



Konzepte zur energetischen Nachnutzung von Tagebaurestlöchern in Nordrhein-Westfalen

Endbericht

INHALTSVERZEICHNIS

1	Veranlassung	13
2	Grundlagen	13
2.1	Topographie	13
2.2	Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie	14
2.3	Schutzgebiete	14
3	Stand der Technik bei Pumpspeicherkraftwerken	14
3.1	Funktionsweise und wesentliche Komponenten von Pumpspeicherkraftwerken	15
3.2	Standortanforderungen eines Pumpspeicherkraftwerkes	16
3.3	Bedeutung von Pumpspeicherkraftwerken für die Stromversorgung	17
3.3.1	Lastausgleich	17
3.3.2	Regelenergie	18
3.3.3	Blindleistungsregelung	19
3.3.4	Schwarzstartfähigkeit	19
3.3.5	Derzeitige und zukünftige Hauptaufgaben von Pumpspeicherkraftwerken	20
3.4	Kenngößen von Pumpspeicherkraftwerken	20
3.4.1	Wie schnell steht die gespeicherte Energie eines Pumpspeicherkraftwerks zur Verfügung	21
3.4.2	Welche Leistung kann zur Verfügung gestellt werden	21
3.4.3	Gespeicherte Energiemenge	22
3.5	Bauliche Anlagen und elektromechanische Ausrüstung	23
3.5.1	Bautechnik	23
3.5.2	Maschinentechnik	24
3.5.3	Elektrische Anlagen	31
4	Geowissenschaftliche Beschreibung	33
4.1	Allgemeines	33
4.2	Morphologie	34
4.3	Geologische Entwicklung	34

4.3.1	Grundgebirgsdepression	35
4.3.2	Linksrheinisches Schiefergebirge	35
4.3.3	Rechtsrheinisches Schiefergebirge	36
4.3.4	Niederrheinische Bucht	36
4.3.5	Bruchtektonik, Bruchschollenbau - Grundgebirge -	37
4.3.6	Bruchtektonik, Bruchschollenbau - Niederrheinische Bucht -	39
4.3.7	Erdbeben, seismisch aktive Störungen	41
4.3.8	Junge Bewegungen - Schiefergebirge und Niederrheinische Bucht -	42
4.4	Geologisch-stratigraphischer Schichtaufbau in der Niederrheinischen Bucht	44
4.5	Fazielle Schichtenwicklung in der Niederrheinischen Bucht	47
4.6	Geologische Positionen der Tagebaue in der Niederrheinischen Bucht	48
5	Geotechnische Betrachtung	49
5.1	Allgemeines	49
5.2	Schichtaufbau und geotechnische Kennwerte	50
5.3	Geotechnische Eigenschaften der anstehenden Böden	50
5.4	Geotechnische Eigenschaften der angeschütteten Böden	54
6	Hydrogeologische Verhältnisse	56
6.1	Allgemeines	56
6.2	Oberflächliche Niederschlagseinzugsbereiche	56
6.3	Versickerung, Grundwasserneubildung	57
6.4	Grundwasserkörper	58
6.5	Sümpfung, Grundwasserabsenkungen	63
6.6	Hydrochemische Verhältnisse, Sümpfungswässer der Tagebaue	64
6.7	Hydrogeologische Positionen der Tagebaue in der Niederrheinischen Bucht	65
6.8	Prognose der Sümpfungsmaßnahmen	66
7	Identifikation möglicher PSW-Standorte im Tagebaugebiet	68
7.1	Technische Projekttrandbedingungen	68
7.1.1	Pendelwasservolumen	69
7.1.2	Anzahl der Volllaststunden	69
7.1.3	Anlagenleistung	70
7.1.4	Lage, Form und Sohl-tiefen der Tagebaurestlöcher	70
7.2	Grundkonzepte für PSW im Tagebaugebiet	71
7.2.1	Oberbecken auf GOK – Unterbecken auf Restlochsohle	72

7.2.1.1	Offenes Unterbecken auf Restlochsohle	72
7.2.1.2	Unterbecken auf Restlochsohle als geschlossene Kaverne	72
7.2.2	Oberbecken auf GOK – Restsee als Unterbecken	73
7.2.3	Oberbecken auf Geländeerhebung – Unterbecken auf Restlochsohle bzw. Restsee als Unterbecken	73
7.2.3.1	Vollrather Höhe	74
7.2.3.2	Sophienhöhe	74
7.2.3.3	Halde Nierchen	75
7.2.3.4	Meroder Wald	76
7.2.4	Verbindungen zwischen Tagebaurestlöchern	76
7.2.4.1	Verbindungen zwischen zwei Tagebaurestseen	76
7.2.4.2	Verbindungen zwischen Tagebaurestsee und Tagebaurestloch	76
7.2.5	Verbindungen mit anderen Gewässern	76
7.3	Überblick über die identifizierten PSW-Kombinationen	77
8	Qualitative Bewertung der PSW-Kombinationen	78
8.1	Bewertung der Grundkonzepte	78
8.2	Bewertung Einzelvarianten bzw. Einzelkomponenten	82
8.2.1	Neue Oberbeckenstandorte neben Restseen / Restlöchern	82
8.2.2	Oberbeckenstandorte auf vorhandenen Geländeerhöhungen	83
8.3	Geotechnische Bewertung	84
8.3.1	Böschungen	84
8.3.2	Rohrbahnen	84
8.3.3	Unterbecken	85
8.3.4	Oberbecken, geländegleich	85
8.3.5	Oberbecken auf Aufhaldungen	86
8.3.6	Oberbecken auf paläozoischen Schichten	86
8.3.7	Bewertung aus geotechnischer Sicht	86
9	Untersuchung von Zwischenzuständen	88
10	Ergebnisse der Identifikation von PSW-Standorten	89
11	Alternative energetische Nutzungsmöglichkeiten	90
12	Bewertung der Machbarkeit der beiden Vorzugsvarianten	96
12.1	Variante 2.4 – Sophienhöhe / Restsee Hambach	96
12.1.1	Lage	97

12.1.2	Beschreibung der Anlage	98
12.1.3	Maschinentechnische Ausrüstung	100
12.1.4	Elektrotechnische Ausrüstung	102
12.1.5	Geologie und Geotechnik	103
12.1.5.1	Oberbecken	104
12.1.5.2	Vertikaler Oberwasser-Druckschacht und Krümmer	104
12.1.5.3	Horizontaler Oberwasserdruckstollen	105
12.1.5.4	Kavernenkraftwerk	106
12.1.5.5	Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 1)	107
12.1.5.6	Wasserschloss und Belüftungsschacht	107
12.1.5.7	Nordwest-Südost streichende Störung (Abschiebung nach Südwest)	108
12.1.5.8	Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 2)	109
12.1.5.9	Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 3)	109
12.1.5.10	Auslaufbauwerk Unterbecken	110
12.1.6	Hydrologie	110
12.1.6.1	Oberbecken und oberer Teil des Oberwasserdruckschachtes	110
12.1.6.2	Weitere Anlagenteile im gewachsenen Boden und Kippenbereich	110
12.1.6.3	Pendelwasser	111
12.1.7	Kostenschätzung	111
12.1.8	Fazit Variante 2.4 – Sophienhöhe / Restsee Hambach	112
12.2	Variante 3.4c – Meroder Wald / Restsee Inden	113
12.2.1	Lage	114
12.2.2	Beschreibung der Anlage	115
12.2.3	Maschinentechnische Ausrüstung	117
12.2.4	Elektrotechnische Ausrüstung	118
12.2.5	Geologie und Geotechnik	120
12.2.5.1	Oberbecken	120
12.2.5.2	Vertikaler Oberwasserdruckschacht und Krümmer	121
12.2.5.3	Horizontaler Oberwasserdruckstollen	122
12.2.5.4	Kavernenkraftwerk	122
12.2.5.5	Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 1)	123
12.2.5.6	Wasserschloss und Belüftungsschacht	123

12.2.5.7	Abbruch von Merode (NNW-SSO streichende Abschiebung nach NO)	124
12.2.5.8	Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 2)	124
12.2.5.9	Birgelter Sprung (NNW-SSO streichende Abschiebung nach SW)	125
12.2.5.10	Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 3)	126
12.2.5.11	Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 4)	126
12.2.5.12	Goldsteinsprung (NW-SO streichende Abschiebung nach NO)	127
12.2.5.13	Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 5)	127
12.2.5.14	Auslaufbauwerk Unterbecken	128
12.2.6	Hydrologie	128
12.2.6.1	Oberbecken, Oberwasserdruckschacht, Oberwasserdruckstollen, Kaverne, Wasserschloss und Unterwasserdruckstollen bis zum Birgelter Sprung	128
12.2.6.2	Unterwasserdruckstollen ab dem Birgelter Sprung bis zum Auslaufbauwerk	129
12.2.6.3	Beeinflussung und Eingriffe in das Grundwasser während der Bauzeit	129
12.2.6.4	Pendelwasser	129
12.2.7	Kostenschätzung	130
12.2.8	Fazit Variante 3.4c – Meroder Wald / Restsee Inden	130
13	Naturschutzfachliche Einschätzung	131
13.1	Grundlagen	131
13.1.1	Landesplanung	131
13.1.2	Regional- und Braunkohlenplanung	131
13.1.3	Schutzgebiete nach Naturschutzrecht	132
13.2	Bestandbeschreibung	132
13.2.1	Landesplanung	132
13.2.2	Regional- und Braunkohlenplanung	135
13.2.3	Schutzgebiete nach Naturschutzrecht	143
13.3	Bewertung	144
13.3.1	Landesplanung	144
13.3.2	Regional- und Braunkohlenplanung	145
13.3.3	Schutzgebiete nach Naturschutzrecht	146
13.4	Ausblick auf Fortführung der Planungen	148
14	Vergleich der PSW-Varianten	149

14.1	Gegenüberstellung der Varianten 2.4 und 3.4c	149
14.2	Vergleich mit anderen PSW-Projekten	151
15	Weitere Planungsoptionen und Ausblick	153
15.1	Optimierungsmöglichkeiten für PSW-Variante 2.4	154
15.1.1	Alternative: Freispiegelkanal im Kippenbereich	154
15.1.2	Alternative: Schachtkraftwerk	155
15.1.3	Auswirkungen durch vorzeitiges Ende des Kohleabbaus	156
15.1.4	Alternativen mit Erhöhung der Fallhöhe	157
15.1.4.1	Unterwasserkavernenspeicher neben geplantem Restsee	157
15.1.4.2	Unterwasserkavernenspeicher im Restsee	159
15.1.4.3	Betonkugeln	160
16	Fazit und Ausblick	161

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Pumpspeicherkraftwerk-Schema	15
Abbildung 2:	Zeitlicher Ablauf des Einsatzes der drei Regelenergiearten	19
Abbildung 3:	Oberbecken des Pumpspeicherkraftwerkes Goldisthal (Becken im Massenausgleich)	23
Abbildung 4:	Kriterien zur Auslegung der Maschinentechnik	25
Abbildung 5:	Prinzipskizze eines 2-Maschinen-Satzes (reversible Pumpturbinen)	26
Abbildung 6:	Prinzipskizze eines 3-Maschinensatzes (mit vertikaler Welle)	27
Abbildung 7:	Lauftrad einer dreistufigen Radialpumpe	29
Abbildung 8:	Einfahren des Lauftrades einer Francis-Pumpturbine im Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal	29
Abbildung 9:	Pelton turbine mit zwei Laufrädern im Walchenseekraftwerk	30
Abbildung 10:	Modell-Skizze zur Verformung des Schiefergebirges im Bereich der Niederrheinischen Bucht und Umgebung (Bewegungszone 6 km Mächtigkeit) (Quelle: [1] und GTB-Aachen 2018)	37
Abbildung 11:	Schnittdarstellung West-Ost RWE Power AG Tagebau Garzweiler II (Quelle: RWE-Power AG in Niehaus & Delius-et-al-2011 aus Krupp2015)	39
Abbildung 12:	Vereinfachte Darstellung Schnitt West-Ost (RWE Power AG) und Höhenreduktion (Quelle: GTB-Aachen nach RWE-Power AG)	40
Abbildung 13:	Erdbebenzonenkarte für Deutschland nach der bautechnisch noch zu beachtenden DIN 4149 (auch im nationalen Anhang zum Eurocode 8 enthalten)	41

Abbildung 14: Brüche überdeckt mit Erdbeben-Epizentren (1976-2008) Niederrheinische Bucht (Quelle: Abt. Erdbebengeologie, Universität zu Köln 2009 aus MWegener.de)	42
Abbildung 15: Lageplan mit der Verteilung der jungen Hebungen im Rheinischen Schiefergebirge (Quelle: The Cenozoic Lower Rhine Basin – rifting, sedimentation, and cyclic stratigraphy [7])	43
Abbildung 16: Skizze mit angenommenen Hauptspannungen und den Stauchungen am Brabanter Massiv (Quelle: <i>The Cenozoic Lower Rhine Basin [7], ergänzt: GTB Aachen</i>)	44
Abbildung 17: DIN 21919-3: Bergmännisches Risswerk-Stratigraphie (Quelle: DIN 21919-3: Bergmännisches Risswerk-Stratigraphie Niederrheinische Bucht [10])	46
Abbildung 18: Fazielle Schichtausbildung in einem NNW – SSE Modell durch die Niederrheinische Bucht (Quelle: Quitzow 1971, in Stork [11]: Hydrogeologie und Grundwasserabsenkung im Ertfgebiet 1977)	48
Abbildung 19: Modellvorstellung Vorschüttungen für Seitenböschungen	54
Abbildung 20: Geotechnische Kennwerte von Kippenmaterial (Quelle: Kippen-Materialien-1996-11-01-Restseen Pierschke + Boehm in Braunkohle Surface Mining Nr.48)	55
Abbildung 21: Modellhafte Standsicherheitsuntersuchung für unterschiedliche Füllstände (Prg. GGU) (Quelle: Prüfung geotechnischer Aspekte bei der Genehmigung von Restseen GD-Mittmann-Petrie-Buschhüter 2015)	55
Abbildung 22: Standsicherheitsuntersuchungen Bereich Schophoven Tagebau Inden (Quelle: Prüfung geotechnischer Aspekte bei der Genehmigung von Restseen GD-Mittmann-Petri-Buschhüter 2015)	56
Abbildung 23: Mittlere Grundwasserneubildungsraten (Quelle: Ertfverband: <i>Flächendifferenzierte Ermittlung der Grundwasserneubildung</i> , Juli 2012)	57
Abbildung 24: Schema der Grundwasserstockwerke in römischen Ziffern [Spalte 3] (in Stork [11]) (Quelle: Stork Hydrogeologie und Grundwasserabsenkung im Ertfgebiet 1977 [11])	59
Abbildung 25: Modellbereich des LANUV-Grundwassermodells mit den aktiven Tagebauen (Quelle: Giese 2010 [13])	60
Abbildung 26: Definitionen der Grundwasserstockwerke ein hydrogeologisches Modell der Niederrheinischen Bucht (RWE Power AG) (Quelle: Giese 2010 Seite 203 [13])	61
Abbildung 27: Vertrauensbereiche für die hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte (LANUV 2017) (Quelle: mit freundlicher Genehmigung von LANUV zur Verfügung gestellt)	62
Abbildung 28: Reichweite der sumpfungsbedingten Grundwasserabsenkung in der Niederrheinischen Bucht (Quelle: Ausdehnung GW-Absenkung nach Forkel 2011 in Leuchs 2013 aus Krupp 2015 [15] und RWE Power AG)	63
Abbildung 29: Sumpfungsbedingte Bodensenkungen in der niederrheinischen Bucht (Quelle: Bodensenkungen 1955-2013, Poths 2014 aus Krupp 2015 [15])	64
Abbildung 30: Ende der Braunkohlenförderungen und der Anstiege der Restseen (Quellen: Flutungszeiträume für die Restseen, aus Krupp 2015 [15] RWE-Daten RWE Power AG 2017 per e-mail)	65
Abbildung 31: Prognose der Sümpfungen bis 2050 (Quelle RWE)	67
Abbildung 32: Jährliche Sumpfungsmengen der Tagebaue für Restseen bzw. Restlöcher	68

Abbildung 33: Panorama Vollrather Höhe (Quelle: Wikipedia / Johannes1024)	74
Abbildung 34: Sophienhöhe mit Tagebau Hambach (Quelle: RWE)	75
Abbildung 35: Halde Nierchen aus Westrichtung (Quelle: Wikipedia / EveryPicture)	76
Abbildung 36: Einsatzbereiche verschiedener Turbinentypen (Quelle: Escher-Wyss)	91
Abbildung 37: Lagebild PSW-Variante 2.4 (Sophienhöhe – Restsee Hambach)	97
Abbildung 38: Längsschnitt PSW-Variante 2.4 (Sophienhöhe – Restsee Hambach) (Auszug aus Anlage 14)	98
Abbildung 39: Lagebild PSW-Variante 3.4c (Meroder Wald – Restsee Inden)	114
Abbildung 40: Längsschnitt PSW-Variante 3.4c (Meroder Wald – Restsee Inden) (Auszug aus Anlage 18)	115
Abbildung 41: Festlegungen des Landesentwicklungsplans im Planteil für die Bereiche der PSW-Standorte „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ und „Meroder Wald - Restsee Inden“, schematische Eintragung der geplanten PSW-Bestandteile durch den Verfasser dieser Unterlage = blaue Linien	133
Abbildung 42: Festlegungen des Regionalplans, Region Aachen im Planteil (Gebietsentwicklungsplan) für den Bereich PSW-Standorts „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ (Nordteil), schematische Eintragung der geplanten PSW-Bestandteile durch den Verfasser dieser Unterlage = blaue Linien	136
Abbildung 43: Festlegungen des Regionalplans, Region Aachen im Planteil (Gebietsentwicklungsplan) für den Bereich PSW-Standorts „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ (Südteil), schematische Eintragung der geplanten PSW-Bestandteile durch den Verfasser dieser Unterlage = blaue Linie	137
Abbildung 44: Festlegungen des Regionalplans, Region Aachen im Planteil (Gebietsentwicklungsplan) für den Bereich PSW-Standorts „Meroder Wald - Restsee Inden“ (Nordteil), schematische Eintragung der geplanten PSW-Bestandteile durch den Verfasser dieser Unterlage = blaue Linien	138
Abbildung 45: Festlegungen des Regionalplans, Region Aachen im Planteil (Gebietsentwicklungsplan) für den Bereich PSW-Standorts „Meroder Wald - Restsee Inden“ (Südteil), schematische Eintragung der geplanten PSW-Bestandteile durch den Verfasser dieser Unterlage = blaue Linien	139
Abbildung 46: Lageplan, Längsschnitt und mögliche Querschnitte für Alternative „Freispiegelkanal“ in PSW-Variante 2.4	155
Abbildung 47: Lageplan und Längsschnitt für Alternative „Schachtkraftwerk“ in PSW-Variante 2.4	156
Abbildung 48: Lageplan für PSW-Variante 2.4 mit Restsee im aktuellen Tagebauloch	157
Abbildung 49: Lageplan und Längsschnitt für Alternative „Kavernenspeicher“ in PSW-Variante 2.4	158
Abbildung 50: Kavernenspeicher (blaue Stollen) für das Pumpspeicherwerk Forbach (Quelle: Tractebel Hydroprojekt GmbH)	159
Abbildung 51: Betonkugeln am Meeresboden als neuartiges Pumpspeicherkonzept (Quelle: Pumpspeicherkonzept StEnSEA, Fraunhofer Institut IWES (Kassel))	160

Abbildung 52: Modellversuch am Bodensee mit einer Betonkugel als Pumpspeicherkonzept (Quelle: Pumpspeicherkonzept StEnSEA, Fraunhofer Institut IWES (Kassel)	160
Abbildung 53: bestätigter Netzentwicklungsplan 2017 (Quelle: Bundesnetzagentur); roter Kreis = Lage Rheinisches Revier	162

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Wichtigste Charakteristika der drei Regelenergiearten	18
Tabelle 2: Typische Umschalt- / Anfahrzeiten für Pumpspeicherkraftwerke	21
Tabelle 3: Übersicht I – geotechnische bzw. bodenmechanische Kennwerte der Quartär Schichten 20-12 (DIN 21919-3 / 2011 Seite 3)	51
Tabelle 4: Übersicht II – geotechnische bzw. bodenmechanische Kennwerte der Tertiär Schichten 11d-6a (DIN 21919-3 / 2011 Seite 3)	52
Tabelle 5: Übersicht III – geotechnische bzw. bodenmechanische Kennwerte der Tertiär-Schichten 5d - 01 (DIN 21919-3 / 2011 Seite 3)	53
Tabelle 6: Sümpfungsmengen und Betriebskosten Wasserhebung 2016 (Quelle: RWE)	66
Tabelle 7: Mögliche Pendelwasservolumina der Geländeerhebungen im Projektgebiet	69
Tabelle 8: Charakteristika der Geländeerhebungen im Projektgebiet	73
Tabelle 9: Identifizierte PSW-Kombinationen im Projektgebiet	77
Tabelle 10: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 1	78
Tabelle 11: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 2	79
Tabelle 12: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 3	79
Tabelle 13: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 4	80
Tabelle 14: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 5	80
Tabelle 15: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 6	81
Tabelle 16: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 7	81
Tabelle 17: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 8	82
Tabelle 18: Bewertung der Oberbeckenstandorte neben Restlöchern/Restseen	83
Tabelle 19: Bewertung der Oberbeckenstandorte auf vorhandenen Geländeerhebungen	84
Tabelle 20: Untersuchung Teilfüllung Restseen	88
Tabelle 21: Kennzahlen Befüllung der Restseen (Quelle: RWE)	90
Tabelle 22: Überblick über die mögliche Energieerzeugung während Befüllung der Restseen	92
Tabelle 23: Energetische Nutzung Befüllung Restsee Garzweiler	93
Tabelle 24: Energetische Nutzung Befüllung Restsee Hambach	94
Tabelle 25: Energetische Nutzung Befüllung Restsee Inden	95

Tabelle 26:	Technische Daten PSW-Variante 2.4 Sophienhöhe – Restsee Hambach	96
Tabelle 27:	Hauptparameter der Pumpturbinen PSW-Variante 2.4	101
Tabelle 28:	Technische Daten Maschinentransformatoren und Energieableitung	103
Tabelle 29:	Technische Daten PSW-Variante 3.4c Meroder Wald – Restsee Inden	113
Tabelle 30:	Hauptparameter der Pumpturbinen PSW-Variante 3.4c	118
Tabelle 31:	Technische Daten Maschinentransformatoren und Energieableitung	120
Tabelle 32:	mögliche Betroffenheit von Zielen des LEP Nordrhein-Westfalen	145
Tabelle 33:	mögliche Betroffenheit von Zielen des GEP	146
Tabelle 34:	Kommentar zum geplanten PSW-Standort „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ in seinem räumlichen Bezug zu den Schutzgebieten nach Naturschutzrecht	147
Tabelle 35:	Kommentar zum geplanten PSW-Standort „Meroder Wald - Restsee Inden“ in seinem räumlichen Bezug zu den Schutzgebieten nach Naturschutzrecht	148
Tabelle 36:	Vergleich der PSW-Varianten 2.4 und 3.4c	150
Tabelle 37:	Vergleich der spezifischen Kosten EUR/kW mit anderen PSW-Projekten in Deutschland; <i>in grün: Spezifische Kosten für Volllaststunden = 6h (überschlägige Ermittlung)</i>	152
Tabelle 38:	Vergleich der spezifischen Kosten EUR/kWh mit anderen PSW-Projekten in Deutschland	153

ANLAGENVERZEICHNIS

Identifikation möglicher PSW-Standorte

Anlage 1	Lageplan 1
Anlage 2	Lageplan 2
Anlage 3	Lageplan 3
Anlage 4	Lageplan 4
Anlage 5	Längsschnitt 1
Anlage 6	Längsschnitt 2
Anlage 7	Längsschnitt 3
Anlage 8	Längsschnitt 4
Anlage 9	Längsschnitt 5
Anlage 10	Längsschnitt 6
Anlage 11	Variantenmatrix PSW-Kombinationen
Anlage 12	Rangliste PSW-Kombinationen nach Fallhöhe

Bewertung der Machbarkeit der Vorzugsvarianten

Anlage 13	PSW – Variante 2.4 (Sophienhöhe - Restsee Hambach): Lageplan
Anlage 14	PSW – Variante 2.4 (Sophienhöhe - Restsee Hambach): Längsschnitt
Anlage 15	PSW – Variante 2.4 (Sophienhöhe - Restsee Hambach): Geotechnischer Längsschnitt
Anlage 16	PSW – Variante 2.4 (Sophienhöhe - Restsee Hambach): Überschlägige Kostenschätzung
Anlage 17	PSW – Variante 3.4c (Meroder Wald – Restssee Inden): Lageplan
Anlage 18	PSW – Variante 3.4c (Meroder Wald – Restssee Inden): Längsschnitt
Anlage 19	PSW – Variante 3.4c (Meroder Wald – Restssee Inden): Geotechnischer Längsschnitt
Anlage 20	PSW – Variante 3.4c (Meroder Wald – Restssee Inden): Überschlägige Kostenschätzung

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] J. Klostermann: *Erdbeben - Ursachen und Wirkungen*. - Geologische Karte NRW 1:100.000, Erläuterungen zu Blatt C 5102 Mönchengladbach, Krefeld 1990, S. 75–78.
- [2] H. Grabert: *Abriß der Geologie von Nordrhein-Westfalen*. - Stuttgart 1998, 351 Seiten (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- [3] J. Klostermann, J. Kremers & R. Röder: *Rezente tektonische Bewegungen in der Niederrheinischen Bucht*. - Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf., Krefeld 1998, Bd. 37, S. 557–571.
- [4] V. Wrede & H. D. Hilden: „*Geologie am Niederrhein*“ (1988, Geologischer Dienst NRW, Krefeld)
- [5] Klostermann: Erläuterungen zur C5102, Geologischer Dienst NRW, Krefeld (1990), Seite 37
- [6] Winfried Klein, Bernd Krickel, Jens Riecken und Martin Salamon: *Eine interdisziplinäre Betrachtung der vertikalen Bodenbewegungen in der Eifel* Seite 31, 141. Jg. 1/2016 *zfv*, verfügbar auch unter www.geodaesie.info.
- [7] A. Schäfer, T. Utescher, M. Klett, M. Valdivia-Manchego: *The Cenozoic Lower Rhine Basin – rifting, sedimentation, and cyclic stratigraphy*, Int J Earth Sci (Geol Rundsch) (2005) 94: 621–639 DOI 10.1007/s00531-005-0499-7, Received: 6 October 2003 / Accepted: 28 March 2005 / Published online: 21 June 2005 © Springer-Verlag 2005
- [8] Diverse Autoren: *Geologie am Niederrhein*, Schriftenreihe Geologisches Landesamt NRW, Krefeld, 1988
- [9] H. Schneider & S. Thiele: *Geohydrologie des Erftgebietes*, Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen, 1965
- [10] DIN 21919-3: Bergmännisches Risswerk-Stratigraphie
- [11] W. Stork: *Hydrogeologie und Grundwasserabsenkung im Erftgebiet*, Mitteilungen zur Ingenieurgeologie und Hydrogeologie, Seite 14, RWTH Aachen, 1977
- [12] Elke Nickel: *Oligozäne Beckendynamik und Sequenzstratigraphie am Südrand des Nordwesteuropäischen Tertiärbeckens*, Dissertation Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, 2003
- [13] S. Giese: *Bodenbewegungen infolge von Sümpfungsmaßnahmen für tiefe Tagebaue an Beispiel des rheinischen Braunkohlereviere*, Dissertation RWTH Aachen, 2010-
- [14] Klostermann: Erläuterungen zur C5102, Geologischer Dienst NRW, Krefeld (1990), Seite 37
- [15] Krupp: Auswirkungen der Grundwasserhaltung im Rheinischen Braunkohlenrevier auf die Topographie und die Grundwasserstände, sowie daraus resultierende Konsequenzen für Bebauung, landwirtschaftliche Flächen, Infrastruktur und Umwelt, Studie im Auftrag der Fraktion Bündnis 90 / Die Grünen im Landtag von Nordrhein-Westfalen Juli 2015

1 Veranlassung

Nachdem in der Vergangenheit im Auftrag der Landesregierung Nordrhein-Westfalen bereits eine Potentialstudie über aussichtsreiche Standorte für Pumpspeicherwerke (PSW) in Nordrhein-Westfalen erarbeitet und darüber hinaus auch unkonventionelle Standorte, wie ehemalige Erz- oder Steinkohlezeehen hinsichtlich eines möglichen zukünftigen Pumpspeicherbetriebes untersucht worden waren, wird mit der vorliegenden Studie ein weiterer Schritt unternommen, die Planungsgrundlagen für mögliche Standorte von Pumpspeicherwerken in Nordrhein-Westfalen zu verbessern.

Thema der vorliegenden Studie ist die Untersuchung der möglichen energetischen Nachnutzung der drei Braunkohletagebaurestlöcher des rheinischen Reviers Garzweiler, Hambach und Inden. Neben umfangreichen Grundlagenuntersuchungen in den Bereichen Geologie, Hydrologie und Hydrogeologie, wurden in der Studie mögliche Pumpspeicherkonzepte für das Gebiet der drei Tagebaue erarbeitet.

Das vormalige Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (seit Ende 2017: Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen) beauftragte am 27.12.2016 die Tractebel Hydroprojekt GmbH (vormals Lahmeyer Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH) mit der Durchführung der Studie zu Konzepten zur energetischen Nachnutzung von Tagebaurestlöchern in Nordrhein-Westfalen.

In einem ersten Schritt wurden dabei potentielle Standorte für Pumpspeicherwerke identifiziert und bewertet. Die Ergebnisse dieser Standortidentifikation wurden im Rahmen der Präsentation des Zwischenberichtes beim Ministerium in Düsseldorf am 20. Februar 2018 vorgestellt. Hierbei wurden die beiden vielversprechendsten PSW - Varianten festgelegt, die in der folgenden Bearbeitungsstufe der Studie – Bewertung der Machbarkeit – detaillierter ausgearbeitet wurden.

Der vorliegende Endbericht präsentiert die Untersuchungsergebnisse der gesamten Konzeptstudie zur energetischen Nachnutzung der drei Tagebaurestlöcher in Nordrhein-Westfalen.

2 Grundlagen

Für die Bearbeitung der Studie standen die im Folgenden beschriebenen Grundlagendaten zur Verfügung.

2.1 Topographie

Für die Analyse der topographischen Höhenverhältnisse in der Projektregion standen dem Planer die Digitalen Geländemodelle DGM 1 und DGM 200 zur Verfügung, welche über den Datendienst der Bezirksregierung Köln (https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis) kostenfrei bezogen werden konnten. Für die vorliegende Studie wurde aus den Punkten des DGM 200 ein Höhenlinienmodell generiert, welches für die topographischen Untersuchungen zu den möglichen PSW-Kombinationen im Projektgebiet genutzt wurde.

Für die topographische Geländeinformation standen die digitalen topographischen Karten DTK 25, DTK 50 und DTK 100 zur Verfügung. Für die Plandarstellungen der vorliegenden Studie wurde die DTK 100 verwendet.

2.2 Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie

Für den Bereich der Geologie, Geotechnik und Hydrogeologie wurden von folgenden Institutionen folgende Daten beschafft:

Geologische Daten vom Geologischen Dienst Krefeld (GD Nordrhein-Westfalen):

- Meßtischblätter und diverse digitale Karten Geologie, Juni und August 2017
- Probeschnitt „Inden Süd“ aus Geologischem Modell, Oktober 2017

Hydrogeologische Daten vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV Nordrhein-Westfalen) und ELWAS-WEB (<http://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf>):

- Diverses hydrogeologisches Kartenmaterial, Mai 2017
- Konturen der Restseen Garzweiler, Hambach und Inden, September 2017

Geotechnische Daten von RWE Power AG:

- Braunkohlenpläne, aktuelle Wasserfördermengen und Verteilung, Informationen zur Befüllung der drei Tagebaurestseen, Hinweise zu Pumpkosten, Auswirkungen auf Schutzgüter, Februar 2017
- Bohrprofile mit Bohrungsdaten aber ohne bodenmechanische Kennwerte, September 2017

2.3 Schutzgebiete

Die Umgrenzungen der maßgeblichen Schutzgebiete im Projektgebiet (Naturschutz-, FFH-, Vogelschutzgebiete) konnten über den Datendownloaddienst des LANUV kostenfrei beschafft werden.

3 Stand der Technik bei Pumpspeicherkraftwerken

Nachfolgend werden die Bestandteile und die Funktionsweise von Pumpspeicherkraftwerken ausführlicher beschrieben. Es wird dargestellt, aus welchen Komponenten ein Pumpspeicherkraftwerk besteht und wie diese zusammenwirken. Daraus werden die Anforderungen abgeleitet, welche an einem potenziellen Standort für die Errichtung eines Pumpspeicherkraftwerkes erfüllt sein müssen.

Es wird ausführlich dargelegt, welche Aufgaben ein Pumpspeicherkraftwerk im Stromnetz erfüllen kann, mit welchen Kenngrößen die Eigenschaften eines Pumpspeicherkraftwerkes beschrieben werden, und welche baulichen, maschinentechnischen und elektrotechnischen Anlagen zur Erfüllung der Aufgaben erforderlich bzw. geeignet sind.

3.1 Funktionsweise und wesentliche Komponenten von Pumpspeicherkraftwerken

Die Gravitation ist die physikalische Größe, deren Wirkung für die Funktionsweise von Pumpspeicherkraftwerken genutzt wird. Indem Masse unter Aufbringung elektrischer Energie gegen die zum Erdmittelpunkt gerichtete Gravitationskraft auf höheres Geländeniveau transportiert wird, wird die potentielle Energie der transportierten Masse (Wasser) erhöht.

Für eine Anlage zum Pumpspeicherbetrieb werden benötigt:

- Mindestens zwei Wasserreservoirs auf unterschiedlich hohem Geländeniveau (Ober- und Unterbecken). Diese Becken werden in der Regel durch Stauvorrichtungen (Dämme, Mauern) begrenzt.
- Triebwasserleitungen, die den Austausch der Pendelwassermenge zwischen den Becken ermöglichen. Hierzu gehören auch Absperrorgane, Ein- und Auslaufbauwerke sowie ggf. ein Wasserschloss zum Ausgleich von Druckstößen, die durch Reguliervorgänge oder bei Betriebsstörungen auftreten können.
- Ein Krafthaus (ober- oder unterirdisch) mit den für die Energieumwandlungsprozesse notwendigen hydraulischen und elektrischen Maschinen und den für den Betrieb erforderlichen Nebeneinrichtungen.
- Anbindung an das Stromnetz.

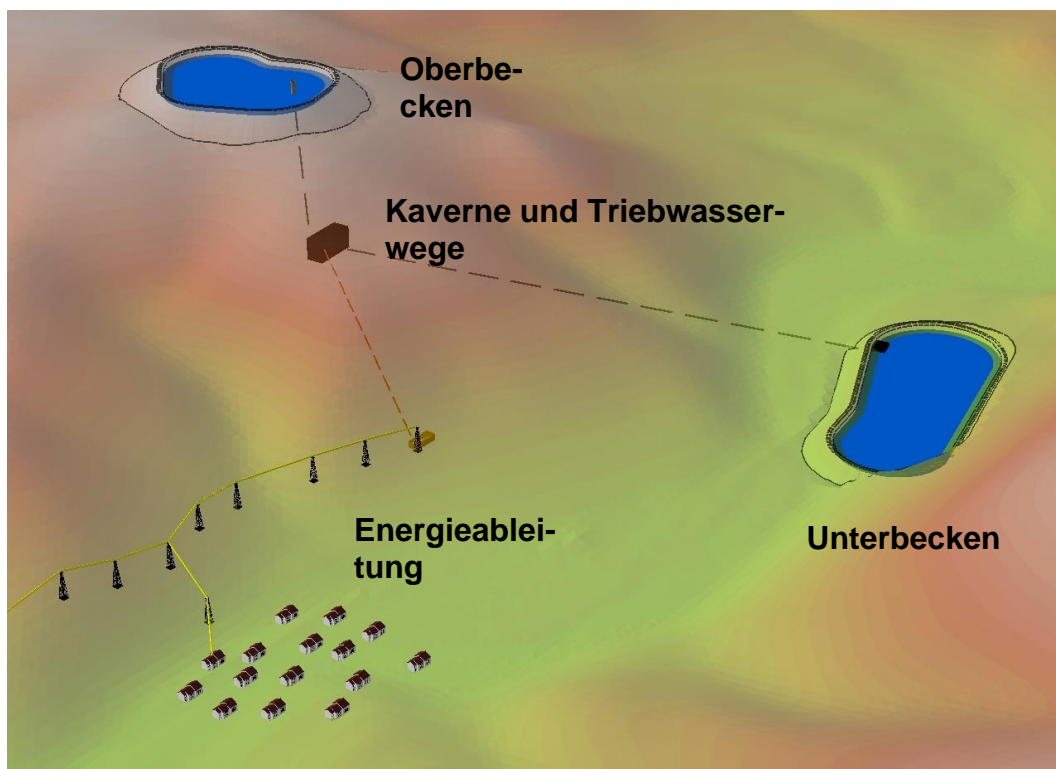


Abbildung 1: Pumpspeicherkraftwerk-Schema

3.2 Standortanforderungen eines Pumpspeicherkraftwerkes

Die fundamentale Voraussetzung für den Bau eines Pumpspeicherkraftwerkes sind geeignete topographische Verhältnisse. Das Projektgebiet muss über entsprechende zusammenhängende Flächen verfügen, sodass der Raum für die Anlage der Speicherbecken in der geplanten Größe vorhanden ist. Neben dem Platz für die Speicherbecken sollte die Topographie auch eine möglichst große Fallhöhe zwischen den Speicherbecken bei möglichst kleiner Horizontalentfernung ermöglichen.

Die Leistung eines Pumpspeicherkraftwerkes ist direkt proportional sowohl zur Fallhöhe als auch zum Durchfluss. Daraus ergibt sich zwangsläufig, dass bei halber Fallhöhe die doppelte Wassermenge erforderlich wird, wenn man die gleiche Leistung erzielen will. Die doppelte Wassermenge bedeutet eine Verdoppelung des erforderlichen Speichervolumens, und damit des erforderlichen Flächenbedarfs für die Speicherbecken. Eine geringere Fallhöhe hat jedoch auch unmittelbare Auswirkungen auf alle anderen Bauteile des Pumpspeicherkraftwerkes. Die erforderlichen Wasserwege (Stollen oder Druckrohrleitungen) sind entsprechend größer auszubilden, da größere Durchflussmengen zu transportieren sind. Die Turbinen bzw. Pumpen müssen größere Wassermengen fördern und werden entsprechend größer. Aufgrund niedrigerer Drehzahl werden Generator bzw. Motor bei gleicher Leistung größer und schwerer. Der Krafthauskran muss wegen der größeren Maschinen schwerere Lasten bewegen können, und auch das Krafthaus muss wegen des erhöhten Platzbedarfes durch die größeren Maschinen angepasst werden.

Eine geringere Fallhöhe zieht also neben einem erhöhten Flächenbedarf und damit verbundenen Auswirkungen auf Landschaft, Natur und Umwelt auch einen erhöhten Bauaufwand mit entsprechend höheren Baukosten nach sich. Bei ansonsten gleichen Randbedingungen wird man sowohl aufgrund von Wirtschaftlichkeits- als auch von Umweltüberlegungen immer Standorte mit größerer Fallhöhe gegenüber Standorten mit geringerer Fallhöhe vorziehen.

Vor Inbetriebnahme eines Pumpspeicherkraftwerkes ist es erforderlich, das hydraulische System zu füllen. Während des Betriebes wird kein Wasser verbraucht, jedoch müssen Verdunstungs- und Versickerungsverluste aus den Speicherbecken ausgeglichen werden. Ein möglicher Standort muss demnach über ein ausreichendes Wasserdargebot verfügen, um die Erstfüllung des Systems und den Ausgleich der geringfügigen Verluste aus dem System im späteren Betrieb sicherzustellen. Stehen keine Oberflächengewässer zur Verfügung, so kann die erforderliche Wassermenge ggf. auch mit Hilfe von Brunnen dem Grundwasser entnommen werden.

Die Errichtung eines Pumpspeicherkraftwerkes erfordert den Bau von Speicherbecken (Ober- und Unterbecken), von unterirdischen Stollensystemen, Kraftwerksgebäuden (oberirdisch oder unterirdisch) und Nebeneinrichtungen. Dementsprechend stellt sich eine Vielzahl von Anforderungen an den Baugrund. Er muss beispielsweise als Dammschüttmaterial verwendbar sein, bei der Anlage von unterirdischen Hohlräumen einen vertretbaren Ausbruchs- und Sicherungsaufwand zulassen, ausreichend standfest für die Gründung von Bauwerken sein und Abdichtungen gegenüber Wasserwegigkeiten ermöglichen. Es ist deshalb essentiell, dass die Geologie (Baugrund) für die Errichtung der erforderlichen Bauwerke grundsätzlich geeignet ist. Selbst wenn die technische Machbarkeit eines Pumpspeicherkraftwerkes noch gegeben ist, können ungünstige geologische Verhältnisse aufgrund der zusätzlichen erforderlichen Maßnahmen enorme Kostensteigerungen bewirken. Damit wird die ohnehin durch hohe Anfangsinvestitionen bestimmte Wirtschaftlichkeit von Wasserkraftanlagen unter Umständen nicht mehr erreicht.

Die zum Betrieb der Pumpen erforderliche elektrische Energie bzw. die von den Turbinen erzeugte elektrische Energie muss aus dem Stromnetz bezogen oder in das Stromnetz eingespeist werden. Das Pumpspeicherkraftwerk muss also mit einer Hoch- oder Höchstspannungsleitung mit ausreichender Übertragungsleistung an das Stromnetz angebunden sein. Der Neubau solcher Leitungstrassen

ist oftmals mit einem erheblichen Eingriff in die Umwelt verbunden. Die Genehmigung neuer Leitungstrassen ist deshalb ähnlich anspruchsvoll wie die Genehmigung des eigentlichen Pumpspeicherkraftwerkes und kann durchaus ein Ausschlusskriterium für ein Vorhaben darstellen.

Jede der grundlegenden Randbedingungen - Topographie, Geologie, Hydrologie, Energieableitung - kann ein technisches Ausschlusskriterium für den Bau eines Pumpspeicherkraftwerkes sein. Die Summe aller Einflüsse aus den technischen Randbedingungen bestimmt zusammen mit den umweltfachlichen Gegebenheiten letztlich auch die wirtschaftliche Machbarkeit eines Pumpspeicherkraftwerkes.

3.3 Bedeutung von Pumpspeicherkraftwerken für die Stromversorgung

Im Laufe der Zeit wurden (und werden) zahlreiche Technologien entwickelt, elektrische Energie zu speichern, die sich je nach Eigenschaft des Energiespeichers für unterschiedliche Anwendungen eignen. Außer Pumpspeicherkraftwerken sind dies z.B. Batterien unterschiedlicher Bauarten, Kondensatoren, Wasserstoff- oder Methanspeicher (in Verbindung mit Elektrolyse und Brennstoffzellen oder Methanisierung) sowie Druckluftspeicher. Bislang hat jedoch keine dieser Technologien einen ähnlichen Entwicklungsstand in Bezug auf den großtechnischen Einsatz und die wirtschaftliche Nutzung erreicht wie Pumpspeicherkraftwerke.

Die wichtigsten technischen Eigenschaften zur Beurteilung von Energiespeichern sind: Speicherkapazität, Speicherleistung, Wirkungsgrad, Speicherverluste, Leistungsdichte, Leistungsgradient und Lebensdauer.

Die hohe verfügbare Leistung, die kurze Startzeit und der vergleichsweise hohe Wirkungsgrad machen Pumpspeicherkraftwerke (PSW) derzeit zu den wirtschaftlichsten elektrischen Großspeichern. Sie werden weltweit seit Jahrzehnten eingesetzt und sind demnach langjährig erprobt. Die ersten größeren Pumpspeicherkraftwerke in Deutschlands wurden in den 1920iger Jahren errichtet (z. B. Koepchenwerk, Pumpspeicherkraftwerk Niederwartha).

Die Möglichkeit der Bereitstellung von Regelenergie und Blindleistung, die Nutzung zum Lastausgleich bzw. -glättung und vor allem ihre Schwarzstartfähigkeit machen sie darüber hinaus zu wichtigen Systemkomponenten der deutschen Energieversorgung. Insbesondere zeichnet Pumpspeicherkraftwerke aus, dass sie im Rahmen des normalen Netzbetriebes die o.g. Betriebsweisen parallel fahren können. Durch die zunehmende Stromerzeugung aus volatilen erneuerbaren Quellen ist abzusehen, dass die Inanspruchnahme solcher Regelleistung aufgrund von Prognoseabweichungen zunehmen wird.

3.3.1 Lastausgleich

Der Lastausgleich oder Wälzbetrieb ist die klassische Betriebsweise eines Pumpspeicherkraftwerkes. Es gibt positiven und negativen Lastausgleich. Zu Zeiten der Spitzenlast (meist Tageszeit) erzeugen PSW Strom und speisen diesen ins Netz ein. In Zeiten niedriger Last (in der Regel nachts) entnehmen Pumpspeicherkraftwerke Strom aus dem Netz und pumpen Wasser in die höher gelegenen Oberbecken, um elektrische Energie in Form potentieller Energie zu speichern. Die Betriebsart (Pumpen oder Turbinieren) wird in letzter Zeit jedoch weniger vom Verbrauch als von der Netzeinspeisung dominiert. So werden zur Mittagszeit aufgrund des Einspeisepeaks durch Photovoltaikanlagen trotz eines hohen Verbrauchs im Netz Pumpspeicherkraftwerke zunehmend im Pumpbetrieb gefahren.

3.3.2 Regelenergie

Eine gleichbleibende Netzfrequenz (50 Hz) ist zur Vermeidung von Schäden für Verbraucher und zur Gewährleistung des sicheren Betriebs des Übertragungsnetzes notwendig. Stromerzeugung und Stromverbrauch stimmen nie exakt überein (z.B. ist das Verbraucherverhalten nicht zu 100 % prognostizierbar, wodurch Lastprognosefehler entstehen; auf Produzentenseite können Erzeugungsschwankungen auftreten z.B. durch fluktuierende Einspeisungen oder Kraftwerksausfall). Dies kann z.B. dazu führen, dass die Frequenz vom definierten Sollwert abweicht. Als Richtwert gilt dabei, dass ein Leistungsmangel im Netz von 100 MW zu einer Absenkung der Frequenz um ca. 0,01 Hz führt.

In diesem Zusammenhang werden folgende drei Arten der Regelenergie unterschieden, deren wichtigste Charakteristika in **Tabelle 1** abgebildet sind.

- Primärregelung,
- Sekundärregelung,
- Minutenreserve (Tertiärregelung).

	Abruf	Zeitlicher Einsatz	Erzeugung
Primärregelung	Innerhalb von 30 s in vollem Umfang	$0 < t < 15 \text{ min}$	Nach dem Solidaritätsprinzip von allen ÜNB
Sekundärregelung	Innerhalb von max. 5 min in vollem Umfang	$30 \text{ s} < t < 60 \text{ min}$	automat. Aktivierung durch betroffenen ÜNB
Minutenreserve	Innerhalb von max. 15 min in vollem Umfang	$15 \text{ min} < t < 60 \text{ min}$ (bzw. mehrere Stunden bei mehreren Störungen)	durch betroffenen ÜNB

Tabelle 1: Wichtigste Charakteristika der drei Regelenergiearten

Sie unterscheiden sich durch zeitlichen Einsatz, Abruf und Erzeugung. Abbildung 2 verdeutlicht, dass die drei Arten nacheinander abgerufen werden und sich gegenseitig ablösen.

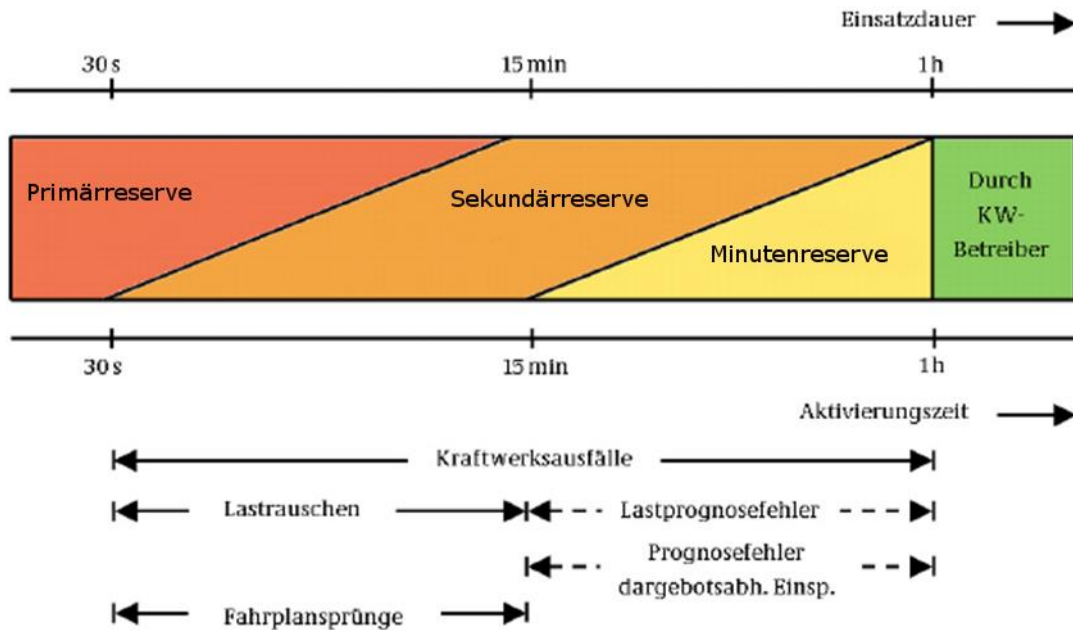


Abbildung 2: Zeitlicher Ablauf des Einsatzes der drei Regelenergiearten

3.3.3 Blindleistungsregelung

Die Gesamtleistung, die ein Erzeuger ins Netz speist, wird Scheinleistung genannt. Sie setzt sich aus Wirk- und Blindleistung zusammen. Dabei ist die Wirkleistung die eigentliche, in Strom und Arbeit umgesetzte Leistung, während die Blindleistung die Leistungsbestandteile charakterisiert, die zum Auf- und Abbau von Magnetfeldern benötigt werden. Prinzipiell wäre es wünschenswert, wenn das Netz und die Verbraucherlasten nur Wirkleistung für den Betrieb benötigen. Da aber sämtliche elektrische Motoren, Kondensatoren sowie die Übertragungsleitungen und Kabel Magnetfelder erzeugen und damit Blindleistung verbrauchen, müssen Blindleistungsanteile aus dem Netz bezogen bzw. ins Netz gespeist werden. Blindleistung bewirkt, dass die Frequenz der Spannung gegenüber der Frequenz des Stromflusses verschoben wird. Die jeweiligen Leistungsanteile werden mittels des Faktors $\cos\varphi$ beschrieben. Da die Stromerzeugung der meisten Pumpspeicherkraftwerke über einen Synchrongenerator ans Netz gekoppelt ist, lässt sich die Blindleistungseinspeisung (bzw. der Leistungsfaktor $\cos\varphi$) bei Pumpspeicherkraftwerken besonders flexibel regeln. Pumpspeicherkraftwerke können Blindleistung erzeugen oder verbrauchen, ohne Wirkleistung bereitzustellen. Diese Betriebsweise wird als Phasenschieberbetrieb bezeichnet. Dabei läuft der Generator „leer“ (ohne Last) im Stromnetz mit. Die Turbinen sind entweder abgekuppelt oder laufen entleert mit.

3.3.4 Schwarzstartfähigkeit

Für den Fall des Zusammenbruchs des Energieversorgungsnetzes sind Übertragungsnetzbetreiber verpflichtet, die Systemdienstleistung Schwarzstartfähigkeit vorzuhalten. Schwarzstartfähigkeit beschreibt die Eigenschaft ausgewählter Kraftwerke, ohne jegliche externe Energieversorgung aus abgeschaltetem Zustand heraus hochfahren zu können. Neben Pumpspeicherkraftwerken sind Gas- und Druckluftkraftwerke für den Schwarzstart geeignet. Wasserkraftwerke und damit auch Pumpspeicherkraftwerke weisen gegenüber Gaskraftwerken als Erzeugungseinheiten für den Schwarzstart eine

höhere Sicherheit auf, da sie nicht auf die externe Versorgung durch einen Generator oder Akkumulator angewiesen sind. Da in Deutschland nur ein Druckluftkraftwerk existiert, spielen Druckluftkraftwerke hier für den Schwarzstart keine wichtige Rolle.

Neben der reinen Schwarzstartfähigkeit ist die flexible Regelbarkeit des Kraftwerks nach dem Schwarzstart eminent wichtig, da die Vorhersage der Last gerade in der Anfangsphase des Zuschaltens erster Teilnetze extrem schwierig ist und sich Lastschwankungen erst mit zunehmender Größe des wiederaufgebauten Netzes ausgleichen.

3.3.5 Derzeitige und zukünftige Hauptaufgaben von Pumpspeicherkraftwerken

Der gegenwärtig und zukünftig stark zunehmende Anteil erneuerbarer Energien an der Gesamtstromerzeugung soll zu einem Großteil durch Windkraftanlagen und Photovoltaik realisiert werden. Da die Einspeisung beider Erzeugungsarten naturgemäß starken Fluktuationen unterliegt, wird die Bedeutung von Pumpspeicherkraftwerken für die Lastglättung und Bereitstellung von Regelleistung zukünftig weiter steigen. Damit verschiebt sich der Hauptaufgabenbereich der Pumpspeicherkraftwerke zunehmend von der ursprünglichen Aufgabe der Gewährleistung des Lastausgleichs (Tag-Nacht) zum Schwerpunkt der kurz- bis mittelfristigen Frequenz- und Spannungsregulierung. Damit verbunden sind längere Betriebsphasen in Teillast sowie häufigeres An- und Abfahren der Maschinen.

Pumpspeicherkraftwerke können erforderliche Abregelungen von erneuerbaren Energien verringern (bei Überangebot im Netz) und die gespeicherte Energie wieder in das Energiesystem einspeichern. Damit kann ein signifikanter Anteil von Erzeugung aus erneuerbaren Quellen zusätzlich verwendet werden. Durch Pumpspeicherkraftwerke kann die durch thermische Kraftwerke vorzuhaltende sichere Leistung reduziert und der Lastgang von verbleibenden thermischen Kraftwerken vergleichmässigt werden.

Bedeutung und Hauptaufgaben von Pumpspeicherkraftwerken für das Stromnetz

- Lastausgleich im Stromnetz (Wälzbetrieb)
- Bereitstellung von Regelenergie
- Blindleistungsregelung (Phasenschieberbetrieb)
- Schwarzstartfähigkeit nach Netzausfall
- Kurze Reaktionszeit für alle Einsatzbereiche

3.4 Kenngrößen von Pumpspeicherkraftwerken

Pumpspeicherkraftwerke können sekundenschnell ihre Energie zur Verfügung stellen und sind als Stunden-, Tagesspeicher und ggf. Wochenspeicher einsetzbar. Für mehrwöchige Windflauten oder jahreszeiten-übergreifende Speicherung sind sie eher nicht geeignet. Für den Betrieb von Pumpspeicherkraftwerken sind folgende Größen von Bedeutung:

- a) wie schnell steht die gespeicherte Energie zur Verfügung
- b) welche Leistung kann zur Verfügung gestellt werden
- c) wie lange reicht die gespeicherte potentielle Energie

3.4.1 Wie schnell steht die gespeicherte Energie eines Pumpspeicherkraftwerks zur Verfügung

Pumpspeicherkraftwerke zeichnen sich dadurch aus, dass sie innerhalb kurzer Zeit ihre Energie zur Verfügung stellen (Anfahrzeit) und zwischen den verschiedenen Betriebsarten schnell wechseln können (Umschaltzeit).

Die Dauer der Anfahr- bzw. Umschaltzeit hängt vom Typ des Maschinensatzes, den hydraulischen Gegebenheiten und vom vorangegangenen Betrieb des Pumpspeicherkraftwerks ab. In **Tabelle 2** sind typische Zeiten für moderne Pumpspeicherkraftwerke dargestellt.

	Stillstand bis Turbinenbetrieb in [s]	Pumpbetrieb bis Turbinenbetrieb in [s]	Stillstand bis Pumpbetrieb in [s]	Turbinen- bis Pumpbetrieb in [s]
3-Maschinensatz	80 - 110	50 – 70	90 - 120	50 - 70
2-Maschinensatz	60 - 100	90 – 120	160 - 240	500 – 600 *

* Eigenangabe Tractebel Hydroprojekt

Tabelle 2: Typische Umschalt- / Anfahrzeiten für Pumpspeicherkraftwerke

3.4.2 Welche Leistung kann zur Verfügung gestellt werden

Das Arbeitsvermögen bzw. die gespeicherte Energie (E [in kW/h]) eines Pumpspeicherkraftwerkes berechnet sich aus der potentiellen Energie des im Oberbecken gespeicherten Wassers zu

$$E = m \cdot g \cdot H_n \cdot \eta$$

m : Masse des im Oberbecken gespeicherten Wassers

g : Erdbeschleunigung ($g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$)

H_n : nutzbare Fallhöhe

η : Anlagen-Wirkungsgrad eines Pumpspeicherkraftwerks im Turbinenbetrieb

Die Leistung (P [in W]) hängt von folgenden physikalischen Größen ab:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot Q \cdot g \cdot H_n = E / t$$

ρ : Dichte der durch die Pumpspeicherkraftwerks-Druckleitungen transportierten Flüssigkeit (in der Regel Wasser).

H_n : Zur Energieerzeugung nutzbare Nettofallhöhe

Die Fallhöhe H_n basiert auf der vorhandenen Rohfallhöhe, wird aber durch die in den Triebwasserleitungen auftretende Reibungs- und Krümmungsverluste verringert.

Q : Durchfluss durch die Turbine

t: Zeit

η : Anlagen-Wirkungsgrad eines Pumpspeicherkraftwerks im Turbinenbetrieb

Aus vielerlei Gründen, u. a. seiner allgemeine Verfügbarkeit, wird als Speichermedium Wasser verwendet. Reines Wasser hat eine Dichte von ca. 1 kg/l bzw. 1.000 kg/m³.

Aufgrund unvermeidbarer hydraulischer Energieverluste zwischen Ein- und Auslaufbauwerk sowie bei der Umwandlung der Energie in Turbine, Generator und im Transformator ist die im Turbinenbetrieb erzeugte Energiemenge eines Pumpspeicherkraftwerks immer kleiner als die absolut zur Verfügung stehende potentielle Energie. Bei modernen Anlagen wird ein Gesamtwirkungsgrad von 0,8 bis 0,9 erreicht, jeweils im Pump- und im Turbinenbetrieb.

Der Wälzwirkungsgrad als ein Maß dafür, wie viel Strom aus einem kW aus dem Netz bezogenen Strom nach Zwischenspeicherung wieder ins Netz abgegeben werden kann, liegt bei modernen Anlagen im Bereich von 0,75 bis über 0,8.

Der Durchfluss Q gibt an, wieviel m³ Wasser (Volumen) pro Zeiteinheit durch die Turbine laufen. Q steht aber auch noch für das Verhältnis der Pendelwassermenge (V_P) zwischen Ober- und Unterbecken zur maximalen Turbinenvolllast-Betriebszeit (T).

$$Q = V_P / T \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Nach dem Volumen der Pendelwassermenge richtet sich die Größe (Abmessungen) der benötigten Speicherbecken.

3.4.3 Gespeicherte Energiemenge

Die maximal zur Verfügung stehende (gespeicherte) Energiemenge ergibt sich als Produkt der beiden Größen Leistung (P) und Turbinenvolllast-Betriebszeit (T).

$$E = P \cdot T \quad [\text{kWh}]$$

Sie kann auch berechnet werden aus der Masse des gespeicherten Wassers, der Fallhöhe, der Erdbeschleunigung und dem Pump-/Turbinenwirkungsgrad zu:

$$E = V \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \mu$$

mit:

E: Energiemenge [kWh]

V: gespeichertes Wasservolumen [m³]

ρ : Dichte des Wassers [kg/m³]

g: Erdbeschleunigung [m/s²]

h: Fallhöhe [m]

μ Turbinenwirkungsgrad

3.5 Bauliche Anlagen und elektromechanische Ausrüstung

3.5.1 Bautechnik

Die wesentlichen bautechnischen Anlagen eines Pumpspeicherkraftwerkes bilden die Absperrbauwerke des Ober- und des Unterbeckens und die Verbindungsleitung zwischen Ober- und Unterbecken, auch Wasserweg genannt, sowie die erforderlichen Bauwerke zur Anordnung der elektromechanischen Ausrüstung des Kraftwerkes.

Die Speicherbecken können durch den Aufstau eines Gewässers (Talsperre) oder aber als Becken ohne natürlichen Zufluss gebildet werden. Becken ohne natürliche Zuflüsse werden dabei durch ringförmige Absperrbauwerke (Dämme oder Staumauern) umschlossen. Vorzugsweise wird versucht, diese Becken im Massenausgleich anzulegen, d.h. Aushubmaterial für die Eintiefung des Geländes wird zur Aufschüttung von Ringdämmen verwendet. Die Methoden für den Bau der Absperrbauwerke bzw. der Becken entstammen dem konventionellen Talsperrenbau.

Durch Ringdämme gebildete Becken, insbesondere Oberbecken, sind meist vollkommen abgedichtet, um zum einen Sickerverluste des energetisch hochwertigen Wassers weitgehend zu vermeiden, zum anderen das Risikopotenzial der hochliegenden Becken zu minimieren.

Die Wahl des Dichtungssystems hängt von Konstruktion des Beckens bzw. des Dammes ab. Als Dichtungssystem kommen Innendichtungen und Oberflächendichtungen (Ton-, Folien- und Asphalt dichtungen) in Frage. Innerhalb der letzten 40 Jahre haben sich insbesondere Asphalt dichtungen als robustes, langlebiges und zuverlässiges Oberflächendichtungssystem bewährt. Damit wurden geringere Verluste erreicht bei geringeren Unterhaltungsaufwendungen im Vergleich zu den früher häufiger eingesetzten Tondichtungen. Asphaltbetondichtungen haben sich als langfristig haltbar erwiesen.

Weitere Gesichtspunkte, die berücksichtigt werden müssen, sind die raschen und häufigen Stauspiegelschwankungen durch den Betrieb. Dies betrifft sowohl die Dichtungen als auch die Absperrbauwerke selbst, die sicher gegen Porenwasserüberdruck ausgebildet sein müssen.



Abbildung 3: Oberbecken des Pumpspeicherkraftwerkes Goldisthal (Becken im Massenausgleich)

Der Wasserweg unterteilt sich in die mit hohem Druck aus dem Oberbecken beaufschlagte oberwasserseitige Triebwasserleitung und die mit geringerem Druck aus dem Unterbecken beaufschlagte unterwasserseitige Triebwasserleitung. Triebwasserwege wurden ursprünglich als übertägige Stahlrohre ausgeführt. Diese müssen in regelmäßigen Abständen mit dem Untergrund fixiert werden, um die auftretenden Kräfte in das Gebirge abzutragen. Sowohl die Stahlleitungen als auch die Widerlager sind dabei der Witterung ausgesetzt, was zu erheblichen Aufwendungen für den Unterhalt (z.B. Korrosionsschutz, Betoninstandsetzung) führt.

Da der Flächenverbrauch und der damit verbundene Eingriff in die Umwelt ein Nachteil für den Neubau von übertägigen Leitungen darstellt und gleichzeitig erhebliche Fortschritte in der untertägigen Vortriebstechnik (u. a. durch die Entwicklung von Tunnelbohrmaschinen (TBM)) erzielt wurden, werden die Triebwasserleitungen bei neuen Anlagen in der Regel unterirdisch erstellt. Für die oberwasserseitigen Druckstollen oder -schächte wird dabei wegen des hohen Innendrucks in der Regel eine Stahlpanzerung vorgesehen, während für die Unterwasserstollen meist eine Betonauskleidung ausreicht. In jüngster Zeit erzielte Fortschritte in der Vertikalbohrtechnik führen dazu, dass bei neuen Anlagen vermehrt vertikale oberwasserseitige Triebwasserleitungen geplant werden. Damit wird die Länge der deutlich teureren stahlgepanzerten Leitungen verkürzt.

Lage und Anordnung des Krafthauses hängen sowohl von den geologischen Verhältnissen als auch von der Konzeption der Gesamtanlage und der gewählten Maschinenteknik ab. Die maschinentechnischen Anlagen werden dabei entweder untertägig in einer Kaverne angeordnet oder in tiefe Schächte am Rand des Unterbeckens eingebaut (Schachtkraftwerk).

Kavernen besitzen den Vorteil, dass damit die Länge des oberwasserseitigen Druckstollens minimiert werden kann – mit entsprechend geringeren Kosten für die Stahlpanzerung. Schachtkraftwerke bieten sich insbesondere bei sehr kurzen Horizontalentfernungen zwischen Ober- und Unterbecken an.

Zusätzlich zu den vorgenannten Hauptbauwerken sind abhängig vom jeweiligen Anlagenkonzept diverse Nebenbauwerke erforderlich (wie z.B. Ein- und Auslaufbauwerk, Zugangs-, Flucht-, Energieableistungsstollen, Trafokaverne, Umspanngebäude, Zugangs- und Betriebswege, Betriebsgebäude etc.).

3.5.2 Maschinenteknik

Die vorliegenden örtlichen Randbedingungen (wie z. B. die mittlere Fallhöhe) sowie die zukünftige Betriebsweise (Ausgleich von Lastschwankungen, Bedarfsschwankungen oder Bereitstellung von Spitzenlastenergie) entscheiden über die Auslegung eines Maschinensatzes. Nachstehend sind die grundsätzlichen Variationsmöglichkeiten für die Auslegung und die Wahl des Hauptmaschinensatzes dargestellt.

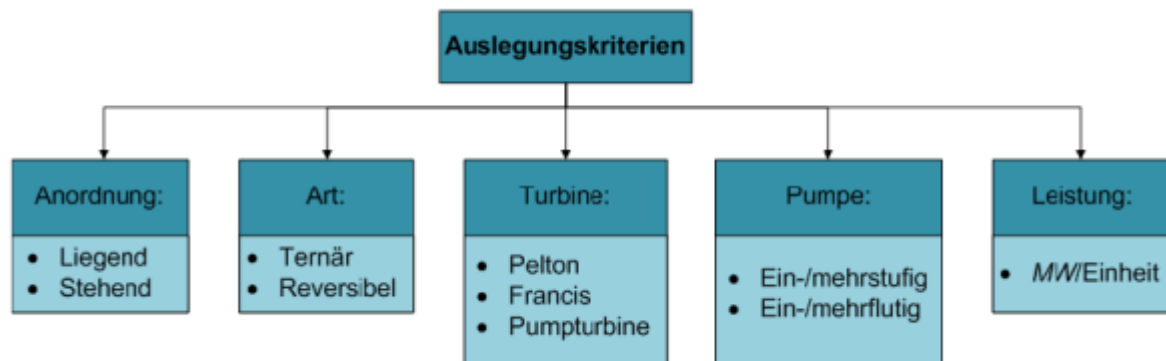


Abbildung 4: Kriterien zur Auslegung der Maschinentechnik

Neben der Hauptmaschine (Pumpe und Turbine) zur Energieumwandlung ist eine Vielzahl von maschinellen Hilfseinrichtungen für den Betrieb des Kraftwerkes erforderlich, wie z.B.

- Regler
- Absperrorgane (Kugelschieber, Drosselklappe, Schütz)
- Entwässerungsanlage
- Druckluftanlage
- Kühlwasserversorgung
- Krane
- Personen- und Lastenaufzug

Art des Maschinensatzes

Die Pumpe hat die Aufgabe durch Änderung des Drucks in den Triebwasserleitungen das Wasser zur Bewegung entgegen der Gravitation in Richtung eines Oberbeckens zu bringen. Sie wird durch einen Motor angetrieben, der elektrische Energie aus dem Stromnetz aufnimmt und in mechanische kinetische Energie (Drehbewegung der Achse des Pumpaggregats über die Zeit) umwandelt.

Die Turbine wandelt die geradlinige Bewegung des durch die Triebwasserleitungen Richtung Unterbecken fallenden/schießenden Wassers in eine Drehbewegung ihrer eigenen Achse um. Sie ist mit einem Generator gekoppelt/verbunden.

Die hydraulische Maschine kann als Pumpturbine oder als ternärer Maschinensatz ausgeführt werden.

Unter **Pumpturbinen** (auch **2-Maschinensatz** genannt) versteht man einen Pumpspeichersatz bestehend aus Motor-Generator und reversibler Pumpturbine (Typ Francis), welche mit einem einzigen Laufrad die Speicherpumpe und Turbine ersetzt. Selten wird zwischen Motor-Generator und Pumpturbine eine Kupplung oder ein Wandler eingesetzt.

Im 2-Maschinensatz wird also die Pumpe und die Turbine in einer Maschine vereinigt.

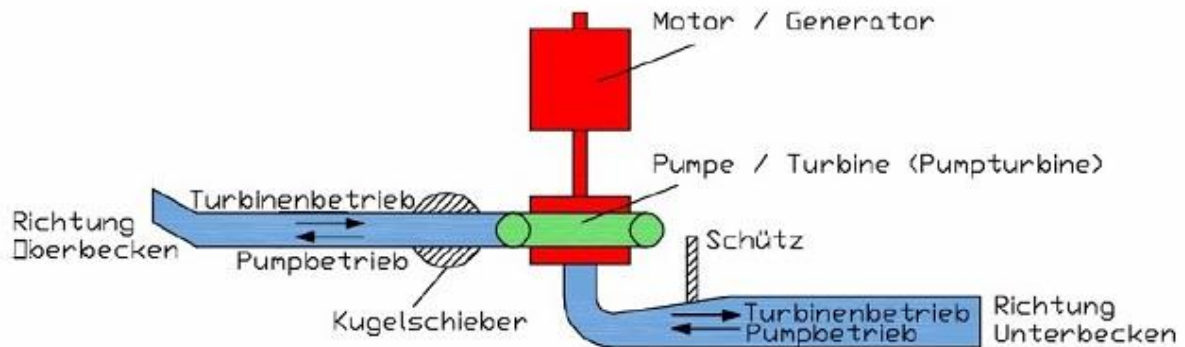


Abbildung 5: Prinzipskizze eines 2-Maschinen-Satzes (reversible Pumpturbinen)

Da der Pumpspeichersatz nur ein Laufrad besitzt, gibt es nur eine einzige Verbindung vom Oberwasser zum Unterwasser. Damit wird nur eine oberwasserseitige Absperrarmatur notwendig. Durch Drehrichtungswechsel kann die Pumpturbine entweder für den Pumpbetrieb, den Turbinenbetrieb oder den Phasenschieberbetrieb (in beiden Drehrichtungen) eingesetzt werden. Die Betriebsart „hydraulischer Kurzschluss“ ist physikalisch nicht möglich.

In den vergangenen 35 Jahren wurden die Pumpspeicherkraftwerke weltweit überwiegend mit Pumpturbinen ausgestattet, ausschließlich mit vertikaler Anordnung. In Japan und China sind praktisch nur Pumpturbinen eingesetzt worden. Mit einer Gesamtförderhöhe von 782 m und einer maximalen Pumpleistung pro Maschine (drehzahlvariabel) von 460 MW setzt das Pumpspeicherkraftwerk Kazunogawa in Japan einen neuen Meilenstein beim Einsatz der einstufigen reversiblen Pumpturbine.

Unter einem **ternären Maschinensatz** (auch **3-Maschinensatz** genannt) versteht man einen Pumpspeichersatz bestehend aus Speicherpumpe, Motor-Generator und Turbine. Dabei wird der Motor-Generator jeweils durch eine Welle einerseits mit der Turbine, andererseits mit der Speicherpumpe verbunden. Manchmal wird zwischen Motor-Generator und Turbine eine Kupplung, und/oder zwischen Motor-Generator und Speicherpumpe ein Wandler eingebaut.

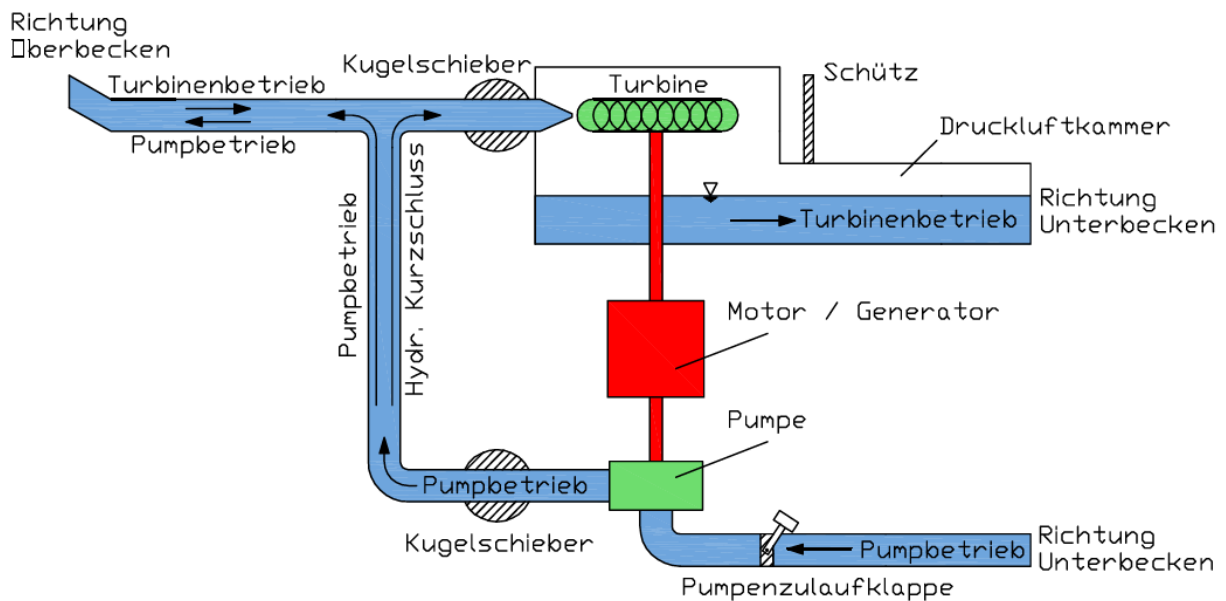


Abbildung 6: Prinzipskizze eines 3-Maschinensatzes (mit vertikaler Welle)

Beim ternären Maschinensatz sind sowohl für die Turbine als auch für die Speicherpumpe jeweils eine Verbindung zur oberwasserseitigen Druckrohrleitung und eine Verbindung zum niederdruckseitigen Wasserweg erforderlich. Die oberwasserseitigen Verbindungen sind mit Absperrarmaturen (meistens Kugelschieber) auszurüsten. Wird die Turbine (Speicherpumpe) starr mit dem Motor-Generator gekoppelt, dreht das Laufrad der Turbine (Speicherpumpe) im Pumpen-(Turbinen-) Betrieb in Luft mit. Ein Druckluftsystem oder eine unterwasserseitige Absperrarmatur sorgt für die Senkung des Wasserspiegels im Saugrohr. Der ternäre Maschinensatz kann für die Betriebsart „Pumpbetrieb“, „Turbinenbetrieb“, „Phasenschieberbetrieb“ oder „hydraulischer Kurzschluss (Pump- und Turbinenbetrieb gleichzeitig)“ eingesetzt werden. Die letzte Betriebsart ermöglicht die Leistungsregelung im Pumpbetrieb, erfordert aber besondere Sorgfalt bei der Konstruktion, um die möglicherweise höhere mechanische Belastung der Maschine sicher zu beherrschen.

Die meisten Pumpspeicherkraftwerke in Europa, die vor 1975 gebaut wurden, sind mit ternären Maschinensätzen konstanter Drehzahl ausgerüstet, mit horizontaler oder vertikaler Anordnung.

Der früher gebräuchliche ternäre Maschinensatz ist auch heute noch wie vor eine Option bei großen Fallhöhen (über 600 m), da für die Turbine eine andere Bauart gewählt werden kann (Pelton-Turbine) als für die Pumpe. Aber auch unabhängig von der Fallhöhe bieten sich folgende Vorteile:

- Auslegung von Pumpen und Turbinen unabhängig voneinander, was höhere Wirkungsgrade ermöglicht
- Effektiver Phasenschieberbetrieb (Entkopplung von Pumpe und Turbine führt zu niedrigeren Reibungsverlusten)
- Sehr kurze Startzeiten (Pumpe und Turbine können mit Wasser gefüllt gestartet werden)
- Verkürzte Betriebswechselzeiten, da Pumpe und Turbine dieselbe Drehrichtung aufweisen
- hydraulischer Kurzschluss kann mit einem Maschinensatz gefahren werden, was eine Lastregelung auch im Pumpbetrieb ermöglicht.

Diesen Vorteilen, die gerade bei zunehmender Bedeutung der Bereitstellung von Regelenergie zur Geltung kommen, stehen allerdings auch einige erhebliche Nachteile im Vergleich zu reversiblen Pumpturbinen gegenüber:

- Deutlich höhere Aufwendungen und Kosten, da
 - Zwei hydraulische Maschinen
 - Zusätzliche Wasserwege mit doppelten Absperrorganen
 - Erhöhte bauliche Aufwendungen, nicht nur wegen der größeren Maschinen und der längeren Wasserwege, sondern auch wegen der höheren Schwingungsbelastung
- Durch die zusätzlichen Wasserwege höhere Strömungsverluste
- Höherer Wartungsaufwand, längere Revisionszeiten

Die Fortschritte in der Entwicklung und Konstruktion von **reversiblen Pumpturbinen** sowie ihre kompakte Bauweise mit entsprechenden Kostenvorteilen gegenüber ternären Maschinensätzen haben dazu geführt, dass heute überwiegend Pumpturbinen zum Einsatz kommen. Ferner sind Pumpturbinen mit Hinblick auf die Betriebskosten günstiger und erfordern einen geringeren Wartungsaufwand als ternäre Maschinensätze (Beck et al. 2011).

Insbesondere **Pumpturbinen mit variabler Drehzahl** (in Verbindung mit Asynchronmotorgeneratoren), wie sie seit etwa zwei Jahrzehnten auf dem Markt sind, haben den Einsatzbereich von Pumpturbinen deutlich erweitert:

- Regulierung der Leistungsaufnahme auch im Pumpbetrieb
- Betrieb bei extremem Fallhöhenverhältnis $H_{\max}/H_{\min} > 1,4$
- Frequenz- und Leistungsregulierung im Pumpbetrieb
- Verbesserte Turbinenwirkungsgrade, insbesondere bei Teillast
- Größerer Leistungsregelbereich auch im Turbinenbetrieb
- Verbessertes Kavitations- und Druckstoßverhalten im Turbinenbetrieb

Pumpen- und Turbinentypen und ihr Einsatzspektrum

Abhängig von den Einsatzbedingungen und den gewünschten Betriebsweisen finden verschiedene Pumpen, Turbinen oder Pumpturbinen in Pumpspeicherkraftwerken Verwendung.

- **Radialpumpen**

Für Pumpspeicheranlage werden hauptsächlich Speicherpumpen mit Radiallaufrad ausgewählt, da die Axialradpumpen nur für kleine Förderhöhen (< 50 m) verwendet werden. Radialpumpen sind ähnlich wie Francis-Turbinen aufgebaut.

Die radialen Speicherpumpen werden abhängig von den hydraulischen Bedingungen einflutig oder mehrflutig sowie einstufig oder mehrstufig ausgeführt. Die Maschinen können sowohl horizontal als auch vertikal installiert werden. Für die Synchronisierung der Pumpen werden Wellenkupplungen oder Wandler verwendet. Mittlerweile werden hauptsächlich hydraulische Wandler eingesetzt.



Abbildung 7: Laufrad einer dreistufigen Radialpumpe

- **Francis-Pumpturbine**

Die Francis-Pumpturbinen sind sehr leistungsfähige Pump- und Turbinen, die auch für größere Fallhöhen (bis etwa 800 m) geeignet sind. Der Wechsel von Pump- zu Turbinenbetrieb erfolgt durch die Änderung der Drehrichtung der Maschine.

Die überwiegende Mehrzahl von Pumpspeicherkraftwerken wurde in den vergangenen Jahrzehnten mit Francis-Pumpturbinen ausgestattet.

Francis-Maschinen können auch nur als Turbinen oder nur als Pumpe eingesetzt werden. Das Laufrad wird dann für die jeweilige Betriebsart entsprechend optimiert.



Abbildung 8: Einfahren des Laufrades einer Francis-Pumpturbine im Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal

- **Pelton turbine**

Pelton turbines werden in Pumpspeicherkraftwerken nur beim 3-Maschinensatz verwendet, pumpen ist physikalisch nicht möglich. Pelton turbines kommen zum Einsatz, wo große und sehr große (> 700 m) Fallhöhen bei vergleichsweise geringen Wassermengen vorkommen. Der Teillastwirkungsgrad beim Peltonrad ist besser als bei anderen Turbinenarten, deshalb eignen sie sich ausgezeichnet für den Regelbetrieb eines Pumpspeicherkraftwerkes, bei dem längere Einsatzzeiten im Teillastbereich gefahren werden.

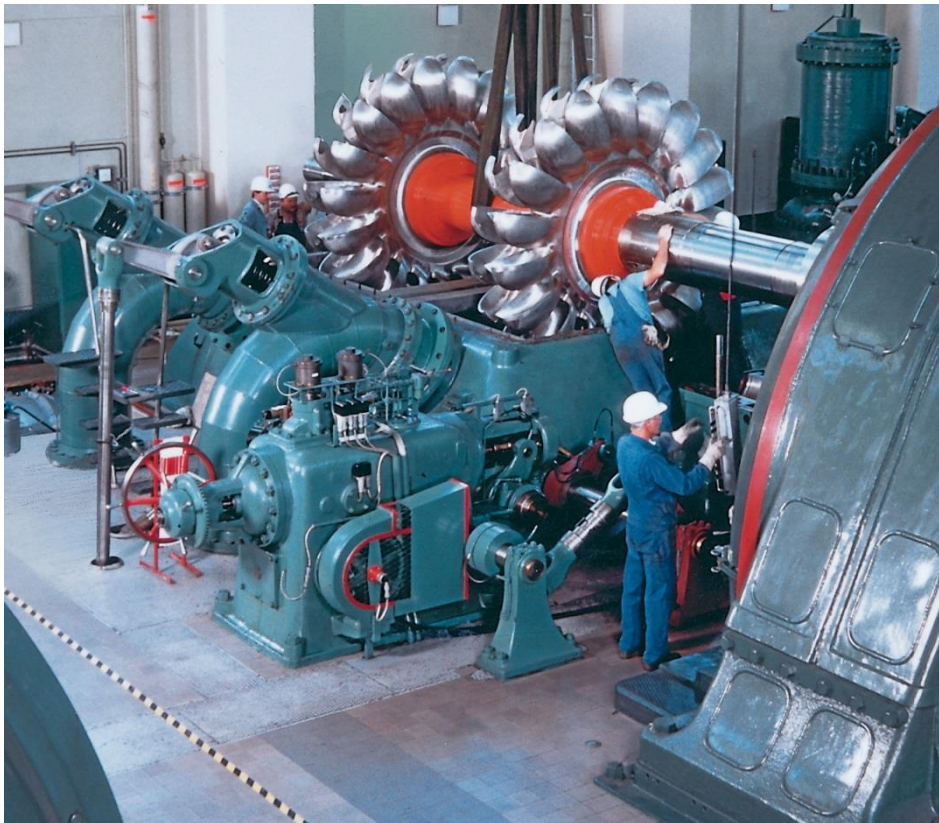


Abbildung 9: Pelton turbine mit zwei Laufblättern im Walchenseekraftwerk

Zusätzlich zu den vorgenannten Turbinen- und Pumpentypen kommen noch folgende Sonderformen in Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen in Frage:

- **Kaplan turbine**

Kaplan turbines sind besonders für kleine Fallhöhen ($H < 80\text{m}$) geeignet. Die Eintrittskanten und Austrittskanten der Kaplan-Pumpturbinen werden umgeformt, um die Strömungsverhältnisse bei Pump- und Turbinenbetrieb optimal zu gewährleisten. Wie normale Kaplan turbines besitzen die Kaplan-Pumpturbinen verstellbare Leitblätter und Laufblätter, wodurch die Wirkungsgrade bei Teillastbereich verhältnismäßig gut verlaufen.

- **Isogyre-Pumpturbine**

Diese Art von Pumpe besitzt eine Pumpe und eine Turbine, die nebeneinander auf einem Wellenstrang montiert sind. Die Turbine und die Pumpe haben im Betrieb die gleiche Drehrichtung. Dies hat zur Folge, dass die Maschine bei Umkehrbetrieb nicht zum Stillstand kommen muss. Dadurch sind die Umschaltzeiten geringer, und es ist möglich die Last von Stromnetz schneller auszugleichen.

Während eines Pumpbetriebes wird der Turbinenraum mit Druckluft entleert, sodass der Widerstand des Turbinenlaufrades geringer ist. Eine Klappe an der Saugseite schützt vor dem Eindringen von Wasser in das Gehäuse. Entsprechend wird der Pumpbereich entleert, wenn die Maschine auf Turbinenbetrieb umgeschaltet wird.

- **Dériazsche-Pumpturbine**

Die Dériazsche-Pumpturbine ist besonders für mittlere Fallhöhen ($30\text{ m} < H < 100\text{ m}$) geeignet. Die Laufschaufeln sind wie bei Francis-Pumpturbinen dicht angeordnet. Andererseits besitzen die Laufschaufeln Ähnlichkeit mit Kaplan turbinen, da diese verstellbar sind. Es wird auf die Leitschaufeln verzichtet, aber dafür sind die Stützschaufeln beweglich, wodurch das Triebwasser gelenkt werden kann. Wegen der Verstellbarkeit von Stützschaufeln und Laufschaufeln kann das Wasser nach Bedarf in die benötigte Richtung geleitet werden, sodass die Dériazsche-Pumpturbine einen relativ guten Wirkungsgrad bei Teillastbereich besitzt.

3.5.3 Elektrische Anlagen

Zu den erforderlichen elektrischen Anlagen eines Krafthauses gehören im Wesentlichen folgende Komponenten:

- Motorgenerator
- Maschinentransformator zur Transformation der Generatorspannung zur Netzspannung (110 kV / 220 kV / 380 kV – Stromnetz)
- Umspannanlage mit:
 - Schaltfeld
 - Überspannungs-Ableiter
 - Leistungsschalter
 - Trennschalter
- Maschinenschaltanlage
- Erdungsanlage
- Eigenbedarfsanlage
- Schwarzstarteinrichtung
- Gleichstromanlagen
- Schaltwarte (autom. Schutz, Fernmelde- und Wirkanlagen)
- Druckluftanlagen
- Kabel
- Licht- und Kraftinstallation
- Prozessleitsystem (Überwachung und Bedienung der Anlagentechnik)
- Kommunikationstechnik und Sicherheitstechnik/Objektschutz

Der Generator wandelt die mechanische kinetische Energie der sich drehenden Turbine (mit Drehmoment M , Drehfrequenz ω , Zeit t) in elektrische Energie (E) um. Das hierbei angewandte physikali-

sche Prinzip ist die elektromagnetische Induktion: Ändert sich der magnetische Fluss (mit der magnetischen Flussdichte B) durch eine durch einen Leiter umschlossene Fläche (F), so entsteht in dem Leiter eine elektrische Spannung (U) (z. B. wenn ein elektrischer Leiter in einem Magnetfeld rotiert wird).

$$E = M \cdot \omega \cdot t$$

$$U = B \cdot F \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

Bei Pumpspeicherkraftwerken fanden bis vor kurzem nahezu ausschließlich Synchron-Motor-Generatoren als vertikale oder horizontale 50 Hz Dreiphasen-Synchronmaschine mit nichtveränderlicher Drehzahl Verwendung, die starr an eine Pumpturbine gekuppelt sind. Im Turbinenbetrieb dient der Synchron-Motor-Generator der Erzeugung von elektrischer Energie, die über einen Maschinentransformator in das Hochspannungsnetz eingespeist wird. Im Pumpbetrieb bezieht der Synchron-Motor-Generator elektrische Leistung aus dem Hochspannungsnetz.

In der letzten Zeit werden jedoch auch verstärkt **drehzahlvariable Maschinen** eingesetzt, um im Pumpbetrieb eine Regelbarkeit der Maschine und damit der Leistungsaufnahme zu erreichen. Elektrisch wird die Regelbarkeit entweder durch doppeltgespeiste Asynchron-Motorgeneratoren oder durch Direktumrichter durch den Einsatz von Leistungselektronik ermöglicht.

Drehzahlvariable Asynchron-Motorgeneratoren wurden im großtechnischen Maßstab in Europa zum ersten Mal im Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal (Inbetriebnahme 2003) eingesetzt. Es wurden dort zwei der insgesamt vier Maschinensätze a 265 MW Leistung drehzahlvariabel gebaut. Durch Veränderung der Drehzahl zwischen 300 und 346 U/min (Synchrodrehzahl 333 U/min) kann eine Regelbarkeit der Maschine im Pumpbetrieb über eine Bandbreite von etwa 100 MW erzielt werden. Drehzahlvariable Asynchronmaschinen wurden zwischenzeitlich mehrfach in Europa verwirklicht. Für das derzeit im Bau befindlich Pumpspeicherkraftwerk Frades II in Portugal ist der Einsatz von zwei drehzahlvariablen Maschinensätzen mit jeweils 380 MW Leistung geplant.

Der größte bisher eingesetzte Direktumrichter befindet sich im Kraftwerk Grimsel 2 der Kraftwerke Oberhasli AG in der Schweiz. Ein bestehender Synchrongenerator aus den 1970iger Jahren wurde dort mit einem Direktumrichter versehen, der im Pumpbetrieb eine variable Drehzahl zwischen 600 und 765 U/min und damit eine regelbare Leistungsaufnahme zwischen 60 und 100 MW ermöglicht. Die Maschine ging 2013 in Betrieb.

4 Geowissenschaftliche Beschreibung

4.1 Allgemeines

Das Bearbeitungsgebiet der vorliegenden Studie mit den drei zurzeit noch aktiven Tagebauen Inden, Hambach und Garzweiler der RWE Power AG liegt in der Niederrheinischen Bucht zwischen den Städten Eschweiler im Westen, Erkelenz im Norden, Bergheim im Osten und Düren im Süden. Alle drei Tagebaue sind Fortsetzungen des Braunkohleabbaus, die über die bereits verfüllten Bereiche von Alttagebauen ausgreifen und somit teilweise unmittelbar daran angrenzen.

Nach Beendigung dieser Tagebaue auf Braunkohle in der Niederrheinischen Bucht, kann das bisherige Prinzip der Verfüllung der Tagebaue mit den Materialien anderer laufender Tagebaue nicht mehr angewandt werden, da die Volumina der abgebauten Kohle nicht mehr für eine komplette Verfüllung der Tagebaue zur Verfügung stehen werden. Daher werden in Zukunft sogenannte Restlöcher im Bereich der Tagebaue verbleiben, die sich durch den nach Ende der Sümpfung einsetzenden Grundwasseranstieg und die zusätzlich geplante Auffüllung durch Fremdwasser aus Rhein und Rur im Laufe der Zeit zu sogenannten Restseen entwickeln werden.

Gemäß der bisherigen Planungen der RWE Power AG in Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden soll die Füllung der Restseen gezielt gesteuert erfolgen, so dass die Standsicherheiten der verbleibenden Tagebauböschungen im gewachsenen und im geschütteten Boden während und nach Beendigung der Auffüllungen jederzeit gewährleistet sein muss. Hierfür sollen u.a. die ehemaligen Abbauböschungen im gewachsenen Boden durch gezielte Vorschüttungen gesichert und so geringere Böschungswinkel in den späteren Restseen hergestellt werden. Zudem soll der ansteigende Seewasserspiegel durch entsprechende Wasserzufuhr und gezielte Sümpfungsmaßnahmen immer höher gehalten werden als der Grundwasserspiegel in den Böschungen, um Strömungspotentiale aus der Böschung heraus in den See zu verhindern.

Die entsprechenden temporären und endgültigen Standsicherheiten der Böschungssysteme sind durch die RWE Power AG gegenüber den Genehmigungsbehörden für alle geplanten drei Restseen und in allen Auffüllungsstadien nachzuweisen und bei der Ausführung zu überwachen.

Die Auffüllung mit Grund- und Fremdwasser der Tagebaurestlöcher wird mehrere Jahre bis Jahrzehnte andauern und die sich dabei einstellenden Seewasserspiegel können mehr oder weniger die ursprünglichen Grundwasserhöhen des geländenächsten (obersten) Grundwasserstockwerkes erlangen, liegen in der Regel aber unterhalb der ursprünglichen Grundwasserstände. Durch diese Vorgänge werden sich die heutigen morphologischen Situationen im Umfeld der Tagebaue und die hydrogeologischen Situationen im Umfeld der Tagebaue aber auch weit darüber hinaus nachhaltig verändern. So werden die durch die Grundwassersümpfung verursachten Bodensenkungen besonders im Umfeld der Tagebaue aber auch in der weiteren Umgebung teilweise wieder rückgängig gemacht und zu weiträumigen Bodenhebungen führen, die allerdings die ursprünglichen Geländehöhen je nach örtlicher Position und den örtlichen Untergrundverhältnissen nicht vollumfänglich wieder erreichen werden. Zurzeit wird davon ausgegangen, dass der Restsee im Tagebaurestloch Inden sich bei einem Höheniveau von ca. 92 mNN einpendeln wird. Für die Restseen in Garzweiler und Hambach wird ein endgültiger Wasserspiegelanstieg auf ca. 65 mNN angenommen.

Während in der Umgebung der ehemaligen Tagebaue die geologischen Verhältnisse sich nicht ändern, stellen die Tagebaukippen, Tagebauhalden und Tagebauschüttkörper sowohl tektonisch als auch petrographisch-strukturell anthropogen erzeugte „Fremdkörper“ innerhalb der geologisch ge-

wachsenen Umgebung dar, die ingenieurgeologisch, bodenmechanisch und auch hydrogeologisch andere Verhältnisse aufweisen als die gewachsenen Böden der Umgebung.

Schüttungen besonders mit diesen Mächtigkeiten unterliegen langanhaltenden Eigensetzungen und reagieren auf seismische Beanspruchungen anders als gewachsene Böden. Die durch den sedimentären d.h. geschichteten Aufbau über Millionen von Jahren entstandenen gewachsenen Böden im Gegensatz zu den Schüttkörpern, die in sehr kurzer Zeit aufgebaut werden.

Die hydrogeologischen Verhältnisse ändern sich komplett durch die von der Tagebausohle bis zum Ursprungsgelände reichenden Schüttkörper, durch die zwischen den ehemals getrennten bis quasigetrenten Grundwasserleitern über die „Grundwasserhemmern“ (bzw. Grundwassergeringleiter) hinweg ein hydraulischer Kurzschluss verbleiben wird, so dass sich zumindest in der unmittelbaren Umgebung der verbleibenden Restseen andere hydraulische und hydrochemische Grundwasserverhältnisse einstellen werden, als sie vor dem Braunkohlenabbau geherrscht haben. Dies wird sich auf die Grundwasserbeschaffenheit, die Grundwasserneubildung, den Grundwasserzufluss und den Grundwasserabfluss auswirken. Mit den Restseen wird ein hohes und dauerhaftes Infiltrationspotential bzw. Grundwasserneubildungspotential geschaffen, das in den Grundwasserleitern bis hinunter zur Abbau-sohle des jeweiligen Tagebaus wie ein sehr großer Injektionsbrunnen wirkt. Trotzdem wird sich ein neues Grundwassergleichgewicht erst nach, vermutlich aber erst weit nach der Auffüllung der Restseen einstellen.

All diese Faktoren sind bei der Untersuchung zu möglichen energetischen Nachnutzungen der Tagebaurestlöcher zu beachten und zu bewerten.

Hierbei sind besonders die potentiellen Lösungen betroffen, die z.B. auf die Nutzung der Restlöcher als Unterbecken mit verbleibenden tiefliegenden Wasserspiegeln abzielen und deren Rohrbahnen daher in oder auf den Tagebaurestböschungen verlaufen bzw. die Kraftwerke darin liegen werden.

Aber auch die Standorte für die potentiellen Oberbecken auf Bergbauhalden der Tagebaue sowie alle Bauwerke in den geschütteten Verfüllbereichen der ehemaligen Tagebaue sind bei einer Konkretisierung geotechnisch gesondert und lokal detailliert zu bewerten.

4.2 Morphologie

Die morphologische Beschreibung „Niederrheinische Bucht“ oder „Niederrheinisches Tiefland“ umfasst die sich an der Erdoberfläche heute zeigende morphologische Struktur dieses Großraumes. Die Niederrheinische Bucht ist ein in die östlich und südwestlich umgebenden Höhenzüge eingebettetes bzw. „eingebuchtetes“ Flach- und Tiefland, das sich nach Nordosten scherenförmig aufweitet.

Demgegenüber ist der unter dieser Quasi-Ebene verborgene geologische Gebirgsaufbau wesentlich vielgestaltiger, als er aufgrund der morphologischen Merkmale zu vermuten wäre.

4.3 Geologische Entwicklung

Die Beschreibung einer detaillierten geologischen Entwicklung der gesamten Niederrheinischen Bucht, in der die zu betrachtenden Tagebaue liegen, würde den Umfang dieser Studie sprengen. Zudem haben viele Erklärungen zu den Ursachen der geologischen Entwicklung dieses Bereiches noch eher einen Modellcharakter. Eine gute Übersicht ist der Veröffentlichung des Geologischen Dienstes „Geologie am Niederrhein“ [4] zu entnehmen, an die sich die weiteren Ausführungen anlehnen. Daneben existieren eine fast unübersehbare Vielzahl von Standardwerken, frei verfügbaren Veröffentlichungen und nicht frei zugänglichen Betriebsunterlagen der RWE Power AG, in denen Einzelaspekte

der geotechnischen, geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse innerhalb der gesamten Niederrheinischen Bucht abgehandelt werden. Im Rahmen dieser Studie können daher soweit erforderlich nur eine Auswahl dieser Veröffentlichungen berücksichtigt werden.

4.3.1 Grundgebirgsdepression

In der Niederrheinischen Bucht besteht eine Grundgebirgsdepression, deren Entstehungsbeginn ins ausgehende Paläozoikum gestellt werden kann. Ursache ist die Nordverschiebung bzw. Norddrift des ehemaligen südwest-nordost streichenden devonischen Sedimentationstrogas auf dem unterlagernden Gebirge. In dieser frühen Phase der variszischen Gebirgsbildung wurde der paläozoische Sedimenttrog auf breiter Front mehr oder weniger Richtung Norden „geschoben“ und dabei langsam eingeeignet, in sich verformt sowie in Falten gelegt. Dabei wird der Beginn der Faltungen bereits im ausgehenden Oberdevon gesehen, da die devonischen Riffe bereits auf Schwellen gewachsen sind.

Hierbei ist unter: „nach Norden geschoben“ die heutige geomagnetische Orientierung zu verstehen, die ggf. nicht der Orientierung zur Faltungszeit entsprochen haben muss. Auch die Beschreibungen zur geodätischen Position dieser Kollisionsfront und der anderen Gebirgsbereiche bezieht sich auf deren heutige Lage in den Koordinatensystemen.

Die Verschiebungstendenz dauert auch heute noch mit der Drift der afrikanischen Platte nach Norden gegen die Eurasiatische Platte an.

4.3.2 Linksrheinisches Schiefergebirge

Die nordwestliche Verschiebungsfrent des Sedimentationstrogas, erreichte ca. zur Karbon-Zeit das London-Brabanter Massiv, das westnordwestlich der heutigen Niederrheinischen Bucht angenommen wird. An diesem als massiv anzunehmenden älteren Gebirgsblock „brandeten“ die Sedimente. Die weitere Nordbewegung des gesamten Sedimentationstrogas verursachte in diesem Bereich des späteren Linksrheinischen Schiefergebirges westlich der Niederrheinischen Bucht mit steigender Verformungsintensität die Entstehung von Falten, Verschuppungen, nordvergentem Faltenbau und mehrerer Überschiebungen, an denen auch ältere, schon kaledonisch deformierte Gesteine auf relativ jüngere aufgeschoben worden sind. Es bildete sich ein Teil des frühen, sogenannten variszischen Gebirges. Dabei hat sich die Verformungsintensität im Bereich des Sedimenttrogas als dynamischer Prozess nicht nur zeitlich entwickelt, sondern auch örtlich. Die Intensität der Verformungen ist im südlicheren Bereich in den variszisch verformten Sedimenten geringer als unmittelbar am Kontakt zum nördlich liegenden Brabanter Massiv.

Weiter nördlich beginnt die Sedimentation auf dieser sich bildenden Grundgebirgsdepression in Teilen der Niederrheinischen Bucht mit den Schichten des Perm. In dieser frühen Phase lagerten sich im Südwesten der Niederrheinischen Bucht später auch die Sedimente der Trias oberflächlich auf dem variszischen Grundgebirge in einer südwest-nordost streichenden Muldenstruktur ab. Dort liegen sie noch heute diskordant und mehr oder weniger sählig auf dem devonischen Grundgebirge, was die Vermutung zulässt, dass seit der Prä-Trias keine wesentlichen Faltungen und keine größeren quasiplastischen Verformungen des Grundgebirges mehr in diesem Bereich stattgefunden haben und die nachfolgenden Verformungen eher bruchtektonischen Charakter hatten. Diese alten, im Südwesten der Niederrheinischen Bucht randlich liegenden Strukturen haben hydrogeologisch auch heute noch weitreichenden Einfluss auf die Niederrheinische Bucht.

4.3.3 Rechtsrheinisches Schiefergebirge

Demgegenüber traten in den mehr oder weniger stratigraphisch zum linksrheinischen Schiefergebirge gleichalten, devonischen und karbonischen Sedimenten im Rechtsrheinischen Schiefergebirge östlich der Niederrheinischen Bucht sowie in den mehr oder weniger mitdriftenden Schollen (Kölner Scholle und Krefelder Scholle) am Ostrand der Niederrheinischen Bucht eher weitspannige Falten und damit eine seichtere Faltung auf, die vermuten lassen, dass in diesem Bereich kein „massiver Block“ die Nordbewegung des Sedimenttroges gehemmt hat und sich der Sedimenttrog mit seinen Gesteinen relativ ungehinderter bei anhaltendem Druck aus südlichen Richtungen weiter nach Norden bis Nord-Nordwesten, entlang der großtektonischen, sogenannten „rheinischen Richtung“ bewegen konnte.

4.3.4 Niederrheinische Bucht

Der gesamte Bereich zwischen den im Südwesten und Osten liegenden Rändern des Rheinischen Schiefergebirges wird als Niederrheinische Bucht bezeichnet, deren Grundgebirgsstrukturen der direkten Beurteilung an der Geländeoberfläche nicht zugänglich sind. Das im Untergrund dieser vermeintlich jungen „Senkungszone“ anstehende Grundgebirge konnte erst durch tiefe Bohrungen und mehrere Steinkohlezechen erkundet werden, da dieser Bereich durch die jüngeren Sedimente bedeckt ist. Die nur punktuellen Aufschlüsse zeigen aber, dass sich unter den im Arbeitsgebiet bis zu 1.300 m mächtigen mesozoischen und känozoischen Sedimenten am Nordostrand der Erft-Scholle der Niederrheinischen Bucht das paläozoische „Grundgebirge“ zwischen dem Links- und dem Rechtsrheinischen Schiefergebirge fortsetzt, wenn auch die Parallelisierung der Faltenstrukturen zwischen Links- und Rechtsrheinischem Schiefergebirge anscheinend weiterhin Schwierigkeiten bereitet.

Modellhaft vorstellbar ist aber, dass in einer frühen Einengungs- bzw. beginnenden Gebirgsbildungsphase, die Sedimente im Ablagerungstrog anfangs noch quasiplastisch verformt werden konnten. Im Bereich der heutigen Niederrheinischen Bucht bildete sich dadurch der östliche „Umfließungsbereich“ um den Brabanter Block. Die Stauchung der Sedimente am Brabanter Massiv auf der Westseite und die mehr oder weniger ungehinderte Norddrift auf der Ostseite führte zu einem Auseinanderdriften bzw. auch Auseinanderreißen und einer damit verbundenen Zerrung des Gebirges in Südwest-Nordost-Richtung zwischen den unterschiedlich driftenden Gebirgsteilen des variszischen Sedimenttroges, so dass sich dieser Zwischenbereich anfangs teigartig auszog, Querrisse als Zugrisse bekam und sich die Niederrheinische Bucht wie es Klostermann [5] beschreibt mit fortschreitender Drift immer weiter „scherenartig öffnete“, wobei sich anscheinend nur der Ostflügel merklich weiter fortbewegte und sich vom Südwestflügel entfernte, der mehr oder weniger stationär an Ort und Stelle verblieb. In dieser nach Nordost gerichteten Zerrung kann auch der Grund gesehen werden, warum die Rur und die Erftscholle im Nordosten stärker einsinken als im Südwesten. Eine Abdrift des linksrheinischen Schiefergebirges nach Westen, wie sie Nickel [12] als Auswirkungen einer „atlantischen Extensionstektonik“ annimmt, ist nicht unbedingt zu erkennen.

Die Auslängung der Trogfüllung vom Umfließungsbereich bis zur weiterdriftenden rechtsrheinischen Schiefergebirge hatte zur Folge, dass sich die Mächtigkeit der variszischen Trogfüllung in dieser Zone auf ihrer Unterlage im Laufe der Zeit relativ verdünnte und die Südwest-Nordost streichenden Falten und Überschiebungsstrukturen mehr oder weniger S-förmig verformt wurden [8]. Dadurch kam es zu einer frühen sich stetig vergrößernden Depression zwischen dem auseinanderdriftenden Links- und Rechtsrheinischen Schiefergebirge, auf der sich jüngere Sedimente ablagern konnten.

Nimmt man als Modell eine noch zusammenhängenden Verschiebungsfront von linksrheinischem und rechtsrheinischem Schiefergebirge und einen West-Ost orientierten Zwischenbereich, ca. 72 km breiten (Aachen-Bensberg) und ca. 6 km mächtigen Gebirgsbereich an, aus dem sich später die Nieder-

rheinische Bucht bildete, so wurde dieser Zwischenbereich entlang der mehr oder weniger gut zu verfolgenden Faltenstränge bis zum heutigen Zustand entlang einer Südwest-Nordost verlaufende Zerrungsachse zwischen Aachen und Duisburg seit dem Auftreffen auf das Brabanter Massiv verformt und in Bruchschollen gelegt. Die ursprüngliche Breite der Zwischenfront von ca. 72 km in West-Ost Richtung wäre bis zum heutigen Zustand auf ca. 90 km in Südwest-Nordost Richtung diagonal ausgelängt worden. Wegen der Erhaltung der Masse müsste das Volumen bzw. der Flächeninhalt der Querschnittsflächen etwa gleich geblieben sein. Damit ergäbe sich durch die Auslängung eine ungefähre Mächtigkeitsreduktion von anfangs 6 km auf ca. 4,8 km im heutigen Zustand, die einer Einsenkttiefe von ca. 1,2 km entspräche und für die Verfüllung durch jüngere Sedimente zur Verfügung gestanden hat. Natürlich ist das nur eine grobe Abschätzung, die aber verblüffend realistische Zahlenwerte im Vergleich zu den vorhandenen tertiären Sedimentmächtigkeiten in der südlichen Niederrheinischen Bucht liefert. Bei der Annahme einer 10 km mächtigen Verschiebungsmasse, die bis in die meisten Hypozentren der registrierten Erdbeben in der Niederrheinischen Bucht herabreichen würde (vorwiegend in Tiefen von 6 km bis 16 km), ergibt sich bei gleichen Randdaten eine Mächtigkeitsreduktion um 2 km, die sich natürlich nicht mathematisch rechteckförmig sondern undulierend ausgebildet hat. Das Modell für die 6 km mächtige Verschiebungsmasse ist in der nachfolgenden Abbildung als Skizze dargestellt.



Abbildung 10: Modell-Skizze zur Verformung des Schiefergebirges im Bereich der Niederrheinischen Bucht und Umgebung (Bewegungszone 6 km Mächtigkeit) (Quelle: [1] und GTB-Aachen 2018)

4.3.5 Bruchtektonik, Bruchschollenbau - Grundgebirge -

In der Phase der Auslängung des Grundgebirges durch südwest-nordost gerichtete Zerrspannungen werden senkrecht dazu verlaufende Querrisse als Zerrfugen entstanden sein (gescherte Pfeile in obiger Abbildung), die auch zentrale und nordöstlich Teile der im Südwesten liegenden Trias-Mulde in die Niederrheinische Bucht absinken ließen. Die ggf. zuerst noch syngenetischen Abschiebungen im heutigen Grundgebirge entwickelten sich nach der entsprechenden diagenetischen Verfestigung der Gesteine im ehemaligen Sedimentationstrog zu Brüchen bzw. sogenannten Sprüngen mit vertikalen und horizontalen Verschiebungskomponenten im Sinne von Scherrissen. Die in mehreren Steinkohlezechen nachgewiesenen horizontalen bis schräg einfallenden Harnische auf Störungsflächen machen solche Scherbewegungen wahrscheinlich, auch wenn bisher überwiegend nur vertikale Tektonik vermutet wird.

Die „Oberfläche“ des „Umfließungsbereiches“ wird anfangs wellig und stufig beschaffen gewesen sein und die entstandenen größeren Bruchfugen dürften die ersten Schollenränder der heutigen Großschollen in der Niederrheinischen Bucht vorgezeichnet haben.

Auch Nickel [12] geht davon aus, dass im Tertiär variszisch angelegte Strukturen reaktiviert und känozoische Strukturen neu angelegt wurden. Nickel [12] beschreibt, dass in Zerrungsrichtung SW-NE besonders der variszisch angelegten Aachener Überschiebung eine besondere Rolle zukommen würde. Da es sich hierbei um eine linksrheinisch, rechtsrheinisch als auch im Untergrund der niederrheinischen Bucht verlaufene paläozoische Auf- bis Überschiebung handelt, deren Suturfläche nach Südosten einfällt, wäre eine Relativverschiebung der Hangendschichten nach Nordosten parallel zum Streichen der Aachener Überschiebung auf dieser Überschiebungsfläche denkbar. Allerdings könnte diese Verformung nur die südlichen Bereiche auf der Aachener Überschiebung mit den hangenden Schichten betreffen, nicht aber die die nördlich „unter“ der Aachener Überschiebung liegenden Bereiche, die aber auch tektonisch in SW-NE Richtung ausgelängt worden sind. Teilbewegungen an der alten Überschiebungsfläche sind natürlich denkbar. Jedoch scheint diese mehr oder weniger variszisch eingefaltete Überschiebung in keiner Weise mehr aktiv zu sein, da in deren Verlauf keinerlei auffällige seismische Aktivität erkennbar ist.

Bei den jüngeren Verformungen haben die einzelnen Schollen unterschiedliche Formen erhalten und je nach tektonischer Position auch unterschiedliche Genesen durchlaufen, in denen die Entstehung und Verformung der Erft-, Rur- und Venloer Scholle auf offensichtlich deutlicheren Zerrungen zurückzuführen sind und dadurch auch tiefere Absenkungen erfahren haben als die nordöstlichen Schollen, die nicht so tief absanken und ggf. als „Ausfransungen“ des rechtsrheinischen Schiefergebirgsrandes gesehen werden können.

Die Tendenz zu intensiverem Bruchverhalten dürfte ohnehin in der Nähe des Widerlagers am Brabanter Massiv höher sein als im weiter entfernten „Zugschatten“ am Ostrand der Niederrheinischen Bucht.

Erst die Sedimente der von Norden bis Nordwesten eindringenden Meeresvorstöße sowie die quartären Sedimente haben die Niederrheinische Bucht mehr oder weniger morphologisch eingeebnet bzw. geglättet.

Unter der Annahme, dass die westlichen Schiefergebirgsbereiche zwar weiter komprimiert wurden aber nicht mehr weiter nennenswert im Gegensatz zu den rechtsrheinischen Schiefergebirgsbereichen nach Norden driften konnten, kann die Entstehung einzelner Bruchschollen im Grundgebirge durch weitere Zerr- und Scherbeanspruchungen erklärt werden.

Soweit die Verläufe der Schollenränder der Grundgebirgsschollen bekannt sind, zeigen sie mehr oder weniger synthetische Bruchtreppen bzw. Abschiebungen zum Zentrum der Niederrheinischen Bucht, die sicherlich auch horizontale Verschiebungsanteile aufweisen.

Solche Verschiebungen müssen im Laufe der Zeit nicht konstant weiter erfolgt sein, haben sich aber in ihrer grundsätzlichen Bewegungsform bis heute fortgesetzt. Klostermann (1990 Erläuterungen zur C5102, Seite 37) stellt fest: „Die tektonischen Bewegungen im Mesozoikum und Känozoikum folgen im Wesentlichen den bereits variszisch angelegten Schwächezonen und Verwerfungen.“ und führt noch einzelne Interpretationen für Trias, Jura, Kreide und Tertiär auf, die bei gleichlautender Bewegungstendenz noch gewisse „Ruckelbewegungen“ der Schollen untereinander erkennen lassen.

Die mehrfach für die Entstehung der Niederrheinischen Bucht angenommene Rift-Struktur, also eine tiefreichende Durchtrennung fast der gesamten Kruste als Beginn eines Auseinanderbrechens des Kontinents, bzw. das Vorliegen eines Aulakogens (nicht vollendete und damit beendete Rift-Struktur) muss nicht zwingend vorliegen bzw. angenommen werden.

4.3.6 Bruchtektonik, Bruchschollenbau - Niederrheinische Bucht -

In den auf der variszischen Unterlage aufliegenden Sedimenten pausen sich die Hauptträger der mehr oder weniger synthetisch abtreppenden Grundgebirgsbruchschollen durch. Jedoch zeigen zwischen den synthetisch abtreppenden Grundgebirgsschollen die aufliegenden Sedimente fast durchweg antithetische Bruchtreppen, so dass hier andere Bruchmechanismen als im unterlagernden Grundgebirge im Sinne einer Stockwerkstektonik vermutet werden können.

Da die auflagernden Gesteine im zentralen Bereich der Niederrheinischen Bucht im Arbeitsbereich maximal um die 1.300 m und weiter nordwestlich bis zu 2 km mächtig sein können, die rezent nachgewiesenen Erdbebenherde aber mit 6 bis 18 km [2][3] wesentlich tiefer liegen, liegt die Vermutung nahe, dass die tektonischen Aktivitäten weiterhin aus der Drift des Grundgebirges mit entsprechender Aufweitungstendenz resultieren. Die andauernden Bruchverformungen des variszischen Grundgebirges wirken sich seismisch sekundär im Deckgebirge aus und bewirken eine eigene Verformungscharakteristik.

Hier findet im Deckgebirge auch kein „Schollenkippen“ im eigentlichen Sinne statt, obwohl die älteren, präquartären Schichten schräg lagern. Es findet dagegen eine synsedimentäre asymmetrische Absenkung mit einer stetigen Drehung der Schollen statt, bei der die südwestlichen Schollenränder weniger stark absinken als die nordöstlichen Schollenränder von Rur und Erft-Scholle.

Durch das asymmetrische und synsedimentäre Absinken des Untergrundes erscheinen die markanten Schichtobergrenzen, die ursprünglich horizontal sedimentiert wurden und heute mit ca. 5°-8° geneigt lagern, in den oft wegen der weiten Horizontalerstreckung der Profile stark überhöhten Darstellungen als quasi „gekippt“. Für die Betrachtungen zu den speziellen geologischen Verhältnissen im Bereich der verbleibenden Restseen in den einzelnen Tagebauen müssen daher die Schnitte auf gleiche Maßstäbe für Höhe und Breite reduziert werden, wie es aus der folgenden Abbildung ersichtlich ist.

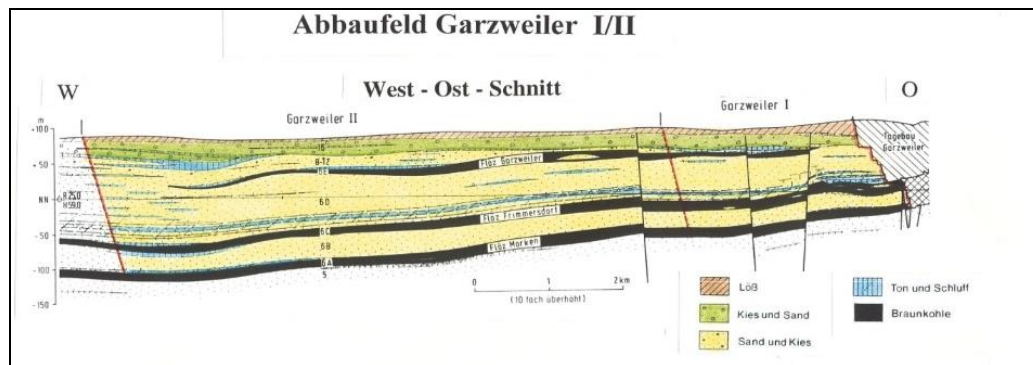


Abbildung 11: Schnittdarstellung West-Ost RWE Power AG Tagebau Garzweiler II (Quelle: RWE-Power AG in Niehaus & Delius-et-al-2011 aus Krupp2015)

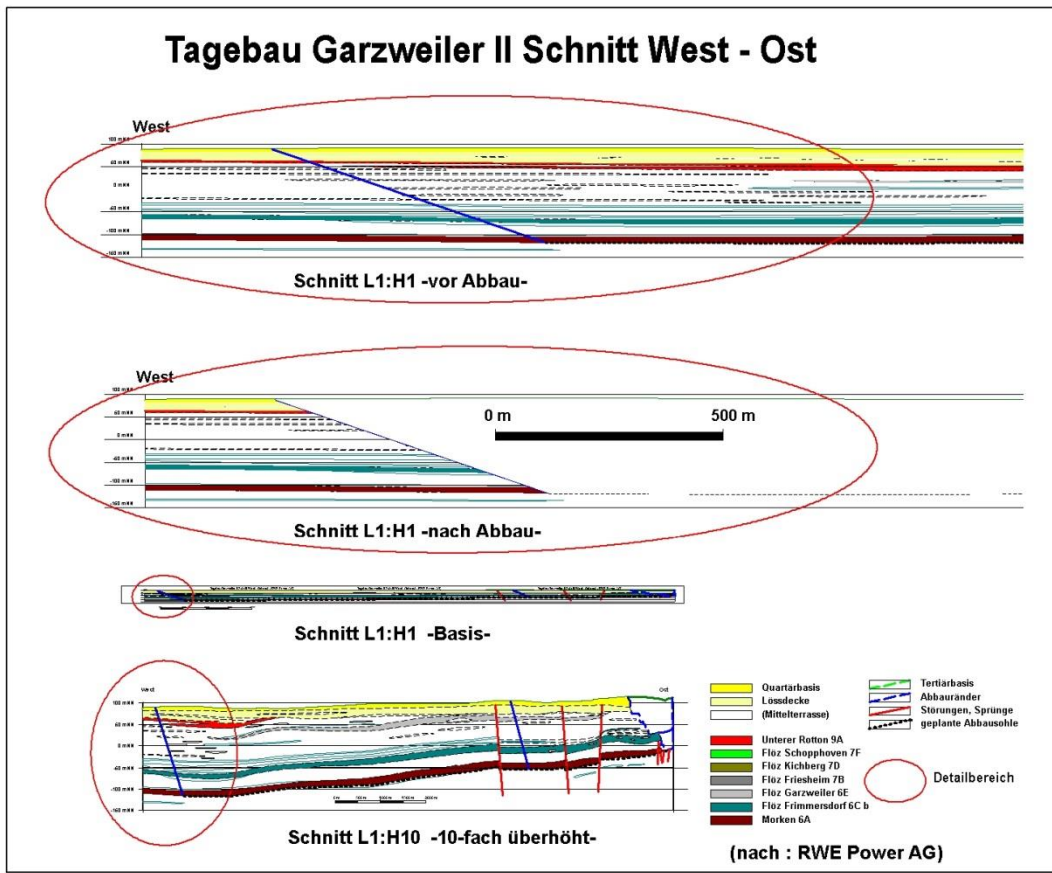


Abbildung 12: Vereinfachte Darstellung Schnitt West-Ost (RWE Power AG) und Höhenreduktion (Quelle: GTB-Aachen nach RWE-Power AG)

Da die Drehung mehr oder wenig stetig bei parallel andauernder Sedimentation stattfand, erreichen die einzelnen Sedimente bzw. Schichten im Nordosten auch höhere Mächtigkeiten als im Südwesten, was bei einer einfachen mechanischen Kippung normalerweise nicht der Fall wäre. Ermöglicht wird diese asymmetrische Absenkung durch die weitere Zerrung der variszischen „Schollen“ in südwest-nordöstlicher Richtung. Die weiterhin nach Nordost gerichtete Zugspannung durch die stete Norddrift des rechtsrheinischen Schiefergebirges bewirkt, dass sich das Grundgebirge unter den jüngeren Schichten nach Nordost öffnet und dabei jeweils Teile der Deckschichten mitnimmt, wobei die verbleibenden „aufsitzenen“ Bereiche in die entstehenden Schwächezonen antithetisch vornehmlich nach Südwesten „eingleiten“ bzw. „nachrutschen“, um das jeweils südwestlich entstandene Massendefizit auszugleichen. Damit dürften die Ausgleichsbewegungen sowohl vertikale als auch horizontale Komponenten haben und an der Basis ggf. auch listrisch (Konkav, krummsäbelförmig) nach Südwesten auslaufen. Das aus den Profilen der Rheinbraun und der heutigen RWE Power AG in unterschiedlichen Veröffentlichungen nach Reduktion der Überhöhungsfaktoren abzulesende Einfallen der Störungen im Deckgebirge liegt überwiegend zwischen ca. 50° bis 65° gegen die Horizontale und ist damit wesentlich flacher als im variszischen Basement, wo das Einfallen der Störungen und Brüche vornehmlich bei 70° bis 85° gHZ liegt ([8], Seite 12, Abb. 2) und nur Überschiebungen und Aufschiebungen ein flacheres Einfallen bei allerdings durchweg um 90° gedrehtem Streichen aufweisen.

Das unterschiedlich steile Einfallen der Störungen und Brüche sowie auch oft die gegenläufigen Einfallrichtungen der Störungen im Grundgebirge und Deckgebirge deuten auf unterschiedliche gebirgsmechanische Ursachen der Störungsentstehungen sowie auf eine Stockwerkstektonik hin.

Die Kölner, Venloer und Krefelder Scholle dagegen erscheinen in diesem System eher als mit dem rechtsrheinischen Schiefergebirge driftende Schollenteile, die nicht so stark zerrissen, bewegt und deformiert worden sind, wie die südwestlichen Rur- und Erft Schollen.

4.3.7 Erdbeben, seismisch aktive Störungen

Das Projektgebiet der drei Tagebaue liegt in den Erdbebenzonen 2 und 3 nach der bautechnisch noch zu beachtenden DIN 4149 sowie im nationalen Anhang zum Eurocode 8 (Intensitäten > 7 nach EMS-Skala).

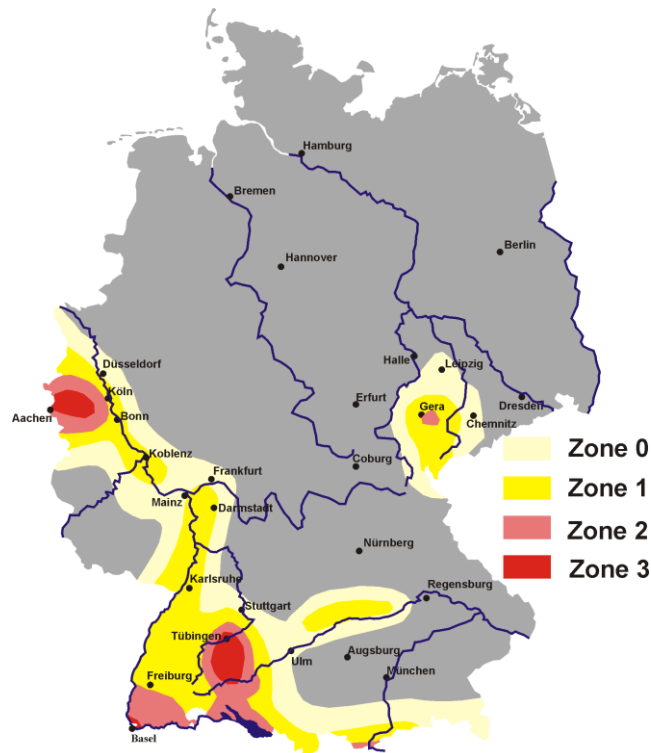


Abbildung 13: Erdbebenzonenkarte für Deutschland nach der bautechnisch noch zu beachtenden DIN 4149 (auch im nationalen Anhang zum Eurocode 8 enthalten)

Die in mehreren veröffentlichten Erdbebenkarten dargestellten Erdbebenherde (Epizentren) liegen zwar oft an den bekannten Hauptstörungen des Grundgebirges aber offensichtlich nicht immer direkt an den Hauptstörungen des Deckgebirges sondern fast überwiegend dazu seitlich versetzt, was vermuten lässt, dass die seismischen Quellen (Hypozentren) vornehmlich an Grundgebirgsstörungen gebunden sind.

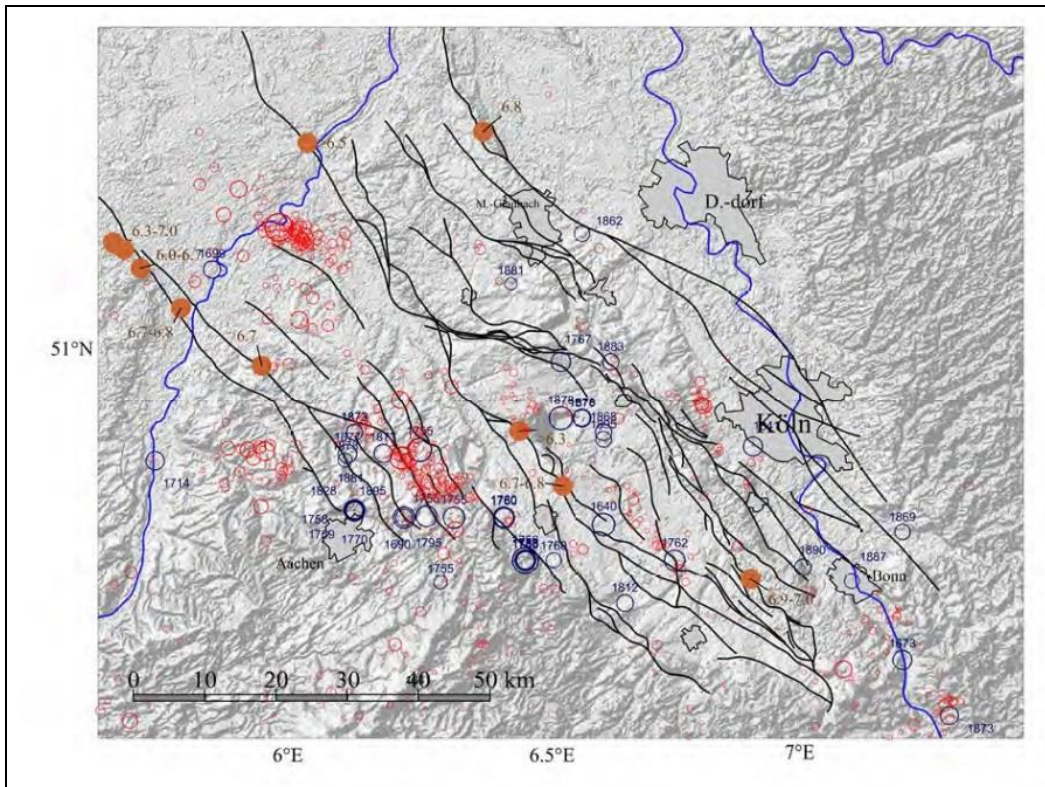


Abbildung 14: Brüche überdeckt mit Erdbeben-Epizentren (1976-2008) Niederrheinische Bucht (Quelle: Abt. Erdbebengeologie, Universität zu Köln 2009 aus MWegener.de)

4.3.8 Junge Bewegungen - Schiefergebirge und Niederrheinische Bucht -

Im Rheinischen Schiefergebirge werden junge Hebungstendenzen gemessen, die auch als „Aufstieg des Rheinischen Schiefergebirges“ bezeichnet werden, die hauptsächlich aber nur dessen linksrheinischen Anteil zu betreffen scheinen.

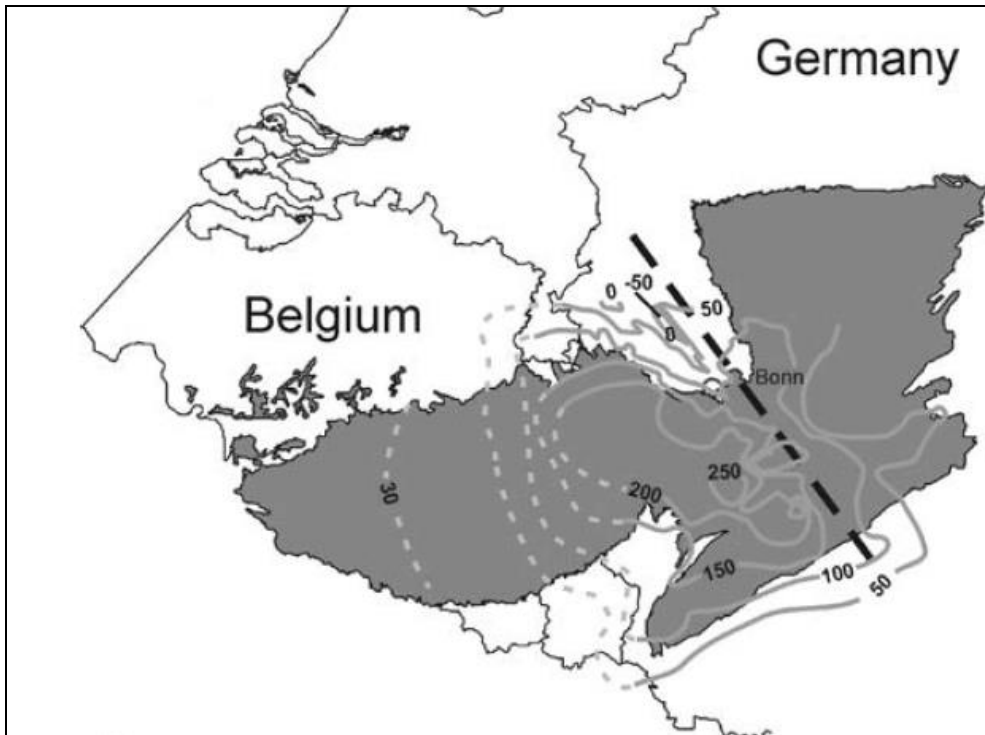


Abbildung 15: Lageplan mit der Verteilung der jungen Hebungen im Rheinischen Schiefergebirge (Quelle: The Cenozoic Lower Rhine Basin – rifting, sedimentation, and cyclic stratigraphy [7])

Diese jungen Hebungen, deren Auswirkung an den orographischen Heraushebungen der älteren Flussterrassen des Rheins gemessen werden, wurden früher als isostatische Ausgleichsbewegungen der oberen Kruste z.B. durch das Abschmelzen der eiszeitlichen Gletscher und die damit verbundene Auflastreduzierung interpretiert oder auf vulkanische bzw. magmatische Prozesse im Sinne einer „Eifel-Plume“ zurückgeführt, können aber auch als weitspannige Aufwölbung bedingt durch den Staudruck des nach Norden driftenden Rheinischen Schiefergebirges am Brabanter Massiv gedeutet werden, da weiterhin ein Deformationsdruck aus südlicher Richtung angenommen werden kann. Ähnliche Überlegungen deutet Salamon [6] an. Ggf. handelt es sich aber auch um eine Kombination mehrerer dieser Faktoren.

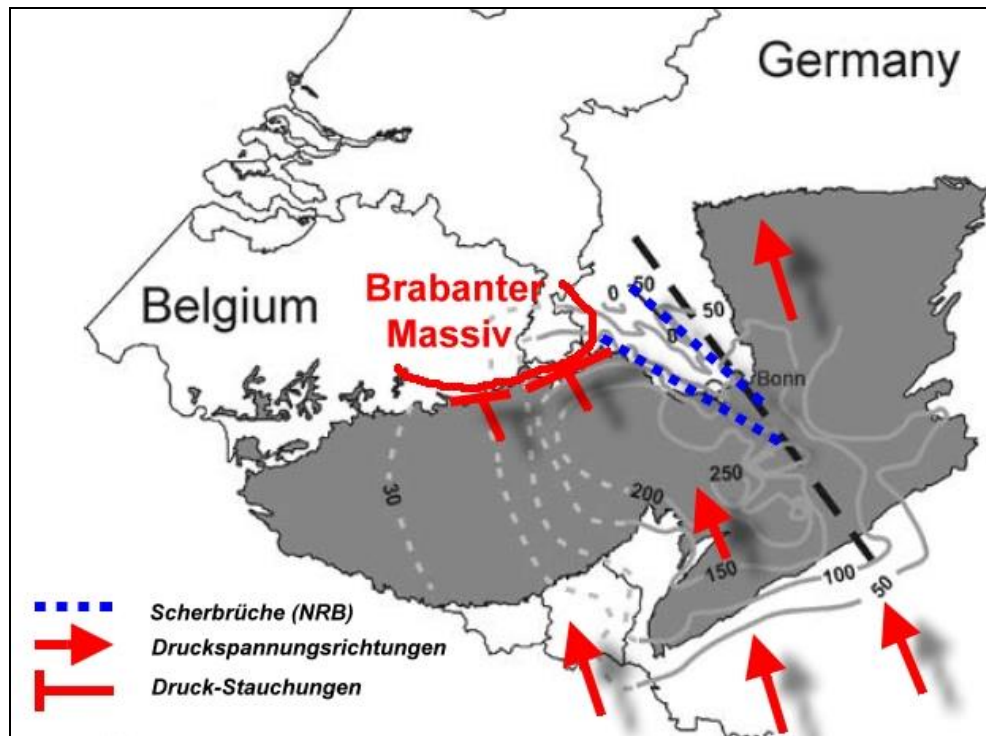


Abbildung 16: Skizze mit angenommenen Hauptspannungen und den Stauchungen am Brabanter Massiv (Quelle: *The Cenozoic Lower Rhine Basin* [7], ergänzt: GTB Aachen)

Die Niederrheinische Bucht sinkt dagegen weiter ab. Die Angaben zu den Absenkungstendenzen in der Niederrheinischen Bucht liegen im Bereich von 1,0 mm/Jahr bis 2,5 mm/Jahr (Zeitraum 1933 bis 1952 [1]). Bereits bei einem Millimeter pro Jahr errechnen sich daraus für die Absenkung seit dem Oligozän ca. 25.000 Meter als Absenkungssumme, was geologisch nicht zu bestätigen ist. Die durch Bohrungen bisher bekannte maximale Absenkung der Oligozän-Basis im Arbeitsgebiet am Ostrand der Erft-Scholle liegt jedoch nur bei ca. 1.300 m und steht damit in deutlichem Gegensatz zu den aus den rezenten Beobachtungen abgeleiteten Absenkgeschwindigkeiten. Da das Absinken der Niederrheinischen Bucht über die Zeit sicherlich nicht mathematisch stetig andauerte, stellen die gemessenen Werte wohl nur einen momentanen Absenkungszustand dar. Aus der Rückrechnung der Absenktiefe der Oligozän-Basis zur heutigen Geländeoberfläche in der Niederrheinischen Bucht ergibt sich demgegenüber lediglich nur ein Mittelwert für die Absenkung von ca. 0,064 mm/Jahr.

4.4 Geologisch-stratigraphischer Schichtaufbau in der Niederrheinischen Bucht

Aufgrund der tektonischen Geschichte der Niederrheinischen Bucht kamen unterschiedliche Sedimente entweder zur Ablagerung oder wurden wieder erodiert. Insofern kann man für den heute zu beobachtenden Schichtaufbau eine Dreiteilung für die Niederrheinische Bucht vornehmen.

Von den jüngeren zu den älteren Schicht-Blöcken hin sind dies:

- Deckgebirge (Quartäre und tertiäre Schichten)
- Zwischengebirge (mesozoische und spätpaläozoische Schichten)

- Grundgebirge (Paläozoische Schichten bis zum Karbon)

Während Grundgebirge und Deckgebirge die Niederrheinische Bucht flächendeckend erfüllen, beschränken sich die Vorkommen der hauptsächlich mesozoischen Schichten des Zwischengebirges auf örtliche Sedimentationsreste zwischen Grund- und Deckgebirge. Zum Teil sind die paläozoischen und variszisch verformten Schichten an Ort und Stelle überschüttet worden (Trias Mulde auf Devon) und zum anderen Teil handelt es sich um verbliebene Erosionsreste ehemals weiter ausgedehnter Ablagerungen, wobei beide Formen besonders in hydrogeologischer Hinsicht eine Rolle für den Grundwasserhaushalt der Niederrheinischen Bucht spielen können.

Da die tertiären Schichten im Umfeld der Tagebaue und der südlichen Niederrheinischen Bucht eine relativ geringe Fossilführung aufweisen, war die stratigraphische Zuordnung der unterschiedlichen Schichtglieder in der Vergangenheit kaum möglich.

Zur Orientierung wurde die heute noch mit kleinen Änderungen gebräuchliche „schematische Übersicht des Schichtenaufbaus“ nach Schneider & Thiele ([9], Seite 24) für die Niederrheinische Bucht erstellt, in der die einzelnen Schichtglieder unabhängig von ihrer eindeutigen stratigraphischen Zuordnung, ihrem lokalen Vorkommen und ihrer konkordanten bzw. diskordanten Abfolge pragmatisch einfach durchnummeriert wurden. Es handelt sich um eine technische Übersicht, die vorwiegend nach petrographischen Gesichtspunkten erstellt worden ist. Ihre heute gültige Form ist in der DIN 21919-3 Seite 3 [10] geregelt worden.

Insgesamt stellt diese technische Übersicht eine Zusammenstellung aller bekannten, im Bereich der Niederrheinischen Bucht vorkommenden Schichtglieder dar.

Je nach örtlicher tektonischer und sedimentärer Genese können einzelne Schichtglieder oder auch ganze Schichtpakete nicht zur Ablagerung gekommen oder später wieder erodiert worden sein. So weisen die zu betrachtenden Tagebaue jeweils aufgrund tektonischer Ursachen unterschiedliche Schichtabfolgen und damit auch unterschiedliche geologische Profile auf.

Tabelle 1 – Niederrheinische Bucht

System	Chrono-stratigraphische Gliederung		Litho-Formation	Flöz, Bank, Lage	Kennzahl			
	Serie	Stufe						
Quartär	Holozän	Flandern	anthropogene Aufschüttungen und Bodenbildung		20			
			Auenterrassen		19A			
	Pleistozän	Weichsel Saale Elster Cromer Bavel Menap Waal Eburon Tegelen Prätegelen	Niederterrassen ^a	Ältere und Jüngere Niederterrassen		19		
				Mittelterrassen ^b	Untere und Mittlere Mittelterrassen		18	
			Hauptterrassen ^b		Obere Mittelterrasse		17	
				Jüngere Hauptterrassen		16		
				Ältere	15			
					14			
					13	← Tegelen-Ton		
				12	Hauptterrassen			
			Tertiär	Pliozän	Piacenza	Reuver-Schichten	Oberer Reuver-Ton (C)	11E
							Oberer Reuver-Sand	11D
	Mittlerer Reuver-Ton (B)	11C						
	Mittlerer Reuver-Sand	11B						
Unterer Reuver-Ton (A)	11A							
Unterer Reuver-Sand	10							
Zancla	Rotton-Schichten	Oberer Rotton			9C			
		Liblar-Sand			9B			
		Flöz Bergheim						
		Unterer Rotton			9A			
Messina	Hauptkies-Schichten			8				
Miozän	Tortona	Inden-Schichten (mit Hauptflözgruppe)		Flöz Schophoven	7F			
				Schophoven-Sand	7E			
				Flöz Kirchberg	7D			
				Kirchberg-Sand	7C			
				Flöz Friesheim	7B			
				Friesheim-Sand/Fischbach-Ton	7A			
	Serravalle	Ville-Schichten (mit Hauptflözgruppe)		Flöz Garzweiler	6E			
				Neurath-Flöz Frimmersdorf b	6D			
				Sand	6Cb			
				Hauptflöz Fl. Frimmersdorf a	6C			
				6Ca				
				Frimmersdorf-Sand	6B			
Burdigal	Köln-Schichten	Morken-Sand		5D				
		Flöz Morken II		5C				
		5B						
		Flöz Kerpen		5A				
		5A						
		Kerpen-Sand	4C					
		4B						
		4A						
		Ton 3/Unterflöz I	3					
		Frechen-Sand	2					
Oligozän	Chatt	Grafenberg-Schichten (mit Unterflözgruppe)	Ton 1/Unterflöz II	1				
			Weiden-Sand	09				
			Ton 08/Unterflöz III	08				
			Bornheim-Sand	07				
			Ton 06B/Unterflöz IV	06B				
			Fortuna-Sand	06A				
			Ton 05B/Unterflöz V	05B				
			Garsdorf-Sand	05A				
			04B					
			04A					
			Lintfort-Schichten	04A				
			Ratings-Schichten	03				
			Walsum-Schichten	02				
			Eozän		Ratheim-Schichten	01D		
Schichtlücke								
Paläozän	Thanet Dan	Antweiler-Schichten	01C					
		Hückelhoven-Schichten	01B					
		Houthem-Schichten	01A					

^a teilweise mit Hochflutauflagerung
^b teilweise mit Lößauflagerung und Bodenbildung
^c nur örtlich ausgebildet

Abbildung 17: DIN 21919-3: Bergmännisches Risswerk-Stratigraphie (Quelle: DIN 21919-3: Bergmännisches Risswerk-Stratigraphie Niederrheinische Bucht [10])

Die für die vorliegende Studie interessierenden Gebirgsbereiche vom Quartär bis zur Schicht 6 A (Flöz Morken) werden von mehreren petrographischen Einheiten aufgebaut:

- Die quartären Bereiche werden hauptsächlich von den sogenannten Terrassenkiesen aufgebaut, die aus sandigem, teils schluffigem Kies in mitteldichter bis dichter Lagerung aufbauen.
- Als äolisches Sediment kam im Quartär eiszeitlicher Löß der aus Feinsand bis Grobschluff besteht in unterschiedlichen Mächtigkeiten zur Ablagerung und in Oberflächennähe verlehmt sein kann.
- In die Terrassenkiese können Schluffe oder tonige Schichten eingelagert sein, die in steifer oder halbfester Konsistenz vorliegen und lokal grundwasserhemmend sind.
- In den sandigen Schichten überwiegend enggestuften Fein- und bis Mittelsande in mitteldichter bis dichter Lagerung, in die einzelne Kieslagen eingeschaltet sein können. Die sandigen Schichten können als sogenannte Braunkohlensande auch organische Beimengungen führen. Die Sande sind grundwasserleitend und bilden im ungestörten Zustand im Arbeitsgebiet mehrere ausgedehnte Grundwasserstockwerke. Die Grundwasserhältnisse haben sich durch den Braunkohleabbau weitreichend verändert.
- Die tonigen Schichten bestehen aus reinen Tonen mit unterschiedlichen feinsandigen und schluffigen Beimengungen und liegen in steifer bis halbfester Konsistenz vor und sind grundwasserhemmend.
- In unterschiedlicher vertikaler Mächtigkeit und unterschiedlicher horizontaler Verbreitung treten mehrere Braunkohlen-Flöze auf, die in unterschiedlichen Reifegraden vorliegen. Die Braunkohlen sind grundwasserhemmend.

4.5 Fazielle Schichtenwicklung in der Niederrheinischen Bucht

Aufgrund mehrerer Meerestransgressionen und Meeresregressionen sowie tektonischer Ereignisse sind einzelne Schichtglieder insbesondere Braunkohlen lokal nicht zur Ablagerung gekommen. Dafür wurden dann andere Sedimente, vorwiegend zu den Braunkohlen zeitgleiche Sande, Schluffe und Tone abgelagert.

Diese Fazies-Unterschiede sind besonders in Südost - Nordwest Richtung ausgeprägt, können aber auch quer dazu besonders in den unterschiedlichen Schollen der Niederrheinischen Bucht auftreten.

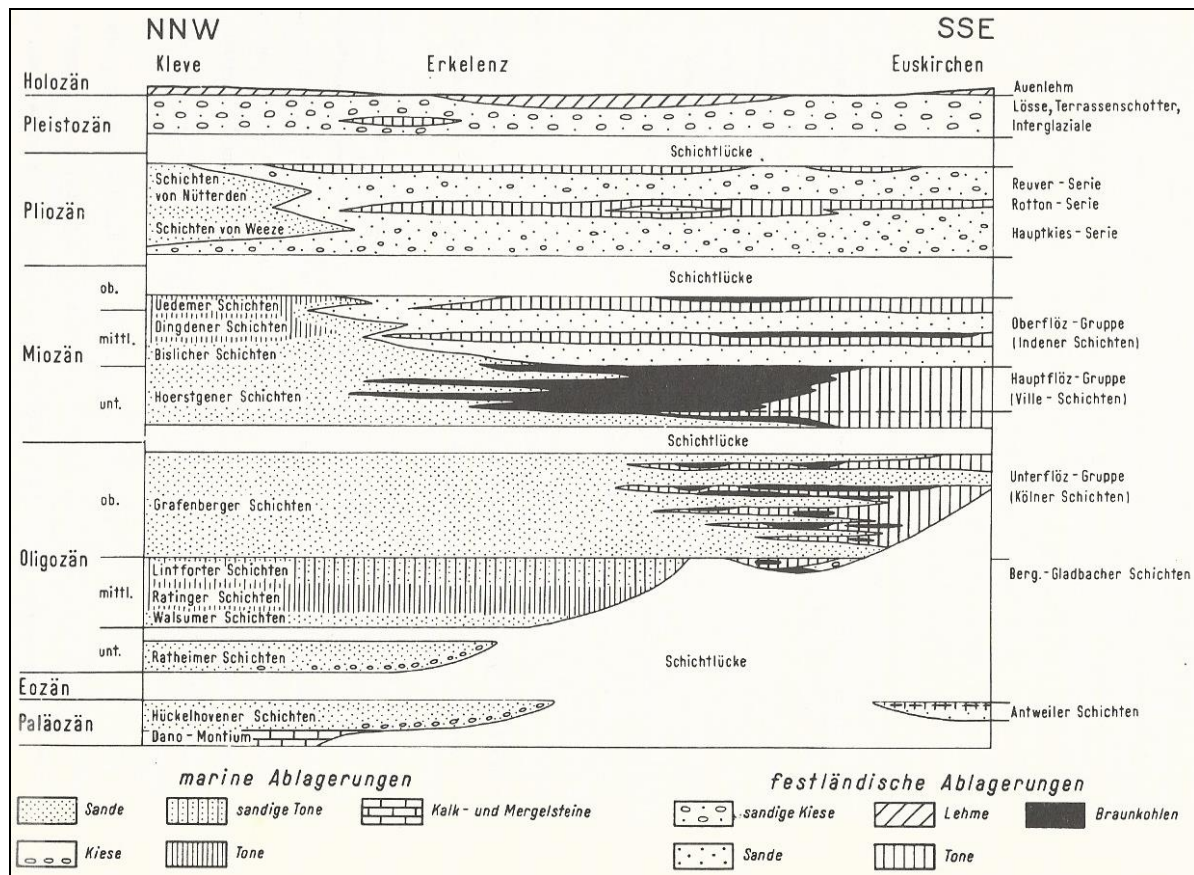


Abbildung 18: Fazielle Schichtausbildung in einem NNW – SSE Modell durch die Niederrheinische Bucht (Quelle: Quitzow 1971, in Stork [11]: Hydrogeologie und Grundwasserabsenkung im Ertfgebiet 1977)

Neben den angeführten Schichtbezeichnungen gibt es noch eine Vielzahl älterer oder lokal verwendeter Schichtbezeichnungen sowie auch noch weitere Darstellungen der faziellen Verhältnisse in der Niederrheinischen Bucht, die sich aber nur in kleineren Details von der vorstehenden übersichtlichen Darstellung der faziellen Schichtausbildung unterscheiden.

Leicht zu erkennen ist in der Darstellung, dass von Norden her immer wieder Meeresüberflutungen mit der Ablagerung von vorwiegend sandigen Sedimenten stattfanden, wogegen von Süden her eher klastische Gesteine vom Festland mit Kiesen, Sanden, Schluffen und Tonen sedimentiert wurden und sich im Kontaktbereich von Meeres- und festländischen Sedimenten Moore mit Torfen bildeten, die sich zu Braunkohlen in unterschiedlichen Inkohlungsstadien entwickelten.

4.6 Geologische Positionen der Tagebaue in der Niederrheinischen Bucht

Die derzeit noch im Betrieb befindlichen, tiefen Tagebaue Inden, Garzweiler und Hambach reichen maximal bis in die Ville-Schichten des mittleren Miozäns.

Tagebau Inden:

Das Sohlniveau im Tagebau Inden in der Rur-Scholle folgt dem Flöz Frimmersdorf b (6Cb), wobei die darüber liegenden Flöze Frimmersdorf, Garzweiler, Friesheim, Kirchberg und Schophoven jeweils als eigenständige Schichten ausgebildet sind.

Unmittelbar östlich des Tagebaus Inden verlaufen der Pier-Sprung bzw. der Rurrand-Sprung, die vom Geologischen Dienst NRW als seismisch aktiv gekennzeichnet sind. Daneben treten auch mehrere Störungen innerhalb des Tagebau Bereiches auf.

Tagebau Hambach:

Das Sohlniveau des Tagebaus Hambach auf der Erft-Scholle folgt dem Flöz Frimmerdorf a (6Ca) und reicht partiell auch bis zum Flöz Morken I (6a), wobei die darüber liegenden Flöze Garzweiler, Frimmersdorf b und a zusammenhängend als quasi eine Schicht ausgebildet sind.

Unmittelbar westlich des Tagebaus Hambach sowie den äußersten südwestlichen Rand des geplanten Restsees tangierend, verlaufen der östliche und der westliche Ast des Rurrand-Ost-Sprungs, die beide vom Geologischen Dienst NRW als seismisch aktiv gekennzeichnet sind. Der Werhahn und der Etzweiler Sprung queren den Tagebau Hambach zentral von Nordwest nach Südost und sind vom Geologischen Dienst NRW nördlich des Tagebaus als seismisch aktiv gekennzeichnet worden. Daneben treten auch mehrere Störungen innerhalb des Tagebau Bereiches auf.

Tagebau Garzweiler:

Das Sohlniveau des Tagebaus Garzweiler auf dem Jackerrather Horst folgt dem Flöz Morken I (6a), wobei die darüber liegenden Flöze Frimmersdorf und Garzweiler als getrennte Schichten ausgebildet sind.

Im südlichen Randbereich des Tagebaus Garzweiler II verlaufen der Jackerrather, der Katzemer und der Wegberger Sprung, die vom Geologischen Dienst NRW als seismisch aktiv gekennzeichnet sind. Daneben treten auch mehrere Störungen innerhalb des Tagebau Bereiches auf.

5 Geotechnische Betrachtung

Das Arbeitsgebiet umfasst drei Tagebaurestlöcher und damit auch drei Tagebaurestseen. Hinsichtlich der zu beurteilenden und zu untersuchenden energetischen Folgenutzungen durch Pumpspeicherspeicherwerke sind auch die Betrachtung der zugehörigen Oberbecken sowie die Verläufe der möglichen Rohrbahnen für den Pumpspeicherbetrieb wichtig.

5.1 Allgemeines

Für das gesamte Arbeitsgebiet liegen bei unterschiedlichen Behörden, Verbänden und dem Betreiber des Braunkohlebergbaus (RWE Power AG) eine Vielzahl von geotechnischen sowie auch von geologischen, hydrogeologischen und lagerstättenkundlichen Informationen vor, von denen jedoch nur ein kleiner Teil für das zu bearbeitende Thema innerhalb der vorliegenden Studie berücksichtigt werden konnte.

Aufgrund betriebsinterner Randbedingungen konnte die RWE Power AG nur wenige der bei der RWE Power AG vorhandenen, geotechnischen Informationen freigeben, so dass der größte Teil der nachfolgenden geotechnischen Betrachtungen auf Literatur- und Internetrecherchen aufgebaut werden musste. Da die beteiligten Behörden einen großen Teil ihrer Daten von der RWE Power AG beziehen, konnten auch sie die Daten aus eigentumsrechtlichen Gründen nicht zur Verfügung stellen.

RWE Power konnte selber für die geotechnischen Betrachtungen nur einzelne Daten zu Sumpfungsmengen und wenige übersichtliche Daten für Standsicherheitsbetrachtungen zur Verfügung stellen. Darüber hinaus wurden für die Studie elf Bohrungsdokumentationen (Bohrfahnen) der Rheinbraun

und der RWE Power AG in digitaler Form (*.pdf) übergeben, die jeweils die einzelnen Tagebaue umrunden.

Darüber hinaus existieren von RWE Power AG im Internet noch umfangreiche Publikationsschriften, die jedoch nur beschreibend für die Öffentlichkeitsarbeit gedacht sind.

Sollten einzelne der in dieser Studie untersuchten Varianten weiter verfolgt oder gar geplant werden, so müssen erheblich umfangreichere Daten zur Verfügung gestellt oder es müssen bereits in frühen Vorplanungsphasen neue Untersuchungsprogramme aufgestellt und durchgeführt werden, um verlässlichere geotechnische Kennwerte zu erhalten.

5.2 Schichtaufbau und geotechnische Kennwerte

Der geologische Schichtaufbau wurde schon in der Beschreibung der geotechnischen Verhältnisse dargelegt. Die drei Tagebaue Inden, Hambach und Garzweiler liegen auf unterschiedlichen tektonischen Großschollen der Rur-, Erft- und Venloer Scholle mit dem Jackerrather Horst.

Faziell unterschiedlich aber stratigraphisch gleich ausgeprägt durchteufen alle drei Tagebaue die Lockergesteinsschichten des Miozäns mit den Braunkohleflözen und erreichen bis auf den Tagebau Inden als Basisflöz das Flöz Morken, das aber nicht in allen Tagebauen abbauwürdig angetroffen worden ist. Der Tagebau Inden erfolgt bis zum Flöz Frimmerdorf. Die jeweilige tektonische Lage dieser Flöze bestimmt damit auch die jeweiligen Tagebauteufen, die in Inden ca. 220 m (bis -110 mNN), in Hambach ca. 535 m (bis -440 mNN) und in Garzweiler ca. 215 m (-130 mNN) erreichen. Im Bereich der Restseen werden damit sehr hohe Böschungssysteme nach Beendigung des Braunkohleabbaus in den Restseen verbleiben deren Standsicherheiten wesentliche Voraussetzungen für die möglichen Nutzungen durch Pumpspeicherwerke darstellen.

Die Lockergesteinsschichten des Pliozäns werden von den Tagebauen Inden und Hambach in tektonischer Tieflage vollständig durchörtert während sie im Tagebau Garzweiler in tektonischer Horstlage fehlen bzw. nur in geringerer Mächtigkeit und weniger flächendeckend vorhanden sind. Die quartären Schichten sind in den jeweiligen Tagebauen unterschiedlich stark vertreten, lediglich die Mittelterrasse und die jungeszeitliche Löß-Abdeckung sind an allen drei Standorten in unterschiedlichen Mächtigkeiten ausgebildet.

Neben diesen natürlich abgelagerten und anstehenden geologischen Schichten existieren die anthropogen geschaffenen „Schichten“ in Form von Aufhaldungen (Abraumschüttungen über Geländeoberfläche) und Verfüllkippen (Abraumschüttungen in Bergbauauskofferungen unter Geländeoberfläche).

Lediglich ein angedachter Oberbeckenstandort im Süden (im Meroder Wald) läge in den Festgesteinen der paläozoischen Schichten und deren Verwitterungszone.

5.3 Geotechnische Eigenschaften der anstehenden Böden

Für die energetische Nachnutzung der Restlöcher der noch bestehenden Tagebaue Inden, Hambach und Garzweiler sind die geotechnischen Verhältnisse von der Geländeoberfläche bis zur Abbausohle sowie für einzelne Betrachtungen auch der weitere Bereich bis ca. 50 m unter der Abbausohle interessant.

Besonders Varianten mit tiefliegenden Unterbecken in den Tagebaurestlöchern erfordern die Kenntnis der geotechnischen Kennwerte über das gesamte Schichtprofil sowie auch der Verfüllkippen bis zur Abbausohle.

Alle tiefliegenden Unterbecken erfordern Rohrbahnen sowie Zufahrts- und Versorgungswege, die bei im Abbausohlenbereich liegenden, offenen Unterbecken auf den Böschungen angelegt werden können.

Im Falle von Kavernenlösungen sowohl für überschüttete als auch mit Wasser überdeckten, tiefliegenden Unterbecken müssen auch die Rohrbahnen, Zufahrten und Versorgungswege als dauerhaft begehbare Hohlräume in Form von wasserdichten Stollen, Strecken und Kavernen ausgebildet werden.

Darüber hinaus bestehen gravierende Unterschiede in den geotechnischen Kennwerten von Verfüllkippen und gewachsenem Boden.

Nach den derzeitigen Planungen sollen auch die Seitenböschungen im gewachsenen Boden Vorschüttungen erhalten, die zur Stabilisierung der späteren Unterwasserböschungen für erforderlich gehalten werden. Insofern müssten fast alle Baumaßnahmen in und auf den Böschungen auf Schüttmaterialien erfolgen. Nur Teilbauwerke z.B. Rohrleitungen könnten teilweise bzw. ggf. durchgehend im gewachsenen Boden ausgeführt werden.

Den nachfolgenden Tabellen ist eine sehr grobe Übersicht zu den geotechnischen Kennwerten der natürlich anstehenden Schichten zu entnehmen, wobei die Bergbaubetreibende RWE Power AG über wesentlich erschöpfendere Daten zu den geotechnischen und bodenmechanischen Kennwerte aus den Analysen an sehr vielen Bohrproben und vor Ort-Proben aus der Abbaudokumentation verfügt, die aber leider aus betriebsinternen Gründen nicht zur Verfügung gestellt werden konnten. Daher stammen die Tabellendaten lediglich aus Literaturrecherchen zu Veröffentlichungen aus den letzten 60 Jahren. Zu beachten ist hierbei, dass die Höhe der einzelnen Zeilen in den Tabellen nicht die mittleren Schichtmächtigkeiten darstellen.

PWS-Studie BK-NRW															
Tagebaue: Hambach/ Garzweiler / Inden															
Kennzahl DIN 21919-3 / 2011 Seite 3	Stratigraphie / Faziale Ausbildung	Gesteine (Studie Li / GTB)			Zustand (Erläuterungen: gwel. Karte CS102 S. 39-41 / Düllmann / Giese)		nach DIN 18 196	DIN 18196 + 1055 (alt) (E _s nach Prinz)							Quellen
		Flöz / Bank / Lage / Schichtglied	Inaach: SchneidersThiele 1965 / Stock 1977 / Bohrprofile RWE 2017 / Kartiereinheiten GO 2017)	Konistenz verbal	Lagerungs-dichte verbal	Boden klasse DIN 18126	Reibungs-winkel β°	Kohäsion ic)	(Stiefmodul) E _s (100-300 MN/m ²)	Korn wichte γ	Trocken wichte γ _d	Feucht wichte γ	Saugspann wichte des Bodens γ _w	effektive Wichte des Bodens unter Auftrieb γ _{eff}	
		Böden / Gesteine	Farben	Fazies	-	-	* Grad	kN/m ²	MN/m ²	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³	
20	Anthropogene Aufschüttungen und Bodenbildung	Auffüllung	-	Aufwahrungen / Tagebauverfüllungs kippen	max. steif	locker (max. mitteldicht)	-	-	-	-	-	-	-	-	
19 a	Auenterrassen / Talterrassen	Fein bis Grobkies	-	festländisch (Kwaal)	(-> steif, z.T. organisch)	mitteldicht bis dicht	SI / SW	32,5	0	(50 - 80)		(20)	(22)	(12)	
19	Ältere und Jüngere Niederterrassen	U+FS (Loß / Lehm)	bunt (Loß gelbgrau)	festländisch (Kwaal - Terrassen / aeolisch - Loß)	(steif - halbfest)	-	TL (UL)	27,5 - 22,5	2 - 5	(5 - 30)	27,09	16,07	19,03	Düllmann / RWE 8 Werte	
		S, g (Niederterrasse)	-		mitteldicht bis dicht	SW	32,5	0	(50 - 80)		(20)	(22)	(12)		
18	Untere und Mittlere Mittelterrasse	U+FS (Loß / Lehm)	-	festländisch (Kwaal - Terrassen / aeolisch - Loß)	(steif - halbfest)	-	TL	27,5 - 22,5	2 - 5	(5 - 30)	26,9	16,64	19,6	11	Düllmann / RWE 10 Werte
		G, s	-		dicht	GW	35	0	(> 100)		(22)	(24)	(14)		
17	Obere Mittelterrasse	G, s	-	festländisch (Kwaal - Terrassen / aeolisch - Loß)	-	dicht	GW	35	0	(> 100)		(22)	(24)	(14)	
16	Jüngere Hauptterrasse	U+FS (Loß / Lehm)	Loß gelbgrau		(steif - halbfest)	-	TL (UL)	27,5 - 22,5	2 - 5	(5 - 30)		21		11	
		G, s	bunt	-	dicht	G (Giese)	35	0	(> 100)	26,46		(22)	(24)	(14)	Giese
15	Ältere Hauptterrassen	G, + S, u'-t'	bunt	festländisch (Kwaal - Terrassen / aeolisch - Loß)	-	dicht	TL / SW	35	0	(5 - 30)		21		11	
14		G, s (weiße Quarzkiese)	bunt		-	dicht	GW	35	0	(> 100)		(22)	(24)	(14)	
13		Tegelen Ton	T, u (Pflanzenreste, z.T. inkohlt)		-	(-> steif, z.T. halbfest)	-	TM (TL)	27,5 - 22,5	2 - 5	(5 - 30)	26,56	16,26	19,96	(10)
12		G, s (weiße Quarzkiese)	bunt	festländisch (Kwaal - Terrassen / aeolisch - Loß)	-	dicht - verfestigt Braunesen stein		35	0						
					(-> steif, z.T. halbfest)	dicht	GW	35	0	(> 100)		(22)	(24)	(14)	

Tabelle 3: Übersicht I – geotechnische bzw. bodenmechanische Kennwerte der Quartär Schichten 20-12 (DIN 21919-3 / 2011 Seite 3)

Kennzeichnend für die quartären Schichten, die vor dem Bergbau auch den 1. Hauptgrundwasserleiter bildeten, sind Kiese (GW) der unterschiedlichen Terrassen, die eine gute hydraulische Durchläss-

sigkeit besitzen und zumeist dicht bis mitteldicht gelagert sind. Der Löß (SE-TL) und die Lößlehme (TL-UL) liegen in ihren Körnungen im Grobschluff- und Feinsandbereich und weisen in Oberflächennähe geringe Konsistenzen auf, die zur Tiefe hin deutlich über steife bis zu halbfester Konsistenz ansteigen. Der Tegelentone liegen zumeist in steifer bis halbfester Konsistenz vor.

In Böschungsnähe können die bindigen Schichten randlich derzeit auch überwiegend halbfeste Konsistenz durch die Entwässerung aus der Tagebausümpfung zeigen. Verlässliche Werte liegen in den Analysen von Düllmann vor (Fettdruck). Alle anderen Werte (Blau bzw. in Klammern) sind mehr beschreibende geotechnische Kennwerte aus der Literaturrecherche und aus Analogieschlüssen. In der nachfolgenden Tabelle sind die geotechnischen Übersichtswerte der tertiären Schichten bis zum Flöz Morken dargestellt, das die Sohlschicht bzw. die Unterkante des Braunkohleabbaus in den noch betriebenen Tagebauen darstellt.

PWS-Studie BK-NRW																
Tagebaue: Hambach/ Garzweiler / Inden																
Kennzahl DIN 21919.3 / 2011 Seite 3	Stratigraphie / Fazielle Ausbildung	Gesteine (Studie LI / GTB)			Zustand / Erläuterungen		nach DIN 18 196	DIN 40196 + 1055 (alt) (E, nach Prinz)							Quellen	
		Innach: Schneider/Thiele 1965 / Staak 1977 / Bohrgroße RW 2017 / Kartevorarbeiten GD 2017)	Fäben	Fäber	Konsistenz verbal	Lagerungs dichte verbal		Boden klasse DIN 18126	Reibungs winkel δ	Kohäsion c	(Shearmodul E_s) (100-300 MPa)	Korn wichte γ	Trocken wichte γ_d	Feuchte wichte γ_{sat}		Saugungs wichte des Bodens u
		Böden / Gesteine				* Grad		kN/m ²		kN/m ²		kN/m ²				
11 e	Oberer Reuver Ton (C)	T, u	blau-grün-grau gefeckt		halbfest / fest	TL / TL Giese	27,5	5	(5 - 30)			21		11	Giese	
11 d	Oberer Reuver Sand	S, fg	weiß bis hellgrau		-	dicht SW	35	0	(50 - 80)	26,77		(20)	(22)	(12)		
11 c	Reuverton Mittlerer Reuverton (B)	T, u	blau-grün-grau gefeckt	Reuver Serie / teufelandsch/Ruud	halbfest / fest	TL / TL Giese	27,5	5	(5 - 30)	26,77		21		11		
(11 b)	Mittlerer Reuver Sand	S + G	weiß bis hellgrau		-	dicht SW	35	0	(50 - 80)			(20)	(22)	(12)		
(11 a)	Unterer Reuver Ton (A)	T, u (WF: T / U)	-		halbfest / fest	TL / TL Giese	27,5	5	(5 - 30)			21		11		
10	Unterer Reuver Sand	S + G	weiß bis hellgrau		-	mitteldicht GW	32,5	0	(50 - 80)			(20)	(22)	(12)		
9 c	Oberer Rotton	T, u / BK	-		(Ru) steif-halbfest	TA / Ru: TA (Giese)	17,5	5 - 10	(5 - 15)	26,34		(19,5)		(9,5)	Giese	
9 b	Liblar Sand	FG, fs, u	weiß bis hellgrau	zusätzliche Sedimentationsabfolgen nach BREDDN: Tektonischer Abwärtsruck -> Erhöhung der Erosions- und Reliefenergie -> Schotter und Sande -> alkalische Verfüllung bei tektonischer Ruhe -> Feinsande Schlämme -> weitere Aufküllung -> Tone und / oder Braunkohleabbaubildung -> nächster Tektonischer Ruck	-	dicht SW	35	0				(22)	(24)	(14)		
9 a	Flöz Berghelm	T, u / BK (Berghelm)	-		halbfest / fest / Ru: steif-halbfest	TA / Ru: TM / TA (Giese)	17,5	5 - 10	(5 - 15)	27,2		(19,5)		(9,5)	Giese	
8	Unterer Rotton	S, fg, u, r (WF: S/U/T)	weiß bis hellgrau		-	dicht GW (G) Giese	35	0	(> 100)	26,43		(22)	(24)	(14)		
7 f	Flöz Schophoven	BK (Schophoven)	schwarz		(Ton) halbfest	[BK] + TA Giese	17,5	5 - 10	(5 - 15)	26,64		[BK < 11] / (19,5)		[BK 7] / (9,5)	Giese	
7 e	Schophoven Sand	S, fg (WF: S/U/T/humos)	weiß bis hellgrau		-	dicht SE	35	0	(50-80)			(19)	(21)	(11)		
7 d	Flöz Kirchberg	WF: T,U,BK (Kirchberg)	schwarz		(Ton) halbfest	[BK] + TA Giese	17,5	5 - 10	(5 - 15)	26,42		[BK < 11] / (19,5)		[BK 7] / (9,5)		
7 c	Kirchberg Sand	FS + MS	weiß bis hellgrau		-	dicht SE	35	0	(50-80)			(19)	(21)	(11)		
7 b	Flöz Friesheim	BK (Friesheim) // humose Tone	schwarz		(Ton) halbfest	[BK] + TA Giese	17,5	5 - 10	(5 - 15)	25,75		[BK < 11] / (19,5)		[BK 7] / (9,5)		
7 a	Friesheim Sand / Fischbach Ton	FS + MS	weiß bis hellgrau	zusätzliche Sedimentationsabfolgen nach BREDDN: Tektonischer Abwärtsruck -> Erhöhung der Erosions- und Reliefenergie -> Schotter und Sande -> alkalische Verfüllung bei tektonischer Ruhe -> Feinsande Schlämme -> weitere Aufküllung -> Tone und / oder Braunkohleabbaubildung -> nächster Tektonischer Ruck	Döllmann: Indener Ton / Fischbach Ton: steif	Friesheim Sand dicht	Friesheim Sand TA Fischbach Ton	35	0	(50-80)	25,72	12,57	(19) 18,19	(21)	(11)	Düllmann / RWE 52 Werte
6 e	Flöz Garzweiler	BK (Garzweiler) // humose schluffige Tone	Schwarz		(Ton) halbfest	[BK] + TA	17,5	5 - 10	(5 - 15)			[BK < 11] / (19,5)		[BK 7] / (9,5)	Giese	
6 d	Neurath Sand	FS + MS	weiß bis hellgrau		-	dicht SE	35	0				19	21	11		
6 cb	Flöz Frimmersdorf b	BK, u, fs (Frimmersdorf b)	(schwarz)		(Ton) halbfest	[BK] + TA	17,5	5 - 10	(5 - 15)			[BK < 11] / (19,5)		[BK 7] / (9,5)	Giese	
6 c	Neurath Sand	T // U	-		-	dicht SW	35	0	(50-80)			21	23	13		
6 ca	Flöz Frimmersdorf a	BK, u (Frimmersdorf a)	Schwarz		(Ton) halbfest	[BK] + TA	17,5	5 - 10	(5 - 15)			[BK < 11] / (19,5)		[BK 7] / (9,5)	Giese	
6 b	Frimmersdorf Sand	FS + MS	weiß bis hellgrau		-	dicht SW / (TM) Giese	35	0	(50-80)	26,62		21	23	13		
6 a	Flöz Morken I	BK, u,t (Morken I)	Schwarz		(Ton) halbfest	[BK] + TA	17,5	5 - 10	(5 - 15)			[BK < 11] / (19,5)		[BK 7] / (9,5)		

Tabelle 4: Übersicht II – geotechnische bzw. bodenmechanische Kennwerte der Tertiär Schichten 11d-6a (DIN 21919-3 / 2011 Seite 3)

Die elf von der RWE Power AG zur Verfügung gestellten Bohrprofile lassen erkennen, dass die rolligen Schichten (Sande und Kiese) bis zur Schicht 6 (incl.) ca. 65 % bis 70 % des Schichtprofils stellen. Die bindigen Schichten Tone und Schluffe nehmen ca. 10 bis 25 % und die Braunkohlen ca. 5 % bis 15 % der Schichtmächtigkeiten ein.

PWS-Studie BK-NRW																	
Tagebaue: Hambach/ Garzweiler / Inden																	
Kennzahl DIN 21919-3 / 2011 Seite 3	Stratigraphie / Fazielle Ausbildung	Gesteine (Studie Li / GTB)			Zustand (Erläuterungen geol. Karte CS102 S. 39-41 / Dollmann / Giese)			nach DIN 18196	DIN 18196 + 1055 (alt) (E, nach Prinz)							Quellen	
		Inaach: Schneider&Thiele 1965 / Stoik 1977 / Bohrprofile RWf 2017 / Kartiereinheiten GD 2017)	Konsistenz verbal	Lagerungs-dichte verbal	Boden klasse DIN 18126	Reibungs-winkel ϕ [°]	Kohäsion [c] [kN/m ²]		Steifemodul [E] [100-300 MN/m ²]	Korn gröÙe γ_4	Trocken-wichte γ_d	Feucht-wichte γ_s	Sättigungswichte des Bodens γ_{sat}	effektive Wichte des Bodens unter Auftrieb γ'			
		Böden / Gesteine	Fabes	Fazies			* Grad	kN/m ²	MM/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²			
5 D	Morken Sand	Morken Sand			-	dicht	SE	35	0	(50-80)			19	21	11		
5 C	Flöz Morken II	BK, t (Morken II)	sz		(Ton) halbfest - fest	-	[BK] + TA (TL) Giese	17,5	5 - 10	(5 - 15)	26,57		[BK < 11] / (19,5)		[BK ?] / (9,5)	Giese	
5 B	Morken Sand	FS, ms	weiß bis hellgrau		-	dicht	SE	35	0	(50-80)			19	21	11		
5 A	Flöz Kerpen	BK, FT, t (Kerpen)	sz		(Ton) halbfest - fest	-	[BK] + TA (TL) Giese	17,5	5 - 10	(5 - 15)			[BK < 11] / (19,5)		[BK ?] / (9,5)	Giese	
4 c	Kerpen Sand	FS, ms	grau bis dunkelgrau		-	dicht	SE (Sand) SE GW (Kiesrinne)	35	0	(50-80)			19	21	11	KVL Schneider & Thiele	
4 b																	
4 a																	
3	Ton 3 / Unterflöz 1	T, u + BK (Unterflöz I)	Schwarz		(Ton) halbfest - fest	-	TA [BK]	17,5	5 - 10	(5 - 15)			[BK < 11] / (19,5)		[BK ?] / (9,5)		
2	Frechen Sand	FS, ms	grau bis dunkelgrau		-	dicht	SE	35	0	(50-80)			19	21	11	KVL Schneider & Thiele	
1	Ton 1 / Unterflöz II	T, u + BK (Unterflöz II)	Schwarz		(Ton) halbfest - fest	-	TA [BK]	17,5	5 - 10	(5 - 15)			[BK < 11] / (19,5)		[BK ?] / (9,5)		
09	Weiden Sand	FS, ms	grau bis dunkelgrau		-	dicht	SE	35	0	(50-80)			19	21	11	KVL Schneider & Thiele	
08	Ton 08 / Unterflöz III	T, u + BK (Unterflöz III)	Schwarz		(Ton) halbfest - fest	-	TA [BK]	17,5	5 - 10	(5 - 15)			[BK < 11] / (19,5)		[BK ?] / (9,5)		
07	Bornheim Sand	FS, ms	grau bis dunkelgrau		-	dicht	SE	35	0	(50-80)			19	21	11	KVL Schneider & Thiele	
06 b	Ton 06 B Unterflöz IV	T, u + BK (Unterflöz IV)	Schwarz		(Ton) halbfest - fest	-	TA [BK]	17,5	5 - 10	(5 - 15)			(19,5)		(9,5)		
06 a	Fortuna Sand	FS, ms (marin?)	-		-	dicht	SE	35	0	(50-80)			19	21	11	KVL Schneider & Thiele	
05 b	Ton 05b / Unterflöz V	T, u + BK (Unterflöz V)	grau bis dunkelgrau		(Ton) halbfest - fest	-	TA [BK]	17,5	5 - 10	(5 - 15)			(19,5)		(9,5)		
05 a	Grafenberg Schichten				-	dicht		35	0	(50-80)			19	21	11		
04 B	Garsdorf Schichten	FS, t glaukonitisch	grünlich		-	dicht	SE	35	0	(50-80)			19	21	11		
04 A	Lintfort Schichten		grünlich		-	dicht		35	0	(50-80)			19	21	11		
03	Ratingen Schichten	U + T, fs glaukonitisch	grünlich		(Ton) halbfest - fest	-	TL TM	27,5	5	(5 - 30)			21		11		
02	Walsum Schichten	FS + MS	-		-	dicht	SW	35	0	(50-80)			21	23	13		
01 D	Ratheim Schichten	FS + MS	grau bis dunkelgrau		-	dicht	SE	35	0	(50-80)			19	21	11		
01 C	Antweiler Schichten	-	-		In Norden: lagunär-brackisch / im Süden terrestrisch	Sande (dicht) / Schluffe (halbfest)	Sande (dicht) / Schluffe: fest bis sehr fest	SE	35	0	(50-80)			19	21	11	
01 B	Hückelhoven Schichten	-	-		Mergelsande und Bryozoenriffe im Norden (Hückelhovener Fazies) / Konglomerate im Antweiler Graben im Süden Antweiler Fazies	Sande (dicht) / Schluffe (halbfest)	Sande und Kiese (dicht)	SE/UL	35	0	(50-80)			19	21	11	
01 A	Houtem Schichten	-	-		Mergelsande und Bryozoenriffe im Norden (Hückelhovener Fazies) / Konglomerate im Antweiler Graben im Süden Antweiler Fazies	Festgesteine (Kalksteine) und Sande			45								
	Trias	-	-		Randzufluss in das Tertiarbecken aus der Eifel und aus dem Liegenden der Trias	Festgesteine			45								
	Trias / Festgesteine	-	-			Trias / Festgesteine			45								
	Perm / Festgesteine	-	-		Randzufluss in das Tertiarbecken aus dem Schiefergebirge	Perm / Festgesteine			45								
	Karbon / Devon - Festgesteine	-	-			Karbon / Devon - Festgesteine			45								

Tabelle 5: Übersicht III – geotechnische bzw. bodenmechanische Kennwerte der Tertiär-Schichten 5d - 01 (DIN 21919-3 / 2011 Seite 3)

Hinsichtlich der Standsicherheit der Böschungen sind die Scherfestigkeiten der bindigen Schichten zu beachten; besonders deren Einfallen und deren Entwicklung bei Flutung der Tagebaue. Die Tragfähigkeiten der einzelnen Schichten bzw. der gesamten Schichtpakete sowie die Tragfähigkeit der Verfüllkippen und Vorschüttungen wird von einzelnen Autoren als sehr bedenklich eingestuft, sodass von einigen vorgeschlagen wird, die Restseerandbereiche der Tagebaurestlöcher zwingend durch entsprechende Bebauungspläne von der Bebauung freizuhalten. Dementsprechend muss bei einer Benutzung der Tagebaurestlöcher mit Pumpspeicherwerken mit erheblichen Kosten für die Gründungen z.B. von Rohrbahnen in und auf den Böschungen gerechnet werden.

5.4 Geotechnische Eigenschaften der angeschütteten Böden

Künstliche Auffüllungen bestehen in und in der Umgebung der zurzeit noch in Betrieb befindlichen Tagebaue Inden, Hambach und Garzweiler in Form von Halden (z.B. Sophienhöhe) und Tagebauverfüllungen (z.B. Tagebau Inden I), die im Zuge des weiteren Braunkohleabbaus dem Abbau weiterhin folgen werden. Nach Abschluss des Braunkohleabbaus sollen dann die Seitenböschungen in den verbliebenen natürlich anstehenden Böden durch eine geplante Vorschüttung verflacht und damit zusätzlich gesichert werden.

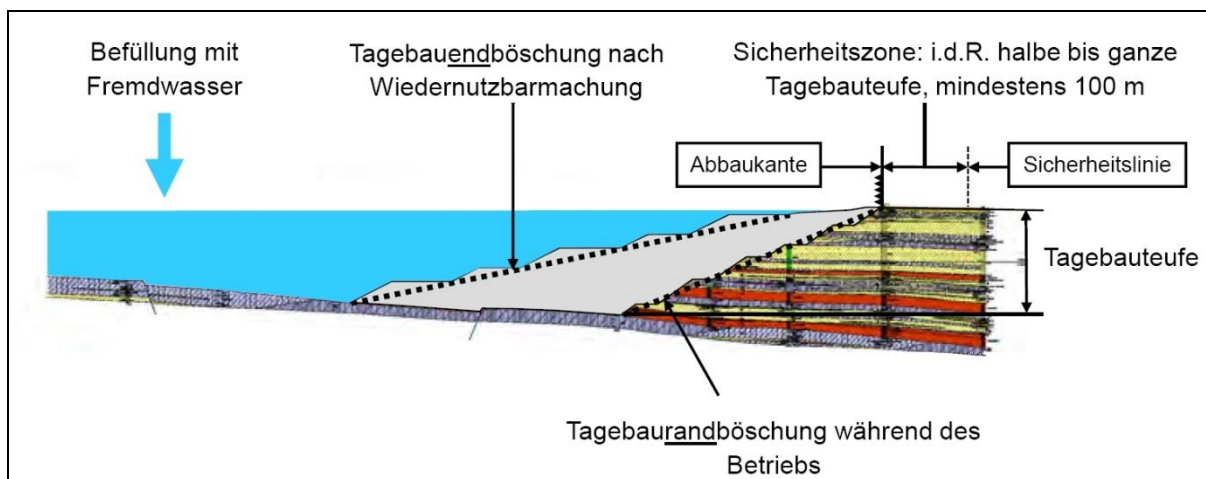


Abbildung 19: Modellvorstellung Vorschüttungen für Seitenböschungen

Verbindliche Beschreibungen dieser gezielt anzulegenden Restsee-Endböschungen liegen noch nicht vor, sind aber wichtig, da ggf. bereits frühzeitige entsprechende Schüttmaterialien vorgehalten werden müssten.

Einige Autoren beschreiben die bisher zum Einsatz kommenden bzw. für die Endarbeiten vorgesehenen Schüttmaterialien wie folgt:

	bindige Bestandteile [%]	Scherfestigkeit	
		π [°]	c[kPa]
Kies	-	38	0
Sand	-	30	0
Mischboden I	< 30	28	10
Mischboden II	> 30	26-12	20
Forstkies	20-60	26-22	8,5

Tab. 1: Kippenmaterial Tab. 1: Dumping material

Abbildung 20: Geotechnische Kennwerte von Kippenmaterial (Quelle: Kippen-Materialien-1996-11-01-Restseen Pierschke + Boehm in Braunkohle Surface Mining Nr.48)

Aus der Literatur ist zu entnehmen, dass bisher bereits eine Vielzahl von Untersuchungen und Berechnungen zur Standsicherheit der Endböschungen von Tagebaurestseen im Rheinischen Revier durchgeführt worden sind und anscheinend weiter durchgeführt werden. Nach derzeitigem Stand hat RWE für die Böschungen der Schüttungen und auch der Vorschüttungen vor den gewachsenen Böden Böschungsneigungen in den Restseen von 1: 5 bis 1:7 geplant. Ein Beispiel für solche Standsicherheitsuntersuchungen bei unterschiedlichen Wasserständen ist der folgenden Abbildung zu entnehmen:

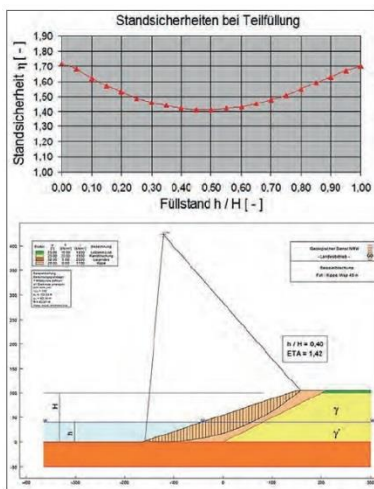


Abbildung 21: Modellhafte Standsicherheitsuntersuchung für unterschiedliche Füllstände (Prg. GGU) (Quelle: Prüfung geotechnischer Aspekte bei der Genehmigung von Restseen GD-Mittmann-Petrie-Buschhüter 2015)

Differenziertere Untersuchungen liegen beispielsweise für den Bereich Schophoven (Tagebau Inden Ostböschung) vor, die ein detailliertes Tableau von geotechnischen Kennwerten voraussetzen und bei der RWE Power AG vorliegen.

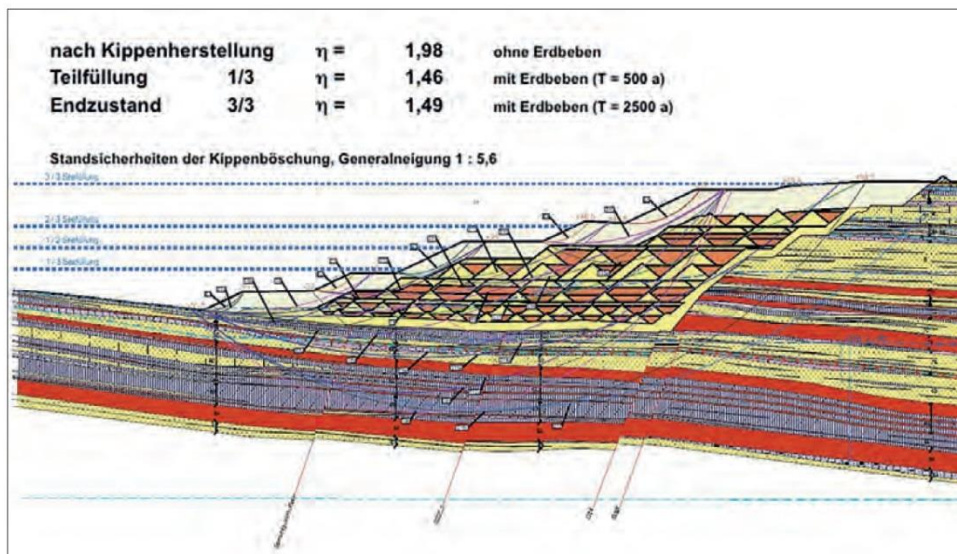


Abbildung 22: Standsicherheitsuntersuchungen Bereich Schophoven Tagebau Inden (Quelle: Prüfung geotechnischer Aspekte bei der Genehmigung von Restseen GD-Mittmann-Petri-Buschhüter 2015)

Für das vorstehende Beispiel wurden im Text Angaben über einzelne geotechnische Parameter der Kippenmaterialien gemacht, die in etwa denen der Angaben in: „Kippen-Materialien-1996-11-01-Restseen Pierschke + Boehm in Braunkohle Surface Mining Nr.48“ entsprechen. Für den als weniger bindig beschriebenen Mischboden 1 (bindige Anteile < 30%) wurden $\phi' = 35^\circ$ und $C' = 0$ kN/m² und für den bindigeren Mischboden 2 (bindige Anteile > 30%) wurden $c_u =$ ca. 42 kPa bis $c_u =$ ca. 182 kPa angesetzt.

Letztendlich aber werden die Schüttmaterialien aus den in der Schlussphase des Bergbaus noch zur Verfügung stehenden Aushubmassen aufgebaut werden.

6 Hydrogeologische Verhältnisse

6.1 Allgemeines

Das Bearbeitungsgebiet der vorliegenden Studie mit den drei zurzeit noch aktiven Tagebauen: Inden, Hambach und Garzweiler umfasst die Bereiche mehrerer Grundgebirgs- und auch Deckgebirgsschollen, die jeweils einen ähnlichen aber nicht identischen Schichtaufbau und damit auch jeweils unterschiedliche hydrogeologische Verhältnisse aufweisen.

6.2 Oberflächliche Niederschlagseinzugsbereiche

Die drei Tagebaue insgesamt liegen in den oberflächlichen Niederschlagseinzugsgebieten von der Rur, die bei Roermond in die Maas entwässert, und von der Erft, die bei Neuss in den Rhein entwässert und damit auch in den entsprechenden Fluß-Systemen.

- Der Westteil des Tagebaus Inden, besonders mit den bereits verfüllten Bereichen im Westen, liegt im oberflächlichen Teil-Einzugsgebiet der Inde, die von Südwest nach Nordost

fließt. Die östliche Seite des Tagebaus Inden liegt direkt im oberflächlichen Einzugsgebiet der Rur.

- Der Westteil des Tagebaus Hambach kann zum Einzugsgebiet der Rur gerechnet werden, wobei zwischen Rur und Tagebau Hambach noch der Ellebach mit einem parallel verlaufenden Mühlbach fließt, der nach Nordwesten hin in die Rur entwässert. Im Norden gehört der Tagebaubereich Hambach in das oberflächliche Einzugsgebiet des Finkelbachs und im Osten zu Escher Fließ, Wiebach und Manheimer Fließ, die zur Erft hin entwässern.
- Der Westteil des Tagebaus Garzweiler II liegt im oberflächlichen Niederschlagseinzugsgebiet der Rur, die hier von Südsüdost nach Nordnordwest fließt. Dieser Bereich wird über den Nysterbach zur Rur entwässert. Der nordwestliche und nördliche Teil des Tagebaus Garzweiler II gehört zum Einzugsgebiet der Niers und wird durch das Kückhover- sowie Kaufhauser-Wockrather Flies zur Niers und damit zur Maas entwässert. Die südöstliche bis östliche Seite des Tagebaus Garzweiler II lag ehemals im Einzugsgebiet der Rur und wird nun von den Verfüllmassen von Garzweiler I begrenzt.

6.3 Versickerung, Grundwasserneubildung

Innerhalb des Untersuchungsgebietes wurden in einer fachübergreifenden Studie des Erftverband die nachfolgend dargestellten mittleren Grundwasserneubildungsraten auf den Teilschollen der Niederrheinischen Bucht rechnerisch ermittelt.

Teilraum	Mittlere Grundwasserneubildung [l/(s*km²)] - Berechnungsverfahren				
	GROWA (EV+6%, BFI2006)	GROWA (DWD)	SCHRÖDER & WYRWICH (EV+1%)	KLIMA/GLADIS (GD_N+4%)	Basisplan III (EV: 1971-1990)
Erftscholle	5,2	5,5	4,8	5,2	5,3
Erftscholle_Nord	6,1	6,5	5,7	6,3	
Erftscholle_Süd	4,5	4,8	4,2	4,4	
Rurscholle	6,1	5,5	5,9	5,8	6,5
Rurscholle_Nord	6,6	5,8	6,5	6,3	
Rurscholle_Süd	4,6	4,6	4,0	4,3	
Venloer Scholle	7,3	6,9	6,7	6,0	7,2
Kölner Scholle	7,1	6,7	6,1	6,2	6,6
Eifel	2,1	3,0			3,2
Niederlande			7,0		

Abbildung 23: Mittlere Grundwasserneubildungsraten (Quelle: Erftverband: *Flächendifferenzierte Ermittlung der Grundwasserneubildung*, Juli 2012)

Hierbei erfolgt die natürliche Versickerung primär in den oberen Grundwasserleiter (quartäre Sande und Kiese) und erst sekundär durch Leckagen oder direkte Stockwerkskontakte (tektonisch oder sedimentär bedingte hydraulische Kurzschlüsse) in die tieferen Grundwasserstockwerke.

Die hydraulischen Kurzschlüsse z.B. an geologischen Störungen haben je nach tektonischer Position nur lokale bis kleinräumige Auswirkungen auf die benachbarten Grundwasserstockwerke, da sie nicht alle Grundwasserstockwerke betreffen. Daher haben die tieferen Grundwasserstockwerke auch erheblich geringere Grundwasserneubildungsraten als das erste, oberflächennahe Grundwasserstockwerk.

In der Umgebung der zurzeit noch aktiven Tagebaue werden sich aber nach der Einstellung der Sümpfungen und Offenlassung der Tagebaurestlöcher über die Restseen hohe Grundwasserneubildungsraten auch in den tieferen Stockwerken einstellen, da die Restlöcher wie Infiltrationsbrunnen wirken werden.

6.4 Grundwasserkörper

Übergeordnet lassen sich die Grundwasserkörper zwei verschiedenen Grundwassersystemen zuordnen, die jeweils voneinander verschiedene hydraulische Eigenschaften haben:

- Kluftgrundwasserleiter des Grundgebirges (Karbon, Devon und älteres Paläozoikum) sowie des Zwischengebirges (Trias) und
- Porengrundwasserleiter des Deckgebirges (Tertiär, Quartär)

Kluftgrundwasser strömt vorwiegend in offenen Spalten der Festgesteine und damit quasi im Zick-Zack durch das Gebirge zur jeweilig nächsten Vorflut. Die Strömungsgesetze von Darcy können für Kluftwasserleiter nur bei hinreichend großen Betrachtungsräumen und nur bei mehr oder weniger deutlicher Durchtrennung des Gebirges mit geöffneten Klüften in statistisch ausreichender Menge angesetzt bzw. modelliert werden. Die Angabe eines k_f -Wertes im Sinne von Darcy ist dafür nicht sinnvoll, so dass hier nur ein K -Wert (statistische Durchlässigkeit, Tensor) angegeben werden kann.

Porengrundwasser strömt in den Poren der Lockergesteine (Kies, Sand etc.) breitflächig und über fast den gesamten Querschnitt des Grundwasserleiters talabwärts. In Porenwasserleitern gelten bei normalem Grundwassergefälle die Strömungsgesetze von Darcy, so dass hier auch k_f -Werte (Durchlässigkeitskoeffizienten) angegeben werden.

Grundwasserleiter

Die in den paläozoischen Gesteinen der Grundwasserbewegung zur Verfügung stehenden Hohlräume überschreiten selten 1,5 % des Gesamtvolumens der Schichten während in den klastischen bis grobklastischen Porenwasserleitern des Deckgebirges je nach Lagerungsdichte bis zu 25 % nutzbares Porenvolumen vorhanden sein können. Dementsprechend unterschiedlich sind auch die durchströmenden bzw. auch die für Grundwasserentnahmen gewinnbaren Grundwasservolumina.

Grundwasserhemmer, Grundwassergeringleiter, Grundwasserstauer

Die Tone, Schluffe und Braunkohlen des Deckgebirges sind dagegen Grundwasserhemmer bis Grundwasserstauer.

Die vielen Störungen im Deckgebirge der Niederrheinischen Bucht nehmen bezüglich der hydraulischen Leitfähigkeit des Gebirges eine Sonderstellung ein. Sie können bei einer Verlehmung durch eingeschleppte Tone und Schluffe infolge tektonisch bedingter Relativbewegungen zu geneigt bis vertikal stehenden Grundwasserbarrieren werden, durch die die Grundwasserleiter entweder seitlich komplett oder zumindest teilweise „abgesperrt“ werden. Wenn aber nur rollige bzw. sandige Schichten gegen sandige Schichten versetzt werden, wird der Grundwasserdurchtritt nicht gestört. Allerdings können dadurch dann auch vorher getrennte Grundwasserstockwerke bzw. Grundwasserkörper durch einen „hydraulischen Kurzschluss“ miteinander in Verbindung treten.

Im Arbeitsgebiet sind beide Störungsformen vorhanden bzw. zu vermuten.

Grundwasserstockwerke, Grundwasserkörper

Der mehrfache Wechsel von Sanden, Tonen und Schluffen sowie Braunkohlen bewirkt im Deckgebirge des Arbeitsgebietes die Ausbildung mehrerer Grundwasserhorizonte bzw. Grundwasserstockwerke, die gemäß der jeweiligen petrographischen und tektonischen Position hydraulisch miteinander in Kontakt stehen oder nicht. Dabei sind die Grundwasserhorizonte nicht unbedingt identisch mit den einzelnen petrographischen Horizonten, da es auch Grundwasserhorizonte gibt, die sich zusammenhängend über mehrere petrographische Schichten als gemeinsame hydraulische Einheit darstellen. Schon seit Beginn der hydrogeologischen Bearbeitung der Niederrheinischen Bucht wurden Modelle

konzipiert, in denen die einzelnen Grundwasserkörper kategorisiert wurden. Breddin hat in den 50'iger Jahren des vorigen Jahrhunderts erste Einstufungen vorgenommen, die bei Stork [11] modifiziert dargestellt wurden.

Geologische Gliederung		Grundwasser-Stockwerke Schneider & Thiele 1965		Symbole Breddin 1951 Stork 1977		Schichtenfolge	
Quartär (q)	Holo-zän	O	20	A		Aufschüttung	
	Pleistozän (Pl)	I	19A	TT		Talterrassen	
			19	NT		Niederterrassen	
			18	UMT		Untere Mittelterrasse	
			17	OMT		Mittl./Obere Mittelterrasse	
			16	Hj		Jüngere Hauptterrasse	
			15	Teg		Tegelen-Schichten	
			14	Hä		Ältere Hauptterrasse	
				J		Jülicher Schichten	
		Tertiär (t)	Pliozän (P)	II	13C		ORv
13B							
13A	Rv				URv	Unterer Reuverton	
12					SkI		
11							
10					SkII		
9C					ORt	Oberer Rotton	
9B	Rt				SkIII		
9A					URt	Unterer Rotton	
III.1	8				HK		Hauptkies-Serie
Miozän (M)	III.2		7F		Scho	Fl. Schophoven	
			7E				
			7D	I _B	Kir	Fl. Kirchberg	
			7C				
			7B	I _A	Frie	Fl. Friesheim	
	IV		6E		Ga	Fl. Garzweiler	
			6D				
			6C				
			6B	H	b	Fl. Frimmersdorf	
			6A		Fr		
V	5						
	4			Ls			
	3						
	2		UI				
	Oligozän (O)		VI.1	1		UII	Kölner Schichten
09							
VI.2			08				
			07		UIII		
VI.3		06					
		05		UIV/V			
VI.4		04		Os	Grafenberger Schichten		
					Lintforter Schichten		
		03		Ra	Ratinger Schichten		
		02		Va	Vallendarer Schichten		
Eozän		01		Rh	Ratheimer Schichten		
Paleo-zän				Hü	Hückelhovener bzw. Antweiler Schichten		
						Ant	

Abbildung 24: Schema der Grundwasserstockwerke in römischen Ziffern [Spalte 3] (in Stork [11]) (Quelle: Stork Hydrogeologie und Grundwasserabsenkung im Ertgebiet 1977 [11])

Aufgrund der stetig neu gewonnenen Aufschlussdaten im Zuge der Lagerstätten erkundung und des Braunkohlenabbaus konnten rechnergestützte Modelle der Grundwasserstockwerke aufgebaut, weiter verfeinert und zuletzt für die großräumige Grundwassermodellierung aufbereitet und vereinfacht werden.

Das derzeit beim LANUV verwendete Grundwassermodell umfasst weiträumig die Bereiche um die drei noch aktiven Tagebaue Inden, Hambach und Garzweiler. Nach Angaben der LANUV Mitarbeiter betreibt die RWE Power AG betriebsintern ein eigenständiges Grundwassermodell.

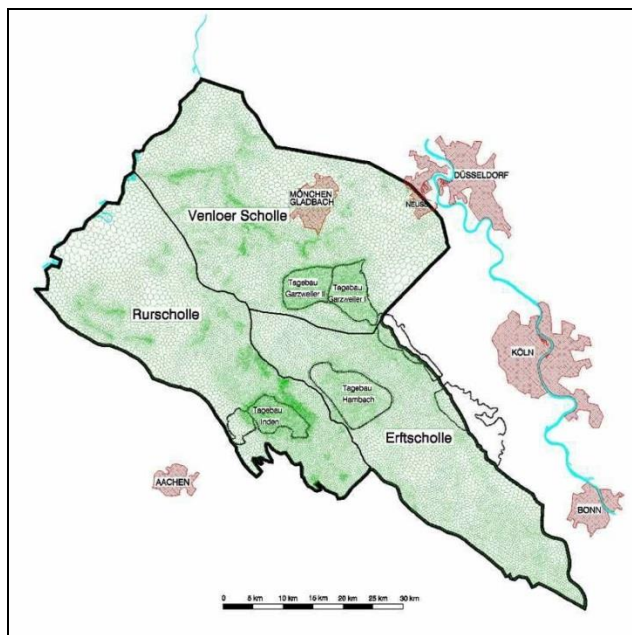


Abbildung 25: Modellbereich des LANUV-Grundwassermodells mit den aktiven Tagebauen (Quelle: Giese 2010 [13])

Das Grundwassermodell basiert auf dem geologischen Modell der Niederrheinischen Bucht, aus dem die Modellschichten nach der nachfolgend dargestellten Zuordnung aus dem zum Modell der RWE Power AG der geologischen Schichten zu den Grundwasserhorizonten oder Grundwasserstockwerken definiert wurden.

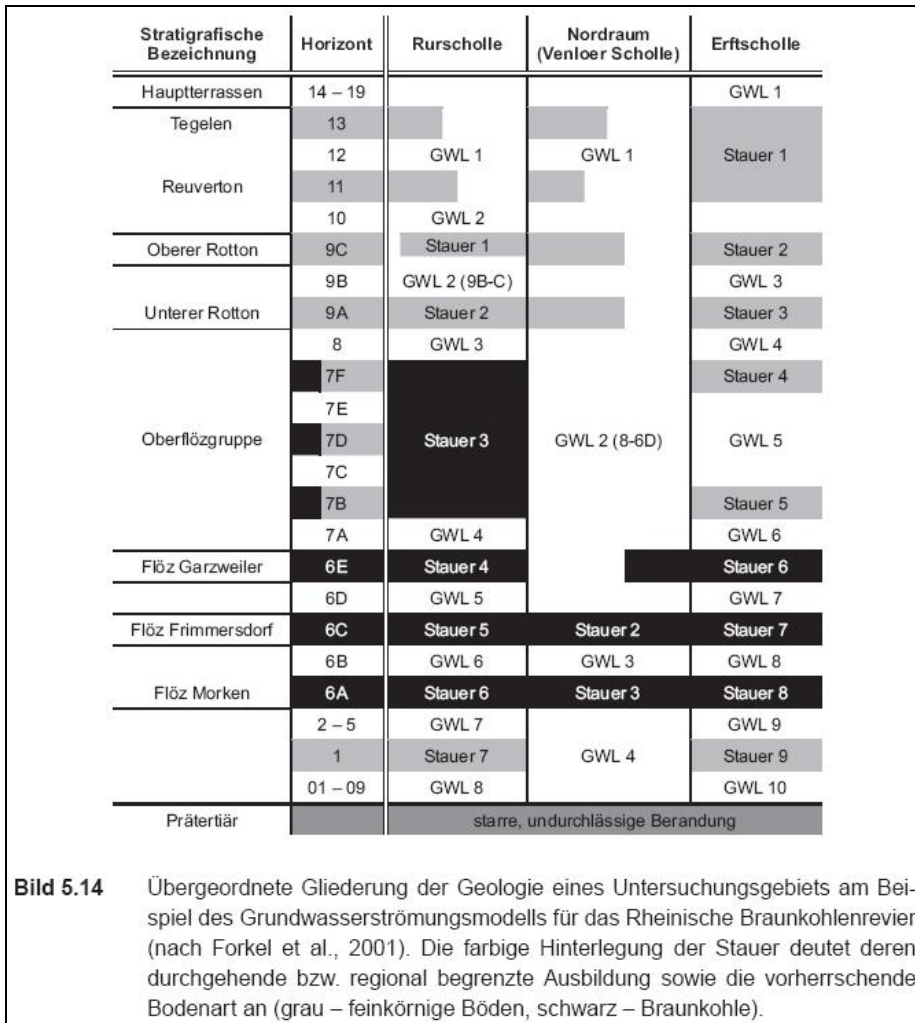


Abbildung 26: Definitionen der Grundwasserstockwerke ein hydrogeologisches Modell der Niederrheinischen Bucht (RWE Power AG) (Quelle: Giese 2010 Seite 203 [13])

Für diese einzelnen Schichten wurden für die hydrogeologische Modellierung aus der Vielzahl der vorliegenden Unterlagen Vertrauensbereiche für die hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte hinterlegt. Diese Durchlässigkeitsbeiwerte sind als Modellparameter zu betrachten. Die Vertrauensbereiche umschreiben die Spannweite der schichtspezifischen Durchlässigkeitsbeiwerte im Gelände.

Vertrauensbereiche			
geologische bis Schicht	Erftscholle	Rurscholle	Venloer Scholle
19			
18			
17			
16			
15	L1	L1	L1
14			
13			S1
12			L2
11E			S2
11D	S1	S1	L3
11C			S3
10		L2	
9C	L2	S2	
9B		L3	
9A	S2	S3	
8	L3	L4	L4
7F			
7E			
7D	S4	S4	
7C			
7B			
7A	L4	L5	
6E	S4	S5	S4
6D	L5	L6	L5
6Cb			
6C	S5	S6	S5
6Ca			
6B	L6	L7	L6
6A	S6	S7	S6
5D			
5C			
5B			
5A	L7	L8	
4			
3			
2			
1	S7	S8	L7
9			
08			
07			
06B			
06A	L8		
05B		L9	
05A			
04			
03			
02			
01			

Abbildung 27: Vertrauensbereiche für die hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte (LANUV 2017) (Quelle: mit freundlicher Genehmigung von LANUV zur Verfügung gestellt)

Die quartären bis pliozänen Wasserleiter werden mit $k \sim 1 \times 10^{-3}$ m/s als gut bis sehr gut durchlässig eingestuft. Die tertiären Sande erreichen mit ca. $k \sim 1 \times 10^{-4}$ m/s eine gute hydraulische Durchlässigkeit und die wasserstauenden Braunkohlen und Tone liegen bei ca. $k \sim 1 \times 10^{-8}$ m/s bis ca. $k \sim 1 \times 10^{-11}$ m/s im sehr gering durchlässigen Bereich.

Nach den Angaben des LANUV werden zudem für die Durchlässigkeitseigenschaften der Kippen und Tagebauverfüllungen Durchlässigkeitsbeiwerte von ca. $k \sim 1 \times 10^{-5}$ m/s für tiefere Bereiche und

$k \sim 2 \times 10^{-5}$ m/s für die oberflächennahen Bereiche in den Modellrechnungen angenommen. Ähnliche Angaben finden sich für stark bindige und weniger stark bindige Schüttmaterialien.

6.5 Sümpfung, Grundwasserabsenkungen

In dieses vorstehend beschriebene hydrogeologische System wurde und wird durch die Sümpfung der Tagebaue tiefgreifend bis z.T. weit unter die Abbausohlen der Tagebaue eingegriffen und das Grundwasser abgesenkt. Nach Angaben der RWE Power AG (e-mail 14.02.2017) betragen die aktuellen Sümpfungsmengen in den Tagebauen im Jahre 2016:

- | | | | |
|---|--------------------|-------------------|-------------------------------|
| • | Tagebau Inden | (Rur Scholle) | 73 Mio. m ³ /Jahr |
| • | Tagebau Hambach | (Ertf Scholle) | 381 Mio. m ³ /Jahr |
| • | Tagebau Garzweiler | (Venloer Scholle) | 123 Mio. m ³ /Jahr |

Dadurch wurden die Grundwasserhorizonte bis zu den jeweiligen Abbausohlen weitreichend abgesenkt und teilweise auch erheblich entwässert bzw. in den Grundwasserstockwerken deren jeweilige Druckwasserspiegel merklich vermindert.

Die Grundwasserabsenkung im Rheinischen Braunkohlerevier wird seit mehreren Jahrzehnten betrieben. Seit den 50'er Jahren des vorigen Jahrhunderts hat die stete Sümpfung in den Tagebauen zu weiträumigen Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt in den einzelnen Grundwasserstockwerken verbunden mit dadurch initiierten Geländesenkungen an der Oberfläche durch Auftriebsverringierungen geführt.

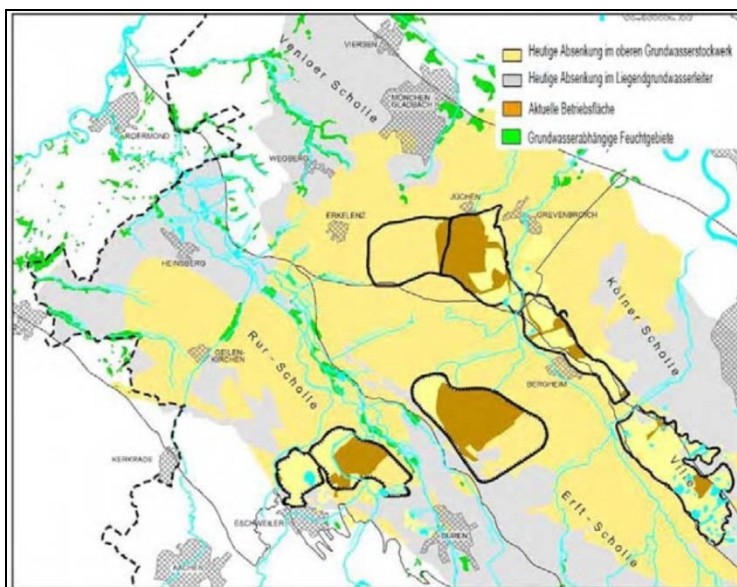


Abbildung 28: Reichweite der sümpfungsbedingten Grundwasserabsenkung in der Niederrheinischen Bucht (Quelle: Ausdehnung GW-Absenkung nach Forkel 2011 in Leuchs 2013 aus Krupp 2015 [15] und RWE Power AG)

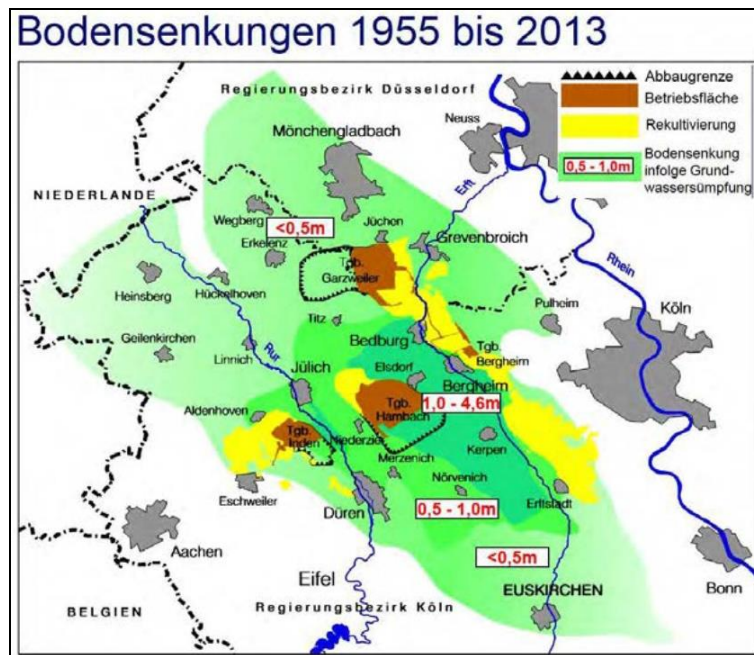


Abbildung 29: Sümpfungsbedingte Bodensenkungen in der niederrheinischen Bucht (Quelle: Bodensenkungen 1955-2013, Poths 2014 aus Krupp 2015 [15])

6.6 Hydrochemische Verhältnisse, Sümpfungswässer der Tagebaue

Durch den Abbau der Braunkohle und die Freilegung der Braunkohlensande werden mineralische Bestandteile (hauptsächlich der in der Braunkohle vorhandene Pyrit ggf. Markasit) freigesetzt und an der Luft oxidiert. Beim späteren Grundwasserwiederanstieg können die Reaktionsprodukte der Pyritoxidation (i.W. Fe-, SO₄- und H⁺-Ionen) im ansteigenden Grundwasser gelöst werden und bei hoher Verfügbarkeit von H⁺-Ionen zu sauren pH-Werten führen. Dieser Versauerung wird versucht, durch gezielte Zugabe von Kalk zum Fördermaterial für die Kippen-Herstellung entgegenzuwirken. Eine nach Einstellung der Sümpfungen beginnende Durchströmung der Kippen kann durch weitere Oxidation des Pyrits eine wenn auch mengenmäßig geringe Versauerung des Seewassers bewirken, die durch die Kalkzugabe verhindert bzw. stark verringert werden soll. Die Erstbefüllung der Tagebaurestseen soll mit Oberflächenwasser erfolgen (Rhein, Rur).

Neben den Niederschlagswässern und dem anfangs geringen Zustrom von Grundwasser aus dem unverritzten Gebirge soll durch die Zugabe von Rurwasser (Inden) und Rheinwasser (Hambach und Garzweiler) eine schnelle und gezielte Auffüllung der Restseen erreicht werden, wodurch die hydrochemische Zusammensetzung der entstehenden Seewässer und damit auch die der in die Grundwasserleiter infiltrierenden Wässer des zugeführten Füllwassers entsprechen wird.

Die vom Pendelwasser bewirkten Infiltrationen und Exfiltrationen an den Kippen und den verbleibenden Bestandsböschungen mit ihren geplanten Vorschüttungen sind bei anzunehmenden Seespiegelschwankungen von < 0,5 m im gesamten Seebereich verschwindend gering und nur im unmittelbaren Uferlandstreifen wirksam. Hierdurch werden keine hydrochemischen Veränderungen des Seewassers und erst recht keine hydrochemischen Veränderungen der Grundwässer verursacht.

6.7 Hydrogeologische Positionen der Tagebaue in der Niederrheinischen Bucht

Die derzeit noch im Betrieb befindlichen, tiefen Tagebaue Inden, Garzweiler und Hambach werden in petrographisch vergleichbaren Böden betrieben, reichen jedoch unterschiedlich tief unter die Geländeoberfläche bis zur jeweiligen Lagerstätte hinab.

Die nach den derzeitigen Planungen vorgesehenen Endtermine für das Abbauende in den Tagebauen sowie der Auffüllung der Restseen geht aus der folgenden Tabelle hervor, wobei die unterschiedlichen Bearbeiter auch unterschiedliche Schätzungen vornehmen. Zudem sind derzeitige und zukünftige auch genehmigungsrechtliche Entwicklungen noch zu erwarten, die sich auf die nachstehenden Terminplanungen auswirken können.

Restseen	Ende BK-Förderung	Erreichung des Zielpegels	voraussichtliches Ende der Nachfüllzeit	Herkunft Flutungswasser	Zielwasser spiegel	Durchschnittliche Flutungsmenge	Seeablauf	Stationärer Endzustand GW	Informations quelle
Tagebau Inden II	2030	2060							Leuchs 2013
	2030								NRW 2010
	2032								LANUV 2007
	2030	2050 - 2055	~ 2075	Rur, zeitweise Sümpfung Hambach und Restsee begleitbrunnen	+ 92 müNN	60/80 Mio. m³/Jahr	Überlauf zur Inde		RWE Power AG 2017
Tagebau Hambach	2045	2100							Leuchs 2013
	2045								NRW 2010
	2040								LANUV 2007
	Mitte des Jahrhunderts	2080 - 2090	~ 2110	Rhein und Restsee begleitbrunnen	+ 65 müNN	270 Mio. m³/Jahr	Überlauf zur Erft		RWE Power AG 2017
Tagebau Garzweiler	2045	2085						2100	Leuchs 2013
	2045								NRW 2010
	2045								LANUV 2007
	Mitte des Jahrhunderts	2080 - 2085	~ 2110	Rhein und Restsee begleitbrunnen	+ 65 müNN	60 Mio. m³/Jahr	Niers (quasi Quelle)		RWE Power AG 2017
Tagebau Inden I - Blausteinsee	1987	2005						nein	LANUV 2007 Bucher RWE Power AG

Abbildung 30: Ende der Braunkohlenförderungen und der Anstiege der Restseen (Quellen: Flutungszeiträume für die Restseen, aus Krupp 2015 [15] RWE-Daten RWE Power AG 2017 per e-mail)

Die zuvor erwähnten Vertrauensbereiche für die Durchlässigkeitsbeiwerte der geologischen Schichten (nach LANUV 2017) lassen sich wie folgt für die geologischen Einheiten vereinfachen:

Übersicht: Hydrogeologische Kennwerte:

quartären bis pliozäne Wasserleiter:	$k \sim 1 \times 10^{-03}$ m/s	gut bis sehr gut durchlässig
tertiäre Sande:	$k \sim 1 \times 10^{-04}$ m/s	gut durchlässig
Braunkohlen und Tone:	$k \sim 1 \times 10^{-08}$ m/s	gering durchlässig bis $k \sim 1 \times 10^{-11}$ m/s sehr gering durchlässig
Kippen und Tagebauverfüllungen:	$k \sim 1 \times 10^{-05}$ m/s	tieferer Bereiche;
	$k \sim 2 \times 10^{-05}$ m/s	oberflächennahe Bereiche (gering bis mäßig durchlässig)

Der Pumpspeicherbetrieb hat, wenn überhaupt, auf die hydrogeologischen Verhältnisse in der Umgebung der geplanten Restseen nur sehr geringe Auswirkungen, da bei den geplanten großen Seeflächen die Seewasserspiegelschwankungen aus dem Pumpspeicherbetrieb trotz hoher Pendelwassermengen nur geringe bis sehr geringe Schwankungen des Seespiegels (ca. < 0,5 m) erzeugen werden.

Ein Beginn eines möglichen Pumpspeicherbetriebes ist dagegen je nach Variante eines Unterbeckens abhängig von den sich nach Ende des Braunkohleabbaus einstellenden hydrogeologischen Verhält-

nissen. Varianten, die eine gewisse Sumpfung weiterhin voraussetzen würden (künstlich tiefliegende Seewasserspiegel) wären zeitlich schneller in Betrieb zu nehmen, müssten aber weiter gesumpft werden. Varianten, die auf dem Erreichen des endgültigen Seespiegels basieren, können erst später in Betrieb gehen. Zudem ist bei Letzteren auch wichtig, dass bei der Auffüllung der Restseen auch die geplanten Seewasserspiegel tatsächlich erreicht werden. Allerdings sind Varianten mit künstlich tiefgehaltenen Seewasserspiegeln anfällig gegen technische Störungen, wie z.B. Ausfälle von Sumpfungseinrichtungen.

Bei Varianten mit künstlich tiefgehaltenem Seewasserspiegel kommt den Auswirkungen des Wiederanstiegs des Grundwassers und den damit einhergehenden Bodenhebungen eine gewisse Bedeutung zu. Die zu verlegenden Rohrleitungen zwischen Unter- und Oberbecken müssten im Seebereich ggf. erhebliche Hebungen und relative Verschiebungen verkraften können, sollten die Bodenhebungen in etwa in der Größenordnung der bisherigen Bodensenkungen liegen, die im Nahbereich der Tagebaue bis zu mehrere Meter betragen können. Allerdings würden bei künstlich aufrecht erhaltenen tiefen Seewasserspiegeln die Grundwasseranstiege in den Böschungsbereichen nicht das ursprüngliche Grundwasserniveau durch die fortgesetzte Sumpfung erreichen, wodurch sich auch die Bodenhebungen in Grenzen halten würden.

Dagegen werden die Varianten mit natürlichem Seewasserspiegel zwar auch auf die Auswirkungen der Bodenhebungen reagieren, jedoch ist anzunehmen, dass die Bodenhebungen die gesamten Betriebsteile des Pumpspeicherwerkes zusammen erfassen, die diese gleichmäßig und ohne Relativverschiebungen mitmachen werden. Bei diesen Varianten werden keine Rohrleitungen auf oder in den Restseeböschungen erforderlich.

6.8 Prognose der Sumpfungsmaßnahmen

Ausgehend von den aufgezeichneten Sumpfungswassermengen für die drei Tagebaue Garzweiler, Hambach und Inden im Jahr 2016 und der Langzeitprognose für die jährlichen Gesamtsumpfungswassermenge für die gesamte Tagebauregion wurden die zukünftigen jährlichen Sumpfungsmengen für die drei Restlöcher grob ermittelt. Folgende Tabelle gibt zunächst einen Überblick über die aufgezeichneten Sumpfungsmengen und die Betriebskosten der Wasserhebung für das Jahr 2016. Nicht beinhaltet bei den Kosten sind die Kosten für die Brunnenerhaltung und für eventuell erforderliche Ausgleichsmaßnahmen.

	Restsee Garzweiler	Restsee Hambach	Restsee Inden	Gesamt
Gesamtsumpfungsmenge 2016	123 Mio. m ³	381 Mio. m ³	73 Mio m ³	577 Mio. m ³
Prozentualer Anteil	21 %	66 %	13 %	100 %
Betriebskosten aktuell pro m ³ (ohne Stromkosten)	0,10 €/m ³	0,07 €/m ³	0,07 €/m ³	
Betriebskosten pro Jahr, Wasserhebung (ohne Stromkosten)	12,30 Mio. €	26,67 Mio. €	5,11 Mio. €	44,08 Mio. €

Tabelle 6: Sumpfungsmengen und Betriebskosten Wasserhebung 2016 (Quelle: RWE)

Die folgende Abbildung zeigt eine Prognose der zukünftigen Sumpfungsmengen im Tagebaugebiet bis zum Jahr 2050 (Quelle RWE). Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die drei Tagebauseen nach Tagebauende allmählich füllen und die Sumpfung nur noch in geringem Umfang fortgeführt werden muss, bis die Seewasserspiegel ihre endgültigen Höhen erreicht haben. Zur Aufrechterhaltung der hydraulischen Gradienten aus dem ansteigenden Seewasserspiegel in die Böschungen hinein werden Sumpfungsmaßnahmen auch nach 2050 gezielt aufrechterhalten.

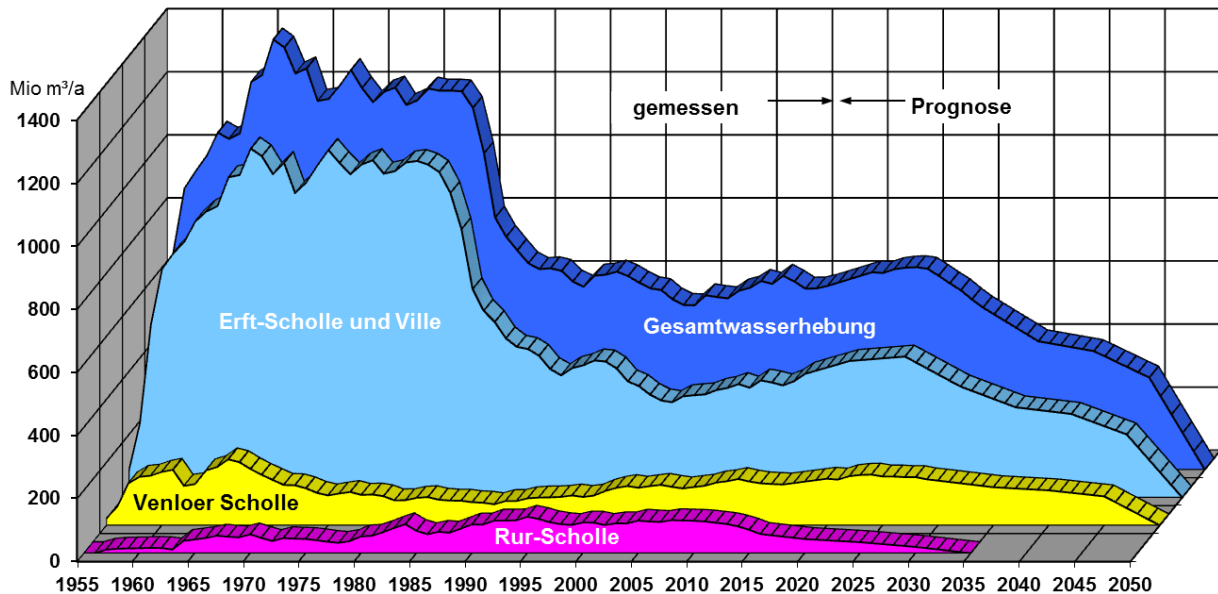


Abbildung 31: Prognose der Sumpfungen bis 2050 (Quelle RWE)

In der folgenden Abbildung werden die prognostizierten Gesamtsumpfungsmengen auf die einzelnen Tagebaugebiete aufgeteilt und zwischen den beiden Szenarien „Befüllung der Restseen ab einem bestimmten Zeitpunkt“ (durchgezogene Linien) und „dauerhafte Belassung der Restlöcher für den PSW-Betrieb“ (gestrichelte Linien) unterschieden.

Bei der Prognose für die Belassung der Restlöcher wird angenommen, dass die Sumpfungsmenge die zum Zeitpunkt des Beginns der ursprünglich angedachten Befüllung des jeweiligen Restlochs konstant weiterbetrieben werden müsste, um einen darauffolgenden PSW-Betrieb im Restloch zu ermöglichen.

So würden sich für den PSW-Betrieb mit beibehaltenen Restlöchern für die drei Tagebaue folgende jährliche Sumpfungsmengen ergeben:

Restloch Garzweiler:	ca. 75 Mio. m ³ /Jahr	(ab 2050)
Restloch Hambach:	ca. 230 Mio. m ³ /Jahr	(ab 2050)
Restloch Inden:	ca. 70 Mio. m ³ /Jahr	(ab 2027)

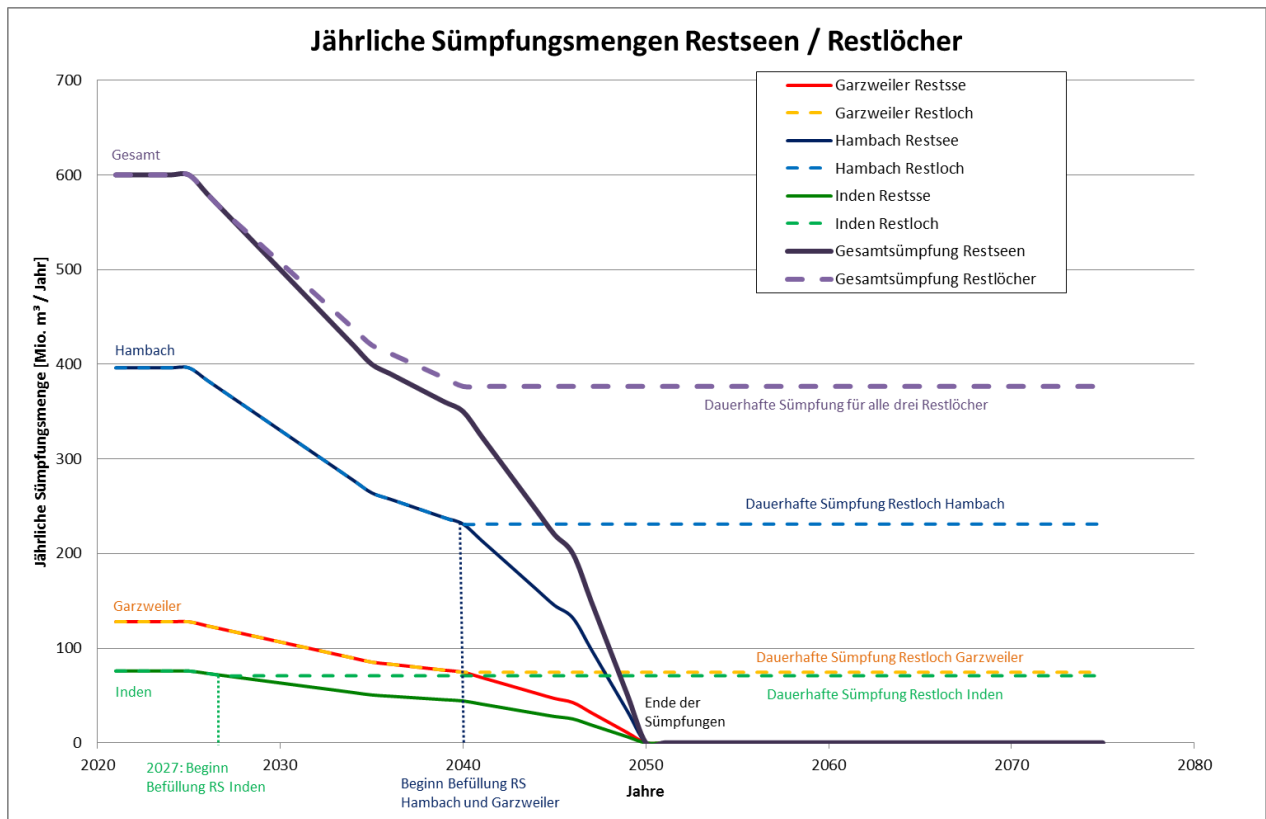


Abbildung 32: Jährliche Sümpfungsmengen der Tagebaue für Restseen bzw. Restlöcher

Es sei betont, dass es sich bei den hier prognostizierten Sümpfungswassermengen um sehr vereinfachte Herleitungen handelt, die die nach Abbildung 31 geschätzte Sümpfungswassermenge zum Jahr des Beginns der Restseefüllung konstant für die Folgejahre ansetzen.

7 Identifikation möglicher PSW-Standorte im Tagebaugebiet

Im vorliegenden Abschnitt werden die potentiellen Standorte für zukünftige PSW-Anlagen im Projektgebiet der drei Tagebaue Garzweiler, Hambach und Inden aufgezeigt. Maßgebliches Kriterium für die Wahl der PSW-Standorte waren die topographischen Verhältnisse. Darüber hinaus wurden bei der Skizzierung der PSW-Kombinationen offensichtliche infrastrukturelle und naturschutzfachliche Randbedingungen berücksichtigt, wie z.B. Vermeidung der Lage von Oberbecken auf Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie in Schutzgebieten.

7.1 Technische Projektrandbedingungen

Bei der Auslegung der im Folgenden dargestellten PSW-Kombinationen wurden folgende technische Grundannahmen getroffen:

7.1.1 Pendelwasservolumen

Bei der Festlegung der Baugröße von neu zu errichtenden Becken wurde von einem Arbeitswasservolumen von ca. 10 Mio. m³ ausgegangen, welches im Vergleich zu vorhandenen PSW in Deutschland ein eher größerer Wert ist. Andererseits ist in Anbetracht der zur Verfügung stehenden Gesamtwassermengen in den zukünftigen Restseen der drei Tagebaue das gewählte Volumen ein vergleichsweise kleiner Wert. Das gewählte Volumen entspricht in etwa einem kreisrunden Wasserkörper mit einem Durchmesser von ca. 700 m und einer Wassertiefe von 30 m. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen kann der gewählte Wert des Pendelwasservolumens variiert bzw. konkret an die topographischen Bedingungen einer PSW-Variante angepasst werden.

Für die identifizierten vorhandenen Geländeerhebungen im Projektgebiet (Halden bzw. natürliche Geländeerhebungen) (siehe Abschnitt 7.2.3) wurden zunächst die topografisch maximal möglichen Beckenflächen und -volumina ermittelt; unter der Prämisse, dass das Wasserbecken auf einer möglichst ebenen Oberfläche errichtet wird. Für die vorliegende Untersuchung wurde für die Geländeerhebungen ebenfalls ein maximales Wasservolumina von 10 Mio.m³ angesetzt.

Geländeerhebung	Maximal mögliche Beckenfläche	Maximales Wasservolumen (bei WSP-Lamelle von 30 m)	Gewähltes Wasservolumen für PSW-Varianten
Vollrather Höhe	1,10 Mio. m ²	29,15 Mio. m ³	10,00 Mio. m ³
Sophienhöhe	1,02 Mio. m ²	26,72 Mio. m ³	10,00 Mio. m ³
Auf dem Nierchen	0,25 Mio. m ²	5,84 Mio. m ³	5,84 Mio. m ³
Meroder Wald	0,78 Mio. m ²	19,76 Mio. m ³	10,00 Mio. m ³

Tabelle 7: Mögliche Pendelwasservolumina der Geländeerhebungen im Projektgebiet

7.1.2 Anzahl der Volllaststunden

Die Anzahl der Turbinenvolllaststunden wurde in der vorliegenden Untersuchung mit 12 Stunden angesetzt. Aus diesem Wert ergibt sich unter Zugrundelegung des Pendelwasservolumens V der Ausbaudurchfluss Q und folglich die Anlagenleistung P eines PSW.

Die Wahl der Volllaststunden hängt davon ab, zu welchem Zweck das zukünftige PSW dienen soll. Eine kleinere Anzahl von Volllaststunden, wie z.B. 4 oder 6 Stunden, wird dann gewählt, wenn die Anlage eine möglichst hohe Leistung erzielen soll (Abarbeitung des gesamten Pendelwasservolumens in einer relativ kurzen Zeit). Diese Methode wird z.B. dann angewendet, wenn durch das PSW Verbrauchsspitzen im Tagesverlauf ausgeglichen werden sollen, also bei größerem Strombedarf (mittags und abends) turbiniert wird und bei geringem Bedarf bzw. Stromüberschuss (nachts) gepumpt wird.

Bei kleineren Pendelwasservolumen wird üblicherweise ebenfalls eine kürzere Volllaststundenanzahl gewählt, damit eine wirtschaftliche Ausbauleistung erzielt werden kann.

Eine größere Anzahl von Volllaststunden, wie z.B. 8 bis 12 Stunden, wird dann gewählt, wenn ein PSW beispielsweise der Einspeisung von Überschussenergie (z.B. aus Wind- und Sonnenenergie) dienen soll. Hier steht weniger die Höhe der erzielbaren Leistung als vielmehr die Dauer, während der eine PSW-Anlage Strom kontinuierlich aufnehmen bzw. abgeben kann, im Vordergrund. In Einzelfällen können auch Tages- und Mehrtagespeicher angelegt werden, die z.B. auf länger anhaltende Windperioden ausgelegt sind. Je größer die Volllaststundenanzahl wird, desto größer sollte auch das

verfügbare Pendelwasservolumen sein, damit die erzielbaren Leistungen bei längerer Laufzeit nicht zu klein werden.

Im vorliegenden Fall der identifizierten PSW-Kombinationen im Projektgebiet der Tagebaugebiete Garzweiler, Hambach und Inden beträgt die gewählte Volllaststundenanzahl 12 Stunden.

Ausschlaggebend für die Wahl dieser vergleichsweise großen Stundenanzahl ist die Annahme, dass zukünftige PSW-Anlagen hauptsächlich der Aufnahme von Überschussstrom aus den erneuerbaren Energien dienen werden. Zudem erlaubt die Größe der zukünftigen Restseen mit deren immensen generierbaren Pendelwasservolumina eine Auslegung auf eine große Volllaststundenanzahl.

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen kann die Volllaststundenanzahl je nach Bedarf variiert werden. Reduziert man den Wert, könnten entweder die Anlagenleistung gesteigert oder, bei Beibehaltung der Anlagenleistung, die baulichen Dimensionen des PSW und somit die Investitionskosten gesenkt werden. Sollten die Restseen eher als (Mehr-)Tagesspeicher dienen, könnte die Volllaststundenanzahl auch erweitert werden. Dadurch würden sich die Ausbauleistungen bei gleicher Anlagengröße entsprechend reduzieren.

7.1.3 Anlagenleistung

Für die Durchführung der Studie wurden keine expliziten Mindest- bzw. Maximalwerte für die erzielbaren Anlagenleistungen der zu ermittelnden PSW-Kombinationen vorgegeben. Aus den o.g. Annahmen für das Pendelwasservolumen und die Volllaststundenanzahl ergibt sich in Verbindung mit den topografischen Bedingungen (Fallhöhe) automatisch die Anlagenleistung einer jeden PSW-Kombination.

Im weiteren Verlauf der Planungen sollte evaluiert werden, inwieweit die ermittelten Anlagenleistungen energietechnisch und wirtschaftlich sinnvoll sind und ob gegebenenfalls durch Variation der Werte für Pendelwasservolumen oder Volllaststundenanzahl passendere Anlagenleistungen für eine PSW-Kombination generiert werden können.

7.1.4 Lage, Form und Sohliefen der Tagebaurestlöcher

Die im Folgenden präsentierten PSW-Konzeptionen und deren anlagentechnischen Kennwerte, wie Fallhöhen und Ausbauleistungen, basieren auf den zum Zeitpunkt der Studie geltenden Angaben zu den drei Tagebaurestlöchern Garzweiler, Hambach und Inden, die dem Ersteller der Studie zu Beginn der Bearbeitung übergeben wurden.

Die Lage und die geometrische Form der zukünftigen Tagebaurestlöcher bzw. -restseen wurden den genehmigten Braunkohleplänen entnommen.

Die Sohliefen sind in der vorliegenden Studie wie folgt angesetzt:

- Garzweiler -125 mNN
- Hambach -385 mNN
- Inden -88 mNN

In den weiterführenden Planungen ist der jeweils aktuelle Stand der Restlochplanung anzusetzen. So können sich im Zuge der weiteren Planungen für die in dieser Studie angeführten Varianten Änderungen z.B. bei Fallhöhen und Horizontalabständen ergeben.

7.2 Grundkonzepte für PSW im Tagebaugebiet

Für das Tagebaugebiet Garzweiler, Hambach und Inden können grundsätzlich folgende PSW-Grundkonzepte angewendet werden:

PSW-Konzepte für jedes der drei Tagebaurestlöcher

- Oberbecken auf bestehender Geländehöhe – Unterbecken im Bereich der Sohle des Tagebaurestlochs (offener Endzustand)
- Oberbecken auf bestehender Geländehöhe – Unterbecken als geschlossene Kaverne im Bereich der Sohle des Tagebaurestlochs (spätere Verfüllung des Tagebaurestlochs mit Bodenmaterial oder Wasser)
- Oberbecken auf Geländeerhebung (bestehende Abraumhalde oder natürliche Erhebung) – Unterbecken im Bereich der Restlochsohle (offen oder Kaverne) bzw. (teil)gefüllter Tagebaurestsee als Unterbecken

Verbindung zwischen zwei Tagebaurestlöchern

Grundsätzlich sind auch technische PSW-Konzepte, die zwei Tagebaurestlöcher miteinander verbinden, möglich. Hierbei kann es zu folgenden PSW-Szenarien kommen:

- Oberbecken Tagebaurestsee Inden – Unterbecken Tagebaurestsee Hambach oder Garzweiler: Da der Seewasserspiegel im Restsee Inden höher liegt als in den beiden anderen Restseen, bietet sich diese Option eines PSW-Betriebes mit zwei gefüllten Restseen an.
- Oberbecken Tagebaurestsee Inden – Unterbecken auf Sohle des Tagebaurestlochs Hambach oder Garzweiler
- Oberbecken Tagebaurestsee Garzweiler – Unterbecken Tagebaurestloch Hambach

Verbindung mit anderen Gewässern:

Um die Investitionskosten für den Bau einer neuen PSW-Anlage zu reduzieren, gibt es die Möglichkeit bestehende Gewässer in die Konzeption mit einzubeziehen. Im Projektgebiet der drei Tagebaue bietet sich der ca. 6 km westlich vom Tagebau Inden gelegene Blausteinsee an. Dieser könnte als Oberbecken fungieren, während der Restsee bzw. das Restloch Inden als Unterbecken ausgebildet werden kann.

Die Wehebachtalsperre im Hürtgenwald südlich des Tagebaus Inden als mögliches Oberbecken ist bereits 15 km vom Tagebaugebiet entfernt und als Trinkwasserspeicher nicht geeignet für einen Pumpspeicherbetrieb, weswegen dieser Beckenstandort nicht weiterverfolgt wird.

Im Folgenden werden die genannten Grundkonzepte genauer beschrieben.

7.2.1 Oberbecken auf GOK – Unterbecken auf Restlochsohle

Bei diesem PSW-Konzept werden ein neues Oberbecken auf vorhandenem Geländeniveau und ein neues Unterbecken auf der Sohle des Restlochs errichtet.

Um längere Wasserwege zwischen Ober- und Unterbecken zu vermeiden, sollte das Oberbecken möglichst nahe am Rand des Restlochs liegen. Zur Maximierung der erzielbaren Fallhöhe wäre eine Lage im Bereich der höchsten Erhebungen um das Restloch ideal.

Grundsätzlich ist zu entscheiden, ob das neue Oberbecken im Bereich der Verkippungen des Tagebaus oder im gewachsenen, unberührten Boden gebaut werden soll. Aus raumplanerischer und genehmigungsrechtlicher Sicht wäre der Bau eines neuen Beckens auf dem gekippten Gelände eines ehemaligen Tagebaus wahrscheinlich weniger kritisch, da sich das Vorhaben einfacher in einen (noch zu entwickelnden) Flächennutzungsplan integrieren ließe als ein Bau auf gewachsenem Boden, für den neue Flächen beansprucht werden müssten, die derzeit andere Nutzungen erfahren.

Aus bautechnischer und geotechnischer Sicht wäre allerdings der Bau eines Beckens im gewachsenen Boden vorzuziehen.

Die im Rahmen der Identifikation von möglichen PSW-Konzepten erarbeiteten Varianten sehen die Oberbecken auf gewachsenem Boden vor.

7.2.1.1 Offenes Unterbecken auf Restlochsohle

In den vorgestellten Varianten 1.1, 2.1 und 3.1 wird das Unterbecken im Bereich der Restlochsohle als offenes Becken konzipiert. Das Unterbecken könnte in etwa baugleich wie das Oberbecken errichtet werden.

Die Folge eines offenen Beckens wäre, dass das Tagebaurestloch im Bereich des neuen Unterbeckens dauerhaft bestehen bleiben und dauerhaft gesümpft werden müsste.

Das Krafthaus würde als Schachtkraftwerk neben dem offenen Unterbecken gebaut werden.

Die Druckrohrleitung würde oberirdisch vom Ober- zum Unterbecken entlang der Tagebauböschung verlaufen.

Ein Wasserschloss wäre aufgrund der kurzen Wegstrecke zwischen Ober- und Unterbecken nicht notwendig.

7.2.1.2 Unterbecken auf Restlochsohle als geschlossene Kaverne

Alternativ zu der Konzeption von offenen Unterbecken stellen die Varianten 1.2, 2.2 und 3.2 Unterbecken als geschlossenes Betontrogssystem (Kavernensystem) dar. Das Kavernensystem könnte als ein Wasserspeicher mit mehreren verzweigten tunnelartigen Strängen ausgebildet werden.

Nach Fertigstellung des Kavernenspeichers und sonstiger tiefliegender Anlagenbestandteile, wie Krafthaus und Druckrohrleitungen, könnte das Unterbecken, falls vorhanden mit Bodenmaterial (z.B. mit Abraumaterial) oder mit Wasser befüllt werden. Sümpfungen wären in diesem Fall nicht notwendig. Der natürliche Grundwasserspiegel könnte sich wiedereinstellen.

Ein an die Oberfläche geführter Luftschacht würde für die Be- bzw. Entlüftung der Speicherkaverne sorgen. Ein Zugang zur Speicherkaverne könnte z.B. über einen Zufahrtsstollen durch gewachsenen Boden erfolgen

Die Anordnungen von Krafthaus und Druckrohrleitungen würden ähnlich wie bei den Varianten mit offenem Unterbecken erfolgen, hier unter der Berücksichtigung der zusätzlichen Auflast von Bodenmaterial oder Wasser.

Die Energieableitung würde vom Krafthaus über einen Schacht an die Geländeoberfläche geführt.

7.2.2 Oberbecken auf GOK – Restsee als Unterbecken

Alternativ zu den Unterbecken im Bereich der Restlochsohlen, wäre grundsätzlich auch die Nutzung der gefüllten bzw. teilgefüllten Restseen als Unterbecken möglich (Varianten 1.3, 2.3 und 3.3). Dadurch könnten die weitreichenden Sümpfungsmaßnahmen, die für offene Unterbecken notwendig wären, ganz oder teilweise entfallen. Allerdings wäre hier die erzielbare Fallhöhe von allen untersuchten Grundkonzepten die geringste.

7.2.3 Oberbecken auf Geländeerhebung – Unterbecken auf Restlochsohle bzw. Restsee als Unterbecken

Alternativ zu den Oberbeckenstandorten unmittelbar neben den Restlöchern wurden mögliche höhergelegene Standorte im weiteren Umkreis der drei Tagebaurestlöcher evaluiert.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die potenziellen Standorte für ein höher gelegenes Oberbecken im Projektgebiet.

Name	Typ	Höhe (Durchschnitt)	Verbindung mit Restloch/Restsee	Distanz zum Restloch
Vollrather Höhe	Halde	160 m ü. NN	Garzweiler	12.600 m
Sophienhöhe	Halde	270 m ü. NN	Hambach, Inden	3.800 m 7.000 m
Nierchen	Halde	210 m ü. NN	Inden	4.600 m
Meroder Wald	Natürliche Erhebung	260 m ü. NN	Inden	5.300 m

Tabelle 8: Charakteristika der Geländeerhebungen im Projektgebiet

Im Vergleich zu den Varianten 1.1, 2.1 und 3.1 ergeben diese PSW-Kombinationen größere Fallhöhen und somit höhere erzielbare Leistungen. Da hier andererseits die Horizontalabstände zwischen Ober- und Unterbecken erheblich größer sind, ist mit einem höheren Investitionsaufwand aufgrund der erforderlichen langen Stollensysteme zu rechnen.

Die höher gelegenen Oberbecken können sowohl mit den Unterbecken auf Restlochsohle (offen oder Kaverne; Varianten 1.5, 2.5, 3.5 a bis c) als auch mit den gefüllten Restseen als Unterbecken (Varianten 1.4, 2.4, 3.4 a bis c) kombiniert werden.

Im Folgenden werden die im Projektgebiet identifizierten Geländeerhebungen beschrieben. Diese Informationen wurden vorwiegend der freien Online-Enzyklopädie www.wikipedia.de entnommen.

7.2.3.1 Vollrather Höhe

Die Vollrather Höhe (manchmal auch Allrather Höhe genannt) ist eine beim Aufschluss des damaligen Braunkohlentagebaus Garzweiler entstandene Abraumhalde. Sie wurde in den Jahren 1955 bis 1968 aufgeschüttet und ist seit 1973 öffentlich zugänglich.

Sie liegt südlich von Grevenbroich im Rhein-Kreis Neuss direkt östlich des Tagebau Garzweiler. Das Plateau auf 165 m ü. NN wird größtenteils landwirtschaftlich genutzt. Im Südwesten und Nordosten befinden sich als Windschutz bewaldete Erhebungen, deren höchster Punkt bei 187 m ü. NN liegt.



Abbildung 33: Panorama Vollrather Höhe (Quelle: Wikipedia / Johannes1024)

Seit 1995 wurde auf der Vollrather Höhe ein Windpark errichtet, der bis 2016 aus 13 Windrädern bestand, die jährlich etwa 20 Millionen kWh erzeugten. Außerdem befinden sich zwei Sendemasten auf der Vollrather Höhe.

Seit Herbst 2016 wurden die alten Windräder durch fünf neue Anlagen mit einer Leistung von 2,5 Megawatt ersetzt. Nach Abschluss der Erneuerungsmaßnahmen werden sich auf der Vollrather Höhe insgesamt sieben Windkraftanlagen befinden, die jährlich etwa 60 Millionen kWh elektrische Energie produzieren.

Über die Vollrather Höhe führen einige Wanderwege und Radwanderwege. Gerade bei Rennradfahren ist die Vollrather Höhe beliebt, da sie in der näheren Umgebung die einzige Möglichkeit bietet für Bergfahrten.

7.2.3.2 Sophienhöhe

Die Sophienhöhe ist eine durch den Abbau von Braunkohleflözen des Tagebaus Hambach entstandene rekultivierte Abraumhalde mit einer Fläche von ca. 13 km², deren höchste Stelle auf etwa 300 m ü. NN liegt.

Die Sophienhöhe liegt direkt nördlich des Tagebaus Hambach rund 6 km östlich der Stadt Jülich. Ihr größter Teil gehört zum Hambacher Forst, einem Waldgebiet zwischen den Ortschaften Stetternich, Hambach und Alt-Lich-Steinstraß.

Die Sophienhöhe erhebt sich mit dem Charakter eines kleinen Höhenzugs, der die Landschaft im sonst eher ebenen Jülicher Raum deutlich prägt, durchschnittlich 200 m über die Umgebung.

Bereits 1988 wurde mit der forstlichen Rekultivierung der Sophienhöhe begonnen, die längst zu einem Naherholungsgebiet geworden ist. Rund 90 % der Flächen sind bewaldet und forstlich bewirtschaftet, viele kleine Lichtungen und mehrere kleine Teiche sind eingestreut.

Mittlerweile gibt es um und auf der Abraumhalde ein über 70 km langes Netz von Wanderwegen. Auf der höchsten Stelle der Sophienhöhe steht ein kleiner Aussichtsturm. Außerdem befinden sich auf der Sophienhöhe ein Wildgehege, ein Mammutbaumwald und mehrere Rodelbahnen.

Im Jahr 2009 wurde vom Forschungszentrum Jülich auf der Sophienhöhe ein Wetterradar in Betrieb genommen.



Abbildung 34: Sophienhöhe mit Tagebau Hambach (Quelle: RWE)

7.2.3.3 Halde Nierchen

Die Halde Nierchen ist eine etwa 70 m hohe, teilweise bewachsene Halde zwischen Eschweiler und Langerwehe im westlichen Nordrhein-Westfalen. Sie liegt 223 m über NN, umfasst eine Fläche von etwa 140 ha und wird seit 1998 als Windpark mit neun Windrädern sowie landwirtschaftlich genutzt. An ihrem nördlichen und nordwestlichen Hang verläuft die Schnellfahrstrecke Köln–Aachen.

Wie die Sophienhöhe und Vollrathener Höhe wurde die Halde Nierchen als Außenkippe aufgeschüttet. Das Aufschlussmaterial kam aus dem nördlich gelegenen Tagebau Inden, der 1957 aufgeschlossen wurde. Untergebracht wurden 37 Mio. m³ Abraum. Die Außenböschungen wurden aufgeforstet und die ca. 50 ha große Hochfläche mit 2 m Löss bedeckt. Diese Rekultivierungsarbeiten wurden 1973 beendet.

Auf der Halde Nierchen befindet sich seit 1998 ein Windpark mit neun Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von 9 MW.



Abbildung 35: Halde Nierchen aus Westrichtung (Quelle: Wikipedia / EveryPicture)

7.2.3.4 Meroder Wald

Der Meroder Wald ist ein größeres Waldgebiet südlich der Ortschaft Langerwehe bei Eschweiler. Die Erhebungen des Waldgebietes bewegen sich zwischen 250 und 270 m ü. NN. Die südlich des Meroder Waldes anschließenden Waldgebiete (alle zum großen Waldgebiet Hürtgenwald gehörend) weisen teilweise größere Höhenlagen auf (wie zum Beispiel die Umgebung der Wehebachtalsperre), liegen aber schon in zu großem Abstand zum Tagebaugebiet.

Im Meroder Wald wird vorwiegend Forstwirtschaft betrieben.

7.2.4 Verbindungen zwischen Tagebaurestlöchern

7.2.4.1 Verbindungen zwischen zwei Tagebaurestseen

Da der Restsee Inden einen höheren Seewasserspiegel (92 m. ü. NN) haben wird als die beiden anderen Restseen (jeweils 65 m ü. NN) wäre ein Pumpspeicherbetrieb zwischen dem Restsee Inden als Oberbecken und den Restseen Hambach und Garzweiler als Unterbecken vorstellbar (Varianten 4.2a und 4.3a).

7.2.4.2 Verbindungen zwischen Tagebaurestsee und Tagebaurestloch

PSW-Kombinationen zwischen einem gefüllten Tagebaurestsee und einem Tagebaurestloch sind grundsätzlich zwischen allen drei Tagebaugebieten möglich, wobei der Restsee Inden aufgrund seines höheren Seewasserspiegels immer als Oberbecken fungieren würde. Theoretisch ist auch eine Verbindung zwischen dem Restsee Garzweiler und dem Restloch Hambach möglich (Varianten 4.1, 4.2b und 4.3b).

7.2.5 Verbindungen mit anderen Gewässern

Im Projektgebiet der drei Tagebaue bietet sich der ca. 6 km westlich vom Tagbau Inden gelegene Blausteinsee an. Dieser könnte als Oberbecken fungieren, während der Restsee bzw. das Restloch Inden als Unterbecken ausgebildet werden kann (Variante 5.1 und 5.2).

7.3 Überblick über die identifizierten PSW-Kombinationen

Die folgende Tabelle stellt eine Übersicht aller identifizierten PSW-Kombinationen im Projektgebiet der drei Tagebaue Garzweiler, Hambach und Inden dar.

Die Variantenstruktur stellt sich wie folgt dar:

- Varianten 1: PSW-Kombinationen für den Tagebau Garzweiler
- Varianten 2: PSW-Kombinationen für den Tagebau Hambach
- Varianten 3: PSW-Kombinationen für den Tagebau Inden
- Varianten 4: PSW-Kombinationen zwischen den Tagebaugebieten
- Varianten 5: PSW-Kombinationen mit anderen Gewässern

Variante	Ober-Becken	Unter-becken	Fallhöhe	Pendel-	Anlagen-	Energieer-
			mittel	wasservolumen	leistung	zeugung
			[m]	[Mio. m³]	[MW]	pro Turbinenzyklus (12 Std.)
						[MWh]
1.1	GOK	Sohle Garzweiler (offen)	230	10,00	470	5.641
1.2	GOK	Sohle Garzweiler (Kaverne)	230	10,00	470	5.641
1.3	GOK	Restsee Garzweiler	41	10,00	84	1.006
1.4	Vollrath Höhe	Restsee Garzweiler	84,5	10,00	173	2.072
1.5	Vollrath Höhe	Sohle Garzweiler (Kaverne)	281	10,00	574	6.892
2.1	GOK	Sohle Hambach (offen)	515	10,00	1.053	12.630
2.2	GOK	Sohle Hambach (Kaverne)	515	10,00	1.053	12.630
2.3	GOK	Restsee Hambach	66	10,00	135	1.619
2.4	Sophienhöhe	Restsee Hambach	198,5	10,00	406	4.868
2.5	Sophienhöhe	Sohle Hambach (Kaverne)	655	10,00	1.339	16.064
3.1	GOK	Sohle Inden (offen)	213	10,00	435	5.224
3.2	GOK	Sohle Inden (Kaverne)	213	10,00	435	5.224
3.3	GOK	Restsee Inden	34	10,00	69	834
3.4a	Sophienhöhe	Restsee Inden	171,5	10,00	351	4.206
3.4b	Halde Nierchen	Restsee Inden	111,5	5,84	133	1.596
3.4c	Meroder Wald	Restsee Inden	156,5	10,00	320	3.838
3.5a	Sophienhöhe	Sohle Inden (Kaverne)	358	10,00	732	8.780
3.5b	Halde Nierchen	Sohle Inden (Kaverne)	298	5,84	355	4.266
3.5c	Meroder Wald	Sohle Inden (Kaverne)	343	10,00	701	8.412
4.1	Restsee Garzweiler	Sohle Hambach (Kaverne)	456,5	10,00	933	11.196
4.2a	Restsee Inden	Restsee Garzweiler	27	10,00	55	662
4.2b	Restsee Inden	Sohle Garzweiler (Kaverne)	223,5	10,00	457	5.481
4.3a	Restsee Inden	Restsee Hambach	27	10,00	55	662
4.3b	Restsee Inden	Sohle Hambach (Kaverne)	483,5	10,00	988	11.858
5.1a	Blausteinsee	Restsee Inden	35	4,00	29	343
5.1a	Blausteinsee	Sohle Inden (Kaverne)	221,5	4,00	181	2.173

Tabelle 9: Identifizierte PSW-Kombinationen im Projektgebiet

Die ermittelten PSW-Kombinationen sind zeichnerisch in den Anlagen 1 bis 10 (Lagepläne und Längsschnitte) dargestellt.

8 Qualitative Bewertung der PSW-Kombinationen

8.1 Bewertung der Grundkonzepte

Im Folgenden werden die bei der Identifikation von potentiellen PSW-Standorten im Tagebaugebiet verwendeten Grundkonzepte (Abschnitte 7.2.1 bis 7.2.5) bewertet und deren grundsätzlichen Vor- und Nachteile qualitativ einander gegenübergestellt.

Die geotechnische Bewertung erfolgt separat in Abschnitt 8.3.

Grundkonzept 1:

Oberbecken auf bestehendem Gelände (GOK) – Unterbecken auf Restlochsohle (offen)

(Varianten 1.1, 2.1 und 3.1)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Große Fallhöhe - Kurze Entfernung zwischen OB und UB (keine langen Wasserstollen bzw. Druckrohrleitungen) - Keine Ausbreitung von Kippenwässern - Früher Beginn des PSW-Betriebes möglich (nach Tagebauende und Bauzeit PSW) 	<ul style="list-style-type: none"> - Permanente Sumpfungmaßnahmen erforderlich (Widerspruch zu geltenden Genehmigungen und Beschlüssen; Konflikt mit Regionalplanung) - Notwendigkeit von umfangreichen Ausgleichsmaßnahmen wegen Sumpfung - Flächenverbrauch durch neues Oberbecken - Flächenverbrauch durch Belassung des Restlochs (keine See- oder Flächennutzung)

Tabelle 10: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 1

Grundkonzept 2:

Oberbecken auf bestehendem Gelände GOK – Unterbecken auf Restlochsohle (Kaverne) mit Verfüllung des Restlochs (mit Erdmaterial oder Wasser)

(Varianten 1.2, 2.2 und 3.2)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Große Fallhöhe - Kurze Entfernung zwischen OB und UB - Ausbildung des Restlochs als Restsee bzw. als neue Fläche möglich - Keine Sumpfungsmaßnahmen erforderlich - Früher Beginn des PSW-Betriebes möglich (nach Tagebauende und Bauzeit PSW) 	<ul style="list-style-type: none"> - Flächenverbrauch durch neues Oberbecken - Großer Aufwand im Falle einer Verfüllung des Restlochs mit Bodenmaterial (falls überhaupt möglich) - Hohe technische Anforderungen für Planung und Bau der später zu überschütenden bzw. zu überfüllenden Kavernen- und Schachtbauwerke, inkl. Zugänge

Tabelle 11: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 2

Grundkonzept 3:

Oberbecken auf bestehendem Gelände (GOK) – Unterbecken Restsee

(Varianten 1.3, 2.3 und 3.3)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Kurze Entfernung zwischen OB und UB - Vergleichsweise geringe Baukosten, da kein Unterbecken gebaut werden muss - Keine Sumpfungsmaßnahmen erforderlich - Energiegewinnung durch Laufwasserkraftwerk während Befüllung Restsee 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Fallhöhe - Flächenverbrauch durch neues Oberbecken - Später Beginn des PSW-Betriebes durch lange Füllzeit Restsee

Tabelle 12: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 3

Grundkonzept 4:

Oberbecken auf Geländeerhebungen – Unterbecken Restsee

(Varianten 1.4, 2.4, 3.4a, 3.4b und 3.4c)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Große Fallhöhe - Keine Sümpfungsmaßnahmen erforderlich - Energiegewinnung durch Laufwasserkraftwerk während Befüllung Restsee 	<ul style="list-style-type: none"> - große Entfernung zwischen OB und UB - ggf. komplizierte Gründungsbedingungen für die Wasserwege, die durch die Kippenbereiche der ehemaligen Tagebaue führen - Flächenverbrauch durch neues Oberbecken auf Halde - Störung der bestehenden Nutzungen auf den Geländeerhebungen (Freizeit und Erholung, Natur, Windkraftanlagen) - Später Beginn des PSW-Betriebes durch lange Füllzeit Restsee

Tabelle 13: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 4

Grundkonzept 5:

Oberbecken auf Halde – Unterbecken Restlochsohle (Kaverne)

(Varianten 1.5, 2.5, 3.5a, 3.5b und 3.5c)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Größtmögliche Fallhöhen im Projektgebiet - Keine Sümpfungsmaßnahmen erforderlich - Ausbildung des Restlochs als Restsee bzw. Flächengewinn durch Verfüllung mit Bodenmaterial - Früher Beginn des PSW-Betriebes möglich (nach Tagebauende und Bauzeit PSW) 	<ul style="list-style-type: none"> - große Entfernung zwischen OB und UB - ggf. komplizierte Gründungsbedingungen für die Wasserwege, die durch die Kippenbereiche der ehemaligen Tagebaue führen - Flächenverbrauch durch neues Oberbecken auf Halde; - Störung der bestehenden Nutzungen auf den Geländeerhebungen (Freizeit und Erholung, Natur, Windkraftanlagen) - Hohe technische Anforderungen für Planung und Bau der später zu überschütenden bzw. zu überfüllenden Kavernen- und Schachtbauwerke, inkl. Zugänge

Tabelle 14: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 5

Grundkonzept 6:

Oberbecken Restsee – Unterbecken Restsee

(Varianten 4.2a und 4.3a)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Keine Sümpfungsmaßnahmen erforderlich - Kein zusätzlicher Flächenverbrauch durch neue Becken - Geringe Wasserspiegelschwankungen im PSW-Betrieb aufgrund großer Seeoberflächen - Keine großen Beeinträchtigungen für vorgesehene Nutzungen bzgl. der Restseen 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Fallhöhe - Vergleichsweise große Entfernungen zwischen den Restseen; dadurch hohe Baukosten für Wasserweg

Tabelle 15: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 6

Grundkonzept 7:

Oberbecken Restsee – Unterbecken Restlochsohle (Kaverne)

(Varianten 4.1, 4.2b und 4.3b)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Große Fallhöhe - Kein zusätzlicher Flächenverbrauch durch neue Becken - Geringe Wasserspiegelschwankung im Oberbecken bei PSW-Betrieb aufgrund großer Seeoberfläche - Keine großen Beeinträchtigungen für vorgesehene Nutzungen im Oberbecken 	<ul style="list-style-type: none"> - Großer technischer Aufwand im Falle einer Verfüllung des Restlochs mit Bodenmaterial (falls überhaupt vorhanden) - Hohe technische Anforderungen für Planung und Bau der später zu überschütenden bzw. zu überfüllenden Kavernen- und Schachtbauwerke, inkl. Zugänge - Vergleichsweise große Entfernungen zwischen den Restseen; dadurch hohe Baukosten für Wasserweg

Tabelle 16: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 7

Grundkonzept 8:

Einbeziehung anderer Gewässer in PSW-Betrieb

(Varianten 5.1 und 5.2)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Kein Bau eines zusätzlichen Beckens erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> - Einschränkung bisheriger Nutzungen am vorhandenen Gewässer (z.B. durch Wasserspiegelschwankungen) - Vergleichsweise geringes Pendelwasservolumen aufgrund geringer Größe vorhandener Gewässer im Projektgebiet - Vergleichsweise große Distanz zwischen Oberbecken und Unterbecken

Tabelle 17: Vor- und Nachteile PSW - Grundkonzept 8

8.2 Bewertung Einzelvarianten bzw. Einzelkomponenten

8.2.1 Neue Oberbeckenstandorte neben Restseen / Restlöchern

Im Folgenden werden die standortortspezifischen Bedingungen der einzelnen Standorte betrachtet und einander gegenübergestellt.

	Vorteile	Nachteile
Oberbecken neben Restloch Garzweiler (Varianten 1.1, 1.2 und 1.3)	<ul style="list-style-type: none"> - Anordnung Oberbecken am höher gelegenen südlichen Rand des Restlochs Garzweiler gut möglich (geringer Anteil Siedlungsflächen) - Kurze Distanz zwischen Oberbecken und Restsee/Restloch - Keine Beeinträchtigung bestehender Infrastruktur - Lage des PSW außerhalb von Schutzgebieten 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringere Fallhöhen generierbar im Vergleich zum Restloch Hambach (Varianten 2.1, 2.2 und 2.3)
Oberbecken neben Restloch Hambach (Varianten 2.1, 2.2 und 2.3)	<ul style="list-style-type: none"> - Größte erzielbare Fallhöhe im Vergleich zu Parallelvarianten in Garzweiler und Inden 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Anordnung unmittelbar neben Restsee/Restloch Hambach möglich

	- Lage des PSW außerhalb von Schutzgebieten	- Querung der Autobahn A 4 für Wasserweg
Oberbecken neben Restloch Inden (Varianten 3.1, 3.2 und 3.3)	- Lage des PSW außerhalb von Schutzgebieten	- geringste erzielbare Fallhöhe im Vergleich zu Parallelvarianten in Garzweiler und Hambach - Keine Anordnung unmittelbar neben Restsee/Restloch Inden möglich - Querung der Autobahn A 4 für Wasserweg

Tabelle 18: Bewertung der Oberbeckenstandorte neben Restlöchern/Restseen

8.2.2 Oberbeckenstandorte auf vorhandenen Geländeerhöhungen

Im Folgenden werden die standortortspezifischen Bedingungen der vorhandenen Geländeerhöhungen im Projektgebiet betrachtet und einander gegenübergestellt.

Name	Vorteile	Nachteile
Vollrathen Höhe Typ: Halde Höhe: ca. 160 m ü. NN	- Großes generierbares Beckenvolumen (bis zu ca. 30 Mio. m ³)	- Geringste Fallhöhen im Vergleich zu den Varianten mit anderen Erhöhungen - Bestehende Windkraftanlagen auf Plateau - Große Distanz zum nächstgelegenen Restloch Garzweiler (12,6 km) - Wasserweg führt durch ehemaligen Tagebau Garzweiler (verkipptes Material, evtl. ungünstige Gründungsbedingungen)
Sophienhöhe Typ: Halde Höhe: ca. 270 m ü. NN	- größte Fallhöhen (mit Restsee/Restloch Hambach) im Vergleich zu den Varianten mit anderen Geländeerhöhungen - großes generierbares Beckenvolumen (bis zu ca. 30 Mio. m ³) - kürzeste Entfernung aller Geländeerhöhungen zu Restsee (3,8 km zu Restsee/Restloch Hambach)	- Wasserweg führt durch ehemaligen Tagebau Hambach (verkipptes Material, evtl. ungünstige Gründungsbedingungen) - Beliebtes Ausflugsziel (Wanderwege, Wald und Teiche)

Halde Nierchen (Beendigung der Rekultivierung 1973) Höhe: ca. 210 m ü. NN	<ul style="list-style-type: none"> - Gehölzfreie ebene Fläche - Vergleichsweise kurze Entfernung zum Restsee / Restloch Inden 	<ul style="list-style-type: none"> - Vergleichsweise geringes generierbares Beckenvolumen - Bestehende Windkraftanlagen auf Plateau (in den Randbereichen)
Meroder Wald Typ: Natürliche Erhebung Höhe: ca. 260 m ü. NN	<ul style="list-style-type: none"> - vergleichsweise große Fallhöhe - großes generierbares Beckenvolumen 	<ul style="list-style-type: none"> - stark bewaldetes Gebiet - vergleichsweise große Distanz zum Restsee / Restloch Inden

Tabelle 19: Bewertung der Oberbeckenstandorte auf vorhandenen Geländeerhöhungen

8.3 Geotechnische Bewertung

8.3.1 Böschungen

Die Betriebspläne der Tagebaue sehen für die temporären sowie auch für die endgültigen Rand- und Kippenböschungen die Vorlage von umfangreichen Standsicherheitsnachweisen nach der sogenannten RfS (Richtlinie für die Untersuchung der Standsicherheit von Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke) durch den Betreiber vor, die von der Genehmigungsbehörde unter Mitwirkung des geologischen Dienstes NRW geprüft und zur Ausführung genehmigt werden. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass die Standsicherheit der Endböschungen sowohl für die wasserfreien Restlöcher als auch für die befüllten Restseen gewährleistet sein wird.

Für den Fall, dass Pumpspeichervarianten mit tiefliegenden Unterbecken als auch mit gefüllten Restseen weiter geplant werden, sind neue Standsicherheitsbetrachtungen im Hinblick auf die Einzelbauwerke in und auf den Böschungen anzustellen.

8.3.2 Rohrbahnen

Die Rohrbahnen zwischen den Ober- und Unterbecken verlaufen je nach Variante über kurze Distanzen bei Oberbecken auf Geländeniveau neben den Restlöchern oder über weite bis sehr weite Distanzen bei den möglichen Oberbecken auf den Bergehalden in der Umgebung der Restlöcher.

Bei einzelnen Varianten (z.B. Inden – Hambach oder Inden - Garzweiler) queren die Rohrbahnen auch einzelne, vom Geologischen Dienst NRW als aktive Störungen ausgewiesene Sprünge. In der Beschreibung der tektonischen Verhältnisse wurden in einem bestimmten Zeitraum gemessene Absenkungsbeträge von 1 bis 2 mm/Jahr beschrieben, die sich für einen Betriebszeitraum von ca. 100 Jahren zu 20 cm aufsummieren könnten. Solche Versatzbeträge punktuell an einer definierten Störung könnten sicherlich zu Schäden an den Rohrbahnen führen. Allerdings ist ein solches Szenario sehr unwahrscheinlich aufgrund der im gleichen Kapitel angestellten Überlegungen, da der realistischere Absenkungsbetrag von 0,064 mm/Jahr sich im gleichen Zeitraum zu nur ca. 6,4 mm aufsummiert und damit unschädlich für eine Rohrbahn sein würde, die eine seismisch aktive Störungen quert.

Rohrbahnen, die über die Böschungsschultern zum Unterbecken und Rohrbahnen, die zu höher liegenden Oberbecken auf Bergehalden verlaufen können dagegen durch Nachsetzungen innerhalb der Halden sowie Geländehebungen der Restlochböschungen infolge der Einstellung von Sumpfungsmaßnahmen durch relative Differenzbewegungen statisch beansprucht werden. Ggf. können solche Differenzbewegungen durch geeignete Maßnahmen minimiert werden, indem z.B. die Verläufe der Rohrbahnen nicht geradlinig sondern schräg und/oder winkelig angelegt werden.

Daneben wird sich die Gründung und die Gestaltung der Stützpunkte für die Rohrbahnen auf oder in den Böschungen sehr aufwendig darstellen, da es sich in Bezug auf die Endböschungen der Restlöcher mehr oder weniger um „schwimmende“ Gründungen in über lange Zeit setzungsempfindlichen Schüttkörpern handelt.

8.3.3 Unterbecken

Bei den Varianten, die als Unterbecken einen komplett befüllten Restsee haben, sind bis auf den lokalen Wellenschlagbereich bei insgesamt standsicheren Unterwasserböschungen (nach RfS) keine geotechnischen Risiken zu erkennen.

Die offenen Varianten, bei denen entweder ein Unterbecken auf den Abbausohlen frei errichtet oder bei denen eine Teilabsenkung durch weitere Sumpfung beibehalten werden sollen, haben alle das Risiko eines Wasseranstiegs im Restloch bei Ausfall der Sumpfungsanlagen. In Fall des Unterbeckens auf der Tagebausohle bliebe nur wenig Zeit um zu entscheiden, ob die Sumpfung wiederhergestellt werden kann oder soll, da bei einem Ausfall innerhalb kurzer Zeit ein Grundwasserzufluss in Richtung auf das Restloch stattfinden würde, der bedenkliche Auswirkungen auf die Böschungen haben könnte, da hier sich ein Strömungspotential des Grundwassers aus den Böschungen heraus in Richtung Tagebaurestloch entwickeln würde.

Bei einer Variante mit weiterhin teilabgesenktem Wasserspiegel wären die Auswirkungen durch die sich umkehrenden Strömungspotentiale geringer. Aber auch hier wären die Nebenbauwerke, die auf den Böschungen angelegt werden müssen, dem Risiko ausgesetzt, überflutet zu werden, wenn sie nicht bei der Planung schon flutsicher ausgebildet worden sind.

Die Varianten mit überschütteten oder überfluteten Unterbecken als Unterbecken-Kavernen bergen aus heutiger Sicht bei den vorhandenen geotechnischen Verhältnissen erhebliche Schwierigkeiten bei der Bauausführung und Risiken für den Betrieb. Um die Hohlraumbauten in den Böschungen werden sich keine mittragenden Gewölbe im „Gebirge“ ausbilden, so dass die Bauwerke konstruktiv die erheblichen Auflasten aus den Überschüttungen tragen müssten.

Die Hohlraumbauten auf den Abbausohlen müssten dem hydrostatischen Druck aus dem Seewasser widerstehen und zugleich den immensen Auftrieb kompensieren, was nur durch umfangreiche und bei den anstehenden geologischen Schichten sehr anfällige konstruktive Maßnahmen, z.B. tiefe Verankerungen erreicht werden könnte. Da auch bei Befüllung eines solchen Unterbeckens ein Luftraum in der Kaverne verbleiben muss, würde die Befüllung die Auftriebskräfte nur sehr geringfügig und auch nur zeitweise durch die Wassersäule in der Kaverne vermindern. Um die Sicherheit, Zugänglichkeit und Sanierungsfähigkeit in einem derartigen unterirdischen System gewährleisten zu können, wäre ein aufwendiges Zufahrts- und Sicherungssystem zu konzipieren.

8.3.4 Oberbecken, geländegleich

Ein geländegleiches Oberbecken ist auf den Bereichen mit gewachsenem Boden aus geotechnischer Sicht mit den entsprechenden konstruktiven Maßnahmen herstellbar. Aushub, Gründung, und Be-

ckenbau mit Abdichtung sind problemlos herzustellen, wobei jedoch der Bau in seismisch aktiven Zonen vermieden werden sollte. Grundsätzlich werden neue Speicherbecken nach dem Prinzip des Massenausgleiches gebaut, d.h. das Becken wird höhenmäßig derart positioniert, dass die Aushubmassen den Auftragsmassen entsprechen (unter Berücksichtigung von Auflockerungsfaktoren, des Oberbodenanteils sowie der generellen Materialeignung des Aushubs für den Auftrag). Die Bereitstellung entsprechend großer Flächen dürfte bei geländegleichen Oberbecken das wohl größte Problem darstellen.

Geländegleiche Oberbecken auf Tagebauverfüllungen (Kippen) sind geotechnisch als nicht günstig einzustufen. Restsetzungen müssen ausgeschlossen werden können. Leckagen besonders durch weitere Differenzsetzungen oder -sackungen können zu Infiltrationen aus dem Becken in den Untergrund führen, wodurch lokale und punktuelle Sackungen in den Verfüllkörpern durch Bodenverflüssigungen entstehen können, durch die letztendlich eine Zerstörung des Oberbeckens zu besorgen wäre.

8.3.5 Oberbecken auf Aufhaldungen

Oberbecken auf Aufhaldungen bzw. Bergehalden sind nur möglich, wenn die Eigensetzungen der Halden abgeklungen sind. Werden die Oberbecken durch Aushub „eingegraben“ und mit dem Aushub die Randdämme erstellt, wird der Betrieb zu keinen höheren Lasten führen als vor dem Aushub, da die Wichte des Aushubmaterials höher war als die des Pendelwassers. Wenn keine nennenswerten Eigensetzungen mehr zu befürchten sind, können Aushub, Gründung und Beckenbau mit Abdichtung problemlos ausgeführt werden. Hierbei sind aber auf der gesamten Gründungsfläche sicherlich Nachverdichtungen und gezielte Untergrundverbesserungen durchzuführen, da die Halden durch stete Materialwechsel bei der Anschüttung nicht homogen und gezielt verdichtet aufgebaut worden sind.

Das wohl größte Risiko dieser Varianten stellen Leckagen im Oberbecken mit merklichen Wasseraustritten dar, die schnell zu Erosionen an den Haldenböschungen und zu Sackungen im Haldenkörper führen können. Um dem vorzubeugen, muss das Sickerwasser auf der Unterseite der Beckensohle mittels Drainageleitungen kontrolliert gefasst und abgeleitet werden. Durch das Anlegen eines Kontrollgangsystems unter dem Becken können Sickerwasseraustritte lokalisiert und Maßnahmen zur Schadensbeseitigung getroffen werden.

8.3.6 Oberbecken auf paläozoischen Schichten

Im Untersuchungsbereich der vorliegenden Studie ist ein Oberbeckenstandort im Meroder Wald südlich von Eschweiler identifiziert. Hier läge das Oberbecken auf der Verwitterungszone bzw. unmittelbar auf paläozoischen Festgesteinen. Dieser Standort birgt aus geotechnischer Sicht die geringsten Risiken und ist sicher zu erstellen. Hier ist davon auszugehen, dass es keine Sackungen geben wird und Dämme und Rohrbahnen auf tragfähigem Untergrund standsicher erstellt werden können. Sickerwasseraustritte können auch bei derartigen Becken durch ein Kontrollgangsystem unter der Beckensohle kontrolliert werden. Der Nachteil dieses Standortes bestünde nur in der großen Entfernung zu den Tagebaurestlöchern.

8.3.7 Bewertung aus geotechnischer Sicht

Aus geotechnischer Sicht können nur die einzelnen Bauwerksteile für sich bewertet werden. Dies sind:

- Unterbecken mit Nebenbauwerken

- Oberbecken mit Nebenbauwerken
- Rohrbahnen
- Böschungen

Unterbecken

- (++) Bei den Unterbecken ist geotechnisch die Variante mit Komplettbefüllung der Tagebaurestlöcher als Unterbecken die unkomplizierteste.
- (+) Auch die Unterbeckenvariante mit einer verbleibenden Teilabsenkung bietet geotechnisch günstige Voraussetzungen, wenn die Risiken (geregelter Grundwasser- und Beckenwasserstand) beherrscht werden können.
- (--)
- Freie Unterbecken auf den Tagebausohlen sind aus geotechnischer Sicht aufgrund der umfangreichen Sumpfungmaßnahmen sowie deren Kosten und der Standsicherheitsrisiken für die Böschungen bei Teil- und erst recht bei Komplettausfall der Sumpfungen nicht empfehlenswert.
- (--)
- Unterbecken als Kavernen unter Überschüttungen oder dem freien Wasserspiegel bergen erhebliche bau- und betriebstechnische Risiken. Wasserdrücke von über 250 m Metern mächtigen Wassersäulen liegen im Grenzbereich von möglichen Tauchtiefen von U-Booten, die im Vergleich zu den angedachten Kavernen nur winzige Körper darstellen. In überschütteten Bereichen können sich keine Gebirgsgewölbe aufbauen, so dass auch hier die Bauwerke die gesamte Auflastsäule tragen müssten.

Oberbecken

- (++) Bei den Oberbecken ist geotechnisch die geländegleiche Variante die unkomplizierteste.
- (++) Das Oberbecken auf paläozoischen Festgesteinen ist geotechnisch als sehr vorteilhaft anzusehen.
- (+/-) Unter Beachtung diverser baulicher Voraussetzungen sind die Oberbecken auf alten Halden als geotechnisch möglich zu beurteilen.
- (-) Oberbecken auf Tagebauverfüllungen werden geotechnisch als kritisch beurteilt.

Rohrbahnen

- (++) Kurze Rohrbahnen sowie lange Rohrbahnen zwischen Ober- und Unterbecken (=vollständig gefüllter Restsee) sind geotechnisch als gut zu beurteilen.
- (++) Rohrbahnen im Bereich der paläozoischen Festgesteine sind als geotechnisch geeignet zu betrachten.
- (+)
- Rohrbahnen zu Oberbecken auf alten Halden sind als geotechnisch geeignet zu betrachten, wenn sichergestellt ist, dass keine merklichen Restsetzungen der Halden mehr erfolgen.
- (+/-)
- Rohrbahnen, die seismisch aktive Störungen queren sind geotechnisch als kritisch zu sehen, wenn keine näheren Informationen zu den seismisch aktiven Zonen vorliegen.

- (-) Lange Rohrbahnen zu abgesenkten bzw. offen tiefliegenden Unterbecken oder Kavernen als Unterbecken, die auf den Vorschüttungen der Randböschungen liegen, bergen geotechnische Risiken bei der Gründung der Stützpunkte sowie bezüglich der Untergrundreaktionen und Geländehebungen bei Wiederanstieg des Grundwassers.

Böschungen

- (++) Unter der Voraussetzung, dass die Endböschungen der Tagebaurestlöcher nach der RfS als standsicher nachgewiesen worden sind, können sie als geotechnisch sicher beurteilt werden.
- (+/-) Böschungsbereiche auf denen gegründet werden soll, werden fast durchweg in den Kippenschüttungen oder den Vorschüttungen der Seitenböschungen liegen und sind im Detail nicht durch die RfS Beurteilungen abgesichert. Diese Bereiche müssen in der Planung gesondert untersucht und deren Tragfähigkeit sowie Standsicherheit gesondert nachgewiesen werden, um als geotechnisch unbedenklich bewertet werden zu können.

9 Untersuchung von Zwischenzuständen

Grundsätzlich ist es möglich bei allen PSW-Kombinationen mit dem Unterbecken auf der Sohle eines Restlochs alternativ einen höheren Wasserspiegel im Restloch anzusetzen. Dies hätte zwar eine Reduzierung der Fallhöhe zur Folge, würde aber die Sumpfungsmengen und -kosten und dadurch gegebenenfalls geologische und hydrogeologische sowie genehmigungsrechtliche Risiken reduzieren.

In der vorliegenden Untersuchung wurden die PSW-Kombinationen mit den größten Fallhöhen auf eine mögliche Erhöhung des Wasserspiegels im Unterbecken untersucht. In der folgenden Tabelle sind für die Varianten 2.1 und 2.5 die reduzierten Leistungswerte für den Fall einer beispielhaften Anhebung des Wasserspiegels im Unterbecken um 130 m angegeben.

Variante	ursprüngliche PSW Kombination mit Unterbecken auf Restlochsohle			PSW-Kombination mit angehobenem UB-Wasserspiegel		
	WSP Unterbecken [m ü.NN]	Mittlere Fallhöhe [m]	Leistung [MW]	WSP Unterbecken [m ü.NN]	Mittlere Fallhöhe [m]	Leistung [MW]
2.1: GOK - Restloch Hambach	-377	515	1.053	-247	371	757
2.5: Sophienhöhe - Restloch Hambach	-377	655	1.339	-247	511	1.043

Tabelle 20: Untersuchung Teilfüllung Restseen

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen können die Wasserspiegelerhöhungen in Abhängigkeit eines Wirtschaftlichkeitskriteriums (z.B. der spezifischen Kosten in €/kW) ermittelt werden.

Hierfür müssten zunächst die Kosten der PSW-Anlage mit Wasserspiegel auf Restlochsohle ermittelt werden, um dann, falls ein wirtschaftlicher Spielraum vorhanden ist, eine gewisse Wasserspiegelerhöhung im Unterbecken ansetzen zu können.

10 Ergebnisse der Identifikation von PSW-Standorten

In Anlage 11 sind die identifizierten PSW-Kombinationen nach Fallhöhe aufgelistet. Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der Untersuchung der Zwischenzustände (siehe vorheriger Abschnitt 9) können folgende grundsätzliche Schlüsse gezogen werden:

- Die PSW-Kombinationen mit dem **Unterbecken im Bereich der Sohle des Restlochs Hambach** haben die größten Fallhöhen.
- Unter diesen Varianten schneidet die Kombination mit dem **Oberbecken auf der Sophienhöhe am besten** ab (größte Fallhöhe aller Varianten) (Variante 2.5).
- Beim Vergleich der vorhandenen Geländeerhebungen schneidet die **Sophienhöhe vor dem Meroder Wald am besten** ab. Die Vollrather Höhe und die Halde Nierchen können nicht für eine PSW-Nutzung empfohlen werden (geringe Fallhöhen, große Horizontalabstände zu den Restseen).
- Bei den PSW-Kombinationen mit einem **gefüllten Restsee** schneidet die Kombination **Restsee Inden – Sohle Hambach am besten** ab und liegt in der Gesamtbetrachtung auch auf den vorderen Rängen (Variante 4.3b).
- Auf den **ersten zehn Plätzen** liegen ausschließlich **PSW-Kombinationen mit dem Unterbecken im Bereich der Restlochsohlen**. Da aber sowohl die Varianten mit offenen Unterbecken (permanente Sümpfungen erforderlich) als auch mit geschlossenen Kavernensystemen (großer technischer Aufwand für Befüllung Restloch mit Erdmaterial oder Wasser) nur mit einem enormen technischen und wirtschaftlichen Aufwand mit verschiedenartigen genehmigungsrechtlichen Hindernissen zu errichten sind, könnte gegebenenfalls auch eine **Variante mit gefülltem bzw. teilgefülltem Restsee als Unterbecken** untersucht werden. Hier schneidet die Kombination **Sophienhöhe – Restsee Hambach** (Variante 2.4) am besten ab.
- Die **Einbeziehung des Blausteinsees** in ein PSW-Konzept kann **nicht empfohlen** werden (geringe Fallhöhe, großer Abstand zum Unterbecken, geringes Volumen).

Am 20. Februar 2018 wurden die Ergebnisse der Identifikation von möglichen PSW-Standorten im Tagebaugelände beim Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen vorgestellt.

Im Hinblick auf die weitere Bearbeitung der Konzeptstudie wurden dabei folgende Festlegungen getroffen.

- Es werden keine PSW-Varianten weiterverfolgt, die dauerhafte Sümpfungsmaßnahmen erfordern, d.h. alle Varianten mit offenem Restloch als Unterbecken werden ausgeschlossen, auch Teilfüllungen.

- Stattdessen werden die beiden bestplatzierten Varianten mit gefüllten Restseen untersucht werden:
 - Variante 2.4 Sophienhöhe – Restsee Hambach und
 - Variante 3.4c Meroder Wald – Restssee Inden.

In den Kapiteln 12ff werden die Untersuchungsergebnisse zu den beiden am 20.02.2018 festgelegten Vorzugsvarianten vorgestellt.

11 Alternative energetische Nutzungsmöglichkeiten

Neben den möglichen permanenten Pumpspeichernutzungen nach Tagebauende bzw. nach erfolgter (Teil-) Füllung der Restseen sind darüber hinaus weitere Möglichkeiten zur Energiegewinnung aus Wasserkraft während des Prozesses der landschaftlichen Umgestaltung der drei Tagebaurestlöcher gegeben. So z.B. ergeben die großen Tiefen der drei Tagebaurestlöcher ein beachtliches Potential für die zwischenzeitliche Installation von Laufwasserkraftwerken während der Befüllung der Restlöcher.

Folgende Eckdaten liegen der vorliegenden Untersuchung zur energetischen Nutzung während der Befüllung der Restlöcher Garzweiler, Hambach und Inden zugrunde.

	Garzweiler-Restsee	Hambach-Restsee	Inden-Restsee
Beginn der Befüllung	2045	2045	2032
Ende der Befüllung	~2085	~2090	~2050
Füllzeit	~40 Jahre	~45 Jahre	~18 Jahre
Volumen Restsee	2.000 Mio.m ³	5.500 Mio m ³	800 Mio. m ³
Tiefe Becken	190 m	325 m	175 m
Steiggeschwindigkeit Befüllung	4,75 m/Jahr	7,5 m/Jahr	8,75 m/Jahr
Füllung	Rheinwasser	Rheinwasser	Rurwasser
Füllmenge	60 Mio m ³ /Jahr	270 Mio m ³ /a	60 Mio. m ³ /a

Tabelle 21: Kennzahlen Befüllung der Restseen (Quelle: RWE)

Der jährliche Anstieg des Seewasserspiegels wurde für diese Betrachtung überschlägig konstant angesetzt (Anstieg Wasserspiegel = Beckentiefe / Befüllzeit). Auch die Füllmenge wurde konstant über den Füllzeitraum definiert (Füllmenge = Gesamtfüllvolumen / Befüllzeit).

Anhand o.g. Kennzahlen wurden für die drei Restseen das mögliche Energiepotential über die Befüllzeit in Jahresscheiben abgeschätzt.

Für alle drei Restlöcher würde sich der Einsatz von Francisturbinen am besten eignen (siehe Abbildung 36). Dadurch, dass sich die Fallhöhen im Laufe der Jahre stetig reduzieren und sich evtl. auch die Zuflüsse verändern, müsste die Maschinenteknik in gewissen Abständen ausgetauscht bzw. angepasst werden. Für den weiteren Verlauf der Untersuchungen wird empfohlen, mit Turbinenherstellern Kontakt aufzunehmen, um zu klären, inwieweit die Maschinensätze flexibel ausgelegt werden können, um häufige Maschinenanpassungen zu vermeiden.

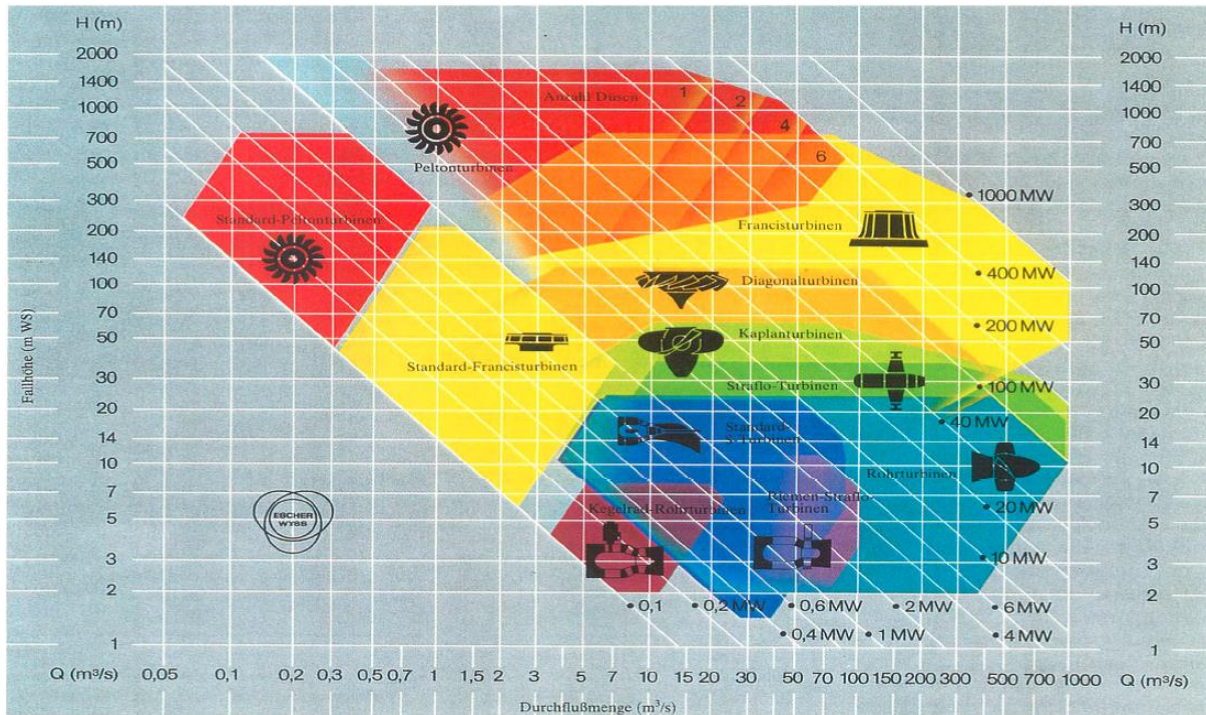


Abbildung 36: Einsatzbereiche verschiedener Turbinentypen (Quelle: Escher-Wyss)

In der folgenden Tabelle sind für die drei Tagebaurestlöcher die möglichen Energieerzeugungen zusammengestellt. Es wurde von einem Gesamtwirkungsgrad der Laufwasserkraftanlagen von 90% ausgegangen.

	Garzweiler-Restsee	Hambach-Restsee	Inden-Restsee
Betrieb Laufwasserkraft	2045 - 2085	2045 - 2090	2032 – 2050
Mittl. Fallhöhen (max. - min.)	225 m – 35 m (Überlaufschwelle bei 100 mNN)	338 m – 13 m (Überlaufschwelle bei 78 mNN)	180 m – 8 m (Überlaufschwelle bei 100 mNN)
Durchfluss (konstant)	1,59 m³/s	3,24 m³/s	1,41 m³/s
Kraftwerksleistung (max. – min.)	3,15 MW – 0,49 MW	9,67 MW – 0,37 MW	2,24 MW – 0,10 MW
Jährliche Energieerzeugung	27,6 – 4,3 GWh	84,7 – 3,2 GWh	19,6 – 0,9 GWh
Gesamtenergie während Laufzeit (bei variabler Förderhöhe und Ausnutzung gesamtes Höhenpotential)	653 GWh	2.022 GWh	194 GWh

Tabelle 22: Überblick über die mögliche Energieerzeugung während Befüllung der Restseen

Die folgenden Tabellen zeigen die detaillierten Energieberechnungen für die drei Restlöcher in Jahresscheiben.

Energetische Nutzung während der Befüllung des Restsees Garzweiler:

Jahr	Jahr	WSP GOK	WSP Restsee	Fallhöhe mittel, Jahr	Durchfluss	Leistung	Arbeit, Jahr
		[mNN]	[mNN]	[m]	[m³/s]	[MW]	[MWh/a]
2045	1	100	-125	225	1,59	3,15	27.591
2046	2	100	-120	220	1,59	3,08	27.008
2047	3	100	-116	216	1,59	3,02	26.426
2048	4	100	-111	211	1,59	2,95	25.843
2049	5	100	-106	206	1,59	2,88	25.261
2050	6	100	-101	201	1,59	2,82	24.678
2051	7	100	-97	197	1,59	2,75	24.096
2052	8	100	-92	192	1,59	2,68	23.513
2053	9	100	-87	187	1,59	2,62	22.931
2054	10	100	-82	182	1,59	2,55	22.348
2055	11	100	-78	178	1,59	2,48	21.766
2056	12	100	-73	173	1,59	2,42	21.183
2057	13	100	-68	168	1,59	2,35	20.601
2058	14	100	-63	163	1,59	2,29	20.019
2059	15	100	-59	159	1,59	2,22	19.436
2060	16	100	-54	154	1,59	2,15	18.854
2061	17	100	-49	149	1,59	2,09	18.271
2062	18	100	-44	144	1,59	2,02	17.689
2063	19	100	-40	140	1,59	1,95	17.106
2064	20	100	-35	135	1,59	1,89	16.524
2065	21	100	-30	130	1,59	1,82	15.941
2066	22	100	-25	125	1,59	1,75	15.359
2067	23	100	-21	121	1,59	1,69	14.776
2068	24	100	-16	116	1,59	1,62	14.194
2069	25	100	-11	111	1,59	1,55	13.611
2070	26	100	-6	106	1,59	1,49	13.029
2071	27	100	-2	102	1,59	1,42	12.446
2072	28	100	3	97	1,59	1,35	11.864
2073	29	100	8	92	1,59	1,29	11.282
2074	30	100	13	87	1,59	1,22	10.699
2075	31	100	18	83	1,59	1,15	10.117
2076	32	100	22	78	1,59	1,09	9.534
2077	33	100	27	73	1,59	1,02	8.952
2078	34	100	32	68	1,59	0,96	8.369
2079	35	100	37	64	1,59	0,89	7.787
2080	36	100	41	59	1,59	0,82	7.204
2081	37	100	46	54	1,59	0,76	6.622
2082	38	100	51	49	1,59	0,69	6.039
2083	39	100	56	45	1,59	0,62	5.457
2084	40	100	60	40	1,59	0,56	4.874
2085	41	100	65	35	1,59	0,49	4.292
Gesamtenergieerzeugung während Befüllung [MWh]:							653.591

Tabelle 23: Energetische Nutzung Befüllung Restsee Garzweiler

Energetische Nutzung während der Befüllung des Restsees Hambach:

Jahr	Jahr	WSP GOK	WSP Restsee	Fallhöhe mittel, Jahr	Durchfluss	Leistung	Arbeit, Jahr
		[mNN]	[mNN]	[m]	[m³/s]	[MW]	[MWh/a]
2045	1	78	-260	338	3,24	9,67	84.699
2046	2	78	-253	331	3,24	9,46	82.889
2047	3	78	-246	324	3,24	9,26	81.079
2048	4	78	-238	316	3,24	9,05	79.269
2049	5	78	-231	309	3,24	8,84	77.460
2050	6	78	-224	302	3,24	8,64	75.650
2051	7	78	-217	295	3,24	8,43	73.840
2052	8	78	-209	287	3,24	8,22	72.030
2053	9	78	-202	280	3,24	8,02	70.220
2054	10	78	-195	273	3,24	7,81	68.411
2055	11	78	-188	266	3,24	7,60	66.601
2056	12	78	-181	259	3,24	7,40	64.791
2057	13	78	-173	251	3,24	7,19	62.981
2058	14	78	-166	244	3,24	6,98	61.171
2059	15	78	-159	237	3,24	6,78	59.362
2060	16	78	-152	230	3,24	6,57	57.552
2061	17	78	-144	222	3,24	6,36	55.742
2062	18	78	-137	215	3,24	6,16	53.932
2063	19	78	-130	208	3,24	5,95	52.122
2064	20	78	-123	201	3,24	5,74	50.313
2065	21	78	-116	194	3,24	5,54	48.503
2066	22	78	-108	186	3,24	5,33	46.693
2067	23	78	-101	179	3,24	5,12	44.883
2068	24	78	-94	172	3,24	4,92	43.073
2069	25	78	-87	165	3,24	4,71	41.264
2070	26	78	-79	157	3,24	4,50	39.454
2071	27	78	-72	150	3,24	4,30	37.644
2072	28	78	-65	143	3,24	4,09	35.834
2073	29	78	-58	136	3,24	3,88	34.024
2074	30	78	-51	129	3,24	3,68	32.215
2075	31	78	-43	121	3,24	3,47	30.405
2076	32	78	-36	114	3,24	3,26	28.595
2077	33	78	-29	107	3,24	3,06	26.785
2078	34	78	-22	100	3,24	2,85	24.975
2079	35	78	-14	92	3,24	2,64	23.165
2080	36	78	-7	85	3,24	2,44	21.356
2081	37	78	0	78	3,24	2,23	19.546
2082	38	78	7	71	3,24	2,02	17.736
2083	39	78	14	64	3,24	1,82	15.926
2084	40	78	22	56	3,24	1,61	14.116
2085	41	78	29	49	3,24	1,40	12.307
2086	42	78	36	42	3,24	1,20	10.497
2087	43	78	43	35	3,24	0,99	8.687
2088	44	78	51	27	3,24	0,79	6.877
2089	45	78	58	20	3,24	0,58	5.067
2090	46	78	65	13	3,24	0,37	3.258
						Gesamtenergieerzeugung während Befüllung [MWh]: 2.022.999	

Tabelle 24: Energetische Nutzung Befüllung Restsee Hambach

Energetische Nutzung während der Befüllung des Restsees Inden

Jahr	Jahr	WSP GOK	WSP Restsee	Fallhöhe mittel, Jahr	Durchfluss	Leistung	Arbeit, Jahr
		[mNN]	[mNN]	[m]	[m³/s]	[MW]	[MWh/a]
2032	1	100	-80	180	1,41	2,24	19.620
2033	2	100	-70	170	1,41	2,12	18.578
2034	3	100	-61	161	1,41	2,00	17.537
2035	4	100	-51	151	1,41	1,88	16.495
2036	5	100	-42	142	1,41	1,76	15.454
2037	6	100	-32	132	1,41	1,65	14.412
2038	7	100	-23	123	1,41	1,53	13.371
2039	8	100	-13	113	1,41	1,41	12.329
2040	9	100	-4	104	1,41	1,29	11.288
2041	10	100	6	94	1,41	1,17	10.246
2042	11	100	16	84	1,41	1,05	9.204
2043	12	100	25	75	1,41	0,93	8.163
2044	13	100	35	65	1,41	0,81	7.121
2045	14	100	44	56	1,41	0,69	6.080
2046	15	100	54	46	1,41	0,58	5.038
2047	16	100	63	37	1,41	0,46	3.997
2048	17	100	73	27	1,41	0,34	2.955
2049	18	100	82	18	1,41	0,22	1.914
2050	19	100	92	8	1,41	0,10	872
Gesamtenergieerzeugung während Befüllung [MWh]:							194.674

Tabelle 25: Energetische Nutzung Befüllung Restsee Inden

12 Bewertung der Machbarkeit der beiden Vorzugsvarianten

12.1 Variante 2.4 – Sophienhöhe / Restsee Hambach

Technische Daten - Bau

Oberbecken	Nutzraum	10 Mio. m ³
	Stau- / Absenkziel	278 m NN / 248 m NN
	Wasserspiegelschwankung	30 m
Oberwasserschacht	Länge	ca. 450 m
	Durchmesser	7,0 m
	Fließgeschwindigkeit	6,0 m/s
Kraftwerk (Kaverne)	Abmessungen (Länge / Breite / Höhe)	65 m / 26 m / 50 m
	Kote Maschinenachse	-6 m NN
Wasserschloss (im Unterwasser)	Durchmesser	28 m
	Nutzhöhe	ca. 70 m
	Max. WSP-Schwankung (aus Betriebs-WSP)	ca. +/- 24 m
Unterwasserstollen	Länge	ca. 3.900 m
	Durchmesser	9,0 m
	Fließgeschwindigkeit	3,6 m/s
Unterbecken	Nutzraum	11.051 Mio. m ³
	Stau- / Absenkziel	65 m NN / 64 m NN
	Spiegelschwankung	ca. 1 m

Technische Daten – Ausrüstung

Auslegungsdaten	Anzahl der Maschinen	2
	Nenn- / Maximal- / Minimalfallhöhe	199 m / 214 m / 183 m
	Anlagenleistung	2 x 203 = 406 MW
	Volllaststunden im Turbinenbetrieb	12
Hydraulische Maschine	Pumpturbine (Francis)	vertikale Welle
	Nenndurchfluss Turbinen- / Pumpbetrieb	116 m ³ /s / 91 m ³ /s
	Wirkungsgrad Turbinen- / Pumpbetrieb	91 % / 92%
	Nennleistung Turbinen- / Pumpbetrieb	199,0 / 196,2 MW
	Synchrondrehzahl	300 1/min
Elektrische Maschine	Motor-Generator	Dreiphasen-Synchronmaschine
	Leistung	245 MVA
	Bemessungsspannung	18,0 kV
	Leistungsfaktor cos φ	0,80
Maschinentransformator	Nennleistung	245 MVA
	Nennübersetzung	420 / 230 kV

Generelle Daten

Energetische Daten	Wälzwirkungsgrad	77 %
	Arbeitsvermögen (12h Turbinenvolllast)	4.868 MWh
Projektkosten	Gesamtprojektkosten	851 Mio. €
	spezifische Kosten pro installiertem kW	2.096 €/kW

Tabelle 26: Technische Daten PSW-Variante 2.4 Sophienhöhe – Restsee Hambach

12.1.1 Lage

Der Oberbeckenstandort „Sophienhöhe“ liegt direkt nördlich des Tagebaus Hambach rund 6 km östlich der Stadt Jülich. Am nördlichen Rand der nahezu vollständig bewaldeten Sopianhöhe verläuft die Staatstraße 55.

Der Tagebau Hambach schließt aktuell direkt an der südlichen Flanke der Sophienhöhe an. Gemäß des Braunkohleplanes für den Tagebau Hambach ist vorgesehen, dass der Tagebau bis zum Jahr 2040 weiter in Richtung Süden wandert. Das südliche Ufer des zukünftigen Tagebaurestsees Hambach, welcher als Unterbecken für die betrachtete PSW-Variante fungieren wird, würde demnach in einem Abstand von ca. 400 m parallel zur Autobahn A4 verlaufen.

Anbindungsmöglichkeiten an das Stromnetz könnte die westlich des Tagebaus vorhandene Kraftwerksinfrastruktur des voraussichtlich bis zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme eines PSW stillgelegten Tagebaus Hambach darstellen. Das östlich von Elsdorf an der Autobahn A61 gelegene Umspannwerk könnte ebenfalls als mögliche Anbindungsstelle an das Stromnetz fungieren.

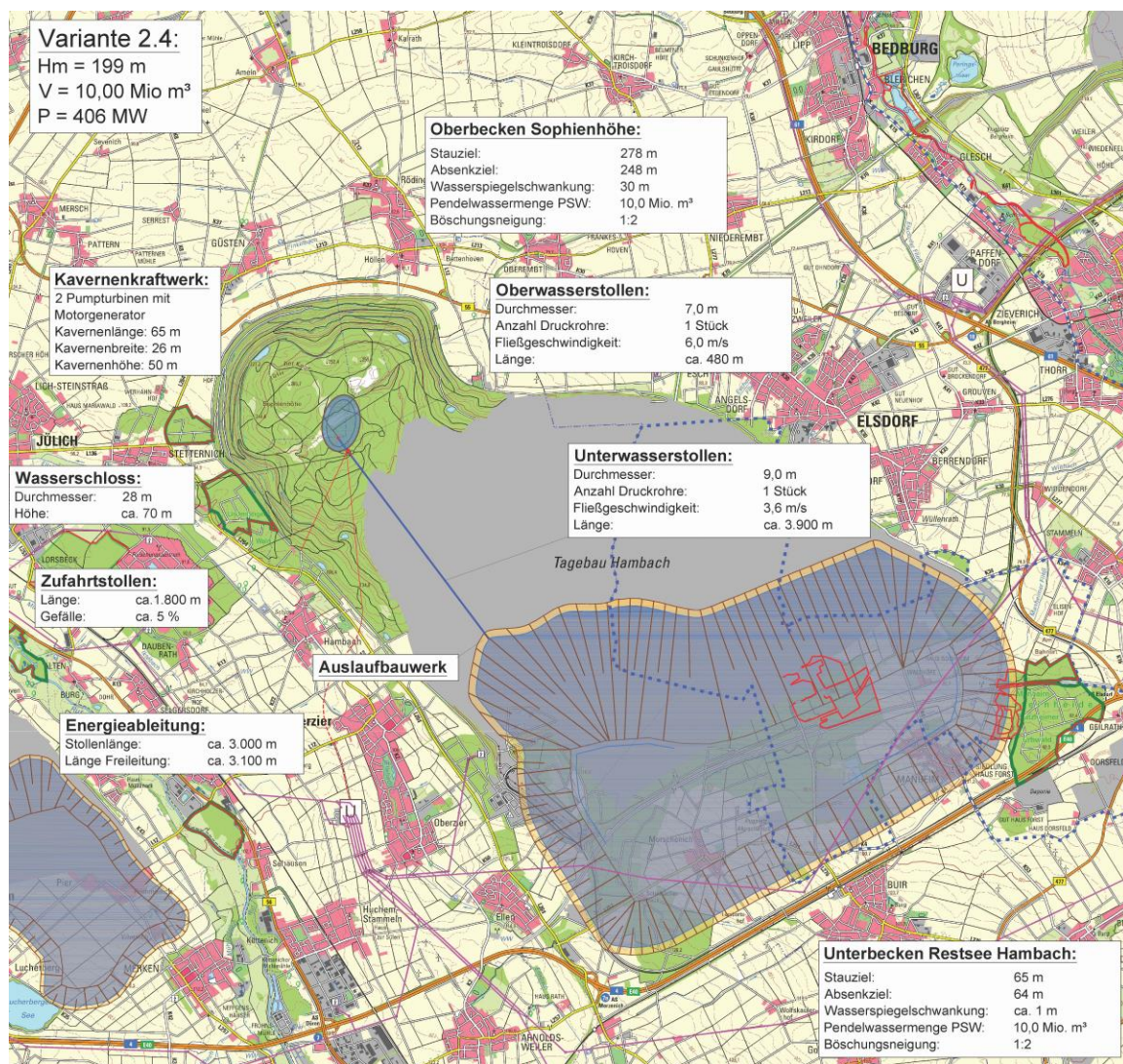


Abbildung 37: Lagebild PSW-Variante 2.4 (Sophienhöhe – Restsee Hambach)

12.1.2 Beschreibung der Anlage

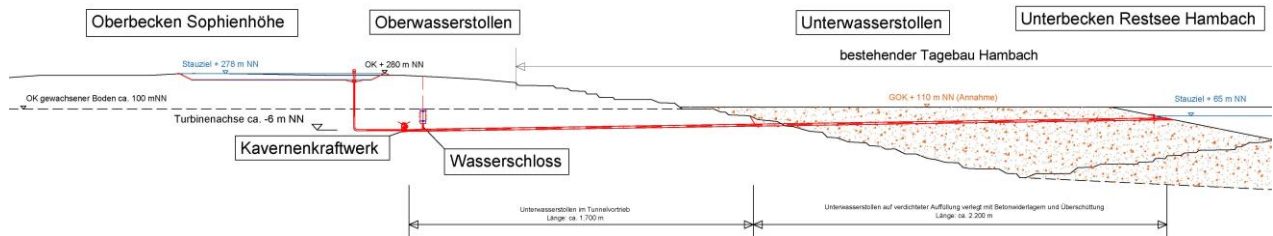


Abbildung 38: Längsschnitt PSW-Variante 2.4 (Sophienhöhe – Restsee Hambach) (Auszug aus Anlage 14)

Oberbecken mit Einlaufturm

Das Oberbecken liegt im Bereich der größten Erhebungen der Sophienhöhe in etwa auf der Geländekote 270 m ü. NN. Das Becken hat eine ovale Form mit einer Länge von ca. 500 m und einer Breite von etwa 350 m. Das nutzbare Beckenvolumen beträgt ca. 10 Mio. m³.

Da das vorhandene Haldenmaterial nur bedingt als Dammbaumaterial verwendet werden kann, kann das Oberbecken nicht im Massenausgleich (Aushubmassen gleich Auftragsmassen) hergestellt werden. Um große Dammhöhen zu vermeiden, wird das Oberbecken möglichst tief in das vorhandene Gelände eingebettet, sodass ein seitlicher Umgrenzungsstamm nur in den Abschnitten mit tiefer liegendem Gelände hergestellt werden muss. Die dementsprechend großen Aushubmassen müssen an anderer Stelle gelagert und verdichtet werden, wenn möglich im unmittelbaren Bereich auf der Sophienhöhe.

Die Beckentiefe beträgt 35 m und die Wasserspiegelschwankung 30 m. Die seitlichen Böschungen haben sowohl auf der Wasserseite als auch auf der Luftseite eine Neigung von 1:2.

Das Becken wird an der Sohle sowie an den Innenböschungen mit einer Asphaltbetondichtung versehen. Auftretendes Sickerwasser wird von einem Drainagesystem abgeführt. Ein Kontrollgang mit diversen Meßeinrichtungen wird unter dem Becken angelegt.

Im südlichen Bereich des Beckens befindet sich ein Einlaufturm, an den ein senkrechter Druckschacht Richtung Kavernenkraftwerk anbindet. Der Durchfluss wird über Zylinderschützen geregelt. Grobrechen verhindern den Eintrag von Schwemmmaterial. Der Einlauf muss so angelegt sein, dass auch beim Erreichen des Absenkeziels eine genügende Wasserüberdeckung vorhanden ist, um die Eintragung von Luft in den Wasserstrom zu vermeiden.

Oberwasserdruckstollen

Über den Einlaufturm gelangt das Wasser in einen zunächst senkrecht verlaufenden stahlgepanzten Druckschacht mit einem Innendurchmesser von 7,00 m. Etwa auf Höhe der Turbinenachse bei -6 m ü NN wird der Druckschacht mittels eines Krümmungsstückes in die waagerechte Lage geführt und zum Kavernenkraftwerk geleitet. Die Dicke der Stahlpanzerung wird über die Höhe gestaffelt. Naturgemäß herrschen im unteren Bereich der Leitung die größten Drücke, hier erreicht die Stahlpanzerung die größte Dicke. Damit die Kräfte von der Leitung direkt in den Untergrund übertragen werden können, wird die Panzerung mit Beton hinterfüllt. Die Gesamtlänge des Oberwasserstollens beträgt etwa 480

m (250 m vertikal und 230 m horizontal), die Fließgeschwindigkeit beim Durchfluss im Turbinenbetrieb etwa 6,0 m/s.

Im vertikalen Abschnitt durchläuft der Druckschacht im oberen Bereich von der Sohle des Oberbeckens bis etwa auf Höhe 100 m ü. NN den geschütteten Abraumboden der Halde Sophienhöhe, der zwar mittlerweile über die Jahre konsolidiert ist, aber trotzdem noch als Lockergestein einzustufen ist. Dementsprechend hoch wird der Aufwand für die Sicherung des Tunnelschachts, vor allem während der Bauzeit eingeschätzt.

Unterhalb der Höhe 100 m ü. NN wird gewachsener Boden angetroffen weswegen sich dort der Sicherungsaufwand im Vergleich zum oberen Abschnitt reduziert.

Kavernenkrafthaus

Das Kavernenkraftwerk liegt im Bereich der Sophienhöhe etwas südlich vom Oberbecken in ca. 250 m Tiefe unterhalb der Geländeoberkante. Es hat eine Grundfläche von etwa 26 x 65 m und eine Höhe von ca. 50 m. Das Kraftwerk ist für zwei Pumpturbinen mit Motorgeneratoren dimensioniert. Der Lauf- raddurchmesser der gewählten Pumpturbinen beträgt jeweils 4,34 m. Ein Kugelschieber im Oberwasser bzw. eine Saugrohrklappe im Unterwasser kann die Pumpturbine z.B. für den Revisionsfall vom Wasserstrom absperren. Um ein Abreißen der Wassersäule im Unterwasserstollen beim Pumpbetrieb zu vermeiden, müssen die Pumpturbinen ausreichend tief liegen. Im vorliegenden Fall liegt die Turbinenachse (-6 m ü. NN) 70 m unterhalb des Absenkziels im Unterbecken (64 m ü NN).

Die Zufahrt zur Kaverne erfolgt durch einen ca. 1.800 m langen Zufahrtsstollen, der aus südwestlicher Richtung die Kaverne andient. Das Tunnelportal am Rand der Sophienhöhe liegt etwa auf einer Höhe von 110 m ü. NN. Der Tunnel hätte somit ein Gefälle von ca. 5%. Dieser Stollen dient während der Bauausführung zum Abtransport des Ausbruchsmaterials sowie zur Versorgung der Baustelle mit Baumaterialien. Da die elektrotechnische und maschinelle Ausrüstung ebenfalls über diesen Tunnel antransportiert wird, muss eine entsprechend geringe Neigung des Stollens eingehalten werden.

Zusätzlich muß ein Fluchtstollen angelegt werden, damit sich im Falle eines Unfalls untertage die Arbeiter an die Oberfläche retten können.

Für die Energieableitung wird ein zusätzlicher Stollen hergestellt, der in südlicher Richtung auf einer Länge von ca. 3.000 m aus der Kraftwerkskaverne hinausführt. Ein Transformator mit Schaltanlage befindet sich oberirdisch in unmittelbarer Nähe zum Austrittsort des Energieableitungsstollens. Die Anbindung an das bestehende Netz erfolgt über eine ca. 3.100 m lange Freileitung.

Alternativ könnte als Energieableitung auch über der Kaverne ein senkrechter Stollen nach oben hergestellt werden und der Strom über eine neue Freileitung auf der Sophienhöhe weitergeleitet werden.

Unterwasserweg mit Wasserschloss

Zwischen Kavernenkraftwerk und Unterbecken „Restsee Hambach“ verläuft der etwa 3.900 m lange Unterwasserweg. Der obere unterhalb der Sophienhöhe liegende Abschnitt des Unterwasserweges wird als unterirdischer Stollen aufgefahren. Anschließend durchquert der Unterwasserweg das Gebiet des jetzigen Tagebaulochs Hambach bis er den Restsee südlich des jetzigen Tagebaus erreicht. In diesem offenen Bereich wird auf vorher zu verdichtendem Haldenmaterial eine Stahlbetonleitung hergestellt, die anschließend mit Haldenmaterial überschüttet wird. Der Unterwasserstollen bzw. die Unterwasserleitung hat einen Innendurchmesser von 9,0 m. Bei Turbinenbetrieb (Durchfluss 231 m³/s) wird eine Fließgeschwindigkeit von $v = 3,6$ m/s erreicht.

Der Stollen im oberen Abschnitt wird durch gewachsenen Boden aufgefahren. Es wird mit einem mittleren Sicherungsaufwand gerechnet (z.B. Schildvortrieb mit Spritzbetonsicherung).

Die Betonleitung im Bereich des jetzigen Tagebaus wird auf Einzelfundamente im regelmäßigen Abstand (z.B. 100 m) gegründet. Bei der groben Vordimensionierung der Leitung wird von einer Dicke von 1 m ausgegangen.

Um hydraulische Verluste durch Wandreibung und Wasserverluste gering zu halten, wird der Stollen mit einer glatten Betonschale versehen.

Etwa 100 m unterhalb des Kavernenkraftwerks wird ein Wasserschloss angeordnet. Damit wird ein zusätzlicher Wasserspeicher geschaffen, der gewährleistet, dass beim Anfahren der Pumpen genügend Wasser mit ausreichendem Druck zur Verfügung steht und der Wasserstrang im Unterwasserstollen nicht abreißt. Das Wasserschloss weist einen Durchmesser von 28 m auf. Damit die überschlägig ermittelten Wasserspiegelschwankungen (durch Anfahren bzw. Abbremsen der Pumpturbine) vom Wasserschloss aufgenommen werden können, muß es eine Höhe von ca. 70 m aufweisen. Das Wasserschloss wird als Kaverne ausgebildet.

Ein senkrechter Stollen über dem Wasserschloss sorgt für dessen Be- bzw. Entlüftung im Fall von Wasserspiegelschwankungen.

Unterbecken

Als Unterbecken dient der bis zur Errichtung der PSW-Anlage neu entstandene Restsee im ehemaligen Tagebauloch Hambach. Der Regelwasserspiegel des Restsees liegt bei 65 m ü. NN, was dem Stauziel der neuen PSW-Anlage entspricht. Aufgrund der großen Seefläche beträgt die Wasserspiegelschwankung bei PSW-Betrieb maximal 1 m.

An der Mündung der Unterwasserleitung in den Restsee wird ein Auslaufbauwerk aus Beton hergestellt. Die Böschungen im Bereich des Auslaufbauwerkes haben gemäß der Restseeplanung eine Neigung von 1:5 bis 1:7 (Haldenböschung).

12.1.3 Maschinentechnische Ausrüstung

Anzahl der Pumpspeichersätze

Für die vorliegende PSW-Variante mit einer Ausbauleistung von rund 390 MW wurde der Einsatz von zwei Maschinensätzen gewählt. Dabei wurden folgende Überlegungen berücksichtigt:

- Für die maximale Leistung eines Pumpspeichersatzes gibt es eine technische und wirtschaftliche Grenze. Sie wird in erster Linie vom Motorgenerator bestimmt. Laut aktueller Angabe von europäischen Herstellern liegt sie zurzeit bei 350 MW für Synchron-Motorgeneratoren bzw. 300 MW für Motorgeneratoren mit Drehzahlvariation.
- Der Leistungsregelbereich wird mit steigender Anzahl der Pumpspeichersätze (bis zu einer bestimmten Grenze) größer, sowohl für den Pumpbetrieb als auch für den Turbinenbetrieb. Eine größere Anzahl von Pumpspeichersätzen verbessert die Verfügbarkeit der Anlage. Wartungs- und Revisionsarbeiten des einen Pumpspeichersatzes können während des Betriebs des anderen Satzes durchgeführt werden.

Die Hauptparameter der Pumpturbinen in der gewählten Auslegung sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

Variante 2.4 Hauptdaten Pumpturbine		Pumpturbine 1	Pumpturbine 2	GESAMT
Turbinenbetrieb-Nenndaten:				
Fallhöhe, netto	(m)	193,0	193,0	193,0
Durchfluss	(m ³ /s)	115,5	115,5	231,0
Leistungsabgabe	(MW)	199,0	199,0	398,0
Pumpbetrieb-Nenndaten:				
Gesamt-Förderhöhe, netto	(m)	203,0	203,0	203,0
Fördermenge	(m ³ /s)	91,0	91,0	182,0
Leistungsaufnahme	(MW)	196,2	196,2	392,4
Synchrondrehzahl	(min ⁻¹)	300,0	300,0	
Spezif. Drehzahl (n _{q,Pu})	(m-m ³ /s)	62,4	62,4	
Laufgrad-Ø	(m)	4,34	4,34	
Spirale-Eintritt-Ø	(m)	3,16	3,16	
Saugrohr-Tiefe	(m)	50,0	50,0	
Gesamtgewicht	(t)	450	450	900

Tabelle 27: Hauptparameter der Pumpturbinen PSW-Variante 2.4

Gewählter Typ der hydraulischen Maschinen

Für die vorliegende PSW-Variante wird der Typ der Pumpturbine mit konstanter Drehzahl gewählt. Ein derartiger Pumpspeichersatz besteht aus einem Motor-Generator und reversibler Pumpturbine (Typ Francis), welche mit einem einzigen Laufgrad die Speicherpumpe und Turbine ersetzt. Da der Pumpspeichersatz nur ein Laufgrad besitzt, gibt es nur eine einzige Verbindung vom Oberwasser zum Unterwasser. Damit wird nur eine ober- und unterwasserseitige Absperrarmatur notwendig. Durch Drehrichtungswechsel kann die Pumpturbine entweder für den Pumpbetrieb, den Turbinenbetrieb oder den Phasenschieberbetrieb (in beiden Drehrichtungen) eingesetzt werden. Die Betriebsart „hydraulischer Kurzschluss“ ist physikalisch nicht möglich.

Typ der Abschlussorgane

Als oberwasserseitige Abschlussorgane für die beiden Pumpturbinen werden jeweils eine Kugelschieber vorgesehen. Der Kugelschieber hat zwar z.B. im Vergleich mit einer Drosselklappe etwas höhere Investitionskosten, weist aber eine sehr niedrige hydraulische Verlusthöhe auf.

Auf der Unterwasserseite der Pumpturbinen werden Saugrohrklappen, die direkt in den Saugrohren der Pumpturbinen integriert sind, als Abschlussorgane eingesetzt.

12.1.4 Elektrotechnische Ausrüstung

Synchron-Motor-Generator

Bei den untersuchten Synchron-Motor-Generatoren handelt es sich um eine vertikale 50 Hz Dreiphasen-Synchronmaschine mit nichtveränderlicher Drehzahl, die starr an eine Pump turbine gekuppelt ist. Im Turbinenbetrieb dient der Synchron-Motor-Generator der Erzeugung von elektrischer Energie, die über einen Maschinentransformator in das Hochspannungsnetz eingespeist wird. Im Pumpbetrieb bezieht der Synchron-Motor-Generator elektrische Leistung aus dem Hochspannungsnetz.

Das Stillsetzen des Maschinensatzes erfolgt mittels elektrischer Bremsung über den Anfahrumsrichter. Hierbei wird die beim Bremsen erzeugte Energie ins Netz zurückgespeist. Ein zusätzlicher Bremstrenner im Generatorleistungsschalter ermöglicht alternativ das Stillsetzen des Maschinensatzes mittels elektrischer Kurzschlussbremsung. Zum Stillhalten und für Revisionszwecke der Maschine wird die mechanische Bremse der kombinierten Brems- und Anhebevorrichtung benutzt.

Erregereinrichtung

Der Synchron-Motorgenerator wird mit einer statischen Erregereinrichtung ausgerüstet. Die Erregerenergie wird direkt an der Generatorableitung zwischen Generatorleistungsschalter und Maschinentransformator abgenommen und über einen dreiphasigen, gießharzisierten Haupt-Erregertransformator dem Erregersystem zugeführt.

Generatorableitung und Sternpunkt

Die Verbindung vom Motorgenerator über die Phasenumkehrtrennschalter und dem Generatorleistungsschalter bis zum Maschinentransformator erfolgt mit einer einpolig gekapselten isolierten Generatorableitung. Zusätzliche Abgänge für die Versorgung der Anfahrumsrichtereinrichtung sowie der Statischen Erregereinrichtung werden vorgesehen.

Der Generatorsternpunkt wird als Sonderkonstruktion mit entsprechendem Erdungstransformator, Belastungswiderständen und Messwandlern ausgeführt.

Phasenumkehrtrennschalter

Aufgrund der verschiedenen Drehrichtungen im Pump- und Turbinenbetrieb ist eine Phasenumkehr erforderlich. Da zur Feldumkehr zwei Phasen umgeschaltet werden müssen, ergibt sich eine Anzahl von fünf einpoligen Trennschaltern.

Der Phasenumkehrtrennschalter wird in Reihe, zwischen der Generatorausleitung und dem Generatorleistungsschalter eingebaut, die elektrische Auslegung erfolgt analog zu den Anforderungen der Generatorableitung. Die Ausführung kann horizontal mit fünf parallelen Schalterpolen oder zweigeschossig mit drei Polen in der ersten Ebene und zwei Polen in der zweiten Ebene, in Abhängigkeit von den baulichen Platzverhältnissen ausgeführt werden.

Generatorleistungsschalter

Der Generatorleistungsschalter ist in Modulbauweise ausgeführt und beinhaltet neben allen erforderlichen Messwandlern für den Maschinenschutz und Synchronisierung die erforderlichen Überspannungsableiter, Betriebserder, Bremstrennschalter, Abgangstrennschalter sowie die Einspeiseanschaltung für den Anfahrumsrichter.

Maschinentransformator und Netzanbindung

Der unterspannungsseitige Anschluss des Maschinentransformators ist mittels einer gasisolierten Leitung mit Verlauf durch den Energieableitungsstollen geplant. Die Aufstellung des Maschinentransformators ist außerhalb der Untertagebauwerke auf einem Fundament unmittelbar an der gasisolierten Leitung vorgesehen.

Oberspannungsseitig erfolgt die Anbindung an das Verbrauchernetz über eine 420-KV-Freiluftschaltanlage. Die Schaltanlage ist geplant mit Überspannungsableitern, Strom- und Spannungswandlern, Eingangs- und Abgangstrennungsschalter, den notwendigen Erdungsschaltern sowie mit einem Leistungsschalter. Die technischen Daten der 420-KV-Schaltanlage müssen die DIN/VDE-Vorgaben erfüllen.

Der Übergang Freiluftschaltanlage - Verbrauchernetz erfolgt über einen 420-KV-Abspannmasten. Die Auslegung der Freiluftseile zur Weiterleitung der Energie ist abhängig von den Daten der Maschinenteknik.

Sekundärseitig sind für Mess-, Steuer- und Regeltechnik die erforderlichen elektronischen Einrichtungen in Schaltschränken vorgesehen. Die Sekundärverkabelung der Stromkreise wird EMV-gerecht ausgeführt.

Einrichtungen wie Blitzschutz und Erdung ergänzen das notwendige Zonenkonzept.

Nachstehende Tabelle gibt die Hauptdaten der elektrotechnischen Sekundäreinrichtungen wieder.

Variante 2.4	
Elektrotechnische Hauptdaten	
Maschinentrafo [MVA]	2 x 245 = 490
Generatorleistung [MVA]	2 x 245 = 490
Nennübersetzung [kV / kV]	230 / 420

Tabelle 28: Technische Daten Maschinentransformatoren und Energieableitung

12.1.5 Geologie und Geotechnik

Die Informationen über die Gebirgsverhältnisse wurden im Wesentlichen vom Geologischen Dienst NRW (Kartenmaterial, Schnitte und digitale Unterlagen –shape Files-), vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) sowie aus vier Bohrprotokollen von RWE Power bezogen. Die geotechnischen Kennwerte in den Tabellen im Kapitel 5.3 sind aus umfangreichen Literaturrecherchen abgeleitet worden. Die in den folgenden Abschnitten zu den Bodenschichten angegebenen Nummerierungen beziehen sich auf die Nummerierungen in den Tabellen von Kapitel 5.3.

Bei einer Vertiefung der in dieser Studie umrissenen Pumpspeicherkonzepte sind an den näher betrachteten Standorten umfangreiche geotechnische Erkundungen vor Ort auszuführen, um die Annahmen der vorliegenden Studie zu verifizieren bzw. zu korrigieren. Zudem sollten die umfangreichen geotechnischen Daten von der RWE Power AG zur genaueren Beurteilung der geotechnischen Verhältnisse verwendet werden können.

12.1.5.1 Oberbecken

Das Oberbecken wird auf der Bergehalde „Sophienhöhe“ liegen, die eine anthropogene Aufhaldung darstellt. Diese Bergehalde wurde aus unterschiedlichen Schüttmaterialien Tone, Schluffe, Sande und Kiese in Form von über- und ineinandergreifenden Schüttkegeln aufgebaut, die aufgrund der Schüttung mit Absetzern eine jeweils mehr oder weniger länglich-parallele Aneinanderreihung von Schüttkegeln mit jeweils einer Hauptschüttrichtung aufweisen.

Trennflächen i.e.S. sind hierin nicht zu erwarten. Demgegenüber werden Grenzflächen (keine Trennfugen!) zwischen den Schüttkegeln und innerhalb der Schüttkegel in Form von Materialwechselln auftreten, an denen auch Änderungen der lokalen geotechnischen Eigenschaften zu erwarten sind. An der Sohle des Oberbeckens muss angenommen werden, dass nur lockere Lagerungsdichte bei den rolligen Lockergesteinen und überwiegend steife maximal steif bis halbfeste Konsistenz der bindigen Schichten mit geringen Scherfestigkeiten vorliegen.

Auf der Sophienhöhe sind die oberen jüngeren Schichten noch nicht konsolidiert und daher im Bereich der Oberfläche u.a. auch im Bereich der Beckensohle noch setzungsempfindlich. Durch entsprechende Vorerkundungen ist die Tiefenstaffelung des Konsolidierungsgrades und damit der geotechnischen Kennwerte zu ermitteln.

Trotz der relativ flachen Außenböschungen sind die Standsicherheiten der künstlichen Halden- und Dammböschungen nachzuweisen, damit weder die Dämme noch die Beckenbereiche z.B. durch Grund- oder Böschungsbrüche und Spreizungen der Aufhaldungen gefährdet werden können.

Laut mündlichen Angaben von RWE Power klingen aufgrund der bisherigen Beobachtungen und Erfahrungen die Eigensetzungen der Halden nach ca. 7 bis 14 Jahren deutlich ab, wobei nichts über das innere Setzungsverhalten und dessen Tiefenstaffelung bekannt ist. Für die weitere Planung sollten hierzu detailliertere Angaben zur Verfügung gestellt bzw. ermittelt werden.

Die Oberbeckensohle sowie die Aufstandsflächen der Dammbereiche sollten entweder tiefgründig verdichtet oder durch Bodenaustausch verbessert werden, damit die entsprechenden Bauwerksbereiche die statischen Lasten sowie die dynamischen Laständerungen durch Ein- und Abstau im Becken aufnehmen können. Da Restsetzungen und Sackungen innerhalb des Haldenkörpers auch durch ggf. auftretende seismische Ereignisse (z.B. Erdbeben, die nach DIN 19.700 Stauanlagen zu berücksichtigen sind) nicht vollständig ausgeschlossen werden können, sollte die Beckendichtung zweischalig ausgeführt werden, da sich Undichtigkeiten bzw. deutliche Wasserzutritte in den Haldenkörper aus dem Oberbecken standsicherheitsmindernd auswirken können und durch rückschreitende Erosion im Schadensfall auch große Teile der Halde zerstören könnten.

12.1.5.2 Vertikaler Oberwasser-Druckschacht und Krümmer

Station OW 0 – 150 m (oberer Teil)

Der vertikale Druckschacht verläuft vom Oberbecken vertikal bis in ca. 150 m Tiefe im Schüttgut der Bergehalde Sophienhöhe, wobei die Konsolidation der Schichten in der Tiefe gleitend zunehmen wird. Ebenso wie im Bereich des Oberbeckens sind Trennflächen i.e.S. hierin nicht zu erwarten. Es treten aber Grenzflächen (keine Trennfugen!) zwischen den einzelnen Schüttkegeln und innerhalb der einzelnen Schüttkegel in Form von Materialwechselln auf. Diese Grenzflächen werden nur im Zentralbereich der ehemaligen Schüttkegel mehr oder weniger horizontal verlaufen. An den Rändern der Schüttkegel muss jedoch davon ausgegangen werden, dass die materialbedingten Grenzflächen au-

ßen schräg gegen den Schacht einfallen und lokal zu erhöhten und ggf. auch einseitig gerichteten Seitendrücken führen können, was zu erhöhtem bis stark erhöhtem Sicherheitsaufwand führen kann. Die Lagerungsdichte der rolligen Schichtpartien wird sich zur Tiefe hin von locker bis mitteldicht entwickeln. Für die bindigen Schichtglieder ist ein Übergang von steifer bis maximal zu steifer bis halbfester Konsistenz zu erwarten. Dementsprechend sind auch die Scherfestigkeiten besonders der bindigen Bereiche nicht sehr hoch anzusetzen. Durch entsprechende Vorerkundungen ist die Tiefenstaffelung des Konsolidierungsgrades und damit der geotechnischen Kennwerte zu ermitteln.

Station OW 150 – 260 m (unterer Teil)

Die darunter liegenden 110 m bis zum Krümmer durchteuft der Druckschacht gewachsenen Boden. Bis ca. 200 m werden Böden des Quartärs und dann bis zur Unterkante des Krümmers bei ca. 260 m unter Beckensohle Böden des Tertiärs durchfahren. Hier werden fast durchweg mehr oder weniger horizontal gelagerte Schichten angetroffen, die sich im quartären Bereich aus Löß (Feinschluff) sowie Sanden und Kiesen der Mittelterrasse (18) zusammensetzen und dann bis zum Krümmer im Tertiären Bereich aus einem Wechsel von schluffigen Tonen mit Sanden und Kiesen der Reuver-Serie (11) aufbauen.

Der Krümmer zur Überleitung vom vertikalen Druckschacht zur horizontalen Oberwasserdruckstrecke liegt voraussichtlich in der Hauptkies Serie (8), die hauptsächlich aus grobsandigen Kiesen mit einzelnen Schlufflagen besteht. Unterhalb Station 150 m ab wird eine Zunahme der Lagerungsdichte erwartet, die von Mitteldicht bis zu dicht reichen kann. Bindige Anteile der Schichten werden mit halbfester Konsistenz erwartet. Darin können noch Zonen mit steifer Konsistenz und auch fester Konsistenz vorkommen.

Im Haldenbereich sind die wechselnden Seitendruckverhältnisse zu beherrschen. In rolligen Schüttbereichen kann der Boden um den Schacht ggf. durch Zementinjektionen verbessert werden. In gemischtkörnigen bis bindigen Bereichen sind auch HDI- oder Soilcrete-Injektionen denkbar.

Ein kritischer Punkt ist der Krümmerbereich, der bei Turbinen- und Pumpbetrieb stärkere Vibrationen schadlos aufnehmen muss.

12.1.5.3 Horizontaler Oberwasserdruckstollen

Station OW 260 bis 480 m

Vom Krümmer bis zur geplanten Kaverne verläuft der Oberwasserdruckstollen voraussichtlich in der Hauptkies Serie (8). Damit liegt dieser Bereich in eher rolligen Gesteinen, die sich hauptsächlich aus grobsandigen Kiesen mit einzelnen Schlufflagen aufbauen. Für die Beurteilung der geotechnischen Randbedingungen sind die folgenden geotechnischen Verhältnisse zu erwarten:

- Hohe Tiefenlage des Stollens,
- derzeit anzunehmend: Grundwasserfrei
- natürliche und ungestörte Lagerungsverhältnisse,
- hohe Lagerungsdichte der rolligen Schichten,
- halbfeste bis feste Konsistenz der bindigen Zwischenschichten.

Die existierenden relativ steilen Randböschungen der Tagebaue unterstützen die getroffenen Annahmen.

Daher ist anzunehmen, dass der Druckstollen in diesem Bereich im Schildvortriebsverfahren oder im TBM-Verfahren erstellt werden kann. Der Sicherheitsbedarf läge –ähnlich wie bei U-Bahnbaustellen- im normalen Bereich, wobei auch unterstützende Maßnahmen wie Injektionen, lokale Rohrschirme etc. erforderlich werden können.

Es werden besondere Sicherungsmaßnahmen in diesem Stollenbereich im Nahbereich der Kaverne erforderlich werden, da hier durch die Umlenkungen der Wasserströme in die Pump-Turbine sowie die Anordnung von Schließeinrichtungen erhebliche Vibrationen aus dynamischen Lastwechseln auftreten können.

Sollte die Stollenherstellung frühzeitig erfolgen, könnten beim Bau noch die Vorteile der abklingenden Sumpfungmaßnahmen genutzt werden, da sich nach Beendigung der Sumpfungmaßnahmen noch für längere Zeit nicht der volle Grundwasserspiegel ausgebildet haben wird. Dennoch wird mit Bergwasser-, Sickerwasser- und Schichtwasserzutritten zu rechnen sein. Es ist auf eine ausreichende Wasserabdichtung der Stollensysteme zu achten, da nach Reduktion bzw. Ende der Sumpfungmaßnahmen im Tagebau das Grundwasser den Triebwasserstollen mit Krümmer und Vertikalschacht mindestens bis zur ursprünglichen Grundwasserhöhe vor Tagebaubetrieb erreichen kann. Ob der Anstieg bis zur ehemaligen Grundwassermarken erfolgt wird, darunter verbleibt oder durch Sickerwasseranteile sogar darüber ansteigt, ist derzeit nicht abschätzbar.

Ggf. ist auch ein zweischaliger Bau des Stollens zu bedenken, da einerseits der Einbau der zweiten Schale nach dem Abklingen der vortriebsbedingten Verformung erfolgt und andererseits hierdurch ein gezielter Einbau der Wasserabdichtung zwischen beiden Schalen bewerkstelligt werden kann.

12.1.5.4 Kavernenkraftwerk

Die Lage der Kaverne ist innerhalb der tertiären Schichten konzipiert. Die Widerlager der Kalotte liegen in den tertiären Schichten der Reuver Serie und die darunter liegenden Ulmen und die Sohle voraussichtlich in den tertiären Schichten der tertiären Hauptkies Serie (8), die hauptsächlich aus grobsandigen Kiesen mit einzelnen Schlufflagen besteht.

Für die Beurteilung der geotechnischen Randbedingungen sind auch hier die folgenden geotechnischen Verhältnisse zu erwarten:

- Hohe Tiefenlage der Kaverne,
- natürliche und ungestörte Lagerungsverhältnisse,
- hohe Lagerungsdichte der rolligen Schichten,
- halbfeste bis feste Konsistenz der bindigen Schichten.

Die existierenden relativ steilen Randböschungen der Tagebaue unterstützen die getroffenen Annahmen.

Die Sohle und die unteren Ulmen werden mit erhöhtem Sicherheitsaufwand herzustellen sein. Die darüber anschließenden Ulmen und die Kalotte werden einen sehr hohen Sicherheitsaufwand erfordern, der sich über vorlaufende Injektionen, Daueranker, statisch erforderliche Betondicken und Betonqualitäten sowie umfangreiche Abdichtungsmaßnahmen und ggf. weitere Maßnahmen erstrecken kann.

Ein Gebirgstragring über der Kaverne, wie er in Festgesteinen angenommen werden kann, wird sich bei den erforderlichen Spannweiten der Kaverne auch in den natürlich gewachsenen Böden nicht ausbilden. Daher muss das Traggewölbe künstlich hergestellt und gesichert werden, ggf. sogar als

gesondertes Bauwerk z.B. eine untertage einzubringenden Deckel über der Kavernen-Firste angelegt werden.

Die Kaverne liegt aufgrund ihrer großen vertikalen Erstreckung in den tertiären Schichten der Reuver Serie und in den oberen Schichten der tertiären Hauptkies Serie. Die Kaverne ist nur mit sehr aufwändigen Baumaßnahmen und sehr umfangreichen Sicherungsmaßnahmen zu erstellen.

12.1.5.5 Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 1)

Station UW 0 bis 81 / 125 m

Von der Kaverne bis zum Wasserschloss (Stat. 81 m) und weiter bis zu einer größeren Störung (Stat. 125 m), einer Nordwest-Südost streichenden und mit ca. 55° g. Hz. nach Südwest einfallenden Abschiebung, verläuft der Unterwasserdruckstollen wie auch der horizontale Oberwasserdruckstollen voraussichtlich an der Grenze von der Reuver Serie zur unterlagernden Hauptkies Serie.

Der erwartete Schichtaufbau und die geotechnischen Verhältnisse entsprechen den vorstehenden Beschreibungen zum horizontalen Oberwasserdruckstollen.

Auch die bautechnischen Schlussfolgerungen sind gleichlautend.

So werden auch hier besondere Sicherungsmaßnahmen in diesem Stollenbereich im Nahbereich der Kaverne erforderlich werden, da hier durch die Umlenkungen der Wasserströme aus der Pump-Turbine sowie die Anordnung von Schließeinrichtungen erhebliche Vibrationen aus dynamischen Lastwechseln auftreten können.

Ebenso sind voraussichtlich besondere Sicherungsmaßnahmen im Nahbereich des Kontaktes zum über dem Unterwasserstollen liegenden Wasserschloss erforderlich, da auch hier die Umlenkungen der Wasserströme aus der überwiegend horizontalen in die partiell vertikale Fließrichtung mit zum Teil erheblichen Wassermassenbewegungen und Fließgeschwindigkeiten zum Druckausgleich erfolgen.

Der Oberwasserdruckstollen zwischen Kaverne und Siersdorfer Sprung verläuft in gewachsenen tertiären Bodenschichten mit anzunehmenden, günstigen Lagerungsverhältnissen und für einen Bau ausreichend beherrschbaren geotechnischen Verhältnissen.

12.1.5.6 Wasserschloss und Belüftungsschacht

Station UW 81 m

Aufgrund der großen Bauwerkshöhe wird das Wasserschloss im Firstbereich noch die Untergrenze der Haldenbereiche (20) erreichen. Firste und Kalotte liegen in den quartären Sanden und Kiesen der Mittelterrasse (18). Die Widerlager der Kalotte und die darunter liegenden Ulmen liegen von bis ca. 50 m unterhalb der Firste ebenfalls in den quartären Sanden und Kiesen der Mittelterrasse (18), in der in den oberen Bereichen auch Löß in schwankenden Mächtigkeiten vorkommen kann.

Der darunter liegende Ulmenbereich sowie die Sohle und der Verbindungsschacht zum Unterwasserdruckstollen liegen voraussichtlich in den tertiären Schichten der Reuver Serie (11) mit einem Wechsel von schluffigen Tonen mit Sanden und Kiesen. Der Verbindungsschacht zum Unterwasserdruckstollen erreicht voraussichtlich noch die oberen Schichten der tertiären Hauptkies Serie (8), die hauptsächlich aus grobsandigen Kiesen mit einzelnen Schlufflagen besteht.

Für die Beurteilung der geotechnischen Randbedingungen sind auch hier die folgenden geotechnischen Verhältnisse zu erwarten:

- Mäßige bis hohe Tiefenlage des Wasserschlusses,
- derzeitig anzunehmende Entwässerungssituation,
- natürliche und ungestörte Lagerungsverhältnisse,
- hohe Lagerungsdichte der rolligen Schichten,
- halbfeste bis feste Konsistenz der bindigen Schichten.

Die existierenden relativ steilen Randböschungen der Tagebaue unterstützen die getroffenen Annahmen.

Die Sohle und die unteren Ulmen werden mit stark erhöhtem Sicherungsaufwand herzustellen sein. Die darüber anschließenden Ulmen und die Kalotte werden einen sehr hohen Sicherungsaufwand erfordern, der sich wie für die Kaverne über vorlaufende Injektionen, Daueranker, statisch erforderliche Betondicken und Betonqualitäten sowie umfangreiche Abdichtungsmaßnahmen und ggf. weitere Maßnahmen erstrecken kann.

Ein Gebirgstragring über dem Wasserschlöss wird sich bei den erforderlichen Spannweiten des Wasserschlusses auch in den natürlich gewachsenen Böden nicht ausbilden. Daher muss das Traggewölbe wie bei der Maschinenkaverne künstlich hergestellt und gesichert werden, ggf. sogar als gesonderter Bauwerk über der Firste des Wasserschlusses.

Das Wasserschlöss liegt aufgrund seiner großen vertikalen Erstreckung zwischen der Untergrenze der Halde und den oberen Schichten der tertiären Hauptkies Serie. Das Wasserschlöss ist nur mit sehr aufwändigen Baumaßnahmen und sehr umfangreichen Sicherungsmaßnahmen zu erstellen.

12.1.5.7 Nordwest-Südost streichende Störung (Abschiebung nach Südwest)

Station UW 650 m

Der Unterwasserdruckstollen erreicht bei ca. Station UW 650 m (+/- ca. 10 m) voraussichtlich eine größere tektonische Störung, die Nordnordwest-Südsüdost streicht und im Profilschnitt mit ca. 55° g. Hz. nach Südwest einfällt. Vom Bewegungssinn ist die Störung eine Abschiebung. An dieser Abschiebung mit ggf. horizontalen Versatztendenzen werden die Schichten um ca. 80 bis 90 m schräg entlang der Störungsbahn gegeneinander versetzt wobei der östliche Bereich als lokale Hochscholle und der westliche Bereich als lokale Tiefscholle zu bezeichnen sind. Die Lage der Störung ist aus einem Profilschnitt von RWE (2005) entnommen und konnte aufgrund fehlender Detailunterlagen nicht genau lokalisiert werden. Insofern ist zwar mit dem Auftreten einer solchen Störung zu rechnen, die genaue Position hinsichtlich der Stollenachse aber nicht bekannt.

Nach den während der Erstellung der Studie bei den Bearbeitern vorliegenden Unterlagen von GD, Wasserverband Erft und RWE Power AG verläuft die Störung mit spitzem Winkel schleifend zur Stollenachse und kann daher eine auf mehreren Metern zu durchörternde Störungszone bilden, in der tertiäres Bodenmaterial geschleppt, verstellt und brecciös durchmischt sein kann. Innerhalb dieses Störungsbereiches kann auf der östlichen Seite des Unterwasserdruckstollens erhöhter Seitendruck durch Schichtverschleppungen nach Südwesten bestehen bzw. beim Vortrieb aktiviert werden.

Es kann mitteldichte bis dichte bzw. in den bindigen Böden halbfeste Konsistenz angenommen werden. Trennfugen sind nicht wahrscheinlich aufgrund der zumeist intensiven Durchmischung der Böden bei der Entstehung solcher Störungen im Lockergesteinsgebirge der niederrheinischen Bucht.

12.1.5.8 Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 2)

Station UW 650 m bis 1.700 m

Der Unterwasserdruckstollen verläuft nach Durchörterung der Störung bis zu ca. Station 1.700 m in der tertiären Hauptkies Serie (8), die hauptsächlich aus grobsandigen Kiesen mit einzelnen Schlufflagen besteht. Die Hauptkies Serie (8) liegt tektonisch bedingt relativ höher als im Abschnitt 1 des Unterwasserdruckstollens. Im Abschnitt 2 nehmen die grobsandigen Kiese mit einzelnen Schlufflagen den gesamten Querschnitt des Unterwasserdruckstollens ein.

In den rolligen Bereichen kann mitteldichte aber vor allem dichte Lagerung angesetzt werden, während die eingelagerten Schluffe steife vor allem aber halb feste Konsistenz aufweisen werden.

Wie in Abschnitt 1 wird normaler Sicherungsaufwand im Abschnitt 2 erwartet.

Das südliche Ende dieses Homogenbereiches wurde aus einem Profil der RWE Power AG (2005) aus dem Gutachten Krupp ermittelt, das in Verbindung mit weiteren Unterlagen nahe legt, dass ab diesem Bereich der Unterwasserdruckstollen in Verfüll-Material von ehemaligen Tagebauabbruchbereichen liegt, die zudem noch von den Südausläufern der Sophienhöhe überkippt worden sind. Wie weit dieser nordnordwestliche Abbaurand des Tagebaus Hambach gereicht hat, ist nicht bekannt. Luftbilder in den historischen Darstellungen in Google Earth unterstützen die vorstehenden Annahmen.

12.1.5.9 Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 3)

Station 1.700 m bis 3.900 m

Im südlich anschließenden Bereich bis zum Auslassbauwerk verläuft der Unterwasserdruckstollen, in der Tagebauverfüllung, deren Verfüllalter von Norden nach Süden abnimmt und am Auslaufbauwerk in den jüngsten Schüttungen zu stehen kommen wird. Diese nördliche Seerandböschung wird auch von jüngsten Kippenschüttungen eingenommen werden.

Das Verfüllmaterial ist sehr inhomogen und besteht aus bindigen und rolligen Anteilen in horizontal wie auch vertikal stets wechselnder mengenmäßiger und qualitativer Zusammensetzung. Zudem werden mehrere Kippenbereiche noch nach betrieblichen Kriterien hinsichtlich der Einbringungen von qualitativ unterschiedlichen Materialeigenschaften geschüttet, um Schüttmaterialien mit schlechteren Tragfähigkeitseigenschaften besser unterbringen zu können.

In jedem Fall werden aber bei der Auffahrung des Unterwasserdruckstollens ständig wechselnde Böden in unterschiedlichen Lagerungsverhältnissen und geotechnischen Eigenschaften angetroffen werden.

Rollige Bereiche dürften in den geplanten Teufenlagen des Unterwasserdruckstollens in lockerer bis mitteldichter Lagerung anstehen und bindige Bereiche mit steifer Konsistenz.

Aufgrund des anstehenden verkippten Materials und dessen geotechnischer Eigenschaften wird der erforderliche Sicherungsaufwand als mittel bis erhöht eingeschätzt, wobei es weniger um lokale Maßnahmen als vielmehr um die statische Bemessung des Unterwasserdruckstollens insgesamt gehen wird. Ob maschineller oder bergmännischer Vortrieb zum Einsatz kommen kann, muss durch weitere Untersuchungen und Planungen ermittelt werden.

12.1.5.10 **Auslaufbauwerk Unterbecken**

Station UW 3.900 m

Das Auslaufbauwerk am nördlichen Seerand steht in den gleichen Schichten wie sie für den 3. Abschnitt des Unterwasserdruckstollens beschrieben werden.

Da das Auslaufbauwerk in den jüngsten Kippenbereichen stehen wird, werden die Anforderungen an die Gründungen bezüglich der Tragfähigkeit und der Standsicherheit umfangreich und erheblich sein. Es ist davon auszugehen, dass bodenverbessernde Maßnahmen in großem Umfang erforderlich sein werden. Das Auslaufbauwerk wird wie der untere Bereich des Unterwasserstollens in offener Bauweise hergestellt.

12.1.6 Hydrologie

Die Bauwerke für das PSW Hambach liegen sowohl in gewachsenem Boden aus quartären und tertiären Schichten als auch auf und in den Schüttungen der Bergehalde Sophienhöhe.

Wie in allen Bauwerksbereichen unterhalb des Ursprungsgeländes muss der spätere Grundwasseranstieg sowie die Auffüllung der Restseen mit Fremdwasser bezüglich der Bodenbewegungen und der Auftriebssicherheit beachtet werden.

12.1.6.1 **Oberbecken und oberer Teil des Oberwasserdruckschachtes**

Das Oberbecken sowie der obere Bereich des Druckschachtes werden im Bereich der Halde Sophienhöhe liegen.

Der Schüttkörper der Sophienhöhe ist in den zentralen und nördlichen Bereichen die wohl älteste Bergehalde des Tagebaus Hambach. In diesen Schüttkörper dringen Niederschlagswässer ein, wodurch sich an der Basis zum Löß lokale Stauwasserhorizonte aber vermutlich keine zusammenhängende Grundwasserhorizonte einstellen.

Da das Oberbecken auf einem geschütteten Bodenkörper läge, sind Leckagen in oder entlang der ggf. zweischaligen Beckendichtung zu vermeiden, um die Standsicherheit des Beckens und der Bergehalde durch austretendes Beckenwasser und rückschreitende Erosion nicht zu gefährden.

Im Havariefall müsste das Beckenwasser schnell abgelassen werden, was aber bei einem vollgefüllten 12-Stundenspeicher aber auch eine gewisse Zeit in Anspruch nehmen würde.

Nach bisherigen Überlegungen wird der Wiederanstieg des Grundwassers die Aufstandsfläche der Bergehalde nicht bzw. nur lokal in Bereichen hoher Sumpfungsbewindter Bodensenkungen erreichen.

Die kurz vor und nach Einstellung der Sumpfungmaßnahmen einsetzenden Bodenhebungen können durch den Anstieg des Grundwassers zu Hebungen der Bergehalde führen.

12.1.6.2 **Weitere Anlagenteile im gewachsenen Boden und Kippenbereich**

Die weiteren Anlagenbestandteile des PSW liegen entweder im gewachsenen Boden oder im Kippenbereich. Ein wesentlicher Vorteil wäre, wenn die geplanten Bauwerke weitgehend grundwasserfrei errichtet werden können. Dennoch ist selbst bei einem tieferliegenden Grundwasserspiegel (aufgrund des Nachwirkens der Sumpfungmaßnahmen) mit Bergwasser-, Sickerwasser- und Schichtwasserzu-

treten zu rechnen. Die Bauplanung sollte am Sumpfungskonzept für die Restseefüllung ausgerichtet werden.

Falls das Grundwasser im Bereich der geplanten Bauwerke höher steht bzw. in der Zeit eines möglichen Baus bereits ansteigt und die Bauwerke erreicht, würden Wechselwirkungen zwischen der Baumaßnahme und dem Grundwasser auftreten. Durch Sumpfungen im Bereich der Bauwerke müsste Grundwasser bauwerksbedingt entnommen und schadlos abgeleitet werden. Zudem würde sich das Verschmutzungsrisiko während der Baumaßnahme erhöhen.

Nach erfolgter Abdichtung der Bauwerke sind keine Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Bauwerk (inkl. Pendelwasser) mehr möglich. Allein der Grundwasserdruck auf die Bauwerksteile muss dauerhaft beherrscht werden.

Lokale hydraulische Kurzschlüsse zwischen den einzelnen Schichten im Bereich der Bauwerke fallen nicht ins Gewicht, da sie durch den großräumigen hydraulischen Kurzschluss aus den Tagebaubereichen bereits bestehen.

12.1.6.3 Pendelwasser

Das in den Bauwerken zirkulierende Pendelwasser steht in direkter Verbindung mit dem Seewasser und hat dessen hydrochemische und hydrophysikalische Eigenschaften.

Mit dem Grundwasser kann das Pendelwasser als Betriebswasser des Pumpspeicherwerkes nur über das Seewasser kommunizieren und hat dadurch kaum bis keine direkten Wechselwirkungen mit dem Grundwasser.

Durch den geringen Wasserspiegel An- und Abstieg im Seebecken sind kleinräumige hydraulische Einflüsse auf den Uferbereich und dessen bergseitige Ränder zu verzeichnen, die aber während des Betriebes nur sehr gering bis unmerklich sein werden, vergleichbar mit natürlichen Seewasserspiegelschwankungen.

12.1.7 Kostenschätzung

Insgesamt werden die Projektkosten der Variante 2.4 zu 851 Mio. EUR geschätzt. Bezogen auf die installierte Leistung betragen die Kosten 2.096 EUR/kW.

Für die Kostenschätzung wurden die Massen für die Hauptbauleistungen abgeschätzt. Berücksichtigt wurden maßgebende Gewerke wie Tunnel-, Erd- und Betonbau.

Die Baufeldfreimachung umfasst die Herrichtung der für die Baumaßnahme beanspruchten Flächen.

Kosten für die Baustelleneinrichtung wurden mit 10% der Kosten für den baulichen Teil angesetzt.

Die Kostenschätzung für die maschinentechnischen Ausrüstungen und den Stahlwasserbau basiert auf der Analyse von vergleichbaren Maschinen und Informationen aus aktuellen Angeboten von Lieferanten bzw. Anfragen an Lieferanten (Stand 2018).

Kosten für die Erstfüllung des Oberbeckens (z.B. Pumpen, Rohrleitungen) sind nicht berücksichtigt.

Ebenfalls nicht berücksichtigt sind die Kosten für die Überschüttung des unteren Teils des Unterwassertollens, da dies Bestandteil der abbaubedingten Verkipfung des Abraummaterils ist.

Sonstige und unvorhergesehene Kosten werden auf die Herstellungskosten aufgeschlagen. Bei der Kostenschätzung für die baulichen Anlagen ist die Unsicherheit und damit das Risiko unvorhergese-

hener Kosten höher. Sie werden daher mit 15 % berücksichtigt. Die Maschinen und Elektrotechnik ist mit geringeren Unsicherheiten behaftet. Hier werden 5 % aufgeschlagen.

Bei den Nebenkosten handelt es sich zum einen um Kosten für Planung, Bauüberwachung, Projektsteuerung etc. (8% der Investitionskosten). Zum anderen sind geologische Erkundungen und Geländeaufnahmen durchzuführen. Der Aufwand für den Landerwerb (1% der Investitionskosten) sowie für Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen (5 % der Investitionskosten) wird ebenfalls in den Nebenkosten berücksichtigt.

Eine Kostenübersicht zur Variante 2.4 mit der Auflistung der Hauptgewerke befindet sich in Anlage 16.

12.1.8 Fazit Variante 2.4 – Sophienhöhe / Restsee Hambach

Die PSW-Variante 2.4 (Sophienhöhe – Restsee Hambach) hat eine Ausbauleistung von 406 MW. Die mittlere Fallhöhe zwischen Ober- und Unterbecken beträgt 199 m.

Das Oberbecken auf der Sophienhöhe und der obere Teil des senkrechten Oberwasserdruckschachtes werden im Haldenbereich (geschütteter Boden) errichtet, was einen stark erhöhten Sicherungs- und Ausbaaufwand für den Schacht sowie umfangreiche Abdichtungsmaßnahmen für das Oberbecken bedeutet. Die weiteren Untertagebauwerke können im gewachsenen Boden hergestellt werden, wobei der Sicherungsaufwand trotzdem hoch bleibt. Der untere Teil des Unterwasserstollens sowie das Auslaufbauwerk müssen auf dem gelagerten Kippenmaterial gegründet werden, was einen hohen Verdichtungs- und Bodenverbesserungsaufwand erfordert.

Die Projektkosten werden zu 851 Mio. EUR geschätzt (spezifische Kosten pro installierte Leistung 2.096 EUR/kW). Dieser recht hohe Wert für die spezifischen Kosten ergibt sich vor allem durch die erschwerten geotechnischen Bedingungen in den Haldenbereichen sowie durch den vergleichsweise langen Unterwasserstollen von knapp 4 km.

12.2 Variante 3.4c – Meroder Wald / Restsee Inden

Technische Daten - Bau

Oberbecken	Nutzraum	10 Mio. m ³
	Stau- / Absenkziel	263 m NN / 233 m NN
	Wasserspiegelschwankung	30 m
Oberwasserschacht	Länge	ca. 410 m
	Durchmesser	7,0 m
	Fließgeschwindigkeit	6,0 m/s
Kraftwerk (Kaverne)	Abmessungen (Länge / Breite / Höhe)	65 m / 26 m / 50 m
	Kote Maschinenachse	53 m NN
Wasserschloss (im Unterwasser)	Durchmesser	28 m
	Nutzhöhe	ca. 70 m
	Max. WSP-Schwankung (aus Betriebs-WSP)	ca. +/- 28 m
Unterwasserstollen	Länge	ca. 6.700 m
	Durchmesser	9,0 m
	Fließgeschwindigkeit	3,6 m/s
Unterbecken	Nutzraum	1.200 Mio. m ³
	Stau- / Absenkziel	92 m NN / 91 m NN
	Spiegelschwankung	ca. 1 m

Technische Daten – Ausrüstung

Auslegungsdaten	Anzahl der Maschinen	2
	Nenn- / Maximal- / Minimalfallhöhe	157 m / 172 m / 141 m
	Anlagenleistung	2 x 160 = 320 MW
	Volllaststunden im Turbinenbetrieb	12
Hydraulische Maschine	Pumpturbine (Francis)	vertikale Welle
	Nenndurchfluss Turbinen- / Pumpbetrieb	114,3 m ³ /s / 87 m ³ /s
	Wirkungsgrad Turbinen- / Pumpbetrieb	91 % / 92%
	Nennleistung Turbinen- / Pumpbetrieb	152,4 / 148,7 MW
	Synchrondrehzahl	250 1/min
Elektrische Maschine	Motor-Generator	Dreiphasen-Synchronmaschine
	Leistung	190 MVA
	Bemessungsspannung	18,0 kV
	Leistungsfaktor cos φ	0,80
Maschinentransformator	Nennleistung	190 MVA
	Nennübersetzung	420 / 230 kV

Generelle Daten

Energetische Daten	Wälzwirkungsgrad	77 %
	Arbeitsvermögen (12h Turbinenvolllast)	3.838 MWh
Projektkosten	Gesamtprojektkosten	884 Mio. €
	spezifische Kosten pro installiertem kW	2.763 €/kW

Tabelle 29: Technische Daten PSW-Variante 3.4c Meroder Wald – Restsee Inden

12.2.1 Lage

Der Oberbeckenstandort „Meroder Wald“ liegt südlich der Ortschaft Langerwehe bei Eschweiler in einem größeren Waldgebiet, mit einer Entfernung von etwa 10 km zum derzeitigen Tagebauloch Inden. Zwischen dem Oberbeckenstandort und dem Tagebau Inden verlaufen eine Eisenbahnlinie die Straße 264 und die Bundesautobahn A 4.

Der zukünftige Restsee Inden, der als Unterbecken für die PSW-Anlage fungieren würde, nimmt den südwestlichen Teilbereich des aktuellen Tagbaulochs ein und sowie den Bereich des zukünftigen Tagbaulochs, welches in südwestliche Richtung bis zur Ortschaft Merken fortschreiten wird. Der Lucherberger See wird im Zuge der neuen Landschaftsgestaltung rund um den zukünftigen Restsee Inden zugeschüttet.

Eine Anbindungsmöglichkeit an das Stromnetz könnte das Umspannwerk der genau zwischen Ober- und Unterbecken gelegenen Ortschaft Langerwehe darstellen. Alternativ wäre auch eine Anbindung an das Umspannwerk Eschweiler-Weisweiler direkt an der Autobahn A4 möglich.

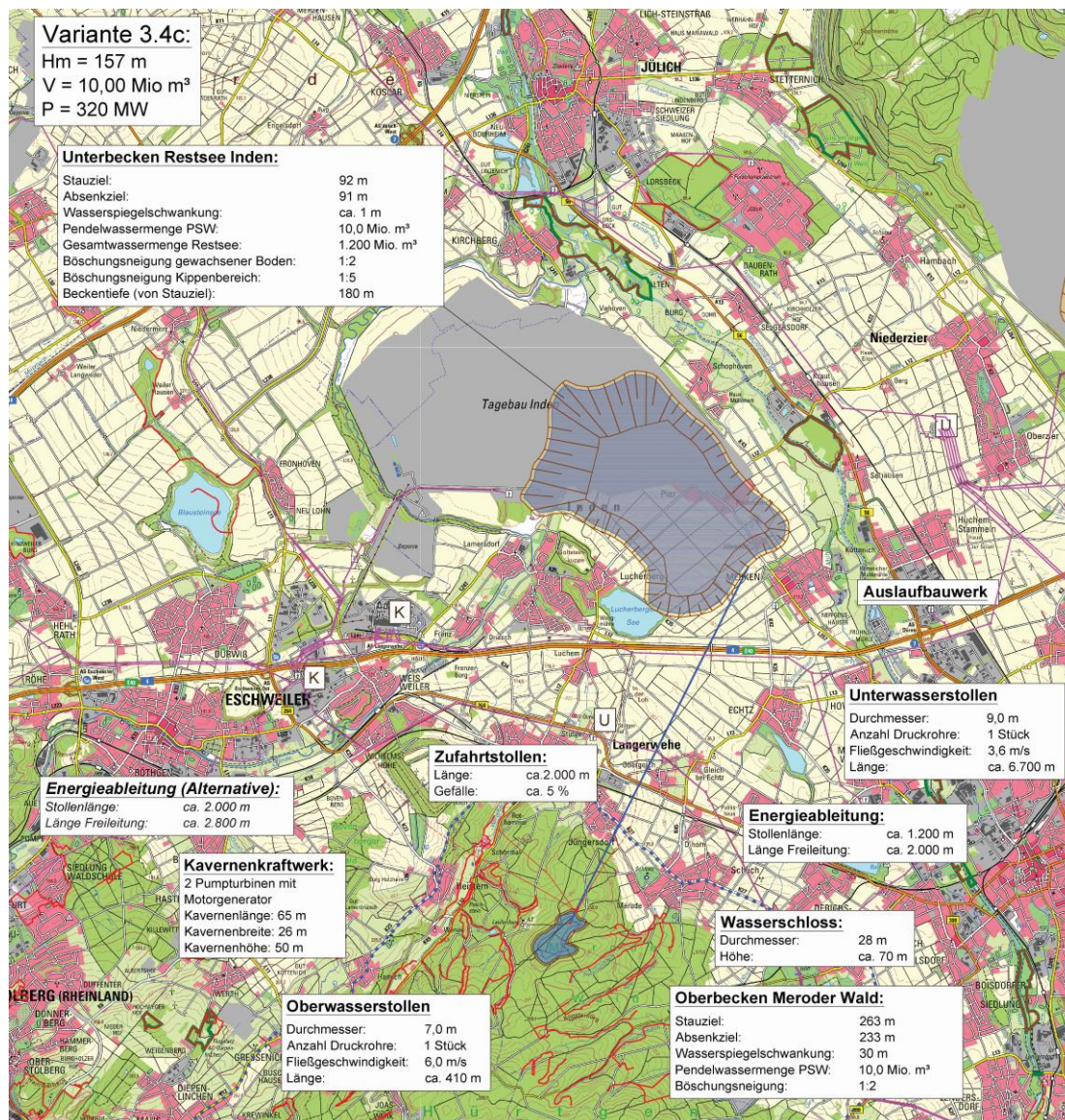


Abbildung 39: Lagebild PSW-Variante 3.4c (Meroder Wald – Restsee Inden)

12.2.2 Beschreibung der Anlage

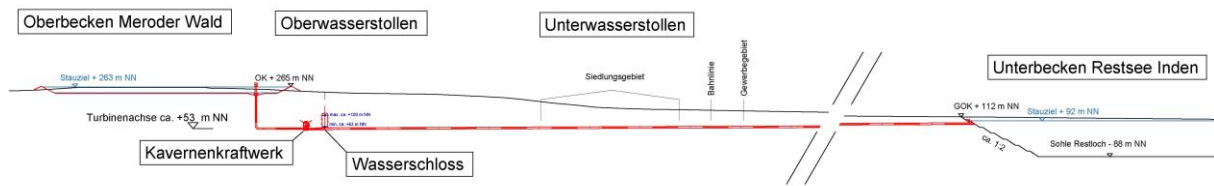


Abbildung 40: Längsschnitt PSW-Variante 3.4c (Meroder Wald – Restsee Inden) (Auszug aus Anlage 18)

Oberbecken mit Einlaufturm

Das Oberbecken wird im nördlichen Bereich des Waldgebietes „Meroder Wald“ in etwa auf der Geländehöhe von 260 m ü. NN errichtet. Die Form des Beckens orientiert sich an den topographischen Begebenheiten des Standorts und hat eine maximale Längenausdehnung von etwa 1.000 m sowie eine Breite von ca. 400 m. Das Beckenvolumen beträgt ca. 10 Mio. m³.

Das Oberbecken wird im sogenannten Massenausgleich hergestellt, d.h. das Becken wird so positioniert, dass die Aushubmassen in etwa den Massen des erforderlichen Auftrages für den Ringdamm entsprechen. Nach geotechnischer Einschätzung kann das Aushubmaterial gut als Dammbaumaterial verwendet werden.

Die Beckentiefe beträgt 35 m und die Wasserspiegelschwankung 30 m. Die seitlichen Böschungen haben sowohl auf der Wasserseite als auch auf der Luftseite eine Neigung von 1:2.

Das Becken wird an der Sohle sowie an den Innenböschungen mit einer Asphaltbetondichtung versehen. Auftretendes Sickerwasser wird von einem Drainagesystem abgeführt. Ein Kontrollgang mit diversen Meßeinrichtungen wird unter dem Becken angelegt.

Im nördlichen Bereich des Beckens befindet sich ein Einlaufturm, an den ein senkrechter Druckschacht Richtung Kavernenkraftwerk anbindet. Der Durchfluss wird über Zylinderschützen geregelt. Grobrechen verhindern den Eintrag von Schwemmmaterial. Der Einlauf muss so angelegt sein, dass auch beim Erreichen des Absenkeziels eine genügende Wasserüberdeckung vorhanden ist, um die Eintragung von Luft in den Wasserstrom zu vermeiden.

Oberwasserdruckstollen

Über den Einlaufturm gelangt das Wasser in einen zunächst senkrecht verlaufenden stahlgepanzerten Druckschacht mit einem Innendurchmesser von 7,00 m. Etwa auf Höhe der Turbinenachse bei 53 m ü NN wird der Druckschacht mittels eines Krümmungsstückes in die waagerechte Lage geführt und zum Kavernenkraftwerk geleitet. Die Dicke der Stahlpanzerung wird über die Höhe gestaffelt. Naturgemäß herrschen im unteren Bereich der Leitung die größten Drücke, hier erreicht die Stahlpanzerung die größte Dicke. Damit die Kräfte von der Leitung direkt in den Untergrund übertragen werden können, wird die Panzerung mit Beton hinterfüllt. Die Gesamtlänge des Oberwasserstollens beträgt etwa 410 m (180 m vertikal und 230 m horizontal), die Fließgeschwindigkeit beim Durchfluss im Turbinenbetrieb etwa 6,0 m/s.

Der Druckschacht durchläuft durchweg gewachsenen Boden und kann mittels raise-boring-Verfahren hergestellt werden.

Kavernenkrafthaus

Das Kavernenkraftwerk liegt etwas nördlich vom Oberbecken in ca. 180 m Tiefe unter Gelände. Es hat eine Grundfläche von etwa 26 x 65 m und eine Höhe von ca. 50 m. Das Kraftwerk ist für zwei Pumpturbinen mit Motorgeneratoren dimensioniert. Der Laufraddurchmesser der gewählten Pumpturbinen beträgt jeweils 4,62 m. Ein Kugelschieber im Oberwasser bzw. eine Saugrohrklappe im Unterwasser kann die Pumpturbine z.B. für den Revisionsfall vom Wasserstrom absperrern. Um ein Abreißen der Wassersäule im Unterwasserstollen beim Pumpbetrieb zu vermeiden, müssen die Pumpturbinen ausreichend tief liegen. Im vorliegenden Fall liegt die Turbinenachse (53 m ü. NN) 38 m unterhalb des Absenkziels im Unterbecken (91 m ü. NN).

Die Zufahrt zur Kaverne erfolgt durch einen ca. 2.000 m langen Zufahrtsstollen, der aus nordwestlicher Richtung die Kaverne andient. Das Tunnelportal an der L 12 liegt etwa auf einer Höhe von 150 m ü. NN. Der Tunnel hätte bei einem Höhenunterschied zur Kaverne von ca. 100 m ein Gefälle von ca. 5%. Dieser Stollen dient während der Bauausführung zum Abtransport des Ausbruchsmaterials sowie zur Versorgung der Baustelle mit Baumaterialien. Da die elektrotechnische und maschinelle Ausrüstung ebenfalls über diesen Tunnel antransportiert wird, muss eine entsprechend geringe Neigung des Stollens eingehalten werden.

Zusätzlich muß ein Fluchtstollen angelegt werden, damit sich im Falle eines Unfalls untertage die Arbeiter an die Oberfläche retten können.

Für die Energieableitung wird ein zusätzlicher Stollen hergestellt, der in nördlicher Richtung auf einer Länge von ca. 1.300 m aus der Kraftwerkskaverne hinausführt. Ein Transformator mit Schaltanlage befindet sich oberirdisch in unmittelbarer Nähe zum Austrittsort des Energieableitungsstollens östlich des Ortsteils Langerwehe-Jüngersdorf. Die Anbindung an das bestehende Netz erfolgt über eine ca. 2.000 m lange Freileitung Richtung Norden.

Alternativ könnte als Energieableitung auch über der Kaverne ein senkrechter Stollen nach oben hergestellt werden und der Strom über eine neue durch den Meroder Wald Richtung Norden weitergeleitet werden.

Unterwasserstollen mit Wasserschloss

Zwischen Kavernenkraftwerk und Unterbecken „Restsee Inden“ verläuft der etwa 6.700 m lange Unterwasserstollen durch gewachsenen Boden. Der Unterwasserstollen hat einen Innendurchmesser von 9,0 m. Bei Turbinenbetrieb (Durchfluss 231 m³/s) wird eine Fließgeschwindigkeit von $v = 3,6$ m/s erreicht.

Es wird mit einem mittleren Sicherungsaufwand gerechnet. Um hydraulische Verluste durch Wandreibung und Wasserverluste gering zu halten, wird der Stollen mit einer glatten Betonschale versehen.

Etwa 100 m unterhalb des Kavernenkraftwerks wird ein Wasserschloss angeordnet. Damit wird ein zusätzlicher Wasserspeicher geschaffen, der gewährleistet, dass beim Anfahren der Pumpen genügend Wasser mit ausreichendem Druck zur Verfügung steht und der Wasserstrang im Unterwasserstollen nicht abreißt. Das Wasserschloss weist einen Durchmesser von 28 m auf. Damit die überschlägig ermittelten Wasserspiegelschwankungen (durch Anfahren bzw. Abbremsen der Pumpturbine) vom Wasserschloss aufgenommen werden können, muß es eine Höhe von ca. 70 m aufweisen. Das Wasserschloss wird als Kaverne ausgebildet.

Ein senkrechter Stollen über dem Wasserschloss sorgt für dessen Be- bzw. Entlüftung im Fall von Wasserspiegelschwankungen.

Unterbecken

Als Unterbecken dient der bis zur Errichtung der PSW-Anlage neu entstandene Restsee im ehemaligen Tagebauloch Inden. Der Regelwasserspiegel des Restsees liegt bei 92 m ü. NN, was dem Stauziel der neuen PSW-Anlage entspricht. Aufgrund der großen Seefläche beträgt die Wasserspiegelschwankung bei PSW-Betrieb maximal 1 m.

An der Mündung der Unterwasserleitung in den Restsee wird ein Auslaufbauwerk aus Beton hergestellt. Die Böschungen im Bereich des Auslaufbauwerkes haben gemäß der Restseeplanung eine Neigung zwischen 1:5 und 1:7 (Vorschüttung an Böschung im gewachsenen Boden).

12.2.3 Maschinentechnische Ausrüstung

Anzahl der Pumpspeichersätze

Für die vorliegende PSW-Variante mit einer Ausbauleistung von rund 390 MW wurde der Einsatz von zwei Maschinensätzen gewählt. Dabei wurden folgende Überlegungen berücksichtigt:

- Für die maximale Leistung eines Pumpspeichersatzes gibt es eine technische und wirtschaftliche Grenze. Sie wird in erster Linie vom Motorgenerator bestimmt. Laut aktueller Angabe von europäischen Herstellern liegt sie zurzeit bei 350 MW für Synchron-Motorgeneratoren bzw. 300 MW für Motorgeneratoren mit Drehzahlvariation.
- Der Leistungsregelbereich wird mit steigender Anzahl der Pumpspeichersätze (bis zu einer bestimmten Grenze) größer, sowohl für den Pumpbetrieb als auch für den Turbinenbetrieb. Eine größere Anzahl von Pumpspeichersätzen verbessert die Verfügbarkeit der Anlage. Wartungs- und Revisionsarbeiten des einen Pumpspeichersatzes können während des Betriebs des anderen Satzes durchgeführt werden.

Die Hauptparameter der Pumpturbinen in der gewählten Auslegung sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

Variante 3.4c Hauptdaten Pumpturbine		Pumpturbine 1	Pumpturbine 2	GESAMT
Turbinenbetrieb-Nenndaten:				
Fallhöhe, netto	(m)	150,0	150,0	150,0
Durchfluss	(m ³ /s)	115,5	115,5	231,0
Leistungsabgabe	(MW)	152,4	152,4	304,8
Pumpbetrieb-Nenndaten:				
Gesamt-Förderhöhe, netto	(m)	161,0	161,0	203,0
Fördermenge	(m ³ /s)	87,0	87,0	174,0
Leistungsaufnahme	(MW)	148,7	148,7	297,4
Synchrondrehzahl	(min ⁻¹)	300,0	250,0	
Spezif. Drehzahl (n _{q,Pu})	(m-m ³ /s)	62,4	62,4	
Laufgrad-Ø	(m)	4,62	4,62	
Spirale-Eintritt-Ø	(m)	3,28	3,28	

Variante 3.4c Hauptdaten Pumpturbine		Pumpturbine 1	Pumpturbine 2	GESAMT
Saugrohr-Tiefe	(m)	38,0	38,0	
Gesamtgewicht	(t)	450	450	900

Tabelle 30: Hauptparameter der Pumpturbinen PSW-Variante 3.4c

Gewählter Typ der hydraulischen Maschinen

Für die vorliegende PSW-Variante wird der Typ der Pumpturbine mit konstanter Drehzahl gewählt. Ein derartiger Pumpspeichersatz besteht aus einem Motor-Generator und reversibler Pumpturbine (Typ Francis), welche mit einem einzigen Laufrad die Speicherpumpe und Turbine ersetzt. Da der Pumpspeichersatz nur ein Laufrad besitzt, gibt es nur eine einzige Verbindung vom Oberwasser zum Unterwasser. Damit wird nur eine ober- und unterwasserseitige Absperrarmatur notwendig. Durch Drehrichtungswechsel kann die Pumpturbine entweder für den Pumpbetrieb, den Turbinenbetrieb oder den Phasenschieberbetrieb (in beiden Drehrichtungen) eingesetzt werden. Die Betriebsart „hydraulischer Kurzschluss“ ist physikalisch nicht möglich.

Typ der Abschlussorgane

Als oberwasserseitige Abschlussorgane für die beiden Pumpturbinen werden jeweils eine Kugelschieber vorgesehen. Der Kugelschieber hat zwar z.B. im Vergleich mit einer Drosselklappe etwas höhere Investitionskosten, weist aber eine sehr niedrige hydraulische Verlusthöhe auf.

Auf der Unterwasserseite der Pumpturbinen werden Saugrohrklappen, die direkt in den Saugrohren der Pumpturbinen integriert sind, als Abschlussorgane eingesetzt.

12.2.4 Elektrotechnische Ausrüstung

Synchron-Motor-Generator

Bei den untersuchten Synchron-Motor-Generatoren handelt es sich um eine vertikale 50 Hz Dreiphasen-Synchronmaschine mit nichtveränderlicher Drehzahl, die starr an eine Pumpturbine gekuppelt ist. Im Turbinenbetrieb dient der Synchron-Motor-Generator der Erzeugung von elektrischer Energie, die über einen Maschinentransformator in das Hochspannungsnetz eingespeist wird. Im Pumpbetrieb bezieht der Synchron-Motor-Generator elektrische Leistung aus dem Hochspannungsnetz.

Das Stillsetzen des Maschinensatzes erfolgt mittels elektrischer Bremsung über den Anfahrumschalter. Hierbei wird die beim Bremsen erzeugte Energie ins Netz zurückgespeist. Ein zusätzlicher Bremstrenner im Generatorleistungsschalter ermöglicht alternativ das Stillsetzen des Maschinensatzes mittels elektrischer Kurzschlussbremsung. Zum Stillhalten und für Revisionszwecke der Maschine wird die mechanische Bremse der kombinierten Brems- und Anhebevorrichtung benutzt.

Erregereinrichtung

Der Synchron-Motorgenerator wird mit einer statischen Erregereinrichtung ausgerüstet. Die Erregerenergie wird direkt an der Generatorableitung zwischen Generatorleistungsschalter und Maschinentransformator abgenommen und über einen dreiphasigen, gießharzisolierten Haupt- Erregertransformator dem Erregersystem zugeführt.

Generatableitung und Sternpunkt

Die Verbindung vom Motorgenerator über die Phasenumkehrtrennschalter und dem Generatorleistungsschalter bis zum Maschinentransformator erfolgt mit einer einpolig gekapselten isolierten Generatableitung. Zusätzliche Abgänge für die Versorgung der Anfahrumrichtereinrichtung sowie der Statischen Erregereinrichtung werden vorgesehen.

Der Generatorsternpunkt wird als Sonderkonstruktion mit entsprechendem Erdungstransformator, Belastungswiderständen und Messwandlern ausgeführt.

Phasenumkehrtrennschalter

Aufgrund der verschiedenen Drehrichtungen im Pump- und Turbinenbetrieb ist eine Phasenumkehr erforderlich. Da zur Feldumkehr zwei Phasen umgeschaltet werden müssen, ergibt sich eine Anzahl von fünf einpoligen Trennschaltern.

Der Phasenumkehrtrennschalter wird in Reihe, zwischen der Generatorausleitung und dem Generatorleistungsschalter eingebaut, die elektrische Auslegung erfolgt analog zu den Anforderungen der Generatableitung. Die Ausführung kann horizontal mit fünf parallelen Schalterpolen oder zweigeschossig mit drei Polen in der ersten Ebene und zwei Polen in der zweiten Ebene, in Abhängigkeit von den baulichen Platzverhältnissen ausgeführt werden.

Generatorleistungsschalter

Der Generatorleistungsschalter ist in Modulbauweise ausgeführt und beinhaltet neben allen erforderlichen Messwandlern für den Maschinenschutz und Synchronisierung die erforderlichen Überspannungsableiter, Betriebserder, Bremstrennschalter, Abgangstrennschalter sowie die Einspeiseanschaltung für den Anfahrumrichter.

Maschinentransformator und Netzanbindung

Der unterspannungsseitige Anschluss des Maschinentransformators ist mittels einer gasisolierten Leitung mit Verlauf durch den Energieableitungstollen geplant. Die Aufstellung des Maschinentransformators ist außerhalb der Untertagebauwerke auf einem Fundament unmittelbar an der gasisolierten Leitung vorgesehen.

Oberspannungsseitig erfolgt die Anbindung an das Verbrauchernetz über eine 420-KV-Freiluftschaltanlage. Die Schaltanlage ist geplant mit Überspannungsableitern, Strom- und Spannungswandlern, Eingangs- und Abgangstrennungsschalter, den notwendigen Erdungsschaltern sowie mit einem Leistungsschalter. Die technischen Daten der 420-KV-Schaltanlage müssen die DIN/VDE-Vorgaben erfüllen.

Der Übergang Freiluftschaltanlage - Verbrauchernetz erfolgt über einen 420-KV-Abspannmasten. Die Auslegung der Freiluftseile zur Weiterleitung der Energie ist abhängig von den Daten der Maschinenteknik.

Sekundärseitig sind für Mess-, Steuer- und Regeltechnik die erforderlichen elektronischen Einrichtungen in Schaltschränken vorgesehen. Die Sekundärverkabelung der Stromkreise wird EMV-gerecht ausgeführt.

Einrichtungen wie Blitzschutz und Erdung ergänzen das notwendige Zonenkonzept.

Nachstehende Tabelle gibt die Hauptdaten der elektrotechnischen Sekundäreinrichtungen wieder.

Variante 3.4c	
Elektrotechnische Hauptdaten	
Maschinentrafo [MVA]	2 x 190 = 380
Generatorleistung [MVA]	2 x 190 = 380
Nennübersetzung [kV / kV]	230 / 420

Tabelle 31: Technische Daten Maschinentransformatoren und Energieableitung

12.2.5 Geologie und Geotechnik

12.2.5.1 Oberbecken

Das Oberbecken wird auf der Meroder Höhe liegen, die eine natürliche Erhebung der Eifelrandzonen mit devonischem Untergrund bildet. Diese Erhebung wird von devonischen Gesteinen der Siegen- und Gedinne-Stufe aufgebaut, die sich aus Tonsteinen, Schluffsteinen, Sandsteinen und Grauwacken aufbaut. Die feinkörnigen Gesteine können geschiefert sein. Alle Gesteine werden von Klüften durchzogen, die latent vorhanden oder besonders in Oberflächennähe auch geöffnet sein können. Oberflächennahe Zonen können bis in wechselnde Tiefen verwittert bis auch tiefgründig verwittert sein.

Im gesamten devonischen Gebirgsbereich sind Trennflächen i.e.S. vorhanden, an denen auch Änderungen der lokalen geotechnischen Eigenschaften der Gesteine und des Gebirges zu erwarten sind. An der Sohle des Oberbeckens kann angenommen werden, dass unter der Beckenaufstandsfläche eine mehr oder weniger tiefe Verwitterungszone vorliegt, in der die Festgesteine in voraussichtlich schluffig-toniger Matrix mit einliegenden Blöcken zu Lockergesteinen entfestigt und verwittert sind. In den rolligen Lockergesteinen wird mitteldichte bis dichte Lagerung anstehen und in den bindigen Schichten der Matrix überwiegend halbfeste bis feste Konsistenz vorherrschen. Die Verwitterungsschichten können als weitgehend konsolidiert und damit nicht sackungsempfindlich angenommen werden.

Durch die oberflächennahe Klüftigkeit der Festgesteine besteht eine merkliche bis deutliche vertikale und eine merkliche horizontale hydraulische Durchlässigkeit. Daher wird die natürliche Beckensohle keine ausreichende Dichtigkeit aufweisen, so dass eine künstliche Dichtung der Beckenbereiche vorgesehen werden muss. Durch entsprechende Vorerkundungen sind die Tiefenstaffelung von Bodenbildungen, Verwitterungszone, Auflockerungszone und anstehenden Festgesteinen sowie die zugehörigen geotechnischen Kennwerte zu ermitteln.

Der für die Beckenaufstandsfläche zu entnehmende Aushub kann für die Dammschüttungen der Umrandung des Beckens im Massenausgleich verwendet werden.

Sackungen und Setzungen werden in keinem bauwerksgefährdenden Maß auftreten, so dass bei dieser Oberbeckenvariante ausreichende Tragfähigkeiten angenommen werden können und die Bauwerke standsicher und erdbebensicher (nach den Vorgaben der bautechnisch noch zu beachtenden DIN 4149 und des Eurocode 8) erstellt werden können.

Schadensfälle durch Undichtigkeiten sind bei diesem Standort beherrschbar, ohne dass die Standsicherheit des Beckens durch Erosion des Untergrundes gefährdet wird.

12.2.5.2 Vertikaler Oberwasserdruckschacht und Krümmer

Station OW 0 – 125 m (Siegen-Schichten, [ds])

Der vertikale Druckschacht verläuft vertikal auf ca. 125 m zuerst in der Verwitterungszone, der Auflockerungszone und zur Basis hin im anstehenden, gefalteten und geschieferten devonischen Gebirge der Siegen-Schichten. Die Siegen-Schichten bauen sich aus Wechselfolgen von sandsteinstreifigen geschieferten Tonsteinen mit Sandsteinen auf. Mit zunehmender Tiefe steigen die Druck- und Scherfestigkeitsparameter an und erreichen ab ca. 100 bis 130 m unter Gelände die Werte des unverritz anstehenden Gebirges. Parallel dazu wird die Auflockerung des Gebirges geringer und damit auch die Klufthwasserdurchlässigkeit entsprechend vermindert. Während in der Verwitterungszone die Sicker- und Grundwasserbewegung hauptsächlich in den Gesteinsporen erfolgt, findet in den darunter liegenden Bereichen die Grundwasserzirkulation fast durchweg in den Kluffugen statt.

Ein oberflächennaher Grund- bzw. Sickerwasserspiegel sowie ein Klufthwasserspiegel in der Auflockerungszone sind anzunehmen, da die Absenkung des Grundwassers durch die Sumpfungen in den Tagebauen nicht bis hierhin reichen dürften bzw. nur äußerst gering ausfallen. Damit ist bei diesem Standort eine entsprechende Wasserhaltung während der Bauausführung erforderlich.

Die auf den Oberwasserschacht wirkenden Seitendrucke können im oberflächennahen Bereich durch ungünstige Trennflächenorientierungen im gefalteten und geschieferten Gebirge noch zu lokal erhöhten Sicherungsaufwand führen.

Zur Tiefe hin wird der Gesteinsverband kompakter, so dass lagerungsbedingt lokal kleinere Ausbrüche zu geologisch bedingtem Mehrausbruch führen, durch den aber keine erhöhten Seitendruckverhältnisse bewirkt werden.

Ab ca. 30 bis 50 m unter der Oberfläche kann bereits mit hohen Gesteinsfestigkeiten und für die Gesteine normalen Scherfestigkeiten gerechnet werden. Darunter werden die Gebirgseigenschaften hauptsächlich von den Lagerungsverhältnissen und den geotechnischen Eigenschaften der Trennflächen bestimmt, die Auswirkungen auf den erforderlichen Sicherungsauffand haben können.

Durch entsprechende Vorerkundungen ist die Tiefenstaffelung der Grundwasserverhältnisse und der geotechnischen Kennwerte zu ermitteln.

Station OW 125 – 180 m (Gedinne-Schichten, [dg])

Die darunter liegenden 55 m bis zum Krümmer durchteuft der Druckschacht gewachsenen Fels der devonischen Gedinne-Schichten, die sich aus bunten Schiefen (geschieferte Tonsteine), Arkosen, Sandsteinen und Konglomeraten aufbauen.

Der Krümmer zur Überleitung vom vertikalen Druckschacht zur horizontalen Oberwasserdruckstrecke liegt voraussichtlich in den Festgesteinen der Gedinne-Schichten. Das Gebirge im Krümmerbereich, in dem bei Turbinen- und Pumpbetrieb stärkere Vibrationen auftreten werden, wird die Schwingungen schadlos aufnehmen können.

Erforderliche Sicherungsmaßnahmen im Vertikalschacht und Krümmerbereich können in Anpassung an die örtlichen Verhältnisse zielgerichtet und erfolgreich ausgeführt werden.

Durch entsprechende Vorerkundungen ist die Tiefenstaffelung der Grundwasserverhältnisse und der geotechnischen Kennwerte zu ermitteln.

12.2.5.3 Horizontaler Oberwasserdruckstollen

Station OW 180 bis 370 m

Vom Krümmer bis zur geplanten Kaverne verläuft der Oberwasserdruckstollen voraussichtlich in den gefalteten und geschieferten Gedinne-Schichten unter den Siegen-Schichten. Das kann bedeuten, dass im Verlauf des Stollens die Lagerungsverhältnisse sich stets klein- und auch großräumig im Dekameter-Bereich bis hin zum Zentimeter-Bereich ändern können. Kleinere Störungen, Bewegungsklüfte und Kluffugen zerlegen das Gebirge zusätzlich in viele Homogenbereiche mit z.T. unterschiedlichen geotechnischen Eigenschaften.

Für die Beurteilung der geotechnischen Randbedingungen sind die folgenden geotechnischen Verhältnisse zu erwarten:

- Mittlere bis hohe Tiefenlage des Stollens,
- Lage der Bauwerksteile im Kluffgrundwasser,
- Durch Faltung und Schieferung bedingte Lagerungsverhältnisse,
- hohe bis mittlere Gesteinsfestigkeiten,
- In Oberflächennähe mittlere und ab ca. 50 m unter Gelände hohe Verbandsfestigkeiten bzw. Gebirgsfestigkeiten.

Daher ist anzunehmen, dass der Druckstollen in diesem Bereich bergmännisch oder im TBM-Verfahren erstellt werden kann. Der Sicherheitsbedarf läge im normalen Bereich, wobei auch unterstützende Maßnahmen wie Injektionen etc. erforderlich werden können.

Es können ggf. besondere Sicherungsmaßnahmen im Nahbereich der Kaverne erforderlich werden, da hier durch die Umlenkungen der Wasserströme in die Pump-Turbine sowie die Anordnung von Schließeinrichtungen erhebliche Vibrationen aus dynamischen Lastwechseln auftreten können.

Es ist auf ausreichende Wasserabdichtung der Stollensysteme zu achten, da die Bauwerke im Kluffgrundwasser liegen.

Gegebenenfalls ist ein mehrphasiger Ausbau des Stollens vorzusehen, um zunächst z.B. mittels einer Betonschalung die vortriebsbedingte Verformung einzudämmen, um anschließend den Einbau der erforderlichen Stahlpanzerung mit Betonhinterfüllung vornehmen zu können.

12.2.5.4 Kavernenkraftwerk

Die Kalotte, deren Widerlager, die darunter liegenden Ulmen und die Sohle liegen voraussichtlich in den Gedinne-Schichten (dg). Da sich die genauen Gebirgsverhältnisse aufgrund der Faltung des Gebirges und ohne gezielte Aufschlüsse nicht genau voraussagen lassen, muss angenommen werden, dass die Kaverne oder Teile davon auch bis in die überlagernden Siegen-Schichten (ds) reichen können.

Für die Beurteilung der geotechnischen Randbedingungen sind auch hier die folgenden geotechnischen Verhältnisse zu erwarten:

- Mittlere bis hohe Tiefenlage des Stollens,
- Lage der Bauwerksteile im Kluffgrundwasser,

- Durch Faltung und Schieferung bedingte Lagerungsverhältnisse,
- hohe bis mittlere Gesteinsfestigkeiten,
- In Oberflächennähe mittlere und ab ca. 50 m unter Gelände hohe Verbandsfestigkeiten bzw. Gebirgsfestigkeiten.

Die Kavernensohle sowie die unteren Ulmen werden mit erhöhtem Sicherungsaufwand herzustellen sein. Die darüber anschließenden Ulmen und die Kalotte werden einen sehr hohen Sicherungsaufwand erfordern, der sich über vorlaufende Injektionen, Daueranker, statisch erforderliche Betondicken und Betonqualitäten sowie umfangreiche Abdichtungsmaßnahmen und ggf. weitere Maßnahmen erstrecken kann.

Die Ausbildung eines Gebirgstringringes über der Kaverne kann angenommen werden, muss aber durch weitere Sicherungsmaßnahmen unterstützt werden. Hierbei ist auch der geringe Abstand zur überlagernden Auflockerungszone zu beachten.

12.2.5.5 Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 1)

Station UW 0 bis 870 m

Von der Kaverne bis zum Wasserschloss und weiter bis zu den Störungen „Abbruch von Merode“ und dem „Westrand der Rurscholle“, die Nordnordwest-Südsüdost streichen und den und mit ca. 50° g. Hz. nach Nordost einfallen, verläuft der Unterwasserdruckstollen wie auch der horizontale Oberwasserdruckstollen voraussichtlich in den gefalteten und geschieferten devonischen Gedinne-Schichten.

Der erwartete Schichtaufbau und die geotechnischen Verhältnisse entsprechen den vorstehenden Beschreibungen zum horizontalen Oberwasserdruckstollen.

Auch die bautechnischen Schlussfolgerungen sind gleichlautend.

So können auch hier besondere Sicherungsmaßnahmen in diesem Stollenbereich im Nahbereich der Kaverne erforderlich werden, da hier durch die Umlenkungen der Wasserströme aus der Pump-Turbine sowie die Anordnung von Schließeinrichtungen erhebliche Vibrationen aus dynamischen Lastwechseln auftreten können.

Ebenso sind voraussichtlich besondere Sicherungsmaßnahmen im Nahbereich des Kontaktes zum über dem Unterwasserstollen liegenden Wasserschloss erforderlich, da auch hier die Umlenkungen der Wasserströme aus der horizontalen in die vertikale Fließrichtung mit zum Teil erheblichen Wassermassenbewegungen und Fließgeschwindigkeiten zum Druckausgleich erfolgen.

12.2.5.6 Wasserschloss und Belüftungsschacht

Aufgrund der großen Bauwerkshöhe kann das Wasserschloss im Firstbereich noch die hangenden Siegen Schichten erreichen. Da sich die genauen Gebirgsverhältnisse aufgrund der Faltung des Gebirges und ohne gezielte Aufschlüsse nicht genau voraussagen lassen, muss angenommen werden, dass das Wasserschloss oder Teile davon auch bis in die überlagernden Siegen Schichten (ds) reichen können.

Für die Beurteilung der geotechnischen Randbedingungen sind auch hier die folgenden geotechnischen Verhältnisse zu erwarten:

- Mittlere bis hohe Tiefenlage des Wasserschlosses,

- Lage der Bauwerksteile im Kluffgrundwasser,
- Durch Faltung und Schieferung bedingte Lagerungsverhältnisse,
- hohe bis mittlere Gesteinsfestigkeiten,
- In Oberflächennähe mittlere und ab ca. 50 m unter Gelände hohe Verbandsfestigkeiten bzw. Gebirgsfestigkeiten.

Sohle und die unteren Ulmen werden mit erhöhtem Sicherungsaufwand herzustellen sein. Die darüber anschließenden Ulmen und die Kalotte werden einen sehr hohen Sicherungsaufwand erfordern, der sich über vorlaufende Injektionen, Daueranker, statisch erforderliche Betondicken und Betonqualitäten sowie umfangreiche Abdichtungsmaßnahmen und ggf. weitere Maßnahmen erstrecken kann.

Die Ausbildung eines Gebirgstragringes über der Kaverne kann angenommen werden, muss aber durch weitere Sicherungsmaßnahmen unterstützt werden. Hierbei ist auch der sehr geringe Abstand zur überlagernden Auflockerungszone zu beachten

12.2.5.7 Abbruch von Merode (NNW-SSO streichende Abschiebung nach NO)

Station UW 870 bis 980 m

Der Unterwasserdruckstollen erreicht bei ca. Station UW 870 m voraussichtlich den Westrand der Rurscholle im als Abbruch von Merode bezeichneten Störungssystem mit einer Staffel von Abschiebungen. An dieser Abschiebung mit ggf. horizontalen Versatztendenzen werden die Schichten um geringe Versatzbeträge von ca. 10 bis 20 m schräg entlang der Störungsbahn gegeneinander versetzt wobei der südwestliche östliche Bereich als lokale Hochscholle und der nordöstliche Bereich als lokale Tiefscholle zu bezeichnen sind. Die Lage der Störungen ist aus den geologischen Karten des Geologischen Dienstes NRW (GD) entnommen sowie aus den vom GD digital zur Verfügung gestellten Daten (shape-files) abgeleitet worden. Es ist mit dem Auftreten dieser Störungen zu rechnen, die genaue Position hinsichtlich der Stollenachse kann aber nicht angegeben werden.

Nach den bisher bei den Bearbeitern vorliegenden Unterlagen von GD, Wasserverband Erft und RWE Power AG verlaufen die Störung mit ca. 45° querschlägig zur Stollenachse und können daher eine auf mehrere Deka-Meter zu durchörternde Störungszone bilden, in der devonische Gesteine geschleppt, verstellt und brecciös durchmischt sein können. Innerhalb dieses Störungsbereiches können im Unterwasserdruckstollen lokal je nach angetroffenen Lagerungsverhältnissen erhöhte Seitendrücke auftreten bzw. beim Vortrieb aktiviert werden.

Die Gesteine werden nur geringfügig entfestigt sein, andererseits kann aber der Gebirgsverband gestört sein, so dass Trennfugen mit erhöhter Grundwasserführung angetroffen werden können.

Diese Bereiche können zu erhöhtem Sicherungsauffand führen und eine vermehrte Wasserhaltung erfordern.

12.2.5.8 Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 2)

Station UW 980 bis 2.080 m

Der Unterwasserdruckstollen verläuft nach Durchörterung der Störungszone (Abbruch von Merode) bis zu ca. Station 2.080 m in den Gedinne-Schichten. Da sich die genauen Gebirgsverhältnisse aufgrund der Faltung des Gebirges und ohne gezielte Aufschlüsse nicht genau voraussagen lassen,

muss angenommen werden, dass der Unterwasserdruckstollen oder Teile davon in diesem Bereich auch bis in die unterlagernden ordovizischen Salm Schichten (oS1) reichen können.

Für die Beurteilung der geotechnischen Randbedingungen sind hier die folgenden geotechnischen Verhältnisse zu erwarten:

- Geringe bis mittlere Tiefenlage des Unterwasserdruckstollens,
- Lage der Bauwerksteile im Kluftgrundwasser und im nördlichen Bereich an der Grenze zum aufliegenden tertiären Porengrundwasser,
- Durch das Einstreichen von Porengrundwasserleitern erhöhter Wasserandrang während der Bauzeit
- Durch Faltung und Schieferung bedingte Lagerungsverhältnisse,
- mittlere bis geringe Gesteinsfestigkeiten in der Auflockerungs- und der Verwitterungszone des devonischen Grundgebirges,
- Nach Norden hin durch die Abnahme der Überlagerungshöhen und das Einstreichen der Unterkannte des Tertiären Deckgebirges mittlere bis geringer werdende Verbandsfestigkeiten bzw. Gebirgsfestigkeiten.
- Ab dem Abbruch von Merode ist anzunehmen, dass der Grundwasserspiegel durch die Sumpfungsmaßnahmen im Tagebau Inden bereits abgesenkt worden ist.
- Die statische Bemessung des Unterwasserdruckstollens muss den Grundwasserwiederanstieg nach Tagebauende berücksichtigen.

Daher ist anzunehmen, dass der Druckstollen in diesem Bereich bergmännisch oder im TBM-Verfahren erstellt werden kann. Der Sicherheitsbedarf läge im Süden im normalen Bereich, wobei auch unterstützende Maßnahmen wie Injektionen etc. erforderlich werden können. Nach Norden kann der erforderliche Sicherheitsaufwand aufgrund der abnehmenden Überlagerungsmächtigkeit und der in die Firste des Stollens einstreichenden Tertiärschichten erheblich zunehmen.

Es können ggf. auch besondere Sicherungsmaßnahmen bei ungünstigen Lagerungsverhältnissen und starkem Grundwasserandrang erforderlich werden.

Es ist auf ausreichende Wasserabdichtung der Stollensysteme zu achten, da das Bauwerk im Kluftgrundwasser und weiter nördlich im Porengrundwasser der Tertiären Schichten liegt.

Gegebenenfalls ist auch ein zweiphasiger Ausbau des Stollens vorzunehmen. So könnte z.B. mittels Spritzbetonauftrag zunächst die vortriebsbedingte Verformung abgemildert werden, um anschließend den Einbau der wasserabdichtenden Schale (z.B. Stahlbetonring) einbauen zu können.

12.2.5.9 Birgelter Sprung (NNW-SSO streichende Abschiebung nach SW)

Station UW 2.080 m bis 2.390 m

Der Unterwasserdruckstollen erreicht in etwa bei Station UW 2.080 m voraussichtlich eine Nordnordwest-Südsüdost streichende Abschiebung nach Südwest, sowie bei Station 2.390 m die gleich orientierte Abschiebung des Birgelter Sprungs, die eine nach Südwesten einfallende Abbruchstaffel bilden. An diesen Sprüngen ist zu vermuten, dass sowohl die devonischen als auch die Tertiären Schichten so gegeneinander versetzt worden sind, dass etwa ab Station UW 2.080 m der gesamte Stollenquerschnitt in den Lockergesteinen der basalen Tertiären Schichten liegt.

Im Bereich beider Störungen werden die devonischen Gesteine im Stollenquerschnitt nur noch als Lockergesteine vorliegen, da der Unterwasserdruckstollen in diesem Bereich in der Sohle im Verwitterungsbereich der devonischen Schichten verläuft.

In dieser Störungszone kann der erforderliche Sicherungsaufwand aufgrund der abnehmenden Überlagerungsmächtigkeit und der in die Firste des Stollens einstreichenden Tertiärschichten erheblich zunehmen. Es können ggf. auch besondere Sicherungsmaßnahmen bei ungünstigen Lagerungsverhältnissen und starkem Grundwasserandrang erforderlich werden.

12.2.5.10 **Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 3)**

Station UW 2.390 m bis ca. 2.930 m

Der Unterwasserdruckstollen verläuft nach Durchörterung der Störungszone (Birgelter Sprung) bis zu ca. Station UW 2.930 m in den Lockergesteinen der basalen Tertiären Schichten, die hier im Schwankungsbereich des zu vermutenden, durch die Sumpfung im Tagebau Inden abgesenkten Grundwasserspiegels.

Für die Beurteilung der geotechnischen Randbedingungen sind hier die folgenden geotechnischen Verhältnisse zu erwarten:

- Geringe bis mittlere Tiefenlage des Unterwasserdruckstollens,
- Lage der Bauwerksteile im Schwankungsbereich des abgesenkten tertiären Porengrundwassers,
- Erhöhter aber nach Norden hin abnehmender Wasserandrang während der Bauzeit
- Mehr oder weniger horizontale bis flach nach Norden einfallende Lagerungsverhältnisse der tertiären Schichten,
- Nördlich des Birgelter Sprungs ist anzunehmen, dass der Grundwasserspiegel durch die Sumpfungmaßnahmen im Tagebau Inden unter die Sohle des Unterwasserdruckstollens absinkt. Trotzdem ist beim Bau mit Bergwasser-, Sickerwasser- und Schichtwasserzutritten zu rechnen.
- Die statische Bemessung des Unterwasserdruckstollens muss den Grundwasserwiederanstieg nach Tagebauende berücksichtigen.

Daher ist anzunehmen, dass der Druckstollen in diesem Bereich bergmännisch im Schildvortrieb oder im TBM-Verfahren erstellt werden kann. Nach Norden kann der erforderliche Sicherungsaufwand aufgrund der abnehmenden Überlagerungsmächtigkeit erheblich zunehmen.

12.2.5.11 **Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 4)**

Station UW 2.930 m bis ca. 4.110 m

Der Unterwasserdruckstollen verläuft nach in dieser Zone zu ca. Station 4.110 m in den Lockergesteinen der Tertiären Schichten vermutlich über dem Schwankungsbereich des durch die Sumpfung im Tagebau Inden abgesenkten Grundwasserspiegels.

Für die Beurteilung der geotechnischen Randbedingungen sind hier die folgenden geotechnischen Verhältnisse zu erwarten:

- Geringe bis mittlere Tiefenlage des Unterwasserdruckstollens,

- Lage der Bauwerksteile über dem Schwankungsbereich des abgesenkten tertiären Porengrundwassers,
- Vermutlich nur Sickerwasserandrang während der Bauzeit,
- Mehr oder weniger horizontale bis flach nach Norden einfallende Lagerungsverhältnisse der tertiären Schichten,
- Die statische Bemessung des Unterwasserdruckstollens muss den Grundwasserwiederanstieg nach Tagebauende berücksichtigen.
- Im nördlichen Bereich können im Querschnitt des Unterwasserdruckstollens kohleführende Schichten liegen (Oberflözgruppe)

Es ist anzunehmen, dass der Druckstollen in diesem Bereich bergmännisch im Schildvortrieb oder im TBM-Verfahren erstellt werden kann. In Braunkohle führenden Bereichen kann der erforderliche Sicherungsaufwand auch aufgrund der abnehmenden Überlagerungsmächtigkeit erheblich zunehmen.

12.2.5.12 **Goldsteinsprung (NW-SO streichende Abschiebung nach NO)**

Station UW. ca. 4.110 m

Der Unterwasserdruckstollen erreicht bei ca. Stat. 4.110 voraussichtlich den bereits präquartär angelegten Goldsteinsprung, eine Nordnordwest-Südsüdost streichende Abschiebung nach Nordwest. An diesem Sprung ist zu vermuten, dass Tertiäre Schichten so gegeneinander versetzt worden sind, dass ab ca. Stat. 4.110 m der gesamte Stollenquerschnitt in den braunkohleführenden Lockergesteinen der Tertiären Schichten liegt.

In dieser Störungszone kann der erforderliche Sicherungsaufwand auch aufgrund der abnehmenden Überlagerungsmächtigkeit erheblich zunehmen. Es können ggf. auch besondere Sicherungsmaßnahmen besonders in den Braunkohle führenden Schichten erforderlich werden.

12.2.5.13 **Unterwasserdruckstollen (Abschnitt 5)**

Station UW ca. 4.110 m bis ca. 5.360 m

Der Unterwasserdruckstollen verläuft nördlich des Goldsteinsprungs bis zum Auslaufbauwerk am Unterbecken in den Braunkohle führenden Lockergesteinen der Tertiären Schichten (Morken Frimmersdorf vermutlich über dem Schwankungsbereich des durch die Sümpfung im Tagebau Inden abgesenkten Grundwasserspiegels).

Für die Beurteilung der geotechnischen Randbedingungen sind hier die folgenden geotechnischen Verhältnisse zu erwarten:

- Geringe bis mittlere Tiefenlage des Unterwasserdruckstollens,
- Lage der Bauwerksteile über dem Schwankungsbereich des abgesenkten tertiären Porengrundwassers,
- Vermutlich nur Sickerwasserandrang während der Bauzeit,
- Mehr oder weniger horizontale bis flach nach Nordosten einfallende Lagerungsverhältnisse der tertiären Schichten,

- Die statische Bemessung des Unterwasserdruckstollens muss den Grundwasserwiederanstieg nach Tagebauende berücksichtigen.
- Auf der gesamten Länge des 5. Abschnittes können im Querschnitt des Unterwasserdruckstollens kohleführende Schichten liegen (Oberflözgruppe).
- Daneben ist zu beachten, dass bei Stat. ca. 5.040 m die BAB 4 in ca. 60 m Tiefe unterfahren wird.

Es ist anzunehmen, dass der Druckstollen in diesem Bereich bergmännisch im Schildvortrieb oder im TBM-Verfahren erstellt werden kann. In Braunkohle führenden Bereichen kann der erforderliche Sicherungsaufwand auch aufgrund der abnehmenden Überlagerungsmächtigkeit erheblich zunehmen.

12.2.5.14 **Auslaufbauwerk Unterbecken**

Station UW ca. 6.700 m

Das Auslassbauwerk am südlichen Seerand steht in den gleichen Schichten wie sie für den 5. Abschnitt des Unterwasserdruckstollens beschrieben werden.

Da das Auslaufbauwerk am Nordrand der Südböschung des Tagebaus ggf. noch in gewachsenem Boden, in jedem Fall aber in jungen Kippenbereichen der Sicherungsvorschüttung stehen wird, werden die Anforderungen an die Gründungen bezüglich der Tragfähigkeit und der Standsicherheit umfangreich und erheblich sein. Es ist davon auszugehen, dass das ganze zur Verfügung stehende Spektrum bodenverbessernder Maßnahmen erforderlich sein wird und das Auslaufbauwerk in offener Bauweise hergestellt werden muss.

12.2.6 Hydrologie

Die Bauwerke für das PSW Inden liegen sowohl in gewachsenem Boden aus quartären und tertiären Schichten als auch auf und in devonischen Festgesteinen des Grundgebirges im Bereich der Meroder Höhe.

Wie in allen Bauwerksbereichen im Lockergestein unterhalb des Ursprungsgeländes muss der spätere Grundwasseranstieg sowie die Füllung der Restseen mit Fremdwasser bezüglich der Bodenbewegungen und der Auftriebssicherheit beachtet werden.

12.2.6.1 **Oberbecken, Oberwasserdruckschacht, Oberwasserdruckstollen, Kaverne, Wasserschloss und Unterwasserdruckstollen bis zum Birgelter Sprung**

Alle Bauwerke liegen in den Schichten des Devons, die in diesem Bereich von den Siegen-Schichten und den Gedinne-Schichten aufgebaut werden.

Die devonischen Schichten sind als Kluftwasserleiter ausgebildet, die gewöhnlich in den oberflächennahen Bereichen bis zu ca. 1,5 % verfügbares Grundwasservolumen aufweisen, das zur Tiefe hin deutlich zurückgeht und somit in vielen Gebirgsbereiche unter 150 m Teufe lediglich lokal Zuläufe von Berg-, Sicker- oder Schichtwasser zu erwarten sind.

Durch Untertagebauwerke werden im Festgesteinsgebirge zusätzliche Wasserwege geschaffen, in die das ursprünglich nur in den Klüftfugen zirkulierende Grundwasser infiltrieren kann.

Vom Oberwasserdruckschacht bis etwa zu Abbruch von Merode ist zu vermuten, dass der Grundwasserspiegel in seiner „normalen“ Höhe liegt und nicht durch die Sümpfungen im Tagebau Inden abgesenkt wurde.

Ab dem Abbruch von Merode Richtung Norden ist anzunehmen, dass der Grundwasserspiegel durch die Sümpfungsmaßnahmen im Tagebau Inden beeinflusst und abgesenkt worden ist. In den devonischen Gebirgsbereichen am Meroder Abbruch wird diese Absenkung nur gering sein während sich die Sümpfung in Richtung Norden deutlicher auswirken kann und am Abbaurand ihr Maximum erreichen wird.

12.2.6.2 Unterwasserdruckstollen ab dem Birgelter Sprung bis zum Auslaufbauwerk

Ab dem Bereich des Birgelter Sprungs verläuft der Unterwasserdruckstollen in den Porenwasserleitern der Tertiären Schichten der Niederrheinischen Bucht.

Es ist zu vermuten, dass sich der Stollen im Bereich des Birgelter Sprungs noch im Grundwasser bewegt, weiter nördlich aber der Grundwasserspiegel durch die Sümpfung im Tagebau Inden unter bis weit unter die Stollensohle bis zum Auslaufbauwerk absinkt. Dieser Bereich wird voraussichtlich vom Sickerwasser aus den Niederschlägen angeströmt.

12.2.6.3 Beeinflussung und Eingriffe in das Grundwasser während der Bauzeit

In den devonischen Gebirgsbereichen wird die erforderliche baubegleitende Sümpfung Grundwasser entnommen. Dies kann lokal zu einem geringfügigen und räumlich beschränkten Absinken des Grundwasserspiegels führen. Durch Injektionsmanschetten im Vertikalschacht können die Eingriffe erheblich verringert werden, da damit die Grundwasserzutritte aus der oberflächennahen Verwitterungszone hydraulisch gesperrt werden können. In den nördlichen devonischen Gebirgsbereichen wird ein solches Vorgehen nicht möglich sein, so dass hier das anfallende Bergwasser gepumpt werden muss, um den Bau der Stollen zu ermöglichen.

Durch den Bau der Stollen wird Grundwasser entnommen werden müssen. Nach Bauende werden die Untertagebauwerke rundum abgedichtet werden, wobei auch an genau festzulegenden Bauabschnitten Injektionsmanschetten eingebaut werden müssen, die die ehemals hydraulisch sperrenden Element wie Störungen oder Fazieswechsel nachträglich wieder verschließen können.

Die Tertiären Bereiche bis zum Restsee Inden werden bei der Bauausführung komplett abgedichtet, so dass sie nach der Bauausführung nicht mehr hydraulisch wirksam sein werden und der spätere Grundwasseranstieg gegen und nach Ende der Sümpfung ungehindert erfolgen kann.

Die Stollenausführung und die Stollenabdichtungen sind auf den zu vermutenden späteren Grundwasseranstieg statisch auszulegen.

12.2.6.4 Pendelwasser

Das in den Bauwerken zirkulierende Pendelwasser steht in direkter Verbindung mit dem Seewasser und hat dessen hydrochemische und hydrophysikalische Eigenschaften.

Mit dem Grundwasser kann das Pendelwasser als Betriebswasser des Pumpspeicherwerkes nur über das Seewasser kommunizieren und hat dadurch kaum bis keine direkten Wechselwirkungen mit dem Grundwasser.

Durch die geringe Wasserspiegelschwankung im Seebecken sind kleinräumige hydraulische Einflüsse auf den Uferbereich und dessen bergseitige Ränder zu verzeichnen, die aber während des Betriebes nur sehr gering bis unmerklich sein werden, vergleichbar mit natürlichen Seewasserspiegelschwankungen.

12.2.7 Kostenschätzung

Insgesamt werden die Projektkosten der Variante 3.4c zu 884 Mio. EUR geschätzt. Bezogen auf die installierte Leistung betragen die Kosten 2.763 EUR/kW.

Für die Kostenschätzung wurden die Massen für die Hauptbauleistungen abgeschätzt. Berücksichtigt wurden maßgebende Gewerke wie Tunnel-, Erd- und Betonbau.

Die Baufeldfreimachung umfasst die Herrichtung der für die Baumaßnahme beanspruchten Flächen.

Kosten für die Baustelleneinrichtung wurden mit 10% der Kosten für den baulichen Teil angesetzt.

Die Kostenschätzung für die maschinentechnischen Ausrüstungen und den Stahlwasserbau basiert auf der Analyse von vergleichbaren Maschinen und Informationen aus aktuellen Angeboten von Lieferanten bzw. Anfragen an Lieferanten (Stand 2018).

Kosten für die Erstfüllung des Oberbeckens (z.B. Pumpen, Rohrleitungen) sind nicht berücksichtigt.

Sonstige und unvorhergesehene Kosten werden auf die Herstellungskosten aufgeschlagen. Bei der Kostenschätzung für die baulichen Anlagen ist die Unsicherheit und damit das Risiko unvorhergesehener Kosten höher. Sie werden daher mit 15 % berücksichtigt. Die Maschinen und Elektrotechnik ist mit geringeren Unsicherheiten behaftet. Hier werden 5 % aufgeschlagen.

Bei den Nebenkosten handelt es sich zum einen um Kosten für Planung, Bauüberwachung, Projektsteuerung etc. (8% der Investitionskosten). Zum anderen sind geologische Erkundungen und Geländeaufnahmen durchzuführen. Der Aufwand für den Landerwerb (1% der Investitionskosten) sowie für Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen (5 % der Investitionskosten) wird ebenfalls in den Nebenkosten berücksichtigt.

Eine Kostenübersicht zur Variante 3.4c mit der Auflistung der Hauptgewerke befindet sich in Anlage 20.

12.2.8 Fazit Variante 3.4c – Meroder Wald / Restsee Inden

Die PSW-Variante 3.4c (Meroder Wald – Restsee Inden) hat eine Ausbauleistung von 320 MW. Die mittlere Fallhöhe zwischen Ober- und Unterbecken beträgt 157 m.

Die PSW-Bestandteile können zum größten Teil in gewachsenem Boden errichtet werden. Im Bereich von Störungs- und Verwitterungszonen wird der Sicherungs- und Ausbauaufwand für die Tunnel- und Kavernenbauwerke höher sein als im ungestörten Gebirge. Durch das anstehende Grundwasser werden für die Untertagebaumaßnahmen erhöhte Wasserhaltungsmaßnahmen erforderlich sein.

Das Oberbecken liegt in einem Landschaftsschutzgebiet und in unmittelbarer Nähe zu einem Naturschutzgebiet.

Die Projektkosten werden zu 884 Mio. EUR geschätzt (spezifische Kosten pro installierte Leistung 2.763 EUR/kW). Dieser vergleichsweise hohe Wert für die spezifischen Kosten ergibt sich vor allem durch den langen Unterwasserstollen von knapp 7 km.

13 Naturschutzfachliche Einschätzung

Die beiden untersuchten Vorzugsvarianten werden im Folgenden einer Bewertung hinsichtlich der möglichen Betroffenheit der naturschutzfachlichen Belange einschließlich der Landschaft auf Grundlage der Landes- und Regionalplanung sowie der naturschutzrechtlichen Schutzgebietskulisse unterzogen. Mögliche Betroffenheiten nach anderen Gesetzen bzw. Richtlinien wie z. B. nach Wasser-, Forst-, Bodenschutz und Denkmalrecht bzw. Wasserrahmenrichtlinie sind nicht Gegenstand der Betrachtungen in dieser Unterlage.

Die PSW bestehen grundsätzlich aus Oberbecken, Unterbecken und verbindender Triebwasserleitung mit Kraftwerkskaverne. Als Unterbecken sollen in beiden Fällen die dann wassergefüllten Tagebaurestseen fungieren. Die Triebwasserleitungen und die Kraftwerkskavernen sollen unterirdisch liegen, so dass bestehende Nutzungen an der Oberfläche bestehen bleiben können. Bauliche Eingriffe an der Oberfläche entstehen also in erster Linie durch die Errichtung des Oberbeckens und in geringerem Umfang durch Portale für Zufahrtsstollen sowie Leitungs- und Straßenbau.

13.1 Grundlagen

13.1.1 Landesplanung

Folgende Grundlagen der Landesplanung standen für die Bearbeitung zur Verfügung:

- Landesentwicklungsplan Nordrhein-Westfalen (LEP Nordrhein-Westfalen), in Kraft getreten am 8. Februar 2017
(Quelle: <https://www.wirtschaft.nrw/landesplanung> am 04.09.2018)

13.1.2 Regional- und Braunkohlenplanung

Folgende Grundlagen der Regional- und Braunkohlenplanung standen für die Bearbeitung zur Verfügung:

- Regionalplan für den Regierungsbezirk Köln, Teilabschnitt Region Aachen (Stand Oktober 2016), Teilabschnitt Region Köln (Stand April 2018)
(Quelle: https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/leistungen/abteilung03/32/regionalplanung/aktueller_regionalplan/index.html am 04.09.2018)
- Braunkohlenplan Inden, Räumlicher Teilabschnitt II, vom 08. März 1990/ 19. Juni 2009
(Quelle: https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/leistungen/abteilung03/32/braunkohlenplanung/braunkohlenplaene/plan_inden_teilabschnitt_zwei/index.html am 04.09.2018)
- Braunkohlenplan Hambach, Teilplan 12/1, Beschluss vom 27. Juni 1977
(Quelle: https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/leistungen/abteilung03/32/braunkohlenplanung/braunkohlenplaene/plan_hambach_teilplan_zwoelfeins/index.html am 04.09.2018)

13.1.3 Schutzgebiete nach Naturschutzrecht

Die Umgrenzungen der maßgeblichen Schutzgebiete im Projektgebiet (FFH-Gebiete, Vogelschutzgebiete, Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Naturparke) konnten über den Datendownloaddienst des LANUV beschafft werden.

13.2 Bestandsbeschreibung

13.2.1 Landesplanung

Der Landesentwicklungsplan Nordrhein-Westfalen (LEP Nordrhein-Westfalen) dient dazu, das Landesgebiet als zusammenfassender, überörtlicher und fachübergreifender Raumordnungsplan zu entwickeln, zu ordnen und zu sichern. Im Landesentwicklungsplan werden in Plan und Text die räumlichen Ziele und Grundsätze der Landesentwicklung festgelegt. Ziele sind bei nachgeordneten Planungen zu beachten, Grundsätze zu berücksichtigen.

Der LEP befindet sich zurzeit in Überarbeitung. In dieser Unterlage wird Bezug genommen auf den derzeit geltenden LEP, der am 8. Februar 2017 in Kraft getreten ist.

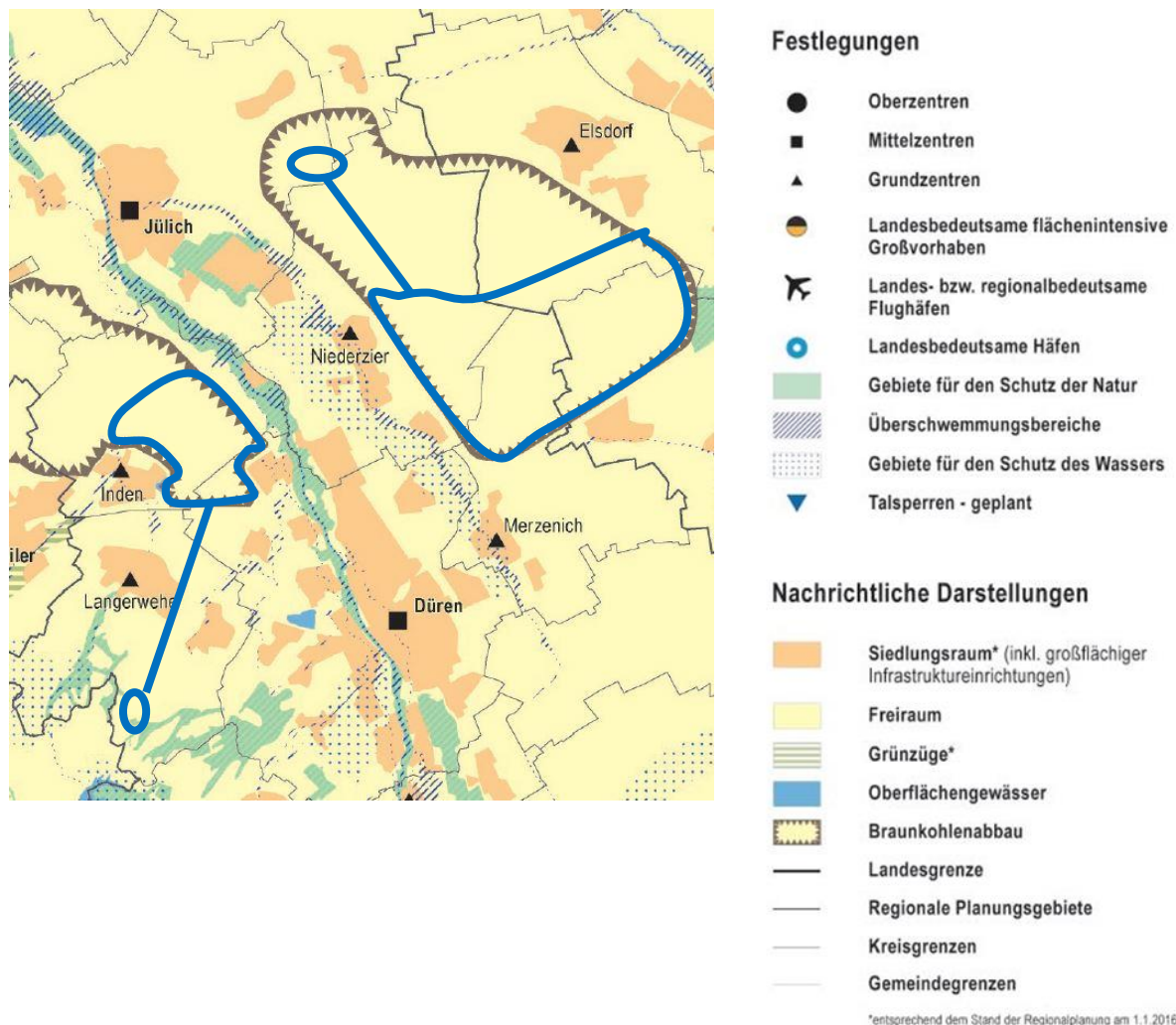


Abbildung 41: Festlegungen des Landesentwicklungsplans im Planteil für die Bereiche der PSW-Standorte „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ und „Meroder Wald - Restsee Inden“, schematische Eintragung der geplanten PSW-Bestandteile durch den Verfasser dieser Unterlage = blaue Linien

Die Bereiche der beiden PSW-Standorte mit den jeweiligen Teilbereichen Oberbecken, Unterbecken und verbindende Triebwasserleitung sind im Planteil des LEP Nordrhein-Westfalen inner- und außerhalb der Flächen für den Braunkohleabbau vollflächig als Freiräume dargestellt. Bereiche mit anderen nachrichtlich übernommenen Nutzungen oder Festlegungen im Planteil wie z. B. Gebiete für den Schutz der Natur sind von den PSW-Bestandteilen voraussichtlich nicht betroffen.

Neben der plangrafischen Darstellung sind im Textteil des LEP Nordrhein-Westfalen Ziele sowie Grundsätze definiert.

Der LEP Nordrhein-Westfalen definiert **zu Freiraumsicherung und Bodenschutz folgende Ziele und Grundsätze:**

„7.1-1 Grundsatz Freiraumschutz

Der Freiraum soll erhalten werden; seine Nutz-, Schutz-, Erholungs- und Ausgleichsfunktionen sollen gesichert und entwickelt werden.

Der Erhalt der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Freiraums ist bei allen raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen zu berücksichtigen.

Dies gilt insbesondere für die Leistungen und Funktionen des Freiraums als

- Lebensraum für wildlebende Tiere und Pflanzen sowie als Entwicklungsraum biologischer Vielfalt,*
- klimatischer und lufthygienischer Ausgleichsraum,*
- Raum mit Bodenschutzfunktionen,*
- Raum mit bedeutsamen wasserwirtschaftlichen Funktionen,*
- Raum für Land- und Forstwirtschaft,*
- Raum weiterer wirtschaftlicher Betätigungen des Menschen,*
- Raum für landschaftsorientierte und naturverträgliche Erholungs-, Sport- und Freizeitnutzungen,*
- Identifikationsraum und prägender Bestandteil historisch gewachsener Kulturlandschaften und*
- als gliedernder Raum für Siedlungs- und Verdichtungsgebiete.*

7.1-2 Ziel Freiraumsicherung in der Regionalplanung

Die Regionalplanung hat den Freiraum insbesondere durch Festlegung von Allgemeinen Freiraum- und Agrarbereichen, Waldbereichen und Oberflächengewässern zu sichern. Sie hat den Freiraum durch Festlegung spezifischer Freiraumfunktionen und -nutzungen zu ordnen und zu entwickeln und Vorsorge für einzelne Nutzungen und Funktionen im Freiraum zu treffen.

7.1-3 Grundsatz Unzerschnittene verkehrsarme Räume

Die Zerschneidung bisher unzerschnittener verkehrsarmer Freiräume soll vermieden werden.

Insbesondere bisher unzerschnittene verkehrsarme Räume, die eine Flächengröße von mindestens 50 km² haben, sollen nicht durch eine linienhafte Verkehrsinfrastruktur zerschnitten werden.

7.1-4 Grundsatz Bodenschutz

Bei allen raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen sind die Leistungsfähigkeit, Empfindlichkeit und Schutzwürdigkeit der Böden zu berücksichtigen.

Geschädigte Böden, insbesondere versiegelte, verunreinigte oder erosionsgeschädigte Flächen sollen auch im Freiraum saniert und angemessenen Nutzungen und Freiraumfunktionen zugeführt werden.

Bei der Festlegung von neuen Siedlungsgebieten in erosionsgefährdeten Gebieten soll ausreichende Vorsorge zur Vermeidung von erosionsbedingten Schäden getroffen werden.

7.1-5 Ziel Grünzüge

Zur siedlungsräumlichen Gliederung sind in den Regionalplänen regionale Grünzüge als Vorranggebiete festzulegen.

Sie sind auch als

- *siedlungsnaher Freiflächen für freiraumorientierte Erholungs-, Sport- und Freizeitnutzungen,*
- *Biotopverbindungen und*
- *in ihren klimatischen und lufthygienischen Funktionen*

zu erhalten und zu entwickeln.

Regionale Grünzüge sind im Hinblick auf ihre freiraum- und siedlungsbezogenen Funktionen vor einer siedlungsräumlichen Inanspruchnahme zu schützen.

Sie dürfen für siedlungsräumliche Entwicklungen ausnahmsweise in Anspruch genommen werden, wenn für die siedlungsräumliche Entwicklung keine Alternativen außerhalb des betroffenen Grünzuges bestehen und die Funktionsfähigkeit des Grünzuges erhalten bleibt.

7.1-6 Grundsatz Ökologische Aufwertung des Freiraums

Freiraum, der nur noch wenige natürliche Landschaftselemente aufweist oder in seiner Landschaftsstruktur oder in seinem Erscheinungsbild geschädigt ist, soll durch geeignete landschaftspflegerische Maßnahmen aufgewertet werden.

7.1-7 Grundsatz Nutzung von militärischen Konversionsflächen

Auf überwiegend landschaftlich geprägten militärischen Konversionsflächen (beispielsweise Truppenübungsplätze) sollen vorrangig Festlegungen und Maßnahmen zugunsten des Natur- und Landschaftsschutzes und/oder der Nutzung für erneuerbare Energien zum Tragen kommen. Dabei sollen insbesondere die Flächen, die nicht baulich überprägt sind, für Freiraumnutzungen gesichert werden.

7.1-8 Grundsatz Landschaftsorientierte und naturverträgliche Erholungs-, Sport- und Freizeitnutzungen

Bereiche, die sich aufgrund ihrer Struktur, Ungestörtheit und Erreichbarkeit für die naturverträgliche und landschaftsorientierte Erholungs-, Sport- und Freizeitnutzung besonders eignen, sollen für diese Nutzungen gesichert und weiterentwickelt werden.“

Der LEP Nordrhein-Westfalen definiert außerdem **zu Natur und Landschaft außerhalb der festgesetzten Gebiete für den Schutz der Natur folgende Ziele und Grundsätze:**

„7.2-1 Ziel Landesweiter Biotopverbund

Landesweit sind ausreichend große Lebensräume mit einer Vielfalt von Lebensgemeinschaften und landschaftstypischen Biotopen zu sichern und zu entwickeln, um die biologische Vielfalt zu erhalten. Sie sind funktional zu einem übergreifenden Biotopverbundsystem zu vernetzen. Dabei ist auch der grenzüberschreitende Biotopverbund zu gewährleisten.

7.2-5 Grundsatz Landschaftsschutz und Landschaftspflege

Auch außerhalb von Gebieten für den Schutz der Natur soll Freiraum, der sich durch eine hohe Dichte an natürlichen oder kulturlandschaftlich bedeutsamen Elementen, an für gefährdete Arten und Lebensräume bedeutsamen Landschaftsstrukturen oder durch besondere Eigenart und Schönheit auszeichnet, vor Inanspruchnahmen bewahrt werden, durch die seine Leistungs- und Funktionsfähigkeit oder besondere Wertigkeit erheblich beeinträchtigt werden kann.“

13.2.2 Regional- und Braunkohlenplanung

Regionalplanung

In der Regionalplanung werden die aktuelle und zukünftige Siedlungs-, Infrastruktur- und Freiraumentwicklung auf Grundlage der Landesentwicklungsplanung untereinander abgestimmt. Die Regionalplanung sichert als querschnittsorientierte Gesamtplanung einerseits die natürlichen Lebensgrundlagen der Region, andererseits hält sie ausreichende Spielräume für die Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung vor.

Im Regionalplan als Gebietsentwicklungsplan (GEP) werden die räumlichen Ziele der Planungsregion in Plan und Text festgelegt, die bei nachgeordneten Planungen zu beachten sind. Neben der Funktion als Raumordnungsplan ist der Regionalplan in Nordrhein-Westfalen Landschaftsrahmenplan sowie forstlicher Rahmenplan.

Der aktuelle Regionalplan Köln besteht aus den drei räumlichen Teilabschnitten für die Regionen Aachen, Bonn / Rhein-Sieg und Köln sowie aus zwei zusätzlichen inhaltlichen Teilplänen zu den Einzelthemen „Erneuerbare Energien“ und „Nichtenergetische Rohstoffe“. Die Plandarstellung erfolgt in einem Gebietsentwicklungsplan sowie in einer Erläuterungskarte.

Der Regionalplan Köln mit den beiden Teilplänen befindet sich zurzeit in Überarbeitung. Dabei sollen die Aussagen der bisher drei räumlichen Teilabschnitte in einem Gesamtplan zusammengefasst werden, der den gesamten Regierungsbezirk umfasst.

Das Gebiet des geplanten PSW-Standortes „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ liegt mit Oberbecken, Triebwasserleitung und dem Westteil des Unterbeckens im Bereich des Teilabschnitts Aachen. Der Ostteil des Unterbeckens liegt im Bereich des Teilabschnitts Köln.

Das Gebiet des geplanten PSW-Standortes „Meroder Wald - Restsee Inden“ liegt mit Oberbecken, Triebwasserleitung und Unterbecken vollständig im Bereich des Teilabschnitts Aachen.

Braunkohlenplanung

Im Regierungsbezirk Köln stellen die Braunkohlenpläne eine Besonderheit dar. Die Braunkohlenpläne definieren innerhalb des Braunkohlenplangebietes die Ziele der Raumordnung und Landesplanung. Die Festlegung der Ziele in den GEP und in den Braunkohlenentwicklungsplänen ist als gemeinsames regionales Planwerk zu betrachten und muss somit widerspruchsfrei sein. Die gegenseitige Verzahnung findet u. a. dadurch statt, dass die aus dem Braunkohlenplan in den GEP zu übernehmenden Festlegungen aufgegriffen und weiterentwickelt werden.

Eine besondere Herausforderung ergibt sich im Verhältnis von GEP und Braunkohlenentwicklungsplänen aus den unterschiedlichen Zeithorizonten, für die die beiden Planungen erstellt werden. Während der Planungshorizont des GEP auf mittelfristige Zeithorizonte ausgerichtet ist, macht ein Braunkohlenplan Aussagen für sehr langfristige Zeithorizonte. Das heißt, dass im GEP auch Aussagen für Flächen getroffen werden müssen, die laut den Zielen des Braunkohlenplans zu einem späteren Zeitpunkt für Abbau und zu einem noch späteren Zeitpunkt für Rekultivierung bzw. Nachnutzung in Anspruch genommen werden.

Daraus resultiert im südlichen Bereich des Tagebaus Hambach (Region Aachen, Gebietsentwicklungsplan) die Darstellung einer „Zeitlinie 2010“. Von Norden bis zu dieser Linie wurde der Tagebaurestsee als Oberflächengewässer dargestellt. Südlich dieser Zeitlinie bis zur Autobahn 4 sind in einem ca. 4 km breiten Streifen die Ziele der Raumordnung bis zum Abbau durch Tagebau dargestellt. Das längerfristige Ziel des Braunkohlenentwicklungsplans Hambach mit der Flächennutzung als Abbaubereich für Bodenschätze und Folgenutzung als Oberflächengewässer bleibt davon unberührt.

Da die Standortnutzung als PSW auf einen Zeithorizont ausgerichtet ist, der erst nach der schon sehr langfristigen Braunkohleförderung beginnt, sind in diesem Bereich zwischen Zeitlinie 2010 und A 4 die regionalplanerischen Ziele des Braunkohlenplans Hambach maßgeblich.

Bereich „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ im GEP-Planteil

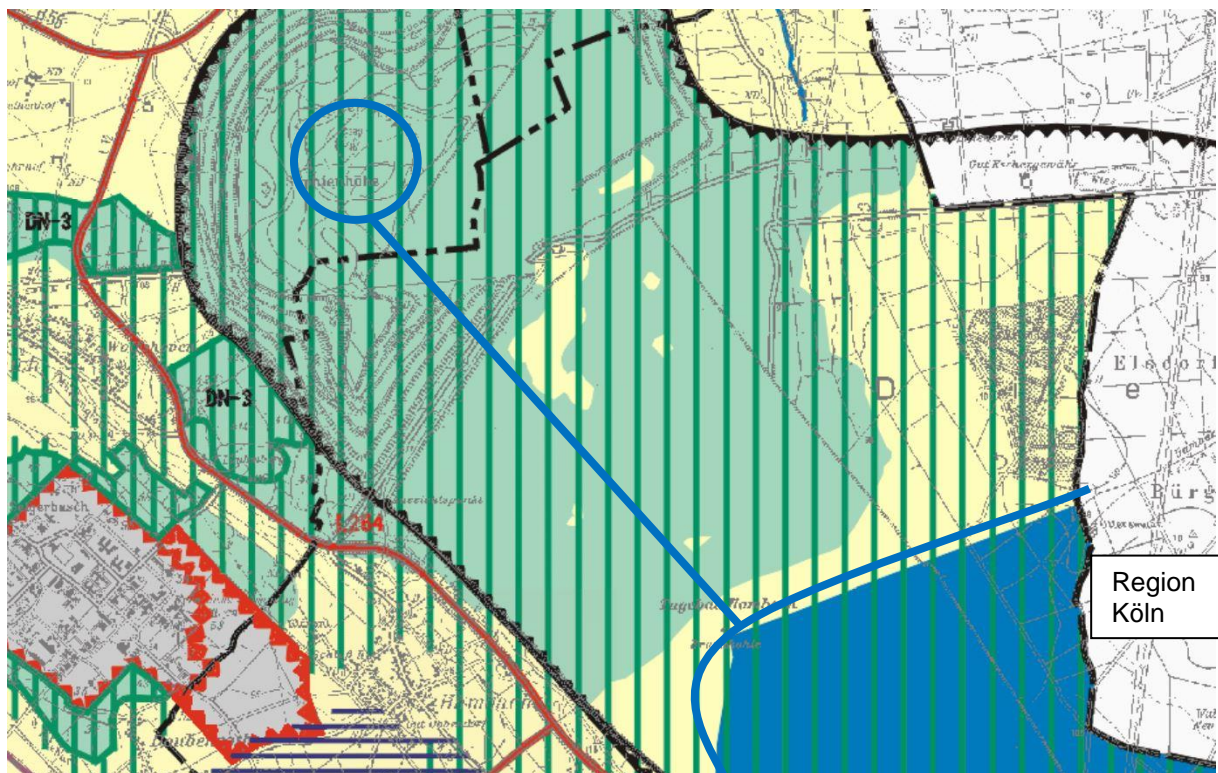


Abbildung 42: Festlegungen des Regionalplans, Region Aachen im Planteil (Gebietsentwicklungsplan) für den Bereich PSW-Standorts „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ (Nordteil), schematische Eintragung der geplanten PSW-Bestandteile durch den Verfasser dieser Unterlage = blaue Linien

Der Gesamtbereich des geplanten PSW ist im GEP als Freiraumbereich für die zweckgebundene Nutzung „Abbau von Bodenschätzen“ dargestellt (schwarze Dreieckslinie).

Der Bereich des nördlichen Unterbeckens ist im GEP als Freiraum, Oberflächengewässer (flächig blau) dargestellt. Dies trifft auch für den östlich anschließenden Planteil der Region Köln zu. Die Bereiche der Triebwasserleitung und des Oberbeckens sind dargestellt als Freiräume, Wald (flächig grün) sowie allgemeine Freiräume und Agrarbereiche (flächig hellgelb). Die genannten Gesamtflächen sind weiterhin dargestellt als Flächen mit der Freiraumfunktion „Schutz der Landschaft und landschaftsgebundene Erholung“ (weite, grüne Senkrechtschraffur).

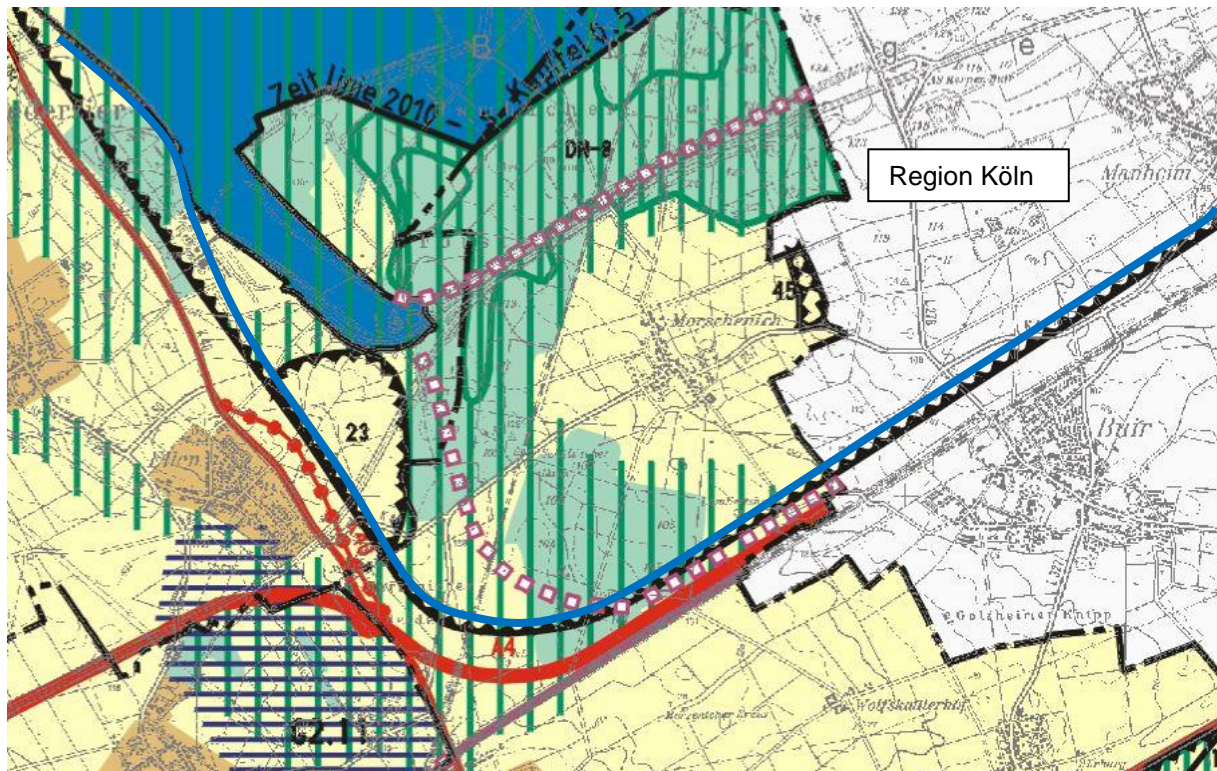


Abbildung 43: Festlegungen des Regionalplans, Region Aachen im Planteil (Gebietsentwicklungsplan) für den Bereich PSW-Standorts „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ (Südteil), schematische Eintragung der geplanten PSW-Bestandteile durch den Verfasser dieser Unterlage = blaue Linie

Im Südteil des Unterbeckens sind die Flächen im GEP in den Regionen Aachen und Köln dargestellt als Freiräume, Wald (flächig grün) sowie allgemeine Freiräume und Agrarbereiche (flächig hellgelb). Die Bereiche des Hambacher Forsts sind als Freiräume zum „Schutz der Natur“ ausgewiesen (enge, grüne Senkrechtschraffur). Nördlich von Manheim und nördlich, westlich und südlich von Morschenich sind Flächen dargestellt mit der Freiraumfunktion „Schutz der Landschaft und landschaftsgebundene Erholung“ (weite, grüne Senkrechtschraffur). Das Gebiet wird weiterhin von einem regionalplanerisch bedeutenden Schienenweg gequert (weiße Kästchenlinie mit violetter Umrandung).

Langfristig maßgeblich sind im Bereich zwischen Zeitlinie 2010 an der Südgrenze des Tagebaurestsees und der A4 für die perspektivische Nutzung als Unterbecken eines PSW jedoch die regionalplanerischen Ziele des Braunkohlenplans Hambach: Abbau von Bodenschätzen und Folgenutzung als Oberflächengewässer.

Bereich „Meroder Wald - Restsee Inden“ im GEP-Planteil

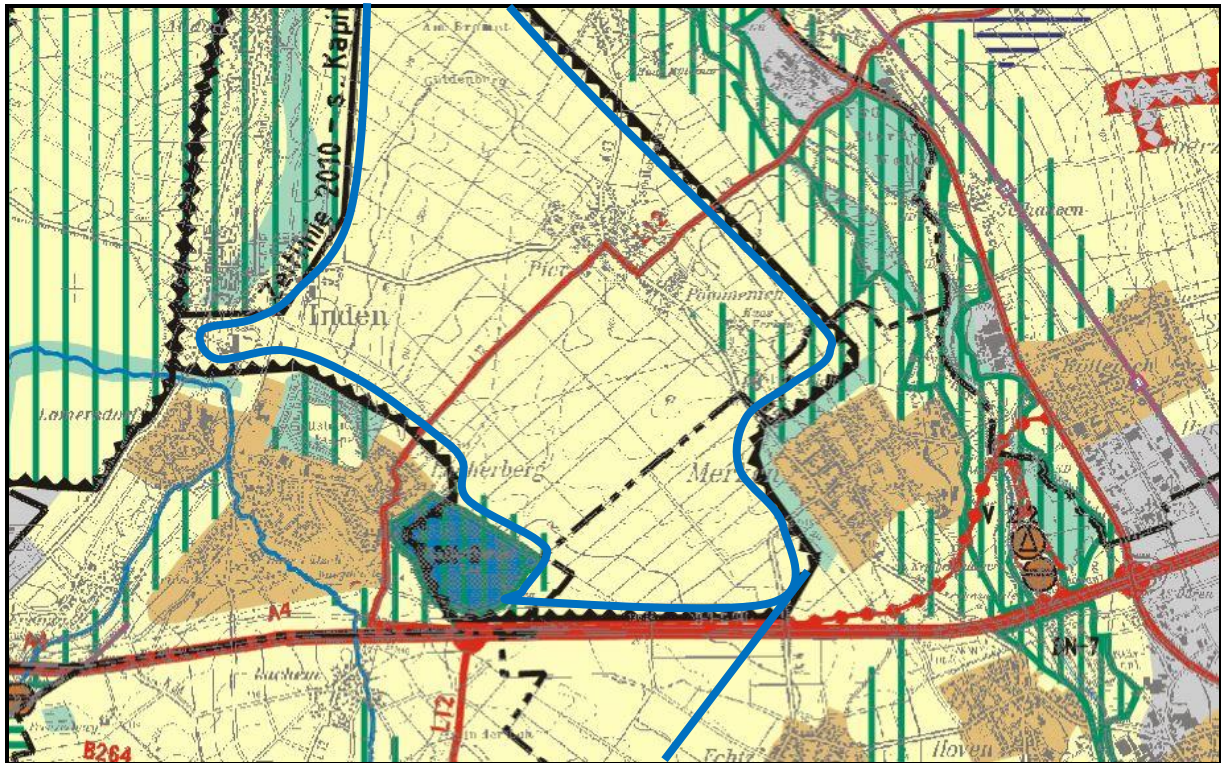


Abbildung 44: Festlegungen des Regionalplans, Region Aachen im Planteil (Gebietsentwicklungsplan) für den Bereich PSW-Standorts „Meroder Wald - Restsee Inden“ (Nordteil), schematische Eintragung der geplanten PSW-Bestandteile durch den Verfasser dieser Unterlage = blaue Linien

Der Nordteil des geplanten PSW (Unterbecken) ist im GEP als Freiraumbereich für die zweckgebundene Nutzung „Abbau von Bodenschätzen“ dargestellt (schwarze Dreieckslinie).

Der überwiegende Teil des Unterbeckens ist im GEP als allgemeiner Freiraum und Agrarbereich dargestellt (flächig hellgelb). Ganz im Südwesten des Unterbeckens, am südöstlichen Ortsrand von Lucherberg ist der bereits heute vorhandene Lucherberger See dargestellt als Freiraum, Oberflächengewässer (flächig blau) sowie als Fläche mit der Freiraumfunktion „Schutz der Landschaft und landschaftsgebundene Erholung“ (weite, grüne Senkrechtschraffur). „Schutz der Landschaft und landschaftsgebundene Erholung“ ist auch nördlich von Merzenich dargestellt. Das Gebiet des Unterbeckens wird von einer Straße regionaler Bedeutung gequert (rote Linie)

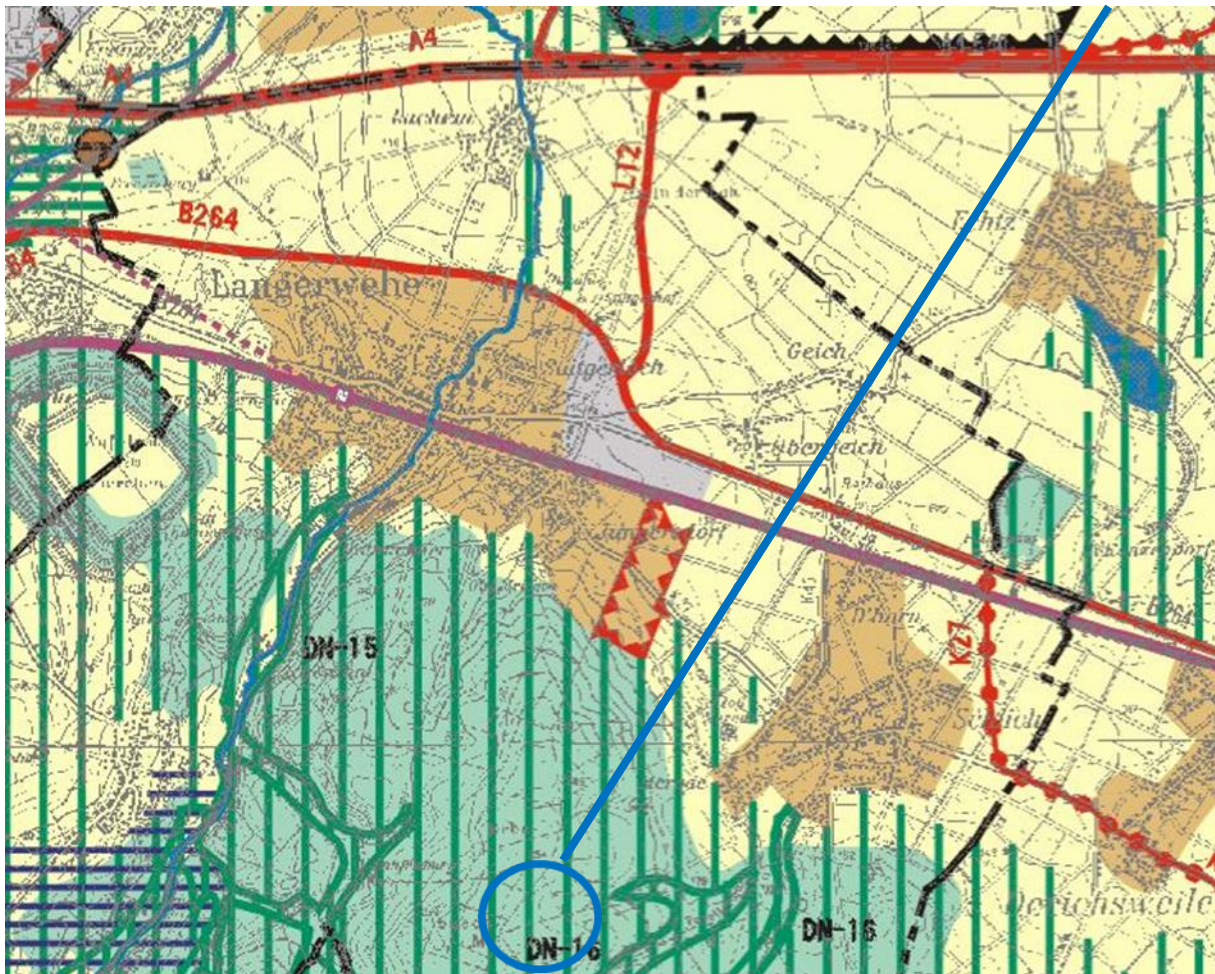


Abbildung 45: Festlegungen des Regionalplans, Region Aachen im Planteil (Gebietsentwicklungsplan) für den Bereich PSW-Standorts „Meroder Wald - Restsee Inden“ (Südteil), schematische Eintragung der geplanten PSW-Bestandteile durch den Verfasser dieser Unterlage = blaue Linien

Der Südteil des geplanten PSW (Unterbecken und Triebwasserweg) ist im GEP dargestellt als Freiräume, Wald (flächig grün) sowie allgemeine Freiräume und Agrarbereiche (flächig hellgelb). Die Waldbereiche und die Ortsränder von Langerwehe und Schlich sind außerdem dargestellt als Flächen mit der Freiraumfunktion „Schutz der Landschaft und landschaftsgebundene Erholung“ (weite, grüne Senkrechtschraffur).

Zusammengefasst überschneiden sich die Bereiche der beiden PSW-Standorte mit den jeweiligen Teilbereichen Oberbecken, Unterbecken und verbindende Triebwasserleitung im Planteil des GEP mit folgenden Freiraumformen:

- a. Allgemeine Freiraum- und Agrarbereiche,
- b. Waldbereiche,
- c. Oberflächengewässer,
- d. Bereiche für den Schutz der Natur (in Überlagerung mit den Punkten a. bis c.),

- e. Bereiche für den Schutz der Landschaft und landschaftsgebundene Erholung (in Überlagerung mit den Punkten a. bis c.).
- f. Abbau von Bodenschätzen (zweckgebundene Nutzung).

Regionale Grünzüge, die potenziell auch Bedeutung für Schutzziele von Natur und Landschaft haben können, sind im Bereich der geplanten PSW-Standorte nicht ausgewiesen. Deshalb wird im Folgenden auf die Wiedergabe der Ziele aus dem Textteil des GEP für Regionale Grünzüge verzichtet.

Maßgeblich für die Beurteilung der Vorhaben hinsichtlich der möglichen Betroffenheit naturschutzfachlicher Belange sind die voraussichtlichen Wirkungen auf die Ziele der Bereiche, die im GEP für den Schutz der Natur (d.) sowie für den Schutz der Landschaft und landschaftsgebundene Erholung (e.) ausgewiesen sind. Diese werden im Folgenden näher betrachtet.

GEP-Textteil

Die **Bereiche für den Schutz der Natur** umfassen laut Textteil des GEP, Region Aachen:

„- Allgemeine Freiraum- und Agrarbereiche, Waldbereiche und Oberflächengewässer, in denen die natürlichen Gegebenheiten durch besondere Maßnahmen gesichert oder entwickelt werden sollen (insbesondere Schutz, Pflege und Entwicklung wertvoller Biotope; Aufbau eines landesweiten Biotopverbundes),

- regionalplanerische Konkretisierung der Feuchtgebiete von internationaler Bedeutung gemäß LEP,
- festgesetzte Naturschutzgebiete und Freiraumbereiche, die künftig in ihren wesentlichen Teilen entsprechend geschützt werden sollen.“

„Die dargestellten Bereiche zum Schutz der Natur beinhalten in der Regel unter Naturschutzaspekten bedeutende Tier- und Pflanzenarten bzw. deren Gesellschaften, landschaftstypische ökologisch wertvolle Biotope mit Pufferzonen und/oder für die Biotopentwicklung und zur Vernetzung (Biotopverbund) erforderliche Ergänzungsflächen.“

Für Bereiche für den Schutz der Natur sind im Textteil des GEP, Region Aachen folgende **Ziele** definiert:

„Ziel 1

Die Bereiche für den Schutz der Natur (BSN) umfassen insbesondere naturschutzwürdige Bereichsteile sowie Suchräume für die Biotopentwicklung und -vernetzung. In den BSN sind

- besonders schutzwürdige, landschaftstypische und seltene Lebensräume (Biotope) mit ihren charakteristischen Pflanzen- und Tierarten und deren Lebensgemeinschaften zu erhalten und zu entwickeln,
- Flächen mit ökologisch besonders wertvollen Standortpotenzialen zur Ergänzung der besonders schutzwürdigen Lebensräume und zur dauerhaften Erhaltung der heimischen Pflanzen- und Tierarten einschließlich ihrer Lebensgemeinschaften zu entwickeln und soweit möglich miteinander zu verbinden,
- geologisch/bodenkundlich und denkmalpflegerisch bedeutsame Flächen und Objekte zu sichern und zu pflegen.

Bei der Umsetzung in der Fachplanung muss diese den konkreten lokalen Bedingungen – insbesondere gegenüber land- und forstwirtschaftlichen Betrieben – Rechnung tragen. Die Träger der Fachplanung sollen aus den fachplanerischen Instrumenten die notwendigen Festsetzungen und Entwick-

lungsziele auswählen und deren Abgrenzung bestimmen. Die von den Naturschutzzielen nicht betroffenen Flächen sind in der nachfolgenden Fachplanung von entsprechenden Festsetzungen auszuklammern.

Ziel 2

In den Allgemeinen Freiraum- und Agrarbereichen sowie in den Waldbereichen, die durch Bereiche für den Schutz der Natur überlagert sind, sind die Ziele für BSN vorrangig. Wenn BSN Bereiche mit Zweckbindung für militärische Nutzung überlagern, gelten die Naturschutzziele dieses Planes nur insoweit, als die militärische Nutzung in diesen Bereichen hierdurch nicht beeinträchtigt wird.

Ziel 3

Die Umsetzung der Ziele für BSN soll entsprechend den fachgesetzlichen Vorschriften erfolgen; ergänzend soll die auf Vertragsbasis gestützte Kooperation zwischen der Land- und Forstwirtschaft und dem Naturschutz zur Anwendung kommen. Die... von Naturschutzzielen nicht betroffenen Flächen sind in der nachfolgenden Fachplanung von entsprechenden Festsetzungen auszuklammern. Das Vertragsprinzip soll insbesondere bei der Entwicklung und Vernetzung von Biotopen zur Anwendung kommen.

Ziel 4

Die für die zeichnerisch dargestellten BSN formulierten Ziele gelten ebenfalls für die landschaftstypischen Heckenstrukturen in den Gemeinden Roetgen und Simmerath sowie in der Stadt Monschau, auch wenn die Hecken innerhalb der Siedlungsbereiche bzw. der Ortslagen liegen.“

Die **Bereiche für den Schutz der Landschaft und landschaftsorientierte Erholung (BSLE)** umfassen laut Textteil des GEP, Region Aachen (Auszüge):

„- Allgemeine Freiraum- und Agrarbereiche, Waldbereiche und Oberflächengewässer,

- in denen wesentliche Landschaftsstrukturen und deren landschaftstypische Ausstattung mit natürlichen Landschaftsbestandteilen gesichert oder zielgerecht entwickelt werden sollen,

- die hinsichtlich der Vielfalt, Eigenart und Schönheit des Landschaftsbildes und anderer Bedingungen für die landschaftsgebundene Erholung gesichert oder zielgerecht entwickelt werden sollen,

- festgesetzte Landschaftsschutzgebiete und Freiraumbereiche, die künftig in ihren wesentlichen Teilen entsprechend geschützt werden sollen.“

„Zur Umsetzung des LEP-Zieles... werden in die BSLE auch Landschaftsteile einbezogen, die an natürlichen Landschaftselementen verarmt oder in ihrer Landschaftsstruktur oder ihrem Landschaftsbild geschädigt sind und daher wiederhergestellt bzw. saniert werden sollen (z. B... Braunkohlenabbauflächen).“

„Soweit die im LEP Nordrhein-Westfalen zeichnerisch dargestellten Gebiete für den Schutz der Natur im GEP nicht durch die Darstellung von BSN umgesetzt sind, führen sie in der Regel zu Darstellungen von BSLE.“

„Angesichts der Belastung der natürlichen Umwelt wird davon ausgegangen, dass es gerechtfertigt und notwendig ist, alle z.Z. nach der Landschaftsbewertung wertvollen bzw. für die genannten Funktionen geeigneten Teile des Freiraumes zu sichern. Die Abgrenzung der BSLE erfolgte entsprechend der Bewertung der Schutzwürdigkeit bzw. der Schutzbedürftigkeit nach folgenden Kriterien:

- besondere Bedeutung für die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes,
- charakteristisches, vielfältig strukturiertes oder als harmonisch empfundenes Landschaftsbild,
- prägende Landschaftsstrukturen und deren landschaftstypische Ausstattung mit natürlichen Landschaftsbestandteilen,
- besondere Bedeutung hinsichtlich Umweltschutzfunktionen,
- besondere Bedeutung für die nachhaltige Nutzungsfähigkeit der Naturgüter.“

„Ein weiterer Bedarf zur Darstellung von BSLE ergibt sich aus Umfang und Schwere der – meist durch Eingriffe des Menschen verursachten – Landschaftsschäden und der Notwendigkeit und Möglichkeit der Biotopvernetzung sowie einer generellen ökologischen Aufwertung der Landschaft. Die Abgrenzung der Bereiche unter Pflege- und Sanierungsaspekten erfolgte nach den Kriterien

- besonders gravierende Landschaftsschäden,
- besonders weitgehende ökologische Verarmung der freien Landschaft,
- besonders auffällige Störungen bzw. Mängel im Landschaftsbild.“

„Mit den BSLE werden unter dem Aspekt Freizeit und Erholung diejenigen Teile des Freiraumes erfasst, die speziell für die landschaftsorientierte Erholung, Sport- und Freizeitnutzung erhalten oder entwickelt werden sollen. Die Abgrenzung der Bereiche unter Erholungsaspekten erfolgte nach den Kriterien

- besondere Eignung,
- Nachfrage Ortsansässiger aus den angrenzenden Siedlungsräumen,
- Nachfrage von Gebietsfremden im Rahmen von Wochenend- und Ferienerholung bzw. Fremdenverkehr,
- Eignung aufgrund des Landschaftsbildes und kulturlandschaftlicher Besonderheiten,
- Entwicklungspotenzial der Landschaft und des Landschaftsbildes,
- Empfindlichkeit der Landschaft.“

Für Bereiche für den Schutz der Landschaft und landschaftsorientierte Erholung sind im Textteil des GEP, Region Aachen folgende **Ziele** definiert:

„Ziel 1

In den Bereichen für den Schutz der Landschaft und landschaftsorientierte Erholung (BSLE) sind die Bodennutzungen und ihre Verteilung auf eine nachhaltige Erhaltung und Wiederherstellung der natürlichen Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes sowie der Erholungseignung auszurichten. Im Einzelnen haben die BSLE der Sicherung bzw. Wiederherstellung oder Entwicklung

- des wesentlichen Charakters der Landschaft, typischer Landschaftsstrukturen und Landschaftsbestandteile einschließlich der Bodendenkmale, denkmalwerter Gehöfte und Weiler sowie charakteristischer Nutzungsformen,
- landschaftstypischer Lebensräume und Aufbau eines Biotopverbundsystems,
- der natürlichen Bodenfruchtbarkeit, des Erosions- und Deflationsschutzes sowie der natürlichen Vielfalt an unterschiedlichen Böden als Standortvoraussetzungen für Flora und Fauna und als Lebensgrundlage des Menschen,

- des natürlichen Wasserdargebots, der Grundwasserneubildung und Reinhaltung des Grundwassers,
 - naturnaher Gewässer und von Retentionsräumen,
 - des geländeklimatischen Ausgleichsvermögens,
 - der Immissionsschutzfunktion,
 - des Landschaftsbildes,
 - der landschaftsgebundenen Erholung, Sport- und Freizeitnutzung und Eingliederung der Siedlungen (Ortsrandgestaltung) in die freie Landschaft,
- zu dienen.

Ziel 2

Die BSLE haben auch der funktionalen Einbindung der Bereiche für den Schutz der Natur zu dienen.

Ziel 3

In den BSLE ist im Rahmen der dargestellten Grundnutzung und der Zielsetzungen für Sicherung, Pflege, Entwicklung und Wiederherstellung der Landschaft die Zugänglichkeit der Landschaft für Erholungssuchende zu sichern. Soweit im Einzelfall Nutzungsansprüche der Erholung mit den Belangen des Schutzes der Landschaft konkurrieren, sind die letzteren... vorrangig. Vermeidbare Beeinträchtigungen durch Zerschneidung zusammenhängender Erholungsräume sind auszuschließen.

Ziel 4

Wenn sich BSLE mit Zweckbindungen im Freiraum überlagern, gelten die Ziele für BSLE nur insoweit, als dadurch die zweckgebundene Nutzung nicht beeinträchtigt wird...“

13.2.3 Schutzgebiete nach Naturschutzrecht

Folgende maßgebliche Schutzgebiete nach Naturschutzrecht sind im Bereich der untersuchten PSW-Varianten „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ und „Meroder Wald - Restsee Inden“ bzw. ihrem näheren oder weiteren Umfeld vorhanden:

- FFH-Gebiete,
- Vogelschutzgebiete,
- Naturschutzgebiete (NSG),
- Landschaftsschutzgebiete (LSG),
- Naturparke.

FFH- und Vogelschutzgebiete sowie NSG sind im GEP Bestandteil der Bereiche für den Schutz der Landschaft. LSG und Naturparke sind im GEP als Bereiche für Schutz der Landschaft und die landschaftsgebundene Erholung definiert.

Für FFH- und Vogelschutzgebiete gilt ein Umgebungsschutz, demzufolge erhebliche Beeinträchtigungen auszuschließen sind, die von außen auf die Schutzziele im Gebiet einwirken können. Bei LSG und Naturparks können Wirkungen auf die Schutzzwecke bei Vorhaben im Gebiet selbst eintreten oder beim Schutzaspekt des Landschaftsbildes auch bei außerhalb des Gebietes liegenden Vorhaben mit höherer Fernwirkung in die Gebiete hineinwirken. Aus diesen Gründen werden die maßgeblichen Schutzgebiete nach Naturschutzrecht nochmals gesondert in ihrem räumlichen Bezug zu den beiden Vorhaben betrachtet.

Das **FFH-Gebiet** „Dickbusch, Lörsfelder Busch, Steinheide“ (Gebietsnummer 5105-301) befindet sich unmittelbar südwestlich des Abbaubereichs bzw. des nachfolgenden Restsees des Hambacher Tagebaus, der als Unterbecken genutzt werden soll. Ca. 1,4 km westlich des geplanten Oberbeckenstandortes liegen die Schutzgebietsgrenzen des zweiteiligen FFH-Gebietes „Lindenberger Wald“ (Gebietsnummer (5004-301).

Im Umfeld des PSW-Standortes „Meroder Wald - Restsee Inden“ befindet sich ein Teilbereich des FFH-Gebietes „Rur von Obermaubach bis Linnich“ (Gebietsnummer 5104-302) ca. 1 km östlich des Tagebaurestsees mit geplanter Nachnutzung als Unterbecken. Und ca. 5 km südlich des geplanten Oberbeckens im Meroder Wald liegt das FFH-Gebiet „Wehebachtäler und Leyberg“ (Gebietsnummer 5203-301).

Das nächstliegende **Vogelschutzgebiet** „Drover Heide“ (Gebietsnummer 5205-401) befindet sich ca. 11,5 km südöstlich des geplanten Oberbeckenstandorts „Meroder Wald“.

Das **NSG** „Bürgewald Steinheide“ überschneidet sich mit dem Südwestteil des Abbaubereichs bzw. des nachfolgenden Restsee des Hambacher Tagebaus, der als Unterbecken genutzt werden soll. Das NSG „Hambacher Forst“ liegt vollflächig im Bereich des geplanten Unterbeckens. Ca. 1,4 km westlich des geplanten Oberbeckenstandortes liegen die Schutzgebietsgrenzen des zweiteiligen NSG „Lindenberger Wald“.

Im Umfeld des PSW-Standortes „Meroder Wald - Restsee Inden“ befindet sich das NSG „Pierer Wald“ ca. 1 km östlich des Tagebaurestsees mit geplanter Nachnutzung als Unterbecken. Westlich des geplanten Oberbeckenstandorts liegt in ca. 350 m Entfernung das NSG „Teilflächen und Gewässerstrukturen im Meroder und Laufenburger Wald“. Im Osten sind weitere Teilbereiche dieses NSG nur ca. 100 m entfernt.

Teile des geplanten Unterbeckens „Restsee Hambach“ liegen im **LSG** „Hambacher Forst“. Der Standort des geplanten Oberbeckens liegt mit der nördlichen Hälfte im LSG „Im nördlichen Teil des Kreises Düren“.

Das geplante Unterbecken des „Restsee Inden“ überschneidet sich im Südosten des künftigen Tagebaurestsees mit dem LSG „Rurtal südlich der Autobahn A 44“. Nordwestlich und nördlich des geplanten Unterbeckens liegen die LSG „Im nördlichen Teil des Kreises Düren“ (300 m Entfernung), „Lohberg-Kahlenberg und Seitentälchen“ (1.400 m Entfernung) und „Fuchstal-Indetal“ (400 m Entfernung). Das geplante Oberbecken des „Meroder Wald“ befindet sich vollflächig im LSG „Im südlichen Teil des Kreises Düren“

Teile des geplanten Unterbeckens „Restsee Hambach“ liegen im **Naturpark** „Rheinland“. Das geplante Oberbecken „Meroder Wald“ befindet sich vollflächig im Naturpark „Hohes Venn-Eifel (Nordeifel)“.

13.3 Bewertung

13.3.1 Landesplanung

Im Folgenden werden die Ziele und Grundsätze des LEP Nordrhein-Westfalen aus Kapitel 0 einer möglichen Betroffenheit durch die Errichtung der PSW an den Standorten „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ und „Meroder Wald - Restsee Inden“ gegenübergestellt.

LEP NRW (Ziele und Grundsätze des Textteils)	Variante 2.4: „Sophienhöhe - Restsee Hambach“	Variante 3.4c: „Meroder Wald - Restsee Inden“
<u>7.1-1 Grundsatz Freiraumschutz</u>	bei weiterer Planung zu berücksichtigen	bei weiterer Planung zu berücksichtigen
<u>7.1-2 Ziel Freiraumsicherung in der Regionalplanung</u>	Planung PSW nicht berührt	Planung PSW nicht berührt
<u>7.1-3 Grundsatz Unzerschnittene verkehrsarme Räume</u>	Planung PSW nicht berührt	Planung PSW nicht berührt
<u>7.1-4 Grundsatz Bodenschutz</u>	bei weiterer Planung zu berücksichtigen	bei weiterer Planung zu berücksichtigen
<u>7.1-5 Ziel Grünzüge</u>	Planung PSW nicht berührt	Planung PSW nicht berührt
<u>7.1-6 Grundsatz Ökologische Aufwertung des Freiraums</u>	bei weiterer Planung zu berücksichtigen	bei weiterer Planung zu berücksichtigen
<u>7.1-7 Grundsatz Nutzung von militärischen Konversionsflächen</u>	Planung PSW nicht berührt	Planung PSW nicht berührt
<u>7.1-8 Grundsatz Landschaftsorientierte und naturverträgliche Erholungs-, Sport- und Freizeitnutzungen</u>	Oberbeckenstandort besitzt aktuell besondere Eignung und Ausstattung für die landschaftsorientierte Erholung. Grundsatz bei weiterer Planung besonders zu berücksichtigen.	bei weiterer Planung zu berücksichtigen
<u>7.2-1 Ziel Landesweiter Biotopverbund</u>	bei weiterer Planung zwingend zu beachten	bei weiterer Planung zwingend zu beachten
<u>7.2-5 Grundsatz Landschaftsschutz und Landschaftspflege</u>	bei weiterer Planung zu berücksichtigen	bei weiterer Planung zu berücksichtigen

Tabelle 32: mögliche Betroffenheit von Zielen des LEP Nordrhein-Westfalen

Fazit:

Zusammenfassend sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine aus der Errichtung der PSW resultierenden Wirkungen feststellbar, die den Zielen und Grundsätzen der Landesplanung prinzipiell entgegenstehen oder die nicht durch Beachtung in den nachfolgenden Planungen bewältigt werden könnten.

13.3.2 Regional- und Braunkohlenplanung

Im Folgenden werden die Ziele des GEP aus Kapitel 13.1.2 einer möglichen Betroffenheit durch die Errichtung der PSW an den Standorten „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ und „Meroder Wald - Restsee Inden“ gegenübergestellt.

GEP (Ziele)	Variante 2.4: „Sophienhöhe - Restsee Hambach“	Variante 3.4c: „Meroder Wald - Restsee Inden“
Bereiche für den Schutz der Natur		
<u>Ziele 1 bis 4</u>	Bereiche zum Schutz der Natur durch PSW-Bestandteile nicht betroffen bzw. zwischen „Zeitlinie 2010“ und A4 im Bereich Hambacher Forst ist Braunkohlenplan Hambach maßgeblich mit Abbau von Bodenschätzen und Folgenutzung als Oberflächengewässer	Bereiche zum Schutz der Natur durch PSW-Bestandteile nicht betroffen
Bereiche für den Schutz der Landschaft und landschaftsorientierte Erholung		
<u>Ziele 1 bis 4</u>	bei weiterer Planung zwingend zu beachten	bei weiterer Planung zwingend zu beachten

Tabelle 33: mögliche Betroffenheit von Zielen des GEP

Fazit:

Zusammenfassend sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine aus der Errichtung der PSW resultierenden Wirkungen feststellbar, die den Zielen der Regional- und Braunkohlenplanung prinzipiell entgegenstehen oder die nicht durch Beachtung in den nachfolgenden Planungen bewältigt werden könnten.

13.3.3 Schutzgebiete nach Naturschutzrecht

Generell sind die jeweiligen Ziele der naturschutzrechtlichen Schutzgebiete bei den weiteren Planungen der PSW zu berücksichtigen.

Es folgen Kommentierungen zu den geplanten PSW-Standorten „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ und „Meroder Wald - Restsee Inden“ in ihrem räumlichen Bezug zu den Schutzgebieten nach Naturschutzrecht aus Kapitel 13.1.3.

Schutzgebiet am Standort „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ (Entfernung PSW – Schutzgebiet)	Kommentar
FFH-Gebiet „Dickbusch, Lörsefelder Busch, Steinheide“ (0 km)	Prüfung der Vorhabenswirkungen auf die Erhaltungsziele in Verträglichkeitsvorprüfung und ggf. Verträglichkeitsprüfung im Rahmen der Genehmigungsverfahren
FFH-Gebiet „Lindenberger Wald“ (1,4 km)	s. o.
NSG „Bürgewald Steinheide“ (Überschneidung)	Eingriff in das NSG erfolgt voraussichtlich bereits vor PSW-Nutzung in Umsetzung des Braunkohlenplans im Rahmen des

	Abbaus von Bodenschätzen
NSG „Hambacher Forst“ (Überschneidung)	s. o.
NSG „Lindenberger Wald“ (1,4 km)	ggf. Prüfung der Auswirkungen auf die Schutzgebietsziele im Rahmen der Genehmigungsverfahren
LSG „Hambacher Forst“ (Überschneidung)	Prüfung der Auswirkungen auf die Schutzgebietsziele im Rahmen der Genehmigungsverfahren
LSG „Im nördlichen Teil des Kreises Düren“ (Überschneidung)	besondere Beachtung der Schutzgebietsziele bei der weiteren Planung, Prüfung der Auswirkungen auf die Schutzgebietsziele im Rahmen der Genehmigungsverfahren
Naturpark „Rheinland“ (Überschneidung)	s. o.

Tabelle 34: Kommentar zum geplanten PSW-Standort „Sophienhöhe - Restsee Hambach“ in seinem räumlichen Bezug zu den Schutzgebieten nach Naturschutzrecht

Schutzgebiet am Standort „Meroder Wald - Restsee Inden“ (Entfernung PSW – Schutzgebiet)	Kommentar
FFH-Gebiet „Rur von Obermaubach bis Linnich“ (1 km)	Prüfung der Vorhabenswirkungen auf die Erhaltungsziele in Verträglichkeitsvorprüfung und ggf. Verträglichkeitsprüfung im Rahmen der Genehmigungsverfahren
FFH-Gebiet „Wehebachtäler und Leyberg“ (5 km)	Beeinträchtigungen auszuschließen aufgrund der Entfernung und keiner erkennbaren Wirkpfade
Vogelschutzgebiet „Drover Heide“ (11,5 km)	s. o.
NSG „Pierer Wald“ (1 km)	ggf. Prüfung der Auswirkungen auf die Schutzgebietsziele im Rahmen der Genehmigungsverfahren
NSG „Teilflächen und Gewässerstrukturen im Meroder und Laufenburger Wald“ (350 bzw. 100 m)	Prüfung, ob sich die Abstände im Rahmen der weiteren Planung vergrößern lassen; Prüfung der Auswirkungen auf die Schutzgebietsziele im Rahmen der Genehmigungsverfahren
LSG „Rurtal südlich der Autobahn A 44“ (Überschneidung)	besondere Beachtung der Schutzgebietsziele bei der weiteren Planung, Prüfung der Auswirkungen auf die Schutzgebietsziele im Rahmen der Genehmigungsverfahren
LSG „Im nördlichen Teil des Kreises Düren“ (300 m), „Lohberg-Kahlenberg und Seitentälchen“ (1.400 m) und „Fuchstal-Indetal“ (400 m)	Prüfung der Auswirkungen auf die Schutzgebietsziele im Rahmen der Genehmigungsverfahren

Schutzgebiet am Standort „Meroder Wald - Restsee Inden“ (Entfernung PSW – Schutzgebiet)	Kommentar
LSG „Im südlichen Teil des Kreises Düren“ (Überschneidung)	besondere Beachtung der Schutzgebietsziele bei der weiteren Planung, Prüfung der Auswirkungen auf die Schutzgebietsziele im Rahmen der Genehmigungsverfahren
Naturpark „Hohes Venn-Eifel (Nordeifel)“ (Überschneidung)	s. o.

Tabelle 35: Kommentar zum geplanten PSW-Standort „Meroder Wald - Restsee Inden“ in seinem räumlichen Bezug zu den Schutzgebieten nach Naturschutzrecht

Fazit:

Die Prüfung der Vorhabenswirkungen auf die Schutz- und Erhaltungsziele der Schutzgebiete nach Naturschutzrecht ist zum jetzigen Planungsstand nicht möglich. Sie muss Gegenstand weiterer Planungsbeiträge in nachfolgenden Genehmigungsverfahren sein.

13.4 Ausblick auf Fortführung der Planungen

Es ist davon auszugehen, dass die Planungen für PSW die räumliche Entwicklung und Funktion des Gebietes beeinflussen. Damit ist für die Entscheidung über die Zulässigkeit der Vorhaben nach § 3 i. V. m. § 15 Raumordnungsgesetz ein Raumordnungsverfahren erforderlich, dass von der zuständigen Landesbehörde geführt wird. Im Raumordnungsverfahren sind die raumbedeutsamen Auswirkungen der Planungen unter überörtlichen Gesichtspunkten zu prüfen; insbesondere werden die Übereinstimmung mit den Erfordernissen der Raumordnung und die Abstimmung mit anderen raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen geprüft. Nach dem Raumordnungsverfahren ist ein Planfeststellungsverfahren zu absolvieren.

Für die Verfahrensunterlagen sind verschiedene Planungsbeiträge nach Umwelt- und Naturschutzrecht erforderlich. Zu Art, Zeitpunkt, Umfang und Detaillierungsgrad dieser Unterlagen sind Abstimmungen mit den zuständigen Behörden vorgeschrieben bzw. zu empfehlen. Folgende Planungsbeiträge nach Naturschutzrecht sind voraussichtlich zu erstellen:

- Umweltverträglichkeitsprüfung,
- Landschaftspflegerischer Begleitplan,
- Fachbeitrag Artenschutz,
- FFH-Verträglichkeitsprüfung.

Generell ist bei der weiteren Planung das naturschutzrechtliche Gebot zur vorrangigen Eingriffsvermeidung und -minimierung vor Ausgleich und Ersatz zu beachten (Eingriffsregelung §§ 14 ff BNatSchG). Zur Zulässigkeit von Vorhaben im Bereich von FFH- und Vogelschutzgebieten sind die §§ 31 ff des BNatSchG maßgeblich. Vorgaben zum Artenschutz sind nach § 39 BNatSchG zu beachten.

Bei Fortsetzung der Planungen sollte für die Vorhaben zur Errichtung von PSW eine Aufnahme in den Regionalplan Köln im Rahmen der Planfortschreibung angestrebt werden.

14 Vergleich der PSW-Varianten

Im Folgenden werden die beiden im Tagebaugelände untersuchten PSW-Varianten einander gegenübergestellt und anschließend mit anderen PSW-Projekten in Deutschland verglichen.

14.1 Gegenüberstellung der Varianten 2.4 und 3.4c

In der folgenden Tabelle sind die wesentlichen Erkenntnisse aus der Konzeptionierung der beiden PSW-Varianten 2.4 und 3.4 c zusammengestellt und einander gegenübergestellt.

Die Bewertungseinheiten (+), (-) und (+/-) beziehen sich auf in anderen PSW-Projekten vorgefundenen durchschnittlichen Bedingungen und sind nur als grobe Orientierung zu betrachten.

- (+) günstiger als bei vergleichbaren PSW-Projekten
- (+/-) ähnlich wie in vergleichbaren PSW-Projekten
- (-) ungünstiger als bei vergleichbaren PSW-Projekten

Bewertungsgegenstand	Variante 2.4 Sophienhöhe – Restsee Hambach	Variante 3.4c Meroder Wald – Restsee Inden
Bautechnik, Geotechnik		
Oberbecken	Schwierige geotechnische Bedingungen (Halde), kein Massenausgleich möglich (-)	Normale geotechnische Bedingungen; Massenausgleich möglich (+/-)
Oberwasserdruckstollen	Schwierige geotechnische Bedingungen im oberen Teil (Halde) (-)	Normale geotechnische Bedingungen (+/-)
Kavernenkraftwerk	Schwierige geotechnische Bedingungen durch großen Ausbruchsquerschnitt im Lockergestein; keine Gewölbebildung (-)	Mittelschwere geotechnische Bedingungen durch großen Ausbruchsquerschnitt im Festgestein (+/-)
Unterswasserstollen	Normale geotechnische Bedingungen im Untertagebereich, (+/-) schwierige geotechnische Bedingungen im Kippenbereich	Normale geotechnische Bedingungen (+/-) Sehr große Länge des Stollens (--)

	(-)	
Auslaufbauwerk	Schwierige geotechnische Bedingungen (Gründung auf Kippenmaterial) (-)	Normale bis schwierige geotechnische Bedingungen (Gründung Hauptbauwerk in gewachsenem Boden; Auslaufboden im Bereich der Böschungsanschüttung) (+/-)
Unterbecken	Stabilisierung der Böschungen im Bereich Auslaufbauwerk notwendig (+/-)	Stabilisierung der Böschungen im Bereich Auslaufbauwerk notwendig (+/-)
Grundwassersituation	Bau kann bei abgesenktem Grundwasser erfolgen (+)	Bau erfolgt im Grundwasser (+/-)
Stromanbindung	Anbindungsmöglichkeit an Umspannanlage Oberzier (+/-)	Anbindungsmöglichkeit an Umspannanlage Langerwehe (ggf. Ausbau notwendig) (+/-)
Naturschutz	PSW kein Gegensatz zu Landes- und Regionalplanung;; Auswirkungen auf Schutzgebiete müssen in Detailplanungen geprüft werden (+/-)	PSW kein Gegensatz zu Landes- und Regionalplanung;; Auswirkungen auf Schutzgebiete müssen in Detailplanungen geprüft werden (+/-)
Freizeitnutzung	Einschränkung der Sophienhöhe als Ort für Freizeitnutzung (-)	Einschränkung des Meroder Waldes als Ort für Freizeitnutzung (-)
Kosten	Projektkosten 851 Mio. EUR Spez. Kosten „installierte Leistung“ 2.096 EUR/kW (-) Spez. Kosten „Energie je Turbinenzyklus“ 175 EUR/kWh (+)	Projektkosten 884 Mio. EUR Spez. Kosten „installierte Leistung“ 2.763 EUR/kW (--) Spez. Kosten „Energie je Turbinenzyklus“ 230 EUR/kWh (-)

Tabelle 36: Vergleich der PSW-Varianten 2.4 und 3.4c

Aufgrund der Schwierigkeit, einen Teil der PSW-Anlagenteile im Haldenbereich errichten zu müssen, stellt der Bau der PSW-Variante 2.4 hinsichtlich des geologischen und geotechnischen Risikos eine größere Herausforderung dar, als die Errichtung der PSW-Variante 3.4c. Auf der anderen Seite wird der Bau der Variante 2.4 insofern etwas erleichtert, dass die Untertagebauwerke voraussichtlich nicht im Grundwasser gebaut werden müssen, da zum Zeitpunkt des Baus der PSW-Anlage die Sumpfungmaßnahmen noch nachwirken.

Hinsichtlich der Dimensionen der Anlagenteile weist die PSW-Variante 2.4 leichte Vorteile auf, da der Unterwasserstollen weniger lang ist als in PSW-Variante 3.4c.

Hinsichtlich der Anbindungsmöglichkeiten an das Stromnetz weisen beide PSW-Varianten ähnliche Bedingungen auf, da in der Projektregion zahlreiche Stromtrassen vorhanden sind, an die angebunden werden kann. Inwieweit allerdings die aktuell bestehende Elektrizitätsinfrastruktur nach Wegfall der Kohleförderung, wie bestehende Umspannanlagen, zum Zeitpunkt des Baus der PSW-Anlagen noch vorhanden sind, muss im Zuge der weiteren Planungen evaluiert werden.

In der naturschutzfachlichen Ersteinschätzung gibt es ebenfalls keine großen Unterschiede zwischen den beiden untersuchten PSW-Varianten. Grundsätzlich stehen beide Varianten nicht im Widerspruch zur gegenwärtigen Land- und Regionalplanung. Die eventuellen Auswirkungen auf Schutzgebiete muss in den weiteren Planungsschritten untersucht werden.

Bezüglich bestehender Freizeitnutzungen haben beide PSW-Varianten in etwa ähnliche Auswirkungen. Die beiden Oberbeckenstandorte Sophienhöhe und Meroder Wald liegen in Gebieten mit erhöhter Freizeitnutzung. Die Betriebsgeländeflächen der Oberbecken würden die Freizeitnutzungen an beiden Standorten in etwa gleichermaßen einschränken.

Bei den Projektkosten ist die PSW-Variante 2.4 mit der größeren installierten Leistung günstiger als Variante 3.4c.

14.2 Vergleich mit anderen PSW-Projekten

Beim Vergleich der spezifischen Kosten je installierte Leistung (EUR/kW) mit vorhandenen bzw. in Planung befindlichen PSW-Anlagen in Deutschland liegen die beiden Varianten im hinteren Drittel, was unter anderem an den vergleichsweise langen Unterwasserstollen liegt (siehe Tabelle 37). Der relativ hohe Ansatz der Volllaststunden von 12 Stunden wirkt sich bei dieser Betrachtung ebenfalls ungünstig aus, da eine hohe Volllaststundenanzahl ein großes Wasservolumen voraussetzt, wodurch Oberbecken und Unterbecken (in unserem Fall: nur Oberbecken) größer dimensioniert werden müssen. Eine Halbierung der Volllaststundenzahl unter Beibehaltung der Ausbauleistung würde in Variante 2.4 die spezifischen Kosten von ca. 2.100 EUR/kW auf ca. 1.700 EUR/kW und in Variante 3.4c von ca. 2.760 EUR/kW auf ca. 2.400 EUR/kW reduzieren (siehe Tabelle 37; Darstellung in grün). Wenn der Restsee Hambach an der Stelle des jetzigen Tagebaulochs direkt neben der Sophienhöhe liegen würde und dadurch die Länge des Unterwasserstollen reduziert werden könnte, würden die spezifischen Kosten in Variante 2.4 ebenfalls auf ca. 1.800 EUR/kW reduziert werden können. Beide Maßnahmen (Verkürzung UW-Stollen und Halbierung Volllaststundenzahl) würden die spezifischen Kosten in etwa auf 1.600 EUR/kW herabsetzen, womit die Anlage in einem guten wirtschaftlichen Bereich liegen würde.

Aufgrund der vergleichsweise geringen erzielbaren Fallhöhen von maximal 200 m können die in einigen Projekten sehr günstigen Werte von ca. 1.200 EUR/kW nicht erreicht werden.

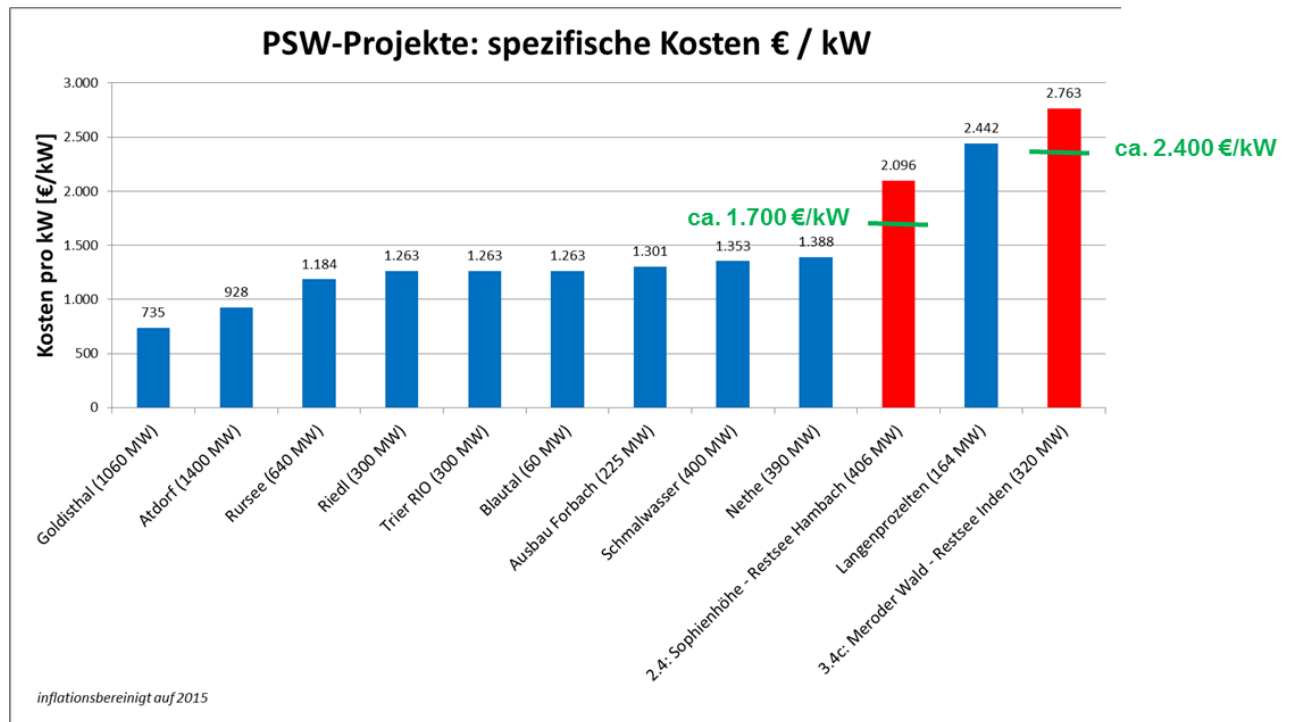


Tabelle 37: Vergleich der spezifischen Kosten EUR/kW mit anderen PSW-Projekten in Deutschland; *in grün: Spezifische Kosten für Volllaststunden = 6h (überschlägige Ermittlung)*

Bei den spezifischen Kosten „produzierte Energie je Turbinenzyklus“ sieht es bei beiden Varianten im Vergleich mit anderen Projekten etwas günstiger aus, was vor allem an der großen Volllaststundenzahl von 12 Stunden liegt.

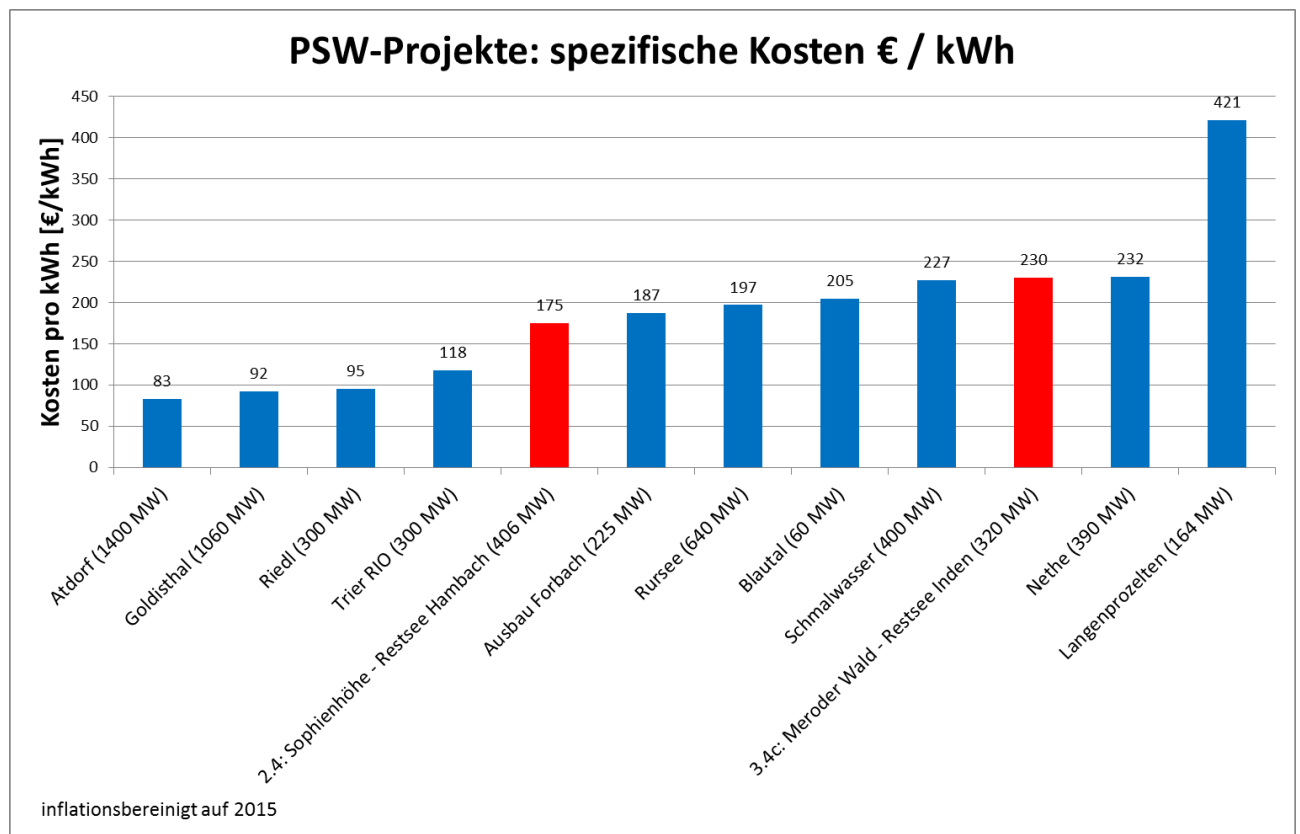


Tabelle 38: Vergleich der spezifischen Kosten EUR/kWh mit anderen PSW-Projekten in Deutschland

15 Weitere Planungsoptionen und Ausblick

Auch wenn die beiden untersuchten PSW-Varianten momentan im Vergleich zu anderen PSW – Projekten in Deutschland relativ hohe spezifische Projektkosten aufweisen, sind Ansatzpunkte erkennbar, die Wirtschaftlichkeit der Projekte bei genauerer Untersuchung zu verbessern. Deshalb sollten in weiteren Planungsstufen mögliche Anlagenoptimierungen bei den beiden Varianten untersucht werden.

Bei Variante 2.4 „Sophienhöhe – Restsee Hambach“ könnten sich neben einer rein anlagentechnischen Optimierungsplanung u.a. auf Basis von weiteren vertieften geotechnischen Untersuchungen, auch bundes- und landespolitische Entwicklungen günstig auf den weiteren Projektfortschritt auswirken. Wie in Kapitel 14.2 beschrieben, würde im Falle eines sofortigen Kohleabbaustopps der Restsee Hambach näher an der Sophienhöhe liegen, wodurch die Länge der Wasserwege und somit die Baukosten reduziert werden würden.

Bei Variante 3.4c können vor allem vertiefte geotechnische Untersuchungen zu Optimierungen bei den Anlagenbestandteilen führen.

Grundsätzlich würden sich die technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen der beiden vorgestellten PSW-Varianten ebenfalls ändern, falls vom Vorhabensträger neue Vorgaben z.B. bezüglich der gewünschten Ausbauleistung und/oder der Volllaststundenzahl definiert werden. Diese Zusammenhänge könnten auch in den nächsten Planungsschritten untersucht werden.

Im Folgenden werden einige technische Optimierungsmöglichkeiten dargestellt, die exemplarisch für die Variante 2.4 skizziert sind. Diese Optimierungsmöglichkeiten könnten zum Großteil auch auf die Variante 3.4c bezogen werden.

15.1 Optimierungsmöglichkeiten für PSW-Variante 2.4

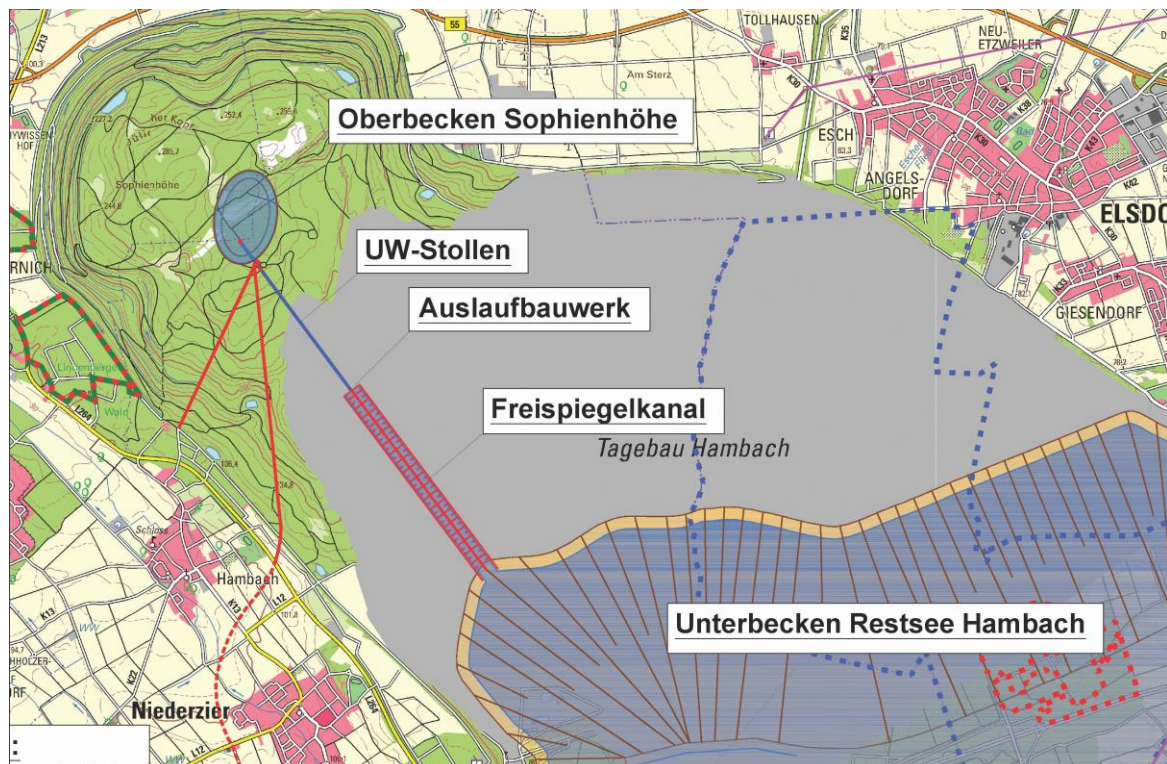
15.1.1 Alternative: Freispiegelkanal im Kippenbereich

Als Alternative zum massiven Unterwasserbetonstollen im Kippenbereich des Tagebaus Hambach könnte sich unter Umständen auch ein Freispiegelkanal anbieten. Der Kanalwasserspiegel würde dem Stauziel im Restsee Hambach entsprechen (65 mNN) und somit ca. 45 m unter der geplanten Geländeoberkante der Wiederanschüttung liegen. Eine Abböschung von der Geländeoberkante zum Kanal mit einer Neigung von beispielsweise 1:2 würde eine Böschungslänge von ca. 100 m auf jeder Seite bedeuten.

Da der Wasserstand im Kanal mit dem Seewasserspiegel und dem Grundwasser korrespondieren würde, müssen die Kanalböschungen nicht auf unterschiedliche Wasserdruckpotentiale ausgelegt werden. Lediglich im Wasserschwankungsbereich (65 bis 64 m NN) müssen die Kanalböschungen stabilisiert werden.

Deswegen kann angenommen werden, dass ein derartiger Kanal kostengünstiger sein wird, als der massive überschüttete Betonquerschnitt des Stollens in der Grundvariante.

Die Leistungswerte dieser PSW-Option wären identisch mit denen der in Kapitel 12.1 vorgestellten Grundvariante, da sich weder Fallhöhen noch Durchflusswerte ändern.



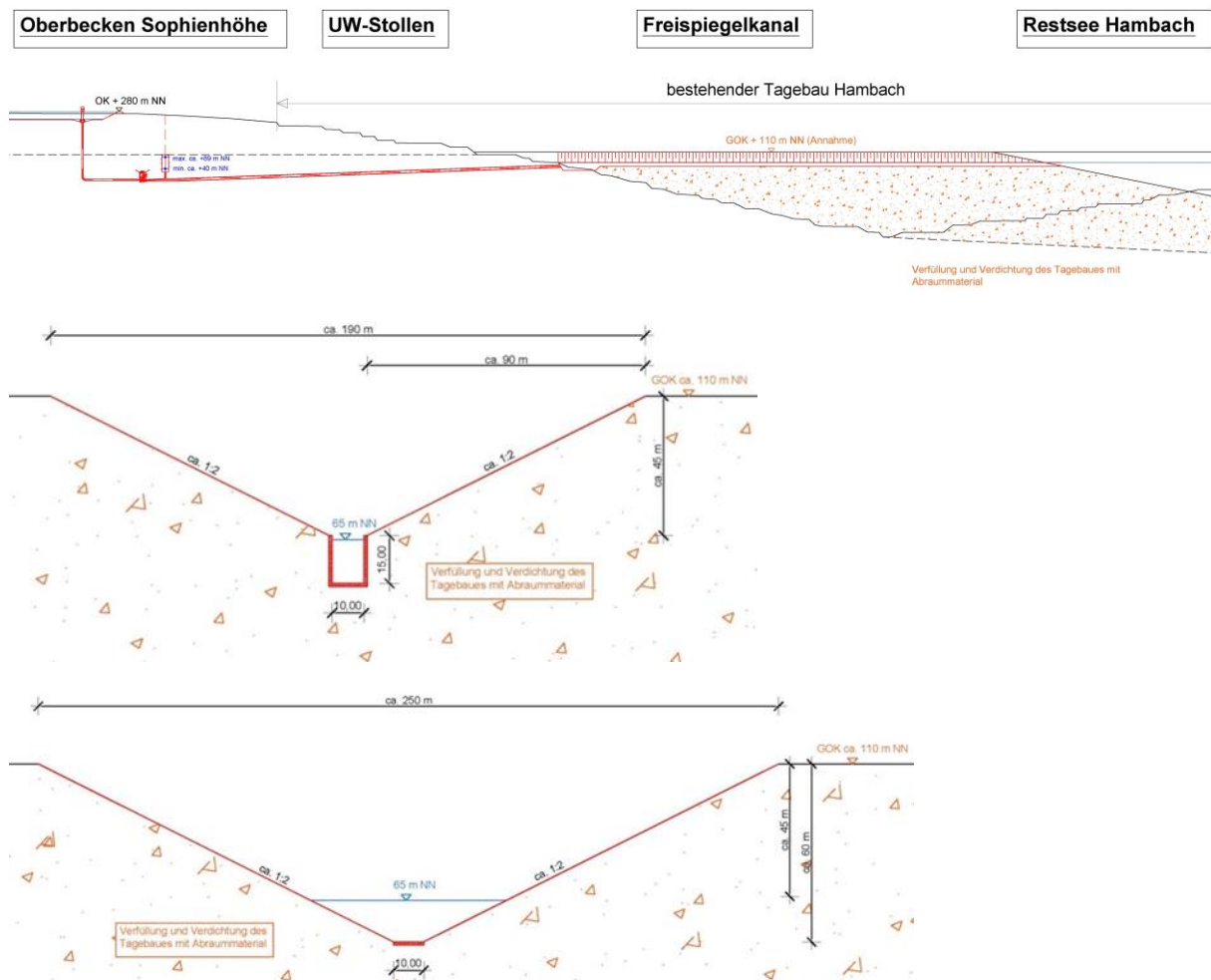


Abbildung 46: Lageplan, Längsschnitt und mögliche Querschnitte für Alternative „Freispiegelkanal“ in PSW-Variante 2.4

15.1.2 Alternative: Schachtkraftwerk

Eine weitere technische Alternative zur PSW-Variante 2.4 könnte die Konzeption eines oberirdischen Schachtkraftwerkes anstelle des unterirdischen Kavernenkraftwerkes darstellen. Aufgrund der schwierigen geotechnischen Bedingungen unter der Halde Sophienhöhe wird sich die Herstellung einer Kraftwerkskaverne mit großen Spannweiten als sehr aufwendig erweisen (siehe Kapitel 12.1). Ein Schachtkraftwerk könnte dagegen von der Oberfläche aus, z.B. am Fuß der Sophienhöhe neben dem aktuellen Tagebaugebiet in gewachsenem Boden errichtet werden.

Bei dieser Alternative würde vom Oberbecken eine Hangrohrleitung mit dem Schachtkraftwerk verbunden werden. Da aufgrund der topographischen Situation kein Wasserschloss errichtet werden kann, welches die Druckwellen in der Hangrohrleitungen abdämpfen würde, muss die Hangrohrleitung zusätzlich zum Wasser-Innendruck auf Druckschwankungen aufgrund von Durchflussänderungen (z.B. bei Turbinenschnellschluss) dimensioniert werden. Im PSW-Betrieb sind Regelvorgänge zur Limitierung von Druckschwankungen langsam durchzuführen, wodurch Einschränkungen bei der Einsatzweise des PSW entstehen könnten.

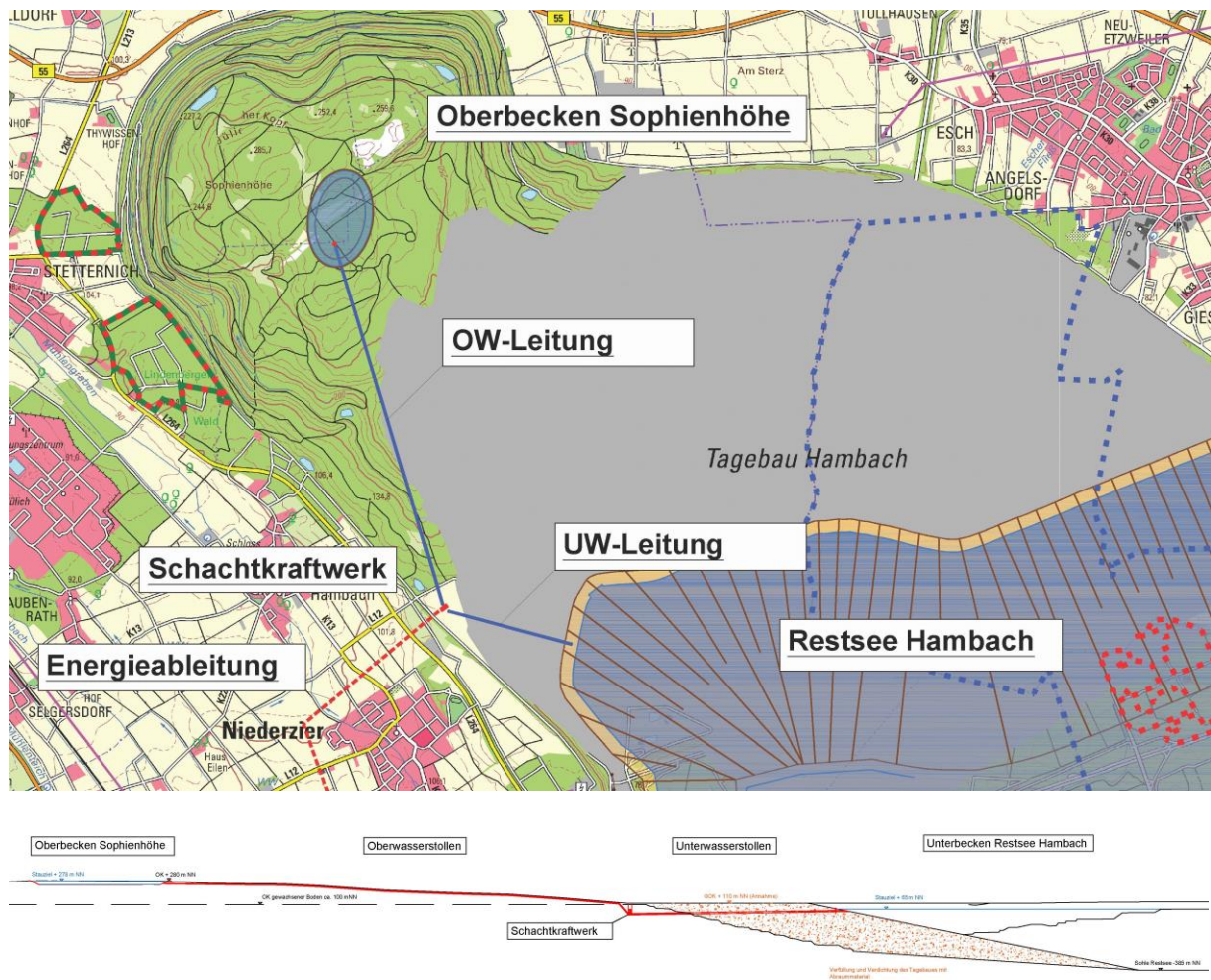


Abbildung 47: Lageplan und Längsschnitt für Alternative „Schachtkraftwerk“ in PSW-Variante 2.4

15.1.3 Auswirkungen durch vorzeitiges Ende des Kohleabbaus

Falls sich durch den Vorschlag der Kohlekommission vom Januar 2019 ein vorzeitiges Ende des Kohleabbaus im Rheinischen Tagebaurevier abzeichnet, würde dies bedeuten, dass der zukünftige Restsee im Bereich des aktuellen Tagebaulochs liegen würde. Für das PSW-Projekt hätte dies mehrere Vorteile. So z.B. könnte dadurch der UW-Stollen um die Hälfte seiner Länge verkürzt werden bzw. der in Abschnitt 15.1.1 als Alternative beschriebene Freispiegelkanal könnte wegfallen.

Bei einem Abbauende zum Jahr 2022, wie von der Kohlekommission vorgeschlagen, könnte die Füllung des Restsees Hambach etwa 20 Jahre früher beginnen als ursprünglich für das Jahr 2045 geplant (vgl. Tabelle 21, Abschnitt 11). Die Füllung des Restsees wäre unter Zugrundlegung einer Fülldauer von 45 Jahren etwa 2070 abgeschlossen.



Abbildung 48: Lageplan für PSW-Variante 2.4 mit Restsee im aktuellen Tagebauloch

15.1.4 Alternativen mit Erhöhung der Fallhöhe

Ein wesentliches Kriterium für die Wirtschaftlichkeit einer PSW-Anlage stellt die verfügbare Fallhöhe dar. Die folgenden Konzeptideen zeigen Möglichkeiten auf, das Gebiet des Tagebaus Hambach je nach Lage des Restsees für eine tieferliegende Unterwasserspeicherung zu nutzen, ohne die beabsichtigte Nutzung des Tagebaurestlochs Hambach als Restsee zu beeinträchtigen. Dadurch könnte die Fallhöhe der Grundvariante wesentlich gesteigert werden (von ca. 200 m bis zu max. 650 m).

15.1.4.1 Unterwasserkavernenspeicher neben geplantem Restsee

Im Falle einer Fortsetzung des Kohleabbaus wie ursprünglich geplant etwa bis zum Jahr 2040, könnte als Alternative zur Nutzung des Restsees als Unterbecken ein Kavernenspeicher im Bereich des jetzigen Tagebaus angelegt werden. Der südlich anschließende neue Restsee würde dann nicht mehr in das PSW-Konzept eingebunden sein.

Für einen Kavernenspeicher im jetzigen Abbaugelände würde theoretisch ausreichend Abraummaterial zur Überschüttung zur Verfügung stehen. Es muss geprüft werden, bis zu welcher Tiefe ein Kavernenspeicher technisch realisierbar ist, da die Erdaufasten aus der Überschüttung einen erheblichen Druck auf das Kavernenbauwerk ausüben werden. Je nach Art und Beschaffenheit der endgültigen Geländeaufschüttung sind verschiedene Höhenlagen des Kavernenspeichers möglich (Abbildung 49; Darstellung von mittlerer und tiefer Lage).

Bei dieser Option würde sich der Unterwasserweg der PSW-Anlage verkürzen, wodurch die Mehrkosten für die Herstellung des Kavernenspeichers verringert werden können.

Nach vorläufiger Abschätzung könnte ein Kavernenspeicher entweder als Stollensystem oder als eine durch ein Säulenraster gestützte unterirdische Halle ausgebildet werden. In weiteren Planungen müsste hierfür das ideale bauliche Konzept erarbeitet werden, auch unter der Fragestellung, welches Pendelwasservolumen angesetzt werden kann, da die Baukosten für ein derartiges Speicherbauwerk die Wirtschaftlichkeit der gesamten Anlage wesentlich mitbestimmen. Für ein Pendelwasservolumen von 10 Mio. m³, wie in der vorliegenden Studie angesetzt, käme im ersten Ansatz eine unterirdische Betonhalle mit ähnlichen Abmessungen wie das Oberbecken infrage. Ein Stollensystem würde sich dagegen bei kleineren Wasservolumina bzw. bei Einbindungen des Speicherbauwerks ins Gebirge anbieten.

Da das Anlagenkonzept dieser PSW-Option unabhängig vom zukünftigen Restsee umgesetzt werden kann, könnte Planung und Bau bereits in einem näheren Zeithorizont erfolgen. Unter der Annahme, dass Planung und Bau einer derartigen PSW-Anlage jeweils 5 Jahre erfordern, wäre es denkbar, dass bei einer zeitnahen Weiterverfolgung dieser Variante, die Anlage bereits um das Jahr 2030 in Betrieb gehen könnte.

Bei der im Zuge des fortgeführten Kohleabbaus erfolgenden Abraumverkipfung könnte so bereits in naher Zukunft mit der Herstellung eines verdichteten Erdplanums (ggf. mit zusätzlichen bodenverbessernden Maßnahmen) für den Kavernenspeicher begonnen werden.

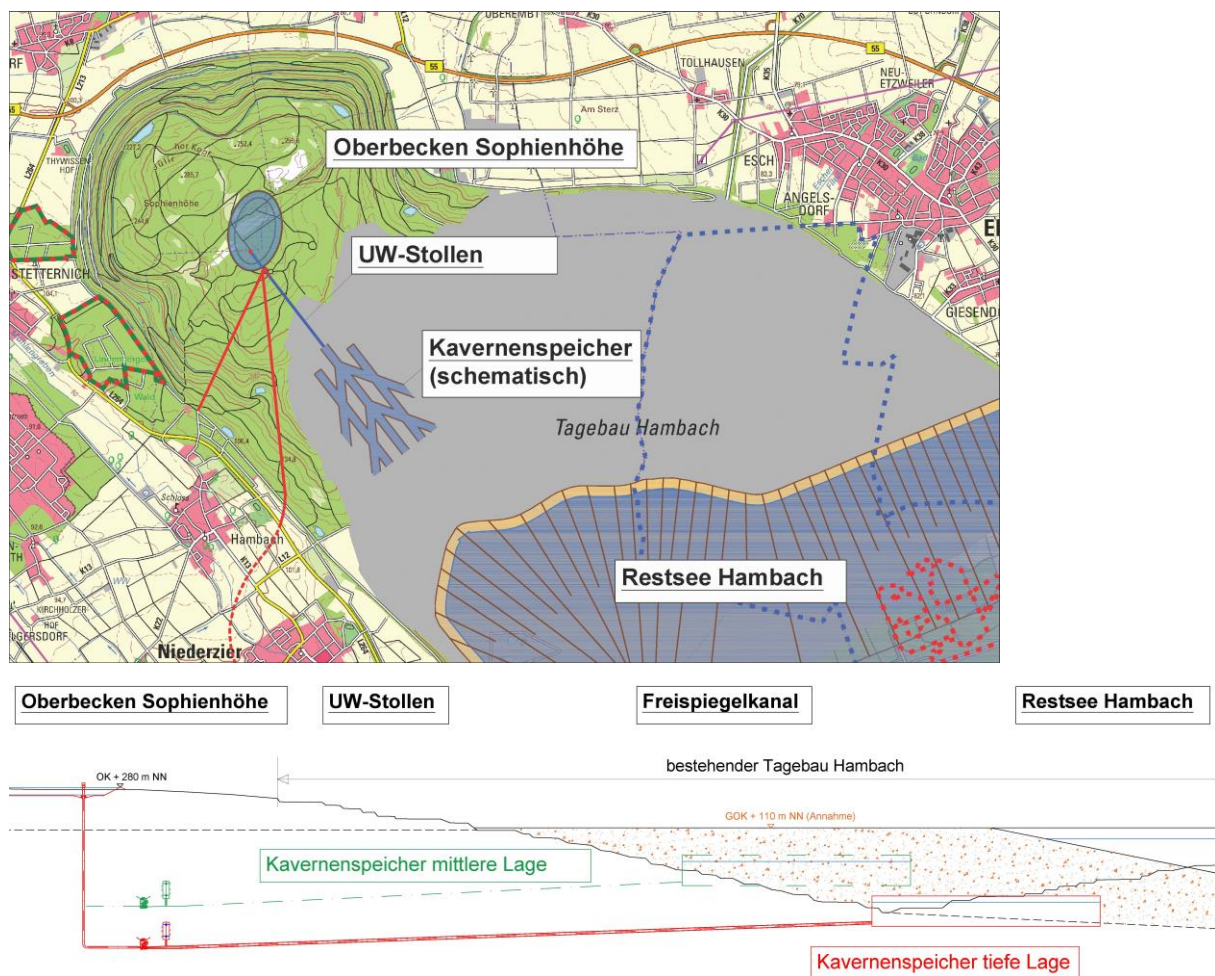


Abbildung 49: Lageplan und Längsschnitt für Alternative „Kavernenspeicher“ in PSW-Variante 2.4

Die folgende Abbildung zeigt das Beispiel eines Kavernenspeichers für das von Lahmeyer Hydroprojekt geplante Pumpspeicherwerk Forbach.

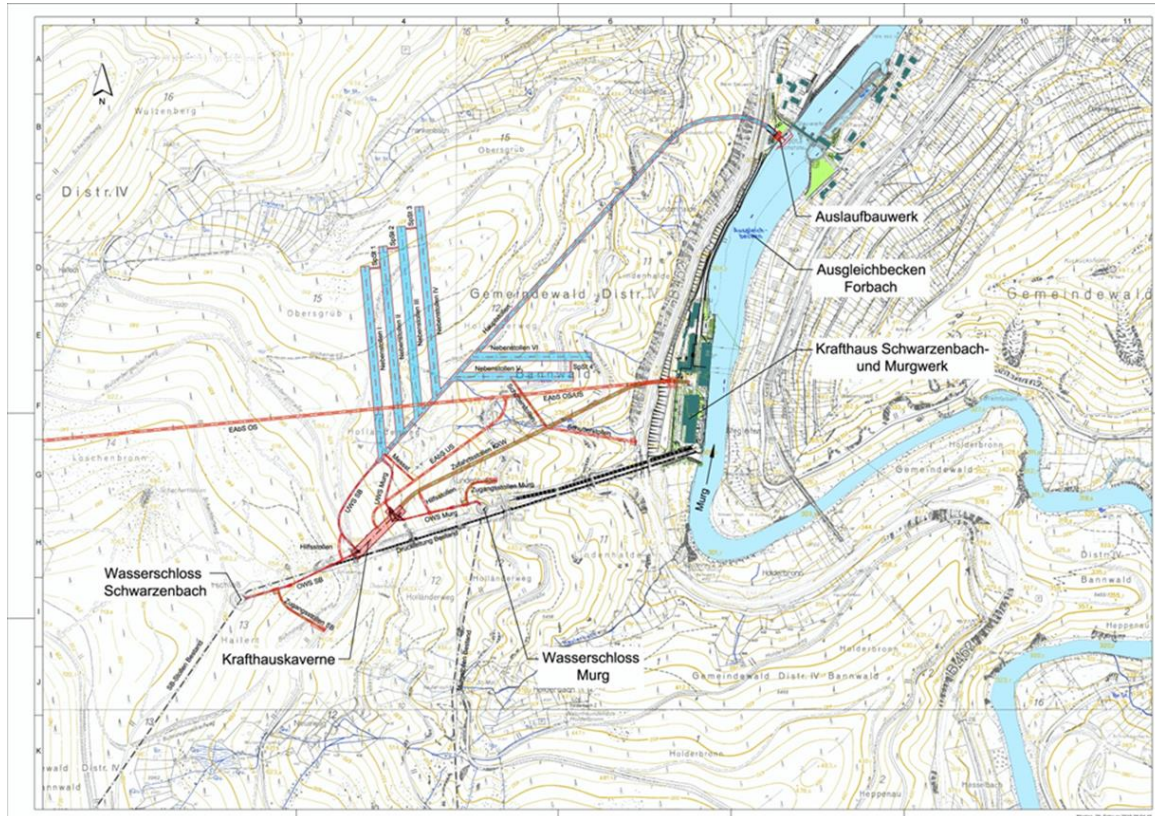


Abbildung 50: Kavernenspeicher (blaue Stollen) für das Pumpspeicherwerk Forbach (Quelle: Tractebel Hydroprojekt GmbH)

15.1.4.2 Unterwasserkavernenspeicher im Restsee

Im Falle eines vorzeitigen Endes des Kohleabbaus und der daraus folgenden Konsequenz, dass der Restsee im aktuellen Tagebauloch angelegt werden würde, könnte aufgrund des großen Fallhöhenpotentials am Tagebau Hambach noch einmal die Idee eines Kavernenwasserspeichers im Restloch aufgegriffen werden. Da ein Offenlassen des Restlochs nicht möglich ist (siehe Abschnitt 10), muss der Kavernenspeicher im Restsee integriert sein. Zur Verhinderung des Auftriebes müsste das Bauwerk über eine bestimmte Höhe zunächst mit Erdmaterial überschüttet werden. Darüber würde sich dann die Wassersäule des Restsees bis zum vorgesehenen Stauziel aufbauen. Als bauliche Ausbildung wäre wie im vorigen Abschnitt ein Stollensystem oder eine unterirdische Halle denkbar. Die Herausforderungen einer derartigen Beton – oder Stahlkonstruktion besteht darin, unter den gegebenen hohen technischen Anforderungen eine Lösung zu entwickeln, die unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen wettbewerbsfähig ist.

Bei Weiterverfolgung dieser PSW-Option müsste mit der weiteren Planung unverzüglich begonnen werden, da bei einem nahenden Ende des Kohleabbaus das Restloch für die Herstellung des Kavernenspeichers vorbereitet werden muss, damit der Speicher rechtzeitig vor dem Grundwasseranstieg im Restsee fertiggestellt ist.

15.1.4.3 Betonkugeln

Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Fallhöhe in PSW-Variante 2.4 könnte aus einem Speichersystem in Form von Betonkugeln bestehen. Das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik führte hierzu im Jahr 2016 am Bodensee einen Modellversuch mit einer Kugel mit einem Durchmesser von 3 m durch, um so die generelle Funktionstüchtigkeit eines derartig neuen Pumpspeicherkonzeptes zu testen. Laut Aussagen der beteiligten Entwicklungsingenieure wären für die Zukunft Kugeldurchmesser von bis zu 30 m denkbar.

Da die Planung und Errichtung einer PSW-Anlage im Tagebaugebiet Garzweiler-Hambach-Inden sicherlich noch einige Zeit in Anspruch nehmen wird - mehrere Jahre oder gar Jahrzehnte – sollte die Entwicklung dieser Technologie weiterverfolgt werden und in den ggf. weiteren Planungsphasen berücksichtigt werden.

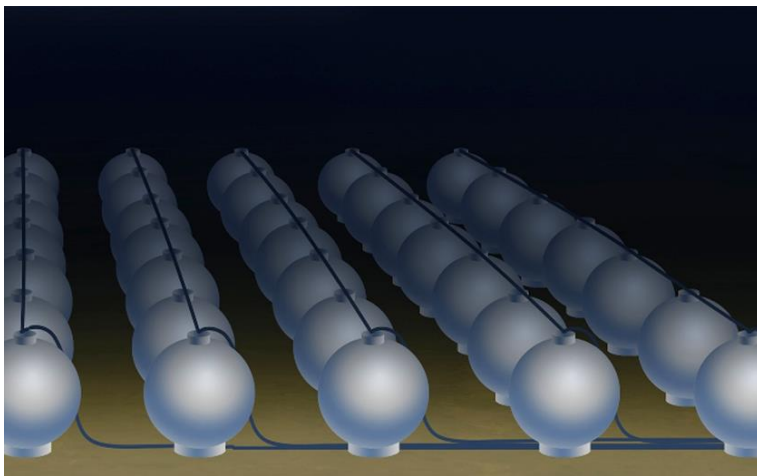


Abbildung 51: Betonkugeln am Meeresboden als neuartiges Pumpspeicherkonzept (Quelle: Pumpspeicherkonzept StEnSEA, Fraunhofer Institut IWES (Kassel))



Abbildung 52: Modellversuch am Bodensee mit einer Betonkugel als Pumpspeicherkonzept (Quelle: Pumpspeicherkonzept StEnSEA, Fraunhofer Institut IWES (Kassel))

16 Fazit und Ausblick

Die vorliegende Studie verschafft zunächst einen allgemeinen Überblick über die grundsätzlichen Möglichkeiten für die Errichtung eines Pumpspeicherkraftwerkes im Gebiet der Tagebaue Garzweiler, Hambach und Inden. Nach der ausführlichen Beschreibung der geologischen, geotechnischen, hydrologischen und hydrogeologischen Grundlagen wurden die möglichen Standorte für Pumpspeicheranlagen im Projektgebiet identifiziert und bewertet.

Nach der Gegenüberstellung der maßgeblichen Anlagenkennwerte aller identifizierten PSW-Möglichkeiten wurden die PSW-Varianten 2.4 Sophienhöhe – Restsee Hambach und 3.4c Meroder Wald – Restsee Inden als die geeignetsten PSW-Standorte für die weitere Untersuchung ausgewählt.

Die beiden Varianten wurden daraufhin detaillierter auf ihre Machbarkeit hin untersucht und miteinander verglichen. Es wird empfohlen, beide PSW-Varianten in den zukünftigen Planungsphasen zu berücksichtigen.

Die im vorigen Kapitel skizzierten Optimierungsmöglichkeiten für die Variante 2.4 Sophienhöhe – Restsee Hambach zeigen mögliche Schritte für die nächsten Planungsphasen auf.

Bei den Optimierungsmöglichkeiten wurde nochmals die Option eines Unterwasserkavernenspeichers aufgenommen (getrennt für die Szenarien „baldiges Kohleabbauende“ und „Fortsetzung des Kohleabbaus“), da aufgrund der großen Fallhöhe diese Optionen aus energieerzeugungstechnischer Sicht die attraktivsten Alternativen darstellen. Speziell bei einer vorzeitigen Beendigung des Kohleabbaus ergeben sich aus technischer Sicht für ein PSW mit Kavernenspeicher vorteilhafte Randbedingungen, da der Kavernenspeicher weniger stark überschüttet und die Horizontalabstand zum Oberbecken deutlich kürzer wäre. Darüber hinaus könnte eine PSW-Anlage mit Unterwasserkavernenspeicher bereits in einem näheren Zeithorizont geplant und gebaut werden, was die Möglichkeit bieten würde, für die Beschäftigten der Energiewirtschaft neue Geschäftsfelder zu schaffen und somit den befürchteten signifikanten Stellenabbau infolge des Kohleausstiegs abzumildern.

Im Hinblick auf einen kontinuierlichen energiewirtschaftlichen Geschäftsbetrieb empfehlen wir, mit den weiteren Planungsschritten für ein Pumpspeicherwerk mit Unterwasserkavernenspeicher möglichst bald zu beginnen. Zudem verbessern sich die technischen Rahmenbedingungen für ein PSW am Tagebau Hambach, je früher vom Kohleabbau auf einen PSW-Betrieb umgestellt wird.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass nach dem aktuellen Netzentwicklungsplan der Bundesnetzagentur eine der geplanten Nord-Süd-Neubautrassen in der Nähe des Rheinischen Reviers verlaufen soll (siehe Abbildung 53). Damit könnte die Grundlage für ein neues Geschäftsmodell geschaffen werden, zum Zwecke der Zwischenspeicherung der im Norden eingespeisten Windenergie eine größere PSW-Anlage im Rheinischen Revier zu betreiben. Es wird deshalb empfohlen, entsprechende Marktszenarien zu prüfen, ob sich mit dem Netzausbau unter Berücksichtigung des Kohleausstiegs wirtschaftliche rentable Betreibermodelle ergeben.

NEP 2017-2030: bestätigte Maßnahmen



Abbildung 53: bestätigter Netzentwicklungsplan 2017 (Quelle: Bundesnetzagentur); roter Kreis = Lage Rheinisches Revier

Impressum

Herausgeber:

Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und
Energie des Landes Nordrhein-Westfalen
Berger Allee 25
40213 Düsseldorf
Tel.: +49 (0) 211/61772-0
Fax: +49 (0) 211/61772-777
Internet: www.wirtschaft.nrw

Bildnachweis:

© GTB Aachen (Deckblatt)
© Csaba Mester (Rückseite)

Referat VI A 2 „Energietechnik, Krisenvorsorge (Technische Energieaufsicht)“

Autoren:

Tractebel Hydroprojekt GmbH
Geschäftsbereich München
Elsenheimerstrasse 11
80687 München
Tel.: +49 (0) 89 381907-70
Fax: +49 (0) 89 381907-99
Internet: www.hydroprojekt.de

GTB Aachen - Geotechnischer Berater
Peter Philippen-Lindt
Am Lütterbüschgen 11
52072 Aachen
Tel.: +49 (0) 241 559378-25
Fax: +49 (0) 241 559378-26
Internet: www.gtb-aachen.de

Der Bericht ist auf der Homepage des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen als PDF-Dokument abrufbar.

Hinweis

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Nordrhein-Westfalen herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerberinnen und -bewerbern oder Wahlhelferinnen und -helfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden.

Dies gilt auch für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen sowie für die Wahl der Mitglieder des Europäischen Parlaments.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Eine Verwendung dieser Druckschrift durch Parteien oder sie unterstützende Organisationen ausschließlich zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder bleibt hiervon unberührt. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin oder dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

**Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen**
Berger Allee 25, 40213 Düsseldorf
www.wirtschaft.nrw

