

Deckblatt



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Blatt: 1
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	25232				EA	RZ	0004	00	Stand: 13.11.2023

Titel der Unterlage:
ZUSAMMENFASSENDER ERGEBNISDARSTELLUNG BRANDSCHUTZ ZUR PHASE 2 DER ÜSIKO TEIL 2

Ersteller/Unterschrift:

TEK-ES.2 /

Prüfer/Unterschrift:

TEK-ES.2

Stempelfeld:

UVST:	bergrechtlich verantwortliche Person:	atomrechtlich verantwortliche Person:	Bereichsleitung:	Freigabe zur Anwendung:
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift

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.

Deckblatt



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Blatt: 1
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	25232				EA	BZ	0004	00	

Titel der Unterlage:
Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo Teil 2

Ersteller/Unterschrift:

TEK-ES.2 / [Redacted]

Prüfer/Unterschrift:

TEK-ES.2 / [Redacted]

Stempelfeld:

DokID: 12027363

ULV-Nr.: 867494

UVST:	bergrechtlich verantwortliche Person:	atomrechtlich verantwortliche Person:	Bereichsleitung:	Freigabe zur Anwendung:
Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift	Datum und Unterschrift

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.

Revisionsblatt



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Blatt: 2a Stand: 13.11.2023
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	25232				EA	BZ	0004	00	

Titel der Unterlage:

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo Teil 2

Rev	Revisionsstand Datum	Verantwortl. Stelle	revidierte Blätter	Kat. *	Erläuterung der Revision
00	13.11.2023	TEK-ES.2			Ersterstellung

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

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 3

Blatt

Inhaltsverzeichnis **3**

Abkürzungen **5**

1.	Einordnung der ÜsiKo	7
2.	Einleitung und Aufgabenstellung	8
3.	Delta 22: Brandschutztechnische Untersuchung elektrisch betriebener Fahrzeuge (Fahrzeugbrand unter Tage)	13
4.	Hinweis 2: Erstellung einer geschlossenen Brandschutzunterlage	55
5.	Hinweis 8: Sicherheitstechnische Bewertung bezüglich des Explosionsschutzes beim Einsatz von Energiespeichern	60
6.	Zusammenfassung	64

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: In den FDS-Brandsimulationen berücksichtigte Brandlasten	20
Tabelle 2: Liste der durchgeführten FDS-Brandsimulationen	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich der Modellkurven der PTB, der NUKEM und der GRS (Abbildung 8 aus der EU 132.1&2 [7])	17
Abbildung 2: Damalige Skizze des Transportwagens (Abbildung 1 aus EU 132.1&2 [7])	18
Abbildung 3: Darstellung des batterieelektrischen Transportwagens mit Lastrahmen (links), Drehknickgelenk (Mitte), Kabinenrahmen und Kabine (rechts)	19
Abbildung 4: Lage der Brandlasten (inklusive O ₂ -Zufuhr) des BETW	21
Abbildung 5: Wärmefreisetzungsverlauf des Lachenbrandes (einschließlich anteilig Kleinstbrandlasten) nach [8] sowie nach neuer Festlegung	23
Abbildung 6: Wärmefreisetzungsverlauf der Reifenbrände (einschließlich anteilig Kleinstbrandlasten) nach [8] sowie nach neuer Festlegung	25
Abbildung 7: Wärmefreisetzung als Funktion der Ladung der 18650 LiBs [20]	27
Abbildung 8: Freigesetzte Wärme im Verhältnis zur elektrisch gespeicherten Energie für Zellen eines Automobilherstellers [21]	27
Abbildung 9: Verlauf der Wärmefreisetzungsraten der Teilbrände	28
Abbildung 10: Darstellung einer Kammerzufahrt zur Einlagerungskammer (ELK)	29
Abbildung 12: Streckenprofil im gewählten Abschnitt sowie Abbildung der Strecke in den FDS-Brandsimulationen (blaue Kurven)	29
Abbildung 13: Darstellung Sollbruchstellen (Berstscheiben) im unteren Bereich des hinteren Fahrgestells	31
Abbildung 14: Darstellung der Gebinde und der ausgewählten Monitorpunkte	32
Abbildung 15: Beispielhafte Darstellung der räumlich gemittelten Temperatur T _{av} sowie maximalen Temperatur T _{max} und minimalen Temperatur T _{min}	33

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 4

Abbildung 16: Exemplarische Darstellung der adiabaten Oberflächentemperatur, der Gastemperatur (Monitorpunkt), der Wandoberflächentemperatur und der Oberflächentemperatur an der „Rückwand“	34
Abbildung 17: Exemplarische 3D-Darstellung der adiabaten Oberflächentemperatur am Container Typ V	35
Abbildung 18: Fälle Nr. 1 und Nr. 2: Vergleich der minimalen (orange / grün) und maximalen (rot / blau) Gastemperaturen um das hintere Rundgebäude	37
Abbildung 19: Fälle Nr. 1 und Nr. 2: Vergleich der gemittelten Gastemperaturen um das hintere Rundgebäude	38
Abbildung 20: Fälle Nr. 1 und Nr. 2: Vergleich der minimalen (orange / grün) und maximalen (rot / blau) Gastemperaturen um das vordere Rundgebäude	39
Abbildung 21: Fälle Nr. 1 und Nr. 2: Vergleich der gemittelten Gastemperaturen um das vordere Rundgebäude	39
Abbildung 22: Fall Nr. 1: 3D-Darstellung der adiabaten Oberflächentemperatur insbesondere des hinteren Rundgebüdes bei 480 s	40
Abbildung 23: Fall Nr. 1: Temperaturen an der oberen rechten Kante des hinteren Rundgebüdes	41
Abbildung 24: Fälle Nr. 3 und Nr. 4: Vergleich der minimalen (orange/grün) und maximalen (rot/blau) Gastemperaturen um den Container	42
Abbildung 25: Fälle Nr. 3 und Nr. 4: Vergleich der gemittelten Gastemperaturen um den Container	43
Abbildung 26: Fall Nr. 3 und Nr. 5: Vergleich der Verteilung der Wärmefreisetzungsrate im Fahrzeugbereich	44
Abbildung 27: Fälle Nr. 3 und Nr. 5: Vergleich der minimalen (orange/grün) und maximalen (rot/blau) Gastemperaturen um den Container	45
Abbildung 28: Fälle Nr. 3 und Nr. 5: Vergleich der gemittelten Gastemperaturen um den Container	45
Abbildung 29: Fälle Nr. 3 und Nr. 3f (Gitterstudie): Vergleich der minimalen (orange/grün) und maximalen (rot/blau) Gastemperaturen um den Container	46
Abbildung 30: Fälle Nr. 3 und Nr. 3f (Gitterstudie): Vergleich der gemittelten Gastemperaturen um den Container	47
Gesamte Blattzahl dieser Unterlage	65

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 5

Abkürzungen

AN	Auftragnehmer
AtG	Atomgesetz
ÄV	Änderungsvorgang
BASE	Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung
BETW	Batterieelektrischer Einlagerungstransportwagen
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGE	Bundesgesellschaft für Endlagerung
BMI	Bundesministerium des Innern
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
CFD	Computational Fluid Dynamics
COCOSYS	Containment-Code-System
EG	Ergänzende Unterlage
ELK	Einlagerungskammer
EU	Erläuternde Unterlage
FDS	Fire Dynamics Simulator
FP	Flammpunkt
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit
HRD	High Rate Discharge
HRR	Heat Release Rate (Wärmefreisetzungsrate)
IAEA	International Atomic Energy Agency
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
LiB	Lithium-Ionen-Batterien
NB	Nebenbestimmung
NBauO	Niedersächsische Bauordnung
NUKEM	Nuklearchemie und Metallurgie
PFB	Planfeststellungsbeschluss

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 6

PFV	Planfeststellungsverfahren
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
RSK	Reaktor-Sicherheitskommission
SOC	State of Charge
SSK	Strahlenschutzkommission
StrlSchG	Strahlenschutzgesetz
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
T _{AST}	Adiabatische Oberflächentemperatur
TW	Einlagerungstransportwagen
u. T.	unter Tage
ÜsiKo	Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik
W&T	Wissenschaft und Technik

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜSiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 7

1. Einordnung der ÜSiKo

Die ÜSiKo (= „Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik“) wird – initiiert von der BGE als verantwortungsvolle Vorhabenträgerin – unabhängig von der jederzeit gegebenen behördlichen Überwachung, als selbstständige Überprüfung größtenteils durch externe Fachgutachter durchgeführt. Der Planfeststellungsbeschluss Konrad ist bestandskräftig. Er selbst ist kein Gegenstand der Überprüfung i. S. d. ÜSiKo.

Die ÜSiKo umfasst bislang folgende zwei Phasen: Die Phase 1 (2017-2020) diente der Ermittlung des Überprüfungsbedarfs. Hier wurde fachgutachterlich untersucht, ob in Bezug auf die Sicherheitsanalysen für das Endlager Konrad ein allgemeiner Fortschritt im Stand von Wissenschaft und Technik eingetreten ist. Soweit dies der Fall ist, wurde dieser Fortschritt als sogenanntes Delta formuliert. Zum überwiegenden Teil wurde bereits in Phase 1 festgestellt, dass der konstatierte Fortschritt keine Relevanz in Bezug auf die Sicherheit des Endlagers Konrad aufweist. Konnte eine Relevanz in Bezug auf die Sicherheit des Endlagers Konrad – in vereinzelt Fällen – in Phase 1 nicht von vornherein ausgeschlossen werden, wurde insoweit ein weiterer Betrachtungsbedarf für Phase 2 ermittelt (sog. sicherheitsrelevante Deltas).

Die Feststellung eines sogenannten sicherheitsrelevanten Deltas in Phase 1 allein lässt keine Schlussfolgerungen konkret in Bezug auf die Sicherheit des Endlagers Konrad zu. Es wird lediglich festgestellt, dass sich der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik in Bezug auf die Anforderungen an ein heute neu zu genehmigendes Endlager verändert hat und eine sicherheitstechnische Relevanz nicht von vornherein verneint werden kann. Die ÜSiKo sieht für diesen Fall vor, dass eine weitergehende fachgutachterliche Betrachtung in Phase 2 (Aktualisierung von Sicherheitsanalysen) erfolgt.

Bei der Aktualisierung von Sicherheitsanalysen (Phase 2 der ÜSiKo) setzen sich die Fachgutachter mit den konkreten Ausprägungen eines Fortschritts im Stand von Wissenschaft und Technik mit Bezug zu den sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad (sog. Sicherheitsrelevanz) auseinander. Im Rahmen der Bearbeitung in Phase 2 werden z. B. neue Modellrechnungen vorgenommen. Sodann wird untersucht, ob eine Relevanz dieser Ergebnisse für die Sicherheitsanforderungen des Endlagers Konrad nach Phase 2 ausgeschlossen werden kann (1.) oder ob die Sicherheitsrelevanz weiterbesteht (2.).

1. Soweit fachgutachterlich festgestellt wird, dass sich die in Phase 1 identifizierte potenzielle Sicherheitsrelevanz nach dem Ergebnis der Phase 2 nicht bestätigt, sind Folgerungen in Bezug auf die Sicherheit des Endlagers Konrad ausgeschlossen. In diesem Fall wird das Delta bereits mit der Aktualisierung der Sicherheitsanalysen geschlossen. Für den Fall, dass die Fachgutachter hier gleichwohl Empfehlungen abgeben, bedeutet dies nicht, dass ihre Umsetzung im Hinblick auf die Sicherheit des Endlagers geboten ist. In diesen Fällen wird die BGE in Abstimmung mit den Behörden vielmehr im Einzelfall bewerten, ob und wenn ja, in welcher Weise eine Realisierung erfolgt, um ggf. einen Beitrag zur überobligatorischen Optimierung der Sicherheit des Endlagers zu leisten.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 8

2. Soweit die Sicherheitsrelevanz eines Deltas für das Endlager Konrad nach der fachgutachterlichen Untersuchung nicht ausgeschlossen werden kann, wird die BGE in Abstimmung mit den Behörden unter Einbeziehung etwaiger Empfehlungen der Gutachter über etwaige Maßnahmen beraten und diese – soweit erforderlich – anschließend umsetzen.

In Ergänzung zu den Deltas wurden in Phase 1 noch Hinweise in Bezug auf die Störfallanalysen gegeben. Diese Hinweise zeigen Optimierungsmöglichkeiten im Detail auf, z. B. in Bezug auf die konkretisierende Ausführungsplanung des Endlagers und seines Betriebs, die in Phase 2 unter Berücksichtigung der vorliegenden Planungsstände beantwortet und damit erledigt werden konnten. Die Bearbeitung der Hinweise erfolgte durch die BGE selbst. Weitergehender Untersuchungsbedarf mit Bezug zur Sicherheit bestand und besteht in diesen Fällen nicht.

2. Einleitung und Aufgabenstellung

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) ist für die Errichtung und den Betrieb von Anlagen des Bundes zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle zuständig (§ 9a Abs. 3 AtG). Hierzu gehört auch die Errichtung und der Betrieb des Endlagers Konrad. Für die Schachanlage Konrad liegt seit dem 22.05.2002 der Planfeststellungsbeschluss (PFB) für die Errichtung und den Betrieb eines Endlagers für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vor. Mit Erlass vom 30.05.2007 hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) als damals zuständige Behörde beauftragt, die Umrüstung der Schachanlage Konrad zu einem Endlager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung durchzuführen. Im Rahmen der Neuordnung der Organisationsstruktur im Bereich der Endlagerung (zugehöriges Gesetz v. 26.07.2016 (BGBl I S. 1843), in Kraft seit 30.07.2016 und dem Bescheid des BMUV vom 24.04.2017) wurde zum 25.04.2017 die Wahrnehmung dieser Aufgabe auf die BGE übertragen.

Die Planungen für das Endlager Konrad und die Ergebnisse der Sicherheitsanalysen wurden im Plan Konrad (Endlager für radioaktive Abfälle Schachanlage Konrad Salzgitter) zusammengefasst. Bis zum Erlass des PFBs wurde der Stand von Wissenschaft und Technik (W&T) sowie des Regelwerkes (insbesondere die Neufassung der Strahlenschutzverordnung im Jahr 2001) berücksichtigt.

Die Planfeststellungsbehörde hat unter Beteiligung von Sachverständigen im Jahr 2002 festgestellt, dass die nach dem Stand von W&T erforderliche Vorsorge gegen Schäden aus der Endlagerung radioaktiver Abfälle gewährleistet ist. Diese Feststellung ist danach mehrfach gerichtlich bestätigt worden.

Unabhängig davon, führt die BGE als verantwortungsvolles Unternehmen eine „Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik“ (ÜsiKo) vor Inbetriebnahme durch.

Die BGE hat sich mit der ÜsiKo selbst die Aufgabe gesetzt, die dem Endlager im Zeitpunkt seiner Zulassung zugrunde gelegten Anforderungen mit dem aktuellen Stand von W&T abzugleichen.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 9

Die BGE orientiert sich hierbei an den Grundsätzen Transparenz, Nachvollziehbarkeit, Offenheit und lässt eine unabhängige Überprüfung durchführen.

Die ÜsiKo wird von der BGE als verantwortungsvolle Vorhabenträgerin des in Errichtung befindlichen Endlagers Schacht Konrad aufgrund eigener Initiative mit sachverständiger Unterstützung durchgeführt. Es handelt sich um eine unabhängige Überprüfung, losgelöst von der jederzeit gegebenen behördlichen Überwachung. Ziel der ÜsiKo ist es, die sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik zu überprüfen.

Die ÜsiKo besteht insgesamt aus folgenden Phasen:

1. Ermittlung des Überprüfungsbedarfs
2. Aktualisierung von Sicherheitsanalysen
3. ggf. Anpassung der Planung
4. ggf. Umsetzung im Bau

Bei der ÜsiKo werden bei den o. g. Phasen alle Sicherheitsanalysen für das Endlager Konrad betrachtet. Dies betrifft folgende Aspekte:

- Langzeitsicherheit
- Störfallanalysen
- bestimmungsgemäßer Betrieb
- Sicherstellung der Unterkritikalität
- thermische Beeinflussung des Wirtsgesteins.

Aktueller Stand

Die Arbeiten zur Phase 1 „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs“ der ÜsiKo wurden im Rahmen mehrerer öffentlicher Vergabeverfahren an externe Auftragnehmer (AN) vergeben. Die AN haben hierbei die Aspekte in der Störfallanalyse Konrad identifiziert, die eine Vertiefung im Rahmen einer Phase 2 der ÜsiKo erforderlich machen. In Ergänzung zu den Deltas wurden in Phase 1 noch Hinweise in Bezug auf die Störfallanalysen gegeben. Diese Hinweise zeigen Optimierungsmöglichkeiten im Detail auf, z. B. in Bezug auf die konkretisierende Ausführungsplanung des Endlagers und seines Betriebs, die in Phase 2 unter Berücksichtigung der vorliegenden Planungsstände beantwortet und damit erledigt werden konnten. Die Ergebnisse der AN wurden zusätzlich noch durch ein unabhängiges Review-Team überprüft. Im Rahmen eines Workshops wurden die Ergebnisse der AN sowie des Reviews im Januar 2019 der Fachöffentlichkeit vorgestellt. Im Anschluss wurden durch die AN unter Berücksichtigung des Reviews sowie der Hinweise aus dem Workshop die

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 10

Abschlussberichte erstellt und die Phase 1 der ÜsiKo abgeschlossen. Die Abschlussberichte der AN und des Reviews sind auf der Internetseite der BGE veröffentlicht. Sie bilden die Grundlage der Phase 2 der ÜsiKo und damit ebenfalls die Grundlage der in dieser Unterlage formulierten Aufgaben.

Aufgabenstellung

Die in dieser „Zusammenfassenden Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo Teil 2“ beschriebenen Aufgaben sind der Teil der Phase 2 („Aktualisierung von Sicherheitsanalysen“) der ÜsiKo, die sich mit der Sicherheitsanalyse „Sicherstellung der Störfallsicherheit in der Betriebsphase“ (hier bezeichnet als „Störfallanalyse“) befasst. Konkret ist damit die Bearbeitung der im folgenden aufgeführten sicherheitsrelevanten Deltas und Hinweise gemeint, die in den Abschlussberichten der Phase 1 der ÜsiKo [1; 2] beschrieben wurden.

Delta 22: Brandschutztechnische Untersuchung elektrisch betriebener Fahrzeuge (Fahrzeugbrand unter Tage (Bewertungsformblatt 2.1.2.7, S. 138)

Hinweis 2: Erstellung einer geschlossenen Brandschutzunterlage (Bewertungsformblatt 2.1.2.1, S. 120, Bewertungsformblatt 2.1.2.3, S 126, Bewertungsformblatt 2.1.2.7, S. 137)

Hinweis 8: Sicherheitstechnische Bewertung bezüglich des Explosionsschutzes beim Einsatz von Energiespeichern (Bewertungsformblatt 2.1.2.8, S. 141)

Die dazugehörigen Anmerkungen des Review-Teams sind bei der Bearbeitung in geeigneter Weise zu berücksichtigen.

Anmerkung: Hinweis 1 „Erstellung des betrieblichen Regelwerkes (Vorgehensweise nach einem Brandereignis), Hinweis 3 „Einsatz von HRD-Löschanlagen und Prüfverfahren“, Hinweis 4 „Grubenwehr“, Hinweis 5 „Alternativen zum Einsatz von CO₂-Löschanlagen unter Tage“, Hinweis 6 „Verringerung der Brandlast“ und Hinweis 7 „Beeinflussung der Wetterrichtung durch Brand eines Fahrzeuges (u. T.)“ werden in Teil 1 der „Zusammenfassenden Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo“ thematisiert [3].

Jedes sicherheitsrelevante Delta bzw. jeder Hinweis wird vorzugsweise in einem eigenständigen abgeschlossenen Kapitel bearbeitet. Gibt es fachliche Gründe, die Bearbeitung zweier oder mehrerer Deltas / Hinweise in einen Sachzusammenhang zu stellen, dann ist dies zu begründen. Folgende Aspekte sind mindestens in den Kapiteln aufzunehmen / zu bearbeiten:

1. Darstellung des sicherheitsrelevanten Deltas bzw. Hinweises aus Phase 1, die dazugehörige Beschreibung und den Hinweisen zur weiteren Bearbeitung aus Phase 1 als Eingangsinformation. Hier werden auch die ergänzenden Anmerkungen des Review-Teams mit aufgenommen.
2. Konkrete Darlegung des aktuellen Standes von W&T (zum Stichtag des Arbeitsbeginns) zu dem jeweiligen Delta bzw. Hinweis. Dabei wird festgestellt, ob sich der Stand von W&T im

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 11

Vergleich zu dem Bericht der Phase 1 verändert hat. Sofern dies der Fall ist, wird die Veränderung ebenfalls nachvollziehbar aufgeführt. Weiterhin werden hier die anzuwendenden Regelwerksanforderungen, Sicherheitsmaßstäbe und Sicherheitsanforderungen aufgeführt. Basis hierfür sind die in Phase 1 der ÜsiKo in den Abschlussberichten sowie dem Review angeführten Aussagen.

3. Umfassende nachvollziehbare Ausarbeitung zu dem sicherheitsrelevanten Delta bzw. Hinweis auf Basis des aktuellen Standes von W&T (s. Punkt 2). Diese Ausarbeitung entspricht vom Inhalt, Umfang und Charakter dem einer Sicherheitsanalyse / Teiles einer Sicherheitsanalyse für ein Endlager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmentwicklung. Sie beschreibt alle für dieses Thema relevanten Sicherheitsaspekte und stellt diese in einen Zusammenhang mit dem Endlager Konrad. Welche Anforderungen für die Erstellung einer Sicherheitsanalyse / Teile einer Sicherheitsanalyse auf Basis des aktuellen Standes von W&T für ein Endlager für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmentwicklung für die Ausarbeitung zugrunde gelegt wurden, ist jeweils nachvollziehbar darzulegen. Die zu erstellende Ausarbeitung muss eigenständig, d. h. ohne die übrigen Kapitel sowie der Abschnitte 1., 2., 3. und 4. verständlich, nachvollziehbar und verwendbar sein. Gegebenenfalls müssen zu diesem Zweck einzelne Inhalte der übrigen Kapitel sowie der unter 1., 2., 4. und 5. geforderten Inhalte hier wiederholt werden.
4. Abschließende Auflistung der fachlichen Aspekte, die bei einem Vergleich der Störfallanalysen des Endlagers Konrad mit den Ergebnissen der unter 3. geforderten Ausarbeitung, Modifikationen zur Folge haben. Diese Modifikationen werden eindeutig und konkret beschrieben sowie ergänzend tabellarisch aufgelistet.
5. Bewertung der unter 4. aufgelisteten fachlichen Aspekte, die eine Modifikation zu den bestehenden Sicherheitsanalysen bedeuten. Diese Bewertung soll die fachlichen Aspekte der betroffenen Sicherheitsanalyse Konrad im Gesamtzusammenhang betrachten.

Ziel des Auftrages ist es, eine dem aktuellen Stand von W&T entsprechende Ausarbeitung mit dem Charakter einer Sicherheitsanalyse / eines Teiles einer Sicherheitsanalyse für das Endlager Konrad auf Basis der Ergebnisse der Phase 1 der ÜsiKo zu erstellen und die sich daraus ergebenden fachlichen Modifikationen für die bestehende Sicherheitsanalyse Konrad transparent darzustellen.

Anmerkung: Da die Dokumentation zur Bearbeitung der Hinweise entsprechend der Leistungsbeschreibung des Auftrags unabhängig voneinander lesbar und verständlich sein soll, wiederholen sich teilweise Textteile in den Kapiteln. Umfangreiche Informationen, die mehrere Hinweise betreffen, sind in Anhängen dargestellt. Die Literaturquellen sind für jeden Hinweis am Ende der entsprechenden Kapitel separat angegeben.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 12

Literaturverzeichnis zu Kapitel 2

In diesem Literaturverzeichnis ist ausschließlich diejenige Literatur aufgeführt, die in der Einleitung und Zusammenfassung dieses Berichts zitiert wird. Die weiteren Literaturquellen sind für jedes Kapitel zu einem Hinweis separat angegeben (siehe Kapitel 2, 3 und 4).

[1] DMT GmbH & Co. KG, DSR Ingenieurgesellschaft mbH

Campo, V.; Feinhals, J.; Schönberner, S.; Walbrodt, D.

Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo) – Los I: Ermittlung des Überprüfungsbedarfs der Störfallanalysen, Hamburg, 06.03.2019.

VDIS 9KE/25232/B/RB/0006/00

[2] Röhlig, K.; Küppers, C.; Schäfer, T.; Walther, C.

Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo) Review der Phase 1 „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs“, Clausthal-Zellerfeld, 27.01.2019.

VDIS 9KE/25232/B/RB/0011/00

[3] Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo - Teil 1, Salzgitter, in der jeweils gültigen Fassung.

VDIS 9KE/25232/EA/RZ/0003/XX

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 13

3. Delta 22: Brandschutztechnische Untersuchung elektrisch betriebener Fahrzeuge (Fahrzeugbrand unter Tage)

1. Darstellung der sicherheitsrelevanten Hinweise und Deltas aus Phase 1, mit der dazugehörigen Beschreibung zur weiteren Bearbeitung aus Phase 1 als Eingangsinformation. Hier werden auch die ergänzenden Anmerkungen des Review-Teams mit aufgenommen:

In ihrem Bericht „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs der Störfallanalysen“ [1] haben Campo et al. auf dem Bewertungsformblatt 2.1.2.7 (Blatt 138) folgendes Delta identifiziert:

“Da in den bisherigen Störfallanalysen eine Betrachtung eines elektrobetriebenen Fahrzeuges fehlt, empfehlen wir die Durchführung einer zusätzlichen brandschutztechnischen Untersuchung für den elektrischen Betrieb der Transportwagen (bspw. über eine Versorgung mittels Stromschienen oder eines Stromspeichers.). Dabei ist zu prüfen, ob die PTB-Kurve (siehe EU 132.3) als abdeckende Lastannahme auch für den Einsatz von elektrisch betriebenen Fahrzeugen herangezogen werden kann.

In diesem Zuge soll auch eine Validierung der PTB-Kurve als konservative Lastannahme erfolgen. Hierzu wird empfohlen, die aufgrund der Berücksichtigung der o. g. Hinweise geänderte Brandlasten als Eingangsparameter für die Simulationsrechnung zu verwenden. Die Simulationsrechnung soll auf Basis aktuell geplanter Brandlasten, der Berücksichtigung eines elektrischen Antriebs und ggf. modifizierter Bauausführungen der Fahrzeuge die Konservativität der Annahmen zum Brandszenario (PTB-Kurve) absichern und das zusätzliche Szenario des Einsatzes eines elektrisch betriebenen Transportwagens abdecken. Hier sind auch die Auswirkungen des ventilationsgesteuerten Brandes zu berücksichtigen, da unterschiedliche Wettermengen des Bewetterungssystems einerseits die Größen Abbrandrate, Branddauer und -temperatur beeinflussen und andererseits zu einer möglichen Kühlung des Brandraumes führen.“

In ihrem Bericht zum Review der Phase 1 „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs“ [2] hatte das Review-Team folgende Anmerkung (Blatt 30) zum o. g. Hinweis:

„Es sollte darauf hingewiesen werden, dass der derzeitige Planungsstand offen lässt ob die Energieversorgung von Transportfahrzeugen auch durch einen Stromspeicher erfolgen soll. Bei Vorliegen einer konkreten Planung für die elektrisch betriebenen Fahrzeuge sollte ggf. eine sicherheitstechnische Bewertung erfolgen.“

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 14

2. *Konkrete Darlegung des aktuellen Standes von W&T (zum Stichtag des Arbeitsbeginns) zum Delta bzw. Hinweis. Dabei wird festgestellt, ob sich der Stand von W&T im Vergleich zu dem Bericht der Phase 1 verändert hat. Sofern dies der Fall ist, wird die Veränderung ebenfalls nachvollziehbar aufgeführt. Weiterhin werden hier die anzuwendenden Regelwerksanforderungen, Sicherheitsmaßstäbe und Sicherheitsanforderungen aufgeführt. Basis hierfür sind die in Phase 1 der ÜsiKo in den Abschlussberichten sowie dem Review angeführten Aussagen:*

Nach Nebenbestimmung (NB) A.3-21 des PFB Konrad [3] soll der Einlagerungstransportwagen (TW) auf einen Elektromotor als Antriebsaggregat umgestellt werden. Die Umrüstung auf einen batterieelektrischen Einlagerungstransportwagen (BETW) hat die BGE mit dem Änderungsvorgang (ÄV) 138 [4] beantragt.

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens (PFV) wurde als Lastannahme für den thermischen Auslegungstörfall der Klasse 1 (Störfälle, die in ihren radiologischen Auswirkungen durch die Auslegung der Anlage und / oder der Abfallgebinde begrenzt werden) unter Tage der Vollbrand des damals angenommenen dieselbetriebenen TW als eine allseitig einwirkende Gastemperatur von 800 °C über eine Stunde festgelegt [5]. Dieser Temperatur-Zeit-Verlauf wird als PTB-Kurve bezeichnet.

Die Herleitung der PTB-Kurve erfolgte durch die Auswertung von Brandversuchen [6]. In den gleichen Zeitraum wie die Festsetzung der PTB-Kurve fiel die Ableitung einer verlaufsähnlichen „NU-KEM-Kurve“ mittels einer Simulation mit einem damals üblichen Einzonen-Wärmebilanzmodell [7; 8]. Für die Brandsimulation wurden die Annahmen zum Brandraum, den Brandlasten und dem Brandverlauf dokumentiert [8].

In Bezug auf das Delta von Campo et al. [1] haben sich die Erkenntnisse aus der ersten Phase der ÜsiKo seitdem nicht geändert und entsprechen weiterhin dem aktuellen Stand von W&T.

Die vorliegende Ausarbeitung nimmt Bezug auf das PFV und die dort verwendeten Unterlagen [5, 7, 8]. Mangels spezifisch anwendbaren Regelwerks für die Endlagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen werden die Unterlagen KTA 2101.2 [9], Eurocode 1 [10], DIN 18230-1 [11] und ISO 9705 [12] herangezogen.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 15

3. *Umfassende nachvollziehbare Ausarbeitung zum sicherheitsrelevanten Hinweis auf Basis des aktuellen Standes von W&T:*

Einleitung und Überblick

Im Zuge der heutigen Planungen zum BETW wurden die geplanten Brandlasten des Fahrzeugs gegenüber den Brandlasten, die den damaligen Bemessungskurven zugrunde lagen deutlich reduziert, weil z. B. die Masse der Reifen abgenommen hat und die Mengen der brennbaren Flüssigkeiten (Öle, Dieselkraftstoff) deutlich reduziert bzw. ersetzt wurden. [13]. Alternativ zum brennbaren Treibstoff verfügt der BETW über vier Traktionsbatterien in Lithium-Ionen-Technologie. Die Teilbrandlast der Batterien entspricht ca. 18,5 % der Gesamtbrandlast am BETW [14]. Ergänzend zu den herkömmlichen Brandlasten wie Reifen und brennbare Flüssigkeiten wurde das Brandverhalten der Lithium-Ionen-Batterien (LiB) ausführlich bewertet und konservativ berücksichtigt [14].

Im Auftrag der BGE wurden Brandversuche an Batteriemodulen, skalierten Batterien und anschließend an einer LiB in tatsächlicher Größe durchgeführt und unter konservativen Randbedingungen der Wärmefreisetzung-Zeit-Verlauf bestimmt. Der experimentell bestimmte Verlauf diente zusammen mit den Verläufen aus den übrigen Brandlasten als Eingangswert für Brandsimulationen mit dem Computational Fluid Dynamics (CFD)-Brandsimulationsmodell Fire Dynamics Simulator (FDS).

Für die Brandsimulationen wurden die Annahmen zu den Wärmefreisetzungsraten, zur Bewetterung und zum Brandort analog zum Vorgehen in den Unterlagen aus dem PFV sehr konservativ gewählt. Daneben wurden weitere Simulationen durchgeführt, da einerseits teilweise aktuellere Planungen vorlagen wie z. B. die Reduktion der Bewetterung von 23,00 m³/s auf 17,25 m³/s [15]. Andererseits ermöglichte und erforderte die höhere Genauigkeit des verwendeten CFD-Modells im Vergleich zu einem Einzonen-Wärmebilanzmodell, dass lokale Temperaturen an verschiedenen Abfallbindetypen betrachtet wurden und der Einfluss der Lage des Ventilators untersucht wurde.

Die in den Simulationen berechneten Gastemperaturen um die Abfallbinde wurden zeitlich und räumlich konservativ gemittelt und als maximale, mittlere und untere Temperatur am jeweiligen Gebinde ausgewertet.

Im Ergebnis lagen die gemittelten Gastemperaturen an den Abfallbinden für die realistischen Fälle mit abwetterseitigem Ventilator immer unterhalb der PTB-Kurve. Gemittelte Temperaturen oberhalb der PTB-Kurve wurden nur für die Fälle mit frischwetterseitigem Ventilator, die aus den Betrachtungen im PFV stammen, in einen Zeitbereich von ca. 250 s während der maximalen Wärmefreisetzungsrates festgestellt. Die berechneten Temperaturen lagen aber noch unterhalb der sogenannten NUKEM-Kurve, welche bzgl. der Auswirkungen durch die PTB-Kurve abgedeckt ist.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 16

Lastannahmen und Brandlasten

Im Rahmen des PFV wurde der Fahrzeugbrand des damals geplanten dieselbetriebenen Einlagerungstransportwagens als Auslegungsstörfall der Klasse 1 festgelegt [5].

Laut EU 323 [16] ist der Brand eines Transportmittels unter Tage (insbesondere Brand eines Transportwagens oder Stapelfahrzeugs) in den Störfallanalysen für das geplante Endlager Konrad als ein Störfall der Klasse 1 identifiziert worden. In der EU 388 [17] ist der Brand eines Transportmittels unter Tage als ein Auslegungsstörfall der Klasse 1 (Störfälle, die in ihren radiologischen Auswirkungen durch die Auslegung der Anlage und/oder der Abfallgebinde begrenzt werden) mit den entsprechenden Lastannahmen und der für den Brand zugrunde gelegte Temperatur-Zeit-Verlauf dargestellt.

Demnach hat die Temperaturkurve einen linearen Anstieg von 30 °C auf 800 °C innerhalb von fünf Minuten und danach einen konstanten Verlauf bei einer Temperatur von 800 °C über eine Stunde. Nach 65 Minuten endet die Belastung und fällt wieder auf 30 °C. Die Lastannahme wird auch als PTB-Kurve bezeichnet und geht auf eine Brandversuchsreihe an verkleinerten Fahrzeugattrappen in der Versuchsgrube TREMONIA in Dortmund zurück (vgl. EU 36.11 [6]).

Die PTB-Kurve ist als eine abdeckende generische Kurve für einen Fahrzeugbrand mit einem Dieselantrieb zu verstehen. In EU 132.1&2 [7] wird die PTB-Kurve zusammen mit den Bemessungskurven, wie der GRS-Kurve und der NUKEM-Kurve, diskutiert.

Die EU 132.1&2 [7] trägt den Titel „Signifikanz einer Modellkurve "800 °C/1 h“ für den Temperatur-Zeit-Verlauf hinsichtlich der Auswirkungen eines Transportfahrzeugbrandes unter Tage“.

In dem Dokument heißt es einleitend:

„Für den betrachteten Störfall "Brand eines mit Abfallgebinden (Transporteinheiten) beladenen Transportwagens" werden diese Einwirkungen durch die Angabe einer Temperatur, der die Abfallgebinde ausgesetzt sind, sowie deren zeitlicher Verlauf hinreichend erfasst. In Anbetracht der Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität der Abfallgebinde kann auf die Festlegung eines detaillierten Temperatur-Zeit-Verlaufs mit örtlich und zeitlich stark schwankenden Temperaturgradienten verzichtet werden. Ein solcher Temperatur-Zeit-Verlauf ließe auch weder verallgemeinernde noch abdeckende Aussagen zu. Sinnvoller ist stattdessen die Angabe einer Modellkurve zum Temperatur-Zeit-Verlauf, die für das betrachtete Ereignis und hinsichtlich dessen Einwirkungen auf das Abfallgebinde abdeckend ist.“

In der Unterlage werden drei Modellkurven miteinander verglichen (siehe Abbildung 1 der vorliegenden Unterlage), die nach den Institutionen benannt werden, die sie erstellt haben.

Neben dem bereits dargestellten Verlauf der PTB-Kurve, wird die NUKEM-Kurve behandelt, bei der die Temperatur bei 1.000 °C von Beginn bis zur 15. Minute startet, danach linear bis 200 °C in

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 17

der 60. Minute fällt und damit endet. Laut Textbeschreibung der Kurve in Abschnitt 2.3 von EU 132.1&2 [7] endet die Kurve allerdings nach 45 min. Die Kurve geht ebenfalls auf Versuche in der Grube TREMONIA zurück und stellt eine „Einhüllende für neun Hauptversuche“ dar, wobei eine genaue Zuordnung zu einzelnen Versuchsparametern nicht gemacht wird.

In EU 132.1&2 [7] wird zur NUKEM Kurve ausgesagt, dass „Eine Einzelanalyse der Brandverläufe zeigt, dass sieben der neun Temperaturverläufe auch in den kurzzeitigen Spitzentemperaturen durch die PTB-Kurve voll abgedeckt werden; die beiden anderen Temperaturverläufe zeigen nur eine kurzfristige (3 min bzw. 10 min) und verhältnismäßig geringfügige ($< 100\text{ °C}$) Überschreitung der Werte der PTB-Kurve.“

Die GRS-Kurve startet innerhalb von 5 min von 30 °C auf 850 °C , verläuft danach bis zur 35. Minute auf dem Temperaturniveau 850 °C , fällt dann linear bis zur 90. Minute auf 200 °C und endet damit. Die GRS Kurve beruht auf einer Berechnung mit dem damals verfügbaren Einzonen-Wärmebilanzmodell CONDRU, für die Eingangsdaten wie Brandlasten und Quellterme im Anhang von EU 132.1&2 [7] dokumentiert sind, so dass die Berechnung nachvollzogen werden kann.

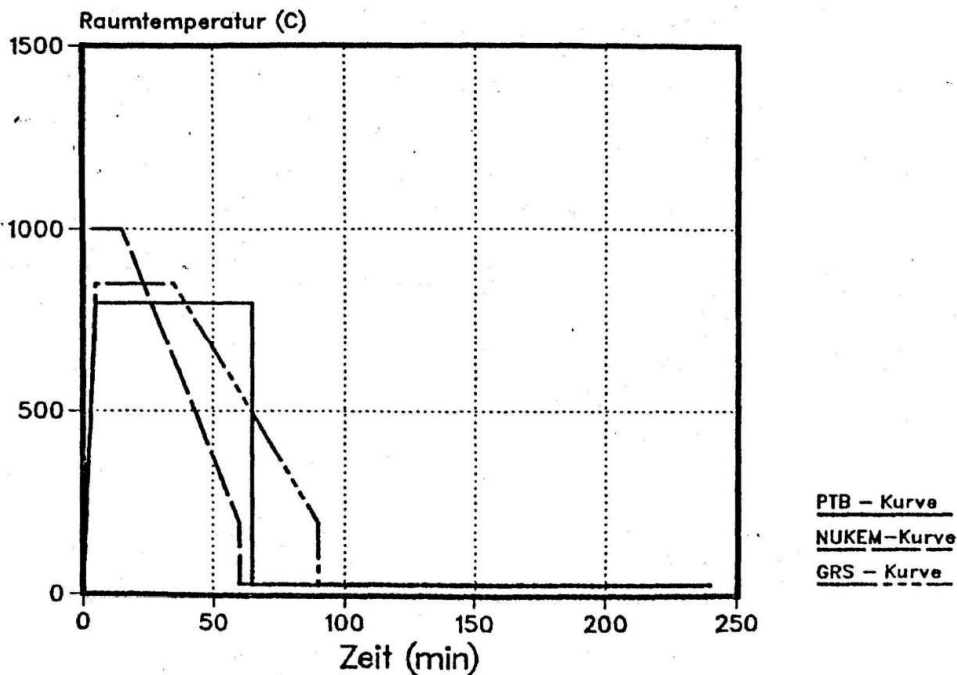


Abbildung 1: Vergleich der Modellkurven der PTB, der NUKEM und der GRS (Abbildung 8 aus der EU 132.1&2 [7])

Im Laufe der Planungen am Endlager Konrad wurden die Abschätzungen zu den Brandlasten des Einlagerungstransportwagens konkretisiert und angepasst. Insbesondere durch die Anpassung vom dieselbetriebenen Fahrzeug zum batterieelektrisch betriebenen Fahrzeug wurden die Brandlasten reduziert.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 18

In der EU 132.1&2 [7] wurden die folgenden Daten zum Fahrzeug und seinen Brandlasten zugrunde gelegt. Der Transportwagen sollte bereits als Knickgelenk-Fahrzeug entsprechend Abbildung 2 (s. u.) ausgeführt werden, mit einer Länge von ca. 9,5 m und einer Fahrzeugmasse von 25 Mg. Die mengenmäßigen Brandlasten wurden wie folgt spezifiziert:

Flüssig-Brandlasten

Dieselmotorkraftstoff	300 l
Hydrauliköl	230 l
Wand-, Differential-, Radnaben- und Motoröl	183 l

Feststoff-Brandlasten

- Reifen vorne 2 x ca. 340 kg Gesamtmasse (Gummimasse ca. 290 kg)
- Reifen hinten 2 x ca. 600 kg Gesamtmasse (Gummimasse ca. 500 kg)

Hinweis: Die ursprünglich vorgesehene Zwillingsbereifung hinten wurde nicht verwirklicht.

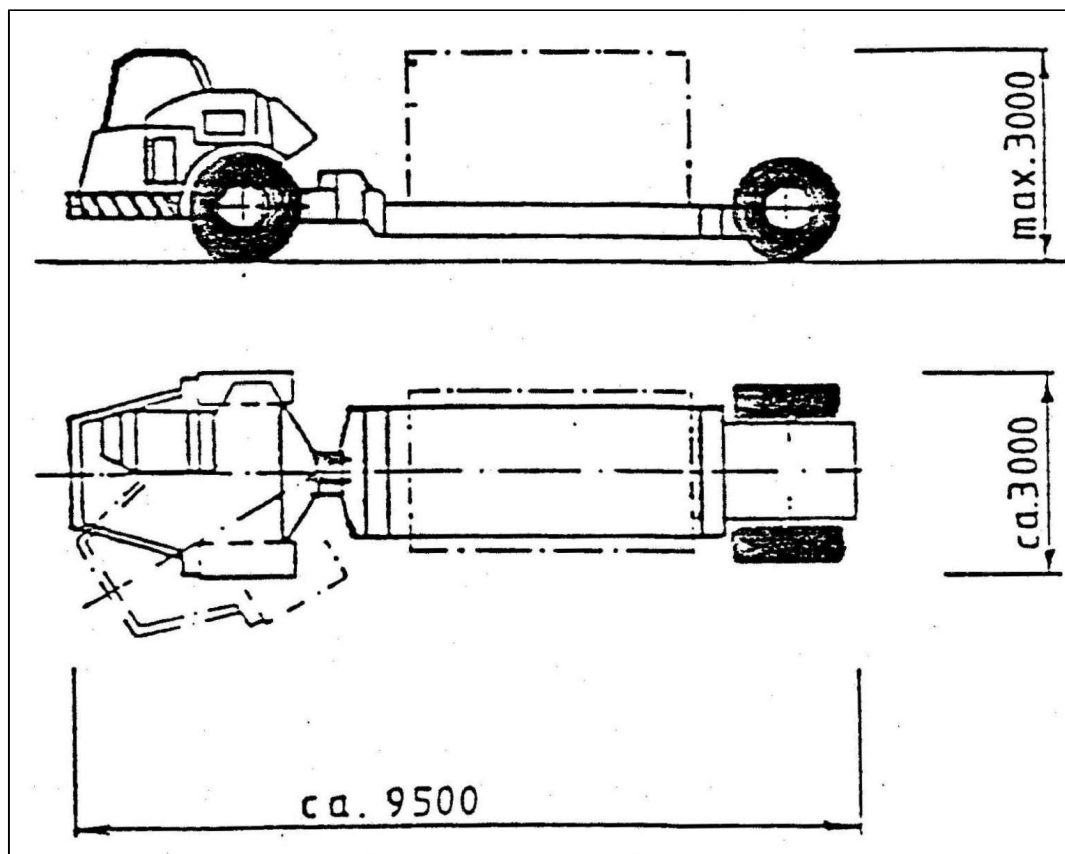


Abbildung 2: Damalige Skizze des Transportwagens (Abbildung 1 aus EU 132.1&2 [7])

Im Vergleich zur dieselbetriebenen Fahrzeugausführung reduzieren sich die Brandlasten bei der geplanten batterieelektrischen Ausführung (siehe Abbildung 3). Die durch den Fahrzeughersteller

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 19

ermittelten Brandlasten sind in der Unterlage „Brandschutztechnische Einrichtung – Ermittlung der Brandlast“ [13] gelistet.

Die im Vergleich zur zuvor geplanten Fahrzeugausführung reduzierten Brandlasten wurden durch Veränderungen am Fahrzeug erreicht, die in der Planungsunterlage [13] erläutert werden. Besonders hervorzuheben sind die Optimierungen am Reifen, dessen Gummigewicht von 284,75 kg auf 204,75 kg pro Reifen reduziert wird, so dass insgesamt 819 kg Gummimasse verbleiben.

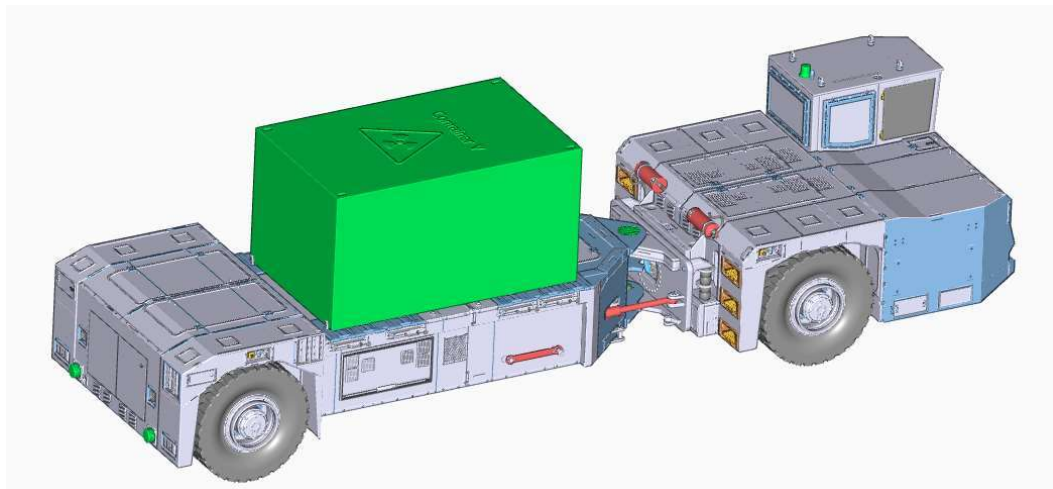


Abbildung 3: Darstellung des batterieelektrischen Transportwagens mit Lastrahmen (links), Drehknickgelenk (Mitte), Kabinenrahmen und Kabine (rechts)

Folgende Festlegungen der Randbedingungen für die Brandsimulationen mit FDS wurden vorgenommen [14]:

- Aus den im ÄV 138 angesetzten mengenmäßigen Brandlasten wurden kalorische Brandlasten bestimmt (Abschnitt 4.1 aus GRS Bericht [14]).
- Danach wurden auf Grundlage der Annahmen im PFV konservative Brandverläufe des Lachenbrandes (Abschnitt 4.2.1 aus GRS Bericht [14]) und der Reifenbrände (Abschnitt 4.2.2 aus GRS Bericht [14]) abgeleitet.
- Für die Batteriebrände wurden konservative Brandverläufe entwickelt (Abschnitt 4.3 aus GRS Bericht [14]).
- In Abschnitt 4.4 aus GRS Bericht [14] wird der Zeitverlauf der gesamten Wärmefreisetzung aus den Teilbrandlasten dargestellt.
- Danach wurden weitere Randbedingungen der Brandsimulation festgelegt, die sich ebenfalls an den Unterlagen aus dem PFV orientieren (Abschnitt 4.5 aus GRS Bericht [14]).

Für die vier Traktionsbatterien wurde in [13] davon ausgegangen, dass die freisetzbare Wärmemenge bis zu dem 10-fachen der elektrischen Energiemenge im vollgeladenen Zustand entspricht. Die elektrisch geladene Nennenergie pro Batterie beträgt 63,5 kWh (228,6 MJ). Die genannten

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 20
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	25232				EA	BZ	0004	00	

9.160 MJ entsprechen 4 x 10 x 229 MJ. Die Batteriebrandlast ist die einzige nennenswerte Brandlast, die im Rahmen des PFV noch nicht bewertet wurde. Ihr Anteil an der ermittelten Gesamtbrandlast des BETW entspricht 18,5 %. Die Brandlast des BETW ist somit kleiner als die im Planfeststellungsverfahren angenommene Gesamtbrandlast.

Viele Brandlasten sind in geschützten Metallbehältern untergebracht, für die eingeführte Bemessungsverfahren wie die KTA 2101.2, die DIN 18230-1 oder der Eurocode 1 einen Abminderungsfaktor (Kombinationsbeiwert ψ) für geschützte Brandlasten vorsehen. Für die Brandsimulationen wird vom geschützten Einbauzustand kein Kredit genommen, so dass konservativ alle effektiven Brandlasten vollständig berücksichtigt werden.

In der Brandsimulation werden entsprechend die folgenden effektiven Brandlasten berücksichtigt (Tabelle 1):

Tabelle 1: In den FDS-Brandsimulationen berücksichtigte Brandlasten

Brandlast	Wert
Lachenbrand	9,029 GJ
Reifenbrände vorne	15,601 GJ
Reifenbrände hinten	15,601 GJ
Batteriebrände	9,160 GJ
Summe	49,392 GJ

Die gesamte effektive Brandlast des BETW entspricht 49,392 GJ. Im Vergleich zur in der damaligen GRS-Brandsimulation [8] angesetzten effektiven Brandlast (80,880 GJ) entspricht dies einer Abnahme auf 61 %. Im Vergleich zur damals abgeschätzten Brandlastmenge für einen dieselbetriebenen TW (76,356 GJ, siehe [14]) entspricht dies einer Abnahme auf 65 %.

Brandverläufe der bekannten Teilbrandlasten des Fahrzeugs

Die Brandsimulationen wurden mit dem CFD-Brandsimulationsmodell („Feldmodell“) Fire Dynamics Simulator (FDS) in der Version 6.7.7 durchgeführt. In den Brandsimulationen mit FDS werden die Brandlasten durch die Vorgabe einer zeitlich abhängigen Wärmefreisetzungsrate festgelegt. Die vorhandenen Brandlasten des BETW werden in einem Lachenbrand unterhalb der Ladefläche, der Reifenbrände sowie der Batteriebrände im vorderen und hinteren Fahrzeugbereich aufgeteilt. Die Lage der betrachteten Brandlasten ist in Abbildung 4 dargestellt. Diese bestehen aus dem Austrag der Batteriegegas (über Lüftungsgitter und Leckagen), der Lache (Hydraulik- und Getriebeöle) und den Reifen (inklusive Gummilache¹). Sonstige Kleinbrandlasten wurden zu den obigen Brandlasten hinzugerechnet. Bedingt durch die Reduzierung der Bewetterung können, aufgrund

¹ Für die Brandsimulationen wird angenommen, dass ein Teil des Reifenmaterials während des Brandes schmilzt und eine Lache bildet. Dadurch wird die Brandfläche vergrößert und entsprechend die vorgegebene Wärmefreisetzungsrate auf einer größeren Fläche freigesetzt.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

geringerer Sauerstoffzufuhr, ventilationsgesteuerte Brände auftreten. Um einem ventilationsgesteuerten Brand entgegen zu wirken, wird nahe der Freisetzungsorte der Batteriegase im Brandfall zusätzlich Sauerstoff eingespeist, um den in der Batterie für die Redoxreaktionen verfügbaren Sauerstoff zu berücksichtigen (rosa Flächen). Details hierzu werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

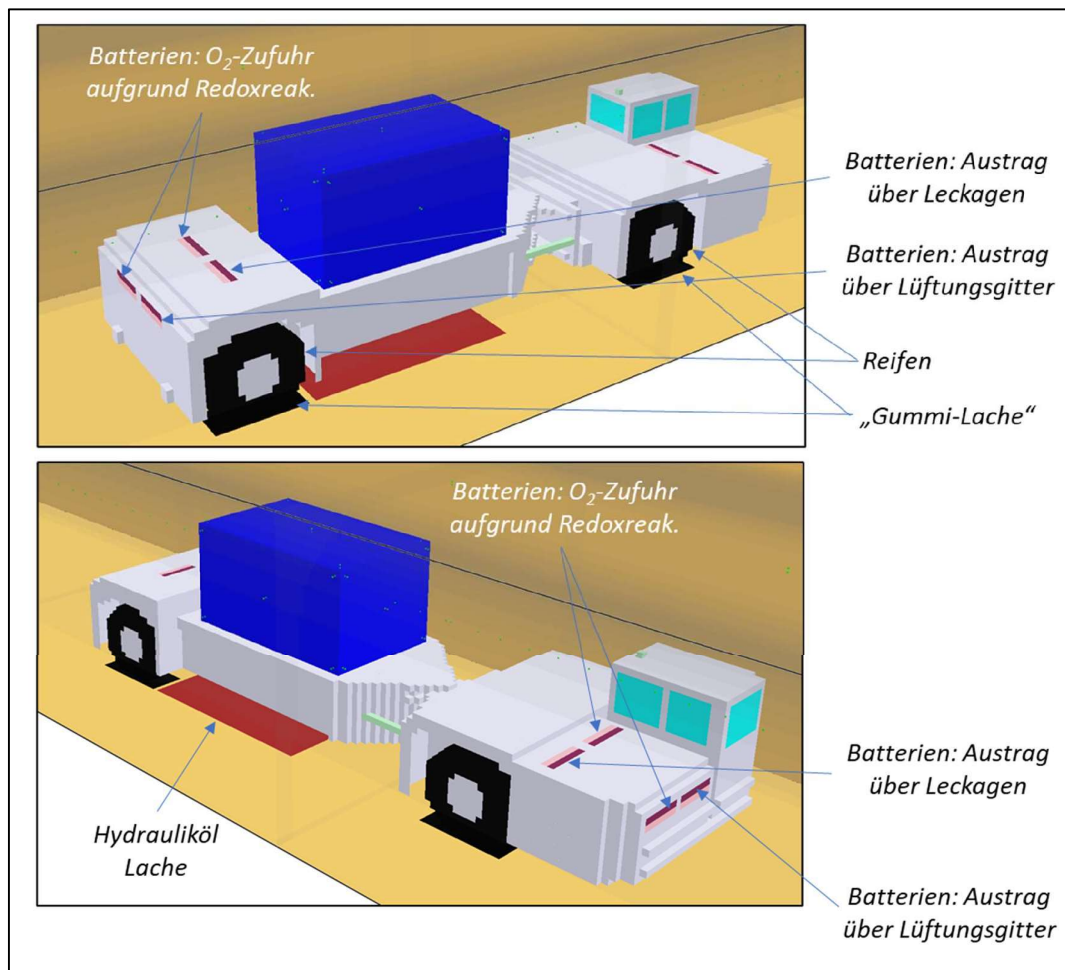


Abbildung 4: Lage der Brandlasten (inklusive O₂-Zufuhr) des BETW

Lachenbrand

Die Modellierung des Lachenbrandes orientiert sich vollständig an den Annahmen aus den Unterlagen [7] und [8]. Es wird weiterhin von einer Lache brennbarer Flüssigkeiten von 10 m² unterhalb des Fahrzeugs ausgegangen, da diese in [8] ausführlich diskutiert wurde. Es heißt dort (S. 6f):

„Für die Ermittlung der Abbranddauer des Mineralöls wurde eine Fläche von ca. 10 m² angenommen, die sich unmittelbar unterhalb der Ladefläche des Transportfahrzeugs befindet. Bei dieser Lachengröße muss davon ausgegangen werden, dass einerseits die Flammen direkt zu einer Temperaturbelastung der Abfallbinde führen und durch den Ölbrand auch

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 22

die Reifen innerhalb weniger Minuten entzündet werden und infolge des Stützfeuers heftig mitbrennen.

Die Wahl einer kleineren Lachengröße ist hinsichtlich der zu erwartenden Temperaturbelastung der Abfallgebinde nicht konservativ, da einerseits die dann freigesetzte Wärmemenge zu niedrigeren Raumtemperaturen führt und andererseits durch die Ladefläche des Transportfahrzeugs infolge des Abschirmeffektes eine direkte Beaufschlagung der gesamten Abfallgebindeoberfläche, wie bei der Modellkurve unterstellt, nicht mehr möglich ist. Zudem wäre eine kleine Lachengröße (z. B. 1 m²) schon deshalb unrealistisch, weil dann bei einer angenommenen Mineralölmenge von 300 l Dieselkraftstoff bereits eine durchgehende Lachenhöhe von ca. 30 cm entstünde, was angesichts der angenommenen Fahrbahnbedingungen nicht möglich ist.

Lachengrößen von > 10 m² würden zu kürzeren Brandzeiten und damit nur zu einer kurzzeitigen Temperaturbelastung der Abfallgebinde führen. Außerdem wäre die Wahrscheinlichkeit, dass die Leckage vor der Entzündung entdeckt wird und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden, sehr hoch.

Aufgrund der Menge und des Brandszenariums ist somit eine Mineralöllache von ca. 10 m² zu unterstellen; unter der Annahme, dass Hydrauliköl sowie Motoren- und Getriebeöl während des Brandes zufließen, errechnet sich daraus mit einer Abbrandgeschwindigkeit von 150 kg/m²h eine Brandzeit von ca. 30 Minuten.“

Die damalige Größenfestlegung der Brandfläche orientiert sich vor allem daran, für alle vier Reifen als Stützfeuer zu dienen und die Abfallgebinde zu unterfeuern. Eine Größenbestimmung auf Grundlage des Fließverhaltens der Flüssigkeiten erfolgt nicht, da die Flüssigkeiten auch während des Brandes zufließen können. Ein Verlust der brennbaren Flüssigkeiten durch Versickern oder Fließen in entferntere Streckenbereiche wird nicht unterstellt.

Die flächenbezogene Abbrandgeschwindigkeit von 150 kg/m²h entspricht einer flächenbezogenen Wärmefreisetzungsrate von 1,594 MW/m².

Die konservativ angenommenen Lachenfläche von 10 m² wird übernommen, obwohl sie für die jetzige Situation eine noch konservativere Annahme darstellt: Nach damaliger Planung betrug das größte Einzelvolumen 300 l Dieselkraftstoff im Fahrzeugtank (Flammpunkt (FP) ca. 55 °C), während heute das größte Einzelvolumen 80 l Hydrauliköl (FP > 210 °C) beträgt. Zudem befinden sich vier Behältnisse mit je 6,2 l Getriebeöl (FP > 285 °C) am Fahrzeug. Da Öle auf ebenen Oberflächen Lachenhöhen im Bereich von Millimetern ausbilden, also deutlich geringer als die Unebenheiten des Streckenbelags, ist im Havariefall davon auszugehen, dass ein großer Teil der Flüssigkeit versickert oder sich verteilt, ohne eine geschlossene Lache zu bilden.

Die Möglichkeit und Geschwindigkeit einer Brandausbreitung auf einer Lache hängt insbesondere von der Differenz der Umgebungstemperatur (hier ca. 32 °C) zum Flammpunkt ab [18]. Da diese

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 23

Temperaturdifferenz sich von ca. 23 K für Dieseltreibstoff auf > 178 K für Hydrauliköl deutlich erhöht hat, ist die Annahme eines geschlossenen Lachenbrands von 10 m² sehr konservativ.

In [8] wurde eine flächenbezogene Wärmefreisetzungsrate von 1,594 MW/m² angenommen. Diese Annahme wird aus folgenden Gründen auf die Hälfte reduziert:

Die damalige Annahme entspricht dem Abbrandverhalten von Poolbränden, bei denen höhere Flüssigkeitspegel zu quasistationären Bränden führen [19]. Für Lachenbrände führt der hohe Wärmeverlust an den Boden zu deutlich reduzierten Verdampfungsraten und entsprechend geringeren Wärmefreisetzungsraten. Für Betonböden wird z. B. über eine Reduktion um den Faktor 2,5 gegenüber der Wärmefreisetzung eines Poolbrands berichtet [18].

Die angenommenen Brandlasten der Lache (vgl. Tabelle 1) bestehen neben den 80 l Hydrauliköl aus 4 x 6,2 l Getriebeöl und den zugeordneten festen Kleinstbrandlasten, die kalorisch mehr als die Hälfte der Lachenbrandlast ausmachen. Die Feststoffe zeigen aber ein viel langsames Abbrandverhalten als Flüssigkeiten.

Die beiden Gründe führen zusammen mit der sehr konservativ angenommenen Lachenfläche dazu, dass für die Simulation eine Halbierung der flächenbezogenen Wärmefreisetzungsrate auf 0,8 MW/m² angenommen wird. Die Dauer bis zum Verlöschen beträgt nun 21,43 min gegenüber bisher 35 min. Die Brandentwicklungsdauer von 5 min wird beibehalten. Die alten und neuen Verläufe sind in Abbildung 5 dargestellt.

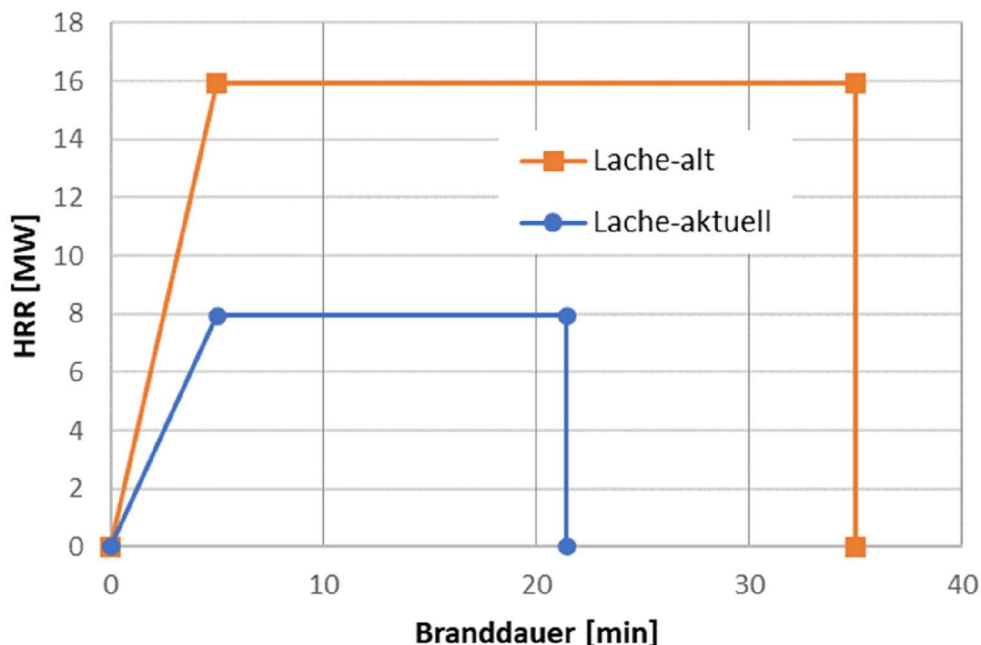


Abbildung 5: Wärmefreisetzungsverlauf des Lachenbrandes (einschließlich anteilig Kleinstbrandlasten) nach [8] sowie nach neuer Festlegung [14].

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 24

Reifenbrände

Die Modellierung der Reifenbrände basiert ebenfalls auf den Annahmen aus den Unterlagen aus dem PFV. Die damaligen Annahmen lauten wie folgt [8] (S. 7f):

„Hinsichtlich der Brandzeiten der Reifen wird zwischen den Vorderreifen mit anteilig je 290 kg Gummi und den hinteren Reifen mit je 500 kg Gummi unterschieden. Die Reifen haben einen Durchmesser von ca. 2 m und eine Breite von ca. 0,5 m. Die äußere Oberfläche der Reifen beträgt ca. 6 m².

Die Entzündung der Reifen erfolgt aufgrund des Ölfeuers infolge des direkten Kontaktes mit den Flammen innerhalb von wenigen Minuten: Durch den Einfluss dieses Stützfeuers brennen die Reifen auf der gesamten äußeren Oberfläche. Die spezifische Abbrandrate beträgt 40 kg/m²h. Bedingt durch den Brand und die Temperatureinwirkungen kann davon ausgegangen werden, dass sich die Reifen nach einigen Minuten teilweise von den Felgen lösen und die innere Oberfläche an der Verbrennung teilnimmt; vernünftig ist hierbei die Annahme, dass 50 % der inneren Oberfläche zum Brand beitragen. Für die Ermittlung der Branddauer wurde deshalb von einer Brandgutoberfläche von ca. 9 m² ausgegangen.

Die Pyrolyserate und damit auch die Abbrandgeschwindigkeit werden wesentlich von den umgebenden Raumtemperaturen (Konvektion, Strahlung) beeinflusst. Dementsprechend werden die Reifen während des Mineralölbrandes (Stützfeuer) heftig mitbrennen, das heißt, bei einer angenommenen Abbrandgeschwindigkeit von 40 kg/m²h sind die Vorderreifen nach ca. 30 Minuten (Dauer der Vollbrandphase des Ölbrandes) zu mehr als 60 % und die hinteren Reifen zu mehr als 36 % abgebrannt.

Nach dem Erlöschen des Mineralölbrandes brennen noch vorhandene Reifenreste selbständig weiter. Aufgrund des fehlenden Wärmeeintrags durch das "Stützfeuer" nimmt die Heftigkeit des Reifenbrandes jedoch ab. Dabei ist zudem noch zu berücksichtigen, dass die einzelnen Reifen sehr weit auseinander stehen und durch das Fahrzeug selbst eine teilweise gegenseitige Abschirmung erfolgt. Unter diesen Randbedingungen ist es plausibel, dass die Vorderreifen erst nach ca. 45 Minuten und die hinteren Reifen nach ca. 85 Minuten vollständig verbrannt sind, wobei die Brandintensität zum Ende nur noch von Brandglutnestern bestimmt wird.“

Die Abschätzung der Wärmefreisetzung erfolgte damals auf Grundlage einer geschätzten Reifenoberfläche von 6 m² pro Reifen, die durch den mitbrennenden Anteil der Innenfläche auf 9 m² erhöht wurde. Zwillingsreifen wurden über die Branddauer berücksichtigt. Pro Achse ergaben sich 18 m² Brandfläche.

Der vorgesehene Reifentyp hat einen Außendurchmesser von 1,45 m, einen Innendurchmesser von 0,73 m und eine Breite von 0,4 m, so dass die aktuelle Reifenoberfläche 4,3 m² beträgt. Mit Innenfläche ergibt sich eine Brandfläche von 6,45 m² pro Reifen. Die Reifenfläche verkleinert sich damit um den Faktor $4,3 / 6,0 = 0,717$.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 25

Bei einer flächenbezogenen Wärmefreisetzungsrate von $40 \text{ kg/m}^2\text{h}$ ergibt sich mit $H_{u,eff} = 33,60 \text{ MJ/kg}$ eine flächenbezogene Wärmefreisetzungsrate von $0,373 \text{ MW/m}^2$. Dieser Wert wurde überprüft und als sehr konservativ angesehen. Er wird beibehalten.

Die Brandentwicklungsdauer von 5 min wird ebenfalls beibehalten. Entsprechend der Annahmen wirkt sich die Flächenverkleinerung der Reifen linear auf die Reduktion der Wärmefreisetzungsrate im Vollbrand aus. Diese beträgt $9,62 \text{ MW}$ gegenüber bisher $13,4 \text{ MW}$ für alle vier Reifen. Die Dauer bis zum Verlöschen beträgt nun $56,67 \text{ min}$ gegenüber bisher 50 min für die vorderen und 90 min für die hinteren Reifen. Die alten und neuen Wärmefreisetzungs-Zeit-Verläufe sind in Abbildung 6 dargestellt.

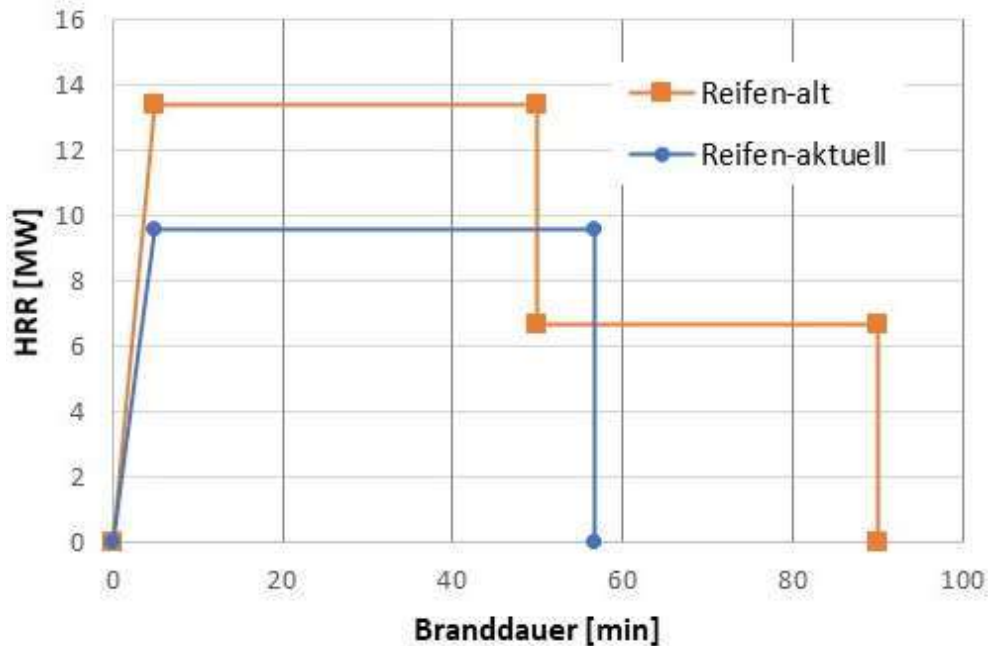


Abbildung 6: Wärmefreisetzungsverlauf der Reifenbrände (einschließlich anteilig Kleinstbrandlasten) nach [8] sowie nach neuer Festlegung [14].

Brandverläufe der Traktionsbatterien des Fahrzeugs

Für den Nachweis wird ein vollständiger Abbrand der Traktionsbatterien angenommen. Dies ist eine sehr konservative Annahme, da aufgrund verschiedener aktiver (z. B. das Batteriemanagementsystem) und passiver Schutzmaßnahmen (z. B. die Kapselung mit Aluminiumgehäusen auf Zell- und Modulebene) ein Versagen und thermisches Durchgehen aller Module einer Traktionsbatterie sehr unwahrscheinlich ist. Weiterhin wird angenommen, dass alle vier Traktionsbatterien gleichzeitig versagen, was unter anderem aufgrund des räumlichen Abstands ebenfalls sehr unwahrscheinlich ist.

Hinsichtlich der zu erwartenden Brandlast einer solchen Traktionsbatterie gibt es zwar konservative Abschätzungen, insbesondere zum Wärmefreisetzungs-Zeit-Verlauf gibt es aber Unsicherheiten,

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 26

so dass die Quellterme durch Experimente in Form von Brandversuchen weiter abgesichert wurden.

Die Brandversuche wurden jeweils durch die DMT GmbH & Co. KG in Dortmund durchgeführt. Die Aufnahme der brandschutztechnisch relevanten Messwerte erfolgte ebenfalls durch die DMT. Die Beauftragung der DMT und die Versuchskonzeption erfolgte durch die TÜV Rheinland Automotive Component Testing GmbH in Abstimmung mit der BGE und der GRS. Die nominale gespeicherte elektrische Energie beträgt 0,229 GJ.

Die erzielten Ergebnisse aus Brandversuchen (zuerst an Batteriemodulen, dann an skalierten Batterien und anschließend an einer baugleichen LiB) wurden in [14] beschrieben. Nach dem Brandversuch an einer baugleichen LiB wurde die Wärmefreisetzungsrates der LiB nach Auswertung aller Messdaten des Experiments bestimmt. Während im Brandversuch an einer baugleichen LiB die Brandlast mittels der Sauerstoffverbrauchskalorimetrie und Massenverlust bestimmt wurde ($BL_{O_2C} = 1,82 \text{ GJ}$), kann der Beitrag der Brandlast aus Redoxreaktionen (BL_{Redox}) nicht im Großversuch erfasst werden. Hierzu wurden zwei Veröffentlichungen ausgewertet:

In [20] wurde für LiB vom gängigen Typ 18650 ein Standardprüfverfahren zur Messung der Verbrennungswärme mit einem Bombenkalorimeter angepasst, indem das Kalorimeter nicht mit Sauerstoff, sondern mit Stickstoff betrieben wurde. Hierdurch wurde die Wärmefreisetzung durch Redoxreaktionen festgestellt und die Wärmefreisetzung durch Verbrennung mit Sauerstoff unterdrückt. Die Zündung erfolgte aufgrund eines internen Kurzschlusses der aufgeheizten Batteriezellen. Die beim Versagen der Zelle freigesetzte Wärmemenge wurde nach dem Standardverfahren gemessen und die Zusammensetzung und Verbrennungswärme der flüchtigen Produkte wurde durch Entlüftung der Bombe mit geeigneten Analysegeräten nach dem Test bestimmt [20]. Bei diesen Untersuchungen wurde eine lineare Abhängigkeit zwischen der gespeicherten elektrischen Energie und der erzeugten Energie festgestellt.

Entsprechend der Abbildung 7 führt eine Batterie mit einer Kapazität von 3.200 mAh bzw. einer elektrischen Energiemenge von $3,7 \text{ V} \cdot 3,2 \text{ Ah} = 42,6 \text{ kJ}_{el}$ zu einer Wärmefreisetzung von 80 kJ_{therm} . Dies entspricht einem Faktor von $80 \text{ kJ}_{therm} / 42,6 \text{ kJ}_{el} = 1,88$.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 27

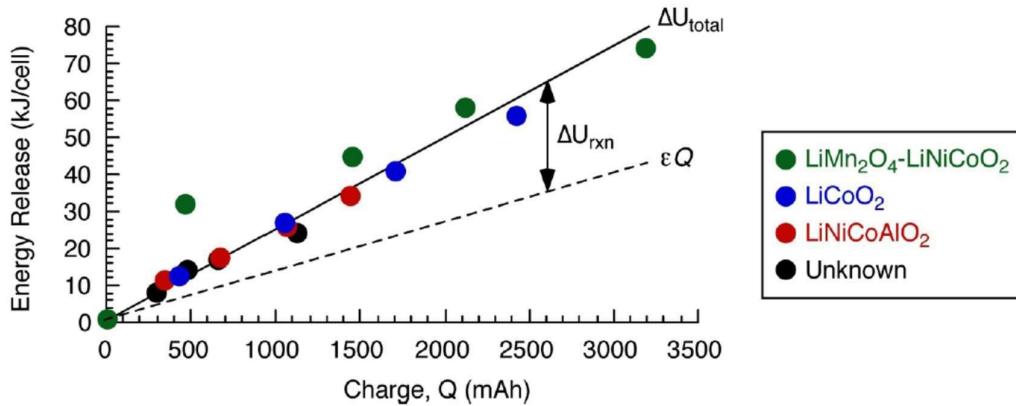


Abbildung 7: Wärmefreisetzung als Funktion der Ladung der 18650 LiBs [14]

Im Beitrag [21] wurde das Sicherheitsverhalten von Lithium-Ionen-Zellen aus dem Automobilbereich charakterisiert (Abbildung 8). Bezüglich der Wärmefreisetzung wurde festgestellt, dass die ohne Luftzutritt freigesetzte Wärmemenge dem 1,6-fachen der elektrisch gespeicherten Energie entspricht. Zum Vergleich entspricht die mit Luftzutritt freigesetzte Wärmemenge dem 5,4-fachen der elektrisch gespeicherten Energie.

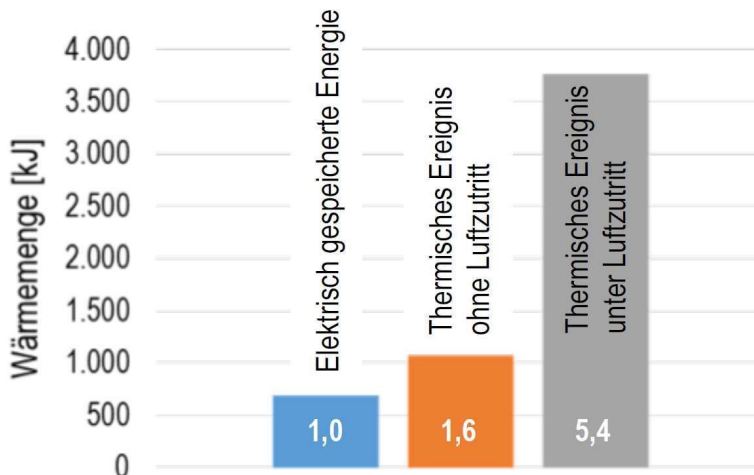


Abbildung 8: Freigesetzte Wärme im Verhältnis zur elektrisch gespeicherten Energie für Zellen eines Automobilherstellers [14]

Die beiden Arbeiten kommen für den ohne Luftzutritt freisetzbaren Teil der Wärmemenge einer Li-Ionen Batterie zu einem Anteil von 1,88 bzw. 1,6 im Verhältnis zur elektrisch gespeicherten Energie. Für die Traktionsbatterie wird aufgrund einer ähnlichen chemischen Zusammensetzung ein gleiches Verhalten angenommen und konservativ die Wärmefreisetzung aufgrund von Redoxreaktionen mit einem Faktor von 2 abgeschätzt.

Die gesamte Brandlast der Traktionsbatterie setzt sich somit aus der im Brandversuch gemessenen Brandlast $BL_{\text{O}_2\text{C}} = 1,82 \text{ GJ}$ und $BL_{\text{Redox}} = 2 \cdot 0,229 \text{ GJ} = 0,46 \text{ GJ}$ zusammen.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Die Summe von 2,28 GJ entspricht einem Faktor von 9,95 der gespeicherten elektrischen Energie. Für die FDS-Brandsimulationsrechnungen wird ein Faktor von 10 verwendet, also 2,29 GJ pro Traktionsbatterie.

Der zeitliche Verlauf basiert auf dem gemessenen Massenverlust im Brandversuch an einer baugleichen LiB. Mit Hilfe der mittleren Verbrennungswärme von 2.290 MJ/188 kg = 12,18 MJ/kg [22] aus dem Hauptbrandversuch lässt sich daraus der Verlauf der Wärmefreisetzungsberechnen.

Es wird für die Brandanalysen der experimentell gemessene Verlauf der Wärmefreisetzung zusätzlich des Beitrags durch die Redoxreaktionen gewählt. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass, obwohl räumlich getrennt, alle Batterien gleichzeitig versagen. Dies ist ein sehr konservatives Vorgehen. Allerdings wird davon ausgegangen, dass der erste Peak ein spezifischer Effekt in diesem Brandversuch ist, so dass die weiteren Teilbrände (vier Reifen und die Lache) ab 230 s (an der „Flanke“ des Batteriebrandes) starten. Der Verlauf der gesamten Wärmefreisetzungsberechnen ist in Abbildung 9 dargestellt.

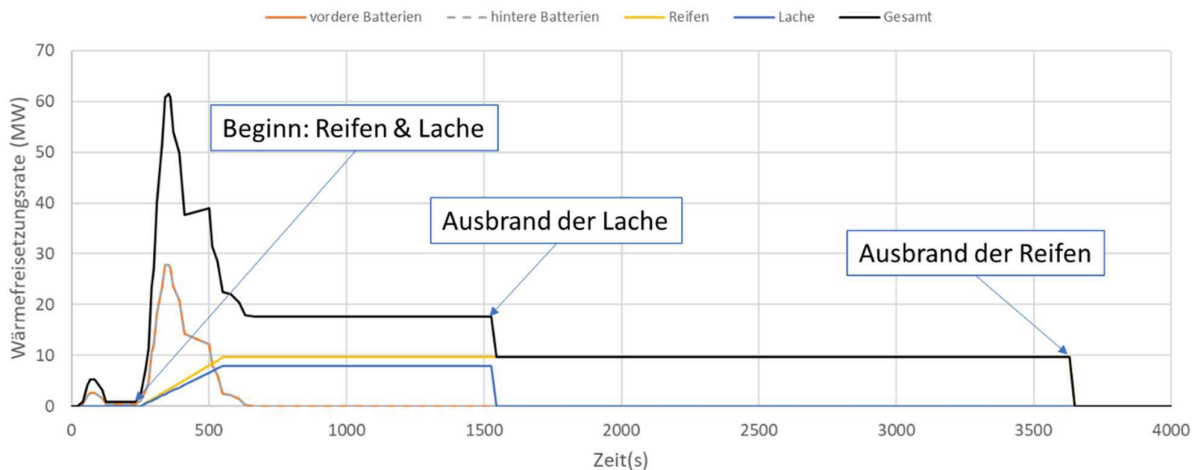


Abbildung 9: Verlauf der Wärmefreisetzungsberechnen der Teilbrände aus [14]

Bei einer Bewetterung von 23 m³/s, beträgt der zugeführte Sauerstoffmassenstrom, unter der Annahme von trockener Luft bei 32 °C, ca. 6,2 kg/s. Mit einem Heizwert von 13,1 MJ pro umgesetztem kg Sauerstoff beträgt die maximale umsetzbare Wärmefreisetzungsberechnen ca. 80 MW. Entsprechend können bei einer Bewetterung von 17,25 m³/s maximal ca. 60 MW umgesetzt werden, bevor der Brand in einen ventilationsgesteuerten Brand übergeht.

Da bei einer Bewetterung mit 17,25 m³/s der Fahrzeugbrand ventilationsgesteuert sein könnte, wird in den FDS-Brandanalysen der in den Batterien enthaltene Sauerstoff berücksichtigt. Die Sauerstoff-Freisetzungsberechnen \dot{m}_{O_2} wird entsprechend der Wärmefreisetzungsberechnen der Batterien aufgrund der Redoxreaktion (20 % HRR_{Bat}) angenommen

$$\dot{m}_{O_2} = \frac{0.2 \cdot HRR_{Bat}}{13.1} \quad (1)$$

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 29

Die Möglichkeit eines ventilationsgesteuerten Brandes und unterschiedlicher Bewetterungen des Brandortes werden in der FDS-Simulation also explizit berücksichtigt. Im Abschnitt zur Festlegung von Szenarien und Simulationen weiter unten im Text wird darauf genauer eingegangen.

Auswahl weiterer Randbedingungen für die FDS Brandsimulation

Strecke

Als abdeckender Standort für einen BETW-Brand wird die Kammerzufahrt zu den Einlagerungskammern (ELK) gewählt (Abbildung 10). Andere mögliche Brandorte ergeben insgesamt günstigere Bedingungen, insbesondere aufgrund einer höheren Bewetterung oder einer größeren Streckenhöhe, und werden daher nicht berücksichtigt. In der beladenen Situation, also bei Fahrten in Richtung der Einlagerungskammer, wird das Fahrzeug von hinten bewettert. In dem gewählten Abschnitt hat die Strecke eine Breite von 6 m und eine Höhe von 4,5 m. Das Profil der Strecke wurde in den Simulationen abgebildet (Abbildung 11).

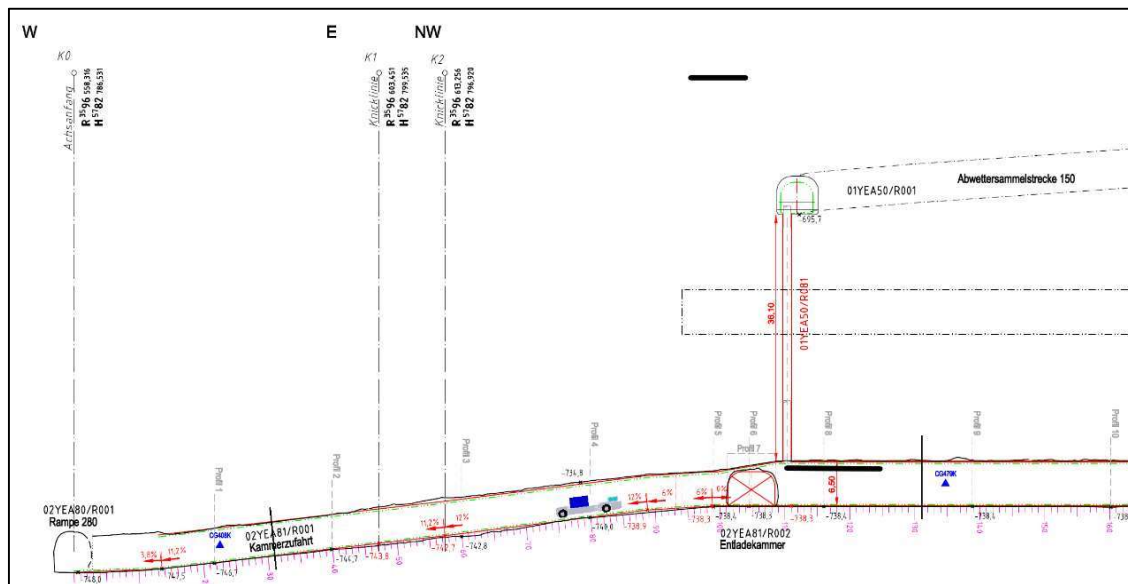


Abbildung 10: Darstellung einer Kammerzufahrt zur Einlagerungskammer (ELK) aus [14].

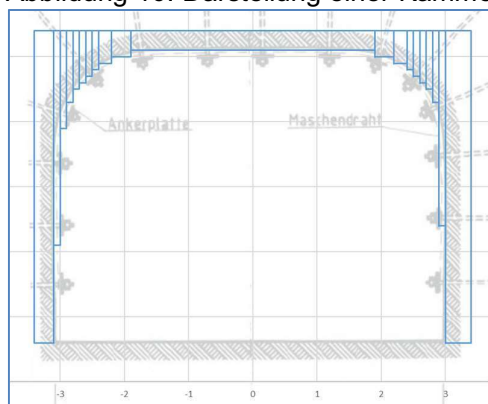


Abbildung 11: Streckenprofil im gewählten Abschnitt sowie Abbildung der Strecke in den FDS-Brandsimulationen (blaue Kurven) aus [14].

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 30

Bewetterung

Hinsichtlich der Bewetterung der Kammerzufahrt ELK werden in den Brandsimulationen zwei Fälle unterschieden:

- Im ersten Fall erfolgt entsprechend der im Planfeststellungsverfahren eingereichten EU 132.3 [8] eine blasende Bewetterung auf der Frischwetterseite mit einem konstanten Volumenstrom von 23 m³/s.
- Der zweite Fall entspricht den tatsächlichen Randbedingungen auf Grundlage der derzeit bereits aufgefahrenen Einlagerungsstrecken im Einlagerungsfeld 5/1. So befindet sich der saugende Ventilator am Ende des Abwetterschachts in der Abwettersammelstrecke. Gemäß ÄV 114 [15] wird der Volumenstrom auf den geplanten Wert von 17,25 m³/s reduziert. Der Ventilator ist frequenzgesteuert und damit auf einen konstanten Volumenstrom eingeregelt. Die Frischwetterseite am Beginn der Strecke wird entsprechend der tatsächlichen Gegebenheiten als offene Randbedingung simuliert.

Verteilung der Brandlasten bezüglich Batterien

In den Brandsimulationen mit FDS werden die Brandlasten mittels einer vorgegebenen Wärmefreisetzungsratespezifiziert. Bei dem angenommenen vollständigen Versagen der Batterien erfolgt zunächst eine Freisetzung von Brandgasen über die Überdrucköffnung der Batteriegehäuse in den vorderen bzw. hinteren Karosserieinnenraum. Diese Gase können dann über die oberen und unteren Lüftungsöffnungen sowie mögliche Leckagen im oberen Bereich der Fahrgestelle² (konservative Annahme) entweichen. In den Brandsimulationen mit FDS wird konservativ angenommen, dass die Verbrennung dieser Brandgase außerhalb des Fahrzeugbereichs erfolgt. Diese Annahme ist konservativ, da bei einer Verbrennung innerhalb des Fahrzeugs die Gebinde weitgehend abgeschirmt sind und somit die thermische Belastung geringer ist. Bezüglich der Lüftungsgitter wird weiterhin konservativ angenommen, dass eine Freisetzung der Brandgase nur aus den oberen Lüftungsgittern erfolgt, welche näher am Gebinde liegen. Im Bodenbereich der beiden Fahrgestelle sind Öffnungen mit Berstscheiben vorgesehen (Abbildung 12), um bei einem eventuellem Druckaufbau im Karosserieinnenraum gezielt zusätzliche Öffnungen zu schaffen. Auch hier liegen die Öffnungen (ähnlich wie die Lachenfläche) im Vergleich zum oberen Lüftungsgitter weiter weg zum Gebinde.

² Zum Zeitpunkt der durchgeführten FDS-Brandsimulationsrechnungen waren Wartungskappen im Fahrgestell oberhalb der Batterien vorgesehen. In dem dargestellten Nachweis wird die Ausströmung von 8 % weiterhin angenommen und als Leckage des Fahrgestells bezeichnet. Da die verwendete angenommene Austrittsfläche im Vergleich zu den Lüftungsgittern näher zum Gebinde liegt, ist die getroffene Annahme der Leckage konservativ.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 31

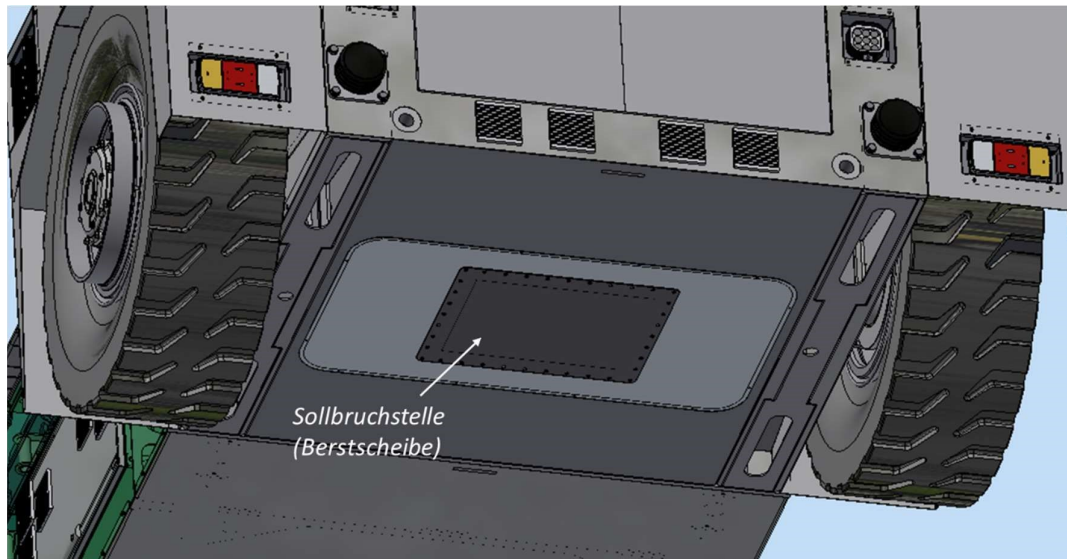


Abbildung 12: Darstellung Sollbruchstellen (Berstscheiben) im unteren Bereich des hinteren Fahrgestells

Somit ist die Annahme einer Freisetzung von Batteriegasen nur aus dem oberen Lüftungsgitter und einer angenommenen Leckage im oberen Bereich des Fahrgestells konservativ.

Die Verteilung der Brandgase (also Bestimmung der Anteile) über die Lüftungsgitter und Leckagen im oberen Bereich des Fahrgestells wird mittels einer COCOSYS (Containment-Code-System) - Rechnung abgeschätzt. Die hierzu durchgeführten Analysen wurden in [1] ausführlich beschrieben.

Gebinde und Auswahl der Monitorpunkte

Da der Nachweis auf den Gastemperaturen an sogenannten Monitorpunkten basiert, hat die Auswahl der Gebinde in Bezug auf die Materialzusammensetzung keine oder nur eine untergeordnete Bedeutung. Dagegen spielt die Geometrie der Gebinde eine Rolle, da sich dadurch die Lage der ausgewählten Monitorpunkte verändert. In den durchgeführten FDS-Brandsimulationsrechnungen wurden daher die zwei möglichen Geometrien (Beladungen) betrachtet (Abbildung 13):

- Fall mit zwei Rundgebinden (Gussbehältern Typ III)
Diese Gussbehälter haben einen Durchmesser von 1 m und eine Höhe von 1,24 m. Die äußere Wandstärke (welche in der Rechnung berücksichtigt wird) beträgt 16 cm. Eine weitere Wärmeleitung in den Innenbereich der Rundgebinde wird nicht angenommen.
- Fall mit einem Container Typ V
Dieser Container hat eine Länge von 3,2 m, eine Breite von 2 m und eine Höhe von 1,7 m. Er hat eine Hülle aus Stahlblech von 3 mm. Nur diese Hülle wird in den Rechnungen berücksichtigt. Von den verschiedenen Typen der standardisierten Abfallbehälter für das Endlager Konrad gehört dieser Behältertyp zu der Gruppe mit der größten Höhe und Längsausdehnung und liegt somit näher zur Firste bzw. zum Austrittsort der Batteriegase. Eine weitere Wärmeleitung in den Innenbereich des Containers wird nicht angenommen.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 32

Unabhängig von der Art des Gebinde werden die Monitorpunkte eine halbe Gitterzelle von der Oberfläche entfernt (also im Zentrum der entsprechenden Zelle) definiert. Monitorpunkte werden dabei an den äußeren zentralen sowie exponierten Positionen der Gebinde definiert.

Für Rundgebilde erfolgt die Auswertung für das vordere und hintere Gebinde separat. Die Lage der Monitorpunkte ist in Abbildung 13 links durch grüne Punkte dargestellt. Jeweils drei Monitorpunkte befinden sich oberhalb des Zylinders an beiden Seiten sowie ein Monitorpunkt im Zentrum der beiden Stirnseiten. Somit werden für beide Rundgebilde insgesamt jeweils elf Monitorpunkte festgelegt.

Bezüglich der Auswertung (der Gastemperaturen um die beiden Rundgebilde) werden diese separat betrachtet, um den Einfluss der hinteren und vorderen Position der Gebinde zu untersuchen.

Für den Container wird ein Monitorpunkt an den vier Ecken sowie ein Monitorpunkt im Zentrum einer Fläche definiert (Abbildung 13 rechts). Als Flächen werden die Oberseite und die vier seitlichen berücksichtigt, so dass insgesamt 25 Monitorpunkte definiert werden.

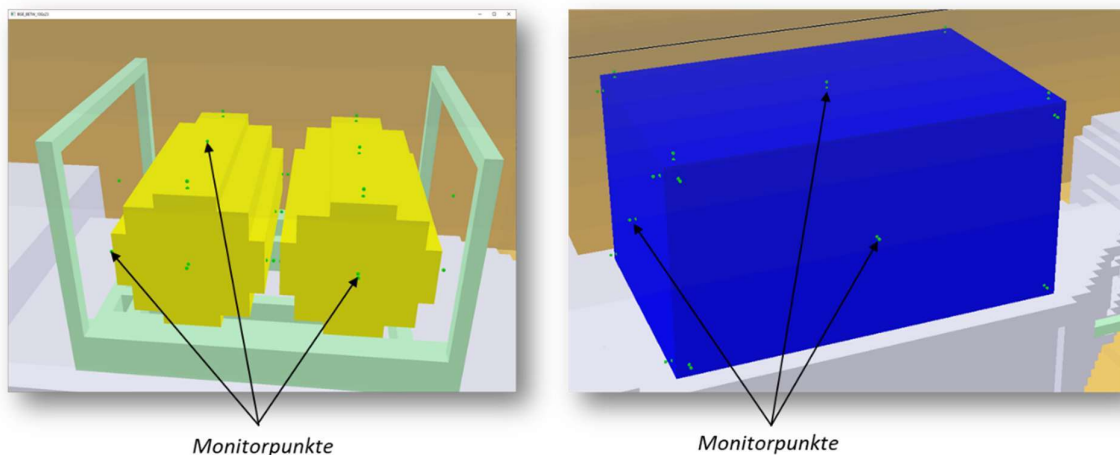


Abbildung 13: Darstellung der Gebinde und der ausgewählten Monitorpunkte aus [14].

Ermittlung einer gemittelten Gastemperatur

Um die berechneten Gastemperaturen an den Monitorpunkten mit der Bemessungskurve der PTB vergleichen zu können, wurden diese Temperaturen gemittelt.

In einem ersten Schritt werden die sekundlich gespeicherten berechneten Gastemperaturen über einen Zeitraum von 5 s gemittelt. Durch die zeitliche Mittelung werden größere Schwankungen der Temperaturen in der Darstellung reduziert und somit die Ergebnisse besser lesbar. Aufgrund der hohen thermischen Trägheit der Gebinde ist eine zeitliche Mittelung über diese Zeitspanne unproblematisch.

In einem zweiten Schritt erfolgt die räumliche Mittelung. Da der Wärmeübergang an das Gebinde sich aus dem konvektivem Wärmeübergang, welcher linear von der Temperaturdifferenz abhängt,

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 33

und dem Strahlungswärmeübergang mit einer ΔT^4 -Abhängigkeit zusammensetzt, wird folgende Gleichung verwendet:

$$\bar{T} = \text{Max} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i, \sqrt[4]{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i^4} \right) \quad (2)$$

Dabei ist T_i die Gastemperatur in Kelvin am Monitorpunkt i und n die Anzahl der Monitorpunkte. Durch die Mittelung über T und T^4 werden beide Wärmeübergangprozesse berücksichtigt.

Zur weiteren Auswertung der Ergebnisse wird in der Diskussion zusätzlich neben der gemittelten Temperatur die maximale und minimale Gastemperatur darstellt (Abbildung 14).

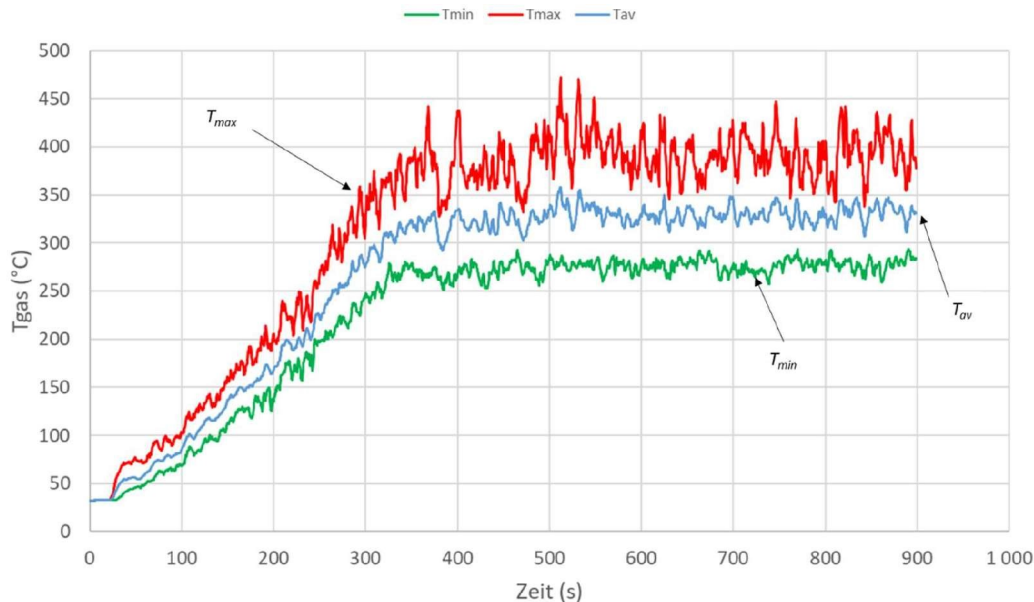


Abbildung 14: Beispielhafte Darstellung der räumlich gemittelten Temperatur T_{av} sowie maximalen Temperatur T_{max} und minimalen Temperatur T_{min} aus [14].

In FDS wird die sogenannte adiabate Oberflächentemperatur T_{AST} berechnet. Dieser Ausgabewert wird in diesem Bericht nur zur dreidimensionalen Visualisierung der Temperaturverteilung an der Gebindeoberfläche verwendet. Für den Vergleich mit der PTB-Kurve wird die Gastemperatur verwendet (in Abbildung 15 grau dargestellt). Die adiabatische Oberflächentemperatur T_{AST} ist die rechnerische Oberflächentemperatur, bei der der resultierende Wärmeübergang zu Null wird, also

$$\varepsilon(\dot{q}_{inc,rad}'' - \sigma T_{AST}^4) + h(T_{gas} - T_{AST}) = 0 \quad (3)$$

unter Berücksichtigung der Wärmestrahlung $\dot{q}_{inc,rad}''$ weiterer Quellen (z. B. Wärmestrahlung von der Streckenfirste, der Flamme und dem Ceiling-Jet) [22]. Ein exemplarischer Verlauf wird in Abbildung 15 gezeigt. Die adiabate Oberflächentemperatur T_{AST} wird dunkelgelb, die Gastemperatur T am Monitorpunkt grau, die Wandoberflächentemperatur T_W blau und die Temperatur T_{Wb} an der

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 34

Rückseite des berücksichtigten Materials orange dargestellt. Aufgrund der Strahlungswärme in Richtung Gebinde ist in Gleichung (3) $T_{AST} > T_{gas}$.

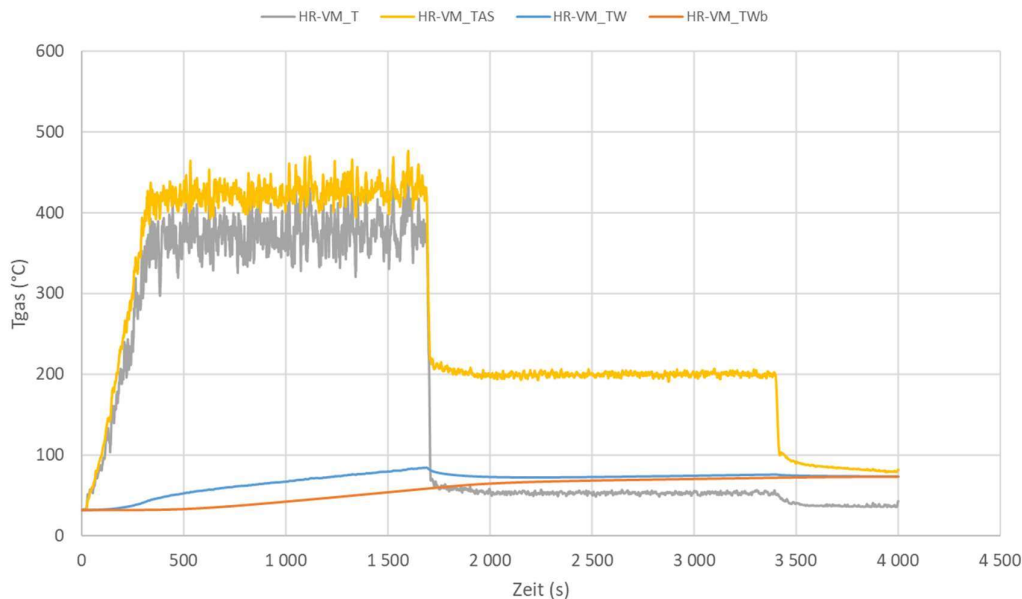


Abbildung 15: Exemplarische Darstellung der adiabaten Oberflächentemperatur, der Gastemperatur (Monitorpunkt), der Wandoberflächentemperatur und der Oberflächentemperatur an der „Rückwand“ aus [14].

Mit dem Visualisierungsprogramm Smokeview© wurde die adiabatische Oberflächentemperatur T_{AST} dreidimensional über die Zeit dargestellt. Dies ermöglicht eine Überprüfung lokaler Effekte. So zeigt die Abbildung 16 die adiabate Oberflächentemperatur am Container Typ V bei ca. 900 s. Durch das Umschlagen der Flammen über das Drehknickgelenk befinden sich die höchsten Oberflächentemperaturen in der Mitte der vorderen Seite.

In FDS wird nur eine eindimensionale Wärmeleitung modelliert. Diese Einschränkung verstärkt lokale Effekte an der Gebindeoberfläche. In der Realität werden diese aufgrund der hohen thermischen Kapazität und hohen Wärmeleitfähigkeit zeitlich und räumlich ausgeglichen.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 35

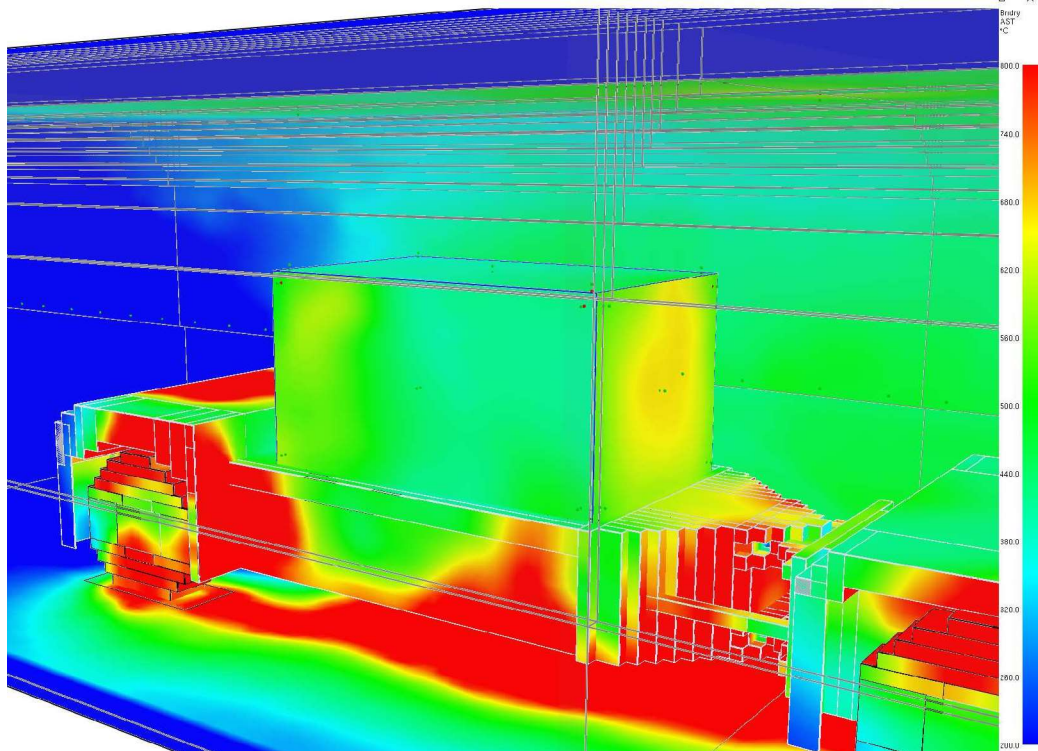


Abbildung 16: Exemplarische 3D-Darstellung der adiabaten Oberflächentemperatur am Container Typ V

Festlegung von Szenarien und Simulationen

In Tabelle 2 werden die zum Nachweis durchgeführten FDS-Brandsimulationsrechnungen aufgelistet. Der angenommene Brandverlauf ist in allen Rechnungen gleich. Die gesamte Brandlast beträgt 49 GJ mit einer maximalen Wärmefreisetzungsrate von 62 MW unter Berücksichtigung der Verteilung der Brandlasten sowie des zeitlichen Verlaufes, wie beschrieben. Hinsichtlich der Bewetterung werden die Fälle einer frischwetterseitigen Bewetterung von 23 m³/s und einer abwetterseitigen Bewetterung von 17,25 m³/s unterschieden. Die erste Variante entspricht den betrachteten Randbedingungen im planfestgestellten Verfahren EU132.1&2 [7]. Somit werden die Fälle Nr. 1 und Nr. 3 als Referenzfälle zum planfestgestellten Verfahren bezeichnet. Die zweite Variante der Bewetterung (Fälle Nr. 2 und Nr. 4) entspricht dem geplanten Vorgehen mit einem Ventilator auf der Abwetterseite sowie einem Volumenstrom von 17,25 m³/s (ÄV 114 [15]). Aufgrund der beim Brand auftretenden Volumenausdehnung der Gase (Reduktion der Dichte) führen beide Varianten zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Der Fall Nr. 5 entspricht dem Fall Nr. 3, allerdings mit einer Bewetterung in umgekehrter Richtung. Im allgemeinen Fall ist davon auszugehen, dass der Transportwagen bei einer Fahrt in Richtung Einlagerungsstelle beladen ist. Da auch die Frischwetterzufuhr in Richtung Einlagerungsstelle erfolgt und über eine Lutte wieder zurückgeführt wird, ist i. A. bzgl. des Transportwagens von einer Bewetterung von hinten auszugehen. Es wird dennoch eine FDS-Rechnung mit Bewetterung über

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev	Blatt: 36
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9KE	25232				EA	BZ	0004	00	

die Front durchgeführt, um zu zeigen, dass dieser Fall durch die Bewetterung über das Heck in seinen Auswirkungen auf die Abfallgebinde abgedeckt wird.

In den durchgeführten FDS-Rechnungen werden die Fälle mit zwei Rundgebinden vom Typ III und Fälle mit einem Container Typ V betrachtet. Es werden damit beide möglichen Geometrien (Quader, Zylinder) berücksichtigt. Der Container Typ V stellt aufgrund seiner Höhe und damit seiner Nähe zu den heißen Gasen, die an der Firste entlangstreichen, eine ungünstige Auswahl dar. Da der Nachweis Gastemperaturen verwendet, haben die Materialeigenschaften sowie der Aufbau keinen direkten Einfluss oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Ergebnisse. Allerdings ändert sich die Lage und gewählte Anzahl der sogenannten Monitorpunkte. Aufgrund der größeren Ausdehnung des Containers (höhere Lage der Monitorpunkte) werden in diesen Fällen höhere gemittelte Gastemperaturen erreicht.

Zur Überprüfung des Gitters wird zusätzlich eine Rechnung mit einem 5 cm Gitter (8-fache Anzahl von Zellen) durchgeführt (Fall Nr. 3f).

Die höchsten Temperaturen werden im Fall Nr. 3 mit einer Frischwetterzufuhr von 23 m³/s und einer Beladung mit einem Container Typ V erreicht. Insofern basieren die Parameterrechnungen Nr. 5 (umgekehrte Bewetterung) und Nr. 3f (Gitterstudie) auf dem Fall Nr. 3.

Tabelle 2: Liste der durchgeführten FDS-Brandsimulationen

Nr.	Bewetterung			Ladung	Gitter
	Vol. (m ³ /s)	Ventilatorposition	Richtung		
1	23,00	Frishwetter	+ x	Rundgebinde	10 cm
2	17,25	Abwetter	+ x	Rundgebinde	10 cm
3	23,00	Frishwetter	+ x	Container	10 cm
4	17,25	Abwetter	+ x	Container	10 cm
5	23,00	Frishwetter	- x	Container	10 cm
3f	23,00	Frishwetter	+ x	Container	5 cm

Die Darstellung und Ergebnisdiskussion für die durchgeführten Brandsimulationen der Tabelle 2 wurde in Kapitel 5.4 in [15] zusammengefasst.

Im Folgenden werden die Gastemperaturen um die beiden Rundgebinde dargestellt und diskutiert. In den Fällen mit Rundgebinden werden diese separat ausgewertet. Da im Fall Nr. 1 insbesondere das hintere Rundgebinde thermisch belastet wird, wird eine zu grobe Mittelung mit niedrigeren gemittelten Temperaturen vermieden.

In Abbildung 17 sind die maximalen Gastemperaturen aller Monitorpunkte rot bzw. blau dargestellt und die minimalen Temperaturen orange bzw. grün dargestellt. Die Differenz beider Temperaturen gibt einen Eindruck von lokalen Effekten. Im Fall Nr. 1 mit einer frischwetterseitigen Bewetterung

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 37

werden für ca. 210 s maximale Temperaturen von 800 °C überschritten. Im Fall Nr. 2 (abwetterseitiger Ventilator), in dem die Reduktion der Geschwindigkeiten um das Fahrzeug berücksichtigt wird, werden deutlich niedrigere maximale Temperaturen berechnet. Diese bleiben unterhalb von 600 °C. Die berechneten minimalen Temperaturen sind für beide Fälle sehr ähnlich. Auffällig ist, dass nach dem Abbrand der hinteren Batterien im Fall Nr. 1 die berechneten maximalen und minimalen Temperaturen praktisch gleich und sehr niedrig sind. Daraus folgt, dass im Fall Nr. 1 die Lache als auch die Reifen kaum Auswirkungen auf das hintere Gebinde haben. Dagegen führen im Fall Nr. 2 insbesondere die hinteren Reifen zu einer thermischen Belastung des hinteren Rundgebüdes.

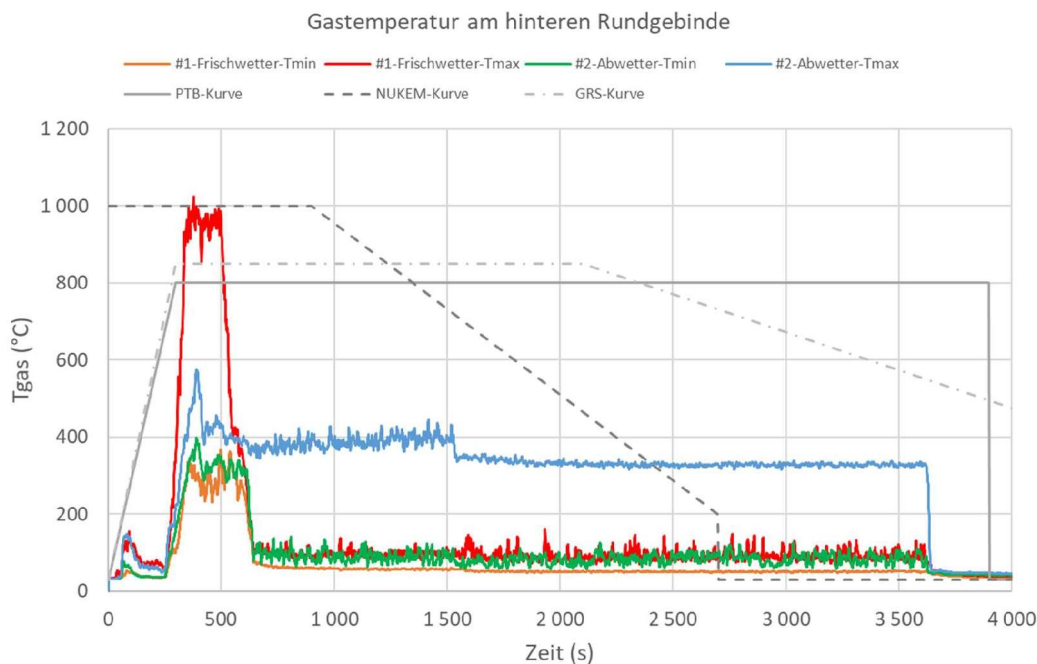


Abbildung 17: Fälle Nr. 1 und Nr. 2: Vergleich der minimalen (orange / grün) und maximalen (rot / blau) Gastemperaturen um das hintere Rundgebüde aus [14].

Abbildung 18 zeigt die ermittelte gemittelte Temperatur für beide Fälle. Diese bleiben unterhalb der PTB-Kurve (durchgezogene graue Kurve).

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 38

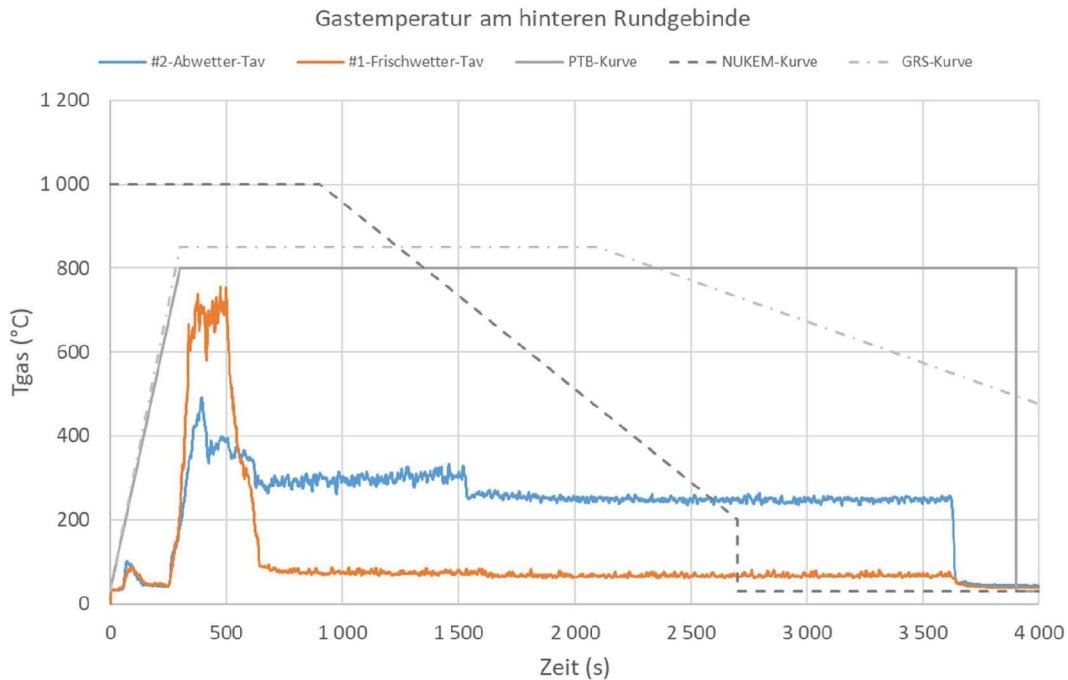


Abbildung 18: Fälle Nr. 1 und Nr. 2: Vergleich der gemittelten Gastemperaturen um das hintere Rundgebäude aus [14].

Für das vordere Gebinde werden erwartungsgemäß niedrigere maximale Temperaturen berechnet (Abbildung 19 und Abbildung 20). Vor allem im Fall Nr. 1 mit einer frischwetterseitigen Bewetterung werden höhere Temperaturen im Vergleich zum hinteren Rundgebäude in der späteren Phase berechnet. Hier schlagen die Flammen über das Drehknickgelenk zurück auf das vordere Gebinde. Sämtliche Temperaturen bleiben unterhalb der PTB-Kurve.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 39

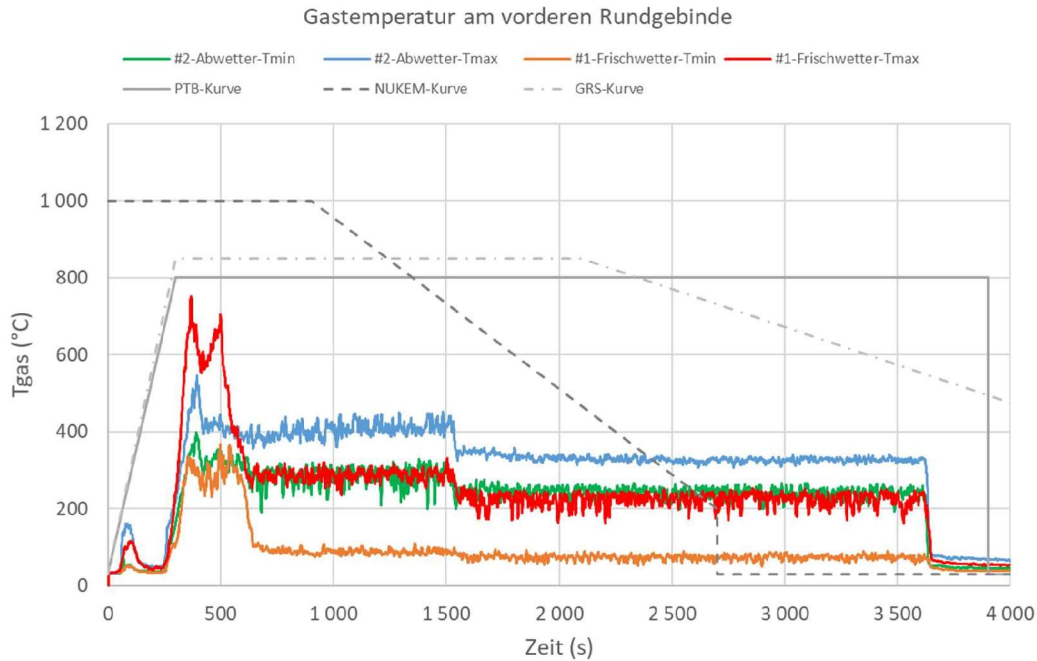


Abbildung 19: Fälle Nr. 1 und Nr. 2: Vergleich der minimalen (orange / grün) und maximalen (rot / blau) Gastemperaturen um das vordere Rundgebäude aus [14].

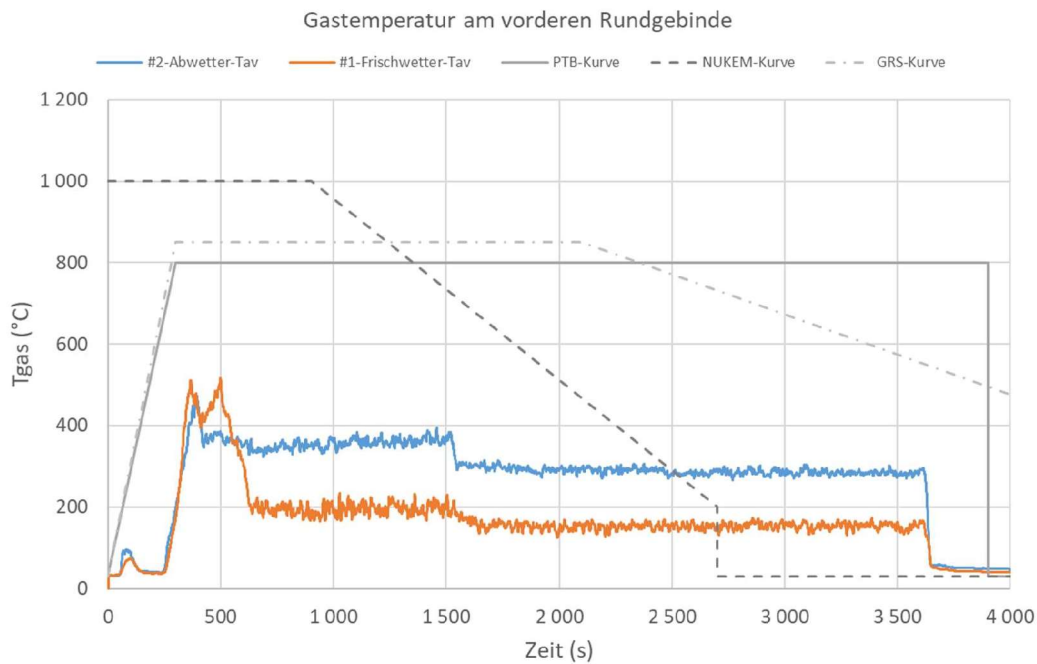


Abbildung 20: Fälle Nr. 1 und Nr. 2: Vergleich der gemittelten Gastemperaturen um das vordere Rundgebäude aus [14].

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 40

Für den Fall Nr. 1 zeigt Abbildung 21 eine 3D-Darstellung der adiabaten Temperaturverteilung am Fahrzeug und an den Rundgebänden. Schwarz dargestellt ist die 800 °C-Grenzlinie. Weil in der Berechnung der adiabaten Oberflächentemperatur zusätzlich die thermische Einwirkung der Wärmestrahlung berücksichtigt wird, liegt diese oberhalb der umgebenen Gastemperatur. Diese Abbildung zeigt, dass die **maximale** Gastemperatur im Wesentlichen nur im oberen hinteren Viertel der Manteloberfläche des hinteren Rundgebändes die 800 °C-Linie überschreitet.

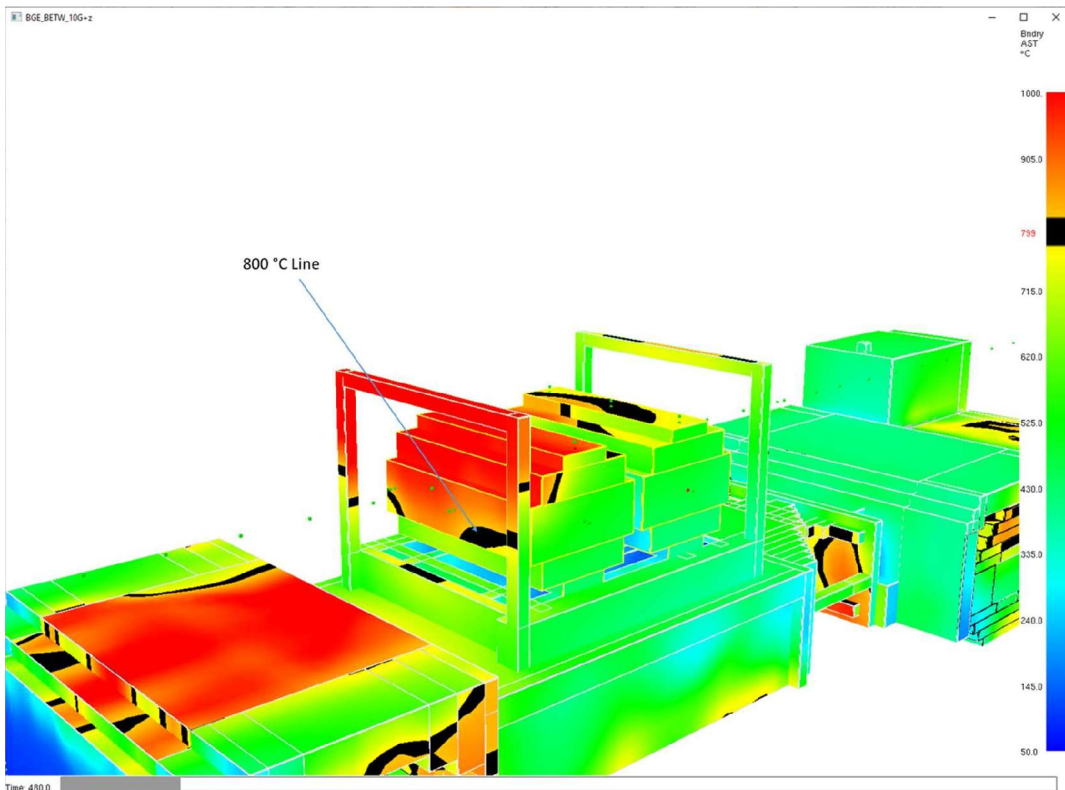


Abbildung 21: Fall Nr. 1: 3D-Darstellung der adiabaten Oberflächentemperatur insbesondere des hinteren Rundgebändes bei 480 s aus [14].

Im Folgenden wird exemplarisch die thermische Belastung des hinteren Rundgebändes an der oberen rechten Kante diskutiert (Abbildung 22). Dargestellt werden die Gastemperatur T (blaue Kurve) 5 cm oberhalb des Gebäudes, die adiabatische Oberflächentemperatur T_{AST} (orange Kurve, Gl. (3)), die Oberflächentemperatur T_W am Gebäude (graue Kurve) und die Temperatur T_{Wb} auf der Innenseite des Gussbehälters (in 16 cm Tiefe, gelbe Kurve). Obwohl kurzzeitig (ca. 210 s) Gastemperaturen T nahe 1.000 °C erreicht werden, sind aufgrund der vorhandenen hohen Wärmekapazität des Rundgebändes die thermischen Auswirkungen gering. So wird eine Oberflächentemperatur T_W von ca. 200 °C erreicht. Erst nach ca. 800 s sind die Temperaturen (Gastemperatur, Oberflächentemperatur sowie innenseitige Temperatur T_{Wb}) weitgehend ausgeglichen.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 41

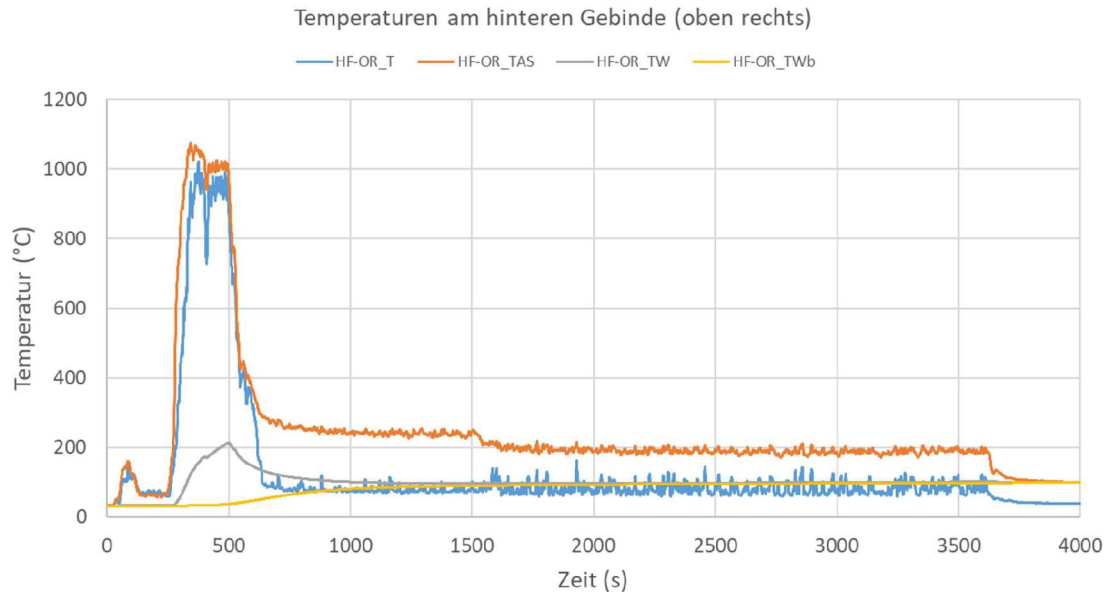


Abbildung 22: Fall Nr. 1: Temperaturen an der oberen rechten Kante des hinteren Rundgebindes aus [14].

Fall Nr. 3 und Fall Nr. 4 mit einem Container Typ V

Für die FDS-Brandsimulationen Nr. 3 und Nr. 4 werden die gleichen Randbedingungen wie im Fall Nr. 1 bzw. Fall Nr. 2 verwendet. Aufgrund der geänderten Geometrie der Ladung ergeben sich unterschiedliche lokale Strömungsbedingungen. Dadurch ändert sich die Lage der Monitorpunkte, welche zur Ermittlung der gemittelten Gastemperatur verwendet werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse der beiden Fälle diskutiert, sofern sich unterschiedliche Ergebnisse ergeben bzw. für die Diskussion notwendig sind.

Die berechneten maximalen und minimalen Gastemperaturen um den Container werden in Abbildung 23 dargestellt. Ähnlich wie beim hinteren Rundgebinde sind die minimalen Temperaturen für beide Varianten der Bewetterung sehr ähnlich. Unterschiede existieren für die maximalen Gastemperaturen. Hier werden für den Fall mit der frischwetterseitigen Bewetterung Temperaturen bis 1.200 °C für einen Zeitbereich von ca. 250 s berechnet.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 42

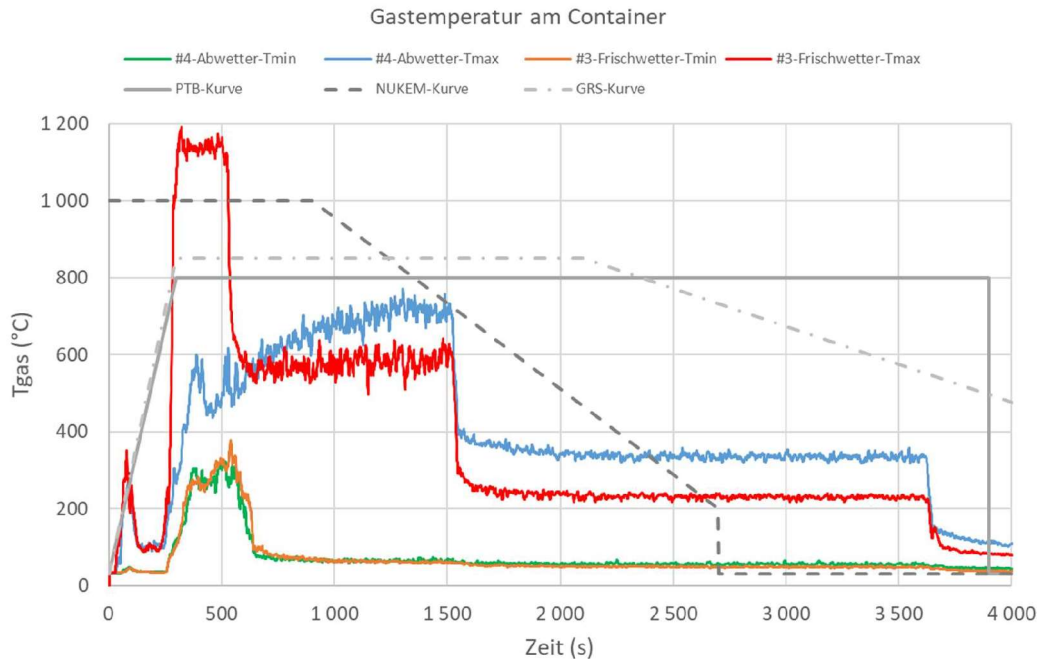


Abbildung 23: Fälle Nr. 3 und Nr. 4: Vergleich der minimalen (orange/grün) und maximalen (rot/blau) Gastemperaturen um den Container aus [14].

Die berechneten gemittelten Gastemperaturen sind in Abbildung 24 dargestellt. Im Fall Nr. 3 werden gemittelte Gastemperaturen von ca. 800 °C für einen Zeitbereich von ca. 250 s erreicht. In dieser Abbildung sind neben der PTB-Kurve noch die NUKEM-Kurve und die GRS-Kurve dargestellt, wobei in der NUKEM-Modellkurve Temperaturen bis 1.000 °C auftreten. Der Vergleich dieser Kurven mit den berechneten gemittelten Gastemperaturen zeigt, dass aufgrund des angenommenen Batteriebrandes die thermische Belastung des Containers deutlich unterhalb der Auslegung auf Basis der dargestellten Modellkurven liegt.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 43

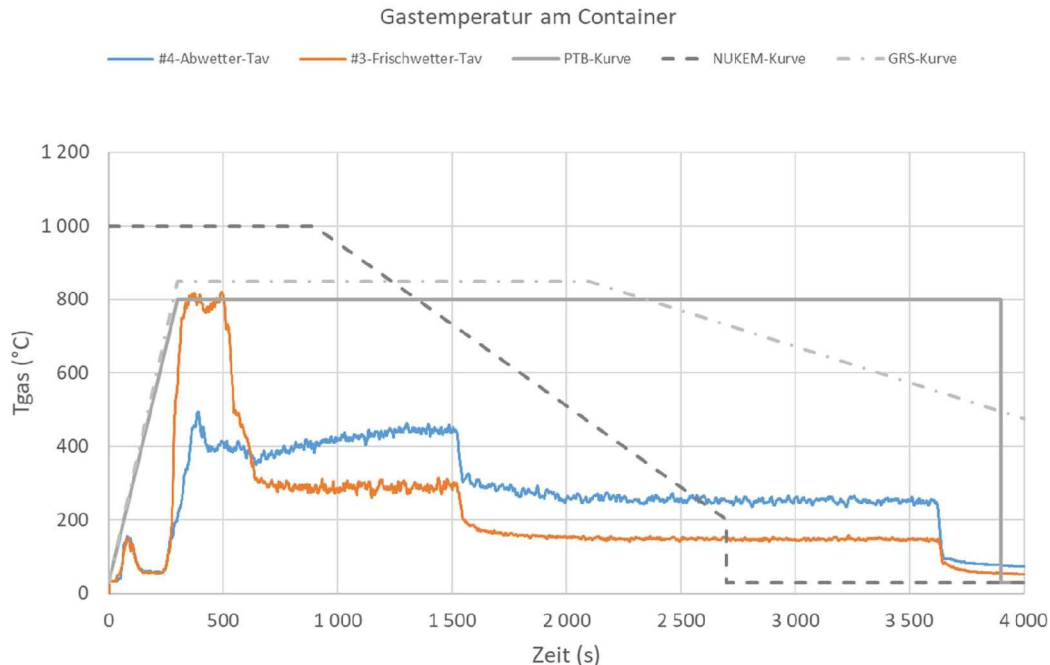


Abbildung 24: Fälle Nr. 3 und Nr. 4: Vergleich der gemittelten Gastemperaturen um den Container aus [14].

Für den Fall Nr. 4 unter Verwendung der geplanten Randbedingungen (abwetterseitiger Ventilator) liegen die gemittelten Gastemperaturen mit maximal 500 °C deutlich unterhalb der PTB-Kurve.

Fall Nr. 3 und Fall Nr. 5: Entgegengesetzte Richtung der Bewetterung

Bezogen auf das Fahrzeug ist erwartungsgemäß die Verteilung der freigesetzten Wärme aufgrund der gegensätzlichen Bewetterung sehr unterschiedlich (Abbildung 25). Das Ergebnis mit umgekehrter Bewetterung wird als blaue Kurve dargestellt. Die Wärmefreisetzung der Lache, der beiden hinteren Reifen sowie der beiden hinteren Batterien strömen nach hinten ab und führen, wenn überhaupt, nur zu einer geringen thermischen Belastung für das Gebinde. Die Brandgase der vorderen Batterien werden bis zur Höhe des Drehknickgelenks ($x = 0$) umgesetzt. Somit ist der Abstand bis zum Gebinde größer als im Fall Nr. 3.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 44

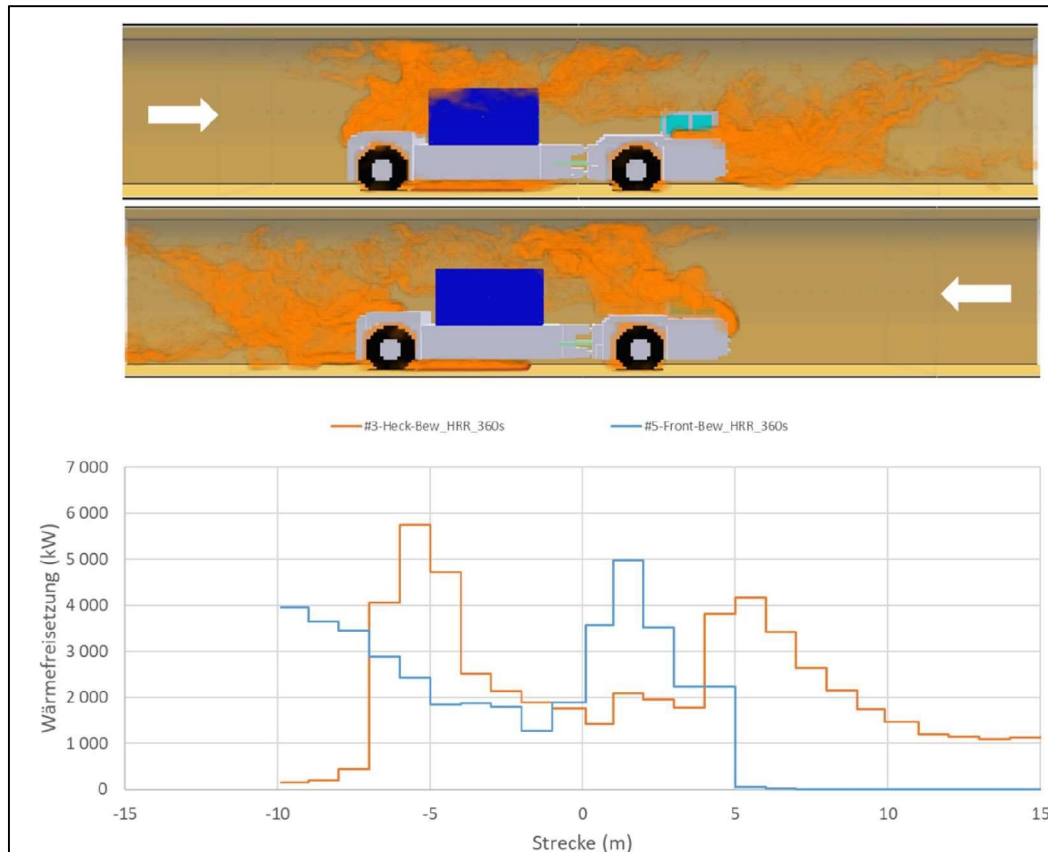


Abbildung 25: Fall Nr. 3 und Nr. 5: Vergleich der Verteilung der Wärmefreisetzungsrate im Fahrzeugbereich aus [14].

Die resultierenden minimalen und maximalen Gastemperaturen um den Container sind in Abbildung 26 dargestellt. Im Fall Nr. 5 werden sehr kurzzeitig Maximalwerte von 800 °C erreicht, die somit ca. 400 K niedriger als im Fall Nr. 3 sind. In der Phase des Lachenbrandes (bis 1.500 s) beträgt die Maximaltemperatur noch 300 °C im Vergleich zu 600 °C im Fall Nr. 3. In der Phase, in der nur noch die vier Reifen brennen, sind die erzielten Ergebnisse sowohl für die minimalen als auch für die maximalen Temperaturen vergleichbar.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 45

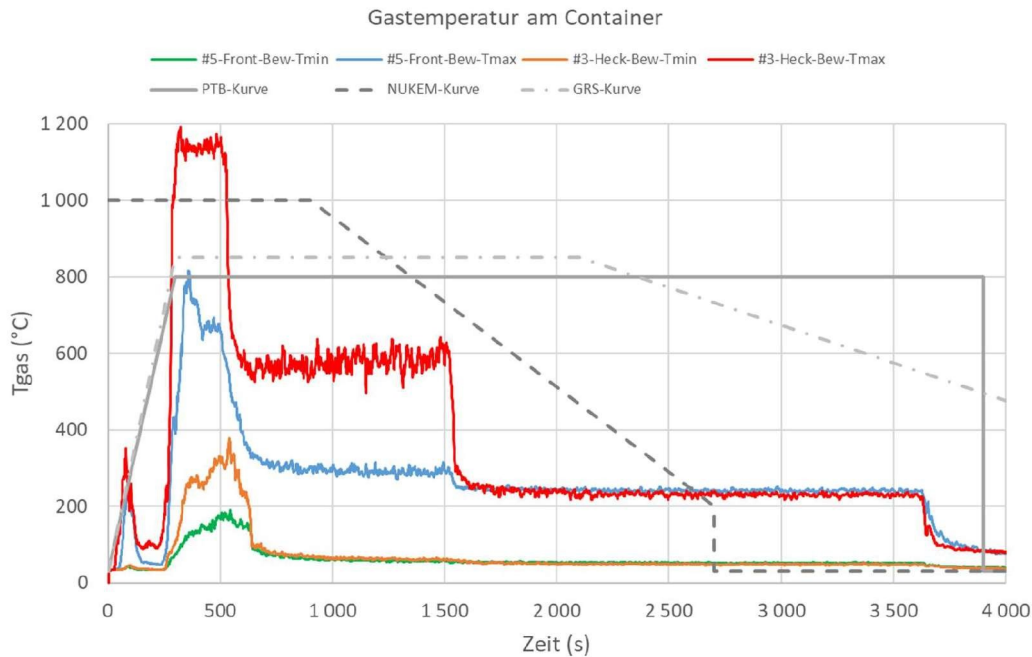


Abbildung 26: Fälle Nr. 3 und Nr. 5: Vergleich der minimalen (orange/grün) und maximalen (rot/blau) Gastemperaturen um den Container aus [14].

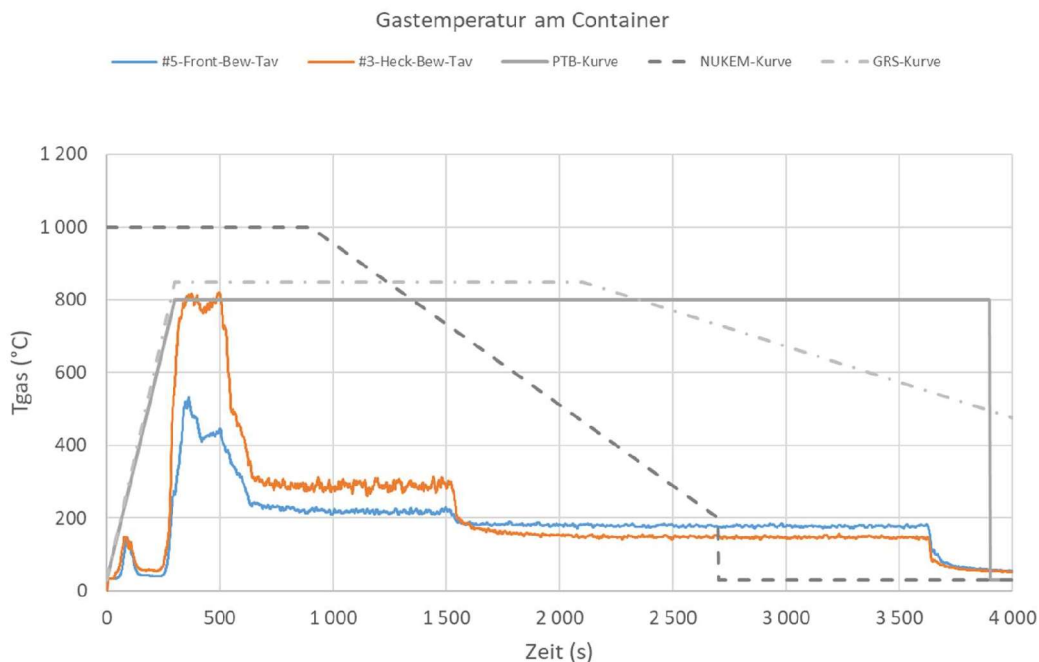


Abbildung 27: Fälle Nr. 3 und Nr. 5: Vergleich der gemittelten Gastemperaturen um den Container aus [14].

Die Ergebnisse für die gemittelten Temperaturen sind in Abbildung 27 dargestellt. Die maximale gemittelte Temperatur erreicht Werte von ca. 500 °C und ist somit um ca. 300 K niedriger als im

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 46

Fall Nr. 3. Somit führt die Betrachtung einer Bewetterung in umgekehrter Richtung zu einer günstigeren thermischen Belastung der Gebinde.

Fall Nr. 3 und Fall Nr. 3f: Gitterstudie

Für den Fall mit den höchsten gemittelten Gastemperaturen wurde eine Gitterstudie durchgeführt. Dazu wurde die Größe der Gitterzellen in allen drei Ausrichtungen halbiert, so dass sich die Gesamtzahl der Gitterzellen um einen Faktor $2^3 = 8$ erhöht. Im Bereich des Fahrzeugs werden somit 5 cm x 5 cm x 5 cm Gitterzellen verwendet.

Die minimalen und maximalen Temperaturen um den Container sind in Abbildung 28 und die gemittelten Gastemperaturen in Abbildung 29 dargestellt. Die maximalen Temperaturen sind mit dem feinen Gitter nur etwas erhöht. Größere Unterschiede werden für die minimalen Temperaturen beobachtet. Hier betragen die Unterschiede bis zu 300 K. Diese höheren Temperaturen führen in der Folge auch zu höheren gemittelten Gastemperaturen. Das Maximum der gemittelten Temperatur erhöht sich von 820 °C auf 915 °C, also um ca. 100 K (Abbildung 29).

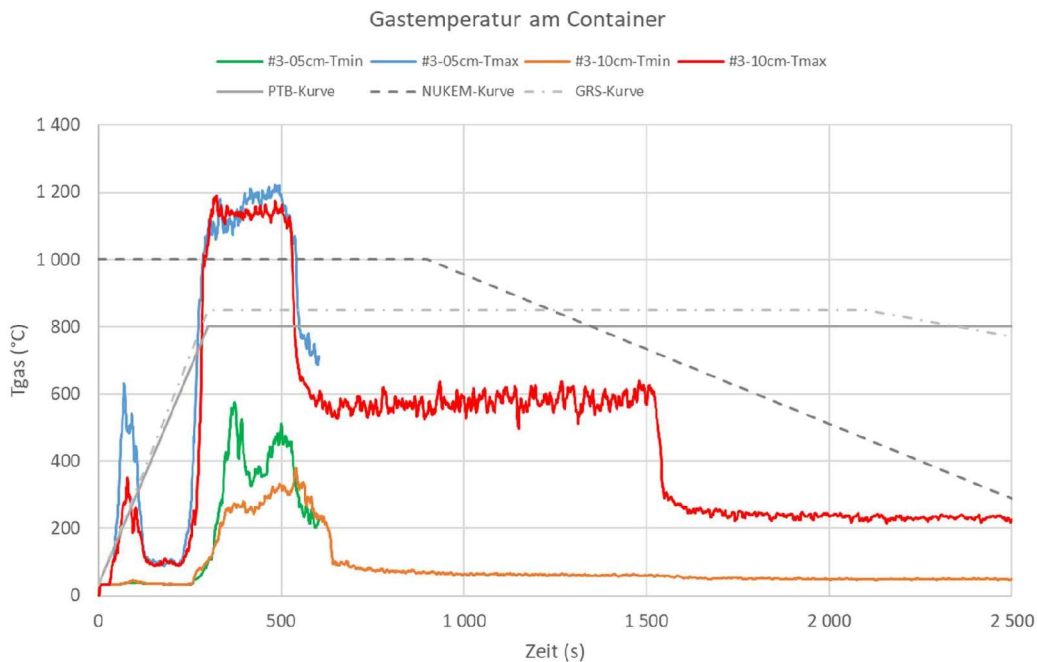


Abbildung 28: Fälle Nr. 3 und Nr. 3f (Gitterstudie): Vergleich der minimalen (orange/grün) und maximalen (rot/blau) Gastemperaturen um den Container aus [14].

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 47

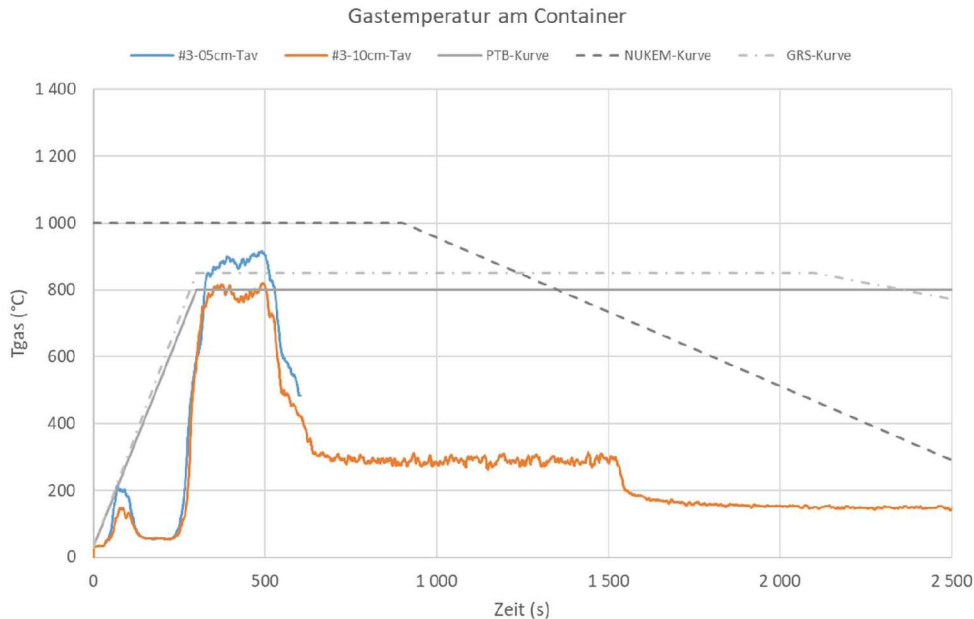


Abbildung 29: Fälle Nr. 3 und Nr. 3f (Gitterstudie): Vergleich der gemittelten Gastemperaturen um den Container aus [14].

Das gröbere Gitter führt zu einer stärkeren Vermischung der Brandgase. Ferner ist bei einem feineren Gitter die Ablenkung des Plumes³ stärker. In der Folge werden Brandgase an der Containerfläche auch nach unten abgelenkt und strömen dann an den seitlichen Containerflächen vorbei.

Zusammenfassung und Fazit der FDS-Brandsimulationsrechnungen

Der Brandverlauf ist geprägt durch die angenommene hohe Wärmefreisetzungsrate der vier Traktionsbatterien. Diese erreicht zusammen mit den übrigen Brandlasten einen maximalen Wert von ca. 62 MW bei ca. 350 s. Nach 500 s fallen die berechneten Temperaturen steil ab, die Lache ist nach 1.530 s ausgebrannt. Die vier Reifen brennen bis 3.640 s.

Bis auf die Fälle Nr. 1 und Nr. 3 bzw. 3(f) im Zeitintervall 250 s bis 500 s aus Tabelle 2 liegen die berechneten mittleren Temperaturen deutlich unterhalb der PTB-Kurve. Oberhalb von 550 s werden in keinem Fall Überschreitungen der PTB-Kurve festgestellt. Die PTB-Kurve wird stattdessen deutlich unterschritten. Nach Verlöschen des Lachenbrandes bei 1.550 s wird die PTB-Kurve noch deutlicher unterschritten.

In Bezug auf die Fälle mit höheren Temperaturen ist Folgendes festzuhalten:

- Die höheren Temperaturen stehen nur für einen Zeitbereich von ca. 250 s an. Mit Blick auf den zeitlichen Verlauf der berechneten gemittelten Gastemperaturen und dem zeitlichen Verlauf der PTB-Kurve folgt, dass die resultierende thermische Belastung für das

³ Mit „Plume“ wird die Rauch- bzw. Abgasfahne eines Brandes bezeichnet.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 48

betrachtete Szenario deutlich niedriger ist. Weiterhin liegen die berechneten Temperaturen unterhalb der sogenannten NUKEM-Kurve, welche nach EU132.1&2 [7] bzgl. der Auswirkungen durch die PTB-Kurve abgedeckt ist.

- Die konstante frischwetterseitige Bewetterung von 23 m³/s führt zu einer stärkeren Ablenkung des Plumes in Richtung Gebinde. Gemäß Planung befindet sich der Ventilator auf der Abwetterseite. Durch die Volumenausdehnung aufgrund des Brandes wird der Volumenstrom auf der Frischwetterseite sinken und eine Rückströmung unterhalb der Firste in Richtung Frischwetter initiiert. Dadurch wird die Ablenkung des Plumes abgeschwächt, was zu einer geringeren thermischen Belastung der Gebinde führt. Somit sind die Ergebnisse für die Fälle Nr. 2 und Nr. 4 näher an der tatsächlichen Umsetzung der Bewetterung im Endlagerbergwerk als die Fälle Nr. 1 und Nr. 3.

Im Ergebnis lagen die gemittelten Gastemperaturen an den Abfallgebinden für diese Fälle mit abwetterseitigem Ventilator immer unterhalb der PTB-Kurve. Gemittelte Temperaturen oberhalb der PTB-Kurve wurden nur für die Fälle mit frischwetterseitigem Ventilator, die aus den Betrachtungen im PFV stammen, in einen Zeitbereich von ca. 250 s während der maximalen Wärmefreisetzungsrates festgestellt. Die berechneten Temperaturen lagen aber noch unterhalb der sogenannten NUKEM-Kurve, welche bzgl. der Auswirkungen durch die PTB-Kurve abgedeckt ist.

Zusammenfassung der Konservativitäten

Die verwendeten Konservativitäten unterstreichen die vorhandenen Sicherheitsreserven in Bezug auf die tatsächliche thermische Belastung auf die Gebinde im Brandfall.

- Planfestgestellte Brandlasten
Entsprechend den Unterlagen EU 132.1&2 [7] und EU 132.3 [8] wurden die Brandlasten des Hydrauliköls sowie der vier Reifen konservativ abgeschätzt. Tatsächlich sind die flüssigen Brandlasten nach heutigem Planungsstand in kleineren, geschützten Behältern untergebracht. Für die Reifen als Hauptbrandlast des Fahrzeugs wurde ein konservativ hoher Heizwert aus den Unterlagen übernommen.
- Traktionsbatterien als Brandlasten
In Bezug auf die Traktionsbatterien wird ein Versagen des Batteriemanagementsystems jeder einzelnen Batterie unterstellt. Weiterhin werden Modulsicherungen sowie ein geplantes automatisches Löschesystem nicht berücksichtigt. Die Wärmefreisetzungsrates basiert auf dem durchgeführten Experiment. Zielsetzung des Experiments war, eine vollständige Verbrennung aller Module sicherzustellen. Dazu wurden die Module mit einem Ladezustand von ca. 120 % überladen. So hohe SOC's können während des Betriebs des Fahrzeugs an der Einlagerungsstelle nicht auftreten. Die hohen SOC's der einzelnen Module führten zu bereits instabilen Zuständen, so dass durch das thermische Durchgehen einzelner Module durch die Wärmefreisetzung alle weiteren Module ebenfalls sehr schnell zu

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 49

einem thermischen Durchgehen übergingen und daher alle Module nahezu zeitgleich umgesetzt wurden. Die Übernahme der aus dem Experiment bestimmten Wärmefreisetzungsrates führt zu einer sehr hohen Konservativität in den FDS-Brandanalysen.

3. Wärmefreisetzung-Zeit-Verlauf

Obwohl die vier Traktionsbatterien räumlich getrennt bzw. durch das Batteriegehäuse abgeschirmt sind, wird in Anlehnung an das planfestgestellte Verfahren ein gleichzeitiges Durchgehen der vier Traktionsbatterien angenommen. Ebenso wird ein gleichzeitiger Beginn eines 10 m² Lachenbrandes sowie der vier Reifen angenommen, obwohl die Flüssigkeiten zu Brandbeginn gar nicht gleichzeitig freigesetzt werden können und die Bildung einer geschlossenen 10 m² Fläche unrealistisch ist. Somit wird die tatsächlich vorhandene räumliche Trennung und Kapselung der Brandlasten nicht berücksichtigt.

4. Konstante Bewetterung von 23 m³/s (Fall Nr. 1 und Nr. 3)

Eine konstante frischwetterseitige Bewetterung mit 23 m³/s entspricht nicht dem Planungsstand. Die Berücksichtigung der realen Bewetterungsbedingungen mit einem abwetterseitigen Ventilator führt zu einer reduzierten Ablenkung der Plumes und somit zu niedrigeren thermischen Belastungen der Gebinde (Fall Nr. 2 und Nr. 4).

5. Gebinde

In den FDS-Brandsimulationen wird eine Wärmeleitung entlang der Oberfläche des Gebindes nicht berücksichtigt, sondern die Wärmeleitung nur eindimensional gelöst. Weiterhin wird für beide Fälle (Rundgebäude, Container) nur die äußerste Metallschicht berücksichtigt und diese innenseitig als adiabatisch angenommen. Damit gibt es keine Wärmeleitung in das Innere der Baugruppen oder des Gebindes. Eine mögliche Reduktion der Gastemperaturen nahe der Oberfläche (Monitorpunkte) aufgrund einer Wärmeübertragung in das Gebinde wird somit vermieden.

Insgesamt führte die deutlich reduzierte Brandlast des BETW auch zu einer deutlich reduzierten thermischen Einwirkung auf die Abfallgebäude. Die Umrüstung des TW auf einen BETW stellt somit für den thermischen Auslegungstörfall unter Tage eine unwesentliche Veränderung dar. Somit wird auch der Intention der NB A.3-21 entsprochen. Es wurde der Nachweis erbracht, dass die entstehenden Brandgastemperaturen an den Abfallgebäuden durch die PTB-Kurve abgedeckt sind. Aus dieser Veränderung können sich keine erheblichen Auswirkungen auf das Sicherheitsniveau des Endlagers Konrad ergeben.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 50

4. *Abschließende Auflistung der fachlichen Aspekte, die bei einem Vergleich der Sicherheitsanalysen des Endlagers Konrad mit den Ergebnissen der Ausarbeitung, Modifikationen zur Folge haben. Diese Modifikationen werden eindeutig und konkret beschrieben sowie ergänzend tabellarisch aufgelistet.*

Grundsätzlich sind zu diesem Punkt keine Modifikationen von Anlagen, Betriebsweisen oder Sicherheitsmaßnahmen für das Endlager Konrad erforderlich, da im Rahmen der Errichtung des Endlagers ohnehin diesbezügliche Detailplanungen vorzunehmen sind. Insofern hat der Hinweis aus der Phase 1 der ÜsiKo zu diesem Thema vorgegriffen. Der Hinweis von Campo et al. [1] aus der Phase 1 der ÜsiKo zur Durchführung einer zusätzlichen brandschutztechnischen Untersuchung wurde von der BGE mit der Durchführung von Brandversuchen an einer LiB und der Bewertung der Lastannahmen des BETW hergestellt. Alle drei genannten Aspekte (zusätzliche brandschutztechnische Untersuchung für den elektrischen Betrieb der Transportwagen, Validierung der PTB-Kurve als konservative Lastannahme und Auswirkungen des ventilationsgesteuerten Brandes) wurden dabei berücksichtigt.

Das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung hat in seiner Funktion als atomrechtliche Aufsichtsbehörde die Nachweisführung im Rahmen des ÄV 138 geprüft und dem Vorgehen zugestimmt [22].

5. *Bewertung der fachlichen Aspekte, die eine Modifikation zu den bestehenden Sicherheitsanalysen bedeuten. Diese Bewertung soll die fachlichen Aspekte der betroffenen Sicherheitsanalyse Konrad im Gesamtzusammenhang betrachten:*

Da keine Modifikationen der Sicherheitsanalysen erforderlich sind, bleibt die im PFB [3] ergangene Sicherheitsaussage zu diesem Punkt unverändert erhalten.

Das Delta ist damit vollständig bearbeitet. Eine Sicherheitsrelevanz besteht nicht.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 51

Literaturverzeichnis zu Kapitel 3

[1] DMT GmbH & Co. KG, DSR Ingenieurgesellschaft mbH

Campo, V.; Feinhals, J.; Schönberner, S.; Walbrodt, D.

Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo) – Los I: Ermittlung des Überprüfungsbedarfs der Störfallanalysen, Hamburg, 06.03.2019.

VDIS 9KE/25232/B/RB/0006/00

[2] Röhlig, K.; Küppers, C.; Schäfer, T.; Walther, C.

Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo) Review der Phase 1 „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs“, Clausthal-Zellerfeld, 27.01.2019.

VDIS 9KE/25232/B/RB/0011/00

[3] Niedersächsisches Umweltministerium (NMU)

Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes Konrad in Salzgitter als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, Hannover, 22.05.2002.

VDIS 9K/1321/DA/ES/0001/00

[4] Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE)

Änderungsvorgang Nr. 138 – Zustimmungs- und Kenntnisgabeverfahren Transportwagen, Technische Beschreibung mit verfahrensrechtlicher Bewertung, Peine, 14.09.2022.

VDIS 9KE/2211/DA/TV/0095/01

[5] Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH

Systemanalyse Konrad, Teil 3 Ermittlung und Klassifizierung von Störfällen (GRS-A-1504, 3. Revision) (EU 228), Köln, 24.02.1997.

VDIS 9K/33219/EB/RB/0001/04

[6] Technische Universität Berlin, Institut für Bergbauwissenschaften

Eichmeyer, H.; Wolff H.

Untersuchung ausgesuchter Störfälle im Bergbau - Anhang 4: Fahrzeugbrandversuche (EU 036.11), Berlin, März 1984.

VDIS 9K/351313.30/EB/RB/0013/00

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 52

[7] Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH

Systemanalyse Konrad, Teil 2: Signifikanz einer Modellkurve „800 °C/1 h“ für den Temperatur - Zeit - Verlauf hinsichtlich der Auswirkungen eines Transportfahrzeugbrandes unter Tage (EU 132.1 und EU132.2), Köln, 27.03.1987.

VDIS 9K/333623/EB/RB/0009/01

[8] Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH

Systemanalyse Konrad, Teil 3: Erläuterungen zur Höhe und Breite des Temperaturplateaus der Modellkurve für den Temperatur-Zeit-Verlauf beim Fahrzeugbrand unter Tage (EU 132.3), Köln, Mai 1987.

VDIS 9K/33219/EB/RB/0023/00

[9] Kerntechnischer Ausschuss (KTA)

KTA 2101.2: Brandschutz in Kernkraftwerken - Teil 2: Brandschutz an baulichen Anlagen, Fassung 2015-11, Salzgitter, November 2015.

[10] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN)

DIN EN 1991-1-2: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2, Beuth-Verlag, Dezember 2010 (unverändert in Entwurf prEN 1991-1-2:2021).

[11] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN)

DIN 18230-1: Baulicher Brandschutz im Industriebau – Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer, Beuth-Verlag, September 2010.

[12] International Standards Organization (ISO)

ISO 9705-1: Brandverhalten von Baustoffen - Prüfung mit einem in einer Ecke des Raumes befindlichen Brandherd (room corner test) für Wand- und Deckenbekleidungsprodukte - Teil 1: Prüfverfahren für kleine Räume, Februar 2016.

[13] Hubtex/Schütz:

Brandschutztechnische Einrichtung – Ermittlung der Brandlast, Stand: 07.05.2018.

ULV 9KE/45280/02EBA20/AG001/JC/LD/0006/00

[14] Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH

Prüfbericht der eingesetzten Batterien – Einhaltung der PTB Kurve, Köln, 2022.

ULV 9KE/45280/02EBA20/AG001/JC/FT/0003/00

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 53

[15] Bundesamt für die Sicherheit in der nuklearen Entsorgung (BASE)

Endlager Konrad, Änderungsvorgang Nr. 114

Zustimmungsverfahren und Kenntnissgabe

Wetterstromverteilung in den Einlagerungskammern und Bemessung des Wetterbedarfs, Berlin, 22.10.2021.

VDIS 9KE/2211/DA/EW/0082/00

[16] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

Brandschutzmaßnahmen an Dieselfahrzeugen unter Tage – Transportwagen und Stapelfahrzeug für das geplante Endlager Konrad (EU 323), Salzgitter, 18.10.1995.

VDIS 9K/EB/RB/0027/04

[17] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

Administrative Maßnahmen zur Vermeidung von Störfällen und zur Verringerung möglicher Störfallauswirkungen im geplanten Endlager Konrad (EU 388), Salzgitter, 24.02.1997.

VDIS 9K/EBL/RB/0003/04

[18] Gottuk, D.T.; White, D.T.

Liquid Fuel Fires. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th Ed., Springer, USA, S. 2552ff, 2016.

[19] Brabauskas, V.

Heat Release Rates. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th Ed., Springer, USA, S. 799ff, 2016.

[20] Walters, R. N.; Lyon, R.E.

Measuring Energy Release of Lithium-ion Battery Failure Using a Bomb Calorimeter, DOT/FAA/TC-15/40, Federal Aviation Administration William J. Hughes Technical Center, Federal Aviation Administration, USA, März 2016.

[21] Scharner, S.

Quantitative Charakterisierung des Sicherheitsverhaltens von Lithium-Ionen-Zellen. BMW Group, Präsentation, Batterieforum Deutschland, Berlin, 25.01.2018.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 54

[22] Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE).

Änderungsvorgang Nr. 138 –Transportwagen

Revision 01 der dem Veränderungsantrag zugehörigen Unterlage Berlin, 3. August 2023.

BASE-Aktenzeichen 9K 9160/2#0120

VDIS 9KE/2211/DA/EW/0113/00

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 55

4. Hinweis 2: Erstellung einer geschlossenen Brandschutzunterlage

1. *Darstellung der sicherheitsrelevanten Hinweise aus Phase 1, mit der dazugehörigen Beschreibung zur weiteren Bearbeitung aus Phase 1 als Eingangsinformation. Hier werden auch die ergänzenden Anmerkungen des Review-Teams mit aufgenommen:*

In ihrem Bericht *Ermittlung des Überprüfungsbedarfs der Störfallanalysen* haben Campo et al. [1] auf den Bewertungsformblättern 2.1.2.1 (Blatt 120), 2.1.2.3 (Blatt 126) und 2.1.2.7 (Blatt 139) folgende Hinweise gegeben:

“Es ist sinnvoll, die Brandschutzmaßnahmen in einer geschlossenen Unterlage zusammenzufassen. Diese Unterlage beschreibt somit auch die Schnittstellen zur Störfallanalyse. Eine Detailprüfung dagegen erfolgt erst in den nachgeordneten Verfahren zur Erteilung der baurechtlichen Genehmigung sowie zur bergrechtlichen Genehmigung von Betriebsplänen.

Es ist sinnvoll, dass bei der im Formblatt 2.1.2.1 „Anlageninterner Brand“ als Hinweis beschriebenen Erstellung einer geschlossenen Unterlage zum Brandschutz auch die Maßnahmen zum Brandschutz der Fahrzeuge beschrieben werden.“

In ihrem Bericht zum Review der Phase 1 „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs“ hat das Review-Team [2] auf Seite 30 folgendes angemerkt:

„Hinsichtlich möglicher Brandereignisse verweisen die AN richtigerweise auf die grundsätzlich erst in den nachgeordneten Verfahren zur Erteilung von baurechtlichen und bergrechtlichen Genehmigungen erfolgenden Detailprüfungen zum Brandschutz. Das Review-Team weist darauf hin, dass Fragen des Brandschutzes im Rahmen der ÜsiKo nicht betrachtet werden.“

2. *Konkrete Darlegung des aktuellen Standes von W&T (zum Stichtag des Arbeitsbeginns) zum Delta bzw. Hinweis. Dabei wird festgestellt, ob sich der Stand von W&T im Vergleich zu dem Bericht der Phase 1 verändert hat. Sofern dies der Fall ist, wird die Veränderung ebenfalls nachvollziehbar aufgeführt. Weiterhin werden hier die anzuwendenden Regelwerksanforderungen, Sicherheitsmaßstäbe und Sicherheitsanforderungen aufgeführt. Basis hierfür sind die in Phase 1 der ÜsiKo in den Abschlussberichten sowie dem Review angeführten Aussagen:*

Für eine brandschutztechnische Bewertung der jeweiligen Gebäude auf dem Betriebsgelände des Endlagers Konrad werden die Schutzziele aus dem PFB [3] mit den aktuellen Anforderungen der Niedersächsischen Bauordnung (NBauO) in Einklang gebracht. Da es sich bei den Liegenschaften um einen Bergwerksbetrieb handelt, werden bergrechtliche Gesetze, Verordnungen und Vorschriften berücksichtigt. Zusätzlich werden der PFB, die damit verbundenen Nebenbestimmungen und baurechtlichen Beurteilungen beachtet.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 56

Bei der Prüfung der „Bau- und Anlagentechnik“ hat die Planfeststellungsbehörde neben dem Atomgesetz (AtG) und der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) insbesondere folgende Richtlinien und Regeln der Technik herangezogen und geprüft, ob die darin gestellten Anforderungen erfüllt werden:

- DIN- Normen
- KTA-Regeln
- Richtlinien des BMI/BMUV
- Störfall-Leitlinien und zugehörige Berechnungsgrundlagen
- RSK/SSK-Stellungnahmen
- Verwaltungsvorschriften zur StrlSchV
- IAEA-Publikationen

Die überwiegende Anzahl dieser Regeln gilt generell für kerntechnische Anlagen. Sie lassen sich auf fast alle Bereiche des Endlagers Konrad anwenden, wobei das geringe Gefährdungspotential eines Endlagers für Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung gegenüber Kernkraftwerken zu berücksichtigen ist [3]. Ferner wurden wegen der Konzentrierung des Baurechts im PFV die Anforderungen des Baurechts, insbesondere auch die des bautechnischen Brandschutzes bei der Prüfung zugrunde gelegt.

Bei der Aktualisierung und Umsetzung der Brandschutzplanungen im Zuge der Errichtung des Endlagers Konrad werden die Regelwerke in ihrer jeweils gültigen Fassung berücksichtigt. In Bezug auf den Hinweis von Campo et al. [1] entsprechen diese somit dem aktuellen Stand von W&T.

3. *Umfassende nachvollziehbare Ausarbeitung zum sicherheitsrelevanten Hinweis auf Basis des aktuellen Standes von W&T:*

Die brandschutztechnischen Vorgaben sind im PFB [3] einschließlich der zahlreichen planfestgestellten Genehmigungsunterlagen enthalten und wurden während des PFV seitens Sachverständiger geprüft.

Die für das Endlager Konrad vorgesehenen Brandschutzmaßnahmen sind im PFB [3] einschließlich der planfestgestellten Genehmigungsunterlagen (EU und EG) in unterschiedlicher Detailtiefe im Text beschrieben bzw. in Plänen dargestellt und sind unter Einhaltung des aktuellen Standes des technischen Regelwerkes zwischenzeitlich in einzelnen brandschutztechnischen Stellungnahmen für die jeweiligen Gebäude bzw. Anlagen zusammengefasst und fortgeschrieben worden.

Gemäß dem Hinweis in Formblatt 2.1.2.3 „Fahrzeugbrand über Tage“ gehören zu diesen Unterlagen auch die Maßnahmen zum Brandschutz der Fahrzeuge. Wesentliche Brandschutzmaßnahmen für bzw. an Fahrzeugen sind in der EU 323 „Brandschutzmaßnahmen an Dieselfahrzeugen unter Tage – Transportwagen und Stapelfahrzeuge für das geplante Endlager Konrad“ [4] zusammengefasst.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



**BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG**

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 57

Mit dem PFB liegt bereits eine Genehmigung vor. Im Abschlussbericht von Campo et al. [1] findet sich der Hinweis, dass eine Detailprüfung des Brandschutzes erst in den nachgeordneten Verfahren zur Erteilung der baurechtlichen Genehmigung erfolgt. Aufgrund des PFBs werden diesbezüglich keine nachgeordneten Verfahren stattfinden. Allerdings überprüft ein von der BGE beauftragtes Sachverständigenbüro im laufenden Prozess die Planungsunterlagen unter Berücksichtigung der vorliegenden Genehmigung sowie auf Einhaltung des aktuellen Standes des technischen Regelwerks.

Es werden bei der Errichtung der jeweiligen Gebäude die zum Zeitpunkt der Errichtung geltenden Gesetze, Vorschriften und Regeln angewendet. Falls erforderlich, werden aufgrund der Gebäudegeometrie und der vorgesehenen Nutzung und Einrichtung auch Rechenverfahren aus dem Brandschutzingenieurwesen angewendet.

Die aus einem Fachgespräch mit dem Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) als zuständiger Aufsichtsbehörde resultierende Forderung zur Einreichung einer zusammenfassenden Brandschutzdokumentation zur Inbetriebsetzung des Endlagers Konrad setzt die BGE in einer Zusammenstellung der Brandschutzmaßnahmen für das Endlager Konrad für die Gebäude, die untertägigen Anlagen sowie die wesentlichen Brandschutzsysteme in einer Unterlage um. Diese Unterlage befindet sich derzeit in der Erstellung und wird bei Bedarf errichtungsbegleitend fortgeschrieben. Dem Hinweis von Campo et al. [1], Brandschutzmaßnahmen in einer geschlossenen Unterlage zusammenzufassen, um die Schnittstellen zur Störfallanalyse beschreiben zu können, wird damit entsprochen.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 58

4. *Abschließende Auflistung der fachlichen Aspekte, die bei einem Vergleich der Sicherheitsanalysen des Endlagers Konrad mit den Ergebnissen der Ausarbeitung, Modifikationen zur Folge haben. Diese Modifikationen werden eindeutig und konkret beschrieben sowie ergänzend tabellarisch aufgelistet.*

Grundsätzlich sind zu diesem Punkt keine Modifikationen von Anlagen, Betriebsweisen oder Sicherheitsmaßnahmen erforderlich. Die Fertigstellung der Zusammenstellung der Brandschutzmaßnahmen für das Endlager Konrad wird nach Abschluss des vorliegenden Berichtes erfolgen.

5. *Bewertung der fachlichen Aspekte, die eine Modifikation zu den bestehenden Sicherheitsanalysen bedeuten. Diese Bewertung soll die fachlichen Aspekte der betroffenen Sicherheitsanalyse Konrad im Gesamtzusammenhang betrachten:*

Da keine Modifikationen erforderlich sind, bleibt die im PFB ergangene Sicherheitsaussage zu diesem Punkt unverändert erhalten.

Der Hinweis ist damit im Ergebnis vollständig bearbeitet. Eine Sicherheitsrelevanz besteht nicht.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 59

Literaturverzeichnis zu Kapitel 4

[1] DMT GmbH & Co. KG, DSR Ingenieurgesellschaft mbH

Campo, V.; Feinhals, J.; Schönberner, S.; Walbrodt, D.

Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo) – Los I: Ermittlung des Überprüfungsbedarfs der Störfallanalysen, Hamburg, 06.03.2019.

VDIS 9KE/25232/B/RB/0006/00

[2] Röhlig, K.; Küppers, C.; Schäfer, T.; Walther, C.

Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo) Review der Phase 1 „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs“, Clausthal-Zellerfeld, 27.01.2019.

VDIS 9KE/25232/B/RB/0012/00

[3] Niedersächsisches Umweltministerium (NMU)

Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes Konrad in Salzgitter als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, Hannover, 22. Mai 2002.

VDIS 9K/1321/DA/ES/0001/00

[4] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

Brandschutzmaßnahmen an Dieselfahrzeugen unter Tage – Transportwagen und Stapelfahrzeug für das geplante Endlager Konrad (ET-IB-16-REV-4) (EU 323), Salzgitter, 18.10.1995.

VDIS 9K/EB/RB/0027/04

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 60

5. Hinweis 8: Sicherheitstechnische Bewertung bezüglich des Explosionsschutzes beim Einsatz von Energiespeichern

1. *Darstellung der sicherheitsrelevanten Hinweise aus Phase 1, mit der dazugehörigen Beschreibung zur weiteren Bearbeitung aus Phase 1 als Eingangsinformation. Hier werden auch die ergänzenden Anmerkungen des Review-Teams mit aufgenommen:*

In ihrem Bericht „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs der Störfallanalysen“ haben Campo et al. [1] auf dem Bewertungsformblatt 2.1.2.8 (Blatt 140-141) „Anlageninterne Explosion unter Tage“ folgenden Hinweis (Blatt 141) zum Einsatz von elektrisch betriebenen Transportwagen unter Tage gegeben:

Hinweis 8: Sollte es zum Einsatz von elektrisch betriebenen Fahrzeugen unter Tage kommen (siehe auch Bewertungsformblatt 2.1.2.7), muss bei dem Einsatz von Energiespeichern wie beispielsweise Akkumulatoren eine sicherheitstechnische Bewertung hinsichtlich des Explosionsschutzes durchgeführt werden.

Dieser Hinweis stammt erstmals vom Review-Team [2] (Blatt 30) und wurde von Campo et al. in das Bewertungsformblatt 2.1.2.8 mit aufgenommen.

Zum Zeitpunkt der Phase 1 der ÜsiKo lag keine konkrete Planung für den elektrisch angetriebenen Einlagerungstransportwagen (TW) vor. Deshalb konnte zum damaligen Zeitpunkt eine sicherheitstechnische Bewertung der Nutzung dieses TW hinsichtlich des Explosionsschutzes nicht erfolgen.

2. *Konkrete Darlegung des aktuellen Standes von W&T (zum Stichtag des Arbeitsbeginns) zum Delta bzw. Hinweis. Dabei wird festgestellt, ob sich der Stand von W&T im Vergleich zu dem Bericht der Phase 1 verändert hat. Sofern dies der Fall ist, wird die Veränderung ebenfalls nachvollziehbar aufgeführt. Weiterhin werden hier die anzuwendenden Regelwerksanforderungen, Sicherheitsmaßstäbe und Sicherheitsanforderungen aufgeführt. Basis hierfür sind die in Phase 1 der ÜsiKo in den Abschlussberichten sowie dem Review angeführten Aussagen:*

Im Vergleich zum Zeitpunkt der Phase 1 der ÜsiKo liegen nun konkrete Planungen für den elektrisch angetriebenen TW vor. Zur Erfüllung der Nebenbestimmung (NB) A.3 – 21 des PFB [3] hat die BGE u. a. den TW auf einen batterieelektrischen Einlagerungstransportwagen (BETW) umgeplant und wird für die Energieversorgung des BETW vier Lithium-Ionen-Batterien (LiB) als Energiespeicher einsetzen [4]. Diese Art des Elektrobetriebes stellt gleichzeitig eine Abweichung vom PFB in Form einer unwesentlichen Veränderung des Endlagers dar, der die atomrechtliche Aufsichtsbehörde, das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE), mit Bescheid vom 03.08.2023 mit Auflagen und Hinweisen [5] zugestimmt hat. Nach der Auflage 3 ist vor der Abnahme- und Funktionsprüfung des BETW der Nachweis zu erbringen, dass die vorgesehenen vier LiB keine explosionsfähigen Bestandteile freisetzen und damit die Randbedingungen der Störfallanalyse zum Explosionsschutz gemäß dem PFB weiterhin eingehalten. Der Nachweis ist auch für den Ladevorgang zu erbringen.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 61

3. *Umfassende nachvollziehbare Ausarbeitung zum sicherheitsrelevanten Hinweis auf Basis des aktuellen Standes von W&T:*

In der ersten Phase der ÜsiKo [1] erfolgte keine sicherheitstechnische Bewertung zum aktuellen Stand von W&T für die Nutzung des elektrisch angetriebenen TW hinsichtlich des Explosionsschutzes. Grund dafür war, dass zu dem Zeitpunkt hierzu keine konkrete Planung vorlag.

In Kapitel 2 wird der Einsatz des elektrisch angetriebenen TW bereits separat behandelt. In diesem Kapitel wird deshalb nur auf die Batterien des TW als Energiespeicher eingegangen.

In der Nebenbestimmung (NB) A.3 - 21 des PFB wird lediglich vorgeschrieben, dass der TW auf einen Elektromotor als Antriebsaggregat umgestellt werden soll. In Teil C des PFB erfolgt nur eine kurze Bewertung der grundsätzlichen Machbarkeit der Energieversorgung des TW über Stromschienen unter der Firste unter Tage.

Zur Erfüllung der NB A.3 – 21 des PFB [3] liegen nun konkrete Planungen vor, die zudem eine unwesentliche Veränderung darstellen. Diese werden in der Technischen Beschreibung zum ÄV 138 [4] detailliert erläutert. U. a. soll unter Tage zur Beschickung der Einlagerungskammer ein batterieelektrischer Einlagerungstransportwagen (BETW) zum Einsatz kommen, und dessen Stromversorgung soll anstatt über Stromschienen unter der Firste unter Tage [3], durch vier LiB als Energiespeicher erfolgen.

In der Technischen Beschreibung zum ÄV 138 [4] wurde das Thema „Explosionsschutz“ in Bezug auf die Ladevorgänge an den Ladestationen zum Aufladen der Batterien des TW behandelt und sicherheitstechnisch bewertet. Demnach kann aufgrund der Bestandteile der vorgesehenen Batterien keine explosionsfähige Atmosphäre beim Ladevorgang entstehen.

Dem Antrag zum ÄV 138 [4] hat die atomrechtliche Aufsichtsbehörde BASE mit Bescheid vom 03.08.2023 die Zustimmung mit Auflagen und Hinweisen [5] erteilt. In der diesem Zustimmungsbescheid zugrundeliegenden Unterlage zum ÄV 138 [4] wurde der veränderte Antrieb sicherheitstechnisch bewertet. Es wurde dargelegt, dass durch den veränderten Antrieb keine neuen Gefahren entstehen können, die zu einem in den Störfallanalysen für das Endlager Konrad nicht identifizierten Störfall führen. Somit ist festzustellen, dass die Randbedingungen der Störfallanalysen durch den veränderten Antrieb weiterhin mindestens gleichwertig eingehalten werden.

Nach Auflage 3 zum Zustimmungsbescheid des BASE [5] zum ÄV 138 [4] ist vor der Abnahme- und Funktionsprüfung des BETW der Nachweis zu erbringen, dass die für den BETW vorgesehenen vier LiB keine explosionsfähigen Bestandteile freisetzen. Damit soll gezeigt werden, dass die Randbedingungen der Störfallanalyse zum Explosionsschutz gemäß dem PFB weiterhin eingehalten werden. Der Nachweis soll auch für den Ladevorgang erbracht werden. Zur Erfüllung der Auflage 3 ist vom Hersteller des BETW im Rahmen der Herstellungsbegleitung die entsprechende sicherheitstechnische Bewertung nach dem aktuellen Stand von W&T durchzuführen. Deshalb ist

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



BUNDESGESELLSCHAFT
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 62

keine weitergehende Betrachtung in Phase 2 der ÜsiKo erforderlich. Der Hinweis findet entsprechend der Auflage 3 Berücksichtigung.

4. *Abschließende Auflistung der fachlichen Aspekte, die bei einem Vergleich der Sicherheitsanalysen des Endlagers Konrad mit den Ergebnissen der Ausarbeitung, Modifikationen zur Folge haben. Diese Modifikationen werden eindeutig und konkret beschrieben sowie ergänzend tabellarisch aufgelistet.*

Nach den aktuellen Planungen ist beabsichtigt für die Energieversorgung des durch den Elektromotor angetriebenen TW vier LiB als Energiespeicher einzusetzen.

Zur Erfüllung der Auflage 3 zum Zustimmungsbescheid des BASE [5] zum ÄV 138 [4] ist vor der Abnahme- und Funktionsprüfung des TW der Nachweis zu erbringen, dass die vorgesehenen vier Batterien auf Lithium-Ionen-Basis des TW keine explosionsfähigen Bestandteile freisetzen. Damit soll gezeigt werden, dass die Randbedingungen der Störfallanalyse zum Explosionsschutz gemäß dem PFB weiterhin eingehalten werden. Der Nachweis soll auch für den Ladevorgang erbracht werden. Der Hersteller des BETW soll im Rahmen der Herstellungsbegleitung die entsprechende sicherheitstechnische Bewertung nach dem aktuellen Stand von W&T durchführen.

Der Hinweis von Campo et al. [1] hat zum Zeitpunkt der Phase 2 der ÜsiKo keine Modifikation der Sicherheitsanalysen zur Folge.

5. *Bewertung der fachlichen Aspekte, die eine Modifikation zu den bestehenden Sicherheitsanalysen bedeuten. Diese Bewertung soll die fachlichen Aspekte der betroffenen Sicherheitsanalyse Konrad im Gesamtzusammenhang betrachten:*

Da keine Modifikationen der Sicherheitsanalysen erforderlich sind, bleibt die im PFB [3] ergangene Sicherheitsaussage zu diesem Punkt unverändert erhalten.

Der Hinweis ist damit im Ergebnis vollständig bearbeitet. Eine Sicherheitsrelevanz besteht nicht.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 63

Literaturverzeichnis zu Kapitel 5

[1] DMT GmbH & Co. KG, DSR Ingenieurgesellschaft mbH

Campo, V.; Feinhals, J.; Schönberner, S.; Walbrodt, D.

Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo) – Los I: Ermittlung des Überprüfungsbedarfs der Störfallanalysen, Hamburg, 2019.

VDIS 9KE/25232/B/RB/0006/00

[2] Röhlig, K.; Küppers, C.; Schäfer, T.; Walther, C.

Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo) Review der Phase 1 „Ermittlung des Überprüfungsbedarfs“, Clausthal-Zellerfeld, 27.01.2019.

VDIS 9KE/25232/B/RB/0012/00

[3] Niedersächsisches Umweltministerium (NMU)

Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes Konrad in Salzgitter als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, Hannover, 22. Mai 2002.

VDIS 9K/1321/DA/ES/0001/00

[4] Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)

Änderungsvorgang Nr. 138 – Zustimmungs- und Kenntnissgabeverfahren Transportwagen, Technische Beschreibung mit verfahrensrechtlicher Bewertung, Peine, 14.09.2022.

VDIS 9KE/2211/DA/TV/0095/01

[5] Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE)

Endlager Konrad, Änderungsvorgang Nr. 138 – Transportwagen, Revision 01 der dem Veränderungsantrag zugehörigen Unterlage, Berlin, 03.08.2023.

VDIS 9KE/2211/DA/EW/0113/00

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brand- schutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 64

6. Zusammenfassung

Die in diesem Bericht dokumentierten Arbeiten sind Teil der Phase 2 der „Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo)“. Im Rahmen der durchgeführten Arbeiten wurden die in der ersten Phase der ÜsiKo identifizierten Hinweise zur Sicherheitsanalyse „Sicherstellung der Störfallsicherheit in der Betriebsphase“ (hier bezeichnet als „Störfallanalyse“) untersucht.

Das Delta 22 und die Hinweise 2 und 8 aus Kapitel 1 beziehen sich dabei auf die Betriebsphase des geplanten Endlagers Konrad. Das Delta 22 wurde in Kapitel 2, der Hinweis 2 wurde in Kapitel 3 und der Hinweis 8 wurde in Kapitel 4 jeweils dahingehend geprüft, ob sich seit der Erstellung des Berichtes durch Campo et al. der Stand von W&T geändert hat.

Dabei ergaben sich folgende Bewertungen:

Delta 22: Brandschutztechnische Untersuchung elektrisch betriebener Fahrzeuge (Fahrzeugbrand unter Tage (Bewertungsformblatt 2.1.2.7, S. 138))

Zum Delta 22 wurde gezeigt, dass die Umrüstung des TW auf einen BETW für den thermischen Auslegungsstörfall unter Tage eine unwesentliche Veränderung darstellt. Dies wurde bereits vom BASE geprüft. Somit wird auch der Intention der NB A.3-21 entsprochen. Es wurde der Nachweis erbracht, dass die entstehenden Brandgastemperaturen an den Abfallgebinden durch die PTB-Kurve abgedeckt sind. Die Veränderung hat keine Sicherheitsrelevanz.

Die BGE hat für die Nachweisführung zusätzliche brandschutztechnische Untersuchungen für den BETW durchgeführt. Es wurden Brandversuche an einer LiB durchgeführt und die Lastannahmen des BETW bewertet. Alle drei Aspekte, die in Delta 22 genannt sind (zusätzliche brandschutztechnische Untersuchung für den elektrischen Betrieb der Transportwagen, Validierung der PTB-Kurve als konservative Lastannahme und Auswirkungen des ventilationsgesteuerten Brandes) wurden dabei berücksichtigt.

Das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) hat in seiner Funktion als atomrechtliche Aufsichtsbehörde die Nachweisführung im Rahmen des Änderungsverfahrens 138 geprüft und dem Vorgehen zugestimmt.

Grundsätzlich sind zu diesem Delta keine Modifikationen von Anlagen, Betriebsweisen oder Sicherheitsmaßnahmen für das Endlager Konrad erforderlich, da im Rahmen der Errichtung des Endlagers ohnehin diesbezügliche Detailplanungen vorzunehmen sind.

Seit der Erstellung des Berichtes durch Campo et al. hat sich der Stand von W&T nicht geändert. Das Delta ist damit im Ergebnis vollständig bearbeitet. Eine Sicherheitsrelevanz ist ausgeschlossen.

Zusammenfassende Ergebnisdarstellung Brandschutz zur Phase 2 der ÜsiKo – Teil 2



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.-Nr.	Rev
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN
9KE	25232				EA	BZ	0004	00

Blatt: 65

Hinweis 2: Erstellung einer geschlossenen Brandschutzunterlage (Bewertungsformblatt 2.1.2.1, S. 120, Bewertungsformblatt 2.1.2.7, S. 137)

Seit der Erstellung des Berichtes durch Campo et al. hat sich der Stand von W&T nicht geändert.

Im Rahmen der Vorabstimmung zur Inbetriebsetzung des Endlagers Konrad mit dem Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) als zuständiger Aufsichtsbehörde hat die BGE eine Zusammenstellung der Brandschutzmaßnahmen für das Endlager Konrad begonnen. Dem Hinweis von Campo et al. [1], Brandschutzmaßnahmen in einer geschlossenen Unterlage zusammenzufassen, wird damit entsprochen. Der Hinweis ist damit vollständig bearbeitet. Eine Sicherheitsrelevanz ist ausgeschlossen.

Hinweis 8: Sicherheitstechnische Bewertung bezüglich des Explosionsschutzes beim Einsatz von Energiespeichern (Bewertungsformblatt 2.1.2.8, S. 141)

Seit der Erstellung des Berichtes durch Campo et al. hat sich der Stand von W&T nicht geändert.

Grundsätzlich sind zum Hinweis 8 keine Modifikationen von Anlagen, Betriebsweisen oder Sicherheitsmaßnahmen für das Endlager Konrad erforderlich, da im Rahmen der Errichtung des Endlagers ohnehin diesbezügliche Detailplanungen vorzunehmen sind.

Der Nachweis, dass durch den Einsatz von vier Lithium-Ionen-Batterien des Transportwagens keine explosionsfähigen Bestandteile freigesetzt werden und somit die Randbedingungen der Störfallanalyse zum Explosionsschutz gemäß dem PFB einhalten werden, wird vor der Abnahme- und Funktionsprüfung des Transportwagens erbracht. Der Hinweis ist damit vollständig bearbeitet. Eine Sicherheitsrelevanz ist ausgeschlossen.