konsistenz (SN 670 004-1a)	Zusammen- drückungs- modul (M_E – Wert) [N/mm ²]	Raum- gewicht erdfeucht γ [kN/m ³]	Scher- winkel φ' [°]	Kohäsion c' [kN/m ²]	Trag- fähigkeit
OSM verwittert (aus Sandstein/Nagelfluh)	Locker bis dicht	20–50	18–21	32–36	0–2	Mittel–Hoch
OSM verwittert (aus Mergel)	Mitteldicht bis dicht / steif	5–30	20–21	25–34	5–10	Gering– Hoch
Grundmoräne	Mitteldicht bis sehr dicht / sehr steif bis sehr hart	30–100	21–22	30–36	2–7	Hoch
Verschwemmte Moräne	Locker bis mitteldicht / weich bis steif	5–20	19–20	28–32	3–10	Gering – Mittel

Umrechnung Einheiten: 1 kN/m³ = 0.1 t/m³

1 kN/m² = 0.1 t/m² = 0.01 kg/cm²

1 N/mm² = 1 MN/m² = 100 t/m² = 10 kg/cm²

Tabelle 1: Geotechnische Kennziffern für die Lockergesteine (Typische Werte, ohne Sicherheitsfaktor).

Die Tragfähigkeit der unverwitterten oder nur wenig verwitterten Oberen OSM ren Süsswassermolasse ist insbesondere für Sandsteine und die Nagelfluh sehr hoch. Zur Bestimmung der Gesteinsfestigkeiten müssten Laborversuche an Gesteinsproben, welche aus Kernbohrungen gewonnen werden, durchgeführt werden. Die einaxiale Druckfestigkeit der Molassegesteine ist erfahrungsgemäss sehr variabel und bewegt sich in der Regel in einem Spektrum von 0.5–70 MN/m².

6 ZUSAMMENFASSUNG, SCHLUSSFOLGERUNGEN, EMPFEHLUNGEN

Die Baggersondierungen zeigen, dass der Felsuntergrund der Oberen **Felsuntergrund** Süsswassermolasse im Bereich der Windparkanlagen primär aus sehr gut tragfähiger Nagelfluh und untergeordnet auch aus Sandsteinen und verwitterungsanfälligen Mergeln besteht. Vor allem letztere sind oberflächennah verbreitet zu tonigem Silt verwittert und entsprechend geotechnisch anspruchsvoller.

Die angetroffenen Lockergesteine bestehen unter dem bis in rund 50– **Lockergesteine** 120 cm Tiefe reichenden Unterboden aus Grundmoräne und ver-schwemmter Moräne.

In den Baggersondierungen wurden keine oder nur geringfügige Was- **Hydrogeologi-** serzutritte festgestellt. Entsprechend werden im Aushub für die Funda- **sche Verhält-** mente auch keine grösseren Wasserzutritte erwartet und es kann je-weils **nisse** eine offene Wasserhaltung geplant werden.

Bei der Windenergieanlage WEA1 kommt die Foundation primär in ver- **Foundation WEA1** schwemmte Moräne zu liegen. Mit Fundamentvertiefungen kann ver-mutlich flach in der in 2.8 m Tiefe angetroffen Grundmoräne fundiert werden.

Die Windenergieanlage WEA2 kann voraussichtlich mittels Fundament- **Foundation WEA2** vertiefungen auf dem unverwitterten Molassefels fundiert werden. Hier sind jedoch zusätzliche Sondierungen notwendig.

Die Windenergieanlage WEA3 kann voraussichtlich flach in der hier an- **Foundation WEA3** getroffenen Grundmoräne fundiert werden.

Die Windenergieanlage WEA4 ist in einer Hanglage mit tiefgründig ver- **Foundation WEA4** witterter OSM geplant. Hier sind zusätzliche Sondierungen notwendig, um die Tragfähigkeit der verwitterten OSM und die Tiefenlage der un-verwitterten OSM abzuklären.

Die Windenergieanlagen WEA5 bis WEA8 dürfte die Foundation weite- **Foundation** gehend in oberflächennah anstehende, kaum verwitterte Nagelfluh zu **WEA5–WEA8** liegen kommen. Einzig in WEA7 sind hierzu voraussichtlich geringe Fun-damentvertiefungen notwendig.

Um den Verlauf der Schichten besser zu bestimmen und für die Boden- **Ergänzende** kennwerte belastbarere Grundlagen zu erhalten, sind ergänzende Son- **Sondierungen** dierungen durchzuführen. Dies betrifft insbesondere die Standorte der Windenergieanlagen WEA1 und WEA4 und etwas untergeordnet dieje-nigen von WEA2 und WEA3. Auch für die übrigen Standorte sollten ergänzende Untersuchungen belastbarere Grundlagen zur Beurteilung des Baugrunds geben. Grundsätzlich sehen wir hierfür Rammsondierun-gen und Drucksondierungen und z. T. auch Kernbohrungen als geeignet an. Zur Erkundung des Felsuntergrunds zur Bestimmung der felsmecha-nischen Kennwerte, müssten Kernbohrungen durchgeführt und an Pro-ben Laboruntersuchungen durchgeführt werden.

Frauenfeld, 8. Dezember 2022

Dr. Roland Wyss GmbH

Sig. T. Stoll

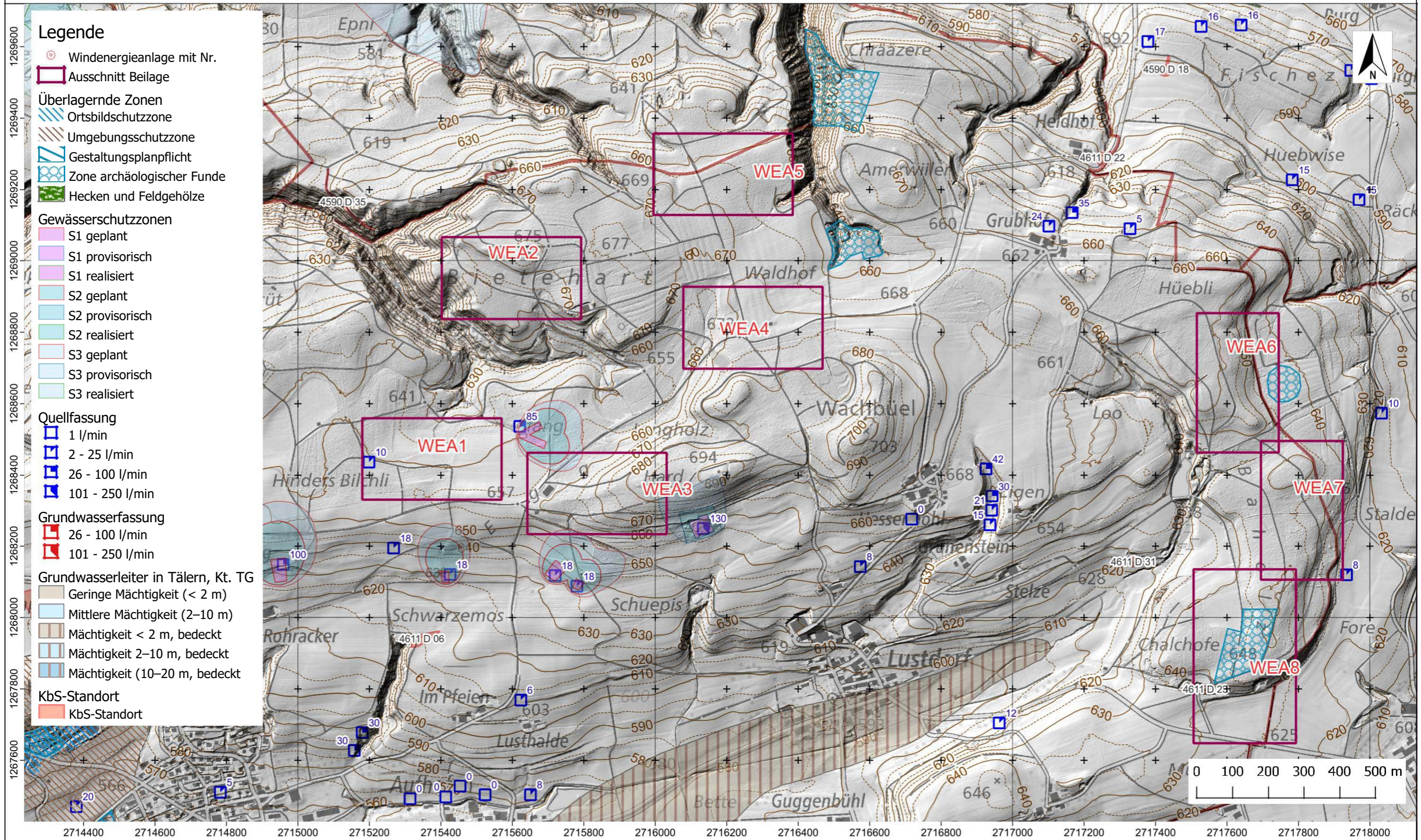
Bearbeitung: Andreas Blum, dipl. Erdw. BENEFRI UniBe, Geologe CHGEOL

BEILAGEN

- Beilage 1: Übersicht, Situation 1:10'000.
- Beilage 2: Windanlage WEA1, Situation 1:1'000.
- Beilage 3: Windanlage WEA2, Situation 1:1'000.
- Beilage 4: Windanlage WEA3, Situation 1:1'000.
- Beilage 5: Windanlage WEA4, Situation 1:1'000.
- Beilage 6: Windanlage WEA5, Situation 1:1'000.
- Beilage 7: Windanlage WEA6, Situation 1:1'000.
- Beilage 8: Windanlage WEA7, Situation 1:1'000.
- Beilage 9: Windanlage WEA8, Situation 1:1'250.
- Beilagen 10–19: Baggersondierungen BS1 bis BS9.

Übersicht

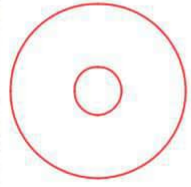


Situation 1:10'000

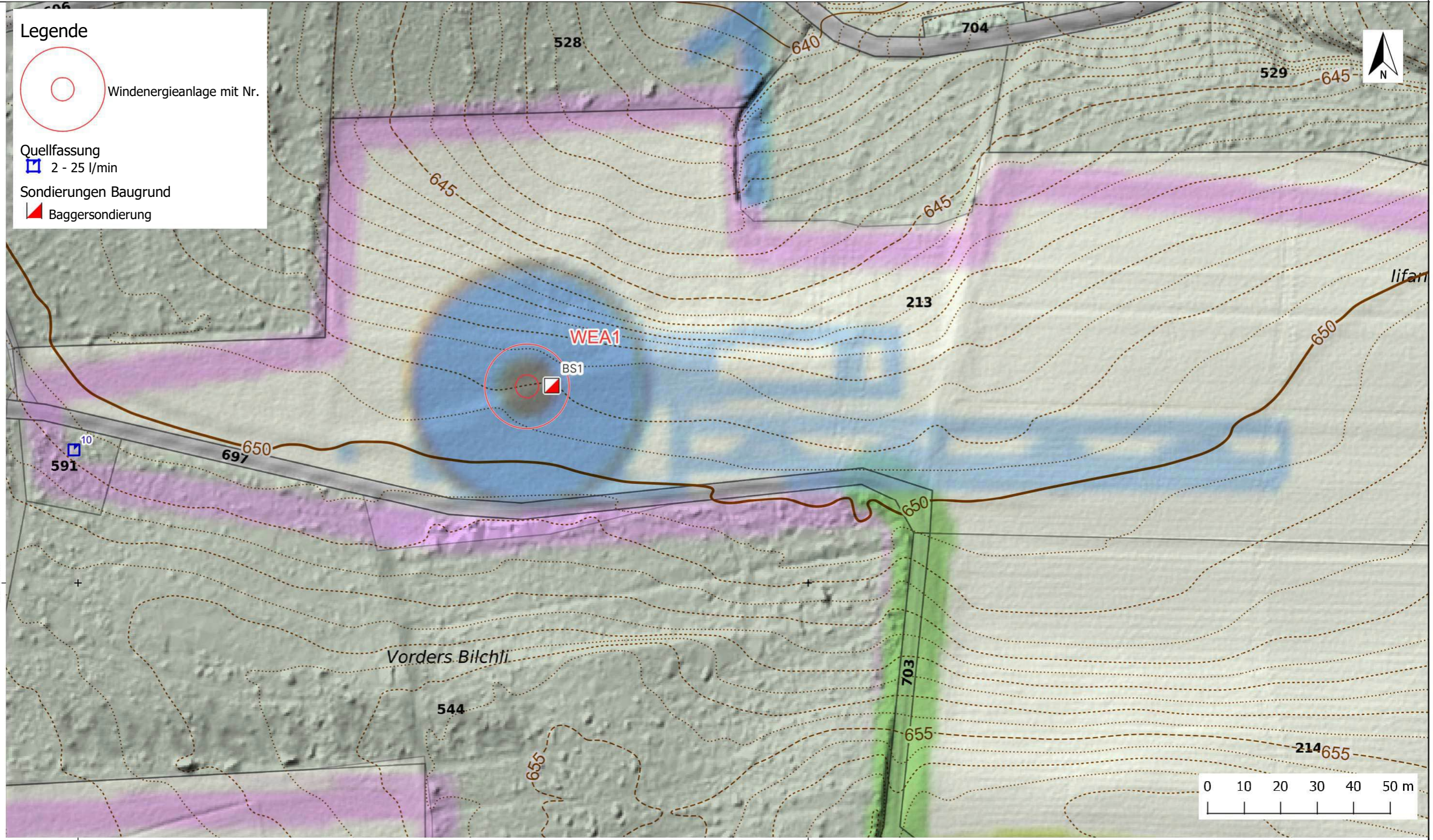


Windenergieanlage WEA1

Situation 1:1'000

Legende

-  Windenergieanlage mit Nr.
-  Quelfassung
2 - 25 l/min
-  Sondierungen Baugrund
Bagger Sondierung

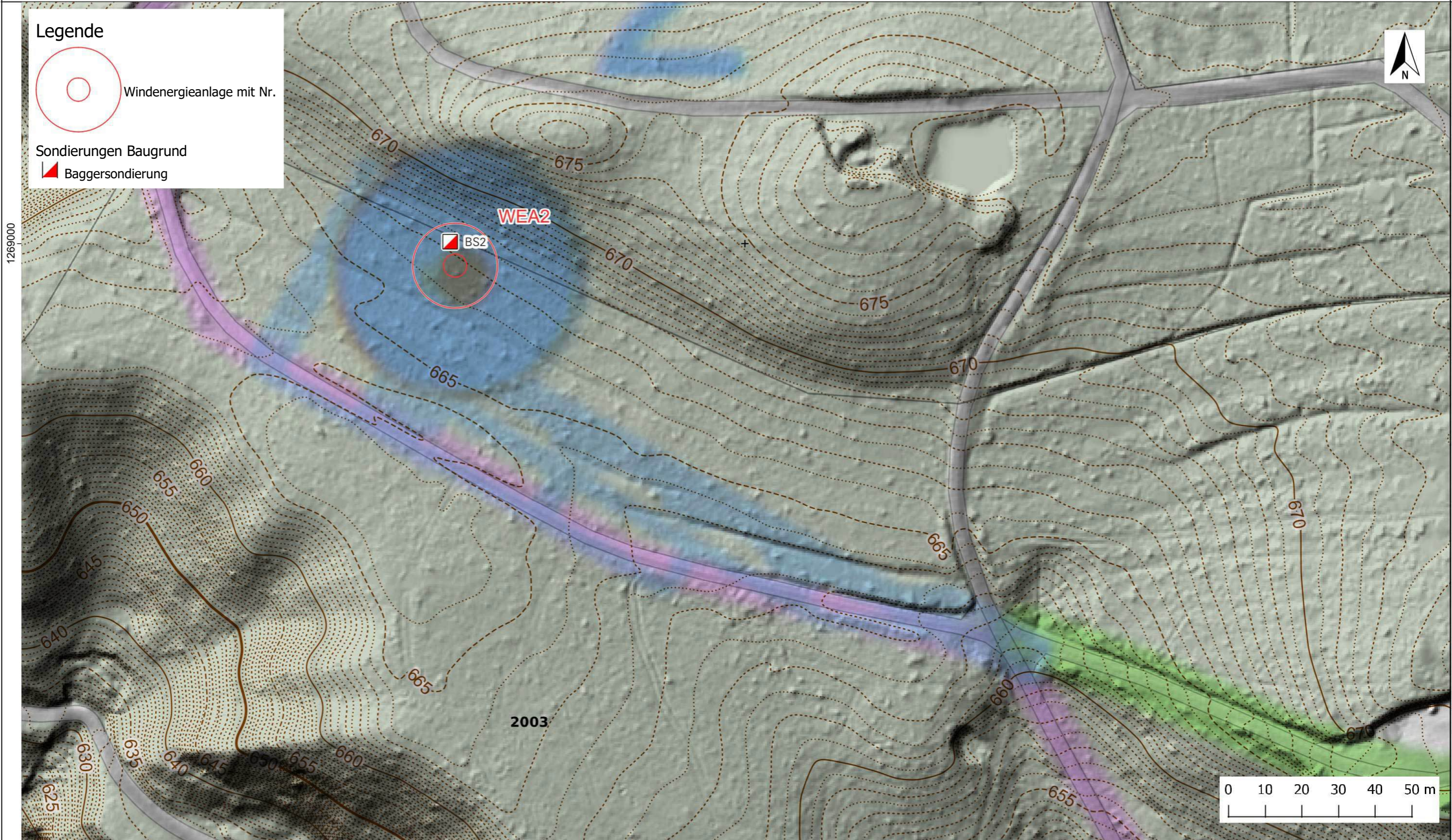


Windenergieanlage WEA2

Situation 1:1'000

Legende

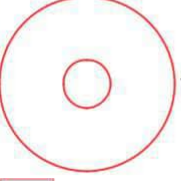
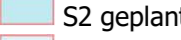
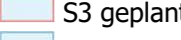
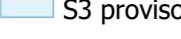
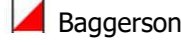
-  Windenergieanlage mit Nr.
-  Sondierungen Baugrund
-  Bagger Sondierung



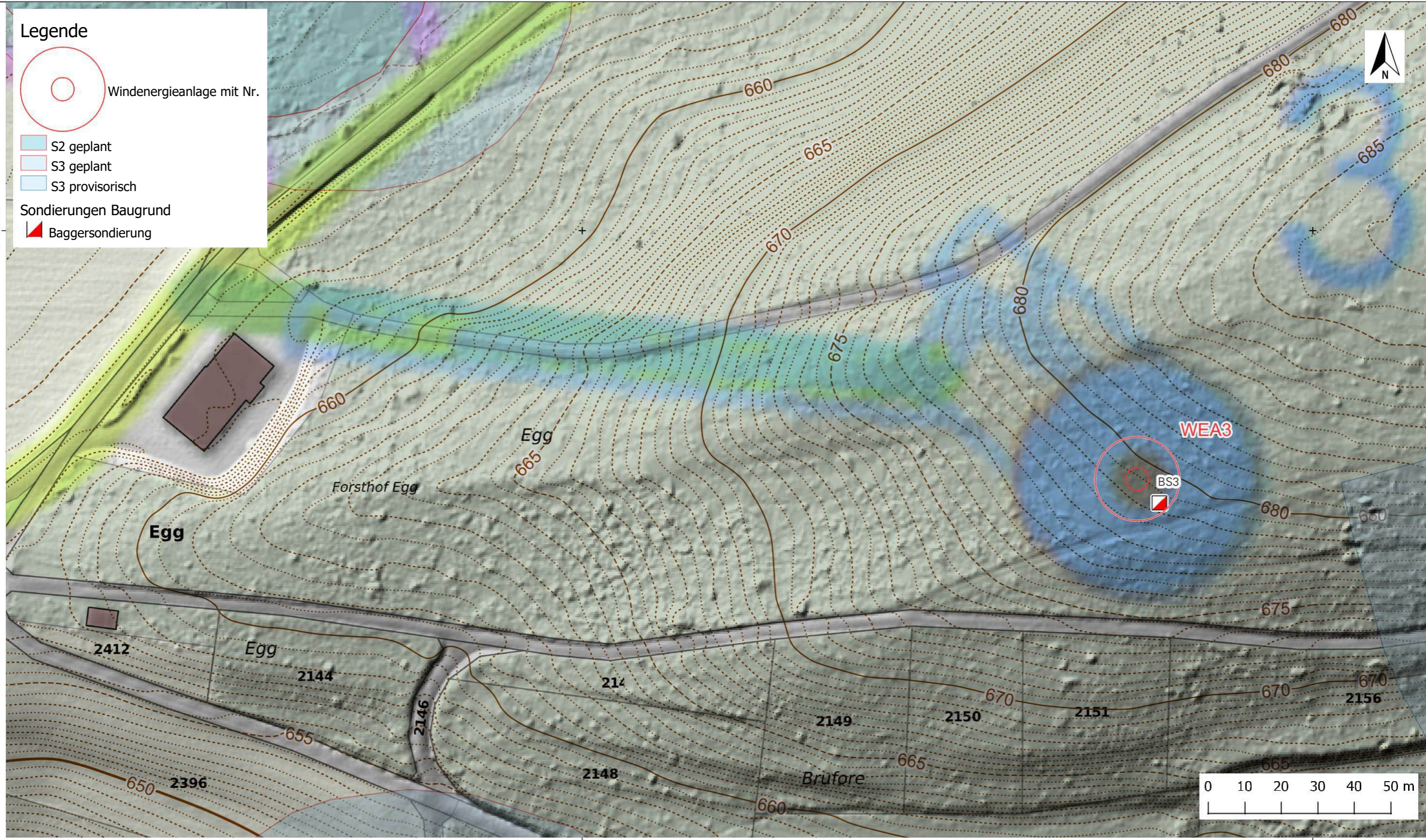
Windenergieanlage WEA3

Situation 1:1'000

Legende

-  Windenergieanlage mit Nr.
-  S2 geplant
-  S3 geplant
-  S3 provisorisch
- Sondierungen Baugrund**
-  Baggersondierung

1268400



2715800

2716000

Windenergieanlage WEA4

Situation 1:1'000

Legende

-  Windenergieanlage mit Nr.
-  Sondierungen Baugrund
-  Baggersondierung



1268800

2716200

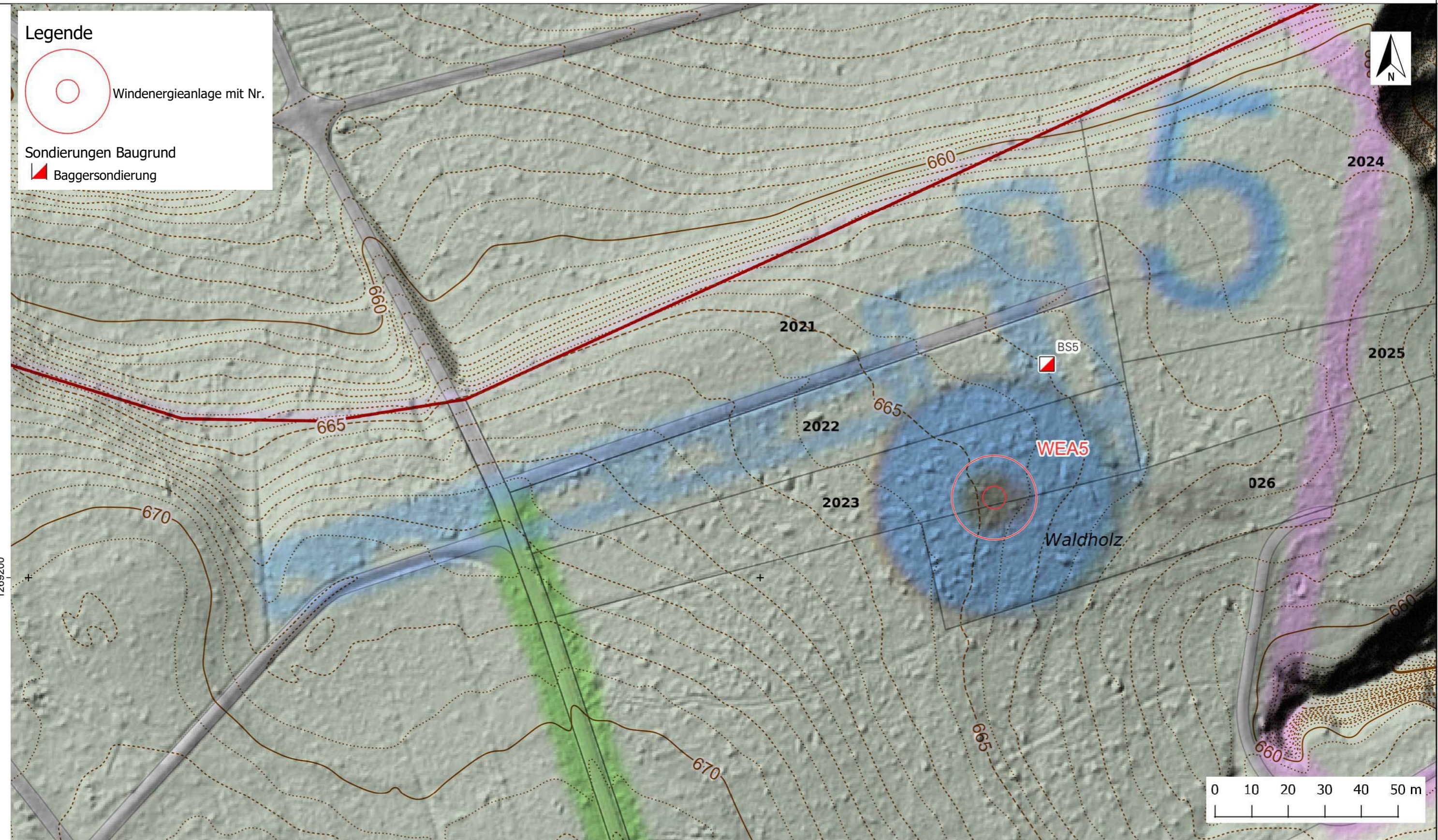
2716400

Windenergieanlage WEA5

Situation 1:1'000

Legende

-  Windenergieanlage mit Nr.
-  Sondierungen Baugrund
-  Baggersondierung



Windenergieanlage WEA6

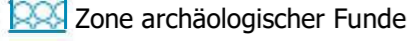
Situation 1:1'000

Legende



Windenergieanlage mit Nr.

Überlagernde Zonen



Sondierungen Baugrund




Baggersondierung

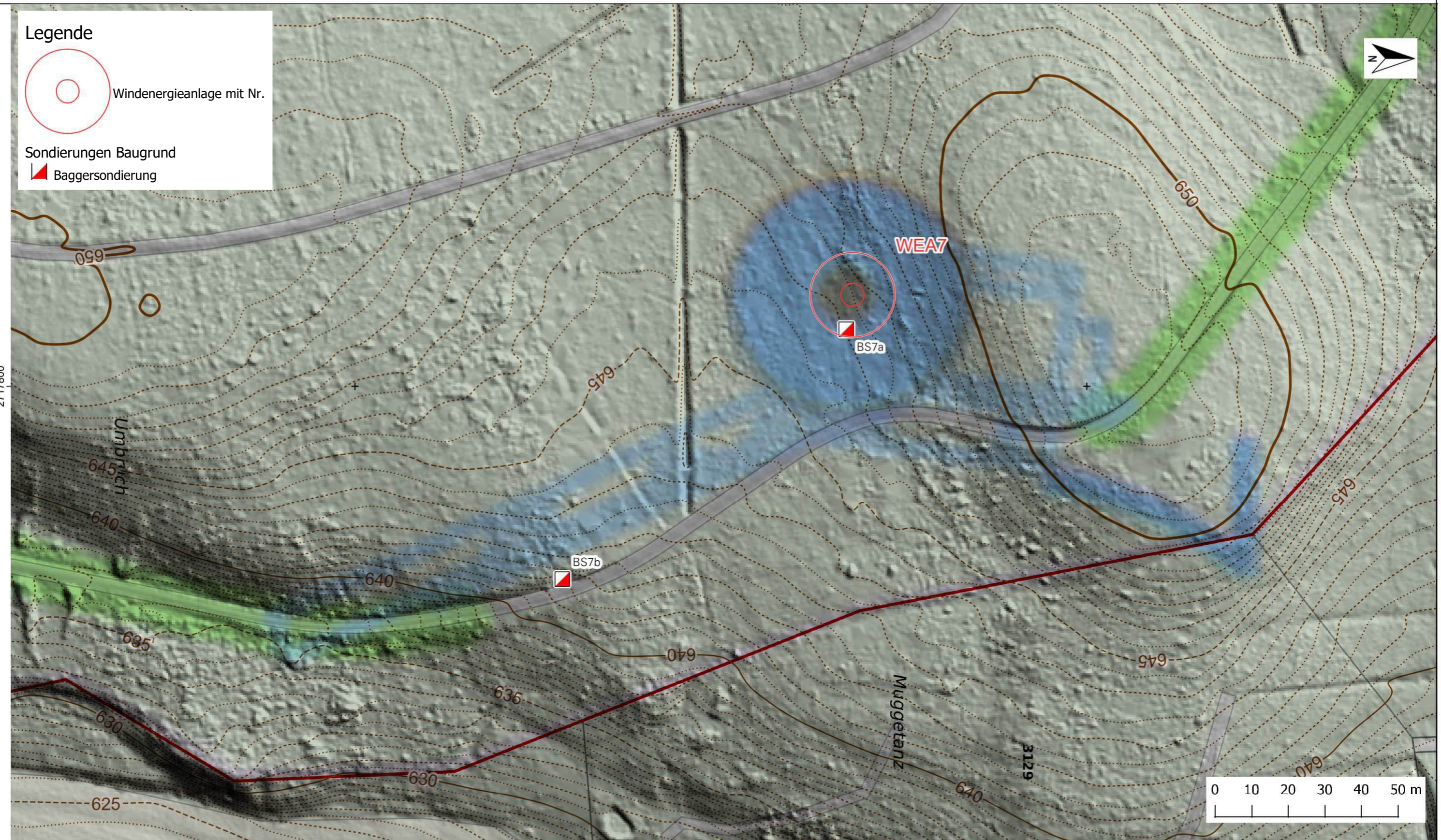


Windenergieanlage WEA7

Situation 1:1'000

Legende


-  Windenergieanlage mit Nr.
-  Sondierungen Baugrund
-  Baggersondierung

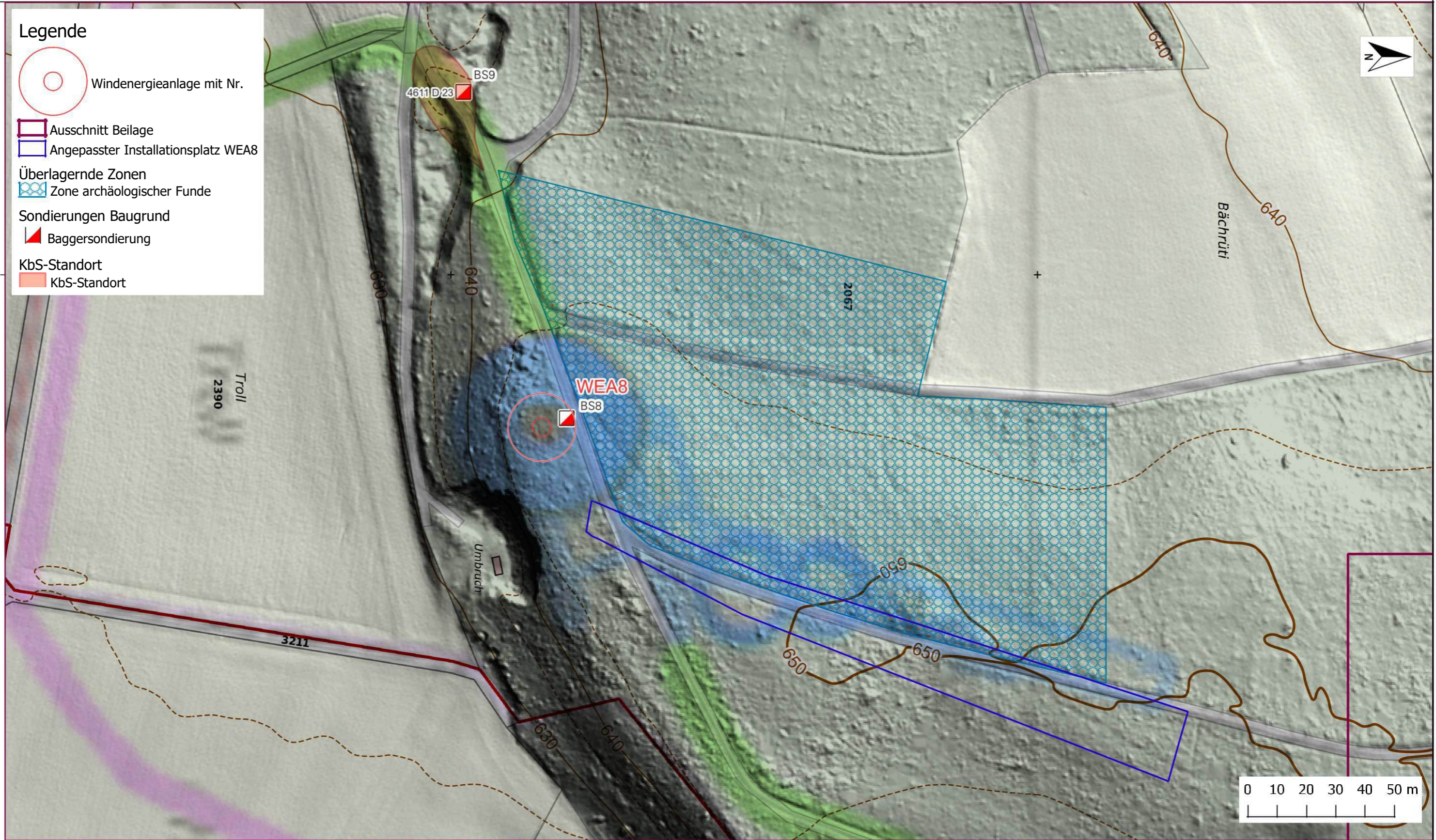


Windenergieanlage WEA8

Situation 1:1'250

Legende

-  Windenergieanlage mit Nr.
-  Ausschnitt Beilage
-  Angepasster Installationsplatz WEA8
- Überlagernde Zonen
-  Zone archäologischer Funde
- Sondierungen Baugrund
-  Baggersondierung
- KbS-Standort
-  KbS-Standort



Baggersondierung BS1

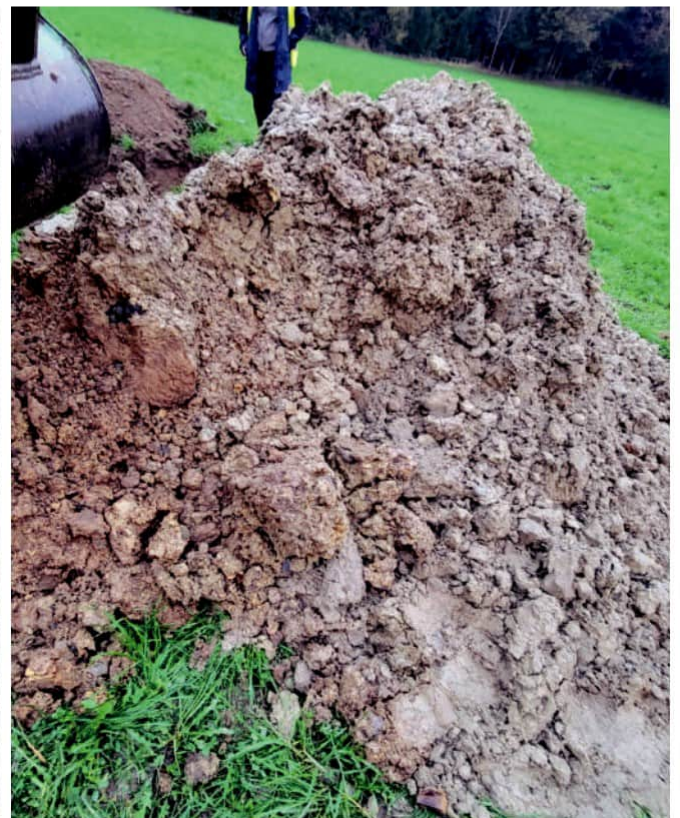
Dr. Roland Wyss GmbH
 Geologische Beratungen
 Zürcherstrasse 105 - 8500 Frauenfeld - www.rwgeo.ch

Sondierdatum: 9. November 2022
 Ansatzhöhe: 649.10 m ü.M.
 OK Rohr: -
 Koordinaten: 2'715'330 / 1'268'454

Aufnahme: A. Blum, Dr. Roland Wyss GmbH
 Ausführung: Ed. Vetter AG
 Sondierart: Baggersondierung
 Massstab: 1:50

Kote m ü.M.	Geo- logie	Tiefe m u.T.	Profil	Beschreibung	Angaben
649.10	Oberboden	0.00		Silt mit reichlich Sand, humos; dunkelbraun.	
648.85	Unterboden	0.25		Toniger Silt mit viel Sand und wenig Kies, rostbraun.	
		1.00		Siltiger Sand mit viel Kies; beige.	
		2.00		Sauberer bis siltiger Sand, wechsellagernd mit sandigem Kies; beige-grau.	
646.30	Grundmoräne	2.60		Siltiger Kies mit viel Sand; beige-grau.	
645.90		3.20		Tonig-siltiger Kies, gekritzelt, mit viel Sand, hart gelagert; beige-grau.	

Bemerkungen:
 Geringer Wasserzutritt ca. 2.632.8 m über der Grundmoräne.
 Sondierschacht standfest.



Baggersondierung BS2

Dr. Roland Wyss GmbH
Geologische Beratungen
Zürcherstrasse 105 - 8500 Frauenfeld - www.rwgeo.ch

Sondierdatum: 9. November 2022
Ansatzhöhe: 666.1 m ü.M.
OK Rohr: -
Koordinaten: 2'715'520 / 1'269'001

Aufnahme: A. Blum, Dr. Roland Wyss GmbH
Ausführung: Ed. Vetter AG
Sondierart: Baggersondierung
Massstab: 1:50

Kote m ü.M.	Geo- logie	Tiefe m u.T.	Profil	Beschreibung	Angaben
666.10	Oberbede Löss abst. OSM	0.00		Siltiger Kies mit viel Sand, humos; dunkelbraun.	
665.90		0.20		Toniger Silt mit viel Sand und Kies; rostbraun.	
665.20	0.90				
663.10	2.10				
663.00	OSM	3.00			

Bemerkungen:
Geringer Wasserzutritt ca. 3.0 m über der unverwitterten Oberen Süsswassermolasse (OSM).



Baggersondierung BS3

Dr. Roland Wyss GmbH

Geologische Beratungen
Zürcherstrasse 105 - 8500 Frauenfeld - www.rwgeo.ch

Sondierdatum: 9. November 2022
Ansatzhöhe: 663.9 m ü.M.
OK Rohr: -
Koordinaten: 2'715'958 / 1'268'325

Aufnahme: A. Blum, Dr. Roland Wyss GmbH
Ausführung: Ed. Vetter AG
Sondierart: Baggersondierung
Massstab: 1:50

Kote m ü.M.	Geo- logie	Tiefe m u.T.	Profil	Beschreibung	Angaben
663.90	Oberboden	0.00		Siltiger Kies mit viel Sand, humos, Wurzeln; dunkelbraun.	
663.70	Untere boden	0.20		Toniger Silt mit viel Sand und Kies, Wurzeln; beige-braun.	
663.30	Grundmoräne	0.60		Siltiger Feinsand mit viel Kies, gut bis schlecht gerundet, sowie Steine bis 50 cm Ø, mitteldicht bis dicht gelagert; beige-grau.	
661.60		2.30			

Bemerkungen:
Trocken, Sondierschacht standfest.



Baggersondierung BS4

Dr. Roland Wyss GmbH
Geologische Beratungen
Zürcherstrasse 105 - 8500 Frauenfeld - www.rwgeo.ch

Sondierdatum: 9. November 2022
Ansatzhöhe: 665.4 m ü.M.
OK Rohr: -
Koordinaten: 2'716'162 / 1'268'781

Aufnahme: A. Blum, Dr. Roland Wyss GmbH
Ausführung: Ed. Vetter AG
Sondierart: Baggersondierung
Massstab: 1:50

Kote m ü.M.	Geo- logie	Tiefe m u.T.	Profil	Beschreibung	Angaben
665.40	Oberboden	0.00		Siltiger Sand mit viel Kies, humos; dunkelbraun.	
665.10		0.30		Tonig-siltiger Sand mit reichlich Kies; beige-braun.	
664.20	OS	0.70	1.20	Toniger Silt mit viel Kies (meist verwittert) und Steine bis 50 cm Ø; rostbeige.	
		1.50	1.80	Leicht siltiger Kies mit viel Sand; beige (verwitterte Nagelfuh).	
		1.90	2.20	Toniger Silt mit hellen Konkretionen, steif bis fest; hellgrau (verwitterte Mergel).	
662.50		2.20	2.50	Toniger Silt mit hellen Konkretionen, hellgrau bis hellgelb feingeschichtet (verwitterte Mergel).	
		2.90		Toniger Silt mit viel Sand; grau-gelb gefleckt (verwitterter sandiger Mergel).	

Bemerkungen:
Trocken, Sondierschacht standfest.



Thundorf: Windpark**Beilage 14**

Baugrunduntersuchung

8. Dezember 2022

Baggersondierung BS5**Dr. Roland Wyss GmbH**

Geologische Beratungen

Zürcherstrasse 105 - 8500 Frauenfeld - www.rwgeo.ch

Sondierdatum: 9. November 2022
 Ansatzhöhe: 679.2 m ü.M.
 OK Rohr: -
 Koordinaten: 2'716'278 / 1'269'259

Aufnahme: A. Blum, Dr. Roland Wyss GmbH
 Ausführung: Ed. Vetter AG
 Sondierart: Baggersondierung
 Massstab: 1:50

Kote m ü.M.	Geo- logie	Tiefe m u.T.	Profil	Beschreibung	Angaben
679.20	Oberboden	0.00		Toniger Silt mit viel Sand, humos; dunkelbraun.	
679.05	Unter- boden	0.15		Toniger Silt mit reichlich Sand, Kies und Steinen bis 12 cm Ø; ocker-braun-grau.	
678.60		0.60		Nagelfluh, gut zementiert; grau.	
678.50	OSM	0.70			

Bemerkungen:
Trocken, Sondierschacht standfest.



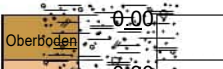

Baggersondierung BS6

Dr. Roland Wyss GmbH

Geologische Beratungen
Zürcherstrasse 105 - 8500 Frauenfeld - www.rwgeo.ch

Sondierdatum: 9. November 2022
Ansatzhöhe: 660.2 m ü.M.
OK Rohr: -
Koordinaten: 2'717'579 / 1'268'731

Aufnahme: A. Blum, Dr. Roland Wyss GmbH
Ausführung: Ed. Vetter AG
Sondierart: Baggersondierung
Massstab: 1:50

Kote m ü.M.	Geo- logie	Tiefe m u.T.	Profil	Beschreibung	Angaben
660.20	Oberboden	0.00		Leicht toniger Silt mit viel Sand, humos, Wurzeln; dunkelbraun.	
659.90	Unterboden	0.30		Toniger Silt mit viel Sand, Kies und Steinen bis 12 cm Ø; rostbraun.	
659.60	OSM	0.60		Nagelfluh, gut zementiert, oberflächlich zu Kies mit viel Sand verwittert; grau.	
659.05		1.15			

Bemerkungen:
Trocken, Sondierschacht standfest.



Baggersondierung BS7a

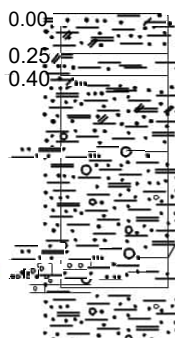
Dr. Roland Wyss GmbH

Geologische Beratungen

Zürcherstrasse 105 - 8500 Frauenfeld - www.rwgeo.ch

Sondierdatum: 9. November 2022
Ansatzhöhe: 646.0 m ü.M.
OK Rohr: -
Koordinaten: 2'717'784 / 1'268'334

Aufnahme: A. Blum, Dr. Roland Wyss GmbH
Ausführung: Ed. Vetter AG
Sondierart: Baggersondierung
Massstab: 1:50

Kote m ü.M.	Geo- logie	Tiefe m u.T.	Profil	Beschreibung	Angaben
646.00	Oberboden	0.00		Silt mit viel Sand, humos, Wurzeln; dunkelbraun.	
645.75		0.25		Toniger Silt, weich; beige-braun.	
		0.40		Leicht toniger Silt niedriger Plastizität mit viel Sand und wenig Kies; beige.	
645.10	Verwitterte Unter- OSM			Leicht toniger bis toniger Silt niedriger Plastizität mit viel Sand und wenig Kies; beige-grau gefleckt.	
644.40				Nagelfluh, relativ gut zementiert, oberflächlich zu Kies mit viel Sand verwittert; grau.	
644.20				Bemerkungen: Trocken, Sondierschacht standfest.	



Thundorf: Windpark

Baugrunduntersuchung

Beilage 17

8. Dezember 2022

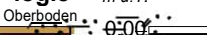
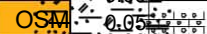
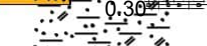
Baggersondierung BS7b**Dr. Roland Wyss GmbH**

Geologische Beratungen

Zürcherstrasse 105 - 8500 Frauenfeld - www.rwgeo.ch

Sondierdatum: 9. November 2022
 Ansatzhöhe: 641.5 m ü.M.
 OK Rohr: -
 Koordinaten: 2'717'853 / 1'268'257

Aufnahme: A. Blum, Dr. Roland Wyss GmbH
 Ausführung: Ed. Vetter AG
 Sondierart: Baggersondierung
 Massstab: 1:50

Kote <i>m ü.M.</i>	Geo- logie	Tiefe <i>m u.T.</i>	Profil	Beschreibung	Angaben
641.50	Oberboden	0.00		Siltiger Sand mit viel Kies, humos; dunkelbraun.	
641.45	OSM	0.05		Nagelfluh, gut zementiert, oberflächlich zu Kies mit viel Sand	
641.20		0.30		verwittert; grau.	

Bemerkungen:

Sondierung in hangseitiger künstlicher Forststrassenböschung.
 Trocken, Sondierschacht standfest.



Bagger Sondierung BS8

Dr. Roland Wyss GmbH

Geologische Beratungen

Zürcherstrasse 105 - 8500 Frauenfeld - www.rwgeo.ch

Sondierdatum: 9. November 2022
 Ansatzhöhe: 647.3 m ü.M.
 OK Rohr: -
 Koordinaten: 2'717'649 / 1'267'840

Aufnahme: A. Blum, Dr. Roland Wyss GmbH
 Ausführung: Ed. Vetter AG
 Sondierart: Bagger sondierung
 Massstab: 1:50

Kote m ü.M.	Geo- logie	Tiefe m u.T.	Profil	Beschreibung	Angaben
647.30		0.00		Siltiger Sand mit viel Kies, humos, Wurzeln; dunkelbraun.	
647.10	Oberboden Unterboden	0.20 0.50		Toniger Silt mit viel Sand und Steinen; ockerbraun.	
646.70	OSM	0.60		Nagelfluh, relativ gut zementiert, Steine bis 15 cm Ø, oberflächlich zu Kies mit viel Sand verwittert; grau.	

Bemerkungen:
 Trocken, Sondierschacht standfest.



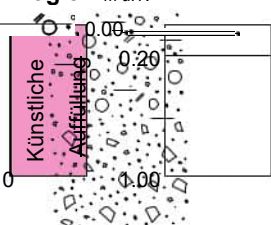
Baggersondierung BS9**Dr. Roland Wyss GmbH**

Geologische Beratungen

Zürcherstrasse 105 - 8500 Frauenfeld - www.rwgeo.ch

Sondierdatum: 9. November 2022
 Ansatzhöhe: 636.1 m ü.M.
 OK Rohr: -
 Koordinaten: 2'717'649 / 1'267'840

Aufnahme: A. Blum, Dr. Roland Wyss GmbH
 Ausführung: Ed. Vetter AG
 Sondierart: Baggersondierung
 Massstab: 1:50

Kote <i>m ü.M.</i>	Geo- logie	Tiefe <i>m u.T.</i>	Profil	Beschreibung	Angaben
636.10	Künstliche Auffüllung	0.00		Kies und Steine mit viel Sand und wenig Fremdstoffanteil, humos; dunkelbraun.	
635.10		1.00		Kies und Steine mit viel Sand und ca. 30% Fremdstoffanteil (v.a. Betonbruchstücke und Ziegel; wenig Keramik, Glas, Plastik, Folien, Schlacke), humos; dunkelbraun.	
Bemerkungen: Trocken.					



Anhang L Bericht: Archäologische Begleitung Baugrund- sondierungen und Prospektion – Amt für Archäologie

**Thundorf-Windenergieanlagen
Archäologische Begleitung Baugrundsondierungen
und Prospektion
Ereignis-Nr. 2022.081**



1. Version
8. Dezember 2022
Simone Benguerel

1 Anlass und Ausgangslage

Im Bereich des Wellenbergs, auf Gebiet der Gemeinde Thundorf, wird von den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich (EKZ) ein Windpark mit acht Windrädern geplant. Im Rahmen der Erarbeitung des Ausführungsprojekts wurden am Mittwoch, 9. November 2022, die vorgesehenen Standorte geologisch sondiert. Diese Arbeiten wurden vom Amt für Archäologie, Simone Benguerel, archäologisch begleitet. Die Sondierungen boten Gelegenheit, sich vom Bodenaufbau und von der topografischen Situation einen Eindruck zu verschaffen.

Für die Archäologie ist zusätzlich zu den Bodeneingriffen bei den Standorten der Anlagen der Ausbau von Zufahrten und Installationsflächen in einer Bauphase relevant. Auf aktueller Planungsgrundlage wurde nochmals geprüft, inwieweit bekannte archäologische Fundstellen und Substanzbereiche von historischen Verkehrswegen (gemäss dem aktuellen Bundesinventar) vom Bauvorhaben betroffen sind.

Eine erste Beurteilung der Situation war bereits im Rahmen des Umweltprüfverfahrens erfolgt. Die Stellungnahme Amt für Archäologie vom Juli 2022 verweist darauf, dass vom Bauvorhaben eine bekannte archäologische Fundstelle (Thundorf-Chalchofe) sowie Abschnitte historischer Verkehrswege betroffen sind. Zusätzlich ist angesichts der grossen Bodeneingriffe in einer Bauphase mit weiteren, bislang nicht bekannten archäologischen und paläontologischen Funden und Befunden zu rechnen.

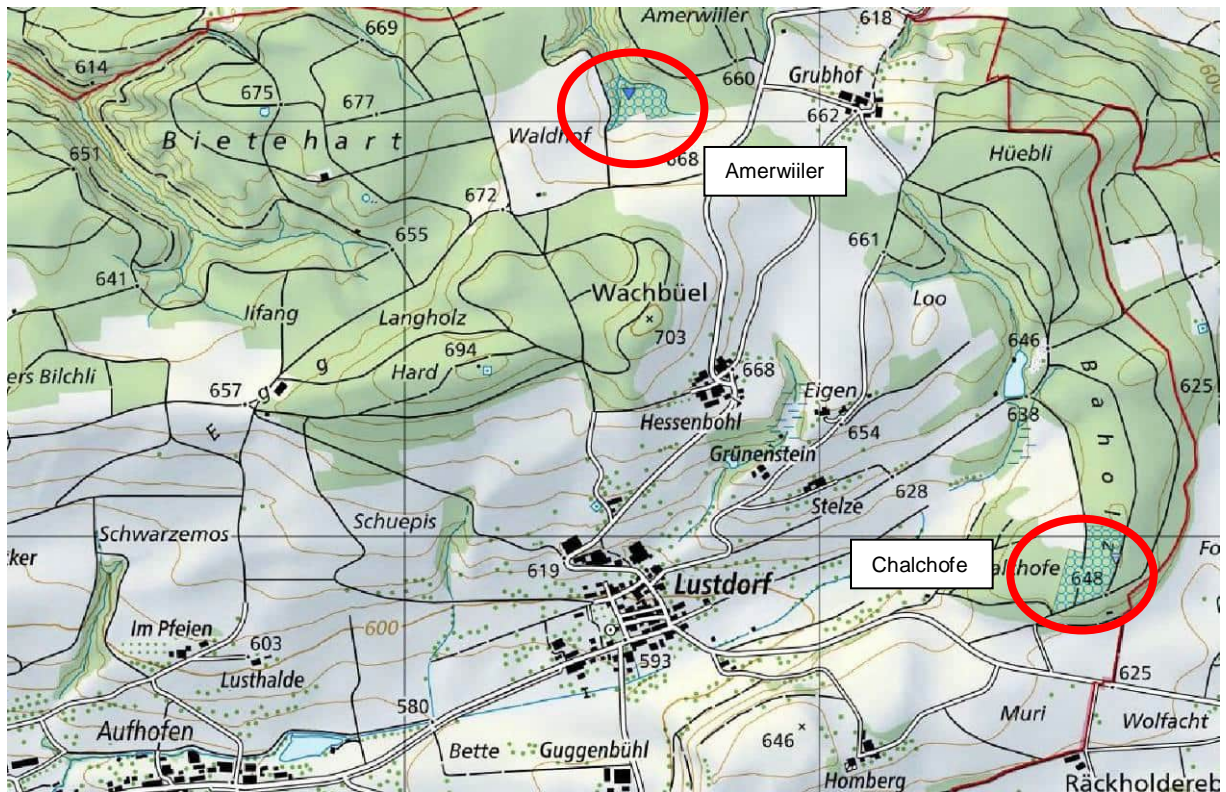
2 Fundstellen und historische Verkehrswege im Projektperimeter

2.1 Archäologische Fundstellen gemäss Richtplan und Inventar

Im Kantonalen Richtplan sind im Projektperimeter zwei archäologische Fundstellen geführt. Direkt von einem geplanten Windrad-Standort betroffen ist die Fundstelle lokaler Bedeutung bei Lustdorf-Chalchofe. Hier wurde im frühen 20. Jahrhundert im Gelände ein ausgeprägter Hügel vermerkt, der heute aufgrund der Flurbezeichnung "Chalchofe" als historischer Standort einer Kalkbrennerei erachtet wird. Festzuhalten ist allerdings, dass zwischen der Flurbezeichnung und dem Hügel kein Bezug bestehen muss. Eine archäologische Grabung hat hier bislang nicht stattgefunden und es sind auch keine archäologischen Funde im Bereich der ausgeschiedenen Zone archäologischen Funde bekannt.

Hügel dieser Art sind von anderer Stelle auch als prähistorische Grabmonumente (Grabhügel) bekannt. Meistens treten diese aber nicht als Einzelmonumente sondern als Grabhügelgruppen auf.

Die zweite Fundstelle bei Lustdorf-Amerwiiler ist ein im Gelände deutlich erkennbares Erdwerk (Halsgraben) südlich ausserhalb des Projektperimeters. Auch bei diesem Geländedenkmal fanden bislang keine archäologischen Grabungen statt.



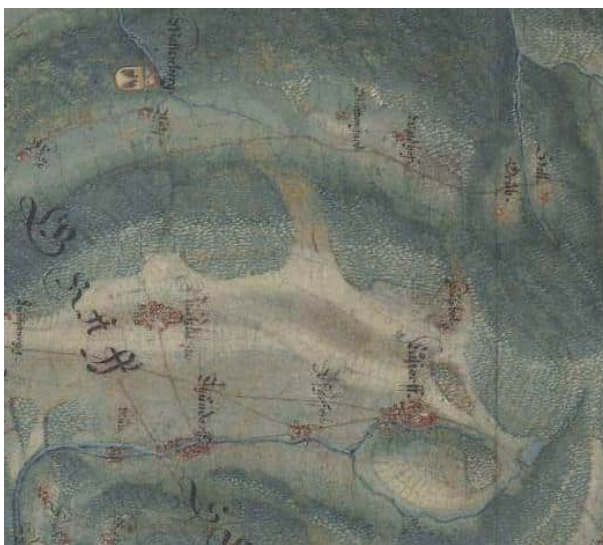
Weiter befinden sich im Projektperimeter mehrere Siedlungswüstungen, die im Inventar des Amtes für Archäologie erfasst sind. Solche historisch aufgelassenen Hausgruppen oder Kleinsiedlungen sind Teil der baulichen Erschliessung höherer Lagen. Historische Karten (Gygerkarte, sog. Österreicherkarte, Sulzbergerkarte, vgl. Abbildungen unten) zeigen das Siedlungsbild, wie es ab dem Hochmittelalter ausgebildet war: grössere Ortschaften im Talgrund, locker verteilte Höfe und Weiler entlang der Hangkanten, oftmals in ausgebildeten Waldlichtungen. Während einige davon wie Grueb (Gruebhof) heute noch bestehen, sind andere spätestens im 19. Jahrhundert aufgelassen worden. Ursachen für die Auflassung waren Seuchen wie die Pest (gerade im 17./18. Jahrhundert), klimatisch ungünstige Phasen (kleine Eiszeit, frühes 19. Jahrhundert) und besonders der Strukturwandel in der Landwirtschaft.

Westlich von Griesenberg liegt eine ausgedehnte Einzelhofregion. Das Gebiet der erstmals im frühen 13. Jahrhundert fassbare Herrschaft um die Burg Griesenberg zeigt also das typische Bild einer Region, in der im Hochmittelalter niedrige Adelige Siedlungsausbau betrieben haben und dabei auch Randlagen erschlossen.

Das bereits nach 1500 abgegangene Ärwilen (oder Märwilen) gehört zu einer westlichen Gruppe von Wüstungen. Die Flurnamen "Chräzeren", "Schlatt" und "Amerwiler", je auf einer grösseren Geländeterrasse mit Waldlichtung gelegen, weisen sogar auf bis drei Hofwüstungen hin. Die genaue Entstehungszeit Ärwilens ist unbekannt. 1368 wird "der hof ze Erwile" dem Hochstift Konstanz geschenkt, 1374 wird der gleiche (?) Hof verkauft und bereits 1385 erneut abgestossen. Häufige Handwechsel können Hinweis auf ungünstige wirtschaftliche Lage sein. Im letzten Beleg erscheint "Aerwile" 1466, "zwischen Wulfikon und Ochsenhart" gelegen als ein Teil der Herrschaft

Spiegelberg. Von der Siedlung sind Wölbäckersysteme und ausgedehnte Ackerterrassen erhalten.

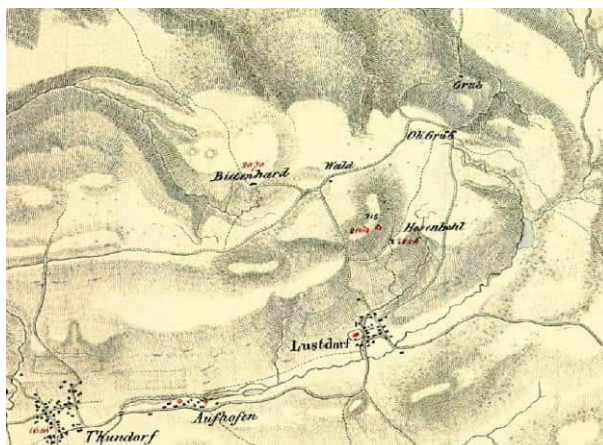
Bietenhart (oder Büttenhart) wird in einem Urbar des 13. Jahrhunderts genannt, ist sowohl auf der Gyger- als der Sulzberger-Karte vermerkt, und wird ab dem frühen 19. Jahrhundert nach und nach aufgelassen. 1826 und 1830 ersteigerte der Kanton Thurgau die Flächen und forstete sie auf. 1997 wurde von einem Verein der Sodbrunnen sowie einzelne bauliche Strukturen des ehemaligen Gehöfts ausgegraben. Der Sodbrunnen wurde im Anschluss restauriert und vor Ort ein Grillplatz eingerichtet.



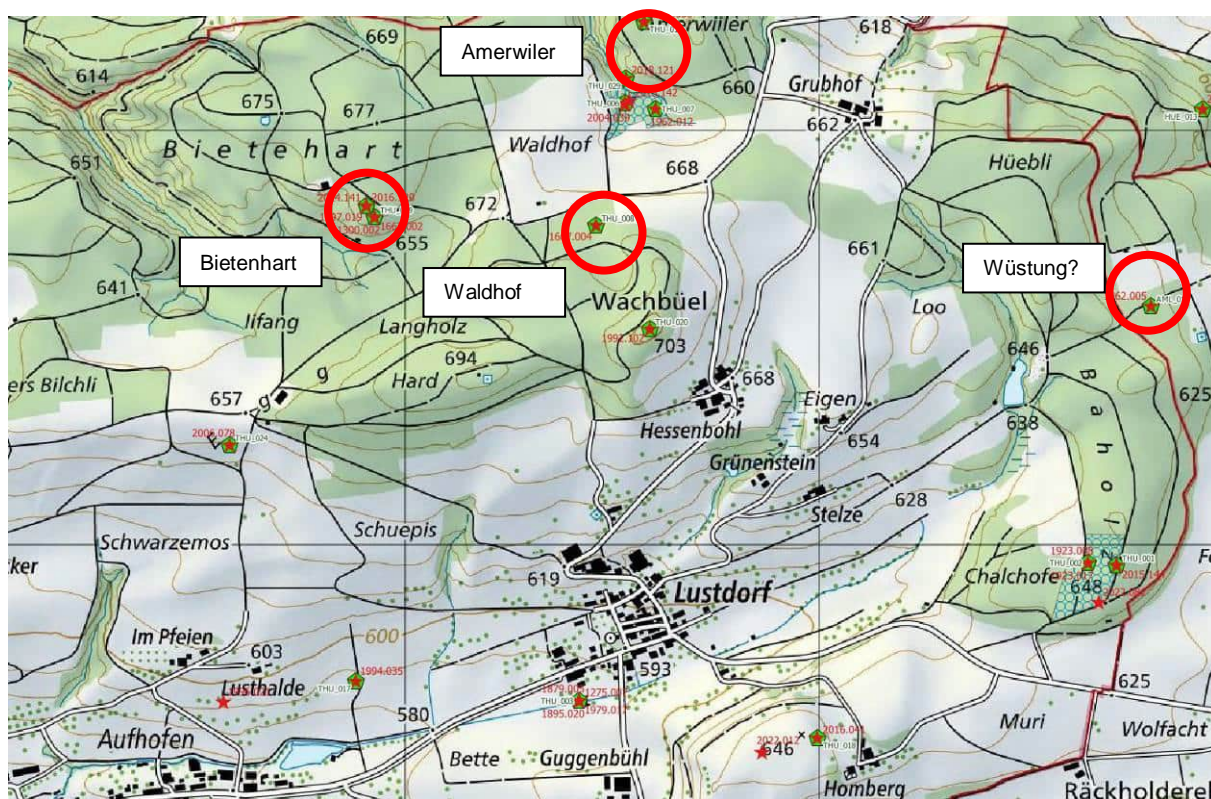
Historische Karte von Hans Conrad Gyger (1667), Einer Loblichen Statt Zürich Eigentümlich-Zugehörige Graff- und Herrschaften, Stett, Land und Gebieth.



Karten des österreichischen Generalquartiermeisterstabes von 1799. Sie wurden während des Zweiten Koalitionskrieges erstellt, als österreichische Truppen die Nordostschweiz besetzt hielten.



Karten 1828 und 1835/36 von Johann Jakob Sulzberger im Massstab 1:21'600 aufgenommen



Karte Swisstopo, eingetragen die archäologischen Fundstellen (blaue Kreise) gemäss Zonenplan, die sog. Ereignisse (rote Sterne) sowie Fundstellen (grüne Sechsecke) gemäss Datenbank Amt für Archäologie. Rot eingekreist sind vermutete Hofwüstungen, Lage gemäss Fundstelleninventar des Amtes für Archäologie.

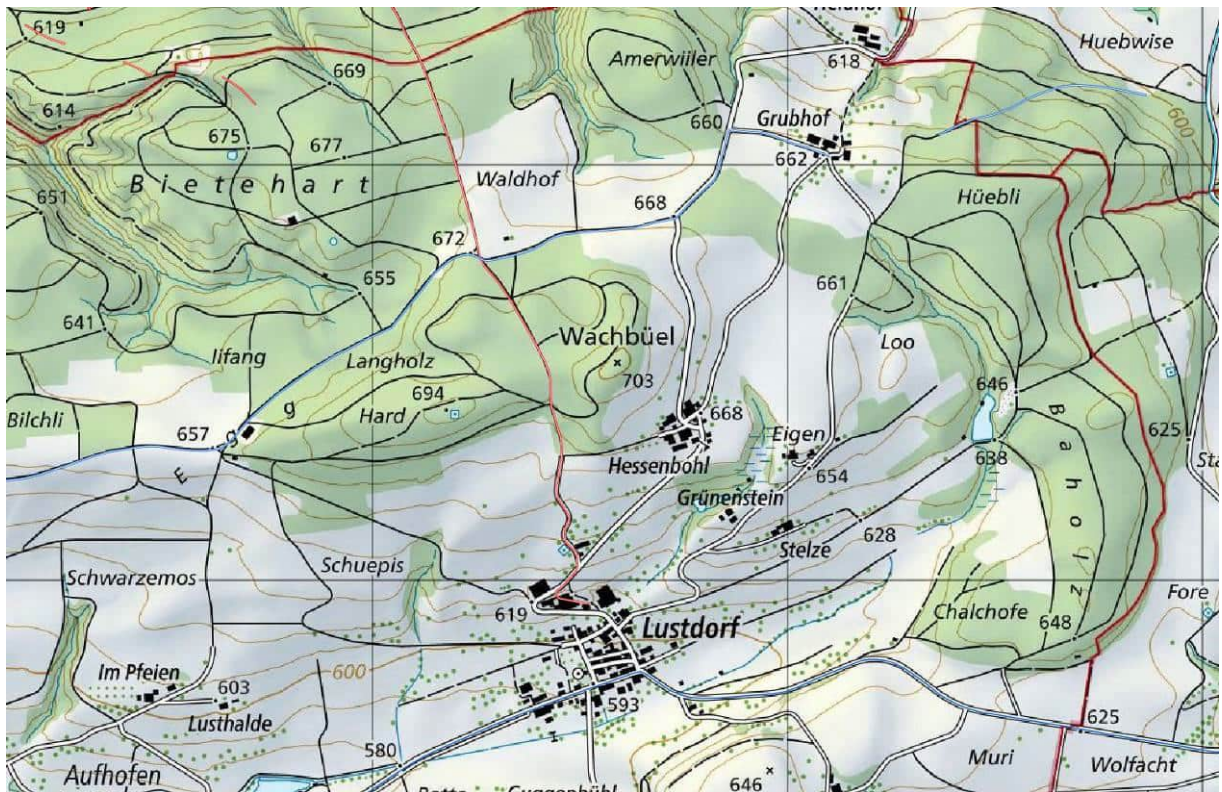
Zusätzlich zu den Hofwüstungen wird auf dem Wachbüel eine Hochwacht verortet. Rund fünfzig solcher Anlagen bestanden während dem Dreissigjährigen Krieg (1618–48) und dienten als Alarmierungssystem per Rauch- und Feuer.

Von einer älteren, prähistorischen und römischen Nutzung des Projektperimeters zeugen bislang nur wenige Oberflächenfunde, so ein Silexartefakt bei Egg und römische Münzen bei Hasliraa (Gde. Hüttlingen).

2.2 Substanzabschnitte historische Verkehrswege (IVS)

Im Projektperimeter verlaufen mehrere im Bundesinventar enthaltene historische Verkehrswege (IVS). Von nationaler Bedeutung ist die Wegverbindung von Mettendorf/Hüttlingen bis Lustdorf (IVS, TG 120.1), deren historischer Substanz besonders auf Boden der heutigen Gemeinde Hüttlingen als Bündel von Hohlwegen ausgeprägt erhalten ist. Die im Projektperimeter liegenden Substanzabschnitte zwischen Waldhof und Lustdorf sind als Kiesstrassen ausgebaut. Ausgeprägte Geländeeinschnitte sind hier nicht zu beobachten.

Von Ost nach West verläuft die Verbindung von Frauenfeld nach Griesenberg regionaler Bedeutung (IVS, TG 404), die besonders im östlichen Bereich als Kiesstrasse ausgebaut sind.



3 Archäologische Begleitung der Baugrund-Sondierungen

3.1 Vorgehen und archäologische Dokumentation

Unter Leitung von Andreas Blum, Dr. Roland Wyss GmbH, wurde am ungefähr im zentralen Bereich jedes vorgesehenen Standorts, ein Baggerschnitt angelegt. Diese waren vorgängig geplant worden (vgl. Sondierungskonzept Dr. Roland Wyss GmbH vom 26. Oktober 2022). Die Bezeichnungen der Baggerschnitte (BS) gemäss Sondierungskonzept wurde für die archäologische Dokumentation übernommen. Die Nummer der Schnitte entspricht dabei derjenigen der Windanlage.

Die Arbeiten wurden am 9. November 2022 ausgeführt. Je Schnitt wurde die Schichtfolge auch archäologisch dokumentiert (Ausnahme BS 9, Altlastensondierung). Zusätzlich wurde der auffällige Hügel bei der Flur Chalchofe (archäologische Fundstelle) randlich von der Strasse her mittels Bagger angeschnitten (BS 10). Die archäologische Dokumentation beschränkt sich auf fotografische Aufnahmen und eine schematische Aufnahme einer Schichtfolge.

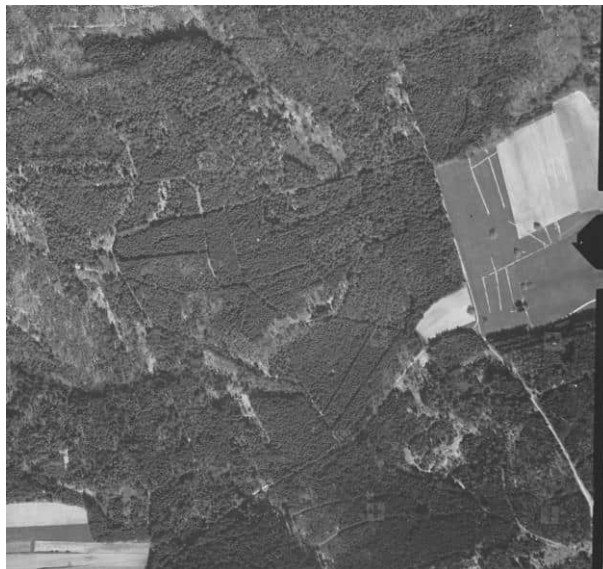
Die Einmessung der Schnitte erfolgte von Andreas Blum per GPS, wobei die Genauigkeit der Messung durch den Baumbestand etc. eingeschränkt wurde.

3.2 *Ergebnisse aus archäologischer Sicht*

Abgesehen von BS 1, der in einer landwirtschaftlich genutzten Fläche liegt (Ilfang), und BS 4 auf einer Wiese gegenüber einem Munitionsmagazin (?) (Itzumbüel), befinden sich die Schnitte im Wald. Die beiden genannten sind auch diejenigen mit einer komplexeren Schichtfolge und zeigen einen etwas ausgeprägteren B-Horizont. Bei BS 4 handelt es sich im obersten Bereich um eine sekundäre Auffüllung. Diese stammt vielleicht von Bau der nahegelegenen Waldstrasse, möglicherweise aber auch vom Aushub des benachbarten Munitionsmagazins, das heute ArmaSuisse gehört. Auf einem Luftbild von Swisstopo aus dem Jahr 1945 lässt sich wahrscheinlich die Baustelle erkennen.

In den übrigen Sondierschnitten folgte unter einem geringmächtigen Waldboden das anstehende Sediment, in der Regel eine Abfolge von siltigem Material mit Kies, das in einen Kies und schliesslich in eine kompakte Nagelfluh übergeht. In der Folge konnten einige Schnitte (z.B. BS 5, BS 7B) auf weniger als 1 m Tiefe ausgeführt werden.

Archäologisch relevante Schichten oder Funde zeigten sich in keinem der Schnitte.



Lufbild Swisstopo, LUBIS
([ch.swisstopo.lubis-luftbilder-dritte-kantone.ebkey: 19450070270430](http://ch.swisstopo.lubis-luftbilder-dritte-kantone.ebkey:19450070270430)).

3.3 *Fundstelle Chalchofe, Sondierschnitt*

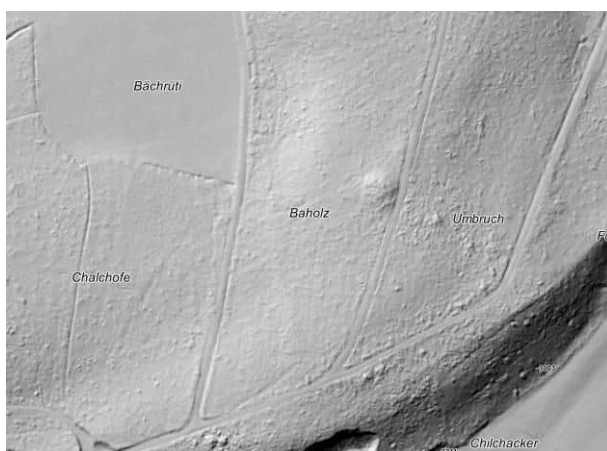
Der Hügel war auf der Ostseite bereits durch den Bau der Waldstrasse randlich angeschnitten worden. Von dort aus wurde nun vom Strassenrand aus etwa auf 0,8 m ein ebenfalls etwa 0,8 m tiefer Baggerschnitt angelegt (BS 10). Aufgrund vieler Wurzeln, konnte dieser nur mit der schräg geführten Baggerschaufel ausgeführt werden – der Hügel wurde mehr oder weniger "angekratzt". Die Schichtfolge zeigte unter dem Waldboden, einer bioturbirten Zwischenschicht einen beigen Silt.

Der Hügel wurde begangen, dabei konnte auf Hinweis von Res Blumer auch der andere Bewuchs (Heidelbeeren!) beobachtet werden. Das weist entweder auf einen sauren oder sehr trockenen Boden.

Weder im Baggerschnitt noch bei der Oberflächenbegehung konnten archäologisch relevante Beobachtungen gemacht werden. Der im Durchmesser etwa 20 m grosse und etwa 2 m hohe Hügel ist auffällig rund geformt. Die Grösse und das Fehlen von

Kalksteinen (Oberfläche und Schnitt) spricht gegen eine Kalkbrennerei. Bei einer solchen sind in der Umgebung von Öfen viele, nicht vollständig ausgeglühte Steine anzutreffen. Ebenso fehlt Holzkohle, die bei Branntkalkherstellung ebenfalls in grosser Menge vorhanden sein müsste, oder andere Hinweise auf Feuer. Bei einem Grabhügel wäre mit eingebrachten Steinschichten zu rechnen. Allerdings kratzte der Baggerschnitt nur an der Oberfläche, Steine könnten bei tieferen Eingriffen noch angetroffen werden.

Der Baggerschnitt erbrachte keine Hinweise auf eine anthropogene Herkunft des Hügels.



DTM-Relief, kantonales GIS, in der Bildmitte ist der Hügel zu erkennen.

4 Zusammenfassung und weitere Massnahmen

Von den im Kantonalen Richtplan ausgeschiedenen und in den Ortsplanungen als Zone archäologischer Funde geführten beiden Fundstellen ist diejenige bei Lustdorf-Chalchofe von der projektierten Windkraftanlage tangiert. Ebenso Substanzabschnitte historischer Verkehrswege gemäss dem Bundesinventar.

Ein Sondiereingriff in den auffälligen Hügel bei Chalchofe erbrachte keinen Hinweis auf eine anthropogene Herkunft. Da der Baggerschnitt nur randlich ausgeführt worden ist, ist in einem nächsten Schritt eine archäologische Handsondierung im Hügelszentrum vorgesehen.

Der Projektperimeter der Windkraftanlagen war seit dem Mittelalter besiedelt, viele der Weiler und Gehöfte wurden spätestens im 19. Jahrhundert aufgelassen. Wie die archäologischen Untersuchungen bei Bietenhart zeigen, sind Ruinen dieser Siedlungswüstungen erhalten. Ebenso zeichnen sich im Geländere relief die bewirtschafteten Flächen als Hochäcker ab, die z.T. im heutigen Wald liegen. Die Baugrundsondierungen bei den Standorten zeigen nur bei heutigen Wiesflächen einen Oberboden, der landwirtschaftlich nutzbar war oder genutzt worden wäre – Hinweise auf historische Äcker konnten nicht entdeckt werden.

Vorläufig liegen nur wenige archäologische Funde vor, Einzelfunde bezeugen eine Begehung seit prähistorischer Zeit. Mittels gezielter Oberflächenbegehungen, z.B. durch Detektorgänger, soll der Projektperimeter genauer auf archäologische Funde abgesucht werden. Neben den projektierten Standorten der Windkraftanlagen gilt

das Augenmerk einer solchen Prospektion den bekannten archäologischen Fundstellen – darunter die Siedlungswüstungen – und den historischen Verkehrswegen.

Anhang M Absicherungserklärungen für Kompensations- massnahmen

Anhang M

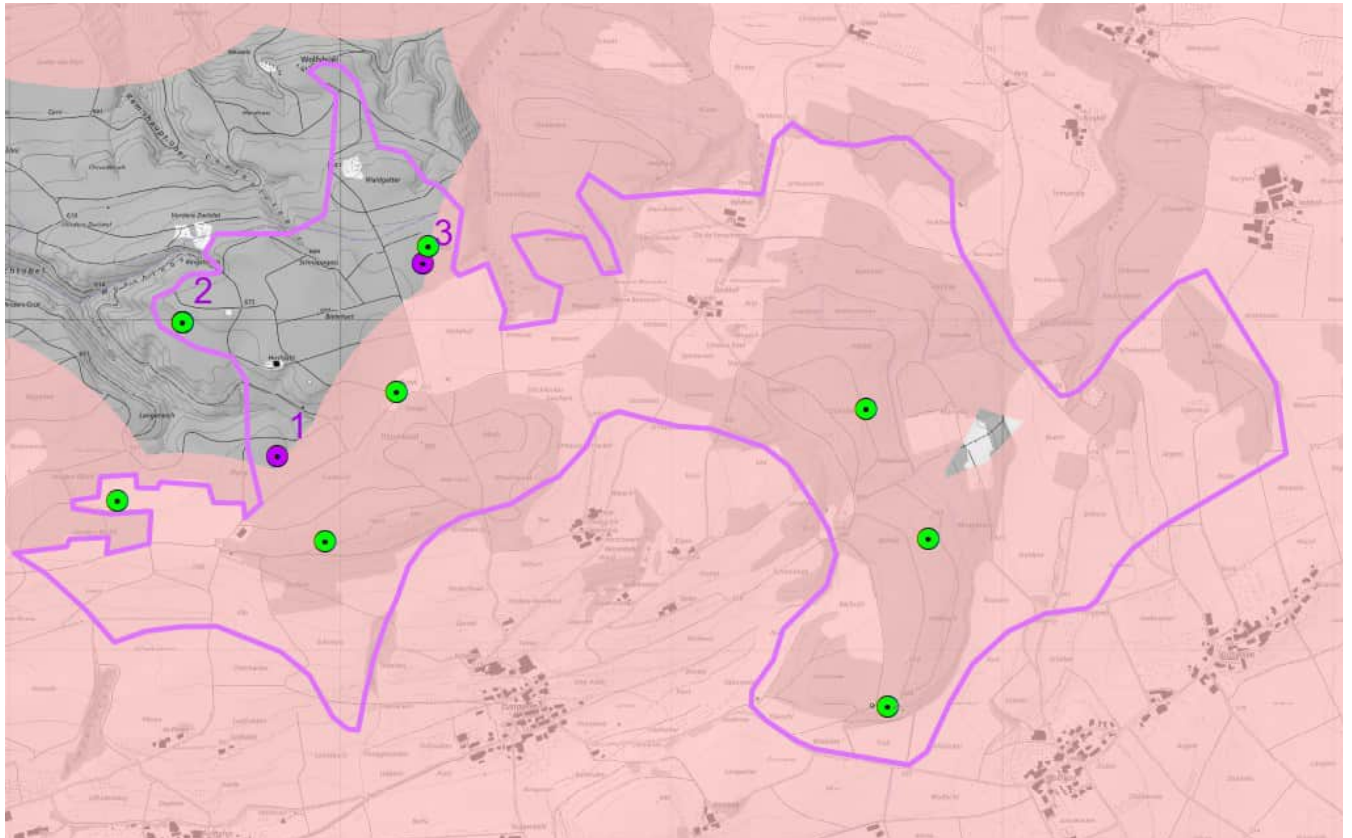
Dokumente folgen

Anhang N Varianten-Wahl

Windprojekt Wellenberg

Version 1.2 I
MSB211018_WP_Thundorf

Übersicht zur Wahl des Windparklayouts



Impressum

Auftragsnummer	MSB211018_WP_Thundorf
Auftraggeber	Wellenberg Wind AG (WWAG)
Datum	29. Januar 2024
Version	1.2
Vorversionen	
Autor(en)	Philipp Mattle, Nina Küchlin
Freigabe	Alfredo Scherngell
Verteiler	
Datei	Dokument1
Seitenanzahl	32
Copyright	© Emch+Berger Revelio AG

Inhalt

1	Einführung.....	1
2	Anlagenlayout - Die Ausgangslage (Layout 1).....	1
2.1	Anlagenlayout 2 – Ausweitung der Standorte als Grundlage für umfassende Standortabklärungen.....	4
2.2	Anlagenlayout 3.....	5
2.3	Anlagenlayout 4.....	6
2.4	Anlagenlayout 5.....	7
2.5	Anlagenlayout 6 und 7	8
2.6	Anlagenlayout 8.....	10
2.7	Anlagenlayout 9+10 – Zwischenstand nach ersten Abwägungen	10
2.8	Anlagenlayout 11+12 – Informationsveranstaltung in Thundorf	14
2.9	Anlagenlayout von 11/12 nach 13 –Version VU.....	17
2.10	Anlagenlayout 14 und 15 – Feinoptimierung der Standorte.....	19
3	Vom Layout 15 zum Layout 20	26

1 Einführung

Im Zuge der Untersuchungen wurde in einem iterativen Verfahren schrittweise die Standortwahl für die einzelnen Windenergieanlagen optimiert. In Ergänzung zu lokalen Gegebenheiten und bestehenden Wegführungen wurden die Ergebnisse der Flora- und Fauna-Untersuchungen, archäologische Flächen, schalltechnische Anforderungen und weitere Themen für die Standortpositionierung berücksichtigt und die Planung auf die lokale Topografie optimiert. Im Zuge dessen sind zahlreiche Layoutkonstellationen entstanden.

Nachfolgend wird die Herleitung des gewählten Windparklayouts, ausgehend von den Layoutvarianten, welche für die Machbarkeitsstudie aus dem Jahr 2017 als Grundlage dienten, über alle Zwischenetappen dargestellt. Dabei werden jeweils ausschlaggebende Gründe für Anpassungen aufgeführt, um aufzuzeigen, welche Argumente je Anlagenstandort in die Positionswahl bzw. deren Verschiebung eingegangen sind.

2 Anlagenlayout - Die Ausgangslage (Layout 1)

Für den Richtplan Windenergie des Kantons Thurgau wurde neben anderen Standorten der Wellenberg untersucht und als geeignet eingestuft. Bei der Windpotenzialstudie von 2014¹ wurde auch der westliche Wellenberg in die Untersuchung mit einbezogen. Es wurden damals verfügbare Anlagen bis 141 m Nabenhöhe als geeignet eingestuft. In der Machbarkeitsstudie von 2017² wurden schlussendlich die zwei Layoutvarianten West und Ost beurteilt. Die Variante West reichte im Westen über den heutigen Richtplanperimeter hinaus, die Variante Ost lag innerhalb des schlussendlich festgesetzten Richtplanperimeters.

Das im kantonalen Richtplan festgesetzte Windenergiegebiet (WEG) Thundorf weicht deutlich vom Perimeter ab, der für erste Abklärung definiert war. Insbesondere grössere Flächen im offenen Gelände im Gebiet Friedberg sind weggefallen. Mit dem im Richtplan gemachten Vorgaben wird der Spielraum für die Platzierung von Anlagen ausserhalb des Waldes und des Waldrand-Bereichs stark eingeschränkt. Entsprechend ist es nicht oder nur sehr bedingt möglich, die Anlagen-Standorte im offenen Gelände zu platzieren. Im Ergänzenden Bericht zur Richtplanänderung³ wurden damals verfügbare Anlagen bis 136 m Rotordurchmesser als geeignet eingestuft. Im Rahmen der kantonalen Richtplanung und der dafür erarbeiteten Berichte wurden keine Beschränkungen in Bezug auf die Nabenhöhe oder Rotordurchmesser definiert, sondern jeweils verfügbare Anlagen getestet und als geeignet eingestuft.

Tabelle 1 Themen - Anlagenlayout - Ausgangslage

Thema	Bemerkung
Anlagentyp	Nabenhöhen bis 141 m und Rotordurchmesser bis 136 m
Avifauna	Vogel- und Fledermausvorkommen sind in Rahmen einer Vorabklärung ⁴ bzw. bei den Fledermäusen einer Vorabklärung ⁵ und einer erweiterten Vorabklärung ⁶ untersucht worden: Bezüglich Brutvögel sind zwei Brutplätze des Habichts innerhalb des Windenergiegebietes verzeichnet. Der Habicht ist zwar eine Art von nationaler Priorität jedoch keine Art der Roten Liste. Zieht man den Prüfbereich 1 km um den Perimeter

¹ Windpotentialstudie Kanton Thurgau, Teil 2, Standortbeurteilung, New Energy Scout GmbH im Auftrag des Kantons Thurgau (2014)

² Machbarkeitsstudie Windpark Thundorf (Kanton Thurgau), New Energy Scout GmbH im Auftrag der EKZ (2017)

³ Ergänzender Bericht zur Richtplanänderung, „Windenergie“; New Energy Scout GmbH im Auftrag des Kantons Thurgau (2018)

⁴ Vorabklärung Konfliktpotenzial Windanlagen-Vögel für die Richtplanung des Kantons Thurgau, Orniplan AG, Zürich (2018)

⁵ Vorabklärung: Einflussrisiken auf Fledermäuse infolge des Windkraftprojektes, Windkraftanlage Thundorf, Thurgauische Koordinationsstelle für Fledermausschutz, Marius Heeb (2016)

⁶ Erweiterte Vorabklärung zum Windpark-Projekt, Batec (2016)

Thema	Bemerkung
	<p>in die Betrachtung mit ein, zeigt sich kein erhöhtes Konfliktpotenzial. Das Windenergiegebiet liegt in kritischer Nähe zu zwei grossen winterlichen Rotmilan-Schlafplätzen, mit zeitweise über 100 rastenden Rotmilanen im Lauchetal zwischen Matzingen und Affeltrangen, sowie in Üsslingen. Die östliche Variante stellt in Bezug auf den Rotmilan eine klare Entschärfung des Konfliktpotenzials dar.</p> <p>Bezüglich Zugvögel ist im nordwestlichen Teil des Windenergiegebiets ein kleines Konfliktpotenzial vorhanden. In den übrigen Teilen existiert ein mittleres Konfliktpotenzial. Die Empfehlungen der Vogelwarte Sempach richten sich nach den Ausführungen im ergänzenden Bericht zum Richtplan.</p> <p>Die Analyse des Konfliktpotenzials mit Fledermäusen basiert auf einem grösseren Windenergieperimeter als aktuell vorgesehen. Es können daher leichte Abweichungen resultieren.</p> <p>Der Standort ist „mit besonderen Fledermausaktivitäten“ verknüpft. Er gilt als nachgewiesener (Grosses Mausohr) oder wahrscheinlicher Jagdlebensraum (Grosser Abendsegler) von nahegelegenen grossen Kolonien. Der Standort kommt zudem als Migrationskorridor des Grossen Abendseglers in Frage. Weitere Arten nutzen auf Grund der Strukturen des Gebietes wahrscheinlich diesen Standort als Jagdlebensraum.</p>
Wald und Landwirtschaft	<p>Die Lage im Wald, die Nähe zu Waldreservaten und zu ruhigen Waldzonen (RW) wurden bei den einzelnen Standorten abgewogen. Es wurden jeweils Standorte ausserhalb des Waldes geprüft.</p> <p>Waldreservate wurden als Ausschlusskriterien für die Anlagen (Fundament) definiert, entsprechend wurden keine Anlagen in Waldreservaten platziert.</p> <p>Eine Verschiebung aller Anlagen aus dem Wald wurde als nicht machbar eingestuft und Anlagen im Wald als sinnvoll und umweltverträglich eingestuft.</p>
Landschaftsschutz	<p>Die Sichtbarkeit beider Varianten von Frauenfeld, Thundorf und Lustdorf (als geschütztes Ortsbild) wurden bei der Beurteilung berücksichtigt.</p> <p>Eine Verschiebung des Windparks von einem Gebiet mit Vorrang Landschaft in ein Gebiet ohne Vorrang Landschaft wurde als nicht möglich eingestuft.</p> <p>Die Anordnung der Anlagen rund um Lustdorf und die Distanz vom BLN-Gebiet «Immenberg» wurde berücksichtigt.</p> <p>Die Variante West wäre in Bezug auf Lustdorf weniger heikel gewesen, es wurde trotzdem die Variante Ost bevorzugt.</p>
Perimeter	<p>Die Richtplanänderung Windenergie führte erst 2018 zur Festlegung der Perimetergrenzen, auf Basis der Untersuchungen im Rahmen der Richtplanung.</p>
Wirtschaftlichkeit	<p>Die Positionierung der Anlagen erfolgte nach wirtschaftlich optimalem Ertrag unter Berücksichtigung bestehender Zufahrtsstrassen.</p>
Anzahl	<p>7 Anlagen in 2 Layoutvarianten, Anlagen 1-4 gleichbleibend</p>

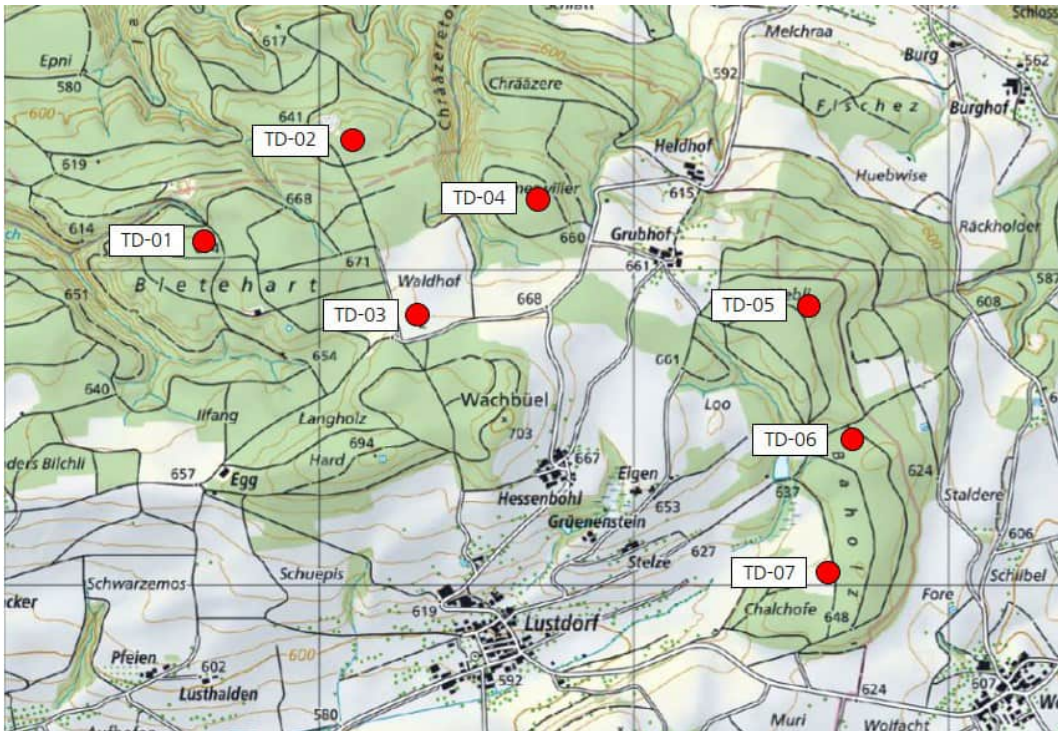


Abbildung 1 Layout Projektvariante Ost (New Energy Scout GmbH (NES), Machbarkeitsstudie Windpark Thundorf, 2017)

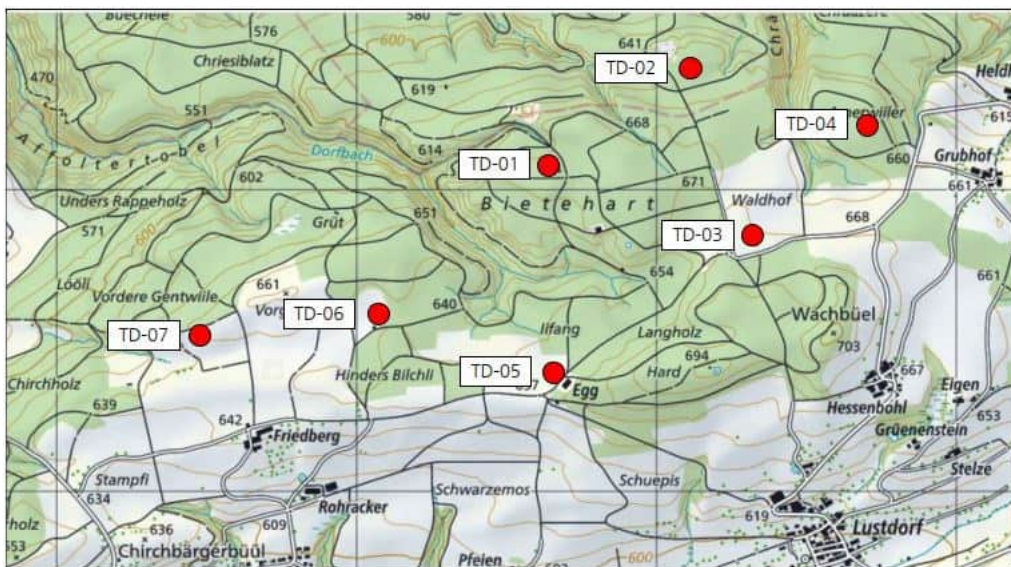


Abbildung 2: Layout Projektvariante West (NES, Machbarkeitsstudie Windpark Thundorf, 2017)

Im Jahr 2018 wurde im Rahmen der Festsetzung des Richtplans der östliche Perimeter gegenüber der Variante West bevorzugt.

Unter anderem liegt der östliche Perimeter etwas weiter von den besiedelten Gebieten entfernt und weist eine grössere Distanz zum Winterschlafplatz des Rotmilans auf. Diese östliche Variante wurde bevorzugt, obwohl die Anlagen im Osten hinter dem geschützten Ortsbild von Lustdorf zu liegen kommen und deutlich mehr Anlagen im Wald liegen (5 von 7 in der Variante Ost gegenüber 3 von 7 Anlagen in der Variante West). In Bezug auf den Vorrang Landschaft ist kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Varianten auszumachen.

Als Anlagentyp waren zu diesem Zeitpunkt übliche Anlagenmodelle von rund 210 m Gesamthöhe angedacht. Die Ausgangslage für die vorliegende Variantenwahl entspricht dem Layout Ost von NES, welche für die Festlegung des Richtplans als mögliches Layout ausgewiesen wurde.

Bei der Festlegung des Richtplanperimeters wurde jeweils auf den Mast der Anlagen (ev. auf das Fundament abgestützt, nicht aber auf die vom Rotor überstrichene Fläche, denn die Anlage TD-04 überstreicht bereits mit einem Rotor von 120 m die festgelegte Perimetergrenze des WEG.

2.1 Anlagenlayout 2 – Ausweitung der Standorte als Grundlage für umfassende Standortabklärungen

Basierend auf dem Ausgangslayout (Layout 1) wurden in der nächsten Projektierungsstufe zahlreiche Anlagentypen und Standortkombinationen geprüft. Als Vorgabe wurde die Perimetergrenze gemäss Richtplan zu Grunde gelegt. Für Mast und Fundament wurden die Waldreservate als Ausschlusskriterium vorgegeben.

Für die Beurteilung wurden Anlagen nach dem aktuellen Stand der Technik mit grossen Rotordurchmessern in die Untersuchung mit einbezogen. Es zeigte sich im weiteren Projektverlauf, dass grosse Anlagen möglich und aus wirtschaftlicher Sicht interessant sind. Zum Schutz der Fledermäuse und Brutvögel wurde zudem ein Mindestabstand der Rotorunterkante zum Boden von 85 m definiert, was zusammen mit den grossen Rotordurchmessern zu deutlich höheren Anlagen führte, als in der Richtplanung vorgesehen.

Im Anlagenlayout 2 wurde unter Berücksichtigung der kleinstmöglichen Distanz zwischen den Anlagen eine möglichst hohe Anzahl im Richtplanperimeter platziert, um im Windenergiegebiet eine maximale Stromausbeute zu erreichen. Es konnten so maximal 14 Anlagen im Richtplanperimeter platziert werden. Von diesen Anlagen liegen 6 im Offenland und 8 innerhalb vom Wald.

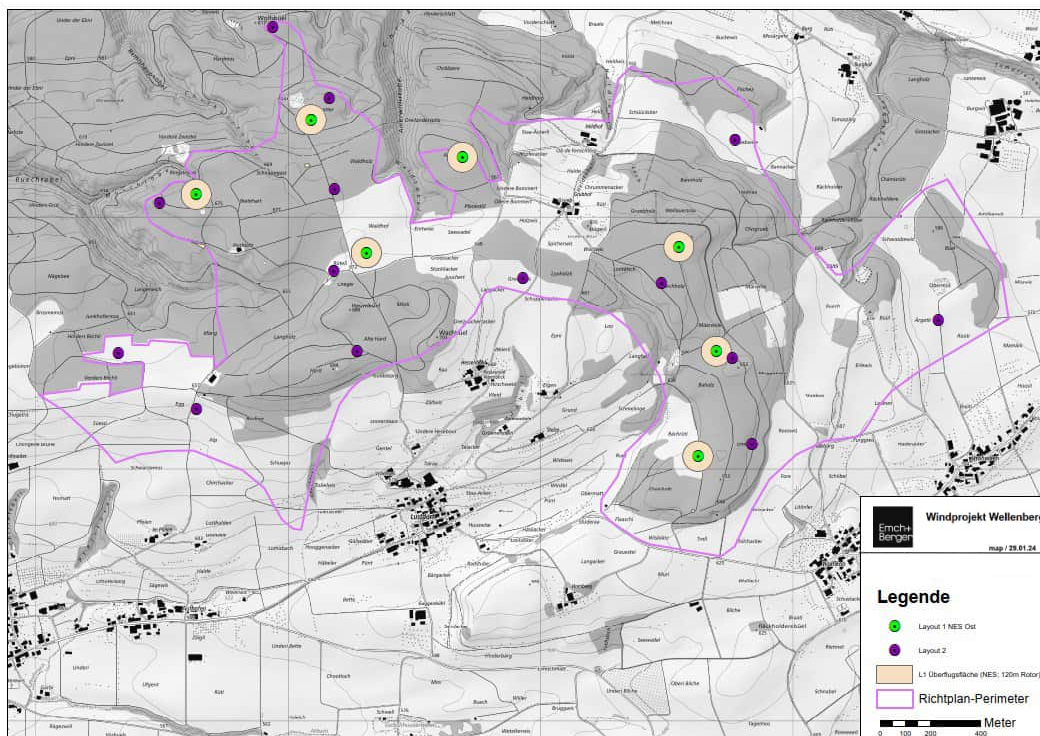


Abbildung 3: Layout 1 (Projektvariante Ost, NES, Machbarkeitsstudie Windpark Thundorf, 2017) gegenüber Layout 2

2.2 Anlagenlayout 3

Aufgrund der verhältnismässig weniger ergiebigen Winderträge wurden die beiden Standorte im Osten des Windenergiegebietes auf Gemeindegebiet von Amlikon-Bissegg weggelassen und die Anzahl der Anlagen auf 12 Standorte reduziert.

In Bezug auf den Grubhof war das Ziel, die Anlagen in diesem Bereich etwas weiter von den bewohnten Gebäuden zu entfernen. Ebenso wurde die Anlage im Südwesten etwas gegen Norden verschoben, um grössere Distanz zu den bewohnten Gebäuden von Lustdorf und Thundorf zu erhalten.

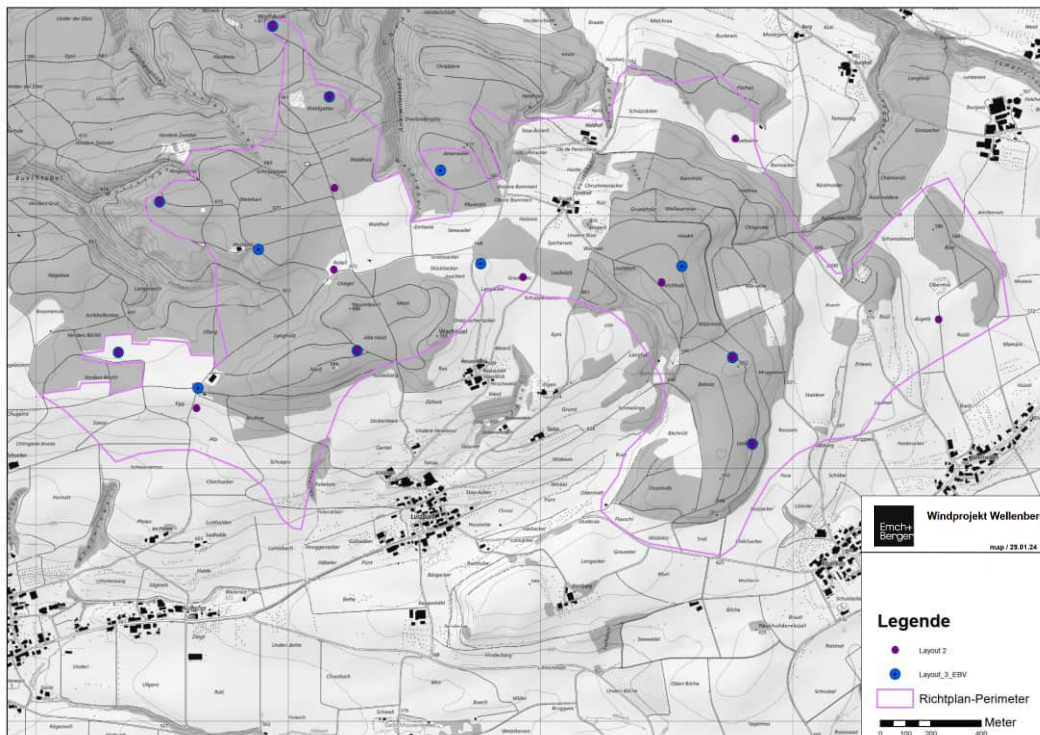


Abbildung 4: Layout 2 gegenüber Layout 3

2.3 Anlagenlayout 4

Beim Layout 4 wurde der Effekt einer Verschiebung der östlichen Anlagen gegen Westen untersucht, um mehr Abstand zu den bewohnten Gebäuden in Wolfikon und Strohwillen zu erhalten. Es zeigte sich, dass hierfür die weiteren Anlagen ebenfalls verschoben werden müssten, um übermässige Turbulenzen und Abschattungsverluste an den Anlagen zu vermeiden. In dieser Konfiguration wäre ein Layout nur mit einer Anlage weniger (11 Anlagen) möglich gewesen. Diese Variante wurde daher verworfen.

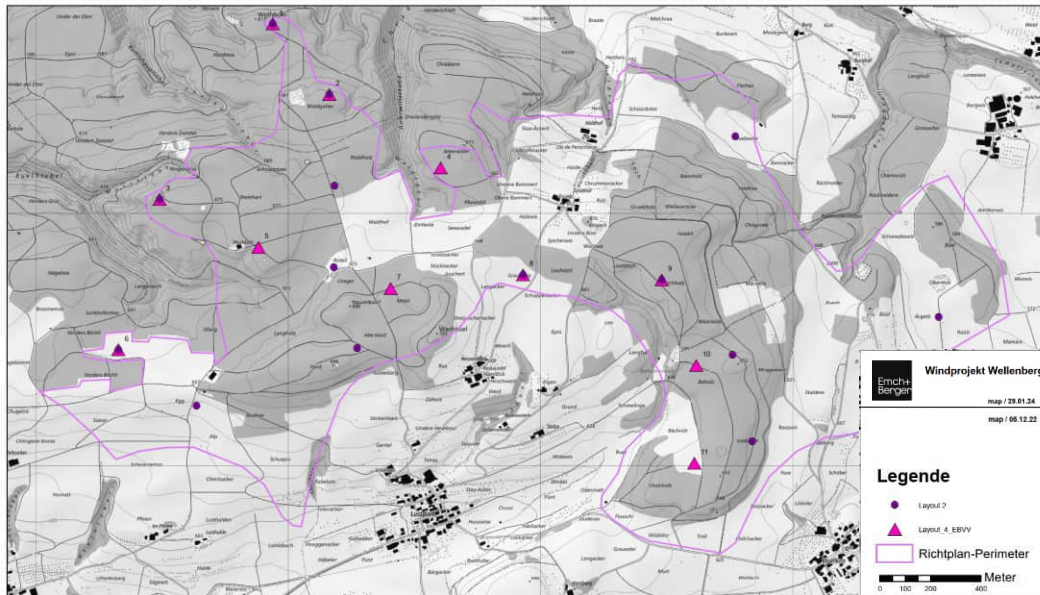


Abbildung 5: Layout 4 gegenüber Layout 2

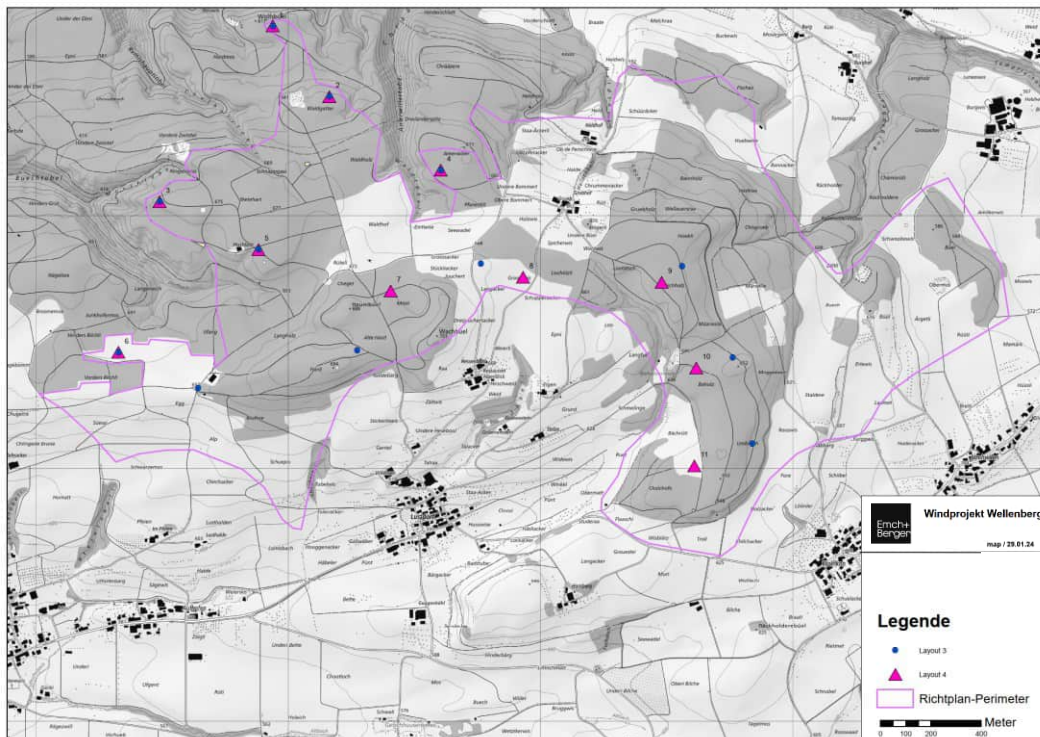


Abbildung 6: Layout 4 gegenüber Layout 3

2.4 Anlagenlayout 5

Bei der Begehung vor Ort wurde festgestellt, dass die Anlage Nr. 2 im Norden in der Nähe einer ökologisch wertvollen ehemaligen Kiesgrube beim Waldgatter zu liegen käme. Aufgrund dieser Beobachtung wurde die Anlage im Layout 5 leicht verschoben.

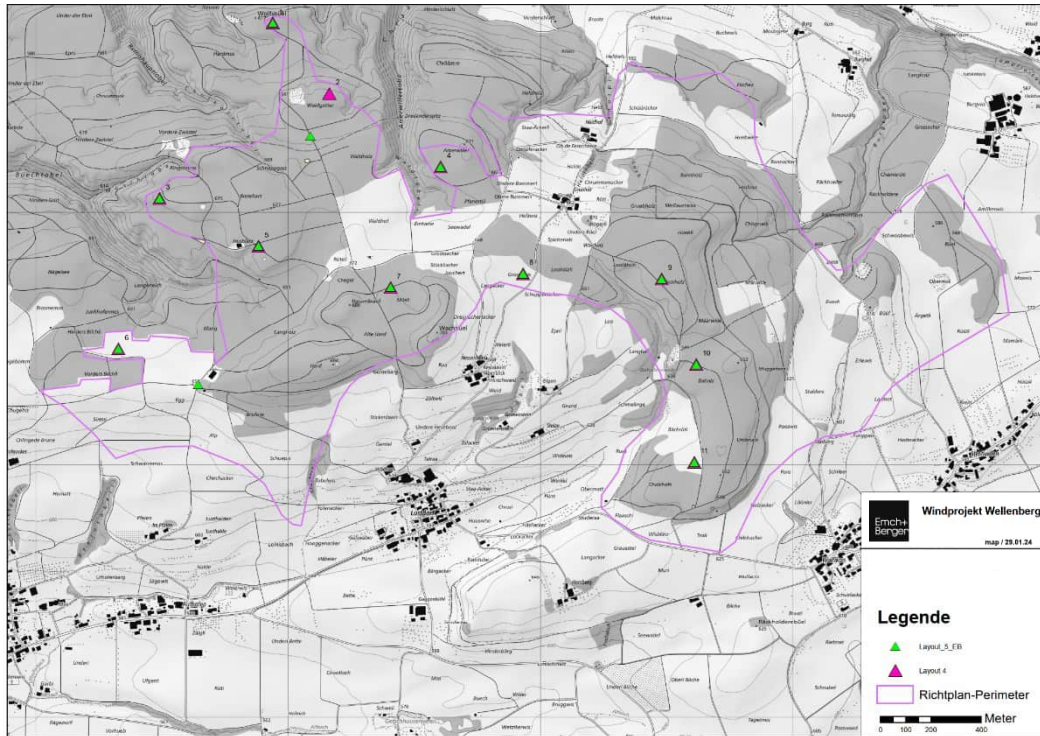


Abbildung 7: Layout 5 gegenüber Layout 4

2.5 Anlagenlayout 6 und 7

Beim Anlagenlayout 6 wurde eine optimalere Einbettung des Windparks in die Landschaft angestrebt und die Anlagen im Osten stärker zwischen Nord- und Süd verteilt, damit von Thundorf in Blickrichtung Lustdorf, weniger Anlagen direkt hinter der geschützten Dachlandschaft von Lustdorf zu sehen sind. Gleichzeitig wurde versucht die Anlage auf dem Hard (höchster Punkt hinter Lustdorf) weg zu verschieben, um den landschaftlichen Einfluss in Blickrichtung Süden zu minimieren und die dominierende Anlage weg zu lassen. Unter Berücksichtigung all dieser Prämissen wäre immer noch ein Windpark mit 12 Anlagen möglich gewesen.

Layout 6 stellt zudem, mit leicht weiter nach Osten verschobene Anlagen im Osten, eine energetische Optimierung dar.

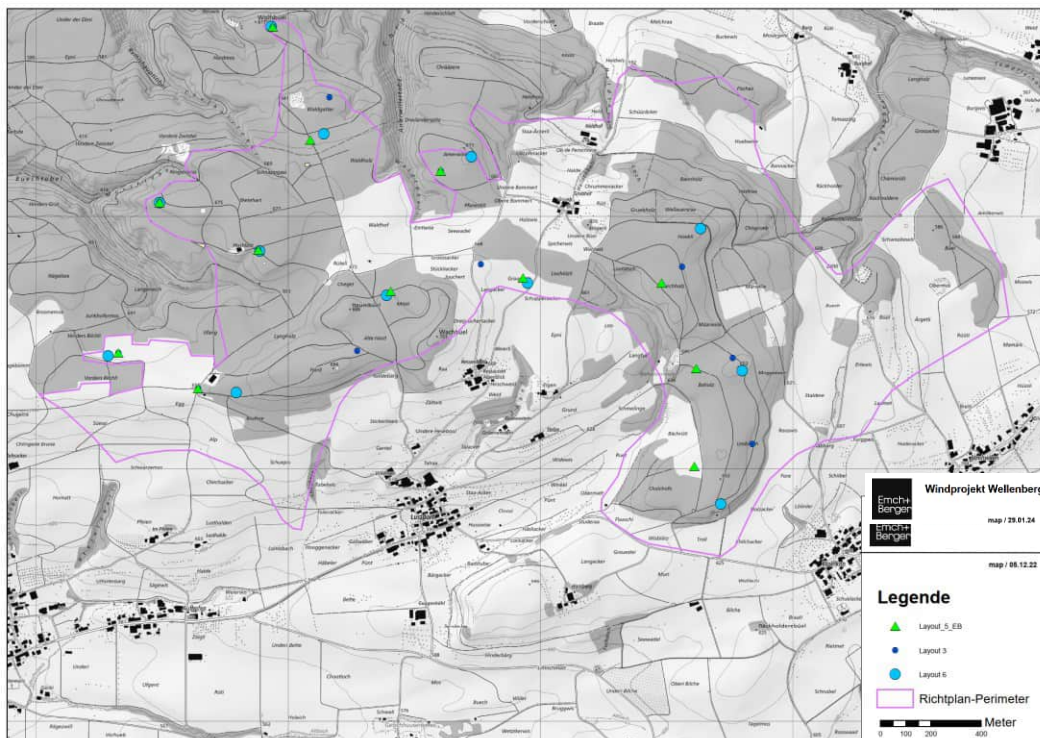


Abbildung 8: Layout 5, 6 gegenüber 3

Beim Layout 7 wurden die östlichen Anlagen zwischen den Standorten in Layout 5 und 6 platziert, um einen leicht grösseren Abstand zu Wolfikon und Strohwillen zu erhalten. Im Westen besteht zwischen Layout 6 und 7 kein Unterschied.

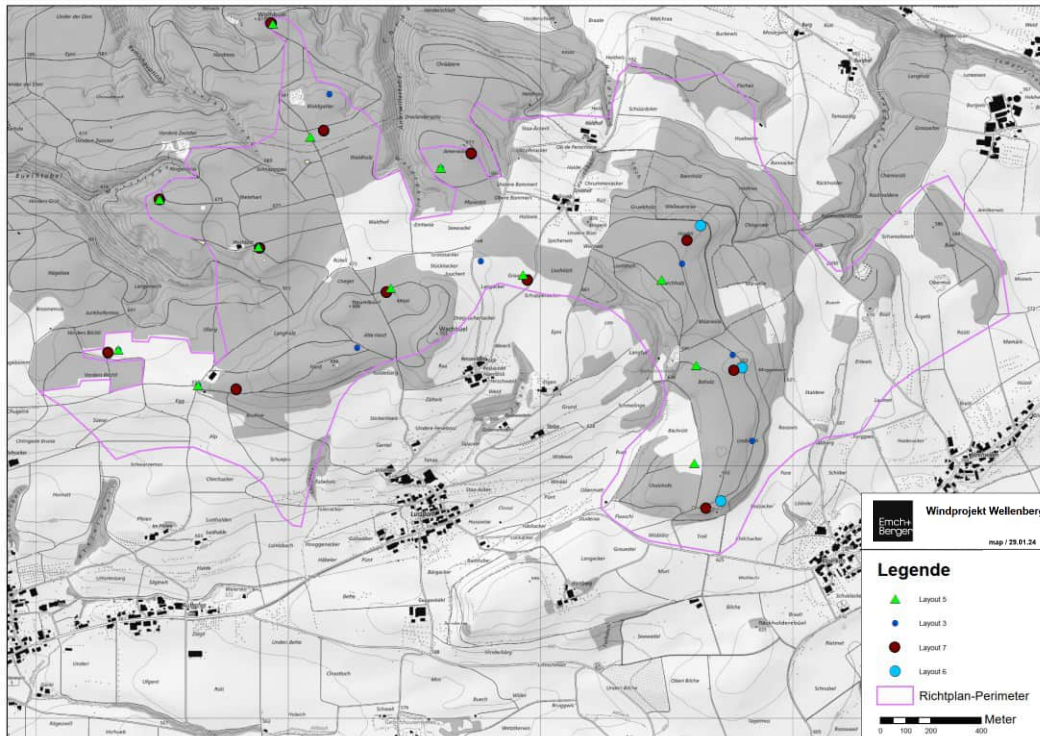


Abbildung 9: Layout 7 gegenüber 3, 5, 6

Layout 7 mit 12 Anlagenstandorten bildete nun die Basis für weitere Untersuchungen und Abklärungen zu Fauna, Flora, Schall, Boden und weiteren Themenfeldern der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP).

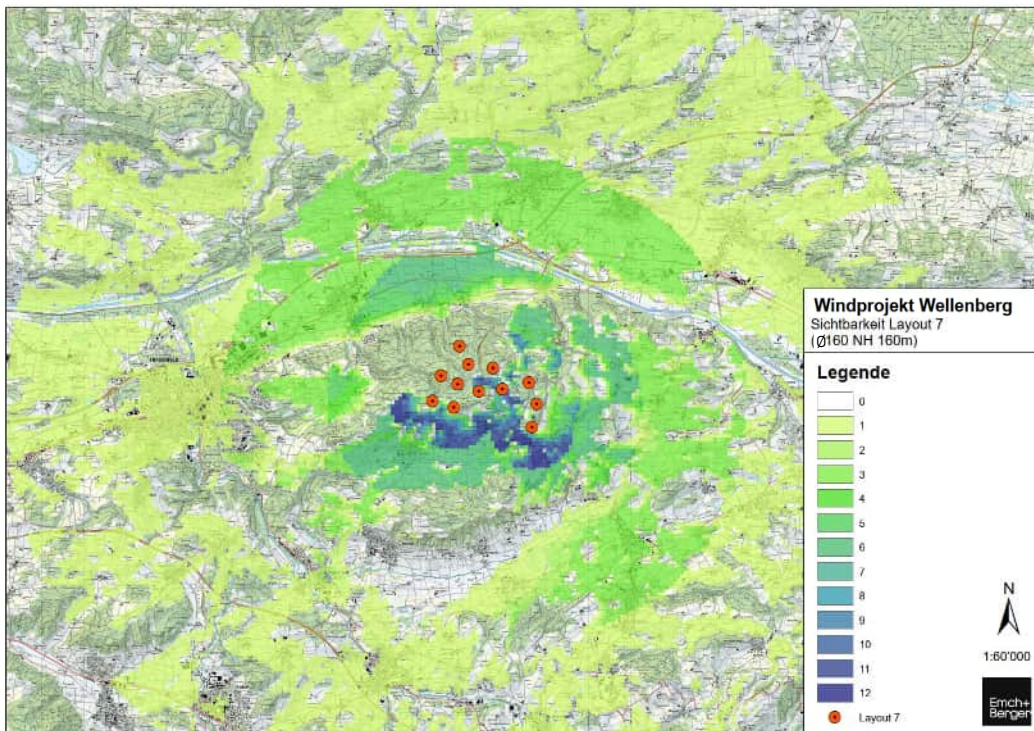


Abbildung 10: Layout 7, Sichtbarkeitsanalyse

Die jeweiligen aktuellen Erkenntnisse aus den folgenden Untersuchungen sind in die weitere Standortentwicklung miteingeflossen.

2.6 Anlagenlayout 8

Zur Beurteilung des Einflusses auf den Ertrag wurden beim Layout 8 gegenüber dem Layout 7 insgesamt 3 Anlagen weggelassen (9 anstelle von 12). Es zeigte sich, dass zwar weniger Abschattungsverluste zu erwarten sind, die gesamte Produktion aber deutlich tiefer liegt. Dieses Layout wurde daher verworfen.

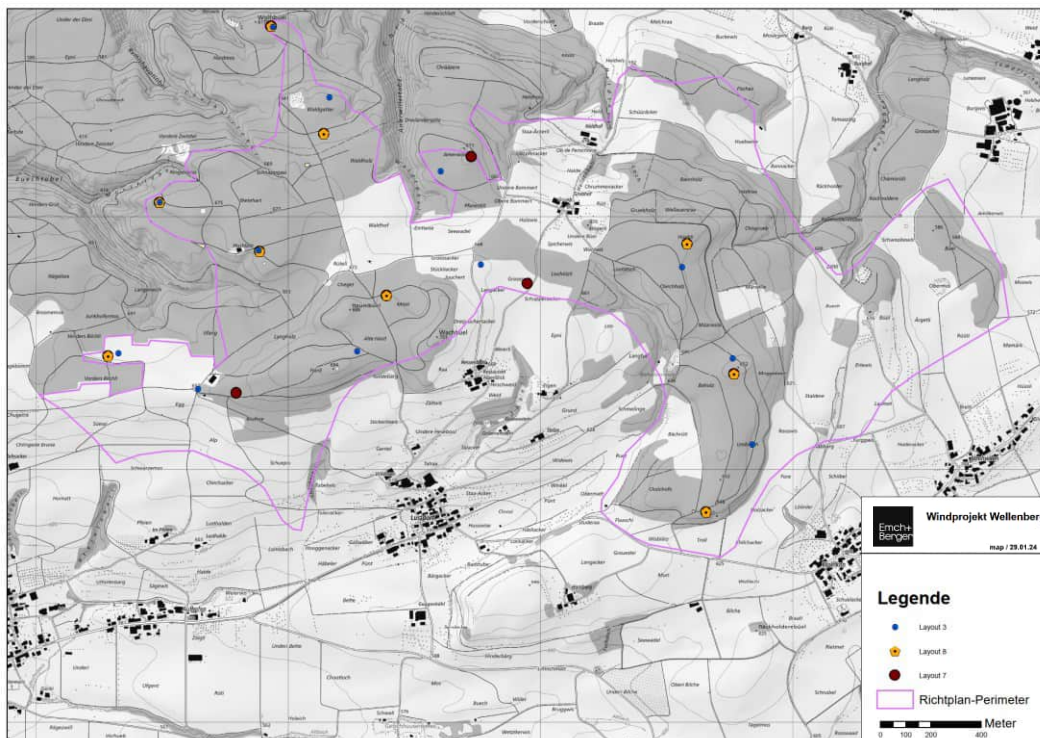


Abbildung 11: Layout 8 gegenüber 3, 7

2.7 Anlagenlayout 9+10 – Zwischenstand nach ersten Abwägungen

Die Analyse von Kartenmaterial, Datenbankabfragen zum Vorkommen von Avifauna, sowie Schall- und Sichtbarkeitsanalysen sind in die Layoutvarianten 9 und 10 eingeflossen.

Aufgrund der Nähe zum Thurtal und zum Kernhabitat der Mopsfledermaus, wurde die nördlichste Anlage auf dem Gemeindegebiet von Hüttlingen aus dem Layout gestrichen.

Zum Erhalt eines freien Durchflugkorridors zwischen den Anlagen im Osten und den Anlagen im Westen, wurden die Anlage zwischen Grubhof und Hessenbohl gestrichen. Dieser Durchflugkorridor orientiert sich einerseits an Leitstrukturen für Fledermäuse, andererseits ermöglicht es den Zugvögeln bei guter wie auch schlechter Sicht eine Führung zwischen den Anlagen hindurch zu erhalten. Eine Anlage zwischen Hessenbohl und Grubhof wäre genau in der Ausweichroute gelegen und würde die Durchlässigkeit des Windparks stark vermindern, respektive würde bei schlechten Sichtverhältnissen bei einem Ausweichverhalten genau in der Flugachse auftauchen und wäre daher in diesem Fall sehr kritisch.

Das Weglassen der Anlage auf dem Amerwiller hilft diesen relativ natürlichen und ökologisch wertvolleren Wald zu schonen.

Aus Sicht der Beurteilung der Lärmemissionen hilft das Weglassen der Anlagen zwischen Grubhof und Hessenbohl ebenfalls, um die Lärmeinwirkungen auf bewohnte Gebäude deutlich zu

vermindern. Das gleiche gilt in Bezug auf den Schattenwurf für den Grubhof und untergeordnet auch für den Heldhof.

Ebenfalls zur Verbesserung der Lärm- und Schattenwurfsituation wurde die Anlage auf dem Amerwiller im Westen vom Grub- und Heldhof weggelassen. Diese wäre die nächste Anlage für diese Gebäude gewesen. Es handelt sich hier zudem um einen Wald reich an Orchideen, welcher somit geschont werden kann. Das Weglassen dieser beiden Anlagen führt zu einer starken Verbesserung der Lärmsituation. Mit dem Weglassen der insgesamt 3 erwähnten Anlagen reduziert sich aber das Potenzial an möglichen Anlagen auf 9 Anlagenstandorte.

Das Weglassen der Anlagen auf dem Hard, sowie zwischen Hessenbohl und Grubhof ermöglicht dafür eine offenere Gestaltung der Landschaft aus der Sichtachse von Lustdorf. Die dominante Anlage hinter Lustdorf fällt weg und gleichzeitig ist mit der stärkeren Gruppierung der Anlagen ein freier Bereich zwischen dem Wald gut erkennbar.

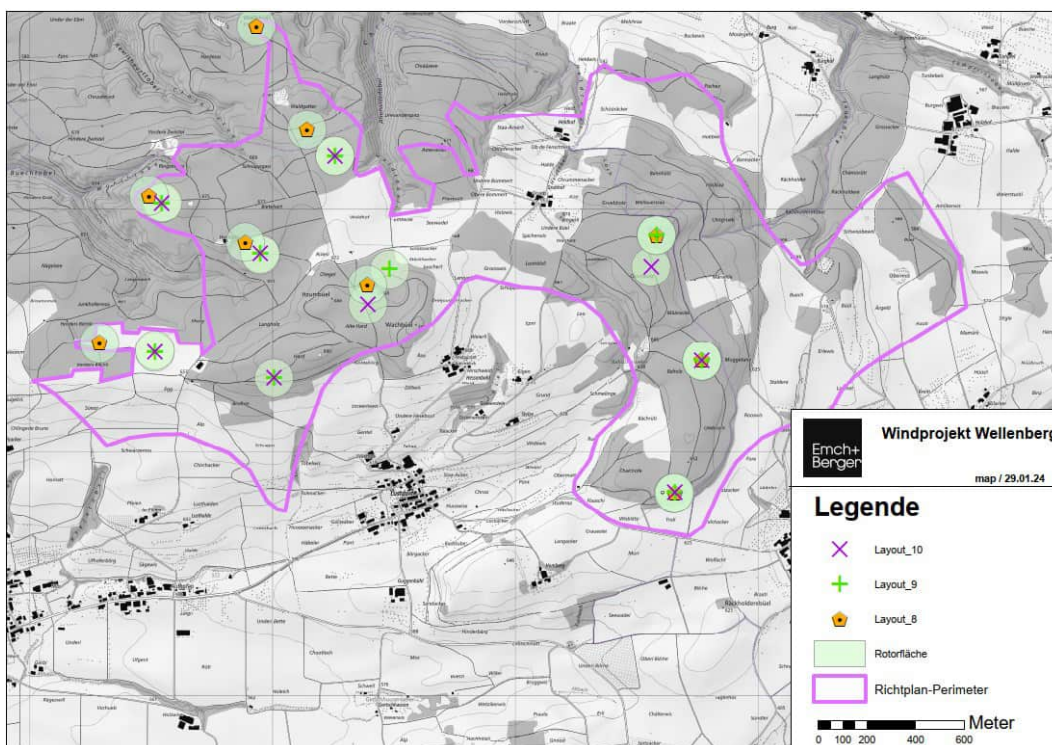


Abbildung 12 Layout 9+10: Zwischenschritt nach Datenanalysen und Auswertungen

Die Varianten 9 und 10 unterscheiden sich leicht in Bezug auf die Positionierung einer Anlage im Westen sowie einer Anlage im Osten. Bei diesen Layouts liegen 8 von 9 Anlagen im Wald. In Bezug auf die Sichtbarkeit sind beide Varianten vergleichbar und in Bezug auf die erwartete Produktion sind die Einbussen vertretbar.

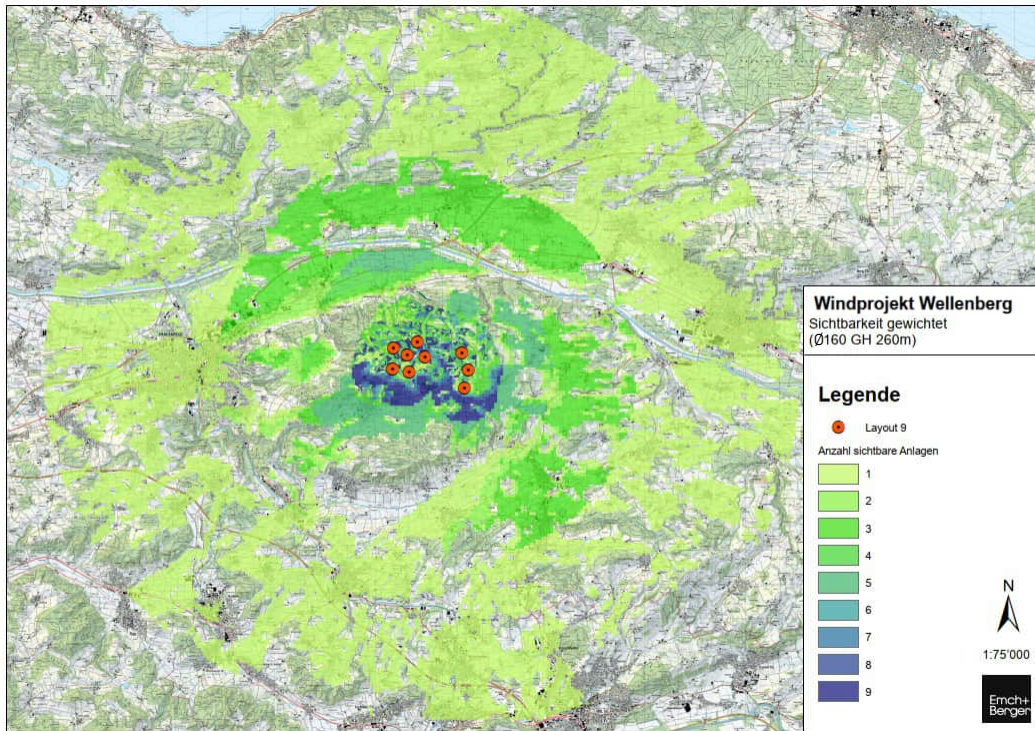


Abbildung 13: Layout 9: Sichtbarkeit Nah- und Fernbereich, gewichtet.

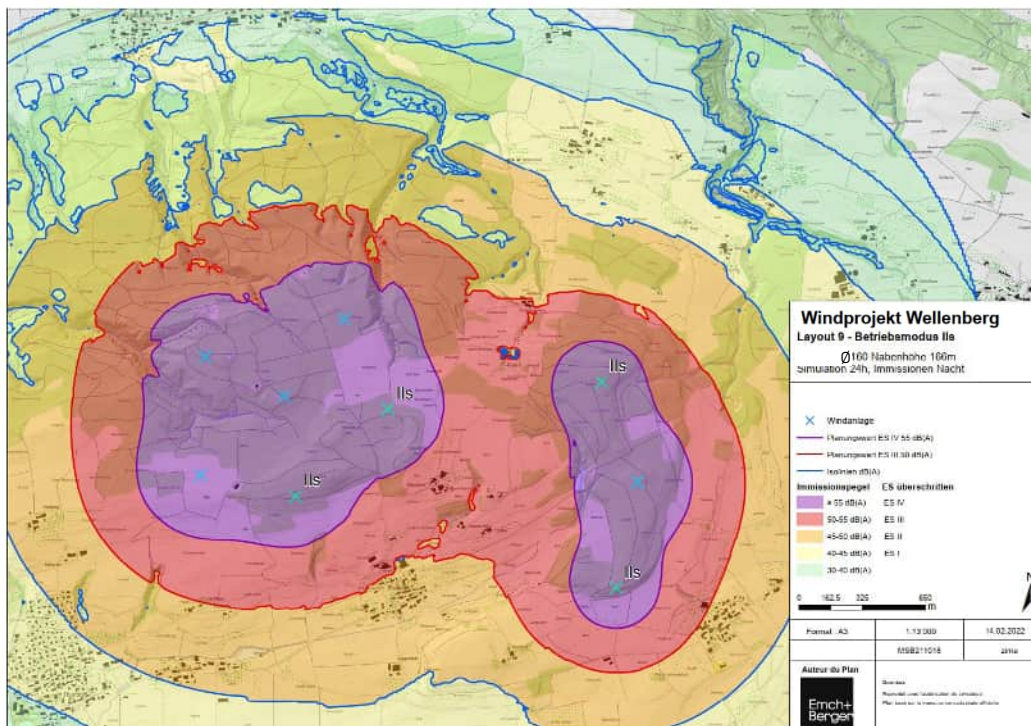


Abbildung 14: Layout 9: Lärm-Immissionen mit schallreduziertem Betriebsmodus IIs einzelner Anlagen.

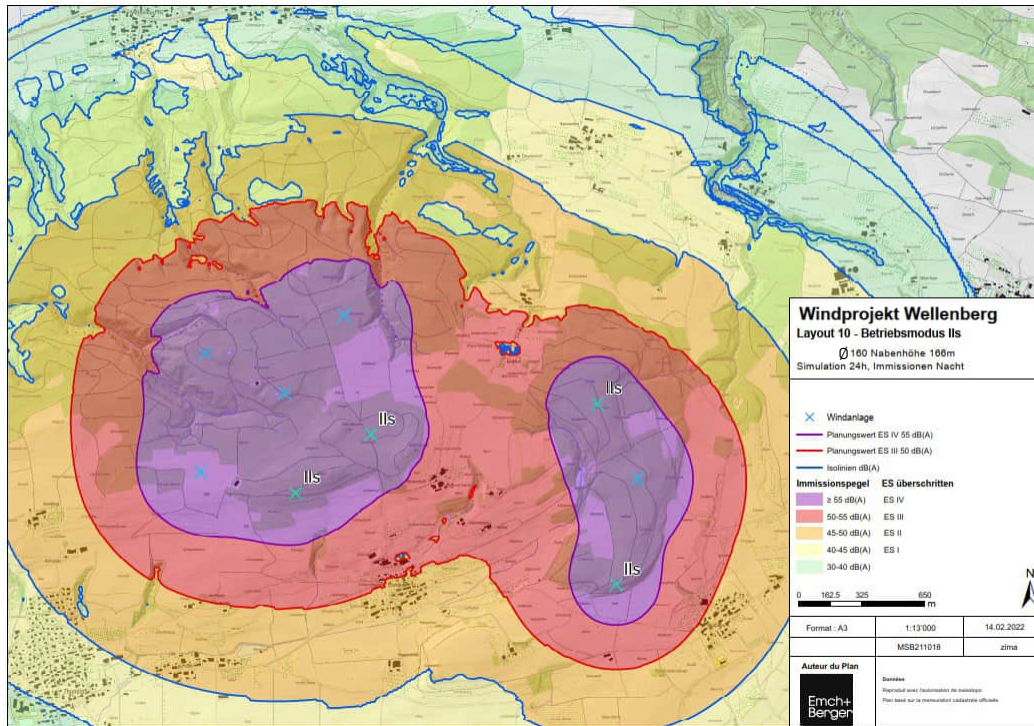


Abbildung 15: Layout 10: Lärm-Immissionen mit schallreduziertem Betriebsmodus IIs einzelner Anlagen.

Aufgrund der Modellierung der Lärmimmissionen und der erforderlichen schallreduzierten Betriebsmodi einzelner Anlagen ergibt sich bei Layout 9 eine höhere erwartete Energieproduktion und wäre aus dieser Sicht zu bevorzugen.

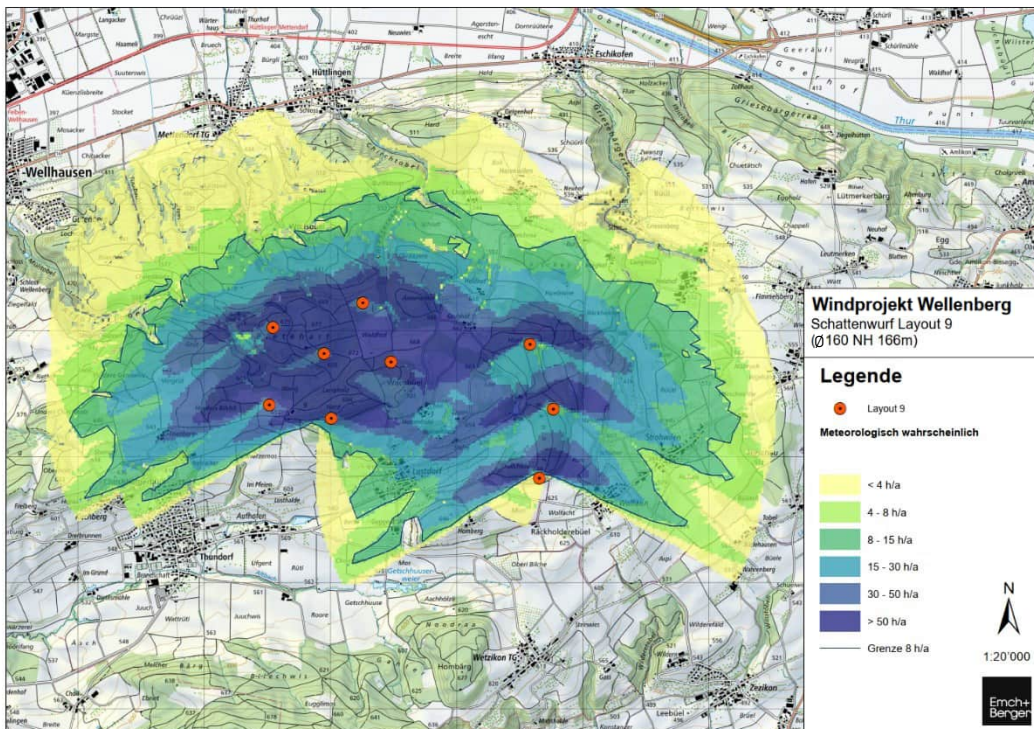


Abbildung 16: Layout 9: Schattenwurf-Simulation, ohne Abschaltmechanismen.

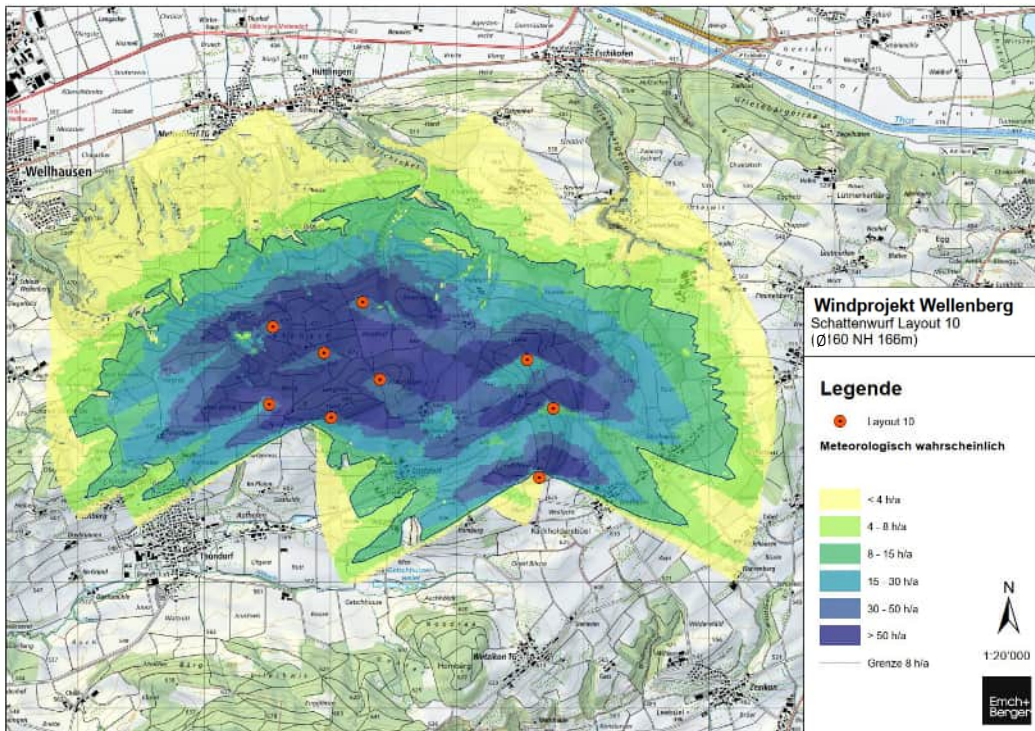


Abbildung 17: Layout 10: Schattenwurf-Simulation, ohne Abschaltmechanismen.

Im Gegensatz zur Lärmmodellierung schneidet bei der Schattenwurf-Analyse das Layout 10 besser ab.

In Bezug auf den Einfluss auf die Landschaft dürfte das Layout 9 aus der Nähe leicht besser eingestuft werden.

2.8 Anlagenlayout 11+12 – Informationsveranstaltung in Thundorf

Bei der Layout Überarbeitung zum Layout 9 und 10 wurden insbesondere Anlagen am Rande des Perimeters weggelassen, womit die Anlagen im Kern des Windparks weiterhin sehr dicht stehen, was zu entsprechenden gegenseitigen Abschattungsverlusten der Anlagen führen würde.

Bei der Abklärung und detaillierten Modellierung, für die Layouts 9 und 10 zeigte sich zudem, dass für gewisse Teilbereiche eine Einhaltung der Planungswerte gemäss Lärmschutzverordnung (LSV), trotz des Betriebs einzelner Anlagen im schallreduzierten Modus, kaum möglich ist. Es wurde von Seiten EKZ entschieden, das Layout weiter auszudünnen, damit keine Erleichterungen gegenüber der LSV beantragt werden müssen. Die Anzahl der Anlagen wurde daher von 9 auf 8 reduziert und mit Layout 11 und 12 zwei weitere Varianten erarbeitet. Zur Vereinfachung des Genehmigungsverfahrens wurde entschieden, die Anlagen, welche die Nachbargemeinden mit dem Rotor knapp überfliegen, so zu legen, dass der Rotor nur das Gemeindegebiet von Thundorf überfliegt.

Die Varianten 11 und 12 unterscheiden sich mit der Positionierung von drei Anlagen im Westen sowie den zwei nördlichen Anlagen im Osten (Nr. 6 und 7). Eine Re-Kombination der beiden Layouts ist denkbar.

Die Anlagen im Osten wurden gegenüber dem vorangehenden Layout weiter gegen Süden verschoben, um noch mehr Distanz zum Grubhof zu bekommen. Dank dieser Verschiebung öffnet sich die Durchflugschneise für die Vögel und Fledermäuse noch weiter.

Bei den Anlagen im Westen wurden bei der Variante 11 zwei Anlagen in der Nähe vom Waldhof zu einer Anlage kombiniert. Bei der Variante 12 wurden die Anlagen im Süd-Westen weiter gegen Westen verschoben.

Variante 11 weist zwei Anlagen im Offenland und 6 Anlagen im Wald auf, Variante 12 lediglich eine Anlage im Offenland und 7 Anlagen im Wald. Es wurde gegenüber dem vorangehenden Layout eine Anlage im Wald gestrichen.

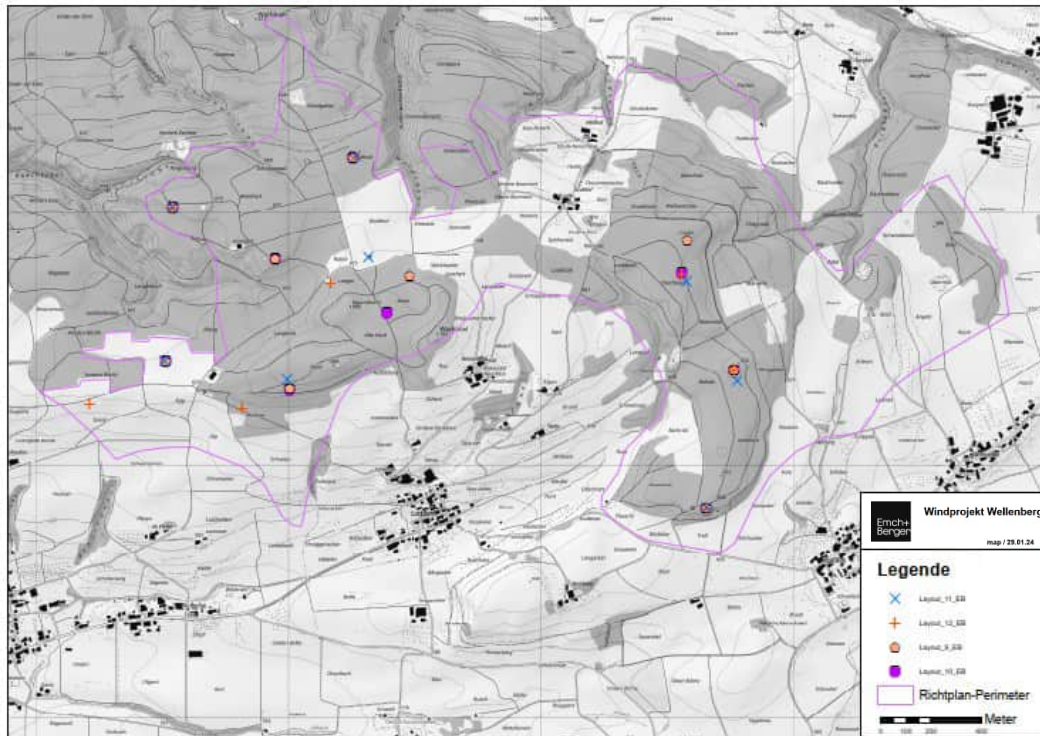


Abbildung 18: Layout 11 und 12 gegenüber Layout 9 und 10.

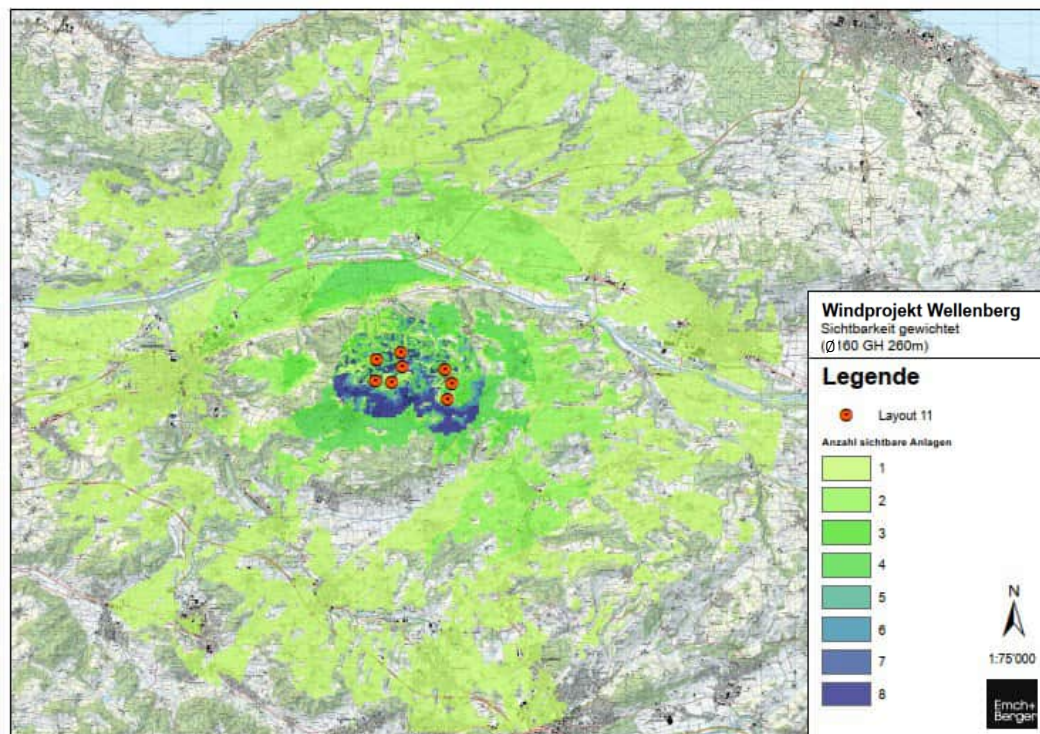


Abbildung 19: Layout 11: Sichtbarkeit

Die Sichtbarkeit vom Windpark variiert in der Ferne nur marginal, in unmittelbarer Nähe ist der Unterschied der geringeren Anzahl Anlagen deutlich erkennbar.

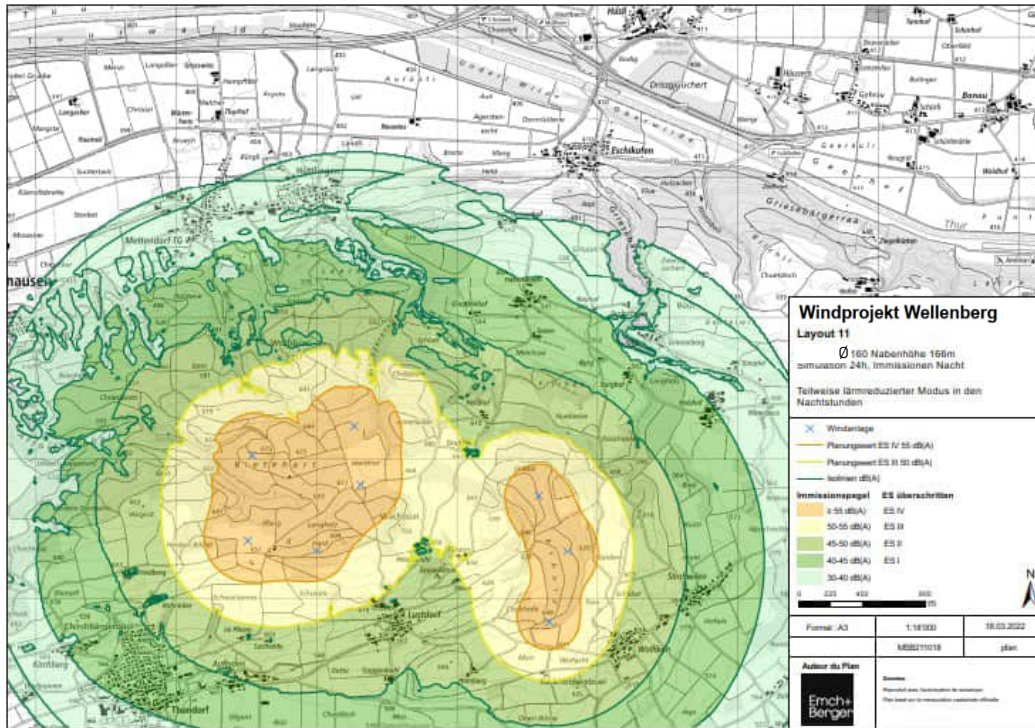


Abbildung 20: Layout 11: Lärmbeurteilung

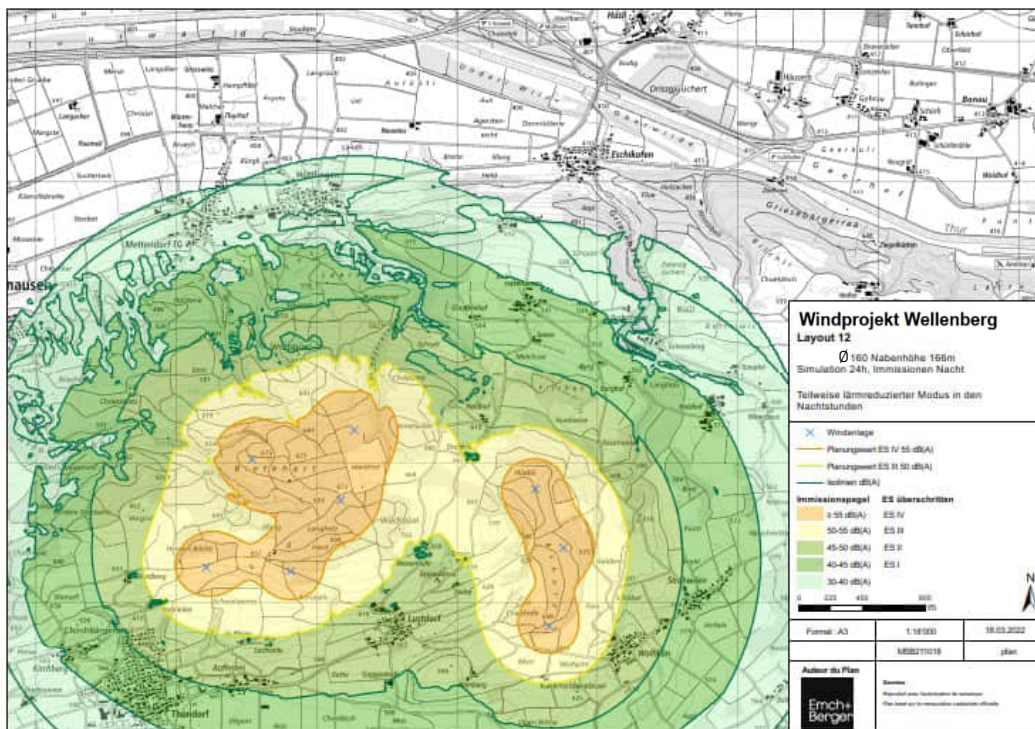


Abbildung 21: Layout 12: Lärmbeurteilung

Durch die Anlagen weiter im Westen ist im Layout 12 die Lärmbelastung Richtung Thundorf stärker, als in der Variante Layout 11. Layout 12 weist hingegen im Bereich Lustdorf und Hessenbohl leicht tiefere Immissionen auf als Layout 11.

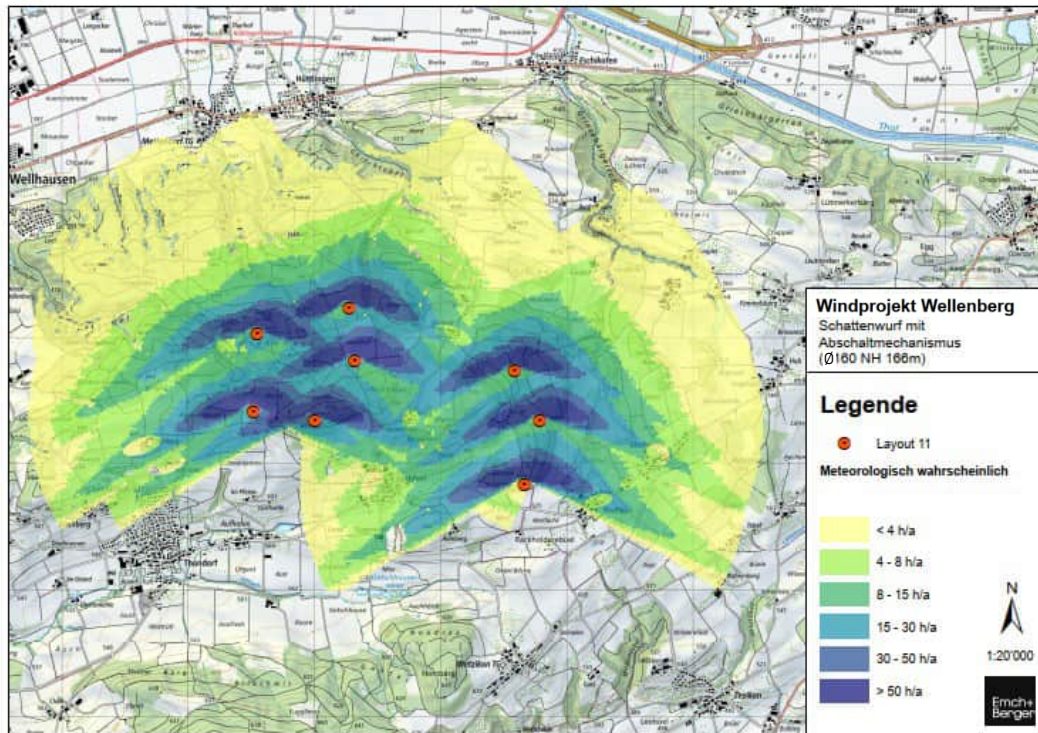


Abbildung 22: Layout 11: Schattenwurfsimulation

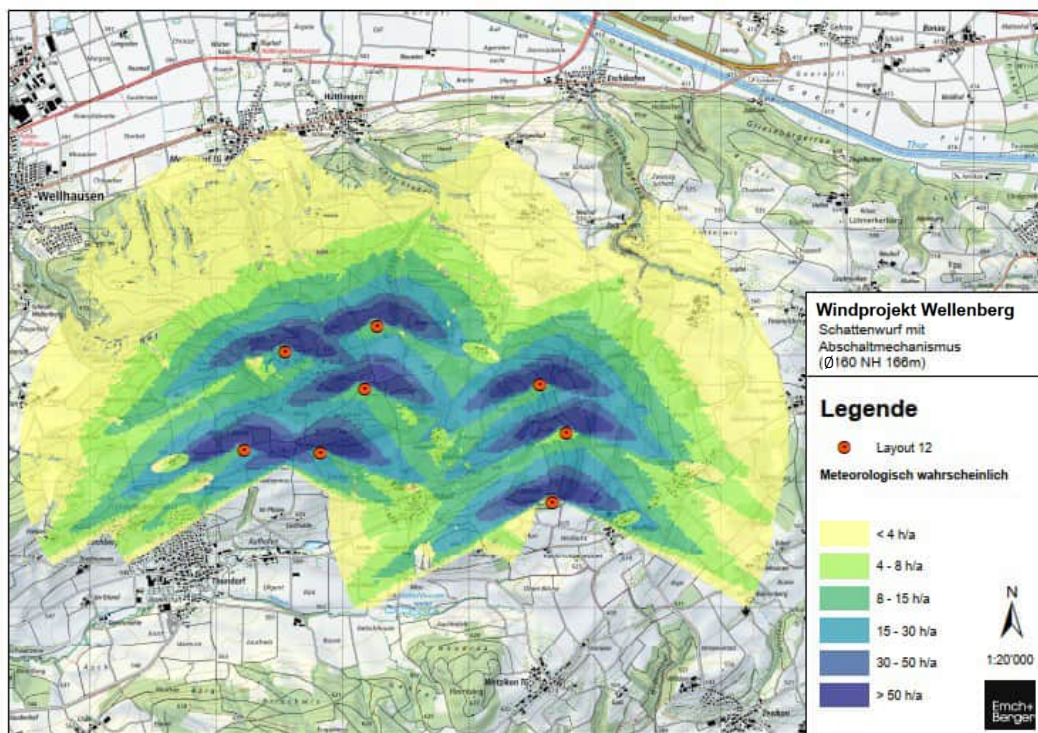


Abbildung 23: Layout 12: Schattenwurfsimulation

In Bezug auf Schattenwurf haben die beiden Layouts nur einen sehr geringen Unterschied.

2.9 Anlagenlayout von 11/12 nach 13 –Version VU

Bei der Entwicklung des Layout 13 führten Schalloptimierung, sowie die Beurteilung von Schutzzonen von Quellfassungen zu weiteren Anpassungen der Standorte. Ausgehend von Layout 11

wurden die vorteilhaften Elemente von Layout 12 ins Layout 11 integriert und zum Layout 13 kombiniert.

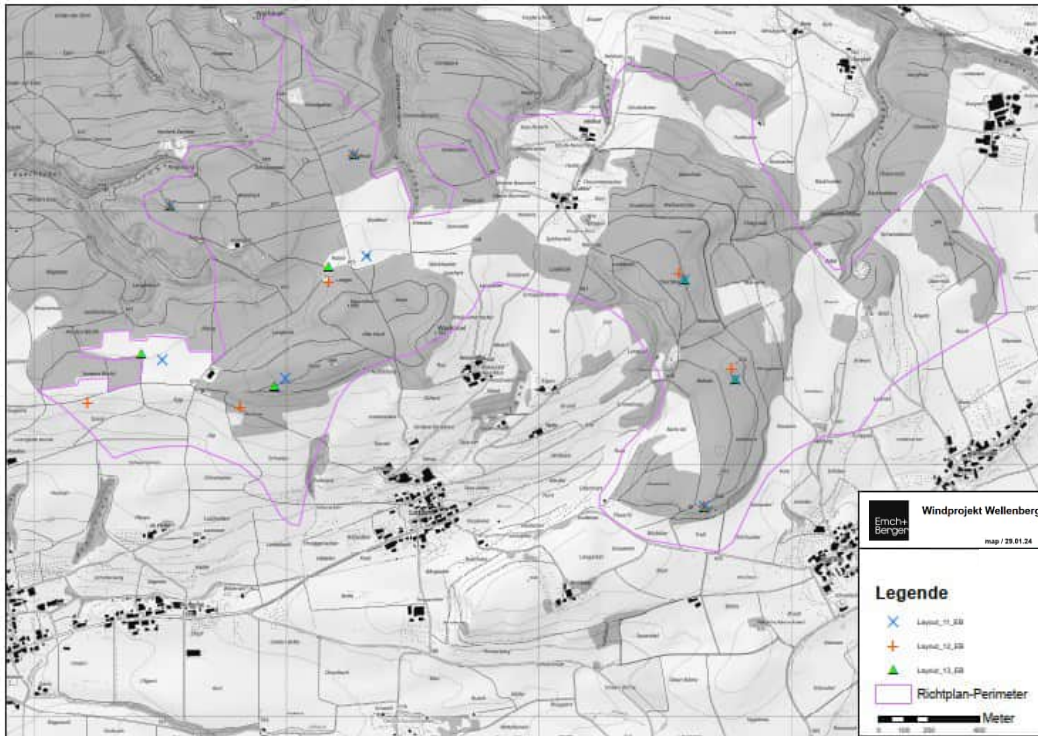


Abbildung 24: Layout 13 gegenüber Layout 11, 12

Wie im Layout 11 konnten 2 Anlagen ausserhalb vom Wald behalten werden, gegenüber nur einer Anlage ausserhalb vom Wald beim Layout 12. Die Anlagen ausserhalb vom Wald wurden jedoch von Fruchtfolgeflächen auf Wiesland ausserhalb von Fruchtfolgeflächen verschoben. Somit kann der Bedarf an Fruchtfolgeflächen für die Anlagenstandorte eliminiert werden. Für die Erschliessung ergibt sich nur noch ein geringer Bedarf an Fruchtfolgeflächen, da hier hauptsächlich die bestehenden Wege genutzt werden können. Auf der anderen Seite ragt so die überstrichene Rotorfläche für die Anlage 1 über den Richtplanperimeter hinaus. Alle Infrastrukturen, der Mast, das Fundament und die Gondel befinden sich jedoch innerhalb des Richtplanperimeters.

Die Anlage im Südwesten von Lustdorf wurde leicht nach Westen verschoben, damit die Anlage ausserhalb der Gewässerschutzzone von Quelfassungen zu liegen kommt. Damit ergibt sich eine Verbesserung gegenüber dem Layout 11 und Layout 12 in Bezug auf den Schutz von Quelfassungen.

Mit der Verschiebung der Anlage 4 aus dem Wald in Richtung Lichtung Waldhof konnte zudem eine Sicherheitsdistanz zur Bunker-Anlage des Militärs (VBS) erreicht werden.

Gleichzeitig wurde mit der Positionsanpassung der Anlagen 1, 3 und 4, welche gegen Norden bzw. Nord-Osten (Anlage 1) verschoben wurden, die Distanz zu den bewohnten Gebäuden in Lustdorf, Hessenbohl und Thundorf signifikant erhöht und so ein präventiver Schallschutz erreicht. Gegenüber dem Layout 11 wurde die Anlage 4 zudem gegen Osten verschoben, was ebenfalls den Schallschutz für den Grubhof und Heldhof nochmals verbessert.

Die Distanz zwischen der Anlagen-Gruppe im Osten und im Westen konnte mit diesen Layout-Anpassungen nochmals vergrössert werden, was sich insgesamt positiv auf die Schallimmissionen, den Schattenwurf und auch den Vogelzug auswirkt.

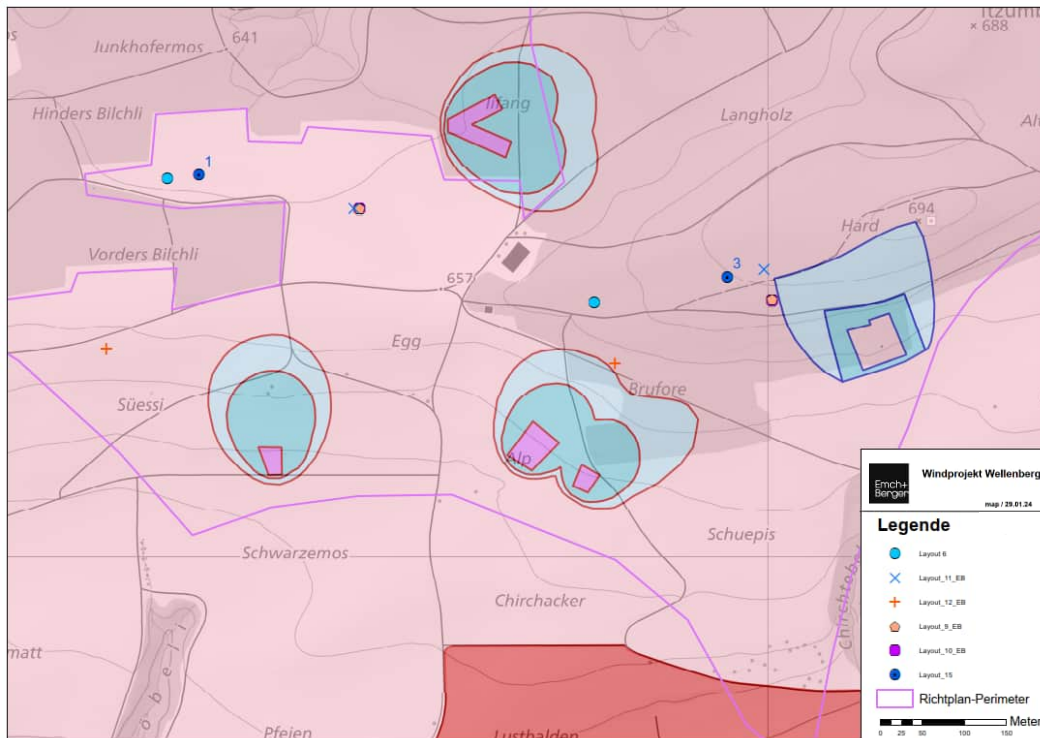


Abbildung 25: Layout 13 und Layout 15: Ausschnitt mit Grundwasserschutzonen

Bei den Anlagen im Osten wurden die nördliche Anlage so weit wie möglich vom Grubhof entfernt platziert, ebenso die Anlage Nr. 7 im Osten wurde möglichst gegen Osten verschoben, damit der Schallschutz für Lustdorf möglichst gut ist, denn im Osten ist die Distanz zu den nächsten bewohnten Gebäuden in Amlikon-Bissegg deutlich grösser. Eine Verschiebung der südlichsten Anlage 8 weiter gegen Westen wäre aus Sicht Lärmschutz für Wolfikon zu begrüssen gewesen, dies wurde aufgrund einer archäologischen Verdachtsfläche aber nicht weiterverfolgt. Diese Verschiebung hätte zudem eine Verschlechterung der Situation in Lustdorf und den einzelnen Gebäuden zwischen Lustdorf und dem Baholz zufolge gehabt.

Mit dem Verschieben der Anlage 3 vom Waldrand weiter in den Wald konnte zudem ein ökologisch wertvoller Waldrand geschont werden und so eine Verbesserung für die Fledermäuse erreicht werden. Auf der anderen Seite ist die Position der Anlage 4 am Waldrand aus ökologischer Sicht nachteiliger gegenüber einer Position weiter im Offenland.

2.10 Anlagenlayout 14 und 15 – Feinoptimierung der Standorte

Bei der weiteren Optimierung des Layouts 13 zum Layout 15 wurden die lokalen Erkenntnisse der Untersuchung der Avifauna berücksichtigt, um die negativen Einflüsse zu minimieren.

Die Anlage 1 wurde weiter gegen Westen und leicht nach Norden verschoben, damit diese aus der Nord-Süd-Vernetzungsachse, entlang vom Waldrand über die Lichtung zum geschlossenen Wald (von Süden her), verschoben werden konnte. Gleichzeitig wurde die Anlage so weiter vom Waldrand und von einem Habitat der Walohreule entfernt. Mit dieser neuen Position ist die Anlage näher am Rand des Perimeters und der Rotor überschreitet diesen etwas mehr.

Bei der Anlage 2 wurde eine Verschiebung vom Bietehart-Weiher in Richtung Westen gesucht, um diese für Fledermäuse spannende Tränke und Jagdgebiet zu schonen. Damit ist keine Beeinträchtigung des Bietehart-Weiher durch Zufahrt (Verbreiterung des Weges direkt neben dem Weiher) und Installationsflächen erforderlich. Die Position der Anlage 2 im Layout 14 wurde schlussendlich verworfen, da die Anlage so das Müntchtobel im Norden deutlich überflogen hätte. Als Alternative wurde eine Position weiter südlich gewählt, diese Positionierung der Windenergieanlage (WEA)

stellt den bestmöglichen Kompromiss im Hinblick auf einen grösstmöglichen Abstand zum Münchtobel (mit ebenfalls hoher Fledermaus-Dichte) und dem Bietehart-Weiher dar. Gleichzeitig ist die Verringerung der Beeinträchtigung des Grillplatzes durch die Distanz zum Bietehart-Weiher aus Sicht der Bevölkerung als positiv zu werten. Aus Sicht der Produktionserwartung ist dieser Standort zwar etwas schlechter als der Standort weiter nördlich, als Kompromiss aber trotzdem vertretbar. Mit dieser neuen Position kann auch der Bedarf an Terrain-Veränderungen minimiert werden und die Zuwegung gestreckt auf die Anlage geführt werden. Es sind weniger Kurven mit entsprechend weniger Kurvenverbreiterungen erforderlich, was die temporären Rodungen vermindert. Im Bereich der Anlage selbst sind aufgrund der temporär ungünstigeren Lage der Strasse grössere Rodungen erforderlich. Nach Abschluss der Bauarbeiten kann aber dafür die bestehende Strasse aufgeforstet werden.

Mit dieser Position überstreicht der Rotor das Waldreservat und die Grenze des Richtplanperimeters in einer Höhe von über 85 m um 40 m in der Lage.

Durch die grösstmögliche Verschiebung der Installationsflächen in monotone Fichtenwälder (d.h. einem weniger geeigneten Habitat), konnte eine Schonung des Reviers vom Wespenbussard erreicht werden, eine gewisse Verbesserung ergibt sich auch für die Reviere von Rotmilan, Mäusebussard, Sperber und Habicht.

Durch die Verlegung der Installationsflächen und Zufahrten weg vom Bietehart-Weiher, kann eine bessere Schonung des Amphibien-Inventar Objekts (unter anderem für die Geburtshelferkröte) erreicht werden.

Die Anlage 3 wurden aus ökologischen Gründen nochmals etwas weiter gegen Norden verschoben, was sich wiederum auf die Energieproduktion leicht negativ auswirkt, hingegen kann damit mehr Distanz zum südlichen Waldrand geschaffen werden und so eine Verbesserung gegenüber dem Revier der Waldohreule erreicht werden.

Die Erschliessung kann gänzlich von Norden her erfolgen und liegt in einem monotonen Fichtenbestand, der ökologisch spannendere, lichte Laubmischwald am Waldrand kann geschont werden. In Bezug auf die Brutvögel ist durch diese Anpassung eine bessere Schonung des Reviers der Waldohreule, durch den erhöhten Abstand, möglich.

Gleichzeitig führt die Erschliessung auf der den Wasserquellen abgewendeten Seite des Hard zur Anlage 3. Das Risiko einer Beeinträchtigung der Quellen südöstlich und südwestliche der Anlage 3 kann somit weiter minimiert werden.

Die Anlage 5 wurde minim nach Süd-Westen verschoben, um einen Überflug des Waldreservats zu vermeiden, was aber eine leicht geringere Elektrizitätsproduktion zur Folge hat.

Die Anlage 6 wurde minim verschoben, um den bestehenden Forstweg an der Anlage vorbeiführen zu können.

Bei den weiteren Anlagen wurden keine Anpassungen mehr vorgenommen. Bei den Anlagen im Osten wurden verschiedene Erschliessungsmöglichkeiten geprüft, aber schlussendlich aufgrund der Position der Anlage 8 verworfen.

Der Standort der WEA 8 ist aufgrund der Topographie, dem angrenzenden, steil abfallenden, möglicherweise durch Rutschungen gefährdeten Bereich, der Lage neben einer archäologischen Verdachtsfläche sowie einer als Deponie verzeichneten Fläche, abgesehen von der Ökologie, als herausfordernd einzustufen.

Bei der Projektierung der Kranstellflächen und des Montagebereichs für den Ausleger, zeigte sich, dass eine Abweichung von der üblichen Anordnung der Flächen nötig ist, wenn keine grossflächigen Terrassierungsarbeiten ausgeführt werden sollen, welche die archäologische Verdachtsfläche tangieren würde.

Nichtsdestotrotz ist der Rodungsbedarf so grösser als bei den anderen Anlagen, bei welchen eine parallele Führung möglich ist. Es wurde geprüft, ob die Zuwegung zur Anlage 8 entlang der

Auslegermontage erfolgen kann, was aber zusätzliche Rodungen und eine neue Verbindungsstrasse zur Anlage 7 erfordern würde. Dies wäre aus Sicht Forstwirtschaft nicht zu begrüssen. Eine Verschiebung der Anlage gegen Norden ist, aufgrund der erforderlichen minimalen Distanz zur Anlage 7, technisch nicht umsetzbar, wäre aus ökologischer Sicht aber zu begrüssen.

Aufgrund der geologischen Untersuchungen und Sondierung der archäologischen Verdachtsfläche mit Baggerschlitzten konnte für die randlichen Bereiche Entwarnung erteilt werden. Als weitere Option konnte damit eine Verschiebung der Anlage in Richtung Nord-Westen geprüft werden. Mit dieser Verschiebung wäre wiederum eine parallele Führung der Kranausleger-Montage-Fläche mit der Strasse möglich, was die Flächenbeanspruchung senken würde. Mit einer Verschiebung der Anlage 8 gegen Westen könnte gleichzeitig die Distanz zu Wolfikon erhöht und die Lärmimmissionen gesenkt werden.

Für das Layout 15 wurden weitere Erkenntnisse aus Auswertungen von Fledermaus- und Vogeluntersuchungen einbezogen. Ebenso wurde eine archäologische Verdachtsfläche bei Anlage 8 einbezogen, die Positionierung der Kranstellflächen samt Auslegern, sowie die Lage der Zuwegung und Rodungsflächen optimiert.

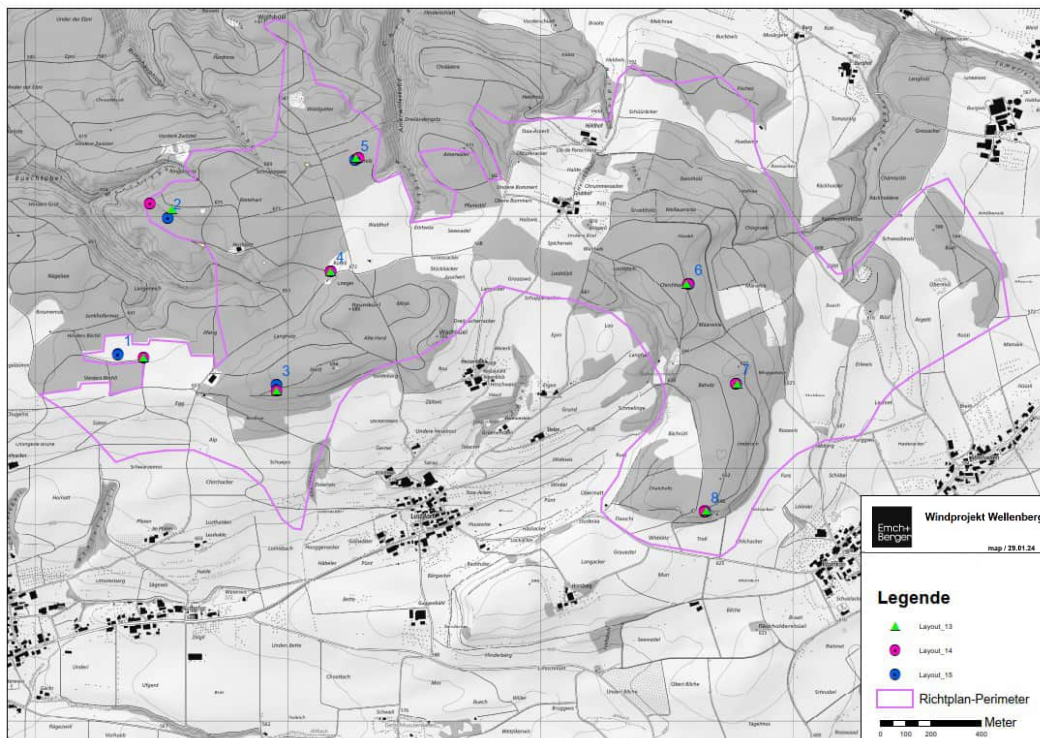


Abbildung 26: Layout 15 gegenüber 13, 14

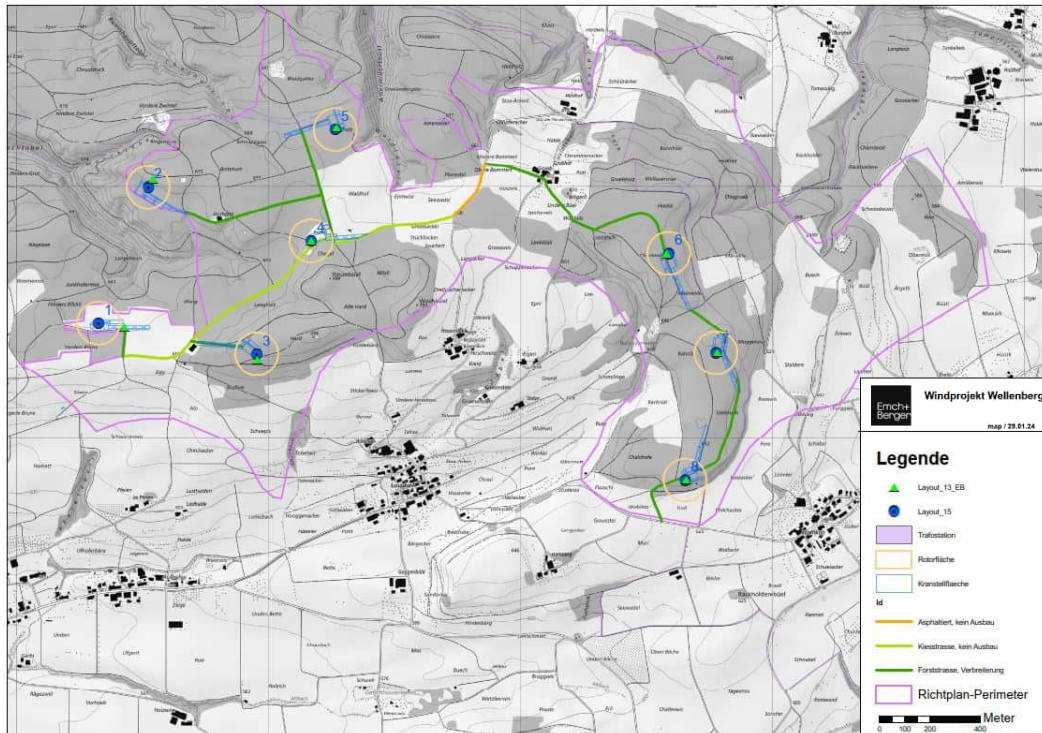


Abbildung 27: Layout 15 gegenüber 13: Zuwegung

Nachfolgen erfolgt eine Begründung für die Standortwahl der einzelnen Anlagen im Layout 15.

Tabelle 2 Abwägungen der Standortwahl von Anlage 1

Anlage 1	Verschiebung nach Nord-Westen
Waldabstand	Erhöhung des Abstands zum Waldrand
Bodenschutz	Bestmögliche Schonung von Fruchtfolgefläche und Wald
Brutvogelschutz	Waldohreule: Vergrößerung des Abstands zum Waldrand – Bruthabitat der Waldohreule, welche dort ein Revier hat.
Fledermäuse	Reduktion von Kollisionsrisiken – Verschiebung des Anlagenturmes aus der potenziellen Nord-Süd-Vernetzungsachse entlang des Waldrandes.
Schallschutz	Optimierung Abstand/Geräuschausbreitung zum Wohnquartier von Thundorf
Gewässerschutz	Vergrößerung der Distanz zu den Trinkwasserquellen
Sichtfeld	Positionierung hinter Waldzunge
Perimeter	In Folge leichte Überstreichung des Richtplanperimeters

Tabelle 3 Abwägungen der Standortwahl von Anlage 2

Anlage 2	
Grillplatz	Geringere Beeinträchtigung vom Grillplatz durch etwas vergrösserten Abstand
Brutvogelschutz	Wespenbussard: Schonung des Reviers vom Wespenbussard mit grösstmöglicher Verschiebung der Installationsflächen in monotone Fichtenwälder (d.h. einem weniger geeigneten Habitat)
Fledermausschutz	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Beeinträchtigung des Bietehart-Weiher durch Zufahrt (Verbreiterung des Weges direkt neben dem Weiher) und Installationsflächen. - Vergrösserung der Distanz zum Weiher als «Fledermaus-Hotspot» (dient als Trinkstelle und insektenreiches Jagdbiotop). - Neue Positionierung der WEA stellt den bestmöglichen Kompromiss im Hinblick auf einen grösstmöglichen Abstand zum Münchtobel (mit ebenfalls hoher Fledermaus-Dichte) und dem Bietehart-Weiher dar.
Fauna (weitere)	Amphibien: Bessere Schonung des Amphibien-Inventar Objekts welches für Amphibien (v.a. die Geburtshelferkröte) Schutz und Förderung bietet (durch die Verlegung der Installationsflächen und Zufahrten weg vom Weiher)
Wald	Mit einer möglichst geraden Zufahrt zum Standort können die temporären Verbreiterungen der Waldstrasse minimiert werden
Waldreservat	Forstweg kann neu mit etwas Distanz zur Grenze des Waldreservats erstellt werden
Erdbewegung	Reduzierung der notwendigen Erdverschiebungen zum bestmöglichen Erhalt der bestehenden Fläche
Beeinträchtigung Bauphase	Folge: Erhöhte Beeinträchtigung in der Bauphase vom Husplatz (die Strasse führt direkt davor vorbei)
Perimeter	Folge: Überstreichung des Richtplan-Perimeters (ca. 40 m) und Waldreservat, aber kein Überflug des Bachtobels
Wald	Folge: Vergrösserte Rodungsfläche für die Kranauslegermontage, dafür ist aber weniger wertvolle Waldfläche betroffen (aktuell: überwiegend Fichtenforst)
Zugvögel	Abwägung: Der neue Anlagenstandort führt zu einer minimalen Verschiebung der Anlage aus dem Konzentrationsbereich der thermisch gleitenden Zugvögel, dieser kleine Unterschied ist jedoch von untergeordneter Bedeutung

Tabelle 4 Abwägungen der Standortwahl von Anlage 3

Anlage 3	
Brutvogelschutz	Waldohreule: Schonung des Reviers der Waldohreule durch eine Verlegung des Anlagenstandorts und der Installationsfläche in monotone Fichtenwälder (einem weniger geeigneten Habitat). Vergrößerung des Abstands zum Revier der Waldohreule innerhalb des Waldes.
Fledermäuse/ Ökologie	Verlagerung weg vom Waldrandbereich und weg aus einem Bereich mit höherem Laubholzanteil hin zu einem ökologisch weniger wertvollen Bereich mit fast reinem Fichtenanteil.
Schallschutz	Vergrößerung der Distanz zu Lustdorf. Dadurch ergibt sich neu ein Waldstandort.
Produktionsertrag	Folge: eine leicht grössere Abschattung der Anlagen untereinander, infolge der Verringerung der Distanzen zu den benachbarten Anlagen
Bestandschutz	Vergrößerung der Distanz zur Hütte der Jagdgesellschaft Sonnenberg. Zuwegung führt nicht mehr direkt bei der Jagdhütte vorbei.
Gewässerschutz	Vergrößerung der Distanz zu den Trinkwasserquellen
Sichtfeld	Möglichst offene Gestaltung Sichtfeld Lustdorf

Tabelle 5 Abwägungen der Standortwahl von Anlage 4

Anlage 4	
Perimeter	Folge: leicht erhöhte Überstreichung des Richtplanperimeters
Schallschutz	Reduktion der Geräuschausbreitung Richtung Grubhof
Bodenschutz	Schonung Fruchtfolgefläche; Verschiebung auf Waldlichtung ohne Fruchtfolgefläche
Schallschutz	Vergrößerung der Distanz zur Waldhofhütte
Gewässerschutz	Schonung Einzugsgebiet Trinkwasserquellen, Abstände wahren für Sickerflächen.

Tabelle 6 Abwägungen der Standortwahl von Anlage 5

Anlage 5	
Perimeter	Zuletzt leichte Verschiebung gegen Süd-Westen zur Vermeidung von Überflug des Richtplanperimeters durch den Anlagenrotor
Standort	Gesamte Anlage liegt auf dem Gebiet der Gemeinde Thundorf
Produktionsertrag	Folge: eine leicht grössere Abschattung der Anlagen untereinander, infolge der Verringerung der Distanzen zu den benachbarten Anlagen
Fledermausschutz	Folge: Zum Schutz der Fledermäuse wurde eine grössere Verschiebung nach Süden vorgenommen. Hierdurch grössere Distanz zum geeigneten Lebensraum der gefährdeten Mopsfledermaus.
Brutvogelschutz	Die Anlage wurde gegenüber der energetisch optimalen Position gegen Süden verschoben um mehr Distanz zur ehemaligen Kiesgrube mit Wasserflächen zu erhalten. Gleichzeitig auch leicht grössere Distanz zum Thurtal mit den entsprechenden Vögeln wie Storch etc.
Zugvogelschutz	Frühere Standortverschiebung nach Süden schafft eine grössere Distanz zum Konzentrationsbereich der thermisch gleitenden Zugvögel. Die aktuelle Verschiebung verbessert die bisherige Optimierung minimal.

Tabelle 7 Abwägungen der Standortwahl von Anlage 6

Anlage 6	
Schonung Waldareal	Leichte Verschiebung in Richtung Osten, damit der Forstweg möglichst wenig verschoben werden muss und am Anlagenstandort vorbeigeführt werden kann
Umgebung	Optimierung der Kranstellflächenlage in Abstimmung mit der erforderlichen Wege-Freihaltung sowie dem naheliegenden Hügel
Abstand	Vergrösserung Distanz zu Grubhof und einzelnen Gebäuden im Osten von Hessenbohl

Tabelle 8 Abwägungen der Standortwahl von Anlage 7

Anlage 7	
Rodung	Minimierung des Rodungsbedarfs durch eine bestmögliche Nutzung bestehender Strassenflächen
Standort	Gesamte Anlage liegt aufgrund einer leichten Verschiebung in Richtung Westen auf dem Gebiet der Gemeinde Thundorf
Sicht/Schall	Grösstmögliche Distanz zu einzelnen Gebäuden im Osten von Hessenbohl sowie genügend Distanz zu bewohnten Gebäuden in Amlikon-Bissegg

Tabelle 9 Abwägungen der Standortwahl von Anlage 8

Anlage 8	
Schallschutz	Geringfügige Vergrösserung der Distanz zu Wolfikon
Archäologische Verdachtsfläche	Bestmögliche Schonung der archäologischen Verdachtsfläche durch Verschiebung der Kranstellfläche, Positionierung der Kranausleger-Montagefläche ohne die Erhöhung Chalchofe zu belegen.
Standort	Leichte Verschiebung in Richtung Westen für eine Positionierung der gesamten Anlage auf dem Gebiet der Gemeinde Thundorf
Fledermäuse/ Ökologie	Folge: Keine optimale Schonung des Waldrandbereichs und der vorhandenen Grube im Abhang als potenziell wertvoller Naturlebensraum. Abwägung: Insbesondere, wenn gemäss neuesten Plänen für die Kranstellfläche zusätzliche Flächen gerodet werden müssten, wäre eine Verlagerung der gesamten WEA inkl. Installationsplatz auf die nördliche Seite der Forststrasse im Sinne eines Ausgleichs erstrebenswert. Es ist die Massnahmen-Kaskade gemäss NHG/NHV zu beachten.
Geologie	Vermeidung zu grosser Nähe zu abschüssiger Geländekante im Süden

Tabelle 10 Abwägungen für den Wegfall weiterer Anlagenstandorte – Reduktion von 12 auf 8 Anlagen

Reduktion von 12 auf 8 Anlagen	
Fledermaus	Wegfall von Anlagenstandorten im nördlichen Perimeter. Begründung: Potenzieller Lebensraum der Mopsfledermaus
Avifauna	Durchflugschneise für Vögel und Fledermäuse
Schallschutz	Wegfall Anlage nord-westlich von Hessenbohl, Begründung: Ermöglichung einer Verschiebung der westlichen Anlagen gegen Nord-Westen um grössere Distanz zu Lustdorf und Thundorf zu erhalten, ohne Anlagen zu Nahe aneinander zu platzieren.
Wegfall von Anlage im Südwesten	Begründung: Reduktion Geräuschausbreitung
Thurthal-Nähe	Vermeidung zum Schutz der einheimischen Vogelwelt sowie der Zugvögel

3 Vom Layout 15 zum Layout 20

Eine Bürgerinitiative verlangte im Herbst 2022 einen Mindestabstand von 850 m zwischen den Anlagen und bewohnten Gebäuden. Da dies mit dem geplanten Layout Nr. 15 nicht kompatibel war, wurden im Vorfeld der Abstimmung vom April 2023 verschiedene alternative Varianten geprüft (Varianten 16 bis 19). Aufgrund der Annahme der Bürgerinitiative wurden diese Varianten hinfällig, weshalb hier nicht weiter auf diese eingegangen wird.

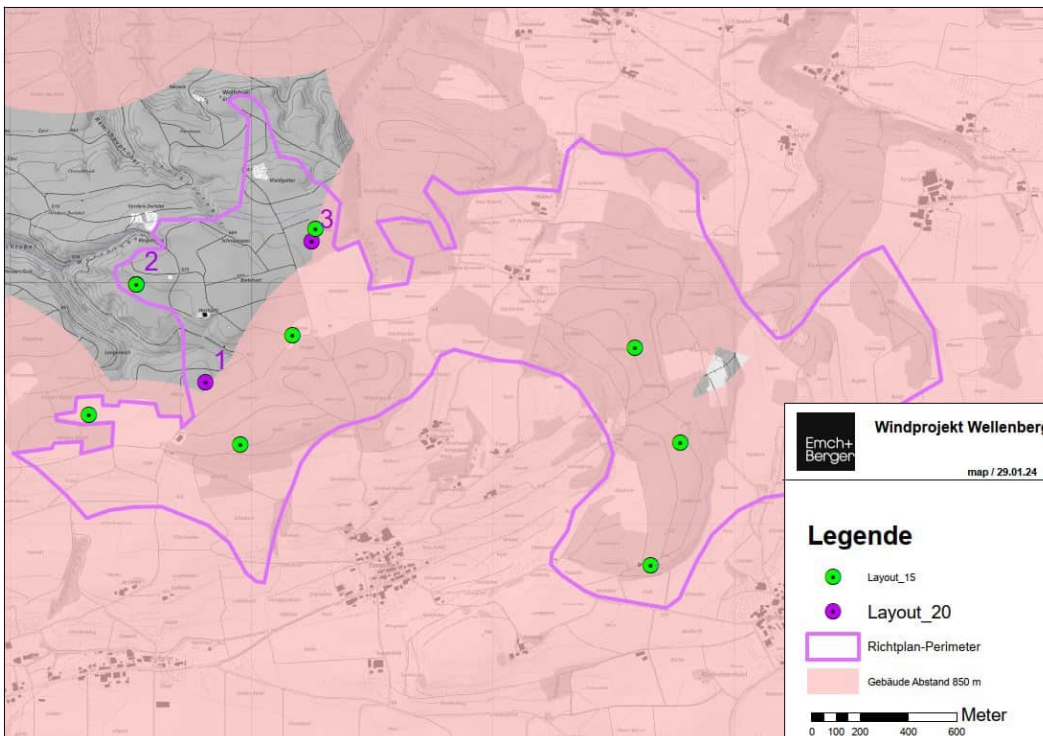


Abbildung 28: Layout 20 gegenüber Layout 15, sowie Mindestabstand von 850 m zu bewohnten Gebäuden.

Unter Berücksichtigung eines Mindestabstands von 850 m zu bewohnten Gebäuden sind Anlagen in einem Grossteil des Richtplanperimeters nicht mehr möglich. Es verbleibt lediglich ein kleiner Bereich im Nordwesten des Richtplan-Perimeters als Planungsgebiet. Zwei Anlagen im Nordwesten vom Layout 15 wären mit dem Abstandsvorgaben verträglich. Die Anlage 2 wurde bereits für das Layout 15 soweit möglich optimiert, diese Anlage wurde daher nicht weiter verschoben. Aufgrund der Mitwirkungseingaben vom Herbst 2022 zum Entwurf des Zonenplans Windenergie wurde die

nördlichste Anlage, WEA 3 des Layout 20 leicht gegen Süden verschoben, um einen Abstand zur Gemeindegrenze gegenüber Hüttlingen einzuhalten, gleichzeitig kann eine etwas grössere Distanz zum nördlichen Abhang des Wellenbergs und zum Thurtal erreicht werden, was aus Sicht der Vögel und Fledermäuse zu begrüssen ist. Um den verbleibenden Perimeter möglichst optimal auszunutzen, wurde zudem eine Dritte Anlage platziert. Da die drei südwestlichen Anlagen des Layouts 15 nicht mehr realisiert werden können, wurde es möglich eine Anlage zwischen diesen drei Anlagen vom Layout 15 zu positionieren. Unter Berücksichtigung der Vorgaben des Gewässerschutzes und der Abstandsvorgaben zu den Gebäuden war ein minimaler Spielraum für die Platzierung der südlichsten Anlage vorhanden, aufgrund der Lage der beiden nördlichen Anlagen, ist die WEA 1 möglichst weit südlich zu platzieren, um die gegenseitigen Abschattungsverluste zu minimieren. Mit dieser Platzierung möglichst weit südlich im monotonen Fichtenwald können auch die Reviere von Brutvögeln möglichst geschont werden und ökologisch weniger wertvolles Habitat beansprucht werden.

Tabelle 11 Abwägungen der Standortwahl von Anlage 1

Anlage 1	
Brutvogelschutz	Schonung des Reviers vom Mäusebussard mit grösstmöglicher Verschiebung der Installationsflächen in monotone Fichtenwälder (d.h. einem weniger geeigneten Habitat), zur Vergrösserung zum vorhandenen Mäusebussardhorst (bei der Brutvogelkartierung nicht genutzt).
Fledermausschutz	Nutzung eines dichten Fichten-Waldes, welcher für Fledermäuse weniger attraktiv ist (mit Ausnahme der hallenartigen Waldstruktur mit alten Fichtenbestand). Die Verlegung der Zufahrt weg vom Waldrand (direkter Weg von der Strasse) schont ebenfalls für Fledermäuse interessante Bereiche.
Wald	Mit einer möglichst optimalen Platzierung der Kranstellflächen und temporären Zufahrtswegen können die Rodungsflächen miniert werden. Aus ökologischer Sicht weniger wertvolle Waldfläche betroffen (aktuell: überwiegend Fichtenwald)
Lebensraum	Durch die direkte Erschliessung an die vorhandene, heute bereits gut ausgebaute Waldstrasse, kann der Eingriff minimiert und der Naturlebensraum bestmöglich geschont werden.
Quellschutz	Optimierung des Standorts und der Flächen zur Sicherstellung, dass keine Eingriffe in den Boden im Bereich von Quellschutzzone SII nötig sind.
Perimeter	Leichte Überstreichung des Richtplan-Perimeters (ca. 7 m) und Waldreservat, aber kein Überflug des Bachtobels
Produktionsertrag	Folge: eine leicht grössere Abschattung der Anlagen untereinander, infolge der Verringerung der Distanzen zu den benachbarten Anlagen.

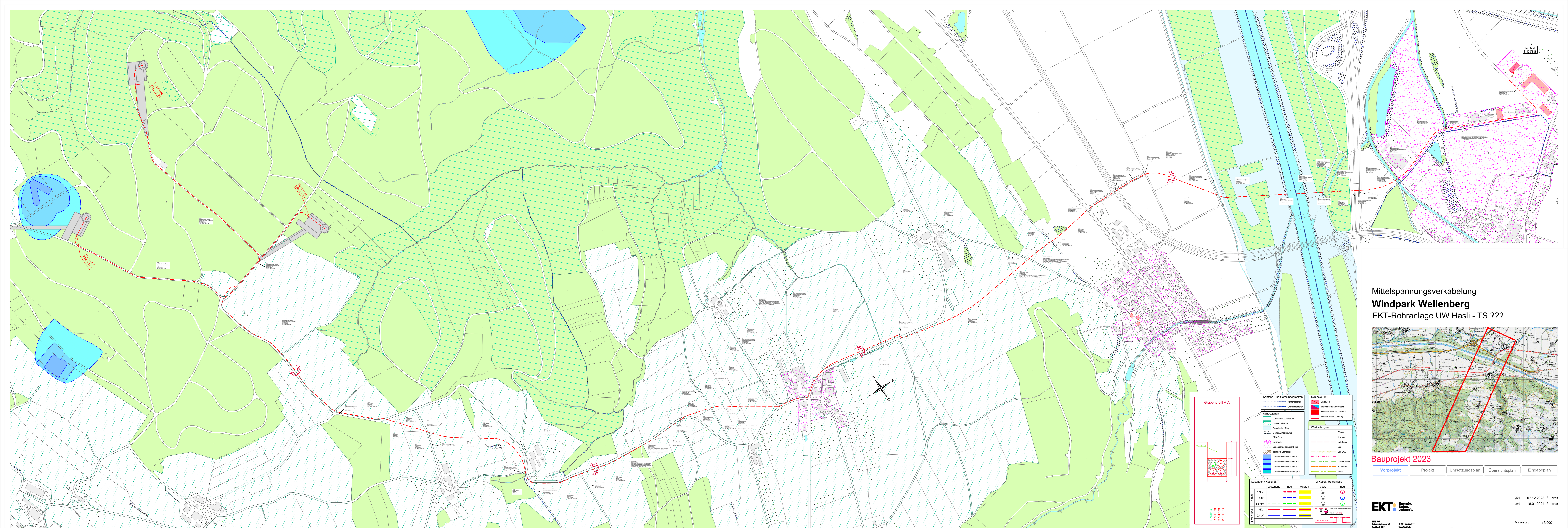
Tabelle 12 Abwägungen der Standortwahl von Anlage 2

Anlage 2	
Standort	Keine Verschiebung gegenüber Layout 15
Grillplatz	Geringere Beeinträchtigung vom Grillplatz durch etwas vergrösserten Abstand
Brutvogelschutz	Wespenbussard: Schonung des Reviers vom Wespenbussard mit grösstmöglicher Verschiebung der Installationsflächen in monotone Fichtenwälder (d.h. einem weniger geeigneten Habitat)
Fledermausschutz	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Beeinträchtigung des Bietehart-Weiher durch Zufahrt (Verbreiterung des Weges direkt neben dem Weiher) und Installationsflächen. - Vergrösserung der Distanz zum Weiher als «Fledermaus-Hotspot» (dient als Trinkstelle und insektenreiches Jagdbiotop). - Neue Positionierung der WEA stellt den bestmöglichen Kompromiss im Hinblick auf einen grösstmöglichen Abstand zum Münchtobel (mit ebenfalls hoher Fledermaus-Dichte) und dem Bietehart-Weiher dar.
Fauna (weitere)	Amphibien: Bessere Schonung des Amphibien-Inventar Objekts welches für Amphibien (v.a. die Geburtshelferkröte) Schutz und Förderung bietet (durch die Verlegung der Installationsflächen und Zufahrten weg vom Weiher)
Wald	Mit einer möglichst geraden Zufahrt zum Standort können die temporären Verbreiterungen der Waldstrasse minimiert werden
Waldreservat	Forstweg kann neu mit etwas Distanz zur Grenze des Waldreservats erstellt werden
Erdbewegung	Reduzierung der notwendigen Erdverschiebungen zum bestmöglichen Erhalt der bestehenden Fläche
Beeinträchtigung Bauphase	Folge: Erhöhte Beeinträchtigung in der Bauphase vom Husplatz (die Strasse führt direkt vor dem Schnitzzellager vorbei)
Perimeter	Folge: Überstreichung des Richtplan-Perimeters (ca. 40 m) und Waldreservat, aber kein Überflug des Bachtobels
Wald	Folge: Vergrösserte Rodungsfläche für die Kranauslegermontage, dafür ist aber weniger wertvolle Waldfläche betroffen (aktuell: überwiegend Fichtenwald)
Zugvögel	Abwägung: Der neue Anlagenstandort führt zu einer minimalen Verschiebung der Anlage aus dem Konzentrationsbereich der thermisch gleitenden Zugvögel, dieser kleine Unterschied ist jedoch von untergeordneter Bedeutung

Tabelle 13 Abwägungen der Standortwahl von Anlage 3

Anlage 3	
Perimeter	Zusätzliche leichte Verschiebung gegen Süd-Westen gegenüber Layout 15 zur Vermeidung von Überflug des Richtplanperimeters durch den Anlagenrotor und Abstand zur Gemeindegrenze.
Standort	Gesamte Anlage liegt auf dem Gebiet der Gemeinde Thundorf
Produktionsertrag	Folge: eine leicht grössere Abschattung der Anlagen untereinander, infolge der Verringerung der Distanzen zu den benachbarten Anlagen
Fledermausschutz	Folge: Zum Schutz der Fledermäuse wurde eine grössere Verschiebung nach Süden vorgenommen. Hierdurch grössere Distanz zum geeigneten Lebensraum der gefährdeten Mopsfledermaus. Mit der erfolgten Verschiebung des Standorts für Anlage 3 inkl. der Zuwegung, die neu von Süden her erfolgt, konnte der Konflikt mit Fledermäusen jedoch weiter entschärft werden. Der Jungwald mit dichtem Unterholz, wie er im Bereich des neuen Anlagen-Standorts vorhanden ist, bietet selbst für Fledermäuse, die kleinräumig strukturgebunden jagen, viele Hindernisse. Hingegen wird der Waldrand stärker beansprucht.
Brutvogelschutz	Die Anlage wurde gegenüber der energetisch optimalen Position gegen Süden verschoben, um mehr Distanz zur ehemaligen Kiesgrube mit Wasserflächen zu erhalten. Gleichzeitig auch leicht grössere Distanz zum Thurtal mit den entsprechenden Vögeln wie Storch etc.
Zugvogelschutz	Frühere Standortverschiebung nach Süden schafft eine grössere Distanz zum Konzentrationsbereich der thermisch gleitenden Zugvögel. Die aktuelle Verschiebung verbessert die bisherige Optimierung minimal.

Anhang 0 Plan Netzanbindung



Grabenprofil A-A

Legungen / Kabel EKT		Ø Kabel / Rohranlage	
bestehend	Abbruch	bestehend	Abbruch
17kV	neu	Ø 150	Ø 150
0.4kV	neu	Ø 75	Ø 75
Komm.	neu	Ø 50	Ø 50
17kV	neu	Ø 150	Ø 150
0.4kV	neu	Ø 75	Ø 75

Karten- und Gemeindegrenzen

- Kartengrenze
- Gemeindegrenze

Schutzzonen

- Landschaftsschutzzone
- Naturschutzzone
- Raumordzielzone
- Genetz/Erholungszone
- BLN-Zone
- Baurezon
- Zone archäologischer Fund
- Landesdenkmalzone
- Grundwasserschutzzone S1
- Grundwasserschutzzone S2
- Grundwasserschutzzone S3
- Grundwasserschutzzone prov.

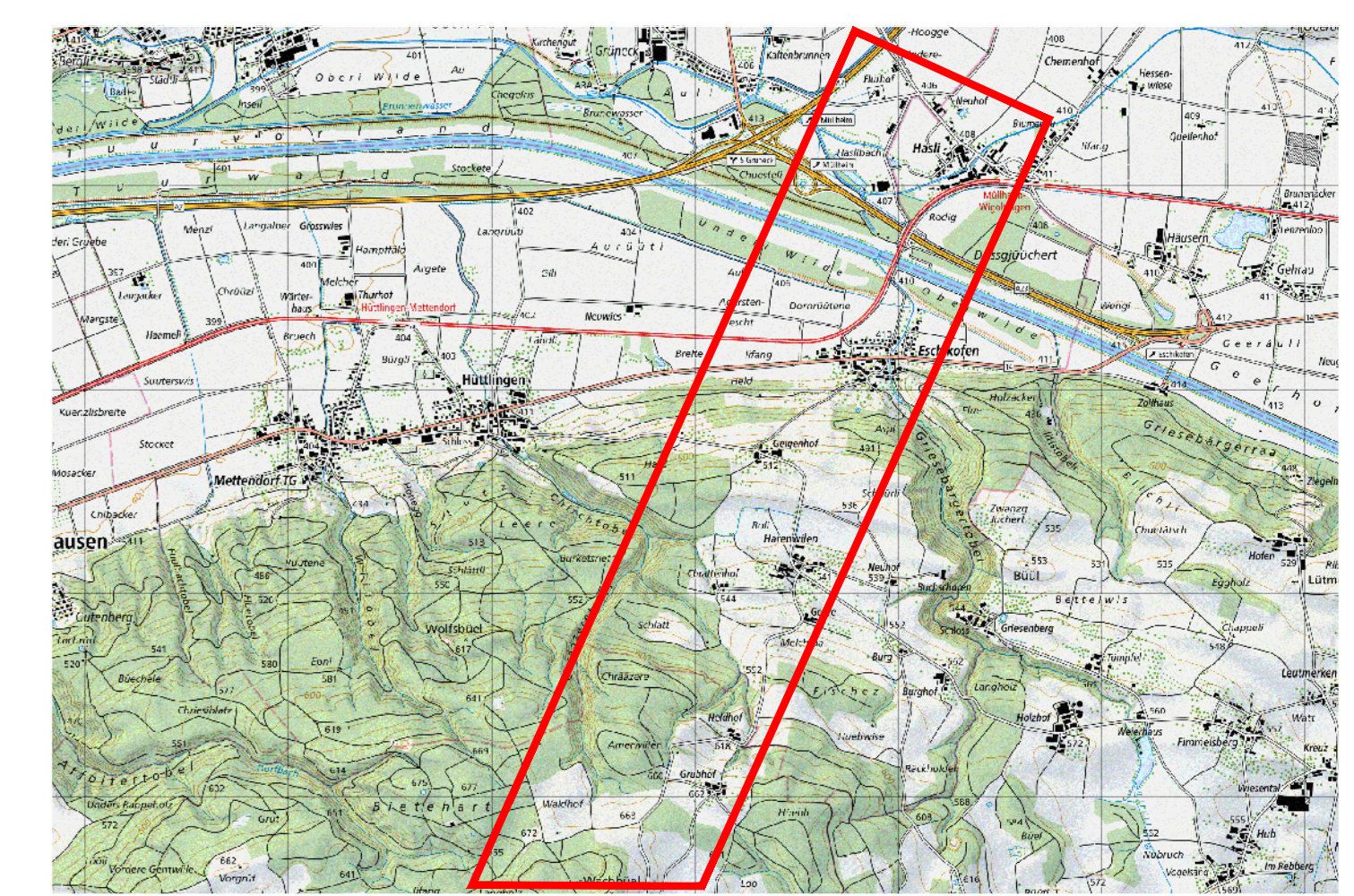
Symbole EKT

- Metereinst
- Station / Messstation
- Station / Schaltstation
- Schaltmischleistung

Werkleitungen

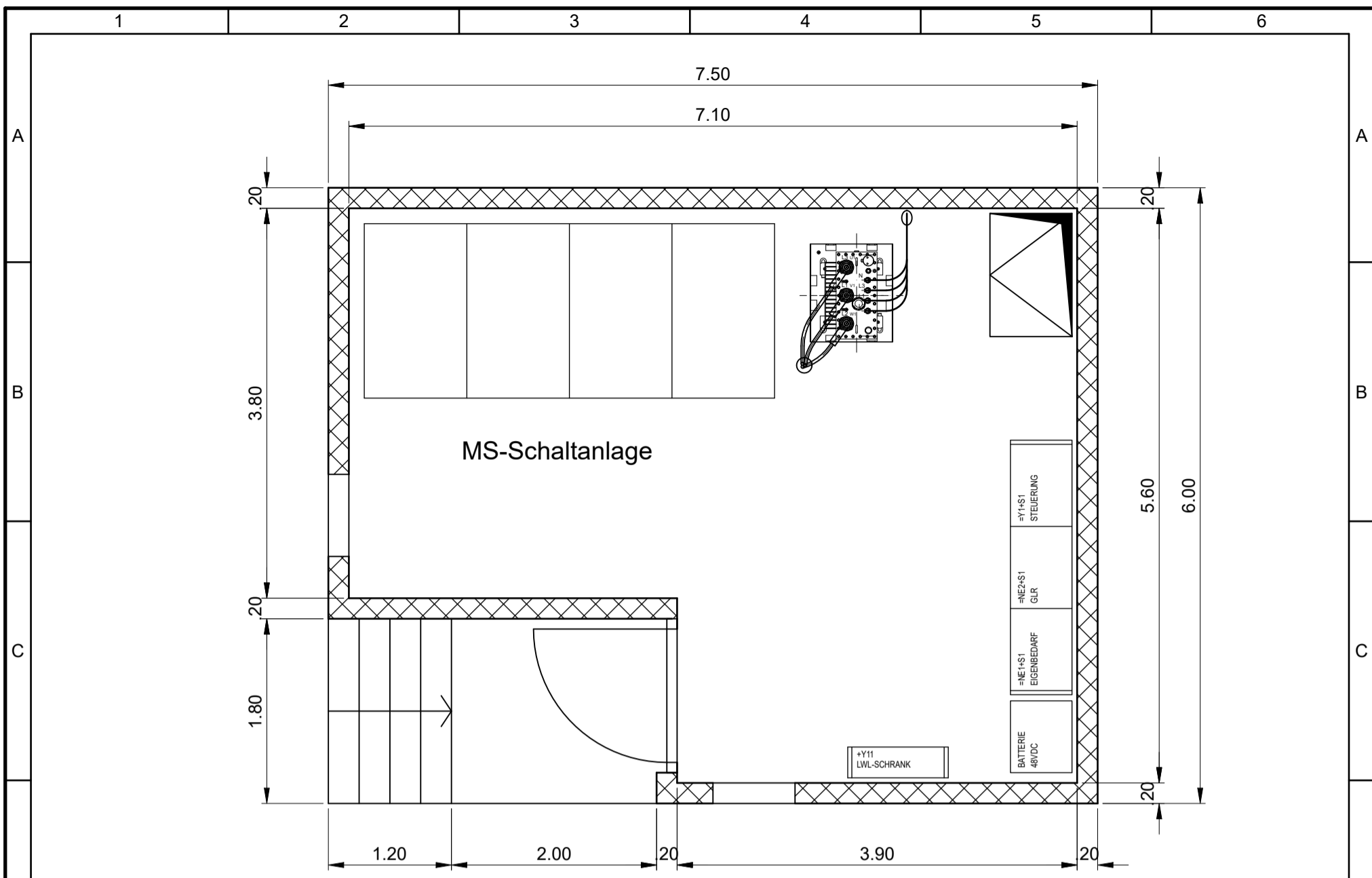
- Wasser
- Abwasser
- EW (Hoch)
- Gas
- Gas EGD
- TV
- Telefon / LHM
- Fernwärme
- Mittel

Mittelspannungsverkabelung
Windpark Wellenberg
 EKT-Rohranlage UW Hasli - TS ???

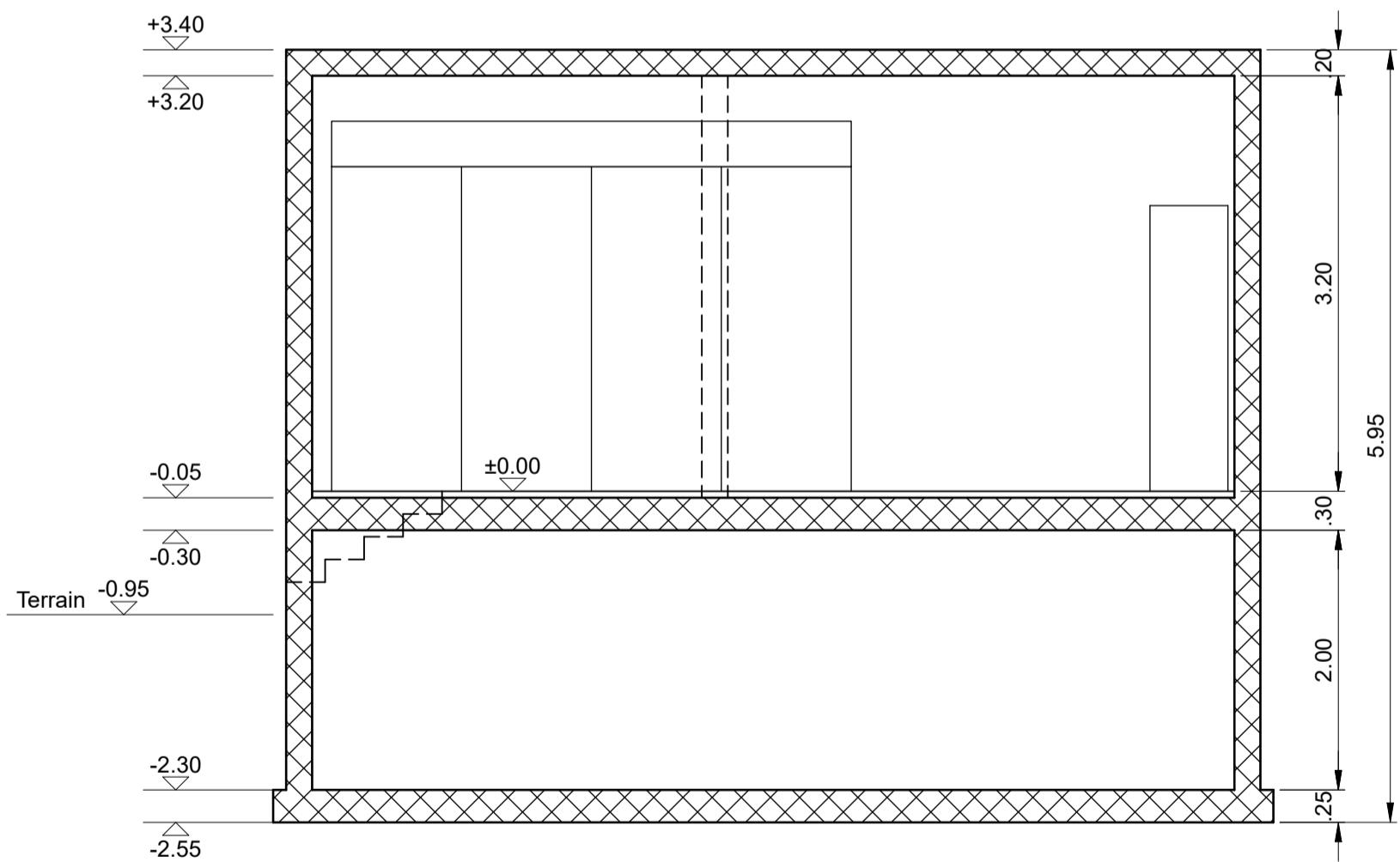


Bauprojekt 2023

Vorprojekt | Projekt | Umsetzungsplan | Übersichtsplan | Eingabeplan



Grundriss



Schnitt

Dieses Dokument ist Eigentum der EKT und darf ohne Genehmigung weder vervielfältigt noch dritten Personen zugänglich gemacht werden.
Die Gültigkeit dieses Dokumentes beschränkt sich auf Ihre Anfrage

vom :
Ausgabedatum :
Sachbearbeiter EKT :

SS Wellenberg
Projekt Grundriss

EKT Energie. Daten. Zukunft.

EKT AG Bahnhofstrasse 37 T 071 440 61 11
Postfach 161 info@ekt.ch
9320 Arbon www.ekt.ch

M 1:50	gez.	stem	27.11.23
	gepr.		
A3 Hoch 297x420	File	Projekt.DWG	

51.001

Anhang P Stellungnahme Flugsicherheit und VBS



Aktennotiz

Datum: 24.11.2023
Für: Saskia Bourgeois, BFE (gu@bfe.admin.ch)
Kopie an: LESA glc, trb, SIFS frh, dil, SISS kic, SIAP bum, mof

Aktenzeichen: BAZL-365.300-1/18/16/6/2

TBV / Thundorf Wellenberg / ID-143 Update SIAP Luftfahrtspezifische Rückmeldung

1. Vorbemerkung

Diese Stellungnahme ersetzt die ursprüngliche Stellungnahme vom 22.12.2022, nachdem vom Projektanten das ursprüngliche Projekt redimensioniert wurde und bezieht sich auf die Kompatibilität von geplanten Windenergiegebieten mit den Hindernisbegrenzungsflächen-Katastern (HBK) sowie bestehenden An- und Abflugrouten (inklusive Anflugsektoren) im Bereich von Flugplätzen und stellt keinen Vorentscheid in Bezug auf den im Rahmen des Bewilligungsverfahrens für Luftfahrthindernisse gemäss Art. 63 ff. VIL zu treffendem Entscheid des BAZL dar.

Zu möglichen Betriebsstörungen der flugsicherungstechnischen Anlagen (CNS-Anlagen) und IFR-Flugverfahren sowie meteorologischen Instrumenten verweisen wir auf die jeweiligen Stellungnahmen der Skyguide sowie der MeteoSchweiz.

2. Projektübersicht

Anlagen-Nr.	Koordinate E (LV95) - Ostwert	Koordinate N (LV95) - Nordwert	Terrainhöhe (m ü. M.)	Max. Gesamthöhe (m)
WEA1	2'715'807	1'268'587	653.0	265
WEA2	2'715'521	1'268'994	665.9	265
WEA3	2'716'247	1'269'170	665.6	265



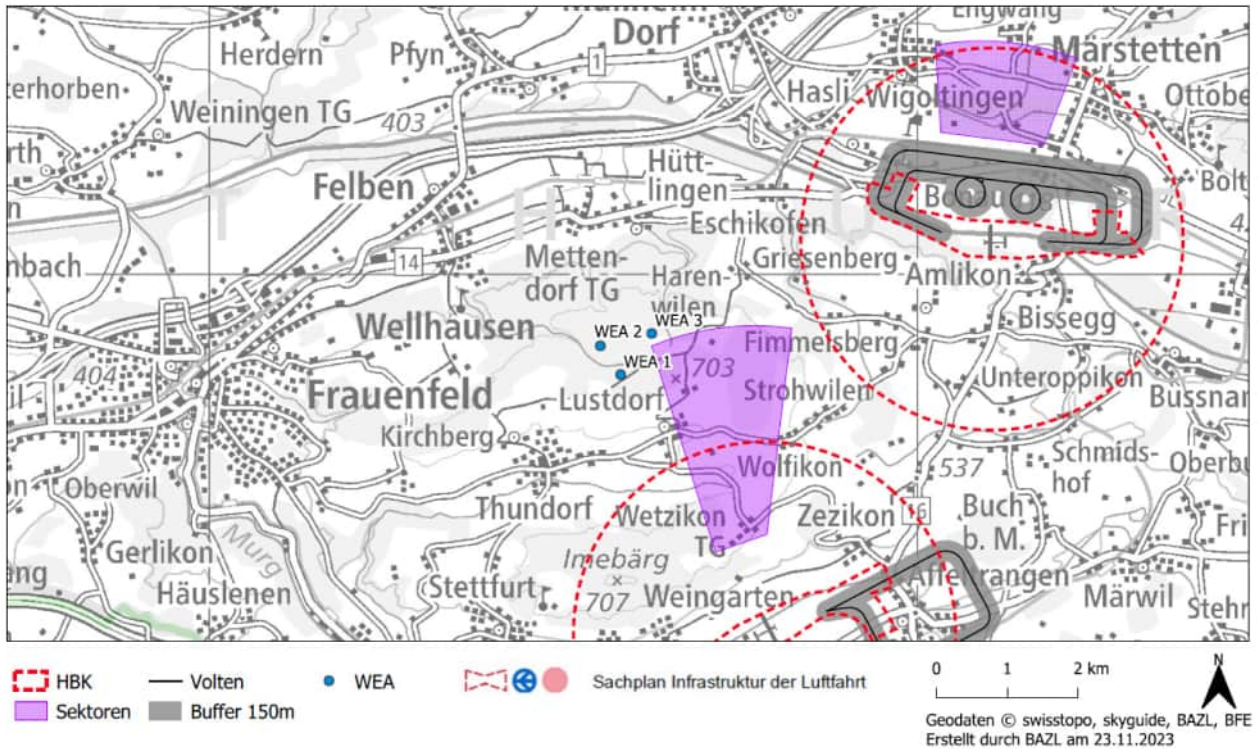


Abbildung 1: Anlagenstandorte gemäss Formular B vom 3.11.2023 sowie Volten und Anflugsektoren des Flugplatz Lommis

3. Stellungnahme bezüglich den geplanten Windenergieanlagen im Bereich von Flugplätzen

Bezüglich den potentiellen Windenergieanlagen erkennen wir keinen Konflikt mit dem Anflugsektor NORD des Flugfeldes Lommis, bei welchem eine gesetzliche Mindestflughöhe von 150 m (500 ft) über dem höchsten Hindernis innerhalb eines Umkreises von 150 m (500 ft) um das Luftfahrzeug eingehalten werden muss (siehe Anhang: VFR-Manual, RAC 4-3-5 resp. SERA.5005 Paragraph f).

Wir weisen jedoch darauf hin, dass die zu erwartenden maximale Höhe der Windenergieanlage 3 von ca. 930 m ü. M. addiert mit der erforderlichen Mindestüberflughöhe von 150 m für den Anflugsektor NORD eine Mindestflughöhe von 1'080 m ü. M. ergibt, was ca. 3'600 ft entspricht, die aktuelle Mindestflughöhe des Sektors NORD ist aktuell mit 3'500 ft vorgesehen.

Es ist deshalb mit der Flugplatzhalterschaft des Flugplatzes Lommis abzuklären, ob der Anflugsektor NORD bezüglich seiner Lage oder Mindestflughöhe leicht angepasst werden soll. Ein entsprechender Betriebsreglementänderungsantrag zwecks Anpassung der Lage oder Mindestflughöhe des Anflugsektors NORD (Aktualisierung Karte im Anhang 3) wäre durch die Flugplatzhalterschaft des Flugplatzes Lommis beim BAZL einzureichen.

4. Fazit

Bezüglich den potentiellen Windenergieanlagen in den vorgesehenen Gebieten können wir eine positive Stellungnahme abgeben. Diese Stellungnahme ist ab Ausstellungsdatum fünf Jahre gültig, sofern die technischen Parameter des Projektes (Formular B) nicht geändert werden.

Michael Müntener
Senior Aerodrome Safety Inspector

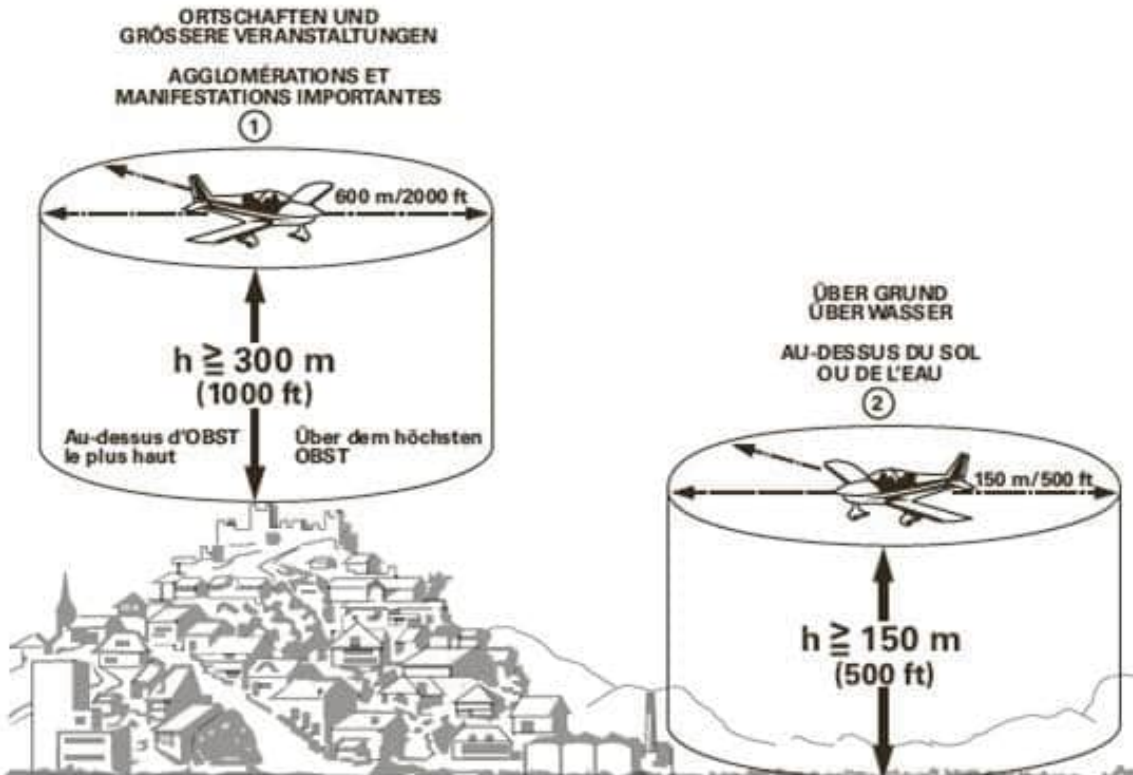
Anhang: VFR-Guide, Anhang 1

ANHANG / APPENDICE I

Mindestflughöhen über Grund
Hauteurs minimales de vol



gilt als Motorflugzeug
est considéré comme avion



Ausser wenn dies für Start und Landung notwendig ist oder von der zuständigen Behörde genehmigt wurde, darf ein Flug nach Sichtflugregeln nicht durchgeführt werden:

Sauf pour les besoins du décollage et de l'atterrissage, ou sauf autorisation de l'autorité compétente, aucun vol VFR n'est effectué:

- ① über Städten, anderen dicht besiedelten Gebieten und Menschenansammlungen im Freien in einer Höhe von weniger als 300 m (1000 ft) über dem höchsten Hindernis innerhalb eines Umkreises von 600 m (2000 ft) um das Luftfahrzeug

au-dessus des zones à forte densité, des villes ou autres agglomérations, ou de rassemblements de personnes en plein air, à moins de 300 m (1000 ft) au-dessus de l'obstacle le plus élevé situé dans un rayon de 600 m (2000 ft) autour de l'aéronef

- ② in anderen als in ① genannten Fällen in einer Höhe von weniger als 150 m (500 ft) über dem Boden oder Wasser oder 150 m (500 ft) über dem höchsten Hindernis innerhalb eines Umkreises von 150 m (500 ft) um das Luftfahrzeug

ailleurs qu'aux endroits spécifiés au point ①, à une hauteur inférieure à 150 m (500 ft) au-dessus du sol ou de l'eau ou à 150 m (500 ft) au-dessus de l'obstacle le plus élevé situé dans un rayon de 150 m (500 ft) autour de l'aéronef



Email

Bundesamt für Energie
Erneuerbare Energien / Guichet Unique
Saskia Bourgeois

Locarno-Monti, 12. Dezember 2023

**Betriebsstörung der meteorologischen Instrumente durch Windkraftanlagen
Standort / analysiertes Projekt: „Windpark Wellenberg (bisher: Windpark Thundorf), TG“
ID Nr. 143**

Sehr geehrte Frau Bourgeois

Wir haben Ihre Anfrage vom 17. November 2023 bezüglich möglicher Konsequenzen auf die meteorologischen Instrumente (Niederschlagsradare, Windradare und Bodenmessstationen) des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz beim Bau von Windkraftanlagen respektive Windturbinen geprüft. Unsere Analyse stützt sich auf die Informationen aus dem Formular B vom 3. November 2023.

Unsere Analysen haben ergeben, dass unabhängig der Materialverwendung mögliche Störungen des Betriebes unserer meteorologischen Instrumente durch die projektierten Windkraftanlagen/ Windturbinen **gleich Null oder sehr gering sind**. Demzufolge haben wir, als Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, zu dem oben erwähnten Projekt **keine Vorbehalte**.

Dies gilt allerdings nur unter der Voraussetzung, dass die technischen Kenndaten des zu realisierenden Projektes identisch sind mit den von uns analysierten Daten. Geometrische Anpassungen im Projektverlauf bedürfen einer erneuten Beurteilung durch die MeteoSchweiz. Daher sind solche Projektänderungen dem Guichet Unique Windenergie unverzüglich zu melden. Diese Stellungnahme ist maximal fünf Jahre ab Ausstellungsdatum gültig.

Für weitere Informationen stehen wir Ihnen jederzeit gerne zur Verfügung.

Freundliche Grüsse
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Urs Germann
Leiter der Abteilung Radar, Satelliten, Nowcasting



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Kommunikation BAKOM

2501 Biel/Bienne, BAKOM, mig

Guichet Unique Windenergie
Bundesamt für Energie BFE
3003 Bern

Referenz/Aktenzeichen: TBV / Thundorf / ID-Nr 143
Ihr Zeichen: -
Sachbearbeiter/in: Gordana Mijic
Biel/Bienne, 20. Dezember 2023

Beurteilung Richtfunk zu Windpark TBV / Thundorf / ID-Nr 143

Sehr geehrte Damen und Herren,

Wir haben Ihre Anfrage vom 17.11.2023 zum Projekt Windpark Thundorf (TG), geprüft und können Ihnen im Sinne einer Momentaufnahme der aktuellen Situation der zivilen Richtfunknetze und ohne Rechtsanspruch folgende Beurteilung zusenden.

Anhand der derzeit in Betrieb befindlichen zivilen Richtfunkstrecken sind Beeinflussungen kaum wahrscheinlich. Wir hoffen Ihnen mit diesen Angaben gedient zu haben.

Mit freundlichen Grüssen

Bundesamt für Kommunikation BAKOM

Gordana Mijic
Frequenzspezialist

Bundesamt für Kommunikation BAKOM
Konzessionen und Frequenzmanagement
Frequenzzuteilung
Zukunftstrasse 44, 2501 Biel/Bienne
freqfix@bakom.admin.ch
www.bakom.admin.ch

to Bundesamt für Energie
Frau Saskia Bourgeois
Fachspezialistin Erneuerbare Energien Bereich Windenergie
3003 Bern

from Catherine Hunziker
CNS expert

Catherine.hunziker@skyguide.ch
T +41 43 931 66 25

Stellungnahme zu möglichen Betriebsstörungen der flugsicherungstechnischen Anlagen und Flugverfahren
Standort / analysiertes Projekt: «Wellenberg» (TG)

date 2023-12-20

Sehr geehrte Frau Bourgeois, liebe Saskia

Wir haben die Eingabe des Guichet Unique Windenergie bezüglich möglicher Konsequenzen auf die zivilen, durch Skyguide betriebenen flugsicherungstechnischen Anlagen (Flugsicherungsradar, Navigations- und Flugfunkanlagen sowie Peilstationen) und Instrumentenflugverfahren bezüglich des Baus von Windenergieanlagen (WEA) in der Region «Wellenberg» (TG) geprüft.

Unsere Analyse stützt sich auf nachfolgende Daten (siehe Tabelle 1¹):

Nr.	Koordinate E (LV95) - Ostwert	Koordinate N (LV95) – Nordwert	Terrainhöhe (in Metern über Meer)	Höhe der WEA (m)	Maximalhöhe (in Metern über Meer)
WEA1	2,715,807	1,268,587	653	265	918
WEA2	2,715,521	1,268,994	666	265	931
WEA3	2,716,247	1,269,170	666	265	931

Tabelle 1 Koordinaten des Windparks « Thundorf-Wellenberg» (TG)

¹ Referenz: 2023.11.03 Formular B Thundorf TG ID-143

1 Details

Die WEA des Windparks «Wellenberg» (TG) sind in Abbildung 1 dargestellt. Im Hintergrund ist ein Teil des Perimeters "Thundorf" (Richtplan Windenergie Thurgau)² dargestellt:

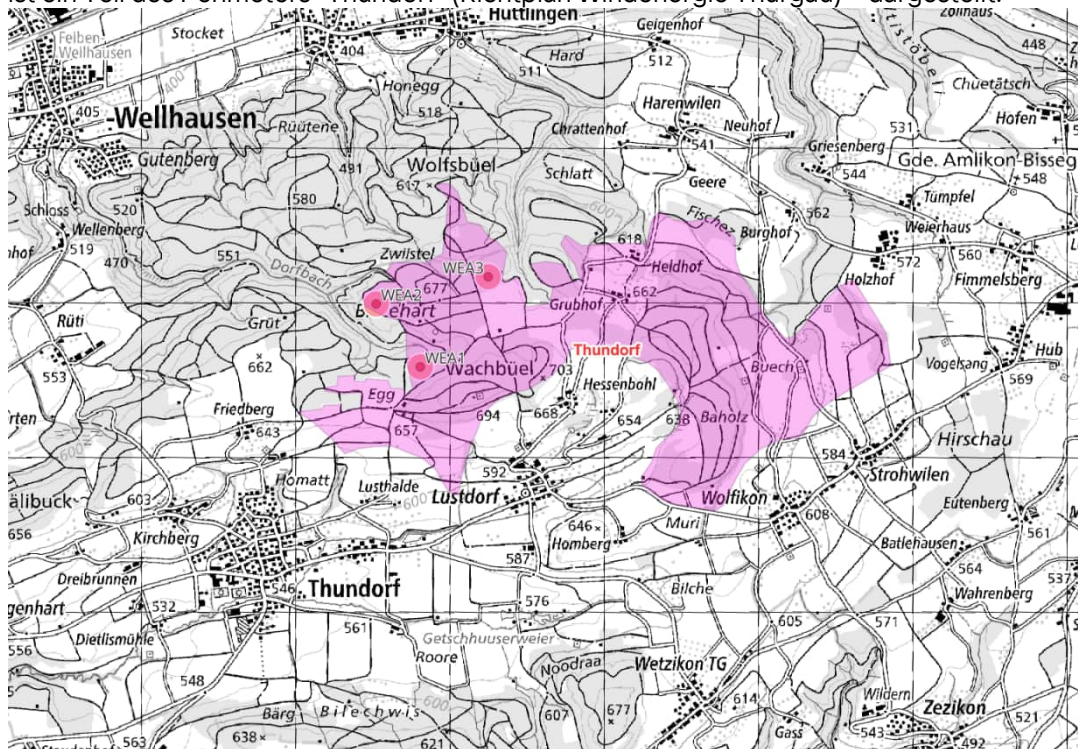


Abbildung 1 Standort Windpark «Wellenberg» (TG)

© swisstopo

2 Instrumentenflugverfahren (IFP³)

Es gibt einen Einfluss auf zwei ATS⁴-Routen:

- T125 Segment ZUE – ROMIR
- Z601 Segment ZUE – BODAN

Dieser Einfluss kann wie folgt behoben werden

- a) Entweder konfliktfreie Maximalhöhe der WEA an der Rotorspitze (inkl. Terrain) von 796 m.ü.M. einhalten.
- b) Oder die MOCA⁵ der ATS-Routen T125 und T601 um 500ft auf 4200ft erhöhen. Das sollte möglich sein, da die MEA⁶ in diesen beiden Segmenten bei 6000ft liegt. Voraussetzung hierzu ist die Prüfung der operationellen Machbarkeit, die entsprechenden Anpassung in den Publikationen sowie die Zustimmung der betroffenen

² 20180903 Verträglichkeitsprüfung Richtplan TG durch skyguide_v4

³ Instrument Flight Procedures

⁴ Air Traffic Services

⁵ Minimum Obstacle Crossing Altitude (minimale Hindernis-Überflughöhe)

⁶ Minimum En-Route Altitude (niedrigste Flughöhe)

Stakeholder. Die Aufwände werden dem Windenergieentwickler in Rechnung gestellt

3 CNS⁷-Systeme

Es liegt kein Einfluss auf CNS-Systeme vor.

4 Schlussfolgerung

Für das vorliegende Projekt spricht Skyguide aus obengenannten Gründen eine **bedingte Stellungnahme aus.**

Die Einflüsse der WEA auf die beiden ATS-Routen sind zu beheben (siehe Kapitel 2).

Diese Stellungnahme gilt unter der Voraussetzung, dass die technischen Koordinaten des zu realisierenden Projektes (siehe Tabelle 1) unverändert bleiben. Eine horizontale Verschiebung des Fusspunkts um mehr als 50 Meter sowie eine vertikale Erhöhung um mehr als 20 Meter muss neu analysiert werden, damit die weitere Gültigkeit der Stellungnahme gewährleistet werden kann.

⁷ Communication, Navigation and Surveillance

5 Hinweis

Diese Stellungnahme ist bis zum 5.04.2028 gültig.

Wenn ein Projekt aufgrund einer Einsprache im Rahmen der Nutzungsplanung und/oder der Baubewilligung blockiert wird und die Projektleitung bei Skyguide einen Antrag stellt, wird die Frist für die Dauer des Verfahrens ausgesetzt.

Um diese Unterbrechung der Frist zu gewährleisten, muss die Projektleitung Skyguide informieren, sobald sie Kenntnis davon erhält, dass ein solches Verfahren eingeleitet oder beendet wurde (rechtskräftiger Entscheid eines zuständigen Gerichts oder die Genehmigung der Nutzungsplanung / Erteilung der Baugenehmigung).

Die Belege für das betreffende Verfahren sind unverzüglich mit dem Antrag auf Unterbrechung der Frist einzureichen.

Darüber hinaus kann Skyguide auf Antrag der Projektleitung nach einer Neu Beurteilung die Stellungnahme um weitere fünf Jahre verlängern. In solchen Fällen sind die Kosten der Neu Beurteilung von der Projektleitung zu tragen.

Während der Gültigkeitsdauer dieser Stellungnahme verpflichtet sich Skyguide, den Windpark bei periodischen Überprüfungen bzw. der Weiterentwicklung von Instrumentenflugverfahren und CNS-Systemen zu berücksichtigen.

Skyguide informiert die Projektleitung während der Gültigkeit über neue Auswirkungen, die sich aus der Einführung neuer Kriterien oder Technologien ergeben können.

Freundliche Grüsse

Dr. Maurizio Scaramuzza

Catherine Hunziker

Kopie an:

- Emch+Berger
- BAZL SIFS und Luftfahrthindernisdienst
- Military Aviation Authority (MAA), Reto Pauli

Anhang Q Energie- und CO₂-Emissionsbilanz

Windenergieprojekt Thundorf

Version 2.0 | 21.12.2022

Lebenszyklusanalyse

Layout mit 8 Windenergieanlagen des Typs Enercon E160 EP5 E2



Impressum

Auftragsnummer	
Auftraggeber	
Datum	21. Dezember 2022 Finale Version.
Version	2.0
Vorversionen	
Autor(en)	Anna-Maria Pfisterer, Nina Küchlin
Freigabe	Philipp Mattle
Verteiler	
Datei	Windenergieprojekt Thundorf_Lebenszyklusanalyse
Seitenanzahl	21
Copyright	© Emch+Berger Revelio AG

Inhalt

Tabellenverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	1
Abkürzungsverzeichnis	2
1 Einleitung	3
1.1 Grundlagen.....	3
1.2 Windenergie heute	4
1.3 Systemgrenzen und Systembeschreibung	4
2 Lebenszyklusanalyse des Windenergieprojekts Thundorf.....	6
2.1 Sachbilanz.....	6
2.1.1 Zufahrtsstrassen und Landnutzung	8
2.1.2 Entsorgung und Recycling.....	10
2.2 Energiebilanz	11
2.2.1 Energieaufwand für die Verarbeitung der Materialien für 8 Anlagen	11
2.2.2 Energieaufwand für Verzinkung und Schweissnähte der Stahltürme.....	12
2.2.3 Energieaufwand Montage	12
2.2.4 Transport	13
2.2.5 Betrieb.....	14
2.3 Wirkungsabschätzung	16
2.4 Einordnung der Ergebnisse im Vergleich zu anderen Analysen	17
3 Zusammenfassung.....	18
4 Quellenangaben.....	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Grundlagendaten Windprojekt Thundorf	3
Tabelle 2 Dimensionen der Anlagenkomponenten	6
Tabelle 3 Materialmengen für eine WEA E160 EP5 E2 (Werte in schwarz waren gegeben, Werte in blau wurden berechnet auf Basis von Angaben aus der BFE-Studie	7
Tabelle 4 Sachbilanz der Zufahrtsstrassen (Berechnungsgrundlagen: Ökobilanzierung Schweizer Windkraftanlagen)	9
Tabelle 5 Sachbilanz – Kranstellflächen und Installationsflächen	9
Tabelle 6 Sachbilanz: Fundament/Baugrube	9
Tabelle 7 Übersicht GWh- und CO ₂ -Emissionen aus Rückbau und Recycling-Gutschriften	11
Tabelle 8 Energieaufwand und CO ₂ -Ansatz für die Verarbeitung der Materialien aller 8 WEA samt Trafostation und Netzanbindung	12
Tabelle 9 Energieaufwand für die Verzinkung und die Schweissnähte der Stahltürme	12
Tabelle 10 Energieaufwand für die Montage der Anlagenkomponenten in der Produktionsstätte bzw. die Betonherstellung sowie für das Aufstellen der Anlage am Standort	13
Tabelle 11 Transportdistanzen und Energiebedarf für Transporte	14
Tabelle 12 Sachbilanz für Windstrom ab Netzeinspeisepunkt – Abwärme [Berechnungen basierend auf den Daten des Windparks am Mt. Crosin]	14
Tabelle 13 Sachbilanz für Windstrom ab Netzeinspeisepunkt mögliche SF ₆ -Emissionen (Berechnungen basierend auf den Daten des Windparks am Mt. Crosin)	15
Tabelle 14 Kennwerte der Lebenszyklusanalyse	16
Tabelle 15 Umweltauswirkungen Windprojekt Thundorf – Variante 1 (konservativer Betrieb) 20 Jahre Betrieb, 70 GWh Erzeugung je Jahr	16
Tabelle 16 Umweltauswirkungen Windprojekt Thundorf – Variante 2 (verlängerter Betrieb) – 25 Jahre Betrieb, 70 GWh Erzeugung je Jahr	17

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Komponenten einer WEA	5
Abbildung 2 Systemgrenzen des Windenergieprojekts Thundorf	5
Abbildung 3 kWh Verbrauch in % bei 20 Jahren Betrieb (70 GWh/a)	17
Abbildung 4 Spezifische CO ₂ -Emissionen in g CO ₂ /kWh von verschiedenen Elektrizitätsproduktionsanlagen	19

Abkürzungsverzeichnis

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
BFE	Bundesamt für Energie
BWE	Bundesverband für Windenergie (in Deutschland)
EPBT	Energy Payback Time (energetische Rücklaufzeit)
EKZ	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich
GaBi	ganzheitliche Bilanz
GWh	Gigawattstunden
IEC	International Electrotechnical Commission
IWES	Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme
MW	Megawatt
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
km	Kilometer
kWh	Kilowattstunde
LCA	Life Cycle Assessment (zu Deutsch Lebenszyklusanalyse)
LCI	Life Cycle Inventory (Lebenszyklus-Inventarliste)
PSI	Paul Scherrer Institut
SF6	Schwefelhexafluorid, anorganische chemische Verbindung, gasförmig, wird verwendet zur Isolation in Schaltanlagen und gilt als Treibhausgas
THG	Treibhausgase
UBA	Umweltbundesamt
UBP	Umweltbelastungspunkte
UW	Unterwerk
WEA	Windenergieanlage
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

1 Einleitung

Das Departement für Inneres und Volkswirtschaft, Abteilung Energie des Kanton Thurgau hat im Jahr 2014 eine Windpotenzialstudie in Auftrag gegeben, die zum Ziel hatte, die Gebiete zu erörtern, die im Kanton als potenzielle Windstandorte geeignet sind. Eines dieser Gebiete befindet sich in der Gemeinde Thundorf und wird nun durch die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) mit einem Windprojekt erschlossen.

Ziel dieses Dokumentes ist es, die Umweltauswirkungen des Windprojekts Thundorf in Bezug auf Energie und CO₂-Emissionen zu bilanzieren. Dazu wird das Projekt und die dafür notwendigen Ressourcen vom Bau der Anlage über den Transport der Komponenten, den Betrieb bis zum Rückbau und der Entsorgung betrachtet. Die Ergebnisse werden in Relation gesetzt zur prognostizierten einzuspeisenden Energie über eine Betriebsdauer von 20-25 Jahren.

Als Grundlage für den Aufbau der Bilanzierung dient die Studie «Ökobilanzierung von Schweizer Windenergie» der Fachgruppe Ökobilanzierung der ZHAW in Wädenswil, welche im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE) erstellt und 2015 veröffentlicht wurde (nachfolgend: BFE-Studie)¹

Ein kurzer Abgleich der Ergebnisse mit einer Life Cycle Analyse von 2020 des Anlagenherstellers Enercon², Analysen von Nordex und Vestas aus den Jahren 2020 und 2022 sowie einem Abschlussbericht zur Bewertung von Ökobilanzen des Deutschen Umweltbundesamts von 2021 (nachfolgend: UBA-Bericht)³ wird ergänzend erstellt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit und der in der BFE-Studie vergleichsweise eindeutigen Aufschlüsselung der Komponentenmaterialien, wurde im vorliegenden Dokument das Vorgehen der BFE-Studie angewendet. Für Berechnungen wurden dabei soweit möglich KBOB Ökobilanzdaten, Version 2009/1:2022⁴ verwendet und wo notwendig durch andere Werte ergänzt.

1.1 Grundlagen

Im betrachteten Fall des Windprojekts Thundorf, wird mit folgenden Grundlagendaten gearbeitet:

Tabelle 1 Grundlagendaten Windprojekt Thundorf

Layout	8 Anlagen des Typs Enercon E160 EP5 E2 Nabenhöhe 166 m Rotordurchmesser 160 m Stahlurm mit 166m Nabenhöhe
Fundament ⁵	1'044.7 m ³ Stahl-Beton Aussendurchmesser 28 m, Fundamenthöhe Sockelbereich 3 m, nach aussen abfallend, mit 6.9 m Aussparung in der Mitte für den Fundamentkorb.
Strassen	Ausbau von 3.4 km Forstwege
Netzanbindung	Intern bis zur Trafostation: ca. 3.4 km Forstwege 1.7 km Kiesstrassen 0.25 km Asphaltstrassen Extern bis zur Einspeisung ins öffentliche Netz: Ca. 4.5 km entlang der Strassen
Erwarteter Ertrag	8.75-10 GWh pro Anlage und Jahr
Laufzeit	Szenario 1: 20 Betriebsjahre

¹ BFE (2015), Ökobilanzierung Schweizer Windenergie.

² Enercon (2020) Sustainability Report 2020.

³ Umweltbundesamt (2021), Abschlussbericht: Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen.

⁴ KBOB Ökobilanzdaten im Baubereich, Version 2009/1:2022

⁵ Datenblatt ENERCON, Fundamente E-160 EP5 E2-MST-166-FB-C-01 D0972706/2.0-de / DB

Szenario 2: 25 Betriebsjahre

	Je WEA		Windpark Total	
	konservativ		konservativ	
1 Jahr	8.75	GWh	70	GWh
20 Jahre	175.00	GWh	1'400	GWh
25 Jahre	218.75	GWh	1'750	GWh

Funktionelle Einheit

1 kWh Windstrom ab Mittelspannungsnetz⁶

1.2 Windenergie heute

In der Schweiz waren Ende 2020 insgesamt 41 Gross-Windenergieanlagen (87 MW) installiert, die eine Jahresproduktion von 146 Mio. kWh produziert haben. Dies entspricht dem Verbrauch von etwa 40'000 Schweizer Haushalten oder 0.2% des gesamten Strombedarfs der Schweiz.⁷

Das Potenzial ist allerdings weitaus höher. Auch wenn die durchschnittliche Windgeschwindigkeit niedriger ist als beispielsweise in Nachbarländern wie Deutschland, ist der Betrieb von Windparks auch in der Schweiz, nicht zuletzt wegen der technischen Weiterentwicklung der Anlagen, rentabel. Das Konzept Windenergie des Bundes (2020) zeigt deutlich das grosse Potenzial, das die Schweiz im Bereich der Windenergienutzung bietet. Seit 2018 werden bei der Entwicklung von Windparkprojekten Projekte mit einer Jahresproduktion von >20 GWh als Projekte mit nationalem Interesse gewichtet und stehen bei der Interessenabwägung nun den Interessen von Natur- und Landschaftsschutz gleichrangig gegenüber⁸. Weiterhin gilt jedoch, dass in der Planung von Windparkprojekten ein möglichst geringer Energieaufwand und möglichst geringe Auswirkungen auf die Umwelt zu den wichtigsten Planungsgrundsätzen gehören. Die Aufstellung einer Lebenszyklusanalyse eines Windparkprojektes stellt im Zuge dieser Abwägungen eine von vielen sich ergänzenden Parameter dar.⁹

1.3 Systemgrenzen und Systembeschreibung

Die Wahl der Systemgrenzen ist einer der ersten und auch einer der wichtigsten Schritte einer Lebenszyklusanalyse oder Energiebilanz, denn je nach Produkt und Ziel der Analyse sind unterschiedliche Grenzen sinnvoll. Bei einer Windenergieanlage (WEA) werden die Herstellung der einzelnen Anlagenkomponenten, der Transport dieser Komponenten und die Montage sowie der Betrieb bis hin zum Rückbau und der Entsorgung der Anlage betrachtet (vgl. Abbildung 2).

Windenergieanlagen sind in verschiedenen Grössen, Bauarten und von verschiedenen Herstellern erhältlich. Grundsätzlich sind aber alle horizontalachsigen WEA gleich aufgebaut. Sie bestehen aus einem **Rotor** mit drei flügelartigen, an der Nabe befestigten **Rotorblättern**, einer **Gondel**, die den Generator und je nach Bauweise auch ein Getriebe enthält, einem **Turm**, einem **Fundament** und den **elektrischen Komponenten**, die sich teilweise innerhalb und teilweise ausserhalb der Anlage befinden (vgl. Abbildung 1).

Der Rotor wandelt die kinetische Energie des Windes in Rotationsenergie um, die mittels des Generators als elektrische Energie ins Netz eingespeist wird. Im Rahmen dieser Lebenszyklusanalyse oder Ökobilanz werden die genannten Bauteile betrachtet und durch Angaben der weiteren Parkinfrastruktur ergänzt.

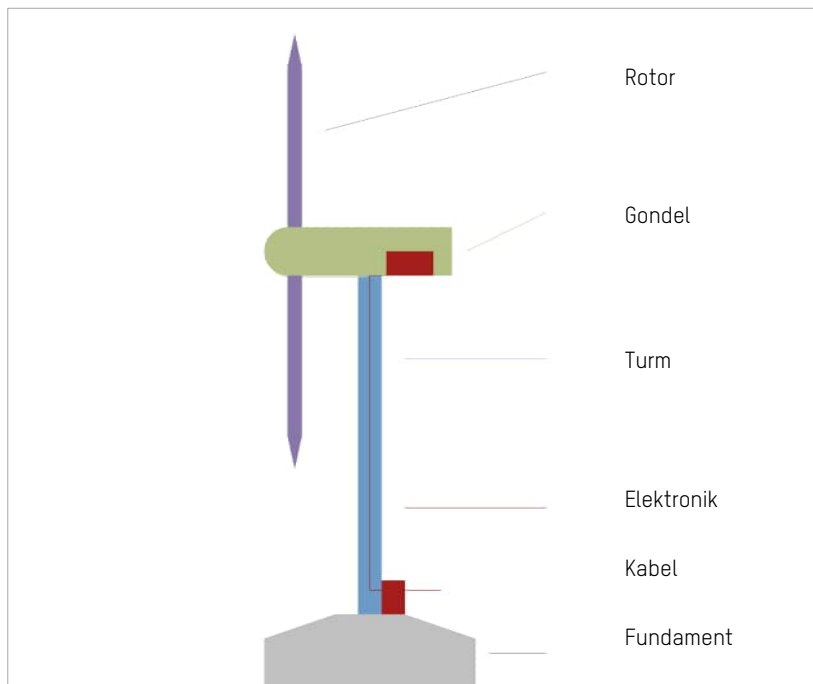
⁶ BFE (2015), Ökobilanzierung Schweizer Windenergie, S. 12.

⁷ Internetseite Suisse Eole.

⁸ BFE, Wichtigste Neuerungen im Energierecht ab 2018, 02.11.2017.

⁹ Konzept Windenergie (2020).

Abbildung 1 Komponenten einer WEA

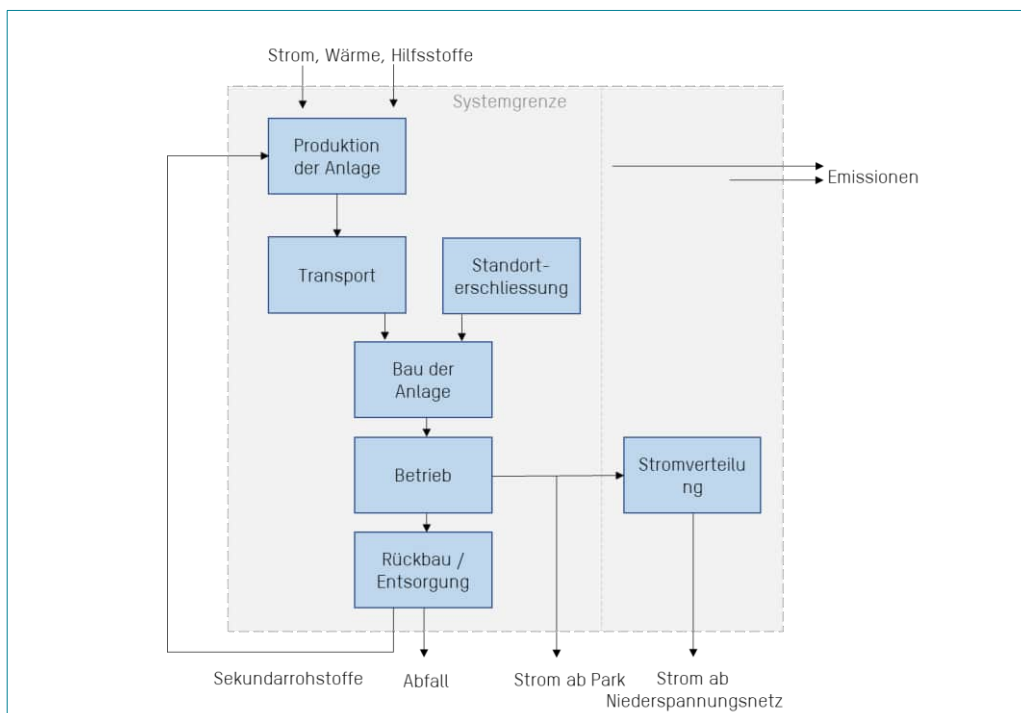


Die **zeitliche Systemgrenze** erstreckt sich von der Produktion der Anlagenkomponenten, über die Errichtung der Anlage, die Betriebsdauer von 20 Jahren bis zum Rückbau. Als zweites Szenario wird eine Betriebsdauer von 25 Jahren betrachtet.

Die **geographische Systemgrenze** liegt zum grössten Teil in der Schweiz, allerdings wird berücksichtigt, dass die Produktion der Anlagen im Ausland stattfindet.

Grafisch sind die Systemgrenzen in untenstehender Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 2 Systemgrenzen des Windenergieprojekts Thundorf



Als **funktionelle Einheit** wird eine kWh ab Mittelspannungsnetz ausgewiesen. Die in der Bilanz aufgestellten kWh Verbräuche und CO₂ Beträge werden dabei den in den Windanlagen generierten kWh gegenübergestellt, welche nach Durchlaufen der Leitungen, dem Unterwerk und der Zuleitung am Übergabepunkt in das öffentliche Netz abgegeben werden. Aus der Gegenüberstellung resultiert am Ende der Auswertung eine Angabe von Menge CO₂ in g je kWh erzeugter kWh.

2 Lebenszyklusanalyse des Windenergieprojekts Thundorf

Eine Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse kurz LCA (von englisch: Life Cycle Assessment) bildet die potenziellen Umweltauswirkungen eines Produktes oder Prozesses im Verlauf des gesamten Lebenszyklus ab. Der Lebenszyklus von Windstrom umfasst sowohl die Rohstoffgewinnung für den Bau der Anlagenkomponenten als auch die Verarbeitungs- und Montageprozesse, den Betrieb sowie den Rückbau und die Entsorgung der Anlage.

In einer Ökobilanz werden für jeden Prozess innerhalb der gewählten Systemgrenzen die benötigten Ressourcen und die anfallenden Emissionen quantifiziert. Qualitative Faktoren wie etwaige Beeinträchtigungen der Landschaft, Lärm- und Schattenwurfemissionen oder auch die potenziellen Gefahren für Vögel und Fledermäuse können mit der Ökobilanz-Methode nicht berücksichtigt werden, da sie nicht als Material- oder Energieaufwand quantifizierbar sind. Qualitative Faktoren werden in der Umweltverträglichkeitsanalyse nach entsprechenden Bewertungsansätzen analysiert und beurteilt.

Auf dem Markt gibt es zahlreiche Studien und Ansätze für die Ökobilanzierung von Windenergieanlagen. Für die Bilanzierungen werden meist leicht bis stark variierende Bewertungsansätze und Systemgrenzen verwendet. Ein Vergleich der Ergebnisse ist somit immer unter Berücksichtigung der verwendeten Ansätze zu betrachten, hinzu kommt der jeweils geltende Stand der Technik und die verwendeten Kennzahlen.

2.1 Sachbilanz

Aufbauend auf der Festlegung der Systemgrenzen werden in der Sachbilanz kurz LCI (englisch: Life Cycle Inventory) alle relevanten Stoffströme (Energie- und Materialinputs) der betrachteten Anlagenkomponenten über den Lebenszyklus berücksichtigt. Die Einflussgrößen die Umweltauswirkungen von WEA am stärksten beeinflussen, sind der Produktionsstandort und das Material für den Turmbau. Dazu kommen noch die Einflüsse für die Netzanbindung und die Zufahrtsstrassen.

Der Windenergieanlagenhersteller Enercon produziert die Anlagenkomponenten der E160 teilweise in Deutschland, verfügt aber auch über Produktionsstätten in anderen Ländern, um Lieferkapazitäten bestmöglich der Nachfrage anpassen zu können. Einzelteile und Rohstoffe werden sowohl aus Deutschland als auch z.T. nicht-europäischen Ländern bezogen.

Tabelle 2 Dimensionen der Anlagenkomponenten

Komponente	E160 EP5 E2 (WEA-Komponenten gemäss Datenblatt)	Quelle/Bemerkung
Nabenhöhe	166.6m	Enercon, Datenblatt
Masse Rotornabe	58 t	Enercon, Datenblatt
Masse Rotorblatt	24.7 t 74.1 t gesamt/WEA	Extrapolation von einer E115 (Länge 78.3 m)
Masse Gondel	54 t	Ohne Generator / Nabe/ Blätter
Masse Generator	125 t	-
Masse Turm ¹⁰	total 774 t	Enercon, Datenblatt, Modularer Stahl-turm
Masse Fundament (Stahl-Beton)	2'944 t	Enercon, Datenblatt
Masse Transformator	10.7 t	60 MVA

¹⁰ Datenblatt ENERCON, Technische Beschreibung Turm E-160 EP5 E2-MST-166-FB-C-01; D0953910/1.0-de/ DA

Wo detaillierte Daten fehlen, wurde für die Bestimmung der Materialmengen, welche für den Bau der einzelnen Komponenten verwendet werden, wird angenommen, dass die prozentuale Materialzusammensetzung bei der betrachteten Anlage E160 der von anderen Enercon-Anlagentypen (z.B. E82, E70) entspricht. Veränderungen und technische Weiterentwicklungen in der Typenauslegungen wurden nicht berücksichtigt, da von den Herstellern nur schwer genauere Materialangaben zu bekommen sind und auch vorliegende Ökobilanzen nicht die erforderlichen Angaben enthalten. Es wurde auf Materialrelationen je Komponente aus der BFE-Studie abgestellt. Die folgenden Tabelle 3 fasst die Materialmengen nach Anlagenkomponente zusammen, die für den Bau von einer Windenergieanlage des Typs Enercon E160 mit 166 m Nabenhöhe und 5.5 MW installierter Leistung benötigt werden. Das angewendete Vorgehen basiert dabei – analog zur BFE-Studie – auf einer prozentualen Materialaufteilung basierend auf NEEDS (2008)¹¹.

Tabelle 3 Materialmengen für eine WEA E160 EP5 E2 (Werte in schwarz waren gegeben, Werte in blau wurden berechnet auf Basis von Angaben aus der BFE-Studie)

Anlage E160	Anteile	Menge	E82 NH 78m (Quelle: Enercon, 2011)*
Rotorblätter			
Glasfaser	0.5%	131 kg	
EP Harz	42.1%	10'399 kg	
Holz	3.7%	914 kg	
Härter	25.0%	6'182 kg	
Lack	9.5%	2'347 kg	
PE, PA, PVC	12.6%	3'115 kg	
Aluminium	6.9%	1'692kg	
Gesamt	100.0 %	24'700 kg	
Gesamt (3*24'700 kg)	-	74'100 kg*	Datenblatt Enercon ** -
Rotor (ohne Blätter)			
			E82 NH 78m (Quelle: Enercon, 2011)*
Stahl (niedriglegiert, Chromstahl)	3.8%	1'140 kg	1'140 kg
Aluminium	0.2%	144 kg	75 kg
Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK)	96.0%	55'663 kg	28'938 kg
Gesamt	100.0%	58'000 kg**	30'153 kg
Gondel (inkl. Generator)			
			E82 NH 78m (Quelle: Enercon, 2011)*
Stahl (23% niedriglegiert, 77% Chromstahl)	38.8%	69'381 kg	53'468 kg
Gusseisen	52.7%	94'263 kg	72'643 kg
Kupfer	7.7%	13'768 kg	10'610 kg
Aluminium	0.9%	1'588 kg	1'224 kg
Gesamt	100.0%	179'000 kg	137'945 kg
Stahlurm			
			E82 NH 78m (Quelle: Enercon, 2011)*, **, ***
Stahl (legiert und unlegiert)	94.0%	727'282 kg	199'390 kg
Aluminium	1.9%	14'995 kg	4'111 kg
Kunststoff (PE, HDPE)	1.5%	11'534 kg	3'162 kg
Kupfer	1.0%	7'499 kg	2'056 kg
Gesamt (ohne Elektronik)	-	761'310 kg	208'719 kg
+ Elektronik	1.6%	12'360 kg	3'479 kg
Gesamt*	100.0%	774'000 kg	212'198 kg
Fundament			

¹¹ BFE (2015), Ökobilanzierung Schweizer Windenergie, S. 55ff.

Stahl	5.3%	489'200 kg	Datenblatt Enercon ****
Beton	94.7%	2'455'045 kg	Datenblatt Enercon ****
Gesamt	100.0%	2'944'245 kg	Datenblatt Enercon ****
Elektronik (Kabel im Turm, bei NH 166m)			Bei Leitungsquerschnitt 12'375 mm ²
Kupfer	54.4%	11'921 kg	71.8133 kg/m
HDPE	26.5%	5'818 kg	0.4480 kg/m
PVC	19.1%	4'192 kg	0.7205 kg/m
Gesamt	100.0%	21'931 kg	5.2316 kg/m
Netzanschluss (Leitungslänge 13'148 m; Leitungsquerschnitt 95-600 mm²)			
Aluminium	57.9%/m	17'885 kg	
Kupfer	6.4%/m	6'581 kg	
HDPE	20.7%/m	2'254 kg	
PVC	14.9%/m	2'393 kg	
Gesamt	-	29'113 kg	
Transformator (60 MVA, Garrett & Ronde 2011)			
Stahl (legiert und unlegiert)	26.9%	2'900 kg	
Chromstahl	31.5%	3'400 kg	
Kupfer	14.8%	1'600 kg	
Chemikalien organisch	25.0%	2'700 kg	
Glasfaser	0.9%	100 kg	
Schmieröl	0.9%	100 kg	
Gesamt	100.0%	10'800 kg	
Unterwerk Betonmengen Hochrechnung (m3 = Grobkalkulation aus Bsp. Trafostation Val de Ruz)			
Beton		750'000 kg	
Gesamt		750'000 kg	
Betriebsmittel – Ersteinsatz	Liter je WEA	Liter Windpark	Nachfüllen und Austauschen ist in den Mengen unbekannt. Die Position wird abgegrenzt und der Bilanz des Serviceunternehmens zugeschlagen.
Öle und Fette aus Lagern, Blatt- & Azimutgetrieben	342.9	2'743	Datenblatt Enercon_ Brandschutzkonzept, S. 11, 29.4.22 Summe aus Öl + Fett
Ölmengen Transformatoren	2060	16'480	
Kühlflüssigkeit	750	6'000	Kühlflüssigkeit (Wasser-Glykol-Gemische), Annahme je WEA, basierend auf UBA 2019, S. 219

*berechnet: $M = M_{EB2} * 78.3m / 66.7m$

**Quelle: Enercon Datenblatt E160 EP5

***berechnet: $M = M_{EB2} * 166m / 78m$

****Quelle: Enercon Datenblatt - Datenblatt Flachgründung Stahlturm in TP_E-160-EP2_MST-166-FB-C-01.Rev.0

2.1.1 Zufahrtsstrassen und Landnutzung

In den Sachbilanzen werden auch die Flächenumwandlung resp. die Flächennutzung durch das Fundament und die Zufahrtsstrassen berücksichtigt. Energetisch bilanziert werden hierbei nur die Materialaufwendungen und der Maschineneinsatz für den Bau, nicht aber die effektive Landumwandlung, da diese nicht quantifizierbar ist.

Für das Windenergieprojekt Thundorf ist geplant soweit möglich die bestehenden Wege auszubauen und möglichst nur jeweils eine Wegverlängerung bis direkt vor den Anlagenstandort zu ergänzen. Konkret werden ca. 10 km Wegstrecke ertüchtigt und voraussichtlich 175 m Weg neu erstellt, um die Befahrbarkeit mit den schweren und teils übergrossen Baumaschinen sicher gewährleisten zu können. Lediglich für eine Zufahrt wird voraussichtlich zusätzlich ein kleines Wegstück gänzlich neu anzulegen sein.

Tabelle 4 Sachbilanz der Zufahrtsstrassen (Berechnungsgrundlagen: Ökobilanzierung Schweizer Windkraftanlagen)

Neubau Zufahrtsstrassen		Material								Bemerkung	
Länge	175	m	Eingesetztes Material	1'050'000	kg						
Breite	6	m	Energieaufwand je kg	0.0036	kWh/kg						Rundkies KBOB 22: 03.012
Fläche	1'050	m ²	kg Co2/kg	0.003	kg Co2/kg						
Material	1'000	kg/m ²	Energieaufwand	3'780	kWh						
				3'150	kg CO2						
Ausbau Zufahrtstrassen		Material								Bemerkung	
Länge	9'850	m	Eingesetztes Material	9'850'000	kg						Rundkies, KBOB 22: 03.012,
Breite (im Durchschnitt)	1	m	Energieaufwand je kg	0.0036	kWh/kg						2t/m ³
Menge	4'925	m ³	kg Co2/kg	0.003	kg Co2/kg						
Material	0.50	m ³ /m ²	Energieaufwand	35'460	kWh						
				29'550	kg CO2						
Ausbau/Neubau Zufahrtstrasse		Arbeit								Bemerkung	
Materialeinsatz	5'450	m ³	KBOB 61.001: Diesel in Baumaschinen	1.24	kWh/m ³			0.325	Co2/m ³		
				6'741.65	kWh			1'771.25	kg/Co2		

Ergänzend werden überschlagsmässig Werte für den Aushub von Kabeltrasse und Unterwerk- und Fundamentgruben, sowie die Erstellung von Kranstellflächen aufgenommen. Für die Rodung werden keine Verbräuche und Gutschriften angesetzt, es wird angenommen, dass das gerodete Material als Energieholz verwendet und dadurch in die Bilanz anderer Verwendungsformen eingeht. Mit dem Wachsen der Bäume haben diese dieselbe Menge an CO₂ aufgenommen, wie sie mit der Nutzung als Energieholz wieder abgeben. Da das Holz unabhängig vom Windenergieprojekt genutzt worden wäre, evtl. zu einem späteren Zeitpunkt, wird in der hier erstellten Beurteilung die Nutzung dieser nachwachsenden, erneuerbaren Energien nicht ausgewiesen und auch der Aufwand für die Rodung nicht separat bilanziert.

Exemplarisch werden einige Werte nachfolgend aufgeführt, die weiteren Angaben sind der detaillierten Kalkulation zu entnehmen.

Tabelle 5 Sachbilanz – Kranstellflächen und Installationsflächen

Ausbau Kranstellflächen										Bemerkung	
Befestigung Flächen			Mengengerüst aus Voruntersuchung UVP				für 8 Standorte				
Kranstellfläche (Permanent)											KBOB 61.001: Diesel in Baumaschinen
Material 8 WEA		kg						1.24	kWh/m ³		
Wiederverwendung vor Ort je WEA	600	m ³ /WEA	1'200'000	kg		4'800	m ³	0.325	Co2/m ³		
Einpassen Fundamente in Fläche	250	m ³ /WEA	500'000	kg		2'000	m ³				Material aus Aushub lokal
Bewegung vor Ort						8'412	kWh				
						2'210	kg CO2				
Temporäre Installationsplätze										Bemerkung	
Einsatz Kies - Anzuliefern je WEA	800	m ² /WEA	800	m ³		6'400	m ³				Zufuhr
Eingesetztes Material	650	m ³	5'200	m ³				0.0036	kWh/kg		
	10'400'000	kg	Rundkies	2t/m ³				0.003	kg CO2/kg		
						37'440	kWh			31'200	kg CO2
Wiederverwendung vor Ort je WEA	150	m ³	1'200	m ³							
			Diesel in Baumaschinen			1.24	kWh/m ³	0.325	kg Co2/m ³		
						7'917	kWh			2'080	kg CO2
			Energieaufwand			45'357	kWh				
						33'280	kg CO2				

Tabelle 6 Sachbilanz: Fundament/Baugrube

Fläche Fundament + Baugrube										Bemerkung	
	600	m ²	1'500	m ³		12'000	m ³			28+2m, 2.5m Tief	
	24'000'000	kg						1.66	kg CO2/m ³	1499	m ²
Aushub - Baugrube 8 WEA								19'908	kWh	5'256	kg CO2
Aushub Verwendung KSF im Park (je WEA)	750	m ³	1'500'000	kg		7'422	kWh			244	kg CO2
Verwendung bei Fundament (je WEA)	750	m ³	1'500'000	kg		7'422	kWh			244	kg CO2
								1.24	kWh/m ³	0.325	kg Co2/m ³
Erstellung Fundamentgrube+Auflast						34'752	kWh			5'744	kg CO2

Im Gegensatz zu anderen Formen der Energieerzeugung, benötigen Windenergieanlagen für die Erzeugung von erneuerbarem Strom nur sehr wenig Fläche, die nicht auch parallel auf andere Weise genutzt werden kann. Es

wird zwar für die ungehinderte Ausströmung des Windes freie Fläche um die Anlagen herum benötigt, diese kann jedoch weiterhin auch als Ackerland, Weide oder Wald genutzt werden, so dass der tatsächliche Landverbrauch während der Betriebsphase sehr gering ist.¹²

Die konkrete Bewertung der Flächennutzung kann nicht quantifiziert werden. Der Vollständigkeit halber wird sie aber in Quadratmetern ausgewiesen.

Ergänzend wurden für die Strassen und Flächen voraussichtlich benötigten Materialmengen und Bearbeitungsaufwendungen aufgestellt. Dies beinhaltet die Materialmengen, den Baumaschineneinsatz sowie das Ausheben von Kabelschächten und Fundamentgruben.

2.1.2 Entsorgung und Recycling

2.1.2.1 Systemgrenzen der Ökobilanz

Im Rahmen einer Ökobilanz das Thema Entsorgung und Recycling aufzunehmen ist komplex. Gemäss der bereits erwähnten Kriterien ist schwer abgrenzbar wo ein Entsorgungsprozess endet und wo eine Aufarbeitung im Sinne einer Verwendung als Rohstoff beginnt. Wurden Materialien bislang nach Ende ihrer Lebensdauer als zu entsorgender Abfall betrachtet, so gelten sie mittlerweile mehr und mehr als Rohstoff für einen Folgeprozess. In vielen Ökobilanzen werden heute Materialgutschriften aus Recycling berücksichtigt. In der vorliegenden Analyse wird ebenso gearbeitet. Gutschriften aus Recyclingprozessen haben einen deutlichen Einfluss auf die Ergebnisse von Ökobilanzen. Während diese in einigen Ökobilanzierungen nicht separat ausgewiesen werden, wird hier der Effekt sichtbar dargestellt, um diesen zu verdeutlichen.

Für den Rückbau werden die in KBOB2022 angesetzten pauschalen Entsorgungswerte ausgewiesen. In einem weiteren Schritt werden Metalle, Kunststoffe und Beton anteilig mit Gutschriften angerechnet, unter der Annahme, dass diese Materialien nicht entsorgt, sondern der weiteren Verwertung zugeführt werden können.

Zusätzlich zur Entsorgung der Materialien wurde ergänzend der Rückbau der Anlagen und die Wiederherstellung der Flächen berücksichtigt.

2.1.2.2 Stand der Technik

Bereits heute können Windenergieanlagen zu 85% bis 90% recycelt werden. Fundament, Turm und Komponenten aus dem Generator sind recycelbar¹³. Für die weiteren Komponenten eines Windparks (Leitungen, Übergabestation, Kranstellflächenmaterial) darf ein mindestens ähnlich hoher Wert angenommen werden, da diese grösstenteils aus Metallen, elektrischen Komponenten, Kies und ähnlichen Materialien bestehen.

Inwieweit ein Recycling in diesem oder ähnlichem Umfang umgesetzt wird, liegt in der Zukunft und wird sich nach Laufzeitende an den dann als ökonomisch und ökologisch vertretbaren und politisch geforderten Vorgehensweisen orientieren. Aus ökologischer und energetischer Perspektive sollten dafür Wiederaufbereitungsanlagen möglichst nahe gelegen sein, um der Aufbereitung der Materialien einen möglichst geringen energetischen (Transport) Aufwand gegenüberzustellen. Während aus energetischer Perspektive der (teilweise) Verbleib von Fundamenten im Erdreich attraktiv zu werten ist, können dem Vorgehen aus lokaler Sicht andere Argumente entgegenstehen. In der vorliegenden Kalkulation wird der vollständige Rückbau der Fundamente angesetzt.

Erste recyclebare Rotorblätter werden mittlerweile auf dem Markt beworben, sind aber bisher nicht flächendeckend für zahlreiche Anlagentypen verfügbar. GFK-Material der Rotorblätter wird gegenwärtig in der Zementindustrie und im Strassenbau als Ersatz für fossile Brennstoffe und mineralische Rohstoffe wie Sand und Kreide substituiert, höherwertige Recyclingprozesse befinden sich in der Entwicklung¹⁴. Bei Verwertung von GFK-Verbundstoffen in der Zementindustrie ist eine Einsparung des CO₂-Outputs von bis zu 16% möglich, vorausgesetzt sie ersetzen 75% des Zement Rohmaterials bei der Herstellung. Die Glasfasern, Füllstoffe und organischen Anteile ersetzen dabei den Einsatz von Kohle als Brennstoff.¹⁵ In der vorliegenden Bilanzierung wurde analog zur BFE-Studie eine thermische Verwertung angesetzt.

¹² Deutscher Bundestag (2018), Sachstandsanfrage zur Ökobilanz der Windenergietechnologie unter Berücksichtigung Seltener Erden, S. 5.

¹³ <https://windeurope.org/newsroom/news/blade-recycling-a-top-priority-for-the-wind-industry/>

¹⁴ BWE-Hintergrundpapier: Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen WID

Pressemitteilung IWES 06.04.2022: Nachhaltig wirtschaften und entsorgen: Fraunhofer IWES entwickelt konkrete Konzepte fürs Rotorblatt-Recycling

¹⁵ <https://windeurope.org/newsroom/news/blade-recycling-a-top-priority-for-the-wind-industry/>

Ein Recycling von Beton erfolgt heute bereits in Teilen, eine flächendeckende Weiterverwendung ist absehbar, sobald dies energetisch und ökonomisch wirtschaftlich dargestellt werden kann.

Aufgrund der fortschreitenden Entwicklung von Recyclingprozessen und dem zunehmenden Verständnis von Altmaterial als zukünftige Rohstoffe, kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass für einen Grossteil der Komponenten und Materialien ein Recycling möglich sein wird, was die Neuerstellung aus anderen Stoffen massiv reduziert.

Zusätzlich ist absehbar, dass nach Ende der Nutzungsdauer einer Windenergieanlage weiterentwickelte Recyclingverfahren als heute auf dem Markt und die Bedeutung von Reststoffen als Rohstoffquellen wichtiger sein werden als heute. Dies dürfte die energetische Bilanz zukünftig gegenüber heutigen Kalkulationsansätzen verbessern. Ergänzend dürften die Anlagenkomponenten sowie die Fundamentbestandteile selbst mehr und mehr recycelte Anteile enthalten.

Alternativ zum Recycling der Anlagen nach 20-25 Jahren wäre auch eine Weiterverwendung einzelner Komponenten aus den Anlagen an einem anderen Ort möglich. Dies reduziert zwar nicht die Umweltauswirkung an sich, würde sich jedoch über die Gesamtlaufzeit auf die energetische Gesamtbilanz der Anlage positiv auswirken. In der vorliegenden Kalkulation ist dies jedoch nicht berücksichtigt.

Angewendetes Vorgehen:

Werte nach KBOB sind in ihrem Primärenergiebedarf in Einzelwerte für Herstellung und Entsorgung unterteilt. Die Entsorgung enthält dabei einen Pauschal Aufwand für den Rückbau und Materialtransport basierend auf einem durchschnittlichen Materialgewicht, sowie einen auf dem einzelnen Materialtyp basierenden Wert für die Abfallaufbereitung oder Beseitigung, welche auf die Materialwerte aufgeschlagen werden.¹⁶ Diese Werte werden in der vorliegenden Bilanzierung separat je Darstellungsschritt verwendet, Grundlage bilden hierbei KBOB2022-Werte. In Erweiterung zur BFE-Studie weisen wir in Anlehnung an die Studien von UBA, Nordex und Vestas separat eine energetische Gutschrift durch Recycling aus und setzen für Metalle, Kunststoffe und Beton Recyclingquoten an. Hierfür nehmen wir für die Materialien Recyclingquote nie eine 100% -Quote an, sondern verwenden konservative Schätzwerte. Für Betonrecycling wird so beispielsweise von einer Verwertung von 95%¹⁷ des Rohmaterials ausgegangen, welcher wiederum mit einem Recyclinganteil von 66% angesetzt wird. Der Bruchbeton kann so zukünftig anstelle von Kies eingesetzt werden. Die Kranstellflächen und Fundamentflächen werden wieder hergestellt und eine Rückverfüllung bilanziert.

Tabelle 7 Übersicht GWh- und CO₂-Emissionen aus Rückbau und Recycling-Gutschriften

Summe									
Material Recycling (Anlage+Leitungen+Trafo)	3 467	Gwh	3 268.11	t CO2		-196.33	GWh	-11 085	t CO2
Demontage WEA	0.010	Gwh	3.40	t CO2		-		-	
Rückbau Kabeltrasse	0.038	Gwh	10.11	t CO2		-		-	
Rückbau Trafostation/Fundamente	0.038	Gwh	0.26	t CO2		-1.101	GWh	-166.20	t CO2
Rückbau Kiesbett	0.369	Gwh	81.75	t CO2		-		-	
Rückbau gesamt - Aufwand	3.92	Gwh	3 363.62	t CO2		-197.43	Gwh	-11 251.14	t CO2

2.2 Energiebilanz

Für die Verarbeitung der eingesetzten Materialien werden die Energieaufwände der KBOB «Empfehlung Ökobilanzen im Baubereich» verwendet.

2.2.1 Energieaufwand für die Verarbeitung der Materialien für 8 Anlagen

Tabelle 8 zeigt den Energieaufwand für die Verarbeitung der Materialien zu den jeweiligen Anlagenkomponenten. Der grösste Teil entfällt dabei auf die Herstellung und Verarbeitung der Metalle (v.a. Stahl für die Türme).

¹⁶ Büro für Umweltchemie (2019) harmonisierte Ökobilanzen der Entsorgung von Baustoffen. S. 12f..

¹⁷ <https://www.espazium.ch/de/aktuelles/recycling-am-bau-quoten-sagen-nicht-alles>

Tabelle 8 Energieaufwand und CO₂-Ansatz für die Verarbeitung der Materialien aller 8 WEA samt Trafostation und Netzanbindung

Materialverarbeitung - Rohstoff - Primärenergiebedarf Anlagen+Fundament	Masse in kg	kWh/kg	Energieaufwand kWh	kg CO ₂ /kg	kg CO ₂	Bemerkung
Stahl	4'492'491	3.60	16'150'506	0.73	3'284'011	kg CO ₂ Stahlprofil, KBOB2022, 06.012
Stahl für Türme	5'818'259	8.39	48'826'828	2.80	16'291'125	kg CO ₂ Stahlblech, blank, KBOB2022, 06.010
Aluminium	192'312	30.82	5'927'068	5.58	1'073'103	kg CO ₂ Aluminiumblech, KBOB2022
Kupfer	273'686	10.50	2'873'698	2.20	602'108	kg CO ₂ Kupfer 06.008 KBOB2022
HDPE	141'066	23.52	3'318'298	2.38	335'737	kg CO ₂ 13.002Hilfswert: PE, KBOB2022
Gusseisen	754'103	5.72	4'311'963	2.09	1'576'076	kg CO ₂ Gusseisen, KBOB2022
GFK	921'144	39.60	36'477'299	8.89	8'188'969	kg CO ₂ 15.002: Polyamid, glasfaserverstärkt, KBOB2022
PVC	35'929	18.94	680'352	2.38	85'511	kg CO ₂ 13.004: PVC, KBOB2022
Beton	19'640'360	0.15	2'985'335	0.10	1'885'475	kg CO ₂ KBOB2022 Tiefbaubeton 01.003. treeze, Härtegrad wie Datenblatt (C30/37 für Plattenbereich)
Beton Trafostation	750'000	0.53	400'500	0.19	143'250	kg CO ₂ KBOB 2022, 01.042: Betonfertigteile, Normalbeton, ab Werk
Sonstige	217'973	40.00	8'718'930	10.00	2'179'733	kg CO ₂ Hilfswert, konservativ geschätzt
Gesamt - Primärenergiebedarf Materialverarbeitung	33'237'323	kg	130'670'775	kWh	23'162'160	kg CO₂
Davon Trasse+Trafo	39'913	kg	870'575	kWh	161'632	kg CO ₂
Davon Beton Trafostation	750'000	kg	400'500	kWh	143'250	kg CO ₂

Materialienarten wurden in Gruppen zusammengefasst und in Sammelrubriken bewertet. Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden: Im Zusammenhang mit der Herstellung von Windenergieanlagen ist grundsätzlich auch die allfällige Verwendung Seltener Erden zu beachten. Je nach Anlagentyp und Funktionsweise kommen diese Materialien (wie in vielen anderen elektronischen Geräten) zum Einsatz oder eben nicht. Der hier exemplarisch ausgewählte Anlagentyp enthält Seltene Erden - es werden vor allem die beiden Metalle Neodym und Dysprosium verwendet. Aufgrund der verhältnismässig geringen Materialmengen, sowie der fehlenden detaillierten Angaben vom Hersteller sind diese Positionen hier jedoch nicht separat aufgeführt.

2.2.2 Energieaufwand für Verzinkung und Schweissnähte der Stahltürme

Es ist üblich, dass die Stahltürme aussenseitig verzinkt werden. Dafür wurde die Turmfläche nach Herstellerangaben berechnet und Schweissarbeiten für eine Länge von 3.8-facher Turmhöhe bilanziert.¹⁸

Tabelle 9 Energieaufwand für die Verzinkung und die Schweissnähte der Stahltürme.

Verzinkung + Schweissnähte - Stahltürme						
	Mengen		Energieaufwand		Bemerkung	
zu verzinkende Fläche je Anlage	2'650	m ²	25.9	kWh/m ²	Berechnung extrapoliert von E82, NH78m, gemäss Vorgehen in BFE-Studie	
zu verzinkende Fläche gesamt	21'200	m ²	549'080	kWh		
Schweissnaht je Anlage	633.08	m	0.528	kWh/m	Gemäss Burger&Bauer werden für Turmflächen mit einer Länge der 3.8fachen Turmhöhe bilanziert	
Schweissnahtlänge gesamt	5'065	m	2'674	kWh		
Energieaufwand gesamt pro Anlage			68'969	kWh	0.366	kg CO ₂ /kWh Verbrauchermix DE
Energieaufwand gesamt alle 8 Anlagen			551'754	kWh	201'942	kg CO₂

*Werte wurden hochgerechnet gemäss Burger & Bauer auf Basis der Herstellerangaben für den verwendeten Turm.

2.2.3 Energieaufwand Montage

Für das Zusammenbauen der Anlagenkomponenten am Anlagenstandort wird der Energieaufwand auf Basis der notwendigen potenziellen Energie mit einem Wirkungsgrad von 20% abgeschätzt und später (Kapitel 2.3) mit dem Wert der KBOB für «Diesel in Baumaschine» von 0.310 kg_{CO2}/kWh bilanziert. Für die Aufrichtung des Turms wird der Energiebedarf mit halber Turmhöhe berechnet.¹⁹

Für den Zusammenbau von Gondel und Rotor in der Produktionsstätte wird mit 0.5 kWh/kg Material gerechnet. Bilanziert wird diese Energiemenge mit dem Verbrauchermix des Herstellungslandes (DE: 0.366 kg_{CO2}/kWh)²⁰. Die Bereitstellung des Betons für die Fundamente wird mit Werten der KBOB erfasst und bilanziert (550 kWh/m³ bei Dichte 2'310 kg/m³; THG²¹: 190 kg_{CO2}/m³ inkl. Entsorgung).

¹⁸ Burger & Bauer (2007). In Ökobilanzierung Schweizer Windkraftanlagen (2015) (S. 79).

¹⁹ Ökobilanzierung Schweizer Windkraftanlagen (2015) (S. 45).

²⁰ Statista.de (2020).

²¹ THG = Treibhausgase

Tabelle 10 Energieaufwand für die Montage der Anlagenkomponenten in der Produktionsstätte bzw. die Betonherstellung sowie für das Aufstellen der Anlage am Standort

Energieaufwand							
Fertigung der Komponenten	Masse / WEA		kWh/WEA				
Montage von Gondel + Rotor	311'100	kg	155'550	kWh	0.5	kWh/kg	
	Masse 8 WEA				0.366	kg/Co2/kWh	Verbrauchermix DE
Energieaufwand 8 Anlagen	2'488'800	kg	1'244'400	kWh	455'450.40	kg/Co2	
Herstellung Beton							
	2'455'045	kg	2350	kg/m3	0.152	kWh/kg	225.60 kg Co2/m3
Energieaufwand Fundament 1 WEA	1'044.70	m3	373'167	kWh	2'350	kg/m3	1'885'475 kg/Co2
Energieaufwand Fundament 8 WEA			2'985'335	kWh	357	kWh/m3	KBOB 01.003 Tiefbaubeton
Aufbau Anlage							
Errichtung Turm	774'000	kg	875	kWh	20%	Wirkungsgrad	
Einzug Kabel im Turm	21'931	kg	50	kWh	0.325	kg CO2/kg	61.001: Diesel für Baumaschinen KBOB 2022
Aufsetzen Gondel+Rotor auf Turm	139'300	kg	315	kWh			
Energieaufwand Aufbau 1 WEA			1'240	kWh			
Energieaufwand Aufbau 8 WEA			9'920	kWh	3'224	kg CO2	

2.2.4 Transport

Für den Transport der Materialien zur Produktionsstätte respektive der fertigen Komponenten zum Standort werden die Distanzen und verwendeten Transportmittel anhand der Herstellerangaben geschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass die Produktion der Komponenten in Europa stattfindet. Bilanziert wird der Transport über die Empfehlungen der KBOB.

Für den Transport der Anlagenkomponenten von der Produktionsstätte zum Installationsplatz werden die Transportdistanzen gemäss der untenstehenden Tabelle 11 angenommen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Enercon-Anlagen-Komponenten den gesamten Weg zum Projektstandort mit dem LKW transportiert werde, eine Anlieferung der Materialien zur Produktionsstätte jedoch per Zug erfolgt. Auf Basis einer Recherche der Enercon-Werkstandorte wird von einer Materialherkunft aus Europa sowie einer Fertigung von Rotor und Gondel in Aurich (DE) und einer Turmfertigung in der Türkei ausgegangen. Der Transport von Kränen wurde überschlagsweise pauschal erhoben, für Transporte von Beton und Kies wurden der Einsatz lokaler Materialien und eine durchschnittliche Distanz von 15km je Fahrt angesetzt. Bodenbewegungen innerhalb des Parks werden mit durchschnittlichen 2km angesetzt.

Tabelle 11 Transportdistanzen und Energiebedarf für Transporte

Transport	Transport per Zug							
Annahme: Transport ins Werk = Zug, Rest LKW	Fracht, Schiene/RER) (km)	je 40t						
Materialtransport ins Werk	km	Fahrten	kmh Zug					
Metalle (Europa)	200	1'952	390'450					
Schmieröl, Lack, organische Chemikalien, Kühlmittel (Europa)	600	218	130'784					
Kunststoffe, GFK (Europa)	200	1'012	202'380					
Transport Kran+Boden	Transport per LKW	Fahrten					Bemerkung	
	km je Fahrt							
Anlieferung Kies (CH)	15	389	5'839 tkm / 40t lkw				Wege-Ausbau	
Anlieferung Kies (CH)	15	886	13'286 tkm / 40t lkw				Temp-Fläche	
Park	2	899	1'799 tkm / 40t lkw				Aushub Fundament + Trasse	
Park	2	1'314	2'629 tkm / 40t lkw				Materialverteilung am Ort	
Park	2	171	343 tkm / 40t lkw				Rückbau nach Betriebsende+Anlieferung Kies	
Spezialkran	400	16	6'400 tkm / 20t lkw					
Lokalkräne	300	14	4'200 tkm / 40t lkw					
Beton WEA-Fundament (CH)	15	1'571	23'568 tkm / 20t lkw					
Gondel (Aurich, DE - Thundorf CH)	900	16	14'400 tkm / 40t - LKW 32-40t				KBOB 2022	
Generator+Nabe (Porto PT - Thundorf CH)	2'000	16	32'000 tkm / 40t - LKW 32-40t				KBOB 2022	
Turm (Viana do Castelo PT - Thundorf CH)	2'000	360	720'000 tkm / 40t - LKW 32-40t				KBOB 2022	
Fundament-Stahl - (Sengenthal, DE - Thundorf CH)	400	196	78'272 tkm / 20t - LKW 16-32t				KBOB 2022	
Beton Trafostation	30	27	804 tkm / 40t - LKW 32-40t				KBOB 2022	
Kabeltrasse+Trafo	500	4	12'000 tkm / 20t - LKW 16-32t				KBOB2022,10t/Fuhre, geschätzt	
Rotorblätter (Izmir, TK - Thundorf CH)	2'650	24	63'600 tkm / 40t - LKW 32-40t				KBOB 2022	
Transporte		5'904						
Transport - SUMMEN	kWh/tkm Zug	0.054	kWh/tkm LKW 7.5-16t	1.016	kWh/tkm LKW 16-32t	0.796	kWh/tkm LKW 32-40t	0.522
KBOB 2022	kg Co2/kwh Zug	0.012	kg CO2/kwh 7.5-16t	0.232	kg CO2/kwh 16-32t	0.183	kg CO2/kwh 32-40t	0.118
Anzahl km per Zug	kWh/tkm Zug		723'614 tkm		39'075 kWh		469 kg CO2/kwh	
Anzahl km per LKW	kWh/tkm LKW 32-40t		950'872 tkm		496'355 kWh		58'570 kg CO2/kwh	
	kWh/tkm LKW 32-40t		804 tkm		419 kWh		49 kg CO2/kwh	
	kWh/tkm LKW 16-32t		23'568 tkm		18'760 kWh		3'433 kg CO2/kwh	
	kWh/tkm LKW 7.5-16t		12'000 tkm		12'192 kWh		2'829 kg CO2/kwh	
Transport Material zu Park (Kies für Wege)	kWh/tkm LKW 32-40t	0.522	5'839 tkm		3'048 kWh		359.68 kg CO2	
Transport Material im Park (tempFläche/Transfer)	kWh/tkm LKW 32-40t	0.522	39'483 tkm		20'610 kWh		2'431.98 kg CO2	
Transport Material im Park	kWh/tkm LKW 32-40t	0.522	343 tkm		179 kWh		21.12 kg CO2	
Transport Material im Park					23'837 kWh		2'813 kg CO2	
Transport Gesamt					590'639 kWh		68'163 kg CO2	

2.2.5 Betrieb

Windanlagen erzeugen nicht nur Strom, für die Herstellung und Aufrechterhaltung der erforderlichen Betriebsbedingungen hat ein Windpark auch einen Strombedarf. Der Erzeugung von 8.75 GWh pro Anlage und Jahr steht ein Strombezug gegenüber. Windparks mit einer installierten Leistung grösser 15 MW werden in der Regel ans Hochspannungsnetz oder zumindest ans Mittelspannungsnetz angeschlossen.

Basierend auf den bestehenden KBOB-Datensätzen für Schweizer Strom werden Verluste und Emissionen pro funktionelle Einheit (1 kWh Windstrom) wie folgt berücksichtigt.

Tabelle 12 Sachbilanz für Windstrom ab Netzeinspeisepunkt - Abwärme [Berechnungen basierend auf den Daten des Windparks am Mt. Crosin]

Emissionen ab Netzeinspeisepunkt		Produktion (konservativ)			Produktion (best-case)			hochgerechnet von Mt. Crosin-Werten	
Emission/funktionelle Einheit	kWh	70'000'000 kWh/a			80'000'000 kWh/a			kg CO2	
Abwärme in die Luft etwa 1% der übertragenen Energie	0.013138 kWh	919'690 kWh/a	93'808 kg CO2		1'051'074 kWh/a	107'210 kg CO2			
Lachgas	7.53425E-06 kg	527 kg	157'164 kg CO2		603 kg	179'617 kg CO2			
Abwärme in den Boden	0.002511 kWh	175'799 kWh	17'932 kg CO2		200'913 kWh	20'493 kg CO2			
		0.251%			0.251%				
Abwärme gesamt/Jahr		1'095'489 kWh/a	268'904 kg CO2		1'251'987 kWh/a	307'319 kg CO2			

Tabelle 13 Sachbilanz für Windstrom ab Netzeinspeisepunkt mögliche SF6-Emissionen (Berechnungen basierend auf den Daten des Windparks am Mt. Crosin)

Emissionen SF6 je Anlage über 20 Jahre	2.5 kg/MW	13.75 kg/WEA/20J	0.6875 kg/WEA/a					BaureifeRunde (2011) 7.32 kg je 20 Jahre 2MW-Anlage. (BFE-Studie, S. 51) Industrieller Fortschritt: Nordex (2020) "unter 10kg für 4.0-4.5 MW-Anlage". Ansatz 2.5kg/MW
8 Anlagen über 20 Jahre		110 kg/WEA/20J	2'585'000 kg CO2/WEA/20J	129'250 kg CO2/WEA/20J				Das Global Warming Potential von SF6 liegt bei 23'500*
8 Anlagen über 25 Jahre		110 kg/WEA/25J	2'585'000 kg CO2/WEA/25J	129'250 kg CO2/WEA/25J				Bei ca. 3% Verlust gem. Vestas wären das 3.3 kg/WEA/20J.
Emissionen Übergabestation	0 kg/WEA	0 kg/WEA/20J	0 kg CO2/WEA/20J					Annahme, Planung in SF6-freier Ausführung
SF6-Emissionen WP Thundorf 20 Jahre		kg/WEA	2'585'000 kg CO2/WEA	129'250 kg CO2/WEA				* https://www.weforum.org/agenda/2019/10/greenhouse-gas-emissions-climate-change-sf6/
SF6-Emissionen WP Thundorf 25 Jahre		kg/WEA	2'585'000 kg CO2/WEA	129'250 kg CO2/WEA				
SF6-Emissionen WP Thundorf 20 Jahre		je WEA		6'463 kg CO2/WEA				
SF6-Emissionen WP Thundorf 25 Jahre		je WEA		5'170 kg CO2/WEA				

Per Einspeisung ins lokale Stromnetz stehen bauartbedingt somit einer Erzeugung von 70 GWh Verbräuche von knapp 1.1 GWh pro Jahr gegenüber.

Je nach Bauart von Schaltanlagen werden diese mit Schwefelhexafluorid (SF6) betrieben. Für Unterwerke und WEA dürfen bis auf Weiteres, wie in anderen Industriebereichen, Schaltanlagen mit SF6 eingebaut werden. Die kompaktere Baugrösse erleichtert den Einsatz in den WEA. Grundsätzlich ist das SF6 in den Anlagen vollständig eingekapselt und sollte nicht in die Umwelt entweichen. Ökobilanzierungen setzen hier unterschiedliche Werte an. Da das SF6 grundsätzlich vollständig nach Rückbau der Anlage entnommen und weiterverwendet werden kann, wird hier inzwischen z.T. mit einem Wert von null gerechnet.

Vestas geht von einer maximal ausströmenden Menge von 0.1%/Jahr und somit in 20 Jahren 2% aus, für die Weiterverwendung sehen sie einen weiteren Verlust von 1%. Auf Basis einer Rücknahmequote von 95% der Schaltanlagen setzt Vestas für eine 3.3 MW-Anlage einen Verlust von 34 mg/MWh Stromerzeugung, was zu einem 20-Jahres-Wert von vereinfacht gerechnet ca. 3% der Füllmenge führt. Nordex erwähnt Mengen SF6-Mengen von unter 10 kg für eine 4.0-4.5 MW-Anlage²². Dem konservativen Ansatz der BFE-Studie folgend aber auf die aktuellen Mengengerüste abstellend, wird von einer Emission von 2.5 kg/MW über eine 20-jährige Lebensdauer ausgegangen. Dies entspricht im gesamten Windpark einem Gewicht von knapp 700 g pro Jahr. Es wird damit gerechnet, dass bis zum Bau der Windenergieanlagen in Thundorf auch für die Schaltanlagen in den Türmen SF6-freie Ausführungen verfügbar sind.

Für die Modellierung wird für das Unterwerk der Einsatz neuerer druckluftisolierender Schaltanlagen angenommen, da diese mittlerweile serienmässig auf dem Markt verfügbar sind. Entsprechend müssen keine SF6-Emissionen angesetzt werden.

Betriebsstoffe und Fahrten während der Betriebsphase wurden hier abweichend zur BFE-Studie bewusst nicht aufgeführt, um keine Scheinvollständigkeit zu erzeugen. Zum einen sind hierzu schwer Daten erhältlich, zum anderen ist ein Betriebsalltag sehr unterschiedlich, abhängig von den tatsächlichen Ereignissen am Standort, der Distanz zu Serviceeinheiten des Dienstleisters und der Anzahl an ggf. erforderlichen Grosskomponentenwechseln. Aus den Erfahrungen des realen Betriebsalltags heraus ist zudem bekannt, dass für aktuelle Anlagentypen die Ansätze der BFE-Studie lediglich als grobe wenig realitätsnahe Schätzung angesehen werden können. Ein Grosskomponententausch ist selten und somit schwer abschätzbar. Je nach Bauteil wären hier vorrangig die Materialien GFK oder Stahl betroffen. In den meisten Fällen fallen Kleinteilreparaturen und Betriebsmittelergänzungen an, diese sind als vernachlässigbar zu betrachten und werden in unserer Analyse, analog zum Vorgehen der UBA-Studie, der Material- und Abfallbilanz des Herstellers zugewiesen.²³

Gesamthaft werden in der Bilanz systemabgrenzend die folgenden Rubriken überschlagsweise bilanziert:

- Die Windanlagen samt Materialverbrauch, Erstellung und Erstausrüstung mit Betriebsmitteln
- die Bearbeitung der benötigten Flächen für Wege, Kranstellfläche, Fundament, Kabelgraben, Unterwerk
- Material für Leitungen, Unterwerk und Flächenbearbeitung
- die erforderlichen Materialbewegungen
- ergänzend werden aus der Betriebsphase Abwärme und SF6-Verbräuche berücksichtigt
- Rückbau samt Materialgutschriften.

²² LCA Nordex Wind Farm, (2020), S. 34.

²³ UBA-Studie (2021), 136f.

2.3 Wirkungsabschätzung

Verschiedene Studien zeigen auf, dass bei allen Indikatoren ausser dem kumulierten Energieaufwand, die Grosswindanlagen deutlich tiefere Umweltauswirkungen haben als Kleinwindanlagen. Die Umweltauswirkungen sind dabei mehrheitlich beim Bau der Turbinen angesiedelt. Denn insbesondere durch die Kupfergewinnung, die Treibhausgase aus der Roheisenproduktion und die Feinstaubemissionen aus der Eisengewinnung entstehen Umweltbelastungen zwischen 21 und 70 UBP/kWh (Grosswindanlagen). Das Treibhauspotenzial liegt damit gemäss BFE-Studie zwischen 8.2 und 32.1 g CO₂ pro kWh²⁴ (Schweiz: 28.0 g CO₂/kWh KBOB2022) und ist damit 77% niedriger als der Schweizer Verbrauchermix (125 g CO₂/kWh KBOB2022). Während des Betriebs der Windenergieanlagen fallen somit eher geringe Umweltbelastungen an.

Tabelle 14 Kennwerte der Lebenszyklusanalyse

Kennwerte aus der Lebenszyklusanalyse	Windpark (inkl. Rückbau)	Windpark mit Betrieb		Windpark Mit Betrieb (+Recycling-Gutschrift)	
		20 Jahre	25 Jahre	20 Jahre	25 Jahre
Herstellungs- & Betriebs-Energie (GWh)	133.7	155.6	161.0	119.4	124.9
Total für Herstellung + Betrieb (t CO ₂)	25'958	31'465	32'809	20'701	22'045
Energetische Amortisation (Jahre)	1.9	2.2	2.0	1.7	1.5
Erntefaktor (Parkerstellung vs. Erzeugung)	10.5	9.0	10.9	11.7	14.0
CO ₂ Verbrauch je kWh (g CO ₂ /kWh)	18.5	22.5	18.7	14.8	12.6

Die durchgeführte Kalkulation für den Windpark Thundorf weist für eine Betriebsdauer von 20 (25) Jahren und eine konservative Produktion von 70 GWh/Jahr eine Umweltbelastung von 22.5 g CO₂/kWh (18.7 g CO₂/kWh) auf. Berücksichtigt man Materialgutschriften am Ende der Lebensdauer, so reduziert sich dieser Wert auf 14.8 g CO₂/kWh (12.6 g CO₂/kWh).

Im Fall des Windprojekts Thundorf ergeben sich die in Tabelle 15 aufgeführten Umweltauswirkungen. Dargestellt werden nachfolgend eine Bewertung über 20 Betriebsjahre mit einer konservative Jahresproduktion von 70 GWh/a sowie eine Bewertung über 25 Betriebsjahre mit gleicher Jahresproduktion. Ersichtlich wird dabei, dass der Materialeinsatz des Stahlturms und der weiteren Komponenten jenseits des Fundaments den grössten Energieaufwand ausweisen. Der Aufwand für Transport, Flächenbearbeitung und Rückbau schlagen dagegen mit deutlich geringeren Werten zu Buche. Materialgutschriften betragen 23.3% bzw. 22.5% des kWh-Budgets, aber 36.3% bzw. 34.8% des CO₂-Budgets.

Tabelle 15 Umweltauswirkungen Windprojekt Thundorf - Variante 1 (konservativer Betrieb) 20 Jahre Betrieb, 70 GWh Erzeugung je Jahr

Verbräuche bei 20 Betriebsjahren, konservative Produktionsmenge	MWh	t CO ₂	% von kWh inkl. Betrieb	% von kg CO ₂ inkl. Betrieb	% von kWh aus Materialeinsatz
Materialeinsatz WEA	129'400	22'857	83.15%	77.19%	98.97%
davon Stahlurm	48'827	16'291	31.37%	55.01%	37.34%
davon Fundament	17'176	4'774	11.04%	16.12%	13.14%
davon restliche WEA	63'397	1'792	40.74%	6.05%	48.49%
Material Wege+Flächen	77	64	0.05%	0.22%	0.06%
Trafo+Trafostation+Stromleitung	1'271	305	0.82%	1.03%	0.97%
Materialbearbeitung	1'796	657	1.15%	2.22%	
Transport, Erstellung vor Ort + Errichtung	753	126	0.48%	0.43%	
Betrieb 20 Jahre, konservativ	21'910	5'507	14.08%	18.60%	
Rückbau o. Recycling	418	95	0.27%	0.32%	
Gesamt mit Betrieb	155'624	29'612	100%	100%	100%
Gutschrift	-36'187	-10'764	Anteil Betrieb in % nach Recyclinggutschrift		
Gesamt nach Gutschrift	119'437	18'848	18.34%	29.22%	
Material Gesamt	130'747	23'226			
Reduktion durch Gutschrift in %	-23.25%	-36.35%			

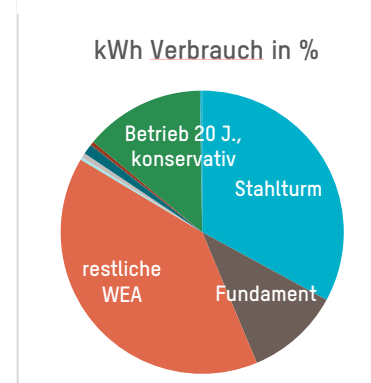
²⁴ BFE-Studie (2015), S. 64.

Tabelle 16 Umweltauswirkungen Windprojekt Thundorf – Variante 2 (verlängerter Betrieb) – 25 Jahre Betrieb, 70 GWh Erzeugung je Jahr

Verbräuche bei 25 Betriebsjahren, konservative Produktionsmenge	MWh	t CO2	% von kWh inkl. Betrieb	% von kg CO2 inkl. Betrieb	% von kWh aus Materialeinsatz
Materialeinsatz WEA	129'400	22'857	80.32%	64.69%	98.97%
davon Stahlturm	48'827	16'291	30.31%	46.11%	37.34%
davon Fundament	17'176	4'774	10.66%	13.51%	13.14%
davon restliche WEA	63'397	6'744	39.35%	19.09%	48.49%
Material Wege+Flächen	77	64	0.05%	0.18%	0.06%
Trafo+Trafostation+Stromleitung	1'271	305	0.79%	0.86%	0.97%
Materialbearbeitung	1'796	657	1.11%	1.86%	
Transport, Erstellung vor Ort + Errichtung	753	126	0.47%	0.36%	
Betrieb 25 Jahre, konservativ	27'387	6'276	17.00%	17.76%	
Rückbau o. Recycling	418	95	0.26%	0.27%	
Gesamt mit Betrieb	161'102	35'332	100%	100%	100%
Gutschrift	-36'187	-10'764	Anteil Betrieb in % nach Recyclinggutschrift		
Gesamt nach Gutschrift	124'914	24'568	21.92%	25.54%	
Material Gesamt	130'747	23'226			
Reduktion durch Gutschrift in %	-22.46%	-30.47%			

Setzt man die 155.624 GWh Energieverbrauch für Windparkerstellung und 20 Jahre Betrieb [bzw. 161.098 GWh bei 25 Jahren] in Relation zur vom Windpark in dieser Zeit erzeugten und eingespeisten Energie, so ergibt dies eine Energy Payback Time²⁵ von 2.2 [2.3] Jahren. Wird in diese Betrachtung noch die Recyclinggutschrift mit einkalkuliert, so reduziert sich der Energieverbrauch auf 124.914 GWh (119.433 GWh bei 25 Jahren) und die Energy Payback Time verkürzt sich für die genannten Beispiele auf 1.7 bzw. 1.5 Jahre. Auf eine Ausweisung der Gesamtergebnisse in Umweltbelastungspunkten wird verzichtet, da nicht für alle Materialien der eigenen Kalkulation Angaben in Umweltbelastungspunkten verfügbar waren.

Abbildung 3 kWh Verbrauch in % bei 20 Jahren Betrieb (70 GWh/a)



Bei der Aufschlüsselung der Energieverbräuche wird sichtbar, dass der Materialeinsatz für die Erstellung der Windanlagen den grössten Einfluss auf die energetische Bilanz des Windparks hat. Stahlturm und Fundament tragen bei einem Betrieb von 20 Jahren und 70 GWh Erzeugungsmenge 31.4% bzw. 11.0% zu den energetischen Verbräuchen bei, der Betrieb fast 19% der Verbräuche.

2.4 Einordnung der Ergebnisse im Vergleich zu anderen Analysen

Es ist nahezu unmöglich einen direkten Vergleich zwischen eigenen Berechnungen und den Ergebnissen anderer Studien vorzunehmen. Zur Verdeutlichung sollen hier ein paar Vergleiche und ergänzende Interpretationsversuche angeführt werden:

Die UBA-Studie verweist auf eine Energy Payback Time von 3.2 Monaten für einen Schwachwindstandort (also durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten bis zu 7.5 m/s)²⁶, allerdings werden hier umfassendere Gutschriftannahmen für den Rückbau des Windparks zugrunde gelegt. «Selbst bei geringeren Anlagenlaufzeiten [als 20-25 Jahren] ist es äusserst unwahrscheinlich, dass sich WEA aus energetischer Sicht nicht amortisieren.»²⁷

Enercon selbst hat im Nachhaltigkeitsbericht 2020 die Ergebnisse eines Life Cycle Assessment seiner Anlagen veröffentlicht und weist für eine E-138 EP3 E1 mit 111m Stahlturm eine Energy Payback Time von 8.00 Monaten aus. Der Stahlturm sowie der gesamte Anlagentyp sind dort allerdings kleiner als für eine E-160. Zudem wurde die

²⁵ Energy Payback Time = energetische Rücklaufzeit. Dies entspricht der Zeit, die der Park Energie erzeugen muss, bis der energetische Aufwand aus Erzeugung und Betrieb ausgeglichen ist.

²⁶ UBA-Studie Seite (2021), S. 307.

Windkraftanlagen werden entsprechend der am Standort herrschenden Windbedingungen (Windgeschwindigkeiten und Turbulenzen) ausgewählt und entsprechend für den Einsatz in bestimmten Windklassen nach IEC zertifiziert. Nach IEC-Norm IEC-61400 fallen Windkraftstandorte mit einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von unter 7.5 m/s in die Windklasse III. Die für diese Standorte geeigneten Windkraftanlagen werden allgemein als Schwachwindanlagen bezeichnet.

²⁷ UBA-Studie, (2021), S. 340.

Kalkulation für einen grösseren Windpark an einem Standort mit vermutlich besseren Windverhältnissen und weiteren nicht bekannten Annahmen betreffend Rückbau ausgeführt.

Energieschweiz gibt als Überschlagswert 6 Monate, bzw. trifft die Aussage, dass ein Windrad «während 20 bis 25 Jahren rund 30 Mal so viel Energie [produziert], wie für die Herstellung, Betrieb und Entsorgung nötig sind».²⁸

Es ist unschwer zu erkennen, dass die hier durchgeführte Kalkulation deutlich höhere Rücklaufzeiten ausweist, als dies bei den Vergleichswerten aus anderen Energiebilanzen der Fall ist. Einerseits ist dies durch die Verwendung eher konservativer Werte zu erklären, vor allem muss aber davon ausgegangen werden, dass die verwendeten Materialrelationen und Werte weder den technischen Fortschritt der Anlagenentwicklung über mehrere Generationen berücksichtigen noch in dem Detaillierungsgrad erhoben wurden, wie dies von Anlagenherstellern möglich ist, wenn sie mit eigenen genauen Komponentenaufschlüsselungen arbeiten.

Vergleicht man den CO₂-Verbrauch je kWh erzeugter Energie vom Windpark Thundorf von 12.6 bis 22.5 g CO₂ je kWh mit aktuellen Kalkulationen des Paul Scherrer Instituts für Strom aus Windenergieanlagen von 8–27 g CO₂ je kWh für Neuanlagen heute²⁹, so liegt die konservative Kalkulation von Windpark Thundorf im Mittelfeld. Gegenüber dem Schweizer Verbrauchermix gemäss KBOB2022 von 125 g CO₂/kWh stellt die Verwendung von lokalem Strom aus Windenergie somit eine deutliche Verbesserung dar. Berücksichtigt man bei der Kalkulation von Windpark Thundorf Materialgutschriften am Ende der Lebensdauer, so reduziert sich CO₂-Verbrauch auf 14.8 kg CO₂/kWh (12.6 g CO₂/kWh bei 25 Jahren).

3 Zusammenfassung

Der Energieaufwand für die Erstellung des Windparks mit 8 Anlagen des Typs Enercon E160 mit 166m Nabenhöhe und einer installierten Leistung von je 5.5 MW beläuft sich bei einer Erzeugung von 70 GWh/a bzw. 1'400 GWh in 20 Jahren ohne Materialgutschrift auf ca. 155.62 GWh und mit Gutschriften auf 124.9 GWh Energieaufwand. Dies entspricht einer Energy Payback-Time von 2.2 Jahren (2.3 Jahren mit Materialgutschriften). D.h. die Anlage produziert in 20 Jahren 9.0 mal so viel Energie, wie an Energieaufwand für Erstellung, Betrieb und Rückbau für den Windpark erforderlich ist (bei Berücksichtigung der Materialgutschriften steigt dieser Faktor auf 11.7).

Jeder erzeugten Kilowattstunde Strom über einen Zeitraum von 20 Jahren hinweg ist ein CO₂-Wert von 22.47 g CO₂/kWh bzw. 18.75 g CO₂/kWh g (nach Gutschrift) zuzuordnen, hierbei stammen 3.93 g/kWh aus dem Betrieb, der Rest aus der Erstellung, dem Betrieb und Rückbau welche für den Windpark erforderlich sind. Gesamthaft verursachen Bau und 20 Jahre Betrieb des Windparks schätzungsweise 31'465 t CO₂ (20'701 t CO₂ nach Abzug von Materialgutschriften). Vergleicht man diesen CO₂-Verbrauch aus konservativer Kalkulation mit Werten anderer Erzeugungsquellen oder -arten, so kann dies als vergleichbares positives Ergebnis gewertet werden.

Gemäss KBOB2022 fallen in der Schweiz für Strom aus Windkraft vom Netz 28.4 g CO₂/kWh Belastung je kWh an, für die erzeugte kWh (ohne Netzverluste) werden 19.3 g CO₂/kWh aufgerufen. Für den Schweizer Produktionsmix wird mit 23.3 g CO₂/kWh gerechnet und für den CH-Verbrauchermix werden 125 g CO₂/kWh Belastung je kWh angesetzt. Damit liegt der Windpark in der gleichen Grössenordnung wie der offiziell bewertete Schweizer Windstrom und der Schweizer Produktionsmix. Es zeigt sich weiterhin deutlich, dass die Belastung massiv geringer ist als der Verbraucher-Mix in der Schweiz 125 g CO₂/kWh³⁰, dem ENTSO-E-Mix von 523 g CO₂/kWh³¹ und dem Deutschen Strommix von 411 g CO₂/kWh³².

Über die Lebensdauer des Windparks von 20 Jahren können Emissionen von 544'000 t CO₂ (555'000 t CO₂) gegenüber dem Deutschen Strommix, respektive 143'500 t CO₂ (154'000 t CO₂) gegenüber dem Schweizer Verbrauchermix eingespart werden. Es zeigt sich somit, dass die vorgenommene Kalkulation auf Basis hochgerechneter Materialmengen und Materialrelationen gemäss der BFE-Studie weiterhin eine energetische Rentabilität belegt, obwohl dabei der technologische Fortschritt der Fertigung nicht berücksichtigt wurde.

²⁸ <https://www.energieschweiz.ch/erneuerbare-energien/windenergie/> (08.08.2022)

²⁹ PSI, Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen von Stromproduktionsanlagen (PSI), S.10.

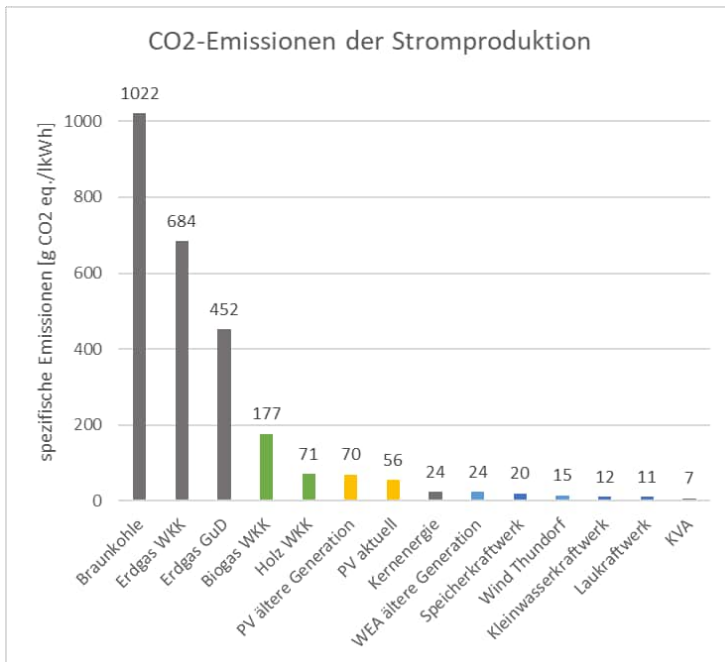
³⁰ KBOB2022, Rubrik 45.020

³¹ KBOB2022, Rubrik 45.021

³² UBA (2022) Strommix 2019 (aktuelle finale Daten).

Bei einer Steigerung der Betriebsdauer auf 25 Jahre verändert sich die Werte auf 161 GWh (119 GWh) Energieaufwand, und 2.0 Jahre (1.5 Jahre) Energy Payback-Time und 10.9 (14)-fache Energieproduktion. 32'809 t CO₂ (22'045 t CO₂) Gesamt-CO₂-Belastung sowie 18.75 g CO₂/kWh [12.6 g CO₂/kWh] und Einsparungen von 688'000 (697'000 t CO₂) gegenüber dem Deutschen Strommix, respektive 186'000 t CO₂ [197'000 t CO₂] gegenüber dem Schweizer Verbraucher-Mix.

Abbildung 4 Spezifische CO₂-Emissionen in g CO₂/kWh von verschiedenen Elektrizitätsproduktionsanlagen.³³



Der Grossteil der Emissionen, die das Windenergieprojekt Thundorf emittieren wird, fallen mit gut 79% bei der Herstellung der Windanlagenkomponenten an, ca. 16% davon entfallen auf den Beton für die Fundamente. Der Betrieb des Windparks beläuft sich über 20 Jahre auf noch etwa 18.6% der Gesamtemissionen. Gut 1% sind Wegen, Flächen, Stromleitungen und Netzanschluss zuzuordnen, knapp 1% entfallen auf Transport, Bau und Rückbau des Windparks. Während bei der fossilen Erzeugung von Energie auf Basis von Kohle, Öl oder Erdgas noch weitere Stoffe emittiert werden, fallen diese Umweltauswirkungen bei der Erzeugung von Windstrom nicht an.

Ökobilanzierungen können wie dargelegt recht verschiedene Ergebnisse liefern wie hoch nun der Erntefaktor oder die Energetische Rücklaufzeit sind. Am Ende ist jedoch sichergestellt, dass die durch das Projekt erzeugte erneuerbare Energie um ein Vielfaches grösser ist als die für Bau und Betrieb verbrauchte. Ein Nutzen in Bezug auf Treibhausgasemissionen und Energie- Bilanz ist somit in jedem Fall belegt.

³³ PSI (2012), PSI (2017)

4 Quellenangaben

BAFU, (2019) Harmonisierte Ökobilanzen der Entsorgung von Baustoffen, Für die Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich, erstellt durch Büro für Umweltchemie.

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/fachinformationen/methodische-grundlagen-von-oekobilanzen.html> (29.07.2022).

BFE, (2015) Ökobilanzierung von Schweizer Windenergie, ZHAW, erstellt durch: Fachgruppe Ökobilanzierung im Auftrag des BFE, L. Eymann, M. Stucki et. Al., 11.03.2015, <https://www.zhaw.ch/storage/lsvm/institute-zen-tren/iunr/oekobilanzierung/eymann-2015-lca-windenergie-bfe.pdf> (22.07.2022).

BFE, Wichtigste Neuerungen im Energierecht ab 2018, 02.11.2017, <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/50166.pdf#:~:text=Nationales%20Interesse%20Wenn%20Beh%C3%B6rden%20oder%20Gerichte%20im%20Rahmen,k%C3%BCnftig%20beide%20Anliegen%20den%20Status%20eines%20nationalen%20Interesses>, (17.08.2022).

Büro für Umweltchemie (2019) harmonisierte Ökobilanzen der Entsorgung von Baustoffen. https://www.umweltchemie.ch/wp-content/uploads/Bericht_Prozesskette_Entsorgung_v4.pdf, (17.08.2022).

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Konzept Windenergie (2020), https://www.are.admin.ch/dam/are/de/dokumente/raumplanung/dokumente/konzept/konzept-windenergie.pdf.download.pdf/Konzept_Windenergie.pdf (19.07.2020).

Burger & Bauer (2007) in: BFE (2015) Ökobilanzierung Schweizer Windkraftanlagen (2015).

Bundesverband WindEnergie (2019): BWE-Hintergrundpapier: Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen WID - Windindustrie in Deutschland (windindustrie-in-deutschland.de) November 2019, <https://www.windindustrie-in-deutschland.de/publikationen/bwe-fachinformationen/bwe-hintergrundpapier-rueckbau-und-recycling-von-windenergieanlagen>, (19.07.2022).

Deutscher Bundestag (2018), Sachstandsanfrage zur Ökobilanz der Windenergie-technologie unter Berücksichtigung Seltener Erden, <https://www.bundestag.de/resource/blob/543800/a9906e8e1985f9078cd2209fb9e159fd/wd-8-010-18-pdf-data.pdf> (17.08.2022).

Enercon, Sustainability Report 2020, Life Cycle Assessment. LCA Enercon, https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/pdf/ENERCON_-_Sustainability_Report_2020.pdf (19.07.2022).

ENERCON, (2011) Datenblätter Enercon E-82, diverse.

ENERCON, Technisches Datenblatt Fundamente E-160 EP5 E2-MST-166-FB-C-01 D0972706/2.0-de / DB.

ENERCON, Technisches Datenblatt Gewichte Gondel EP5 D02242405/2.0-de/en / DA

Datenblatt ENERCON, Technische Beschreibung Turm E-160 EP5 E2-MST-166-FB-C-01; D0953910/1.0-de/ DA

Datenblatt ENERCON, Fundamente E-160 EP5 E2-MST-166-FB-C-01 D0972706/2.0-de / DB

ENERCON, (2022): PRELIMINARY_transport general packing list_EP5_E-160_E1E2

ENERCON, (2022): E-160 EP5 E2-MST-166-FB-C-01

ENERCON, Sustainability Report 2020, Life Cycle Assessment. LCA Enercon, https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/pdf/ENERCON_-_Sustainability_Report_2020.pdf, (19.07.2022).

Webseite espazium: <https://www.espazium.ch/de/aktuelles/recycling-am-bau-quoten-sagen-nicht-alles> (17.10.2022).

IWES, (2022): Pressemitteilung Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES 06.04.2022: Nachhaltig wirtschaften und entsorgen: Fraunhofer IWES entwickelt konkrete Konzepte fürs Rotorblatt-Recycling, <https://idw-online.de/de/news791500>, [19.07.2022].

KBOB, (2022): Ökobilanzdaten im Baubereich, Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB, Version 2009-1-2022; 06.04.2022, https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html [17.10.2022].

Nordex (2020): LCA of a Nordex Windfarm with Delta4000 turbines, March 2020, <https://www.nordex-online.com/wp-content/uploads/sites/3/2020/03/LCA-of-Nordex-Windfarm-with-Delta4000-turbines-without-Annex-B.pdf> , [17.10.2022].

PSI (2017), Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen von Stromproduktionsanlagen. <https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/50263.pdf> [20.12.2022].

PSI, ESU-services GmbH (2012) Umweltauswirkungen der Stromerzeugung in der Schweiz; https://www.psi.ch/sites/default/files/import/ta/PublicationTab/Bauer_2012.pdf [20.12.2022].

Statista.de (2020): [21.06.2022]

Suisse Éole, Statistik (CH / International): - Alles über die Windenergie - Suisse-Eole - Schweizerische Vereinigung zur Förderung der Windenergie, <https://www.suisse-eole.ch/de/windenergie/statistik/>, [19.07.2022].

Umweltbundesamt (2021): Abschlussbericht: Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen, Sphera Solutions GmbH und Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Herausgeber: Umweltbundesamt, [25.07.2022].

Umweltbundesamt (2022), Verbrauchermix, Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2021, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-04-13_cc_15-2022_strommix_2022_fin_bf.pdf

Vestas (2022): Life Cycle Assessment, V150-4.2 MW Wind Plant, June 2022, https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-ratings/lcas/LCA%20of%20Electricity%20Production%20from%20an%20onshore%20V150-4.2,%204.5MW%20Wind%20Plant_Final.Web.pdf.coredownload.inline.pdf , [17.10.2022].

Vestas (2014): Life Cycle Assessment V126-3.3 MW Wind Plant, June 2014, <https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-ratings/lcas/LCAV12633MWfinal060614.pdf.coredownload.inline.pdf>, [17.10.2022].

Windeurope Pressemeldung (2020): 12.02.2022 <https://windeurope.org/newsroom/news/blade-recycling-a-top-priority-for-the-wind-industry/>, [25.07.2022].