

Antragsteller: P3 Hanau S.à.r.l.
13-15 Avenue de la Liberte
L-1930 Luxembourg

Aufgabenstellung: **Bebauungsplan Nr. 915.3**
„Gewerbegebiet Großauheim-Kaserne“ in Hanau
- Berechnung des CO₂-Ausstoßes
für den geplante Rechenzentrum-Campus –

Datum: 24.03.2021
Projekt-Nr.: 19-06-08-FR Entwurf
Bericht-Nr.: 0.4
Berichtsumfang: 13 Seiten
Bearbeiter: **Dr. Christine Ketterer, M.Sc. in Climate Science**
Sachverständige
Dr. Rainer Röckle, Diplom-Meteorologe
Geschäftsführer, Sachverständiger
Claus-Jürgen Richter, Diplom-Meteorologe
Geschäftsführer, Sachverständiger

IMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG
Eisenbahnstraße 43
79098 Freiburg
Tel. 0761/ 3809 1520
Fax. 0761/ 202 1671
E-mail: ketterer@ima-umwelt.de

1 Situation und Aufgabenstellung

Die Fa. P3 Hanau S.à r.l. plant die Errichtung und den Betrieb eines Rechenzentrum-Campus an der Depotstraße im Südosten des Stadtgebiets der Stadt Hanau. Der Rechenzentrum-Campus soll auf den Flurstücken 279/2, 279/17, tlw. 280 und 319/2 an der südöstlichen Stadtgrenze von Hanau errichtet werden.

Im derzeitigen Planungsstand ist vorgesehen, in sieben Gebäuden 116 Notstromdieselmotoranlagen (NDMA) zur Notstromversorgung der Rechenzentren bei einem Ausfall oder einer Störung der primären Stromversorgung unterzubringen. Jedes NDMA soll über eine Feuerungswärmeleistung von ca. 6,57 MW verfügen¹.

Südlich von diesem Gelände plant die mainova AG zusätzlich die Errichtung und den Betrieb eines Heizkraftwerks, bestehend aus vier BHKW-Modulen. Jedes BHKW-Modul soll über eine Feuerungswärmeleistung von ca. 22,3 MW verfügen. Zusätzlich werden zwei Kesselanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von ca. 8,3 MW installiert, die jedoch nur bei Ausfall eines Wärmeerzeugers in Betrieb gehen.

Im vorliegenden Bericht sollen die CO₂-Emissionen berechnet werden. Die Energieverbräuche pro Jahr und die daraus resultierenden CO_{2e}-Emissionen werden für beide Planfälle abgeschätzt. Die Berechnung der CO₂-Emissionen für das Rechenzentrum-Campus, wird in diesem Gutachten berechnet. Die Energieverbräuche pro Jahr und die daraus resultierenden CO_{2e}-Emissionen für den Planfall „Allgemeine Gewerbegebiet“ wurden in dem Gutachten von EnergyEffizienz GmbH vom 27.11.2020 behandelt.

Rechenzentrum-Campus

Die elektrische Anschlussleistung des Rechenzentrum-Campus beträgt laut Angaben des Betreibers 180 MW. Zur Stromversorgung wird eine 110 kV Umspannstation mit Groß-Transformatoren im Süden des Geländes errichtet. Kleinere Transformatoren werden vor den fünf Hallen und die USV innerhalb der Gebäude errichtet. Lüfter blasen die Abwärme über dem Dach der Rechenzentren aus. Im Winterhalbjahr kommt voraussichtlich eine Wärmerückgewinnung zum Einsatz.

Im Falle von Stromausfällen wird der Rechenzentrum-Campus mit voraussichtlich insgesamt 116 Notstromdieselmotoranlagen (NDMA) betrieben. Die Notstromdieselmotoranlagen sollen je 6,57 MW Feuerungswärmeleistung, die 5 Hausgeneratoren je 1,60 MW Feuerungswärmeleistung aufweisen. Je Gebäude sollen zwei NDMA als Redundanz dienen (sogenannte Catcher-Generatoren), so dass sich in der Summe eine nutzbare Feuerungswärmeleistung von ca. 731 MW ergibt. Die NDMA sollen bei einem Ausfall der primären Netzversorgung automatisch in

¹ Gemäß Vorgabe der P3 Hanau S.à r.l. sollen die in unseren früheren Immissionsprognosen, die im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens erstellt wurden (Projekt 18-06-27-FR), angesetzte Anzahl und Art der Dieselaggregate zugrunde gelegt werden (Telefonat mit Frau Patricia Gunst vom 05.03.2021).

Betrieb gehen und die Notstromversorgung des Rechenzentrum-Campus übernehmen. Sie laufen im Testbetrieb nur während weniger Stunden im Jahr.

Die CO₂-Emissionen für den Planfall 1 werden hinsichtlich der elektrischen Leistung von 180 MW, der Notstromdieselmotoranlagen, der Verflüchtigung von Kältemittel, der Kfz-Fahrten und des geplanten BHKWs abgeschätzt.

2 Beschreibung der Planungen

Von der P3 Hanau S.à.r.l. und der Mainova AG wurden uns zur Bearbeitung folgende Unterlagen überlassen:

1. Bebauungsplanentwurf Nr. 915.3 „Gewerbegebiet Großauheim Kaserne“. Planungsbüro für städtebau göringer_hoffmann_bauer. 24.03.2021.
2. Gebäudepläne RZ: TTSP HWP Planungsgesellschaft GmbH mit Stand vom 27.10.2020 und einer Ergänzung vom 17.11.2020.
3. Verkehrsgutachten zum Bebauungsplan Nr. 915.3 „Gewerbegebiet Großauheim-Kaserne“ in Hanau. Sachstandsbericht 20.08.2020. Habermehl und Follmann Ingenieurgesellschaft mbH.
4. Schalltechnische Untersuchung zur geplanten Errichtung eines Rechenzentrum-Campus auf dem Gelände der ehemaligen Großauheim-Kaserne in Hanau. Accon Environmental Consultants. 15.01.2020.
5. Angaben zur Kältemittelleckage, bereitgestellt durch T.P.I. Trippe und Partner Ingenieurgesellschaft mbH und TTSP HWP Planungsgesellschaft mbH am 15.10.2021.
6. Gasmotorenkraftwerk Stadtwerke Hanau. Stadtwerke Hanau. Entwurfsplanung vom 13.11.2020, bereitgestellt durch die Mainova AG.
7. Gasmotorenkraftwerk Stadtwerke Hanau. Technische Daten vom 16.11.2021, 25.04.2021, bereitgestellt durch die Mainova AG.

3 Berechnung des CO₂-Ausstoßes verursacht durch das Rechenzentrum-Campus

Zur Abschätzung der CO₂-Emissionen des Rechenzentrum-Campus werden

- der konstante Strombedarf von 180 MW,
- der Betrieb der Notstromaggregate im Testbetrieb und im Notbetrieb (Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2),
- die Lkw- und Pkw-Fahrten² durch Beschäftigtenverkehr und Besucher-/Wartungspersonalverkehr,
- die Leckage der Kältemitteln (CO₂-Äquivalente)

berücksichtigt. Des Weiteren werden die CO₂-Emissionen durch das geplante Heizkraftwerk der mainova AG abgeschätzt.

3.1 CO₂-Emissionen durch den konstanten Strombedarf

Das Rechenzentrum benötigt konstant 180 MW elektrische Leistung oder umgerechnet $1,5768 \times 10^9$ kWh_{el}/a. Der Emissionsfaktor für den deutschen Strommix im Jahr 2019 schätzt das Umweltbundesamt (2020) auf 0,401 kg CO₂/kWh_{el netto}. Damit ergeben sich CO₂-Emissionen von 632.297 t CO₂ pro Jahr.

Gemäß dem städtebaulichen Vertrag zur Nutzung von regenerativen Energien, soll jedoch bei Inbetriebnahme des Rechenzentrums 80 % des Stromanteils aus erneuerbaren Energien bezogen werden. Dadurch reduziert sich der CO₂-Ausstoß auf 126.459 t CO₂ pro Jahr. Spätestens fünf Jahre nach Inbetriebnahme soll der komplette Strombedarf aus erneuerbaren Energien bezogen werden.

3.2 CO₂-Emissionen durch die Notstromdieselaggregate

Neben der Nutzung der Notstromaggregate als Notstromversorgung werden die Aggregate in regelmäßigen Abständen einem Testbetrieb unterzogen. Im Testbetrieb sind mehrere Lastfahrweisen vorgesehen:

Testbetrieb ohne Last:

Alle zwei Wochen werden alle NDMA inklusive der Catcher-Generatoren für 30 Minuten ohne Last betrieben. Hierbei laufen maximal zwei NDMA je Gebäude gleichzeitig. Der Testbetrieb wird für jedes Gebäude unabhängig von den anderen Gebäuden durchgeführt, sodass mehrere NDMA unterschiedlicher Gebäude gleichzeitig betrieben werden können. Dieser Fall soll jedoch nach Möglichkeit vermieden werden.

² Verkehrsuntersuchung zur geplanten Entwicklung im Bereich der ehemaligen US-Kaserne in Hanau-Großauheim, Fortschreibung 2019, Habermehl und Follmann Ingenieurgesellschaft mbH, November 2019

Testbetrieb bei 80 % Last:

Zweimal pro Jahr wird jede NDMA (inklusive Catcher-Generatoren) für eine Stunde mit 80 % Last in Betrieb genommen. Dieser Test erfolgt für jedes Aggregat separat, so dass kein Parallelbetrieb bei dieser Lastfahrweise vorliegt. Diese Testläufe erfolgen unter Einsatz einer externen Lastbank.

Testbetrieb bei Volllast (100 %):

Einmal pro Jahr wird jede NDMA (inklusive Catcher-Generatoren) für drei Stunden mit Volllast betrieben. Dieser Testbetrieb deckt auch die jährlich stattfindenden Emissionsmessungen ab und erfolgt ebenfalls für jedes Aggregat separat. Ein Parallelbetrieb mehrerer NDMA findet bei dieser Lastfahrweise nicht statt. Diese Testläufe erfolgen unter Einsatz einer externen Lastbank.

Zusätzlich erfolgt ein Testbetrieb unter Volllast für eine Stunde pro Jahr und Generator ohne Lastbank, bei dem die elektrische Leistung in das Gebäude eingeleitet wird.

Testbetrieb der Catcher-Generatoren:

Die Catcher werden zusätzlich alle vier Jahre für zwei Stunden in Volllast in Betrieb genommen und alle acht Jahre für zehn Stunden in Volllast. Dieser Test erfolgt ebenfalls für jedes Aggregat separat und unter Einsatz einer Lastbank. Konservativ wird ein 10-stündiger Volllastbetrieb in jedem Jahr angenommen.

Tabelle 3-1: Berechnung des Dieserverbrauchs der NDMA in Abhängigkeit von der Auslastung und den Betriebsstunden pro Jahr.

Auslastung	Anzahl Aggregate	Dauer (min)	Häufigkeit pro Jahr	Betriebsstunden (h/a)	Dieserverbrauch (l/h) pro Aggregat	Dieserverbrauch (l/a)
CAT 3516E HPD EM5179 (Notstromaggregat)						
0 %	110	30	26	1430	56,2	80.366
80 %	110	60	2	220	549,5	120.890
100 %	110	240	1	440	659,4	290.136
Catcher	10	600	1	100	659,4	65.940
Summe Dieserverbrauch Testbetrieb						557.332
100 %*	110	9000	1	16.500	659,4	10.880.100
CAT C18 HPD EM3823 (House-Generator)						
0 %	5	30	26	65	12,7	825,5
80 %	5	60	2	10	128,1	1281
100 %	5	240	1	20	160,6	3212
Summe Dieserverbrauch Testbetrieb						5.318,5
100 %*	5	9000	1	750	160,6	120.450
					Gesamt	11.563.200,5

* Die maximal zulässige Betriebszeit der NDMA im Notbetrieb beträgt **150 h/a**

Zusätzlich wurde für die Berechnung der CO₂-Emissionen angenommen, dass die Notstromaggregate maximal 150 h im Jahr bei Stromausfällen betrieben werden. Dabei ergibt sich ein Dieserverbrauch von 11,56 Mio. Liter pro Jahr (Tabelle 3-1). Aus dem jährlichen Dieserverbrauch werden die CO₂-Emissionen berechnet (Tabelle 3-2). Dabei wird die Dichte von Diesel konservativ mit 0,85 kg/l angesetzt. Der CO₂-Emissionsfaktor beträgt 3,2 kg CO₂/kg Diesel (UBA 2016).

Tabelle 3-2: Dieserverbrauch der NDMA's bei regulärem Testbetrieb und maximal möglichem Notstrombetrieb von 150 h/a und daraus berechneten CO₂-Ausstoß pro Jahr.

	Dieserverbrauch (l/a)	Dieserverbrauch (t/a)	CO ₂ -Ausstoß (t/a)
Testbetrieb	562.650	478	1.530
Notstrombetrieb 150 h/a	11.000.550	9.350	29.921
Testbetrieb und Notstrombetrieb	11.563.200	9.828	31.452

In Tabelle 3-3 ist ein theoretischer Maximalfall dargestellt, wenn die Notstromaggregate während 150 Stunden pro Jahr in Betrieb sind. Um eine realistischere Abschätzung zu erhalten, wird auf die von der Bundesnetzagentur (2020) ermittelte Versorgungsunterbrechungen mit Stromausfällen über 3 Minuten zurückgegriffen. Von der Bundesnetzagentur werden die Kennzahlen SAIDI_{EnWG}³, ASIDI_{EnWG}⁴ veröffentlicht, welche im Index SAIDI_{EnWG}-Gesamt⁵ aufsummiert werden. Die maximale Versorgungsunterbrechung betrug 2006 noch ca. 22 Minuten und ging auf 12,2 Minuten im Jahr 2019 zurück. Falls sich der Notstrombetrieb auf maximal 22 Minuten durch Stromausfall beschränkt, so reduziert sich der CO₂-Ausstoß durch die NDMA's auf 1.604 t/a.

Tabelle 3-3: Dieserverbrauch der NDMA's bei regulärem Testbetrieb und Notstrombetrieb von 22 min/a und daraus berechneten CO₂-Ausstoß pro Jahr.

	Dieserverbrauch (l/a)	Dieserverbrauch (t/a)	CO ₂ -Ausstoß (t/a)
Testbetrieb	562.650	478	1.530
Notstrombetrieb 22 min/a	26.890	23	73
Testbetrieb und Notstrombetrieb			1.604

³System Average Interruption Duration Index: Gibt die durchschnittliche Versorgungsunterbrechung je angeschlossenen Letztverbraucher innerhalb eines Kalenderjahres an.

⁴ Average System Interruption Duration Index: Gibt die durchschnittliche Versorgungsunterbrechung je angeschlossenen Bemessungsscheinleistungen innerhalb eines Kalenderjahres an.

⁵ Summe aus dem SAIDI_{EnWG} und dem ASIDI_{EnWG}.

3.3 CO₂-Emission durch Lkw- und Pkw-Fahrten

Die CO₂-Emissionen durch den Verkehr werden entsprechend dem Territorialprinzip (Tabelle 3-4) sowie durch Berücksichtigung absoluter Statistiken (Pendlerstatistik und durchschnittliche Fahrtstrecke im Güterverkehr; Tabelle 3-5) berechnet. Das Territorialprinzip entspricht der gängigen Bilanzierungsweise zur Erstellung von Klimaschutzkonzepten für Kommunen, wobei hier nur die Emissionen bilanziert werden, die innerhalb der Grenze des Gewerbegebiets verursacht werden. Auf Grundlage der HBEFA 4.1 (Umweltbundesamt 2019) werden für ca. 550 Pkw-Fahrten pro Tag durch Beschäftigtenverkehr und Besucher-/Wartungspersonalverkehr und ein Schwerverkehrsaufkommen (zul. Gesamtgewicht >3,5 t) von 20 Fahrzeugen die CO₂-Emissionen berechnet.

Tabelle 3-4: Berechnung der CO₂-Emissionen durch Lkw- und Pkw-Fahrten pro Tag (Territorialprinzip).

Quell-/Zielverkehr	Pkw-Fahrten pro Tag	Lkw – Fahrten pro Werktag
DTV (Kfz/d)	550	20
Durchschnittliche Fahrtlänge (km/Fahrt)	0,417	
Fahrtlänge (km/a)	83.713	1.918
CO ₂ (t/a)	15,6	1,6

In Tabelle 3-5 werden die Emissionen aufgeführt, die bei Berücksichtigung der durchschnittlichen Fahrtstrecke zur Arbeit von 16,9 km (Spiegel, 2020) und der durchschnittlichen Fahrtstrecke im Güterverkehr auf der Straße von 160 km (Statistisches Bundesamt 2013) ergeben.

Tabelle 3-5: Berechnung der CO₂-Emissionen durch Lkw- und Pkw-Fahrten pro Tag (durchschnittliche absolute Fahrtlängen).

Quell-/Zielverkehr	Pkw-Fahrten pro Tag	Lkw – Fahrten pro Werktag
DTV (Kfz/d)	550	20
Durchschnittliche Fahrtlänge (km/Fahrt)	16,9	160
Fahrtlänge (km/a)	3.392.675	736.000
CO ₂ (t/a)	630,7	595,3

3.4 Leckage der Kältemittel (CO₂-Äquivalente)

Der Beitrag von Kältemittel zum Treibhauseffekt wird durch das Treibhauspotential (global warming potential, GWP) berechnet. Der GWP-Wert eines Kältemittels definiert dessen relatives Treibhauspotenzial in Bezug auf CO₂ (CO₂-Äquivalent). Um das Treibhauspotential der Kältemittel-Leckage zu berechnen, wird die Kälteleistung der Anlage ermittelt und die Kältemittel-Leckage beispielhaft für eine luftgekühlte und eine wassergekühlte Kältemaschine berechnet.

Berechnung der Kälteleistung

Die elektrische Anschlussleistung von ca. 180 MW wird zu 75 % für die IT und für die Stromversorgung verwendet und zu 25 % für die Kälteerzeugung. Wärme wird durch die IT und Stromversorgung produziert, welche konstant 135 MW verbrauchen.

Die Leckage der Kältemittel ist abhängig davon, ob ausschließlich über die Kältemaschine gekühlt wird (Fall A) oder weitgehend freie Kühlung (Fall B) genutzt wird. Bei einer Kühlung ausschließlich über die Kältemaschine ergibt sich bei einer Anschlussleistung von ca. 180 MW rund 135 MW Kälteleistung⁶ (Fall A).

Im Regelfall wird im Kühlsystem nicht ausschließlich über Kältemaschinen gekühlt, sondern weitgehend freie Kühlung genutzt. Die Kälteleistung betrifft rund 25 % des oben genannten Energieverbrauchs für die IT und Stromversorgung, d.h. rund 33,75 MW Kälteleistung (Fall B).

Berechnung des GWP-Wertes

Der GWP-Wert gibt das Treibhauspotential eines Kältemittels im Vergleich zu CO₂ an. Entweicht von dem Kältemittel R513A ein Kilogramm in die Umwelt ist die Klimawirksamkeit genauso hoch, wie wenn 631,4 kg CO₂ die in die Atmosphäre gelangen.

Die Berechnung der maximalen Kältemittel-Leckage ist in Tabelle 3-6 aufgeführt.

Das Treibhauspotential beträgt, wenn ausschließlich über eine Kältemaschine mit Luftkühlung gekühlt wird (Kältemaschine 1 im Fall A) 129,6 t CO₂-Äquivalent, bzw. 32,4 t CO₂-Äquivalent, wenn weitgehend freie Kühlung (Fall B) genutzt wird.

Bei Einsatz einer Kältemaschine mit Wasserkühlung reduziert sich der GWP-Wert auf 1,9 t CO₂-Äquivalent (Fall A), bzw. 0,48 t CO₂-Äquivalent (Fall B).

⁶ Die Kälteleistung gibt an, wie viel Wärme ein Kühlgerät in einer bestimmten Zeit aufnehmen und abführen kann.

Tabelle 3-6: Maximale Kältemittel-Leckage am Beispiel einer luftgekühlten und einer wassergekühlten Kältemaschine für die Fälle A und B.

	Kältemaschine 1	Kältemaschine 2
Beschreibung	luftgekühlt, als Kompaktmaschine für Außenaufstellung, mit integrierter Freier Kühlung, Schraubenverdichter, keine Adiabatik	wassergekühlt, als Kompaktanlage für Außenaufstellung inkl. luftgekühltem Glykol-Rückkühler, mit integrierter Freier Kühlung, Schraubenverdichter, keine Adiabatik
Kälteleistung (kW (Kaltwasser 14 °C/8 °C, Außenlufttemperatur 40 °C))	790	790
Kältemittel	R513A	R1234yf
GWP-Wert des Kältemittels (kg CO ₂)	631,4	4
Kältemittel-Füllmenge (kg)	120	280
Zulässige max. Leckagerate (gem. ChemKlimaschutzV, §3 in Verbindung mit §2: 1%/Jahr (> 100 kg Kältemittel-Füllmenge))		
Zulässige max. Kältemittel-Leckage (kg/Jahr)	1,2	2,8
Spezifische zulässige max. Kältemittel-Leckage (g/(kW, Kälteleistung * Jahr))	1,52	3,54
Fall A: max. Kältemittel-Leckage bei 135 MW Kälteleistung (kg)	205,2	478
Fall B: max. Kältemittel-Leckage bei 33,75 MW Kälteleistung (kg)	51,3	120
Fall A: Treibhauspotenzial bei max. Kältemittel-Leckage (kg CO ₂ -Äquivalent)	129.563	1.912
Fall B: Treibhauspotenzial bei max. Kältemittel-Leckage (kg CO ₂ -Äquivalent)	32.391	480

3.5 CO₂-Emissionen durch das BHKW

Die jährlichen CO₂-Emissionen verursacht durch das BHKW berechnen sich aus dem Brennstoffverbrauch, dem Heizwert und dem CO₂-Emissionsfaktor (Tabelle 3-7). Der CO₂-Emissionsfaktor beträgt für Erdgase 55,8 t CO₂/TJ (Umweltbundesamt 2016).

Das BHKW verursacht in der vollständigen Ausbaustufe von 4 Modulen und 2 Kesseln bei den genannten Betriebsstunden 127.062 t CO₂ pro Jahr.

Tabelle 3-7: CO₂-Emissionen pro Jahr verursacht durch den Betrieb des BHKWs nach Angaben des Betreibers mainova GmbH

Aggregat	Feuerungswärmeleistung <i>MW</i>	Betriebsstunden <i>h/a</i>	Brennstoffdurchsatz Gas, Erdgas H <i>m³/h</i>	Heizwert Hi <i>GJ/kNm³</i>	Brennstoffdurchsatz gesamt <i>kNm³/a</i>	CO ₂ -Emissionsfaktor <i>t/GJ</i>	CO ₂ -Emissionen <i>t/a</i>
BHKW Modul1	22,4	8760	2269	36	19.430	0,056	39.170
BHKW Modul2	22,4	7632	2269	36	16.928	0,056	34.126
BHKW Modul3	22,4	6552	2269	36	14.532	0,056	29.297
BHKW Modul4	22,4	5088	2269	36	11.285	0,056	22.751
Kessel1	8,3	250	1704	36	426	0,056	859
Kessel2	8,3	250	1704	36	426	0,056	859
Gesamt							127.062

3.6 Gesamt CO₂-Emissionen

Die gesamten durch die Rechenzentren verursachten CO₂-Emissionen werden in Tabelle 3-8 bis Tabelle 3-10 aufgeführt.

In Tabelle 3-8 wurden 150 Stunden Stromausfall und Betrieb aller Dieselnostromaggregate mit 100 % Auslastung zusätzlich zur elektrischen Anschlussleistung von 180 MW aus dem typischen deutschen Strommix berücksichtigt, was einer konservativen Abschätzung entspricht. Zusätzlich wurden die CO₂-Emissionen des Verkehrs nach dem Territorialprinzip und die maximale Emission durch Kühlmittel-Leckage beachtet.

Gemäß dem städtebaulichen Vertrag zur Nutzung von regenerativen Energien, soll jedoch bei Inbetriebnahme des Rechenzentrums 80 % des Stromanteils aus erneuerbaren Energien bezogen werden. Dadurch reduziert sich der CO₂-Ausstoß durch den konstanten Strombedarf auf 126.459 t CO₂ pro Jahr (Tabelle 3-9). Spätestens 5 Jahre nach Inbetriebnahme soll der komplette Strombedarf aus erneuerbaren Energien bezogen werden (Tabelle 3-10). Zusätzlich wurde in Tabelle 3-9 und Tabelle 3-10 gemäß der Bundesnetzagentur (2020) ein maximaler Stromausfall von 22 Minuten pro Jahr anstelle der immissionsschutzrechtlich möglichen 150 Stunden pro Jahr berücksichtigt.

Tabelle 3-8: CO₂-Emissionen pro Jahr verursacht durch den Betrieb des Rechenzentrum-Campus, sowie der Notstromaggregate im erforderlichen Testmodus, sowie 150 h/a Notstrombetrieb bei Stromausfall mit 100 % Auslastung. Berücksichtigung der CO₂-Emissionen des Verkehrs nach dem Territorialprinzip und der maximalen Emission von CO₂-Äquivalent durch Kühlmittel-Leckage.

Betriebsteil	CO ₂ -Emissionen (t CO ₂ /a)
Konstanter Strombedarf	632.297
Notstromaggregate	31.452
Pkw-Fahrten	15,6
Lkw-Fahrten	1,6
CO ₂ -Äquivalente durch Kühlmittel-Leckage maximal	130
Gesamter CO₂-Ausstoß pro Jahr durch das Rechenzentrum (Treibhauspotenzial bei max. Kältemittel-Leckage einer Kältemittelmaschine mit Luftkühlung und Kühlung ausschließlich über die Kältemaschine.)	663.896
BHKW	127.062
Gesamter CO₂-Ausstoß pro Jahr durch das Rechenzentrum und das BHKW	790.958

Tabelle 3-9: CO₂-Emissionen pro Jahr verursacht durch den Betrieb des Rechenzentrum-Campus bei Bezug von 80 % des Stromanteils aus erneuerbaren Energien, sowie der Notstromaggregate im erforderlichen Testmodus, sowie 22 min/a Notstrombetrieb mit 100 % Auslastung. Berücksichtigung der CO₂-Emissionen des Verkehrs nach dem Territorialprinzip und der maximalen Emission von CO₂-Äquivalent durch Kühlmittel-Leckage.

Betriebsteil	CO ₂ -Emissionen (t CO ₂ /a)
Konstanter Strombedarf	126.459
Notstromaggregate	1.604
Pkw-Fahrten	15,6
Lkw-Fahrten	1,6
CO ₂ -Äquivalente durch Kühlmittel-Leckage maximal	130
Gesamter CO₂-Ausstoß pro Jahr (Treibhauspotenzial bei max. Kältemittel-Leckage einer Kältemittelmaschine mit Luftkühlung und Kühlung ausschließlich über die Kältemaschine.)	128.210
BHKW	127.062
Gesamter CO₂-Ausstoß pro Jahr durch das Rechenzentrum und das BHKW	255.272

Tabelle 3-10: CO₂-Emissionen pro Jahr verursacht durch den Betrieb des Rechenzentrum-Campus bei Bezug von 100 % erneuerbaren Energien, sowie der Notstromaggregate im erforderlichen

Testmodus, sowie 22 min/a Notstrombetrieb mit 100 % Auslastung. Berücksichtigung der CO₂-Emissionen des Verkehrs nach dem Territorialprinzip und der maximalen Emission von CO₂-Äquivalent durch Kühlmittel-Leckage.

Betriebsteil	CO ₂ -Emissionen (t CO ₂ /a)
Konstanter Strombedarf	-
Notstromaggregate	1.604
Pkw-Fahrten	15,6
Lkw-Fahrten	1,6
CO ₂ -Äquivalente durch Kühlmittel-Leckage maximal	130
Gesamter CO ₂ -Ausstoß pro Jahr (Treibhauspotenzial bei max. Kältemittel-Leckage einer Kältemittelmaschine mit Luftkühlung und Kühlung ausschließlich über die Kältemaschine.)	1.751
BHKW	127.062
Gesamter CO ₂ -Ausstoß pro Jahr durch das Rechenzentrum und das BHKW	128.813

Die CO₂-Emissionen der Stadt Hanau (lokale Direktmissionen ohne Produktions- und Transport-Vorketten) betragen 573.816 t CO₂ im Jahr 2017 (Regionalverband FrankfurtRheinMain, Energiesteckbrief Hanau für das Jahr 2017 vom 17.12.2019).

Durch den zunehmenden Anteil erneuerbarer Energie am deutschen Strommix ist eine Reduktion der CO₂-Emissionen in den nächsten Jahren zu erwarten.

Freiburg, den 24.03.2021

Dr. Christine Ketterer
Sachverständige
M.Sc. in Climate Sciences

Dr. Rainer Röckle
Geschäftsleitung, Sachverständiger
Diplom-Meteorologe

Claus-Jürgen Richter
Geschäftsleitung, Sachverständiger
Diplom-Meteorologe

Literatur

- Bundesnetzagentur:** Kennzahlen der Versorgungsunterbrechungen Strom. 22.10.2020. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Versorgungsunterbrechungen/Auswertung_Strom/Versorgungsunterbrech_Strom_node.html. Stand Januar 2020
- Regionalverband FrankfurtRheinMain.** Kommunaler Energiesteckbrief. Hanau. Basisjahr 2017. 17.12.2019. https://mapview.region-frankfurt.de/transfer/Dateidownload/Energiesteckbriefe/Energiesteckbrief_Hanau.pdf, Stand 24.03.2021.
- Schmidt W.; Düring I., Lohmeyer A.:** Einbindung des HBEFA 3.1 in das FIS Umwelt und Verkehr sowie Neufassung der Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb des Straßenverkehrs. Im Auftrag des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Juni 2011 Projekt 70675-09-10.
- Spiegel:** In Deutschland gibt es immer mehr Pendler. 06.02.2020. <https://www.spiegel.de/karriere/pendeln-in-deutschland-nehmen-immer-mehr-menschen-lange-wege-zum-arbeitsplatz-in-kauf-a-085c2c3a-36ef-4aeb-b807-6fbc70e5d95d>. Stand Nov 2020.
- Statistisches Bundesamt:** Verkehr auf einen Blick. April 2013. Wiesbaden. https://www.statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/DEMonografie_derivate_00001575/BroschuereVerkehrBlick0080006139004.pdf;jsessionid=4CE7ACC3EF6B3415431708E81047364E. Stand Nov 2020.
- Umweltbundesamt, INFRAS:** HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 4.1. September 2019, Update November 2019. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Umweltbundesamt:** Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2019. 2020. In Climate Change 13/2020. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-01_climate-change_13-2020_strommix_2020_fin.pdf. Stand Nov 2020.
- Umweltbundesamt:** CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoff. 2016. In Climate Change 27/2016. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren_fur_fossile_brennstoffe_korrektur.pdf. Stand Nov 2020.