

Deckblatt



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Blatt: 1
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	RZ	0003	00	Stand: 13.12.2022

Titel der Unterlage:
EINSCHÄTZUNG DER GEFÄHRDUNG DURCH STARKREGEN AM STANDORT ASSE

Ersteller/Unterschrift:



Prüfer/Unterschrift:



Stempelfeld:

UVST: 25.01.2023



Datum und Unterschrift

bergrechtlich
verantwortliche Person:
09. FEB. 2023



atomrechtlich
verantwortliche Person:
09. FEB. 2023



Bereichsleitung:
09. FEB. 2023



Freigabe zur Anwendung:
09. FEB. 2023



Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der BGE.



PT038628



BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

Stand: 13.12.2022

Blatt: 1

DECKBLATT

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	24000000				EB	BW	0001	00

Kurztitel der Unterlage:

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse

Ersteller / Unterschrift:



Prüfer / Unterschrift:



Titel der Unterlage:

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse

Freigabevermerk:

Projekt	PSP Element	Funktion/Thema	Komponente		
9A	24000000				
Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	
	EB	BW	0001	00	

Freigabedurchlauf

Fachbereich:

Datum:

20. JAN. 2023

Name:



Unterschrift

Stabsstelle Qualitätssicherung:

Datum:

20. JAN. 2023

Name:



Unterschrift

Endfreigabe:

Datum:

9.2.2023

Name:



Unterschrift

REVISIONSBLATT

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9A	24000000				EB	BW	0001	00

Kurztitel der Unterlage:

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse

Rev	Revisionsstand Datum	Verantwortl. Stelle	revidierte Blätter	Kat. *)	Erläuterung der Revision
00	13.12.2022	ASE-RH.4		-	Ersterstellung

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur, Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung, Kategorie S = substantielle Änderung. Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse	Blatt: 3
---	----------

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Veranlassung	9
2	Projektzielsetzung und Grundlagen	9
3	Standorteigenschaften, Einzugsgebiete und Erweiterungsplanung zur Rückholung	10
4	Methodik zur Ermittlung der Starkregengefährdung des Standorts Asse	14
4.1	Datengrundlage und -stand	14
4.2	Definition der Bemessungsniederschläge	15
4.3	Niederschlags-Abfluss-Modell	18
4.4	Hydrodynamische Überflutungssimulation	22
5	Unsicherheiten	26
5.1	Definition der Bemessungsniederschläge	26
5.2	Niederschlags-Abfluss-Modell	26
5.3	Hydrodynamische Überflutungssimulation	26
6	Auswertung der Überflutungsgefährdung durch Starkregen am Standort Asse	27
6.1	Vergleich der maßgeblichen Dauerstufen D5 und D60	27
6.2	Auswertung der Überflutungsgefährdung.....	29
6.2.1	Plangebiet der Erweiterung des Betriebsgeländes (A+Z, Schacht Asse 5, Zuwegung).....	29
6.2.2	Bestandsanlagen Asse II	33
6.2.3	Weitere assoziierte Gefährdungen für die Erweiterungsplanung (Erosion, Grundwasser).....	34
7	Empfehlungen zur Verhinderung und Reduzierung von Schäden durch Starkregen am Standort und in der weiteren Vorhabenplanung	35
8	Zusammenfassung.....	37
9	Literaturverzeichnis	38

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Verwendete Datengrundlagen für die Gefährdungsanalyse durch Starkregen</i>	<i>15</i>
<i>Tabelle 2: Für die Untersuchung der Starkregengefährdung verwendete Szenarien der Bemessungsniederschläge. Alle Bemessungsniederschläge enthalten eine 20%-Erhöhung, um Unsicherheit und Klimawandel zu berücksichtigen</i>	<i>18</i>
<i>Tabelle 3: CN-Werte in Abhängigkeit der Landnutzung und der hydraulischen Leitfähigkeit der Böden</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 4: Verwendete Rauheitsbeiwerte nach Gauckler-Manning-Strickler (k_{st})</i>	<i>25</i>
<i>Tabelle 5: maximale Überflutungstiefen ($\dot{U}T$) und Fließgeschwindigkeiten (v) für die Punkte in Abbildung 14.....</i>	<i>30</i>

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Bodentypen (oben) und derzeitige Landnutzung (unten) um das Betriebsgelände der Schachtanlage Asse II</i>	<i>11</i>
<i>Abbildung 2: Oberirdisches hydrologisches Einzugsgebiet (grün) für das zukünftige Betriebsgelände Schachachtanlage Asse II mit topographischen Fließpfaden (blau) und dem Bearbeitungsgebiet (rot).....</i>	<i>12</i>

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse	Blatt: 4
---	----------

<i>Abbildung 3: Darstellung des zukünftigen Betriebsgeländes Schachtanlage Asse II</i>	13
<i>Abbildung 4: Landnutzung gemäß Planung für das zukünftige Betriebsgelände Schachtanlage Asse II - Anpassung für die Modellierung</i>	14
<i>Abbildung 5: KOSTRA Zellen (schwarze Linien) und Bearbeitungsgebiet (rot umkreist) für das 100-jährliche Regenerereignis, Dauerstufe 60 min</i>	16
<i>Abbildung 6: Extrapolation der KOSTRA-Niederschlagsstatistik (KOSTRA 2010R Zelle 40041) mit einem Klima- und Unsicherheitsfaktor von 1,2 für D5 und D60</i>	17
<i>Abbildung 7: Beispiel der mittenbetonten Niederschlagsverteilung für KOSTRA-Zelle 40041, D = 60 min, T_a = 10.000 Jahre plus Zuschlag von 20 % (Klima- und Unsicherheitsfaktor)</i>	18
<i>Abbildung 8: Einteilung der hydraulischen Leitfähigkeit der Böden in Bodenklassen für die Auswahl der CN-Werte (oben) und flächige Verteilung der resultierenden CN-Werte (unten)</i>	20
<i>Abbildung 9: Summe des Oberflächenabflusses bzw. Effektivniederschlages für das Szenario 3 (T_a = 10.000 Jahre, D = 60 min)</i>	22
<i>Abbildung 10: Übersicht über das erstellte Modellnetz des zukünftigen Betriebsgeländes der Schachtanlage Asse II</i>	24
<i>Abbildung 11: Definierte Rauheitsklassen auf Basis der Landnutzung. Die Landnutzung „disable“ bezeichnet „nicht durchströmbare“ Flächen (in diesem Fall Gebäude)</i>	25
<i>Abbildung 12: Differenz der Überflutungstiefen bei den Dauerstufen D = 5 min und D = 60 min (T_a = 1.000 Jahre)</i>	27
<i>Abbildung 13: Oben, Abfluss-Durchgangskurven für den Kontrollquerschnitt 9 (A+Z) und Unten, Kontrollquerschnitt 19 auf der Straße nach Remlingen</i>	28
<i>Abbildung 14: Überflutungssituation für das A+Z bei T_a = 10.000 Jahre und D = 60 min</i>	30
<i>Abbildung 15: Überflutungssituation für die Zuwegung und Energieversorgung bei T_a = 10.000 Jahre und D = 60 min. In orange ist der grobe Verlauf der Transporttrasse eingezeichnet, der schwarze Pfeil zeigt den Spitzenabfluss in das Gebiet</i>	31
<i>Abbildung 16: Überflutungssituation um den Schacht Asse 5 bei T_a = 10.000 Jahre und D = 60 min. Der schwarze Pfeil zeigt die Fließrichtung</i>	32
<i>Abbildung 17: Überflutungssituation auf der Straße nach Remlingen bei T_a = 10.000 Jahre und D = 60 min mit der Lage der Kontrollquerschnitte (KQ, schwarze Linien) und generelle Fließrichtung (schwarze Pfeile)</i>	33
<i>Abbildung 18: Überflutungssituation der Bestandsanlagen Asse II bei T_a = 10.000 Jahre und D = 60 min. Die schwarzen Pfeile zeigen die Fließrichtung</i>	34
<i>Abbildung 19: Langjähriger mittlerer Bodenabtrag durch Wasser, MoRE-DE Toolbox, https://stoffeintraege-more.de/viewer, abgerufen am 18.11.2022. In blau die groben Umrisse des bestehenden Betriebsgelände Schachtanlage Asse II und in schwarz die des zukünftigen Betriebsgeländes Schachtanlage Asse II. Der Maßstabsbalken links unten im Bild entspricht 200 m. Der Dezimaltrenner der Legende ist in dieser Abbildung ein Punkt.</i>	35

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 5

Anzahl der Blätter dieses Dokumentes:

64

Verzeichnis der Anhänge

- Anhang 1 Überflutungsflächen 1000-jährlicher Starkregen Differenz Lastfall Dauerstufe 60 min vs. Dauerstufe 5 min
- Anhang 2 Maximale Wassertiefen 1000-jährlicher Starkregen Differenz Lastfall Dauerstufe 60 min vs. Dauerstufe 5 min
- Maximale Fließgeschwindigkeiten 1000-jährlicher Starkregen Differenz Lastfall Dauerstufe 60 min vs. Dauerstufe 5 min
- Anhang 3 Lageplan Kontrollquerschnitte
- Anhang 4 Ganglinien Kontrollquerschnitte
- Anhang 5 Maximale Überflutungstiefen Lastfall T = 1000 a, D = 5 min
- Maximale Überflutungstiefen Lastfall T = 1000 a, D = 60 min
- Maximale Überflutungstiefen Lastfall T = 10000 a, D = 60 min
- Anhang 6 Maximale Fließgeschwindigkeiten Lastfall T = 1000 a, D = 5 min
- Maximale Fließgeschwindigkeiten Lastfall T = 1000 a, D = 60 min
- Maximale Fließgeschwindigkeiten Lastfall T = 10000 a, D = 60 min

Verzeichnis der Anlagen

- Anlage 1 Anlage 1 zur Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse
KZL: 9A/24000000/EB/ZD/0001/00
- Beschreibung: DVD mit den sechs Animationen der Überflutungssimulation (drei Szenarien; jeweils Übersichts- und Detailansicht)

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 6

Abkürzungsverzeichnis

A+Z	Abfallbehandlungsanlage und Zwischenlager
AFL	Anlage zur Annahme, Zwischenspeicherung und Förderung von Lösungen
AtG	Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz)
DGM	Digitales Geländemodell
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DWD	Deutscher Wetterdienst
ESK	Entsorgungskommission
EVA	Einwirkung von außen
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und -auswertung
KQ	Kontrollquerschnitt
LAW	schwachradioaktive Abfälle, engl. low active waste
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen
LGLN	Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen
MAW	mittelradioaktive Abfälle, engl. medium active waste
N-A	Niederschlag-Abfluss
SCS-CN	Soil Conservation Service – Curve Number
StrlSchG	Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Stahlschutzgesetz)
TIN	Trianguliertes Modellnetz
TRAS	Technische Regel für Anlagensicherheit
ÜT	Überflutungstiefe

Symbolverzeichnis

CN	Curve Number [-]
D	Dauerstufe [min]
k_f	gesättigte hydraulische Leitfähigkeit [mm/h]
k_{st}	Rauheitsbeiwert nach Gauckler-Manning-Strickler [$m^{1/3}/s$]

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 7

T_a Wiederkehrperiode / Jährlichkeit [Jahre]

v Fließgeschwindigkeit [m/s]

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 8

Freigabeblatt



Auftraggeber (AG): Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
Eschenstraße 55
31224 Peine

Auftragnehmer (AN): 

Bearbeiter (AN): 

Bestell-Nr. (AG): 45212980
Auftrag-Nr. (AN): 273566

, 13.12.2022



Geschäftsbereichsleiter Wasser



Projektleiter

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 9

1 Einleitung und Veranlassung

Die Schachanlage Asse II bei Wolfenbüttel wurde von 1909 bis 1964 für die Gewinnung von Kali- und Steinsalz genutzt. Im Zeitraum von 1967 bis 1978 wurden schwach- (LAW) und mittel- (MAW) radioaktive Abfälle in der Schachanlage Asse II eingelagert. Insgesamt wurden rund 124 500 Gebinde mit schwach- und mittelradioaktiven Abfällen auf der 725-m- und 750-m-Sohle sowie etwa 1 300 Gebinde mit mittelradioaktiven Abfällen auf der 511-m-Sohle eingelagert. Im Jahr 2008 wurde entschieden, dass die Schachanlage Asse II verfahrensrechtlich wie ein Endlager für radioaktive Abfälle zu behandeln ist.

Am 20.04.2013 wurde im Bundestag das Gesetz zur Beschleunigung der Rückholung radioaktiver Abfälle und der Stilllegung der Schachanlage Asse II beschlossen. Demzufolge ist nach § 57b Abs. 2 AtG die Schachanlage Asse II unverzüglich stillzulegen. Vor der Stilllegung soll die Rückholung der Abfälle erfolgen. Die Rückholung und damit auch deren Planung ist somit gesetzlicher Auftrag. Die Rückholung ist abzubrechen, wenn deren Durchführung für die Bevölkerung und die Beschäftigten aus radiologischen und sonstigen sicherheitsrelevanten Gründen nicht vertretbar ist.

Zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II soll ein weiterer Schacht (Schacht Asse 5) östlich des bestehenden Schachts Asse 2 errichtet werden. Am Schachansatzpunkt errichtet werden sollen außerdem Förderturm, Schachthalle, Umladehalle und Abwetterbauwerk. Zur Behandlung und Lagerung der rückgeholt radioaktiven Abfälle, bis ein Endlager gefunden ist, soll eine Abfallbehandlungsanlage und ein Zwischenlager (A+Z; in einem Gebäudekomplex) in unmittelbarer Nähe der Schachanlage Asse II dienen. Die übertägigen Anlagen sollen über Straßen und/oder Schienen miteinander verbunden werden. Die Straße zwischen der Schachanlage Asse II und der Gemeinde Remlingen soll erweitert werden.

Für das gesetzlich vorgegebene und damit verbindliche Vorhaben zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II stehen umfangreiche und sehr komplexe Genehmigungsverfahren an. Der mögliche Einfluss von Starkregen auf die Schachanlage Asse II und ihre Tagesanlagen muss hinsichtlich der sicherheits- und strahlenschutztechnischen Auswirkungen bewertet werden.

Die radiologischen Schutzziele umfassen die Vermeidung jeder unnötigen Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt, die Geringhaltung jeder Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt auch unterhalb der festgesetzten Grenzwerte sowie die Einhaltung von Dosisgrenzwerten und Störfallplanungswerten (§§ 6, 8, 9 StrlSchG). Die technische Auslegung und der Betrieb des zukünftigen Betriebsgeländes Schachanlage Asse II müssen diesen radiologischen Schutzziele entsprechen. Daraus leiten sich für den Schutz gegen Hochwasser die folgenden Ziele ab: die sichere Einhaltung der Unterkritikalität, den sicheren Einschluss der radioaktiven Stoffe sowie die Vermeidung unnötiger Strahlenexposition, Begrenzung und Kontrolle der Strahlenexposition des Betriebspersonals und der Bevölkerung (vgl. ESK-Leitlinie [1]).

2 Projektzielsetzung und Grundlagen

Ziel der hier beschriebenen Untersuchung ist die Bewertung der Starkregengefährdung, insbesondere für atomrechtlich relevante Anlagen, am Standort Asse bei extremen Starkregenereignissen (Wiederkehrperiode >100 Jahre). Die Ermittlung der Starkregengefährdung erfolgt mittels einer hydrodynamischen Überflutungssimulation unter der Annahme verschiedener Niederschlagsszenarien.

Die Gefährdungsanalyse dient als Basis für die Störfallanalyse im Hinblick auf Entwicklungen von außen (EVA). Diese wiederum ist relevant für das atomrechtliche Genehmigungsverfahren zur Rückholung und den damit zu erstellenden Sicherheitsbericht. Die Erkenntnisse sollen zudem im weiteren Planungsprozess der Anlagen verwendet werden. Betrachtungsgegenstand ist daher

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 10

primär der aktuelle Planungsstand zur Erweiterung des Betriebsgeländes um den neuen Schacht Asse 5 und die dazugehörigen übertägigen Anlagen sowie die Abfallbehandlungsanlage und das Zwischenlager (A+Z). Betrachtet werden aber auch alle Bestandsgebäude und -anlagen. Die Gesamtheit des Bestands-Betriebsgeländes Schachanlage Asse II und der Erweiterungen des Betriebsgeländes wird im Folgenden als zukünftiges Betriebsgelände Schachanlage Asse II bezeichnet.

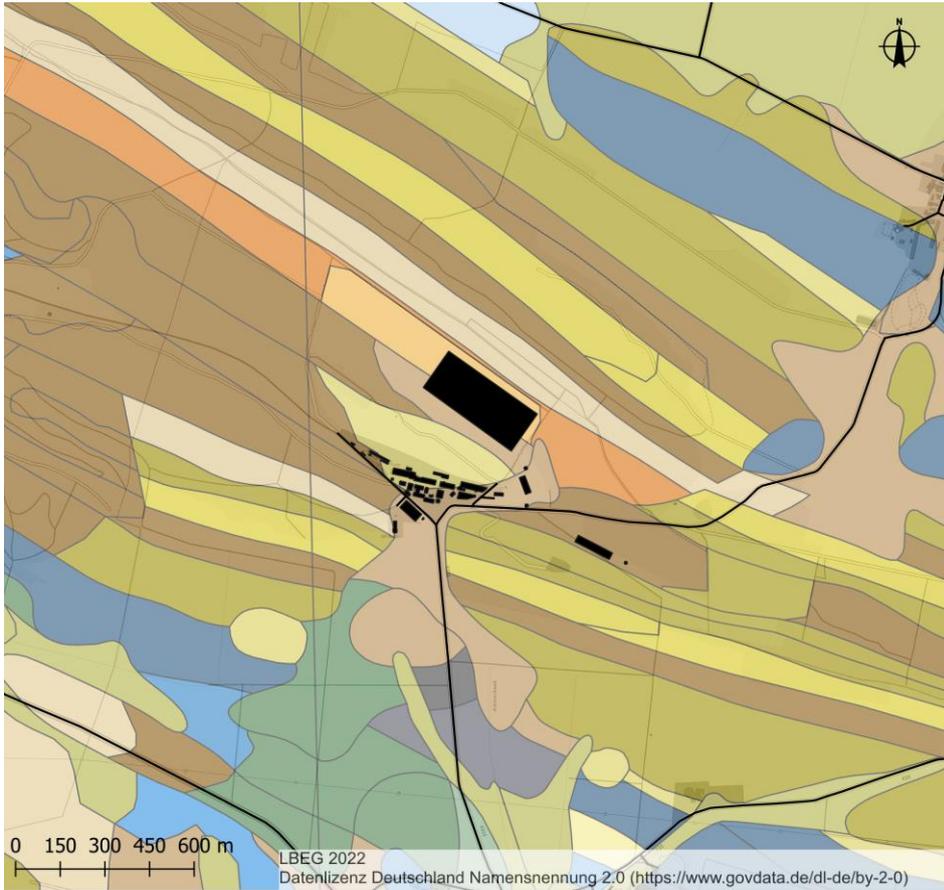
Der verwendete Planungsstand entspricht der Masterplanung des zukünftigen Betriebsgeländes vom 05.07.2022. Änderungen an der Planung nach dem 05.07.2022 werden nicht in die hier beschriebene Modellierung einbezogen. Anpassungen an der Planung sind in Zukunft aber zu erwarten, weshalb qualitativ eingeschätzt wird, wie sich diese Anpassungen auf die Starkregengefährdung auswirken könnten.

Die Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen folgt weitestgehend der Empfehlung der Entsorgungskommission (ESK) vom 06.12.2018 zum Schutz von Endlagern gegen Hochwasser [1] und weiterhin den aktuell gültigen Regelwerken zu der Thematik, wie der TRAS 310 [2] oder den existierenden Leitfäden zum Starkregenrisikomanagement der Bundesländer [3][4][5]. Abweichend zur ESK-Empfehlung wurde kein regionales Klimamodell erstellt und mit einem Klimaänderungs- und Unsicherheitsfaktor von 1,2 gearbeitet. Zudem wurde die Überflutungsgefährdung durch Starkregen der Wiederkehrperiode 10.000 Jahre lediglich für die Dauerstufe 60 min berechnet, welche sich in einer Vorbetrachtung jedoch als maßgebende Dauerstufe herausgestellt hat (siehe Kapitel 6.1). Auch wurde keine Sensitivitätsanalyse der Extrapolation der Bemessungsniederschläge oder der Modellparameter durchgeführt.

3 Standorteigenschaften, Einzugsgebiete und Erweiterungsplanung zur Rückholung

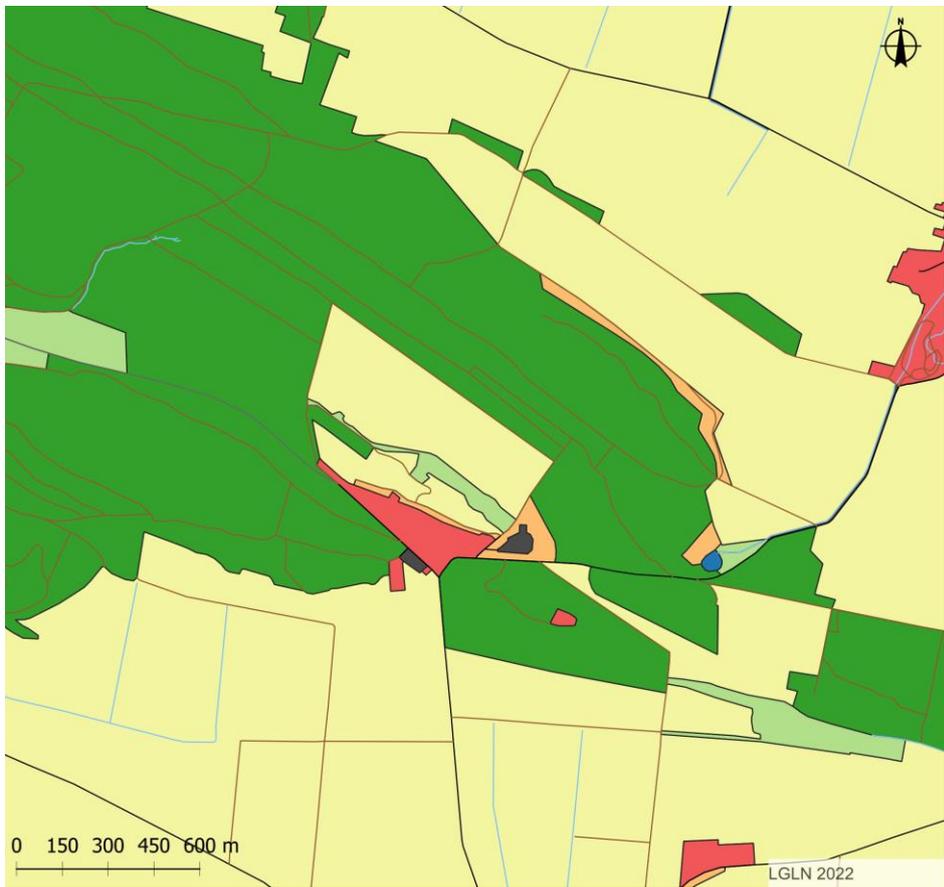
Das Betriebsgelände befindet sich im Landkreis Wolfenbüttel auf der Gemarkung der Gemeinde Remlingen-Semmenstedt. Es liegt auf dem Höhenzug Asse, einem Sattel aus überwiegend Trias-Schichtstufen und den entsprechenden Gesteinen. Durch diese geologische Variabilität existiert hier auch eine sehr diverse Bodenbildung und damit verbundene Infiltrationseigenschaften, da sowohl siliziklastische, sulfatische als auch karbonatische Gesteine oberflächennah vorliegen (Abbildung 1). Die Landnutzung um das Betriebsgelände der Schachanlage Asse II ist vorwiegend Wald, aber auch Grasland und landwirtschaftliche Nutzung (Getreideanbau) ist nördlich der Bestandsanlagen vorzufinden (Abbildung 1).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 11



Legende

- zukünftige Bebauungsstruktur Asse
- Straße
- Bodentyp nach BK50**
- Gley
- Pseudogley
- Pseudogley-Braunerde
- Pseudogley-Parabraunerde
- Pseudogley-Pelosol-Schwarzerde
- Pseudogley-Schwarzerde-Parabraunerde
- Pseudogley-Schwarzerde
- Kolluvisol
- Kolluvisol unterlagert von Schwarzerde
- Braunerde
- Parabraunerde
- Parabraunerde-Pseudogley
- Terra fusca-Parabraunerde
- Pelosol
- Pelosol-Braunerde
- Regosol
- Rendzina
- Pararendzina
- Schwarzerde-Parabraunerde
- Schwarzerde-Pseudogley



Legende

- lineare Landnutzungen**
- Fahrwegachse
- Straßenachse
- Bahnstrecke
- Gewässerachse
- flächige Landnutzungen**
- Wald
- Gehölz
- stehendes Gewässer
- Vegetationslose Fläche
- Landwirtschaft
- Straßenverkehr
- Industrie-, Gewerbe-, Siedlungsfläche

KQM_Textblatt_REV11_Stand-2018-04-16

Abbildung 1: Bodentypen (oben) und derzeitige Landnutzung (unten) um das Betriebsgelände der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 12

In der hier durchgeführten Starkregenuntersuchung werden ausgehend von der Topographie alle Gebiete betrachtet, von denen Wasser während Starkregen zum zukünftigen Betriebsgelände der Schachtanlage Asse II zuströmt (hydrologisches Einzugsgebiet). Das oberflächliche Einzugsgebiet für das zukünftige Betriebsgelände der Schachtanlage Asse II ist in Abbildung 2 dargestellt und hat eine Fläche von ca. 1,4 km². Es lässt sich in zwei Teileinzugsgebiete gliedern (grüne Linien in Abbildung 2). Das größere mit etwa 1,15 km² entwässert dabei in Richtung Süden nach Remlingen, das kleinere mit etwa 0,25 km² nach Norden in Richtung der Gemeinde Vahlberg.

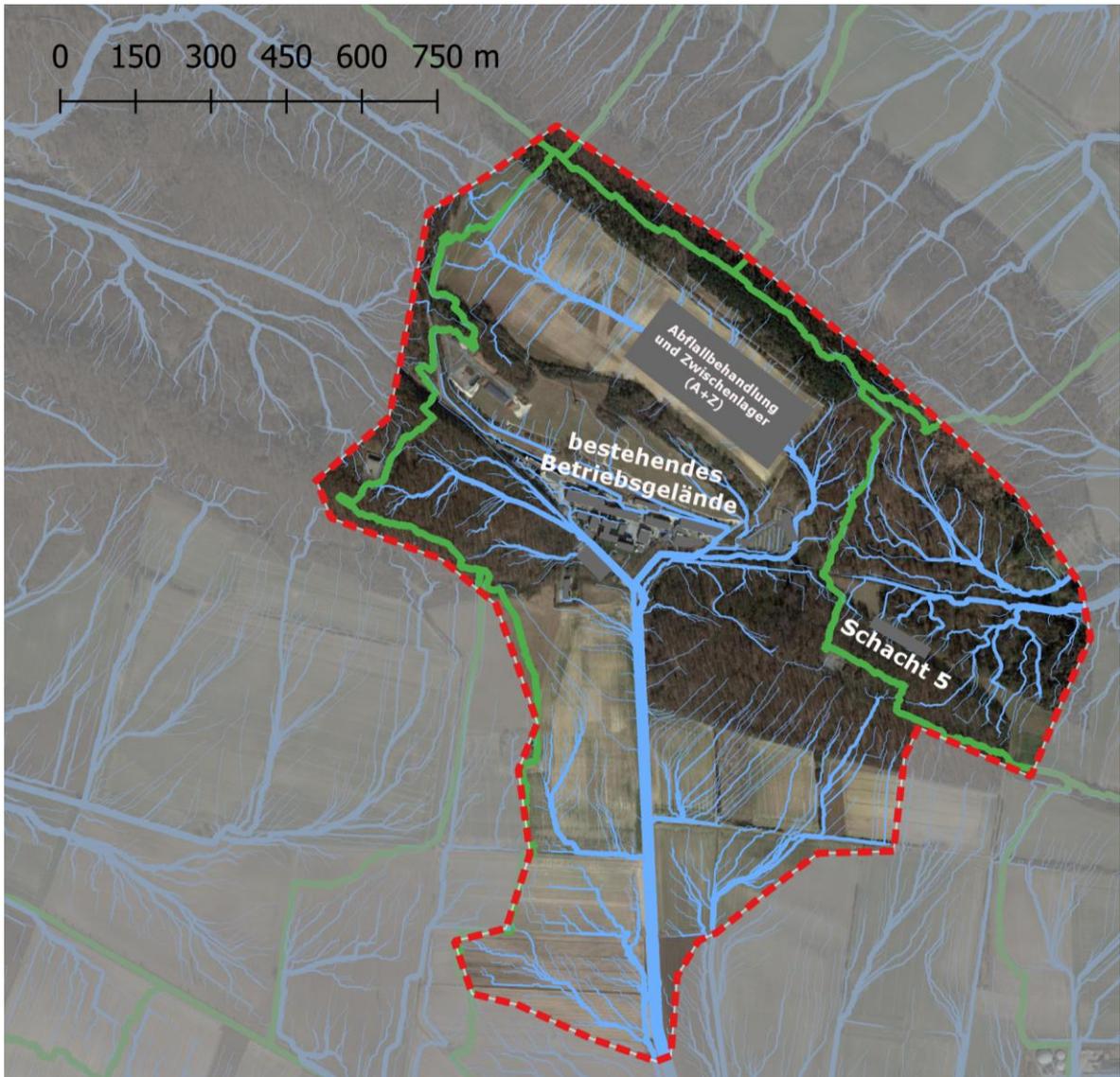


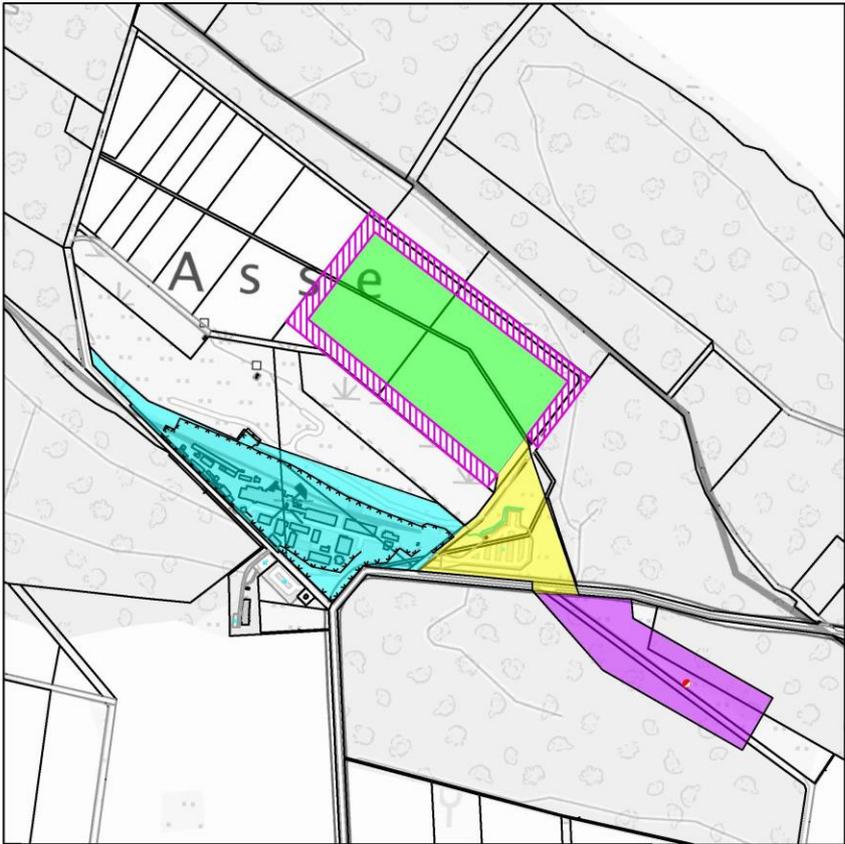
Abbildung 2: Oberirdisches hydrologisches Einzugsgebiet (grün) für das zukünftige Betriebsgelände Schachtanlage Asse II mit topographischen Fließpfaden (blau) und dem Bearbeitungsgebiet (rot)

Durch die Lage des zukünftigen Betriebsgeländes mit großer Distanz zum Meer oder zu Stauanlagen und Talsperren, kann die Gefährdung durch Meereswasser (z.B. Meereswellen, Sturmfluten, Tsunamis) bzw. durch künstliches Hochwasser (Versagen von Dämmen, Deichen oder Wasserreservoirs) ausgeschlossen werden. Da weiterhin keine Fließgewässer im Einzugsgebiet vorhanden sind, beschränkt sich die Gefährdung auf lokalen Starkregen und damit verbundenen lokalen Oberflächenabfluss und dessen Einfluss auf den Grundwasserstand. Durch die Lage im Kopfeinzugsgebiet, mit einer geringen Einzugsgebietsfläche, sind auch bei der relativ langsam ablaufenden Schneeschmelze keine größeren Oberflächenabflüsse zu erwarten.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse	Blatt: 13
---	-----------

Das zukünftige Betriebsgelände der Schachtanlage Asse II ist in Abbildung 3 dargestellt. Der Schacht Asse 5 mit den dazugehörigen Tagesanlagen ist östlich des Schachtes Asse 2 und südlich der Verbindungsstraße Remlingen - Groß Vahlberg geplant. Im Bereich des derzeitigen Parkplatzes soll die Zuwegung und Energieversorgung für das zukünftige Betriebsgelände entstehen und nordöstlich der derzeitigen Bestandsanlagen soll die Abfallbehandlungsanlage und das Zwischenlager (A+Z) gebaut werden. Da der genaue Ausbau der Erweiterungsflächen noch nicht vollständig geplant ist, wurde beim Einbau dieser Flächen in das Modell neben den Dachflächen von einer Landnutzung „Asphalt/Versiegelt“ ausgegangen, um so den potenziellen „worst-case“ abzubilden und damit der Unsicherheit Rechnung zu tragen. Die Anpassung der Landnutzungen an die aktuelle Planung ist in Abbildung 4 dargestellt.



Bestand und Vorhaben Rückholung:

- Bestand Betriebsgelände Schachtanlage Asse II
- Erweiterung Betriebsgelände um Bereich Schacht Asse 5
- Schacht Asse 5
- Erweiterung Betriebsgelände Zuwegung und Energieversorgung
- Erweiterung Betriebsgelände Abfallbehandlungsanlage/Zwischenlager
- Freifläche

Abbildung 3: Darstellung des zukünftigen Betriebsgeländes Schachtanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 14



Abbildung 4: Landnutzung gemäß Planung für das zukünftige Betriebsgelände Schachanlage Asse II - Anpassung für die Modellierung

4 Methodik zur Ermittlung der Starkregengefährdung des Standorts Asse

4.1 Datengrundlage und -stand

Die für die Gefährdungsanalyse durch Starkregen verwendeten Daten, der jeweilige Stand und die Verwendung sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Die benötigten Datensätze wurden teilweise von der BGE bereitgestellt, die übrigen Daten mussten von [REDACTED] bei amtlichen Stellen bezogen werden. Wo die Daten bezogen wurden, ist in Tabelle 1 aufgeführt. Bei der verwendeten Masterplanung des zukünftigen Betriebsgeländes handelt es sich noch um einen recht frühen und vereinfachten Planungsstand, in dem Geländestrukturen wie das Straßenprofil oder Straßenrandgräben noch nicht enthalten sind.

Die Bearbeitung fand im Koordinatensystem ETRS89, Gauß-Krüger Zone 4, Lagestatus 200 und Höhensystem DHHN12, Höhenstatus 120 statt, welche auch in der Masterplanung Verwendung finden.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 15

Table 1: Verwendete Datengrundlagen für die Gefährdungsanalyse durch Starkregen

Datensatz	Bezug/Stand	Verwendung	Quelle
KOSTRA-DWD-2010R Starkniederschlagsstatistik	Bezug: 15.05.2022	Definition der Bemessungsniederschläge	OpenData DWD Deutscher Wetterdienst (DWD)
Digitales Geländemodell (DGM) 1 m x 1 m	Bezug:   08.06.2022 Stand: 02.02.2022 (Lieferdatum des LGLN)	Erstellung des Modellnetzes für die hydrodynamische Simulation	Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE)
Masterplanung der Erweiterung	Stand: 05.07.2022	Anpassung der Landnutzung für das Niederschlags-Abfluss Modell Erstellung des Modellnetzes für die hydrodynamische Simulation	Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE)
Digitales Landschaftsmodell (Basis- DLM) Niedersachsen ATKIS	Bezug: 17.05.2022 Stand DLM Niedersachsen: 30.09.2021 Stand DLM am Standort Asse (Grundaktualität): 2021	Definition der CN-Parameter im Niederschlags-Abfluss Modell Definition der k_{st} Rauheitsparameter in der hydrodynamischen Simulation	OpenGeoData.NI Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN)
Bodenkundliche Grundlagenkarte und hydraulische Leitfähigkeiten (k_f) des Bodens	Bezug: 03.06.02022	Definition der CN-Parameter im Niederschlags-Abfluss Modell	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG)
Bezeichnung des Gebäudebestandes	Stand: 05.07.2022	Gefährdungseinschätzung	Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE)

4.2 Definition der Bemessungsniederschläge

Die KOSTRA-Starkregenstatistik (**Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung -auswertung**) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ist in Deutschland für eine Vielzahl an wasserwirtschaftlichen Fragestellungen die amtliche Bemessungsgröße. Die KOSTRA-Werte liegen für verschiedene Niederschlags-Dauerstufen (D) zwischen 5 min und 72 h und Wiederkehrperioden (T_a) zwischen 1 und 100 Jahren vor. Räumlich wurde Deutschland dafür in 8,15 km x 8,2 km Zellen aufgeteilt und die Werte für jede dieser Zellen auf Basis der Messungen des DWD interpoliert.

Das zukünftige Betriebsgelände der Schachanlage Asse II liegt in zwei KOSTRA-Rasterzellen mit sehr unterschiedlichen Niederschlags-Statistiken, wie in Abbildung 5 beispielhaft für D = 60 min, T_a = 100 Jahre dargestellt. Um diesem Sachverhalt Rechnung zu tragen und eher eine „worst-case“ Betrachtung durchzuführen, anstatt die Gefährdung eventuell zu gering einzuschätzen, wurde die höhere der beiden Zellen für die weitere Betrachtung verwendet (KOSTRA-Zelle 40041).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse

Blatt: 16

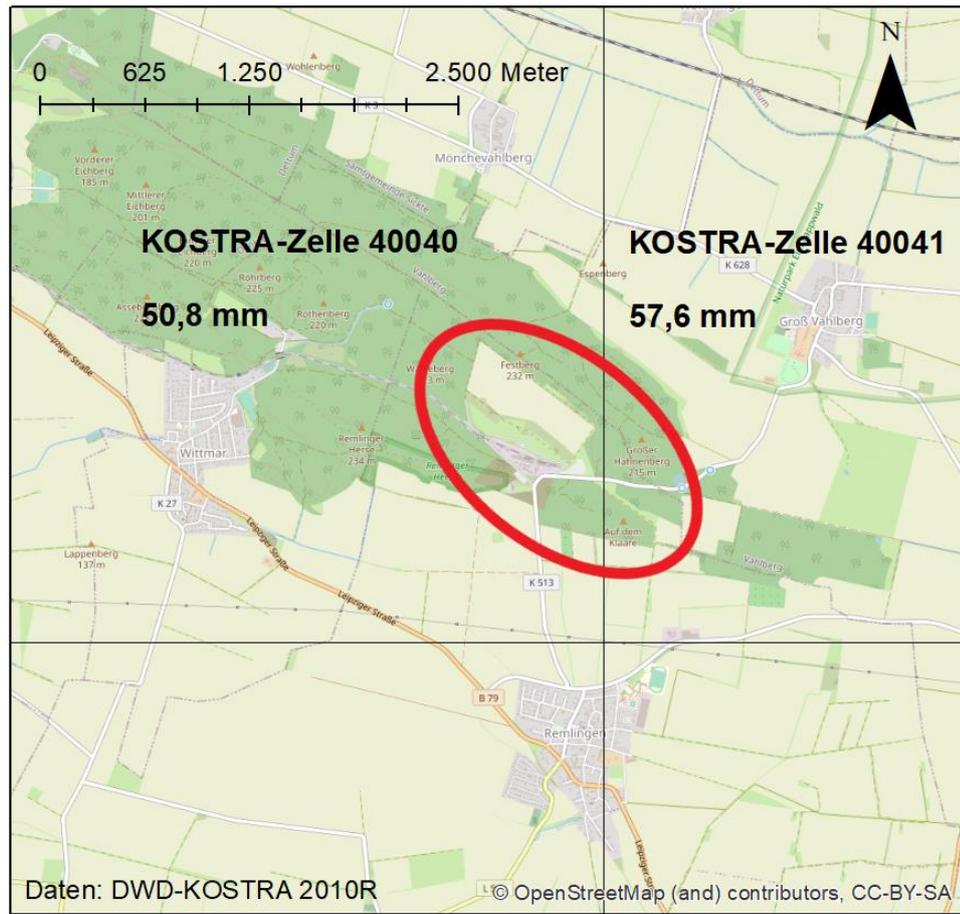


Abbildung 5: KOSTRA Zellen (schwarze Linien) und Bearbeitungsgebiet (rot umkreist) für das 100-jährliche Regenerereignis, Dauerstufe 60 min

Wie in der ESK-Leitlinie [1] für die Festlegung der Bemessungsgrundlage für lokalen Starkregen empfohlen, wurde eine Wiederkehrperiode von $T_a = 10.000$ Jahren bzw. eine jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit von 0.01% für die Untersuchung verwendet. Daneben wurde auch die Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren bzw. jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit von 0.1% betrachtet. Diese Bemessungsniederschläge für sehr seltene Wiederkehrperioden sind nicht in den KOSTRA-Daten enthalten und mussten daher mittels Extrapolation der KOSTRA-Daten, wie beispielsweise in der TRAS 310 [2] beschrieben, abgeleitet werden (Abbildung 6).

Die Extrapolation wurde für die gewählten Dauerstufen und Wiederkehrperioden mittels einer logarithmischen Funktion, wie häufig in der Extremwertstatistik verwendet, durchgeführt. Die KOSTRA-Werte basieren bereits auf logarithmischen Funktionen, die an die Rohdaten des Niederschlags angepasst wurden [6], weshalb eine Extrapolation mit der gleichen Funktion durchgeführt wurde.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse	Blatt: 17
---	-----------

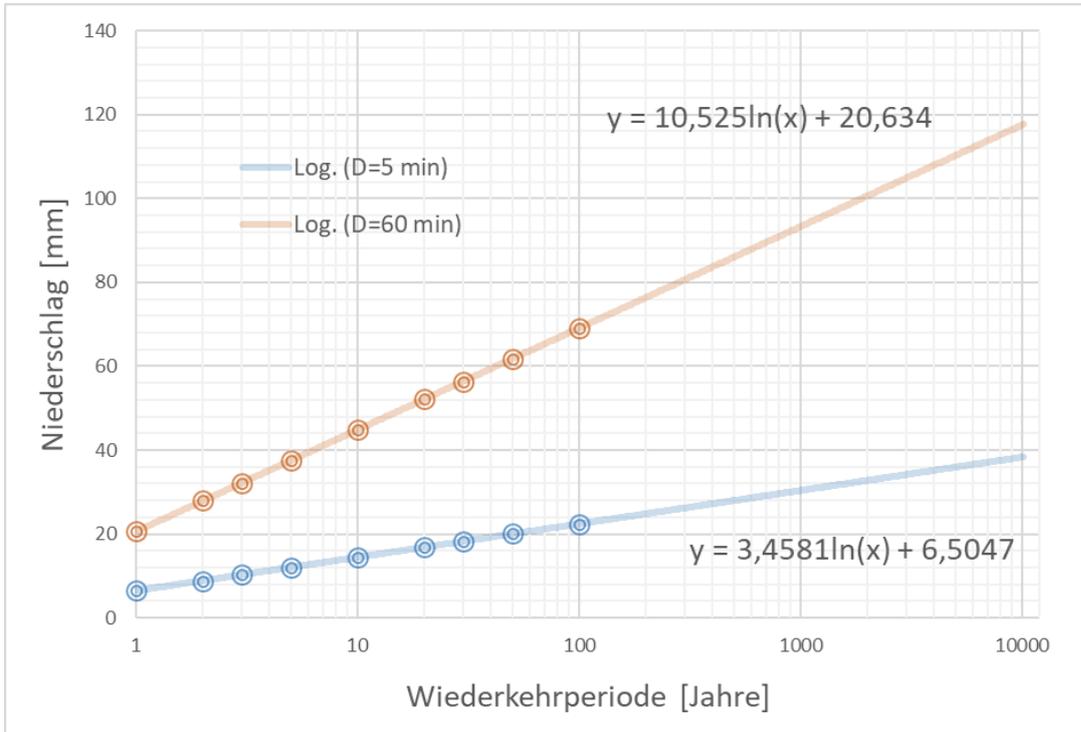


Abbildung 6: Extrapolation der KOSTRA-Niederschlagsstatistik (KOSTRA 2010R Zelle 40041) mit einem Klima- und Unsicherheitsfaktor von 1,2 für D5 und D60

Je höher die Dauerstufe des Niederschlags, desto niedriger ist die durchschnittliche Intensität des Ereignisses, aber umso größer ist das durch den Niederschlag bedingte Wasservolumen. Für $T_a = 1.000$ Jahre wurden die Dauerstufen 5 min und 60 Minuten (‘D5’, ‘D60’; entsprechend der ESK-Leitlinie [1]) betrachtet. Das Betrachten der Dauerstufe $D = 60$ min ist auch Standard in vielen Leitfäden zur Starkregengefährdung der Bundesländer [3][4]. Durch $D = 5$ min wird eine sehr hohe Intensität des Niederschlags, die flächig zu Überflutungen führen kann, und durch $D = 60$ min eine höhere Wassermenge, die zu einer höheren Überflutung in den Konzentrationsbereichen des Wassers führt, berücksichtigt.

Zur Festlegung der Dauerstufe für $T_a = 10.000$ Jahre wurden die Ergebnisse der Berechnungen für $T_a = 1.000$ Jahre verglichen und die Dauerstufe, welche die höhere Gefährdung verursacht, ausgewählt. Die Einschätzung der höheren Gefährdung basierte auf der berechneten Überflutungsfläche, -tiefe, der Fließgeschwindigkeit und den Wasservolumina und -spitzen der Durchgangskurven an definierten Kontrollquerschnitten im Modell. Das Ergebnis ist in Kapitel 6.1 dargestellt und zeigt eine höhere Gefährdung für die Dauerstufe $D = 60$ min.

Um der Ungewissheit der zukünftigen klimatischen Entwicklung Rechnung zu tragen, wurde ein Unsicherheits- und Klimawandel-Aufschlag von 20% (Klimafaktor 1,2) auf die Bemessungsregen aufgeschlagen. Ein Faktor von 1,2 wird in der TRAS 310 [2] vorgeschlagen und entspricht auch dem vereinfachten Ansatz der ESK-Leitlinie [1].

Als Niederschlagsverteilung wurde eine mittenbetonte Verteilung gewählt (Abbildung 7), welche eine häufig bei Starkregen auftretende Verteilung des Niederschlags darstellt [3]. Als Zeitschritte der Niederschlagsverteilung wurden 5 min für $D = 60$ min [3] und 0,5 min für $D = 5$ min gewählt, um die Verteilung hinreichend genau zu diskretisieren.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 18

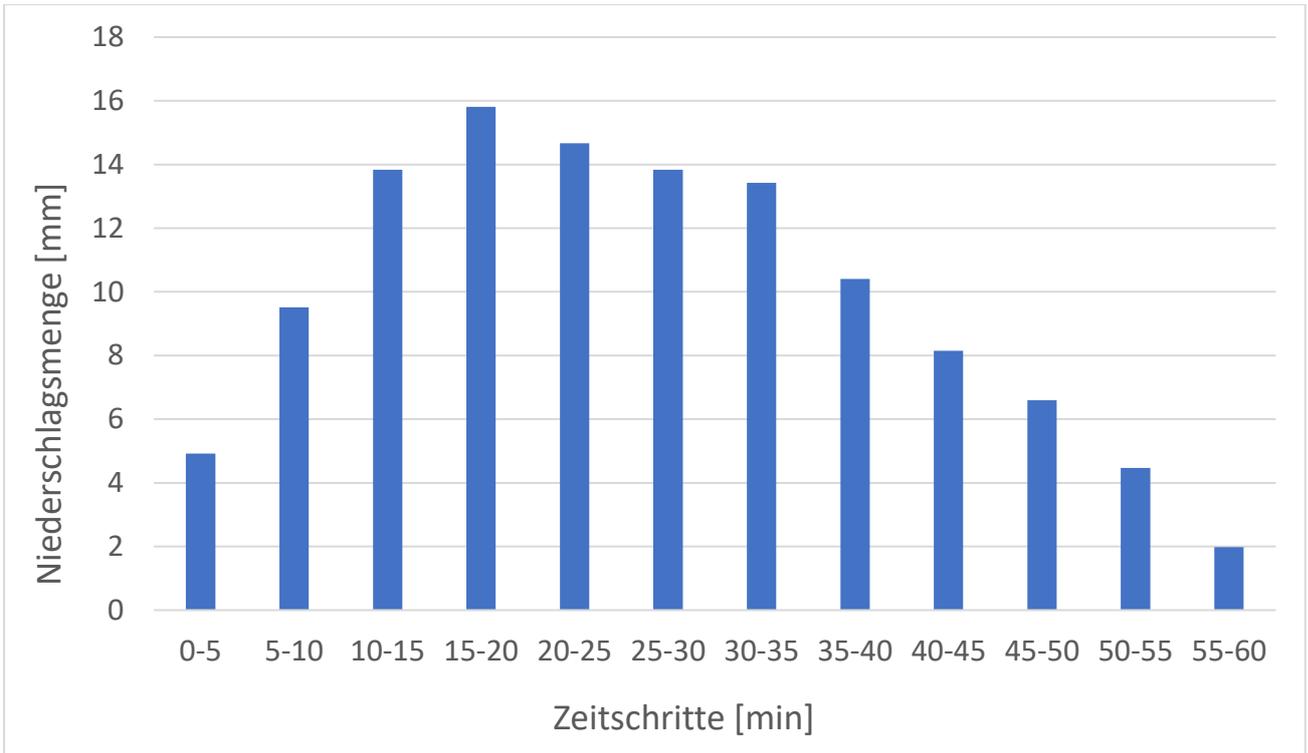


Abbildung 7: Beispiel der mittenbetonten Niederschlagsverteilung für KOSTRA-Zelle 40041, $D = 60 \text{ min}$, $T_a = 10.000 \text{ Jahre}$ plus Zuschlag von 20 % (Klima- und Unsicherheitsfaktor)

Die Berechnungsfläche bzw. angenommene Regenzone sollte nicht zu groß gewählt werden, da sich ansonsten unrealistische Mengen Wasser aufkonzentrieren können. Der Leitfaden für kommunales Starkregenrisikomanagement des Landes Baden-Württemberg [3] nennt hier beispielweise die Grenze von 5 km^2 . Da es sich beim zukünftigen Betriebsgelände der Schachanlage Asse II um ein Einzugsgebiet $< 5 \text{ km}^2$ handelt, konnte also die gesamte Fläche im Modell gleichzeitig mit derselben Niederschlagsmenge berechnet werden.

Die für die Gefährdungsuntersuchung gewählten Bemessungsniederschläge sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Für die Untersuchung der Starkregengefährdung verwendete Szenarien der Bemessungsniederschläge. Alle Bemessungsniederschläge enthalten eine 20%-Erhöhung, um Unsicherheit und Klimawandel zu berücksichtigen

Szenario	Wiederkehrperiode T_a [Jahren]	Dauerstufe D [min]	Bemessungsniederschlag [mm]
1	1.000	5	30,4
2	1.000	60	93,2
3	10.000	60	117,6

4.3 Niederschlags-Abfluss-Modell

Um zu bestimmen, welcher Anteil des Bemessungsniederschlags versickert und welcher abflusswirksam wird (Effektivniederschlag), wurde ein Niederschlags-Abfluss-Modell auf $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ Rasterbasis und der in Kapitel 4.2 beschriebenen zeitlichen Auflösung der Niederschlagsverteilung verwendet. Das bedeutet, dass bei Dauerstufe 60 min für jede Rasterzelle der Bodenoberfläche alle 5 Minuten, bei der Dauerstufe 5 min alle 30 Sekunden, ein Wert des entstehenden Oberflächenabflusses vorliegt.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 19

Da es sich um kurze Niederschlagsereignisse handelt und während der Niederschläge auch die Luftfeuchte sehr hoch ist, ist die Verdunstung in diesen Zeiträumen vernachlässigbar klein. Daher muss der fallende Niederschlag lediglich in Infiltration und Oberflächenabfluss partitioniert werden. Zur Berechnung des Oberflächenabflusses wurde das SCS-CN Modell (**Soil Conservation Service – Curve Number**) verwendet [7]. Hierbei handelt es sich um ein häufig angewandtes Modell, das beispielsweise in der TRAS 310 [2] oder dem Leitfaden zur Erstellung von Starkregengefahrenkarten des Landes Hessen [5] empfohlen wird. Es handelt sich um ein Abflussbeiwert-Modell, bei dem der entscheidende Parameter, der CN-Wert (Curve Number), angibt, wieviel Wasser oberflächlich abfließt bzw. infiltriert oder zurückgehalten wird. Je höher der CN-Wert, desto mehr Wasser fließt an der entsprechenden Stelle ab. Das Modell berücksichtigt zusätzlich noch einen Anfangsverlust an der Bodenoberfläche (I_a) durch beispielsweise Mulden oder Bedeckung der Bodenoberfläche, bevor der Abfluss (A) einsetzt. Für eine Niederschlagsmenge (N) kleiner diesem Anfangsverlust (I_a) findet kein Abfluss statt.

Für $N > I_a$ gilt:

$$A = \frac{(N - I_a)^2}{N - I_a + S} \quad (1.1)$$

$$I_a = 0,05 S \quad (1.2)$$

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) mm \quad (1.3)$$

A: Oberflächenabfluss/Effektivniederschlag [mm]; N: Niederschlag [mm]; I_a : Anfangsverlust [mm]; S: Speichervermögen (Infiltrationsvermögen) [mm]; CN: Curve Number Parameter [-]

Der im ursprünglichen Modell entwickelte Wert für $I_a = 0,2 S$ wird für Mitteleuropa als zu hoch angesehen [7], weshalb hierfür $I_a = 0,05 S$ angesetzt wurde. Entsprechend dieser Anpassung wurden auch die ursprünglichen CN-Parameter umgerechnet [8].

Die CN-Werte werden abhängig von den jeweiligen Infiltrationseigenschaften des Bodens (hydraulische Leitfähigkeit) und der Landnutzung festgesetzt. Die Einteilung der hydraulischen Eigenschaften der Böden in Klassen für die Parameterauswahl ist in Abbildung 8 dargestellt. Die verwendete Landnutzung kann Abbildung 4 entnommen werden. Für die Wahl bzw. Parametrisierung der CN-Werte gibt es eine Vielzahl an Literatur-Quellen, welche die empirischen Studien zur Definition der CN-Werte zusammenfassen. Die in dieser Untersuchung verwendeten CN-Werte wurden für die entsprechenden Landnutzungen und Bodenklassen in Tabelle 3 mit Angabe der entsprechenden zu Grunde liegenden Quellen zusammengefasst. Die resultierende räumliche Verteilung der CN-Werte kann Abbildung 8 entnommen werden.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse

Blatt: 20

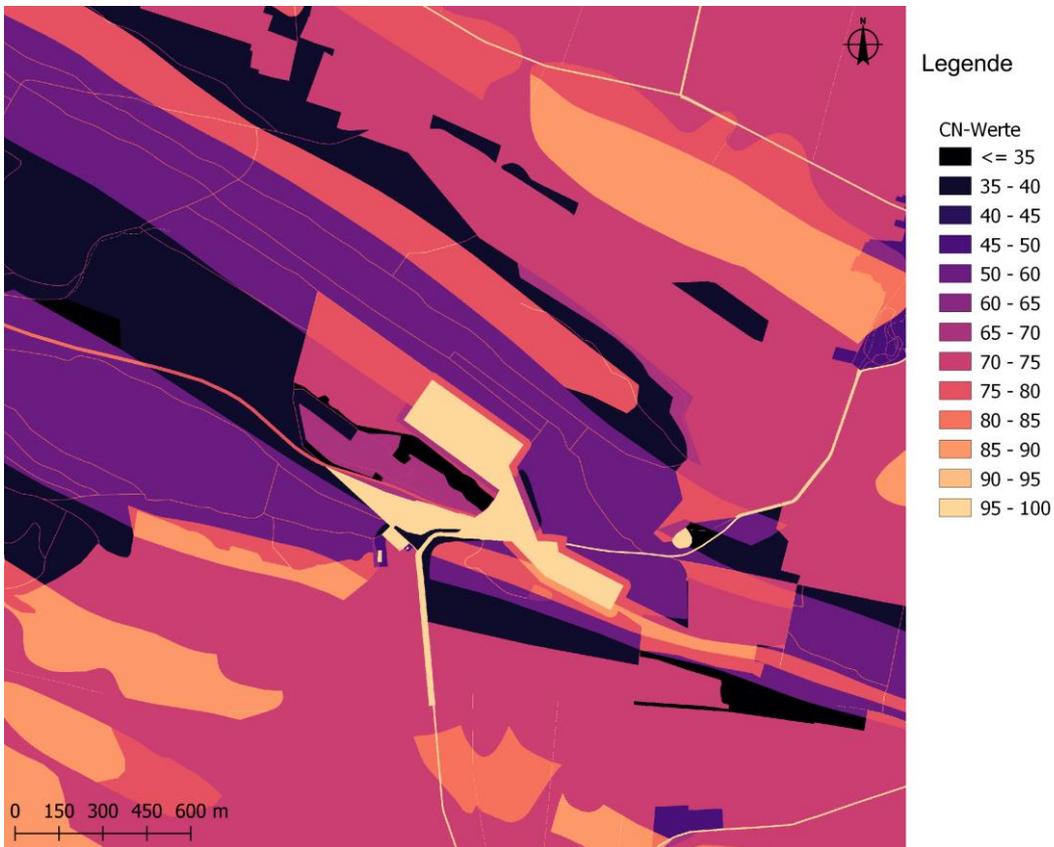
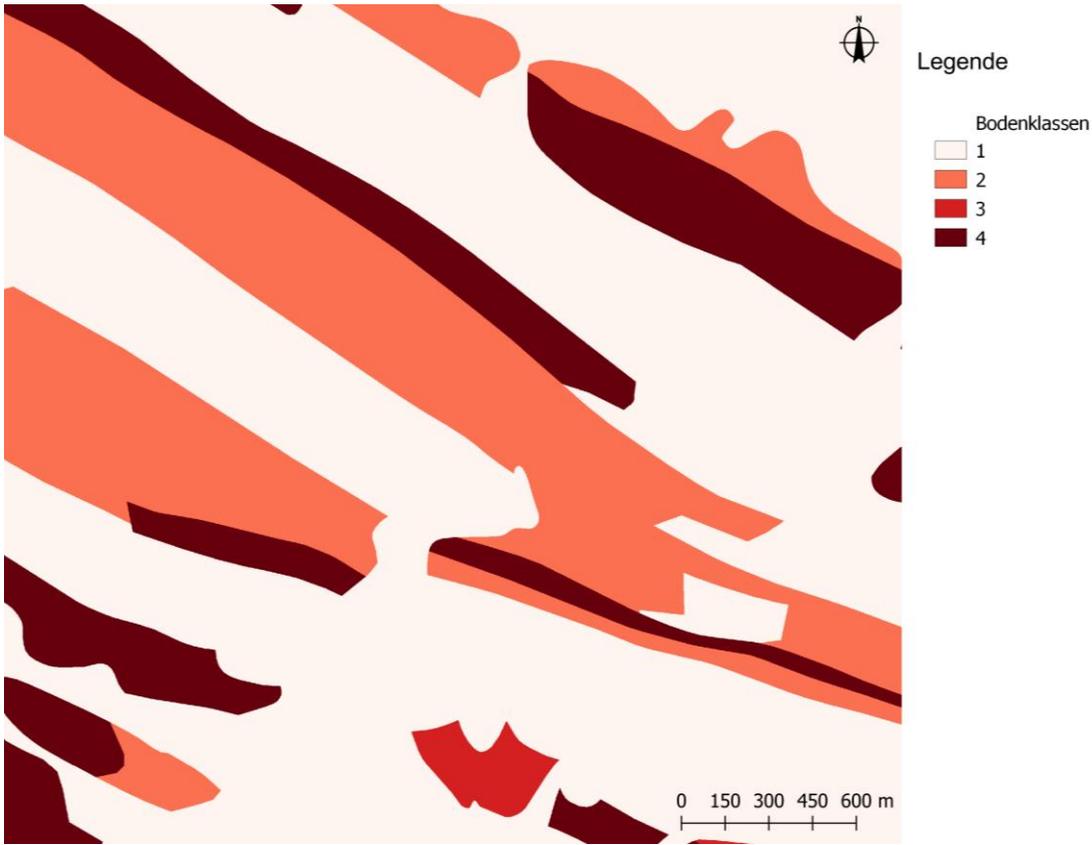


Abbildung 8: Einteilung der hydraulischen Leitfähigkeit der Böden in Bodenklassen für die Auswahl der CN-Werte (oben) und flächige Verteilung der resultierenden CN-Werte (unten)

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 21

Tabelle 3: CN-Werte in Abhängigkeit der Landnutzung und der hydraulischen Leitfähigkeit der Böden

Landnutzung	Bodenklasse				Quelle
	1	2	3	4	
	hydraulische Leitfähigkeit [mm/h]				
	> 8	4 - 8	1 - 4	< 1	
Wald	36	60	73	79	[7] - mittel
Gehölz	35	56	70	77	[9] - Gebüsch mittel
Stehende Gewässer	100	100	100	100	
Grasland	68	79	86	89	[7] - Weide karg
Landwirtschaft	74	76	84	88	[7] - herkömmlich
Straße asphaltiert	100	100	100	100	
Bahnverkehr	76	85	89	91	[9] - Schotterstraße
Siedlungsfläche	46	65	77	82	[9] - Wohnanlage, 2 Ar
Dachfläche	100	100	100	100	
Weg (unbefestigt)	74	84	90	92	[7] - Feldweg
Fließgewässer	100	100	100	100	
Asphalt; versiegelt	100	100	100	100	

Die CN-Werte in Tabelle 3 gelten für eine durchschnittliche Vorfeuchte des Bodens, im Modell Feuchtekategorie II genannt [7]. In Abhängigkeit der Jahreszeit und Vorfeuchte (niedrig = Feuchtekategorie I, hoch = Feuchtekategorie III) können diese CN-Werte noch an die entsprechenden Vorbedingungen angepasst werden. In der Untersuchung wurde die durchschnittliche Feuchtekategorie II gewählt, da Starkregen vor allem in den Sommermonaten auftritt und entsprechend dem Modell in dieser Jahreszeit ein Wechsel der Klasse in die höhere Vorfeuchte nur mit > 50 mm Niederschlag in den fünf Tagen vor dem angenommenen Ereignis durchgeführt werden sollte. Dies ist für Deutschland eine relativ große Niederschlagsmenge und man würde bei der entsprechenden Wahl der Feuchtestufe III ein extremes Niederschlagsereignis mit einer seltenen Vorfeuchte verbinden, was statistisch zu einer kombinierten Auftretswahrscheinlichkeit von deutlich unter 0.01% führen kann. Die Wahl des 10.000-jährlichen Niederschlagsereignisses mit 20% Klima- und Unsicherheitszuschlag und der Annahme der KOSTRA-Zelle mit der höheren Niederschlagsmenge stellt bereits ein Extremereignis dar, eine weitere Verschärfung des Gesamtszenarios über eine worst-case Vorfeuchte könnte zu einer berechneten Überflutungssituation führen, die keine geeignete Differenzierung in der Maßnahmenplanung mehr ermöglicht.

Die resultierende Summe des Effektivniederschlags für das Szenario 3 ($T_a = 10.000$ Jahre, $D = 60$ min) ist zur Veranschaulichung in Abbildung 9 dargestellt. Man erkennt eine hohe Oberflächenabflussbildung bzw. niedrige Infiltration auf den versiegelten Flächen des zukünftigen Betriebsgeländes der Schachanlage Asse II, während auf den Waldflächen um das Betriebsgelände wenig Oberflächenabfluss anfällt.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse

Blatt: 22

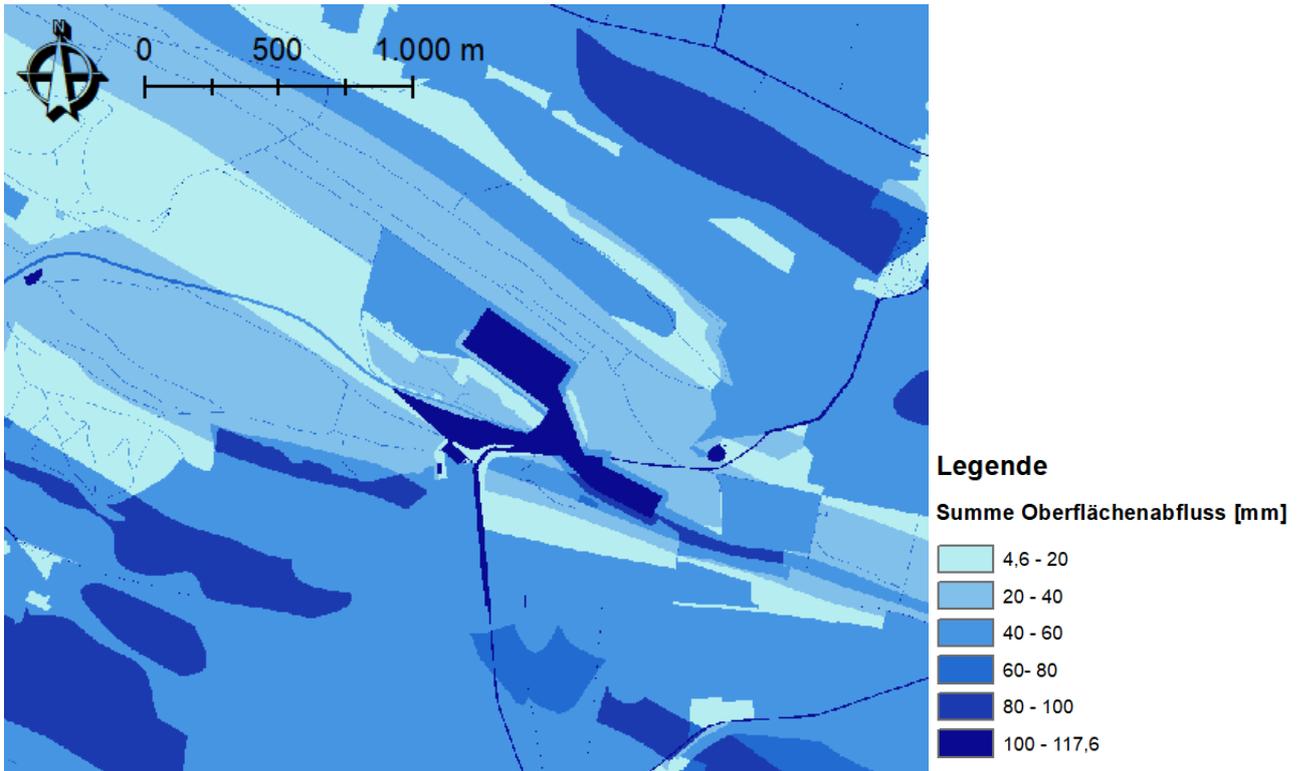


Abbildung 9: Summe des Oberflächenabflusses bzw. Effektivniederschlags für das Szenario 3 ($T_a = 10.000$ Jahre, $D = 60$ min)

4.4 Hydrodynamische Überflutungssimulation

Die hydrodynamische Überflutungssimulation wurde auf Basis der aus dem Niederschlags-Abfluss-Modell bestimmten Effektivniederschläge berechnet. Das Ergebnis der Simulation sind Karten der Überflutungsfläche, -tiefe, Fließgeschwindigkeit, -richtung (Anhang 5 und Anhang 6), Animationen der Überflutungsfläche und -tiefe (Anlage 1), sowie Durchgangskurven des Abflusses für definierte Kontrollquerschnitte im Modell (Anhang 3 und Anhang 4).

Für die hydrodynamische Simulation wurde die Software HYDRO_AS-2D Version 5.2.3 (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen) verwendet. Hierbei handelt es sich um ein numerisches Modell, welches die zweidimensionale tiefengemittelte Strömungsgleichung (Flachwassergleichung; x,y-Komponenten) vollständig, mit allen relevanten Kräften (Gravitation, Druck, lokale und konvektive Beschleunigung, Reibung), mittels der Finite-Volumen-Methode löst [10]. Es basiert auf einem triangulierten Modellnetz (TIN), welches aus dem digitalen Geländemodell (DGM) erstellt wird. Die Software zeichnet sich durch eine hohe physikalische und numerische Präzision aus und erlaubt durch das triangulierte Modellnetz eine detailgetreue Nachbildung der Geländeoberfläche.

Das Modellnetz für das zukünftige Betriebsgelände der Schachtanlage Asse II wurde aus dem Geländemodell der Masterplanung erstellt, das neben der aktuellen Geländeoberfläche aus dem DGM auch die Plangebiete als 3D Volumenkörper enthält. Die Masterplanung stellt derzeit einen noch recht groben Stand der Oberflächentopografie der Erweiterung dar und wurde in das umliegende Gelände eingefügt. Hierbei wurden die relevanten Flächen der Planung selektiert, in das Oberflächenmodellnetz eingebaut und in das umliegende Gelände eingebunden. An den Stellen, wo das hydrologische Einzugsgebiet über das Gebiet der Masterplanung hinausgeht, wurde das 1 m x 1 m DGM verwendet.

Besonders die Übergänge der Erweiterung zum aktuellen Bestandsgelände wurden im Modellnetz kontrolliert und mit der BGE abgestimmt. Das so erstellte Modellnetz entspricht daher den Daten der

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 23

Geländeoberfläche und der Masterplanung, die Lage der Knotenpunkte dieses Netzes wurden jedoch für die hydrodynamische Simulation optimiert. Daher sind Modellnetz und Masterplanung bzw. DGM nicht komplett gleichzusetzen. Die Modellnetzerstellung wurde mit dem Programm Laser_AS-2D durchgeführt. Diese Umwandlung des DGM in ein trianguliertes Modellnetz ist in Abbildung 10 dargestellt.

Die aktuell bestehende Straße von Remlingen nach Groß-Vahlberg wird durch die Zuwegung der Erweiterung überplant. Hier wurden die Übergänge der Masterplanung zu der Bestandsstraße und an das umliegende Gelände, auf Basis der Oberkante des Volumenkörpers der aktuellen Planung, in das Modell eingebaut. Dennoch kommt es hier zu leichten Aufkantungen im Gelände, die jedoch als unproblematisch angesehen werden, da sie sich außerhalb des Gefährdungsbereichs des zukünftigen Betriebsgeländes der Schachanlage Asse II befinden. Unterirdische Transport- bzw. Tunneltrassen aus der Masterplanung wurden ins Modell nicht eingepflegt, da diese nicht abschließend geplant sind und die Software eine einheitliche Oberflächenrepräsentation benötigt.

Gebäude wurden in das Modell eingebaut und als nicht durchströmbar abgebildet („disable“). Der Niederschlag, der auf deren Dachflächen anfällt, wird gleichmäßig um die Gebäude herum verteilt (Annahme: Überlastung und keine bevorzugte Richtung der Dachentwässerung).

Das Modellnetz für das zukünftige Betriebsgelände der Schachanlage Asse II besteht aus 82.621 Netzknoten und 164.247 Dreiecksflächen. Ohne die Gebäudeflächen, die als undurchströmbare Elemente angenommen wurden (1.100), deckt das Modell eine Fläche von 1.416.382 m² ab. Dies entspricht einer durchschnittlichen Elementgröße von etwa 8 m², wobei die Elemente in Bereichen mit hoher Reliefenergie deutlich höher aufgelöst sind, während sie auf flachen Wiesenflächen bis zu 200 m² groß sein können.

Die Verteilung der Parameter und Effektivniederschläge von Rasterdaten auf dieses triangulierte Modellnetz erfordert Sorgfalt, da das Modellnetz nicht dieselbe Punktdichte wie das DGM aufweist. Daher wurden unter anderem dafür entwickelte und intern qualitätsgeprüfte automatisierte Prüfroutinen verwendet, die sicherstellen, dass der Effektivniederschlag flächenscharf und volumentreu auf das Modellnetz projiziert wird.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse

Blatt: 24



Abbildung 10: Übersicht über das erstellte Modellnetz des zukünftigen Betriebsgeländes der Schachtanlage Asse II

Die Berechnung des Reibungsgefälles erfolgt mit der Darcy-Weisbach-Methode, wobei der Widerstandsbeiwert aus dem Manning-Strickler Ansatz hergeleitet wird. Der wichtigste Parameter dabei ist der Rauheitsbeiwert k_{st} [$m^{1/3}/s$]. Ein niedriger Rauheitsbeiwert steht für eine sehr raue Geländeoberfläche und ein hoher Wert für glatte Geländeoberflächen. Da es sich beim Oberflächenabfluss in Folge von Starkregen um sogenannten Dünnsfilmabfluss handelt, ist es relevant, den Rauheitsbeiwert tiefenabhängig festzulegen [11]. Die Belegung der Oberfläche anhand der Landnutzung mit Rauheitsklassen und die dazugehörigen Werte können Abbildung 11 und Tabelle 4 entnommen werden. Zwischen der minimalen und maximalen Rauheit für unterschiedliche Wassertiefen interpoliert die Numerik während der Simulation linear.

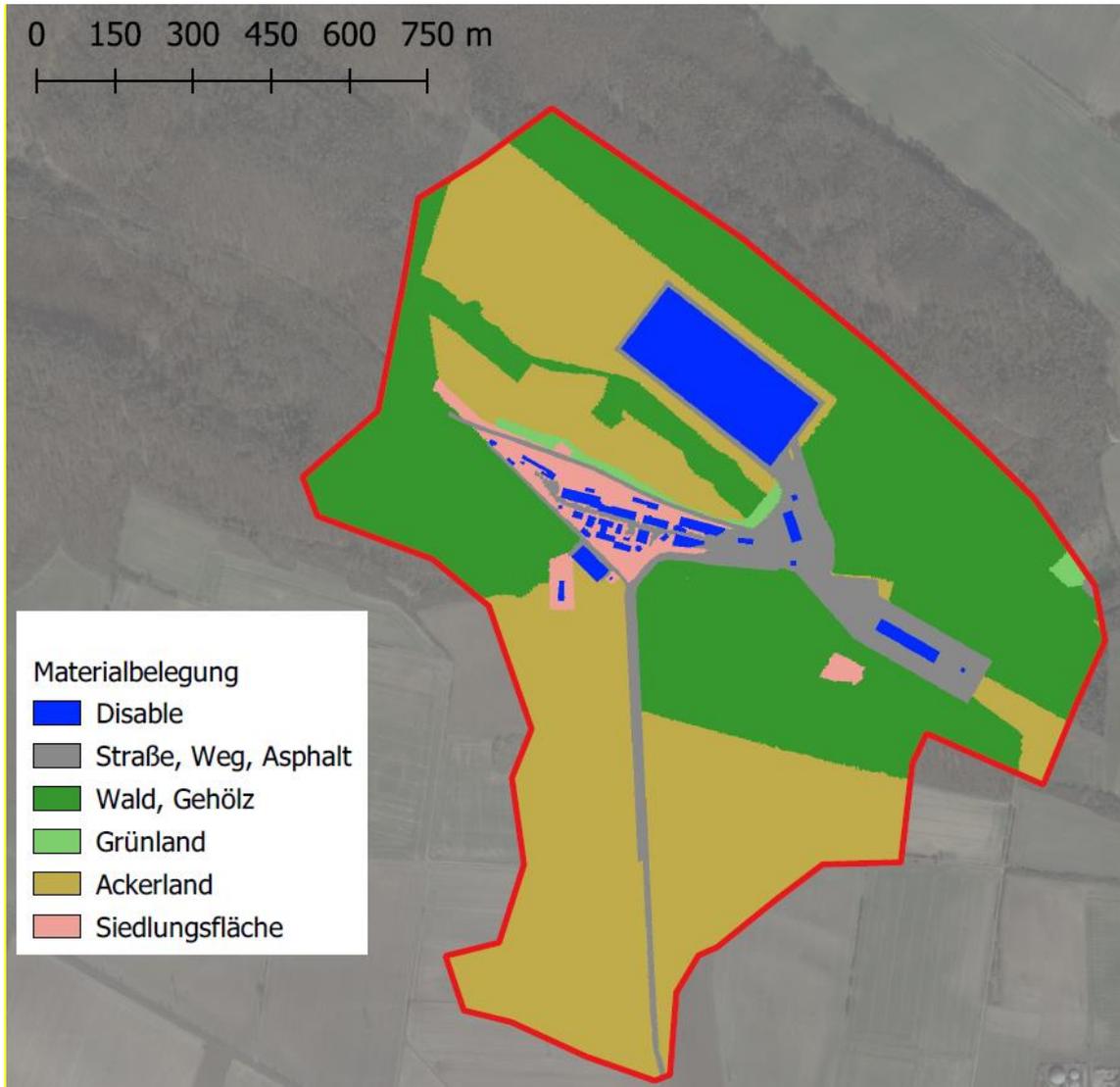


Abbildung 11: Definierte Rauheitsklassen auf Basis der Landnutzung. Die Landnutzung „disable“ bezeichnet „nicht durchströmbare“ Flächen (in diesem Fall Gebäude)

Tabelle 4: Verwendete Rauheitsbeiwerte nach Gauckler-Manning-Strickler (k_{st})

Landnutzung	k_{st} bis 0,02 m Wassertiefe [$m^{1/3}/s$]	k_{st} ab 0,1 m Wassertiefe [$m^{1/3}/s$]
Wald/Gehölz	4	10
Grünland	7	27
Ackerland	10	30
Siedlungsfläche	11	15
Straße/Weg/Asphalt	50	

Da häufig während Starkregenereignissen beobachtet wurde, dass die Kanalisation nur begrenzt bis gar nicht leistungsfähig ist, wird diese in hydrodynamischen Starkregenmodellen häufig vernachlässigt [3]. Gründe hierfür sind zum einen, dass die Kanalisation auf Ereignisse mit wesentlich geringeren Niederschlagsintensitäten und -mengen dimensioniert wird und dass das Aufnahmevermögen des Kanalsystems im Vergleich zum Wasservolumen des Ereignisses relativ gering ist. Außerdem setzen sich die Einläufe zur Kanalisation während eines Starkregens häufig mit Sediment oder Schwemmgut zu oder sind bereits durch mangelnde Wartung zuvor zugesetzt. Auf Basis der Leitungspläne der Asse wurde diese Annahme nochmals geprüft. Da bestehende Kanäle fast ausschließlich Durchmesser ≤ 50 cm aufweisen, ist die Annahme eines nicht leistungsfähigen Kanals valide. Sollte das Kanalnetz doch berücksichtigt werden, kann dies in HYDRO_AS-2D derzeit

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse	Blatt: 26
---	-----------

nur vereinfacht über Quellen und Senken-Terme geschehen. Eine voll gekoppelte 2D/1D-Simulation ist derzeit nicht möglich. Die Berücksichtigung der Kanalisation ist vor allem für häufigere Niederschlagsereignisse mit kleineren resultierenden Wasservolumen relevant, da hier ein erheblicher Anteil des Wassers durch die Kanalisation aufgenommen werden kann und außerdem die Einläufe meist funktionstüchtig sind. Die Kanalisation stellt jedoch nicht bloß eine Senke für Wasser dar, sondern führt auch zu einer Umverteilung und je nach Leistungsfähigkeit zu einem Austritt von Wasser an Überstaupunkten. Das bedeutet, die Berücksichtigung der Kanalisation kann die Überflutungssituation punktuell verschärfen, würde jedoch flächig zu einer Verminderung führen.

Als Randbedingung an den Modellgrenzen wurde ein freier Auslauftrand angenommen. Um im Modell dennoch möglichst geringe Einflüsse der Randbedingungen zu erreichen, wurde das Modellgebiet nach Süden, wo eine große Konzentration von oberflächlich abfließendem Wasser vorliegt, weiter gefasst. Weitere Modellrandbedingungen oder spezielle Startparameter wie z.B. Durchlässe oder Brücken liegen nicht vor und mussten somit nicht in das Modell integriert werden.

Die Simulationszeit (bestehend aus Berechnungs- und Nachlaufzeit) beträgt 3 Stunden, was bei diesem relativ kleinen Einzugsgebiet ausreichend ist, damit sich das Wasser aufkonzentrieren kann und auch die maximale Überflutungssituation erreicht wird. Die Ergebnisse der Simulation wurden alle 30 Sekunden gespeichert.

5 Unsicherheiten

5.1 Definition der Bemessungsniederschläge

Unsicherheiten bei der Definition der Bemessungsniederschläge entstammen der Datengrundlage KOSTRA (Niederschlagsmessungen; räumliche Interpolation und Organisation in Rasterzellen; statistische Inter- bzw. Extrapolation der Wiederkehrperioden und Dauerstufen), der Wahl der KOSTRA-Rasterzelle durch die Lage in zwei Zellen, sowie der Extrapolation der KOSTRA-Daten auf Wiederkehrperioden > 100 Jahre (Wahl der Methode, statistische Unsicherheit durch fehlende Messpunkte in diesem Zeitrahmen). Die Unsicherheiten des KOSTRA-Datensatzes werden vom DWD für die Jährlichkeiten von $T_a = 50-100$ Jahre mit bis zu $\pm 20\%$ beziffert [6]. Zudem nehmen durch den Klimawandel in Zukunft vermutlich die Niederschlagsmengen für die jeweiligen Wiederkehrperioden zu.

Der Datenunsicherheit, Unsicherheit der Extrapolation und dem Klimawandel wurde mit dem Klima- und Unsicherheitsfaktor von 1,2 Rechnung getragen, um den die Bemessungsniederschläge erhöht wurden. Durch die Auswahl der höheren der beiden KOSTRA-Zellen im Untersuchungsgebiet wird zusätzlich noch von einem worst-case ausgegangen. Durch die Nutzung der in den KOSTRA-Daten verwendeten log-Funktionen zur Extrapolation der KOSTRA-Werte kann keine statistische Unsicherheit dieses Schrittes angegeben werden.

5.2 Niederschlags-Abfluss-Modell

Unsicherheiten im Niederschlags-Abfluss-Modell entstehen durch konzeptionelle Modellprozess-Annahmen (z.B. Prozessbeschreibung der Infiltration; Annahme eines Muldenspeichers), bei der Wahl der Parameter (CN, I_a , Feuchteklasse), der Einteilung der Landnutzung und Bodeneigenschaften in Kategorien, aber auch der Zuordnung der CN-Werte zu diesen Klassen. Das verwendete Modell und die Parameter basieren jedoch auf einer relativ breiten Erfahrungsbasis, was dabei hilft, die Unsicherheiten zu reduzieren.

5.3 Hydrodynamische Überflutungssimulation

Unsicherheiten in der hydrodynamischen Simulation stammen vor allem aus der Parametrisierung der Rauheitsbeiwerte (k_{st}) und der Zuordnung der Landnutzungen in Klassen mit gleicher Rauheit. Mögliche Rauheitsbeiwerte pro Landnutzung haben eine große Spannbreite an möglichen Werten [3] und müssen individuell und modellspezifisch gesetzt werden. Hier helfen vor allem Erfahrungswerte

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 27

und Sachverstand dabei, die bestmöglichen Parameter zu wählen und die Unsicherheit so zu reduzieren. Eine Kalibrierung der Parameter ist nicht möglich, da keine gemessenen Oberflächenabflüsse vorliegen, an welchen dies möglich wäre. Daher können berechnete Ergebnisse nur fachlich auf Plausibilität geprüft werden. Diese Plausibilisierung wurde bei einer Ortbegehung am 14.07.2022 gemeinsam mit der BGE durchgeführt.

Die Unsicherheit des im hydrodynamischen Modell verwendeten DGM wird vom LGLN mit einer Höhengenaugigkeit von $\leq 0,3$ m angegeben. Auch die Erstellung des triangulierten Modellnetzes und die Verteilung aller Werte und Parameter auf das Netz bringt eine leichte räumliche Unschärfe mit sich. Da die Planung des zukünftigen Betriebsgeländes noch nicht abgeschlossen ist, führt auch dies zu einer gewissen Unsicherheit (z.B. Wahl der Landnutzung).

6 Auswertung der Überflutungsgefährdung durch Starkregen am Standort Asse

6.1 Vergleich der maßgeblichen Dauerstufen D5 und D60

Zur Definition der maßgeblichen Dauerstufe für das Szenario $T_a = 10.000$ Jahre wurden die Dauerstufen 5 min und 60 min bei $T_a = 1.000$ Jahre verglichen (Abbildung 12, Anhang 1 und Anhang 2).



Abbildung 12: Differenz der Überflutungstiefen bei den Dauerstufen $D = 5$ min und $D = 60$ min ($T_a = 1.000$ Jahre)

Zur Visualisierung wurde in Anhang 1 die maximale Überflutungsfläche (> 3 cm) der beiden Szenarien in einer Karte dargestellt. Die Überflutungsfläche ist mit ca. $0,27$ km² bei D60 größer als bei D5 mit ca. $0,17$ km². Die Verteilung der Überflutungsfläche der beiden Szenarien ist leicht unterschiedlich. Während in einigen kleinen Einzugsgebieten und auf der Bestandsanlage Asse II durch die hohe Intensität eine leicht größere Ausdehnung bei D5 zustande kommt, zeigt D60 mehr überflutete Flächen in den Konzentrationsbereichen des Wassers. Anhang 2 zeigt die Differenz der

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse	Blatt: 28
---	-----------

maximalen Wassertiefe (Abbildung 12) und Fließgeschwindigkeit D60-D5. Zu erkennen ist, dass auf den versiegelten Bestandsflächen der Asse II und auch auf Teilen der als versiegelt angenommenen Planungsfläche um Schacht Asse 5, bei D5 leicht höhere Wassertiefen entstehen (0,05 – 0,10 m). In den meisten Bereichen weist jedoch D60 eine höhere Überflutungstiefe auf, in diesem Fall teilweise auch > 0.40 m. Das gleiche Muster zeigt sich auch beim Vergleich der Fließgeschwindigkeiten, mit wesentlich höheren Fließgeschwindigkeiten in den meisten Teilen für D60. So sind bei D60 zum Beispiel eine über 0,2 m höhere Überflutungstiefe und um über 1 m/s höhere Fließgeschwindigkeit an der Abfallbehandlungsanlage und dem Zwischenlager (A+Z) zu erwarten oder eine um 0,07 m größere Wassertiefe und 0,75 m/s höhere Fließgeschwindigkeit auf der Straße nach Remlingen. Auch die Abflüsse an den Kontrollquerschnitten zeigen, dass D60 aufgrund der größeren Wasservolumen das Szenario mit der höheren Gefährdung darstellt (Anhang 3, Anhang 4). In Abbildung 13 sind beispielhaft die Kontrollquerschnitte 9 (Abfluss zur A+Z) und 19 (Straße nach Remlingen) dargestellt. Man erkennt, dass D5 durch das kleinere Niederschlagsvolumen an der Mehrheit der Kontrollquerschnitte auch wesentlich geringere Abflussspitzen produziert. Daher wurde wie in Kapitel 4.2 bereits dargestellt, die Dauerstufe von 60 min für das Szenario $T_a = 10.000$ Jahre gewählt.

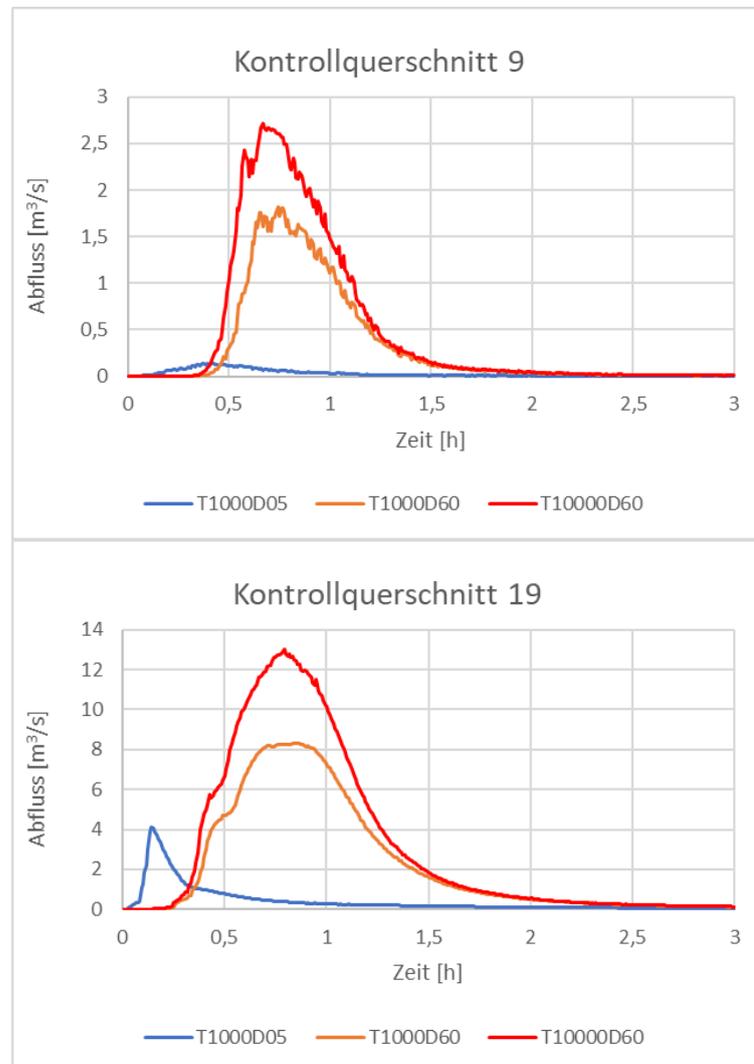


Abbildung 13: Oben, Abfluss-Durchgangskurven für den Kontrollquerschnitt 9 (A+Z) und Unten, Kontrollquerschnitt 19 auf der Straße nach Remlingen

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BGE <small>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</small>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 29

6.2 Auswertung der Überflutungsgefährdung

6.2.1 Plangebiet der Erweiterung des Betriebsgeländes (A+Z, Schacht Asse 5, Zuwegung)

Pauschale Aussagen zu den Auswirkungen einer hier beschriebenen Überflutungstiefe oder Fließgeschwindigkeit auf den potenziellen Schaden an Gebäuden oder Anlagen lassen sich nicht treffen, da diese stark von der Bauweise abhängig sind und einer Detailbetrachtung bedürfen. Generell ist immer das Zusammenspiel der Überflutungstiefe mit der Fließgeschwindigkeit (also hydrostatischer und hydrodynamischer Kräfte) zu betrachten. Bereits bei Wasserständen > 1 m kann es zu Schäden an Bauwerksteilen kommen. Durch Fließgeschwindigkeiten > 2 m/s können die hydrodynamischen Druckkräfte Einflüsse auf Gebäude haben. Bei Fließgeschwindigkeiten > 0,5 m/s haben Menschen bereits ein Problem sich im Wasser zu bewegen und es besteht Gefahr für Leib und Leben. Jedoch sind Kinder oder ältere Menschen schon bei niedrigeren Fließgeschwindigkeiten gefährdet. Diese Gefährdung nimmt mit steigenden Wasserständen entsprechend noch zu [3].

Die generellen „hotspots“ der aktuellen Masterplanung hinsichtlich einer Überflutungsgefährdung werden im Folgenden näher beleuchtet. Die Problemstellen sind für $T_a = 1.000$ Jahre und $T_a = 10.000$ Jahre identisch, lediglich die maximale Überflutungstiefe bzw. Fließgeschwindigkeit ist bei $T_a = 10.000$ Jahre etwas höher. Es handelt sich in fast allen neuralgischen Bereichen nur um Differenzen von wenigen Zentimetern bis Dezimetern in der Überflutungstiefe oder wenige Zehntel m/s in der Fließgeschwindigkeit. Diese Differenzen sind gerade in Anbetracht der Unsicherheiten zu klein, als dass hierdurch Maßnahmen differenziert zwischen den beiden Szenarien zu treffen wären. Lediglich der Abfluss nach Remlingen und das aufgestaute Wasser in der Senke nördlich des geplanten Umspannwerks weisen relevante Differenzen zwischen $T_a = 1.000$ Jahren und $T_a = 10.000$ Jahren auf. Im Folgenden werden zur Illustration der Ergebnisse Darstellungen aus der Modellierung mit $T_a = 10.000$ Jahre gezeigt. Die berechneten Überflutungssituationen für alle Niederschlagsszenarien sind in Anhang 5 und Anhang 6 als Karten und in Anlage 1 als Animationen dargestellt.

Die **Abfallbehandlungsanlage und das Zwischenlager (A+Z)** weisen um das gesamte Gebäude herum eine sich schnell ausbildende Überflutung auf, welche zuerst durch herabströmendes Wasser von der großen Dachfläche bedingt ist. Die Flächen nordwestlich der A+Z (zurzeit Ackerland) können das Wasser anfangs noch infiltrieren, bilden dann aber auch Oberflächenabfluss, der die Situation um die A+Z weiter verschärft (Abbildung 14). Dies führt im nordöstlichen Bereich der A+Z (Punkt P1, Abbildung 14, Tabelle 5) zu Überflutungstiefen von 0,49 m für $T_a = 1.000$ Jahre, bzw. 0,60 m für $T_a = 10.000$ Jahre. Insgesamt wird von dem an beiden Seiten die A+Z umfließenden Wasser eine hohe Geschwindigkeit von teils mehr als 2 m/s erreicht ($T_a = 1.000$ und 10.000, Punkt P2 und P4, Abbildung 14, Tabelle 5).

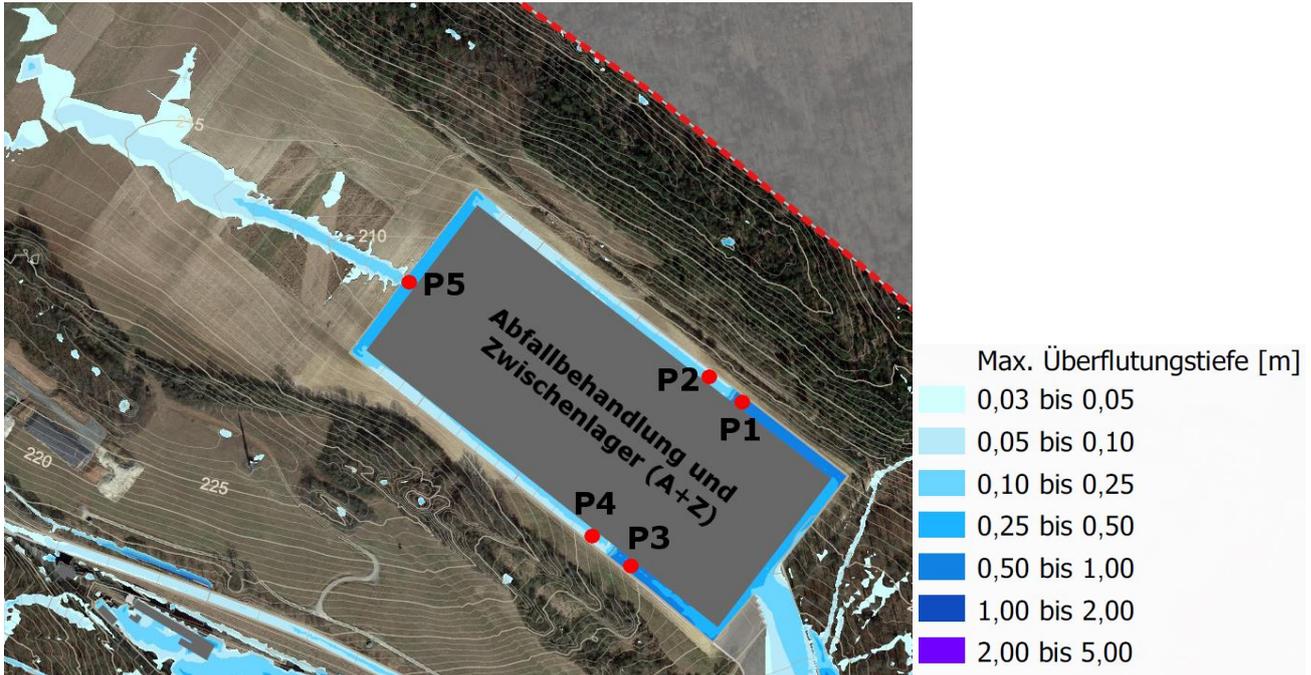


Abbildung 14: Überflutungssituation für das A+Z bei $T_a = 10.000$ Jahre und $D = 60$ min

Tabelle 5: maximale Überflutungstiefen ($\dot{U}T$) und Fließgeschwindigkeiten (v) für die Punkte in Abbildung 14

Punkt	$T_a = 1.000$ D = 60		$T_a = 10.000$ D = 60	
	max. $\dot{U}T$ [m]	max. v [m/s]	max. $\dot{U}T$ [m]	max. v [m/s]
P1	0,49	0,57	0,60	0,69
P2	0,09	2,17	0,10	2,57
P3	0,40	0,52	0,52	0,60
P4	0,08	1,83	0,10	2,21
P5	0,28	0,74	0,35	0,82

Das Wasser umfließt das A+Z Gebäude in Richtung **Zuwegung und Energieversorgung** der Erweiterungsfläche mit bis zu $4,9 \text{ m}^3/\text{s}$ bei $T_a = 10.000$ Jahre (Pfeil in Abbildung 15). Die Fläche um Energieversorgung und Zuwegung, mit geplanter unterirdischer Transporttrasse zum A+Z, Feuerwehrhaus und Energieversorgung, ist in der aktuellen Planung eher planar, weshalb das zuströmende Wasser hier vor allem bei $T_a = 1.000$ Jahre etwas langsamer wird und sich zeitweise flächig sammelt. Diese Planung verschiebt auch die bestehende Wasserscheide an diesem Punkt leicht. Generell führt die Situation in diesem Gebiet zu Überflutungstiefen von bis zu $0,24 \text{ m}$ für $T_a = 10.000$ Jahre (Abbildung 15, Punkt P5). Diese Überflutungstiefen gehen per se nicht mit einer sehr hohen Gefährdung einher, die geplante potenziell unterirdische Transporttrasse ist durch einströmendes Wasser jedoch stark gefährdet. Diese Trasse wurde im Modell nicht eingetieft, da die Planung nicht abschließend ist, würde jedoch zu einer starken Wasserakkumulation in der Trasse führen. Auch für das Umspannwerk können diese Überflutungstiefen, je nach Detailplanung, zu einer größeren Gefährdung mit Kurzschluss und dem Versagen der elektrischen Anlagen führen.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 31

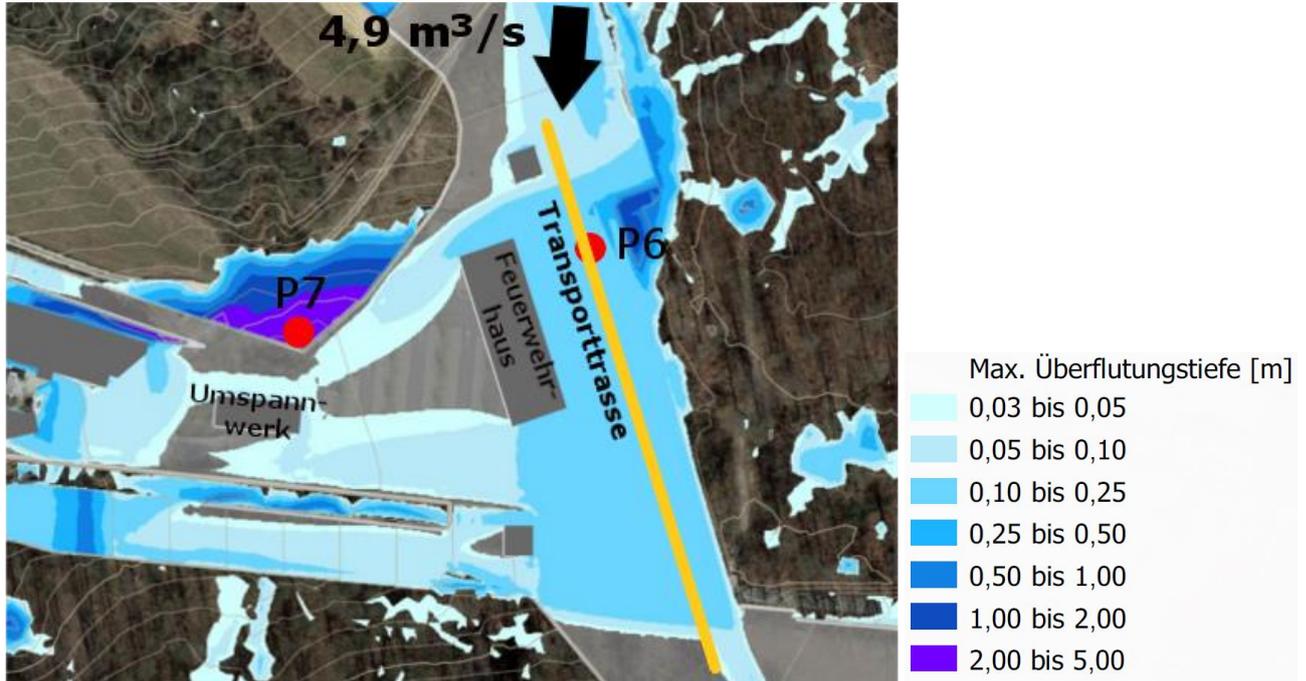


Abbildung 15: Überflutungssituation für die Zuwegung und Energieversorgung bei $T_a = 10.000$ Jahre und $D = 60$ min. In orange ist der grobe Verlauf der Transporttrasse eingezeichnet, der schwarze Pfeil zeigt den Spitzenabfluss in das Gebiet

Durch die **geplante Geländemodellierung** im Bereich der Erweiterungsflächen würden zum aktuellen Planungsstand **Senken** nördlich des Umspannwerks und östlich des Feuerwehrhauses bzw. der Transporttrasse entstehen (an Punkt P7 und östlich von P6, Abbildung 15). Diese weisen vor allem sehr hohe maximale Wassertiefen auf, mit maximal ca. 4 m Überflutungstiefe nördlich des Umspannwerks (P7, $T_a = 10.000$ Jahren). Bei $T_a = 1.000$ Jahren ($D = 60$ min) ist die Überflutungstiefe hier ca. 0,7 m tiefer. Ohne die Senke nördlich des Umspannwerkes würde sich vermutlich die Überflutungssituation um das Umspannwerk nochmals etwas verschärfen, da das Wasser in Richtung Südwesten fließen würde. Ebenfalls wäre die Gefährdung für die Transporttrasse ohne die Senke östlich von Punkt P6 (Abbildung 15) höher.

Vom Gelände um **Schacht Asse 5** strömt, mit der derzeitigen Annahme einer voll versiegelten Fläche, Wasser (maximal $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ bei $T_a = 10.000$ Jahren, schwarzer Pfeil in Abbildung 16) aus dem vorderen (nordwestlichen) Bereich in Richtung der Energieversorgung und Zuwegung, besonders in den Bereich der geplanten Transporttrasse. Im südlichen und südöstlichen Teil der geplanten Erweiterung um Schacht Asse 5, vor allem um das Schachtgebäude (inkl. Büro), strömt wenig Wasser von außerhalb zu und es sammelt sich vor allem Wasser, welches von der Anlage selbst stammt. Das führt zu Überflutungstiefen bei $T_a = 10.000$ Jahren von maximal 0,1 m und Fließgeschwindigkeiten $< 0,2 \text{ m/s}$. Dies bedeutet für den Schacht Asse 5 eine relativ geringe Gefährdung für das Eindringen von Wasser.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse

Blatt: 32

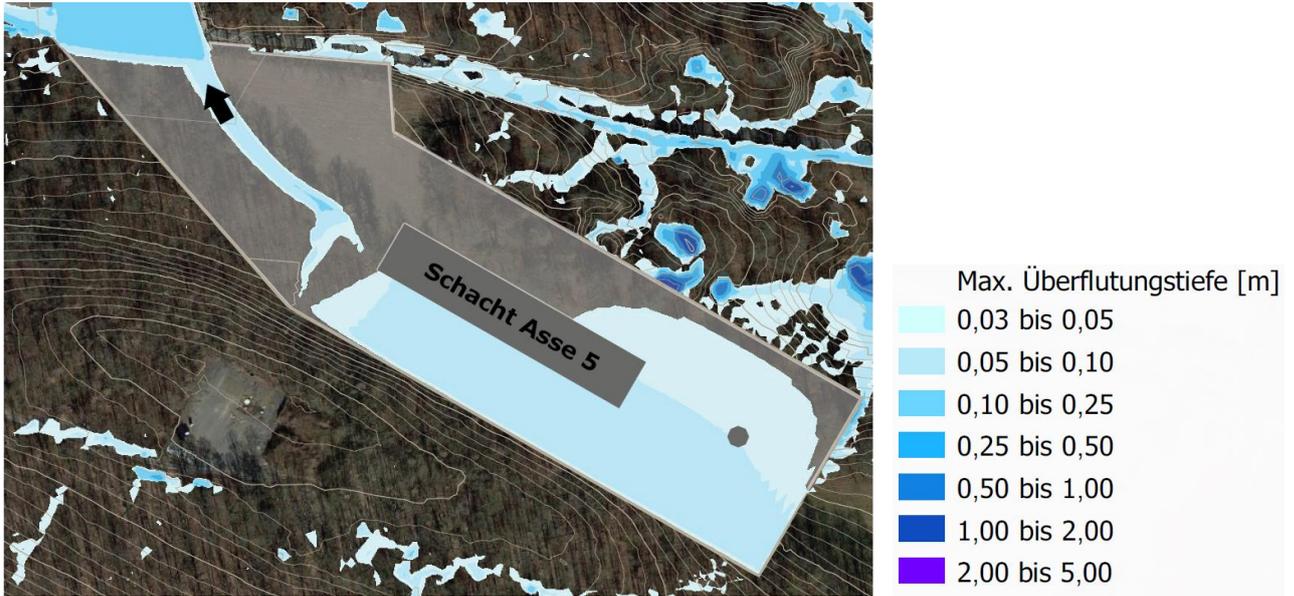


Abbildung 16: Überflutungssituation um den Schacht Asse 5 bei $T_a = 10.000$ Jahre und $D = 60$ min. Der schwarze Pfeil zeigt die Fließrichtung

Das Wasser aus dem größten Teil des berechneten Betrachtungsgebietes konzentriert sich auf der **Straße zur Gemeinde Remlingen** auf, wodurch hier sehr hohe Fließgeschwindigkeiten entstehen. Nur ein kleiner Teil des Asse Einzugsgebietes im Osten entwässert oberflächlich in Richtung der Gemeinde Vahlberg, wobei das meiste Wasser hier aus den Wäldern stammt (vgl. Anhang 6).

Im Szenario $T_a = 10.000$ Jahre strömen in der Spitze ca. $13 \text{ m}^3/\text{s}$ in Richtung Remlingen (Abbildung 13, Kontrollquerschnitt 19) mit Fließgeschwindigkeiten von über $2,5 \text{ m/s}$ und Überflutungstiefen von bis zu $0,22 \text{ m}$. Die Straße nach Remlingen ist bisher in der Masterplanung nicht detailliert geplant, weshalb beim Übergang der breiten Planstraße an die schmale Bestandstraße im Modell ein künstlicher Aufstau zustande kommt. Weiterhin ist auch das Straßenquerschnitt im Modell noch planar.

Der Kontrollquerschnitt 19 oberhalb des Aufstaus gibt die Abflüsse in Richtung Remlingen wieder. Durch die Kontrollquerschnitte 17 und 18 an der Straßenkreuzung südlich des zukünftigen Betriebsgeländes der Schachanlage Asse II, wo sich die Wasserflüsse des Einzugsgebietes des Bestandes mit dem Einzugsgebiet der Erweiterung trifft (Abbildung 17), lässt sich abschätzen, welche Wassermengen aus welchem Einzugsgebiet stammen. Dabei strömen ca. 72% ($T_a = 1.000$ Jahre und $T_a = 10.000$ Jahre) des Wasservolumens aus dem Einzugsgebiet, auf dem sich die Erweiterung befindet, und nur ca. 28% aus dem Einzugsgebiet der derzeitigen Bestandsanlagen Asse II und dem Waldgebiet westlich davon.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse

Blatt: 33

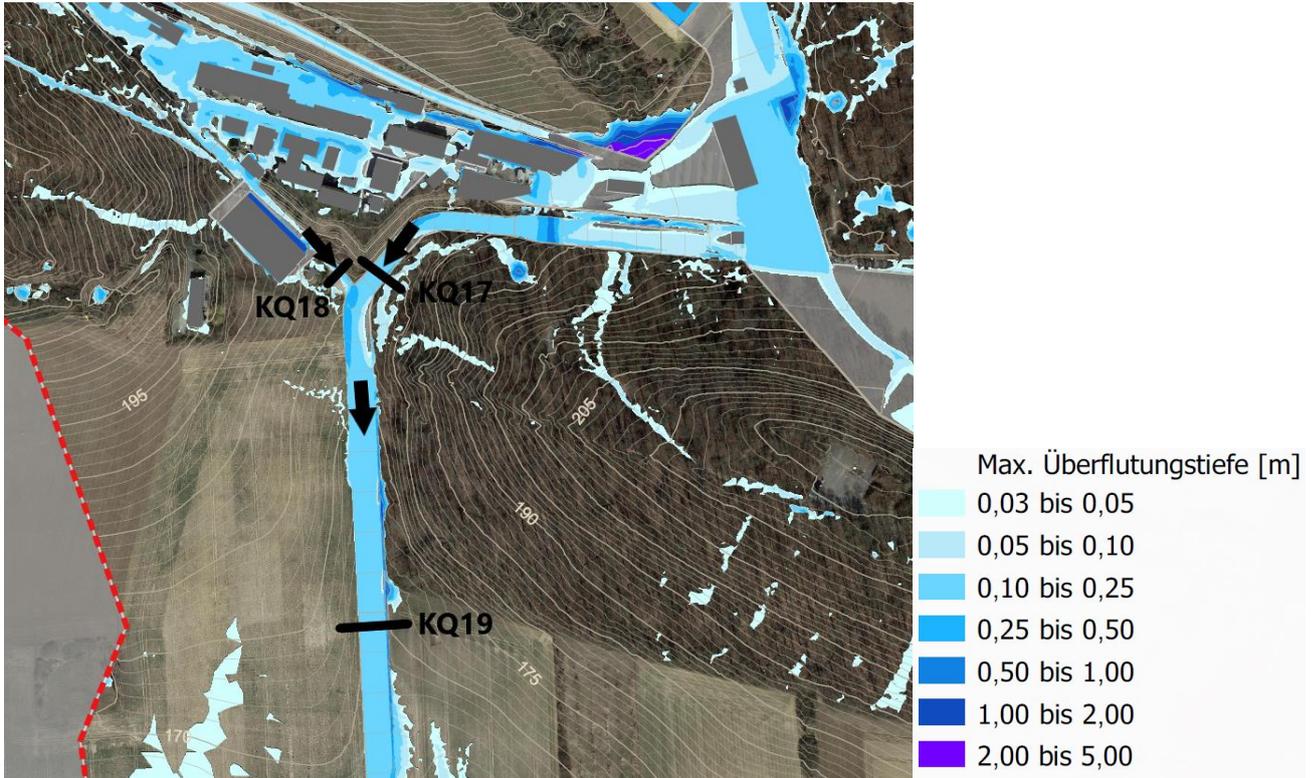


Abbildung 17: Überflutungssituation auf der Straße nach Remlingen bei $T_a = 10.000$ Jahre und $D = 60$ min mit der Lage der Kontrollquerschnitte (KQ, schwarze Linien) und generelle Fließrichtung (schwarze Pfeile)

6.2.2 Bestandsanlagen Asse II

Es gibt wenig aus Außengebieten auf das Bestandsgelände der Schachanlage Asse II zufließendes Wasser. Das meiste Wasser fällt auf dem Bestand selbst an. Auf dem Bestandsgelände treten eher niedrige Fließgeschwindigkeiten auf. Das Wasser fließt zum Gelände südlich, durch das offizielle Zugangstor der Wache der Bestandsanlage, in Richtung Remlingen ab. Lediglich in diesem Bereich treten etwas höhere Fließgeschwindigkeiten auf (über 2 m/s bei $T_a = 10.000$ Jahren, Punkt P8, Abbildung 18).

Betroffen ist im Bestand besonders die AFL2 (Anlage zur Annahme, Zwischenspeicherung und Förderung von Lösungen) mit Büro im nordöstlichen Bereich. Das Wasser, das den direkt nördlich an die AFL2 angrenzenden Hang (zwischen AFL2 und geplanter Gleisverbindung) herunter strömt, sammelt sich dort mit Überflutungstiefen von über 2 m ($T_a = 1.000$ und 10.000 Jahre, Punkt P9, Abbildung 18). Zusätzlich verschärft wird die Situation durch die neu geplante Gleisverbindung, die nördlich des Bestandes Asse II verläuft, und über die das Wasser zur beschriebenen Stelle heranströmt (Abbildung 18). Die AFL2 ist im nördlichen Teil aktuell jedoch darauf ausgelegt Wasser abzuleiten. Die Situation wurde in der Ortsbesichtigung begutachtet und das Risiko als gering eingeschätzt.

Auch die zentrale Energieversorgungsstation mit fast ebenerdigen Türen und Luftschlitzen in geringer Höhe ist durch zuströmendes Wasser von der bereits bestehenden Gleisstrecke betroffen. Gerade da sich hier Trafos hinter den Türen befinden, ist dies ein gefährdeter Bereich (Abbildung 18).

Der westliche Bereich des bestehenden Betriebsgeländes ist mit ca. 0,1-0,25 m Wasserstand betroffen, mit ähnlichen Mustern bei sowohl $T_a = 1.000$ Jahren als auch $T_a = 10.000$ Jahren. Es bildet sich eine flächige Überflutung um die Schachthalle Asse II, das Kauengebäude, die

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	

Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse	Blatt: 34
---	-----------

Salzentladeanlage, die Fördermaschinenhalle und mehrere Verwaltungsgebäude aus. Wassertiefen von über 0,25 m bilden sich vor allem im nördlichen Bereich, am Multifunktionsgebäude aus. Innerhalb dieser flächigen Überflutung wurden während der Ortsbegehung tieferliegende Zugänge (Treppen zum Untergeschoss) bei den Verwaltungsgebäuden oder tiefer eingelassene Tanks an der „Verladehalle Lauge“ identifiziert, denen Wasser zuströmen und potenziell in die Gebäude eindringen könnte.

Auch im straßenzugewandten Abschnitt des geplanten neuen Parkhauses würde sich Wasser durch eine Erhebung zur Straße hin aufstauen (maximal ca. 1,40 m bei $T_a = 10.000$ Jahren, $D = 60$ min).



Abbildung 18: Überflutungssituation der Bestandsanlagen Asse II bei $T_a = 10.000$ Jahre und $D = 60$ min. Die schwarzen Pfeile zeigen die Fließrichtung

Änderungen am Bestandsgelände (zum Beispiel ein neues Gebäude) hätten eher geringen Einfluss auf die Überflutungssituation, da das Gelände im Modell bereits als komplett versiegelt angenommen wurde. Lediglich kleinräumige Strömungsmuster könnten sich ändern. Bauliche Änderungen im nördlichen oder nordwestlichen Bereich des bestehenden Betriebsgeländes (bisher unversiegelt) könnten jedoch die Situation verschärfen, da hier aktuell anfallendes Wasser dem bestehenden Betriebsgelände zuströmen würde.

6.2.3 Weitere assoziierte Gefährdungen für die Erweiterungsplanung (Erosion, Grundwasser)

Weitere mit dem Starkregenereignis assoziierte Gefährdungen sind auf Basis der Topografie und Lage vor allem Erosion und der Grundwasseranstieg in Folge des Niederschlags. Andere durch den Starkregen bedingten Gefährdungen (z.B. Hangrutschungen) sind bei den örtlichen Gegebenheiten (Hangneigung, etc.) eher unwahrscheinlich.

Das Karlsruhe Institute of Technology hat in Kooperation mit dem Umweltbundesamt auf Basis der allgemeinen Bodenabtragsgleichung die Erodierbarkeit aller „nicht-Siedlungsbereiche“ in 10 m x 10 m Auflösung berechnet. Landnutzungen wie natürliche Waldflächen sind relativ schwach von Erosion betroffen. Die Ergebnisse der Erodierbarkeitsberechnung können über die MoRE-Toolbox eingesehen werden (Abbildung 19).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 35

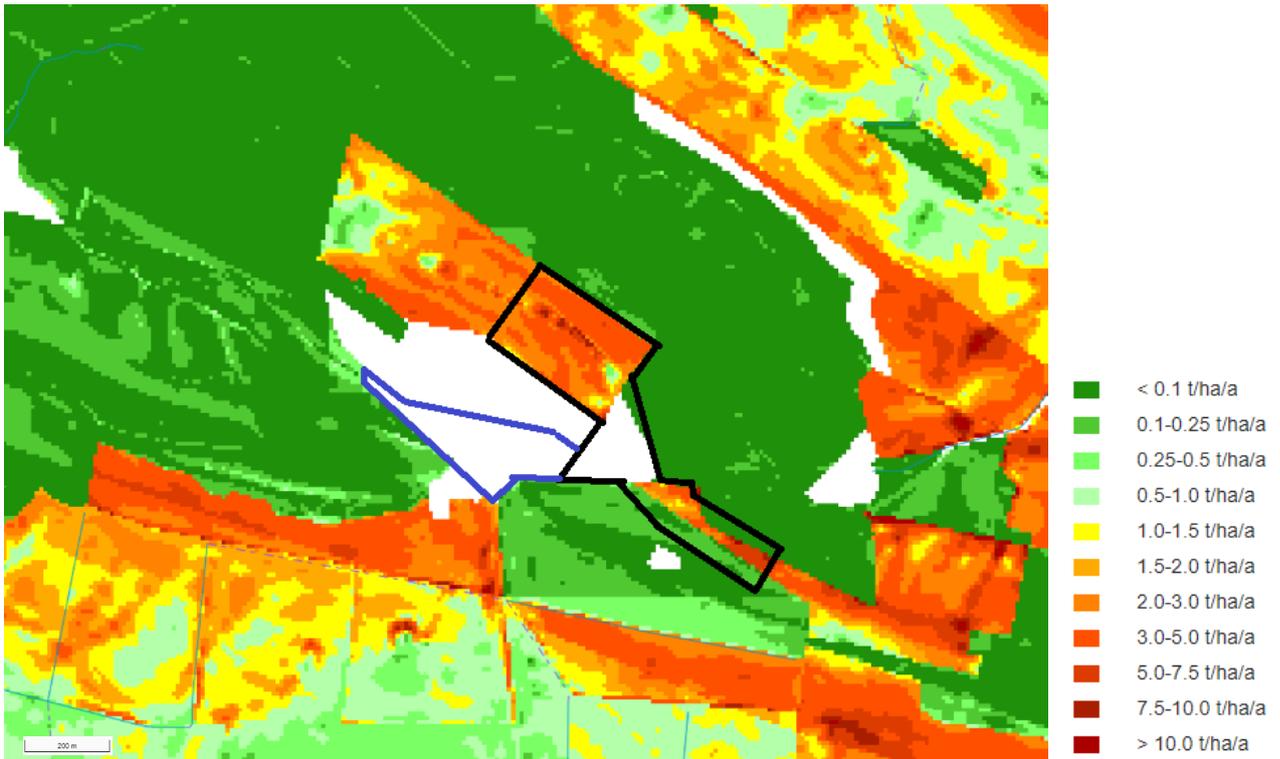


Abbildung 19: Langjähriger mittlerer Bodenabtrag durch Wasser, MoRE-DE Toolbox, <https://stoffeintrage-more.de/viewer>, abgerufen am 18.11.2022. In blau die groben Umrisse des bestehenden Betriebsgelände Schachtanlage Asse II und in schwarz die des zukünftigen Betriebsgeländes Schachtanlage Asse II. Der Maßstabsbalken links unten im Bild entspricht 200 m. Der Dezimaltrenner der Legende ist in dieser Abbildung ein Punkt.

Die Ergebnisse zeigen für die Fläche, auf der die A+Z entstehen soll und dem dazugehörigen nach Westen verlaufenden Einzugsgebiet eine große Bandbreite an Bodenabtrag von geringen bis hohen Werten, wobei der Großteil der Fläche höhere Bodenabträge aufweist. Diese langjährigen mittleren Bodenabträge zeigen die Stellen, an denen auch beim hier betrachteten Starkregen vermehrt Erosion stattfinden würde. Abgelagert wird das Substrat dann an Stellen mit niedrigeren Fließgeschwindigkeiten und längeren Verweilzeiten. Da es sich jedoch um ein relativ kleines Einzugsgebiet handelt und das Wasser nicht unbegrenzt Sediment transportieren kann, führen die absoluten Frachten vermutlich zu keiner größeren Gefährdung.

Auch ein Grundwasseranstieg in Folge des Starkregens kann prinzipiell zu Gefährdungen und Schäden an der Bausubstanz führen. Es wird von einem relativ tiefen Grundwasserstand ausgegangen, der die Bausubstanz nicht erreicht. Sollte es im Rahmen der Geländeumgestaltung bei der Erweiterung des Betriebsgeländes jedoch zu veränderten Grundwasserständen kommen, die beispielsweise bis in den Bereich des Fundamentes der Bauten oder bis zur Geländeoberkante steigen, können Auftriebskräfte auf die Gebäude und Anlagen wirken und zu Schäden führen. In diesem Fall wären außerdem die Infiltrationskapazitäten der Böden wesentlich niedriger und es würde mehr Oberflächenabfluss bei Starkregen entstehen, was wiederum die Überflutungskarten beeinflussen könnte. Starke Grundwasseranstiege in Folge von Starkregen könnten auch zu Setzungen des Baugrunds führen.

7 Empfehlungen zur Verhinderung und Reduzierung von Schäden durch Starkregen am Standort und in der weiteren Vorhabenplanung

Starkregenereignisse treten sehr plötzlich auf und können schnell zu Überflutungen führen. Da es sich beim Standort des zukünftigen Betriebsgeländes der Schachtanlage Asse II um ein

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 36

Kopfeinzugsgebiet handelt, hat das Wasser keine langen Konzentrationszeiten und die Reaktionszeit ist kurz. Daher müssen alle Maßnahmen präventiv getroffen werden.

Bei Maßnahmen gegen Schäden durch solch extreme Starkregen ist die oberste Priorität, dass das Wasser die Anlagen und Gebäude gar nicht erst erreicht, sondern vorher umgelenkt wird. Besonders, da sich das zukünftige Betriebsgelände noch in der Planung befindet, können wasserleitende Strukturen oder Geländeneigungen noch sehr gut angepasst werden. Diese Maßnahmen sollten mit solchen zur Reduzierung des umzuleitenden Wassers unterstützt werden. Generell sollte versucht werden, möglichst viel des Niederschlags zu infiltrieren, damit dieser nicht als Oberflächenabfluss aktiv wird und außerdem einen geeignet großen Rückhalt für das anfallende Wasser zu schaffen (Kanalinfrastruktur mit entsprechenden Einläufen, Rückhaltebecken). Wo sich Wasser nicht fernhalten lässt, ist ein konkreter Objektschutz zu empfehlen. Beim Objektschutz ist anzumerken, dass viele temporäre Maßnahmen, wie beispielsweise Dammbalkensysteme zum Schutz von Türen, während eines Starkregens möglicherweise wegen der kurzen Reaktionszeiten nicht rechtzeitig angebracht werden können. Daher sollte hier mit permanenten Objektschutzmaßnahmen wie z.B. wasserdruckdichten Türen geplant werden.

Ein Großteil des Wassers, welches das zukünftige Betriebsgelände der Schachanlage Asse II gefährdet, fällt auf der entsprechenden Fläche selbst an (Dächer, versiegelte Flächen). Eine gut dimensionierte und gewartete Dachentwässerung und Entwässerungsinfrastruktur (Einläufe freihalten) kann zu einer Abminderung der hier dargestellten Situation führen. Dies betrifft konkret die Erweiterungsflächen (A+Z, Transporttrasse, Schacht Asse 5) reduziert aber auch die Wassermenge, die in Richtung Remlingen strömt. Je nach Detailplanung der Bauten, kann es auch eine Möglichkeit sein, Wasser auf den Dächern gezielt zurückzuhalten und verzögert zum Abfluss zu bringen. Infiltration auf dem Bestand kann beispielsweise mit geeigneten Rasengittersteinen erhöht werden.

Weiterhin fließt dem zukünftigen Betriebsgelände Wasser aus dem Gebiet westlich der A+Z zu. Dieses gefährdet die A+Z und die Transporttrasse zwischen A+Z und Schacht Asse 5. Hier wird empfohlen, möglichst viel Niederschlagswasser in der Außengebietsfläche zu infiltrieren. Diese Maßnahme bietet zudem einen zusätzlichen Schutz vor Erosion. Infiltration kann durch die Landnutzung maßgeblich gesteuert werden. Das Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern oder Gräsern ist ein wirksames Mittel zur Erhöhung der Infiltration im Vergleich zur jetzt vorhandenen Ackerfläche. Hierbei spielen die Besitzverhältnisse der Grundstücke eine Rolle. Sollte sich das Grundstück nicht im Besitz der BGE befinden, kann auch über Verträge mit dem Besitzer die Nutzung geregelt werden oder zumindest der Anbau bestimmter Ackerfrüchte, die den Oberflächenabfluss erhöhen (wie z.B. Mais), ausgeschlossen werden. Zusätzlich sollte in der Planung des Außengebiets das Wasser mit entsprechenden Strukturen um die A+Z geleitet werden, so dass zudem auch die Transporttrasse nicht gefährdet wird. Solche Strukturen könnten beispielsweise Wälle oder Grabensysteme sein. Auch durch die Schutzmauer, die beispielsweise um die A+Z gebaut werden soll, könnte bei geeigneter Planung Wasser umgeleitet werden. Durch die natürliche Topografie der Fläche westlich der A+Z, die eine leichte Senke aufweist, kann mit einer entsprechenden Höhe und Standsicherheit der Schutzmauer gegebenenfalls zusätzlich auch Wasser zurückgehalten werden. Diese Maßnahmen sind jedoch im Detail zu prüfen. Außerdem wäre es ratsam, das Wasser des Außengebietes leicht zu bremsen und so auch einen Schutz vor dem potenziell mitgeführten Sediment zu erreichen (Sedimentfang).

Je nach finaler Planung der ober- oder unterirdischen Trassenführung zwischen A+Z und Schacht Asse 5 müssen hier entsprechende Maßnahmen getroffen werden. Bei unterirdischer Führung muss Wassereintritt auf jeden Fall durch abdichtende Maßnahmen vermieden werden. Diese Maßnahmen sind jedoch je nach Bauweise sehr unterschiedlich und müssen im Detail betrachtet werden. Bei oberirdischer Führung könnte die Trasse mit beidseitigen Mauern entsprechend geschützt werden.

Auch das Gebäude von Schacht Asse 5 sollte im Zuge der Objekt- und Außengeländeplanung durch z.B. ein vom Gebäude abfallendes Gelände vor jeglichem Wassereintritt geschützt werden, selbst

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BGE <small>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</small>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 37

wenn es sich laut Modellierung nur um geringe Überflutungstiefen handelt. Zudem sollten hier leistungsfähige Niederschlagseinlauftrassen installiert werden, besonders auf der Süd- bzw. Hangseite des Gebäudes. Auch hier könnte eine Schutzmauer gegebenenfalls als Wasserumleitung um das Gelände fungieren. Generell sollten Türen und Tore, wo möglich, wasserdicht geplant werden und es darf keine Wassereintrittsmöglichkeiten (z.B. Lüftungsschlitze, Kabeldurchführungen) in den untersten 15 cm geben.

Weiterhin sind die beiden Senken nördlich des Umspannwerks und nordöstlich des Feuerwehrhauses in der weiteren Planung genauer zu betrachten. Die Böschungen müssen sehr stabil sein und dem berechneten Wasserstand standhalten können. Zudem sollte sichergestellt werden, dass in den Senken keine sensible Infrastruktur installiert wird bzw. sollte diese auf die potenzielle Überflutung ausgelegt sein, sodass kein Wassereintritt bzw. Übertritt über Verbindungsrohre oder ähnliches stattfinden kann. Sollten diese Bedingungen erfüllt sein, können diese Senken-Strukturen aber sehr wohl als „passive Rückhaltebecken“ vorteilhaft sein. Auch für das Umspannwerk gilt, dass wasserdichte Türen verbaut werden sollten und dass keine Wassereintrittsmöglichkeiten (Lüftungsschlitze; Verrohrungen) in den unteren 30 cm des Gebäudes vorhanden sind.

Der Abfluss in Richtung der Gemeinde Remlingen ist atomrechtlich nicht relevant, hat jedoch für die Gemeinde eine erhebliche Bedeutung. Daher sollte während der Straßenplanung versucht werden, das Wasser von der Straße zu leiten, damit diese nicht wie eine Art Schussrinne für den Wasserstrom fungiert. Dies kann durch Straßenseitengräben, ein nach außen abfalliges Straßenprofil und Querrinnen geschehen. Zudem könnte Wasser aus den Straßenseitengräben, wenn möglich, in der Fläche (ggfs. landwirtschaftliche Flächen) vor Remlingen zwischengespeichert werden. Hier können bereits kleine Modifikationen an der Geländemorphologie dazu beitragen, Wasser zurückzuhalten. Zu erwähnen ist außerdem, dass ein Teil des berechneten Abflusses auch ohne die Erweiterungsplanung nach Remlingen fließen würde. Wie groß der Unterschied durch die Erweiterung der Anlagen ist, müsste ggfs. separat mit dem hier erstellten Modell bzw. einer Variante davon untersucht werden.

Im Bestand der Anlagen Asse II sollte bei der Planung der neuen Gleistrasse darauf geachtet werden, dass kein Wasser in den Bestand geleitet wird. Zudem sollte bei tiefliegenden Zugängen (z.B. Untergeschoss) und sonstigen Senken nahe der Gebäude darauf geachtet werden, dass hier Aufkantungen installiert werden, die das Wasser fernhalten oder umlenken. Hier reichen meist schon geringe Aufkantungen (ca. 25 cm).

Es wird empfohlen, das Modell baubegleitend für die Vorhabens- und Maßnahmenplanung gegen Starkregen fortzuschreiben und zu verwenden.

8 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde die Gefährdung durch extreme Starkregenereignisse ($T_a > 100$ Jahre) für das zukünftige Betriebsgelände der Schachanlage Asse II betrachtet. Die Gefährdung wurde für definierte Niederschlagsszenarien mittels eines N-A- und hydrodynamischen Modells berechnet und anschließend beurteilt. Der Fokus lag hierbei auf den atomrechtlich relevanten Anlagen Schacht Asse 5, A+Z, Transporttrasse, Zuwegung und Energieversorgung, jedoch wurde auch das Bestandsgelände und das zur Gemeinde Remlingen abfließende Wasser betrachtet.

Dabei wurden vor allem die A+Z, Transporttrasse bzw. Zuwegung und Energieversorgung als neuralgische Punkte identifiziert. Überflutungstiefen > 1 m gab es auch bei dem stärksten berechneten Szenario ($T_a = 10.000$ Jahren, $D = 60$ min) nur in Senken und am nördlichen Rand der AFL2. Auch Überflutungstiefen $> 0,5$ m sind nur vereinzelt (A+Z und östliches Bestandsgelände) vorzufinden. Jedoch treten auf dem zukünftigen Betriebsgelände teils hohe Fließgeschwindigkeiten

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 38

mit > 2 m/s auf (i.W. an der A+Z). Besonderes Augenmerk ist auch auf den Wasserfluss auf der Straße nach Remlingen zu legen, wenn dieser auch nicht atomrechtlich relevant ist. Hier treten hohe Abflüsse und Fließgeschwindigkeiten auf. Assoziierte Gefährdungen wie Erosion und Grundwasser wurden für das zukünftige Betriebsgelände ebenfalls eingeschätzt.

In der hier vorliegenden Untersuchung wurde durch Extrapolation der Niederschläge auf bis zu $T_a = 10.000$ Jahre die Gefährdung durch extreme Niederschläge betrachtet, wie es für solche Anlagen dem aktuellen Stand der Risikobetrachtungen entspricht. Damit wird ein sehr hohes Sicherheitsniveau für die Anlagen erreicht. Dennoch gibt es in der modelltechnischen Betrachtung Unsicherheiten. Diese resultieren vor allem aus der Definition der Niederschlagsszenarien (KOSTRA-DWD 2010R Unsicherheiten, Extrapolation, Klimawandel) und der Parameterdefinition des N-A- und hydrodynamischen Modells. Da es zu den Überflutungen solcher Extrem-Szenarien keine Messungen gibt, ist eine Kalibrierung der Parameter nicht möglich.

Basierend auf den Erkenntnissen wurden Maßnahmen für die beschriebenen Schwerpunkte empfohlen, welche die Umleitung und den Rückhalt von Wasser, die Vermeidung von Oberflächenabfluss und den Objektschutz umfassen. Die Beachtung der Ergebnisse dieser Untersuchung im weiteren Planungsprozess des zukünftigen Betriebsgeländes Schachanlage Asse II wird dringend empfohlen.

9 Literaturverzeichnis

- [1] Entsorgungskommission, Empfehlung der Entsorgungskommission vom 06.12.2018: Leitlinie zum Schutz von Endlagern gegen Hochwasser, 35 Seiten. RSK/ESK-Geschäftsstelle beim Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit.
- [2] Umweltbundesamt, Prof. Dr. Karl-Erich Köppke et. al. (2012): Grundlagen für die Technische Regel für Anlagensicherheit (TRAS) 310 - Vorkehrungen und Maßnahmen wegen der Gefahrenquellen Niederschläge und Hochwasser. <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/4447.html>.
- [3] LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2016): Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg. ISBN 978-3-88251-391-2
- [4] Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2018): Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement.
- [5] Prof. Dr.-Ing. Ernesto Ruiz Rodriguez & Nele Guthörl (2021): Hinweise zur Berechnung und Erstellung von Starkregengefahrenkarten in Hessen. Projekt KLIMPRAX Starkregen und Katastrophenschutz in Kommunen. Hochschule RheinMain, Arbeitsgruppe "Starkregen und Sturzfluten".
- [6] Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie, Thomas Junghänel, Heinz Ertel und Dr. Thomas Deutschländer (2017): KOSTRA-DWD-2010R - Bericht zur Revision der koordinierten Starkregenregionalisierung und -auswertung des Deutschen Wetterdienstes in der Version 2010.
- [7] Maniak, Ulrich (2016): Hydrologie und Wasserwirtschaft - Eine Einführung für Ingenieure. Berlin, Springer-Verlag GmbH Deutschland. ISBN 978-3-662-49087-7.
- [8] Woodward, D.E. et al. (2003): Runoff Curve Number Method: Examination of the Initial Abstraction Ratio. World Water & Environmental Resources Congress, 2003.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	24000000				EB	BW	0001	00	
Einschätzung der Gefährdung durch Starkregen am Standort Asse									Blatt: 39

- [9] USDA - United States Department of Agriculture (1986): Urban Hydrology for Small Watersheds. TR-55 (Technical Release 55).
- [10] Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH (2021): Benutzerhandbuch HYDRO_AS-2D. Version 5.2.5.
- [11] Oberle, P. et al. (2021): Diskussionsbeitrag zur Fließwiderstandsparmetrisierung zur Simulation der Oberflächenabflüsse bei Starkregen. WasserWirtschaft, 111. Jahrgang, 4/2021.