

Ermittlung von Gefährdungsbereichen zur Bestimmung eines angemessenen Sicherheitsabstands nach den Leitfäden KAS-18 und KAS-32

Auftraggeber: TTSP HWP Planungsgesellschaft mbH
Hanauer Landstraße 181-185
60314 Frankfurt am Main

Standort: Data Center Campus Nierstein FRA6 NTT
Silicon Vineyard
55283 Nierstein

Bearbeiter: ProNuSs Consulting GmbH
M.Sc. Sebastian Schalau
Friedrich-Ebert-Str. 8
12529 Schönefeld

Inhaltsverzeichnis**Seite 2**

1	Aufgabenstellung und Beschreibung der aktuellen Situation	4
1.1	Aufgabenstellung	4
1.2	Unterlagen	5
2	Beschreibung des Betriebsbereiches	6
2.1	Örtliche Lage und Umfeld des Betriebsbereichs	6
2.2	Beschreibung der Anlage	7
3	Abstände als Maßnahme der Schadensminimierung	8
3.1	Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten	8
3.2	Schutzobjekte im Sinne des § 3 Absatz 5d BImSchG im Umfeld des Betriebsbereiches	10
3.2.1	Ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienende Gebiete	10
3.2.2	Öffentlich genutzte Gebäude und Gebiete	10
3.2.3	Wichtige Verkehrswege	11
3.2.4	Freizeitgebiete	12
3.2.5	Besonders wertvolle oder besonders empfindliche Gebiete / Naturschutzgebiete	12
3.2.6	Abstandsempfehlungen für die Planung mit Detailkenntnissen	13
4	Festlegung der Szenarien	16
5	Stoffdaten	17
6	Beschreibung der verwendeten Modelle	18
6.1	Berechnung des Wärmestroms	18
6.2	Berechnung der Einstrahlzahl	18
6.3	Berechnung der Wärmeabsorption der Luft	18
6.4	Berechnung des Branddurchmessers	19
6.5	Berechnung der Abbrandrate	20
6.6	Bestimmung der Flammenlänge	21
6.7	Berechnung der spezifischen Ausstrahlung der Flamme	21
7	Berechnung der Gefährdungsbereiche	23

8	Zusammenfassung	25
9	Grundlagen der Stellungnahme	27
9.1	Rechtliche Grundlagen	27
9.2	Literatur- und Quellenverzeichnis	27

1 Aufgabenstellung und Beschreibung der aktuellen Situation

1.1 Aufgabenstellung

Die Firma NTT Global Data Centers EMEA GmbH plant am südwestlichen Gemeinderand der Stadt Nierstein einen Campus mit mehreren Rechenzentren zu errichten. Das Planungsgebiet umfasst die ehemaligen „Anderson Barracks Dexheim“, einer aufgelösten Kaserne der US-amerikanischen Streitkräfte.

Zur Notstromversorgung der Rechenzentren soll Diesel oder Heizöl in einer Gesamtlagermenge gelagert werden, die die Mengenschwelle in Spalte 4 des Anhangs I der Störfall-Verordnung /G3/ überschreitet. Es wird derzeit davon ausgegangen, dass die geplante Anlage einen Betriebsbereich der unteren Klasse nach Störfall-Verordnung bildet.

Nach Art. 13 Abs. 2 der Seveso-III-Richtlinie /G4/ sind die Mitgliedstaaten verpflichtet, dafür zu sorgen, dass zwischen den unter die Richtlinie fallenden Betrieben einerseits und den in der Richtlinie genannten Schutzobjekten andererseits ein angemessener Sicherheitsabstand gewahrt bleibt.

Der angemessene Sicherheitsabstand im Sinne des BImSchG /G1/ ist der Abstand zwischen einem Betriebsbereich oder einer Anlage, die Betriebsbereich oder Bestand teil eines Betriebsbereichs ist, und einem benachbarten Schutzobjekt, der zur gebotenen Begrenzung der Auswirkungen auf das benachbarte Schutzobjekt, welche durch schwere Unfälle im Sinne des Artikels 3 Nummer 13 der Richtlinie 2012/18/EU hervorgerufen werden können, beiträgt. Der angemessene Sicherheitsabstand ist anhand störfallspezifischer Faktoren zu ermitteln.

Mit Schreiben vom 29.11.2024 wurden wir durch die TTSP HWP Planungsgesellschaft mbH beauftragt, Auswirkungsbetrachtungen zur Ermittlung eines angemessenen Sicherheitsabstandes entsprechend den Vorgaben des Leitfadens KAS-18 /G5/ und der Arbeitshilfe KAS-32 /G7/ durchzuführen.

1.2 Unterlagen

Folgende Unterlagen haben vorgelegen:

- /U1/ TTSP HWP Planungsgesellschaft mbH, Auftragsschreiben vom 29.11.2024
- /U2/ TTSP HWP Planungsgesellschaft mbH, Masterplan Site Plan - Fuel Filled Points, PROJ-Nr.: 2024.17, Stand: Entwurf
- /U3/ Dipl.-Ing. Christian Lademacher, Selbstständiger Verkehrsplaner, Projekt NTT Global Data Centers, Thema Voruntersuchung / Beurteilung der Verkehrserschließung, 12.08.2024
- /U4/ BHM Planungsgesellschaft mbH, Landschaftsplan zum Flächennutzungsplan 2030, Themenkarte Schutzgebiete nach Naturschutzrecht, Datum: 13.05.2020
- /U5/ Ethos Engineering, E-Mail vom 07.01.2025
- /U6/ TTSP HWP Planungsgesellschaft mbH, E-Mail vom 11.12.2024
- /U7/ KOHLER, Industrial Diesel Generator Set – KD3750-E
- /U8/ Ethos Engineering, E-Mail vom 09.01.2025
- /U9/ TTSP HWP Planungsgesellschaft mbH, Fuel Systems Detailed Schematic, PROJ-Nr.: 24_D006, Stand: 11.08.2024
- /U10/ Ingenieurgesellschaft für Städtebau und Umweltplanung mbH, FLÄCHENNUTZUNGSPLAN 2030 - 8. ÄNDERUNG (RECHENZENTRUM UND GEWERBE IM RHEIN-SELZ-PARK), Phase: Fassung zum Vorentwurf, Projektnummer: 24-03-12, Stand: 30.08.2024

2 Beschreibung des Betriebsbereiches

2.1 Örtliche Lage und Umfeld des Betriebsbereichs

Der Data Center Campus Nierstein FRA6 NTT ist am südwestlichen Gemeindevorrand der Stadt Nierstein geplant. Das Planungsgebiet umfasst die ehemaligen „Anderson Barracks Dexheim“, einer aufgelösten Kaserne der US-amerikanischen Streitkräfte. Als planungsrechtliche Grundlage wird derzeit von der Stadt Nierstein ein Bebauungsplan aufgestellt. Dieser Bebauungsplan hat die Bezeichnung „Rhein-Selz-Park, II / Rechenzentrum“. In Abbildung 1 ist das direkte Umfeld des geplanten Betriebsbereichs dargestellt.

An den geplanten Betriebsbereich des Campus grenzen an:

- Im Südosten soll ein städtisches Gewerbegebiet entwickelt werden.
- Nach dem Flächennutzungsplan /L21/ befindet sich weiterhin südöstlich der geplanten Betriebsgrenze eine Sonderbaufläche mit Unterkunft- und Freizeiteinrichtungen (insb. ehemalige Wohnbaracken). Nach /U10/ soll in diesem Gebiet zukünftig eine gewerbliche Baufläche entstehen.
- Im Süden verläuft die Bundesstraße B420 und darauffolgend landwirtschaftlich genutzte Fläche.
- In westlicher, nördlicher und nordöstlicher Richtung grenzen ebenfalls landwirtschaftlich genutzte Flächen an den geplanten Betriebsbereich.

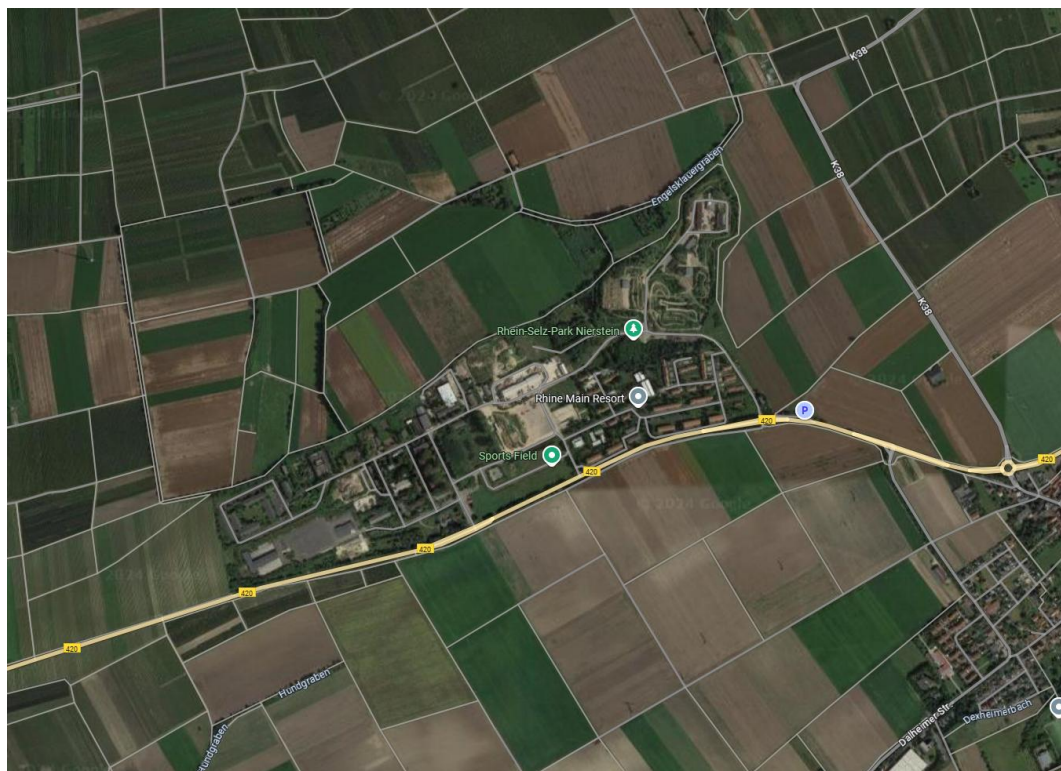


Abbildung 1: Umfeld des geplanten Betriebsstandorts /L1/

2.2 Beschreibung der Anlage

Nach dem aktuellen Planungsstand sollen auf dem zukünftigen Betriebsbereich 9 Rechenzentrumsgebäude errichtet werden (s. Abbildung 2). Zur Notstromversorgung über Generatoren sind je Gebäude 37 oberirdische doppelwandige Lagerbehälter mit einem Volumen von jeweils 50 m³ Kraftstoff geplant /U5/. Als Kraftstoff soll Diesel oder Heizöl verwendet werden /U5/.

Die Befüllung der Lagerbehälter mit Kraftstoff soll über die bordeigene Pumpe der Tankkraftwagen (TKW) an 18 verschiedenen Abfüllflächen (zwei je Gebäude) mit einem Füllanschluss DN 50 erfolgen /U5/, /U9/.

Die Füllleitungen sollen vom Füllanschluss bis zum Lagerbehälter doppelwandig mit Lecküberwachung ausgeführt werden /U5/. Es ist geplant, die Generatoren Typ KOHLER KD3750-E /U7/ bzw. alternative Generatortypen mit einem vergleichbaren Kraftstoffverbrauch, oberhalb der Lagerbehälter zu installieren /U6/. Die Gene-
ratoreinheiten sind jeweils mit einer Pumpe ausgestattet, die über eine einwandige Saugleitung Kraftstoff aus dem entsprechenden Lagerbehälter mit einem Volumenstrom von 1147 l/h entnehmen /U8/.

Zum aktuellen Zeitpunkt wird davon ausgegangen, dass sich keine weiteren Stoffe nach Anhang I der Störfall-Verordnung in sicherheitsrelevanten Mengen (KAS-1) innerhalb des Betriebsbereichs befinden werden /U6/.

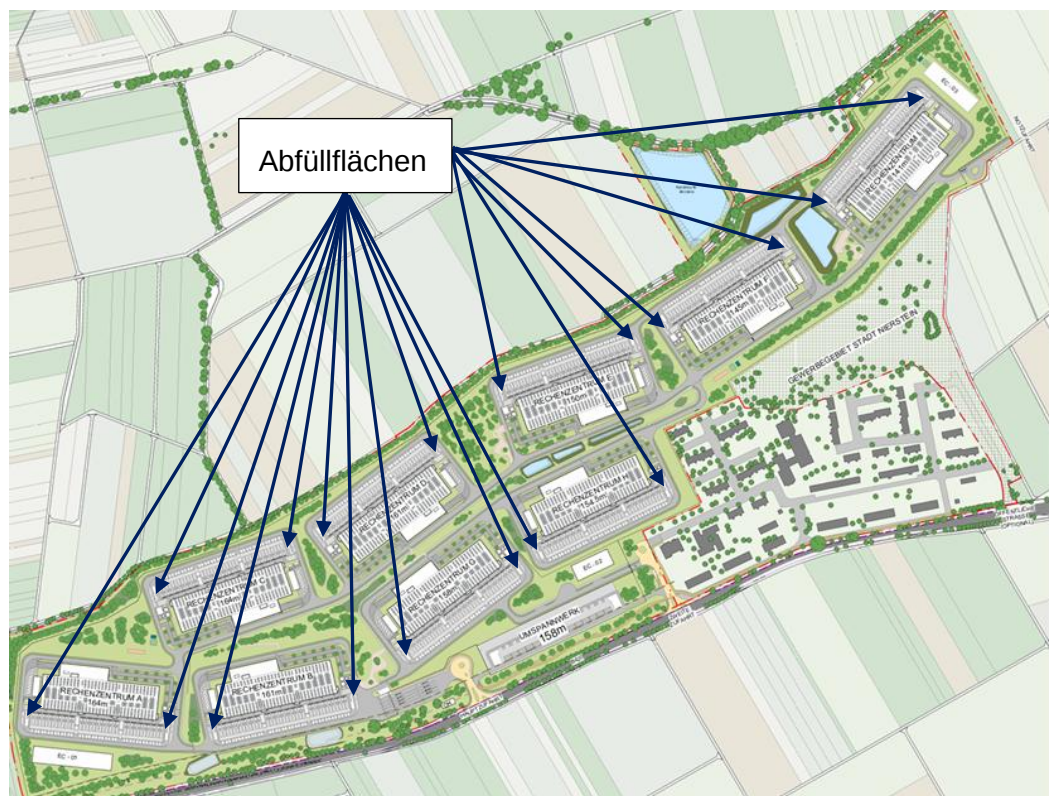


Abbildung 2: Auszug aus dem Lageplan /U2/

3 Abstände als Maßnahme der Schadensminimierung

3.1 Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten

Damit in allen Mitgliedstaaten der Europäischen Union

- Wohngebiete,
- öffentlich genutzte Gebäude und Gebiete,
- wichtige Verkehrswege (so weit wie möglich),
- Freizeitgebiete und unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvolle bzw. besonders empfindliche Gebiete

besser vor den Gefahren schwerer Unfälle (Störfälle) geschützt werden können, sieht die Seveso-III-Richtlinie in Artikel 13 Regelungen zur „Überwachung der Ansiedlung“ vor /G4/.

Die Mitgliedstaaten haben hiernach dafür zu sorgen, dass in ihren Politiken der Flächenausweisung oder der Flächennutzung und/oder anderen einschlägigen Politiken das Ziel, schwere Unfälle zu verhüten und ihre Folgen zu begrenzen, Berücksichtigung findet. Hierfür sollen sie Methoden und Kriterien entwickeln, die langfristig dem Erfordernis Rechnung tragen, dass zwischen den unter die Richtlinie fallenden Betrieben einerseits und schützenswerten Gebieten andererseits ein angemessener Abstand gewahrt bleibt.

Im Leitfaden KAS-18 /G5/ wurden Empfehlungen für Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten im Rahmen der Bauleitplanung zur Umsetzung von § 50 BImSchG gegeben. Als schutzbedürftige Gebiete werden explizit genannt:

- Baugebiete i. S. d. BauNVO, mit dauerhaftem Aufenthalt von Menschen, wie Reine Wohngebiete, Allgemeine Wohngebiete, Besondere Wohngebiete, Dorfgebiete, Mischgebiete und Kerngebiete, Sondergebiete, sofern der Wohnanteil oder die öffentliche Nutzung überwiegt, wie z. B. Campingplätze, Gebiete für großflächigen Einzelhandel, Messen, Schulen / Hochschulen, Kliniken.
- Gebäude oder Anlagen zum nicht nur dauerhaften Aufenthalt von Menschen oder sensible Einrichtungen, wie Anlagen für soziale, kirchliche, kulturelle, sportliche und gesundheitliche Zwecke, wie z. B. Schulen,

Kindergärten, Altenheime, Krankenhäuser, öffentlich genutzte Gebäude und Anlagen mit Publikumsverkehr, z. B. Einkaufszentren, Hotels, Parkanlagen. Hierzu gehören auch Verwaltungsgebäude, wenn diese nicht nur gelegentlich Besucher (z. B. Geschäftspartner) empfangen, die der Obhut der zu besuchenden Person in der Weise zugeordnet sind, dass sie von dieser Person im Alarmierungsfall hinsichtlich ihres richtigen Verhaltens angehalten werden können.

- Wichtige Verkehrswege z. B. Autobahnen, Hauptverkehrsstraßen, ICE-Trassen. Was wichtige Verkehrswege sind, hängt letztendlich von deren Frequentierung ab.

Die Abstandsempfehlungen beziehen sich auf

- Neuplanungen von Flächen für Betriebsbereiche ohne Detailkenntnisse und
- Planungen im Umfeld von Betriebsbereichen.

Nach § 3 Absatz 5d des BImSchG ist das Abstandsgebot bei folgenden schutzbedürftigen Nutzungen zu beachten:

- ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienende Gebiete
- öffentlich genutzte Gebäude und Gebiete
- Freizeitgebiete
- wichtige Verkehrswege
- sowie unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvolle bzw. besonders empfindliche Gebiete

3.2 Schutzobjekte im Sinne des § 3 Absatz 5d BImSchG im Umfeld des Betriebsbereiches

3.2.1 Ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienende Gebiete

Ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienende Gebiete im Sinne des § 3 Absatz 5d BImSchG sind Gebiete, in denen die Größe der dem Wohnen dienenden Nutzungseinheiten insgesamt mehr als 5.000 m² Bruttogrundfläche beträgt. Einzelne Wohngebäude werden in der Regel nur dann erfasst, wenn sie einem Wohngebiet vergleichbare Dimensionen aufweisen /L19/.

Die nächstgelegene geschlossene Wohnbebauung befindet sich in einer Entfernung von ca. 900 m nordöstlich von dem Betriebsgelände. Dort beginnt die geschlossene Wohnbebauung von Nierstein. Der Abstand zur geschlossenen Wohnbebauung in der Ortsgemeinde Dexheim beträgt ca. 1000 m in südöstlicher Richtung.

Nach dem Flächennutzungsplan /L21/ befindet sich südöstlich der geplanten Betriebsgrenze eine Sonderbaufläche mit Unterkunft- und Freizeiteinrichtungen. Die vorhandenen Gebäude (insbesondere ehemalige Wohnbaracken) sind derzeit leerstehend. Nach /U10/ soll in diesem Gebiet zukünftig eine gewerbliche Baufläche entstehen.

3.2.2 Öffentlich genutzte Gebäude und Gebiete

Öffentlich genutzte Gebäude und Gebiete im Sinne des § 3 Absatz 5d BImSchG sind bauliche Anlagen, die öffentlich zugänglich sind und die für die gleichzeitige Nutzung durch mehr als 100 Besucher bestimmt sind, sowie Sonderbauten, soweit durch das Landesbaurecht bestimmt. /L19/

Hierzu können Gebäude oder Anlagen zum nicht nur dauerhaften Aufenthalt von Menschen oder sensible Einrichtungen, wie:

- Anlagen für soziale, kirchliche, kulturelle, sportliche und gesundheitliche Zwecke, wie z. B. Schulen, Kindergarten, Altenheime, Krankenhäuser,
- Gebäude und Anlagen mit Publikumsverkehr (z. B. Einkaufszentren, Hotels, Parkanlagen) sowie Geschäfts-, Verwaltungs- und Bürogebäude, wenn diese nicht nur gelegentlich Besucher (z. B. Geschäftspartner) empfangen, die der Obhut der zu besuchenden Person in der Weise

zuzuordnen sind, dass sie von dieser Person im Alarmierungsfall hinsichtlich ihres richtigen Verhaltens angehalten werden können.

Im Südosten soll ein städtisches Gewerbegebiet entwickelt werden. Inwiefern öffentlich genutzte Gebäude und Gebiete im Sinne des § 3 Absatz 5d BImSchG geplant sind, ist derzeit nicht bekannt. Gewerbebetriebe können dann zu den öffentlich genutzten Gebäuden zählen und schutzbedürftig sein, wenn sich dort ein relevanter, unbestimmter Personenkreis aufhalten kann, insbesondere eine ins Gewicht fallende Anzahl von Kunden (z. B. bei einem Fabrikverkauf in einer Größenordnung, die einem großflächigen Einzelhandelsbetrieb entspricht) /L20/.

3.2.3 Wichtige Verkehrswege

Wichtige Verkehrswege im Sinne des § 3 Absatz 5d BImSchG sind solche mit Verkehrsdichten oberhalb der folgenden Werte /L19/.

- a) Autobahnen (zulässige Höchstgeschwindigkeit > 100 km/h) mit mehr als 200 000 PKW in 24 Stunden oder mehr als 7 000 PKW in der verkehrsreichsten Stunde,
- b) andere Straßen (zulässige Höchstgeschwindigkeit < 100 km/h) mit mehr als 100 000 PKW in 24 Stunden oder mehr als 4 000 PKW in der verkehrsreichsten Stunde,
- c) Schienenwege mit mehr als 250 Personenzüge in 24 Stunden oder mehr als 60 Personenzügen in der verkehrsreichsten Stunde (beide Fahrtrichtungen).

Keine wichtigen Verkehrswege im Sinne des § 3 Absatz 5d BImSchG sind solche mit Verkehrsdichten unterhalb der folgenden Werte:

- a) Straßen mit weniger als 10 000 PKW in 24 Stunden,
- b) Schienenwege mit weniger als 50 Personenzügen in 24 Stunden

Flughäfen, Wasserstraßen und Radwege müssen jeweils gesondert betrachtet werden.

Südlich von dem geplanten Betriebsbereich verläuft die Bundesstraße B420. Bei einer Verkehrszählung vom 13.06.2024 /U3/ wurde auf der B420, westlich von der K39 eine Verkehrsstärke von ca. 6.400 Kfz/24h bei einem Spitzenwert von 580 Kfz/h festgestellt. Nach dieser Verkehrszählung wäre die B420 nach den o.g. Kriterien nicht als wichtiger Verkehrsweg einzustufen.

3.2.4 Freizeitgebiete

Freizeitgebiete im Sinne des § 3 Absatz 5d BImSchG sind Gebiete, die dazu bestimmt sind, von Personen zur Gestaltung ihrer Freizeit genutzt zu werden und in denen sich regelmäßig mehr als 100 Personen gleichzeitig aufhalten. Dazu zählen unter anderem Flächen für Volksfeste, Jahrmärkte oder Musikkonzerte sowie

- Gelände für Freilichtveranstaltungen,
- Sportplätze,
- Autokinos,
- Freizeitparks,
- Vergnügungsparks,
- Abenteuer-Spielplätze (Robinson-Spielplätze, Aktiv-Spielplätze),
- Kinderspielplätze
- Sonderflächen für Freizeitaktivitäten, z.B. Grillplätze,
- Campingplätze
- Kleingartengebiete
- Badeplätze,
- Sommerrodelbahn

zählen /L19/.

Im Südosten soll ein städtisches Gewerbegebiet entwickelt werden. Inwiefern dort auch Freizeitgebiete im Sinne des § 3 Absatz 5d BImSchG geplant sind, ist derzeit nicht bekannt.

3.2.5 Besonders wertvolle oder besonders empfindliche Gebiete / Naturschutzgebiete

Unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvolle oder besonders empfindliche Gebiete im Sinne des § 3 Absatz 5d BImSchG sind folgende Gebiete, wenn sie außerhalb des Betriebsbereichs liegen /L19/:

- a) Natura 2000-Gebiete gemäß §§ 31, 32 BNatSchG,

- b) Naturschutzgebiete gemäß § 23 BNatSchG,
- c) Nationalparke und nationale Naturmonumente gemäß § 24 BNatSchG,
- d) Kern- und Pflegezonen von Biosphärenreservaten gemäß § 25 BNatSchG und
- e) gesetzlich geschützte Biotope gemäß § 30 BNatSchG, soweit dies nicht von der zuständigen Behörde im Einzelfall als nicht erforderlich angesehen wird.

Nicht zu den unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvollen oder besonders empfindlichen Gebieten im Sinne des § 3 Abs. 5d BImSchG gehören folgende Gebiete:

- a) Naturschutzdenkmäler gemäß § 28 BNatSchG,
- b) Landschaftsschutzgebiete gemäß § 26 BNatSchG,
- c) Naturparke gemäß § 27 BNatSchG,
- d) Geschützte Landschaftsbestandteile gemäß § 29 BNatSchG,
- e) Gebiete, die gemäß Landesbiotopkataster als naturschutzwürdig eingestuft sind, und
- f) Schutzgebiete, die aufgrund regionaler oder internationaler Abkommen und Programme ausgewiesen wurden (z.B. RAMSAR-Gebiete).

Nach /U4/ befinden sich im Umfeld des geplanten Betriebsbereichs keine unter dem Gesichtspunkt des Naturschutzes besonders wertvollen oder besonders empfindlichen Gebiete im Sinne des § 3 Absatz 5d BImSchG.

3.2.6 Abstandsempfehlungen für die Planung mit Detailkenntnissen

Für neue Entwicklungen in der Nachbarschaft bestehender Betriebsbereiche oder sicherheitstechnisch relevanter Entwicklungen auf dem Betriebsbereich sind die Stoffe, deren genehmigte Mengen und die technischen Anlagen, in denen diese gehandhabt werden, bekannt. In diesen Fällen ist eine Einzelfallbetrachtung durchzuführen, bei der die folgenden Randbedingungen zu berücksichtigen sind /G5/.

- Der Verlust des gesamten Inventars, der Verlust der größten zusammenhängenden Menge, Behälterbersten und der Abriss sehr großer Rohrleitungen sind beim Land-use planning nicht zu berücksichtigen, da sie bei Einhaltung des Standes der Technik zu unwahrscheinlich sind.

- Bei Lagerung in Transportgebinden und Lagerung in Druckgefäßen ist mit der Freisetzung des Inhaltes eines Transportgebundes oder Druckgefäßes zu rechnen. Hierbei ist bei ortsbeweglichen Druckgeräten der Abriss des Ventils mit einer Leckfläche von 80 mm² zu unterstellen.
- Bei Prozessanlagen und bei Lageranlagen ist davon auszugehen, dass Leckagen aus vorhandenen Rohrleitungen, Behältern, Sicherheitseinrichtungen etc. auftreten können. In der Regel wird als Ausgangspunkt der Überlegung von einer Leckfläche von 490 mm² (DN 25) ausgegangen. Eine Leckfläche von 80 mm² (DN 10) sollte bei den Einzelfallbetrachtungen nicht unterschritten werden. Die in der Anlage tatsächlich vorhandene Technik soll bei der Festlegung der Leckfläche berücksichtigt werden.
- Auswirkungsbegrenzende Maßnahmen sind zu berücksichtigen, soweit sie durch die zugrundeliegenden Ereignisse nicht gestört sind.

Szenarien auf Grundlage dieser Leckflächen sind nach dem Leitfaden KAS-18 Dennoch-Störfälle im Sinne der Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung /G6/.

Die Szenarien sind je nach störfallrelevanter Eigenschaft der Stoffe für Stofffreisetzungen, Brand oder Explosion getrennt vorzunehmen. Für die Auswirkungsbetrachtungen gilt:

- der Massenstrom ist entsprechend den Betriebsbedingungen und unter Voraussetzung eines scharfkantigen Lecks (Ausflusssziffer: 0,62) zu berechnen,
- die Umgebungstemperatur ist mit 20 °C anzusetzen,
- es ist eine mittlere Wetterlage nach VDI-Richtlinie 3783 mit einer indifferenten Temperaturschichtung und ohne Inversion zu betrachten. Es ist für den Betriebsbereich die häufigste Windgeschwindigkeit für eine indifferente Temperaturschichtung zu ermitteln (z. B. DWD) und für die Berechnungen zu verwenden,
- als Beurteilungswerte sind die gleichen Werte heranzuziehen, die für die Herleitung der Achtungsabstände verwendet wurden (ERPG-2-Wert/ 1,6 kW/m²/ 0,1 bar),
- der Ausbreitungsradius bis zum Beurteilungswert des abdeckenden Ereignisses entspricht dem angemessenen Sicherheitsabstand des Einzelfalles.

Die Festlegungen des Leitfadens KAS-18 sind bei bestimmten Anlagentypen nur eingeschränkt übertragbar. Mit dem Leitfaden KAS-32 „Szenarienspezifische Fragestellungen zum Leitfaden KAS-18“ /G7/ wurde deshalb eine Arbeitshilfe veröffentlicht, die bei der Anwendung des KAS-18 Leitfadens bei speziellen Anlagentypen bzw. Stoffen unterstützen soll.

In dem Leitfaden KAS-32 werden die folgenden Konkretisierungen zu Bränden in Tanklagern für brennbare Flüssigkeiten gemacht:

- Die akut toxischen Auswirkungen eines Tankbrandes brauchen nicht genauer betrachtet zu werden, da aufgrund der Wärmefreisetzung eine deutliche Überhöhung der Brandgaswolke und damit geringe Immissionskonzentrationen in Bodennähe zu erwarten sind.
- Das Gefahrenpotential „Explosion“ ist hinreichend unwahrscheinlich und daher im Rahmen der Bauleitplanung für Tanklager für brennbare Flüssigkeiten nicht zu betrachten.
- Der angemessene Sicherheitsabstand muss unter Berücksichtigung der entsprechenden tatsächlichen Verhältnisse auf Basis eines ursachenunabhängigen, Freisetzungseignisses ermittelt werden.
- Grundlagen der Betrachtung sind:
 - Freisetzung aus einer Leckfläche von i.d.R. 1963 mm² mit einer Ausflusszahl von 0,62.
 - Maximaler Betriebsüberdruck (z.B. Pumpendruck) und einer Betriebstemperatur von 20°C.
 - Sofortige Zündung und Bildung einer brennenden Lache mit dem maximalen Durchmesser. Dies bedeutet, dass die Abbrandrate gleich der Freisetzungsrate ist und somit eine ausreichend lange Branddauer vorausgesetzt werden kann.
 - Ausbreitung als kreisförmige Lache
 - Ausstrahlung der Flamme: 100 kW/m²
 - Flammenhöhe: Modell von Thomas und Moorhouse gemäß KAS-18, soweit kein besser geeignetes Modell vorliegt.
 - Die Flammenneigung infolge von Wind ist vernachlässigbar.
- Der ermittelte Abstandswert für eine Strahlungsintensität von 1,6 kW/m² wird als angemessener Sicherheitsabstand festgelegt.

4 Festlegung der Szenarien

Die Befüllung der Lagerbehälter mit Diesel bzw. Heizöl soll über die bordeigene Pumpe der TKW an 18 verschiedenen Abfüllflächen mit Füllanschlüssen DN 50 erfolgen /U2/, /U4/. Es wird ein Lachenbrand infolge eines Lecks im Bereich des Füllanschlusses während der Befüllung unterstellt. Die im Leitfaden KAS-32 getroffene Annahme zur Leckgröße bezieht sich auf Tankläger mit den dort üblicherweise vorhandenen größeren Rohrleitungsdurchmessern. Im vorliegenden Fall handelt es sich um eine Verbrauchsanlage, für die diese Leckannahme nicht sinnvoll ist, da sie einem Schlauchabriss entsprechen würde. Ein Schlauchabriss ist aber bei Einhaltung des Standes der Sicherheitstechnik hinreichend unwahrscheinlich und muss damit im Rahmen der Bauleitplanung nicht berücksichtigt werden. Es wird daher eine Leckfläche gemäß dem Leitfaden KAS-18 mit 490 mm² vorausgesetzt.

Die Lagerbehälter sollen doppelwandig und die Füllleitungen von den Füllanschlüssen bis zu den Behältern doppelwandig mit einer Lecküberwachung ausgeführt werden /U5/. Aufgrund dieser sicherheitstechnischen Maßnahmen ist in den Füllleitungen und am Behälter kein Freisetzungsszenario zu unterstellen.

Die Generatoreinheiten sind jeweils mit einer Pumpe ausgestattet, die über eine einwandige Saugleitung den Kraftstoff aus dem entsprechenden Lagerbehälter mit einem Volumenstrom von maximal 1147 l/h entnimmt /U8/. Bei einem Leck auf der Druckseite der Pumpe kann damit ein kontinuierlicher Volumenstrom von maximal 20 l/min freigesetzt werden, sodass das oben beschriebene Szenario eines Lecks im Bereich des Füllanschlusses das abdeckende Ereignis darstellt.

5 Stoffdaten

Dieselmotorkraftstoff ist ein Gemisch aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen. Die Hauptbestandteile des Dieselmotorkraftstoffes sind vorwiegend Alkane, Cycloalkane und aromatische Kohlenwasserstoffe. In der folgenden Tabelle sind einige Stoffwerte zusammengestellt, wie sie z.B. /L2/ entnommen werden können. Da es sich um ein Gemisch mit unterschiedlicher Zusammensetzung handelt, können keine eindeutigen Stoffwerte angegeben werden.

Aufgrund der ähnlichen Stoffeigenschaften von Diesel und Heizöl können die folgenden Berechnungen auch auf eine Freisetzung von Heizöl übertragen werden.

Tabelle 1 - Stoffdaten Dieselmotorkraftstoff

Siedebeginn/-bereich	150 – 390 °C
Flammpunkt	> 55 °C
Dichte (bei 15 °C)	0,82 – 0,845 kg/l
obere Explosionsgrenze	ca. 6,5 Vol.-%
untere Explosionsgrenze	ca. 0,6 Vol.-%
Dampfdruck (bei 37,8 °C)	< 1 kPa

6 Beschreibung der verwendeten Modelle

6.1 Berechnung des Wärmestroms

Der durch Strahlung übertragene Wärmestrom $\dot{Q}_{\text{str}}$ berechnet sich, wie z. B. bei Seeger /L4/ angegeben, nach

$$\dot{Q}_{\text{str}} = \varphi_{12} A_1 \varepsilon_2 \tau \dot{Q}_0$$

wobei φ_{12} die mittlere Einstrahlzahl, A_1 die strahlende Fläche, ε_2 das Emissionsverhältnis der bestrahlten Fläche, τ die Wärmeabsorption der Luft zwischen Strahler und Empfänger und $\dot{Q}_0$ die mittlere spezifische Ausstrahlung der Flamme ist.

6.2 Berechnung der Einstrahlzahl

Die mittlere Einstrahlzahl zwischen einer strahlenden und einer bestrahlten Fläche kann allgemein durch

$$\varphi_{12} = \frac{1}{\pi A_1} \iint \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{s^2} dA_1 dA_2$$

beschrieben werden.

Die Einstrahlzahl berechnet sich mit den im VDI-Wärmeatlas /L6/ angegebenen Beziehungen für einen stehenden Zylinder.

6.3 Berechnung der Wärmeabsorption der Luft

Der Wärmestrom beim Empfänger ist abhängig von der Einstrahlzahl und der Wärmeabsorption der Luft zwischen Strahler und Empfänger. Für die Absorption der Wärmestrahlung in der Luft sind im Wesentlichen Wasserdampf und Kohlendioxid zu berücksichtigen. Wayne /L7/ hat eine einfache empirische Beziehung für den Absorptionskoeffizienten für eine Flammentemperatur von 1500 K entwickelt:

$$\tau_1 = 1,006 - 0,01171 \log(X_{H_2O}) - 0,02368 \log(X_{H_2O})^2 - 0,03188 \log(X_{CO_2}) + 0,001164 \log(X_{CO_2})^2$$

$$X_{CO_2} = \frac{L \cdot 273}{T_u}$$

$$X_{H_2O} = \frac{2,88651 R_H L p_w}{T_u}$$

Der Dampfdruck von Wasser lässt sich mit folgender Beziehung berechnen /L8/:

$$p_w = 0,75 \left[\frac{\text{mm Hg}}{\text{hPa}} \right] * 6,1 * 10^{\frac{7,45 (T_u - 273)}{T_u - 38}}$$

Für die folgenden Berechnungen wird eine relative Luftfeuchtigkeit von 75 % verwendet.

Der Einfluss der Flammentemperatur auf den Absorptionskoeffizienten wird aus den Diagrammen aus dem „Yellow Book“ /L9/ abgeleitet:

$$T_f > 1500 \text{ K: } \tau = \tau_1 (1 + 7,58 * 10^{-5} (T_f - 1500))$$

$$T_f < 1500 \text{ K: } \tau = \tau_1 (1 - 1,74 * 10^{-4} (1500 - T_f))$$

Die Formelzeichen bedeuten hierbei:

L [m]	Entfernung zwischen Strahler und bestrahlter Fläche
T _u [K]	Umgebungstemperatur
T _f [K]	Flammentemperatur
R _H [%]	relative Luftfeuchtigkeit
p _w [mm Hg]	Dampfdruck des Wassers

6.4 Berechnung des Branddurchmessers

Bei einer ausreichend langen Freisetzungsdauer wird sich bei einer Zündung während der Freisetzung der Flüssigkeit ein Gleichgewicht zwischen dem zugeführten Massenstrom und dem verbrannten Massenstrom ergeben (Ansatz nach Leitfaden KAS-32). Die Brandfläche und der Branddurchmesser berechnen sich dann aus

$$A = \frac{\dot{m}_{fl}}{\dot{m}'}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}}$$

Die Formelzeichen bedeuten hierbei:

$\dot{m}'$ [kg/(m ² s)]	Abbrandrate
$\dot{m}_{fl}$ [kg/s]	Flüssiger Massenstrom
A [m ²]	Lachenfläche
d [m]	Lachendurchmesser
m_{fl} [kg]	Freigesetzte Masse

6.5 Berechnung der Abbrandrate

Die Abbrandrate lässt sich über die Abbrandgeschwindigkeit v_a aus der von Burgess entwickelten empirischen Beziehung in Abhängigkeit vom Heizwert H_c und der Verdampfungsenthalpie h_v des Stoffes berechnen /L10/ in /L11/.

$$v_a = 1,27 \cdot 10^{-6} \frac{H_c}{h_v + \int_{T_0}^{T_s} c_p dt}$$

Die Abbrandrate berechnet sich dann mit der Flüssigkeitsdichte des Stoffes:

$$\dot{m}' = v_a \rho_{fl}$$

Die Formelzeichen bedeuten hierbei:

H_c [kJ/kg]	spezifische Verbrennungsenthalpie
h_v [kJ/kg]	Verdampfungsenthalpie
c_p [kJ/(kg K)]	Wärmekapazität der Flüssigphase
T_0 [K]	Temperatur der Lache
T_s [K]	Siedetemperatur der Flüssigkeit
v_a [m/s]	Abbrandgeschwindigkeit
$\dot{m}'$ [kg/(m ² s)]	Abbrandrate
ρ_{fl} [kg/m ³]	Flüssigkeitsdichte

6.6 Bestimmung der Flammenlänge

Neben der mittleren spezifischen Ausstrahlung der Flamme wird zur Berechnung des übertragenen Wärmestromes die Flammenfläche benötigt, die aus dem Flammendurchmesser d und der zeitlich gemittelten Flammenhöhe H gebildet wird.

Viele empirische Beziehungen zur Berechnung der Flammenhöhe lassen sich in der folgenden allgemeinen Form darstellen:

$$\frac{H}{d} = a \left(\frac{\dot{m}'}{\rho_{\text{Luft}} \sqrt{g d}} \right)^b \left(\frac{u}{\left(\frac{g \dot{m}' d}{\rho_{\text{Luft}}} \right)^{0,333}} \right)^c$$

Für die betrachtete Freisetzung von Diesel werden die Parameter a , b und c nach Munoz /L12/ (für Benzin und Diesel, mittlere Flammenhöhe) verwendet.

Die Formelzeichen bedeuten hierbei:

H [m]	Flammenhöhe
d [m]	Branddurchmesser
u [m/s]	Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe
g [m/s ²]	Erdbeschleunigung
d [m]	Durchmesser der Brandfläche
a, b, c	Modellparameter nach Munoz /L12/
$\dot{m}'$ [kg/(m ² s)]	Abbrandrate

6.7 Berechnung der spezifischen Ausstrahlung der Flamme

In /L13/ wurde bei einer Brandfläche von 500 m² bei einer Dieselflamme eine maximale spezifische Ausstrahlung der Flamme von ca. 24 kW/m² gemessen.

Da Diesel mit einer stark rußenden Flamme verbrennt, ist zur Berechnung der mittleren spezifischen Ausstrahlung der Flamme das Modell OSRAMO II /L14/, /L15/, /L16/ geeignet. Bei OSRAMO II (Organized Structure Radiation Model) werden mehrere Strukturen berücksichtigt, die Strahlungsenergie durch Emission,

Absorption und Transmission untereinander austauschen. Nach diesem Ansatz existieren folgenden drei Zonen innerhalb der Flamme:

- Reaktionszonen,
- hot spots und
- Rußballen.

Die mittlere spezifische Ausstrahlung der Flamme berechnet sich beim OSRAMO II Modell nach

$$\begin{aligned}\dot{Q}_0 &= \dot{Q}_{hs} \left(1 - e^{-(d_0/d)^{a3}}\right) + \dot{Q}_{RB} e^{-(d_0/d)^{a3}} \\ \dot{Q}_{hs} &= \tau_{hs} (1 - \tau_{re}) \sigma [T_{re}^4 - T_u^4] + (1 - \tau_{hs}) \sigma [T_{hs}^4 - T_u^4] \\ \dot{Q}_{RB} &= \tau_{RB} (1 - \tau_{re}) \sigma [T_{re}^4 - T_u^4] + (1 - \tau_{RB}) \sigma [T_{RB}^4 - T_u^4] \\ \tau_{hs} &= \frac{1}{e^{dk_{eff,hs}}}, \quad \tau_{re} = \frac{1}{e^{dk_{eff,re}}}, \quad \tau_{RB} = \frac{1}{e^{dk_{eff,RB}}}\end{aligned}$$

Ein Vergleich des Modells für verschiedene Brandmedien in Abhängigkeit vom Branddurchmesser /L15/ zeigt, dass für die Mehrzahl der Messwerte - vor allem bei größeren Branddurchmessern - das Modell eine konservative Abschätzung der mittleren spezifischen Ausstrahlung ergibt. Für große Flammendurchmesser und Kohlenwasserstoffen als Brandmedien, die mit rußender Flamme verbrennen, sind mit dem Modell OSRAMO II realistischere Berechnungsergebnisse zu erwarten als mit einfacheren Zylinderflammen-Modellen.

7 Berechnung der Gefährdungsbereiche

Die Berechnung der Gefährdungsbereiche erfolgt mit dem Programm für numerische Störfallsimulation ProNuSs 9 /L17/.

Es wird ein Lachenbrand infolge eines Lecks im Bereich des Füllanschlusses bzw. des Füllschlauches während der Befüllung durch einen TKW unterstellt. Der Kraftstoff breitet sich im Bereich der Abfüllfläche aus und bildet eine Lache. Nach dem Leitfaden KAS-32 wird eine sofortige Zündung und Bildung einer brennenden Lache mit dem maximalen Durchmesser unterstellt, sodass die Abbrandrate dem freigesetzten Massenstrom entspricht. Das Leck wird mit einer Leckfläche von 490 mm² und einer Ausflussziffer von 0,62 für ein scharfkantiges Leck vorausgesetzt.

Der Differenzdruck am Leck kann aus dem hydrostatischen Druck und den Druckverlusten in den Rohrleitungen stromabwärts der Leckstelle während der Befüllung berechnet werden. Der hydrostatische Druck wird über die Höhendifferenz zwischen der Abfüllfläche und der Oberkante der Lagertanks von ca. 7,6 m /U5/ berechnet. Bei einer Flüssigkeitsdichte von Diesel bzw. Heizöl von ca. 855 kg/m³ (Betriebstemperatur von 20 °C) beträgt der hydrostatische Druck damit ca. 0,64 bar.

Zur Berechnung der Leitungsdruckverluste wird konservativ unterstellt, dass der TKW mit einer maximalen Abfüllkapazität von 1.200 l/min bzw. 17,1 kg/s Diesel bzw. Heizöl fördert /L18/. Dieser Massenstrom teilt sich am Leck in den freigesetzten Massenstrom und den Massenstrom, der zu den Lagerbehältern führt, auf. Die maximale Leitungslänge der doppelwandigen Füllleitungen ist mit ca. 210 m angegeben /U6/, die konservativ für die Druckverlustberechnung herangezogen wird. Über eine Druckverlustberechnung werden die Druckverluste in den Rohrleitungen und darüber der Differenzdruck am Leck sowie der freigesetzte Massenstrom iterativ berechnet.

Die Gesamtdruckdifferenz am Leck zur Umgebung beträgt unter den genannten Randbedingungen ca. 7,2 bar, worüber ein freigesetzter Massenstrom von ca. 10,7 kg/s berechnet wird.

Der Durchmesser des Lachenbrands wird mit ca. 15 m und die Flammenhöhe mit ca. 20 m berechnet. Hierbei wird die mit dem Modell nach Burgess berechnete Abbrandrate von ca. 0,06 kg/(m²s) unterstellt. Dieser Wert liegt in der in /L3/

angegebenen Bandbreite von experimentell bestimmten Abbrandraten für Diesel. Die Strahlungsintensität der rußenden Dieselflamme wird mit dem Modell OS-RAMO II mit ca. 45 kW/m² berechnet.

In Abbildung 3 wird die Bestrahlungsstärke über die Entfernung zum Mittelpunkt der Flamme in einer Höhe von 1 m über dem Boden (Mittelpunkt einer stehenden Person) dargestellt. Der Beurteilungswert von 1,6 kW/m² wird in einer Entfernung von ca. 42 m zum Mittelpunkt der Flamme unterschritten.

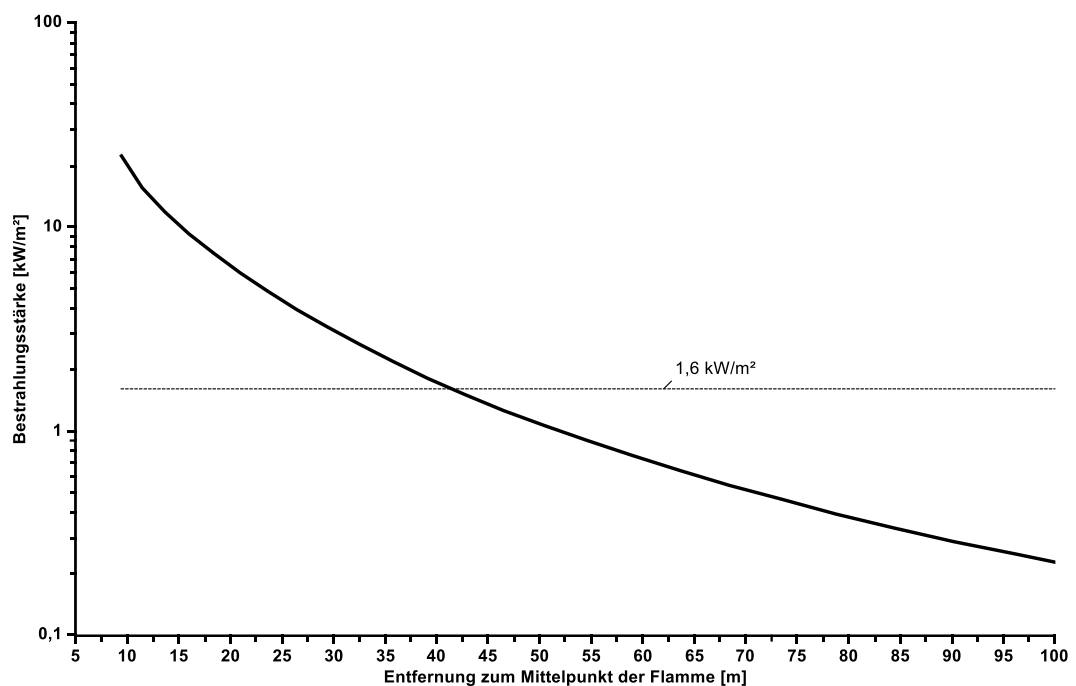


Abbildung 3 – Bestrahlungsstärke über die Entfernung in einer Höhe von 1 m

8 Zusammenfassung

Die Firma NTT Global Data Centers EMEA GmbH plant am südwestlichen Gemeinderand der Stadt Nierstein einen Campus mit mehreren Rechenzentren zu errichten. Zur Notstromversorgung der Rechenzentren soll Diesel oder Heizöl in einer Gesamtlagermenge gelagert werden, die die Mengenschwelle in Spalte 4 des Anhangs I der Störfall-Verordnung überschreitet. Mit Schreiben vom 29.11.2024 wurden wir durch die TTSP HWP Planungsgesellschaft mbH beauftragt, Auswirkungsbetrachtungen zur Ermittlung eines angemessenen Sicherheitsabstandes entsprechend den Vorgaben des Leitfadens KAS-18 und der Arbeitshilfe KAS-32 durchzuführen.

Auf Grundlage der vorliegenden Planungsunterlagen wurden die abdeckenden Szenarien im Sinne der Leitfäden KAS-18 und KAS-32 ermittelt. Demnach ist für jede Abfüllfläche ein Szenario mit einem Leck im Bereich des Füllanschlusses während der Befüllung zu unterstellen. Es wurde eine Leckfläche von 490 mm² vorausgesetzt und der daraus resultierende Lachenbrand berechnet.

Der Beurteilungswert für die Bestrahlungsstärke von 1,6 kW/m² wird in einer Entfernung von ca. 42 m zum Mittelpunkt des Lachenbrands unterschritten.

In Abbildungen 4 bis 6 sind die resultierenden Gefährdungsbereiche zur Festlegung des angemessenen Sicherheitsabstands in den Lageplan /U2/ skizziert, wobei der Mittelpunkt des Lachenbrands jeweils mit dem Mittelpunkt der Abfüllfläche vorausgesetzt wurde.

Bei einem Brandszenario an der östlichen Abfüllfläche des Rechenzentrums H reicht der Gefährdungsbereich geringfügig über die südöstliche Betriebsgrenze hinaus und wird im Bereich der im Flächennutzungsplan aufgeführten Sonderbaufläche für Unterkunft- und Freizeiteinrichtungen unterschritten (s. Abbildung 5, links). Nach /U10/ soll in diesem Gebiet zukünftig eine gewerbliche Baufläche entstehen.

Bei einem Brandszenario an der westlichen Abfüllfläche des Rechenzentrums A wird ebenfalls der Gefährdungsbereich außerhalb des Betriebsgeländes unterschritten. Nach dem vorliegenden Planungsstand befindet sich in diesem Bereich kein schutzbedürftiges Gebiet im Sinne des Leitfadens KAS-18.

Die Gefährdungsbereiche an den weiteren Abfüllflächen beschränken sich aufgrund des Abstandes der Abfüllflächen zu den Betriebsgrenzen auf den geplanten Betriebsbereich.



Abbildung 4 – Lageplan mit skizzierten Gefährdungsbereichen (in Rot)

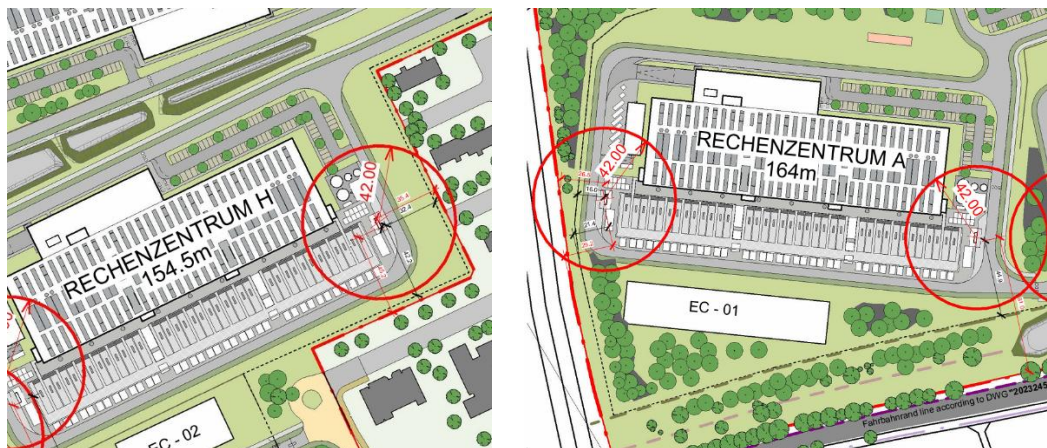


Abbildung 5 – Lageplan mit skizzierten Gefährdungsbereichen an der südöstlichen Betriebsgrenze (links) und der westlichen Betriebsgrenze (rechts)

Schönefeld, den 24.03.2025



M.Sc. Sebastian Schalau
ProNuSs Consulting GmbH

9 Grundlagen der Stellungnahme

9.1 Rechtliche Grundlagen

- /G1/ Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225, Nr. 340) geändert worden ist
- /G2/ Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Mai 2017 (BGBl. I S. 1440), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. November 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 355) geändert worden ist
- /G3/ Störfall-Verordnung - 12. BImSchV i. d. F. vom 15. März 2017 (BGBl. I S. 483), die zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert worden ist
- /G4/ Richtlinie 2012/18/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen, zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 96/82/EG des Rates Text von Bedeutung für den EWR - Seveso III Richtlinie
- /G5/ KAS-18 Leitfaden Empfehlungen für Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten im Rahmen der Bauleitplanung – Umsetzung § 50 BImSchG, erarbeitet von der Arbeitsgruppe „Fort-schreibung des Leitfadens SFK/TAA-GS-1“ verabschiedet von der KAS im November 2010
- /G6/ Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung, BMU, 2004
- /G7/ Arbeitshilfe KAS-32, Szenarienspezifische Fragestellungen zum Leitfaden KAS-18, 2. überarbeitete Fassung, verabschiedet von der KAS im November 2015
- /G8/ KAS-55 Leitfaden, Mindestangaben im Sicherheitsbericht, verabschiedet von der KAS am 15.04.2021

9.2 Literatur- und Quellenverzeichnis

- /L1/ Umfeld des Betriebsgelände, Google Maps. © 2025 GeoBasis – De/BKG (©2009), Google. Abgerufen am 04.01.2025
- /L2/ calpam: Dieselkraftstoff; Sicherheitsdatenblatt gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006
- /L3/ ProcessNet: Statuspapier Quelltermberechnung bei störungsbedingten Stoff- und Energiefreisetzungen in der Prozessindustrie – Methodenübersicht und industrielle Anwendung. (2012)
- /L4/ G. Seeger: Untersuchung der Wärmeübertragung durch Strahlung von einem brennenden Objekt auf die Umgebung Arbeitsgemeinschaft Feuerschutz (1974)

- /L5/ P. G. Seeger; Wärmeübertragung durch Strahlung und Konvektion bei Bränden in Flüssiggaslagern. VFDB 1/87.
- /L6/ VDI-Wärmeatlas, 11. Auflage, 2013
- /L7/ F.D. Wayne: An economical formula for calculating atmospheric infrared transmissivities. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 4 (1991) 86–92
- /L8/ D. Etling: Theoretische Meteorologie. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002, 2008
- /L9/ Methods for the calculation of physical effects. 'Yellow Book', Committee for the Prevention of Disasters, Third edition 2005, Sdu Uitgevers.
- /L10/ D. Burgess, M. Hertzberg. Heat Transfer in Flames, S. 413, (Eds. Afgan, N.; Beer, J.) John Wiley, New York 1974
- /L11/ Statuspapier „Auswirkungsbetrachtungen bei störungsbedingten Stoff- und Energiefreisetzungen in der Prozessindustrie – Methodenübersicht und industrielle Anwendung“ ProcessNet, 2017
- /L12/ Munoz, M., Arnaldos, J., Casal, J., Planas, E.: Analysis of the geometric and radiative characteristics of hydrocarbon pool fires. Combustion and Flames 139 (2004), 263-277
- /L13/ DGMK Forschungsbericht 230-01: Untersuchungen zur Optimierung des Brand-schutzes in Großanlagen. (1985)
- /L14/ A. Schönbucher, D. Göck, R. Fiala, X. Zhang. Das experimentell validierte Ballen-Strahlungsmodell OSRAMO (Teil 1). TÜ Bd. 33 (1992) Nr. 4
- /L15/ A. Schönbucher, D. Göck, R. Fiala, X. Zhang. Das experimentell validierte Ballen-Strahlungsmodell OSRAMO (Teil 2). TÜ Bd. 33 (1992) Nr. 6.
- /L16/ Chr. Kuhr, A. Schönbucher. Zur Festlegung von Abständen zwischen Industrieanlagen und Schutzobjekten für das Ereignis Lachenbrand. 6. Fachtagung Anlagen-, Arbeits- und Umweltsicherheit. Köthen, 2002
- /L17/ ProNuSS Engineering GmbH, Programm zur Numerischen Störfallsimulation, www.pronuss.de
- /L18/ FMC Technologies, GE – Betriebsanleitung, Pumpe Delta2
- /L19/ Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI) ein Arbeitsgremium der Umweltministerkonferenz der Bundesrepublik Deutschland, Hinweise und Definitionen zum „angemessenen Sicherheitsabstand“ nach § 3 Absatz 5c BImSchG UMK-Umlaufbeschlüsse 51/2022 (LAI Beschluss TOP 10.1 146. LAI), 13.09.2022
- /L20/ Fachkommission Städtebau der Bauministerkonferenz, ARBEITSHILFE - Berücksichtigung des neuen nationalen Störfallrechts zur Umsetzung des Art. 13 Seveso-III-Richtlinie im baurechtlichen Genehmigungsverfahren in der Umgebung von Störfallbetrieben, aktualisierte Fassung / beschlossen am 18. April 2018

/L21/ Verbandsgemeinde Rhein-Selz, Flächennutzungsplan Verbandsgemeinde Rhein-Selz 2030, Datum: 13.05.2020