

Innkraftwerk Ering-Frauenstein
Durchgängigkeit und Lebensraum
Umgebungsgewässer - Insel-Nebenarmsystem
- Anpassung Eringer Damm

Anlage 6.1
Erläuterungsbericht
Stand sicherheitsuntersuchungen

Innkraftwerk Ering-Frauenstein: Durchgängigkeit und Lebensraum
Anlage 6.1: Erläuterungsbericht Standsicherheitsuntersuchungen
Umgebungsgewässer (UG), Insel-Nebenarmsystem (INS) und Anpassung
Eringer Damm

Stand

10.02.2016

SKI GmbH & Co.KG

Lessingstraße 9

D-80336 München

Berichtsart

Erläuterungsbericht Standsicherheitsuntersuchungen

Inhaltsverzeichnis	Seite	
1	Verwendete Unterlagen	6
2	Vorgang / Bisherige Untersuchungen	8
2.1	Allgemeines	8
2.2	Umgehungsgerinne (Fischaufstiegsanlage)	8
3	Allgemeine Grundlagen	8
3.1	Aufbau des bestehenden Stauhaltungsdammes	8
3.2	Geologischer Aufbau	9
3.2.1	Allgemeines	9
3.2.2	Aufbau des Damm- bzw. Deichkörpers	10
3.2.3	Aufbau des Damm- bzw. Deichuntergrunds	10
3.2.4	Linkes Vorland- Überschwemmungsbereiche	10
3.3	Verwendete Bodenkennwerte	10
3.4	Normen	12
3.5	Berechnungsabschnitte / Berechnungsquerschnitte	12
4	Lastfälle	13
4.1	Übersicht der zu untersuchenden Lastfälle	13
4.2	Erläuterungen und Festlegungen zu einzelnen Lastfällen	13
4.2.1	Lastfall 1	13
4.2.2	Lastfall 2.1	13
4.2.3	Lastfall 2.1i (Innrückstau)	14
4.2.4	Lastfall 2.2	14
4.2.5	Lastfall 3.1 (Kronenstau)	14
4.2.6	Lastfall 3.2 (Schadstellen)	15
4.2.7	Verkehrslasten	16
5	Abflüsse und Wasserspiegellagen	16
5.1	Bemessungswasserspiegel	16
5.1.1	Freibord	16
5.1.2	Ermittlung des Wasserstandes im Lastfall „Kronenstau“	17
5.1.3	Windstau und Wellenauflauf	17
5.1.4	Mindestfreibord bei BHQ₂	17
5.1.5	Fließwellenhöhe	17
5.1.6	Maßgender Wasserspiegel im Lastfall "Kronenstau"	19
6	Durchsickerungsberechnungen	20
6.1	Allgemeines	20
6.2	Ergebnisse Durchsickerungsberechnungen	20
7	Nachweise	20
7.1	Nachweise gegen Böschungsbruch	20
7.1.1	Allgemeines	20
7.1.2	Vorgehensweise der Berechnungen	20
7.1.3	Anpassungsmaßnahmen und Aufbau Umgehungsgerinne	21
7.1.4	Ergebnisse der Nachweise gegen Böschungsbruch	22
7.2	Nachweis gegen Gleiten	22
7.2.1	Berechnungsannahmen & Hinweise	22
7.2.2	Nachweisübersicht	23
7.3	Nachweise der Sicherheit gegen Materialtransport	23
7.3.1	Allgemeines	23
7.3.2	Suffosion innerhalb eines Erdstoffes	24
7.3.2.1	Eingangswerte	24

7.3.2.2	Nachweisübersicht	24
7.3.3	Nachweis der Sicherheit gegen Erosionsgrundbruch	25
7.3.3.1	Allgemeines	25
7.3.3.2	Ergebnisse	25
7.3.4	Nachweis der Sicherheit gegen Kontakterosion	25
7.4	Nachweis gegen Aufschwimmen der Deckschicht	26
7.4.1	Allgemeines	26
7.4.2	Ergebnisse	26
7.5	Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch	26
7.5.1	Allgemeines	26
8	Zusammenfassung	27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	RQ Staudamm Ering.....	9
Abbildung 2	Schema zur Berücksichtigung von Fehlstellen in den Dichtungselementen.....	15
Abbildung 3	Verkehrslast für einen SLW 30 gemäß [16].....	16
Abbildung 4	Fließgeschwindigkeiten [m/s] Dämme Ering und Frauenstein, BHQ ₂	18
Abbildung 5	Auswertungen TU-München zu Fließwellen an bayerischen Flüssen.....	19
Abbildung 6	Randbedingen für den Aufbau des Umgehungsgerinnes	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Staudamm Ering, Übersicht Baumaßnahmen seit 1995.....	9
Tabelle 2	Verwendete Bodenkennwerte der Bestandsbodenschichten	11
Tabelle 3	Verwendete Bodenkennwerte für Anpassungsmaßnahmen	11
Tabelle 4	Ausnutzungen der Sicherheit gegen Gleiten	23
Tabelle 5	Ausnutzungen der Sicherheit gegen Suffosion in der Dammschüttung	24
Tabelle 6	Ausnutzungen der Sicherheit gegen Suffosion im Quartär.....	24
Tabelle 7	Ausnutzungen der Sicherheit gegen Erosionsgrundbruch	25
Tabelle 8	Tabelle 5 aus [13].....	25
Tabelle 9	Ausnutzungen der Sicherheit gegen Aufschwimmen der Deckschicht	26
Tabelle 10	Ausnutzungen der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch	27

Verwendete Unterlagen

- [1] Standsicherheitsuntersuchungen Stauhaltungsdämme Innstauufen Ering / Eggfing (Projekt 13151); SKI GmbH + Co.KG, München, April 2012
- [2] Standsicherheitsuntersuchungen Stauhaltungsdämme Innstauufen Ering / Eggfing (Projekt 13153); SKI GmbH + Co.KG, München, Oktober 2014
- [3] IB Aquasoli – Wasserspiegellagen, 2014 (EGF_Auswertung_8500.xls und ERG_Auswertung_8400.xls); übergeben am 02.07.2014 durch Herrn Dr. Schmalfuß.
- [4] Protokolle zu den Projektbesprechungen, 03.06.2014 und 04.08.2014.
- [5] IB Aquasoli – Vermessungsdaten, 2014 (Freiborddarstellung_Gesamt.xls); übergeben am 02.07.2014 durch Herrn Dr. Schmalfuß.
- [6] Hager – Vermessungsdaten, 2014 GEO_Dammhöhen_Vermessung_Hager.xls und GER_Dammhöhen_Vermessung_Hager.xls); übergeben am 08. und 23.09.2014 durch Herrn Dipl. Ing. Wuttig.
- [7] IB Wölfle ZT GmbH – Standsicherheitsuntersuchungen 2001 und 2004 (Eingesehen im Archiv Töging damals E.On Wasserkraft; Grundlage für [1]).
- [8] ARCADIS Consult GmbH – Bericht: Standsicherheitsuntersuchungen Innstau-stufe Ering, 2006.
- [9] IB für Geotechnik Prof. Dr.-Ing. C. Slominski – Ergebnisse der Laborversuche Sanierung Deichstauanlage Ering / Eggfing, übergeben am 16.10.2013.
- [10] IFB Eigenschenk, Geotechnischer Bericht, Neubau einer Fischaufstiegsanlage Ering-Frauenstein, Deggendorf am 10.09.2015
- [11] DIN 1054:2010 Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Dezember 2010.
- [12] Bayerisches Landesamt für Umwelt – Merkblatt Nr. 5.2/5 (Stand 01.04.2009) Staugeregelte Flüsse - Anlagensicherheit und Hochwasserschutz, Nachweis und Lastfälle nach DIN 19700 und DIN 19712.
- [13] DWA Merkblatt M507-1: Deich an Fließgewässern Teil1: Planung, Bau und Betrieb, DWA, Hennef, Dezember 2011.
- [14] Handbuch Eurocode 7, Geotechnische Bemessung Band 1: Allgemeine Regeln, DIN Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 2011.
- [15] Deich oder Stauhaltungsdamm? Interpretationsprobleme bei der Anwendung der DIN 19700 Ausgabe 2004, Strobl, Th., Haselsteiner, R., DWA Tagung Regensburg, Juni 2008.
- [16] Bautabellen für Ingenieure, 18. Auflage, Schneider K.-J., Werner Verlag, Düsseldorf, 2002.
- [17] Protokoll zur Festlegung des Lastfalls Kronenstau, Standsicherheitskonzept Ering Eggfing, München-Pasing, 04.08.2014.
- [18] Vorschlag für die Ermittlung des Freibords bei Deichen, Dienstbesprechung „Staatlicher Wasserbau Gewässer erster Ordnung, Herbert Weiß, Ingolstadt, September 2003 (unveröffentlicht).
- [19] Hydraulische Sicherheit von Staudämmen, Peter Muckenthaler ,Bericht Nr. 61 vom Institut für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft und Versuchsanstalt für

Wasserbau Oskar v. Miller Institut in Oberrach Technische Universität München,
1989.

[20] DIN 19712:2013-01 Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern, Beuth Verlag
GmbH, Berlin, 2013.

[21] DIN 19700:2004-07, Stauanlagen - Teil 13: Staustufen, Beuth Verlag GmbH,
Berlin, 2004.

2 Vorgang / Bisherige Untersuchungen

2.1 Allgemeines

Im den Jahren 2012 und 2014 wurden durch das Ingenieurbüro SKI GmbH + Co.KG im Auftrag der e.on. Wasserkraft GmbH [1] und der Verbund - Innwerk AG [2] Standsicherheitsuntersuchungen für Dammanlagen im Rückstau der Staustufen Ering und Eggfing durchgeführt. Die Untersuchungen zeigten, dass gemäß der neuen Anforderungen der DIN 19700 am Staudamm Ering Standsicherheitsdefizite bestehen.

Im ersten Halbjahr 2015 wurde am Staudamm Ering ergänzend zu den bereits vorhandenen Baugrundaufschlüssen 11 weitere Schürfen im Bereich des luftseitigen Dammfußes durchgeführt. Die Lage der Schürfe wurde dabei so gewählt, dass zusammen mit den vorhandenen Aufschlüssen der Bodenaufbau an allen Anlagen mindestens im Abstand von 200 m bekannt ist. Da die vorrangegangenen Untersuchungen gezeigt haben, dass die Auelehmschicht unter dem Dammkörper einen besonders großen Einfluss auf die Standsicherheit hat, wurde bei den Schürfen ein besonderes Augenmerk auf die Lage und Mächtigkeit dieser Schicht gelegt.

Der folgende Ergebnisbericht zu den Standsicherheitsuntersuchungen baut auf den Ergebnissen der oben genannten Untersuchungen auf. Um speziell aus ökologischer Sicht die Anpassungsmaßnahmen auf das wirklich erforderliche Maß zu reduzieren, werden aufbauend auf den ergänzend durchgeführten Baugrunduntersuchungen die Berechnungsabschnitte weiter unterteilt. Alle Randbedingungen, Eingangsgrößen, Berechnungen und Ergebnisse werden nachfolgend beschrieben.

2.2 Umgehungsgerinne (Fischaufstiegsanlage)

Neben dem Nachweis des bestehenden Stauhaltungsdammes wird nachfolgend auch die Standsicherheit der geplanten Umgehungsgerinnes welches sich an den Eringer Stauhaltungsdamm anlehnt nachgewiesen.

3 Allgemeine Grundlagen

3.1 Aufbau des bestehenden Stauhaltungsdammes

Abbildung 1 zeigt den Regelaufbau des Staudamms Ering, der auf seiner gesamten Länge von ca. 3,4 km identisch ist. Ein Längsschnitt mit Darstellung der Höhenverläufe der einzelnen Dammbestandteile, Wasserspiegel und Schichten des Dammuntergrunds befindet sich in Anlage 4.2, ein entsprechender Lageplan in Anlage 4.1.

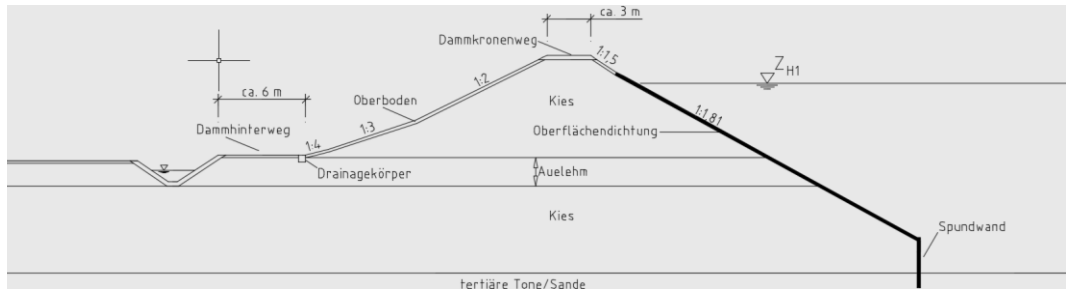


Abbildung 1 RQ Staudamm Ering

Der Staudamm Ering weist folgenden Regelaufbau auf:

- Kronenbreite 3 m;
- luftseitige Böschungsneigung: 1: 2 bis 4,5 m unter Krone; 1: 3 bis 6,5 m unter Krone; darunter 1: 4;
- wasserseitige Böschungsneigung: 1: 1,5 bis OK-Dichtung; darunter 1: 1,81;
- wasserseitige Betonoberflächendichtung mit anschließender Untergrundabdichtung (Spundwand) mit Einbindung in das Tertiär;
- 0,25 m² große Längsdrainage am luftseitigen Böschungsfuß (Einkornschüttung);
- Sickerwassergraben im Abstand von ca. 6 m vom luftseitigen Böschungsfuß mit einer 30 cm dicken Kiesandeckung in der Sohle und den Böschungen.

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über standsicherheitsrelevante Baumaßnahmen die innerhalb der letzten 20 Jahre durchgeführt wurden.

Tabelle 1 Staudamm Ering, Übersicht Baumaßnahmen seit 1995

Maßnahme	Bereich	Firma	Jahr
Fugensanierung	Fkm 48,00 - 51,60	Eigenleistung	unbekannt

3.2 Geologischer Aufbau

3.2.1 Allgemeines

Der Bodenaufbau wird aus vorhandenen Baugrundaufschlüssen aus der Zeit des Baus der Anlagen sowie mehreren zwischenzeitlich im Rahmen verschiedener Sanierungsmaßnahmen durchgeführten Untersuchungen entnommen.

Ergänzend wurden im Rahmen der Untersuchungen in [1] 20 Schürfen und für die hier beschriebene Planung nochmals 10 Schürfen entlang des luftseitigen Dammfußes und 6 Schürfen im linken Vorland unterstrom der Staustufe Ering-Frauenstein durchgeführt. Alle geotechnischen Grundlagen sind in Anlage 7 zusammenfassend dargestellt.

Nachfolgend wird ein Überblick über den Aufbau des Damm- bzw. Deichkörpers sowie des Dammuntergrunds gegeben.

3.2.2 Aufbau des Damm- bzw. Deichkörpers

Die Stauhaltungsdämme und Deiche bestehen überwiegend aus sandigem Kies und Grobkies der größtenteils mitteldicht gelagert ist.

3.2.3 Aufbau des Damm- bzw. Deichuntergrunds

Unterhalb des Dammkörpers befindet sich eine unterschiedlich mächtige Aueschicht. Abschnittsweise wird die Auelehmschicht durch die Sickerwassergräben durchstoßen. Die darunter liegenden quartären Kiese und Sande sind überwiegend locker bis mitteldicht gelagert und weisen eine Mächtigkeit von mehreren Metern auf. Die tiefer liegenden tertiären Bodenschichten (Flinz) bestehen überwiegend aus Feinsand und sind mit zunehmender Tiefe erst mitteldicht dann aber schnell dicht bis sehr dicht gelagert.

3.2.4 Linkes Vorland- Überschwemmungsbereiche

Das linke Vorland unterhalb der Staustufe Ering Frauenstein liegt im Überschwemmungsgebiet des Inn. Oberflächennah wurden hier Flussablagerungen (Schwemmsande) jüngerer Hochwasserereignisse angetroffen. Die Unterkante dieser Bodenschicht liegt bei maximal 2 m untere Geländeoberkante. Hauptsächlich handelt es sich dabei um schwach schluffige bis schluffige teils feinsandige Kiese

3.3 Verwendete Bodenkennwerte

Sofern Bodenkennwerte aus früheren Untersuchungen vorliegen, werden diese sofern sie plausibel erscheinen angesetzt. Hauptsächlich werden die Bodenkennwerte der Standsicherheitsuntersuchungen des Ingenieurbüros Wölfle ZT GmbH [7] und der ARCADIS Consult GmbH [8] verwendet.

Zur Bestimmung der für die Standsicherheitsberechnungen bedeutsamen Bodenkennwerte der Auelehmschicht wurden in [1] 20 Baggerschürfe durchgeführt und aus jedem Schurf zwei ungestörte Zylinderproben entnommen. Diese wurden anschließend an das Ingenieurbüro für Geotechnik von Prof. Dr.-Ing. Slominski [9] für folgende Untersuchungen übergeben:

- Bodenansprache nach DIN 4022 bzw. DIN EN ISO 14688-1 und -2
- Sieb- bzw. Schlämmanalyse nach DIN 18123
- Scherversuch nach DIN 18137-3

Die Proben wurden anhand der Sieb- und Schlämmanalysen in 6 charakteristische Gruppen eingeteilt. Die Ermittlung der Scherparameter erfolgte dann an jeweils einer repräsentativen Probe dieser 6 Gruppen. Das Gutachten von Prof. Dr.-Ing. Slominski befindet sich in Anlage 7.

Die bei den Standsicherheitsuntersuchungen verwendeten Bodenkennwerte sind in den beiden nachfolgenden Tabellen zusammengestellt.

Tabelle 2 Verwendete Bodenkennwerte der Bestandsbodenschichten

Schicht	γ	γ'	φ'	c'	$k_{f,h}$ $k_{f,v}$	Quelle
	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[m/s]	
Wegaufbau, Krone	22	13	40	0	$1,0 \cdot 10^{-3}$	[1]
Wegeaufbau, Hinterweg	20	10	32,5	0	$1,0 \cdot 10^{-5}$	
Oberboden	17	8	20	5	nicht angesetzt	[1]
Deich- /Dammkörper	19	10	35	0	$1,0 \cdot 10^{-3}$	[6]+[7]
Dammerhöhung (Bestand)	20	10	35	0,0	$1,0 \cdot 10^{-3}$	[6]+[7]
Oberflächendichtung, Beton	25	15	45	30	$1,0 \cdot 10^{-8}$	[1]
Spundwand	25	15	45	100	$1,0 \cdot 10^{-7}$	[1]
Schmalwand	25	15	45	30	$4,0 \cdot 10^{-7}$	[1]
Anlandung, Sediment	15	7	20	0	$2,0 \cdot 10^{-5}$ $1,0 \cdot 10^{-5}$	[1]
Schwemmsande	18	10	26	0	$2,5 \cdot 10^{-5}$	[9]+[10]
Aueschicht, schluffiger Feinsand	18	10	26	0	$2,5 \cdot 10^{-5}$	[9]
quartäre Kiese/Sande (GW-Leiter)	20	10	32,5	0	$1,5 \cdot 10^{-3}$ $1,5 \cdot 10^{-4}$	[6]+[7]
tertiäre Tone/Sande („Flinz“)	20	11	27,5	0	$1,0 \cdot 10^{-7}$	[6]
Drainagekörper	20	11	35	0	$5,0 \cdot 10^{-2}$	[1]
Kiesandeckung Sickergraben	20	11	35	0	$5,0 \cdot 10^{-2}$	[1]
Defekte Dränage Fehlstelle	Werte variieren in Abhängigkeit der anliegenden Bodenschichten, siehe Festlegungen im Lastenheft (Anlage 6.2) sowie Sickerlinien- und Böschungsbruchberechnungen in den Anlagen 6.4 und 6.5.					

Bei den statischen Nachweise des Umgehungsgerinnes/ Fischaufstiegsanlage wurden für die Schwemmsande auf der "sicheren Seite " liegend gemäß dem Gutachten von Prof. Slominski [9] die etwas schlechteren Bodenkennwerte der Aueschicht verwendet.

Tabelle 3 Verwendete Bodenkennwerte für Anpassungsmaßnahmen

Schicht	γ	γ'	φ'	c'	$k_{f,h}$ $k_{f,v}$
	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[m/s]
Drainagekörper	20	11	35	0	$5,0 \cdot 10^{-2}$
Wegaufbau, Hinterweg - Anpassung	22	13	37,5	0	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Wegaufbau, Krone - Anp.	22	13	37,5	0	$1,0 \cdot 10^{-3}$
Oberflächendichtung, Beton - Verlängerung	25	15	45	30	$1,0 \cdot 10^{-8}$

3.4 Normen

Die geotechnischen Nachweise werden gemäß DIN EN 1997-1:2009-09 Eurocode 7:Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln einschließlich des nationalen Anhangs DIN EN 1997-1/NA:2010-12 und der DIN 1054:2010 Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regeln zu DIN EN 1997-1 unter Berücksichtigung der im LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 [12] definierten Lastfälle geführt.

3.5 Berechnungsabschnitte / Berechnungsquerschnitte

Die Berechnungsab- bzw. querschnitte für die Standsicherheitsuntersuchungen werden aufbauend auf den in Kap. 3.1 beschriebenen Bestandsquerschnitt unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse und der nachfolgend aufgeführten Annahmen und Randbedingungen festgelegt.

- Mindestens 1 Rechenquerschnitt (RQ) je vorhandenen Bestandsregelquerschnitt.
- Es erfolgt i.d.R. keine Superponierung der Querschnittgeometrie d.h., es werden reale Querschnitte berechnet (Vermeidung unnötiger Maßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit).
- Grundlage für die Höhenlage der Innsohle ist eine Flusspeilung aus dem Jahr 2010. Es wird die mittlere Sohlage je Berechnungsabschnitt angesetzt.
- Im jeweiligen Querschnitt wird die ungünstigste Bodenschichtung des Berechnungsabschnittes angesetzt (maximale Dicke der Auelehmschicht).

Für die Nachweise gegen Böschungsbruch werden für den Staudamm Ering 3 Berechnungsquerschnitte (Regelquerschnitte) für den Bereich oberstrom des Umgehungsgerinnes und 4 Berechnungsquerschnitte für den Bereich mit Umgehungsgerinne erstellt.

RQ-SD-ER-1	Dkm: 3+400 - 2+775 FKM: Dammanfang (oberstrom) - 50,900 (kleinere Dammhöhe mit Auelehmschicht unterhalb des Sickergrabens)
RQ-SD-ER-2	Dkm: 2+775 - 2+330 FKM: 50.900 - 50.400 (größere Dammhöhe mit Auelehmschicht unterhalb des Sickergrabens)
RQ-SD-ER-3	Dkm: 2+330 - 1+800 FKM: 50.400 - 49.800 (kleinere Dammhöhe ohne Auelehmschicht unterhalb des Sickergrabens)
RQ-SD-ER-UMG-1	Dkm: 1+800 - 1+200 Fkm: 49,800 - 49,200 (maximaler Höhe des Umgehungsgerinnes, kürzeste luftseitige Böschung am Stauhaltungsdamm)
RQ-SD-ER-UMG-2	Dkm: 1+200 - 0+600 Fkm: 49,200 - 48,600

RQ-SD-ER-UMG-3	(längste luftseitige Böschung des Stauhaltungsdammes mit seiner Maximalneigung von 1: 2) Dkm 0+600 - 0+400 Fkm 48,600 - 48,400
RQ-SD-ER-UMG-4	(längste luftseitige Böschung des Stauhaltungsdammes mit seiner maximalen und mittleren Neigung von 1: 2 bzw. 1: 3) Dkm 0+400 - 0+000 Fkm 48,400 - 48,000 (längste luftseitige Böschung des Stauhaltungsdammes und ohne Abdichtung des Umgehungsgerinnes)

Die entsprechenden Regelquerschnitte mit Darstellung des Aufbaus vom Umgehungsgerinne sind in Anlage 2.4 dargestellt.

4 Lastfälle

4.1 Übersicht der zu untersuchenden Lastfälle

Die Nachweise werden gemäß der im LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 [12] angegebenen Lastfällen durchgeführt. Das entsprechende Lastenheft befindet sich in Anlage 6.2.1.

Abweichend vom Lastenheft wurde in einer Besprechung mit dem Landesamt für Umwelt (siehe Protokoll in Anlage 6.2.2) folgende Vorgehensweise für den Nachweis des Umgehungsgerinnes (Fischaufstiegsanlage) festgelegt:

- Da der Zufluss zum Umgehungsgerinne im Schadensfall jederzeit geschlossen werden kann und auch das Schadenpotential bei einem möglichen kurzzeitigen Auslauf des Gerinnes in Richtung Eringer Au sehr gering ist (natürliches Überschwemmungsgebiet durch Rückstau des Inn), kann der Nachweis des Lastfalls "Schadhafte Dichtung" für die Dichtung des Umgehungsgerinnes entfallen.
- Der Nachweis des Lastfalls "Kronenstau" (bordvoller Abfluss im Umgehungsgerinne) kann ebenfalls entfallen.

4.2 Erläuterungen und Festlegungen zu einzelnen Lastfällen

4.2.1 Lastfall 1

Der Lastfall 1 ist für Flussdeiche nur nachzuweisen, wenn gleichzeitig permanente Nutzungen der Flussdeiche, z.B. durch Verkehrswege vorliegen.

Aufgrund der durchgehenden Betriebswege auf den Deichkronen, wird der Lastfall 1 auch für die definitionsgemäßen Deichabschnitte nachgewiesen.

4.2.2 Lastfall 2.1

Bei Flussdeichen gilt als Stauziel der jeweilige Bemessungshochwasserstand BHW. Der Bemessungshochwasserstand BHW entspricht dem BHQ_1 . Aufgrund der direkten Anschlüsse zu den Stauhaltungsdämmen, wird der Nachweis für BHQ_2 bei den definitionsgemäß als Deiche einzustufenden Anlagen ebenfalls geführt.

4.2.3 Lastfall 2.1i (Innrückstau)

Der Lastfall 2.1 i beschreibt den Rückstau des Inns an den Staudämmen Ering und Frauenstein, aufgrund von Ausuferungen im Unterwasser der Staustufe Ering. Aufgrund der vorhandenen hochwasserfreien Zufahrtstraßen zum Kraftwerk Ering erfolgt der Rückstau in das Hinterland zeitverzögert über vorhandene Durchlässe unter den Zufahrtstraßen. Eine vollkommene Ausspiegelung der maximalen Unterwasserstände mit dem Dammhinterland wurde noch nicht beobachtet.

In einem Abstimmungsgespräch mit dem Berater des Antragstellers Herrn Prof. Strobl am 04.08.2014 wurde folgender Umgang mit dem Lastfall "Innrückstau" festgelegt:

- Zur Untersuchung der Auswirkungen des Innrückstaus wird der Lastfall 2.1i eingeführt. Als Rückstau wird der unterstromige Wasserspiegel der Staustufe Ering im Lastfall BHQ₂ angesetzt.
- Falls sich zeigt, dass die Ausnutzung im betrachteten Lastfall durch einen luftseitigen Einstau größer wird, soll dieser Lastfall als Regellastfall in alle betroffenen Staudämme mit aufgenommen werden. Falls sich zeigt, dass ein luftseitiger Innrückstau die Standsicherheit nicht oder positiv beeinflusst, wird in den anderen Bemessungssituationen der Innrückstau auf der "sicheren Seite" liegend nicht angesetzt.

4.2.4 Lastfall 2.2

Gemäß LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 [12] ist der Lastfall 2.2 (schnellstmögliche Stauspiegelabsenkung) zu betrachten. Gemäß [12] ist auch festgelegt, dass die Wasserspiegelabsenkungen auf betriebliche Maßnahmen zu begrenzen sind. Versagensszenarien wie z.B. ein Dambruch bleiben in diesem Lastfall unberücksichtigt.

Aus betrieblichen Gründen kann nach Angabe des Kraftwerkbetreibers eine schnelle Wasserspiegelabsenkung nicht stattfinden. Auf eine Berechnung der Standsicherheit im LF 2.2 kann daher verzichtet werden, da gewährleistet ist dass die Absinkgeschwindigkeit des Innwasserspiegels somit kleiner ist, als der kf-Wert des Dammschüttmaterials.

4.2.5 Lastfall 3.1 (Kronenstau)

Der Lastfall „Kronenstau“ repräsentiert eine Extremsituation. Dieser gegebenenfalls bis zur Damm-/Deichkrone reichende Wasserstand ist im Kontext zur Risikobetrachtung abzuhandeln. Dazu sollten die entsprechenden Regelungen in DIN 19700 Teil 10 (Nr. 11) und Teil 11 (Nr. 7.2.6) Anwendung finden. Konstruktive Zuschläge für die Damm- bzw. Deichhöhe (z. B. Wühltierzone, Wegebau, Schutzschicht für Innendichtungen) bleiben bei diesem Lastfall unberücksichtigt.

Der Wasserspiegel für den Lastfall "Kronenstau" wird in Abhängigkeit der Wasserspiegel für BHQ₁ und BHQ₂ in Kap. 5.1.2 ermittelt.

4.2.6 Lastfall 3.2 (Schadstellen)

Gemäß [12] muss im Lastfall 3.2 die „eingeschränkte Wirkung von Dichtung und Dränung“ betrachtet werden. Für den Ansatz einer eingeschränkten Wirkung der Dichtung wurden in Absprache mit dem Berater der Bauherren Prof. Strobl folgende Fehlstellen im Dichtungselement angesetzt:

- Etwa auf halber Dammhöhe, wird eine Fehlstelle in der Oberflächendichtung mit einer in Längsrichtung des Damms durchgehenden Breite von 0,5 Meter definiert.
- Falls auf der Wasserseite eine Untergrundabdichtung (z.B. Schmal- oder Spundwand) angeschlossen ist, wird zusätzlich im Anschlussbereich zur Untergrundabdichtung eine Fehlstelle mit in Längsrichtung durchgehender Breite von 0,5 m angesetzt.
- Die Materialbelegung der Fehlstelle erfolgt entsprechend dem angrenzenden Dammmaterial.

Insgesamt liegen diese Annahmen weit auf der sicheren Seite gegenüber allen bisher beobachteten Schadstellen am Inn, Donau, etc..

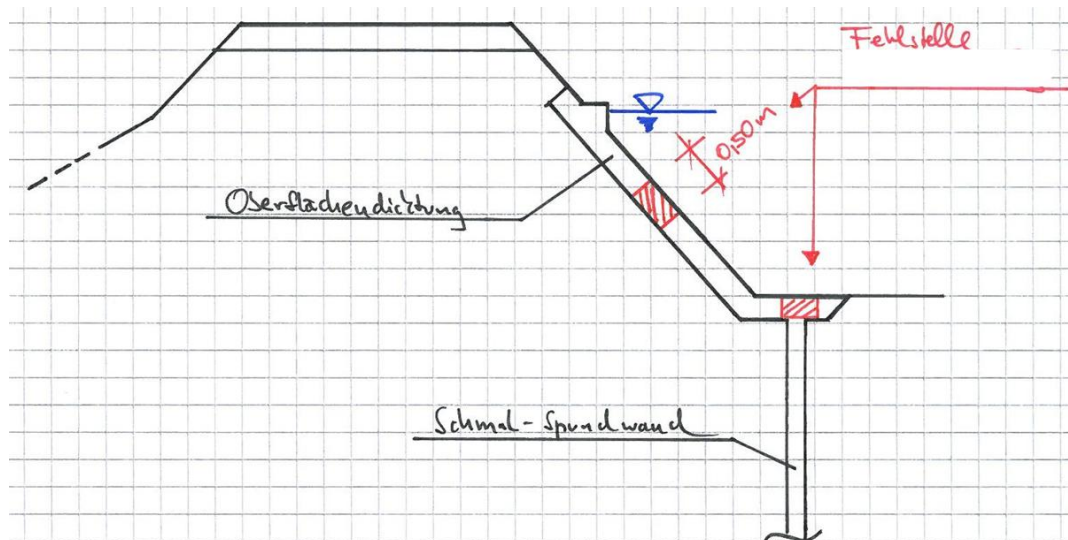


Abbildung 2. Schema zur Berücksichtigung von Fehlstellen in den Dichtungselementen

Die obere Fehlstelle wird i.d.R. auf halber Höhe zwischen Dammaufstandsfläche und Dichtungsoberkante angesetzt. Sollte sie in diesem Fall durch eine Anlandung teilweise oder gänzlich bedeckt sein, wird die Fehlstelle so nach oben verschoben, dass die Unterkante der Fehlstelle und die Oberkante der Anlandung auf gleicher Höhe liegen.

Für die eingeschränkte Wirkung der Drainage wird ein Ersatz- k_f -Wert gebildet, der dem Mittelwert der k_f -Werte aus Drainage und umgebenden Boden entspricht. Ein Ausfall des Entwässerungsgrabens wird nicht angesetzt.

4.2.7 Verkehrslasten

Gemäß [12] sind die Verkehrslasten auf die Annahme planmäßiger Lasten zu begrenzen. Außerplanmäßige Lasten (z.B. bei Katastropheneinsätzen) bleiben unberücksichtigt.

Die Verkehrslast wird auf dem Stauhaltungsdamm, dem Damm orografisch links des Umgehungsgerinnes und auf der Berme zwischen Stauhaltungsdamm und Umgehungsgerinne gemäß Abbildung 3 angesetzt.

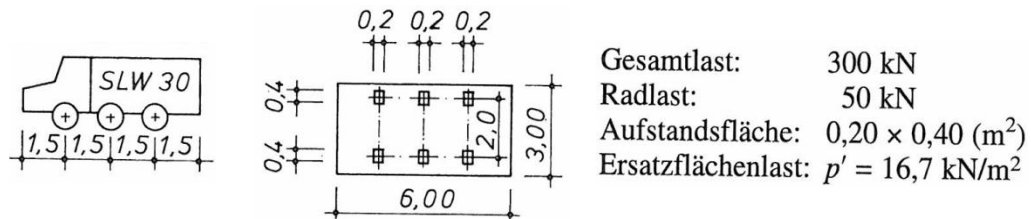


Abbildung 3 Verkehrslast für einen SLW 30 gemäß [16]

5 Abflüsse und Wasserspiegellagen

5.1 Bemessungswasserspiegel

Die für den Nachweis der Anlagensicherheit maßgebenden Hochwasserabflüsse sind das 100-jährliche Hochwasserereignis (HQ_{100} , BHQ_1) und das 1.000-jährliche Hochwasserereignis ($HQ_{1.000}$, BHQ_2).

Die gemäß Anlage 5 (Hydraulische Untersuchung) ermittelten Wasserspiegellagen sind im Längsschnitt der Anlage 4.2 dargestellt. Den Berechnungen liegen gemäß Vorgabe vom Landesamt für Umwelt folgende Abflüsse zu Grunde:

- HQ_{100} , BHQ_1 (n-a)-Fall = $6.280 \text{ m}^3/\text{s}$
- HQ_{1000} , BHQ_2 (n)-Fall = $8.020 \text{ m}^3/\text{s}$

5.1.1 Freibord

Die vorhandenen Freiborde in Bezug auf die Wasserspiegellagen BHW_1 (n-a)-Fall und BHW_2 (n)-Fall ist in Anlage 6.3.1 dargestellt. Der kleinste vorhandene Freibord am Staudamm Ering beträgt $1,53 \text{ m}$ im Lastfall BHQ_1 und $0,93 \text{ m}$ im Lastfall BHQ_2 .

Der Staudamm Ering weist damit gegenüber dem Bemessungswasserspiegel BHW_1 einen deutlich größeren Freibord als der i. d. R. geforderte Freibord von $1,0 \text{ m}$ auf. Auch im Lastfall BHQ_2 liegt der vorhandene Freibord deutlich über den gemäß LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 erforderlichen Mindestfreibord von $0,3 \text{ m}$. Eine Dammerhöhung ist somit nicht erforderlich.

5.1.2 Ermittlung des Wasserstandes im Lastfall „Kronenstau“

Im LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 [12] heißt es:

„Kronenstau“ entspricht einem Wasserstand bei Inanspruchnahme des hydraulisch erforderlichen Freibords f_1 oder f_2 aus Windstau und Wellenauflauf aber ohne konstruktive oder sonstige Zuschläge (z. B. Überschüttung von Dichtelementen, frostfreier Aufbau von Deich-kronenwegen, Wühltier- und Setzungszonen). Der Nachweis ist für beide Hochwasserbemessungsfälle zu führen, der ungünstigere Wert wird maßgebend ($Z_{H1} + f_1$ oder $Z_{H2} + f_2$).

Da Fließwellen sich auch „stehend“ d.h. vergleichbar mit einem konstant höheren Wasserspiegel ausbilden können, werden diese zusätzlich für die Ermittlung des Lastfalls Kronenstau herangezogen.

Der maßgebende Wasserstand für den Lastfall Kronenstau ergibt sich gem. LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 somit aus dem Maximum folgender Ansätze:

- $Z_{H1} + f_1$ (Windstau und Wellenauflauf nach DVWK-M 246)
- $Z_{H2} + f_2$ (Mindestfreibord = 0,3 m)
- max. ($Z_{H1}; Z_{H2}$) + Fließwellenhöhe

5.1.3 Windstau und Wellenauflauf

Gemäß DVWK-Merkblatt 246/1997 ergibt sich gemäß der Berechnung in Anlage 6.3.2 ein hydraulisch erforderlicher Freibord aus Windstau und Wellenauflauf von 1,27 m an den Stauanlagen der Staustufe Ering.

5.1.4 Mindestfreibord bei BHQ_2

Da gemäß Kap. 5.1.5 die zu erwartenden Fließwellen größer als 0,3 m sind, ist das gemäß LfU-Merkblatt Nr. 5.2/5 einzuhaltende Mindestfreibord von 0,3 m für die Ermittlung des Kronenstaus nicht relevant.

5.1.5 Fließwellenhöhe

Da Fließwellen sich auch „stehend“ vergleichbar mit einem konstant höheren Wasserspiegel ausbilden können, werden diese zur Ermittlung des Lastfalls Kronenstau herangezogen. Die Berechnung der Fließwellenhöhe zur Ermittlung des Wasserstandes im Lastfall „Kronenstau“ erfolgt nach [18] mit $v^2 / 2 \cdot g$. Zur Berücksichtigung eventuell zusätzlicher Windeinflüsse (Windstau) wird ein Zuschlag in Höhe von 20 % berücksichtigt.

Gemäß den hydraulischen Berechnungen (siehe Anlage 5) liegen die Fließgeschwindigkeiten im Lastfall BHQ_2 im Uferbereich (im Abstand bis ca. 10 Meter zu den Stauanlagen) zwischen 1 und 2,7 m/s.

Bei der Berechnung der Fließwellenhöhe wird eine Fließgeschwindigkeit von 2,7 m/s berücksichtigt. Somit ergibt sich eine Fließwellenhöhe unter Berücksichtigung des Windzuschlags von $1,2 \cdot 2,7^2 / 2 \cdot 9,81 = 0,45$ m.

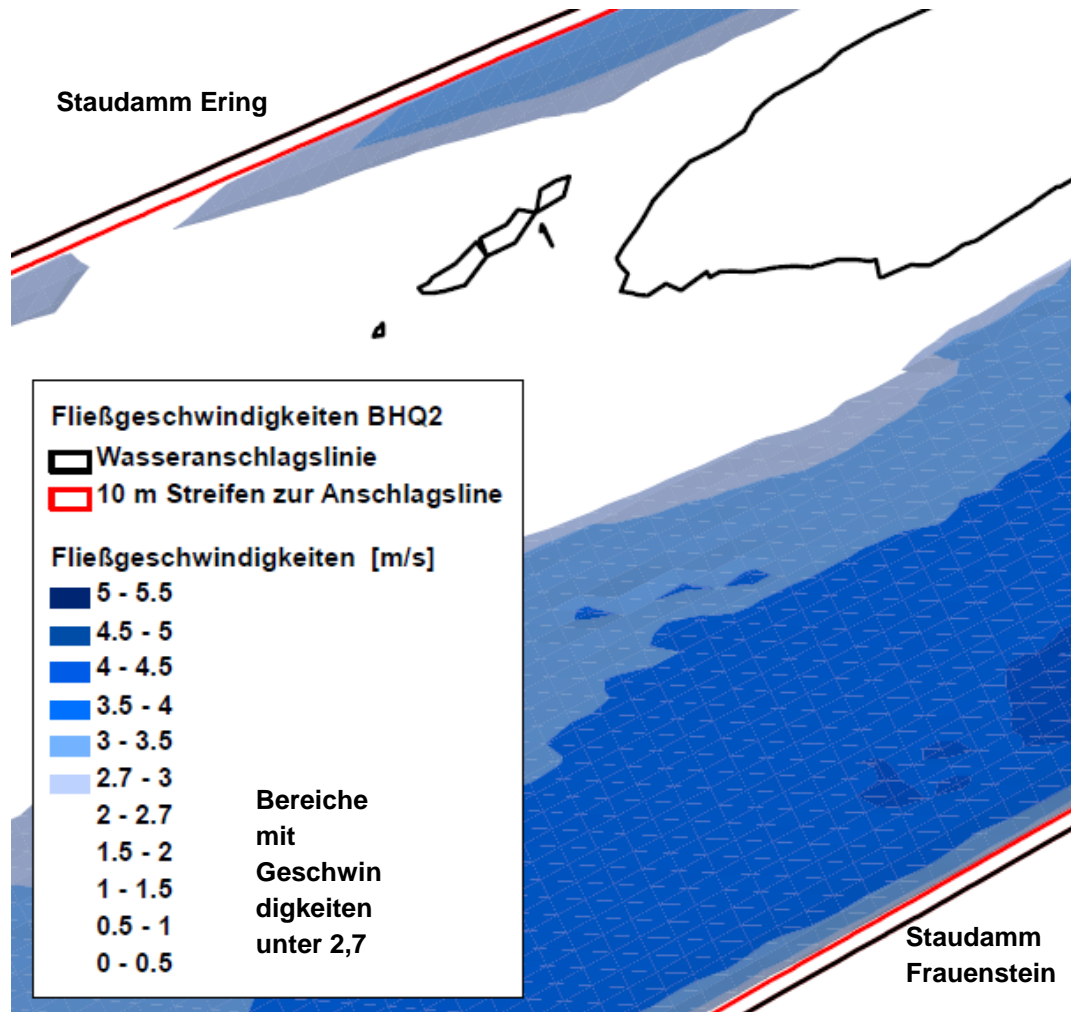


Abbildung 4 Fließgeschwindigkeiten [m/s] Dämme Ering und Frauenstein, BHQ₂

Zur Verifikation des gewählten Ansatzes, wird die Fließwellenhöhe mit Ergebnissen aus anderen Projekten verglichen.

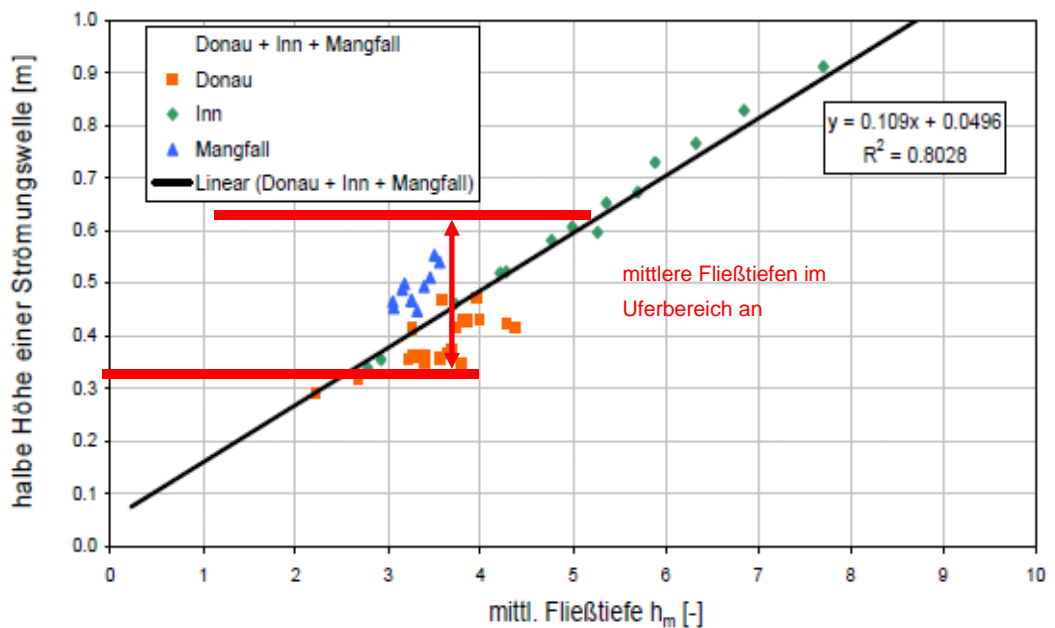


Abbildung 5 Auswertungen TU-München zu Fließwellen an bayerischen Flüssen

Die obenstehende Grafik stammt aus Auswertungen der TU-München (veröffentlicht unter [15]). Rot dargestellt, sind die mittleren Fließtiefen im Uferbereich der dabei untersuchten Stauanlagen. Der Ansatz einer halben Fließwellenhöhe von 0,45 m ist demnach angemessen. In Flussmitte ist natürlich mit wesentlich höheren Fließwellen zu rechnen. Diese sind aber nicht relevant für die Bestimmung des Kronenstaus an den Stauanlagen bzw. Deichen.

Der maßgebende Wasserspiegel für den Lastfall Kronenstau ergibt somit nach der Fließwellenbetrachtung mit $Z_{H2} + 0,45$ m.

5.1.6 Maßgender Wasserspiegel im Lastfall "Kronenstau"

Der je Stauanlage maßgebende Wasserspiegel im Lastfall "Kronenstau" wird in Anlage 6.3.1 als das Maximum folgender beider Ansätze berechnet:

- $ZH_1 + 1,27$ m (i.d.R. maßgebend)
- $ZH_2 + 0,45$ m

Der entsprechende Wasserspiegel ist im Längsschnitt der Anlage 3.2 dargestellt.

6 Durchsickerungsberechnungen

6.1 Allgemeines

Aus den beschriebenen Randbedingungen (Geometrie, Bodenkennwerte, Wasserspiegel etc.) wurden Modelle zur Berechnung der Porenwasserdrücke und Sickerlinien mittels FE-Methode erstellt. Die Berechnungen wurden mit dem Programm SS-Flow 2d Version 10.8 Fa. GGU mbH erstellt.

Ein Einströmen in das Modell findet sowohl über die Flusssohle, als auch über den Abschnitt am wasserseitigen Modellrand statt. Die Wahl dieser Randbedingung ist eine gute Näherung, um mit einem kompakten FE Modell den breiten Flussschlauch des Inns abzubilden.

Das Ausströmen findet im Sickergraben auf der Geländeoberkante (GOK) sowie am luftseitigen Modellrand auf GOK statt.

6.2 Ergebnisse Durchsickerungsberechnungen

Die Ergebnisse der Berechnungen finden sich in Anlage 6.4.

7 Nachweise

7.1 Nachweise gegen Böschungsbruch

7.1.1 Allgemeines

Die Nachweise gegen Böschungsbruch wurden mit dem Programm GGU-Stability Version 11.6 der Fa. GGU mbH geführt.

Die Nachweise befinden sich an Anlage 6.5.

7.1.2 Vorgehensweise der Berechnungen

Die Vorgehensweise der Berechnungen war wie folgt:

1. Berechnung der Sicherheit gegen Böschungsbruch in den für die Standsicherheit relevanten Lastfällen für den Bestand.
2. Konnte für alle Lastfälle ohne Anpassungsmaßnahmen der Nachweis gegen Böschungsbruch (Ausnutzung < 1) erbracht werden, wurden die Untersuchungen gegen Böschungsbruch abgeschlossen, und die weiteren Nachweise (Geohydraulik) geführt.
3. Konnte die Standsicherheit an mindestens einem Lastfall nicht nachgewiesen werden, wurden in Absprache mit dem Bauherren Anpassungsmaßnahmen festgelegt.
4. Anschließend wurden alle Lastfälle unter Berücksichtigung der gewählten Anpassungsmaßnahmen nachgewiesen.

7.1.3 Anpassungsmaßnahmen und Aufbau Umgehungsgerinne

Die gewählten und erforderlichen Anpassungsmaßnahmen sind in den Regelquerschnitten der Anlage 4.3 für die definierten Berechnungsabschnitte dargestellt und werden nachfolgend kurz beschrieben.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Standsicherheit gegen Böschungsbruch, muss das Sickerwasser besser abgeführt werden. Dies kann durch einen vergrößerten Drainagekörper und dem Austausch des Wegeaufbaus im Dammhinterweg durch ein durchlässigeres Material erreicht werden. Zusätzlich ist die Oberflächendichtung so zu verlängern, dass eine Überströmung im Lastfall Kronenstau ausgeschlossen werden kann.

Im Detail werden somit folgende Anpassungsmaßnahmen erforderlich:

RQ-SD-ER-1 Dammanfang (oberstrom) - Fkm 50.900

- Verlängerung der Oberflächendichtung auf Höhe Wasserspiegel "Kronenstau";
- Vergrößerung des Drainagekörpers am luftseitigen Böschungsfuß und unter dem Dammhinterweg mit durchlässigem Material.

RQ-SD-ER-2 Fkm 50,900 - 50,400

- Verlängerung der Oberflächendichtung auf Höhe Wasserspiegel "Kronenstau";
- Vergrößerung des Drainagekörpers am luftseitigen Böschungsfuß und unter dem Dammhinterweg mit durchlässigem Material;
- Erhöhung des Dammhinterweges als Auflastfilter um 30 cm.

RQ-SD-ER-3 Fkm 50,400 - 49,800

- Verlängerung der Oberflächendichtung auf Höhe Wasserspiegel "Kronenstau";
- Vergrößerung des Drainagekörpers am luftseitigen Böschungsfuß und unter dem Dammhinterweg mit durchlässigem Material.

RQ-SD-ER-UMG-1 bis 4 Fkm 49,800 bis 48,000

- Verlängerung der Oberflächendichtung auf Höhe Wasserspiegel "Kronenstau";
- Herstellung des Umgehungsgerinnes gemäß den planerischen Darstellungen in Anlage 2 und nachfolgender Beschreibung.

Gemäß der Darstellung in Abbildung 6 sind folgende Punkte bei der Herstellung des Umgehungsgerinnes zu berücksichtigen:

- Der Schüttkörper des Umgehungsgerinnes ist in den in Abbildung 6 rötlich gekennzeichneten Bereichen aus einem Kies mit einer Durchlässigkeit von mindestens $k_f = 10^{-3}$ m/s und einen Reibungswinkel von 35° aufzubauen. Dabei muss die Kiesschüttung an der orografisch linken Böschung zwischen Dkm 1+800

und 0+600 mindestens 4 m und zwischen 0+600 und 0+000 mindestens 3 m betragen.

- In den restlichen Bereichen des Schüttkörpers können die unterstrom der Staustufe ausgebauten Schwemmsande wieder eingebaut werden.
- Es ist auf der gesamten Länge des Umgehungsgerinnes in der Berme des Hinterweges am Stauhaltungsdamme ein Drainageleitung (DN200) einzubauen. Die Sohle der Leitung liegt zwischen Dkm 1+800 und 0+800 1 m unter dem im maximalen Wasserstand im Umgehungsgerinne bzw. 1,5 m unterhalb des Dammhinterweges. Unterstrom von Dkm 0+400 liegt die Sohle der Leitung 0,3 m über dem im maximalen Wasserstand im Umgehungsgerinne aber weiterhin 1,5 m unterhalb des Dammhinterweges. Dazwischen sind die Sohlage der Drainageleitung und der Höhenverlauf des Dammhinterweges geradlinig zu interpolieren.
- Die Dichtung des Umgehungsgerinnes wird an den Böschungen mit einer Neigung von 1: 2 hergestellt. Zur Vermeidung der Gefahr eines möglichen Aufschwimmens der Dichtung (im Lastfall 3.2) muss der zum Erosionsschutz vorgesehene Steinsatz gemäß Abbildung 6 abgeflacht und mit einer Neigung von 1: 2,5 hergestellt werden.
- Zusätzlich muss ebenfalls um der Gefahr eines Aufschwimmens entgegen zu wirken im Betrieb sichergestellt werden, dass die Dichtung permanent mit einer Kiesauflage von mindestens 60 cm abgedeckt ist.

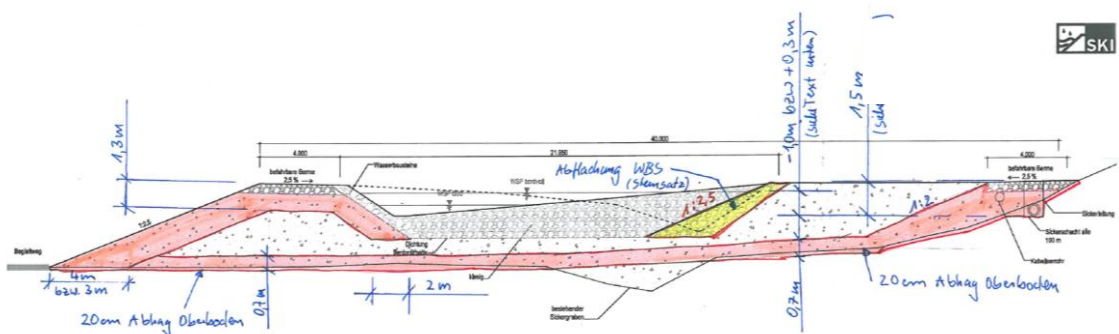


Abbildung 6 Randbedingungen für den Aufbau des Umgehungsgerinnes

7.1.4 Ergebnisse der Nachweise gegen Böschungsbruch

Mit den gewählten Anpassungsmaßnahmen konnte der Stauhaltungsdamme Ering zusammen mit dem Umgehungsgerinne in allen Lastfällen nachgewiesen werden (Ausnutzung < 1). Die Ergebnisse der einzelnen Berechnungen sind in der Übersicht in Anlage 6.5.3 dargestellt.

7.2 Nachweis gegen Gleiten

7.2.1 Berechnungsannahmen & Hinweise

Zur Berechnung der Gesamtstandsicherheit, wird eine Gleitfuge in der Damme- bzw. Deichaufstandsfläche betrachtet. In dieser Fuge wird der Nachweis gegen Gleiten geführt.

Der Nachweis wird für den Damm an dem Querschnitt mit der maximalen Dammhöhe und der steilsten Böschung aber ohne Berücksichtigung des Umgehungsgerinnes geführt. Liegen die maximale Dammhöhe und die steilste Böschung an unterschiedlichen Querschnitten vor, werden beide Querschnitte nachgewiesen.

Der Nachweis im LF 1.0 kann entfallen, da der Wasserspiegel im LF 1.1 bei identischen Teilsicherheitsbeiwerten höher ist.

Die Nachweise im Lastfall 3.2.1 und 3.2.2 können jeweils entfallen, da im Lastfall 3.1 bei identischen Teilsicherheitsbeiwerten höhere Wasserspiegel vorhanden sind.

Ein Wasserstand auf der Luftseite (Rückstau) wird bei allen Querschnitten auf der sicheren Seite liegend (wirkt rückhaltend) vernachlässigt.

Zur Ermittlung des Eigengewichts des Dammkörpers wird in Höhe des Wasserstands in der Donau eine horizontal verlaufende Grenze im Damm zwischen wassergesättigter und ungesättigter Zone definiert. Diese Annahme liegt auf der sicheren Seite, da die Sickerlinie in Realität in Richtung Luftseite abfällt, und damit ein geringerer Anteil des Dammes mit der Wichte unter Auftrieb gerechnet werden müsste. Das Eigengewicht wirkt sich günstig auf den Nachweis aus.

Der Einfluss der Untergrundabdichtung am wasserseitigen Böschungsfuß wird auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt. Zur Ermittlung der rückhaltenden Kräfte ist der Reibungswinkel in der Dammaufstandsfläche maßgebend.

7.2.2 Nachweisübersicht

Eine ausreichende Sicherheiten gegen Gleiten kann an allen Dämmen und Deichen in allen Lastfällen nachgewiesen werden (Ausnutzung < 1,0). Die Ergebnisse der einzelnen Berechnungen sind in Tabelle 4 dargestellt. Die einzelnen Nachweise finden sich in Anlage 6.6.

Tabelle 4 Ausnutzungen der Sicherheit gegen Gleiten

Querschnitt	Deich/ Damm	Lastfall		
		1.1	2.1	3.1
RQ-SD-ER-2	Damm	0,50	0,48	0,52

7.3 Nachweise der Sicherheit gegen Materialtransport

7.3.1 Allgemeines

In Anlehnung an [13] werden folgende Nachweise der Sicherheit gegen Materialtransport geführt:

- Suffosion innerhalb des Erdstoffs: Die Überprüfung erfolgt anhand eines hydraulischen Kriteriums.
- Erosionsgrundbruch: Die Überprüfung erfolgt anhand eines globalen, empirischen Kriteriums.
- Kontakterosion: Die Überprüfung erfolgt anhand eines Filterkriteriums.

7.3.2 Suffosion innerhalb eines Erdstoffes

7.3.2.1 Eingangswerte

Die Nachweise der Sicherheit gegen Suffosion innerhalb eines Erdstoffes werden an allen verfügbaren Sieblinien in den Schichten der Dammschüttung und den quartären Kiesen geführt. In bindigen Schichten wie z.B. der Auelehmschicht, braucht dieser Nachweis nicht geführt zu werden, da bindige Böden nicht suffosionsgefährdet sind.

Der vorhandene, maximale Gradient der zu untersuchenden Schicht (Dammschüttung bzw. Quartäre Kiese), wurde den Durchsickerungsberechnungen der Anlage 6.4 (aus allen Berechnungen der Anpassungsvarianten, für alle Lastfälle) entnommen. Dieser ermittelte Gradient wurde mit Teilsicherheitsbeiwerten des LF 1 für die Nachweise an allen Sieblinien der jeweiligen Schicht zugrunde gelegt.

Sofern die Sieblinien einer Bodenschicht je Damm in einem annähernd gleichen Bereich liegen, wurde für die Nachweisführung Mittelwerte der Massedurchgänge aus allen vorliegenden Sieblinien gebildet. Kommt es zu größeren Abweichungen zwischen den einzelnen Sieblinien wurden diese zusätzlich für die Nachweise herangezogen.

7.3.2.2 Nachweisübersicht

Eine ausreichende Sicherheit gegen Suffosion kann nachgewiesen werden. Die maximale Ausnutzung aller Proben liegt bei unter 10 %, wobei auf der sicheren Seite liegend ungünstige Parameter (hydraulische Gradienten aus dem Lastfall 3 mit Teilsicherheitsbeiwerte des Lastfalls 1) überlagert wurden.

Die Ergebnisse der einzelnen Berechnungen sind in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellt. Ein detaillierter Nachweis für die Dammschüttung ist in Anlage 6.7.1 dargestellt.

Nachweis: $\eta = (i_{\max, \text{vorh}, k} \times \gamma_{H, \text{vorh}}) / (i_{\text{krit}, k} / \gamma_{H, \text{krit}})$
 mit $\gamma_{H, \text{krit}} = 1,5$
 mit $\gamma_{H, \text{vorh}} = 1,35$ im Lastfall 1 (BS-P)

Tabelle 5 Ausnutzungen der Sicherheit gegen Suffosion in der Dammschüttung

Damm / Probe	U	d10	d17	d60	$i_{\max, \text{vorh}, k}$	$i_{\text{krit}, k}$	Nachweis
Ering	68,16	0,31	1,85	21,13	0,13	5,47	0,05

Tabelle 6 Ausnutzungen der Sicherheit gegen Suffosion im Quartär

Damm / Probe	U	d10	d17	d60	$i_{\max, \text{vorh}, k}$	$i_{\text{krit}, k}$	Nachweis
Ering	35,12	0,42	1,52	14,75	0,11	1,77	0,13

7.3.3 Nachweis der Sicherheit gegen Erosionsgrundbruch

7.3.3.1 Allgemeines

Der Nachweis erfolgt mit dem in [13] angegebenen Verfahren nach Chugaev. Für dieses Verfahren wird ein globaler, mittlerer hydraulischer Gradient ermittelt, und dieser mit den kritischen Gradienten der jeweiligen Schicht verglichen. Aufgrund der vorhandenen Untergrundabdichtungen, welche bei diesem Verfahren nicht berücksichtigt werden, liegt der Nachweis deutlich auf der sicheren Seite.

7.3.3.2 Ergebnisse

Eine ausreichende Sicherheit gegen Erosionsgrundbruch kann mit dem stark auf der sicheren Seite liegenden und überschlägigen Verfahren nach Chugaev nachgewiesen werden. Die maximale Ausnutzung aller Proben beträgt 90 % wobei die positiv gegen den Versagensfall wirkende Untergrundabdichtung nicht berücksichtigt wird. Die Ergebnisse der einzelnen Berechnungen sind in Tabelle 7 dargestellt. Alle Berechnungen finden sich in Anlage 6.7.

Tabelle 7 Ausnutzungen der Sicherheit gegen Erosionsgrundbruch

Querschnitt	Deich/ Damm	Lastfall		
		1.1	2.1	3.1
RQ-SD-ER-2	Damm	0,90	0,85	0,87

7.3.4 Nachweis der Sicherheit gegen Kontakterosion

Der Nachweis der Sicherheit gegen Kontakterosion erfolgt nach dem in [13] angegebenen Verfahren nach Witt. Der vorgeschlagene Nachweis basiert auf einem Kriterium zur Filterbemessung.

Die Nachweisführung erfolgt global über den gesamten Stauhaltungsdamm. Dies bedeutet, dass aus allen vorhandenen Sieblinien der jeweils ungünstigsten Parameter für den Nachweis verwendet wird. Der Nachweis liegt somit auf der "sicheren Seite".

Aus den vorliegenden Sieblinien der vorhandenen Böden, werden die für den Nachweis relevanten Parameter für den Basiserdstoff (hier: Auelehmschicht) und Filterstoff (hier: Dammschüttung/Quartär) ermittelt. Für den Basiserdstoff liegen insgesamt 3 und für den Filter 12 Sieblinien vor.

Tabelle 8 Tabelle 5 aus [13]

Ungleichförmigkeit des Filters			
	$U_F \leq 3$	$3 < U_F \leq 6$	$U_F > 6$
$d_{5F} < 0,5 \text{ mm}$	$\frac{\max d_{30F}}{\min d_{95B}} \leq 2,5$	$\frac{\max d_{10F}}{\min d_{95B}} \leq 2,5$	$\frac{\max d_{5F}}{\min d_{95B}} \leq 2,5$
$d_{5F} \geq 0,5 \text{ mm}$	$\frac{\max d_{30F}}{\min d_{85B}} \leq 2,5$	$\frac{\max d_{10F}}{\min d_{85B}} \leq 2,5$	$\frac{\max d_{5F}}{\min d_{85B}} \leq 2,5$

Für den Filterstoff (hier: Dammschüttung/Quartär) ist in allen Proben die Ungleichförmigkeitszahl $U_F > 6$. Die Korngröße des Filterstoffes bei einem Siebdurchgang von 5 % liegt in den 12 Proben unter 0,5 mm. Um die Filterstabilität der beiden Schichten nachzuweisen, muss nach Tabelle 8 folgendes Kriterium erfüllt werden:

$$d_{5F} < 0,5 \text{ mm}$$

$$\frac{\max d_{5F}}{\min d_{95B}} \leq 2,5$$

Aus den Sieblinien wurde ermittelt:

$$\max d_{5F} \approx 0,2 \text{ (ER-2, BS3/E1)}$$

$$\min d_{95B} = 0,18 \text{ (ER, 13003-29)}$$

Das o.g. Kriterium ist demnach mit $0,2 / 0,18 = 1,11 \leq 2,5$ für alle Sieblinien des Filters erfüllt.

7.4 Nachweis gegen Aufschwimmen der Deckschicht

7.4.1 Allgemeines

Unterhalb der Damm- bzw. der Deichaufstandsfläche liegt i.d.R. eine bindige Auelehmschicht mit variierender Schichtstärke bzw. Tiefe vor. Im Hochwasserfall muss nachgewiesen werden, dass der im Grundwasserleiter anstehende hydrostatische Druck nicht zu einem sog. „Aufschwimmen“ der bindigen Deckschicht führt. Der Nachweis wird nach im Grenzzustand GZ 1A geführt.

Der vorhandene hydrostatische Druck unterhalb der bindigen Schicht wurde den Durchsickerungsberechnungen entnommen.

7.4.2 Ergebnisse

Die Nachweise finden sich in Anlage 6.8. Eine Übersicht der Ausnutzungen wird in der folgenden Tabelle gegeben.

Der Nachweis im Lastfall 1.0 kann bei den Dämmen entfallen, da im Lastfall 1.1 bei gleichen Teilsicherheitsbeiwerten ein höherer Wasserstand vorhanden ist.

Tabelle 9 Ausnutzungen der Sicherheit gegen Aufschwimmen der Deckschicht

Querschnitt	Deich/ Damm	Lastfall			
		1.1	2.1	2.1i	3.1
RQ-SD-ER-2	Damm	0,53	0,53	0,73	0,56

7.5 Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

7.5.1 Allgemeines

Eine vertikal nach oben gerichtete Strömung kann zu einem hydraulischen Grundbruch führen. Am Stauhaltungsdamm Ering ist unterhalb der Dammaufstandsfläche eine bindige Deckschicht vorhanden. Gem. [14] muss der Nachweis auch in bindigen Schichten geführt werden, außer es kann eine ausreichende Kohäsion angenommen werden. Dazu muss mindestens „steifer, toniger, bindiger“ Boden anstehen. Gemäß [9] (Anlage 7) liegt die Auelehmschicht in verschiedenen Konsistenzen weich bis steif vor.

Für die Nachweise gegen hydraulischen Grundbruch sind der hydraulische Gradient in der zu untersuchenden Schicht und die Wichte unter Auftrieb maßgebend. Ausgehend von folgendem Nachweis wird für jeden Lastfall unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte¹ ein kritischer hydraulischer Gradient ermittelt, bei dem der Nachweis gerade noch erfüllt wird ($\eta = 1,0$), und dieser dann mit dem vorhandenen Gradient „ i_{Vorh} “ aus den Durchsickerungsberechnungen verglichen.

$$S'_k \cdot \gamma_H / G'_k \cdot \gamma_{G,\text{stb}} \leq 1,0 \quad (S'_k = i_{\text{Vorh}} \cdot \gamma_W)$$

mit

- S'_k Charakteristische Strömungskraft auf den durchströmten Bodenkörper
- γ_H Der Teilsicherheitsbeiwert für die Strömungskraft bei günstigem bzw. ungünstigem Untergrund im Grenzzustand GZ 1A
- G'_k Die charakteristische Eigenlast des durchströmten Bodenkörpers unter Auftrieb.
- $\gamma_{G,\text{stb}}$ Teilsicherheitsbeiwert für günstige ständige Einwirkungen im Grenzzustand GZ 1A nach DIN 1054
- i_{Vorh} Hydraulischer Gradient, vorhanden
- γ_W Wichte des Wassers

i_{Krit} ergibt sich somit aus: $S'_k \cdot \gamma_H / G'_k \cdot \gamma_{G,\text{stb}} = 1,0 \rightarrow i = (G'_k \cdot \gamma_{G,\text{stb}}) / (\gamma_H \cdot \gamma_W)$. Da $\gamma_{G,\text{stb}}$ in allen Lastfällen = 0,95 und $\gamma_W = 10 \text{ kN/m}^3$ ist, ergibt sich: $i_{\text{Krit}} = (\gamma'_B / \gamma_H) \cdot 0,095$.

Für die Auelehmschicht wird konstant eine Wichte $\gamma_B' = 10 \text{ kN/m}^3$ angesetzt.

Die Ergebnisse der Nachweise finden sich in folgender Tabelle. Es wurde der ermittelte kritische Gradient mit den vorhandenen Gradienten verglichen.

Tabelle 10 Ausnutzungen der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

Querschnitt	Lastfall							
	1.0	1.1	2.1	2.1a	2.1b	3.1	3.2.1	3.2.2
SD-ER-2	b)	d)	d)	c)	c)	d)	0,34>0,79	d)

a) Deich, kein Lastfall 1.1 /LF2.1

b) Damm, Wasserspiegel bei LF 1.1 höher als bei LF 1.0 bei gleichen Teilsicherheitswerten

c) Damm, kein LF 2.1a/b

d) keine nach oben gerichtete Strömung in Auelehmschicht bzw. sehr kleiner hydraulischer Gradient

e) Lastfall im Regelquerschnitt nicht vorhanden

8 Zusammenfassung

Aus den festgelegten Randbedingungen wurden Berechnungsquerschnitte gebildet. Nach der Durchführung der Nachweise für den Istzustand wurden unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher und wirtschaftlicher Aspekte Anpassungsmaßnahmen festgelegt. Mit Berücksichtigung der erforderlichen Anpassungsmaßnahmen und des geplanten

¹ Die Teilsicherheitsbeiwerte werden gem. [1] bei diesem Nachweis unterschieden zwischen „günstiger“ und „ungünstiger“ Baugrund. Für locker gelagerten Sand / Feinsand / Schluff bzw. weichen bindigen Boden, müssen die Teilsicherheitsbeiwerte für „ungünstigen“ Untergrund angesetzt werden. Da teilweise weiche Böden vorhanden sind, wird auf der sicheren Seite liegend für den Nachweis der „ungünstige“ Untergrund in Ansatz gebracht.

Umgehungsgerinnes kann die normgerechte Standsicherheit für den Stauhaltungsdamm
Ering statisch nachgewiesen werden.

Die erforderlichen Anpassungsmaßnahmen sind ausführlich im Kapitel 7.1.3 und im
Erläuterungsbericht (Anlage 1) beschrieben bzw. in den Planunterlagen dargestellt.