



NEUE SMR-KERNKRAFTANLAGE AM STANDORT TEMELÍN

BEWERTUNG DER AUSWIRKUNGEN VON LUFTVERSCHMUTZUNG UND LÄRMBELASTUNG AUF DIE ÖFFENTLICHE GESUNDHEIT

JUNI 2026

Neue SMR-Kernkraftanlage am Standort Temelín

Bewertung der Auswirkungen von Luftverschmutzung und Lärmbelastung auf die öffentliche Gesundheit

AUFTRAGGEBER: **Amentum Clean Energy, s. r. o.**
Křenová 58
602 00 Brno

ERSTELLT VON: **ATEM – Ateliér ekologických modelů, s. r. o.**
Rožtylská 1860/1
148 00 Praha 4
E-Mail: atem@atem.cz
Tel.: 241 494 425

ERSTELLT VON: **Mgr. Robert Polák**
Inhaber eines Zertifikats über die fachliche Eignung im
Bereich der Bewertung von Auswirkungen auf die öffentliche
Gesundheit des Gesundheitsministeriums, Zertifikatsnummer
8/2024

IN ZUSAMMENARBEIT MIT: Mgr. Jan Karel
Mgr. Adam Dušek

Juni 2026

INHALT

E I N L E I T U N G	4
1. BEWERTUNGSMETHODIK.....	6
2. GRUNDLAGEN FÜR DIE EXPOSITIONSBEWERTUNG	8
3. CHARAKTERISIERUNG DER WOHNBEBAUUNG IN DER UMGEBUNG DES VORHABENS.....	9
4. AUSWIRKUNGEN DER LUFTVERSCHMUTZUNG AUF DIE GESUNDHEIT DER BEVÖLKERUNG	11
4.1. Identifizierung von Gefährdung und der Dosis-Wirkungs-Beziehungen	11
4.1.1. Schwebstaub	11
4.1.2. Stickstoffdioxid.....	16
4.1.3. Wechselwirkung von Schwebstaub PM _{2,5} und NO ₂	19
4.1.4. Benzol	20
4.1.5. Benzo[a]pyren.....	20
4.2. Bewertung der Exposition und Charakterisierung des Risikos	21
4.2.1. Schwebstaub	27
4.2.2. Stickstoffdioxid.....	38
4.2.3. Wechselwirkung zwischen Schwebstaub PM _{2,5} und Stickstoffdioxid	44
4.2.4. Benzol	47
4.2.5. Benzo[a]pyren.....	50
4.3. Bewertung der Exposition und Charakterisierung des Risikos – Bauvorhaben	54
4.4. Unsicherheiten bei der Bewertung	58
5. AUSWIRKUNGEN VON LÄRM AUF DIE GESUNDHEIT DER BEVÖLKERUNG.....	59
5.1. Identifizierung von Gefährdung und der Dosis-Wirkungs-Beziehungen	59
5.2. Bewertung der Exposition und Charakterisierung des Risikos	65
5.3. Unsicherheiten bei der Bewertung	70
F A Z I T	71
LITERATURVERZEICHNIS.....	74
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	77

E I N L E I T U N G

Ziel der vorliegenden Studie ist die Bewertung der Auswirkungen technologischer und verkehrsbezogener Aktivitäten bei der Realisierung und dem Betrieb des Vorhabens „Neue SMR-Kernkraftanlage am Standort Temelín“ auf die öffentliche Gesundheit hinsichtlich der Exposition gegenüber chemischen Stoffen in der Luft und Lärm.

Der Gegenstand des Vorhabens ist die Errichtung der neuen Kernkraftanlage vom SMR-Typ, und zwar einschließlich aller zusammenhängenden Bauobjekte und Betriebskomplexe (Technologieanlagen), welche für die Erzeugung und Ableitung der elektrischen Energie und für die Sicherstellung des sicheren Betriebes der Kernanlage dienen.

Im Rahmen der Bewertung der Auswirkungen der Exposition gegenüber chemischen Stoffen in der Luft wird auf der Grundlage der Ergebnisse der zugrunde liegenden Ausbreitungsstudie [1] eine Bewertung für die folgenden Phasen der Realisation des Vorhabens durchgeführt:

Phase 1: Jahr 2034 – Auswirkungen des Baus des SMR ETE, höchstmögliche Kumulierung der Auswirkungen bei einem möglichen gleichzeitigen Bau der NJZ ETE und des SMR ETE (voraussichtliche Dauer bis zu 1 Jahr)

- Nullzustand 1 = Jahr 2034 + Anfangsphase der Vorbereitung der NJZ ETE
- Aktiver Zustand 1 = Jahr 2034 + Anfangsphase der Vorbereitung der NJZ ETE + Bauphase des SMR ETE

Szenario 2: Jahr 2040 – Auswirkungen des Betriebs des SMR ETE, Übergangsszenario eines möglichen gleichzeitigen Betriebs des SMR ETE mit der verkehrstechnisch anspruchsvollsten Bauphase der NJZ ETE (voraussichtliche Dauer bis zu 1 Jahr)

- Nullzustand 2 = Jahr 2040 + Hauptbauphase der NJZ ETE
- Aktiver Zustand 2 = Jahr 2040 + Hauptbauphase der NJZ ETE + Betrieb des SMR ETE

Zustand 3: Jahr 2042 – Auswirkungen des Betriebs des SMR ETE, Kumulierung des Betriebs der NJZ ETE und des SMR ETE (dauerhafter Zustand)

- Nullzustand 3 = Jahr 2042 + Betrieb der NJZ ETE
- Aktiver Zustand 3 = Jahr 2042 + Betrieb der NJZ ETE + Betrieb des SMR ETE

Im Rahmen der Bewertung der Auswirkungen der Lärmbelastung wird in Übereinstimmung mit den zugrunde liegenden Lärmstudien eine Bewertung für die folgenden Zustände durchgeführt:

Zukünftiger Zustand (Jahr 2034) – Verkehrsaufkommen für das Jahr 2034

- Betrieb von ETE 1,2 ohne Betrieb des SMR ETE

- Betrieb von ETE 1,2 mit Betrieb des SMR ETE

Zukünftiger Zustand (Jahr 2034) – stationäre Lärmquellen

- Betrieb von ETE 1,2 mit Betrieb des SMR ETE

Zielzustand (Jahr 2042) – Verkehrsaufkommen für das Jahr 2042

- Betrieb von ETE 1,2 + Betrieb der NJZ ETE, ohne Betrieb des SMR ETE
- Betrieb von ETE 1,2 + Betrieb der NJZ ETE, mit Betrieb des SMR ETE

Zielzustand (Jahr 2042) – stationäre Lärmquellen

- Betrieb von ETE 1,2 + Betrieb der NJZ ETE, mit Betrieb des SMR ETE

Die vorliegende Bewertung berücksichtigt ausschließlich die Auswirkungen, die im Normalbetrieb auftreten – ihre Ergebnisse lassen sich nicht auf Ausnahmesituationen, einschließlich Störfälle, übertragen.

1. BEWERTUNGSMETHODIK

Die angewandte Bewertungsmethodik basiert auf den grundlegenden methodischen Verfahren zur Gesundheitsrisikobewertung (Health Risk Assessment), die von der US-Umweltschutzbehörde (US EPA) erarbeitet wurden, und stützt sich auf die Zulassungsrichtlinien des Staatlichen Gesundheitsinstituts (im Folgenden „SZÚ“) zur Bewertung des Gesundheitsrisikos durch die Exposition gegenüber chemischen Stoffen in der Außenluft AN 17/15 [2], zur Bewertung des Gesundheitsrisikos durch Lärmbelastung [26] sowie auf die Fachliteratur [4]. Das Verfahren zur Bewertung des Gesundheitsrisikos besteht aus vier aufeinander aufbauenden Schritten:

- **Gefahrenidentifizierung** – hierbei werden die zu bewertenden Faktoren ermittelt, ihre Eigenschaften mit Schwerpunkt auf der Gefährdung für den Menschen beschrieben und die Bedingungen festgelegt, unter denen diese Gefährdung zum Tragen kommen kann.
- **Bestimmung des Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs** – in diesem Schritt wird der Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Exposition gegenüber dem jeweiligen Faktor (Stoff in der Luft) und dem Risikograd quantitativ bewertet.
- **Expositionsbewertung** – umfasst eine qualitative Beschreibung des Kontakts des zu bewertenden Faktors mit den Körpergrenzen sowie eine quantitative Beschreibung der Intensität dieses Kontakts. Ziel ist es, Informationen darüber zu gewinnen, auf welchen Wegen, in welchem Ausmaß und in welcher Menge eine bestimmte Bevölkerungsgruppe der Einwirkung der bewerteten chemischen Substanz oder eines anderen Faktors (z. B. Lärm) ausgesetzt ist.
- **Risikocharakterisierung** – Inhalt dieser Phase ist die Darstellung des Ausmaßes des Gesundheitsrisikos für die exponierte Bevölkerung auf der Grundlage von Erkenntnissen über die Gefährlichkeit des einwirkenden Faktors und der Abschätzung des konkreten Expositionslevels. Es handelt sich um eine qualitative und quantitative Beschreibung des geschätzten Gesundheitsrisikos für die untersuchte Bevölkerung, d. h. um eine Auflistung aller möglichen Gesundheitsschäden bei der untersuchten Bevölkerung und die Angabe der Wahrscheinlichkeit ihrer Entstehung. Es ist erforderlich, alle Ausgangsbedingungen und Fakten, die in das Risikobewertungsverfahren einfließen, sowie alle Vereinfachungen und Unsicherheiten, die sich darin widerspiegeln, zu beschreiben. Die auf diese Weise bewerteten Risiken sind stets als potenziell, jedoch für die Bevölkerung im Untersuchungsgebiet als hinreichend wahrscheinlich anzusehen.

Gemäß dem Genehmigungsleitfaden AN 17/15 gliedert sich die Bewertung dann in folgende Teile:

- Grundlagen für die Bewertung der Exposition der Bevölkerung, einschließlich der Identifizierung der zu bewertenden Schadstoffe und der Grundlagen für die Bestimmung des Immissionshintergrunds,
- Charakterisierung der Wohnbebauung in der Umgebung des Vorhabens,
- Identifizierung der Gefährdung und der Dosis-Wirkungs-Beziehungen,

- Bewertung der Exposition und Charakterisierung der Risiken,
- Unsicherheiten bei der Bewertung,
- Fazit.

2. GRUNDLAGEN FÜR DIE EXPOSITIONSBEWERTUNG

Die Bewertung der Auswirkungen der im Zusammenhang mit der Umsetzung des Vorhabens verursachten Luftverschmutzung und Lärmbelastung auf die Gesundheit der Bevölkerung basiert auf der erstellten Ausbreitungsstudie [1] und den Lärmstudien [23, 24]. Diese Studien bilden somit die grundlegende und einzige Grundlage für die Expositionsbewertung der Bevölkerung.

In der Ausbreitungsstudie [1] und anschließend auch in der vorliegenden Bewertung werden die Konzentrationswerte folgender Schadstoffe untersucht: Schwebstaub der Fraktionen PM_{10} und $PM_{2,5}$, Stickstoffdioxid, Benzol und Benzo[a]pyren. Darüber hinaus wird auch die Wechselwirkung zwischen $PM_{2,5}$ und Stickstoffdioxid untersucht. Die Auswahl der Stoffe entspricht somit den Empfehlungen des Zulassungsleitfadens des SZÚ [2] zur Bewertung der Auswirkungen des Verkehrs.

Die zugrunde liegende Ausbreitungsstudie bewertet die Luftverschmutzung anhand von Modellberechnungen für drei Zeithorizonte und beziffert gleichzeitig die Beiträge des Verkehrs und stationärer Quellen zu den Gesamtkonzentrationen der Schadstoffe. Zur Beurteilung des Gesamtniveaus der Luftverschmutzung wurden die in der Ausbreitungsstudie ermittelten Fünfjahresdurchschnitte sowie Daten der AIM-Messstationen herangezogen.

Zur Quantifizierung der Auswirkungen der Immissionsbelastung wurde eine Vektorebene der bestehenden Wohnbebauung erstellt. Die Einwohnerzahlen in den einzelnen Objekten wurden aus den Katasterdaten und aus dem Verhältnis der Einwohnerzahl pro Wohnung in den jeweiligen Basisiedlungseinheiten im modellierten Gebiet abgeleitet.

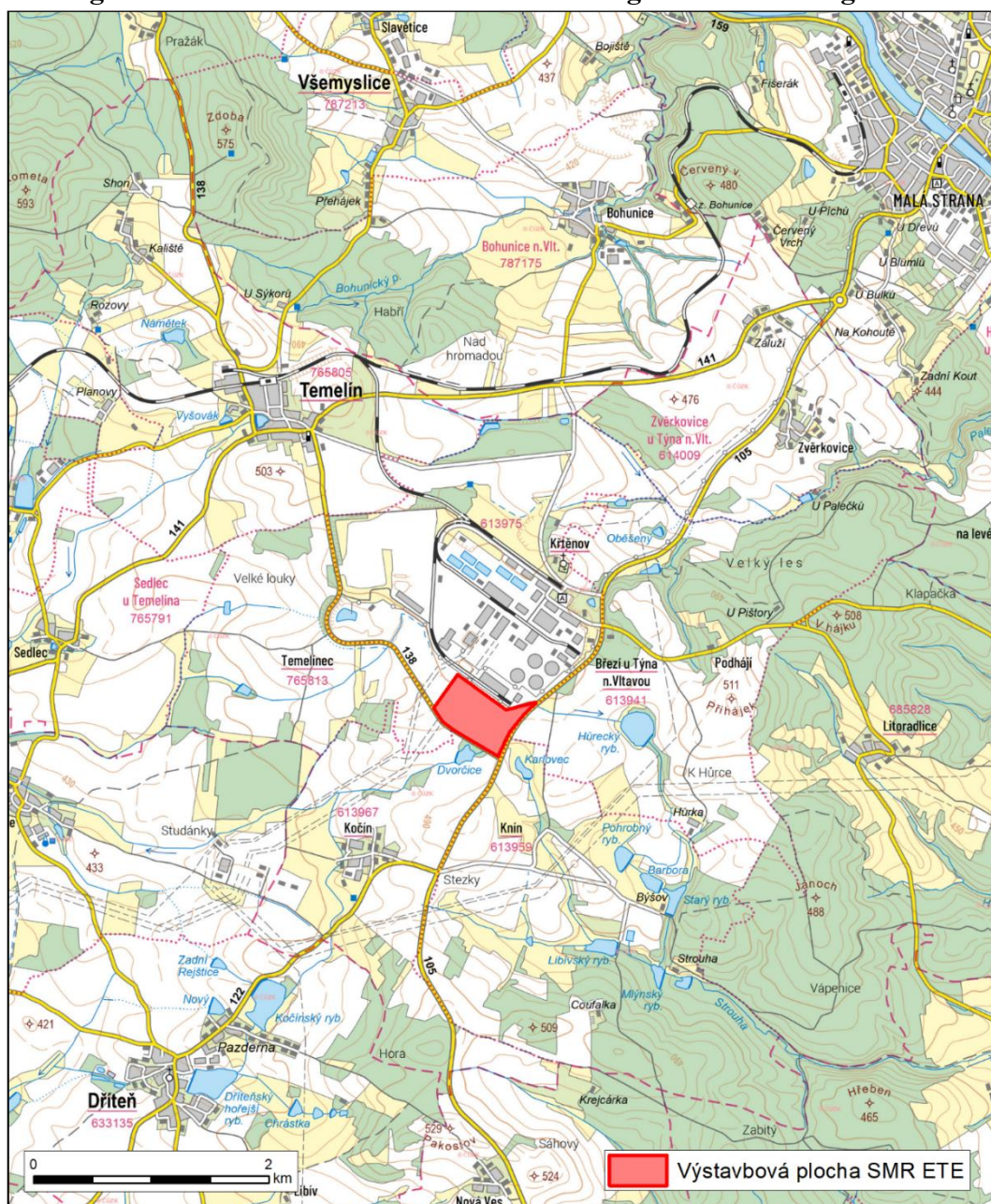
Die Bewertung der Lärmsituation erfolgt anschließend für einzelne Berechnungspunkte, die die betroffene Wohnbebauung repräsentieren.

Als Lärmquellen wurden der Straßenverkehr und stationäre Quellen im Rahmen des zu bewertenden Vorhabens berücksichtigt. Die Bewertung erfolgt getrennt für den Lärm am Tag und in der Nacht.

3. CHARAKTERISIERUNG DER WOHNBEBAUUNG IN DER UMGEBUNG DES VORHABENS

Das zu bewertende Vorhaben befindet sich auf einer ebenen Fläche in einer Entfernung von ca. 4 km südwestlich von Týn nad Vltavou und ca. 20 km nordwestlich von České Budějovice. Die nächstgelegene Wohnbebauung bildet die Gemeinde Temelín mit ihren Ortsteilen Sedlec, Kočín und Litoradlice, die sich in einer Entfernung von einigen Kilometern vom Vorhaben befinden.

Abb. 1. Lage des Vorhabens im Verhältnis zur umliegenden Bebauung



Výstavbová plocha SMR ETE

Baufläche des SMR ETE

Zur quantitativen Bewertung der Auswirkungen der Exposition gegenüber chemischen Stoffen in der Luft auf die Gesundheit der Bevölkerung wurde eine Vektorebene der bestehenden Wohnbebauung erstellt. Die Einwohnerzahlen für die einzelnen Objekte wurden aus den Katasterdaten und aus dem Verhältnis der Einwohnerzahl pro Wohnung in den jeweiligen Basisiedlungseinheiten abgeleitet. Die Bewertung erfolgt für das Gebiet, das dem Umfang der Modellberechnungen aus der zugrunde liegenden Ausbreitungsstudie [1] entspricht. Die Einwohnerzahl in dem so abgegrenzten Ausschnitt innerhalb der bestehenden umliegenden Wohnbebauung beträgt 12 650.

Mithilfe von GIS-Tools wurden die Einwohnerzahlen aus der genannten Vektorebene in Schichten der Immissionsfelder der einzelnen Immissionsmerkmale übertragen und nach den Zonen der berechneten Werte zusammengefasst.

Im Falle der quantitativen Bewertung der Lärmbelastung wurden den einzelnen Berechnungspunkten auf der Grundlage der genannten Vektorebene die geschätzten Zahlen der betroffenen Einwohner zugeordnet. In der Regel handelt es sich dabei nicht nur um das durch den jeweiligen Punkt repräsentierte Objekt, sondern auch um weitere Objekte in dessen Nähe, bei denen von einer ähnlichen Belastung ausgegangen werden kann.

4. AUSWIRKUNGEN DER LUFTVERSCHMUTZUNG AUF DIE GESUNDHEIT DER BEVÖLKERUNG

4.1. Identifizierung von Gefährdung und der Dosis-Wirkungs-Beziehungen

4.1.1. Schwebstaub

Schwebstaub in der Luft stellt ein komplexes Gemisch aus organischen und anorganischen Stoffen dar, deren Bestandteile vielfältige chemische und physikalische Eigenschaften aufweisen. Sie entstehen sowohl im Außen- als auch im Innenbereich. Sie sind daher ein wichtiger Faktor, der zu einer Verschlechterung des Gesundheitszustands führt.

Schwebstaubstaub weist unterschiedliche Größen, Massen und Zusammensetzungen auf. Generell lässt sich feststellen, dass:

- bei der Verbrennung fester Brennstoffe ohne Abscheider in den Emissionen Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von über 10 µm überwiegen; bei der Verbrennung flüssiger Brennstoffe ist der Anteil dieser Partikel geringer, aber dennoch signifikant. Mit zunehmender Effizienz des Abscheiders nimmt der Anteil der „gröberen Fraktionen“ deutlich ab, da diese Anlagen gerade große Staubpartikel am effektivsten entfernen
- im aufgewirbelten Staub in der Umgebung von Straßen und Industriegebieten im Allgemeinen ist, von einem geringen Anteil an Feinstaub auszugehen; der Anteil der einzelnen Größenfraktionen hängt jedoch von der Zusammensetzung der ursprünglich abgelagerten Partikel ab
- in den Abgasen von Kraftfahrzeugen Feinstaubpartikel bis 2,5 µm (der Anteil dieser Partikel liegt bei etwa 90 %) eindeutig dominieren, wobei die meisten emittierten Partikel kleiner als 1 µm sind
- auch die überwiegende Mehrheit der sekundär in der Luft entstehenden Aerosole (durch Kondensation gasförmiger Stoffe) überwiegend aus Feinstaubpartikeln bis 2,5 µm [5] besteht

Die unterschiedlichen Eigenschaften des Schwebstaubs können sich auf unterschiedliche gesundheitliche Auswirkungen beziehen – dies hängt von ihrer Größe, ihren physikalischen Eigenschaften und ihrer chemischen Zusammensetzung ab. Für eine allgemeine (indikative) Bewertung werden daher epidemiologische Indikatoren wie Mortalität (Sterblichkeit) und Morbidität (Erkrankungsrate) herangezogen.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat im Jahr 2021 neue Leitlinien zur Luftqualität [6] veröffentlicht, die die früheren, im Jahr 2005 herausgegebenen Leitlinien [5] weitgehend ersetzen. Die Exposition gegenüber dem Schwebstaub erhöht laut WHO [6] das Sterberisiko für folgende Erkrankungen:

- langfristige PM_{2,5}-Konzentrationen – mit hoher Sicherheit bei Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems (insbesondere ischämische Herzkrankheit) und Lungenkrebs, mit mittlerer Sicherheit bei gutartigen Erkrankungen der Atemwege,
- langfristige PM₁₀-Konzentrationen – mit hoher Sicherheit bei gutartigen Erkrankungen der Atemwege und Lungenkrebs sowie mit mittlerer Sicherheit bei ischämischer Herzkrankheit,
- kurzfristige PM₁₀- und PM_{2,5}-Konzentrationen – mit hoher Sicherheit bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen und mit mittlerer Sicherheit bei zerebrovaskulären Erkrankungen sowie bei gutartigen Erkrankungen der Atemwege.

Der Einfluss langfristiger Konzentrationen von Schwebstaub auf das Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen ist bei der Fraktion PM_{2,5} im Allgemeinen konsistenter als bei PM₁₀. Ebenso wurde bei PM_{2,5}-Partikeln, nicht jedoch bei PM₁₀-Partikeln, ein signifikant erhöhtes Schlaganfallrisiko nachgewiesen. Weitere Erkenntnisse deuten auf einen kausalen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber PM_{2,5}-Partikeln und akuten Infektionen der unteren Atemwege, chronisch obstruktiver Lungenerkrankung, Typ-II-Diabetes sowie der Neugeborenensterblichkeit aufgrund von niedrigem Geburtsgewicht und Frühgeburt hin. Auch der Zusammenhang zwischen dem Schwebstaub und dem Auftreten von Lungenkrebs wurde eingehend untersucht, wobei festgestellt wurde, dass das Risiko, an dieser Krebsart zu sterben, signifikant mit der Belastung durch PM_{2,5} und PM₁₀ verbunden war [6]. Im Jahr 2015 wurde der Schwebstaub von der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) der WHO [7] als nachweislich krebserregend für den Menschen eingestuft.

Für eine kurzfristige Exposition gibt die WHO einen Anstieg der Gesamtsterblichkeit um 0,65 % bei einer Erhöhung der 24-Stunden-Konzentration von PM_{2,5} um 10 µg.m⁻³ an. Bei chronischer Exposition wird ein Anstieg der Sterblichkeit um 8 % bei einer Zunahme der durchschnittlichen Jahreskonzentrationen von PM_{2,5} um 10 µg/m⁻³ angegeben; für PM₁₀ ein Anstieg der Sterblichkeit um 4 % bei einem Anstieg der durchschnittlichen Jahreskonzentrationen von PM₁₀ um 10 µg/m⁻³.

In den letzten Jahrzehnten ist in den Industrieländern die Immissionsbelastung durch den Schwebstaub zurückgegangen, wodurch es möglich wurde, die gesundheitlichen Auswirkungen auch bei niedrigeren Konzentrationen genauer zu untersuchen. Bei den durchschnittlichen Jahreskonzentrationen von PM_{2,5} wurde ein Zusammenhang zwischen der Exposition und der Sterblichkeit bereits unterhalb von 10 µg.m⁻³ nachgewiesen, und zwar bis hin zu sehr niedrigen Expositionswerten; zudem zeigte sich bei niedrigeren Expositionswerten ein steilerer (supraliner) Anstieg des Risikos. Negative Auswirkungen auf die Gesundheit wurden bereits in den untersten Perzentilen der gemessenen Werte beobachtet. Aus diesem Grund hat die WHO den Ausgangswert für die Festlegung der Richtwerte auf das 5. Perzentil der gemäß den verwendeten zugrunde liegenden Studien gemessenen Werte festgelegt, das für PM_{2,5}

bei $4,2\text{--}4,9\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ liegt, im Fall von PM_{10} $15,1\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Die Richtwerte für kurzfristige (24-Stunden-)Konzentrationen wurden neben den Daten zu nachgewiesenen gesundheitlichen Auswirkungen auch auf der Grundlage des Zusammenhangs zwischen den 24-Stunden-Konzentrationen und deren Jahresdurchschnitten festgelegt.

Im Ergebnis gibt die WHO [6] folgende Richtwerte für Schwebstaub an:

- $\text{PM}_{2,5}$ -Partikel – $5\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ für die durchschnittlichen Jahreskonzentrationen und $15\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ für die 24-Stunden-Konzentrationen,
- PM_{10} -Partikel – $15\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ für die durchschnittlichen Jahreskonzentrationen und $45\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ für die 24-Stunden-Konzentrationen.

Die WHO legt ferner für jede der oben genannten Größen vier Übergangsziele fest, wobei die zuvor geltenden Richtwerte gemäß [5] – d. h. 10, bzw. $20\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ für die Jahreskonzentrationen von $\text{PM}_{2,5}$ und PM_{10} sowie 25 und $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ für die 24-Stunden-Werte – derzeit dem 4. Zwischenziel entsprechen. Die Zwischenziele werden im Allgemeinen für Standorte mit höherer Luftverschmutzung festgelegt, um die endgültigen Richtwerte innerhalb eines realistischen Zeitrahmens schrittweise zu erreichen.

Die derzeit in der Tschechischen Republik geltenden Immissionsgrenzwerte für Schwebstaub PM_{10} betragen $40\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ für die durchschnittliche Jahreskonzentration und $50\ \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ für die 24-Stunden-Werte (mit einer zulässigen Anzahl von 35 Überschreitungen pro Jahr). Für $\text{PM}_{2,5}$ -Partikel ist derzeit nur ein Grenzwert für die durchschnittliche Jahreskonzentration festgelegt, und zwar in Höhe von $20\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ab dem Jahr 2030 sollen neue Immissionsgrenzwerte in Kraft treten, die für Schwebstaub PM_{10} bei den Jahreskonzentrationen $20\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ und bei den Tageskonzentrationen $45\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ betragen (mit einer zulässigen Anzahl von 18 Überschreitungen pro Jahr). Für Schwebstaub $\text{PM}_{2,5}$ betragen die Immissionsgrenzwerte bei den Jahreskonzentrationen $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ und bei den Tageskonzentrationen $25\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mit einer zulässigen Anzahl von 18 Überschreitungen pro Jahr).

In der vorliegenden Bewertung werden zur Quantifizierung des Risikos durch die Exposition gegenüber Schwebstaub (und analog dazu auch gegenüber Stickstoffdioxid, siehe weiter unten) die Funktionen der Konzentration - Wirkung verwendet, die von der Weltgesundheitsorganisation im Rahmen des Projekts *Health risks of air pollution in Europe: HRAPIE-2-Projekt* (HRAPIE-2) [8] im Jahr 2025 veröffentlicht wurden. Dieses Dokument aktualisiert somit die bisherigen Leitlinien aus dem Jahr 2013 [9].

Es handelt sich um Zusammenhänge, die auf der Grundlage umfassender systematischer Übersichtsarbeiten und Metaanalysen der Ergebnisse zahlreicher epidemiologischer Studien sowie von Daten zu Gesundheitsindikatoren aus globalen Datensätzen abgeleitet wurden. Die einzelnen Konzentrations- und Wirkungsfaktoren

werden anhand des relativen Risikos (RR) formuliert. Dieses drückt in diesem Zusammenhang die Veränderung des Risikos für das Auftreten einer bestimmten gesundheitlichen Auswirkung in der Bevölkerung bei einem spezifischen Anstieg der Schadstoffkonzentration aus.

Der Zusammenhang zwischen der Konzentration und dem Risiko ist innerhalb der empfohlenen Expositionsbereiche log-linear. Zur eigentlichen Charakterisierung des Risikos für die exponierte Bevölkerung wird dann die in Kapitel 4.2 beschriebene Berechnung mittels der attributiven Fraktion verwendet.

Die Zusammenhänge werden in drei Gruppen unterteilt:

- Gruppe A – es liegen ausreichende Daten für eine zuverlässige Quantifizierung der Auswirkungen vor,
- Gruppe B+ – Daten mit einem höheren Maß an Unsicherheit hinsichtlich der Genauigkeit der für die Quantifizierung der Wirkungen verwendeten Daten im Vergleich zu Gruppe A,
- Gruppe B– – Daten, die für die Zwecke der Gesundheitsrisikobewertung nicht empfohlen werden können, da die Beweiskraft unzureichend ist.

Um eine möglichst hohe Genauigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden in die Analysen Zusammenhänge aus Gruppe A einbezogen, d. h. solche mit ausreichenden Daten für eine zuverlässige Quantifizierung der Auswirkungen. Darüber hinaus wurden Zusammenhänge aus der Gruppe B+ in die Analysen einbezogen. In einigen Fällen werden neben den „grundlegenden“ Berechnungsformeln auch „alternative“ Formeln angegeben, die in bestimmten Situationen anwendbar sind (z. B. wenn nicht genügend Daten für die Berechnung nach der vorherigen Formel vorliegen). Die Tabellen 1 und 2 fassen einen Überblick über die in dieser Studie verwendeten Werte des relativen Risikos zusammen; es handelt sich in allen Fällen um „grundlegende“ RR-Werte. Angegeben sind jeweils das Konfidenzintervall (in Klammern) und der Mittelwert des relativen Risikos.

Tab. 1. Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen für Schwebstaub – Beziehungen der Gruppe A [8]

Immissionsgröße	Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	RR bei einer Erhöhung der Konzentration um $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	1,100 (1,060–1,130)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	1,130 (1,100–1,150)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – zerebrovaskuläre Erkrankungen	≥ 25 Jahre	1,150 (1,100–1,190)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	1,140 (1,100–1,190)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	1,140 (1,080–1,200)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	1,140 (1,080–1,200)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Infektionen der unteren Atemwege	≥ 25 Jahre	1,200 (1,100–1,330)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	1,090 (1,050–1,140)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankungsrate – Asthma bei Kindern	0–18 Jahre	1,340 (1,100–1,630)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankungsrate – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 30 Jahre	1,180 (1,130–1,230)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankungsrate – ischämische Herzkrankheit (Myokardinfarkt)	≥ 30 Jahre	1,130 (1,050–1,220)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankungshäufigkeit – Schlaganfall	≥ 30 Jahre	1,160 (1,120–1,200)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankung – Bluthochdruck	≥ 30 Jahre	1,170 (1,050–1,300)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankung – bösartige Neubildung der Bronchien und der Lunge	≥ 30 Jahre	1,160 (1,100–1,230)
PM _{2,5} Tagesdurchschnitt**	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	Gesamtbevölkerung	1,0068 (1,0059–1,0077)
PM _{2,5} Tagesdurchschnitt**	Erkrankungsrate – Erkrankungen der Atemwege	Gesamtbevölkerung	1,0090 (1,0026–1,0153)
PM ₁₀ Jahresdurchschnitt	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	1,080 (1,050–1,110)
PM ₁₀ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	1,080 (1,040–1,120)
PM ₁₀ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	1,120 (1,080–1,170)
PM ₁₀ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	1,100 (1,050–1,150)

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

**) Werte, die auf Tagesdurchschnitten basieren, werden ausschließlich zur Bestimmung der Auswirkungen kurzfristiger Einflüsse während der Dauer der Bauarbeiten herangezogen.

Tab. 2. Konzentrationsfaktoren – Wirkung – Schwebstaub – Zusammenhänge der Gruppe B+ [8]

Immissionsgröße	Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	RR bei einer Erhöhung der Konzentration um $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
PM ₁₀ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	1,060 (1,020–1,090)
PM ₁₀ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	1,220 (1,030–1,440)
PM ₁₀ Tagesdurchschnitt*	Ausfalltage im Schulbesuch	5–14 Jahre	1,0149 (1,0017–1,0283)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankungsrate – Typ-2-Diabetes	0–18 Jahre	1,100 (1,030–1,180)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankungsrate – Demenz	≥ 19 Jahre	1,170 (1,100–1,250)
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Krankheitsfälle – Autismus-Spektrum-Störungen	0–12 Jahre	1,660 (1,230–2,250)

*) Werte auf Basis von Tagesdurchschnitten werden ausschließlich zur Ermittlung der kurzfristigen Auswirkungen während der Dauer der Bauarbeiten herangezogen.

4.1.2. Stickstoffdioxid

Stickstoffdioxid (NO₂) gehört zu den am häufigsten überwachten Schadstoffen bei der Bewertung der Auswirkungen von Verbrennungsquellen (d. h. insbesondere des Kraftfahrzeugverkehrs und der Gebäudeheizung) auf die Luftqualität und die Gesundheit der Bevölkerung. Von den Quellen wird überwiegend Stickstoffmonoxid (NO) emittiert, das in der Luft nach und nach zu NO₂ oxidiert; NO₂ selbst wird nur in geringem Umfang direkt freigesetzt.

Beim Eindringen von Stickstoffdioxid in die Atemwege sind die Luftröhre mit den Bronchien sowie die Lungenbläschen (Alveolen) am empfindlichsten; dort kommt es zu einer Ersetzung des Typ-I-Alveolarepithels durch Zellen, die widerstandsfähiger gegen Oxidation sind und sich zudem mit steigender NO₂-Konzentration allmählich hypertrophieren. Dies führt zu einer Verringerung der Infektionsresistenz des Lungengewebes.

Die Exposition gegenüber Stickstoffdioxid erhöht laut WHO [6] das Sterberisiko für folgende Erkrankungen:

- langfristige NO₂-Konzentrationen – mit hoher Sicherheit bei chronisch obstruktiver Lungenerkrankung, mit mittlerer Sicherheit bei gutartigen Erkrankungen der Atemwege und akuten Infektionen der unteren Atemwege, einschließlich der Kindersterblichkeit,

- kurzfristige (24-Stunden-)Konzentrationen von NO_2 – mit hoher Sicherheit bei der Gesamtsterblichkeit ohne Unterscheidung nach Ursachen (mit Ausnahme von Unfällen) sowie bei Krankenhausaufenthalten aufgrund von Asthma.

In einer von der WHO durchgeführten Metaanalyse [6] wurde ein Zusammenhang zwischen der langfristigen NO_2 -Exposition und der Gesamtsterblichkeit (mit Ausnahme von Unfällen) sowie der Sterblichkeit nach verschiedenen Ursachen nachgewiesen, und zwar bereits ab den niedrigsten Werten, wobei bei niedrigeren Konzentrationen Anzeichen für einen steileren Anstieg des Risikos festgestellt wurden. Ähnlich wie bei dem Schwebstaub wurde daher der Ausgangswert für die Festlegung des Richtwerts auf das 5. Perzentil der gemäß den verwendeten zugrunde liegenden Studien gemessenen Werte festgelegt, deren Durchschnitt bei $8,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ liegt. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Analyse wurde dann ein Richtwert in Höhe von $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ festgelegt.

Der zuvor gemäß [5] geltende Richtwert von $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ wurde zum ersten Zwischenziel, und um die Lücke zwischen diesem Wert und dem Richtwert zu schließen, wurden zwei weitere Zwischenziele in Höhe von 30 und $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ festgelegt.

Was die kurzfristige Exposition gegenüber NO_2 betrifft, so gibt die WHO für stündliche Konzentrationen an, dass die Empfehlung gemäß der vorherigen Richtlinie [5] weiterhin gültig ist, die einen Richtwert von $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ festlegt. Unterhalb dieses Wertes wurden keine Auswirkungen einer kurzfristigen NO_2 -Exposition nachgewiesen; die meisten Studien weisen zudem darauf hin, dass gesundheitliche Auswirkungen erst bei Werten über $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auftreten. Bei höheren Konzentrationen hingegen können die Auswirkungen als nachgewiesen angesehen werden.

Die aktuelle Richtlinie [6] befasst sich dann ausführlich mit der Problematik der 24-Stunden-Konzentrationen von NO_2 , wobei sie erneut einen hinreichend nachgewiesenen Zusammenhang mit der Gesamtsterblichkeit auch bei sehr niedrigen Expositionswerten feststellt. Der Richtwert für die 24-Stunden-Konzentrationen von NO_2 wurde dann, ähnlich wie im Fall des Schwebstaubs, unter Berücksichtigung des Verhältnisses zwischen den 24-Stunden- und den Jahreswerten abgeleitet und beträgt $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Die derzeit in der Tschechischen Republik geltenden Immissionsgrenzwerte sind auf $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ für die durchschnittlichen Jahreskonzentrationen und auf $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ für die Stundenkonzentrationen festgelegt (mit einer zulässigen Anzahl von 18 Überschreitungen pro Jahr).

Ab dem Jahr 2030 sollen neue Immissionsgrenzwerte in Kraft treten, die bei den Jahreskonzentrationen $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bei den Tageskonzentrationen $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mit einer zulässigen Anzahl von 18 Überschreitungen pro Jahr) und bei den

Stundenkonzentrationen $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mit einer zulässigen Anzahl von 3 Überschreitungen pro Jahr) betragen.

Das Projekt HRAPIE-2 [8] gibt darüber hinaus die folgenden Werte für das relative Risiko der einzelnen Auswirkungen einer langfristigen NO_2 -Exposition an. Die Charakteristik der Werte und der verwendeten Datenquelle ist im vorangegangenen Kapitel beschrieben.

Tab. 3. Konzentrations-Wirkungs-Faktoren – Stickstoffdioxid [8]

Immissionsgröße	Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Gruppe	RR bei einer Erhöhung der Konzentration um $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
NO_2 Jahresdurchschnitt	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	A	1,050 (1,030–1,070)
NO_2 Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	A	1,050 (1,030–1,070)
NO_2 Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	A	1,040 (1,020–1,060)
NO_2 Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Infektionen der unteren Atemwege	≥ 25 Jahre	A	1,080 (1,040–1,120)
NO_2 Jahresdurchschnitt	Erkrankungsrate – Asthma bei Kindern	0–18 Jahre	A	1,100 (1,050–1,180)
NO_2 Jahresdurchschnitt	Erkrankungsrate – Asthma bei Erwachsenen	≥ 19 Jahre	A	1,100 (1,010–1,210)
NO_2 Jahresdurchschnitt	Erkrankungshäufigkeit – Infektionen der unteren Atemwege bei Kindern	0–12 Jahre	A	1,090 (1,030–1,160)
NO_2 Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	B+	1,05 (1,0300–1,0800)
NO_2 Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	B+	1,05 (1,0300–1,0800)
NO_2 Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	B+	1,07 (1,04–1,10)
NO_2 Tagesdurchschnitt**	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	Gesamtbevölkerung	A	1,0046 (1,0036–1,0057)
NO_2 Tagesdurchschnitt**	Erkrankungsrate – Erkrankungen der Atemwege	Gesamtbevölkerung	A	1,0057 (1,0033–1,0082)

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

**) Werte, die auf Tagesdurchschnitten basieren, werden ausschließlich zur Bestimmung der Auswirkungen kurzfristiger Einflüsse während der Dauer der Bauarbeiten herangezogen.

4.1.3. Wechselwirkung von Schwebstaub PM_{2,5} und NO₂

Um die Auswirkungen des Baus und des Betriebs des Vorhabens auf die Gesundheit der Bevölkerung zu bewerten, ist es unerlässlich, die Wechselwirkung zwischen PM_{2,5}-Partikeln und NO₂ zu untersuchen. In der realen Umgebung, insbesondere an Standorten, die vom Straßenverkehr und Emissionen aus Verbrennungsprozessen betroffen sind, sind die Bewohner nämlich nicht isoliert einzelnen Schadstoffen ausgesetzt.

Die Quantifizierung dieses kombinierten Effekts stellt einen wesentlichen Schritt im Prozess der Gesundheitsrisikobewertung dar. Da PM_{2,5}-Partikel und NO₂ weitgehend dieselben Emissionsquellen haben (z. B. Abgase), korrelieren ihre Konzentrationen in der Luft sehr stark miteinander.

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erwähnt, wirkt NO₂ in den Atemwegen als starkes Oxidationsmittel, was zu einer Verringerung der Infektionsresistenz des Lungengewebes führt. In das geschwächte Atmungssystem dringen folglich gerade PM_{2,5}-Partikel leichter und in größerer Menge ein. Dieser Zustand führt zu einer höheren Sterblichkeit, insbesondere infolge von Atemwegserkrankungen [10].

Um die methodische Korrektheit zu gewährleisten, müssen laut dem Bericht des HRAPIE-2-Projekts [8] bei der Bewertung die folgenden Grundsätze beachtet werden:

- Um eine Doppelzählung der Auswirkungen stark korrelierender Schadstoffe zu vermeiden, dürfen bei der Berechnung der gesamten gesundheitlichen Auswirkungen die einzelnen Werte für PM_{2,5} und NO₂ nicht einfach addiert werden.
- Die gesundheitlichen Auswirkungen von PM_{2,5} und NO₂ müssen getrennt dargestellt werden.
- Zur Ermittlung des kumulativen Werts müssen angepasste RR-Werte verwendet werden, die die Korrelation beider Stoffe widerspiegeln.

Die angepassten RR-Werte zur Berechnung des kombinierten Effekts von PM_{2,5} und NO₂ sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Bei einem Anstieg der PM_{2,5}-Konzentration um 5 µg·m⁻³ und der NO₂-Konzentration um 20 µg·m⁻³ liegt die geschätzte kombinierte gesundheitliche Auswirkung um etwa 30,3 % unter der Summe der Einzelstoffmodelle.

Tab. 4. Kombinierte Wirkung von PM_{2,5} und NO₂ – angepasste RR-Werte [8]

Immissionsgröße	Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	RR	Bei einem Anstieg der Konzentration um
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	1,0304	5 µg·m ⁻³
NO ₂ Jahresdurchschnitt	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	1,0762	20 µg·m ⁻³

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

4.1.4. Benzol

Benzol gelangt über Emissionen aus dem Kraftfahrzeugverkehr in die Luft, einerseits als Verbrennungsprodukt und andererseits als Bestandteil der unverbrannten Kraftstoffanteile (in Ottokraftstoff kommt es in einer Menge von ca. 0,5–2,0 % vor, bei Diesellokraftstoff ist der Anteil unerheblich). Die Luft ist die Hauptquelle für die Benzolexposition des Menschen. Es ist jedoch mit erheblichen individuellen Unterschieden aufgrund des Rauchens zu rechnen, was zu einer um ein Vielfaches erhöhten Exposition führen kann.

In hohen Konzentrationen (die jedoch in der Außenluft nicht vorkommen) hat Benzol akute reizende und neurotoxische Wirkungen. In geringen Dosen (die in der Luft vorkommen können) hemmt es bei langfristiger Einwirkung die Bildung von Blutzellen, und es wird auch ein Einfluss auf die Entstehung von Leukämie vermutet. Aus diesem Grund stuften sowohl die US-Umweltschutzbehörde (EPA) als auch die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) Benzol als nachweislich krebserregend für den Menschen ein. Die Weltgesundheitsorganisation gibt für Benzol einen Wert für das Einheitskrebsrisiko (UCR) von $UCR = 6 \times 10^{-6} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$ an. Durch einfache Extrapolation lässt sich dann das Ausmaß des karzinogenen Risikos in Abhängigkeit von der Konzentration dieses Stoffes in der Außenluft bestimmen:

Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Leukämie	Konzentration
10^{-5} (1 zu 100 000)	1,6 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
10^{-6} (1 zu 1 000 000)	0,16 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$

Der derzeit in der Tschechischen Republik geltende Immissionsgrenzwert ist auf eine durchschnittliche Jahreskonzentration von 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ festgelegt, was einem karzinogenen Risiko bei einer lebenslangen Exposition in Höhe von 3×10^{-5} entspricht. Ab dem Jahr 2030 sollen neue Immissionsgrenzwerte in Kraft treten, wobei der Grenzwert für Benzol bei 3,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen wird, was einem karzinogenen Risiko bei lebenslanger Exposition von $2,04 \times 10^{-5}$ entspricht.

4.1.5. Benzo[a]pyren

Die Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) umfasst mehrere hundert Verbindungen, die vor allem bei der unvollständigen Verbrennung organischer Stoffe entstehen. Die wichtigsten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sind Mutagenität und Karzinogenität, während systemische toxische Wirkungen wahrscheinlich gering sind (an Tieren getestet). Bei einer Reihe von PAK

mit höherem Siedepunkt gelten die mutagene und karzinogene Wirkung als nachgewiesen, wobei Benzo[a]pyren zu den Verbindungen gehört, bei denen die stärkste Karzinogenität festgestellt wurde.

Benzo[a]pyren wird laut IARC in Gruppe 1 als nachweislich krebserregend für den Menschen eingestuft. Aufgrund seiner Karzinogenität kann kein sicherer Grenzwert festgelegt werden. Die WHO [5] legt einen Richtwert für das karzinogene Einheitsrisiko von B[a]P in Höhe von $8,7 \times 10^{-2} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$ fest.

Die Gruppe der PAK hat im Allgemeinen auch nicht-karzinogene Wirkungen, verursacht Reizungen der Augen und der Haut, toxische Schädigungen der Nieren und der Leber, Hämatotoxizität, Immunsuppression, Reproduktionstoxizität und Genotoxizität. Für das Risiko nichtkarzinogener Wirkungen bei inhalativer Exposition gibt die US-Umweltschutzbehörde (US EPA) eine Referenzkonzentration (RfC^{24}) in Höhe von $2 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ an, die unter Verwendung eines hohen Unsicherheitsfaktors aus einer Studie zur Entwicklungstoxizität bei Ratten abgeleitet wurde [22].

Der derzeit in der Tschechischen Republik geltende Immissionsgrenzwert ist auf eine durchschnittliche Jahreskonzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgelegt, was einem karzinogenen Risiko bei einer lebenslangen Exposition in Höhe von $8,7 \times 10^{-5}$ entspricht. Ab dem Jahr 2030 sollen neue Immissionsgrenzwerte in Kraft treten, wobei der Immissionsgrenzwert für Benzo[a]pyren auf dem gleichen Niveau beibehalten wird.

4.2. Bewertung der Exposition und Charakterisierung des Risikos

In der zugrunde liegenden Ausbreitungsstudie [1] werden die Werte des Beitrags der untersuchten Quellen zur Gesamtimmisionsbelastung berechnet. Auf der Grundlage einer Vektorebene der Bebauung und von Daten aus dem Kataster wurde den einzelnen Zonen der Immissionsbelastung die entsprechende Einwohnerzahl zugeordnet.

Im folgenden Text werden dann die zu erwartenden Auswirkungen dieser Immissionsbelastung auf die Gesundheit der betroffenen Bevölkerung quantifiziert. Bei der Bewertung der Auswirkungen der Exposition gegenüber Schwebstaub und Stickstoffdioxid auf der Grundlage der relativen Risikowerte gemäß dem Projekt HRAPIE-2 [8] erfolgt die Auswertung gemäß AN 17/15 [2] mittels der Methode zur Berechnung der attributiven Fraktion, deren Ergebnis die Anzahl der von der jeweiligen Auswirkung betroffenen Personen in der exponierten Bevölkerung ist. Eine Beschreibung der Berechnung findet sich beispielsweise in der Methodik des COŽP UK zur Bewertung der gesamtgesellschaftlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung [3] oder in der im Rahmen der WHO entstandenen Veröffentlichung von B. Ostra [11]. Die

Anzahl der von einer bestimmten Auswirkung betroffenen Personen ergibt sich für Stoffe mit einer Wirkung ohne Schwellenwert aus folgender Beziehung:

$$\text{IMP} = \text{EXP} \times \text{AGF} \times \text{RGF} \times \text{BGR} \times [1 - (1/\text{RR})^C],$$

wo

- wobei IMP die erwartete (attributive) Anzahl der Fälle infolge der Luftverschmutzung in einem bestimmten Zeitraum ist (z. B. die Anzahl der Personen, die aufgrund einer bestimmten Schadstoffkonzentration verstorben sind, die Anzahl der Bronchitis-Fälle, die Anzahl der Krankenhausaufenthalte usw.),
- C die Schadstoffkonzentration in $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ist,
- EXP die exponierte Bevölkerung (Anzahl der Personen) ist,
- AGF der Anteil der betroffenen Altersgruppe an der Gesamtbevölkerung ist,
- RGF der Anteil der gegebenenfalls betroffenen Risikogruppe (sofern berücksichtigt), wie z. B. Asthmatiker, innerhalb der jeweiligen Altersgruppe der Bevölkerung ist,
- BGR die Inzidenzrate der resultierenden Auswirkung in der Bevölkerung (Sterblichkeit oder Krankheitsinzidenz) pro Person ist,
- RR das relative Risiko bei einem Anstieg der Konzentration um $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ist.

Wie aus den Tabellen 5 und 6 ersichtlich ist, dient in einigen Fällen der Tagesdurchschnitt (d. h. nicht der Jahresdurchschnitt) der Konzentrationen als Eingabewert für die Berechnung. Die Berechnung des IMP in diesen Fällen wird in Kapitel 4.3 näher erläutert. Die AGF- und BGR-Werte wurden auf der Grundlage von Daten des Tschechischen Statistikamtes (ČSÚ), des Instituts für Gesundheitsinformationen und -statistik der Tschechischen Republik (ÚZIS) und des Gesundheitsministeriums der Tschechischen Republik als Durchschnitt für die Jahre 2020–2024 berechnet [12, 13, 14, 15, 16]. Angesichts der begrenzten Datenverfügbarkeit, der notwendigen methodischen Kompromisse und der Besonderheiten des Modells wurde das Berechnungsverfahren in den folgenden Fällen angepasst:

- Bei bösartigen Neubildungen der Luftröhre und der Lunge wurden für die Berechnung ausschließlich Daten aus dem Zeitraum 2020–2023 herangezogen.
- Die Daten des ÚZIS ČR ermöglichten keine Aufschlüsselung der Informationen zur Inzidenz verschiedener Diabetes-Typen in der Kinderpopulation. Da Typ-2-Diabetes bei Kindern nur einen Anteil von wenigen Prozent der neuen Fälle von Diabetes mellitus ausmacht, wurde die Gesamtzahl dieser Fälle mit dem Koeffizienten 0,05 multipliziert [17, 18].
- Daten zur Inzidenz von Demenz lagen nur für die Bevölkerung im Alter von 50 Jahren und älter vor, die RR-Werte im HRAPIE-2-Projekt [8] wurden jedoch auf der Grundlage der Auswirkungen auf die Bevölkerung im Alter von 19 Jahren und älter ermittelt. Das Auftreten von Demenzfällen vor dem 50. Lebensjahr ist jedoch völlig marginal [19]. Die

erhaltenen Daten wurden daher auf die Bevölkerung im Alter von 19 Jahren und älter bezogen.

- Als Eingabewerte für die Berechnung des Indikators „verpasste Schultage“ wurden Daten der Organisation PAQ Research zu den versäumten Unterrichtsstunden pro Schüler für die Jahre 2017–2023 in den einzelnen Regionen Tschechiens herangezogen [20]. Die ermittelten Werte wurden anschließend auf der Grundlage der Angaben zur wöchentlichen Stundenzahl aus dem Rahmenlehrplan für die Grundschulbildung des Ministeriums für Bildung, Jugend und Sport (MŠMT) [21] in Tage umgerechnet.
- Bei der Bewertung von COPD und Bluthochdruck wurde nach Rücksprache mit dem ÚZIS ČR eine eingeschränkte Auswahl von Diagnosen gemäß dem ICD-10-Code (J44 und I10) anstelle des breiteren, von der HRAPIE-2-Methodik [8] empfohlenen Intervalls (J41–J44 und I10–I11) angewendet. Dieser Ansatz spiegelt die offiziellen Definitionen wider, die vom ÚZIS ČR und den medizinischen Fachgesellschaften für die Datenmeldung in der tschechischen klinischen Praxis festgelegt wurden. Dadurch wird das Risiko einer Beeinflussung der Ergebnisse verringert, zu der die Verwendung irrelevanter Daten führen könnte.
- Auf der Grundlage einer Rücksprache mit dem ÚZIS ČR wurde der Indikator für Autismus-Spektrum-Störungen bei Kindern nicht in die Bewertung der Gesundheitsrisiken einbezogen. Der Grund dafür sind Unstimmigkeiten bei der primären Erfassung der Inzidenz dieser Diagnose im Rahmen des tschechischen Gesundheitssystems. Zudem gehört dieser Indikator in die Kategorie B+, die im Vergleich zur Gruppe A durch ein höheres Maß an Unsicherheit hinsichtlich der Genauigkeit der zur Quantifizierung der Auswirkungen verwendeten Daten gekennzeichnet ist. Die Einbeziehung der genannten Daten könnte zu einer erheblichen Verzerrung der Ergebnisse führen.

Die Ausgangswerte für die Quantifizierung der einzelnen Auswirkungen der Immissionsbelastung sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Die Angaben leiten sich aus den oben beschriebenen statistischen Daten für die Region Südböhmen ab.

Tab. 5. Eingabedaten für die Quantifizierung der Auswirkungen der Luftverschmutzung – PM [8, 12–16]

Immissionsgröße	Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Gruppe	AGF (%)	BGR
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0138
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0051
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – zerebrovaskuläre Erkrankungen	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0007
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0018
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0013
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0005
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Infektionen der unteren Atemwege	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0006
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0007
PM ₁₀ Jahresdurchschnitt	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0138
PM ₁₀ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0051
PM ₁₀ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0013
PM ₁₀ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – maligne Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0007
PM ₁₀ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	B+	74,5	0,0018
PM ₁₀ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	B+	74,5	0,0005
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankungsrate – Asthma bei Kindern	0–18 Jahre	A	19,9	0,0065
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankungsrate – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 30 Jahre	A	69,2	0,0036
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankungsrate – ischämische Herzkrankheit (Myokardinfarkt)	≥ 30 Jahre	A	69,2	0,0022
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankungshäufigkeit – Schlaganfall	≥ 30 Jahre	A	69,2	0,0029
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankung – Bluthochdruck	≥ 30 Jahre	A	69,2	0,0202
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankung – bösartige Neubildung der Bronchien und der Lunge	≥ 30 Jahre	A	69,2	0,0009

PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankungsrate – Typ-2-Diabetes	0–18 Jahre	B+	19,9	0,00005
PM _{2,5} Jahresdurchschnitt	Erkrankungsrate – Demenz	≥ 19 Jahre	B+	80,1	0,0045
PM _{2,5} Tagesdurchschnitt	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	Insgesamt	A	100,0	0,0103
PM _{2,5} Tagesdurchschnitt	Erkrankungsrate – Erkrankungen des Kreislaufsystems	Insgesamt	A	100,0	0,0223
PM ₁₀ Tagesdurchschnitt	Ausfalltage im Schulbesuch	5–14 Jahre	B+	10,7	16,8110

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

Tab. 6. Eingabedaten für die Quantifizierung der Auswirkungen der Luftverschmutzung – NO₂ [8, 12–16]

Immission sgröße	Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Gruppe	AGF (%)	BGR
NO ₂ Jahresdurchschnitt	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0138
NO ₂ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0013
NO ₂ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0005
NO ₂ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Infektionen der unteren Atemwege	≥ 25 Jahre	A	74,5	0,0006
NO ₂ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	B+	74,5	0,0051
NO ₂ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	B+	74,5	0,0018
NO ₂ Jahresdurchschnitt	Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	B+	74,5	0,0007
NO ₂ Jahresdurchschnitt	Erkrankungsrate – Asthma bei Kindern	0–18 Jahre	A	19,9	0,0065
NO ₂ Jahresdurchschnitt	Erkrankungshäufigkeit – Asthma bei Erwachsenen	≥ 19 Jahre	A	80,1	0,0046
NO ₂ Jahresdurchschnitt	Erkrankungshäufigkeit – Infektionen der unteren Atemwege bei Kindern	0–12 Jahre	A	13,6	0,0319
NO ₂ Tagesmittelwert	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	Insgesamt	A	100,0	0,0103

NO ₂ Tagesmittel wert	Erkrankungsrate – Erkrankungen der Atemwege	Insgesamt	A	100,0	0,0133
--	--	-----------	---	-------	--------

^{*)} Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

Bei Benzol und Benzo[a]pyren erfolgt die Auswertung analog, mit dem Unterschied, dass die Werte für AGF, RGF und BGR gleich eins sind (der Effekt betrifft immer die gesamte betroffene Bevölkerung) und die resultierende Auswirkung in Form der Einwohnerzahl pro 1 neuem Fall des Auftretens des jeweiligen Effekts quantifiziert wird.

Die folgende Tabelle gibt die Bandbreite der Fünfjahres-Durchschnittswerte der Konzentrationen gemäß den Daten des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts (ČHMÚ) in Gebieten mit Wohnbebauung auf dem von den Modellberechnungen abgedeckten Gebiet an. Es handelt sich um Werte aus 78 Rastern.

Tab. 7. Wertebereich der Hintergrundbelastung auf der Grundlage von Fünfjahresdurchschnitten gemäß den Daten des ČHMÚ (2020–2024)

	IH _r PM ₁₀	IH _r PM _{2,5}	IH _r NO ₂	IH _r BZN	IH _r B[a]P
	μg.m ⁻³				ng.m ⁻³
Minimum	11,3	7,9	4,7	0,5	0,2
Durchschnittswert	12,8	9,0	5,8	0,6	0,3
Maximum	15,3	10,8	11,3	0,8	0,6

IH_r: durchschnittliche Jahreskonzentrationen

Zur quantitativen Bewertung der Auswirkungen der Immissionsbelastung wurde im folgenden Teil der Studie für jeden Schadstoff der höchste Wert aus den Fünfjahresdurchschnitten herangezogen; es handelt sich somit um eine Bewertung auf der sicheren Seite.

4.2.1. Schwebstaub

Das Auftreten erhöhter Konzentrationen von Schwebstaub in der Luft wird allgemein mit dem Auftreten von Atemwegserkrankungen, Lungenkrebs, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und bei der Fraktion PM_{2,5} auch mit Schlaganfällen in Verbindung gebracht.

Für die chronische Exposition gibt die WHO [6] einen Richtwert für die durchschnittliche Jahreskonzentration von PM_{2,5} in Höhe von 5 μg.m⁻³ und für PM₁₀ in Höhe von 15 μg.m⁻³ an.

Die Tabellen 8–10 geben die Einwohnerzahlen in den einzelnen Zonen der Immissionsbelastung durch PM_{2,5}-Schwebstaub an, die Tabellen 11–13 geben die Einwohnerzahlen in den Zonen der Grenzwerte für PM_{2,5}-Schwebstaub an.

Die Tabellen 14–16 geben die Einwohnerzahlen in den einzelnen Zonen der Immissionsbelastung durch Schwebstaub PM₁₀ an, die Tabellen 17–19 geben die Einwohnerzahlen in den Zonen der Abweichungswerte für Schwebstaub PM₁₀ an.

Wie aus der Bewertung der Gesamtbelastungssituation hervorgeht, liegen die Konzentrationen des Schwebstaubs PM_{2,5} im gesamten Berechnungsgebiet über der Grenze des Richtwerts der WHO (in Wohngebieten erreichen sie das dritte und vierte Etappenziel). Bei dem Schwebstaub PM₁₀ liegen die Konzentrationen im Großteil des Berechnungsgebiets unter dem WHO-Richtwert; lediglich lokal wurden etwas höhere Konzentrationen (auf dem Niveau des vierten Etappenziels) verzeichnet.

Wie oben erwähnt, wurde zur Ermittlung der Einwohnerzahl in den einzelnen Zonen der Immissionsbelastung und zur anschließenden Quantifizierung der Auswirkungen der Immissionsbelastung einheitlich für das gesamte Berechnungsgebiet der höchste gemessene Wert der Fünfjahresmittelwerte im untersuchten Gebiet herangezogen. Aus dieser Perspektive können die Gesamtwerte der Immissionsbelastung im Großteil des Berechnungsgebiets als überbewertet angesehen werden; die Veränderung des Auftretens von Auswirkungen im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber Luftverschmutzung aufgrund des Vorhabens entspricht jedoch den tatsächlichen Veränderungen der Immissionsbelastung gemäß den Ergebnissen der durchgeführten Modellberechnungen.

Tab. 8. Einwohnerzahlen in den Zonen der Immissionsbelastung I_{Hr} PM_{2,5} (Stand 1 – Jahr 2034)

Zone der Immissionsbelastung I _{Hr} PM _{2,5} (µg·m ⁻³)	Anteil am Richtwert	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 10,85	< 2,17	11 159	5 197
10,85–10,90	2,17–2,18	1 447	5 413
10,90–10,95	2,18–2,19	44	718
10,95–11,00	2,19–2,20	0	834
11,00–11,10	2,20–2,22	0	348
11,10–11,20	2,22–2,24	0	131
11,20–11,40	2,24–2,28	0	7
> 11,40	> 2,28	0	2
Insgesamt		12 650	12 650

* Der Wert der Hintergrundbelastung wurde mit 10,8 µg·m⁻³ angenommen

Tab. 9. Einwohnerzahlen in den Zonen der Immissionsbelastung $I_{Hr} PM_{2,5}$ (Stand 2 – Jahr 2040)

Zone der Immissionsbelastung $I_{Hr} PM_{2,5}$ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	Anteil am Richtwert	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 10,85	< 2,17	7 846	7 834
10,85–10,90	2,17–2,18	3 356	3 364
10,90–10,95	2,18–2,19	771	773
10,95–11,00	2,19–2,20	643	645
11,00–11,05	2,20–2,21	22	22
> 11,05	> 2,21	12	12
Insgesamt		12 650	12 650

* Der Wert der Hintergrundbelastung wurde mit $10,8 \mu g \cdot m^{-3}$ angenommen

Tab. 10. Einwohnerzahlen in den Zonen der Immissionsbelastung $I_{Hr} PM_{2,5}$ (Stand 3 – Jahr 2042)

Zone der Immissionsbelastung $I_{Hr} PM_{2,5}$ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	Anteil am Richtwert	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 10,81	< 2,162	6806	6206
10,81–10,82	2,162–2,164	5370	5910
10,82–10,83	2,164–2,166	434	485
> 10,83	> 2,166	40	49
Insgesamt		12 650	12 650

* Der Wert der Hintergrundbelastung wurde mit $10,8 \mu g \cdot m^{-3}$ angenommen

Tab. 11. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung $I_{Hr} PM_{2,5}$ (Stand 1 – Jahr 2034)

Veränderung der $I_{Hr} PM_{2,5}$ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	Differenz
< 0,10	11 881
0,10–0,20	550
0,20–0,30	190
0,30–0,40	27
0,40–0,60	0
> 0,60	2

Tab. 12. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung $I_{Hr} PM_{2,5}$ (Stand 2 – Jahr 2040)

Veränderung der $I_{Hr} PM_{2,5}$ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	Differenz
< 0,001	12 474

0,001–0,002	159
0,002–0,003	14
> 0,003	3

Tab. 13. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung $IH_r PM_{2,5}$ (Stand 3 – Jahr 2042)

Veränderung der $IH_r PM_{2,5}$ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	Differenz
< 0,001	9 513
0,001–0,002	2 906
0,002–0,003	180
0,003–0,004	34
> 0,004	17

Tab. 14. Einwohnerzahlen in den Zonen der Immissionsbelastung $IH_r PM_{10}$ (Stand 1 – Jahr 2034)

Zone der Immissionsbelastung $IH_r PM_{10}$ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	Anteil am Richtwert	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 15,5	< 1,033	11 137	1 781
15,5–15,7	1,033–1,047	1 452	7 363
15,7–15,9	1,047–1,060	61	1 833
15,9–16,1	1,060–1,073	0	803
16,1–16,3	1,073–1,087	0	277
16,3–16,8	1,087–1,120	0	414
16,8–17,3	1,120–1,153	0	172
17,3–19,3	1,153–1,287	0	5
> 19,3	> 1,287	0	2
Insgesamt		12 650	12 650

* Der Wert der Hintergrundbelastung wurde mit $15,3 \mu g \cdot m^{-3}$ angenommen

Tab. 15. Einwohnerzahlen in den Zonen der Immissionsbelastung $IH_r PM_{10}$ (Stand 2 – Jahr 2040)

Zone der Immissionsbelastung $IH_r PM_{10}$ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	Anteil am Richtwert	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 15,50	< 1,03	7 930	7 923
15,50–15,70	1,03–1,05	3 292	3 297
15,70–15,90	1,05–1,06	746	747
15,90–16,10	1,06–1,07	639	640
16,10–16,30	1,07–1,09	31	31
> 16,30	> 1,09	12	12

Insgesamt	12 650	12 650
------------------	---------------	---------------

* Der Wert der Hintergrundbelastung wurde mit $15,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ angenommen

Tab. 16. Einwohnerzahlen in den Zonen der Immissionsbelastung IHR PM_{10} (Stand 3 – Jahr 2042)

Zone der Immissionsbelastung IHR PM_{10} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Anteil am Richtwert	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 15,35	< 1,023	8 571	7 357
15,35–15,40	1,023–1,027	3 892	5 034
15,40–15,45	1,027–1,030	158	228
15,45–15,50	1,030–1,033	29	31
> 15,50	> 1,033	0	0
Insgesamt		12 650	12 650

* Der Wert der Hintergrundbelastung wurde mit $15,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ angenommen

Tab. 17. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung IHR PM_{10} (Stand 1 – Jahr 2034)

Veränderung der IHR PM_{10} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Differenz
< 0,20	5 992
0,20–0,50	5 862
0,50–1,00	462
1,00–1,50	280
1,50–2,00	52
2,00–4,00	0
> 4,00	2

Tab. 18. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung IHR PM_{10} (Stand 2 – Jahr 2040)

Veränderung der IHR PM_{10} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Differenz
< 0,005	12 650

Tab. 19. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung $\text{PM}_r \text{PM}_{10}$ (Stand 3 – Jahr 2042)

Veränderung der IHR PM_{10} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Differenz
< 0,000	53
0,000–0,005	11 770

0,005–0,010	794
0,010–0,015	30
> 0,015	3

In den Tabellen 20–25 ist dann die Quantifizierung des Auftretens von gesundheitlichen Auswirkungen aufgeführt, die im Projekt HRAPIE-2 [8] definiert wurden (siehe Tab. 1 und 2) und auf der Grundlage des in der Einleitung zu Kapitel 4.2 beschriebenen Verfahrens berechnet wurden. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Werte für die einzelnen Zustände lediglich den Einfluss der Immissionsbelastung an sich und nicht das Gesamtauftreten der jeweiligen gesundheitlichen Auswirkung darstellen.

Tab. 20. Bewertung der Veränderungen des Gesundheitsrisikos in Wohngebieten aufgrund von Veränderungen in der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub PM_{2,5} (Stand 1 – Jahr 2034)

Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Ausgangs- zustand	Stand mit dem Vorhaben	Differenz
natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	12,7640	12,8097	0,0457
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	5,9814	6,0024	0,0210
Sterblichkeit bei Erwachsenen – zerebrovaskuläre Erkrankungen	≥ 25 Jahre	0,9116	0,9147	0,0031
Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	2,3052	2,3132	0,0080
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	1,5764	1,5819	0,0055
Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	0,5684	0,5704	0,0020
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Infektionen der unteren Atemwege	≥ 25 Jahre	1,0816	1,0853	0,0037
Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	0,5556	0,5576	0,0020
Erkrankungsrate – Asthma bei Kindern	0–18 Jahre	4,4275	4,4416	0,0141
Erkrankungsrate – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 30 Jahre	5,1033	5,1208	0,0175
Erkrankungsrate – ischämische Herzkrankheit (Myokardinfarkt)	≥ 30 Jahre	2,3355	2,3437	0,0082
Erkrankungshäufigkeit – Schlaganfall	≥ 30 Jahre	3,8112	3,8244	0,0132
Erkrankung – Bluthochdruck	≥ 30 Jahre	27,6132	27,7085	0,0953
Erkrankung – bösartige Neubildung der Bronchien und der Lunge	≥ 30 Jahre	1,1784	1,1825	0,0041
Erkrankungsrate – Typ-2-Diabetes	0–18 Jahre	0,0115	0,0116	0,0001
Erkrankungsrate – Demenz	≥ 19 Jahre	7,0620	7,0864	0,0244

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00-R99.

**Tab. 21. Bewertung der Veränderungen des Gesundheitsrisikos in Wohngebieten
aufgrund von Veränderungen der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub
PM_{2,5} (Stand 2 – Jahr 2040)**

Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Ausgangs- zustand	Stand mit dem Vorhaben	Differenz
natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	12,78807	12,78815	0,00008
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	5,99248	5,99252	0,00004
Sterblichkeit bei Erwachsenen – zerebrovaskuläre Erkrankungen	≥ 25 Jahre	0,91324	0,91324	0,00001
Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	2,30941	2,30943	0,00001
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	1,57933	1,57934	0,00001
Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	0,56945	0,56945	0,00000
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Infektionen der unteren Atemwege	≥ 25 Jahre	1,08351	1,08352	0,00001
Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	0,55669	0,55669	0,00000
Erkrankungsrate – Asthma bei Kindern	0–18 Jahre	4,43494	4,43496	0,00002
Erkrankungsrate – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 30 Jahre	5,11251	5,11254	0,00003
Erkrankungsrate – ischämische Herzkrankheit (Myokardinfarkt)	≥ 30 Jahre	2,33980	2,33981	0,00001
Erkrankungshäufigkeit – Schlaganfall	≥ 30 Jahre	3,81818	3,81820	0,00002
Erkrankung – Bluthochdruck	≥ 30 Jahre	27,66344	27,66361	0,00017
Erkrankung – bösartige Neubildung der Bronchien und der Lunge	≥ 30 Jahre	1,18054	1,18055	0,00001
Erkrankungsrate – Typ-2-Diabetes	0–18 Jahre	0,01155	0,01155	0,00000
Erkrankungsrate – Demenz	≥ 19 Jahre	7,07482	7,07487	0,00004

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

**Tab. 22. Bewertung der Veränderungen des Gesundheitsrisikos in Wohngebieten
aufgrund von Veränderungen der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub
PM_{2,5} (Stand 3 – Jahr 2042)**

Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Ausgangs- zustand	Stand mit dem Vorhaben	Differenz
natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	12,74049	12,74108	0,00059
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	5,97051	5,97079	0,00027
Sterblichkeit bei Erwachsenen – zerebrovaskuläre Erkrankungen	≥ 25 Jahre	0,90992	0,90996	0,00004
Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	2,30099	2,30109	0,00010
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	1,57357	1,57364	0,00007
Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	0,56737	0,56740	0,00003
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Infektionen der unteren Atemwege	≥ 25 Jahre	1,07967	1,07972	0,00005
Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	0,55461	0,55463	0,00003
Erkrankungsrate – Asthma bei Kindern	0–18 Jahre	4,42017	4,42035	0,00018
Erkrankungsrate – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 30 Jahre	5,09422	5,09444	0,00023
Erkrankungsrate – ischämische Herzkrankheit (Myokardinfarkt)	≥ 30 Jahre	2,33122	2,33133	0,00011
Erkrankungshäufigkeit – Schlaganfall	≥ 30 Jahre	3,80439	3,80456	0,00017
Erkrankung – Bluthochdruck	≥ 30 Jahre	27,56397	27,56521	0,00124
Erkrankung – bösartige Neubildung der Bronchien und der Lunge	≥ 30 Jahre	1,17628	1,17633	0,00005
Erkrankungsrate – Typ-2-Diabetes	0–18 Jahre	0,01151	0,01151	0,00000
Erkrankungsrate – Demenz	≥ 19 Jahre	7,04939	7,04970	0,00032

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

**Tab. 23. Bewertung der Veränderungen des Gesundheitsrisikos in Wohngebieten
aufgrund von Veränderungen der Immissionsbelastung durch de Schwebstaub
PM₁₀ (Stand 1 – Jahr 2034)**

Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Ausgangs- zustand	Stand mit dem Vorhaben	Differenz
natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	14,5670	14,8038	0,2368
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	5,4000	5,4878	0,0878
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	1,9109	1,9411	0,0301
Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	0,8524	0,8661	0,0136
Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	1,4976	1,5223	0,0247
Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	1,1348	1,1515	0,0167

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

**Tab. 24. Bewertung der Veränderungen des Gesundheitsrisikos in Wohngebieten
aufgrund von Veränderungen der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub
PM₁₀ (Stand 2 – Jahr 2040)**

Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Ausgangs- zustand	Stand mit dem Vorhaben	Differenz
natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	14,64158	14,64172	0,00014
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	5,42765	5,42770	0,00005
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	1,92042	1,92044	0,00002
Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	0,85674	0,85675	0,00001
Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	1,50541	1,50543	0,00001
Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	1,14005	1,14006	0,00001

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

**Tab. 25. Bewertung der Veränderungen des Gesundheitsrisikos in Wohngebieten
aufgrund von Veränderungen der Immissionsbelastung durch Schwebstaub
PM₁₀ (Stand 3 – Jahr 2042)**

Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Ausgangs- zustand	Stand mit dem Vorhaben	Differenz
natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	14,4932	14,4978	0,0045

Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	5,3727	5,3743	0,0017
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	1,9015	1,9021	0,0006
Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	0,8482	0,8484	0,0003
Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	1,4899	1,4904	0,0005
Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	1,1296	1,1299	0,0003

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

Wie aus den oben genannten Tabellen hervorgeht, ist aufgrund des bewerteten Vorhabens bei einer Exposition gegenüber Schwebstaub der Fraktionen $PM_{2,5}$ und PM_{10} mit einem leichten Anstieg des Gesundheitsrisikos zu rechnen.

In Zustand 1 (Jahr 2034, erwartete Dauer bis zu 1 Jahr) wurde aufgrund der Exposition gegenüber der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub der Fraktionen $PM_{2,5}$ ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeit bei Erwachsenen im Bereich von Hundertsteln eines neuen Falls sowie ein Anstieg der einzelnen Morbiditätskategorien von höchstens einem Zehntel eines Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet. Aufgrund der Exposition gegenüber der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub der Fraktionen PM_{10} wurde ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeit in der Größenordnung von Zehnteln eines neuen Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet. Der höchste Anstieg der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub der Fraktionen $PM_{2,5}$ in Wohngebieten wurde auf $0,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (betrifft einzelne Einwohner) berechnet; der höchste Anstieg der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub der Fraktionen PM_{10} wurde auf $2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (betrifft höchstens einige Dutzend Einwohner) berechnet; nur ganz lokal (betrifft ein einzelnes Wohngebäude) lag der Wert bei etwa $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Selbst in dem vom Vorhaben am stärksten betroffenen Wohngebiet wurde ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeitsrate und der einzelnen Morbiditätskategorien verzeichnet, der um mehrere Größenordnungen unter einem Fall in der betroffenen Bevölkerung lag.

Im Zustand 2 (Jahr 2040, erwartete Dauer bis zu 1 Jahr) wurde aufgrund der Exposition gegenüber der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub der Fraktionen $PM_{2,5}$ ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeit bei Erwachsenen in der Größenordnung von Hunderttausendstel eines neuen Falls sowie ein Anstieg einzelner Morbiditätskategorien ebenfalls in der Größenordnung von Hunderttausendstel, höchstens etwa ein Zehntausendstel eines Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet. Aufgrund der Exposition gegenüber der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub der Fraktionen PM_{10} wurde ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeit in der Größenordnung von Zehntausendsteln eines neuen Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet. Der höchste Anstieg der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub der Fraktionen $PM_{2,5}$ in Wohngebieten wurde auf etwa $0,003 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (betrifft einzelne bis Dutzende Einwohner) berechnet; der höchste Anstieg der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub der Fraktionen PM_{10} wurde bis $0,005 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ berechnet. Selbst in dem vom Vorhaben am stärksten betroffenen Wohngebiet wurde ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeitsrate und der einzelnen Morbiditätskategorien verzeichnet, der um mehrere Größenordnungen unter einem Fall in der betroffenen Bevölkerung lag.

Im Zustand 3 (Jahr 2042, dauerhafter Zustand) wurde aufgrund der Exposition gegenüber der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub der Fraktionen $PM_{2,5}$ ein

Anstieg der natürlichen Sterblichkeit bei Erwachsenen in der Größenordnung von Zehntausendstel eines neuen Falls sowie ein Anstieg einzelner Morbiditätskategorien ebenfalls in der Größenordnung von Zehntausendsteln eines Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet. Aufgrund der Exposition gegenüber der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub der Fraktionen PM₁₀ wurde ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeit in der Größenordnung von Tausendsteln eines neuen Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet. Der höchste Anstieg der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub der Fraktionen PM_{2,5} in Wohngebieten wurde bis 0,005 µg·m⁻³ (betrifft Dutzende Einwohner) berechnet; der höchste Anstieg der Immissionsbelastung durch den Schwebstaub der Fraktionen PM₁₀ wurde bis 0,020 µg·m⁻³ (betrifft Dutzende Einwohner) berechnet. Selbst in dem vom Vorhaben am stärksten betroffenen Wohngebiet wurde ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeitsrate und der einzelnen Morbiditätskategorien verzeichnet, der um mehrere Größenordnungen unter einem Fall in der betroffenen Bevölkerung lag.

Das bewertete Vorhaben wird daher selbst in dem am stärksten betroffenen Wohngebiet nur zu Veränderungen des Gesundheitsrisikos führen, die im Hinblick auf eine Gesundheitsgefährdung unerheblich sind und durch andere Faktoren wie den Lebensstil (z. B. Rauchen) oder die Exposition gegenüber anderen Verschmutzungsquellen überkompensiert werden.

4.2.2. Stickstoffdioxid

Als chronische Auswirkungen von NO₂ werden am häufigsten strukturelle Lungenveränderungen und eine erhöhte Anfälligkeit für bakterielle und virale Infektionen beschrieben.

Für die chronische Exposition gibt die WHO [6] einen Richtwert für die durchschnittliche jährliche Stickstoffdioxidkonzentration von 10 µg·m⁻³ an.

Die Tabellen 26–28 geben die Einwohnerzahlen in den einzelnen Zonen der Immissionsbelastung durch Stickstoffdioxid an, die Tabellen 29–31 geben die Einwohnerzahlen in den Zonen der Abweichungswerte an.

Wie aus der Bewertung der Gesamtbelastungssituation hervorgeht, liegen die Konzentrationen im Großteil des Berechnungsgebiets unterhalb des WHO-Richtwerts; lediglich lokal wurden leicht höhere Konzentrationen (auf dem Niveau des dritten Etappenziels) verzeichnet.

Wie oben erwähnt, wurde zur Ermittlung der Einwohnerzahl in den einzelnen Zonen der Immissionsbelastung und zur anschließenden Quantifizierung der Auswirkungen der Immissionsbelastung einheitlich für das gesamte Berechnungsgebiet der höchste gemessene Wert der Fünfjahresmittelwerte im untersuchten Gebiet

herangezogen. Aus dieser Perspektive können die Gesamtwerte der Immissionsbelastung im Großteil des Berechnungsgebiets als überbewertet angesehen werden; die Veränderung des Auftretens von Auswirkungen im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber Luftverschmutzung aufgrund des Vorhabens entspricht jedoch den tatsächlichen Veränderungen der Immissionsbelastung gemäß den Ergebnissen der durchgeführten Modellberechnungen.

Tab. 26. Einwohnerzahlen in den Zonen der Immissionsbelastung $IH_r NO_2$ (Stand 1 – Jahr 2034)

Zone der Immissionsbelastung $IH_r NO_2$ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	Anteil am Richtwert	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 11,30	< 1,130	12 442	50
11,30–11,32	1,130–1,132	208	11 135
11,32–11,34	1,132–1,134	0	1 214
11,34–11,36	1,134–1,136	0	242
11,36–11,38	1,136–1,138	0	7
> 11,38	> 1,138	0	2
Insgesamt		12 650	12 650

* Der Wert der Hintergrundbelastung wurde mit $11,3 \mu g \cdot m^{-3}$ angenommen

Tab. 27. Einwohnerzahlen in den Zonen der Immissionsbelastung $IH_r NO_2$ (Stand 2 – Jahr 2040)

Zone der Immissionsbelastung $IH_r NO_2$ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	Anteil am Richtwert	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 11,290	< 1,1290	52	46
11,290–11,295	1,1290–1,1295	525	471
11,295–11,300	1,1295–1,1300	6 917	5 383
11,300–11,305	1,1300–1,1305	4 530	5 440
11,305–11,310	1,1305–1,1310	624	1 173
> 11,310	> 1,1310	2	137
Insgesamt		12 650	12 650

* Der Wert der Hintergrundbelastung wurde mit $11,3 \mu g \cdot m^{-3}$ angenommen

Tab. 28. Einwohnerzahlen in den Zonen der Immissionsbelastung $I_{Hr} NO_2$ (Stand 3 – Jahr 2042)

Zone der Immissionsbelastung $I_{Hr} NO_2$ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	Anteil am Richtwert	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 11,290	< 1,1290	2 757	1 651
11,290–11,295	1,1290–1,1295	5 299	5 674
11,295–11,300	1,1295–1,1300	4 579	5 035
11,300–11,305	1,1300–1,1305	9	283
11,305–11,310	1,1305–1,1310	2	1
11,310–11,315	1,1310–1,1315	2	3
> 11,315	> 1,1315	2	3
Insgesamt		12 650	12 650

* Der Wert der Hintergrundbelastung wurde mit $11,3 \mu g \cdot m^{-3}$ angenommen

Tab. 29. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung $I_{Hr} NO_2$ (Stand 1 – Jahr 2034)

Veränderung der $I_{Hr} NO_2$ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	Differenz
< 0,005	26
0,005–0,010	376
0,010–0,015	5 322
0,015–0,020	4 610
0,020–0,040	2 000
0,040–0,060	281
0,060–0,080	33
> 0,080	2

Tab. 30. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung $I_{Hr} NO_2$ (Stand 2 – Jahr 2040)

Veränderung von $I_{Hr} NO_2$ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	Differenz
< 0,002	11 969
0,002–0,004	599
> 0,004	82

Tab. 31. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung $IH_r NO_2$ (Stand 3 – Jahr 2042)

Veränderung der $IH_r NO_2$ ($\mu g \cdot m^{-3}$)	Differenz
< 0,002	11 152
0,002–0,004	1 410
> 0,004	88

In den Tabellen 32–34 ist dann die Quantifizierung des Auftretens von gesundheitlichen Auswirkungen aufgeführt, die im Projekt HRAPIE-2 [8] definiert wurden (siehe Tab. 2) und auf der Grundlage des in der Einleitung zu Kapitel 4.2 beschriebenen Verfahrens berechnet wurden. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Werte für die einzelnen Zustände lediglich den Einfluss der Immissionsbelastung an sich und nicht das Gesamtauftreten der jeweiligen gesundheitlichen Auswirkung darstellen.

Tab. 32. Bewertung der Veränderungen des Gesundheitsrisikos in Wohngebieten aufgrund von Veränderungen der Immissionsbelastung durch NO_2 (Stand 1 – Jahr 2034)

Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Ausgangs- zustand	Stand mit dem Vorhaben	Differenz
natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	6,9748	6,9882	0,0134
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	0,6386	0,6398	0,0012
Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	0,1861	0,1864	0,0004
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Infektionen der unteren Atemwege	≥ 25 Jahre	0,5023	0,5033	0,0010
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	2,5856	2,5905	0,0050
Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	0,9338	0,9356	0,0018
Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	0,4585	0,4594	0,0009
Erkrankungsrate – Asthma bei Kindern	0–18 Jahre	1,6627	1,6658	0,0031
Erkrankungshäufigkeit – Asthma bei Erwachsenen	≥ 19 Jahre	4,7655	4,7744	0,0089
Erkrankungshäufigkeit – Infektionen der unteren Atemwege bei Kindern	0–12 Jahre	5,0957	5,1053	0,0096

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

**Tab. 33. Bewertung der Veränderungen des Gesundheitsrisikos in Wohngebieten
aufgrund von Veränderungen der Immissionsbelastung durch NO₂ (Stand 2 –
Jahr 2040)**

Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Ausgangs- zustand	Stand mit dem Vorhaben	Differenz
natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	6,9803	6,9809	0,0006
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	0,6391	0,6391	0,0001
Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	0,1862	0,1863	0,0000
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Infektionen der unteren Atemwege	≥ 25 Jahre	0,5027	0,5027	0,0000
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	2,5876	2,5878	0,0002
Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	0,9345	0,9346	0,0001
Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	0,4589	0,4589	0,0000
Erkrankungsrate – Asthma bei Kindern	0–18 Jahre	1,6640	1,6641	0,0001
Erkrankungshäufigkeit – Asthma bei Erwachsenen	≥ 19 Jahre	4,7692	4,7695	0,0004
Erkrankungshäufigkeit – Infektionen der unteren Atemwege bei Kindern	0–12 Jahre	5,0996	5,1001	0,0004

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

**Tab. 34. Bewertung der Veränderungen des Gesundheitsrisikos in Wohngebieten
aufgrund von Veränderungen der Immissionsbelastung durch NO₂ (Stand 3 –
Jahr 2042)**

Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Ausgangs- zustand	Stand mit dem Vorhaben	Differenz
natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	6,9766	6,9771	0,0005
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Atmungssystems (ohne Neoplasien)	≥ 25 Jahre	0,6387	0,6388	0,0000
Sterblichkeit bei Erwachsenen – chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD)	≥ 25 Jahre	0,1861	0,1861	0,0000
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Infektionen der unteren Atemwege	≥ 25 Jahre	0,5024	0,5025	0,0000
Sterblichkeit bei Erwachsenen – Erkrankungen des Kreislaufsystems	≥ 25 Jahre	2,5862	2,5864	0,0002
Sterblichkeit bei Erwachsenen – ischämische Herzkrankheit	≥ 25 Jahre	0,9340	0,9341	0,0001
Sterblichkeit bei Erwachsenen – bösartige Neubildungen der Bronchien und der Lunge	≥ 25 Jahre	0,4587	0,4587	0,0000
Erkrankungsrate – Asthma bei Kindern	0–18 Jahre	1,6631	1,6632	0,0001
Erkrankungshäufigkeit – Asthma bei Erwachsenen	≥ 19 Jahre	4,7666	4,7670	0,0003
Erkrankungshäufigkeit – Infektionen der unteren Atemwege bei Kindern	0–12 Jahre	5,0969	5,0973	0,0004

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

Wie aus den oben genannten Tabellen hervorgeht, ist aufgrund des bewerteten Vorhabens im Falle einer Exposition gegenüber Stickstoffdioxid mit einem leichten Anstieg des Gesundheitsrisikos zu rechnen.

Im Zustand 1 (Jahr 2034, erwartete Dauer bis zu 1 Jahr) wurde aufgrund der Exposition gegenüber der Immissionsbelastung durch Stickstoffdioxid ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeit bei Erwachsenen im Bereich von Hundertsteln eines neuen Falls und ein Anstieg einzelner Morbiditätskategorien im Bereich von Tausendsteln eines Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet. Der höchste Anstieg der Immissionsbelastung durch Stickstoffdioxid in Wohngebieten wurde unterhalb der Grenze von 0,1 µg·m⁻³ (bezogen auf Einwohner) berechnet. Selbst in dem vom Vorhaben am stärksten betroffenen Wohngebiet wurde ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeitsrate und der einzelnen Morbiditätskategorien verzeichnet, der um mehrere Größenordnungen unter einem Fall in der betroffenen Bevölkerung lag.

Im Zustand 2 (Jahr 2040, erwartete Dauer bis zu 1 Jahr) wurde aufgrund der Exposition gegenüber der Immissionsbelastung durch Stickstoffdioxid ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeit bei Erwachsenen im Bereich von Zehntausendsteln eines neuen Falls und ein Anstieg einzelner Morbiditätskategorien auch im Bereich von

Zehntausendsteln eines Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet. Der höchste Anstieg der Immissionsbelastung durch Stickstoffdioxid in Wohngebieten wurde unterhalb der Grenze um $0,005 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (betrifft einige Dutzende Einwohner) berechnet. Selbst in dem vom Vorhaben am stärksten betroffenen Wohngebiet wurde ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeitsrate und der einzelnen Morbiditätskategorien verzeichnet, der um mehrere Größenordnungen unter einem Fall in der betroffenen Bevölkerung lag.

Im Zustand 3 (Jahr 2042, dauerhafter Zustand) wurde aufgrund der Exposition gegenüber der Immissionsbelastung durch Stickstoffdioxid ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeit bei Erwachsenen im Bereich von Zehntausendsteln eines neuen Falls und ein Anstieg einzelner Morbiditätskategorien auch im Bereich von Zehntausendsteln eines Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet. Der höchste Anstieg der Immissionsbelastung durch Stickstoffdioxid in Wohngebieten wurde unterhalb der Grenze um $0,005 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (betrifft einige Dutzende Einwohner) berechnet. Selbst in dem vom Vorhaben am stärksten betroffenen Wohngebiet wurde ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeitsrate und der einzelnen Morbiditätskategorien verzeichnet, der um mehrere Größenordnungen unter einem Fall in der betroffenen Bevölkerung lag.

Das bewertete Vorhaben wird daher selbst in dem am stärksten betroffenen Wohngebiet nur zu Veränderungen des Gesundheitsrisikos führen, die im Hinblick auf eine Gesundheitsgefährdung unerheblich sind und durch andere Faktoren oder die Exposition gegenüber weiteren Verschmutzungsquellen überlagert werden.

Zur Bewertung der akuten NO_2 -Exposition kann als sicherer Grenzwert, unterhalb dessen kein Gesundheitsrisiko entsteht, der von der WHO festgelegte Richtwert für Stundenkonzentrationen in Höhe von $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ herangezogen werden.

Wie aus den Ergebnissen der Ausbreitungsstudie hervorgeht, sind im gesamten Untersuchungsgebiet keine Konzentrationen über dem Richtwert zu erwarten, auch nicht im Auslegungszustand. In keinem Teil des Untersuchungsgebiets ist daher mit gesundheitlichen Auswirkungen infolge einer akuten Exposition gegenüber Stickstoffdioxid zu rechnen.

4.2.3. Wechselwirkung zwischen Schwebstaub $\text{PM}_{2,5}$ und Stickstoffdioxid

Wie bereits in Kapitel 4.1.3 erwähnt, haben $\text{PM}_{2,5}$ und NO_2 weitgehend gemeinsame Emissionsquellen, und die Menschen sind ihren Auswirkungen nicht isoliert ausgesetzt. Um die methodische Korrektheit der Berechnung zu gewährleisten, ist es daher erforderlich, bei der Bestimmung des kumulativen Effekts angepasste RR-Werte zu verwenden, die die Korrelation beider Stoffe widerspiegeln und so das Risiko einer doppelten Berücksichtigung ihrer Auswirkungen begrenzen. Dies wäre bei einer

einfachen Addition der Ergebnisse von Einstoffmodellen der Fall.

Der RR-Wert für die kombinierte Wirkung von PM_{2,5} und NO₂ hängt in hohem Maße von der Konzentration dieser Stoffe in der Luft ab, was durch die folgende Beziehung ausgedrückt wird:

$$RR_{\text{komb}} = (RR_{\text{PM}_{2,5}} \cdot C_{\text{PM}_{2,5}}) \times (RR_{\text{NO}_2} \cdot C_{\text{NO}_2})$$

wo

- RR_{komb} das relative Risiko für die kombinierte Wirkung von PM_{2,5} und NO₂ bei einer Konzentration von C ist,
- $RR_{\text{PM}_{2,5}}$ der angepasste RR-Wert für PM_{2,5} ist, der die kombinierte Wirkung von PM_{2,5} und NO₂ bei einem Anstieg der Konzentration um 1 µg·m⁻³ widerspiegelt,
- RR_{NO_2} der angepasste RR-Wert für NO₂ ist, der die kombinierte Wirkung von PM_{2,5} und NO₂ bei einem Anstieg der Konzentration um 1 µg/m⁻³ widerspiegelt,
- C die Konzentration des jeweiligen Schadstoffs in µg·m⁻³ ist.

Die Tabellen 35–37 geben die Einwohnerzahlen in den einzelnen Zonen des relativen Risikos für die kombinierte Wirkung von PM_{2,5} und NO₂ bei einer Konzentration C an.

Wie oben erwähnt, wurde zur Ermittlung der Einwohnerzahlen in den einzelnen relativen Risikobereichen und zur anschließenden Quantifizierung der Auswirkungen der Immissionsbelastung einheitlich für das gesamte Berechnungsgebiet der höchste gemessene Wert der Fünfjahresmittelwerte im untersuchten Gebiet herangezogen. Aus dieser Perspektive können die Gesamtwerte des relativen Risikos im Großteil des Berechnungsgebiets als überbewertet angesehen werden; die Veränderung des Auftretens von Auswirkungen im Zusammenhang mit der der Exposition gegenüber Luftverschmutzung aufgrund des Vorhabens entspricht jedoch den tatsächlichen Veränderungen der Immissionsbelastung gemäß den Ergebnissen der durchgeführten Modellberechnungen.

Tab. 35. Einwohnerzahlen in den Zonen RR_{komb} (kombinierte Wirkung von PM_{2,5} und NO₂): (Stand 1 – Jahr 2034)

Zone RR_{komb} *	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 1,113	12 650	11 085
1,113–1,114	0	1 365
1,114–1,115	0	192
1,115–1,116	0	6
> 1,116	0	2
Insgesamt	12 650	12 650

*) Es handelt sich um das relative Risiko für die kombinierte Wirkung von PM_{2,5} und NO₂ bei einer Konzentration C (siehe 4.2.3)

Tab. 36. Einwohnerzahlen in den Zonen RR_{komb} (kombinierte Wirkung von $PM_{2,5}$ und NO_2): (Stand 2 – Jahr 2040)

Zone RR_{komb}^*	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 1,1125	9 715	9 708
1,1125–1,1130	2 190	2 199
1,1130–1,1135	733	731
> 1,1135	12	12
Insgesamt	12 650	12 650

*) Es handelt sich um das relative Risiko für die kombinierte Wirkung von $PM_{2,5}$ und NO_2 bei einer Konzentration C (siehe 4.2.3)

Tab. 37. Einwohnerzahlen in den Zonen RR_{komb} (kombinierte Wirkung von $PM_{2,5}$ und NO_2): (Stand 3 – Jahr 2042)

Zone RR_{komb}^*	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 1,1122	12 590	12 581
1,1122–1,1124	41	54
1,1124–1,1126	14	12
1,1126–1,1128	5	0
> 1,1128	0	3
Insgesamt	12 650	12 650

*) Es handelt sich um das relative Risiko für die kombinierte Wirkung von $PM_{2,5}$ und NO_2 bei einer Konzentration C (siehe 4.2.3)

Tabelle 38 enthält eine Quantifizierung des Auftretens einer gesundheitlichen Auswirkung, die im Projekt HRAPIE-2 [8] definiert wurde (siehe Tab. 3) und auf der Grundlage des in der Einleitung zu Kapitel 4.2 beschriebenen Verfahrens berechnet wurde. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Werte für die einzelnen Zustände lediglich den Einfluss der Immissionsbelastung an sich und nicht das Gesamtauftreten der jeweiligen gesundheitlichen Auswirkung darstellen.

Tab. 38. Bewertung der Veränderungen des Gesundheitsrisikos in Wohngebieten aufgrund der gemeinsamen Auswirkung von $PM_{2,5}$ und NO_2 – Zustand 1–3 (Jahr 2034, 2040 und 2042)

Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Stand (Jahr)	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben	Differenz
natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	≥ 25 Jahre	1 (2034)	13,15992	13,17465	0,01474

natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen *	≥ 25 Jahre	2 (2040)	13,14897	13,14899	0,00002
natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen *	≥ 25 Jahre	3 (2042)	13,11798	13,11799	0,00001

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

Wie aus der obigen Tabelle hervorgeht, wurde im Zustand 1 (Jahr 2034, erwartete Dauer bis zu 1 Jahr) ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeit um etwa ein Hundertstel eines Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet; in den Zuständen 2 und 3 (Jahre 2040 und 2042, erwartete Dauer 1 Jahr, bzw. dauerhafter Zustand) wurde ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeit in der Größenordnung von Hunderttausendsteln eines Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet.

4.2.4. Benzol

Benzol ist ein nachgewiesenes Humankarzinogen. Im Rahmen dieser Bewertung wurde der von der WHO festgelegte Einheitsrisikowert in Höhe von $6 \times 10^{-6} (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$ verwendet. Dieser Wert bedeutet, dass eine Benzolkonzentration von $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (bei einer lebenslangen Exposition über einen Zeitraum von 70 Jahren) das Risiko für das Auftreten von Leukämie um 6 Fälle pro 1 Million Personen erhöht. Es gibt also keine sichere Grenze. Die europäische und die tschechische Gesetzgebung beachten diese Tatsachen, wobei zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung ein langfristiger (jährlicher) Grenzwert festgelegt wurde, der eine akzeptable (Referenz-)Grenze für das karzinogene Risiko darstellt. Aufgrund der verfügbaren Unterlagen und in Übereinstimmung mit den Informationen des Staatlichen Gesundheitsinstituts wird empfohlen, höchstzulässige Werte in der Größenordnung von 10^{-6} in Betracht zu ziehen.

Wie aus der Bewertung der Gesamtimmissionssituation hervorgeht, liegen die durchschnittlichen Jahreskonzentrationen im Berechnungsgebiet im Bereich von $0,5\text{--}0,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Dem entspricht ein karzinogenes Risiko von $3,0\text{--}4,8 \times 10^{-6}$. Es handelt sich also um Werte an der Grenze des akzeptablen Risikos.

Die Tabellen 39–41 geben die Einwohnerzahlen in den einzelnen Immissionsbelastungen durch Benzol an, die Tabellen 42–44 geben die Einwohnerzahlen in den Zonen der Abweichungswerte an. Tabelle 45 zeigt dann den Anstieg der Leukämiefälle aufgrund chronischer Benzolbelastung in der gesamten betroffenen Bevölkerung.

Wie oben erwähnt, wurde zur Ermittlung der Einwohnerzahl in den einzelnen Zonen der Immissionsbelastung und zur anschließenden Quantifizierung der Auswirkungen der Immissionsbelastung einheitlich für das gesamte Berechnungsgebiet der höchste gemessene Wert der Fünfjahresmittelwerte im untersuchten Gebiet

herangezogen. Aus dieser Perspektive können die Gesamtwerte der Immissionsbelastung im Großteil des Berechnungsgebiets als überbewertet angesehen werden; die Veränderung des Auftretens von Auswirkungen im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber Luftverschmutzung aufgrund des Vorhabens entspricht jedoch den tatsächlichen Veränderungen der Immissionsbelastung gemäß den Ergebnissen der durchgeführten Modellberechnungen.

Tab. 39. Einwohnerzahlen in den Zonen der Immissionsbelastung durch IHR Benzol (Stand 1 – Jahr 2034)

Immissionsbelastungszone IHR Benzol ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Karzinogenes Risiko ($\times 10^{-6}$)	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 0,801	< 4,806	12 647	11 996
0,801–0,802	4,806–4,812	3	519
0,802–0,803	4,812–4,818	0	90
0,803–0,804	4,818–4,824	0	38
> 0,804	> 4,824	0	7
Insgesamt		12 650	12 650

Tab. 40. Einwohnerzahlen in den Immissionsbelastungszonen IH_r Benzol (Stand 2 – Jahr 2040)

Immissionsbelastungszone IH _r Benzol (μg·m ⁻³)	Karzinogenes Risiko (×10 ⁻⁶)	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 0,801	< 4,806	11 444	11 196
0,801–0,802	4,806–4,812	982	1 049
0,802–0,803	4,812–4,818	224	347
> 0,803	> 4,818	0	58
Insgesamt		12 650	12 650

Tab. 41. Einwohnerzahlen in den Immissionsbelastungszonen IH_r Benzol (Stand 3 – Jahr 2042)

Immissionsbelastungszone IH _r Benzol (μg·m ⁻³)	Karzinogenes Risiko (×10 ⁻⁶)	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 0,801	< 4,806	12 648	12 647
> 0,801	> 4,806	2	3
Insgesamt		12 650	12 650

Tab. 42. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung IH_r Benzol (Stand 1 – Jahr 2034)

Veränderung der IH _r Benzol (μg·m ⁻³)	Differenz
< 0,001	11 966
0,001–0,002	570
0,002–0,003	76
> 0,003	38

Tab. 43. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung IH_r Benzol (Stand 2 – Jahr 2040)

Veränderung der IH _r Benzol (μg·m ⁻³)	Differenz
< 0,001	12 650

Tab. 44. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung IH_r Benzol (Stand 3 – Jahr 2042)

Veränderung der IH _r Benzol (μg·m ⁻³)	Differenz
< 0,001	12 650

Tab. 45. Ausmaß des Anstiegs des Gesundheitsrisikos durch die Exposition gegenüber Benzol (Anstieg der Leukämiefälle in der betroffenen Bevölkerung)

Gesundheitliche Auswirkung	Stand (Jahr)	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben	Differenz
Leukämieinzidenz	1 (2034)	0,00086797	0,00086804	0,00000007
Leukämieinzidenz	2 (2040)	0,00086809	0,00086814	0,00000004
Leukämieinzidenz	3 (2042)	0,06075796	0,06075797	0,00000001

Durch das bewertete Vorhaben kommt es zu einem sehr geringen Anstieg des Gesundheitsrisikos durch chronische Benzolbelastung. Der Anstieg der Leukämiefälle liegt in der Größenordnung von Zehnmillionsteln eines neuen Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung.

Der höchste Anstieg im Wohngebiet wurde im Zustand 1 (Jahr 2034, erwartete Dauer bis zu 1 Jahr) auf $0,004 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ berechnet und betrifft einige Dutzend Einwohner. Dieser Wert entspricht einem Anstieg des Risikos für gesundheitliche Auswirkungen durch chronische Benzolbelastung von höchstens $2,40 \times 10^{-8}$ (1 Fall pro mehr als 41,6 Millionen Einwohner). Angesichts der Anzahl der am stärksten betroffenen Einwohner und der Dauer des Stands 1 (1 Jahr) lässt sich feststellen, dass die berechneten Veränderungen der Gesundheitsrisiken im Sinne einer Gesundheitsgefährdung völlig unbedeutend sind.

4.2.5. Benzo[a]pyren

Zur Bewertung des Risikos durch die B[a]P-Exposition wurde der von der WHO festgelegte Einheitsrisikowert für eine lebenslange Exposition in Höhe von $8,7 \times 10^{-5} (\text{ng}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$ herangezogen. Dieser Wert bedeutet, dass eine Benzo[a]pyren-Konzentration von $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ (bei einer lebenslangen Exposition – über einen Zeitraum von 70 Jahren) das Krebsrisiko um 8,7 Fälle pro 100 000 Personen erhöht. Das höchstzulässige Risiko wird wiederum in der Größenordnung von 10^{-6} angenommen.

Wie aus der Bewertung der Gesamtimmissionssituation hervorgeht, liegen die durchschnittlichen Jahreskonzentrationen im Berechnungsgebiet im Bereich von $0,2\text{--}0,6 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Dem entspricht ein karzinogenes Risiko von $17,4\text{--}52,2 \times 10^{-6}$. Diese Werte liegen bereits über der Grenze des akzeptablen Risikos. Das akzeptable Risikoniveau in der Größenordnung von 10^{-6} würde bei einer Konzentration von $0,1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ oder weniger erreicht, doch dieser Grenzwert wird an allen Messstationen in der Tschechischen Republik überschritten.

Die Tabellen 46–48 geben die Einwohnerzahlen in den einzelnen Immissionsbelastungen durch Benzo[a]pyren an, die Tabellen 49–51 geben die Einwohnerzahlen in den Zonen der Abweichungswerte an. Tabelle 52 zeigt dann den Anstieg der Krebsfälle aufgrund chronischer Exposition gegenüber Benzo[a]pyren in der gesamten betroffenen Bevölkerung.

Wie oben erwähnt, wurde zur Ermittlung der Einwohnerzahl in den einzelnen Zonen der Immissionsbelastung und zur anschließenden Quantifizierung der Auswirkungen der Immissionsbelastung einheitlich für das gesamte Berechnungsgebiet der höchste gemessene Wert der Fünfjahresmittelwerte im untersuchten Gebiet herangezogen. Aus dieser Perspektive können die Gesamtwerte der Immissionsbelastung im Großteil des Berechnungsgebiets als überbewertet angesehen werden; die Veränderung des Auftretens von Auswirkungen im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber Luftverschmutzung aufgrund des Vorhabens entspricht jedoch den tatsächlichen Veränderungen der Immissionsbelastung gemäß den Ergebnissen der durchgeführten Modellberechnungen.

Tab. 46. Einwohnerzahlen in den Zonen der Immissionsbelastung I_{Hr} B[a]P (Stand 1 – Jahr 2034)

Immissionsbelastungszone I _{Hr} B[a]P (ng/m ⁻³)	Karzinogenes Risiko (×10 ⁻⁶)	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 0,600	< 52,20	0	0
0,600–0,602	52,20–52,37	12 374	10 596
0,602–0,604	52,37–52,55	276	1 913
0,604–0,606	52,55–52,72	0	106
0,606–0,608	52,72–52,90	0	30
0,608–0,610	52,90–53,07	0	5
> 0,610	> 53,07	0	0
Insgesamt		12 650	12 650

Tab. 47. Einwohnerzahlen in den Zonen der Immissionsbelastung I_{Hr} B[a]P (Stand 2 – Jahr 2040)

Immissionsbelastungszone I _{Hr} B[a]P (ng/m ⁻³)	Karzinogenes Risiko (×10 ⁻⁶)	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 0,600	< 52,20	0	0
0,600–0,602	52,20–52,37	10 058	9 966
0,602–0,604	52,37–52,55	2 400	2 475
0,604–0,606	52,55–52,72	190	206
0,606–0,608	52,72–52,90	2	3
> 0,608	> 52,90	0	0
Insgesamt		12 650	12 650

Tab. 48. Einwohnerzahlen in den Zonen der Immissionsbelastung $IH_r B[a]P$ (Stand 3 – Jahr 2042)

Immissionsbelastungszone $IH_r B[a]P$ (ng/m ³)	Karzinogenes Risiko ($\times 10^{-6}$)	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben
< 0,6000	< 52,20	0	0
0,6000–0,6005	52,20–52,24	8 032	6 606
0,6005–0,6010	52,24–52,29	3 848	4 888
0,6010–0,6015	52,29–52,33	757	1 014
0,6015–0,6020	52,33–52,37	13	142
> 0,6020	> 52,37	0	0
Insgesamt		12 650	12 650

Tab. 49. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung $IH_r B[a]P$ (Stand 1 – Jahr 2034)

Veränderung der $IH_r B[a]P$ (ng.m ⁻³)	Differenz
< 0,0002	11 997
0,0002–0,0004	475
0,0004–0,0006	144
> 0,0006	34

Tab. 50. Einwohnerzahlen in den Zonen der Veränderung der Immissionsbelastung $IH_r B[a]P$ (Stand 2 – Jahr 2040)

Veränderung der $IH_r B[a]P$ (ng.m ⁻³)	Differenz
< 0,0001	11 703
0,0001–0,0002	786
0,0002–0,0003	147
> 0,0003	14

Tab. 51. Einwohnerzahlen in den Zonen mit der Veränderung der Immissionsbelastung $IH_r B[a]P$ (Stand 3 – Jahr 2042)

Veränderung der $IH_r B[a]P$ (ng.m ⁻³)	Differenz
< 0,0001	10 947
0,0001–0,0002	1 486
0,0002–0,0003	191
> 0,0003	26

Tab. 52. Ausmaß des Anstiegs des Gesundheitsrisikos durch die Exposition gegenüber Benzo[a]pyren (Anstieg der Krebsfälle in der betroffenen Bevölkerung)

Gesundheitliche Auswirkung	Stand (Jahr)	Ausgangszustand	Stand mit dem Vorhaben	Differenz
Krebsinzidenz	1 (2034)	0,00944969	0,00945456	0,00000487

Krebsinzidenz	2 (2040)	0,00945593	0,00945621	0,00000027
Krebsinzidenz	3 (2042)	0,66084008	0,66092451	0,00008443

Durch das bewertete Vorhaben kommt es zu einem sehr geringen Anstieg des Gesundheitsrisikos infolge einer chronischen Exposition gegenüber Benzo[a]pyren. Der Anstieg der Krebsfälle liegt in der Größenordnung von Zehnmillionsteln bis Hunderttausendsteln eines neuen Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung.

Der höchste Anstieg im Wohngebiet wurde auf $0,0005 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$ berechnet (betrifft einige Dutzend Einwohner). Dieser Wert entspricht einem Anstieg des Risikos für gesundheitliche Auswirkungen durch chronische Exposition gegenüber Benzo[a]pyren von höchstens $4,35 \times 10^{-7}$ (1 Fall pro fast 2,3 Millionen Einwohner). Angesichts der Anzahl der am stärksten betroffenen Einwohner lässt sich feststellen, dass die berechneten Veränderungen der Gesundheitsrisiken im Sinne einer Gesundheitsgefährdung völlig unbedeutend sind.

4.3. Bewertung der Exposition und Charakterisierung des Risikos – Bauvorhaben

Auch während der Bauarbeiten ist mit Auswirkungen auf die Bevölkerung zu rechnen. Quelle der Luftverschmutzung werden sowohl die Bauarbeiten auf der Baustelle selbst als auch der dadurch verursachte Kraftfahrzeugverkehr sein.

In der zugrunde liegenden Ausbreitungsstudie [1] werden die Beiträge der Bauarbeiten zur gesamten Immissionsbelastung an den einzelnen Berechnungspunkten berechnet. Den einzelnen Punkten wurde anschließend die Anzahl der betroffenen Einwohner zugeordnet.

Die Methode zur Quantifizierung der zu erwartenden Auswirkungen dieser Veränderungen auf die Gesundheit der betroffenen Bevölkerung entspricht derjenigen bei den langfristigen Auswirkungen (siehe Kapitel 4.2). Der einzige Unterschied besteht darin, dass die jährlich erwartete Fallzahl an einem bestimmten Standort – unabhängig von der Konzentration der Luftverschmutzung – auf einen Tageswert umgerechnet wird und Tageskonzentrationen anstelle von Jahreskonzentrationen herangezogen werden. Es handelt sich um eine Bewertung der Auswirkungen der Exposition gegenüber Schwebstaub und Stickstoffdioxid auf der Grundlage der relativen Risikowerte gemäß dem Projekt HRAPIE-2 [8], und zwar in Übereinstimmung mit AN 17/15 [2]. Eine Beschreibung der Berechnung findet sich beispielsweise in der Methodik des COŽP UK zur Bewertung der gesamtgesellschaftlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung [3] oder in der im Rahmen der WHO entstandenen Veröffentlichung von B. Ostra [11]. Das Ergebnis ist die Anzahl der Personen in der exponierten Bevölkerung, die an einem Tag von der jeweiligen Auswirkung betroffen sind; diese ergibt sich aus folgender Formel:

$$\text{IMP} = [(\text{EXP} \times \text{AGF} \times \text{RGF}) \times \text{BGR}] / 365 \times [1 - (1/\text{RR})^C],$$

wo

- wobei IMP die erwartete (attributive) Anzahl der Fälle infolge der Luftverschmutzung in einem bestimmten Zeitraum ist (z. B. die Anzahl der Personen, die aufgrund einer bestimmten Schadstoffkonzentration verstorben sind, die Anzahl der Bronchitis-Fälle, die Anzahl der Krankenhausaufenthalte usw.),
- C die Schadstoffkonzentration in $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ist,
- EXP die exponierte Bevölkerung (Anzahl der Personen) ist,
- AGF der Anteil der betroffenen Altersgruppe an der Gesamtbevölkerung ist,
- RGF der Anteil der gegebenenfalls betroffenen Risikogruppe (sofern berücksichtigt), wie z. B. Asthmatiker, innerhalb der jeweiligen Altersgruppe der Bevölkerung ist,
- BGR die Inzidenzrate der resultierenden Auswirkung in der Bevölkerung (Sterblichkeit oder Krankheitsinzidenz) pro Person ist,
- RR das relative Risiko bei einem Anstieg der Konzentration um $1 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ist.

Tab. 53. Eingabedaten für die Quantifizierung der Auswirkungen der Luftverschmutzung [8, 12–16]

Immissionsgröße	Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Gruppe	AGF (%)	BGR
PM _{2,5} Tagesdurchschnitt	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen *	Insgesamt	A	100,0	0,0103
PM _{2,5} Tagesdurchschnitt	Erkrankungsrate – Erkrankungen des Kreislaufsystems	Insgesamt	A	100,0	0,0223
PM ₁₀ Tagesdurchschnitt	Tage der beschränkten Aktivität (RADS) – versäumter Schulbesuch	5–14 Jahre	B+	10,7	16,8110
NO ₂ Tagesmittelwert	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen *	Insgesamt	A	100,0	0,0103
NO ₂ Tagesmittelwert	Erkrankungsrate – Erkrankungen der Atemwege	Insgesamt	A	100,0	0,0133

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

Im Rahmen der zugrunde liegenden Ausbreitungsstudie wurden an einzelnen Berechnungspunkten, die einzelne Wohngebiete repräsentieren, die maximalen Tageskonzentrationen von Schwebstaub PM₁₀ und die maximalen Stundenkonzentrationen von NO₂ quantifiziert, deren höchste Werte am Standort Temelín ermittelt wurden, und zwar sowohl in Gebäuden an der Verkehrsstraße als auch (im Falle der Auswirkungen des Baus des Kernkraftwerks ETE) in Gebäuden am Stadtrand von Temelín. Diese betragen (Auswirkungen des Baus der NJZ ETE / Auswirkungen des Baus des SMR ETE):

- Max. Tageskonzentration an Schwebstaub PM₁₀: <600,0 µg·m⁻³ / 168,5 µg·m⁻³
- Max. stündliche NO₂-Konzentrationen: < 7,00 µg·m⁻³ / 6,72 µg·m⁻³

Zur Bestimmung der Tageskonzentrationen von Schwebstaub PM_{2,5} wurde ein Anteil der Fraktion PM_{2,5}/PM₁₀ von 30 % zugrunde gelegt. Bei den täglichen NO₂-Konzentrationen wurde ein Anteil der täglichen Konzentrationen an den stündlichen Konzentrationen von 50 % angenommen.

Tabelle 54 enthält die zugrunde gelegten Eingangswerte der Immissionsbelastung für die anschließende Quantifizierung der einzelnen Auswirkungen. An dieser Stelle ist anzumerken, dass die so ermittelten Werte für den Anstieg der Immissionsbelastung als maximal möglich anzusehen sind. Aus der Auswertung des Anstiegs der durchschnittlichen Jahreskonzentrationen während der Bauphase im Jahr 2034 (Kap. 4.2) geht hervor, dass das eventuelle Erreichen dieser

Werte von einer Kombination spezifischer Bedingungen abhängt (insbesondere an trockenen Tagen und bei ganztägig konstanter Luftströmungsrichtung) und dass berechtigterweise davon auszugehen ist, dass das Auftreten solcher Bedingungen wenig wahrscheinlich ist.

Für die Kurzzeitbelastung gibt die WHO [6] einen Richtwert für die durchschnittliche Tageskonzentration von $\text{PM}_{2,5}$ -Partikeln in Höhe von $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ an, für PM_{10} einen Wert von $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ und für NO_2 einen Wert von $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tab. 54. Punkte der Immissionsbelastung $\text{IH}_d \text{PM}_{2,5}$, der Immissionsbelastung $\text{IH}_d \text{PM}_{10}$ und der Immissionsbelastung $\text{IH}_d \text{NO}_2$

Immissionsgröße	Anzahl der betroffenen Einwohner	Immissionsbelastung – Hintergrund ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Immissionsbelastung – Beitrag ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Immissionsbelastung – Beitrag ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
			Bau der NJZ ETE	Bau des SMR ETE
$\text{PM}_{2,5}$ Tagesdurchschnitt	100	7,6	< 180	50,6
PM_{10} Tagesdurchschnitt	100	10,8	< 600	168,5
NO_2 Tagesmittelwert	100	11,3	3,5	3,4

Tabelle 55 zeigt die Quantifizierung des Auftretens von gesundheitlichen Auswirkungen, die im Rahmen des Projekts HRAPIE-2 [8] definiert wurden (siehe Tab. 1–3), auf der Grundlage des in der Einleitung zu Kapitel 4.3 beschriebenen Berechnungsverfahrens. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Werte für die einzelnen Varianten lediglich den Einfluss der Immissionsbelastung an sich darstellen und nicht das Gesamtauftreten der jeweiligen gesundheitlichen Auswirkung.

Die Quantifizierung der Auswirkungen erfolgt für einen Tag mit den oben genannten gemessenen Tageskonzentrationen. Die Häufigkeit des Auftretens dieser Konzentrationen lässt sich modellhaft nicht bestimmen, da sie insbesondere von den aktuellen meteorologischen Bedingungen abhängt.

**Tab. 55. Bewertung der Veränderungen des Gesundheitsrisikos in Wohngebieten
aufgrund von Veränderungen in der Immissionsbelastung PM_{2,5} und NO₂**

Immissionsgröße	Gesundheitliche Auswirkung	Bevölkerungsgruppe	Ausgangszustand	Bau der NJZ ETE		Bau des SMR ETE	
				Stand mit dem Vorhaben	Differenz	Stand mit dem Vorhaben	Differenz
PM _{2,5} Tagesdurchschnitt	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	Insgesamt	0,000015	0,000349	0,000334	0,000109	0,000094
PM _{2,5} Tagesdurchschnitt	Erkrankungsrate – Erkrankungen des Kreislaufsystems	Insgesamt	0,000041	0,000983	0,000942	0,000306	0,000265
PM ₁₀ Tagesdurchschnitt	Tage der beschränkten Aktivität (RADS) – versäumter Schulbesuch	5–14 Jahre	0,014660	0,729814	0,715153	0,215499	0,200839
NO ₂ Tagesmittelwert	natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen*	Insgesamt	0,000015	0,000024	0,000009	0,000019	0,000004
NO ₂ Tagesmittelwert	Erkrankungsrate – Erkrankungen der Atemwege	Insgesamt	0,000023	0,000030	0,000007	0,000030	0,000007

*) Es handelt sich um die gesamte Sterblichkeit mit Ausnahme der durch äußere Ursachen bedingten Sterblichkeit; gemäß der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-10) sind dies somit Todesursachen mit den Codes A00–R99.

Wie aus der vorstehenden Übersicht hervorgeht, kommt es an jedem Tag, an dem die höchsten berechneten Tageswerte auftreten, zu einem Anstieg der natürlichen Sterblichkeit um höchstens Zehntausendstel eines neuen Falls und zu einem Anstieg der Morbidität des Kreislaufsystems um etwa ein Tausendstel eines neuen Falls. Im Falle von Tagen der geschränkten Aktivität, ausgedrückt als versäumter Schulbesuch, wurde (bei gleichzeitiger Umsetzung beider Vorhaben, d. h. NJZ und SMR) ein Anstieg von knapp unter einem Fall berechnet. Daraus folgt, dass zwar kein signifikanter Anstieg der Morbidität (im Sinne festgestellter Diagnosen) oder der Mortalität in der betroffenen Bevölkerung zu erwarten ist, jedoch kann sich im Falle der Tage der geschränkten Aktivität das häufigere Auftreten der höchsten berechneten Werte real in einem Anstieg der Fälle von Schulversäumnis niederschlagen, was allerdings auch ein gewisser Ausdruck der Morbidität ist (z. B. leichter Atemwegsbeschwerden).

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, (insbesondere an trockenen Tagen) die in der zugrunde liegenden Ausbreitungsstudie festgelegten Maßnahmen konsequent einzuhalten und dadurch die Staubbelastung sowohl von der Baustelle als auch von den An- und Abfahrtswegen des Baustellenverkehrs zu minimieren und somit das Auftreten der höchsten Tageswerte zu minimieren.

4.4. Unsicherheiten bei der Bewertung

Bei der Interpretation der Ergebnisse der Bewertung der Auswirkungen auf die Bevölkerung müssen die Unsicherheiten berücksichtigt werden, mit denen die Bewertung angesichts des aktuellen Stands der Erkenntnisse behaftet ist. Es handelt sich um Unsicherheiten in folgenden Bereichen:

- Prognose des Verkehrsaufkommens für die Betriebsdauer des Vorhabens im Gebiet der Region Südböhmen,
- Prognose des Verbrauchs und der Zusammensetzung der Brennstoffe bei stationären Quellen, einschließlich lokaler Heizung,
- Anbringung neuer technologischer Emissionsquellen im Gebiet bzw. Stilllegung bestehender Quellen über die Annahmen der Raumplanung hinaus sowie technologische Veränderungen bei bedeutenden stationären Quellen,
- Zusammensetzung des Fuhrparks, insbesondere im Hinblick auf die Nutzung alternativer Kraftstoffe und die damit verbundene Unsicherheit bei der Berechnung der Emissionsmengen und -zusammensetzung,
- Auswirkungen gesellschaftlich bedeutender Ereignisse auf die allgemeinen Verkehrs- und Transportmuster von Personen und Gütern im Untersuchungsgebiet (Pandemie oder politische Lage),
- Auswirkungen von Luftverschmutzungsquellen, für die derzeit keine etablierte Bewertungsmethodik vorliegt,
- die Auswirkungen verkehrsorganisatorischer Maßnahmen zur Verkehrssteuerung (abgesehen von den bereits im Verkehrsmodell berücksichtigten Maßnahmen),
- die Ermittlung von Konzentrationen mittels Emissions- und Immissionsmodellierung,
- Expositionsszenario für die in der Umgebung lebende Bevölkerung, die Mobilität der Bevölkerung außerhalb ihres Wohnortes und deren Aufenthalt im Außenbereich,
- Einfluss des individuellen Risikos durch berufliche Exposition, Lebensstil (insbesondere Rauchen) und Migration,
- verfügbare Informationen über den Zusammenhang zwischen der Konzentration von Schadstoffen und deren gesundheitlichen Auswirkungen, wobei insbesondere bei den Auswirkungen krebserregender Schadstoffe (Benzol, Benzo[a]pyren) zu berücksichtigen ist, dass die Quantifizierung des Risikos mit einer höheren Unsicherheit verbunden ist,
- die Festlegung von Referenzkonzentrationen und Richtwerten für Schadstoffe.

Trotz der genannten Unsicherheiten können die Daten im Hinblick auf die Fazite zu den Auswirkungen auf das Gesamtrisiko für die Gesundheit als ausreichend zuverlässig angesehen werden.

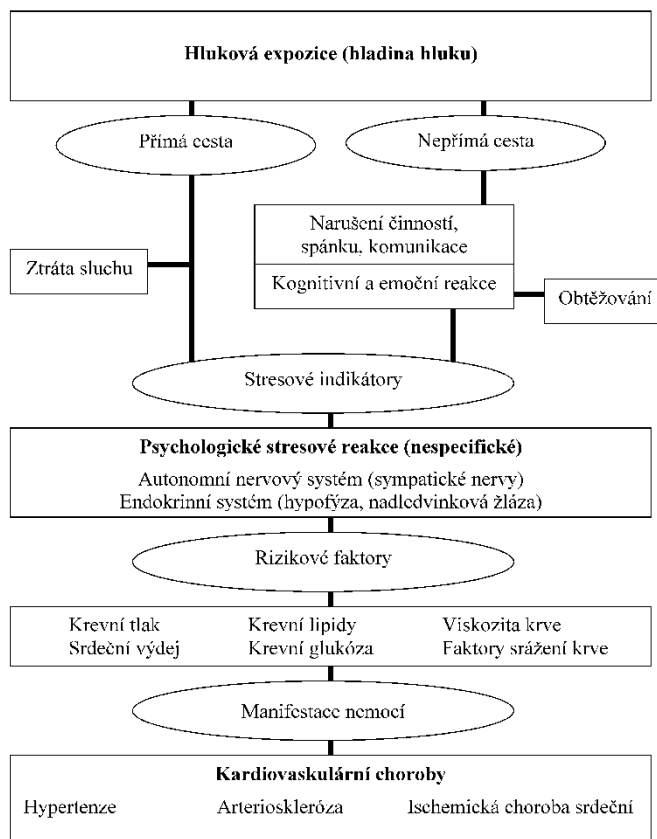
5. AUSWIRKUNGEN VON LÄRM AUF DIE GESUNDHEIT DER BEVÖLKERUNG

5.1. Identifizierung von Gefährdung und der Dosis-Wirkungs-Beziehungen

Die negativen Auswirkungen von Lärm auf die menschliche Gesundheit werden allgemein als morphologische oder funktionelle Veränderungen des Organismus definiert, die zu einer Verschlechterung seiner Funktionen, zu einer Verringerung der Kompensationsfähigkeit gegenüber Stress oder zu einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber anderen negativen Umwelteinflüssen führen. Die Auswirkungen von Lärm auf die menschliche Gesundheit lassen sich mit einer gewissen Vereinfachung in spezifische Auswirkungen, die sich in Funktionsstörungen des Gehörs äußern, und in unspezifische (nicht auf das Gehör bezogene) Auswirkungen unterteilen, bei denen die Funktionen verschiedener Körpersysteme beeinträchtigt werden.

Bei einer üblichen Belastung durch Verkehrslärm treten vor allem systemische (unspezifische) Auswirkungen auf, bei denen die Funktionen verschiedener Körpersysteme beeinträchtigt werden; häufig spielen dabei Stressreaktionen, Schlafstörungen und Beeinträchtigungen der höheren Nervenfunktionen eine Rolle. Chronischer, durch Lärm verursachter Stress kann dazu beitragen, den Verlauf von Krankheiten mit multifaktoriellen Ursachen auszulösen oder zu beschleunigen. Abbildung 2 zeigt ein vereinfachtes Kausalschema der Auswirkungen von Lärm auf die Gesundheit gemäß [25] in der Kette „Lärmbelastung – physiologische (Stress-)Reaktion des Organismus – biologische Reaktion und Entstehung von Krankheiten“.

Abb. 2. Schema der Auswirkungen von Lärm



Quelle: Babisch 2002 in [25]

Hluková expozice (hladina hluku)	Lärmbelastung (Lärmpegel)
Přímá cesta	Direkter Weg
Nepřímá cesta	Indirekter Weg
Ztráta sluchu	Hörverlust
Narušení činností, spánku, komunikace	Beeinträchtigung von Aktivitäten, Schlaf und Kommunikation
Kognitivní a emoční reakce	Kognitive und emotionale Reaktionen
Obtěžování	Belästigung
Stresové indikátory	Stressindikatoren
Psychologické stresové reakce (nespecifické)	Psychologische Stressreaktionen (unspezifisch)
Autonomní nervový systém (sympatické nervy)	Autonomes Nervensystem (Sympathikus)
Endokrinní systém (hypofýza, nadledvinková žláza)	Endokrines System (Hypophyse, Nebennieren)

Rizikové faktory	Risikofaktoren
Krevní tlak	Blutdruck
Srdeční výdej	Herzminutenvolumen
Krevní lipidy	Blutfette
Krevní glukóza	Blutzucker
Viskozita krve	Blutviskosität
Faktory srážení krve	Blutgerinnungsfaktoren
Manifestace nemocí	Krankheitssymptome
Kardiovaskulární choroby	Herz-Kreislauf-Erkrankungen
Hypertenze	Bluthochdruck
Arterioskleróza	Arteriosklerose
Ischemická choroba srdeční	Ischämische Herzkrankheit

Als hinreichend nachgewiesene schwerwiegende Auswirkungen von Lärm gelten gemäß der aktuellen WHO-Richtlinie [32] Belästigung, Schlafstörungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Verschlechterung der kognitiven Funktionen und Schädigung des Gehörs. Die folgende Übersicht enthält eine kurze Charakterisierung dieser Auswirkungen gemäß dem SZÚ [33]:

- **Lärmbelästigung** ist die häufigste Reaktion des Menschen auf Lärmbelastung. Als Belästigung wird ein psychischer Zustand bezeichnet, der bei der unfreiwilligen Wahrnehmung von Einflüssen entsteht, denen der Einzelne ablehnend gegenübersteht und auf die er mit Gefühlen der Abneigung, Gereiztheit und in manchen Fällen sogar mit psychosomatischen Störungen reagiert; der Einfachheit halber werden auch andere negative Emotionen im Zusammenhang mit Lärm (Ärger, Unzufriedenheit, Angst, Aufregung) als Belästigung bezeichnet. Die Belästigung wird maßgeblich von den individuellen Eigenschaften des Empfängers beeinflusst; aus Sicht des Einzelnen gilt sie daher als Faktor mit schwellenwertloser Wirkung, was bedeutet, dass selbst leiseste Geräusche eine empfindliche Person belästigen können.
- **Beeinträchtigung des Schlafs** durch Lärm äußert sich nachweislich in Veränderungen der physiologischen Reaktionen (Veränderungen der Herzfrequenz, Anzeichen des Erwachens im EEG, Veränderungen in der Dauer der Schlafphasen, erhöhte Bewegungsaktivität im Schlaf, Einschlaf- und Aufwachschwierigkeiten, Verkürzung der Schlafdauer); es liegen zudem ausreichende Belege für subjektiv wahrgenommene Schlafstörungen, umweltbedingte Schlaflosigkeit und einen erhöhten Konsum von Schlafmitteln vor. Zu den gesundheitlichen Folgen von Schlafstörungen durch nächtlichen Lärm zählen Veränderungen des Stresshormonspiegels, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, psychische Störungen, Adipositas, eine verkürzte Lebenserwartung, ein erhöhtes Auftreten von

Arbeitsunfällen sowie psychosoziale Folgen (Schläfrigkeit und Müdigkeit, Gereiztheit, verminderte Leistungsfähigkeit, Verschlechterung der kognitiven Fähigkeiten, Beeinträchtigung sozialer Kontakte).

- **Die Auswirkungen von Lärm auf das Herz-Kreislauf-System** wurden in einer Reihe epidemiologischer Studien nachgewiesen. Als anerkannter Wirkmechanismus gilt hier die Stressreaktion des Organismus, bei der ein Schallreiz unbewusst als alarmierend gewertet wird und es zu einer Stressreaktion kommt, die mit der Aktivierung des autonomen Nervensystems und der Ausschüttung von Stresshormonen einhergeht, was zu einem vorübergehenden Anstieg des Blutdrucks, der Herzfrequenz und zu einer Gefäßverengung führt. Nach langfristiger Belastung können sich bei empfindlichen Personen dann dauerhafte Auswirkungen wie Bluthochdruck und ischämische Herzkrankheit entwickeln. Weitere mögliche Wirkmechanismen von Lärm auf das Herz-Kreislauf-System sind ein Magnesiumverlust (das infolge wiederholter Nervenimpulse aus dem Körper ausgeschwemmt wird) oder langfristiger Schlafmangel und dessen Folgen. Nach aktuellen Daten der WHO gilt ein erhöhtes Risiko für eine ischämische Herzerkrankung durch Straßenverkehrslärm als nachgewiesen; im Gegensatz dazu wird die Qualität der Belege für das zuvor beschriebene Risiko einer Hypertonie derzeit als gering eingestuft, während die Ergebnisse im Falle eines Schlaganfalls widersprüchlich sind.
- **Die Verschlechterung der kognitiven Fähigkeiten** durch Lärm umfasst Störungen des Sprachverständnisses, Aufmerksamkeitsstörungen und eine Verringerung der Arbeitsgedächtniskapazität. Die Folge sind Leistungseinbußen, schlechtere Ergebnisse bei der Erledigung von Aufgaben, Fehler bei der Arbeit sowie gegebenenfalls Unfälle und Verletzungen. Lärm kann zudem die sprachliche Kommunikation erheblich beeinträchtigen oder andere informationsrelevante Signale überlagern. Eine Beeinträchtigung der sprachlichen Kommunikation hat eine Reihe nachweisbarer negativer Folgen für das Verhalten und die zwischenmenschlichen Beziehungen; sie führt zu Reizbarkeit, Unsicherheit, einem Rückgang der Arbeitsleistung und Unzufriedenheit. Bei Feldstudien wurde ein Zusammenhang zwischen Fluglärm und einer Verschlechterung der Lesefähigkeit, des Sprachverständnisses und der Testergebnisse bei Schulkindern bestätigt. Im Falle von Lärm durch Straßen- und Schienenverkehr sind die Ergebnisse uneinheitlich und die Qualität der Belege unzureichend.
- **Schädigungen des Gehörs** beruhen im Wesentlichen auf zwei Mechanismen. Extrem hohe Schalldruckpegel können ein akustisches Trauma auslösen, dessen Ursache eine Verletzung des Trommelfells, der Gehörknöchelchen oder des membranösen Labyrinths ist und das zu einer dauerhaften Hörschädigung führt. Bei langfristiger bis lebenslanger Lärmbelastung des Gehörs kommt es zu einer Hörschädigung, deren Ursache zunächst vorübergehende, später dann dauerhafte funktionelle und morphologische Veränderungen der Sinnes- und Nervenzellen des Corti-Organes im Innenohr sind. Diese Störungen äußern sich zunächst in einer vorübergehenden Erhöhung der Hörschwelle; bei anhaltender Lärmbelastung kommt es nach einer gewissen Latenzzeit zu einer dauerhaften Hörschädigung. Hörschäden sind bei beruflicher Lärmbelastung in Abhängigkeit von der Höhe des äquivalenten Schalldruckpegels und der Dauer der Exposition hinreichend nachgewiesen; sie treten

jedoch auch bei Lärm außerhalb des Arbeitsumfelds auf, z. B. im Zusammenhang mit Lärm aus Freizeitaktivitäten. Ein Hörverlust ist in der Regel das Ergebnis einer kombinierten Lärmbelastung aus verschiedenen Quellen, d. h. aus dem Arbeits- und Lebensumfeld sowie aus Freizeitaktivitäten.

Zu den Auswirkungen mit geringerer Evidenzqualität (bzw. mit ungewissem Zusammenhang zur Lärmbelastung) zählen ein erhöhtes Risiko für Diabetes und Adipositas sowie Auswirkungen auf Schwangerschaft und Fötusentwicklung sowie auf die psychische Gesundheit [32].

Die Wirkung von Lärm gilt als schwellenwertfrei (d. h., es lässt sich kein sicherer Grenzwert festlegen, unterhalb dessen keine Wirkung mehr auftritt); in der Praxis wird jedoch mit bestimmten Grenzwerten gearbeitet, oberhalb derer der Zusammenhang zwischen der Lärmbelastung und der Wirkung als signifikant angesehen wird. Die WHO [32] gibt folgende empfohlene Expositionswerte für Straßenverkehrslärm an:

- Durchschnittswert, ausgedrückt durch den Lärmindex Tag-Abend-Nacht (L_{dvn}) – 53 dB
- Nachtlärm (L_n) – 45 dB

Für die quantitative Bewertung der Auswirkungen des Straßenverkehrslärms im Untersuchungsgebiet wurden die in der Zulassungsanleitung des SZÚ [26] festgelegten Verfahren angewendet, die auf Anhang III der Richtlinie (EU) 2020/367 der Kommission basieren. Die Bewertung erfolgt für die folgenden Lärmauswirkungen:

- starke Belästigung
- starke Schlafstörung
- ischämische Herzkrankheit (IHK)

Für hohe Belästigung und starke Schlafstörung wird das sog. absolute Risiko festgelegt, das als Anteil der Personen mit der jeweiligen Auswirkung an der Gesamtzahl der exponierten Einwohner an einem bestimmten Berechnungspunkt oder in einer bestimmten Lärmbelastungszone ausgedrückt wird. Die Berechnungsgleichungen lauten wie folgt:

$$AR_{HA, \text{ Straße}} = (78,927 - 3,1162 \times L_{dvn} + 0,0342 \times L_{dvn}^2) / 100$$

$$AR_{HSD, \text{ Straße}} = (19,4321 - 0,9336 \times L_n + 0,0126 \times L_n^2) / 100$$

wo:

$AR_{HA, \text{ Straße}}$ = absolutes Risiko für eine hohe Lärmbelästigung durch den Straßenverkehr

$AR_{HSD, \text{ Straße}}$ = absolutes Risiko für eine starke Schlafbeeinträchtigung durch den Straßenverkehrslärm

L_{dvn} = Lärmindex Tag-Abend-Nacht

L_n = Lärm in der Nacht

Das Risiko für das Auftreten einer ischämischen Herzkrankheit (IHK) in Zusammenhang mit Lärm wird quantitativ als relatives Risiko ausgedrückt, das das Risiko in der lärmbelasteten Bevölkerung ins Verhältnis zum Risiko in der nicht lärmbelasteten Bevölkerung setzt. Zur Quantifizierung wird ein Verfahren verwendet, das auf der Bestimmung der sog. populationsattributiven Fraktion basiert, die sich sowohl aus exponierten als auch aus nicht exponierten Personen zusammensetzen kann; gegebenenfalls können die exponierten Personen dem Risikofaktor in unterschiedlichem Maße ausgesetzt sein. Den einzelnen Bevölkerungsgruppen (ausgedrückt als Anteil an der Gesamtbevölkerung des untersuchten Gebiets) wird die Lärmbelastung durch den Straßenverkehr (L_{dvn}) zugeordnet. Anschließend wird für jedes Segment das relative Risiko für das Auftreten einer koronaren Herzkrankheit (KHK) gemäß den folgenden Gleichungen bestimmt:

$$RR_{\text{ICHs, Straße}} = 1,007733L_{\text{dvn}} - 53 \quad \dots \text{ für } L_{\text{dvn}} > 53 \text{ dB}$$

$$RR_{\text{ICHs, Straße}} = 1 \quad \dots \text{ für } L_{\text{dvn}} \leq 53 \text{ dB}$$

wo:

$RR_{\text{ICHs, Straße}}$ = relatives Risiko für das Auftreten einer koronaren Herzkrankheit in der Bevölkerung, die einem L_{dvn} von einem bestimmten Wert ausgesetzt ist

Gleichzeitig wird für jede Bevölkerungsgruppe der Anteil der Einwohner innerhalb des untersuchten Gebiets ermittelt. Die absolute jährliche Fallzahl von ICHS, die als Folge des Straßenverkehrslärms im untersuchten Gebiet geschätzt wird, wird dann nach folgender Formel ermittelt:

$$N = \sum_j (p_j \times (RR_j - 1)) / (\sum_j (p_j \times (RR_j - 1)) + 1) \times I \times P$$

wo:

p_j = Anteil der Bevölkerung in dem jeweiligen Segment

RR_j = relatives Risiko für das Auftreten einer koronaren Herzkrankheit (KHK) innerhalb der jeweiligen Bevölkerungsgruppe

I = Inzidenz der ischämischen Herzkrankheit in der unbeeinflussten Bevölkerung; es wird ein Wert von 9,275 pro 1.000 Personen und Jahr gemäß der Zulassungsanleitung [26] zugrunde gelegt

P = Einwohnerzahl im untersuchten Gebiet

Für Lärm aus stationären Quellen der Art, wie sie in dem Gebiet vorkommen, legt die WHO keine empfohlenen Expositionswerte fest.

Zur orientierenden Bewertung der Belästigungs- und Störeffekte stationärer Quellen wurde das Verfahren gemäß [30] angewendet, das auf der Umrechnung des Lärms verschiedener Quellen in den äquivalenten Lärmpegel des Straßenverkehrs basiert:

$$L_{\text{r,i}} = L_i + 3$$

wo:

L_i = Lärmpegel aus stationären Quellen

$L_{r,i}$ = abgeleiteter Lärmpegel des Straßenverkehrs

Anschließend wird gemäß den Gleichungen für starke Belästigung und starke Schlafstörung durch den Straßenverkehr vorgegangen. Es handelt sich hierbei um eine rein orientierende Bewertung, da nicht von gesundheitlichen Auswirkungen, sondern von Belästigungen die Rede ist.

Im Rahmen der Methodik zur Bewertung von Gesundheitsrisiken gibt es derzeit kein Instrument zur Bewertung der kombinierten (synergetischen) Wirkung von Lärm aus Quellen verschiedener Kategorien; die Bewertung erfolgt daher für die einzelnen Quellenkategorien (Straßenverkehr, Schienenverkehr und stationäre Quellen) separat.

5.2. Bewertung der Exposition und Charakterisierung des Risikos

Tabelle 56 enthält die berechneten Werte der Lärmbelastung durch den Straßenverkehr für das Jahr 2034, und zwar für den Tag- und Nachtbereich im Ausgangszustand (Betrieb ETE 1, 2, ohne SMR ETE) und im aktiven Zustand (Betrieb ETE 1, 2, mit SMR ETE) gemäß der Lärmstudie [23].

Tab. 56. Lärmbelastungswerte [dB] – Straßenverkehr (Jahr 2034)

Berechnungspunkt	Geschoss	Tageszeit		Nachtzeit	
		Ausgangszustand	Aktiver Zustand	Ausgangszustand	Aktiver Zustand
KOC 1	1	53,4	53,5	45,8	45,8
	2	54,1	54,2	46,5	46,5
TEM 1	1	62,0	62,0	54,0	54,0
	2	62,3	62,3	54,4	54,4
TEM 2	1	59,1	59,2	51,3	51,4
	2	62,4	62,4	54,6	54,7
TEM 3	1	63,7	63,7	56,2	56,3
	2	64,3	64,4	56,9	56,9
TEM 4	1	64,5	64,5	57,0	57,1
	2	64,9	64,9	57,4	57,4
TEM 5	1	63,4	63,4	55,8	55,8
	2	64,8	64,8	57,1	57,2
TEM 6	1	56,1	56,1	47,9	47,9
	2	57,4	57,5	49,2	49,3
TEM 7	1	59,0	59,0	50,8	50,8
	2	60,3	60,4	52,1	52,1
TYN 1	1	61,8	61,9	53,8	54,0
	2	63,5	63,6	55,5	55,7

Berechnungspunkt	Geschoss	Tageszeit		Nachtzeit	
		Ausgangszustand	Aktiver Zustand	Ausgangszustand	Aktiver Zustand
TYN 2	1	56,5	56,6	48,3	48,6
	2	57,3	57,4	49,2	49,5
	3	58,1	58,2	50,0	50,3
	4	58,8	58,9	50,7	51,0
	5	59,5	59,5	51,3	51,6
	6	60,1	60,2	52,0	52,3
TYN 3	1	58,4	58,5	50,2	50,6
	2	59,5	59,6	51,3	51,7
	3	60,6	60,7	52,3	52,7
	4	61,5	61,6	53,3	53,7
	5	62,0	62,1	53,8	54,2
	6	62,2	62,3	54,0	54,4
TYN 4	1	62,5	62,6	54,3	54,5
	2	65,4	65,5	57,3	57,4
TYN 5	1	57,9	57,9	50,7	50,7
	2	62,9	62,9	55,6	55,6
TYN 6	1	62,9	62,9	55,6	55,7
	2	64,1	64,1	56,8	56,8
ZVER 1	1	58,1	58,3	50,6	50,8
	2	59,0	59,2	51,5	51,7
ZVER 2	1	61,9	62,0	54,4	54,6
	2	63,2	63,4	55,7	55,9

Tabelle 57 enthält die berechneten Werte der Lärmbelastung durch den Straßenverkehr für das Jahr 2042, und zwar für den Tag- und Nachtbereich im Ausgangszustand (Betrieb ETE 1, 2, ETE 3, 4, ohne SMR ETE) und im aktiven Zustand (Betrieb ETE 1, 2, ETE 3, 4, mit SMR ETE) gemäß der Lärmstudie [23].

Tab. 57. Lärmbelastungswerte [dB] – Straßenverkehr (Jahr 2042)

Berechnungspunkt	Geschoss	Tageszeit		Nachtzeit	
		Ausgangszustand	Aktiver Zustand	Ausgangszustand	Aktiver Zustand
KOC 1	1	53,6	53,7	46,0	46,1
	2	54,3	54,4	46,7	46,8
TEM 1	1	62,0	62,0	54,0	54,0
	2	62,3	62,3	54,4	54,4
TEM 2	1	59,2	59,2	51,4	51,4
	2	62,5	62,5	54,7	54,7
TEM 3	1	63,9	63,9	56,3	56,3
	2	64,6	64,6	57,0	57,0
TEM 4	1	64,8	64,8	57,1	57,2
	2	65,1	65,1	57,5	57,5
TEM 5	1	63,7	63,7	55,9	55,9
	2	65,1	65,1	57,2	57,2
TEM 6	1	56,2	56,6	48,3	48,3
	2	57,5	58,0	49,6	49,6
TEM 7	1	59,1	59,5	51,1	51,1
	2	60,4	60,9	52,5	52,5
TYN 1	1	62,1	62,2	54,2	54,6
	2	63,8	63,9	55,9	56,3
TYN 2	1	56,7	56,8	48,9	49,1
	2	57,6	57,6	49,7	49,9
	3	58,3	58,4	50,5	50,7
	4	59,1	59,2	51,2	51,4
	5	59,7	59,8	51,9	52,1
	6	60,4	60,4	52,5	52,7
TYN 3	1	58,7	58,8	50,8	50,9
	2	59,8	59,8	51,9	52,0
	3	60,8	60,9	52,9	53,0
	4	61,8	61,9	53,9	54,0
	5	62,3	62,3	54,4	54,5
	6	62,5	62,5	54,6	54,7
TYN 4	1	62,8	62,8	54,7	54,8
	2	65,7	65,8	57,6	57,7
TYN 5	1	58,1	58,2	51,0	50,9
	2	63,1	63,1	55,9	55,8
TYN 6	1	63,1	63,3	55,8	55,8
	2	64,3	64,4	57,0	57,0
ZVER 1	1	58,4	58,6	51,2	51,4
	2	59,3	59,5	52,1	52,3
ZVER 2	1	62,2	62,3	55,0	55,2
	2	63,5	63,7	56,4	56,5

Tabelle 58 enthält die berechneten Lärmbelastungswerte aus stationären Quellen für die Berechnungszeiträume bis zum Jahr 2034 (ETE 1, 2 + SMR) und 2042 (ETE 1, 2, ETE 3, 4 + SMR) gemäß der Lärmstudie [24]. Die Auswertung erfolgt für die Randbereiche der bebauten Gebiete der umliegenden Ortschaften.

Tab. 58. Lärmbelastungswerte [dB] – stationäre Lärmquellen

Berechnungspunkt	Objekt	Höhe	Tag- und Nachtzeit	
			Jahr 2034	Jahr 2042
MB01	Rand der Gemeinde Litoradlice	3 m	30,2	30,7
		6 m	30,6	31,2
MB02	An dem ehemaligen Gehöft hinter dem ehemaligen Dorf Knín	3 m	32,0	33,2
		6 m	32,6	33,9
MB03	Nordöstlicher Rand der Gemeinde Kočín	3 m	37,8	39,6
		6 m	38,3	39,9
MB04	Nordöstlicher Rand der Gemeinde Kočín	3 m	38,1	39,7
		6 m	38,3	39,7
MB05	Südwestlicher Rand der Gemeinde Kočín	3 m	36,2	36,9
		6 m	37,3	37,8
MB06	Rand der Gemeinde Malešice	3 m	30,8	33,3
		6 m	31,5	33,9
MB07	Rand der Gemeinde Sedlec	3 m	27,7	32,4
		6 m	28,4	32,8
MB08	Rand der Gemeinde Temelín	3 m	30,8	37,4
		6 m	31,1	37,5

Auf der Grundlage der oben genannten Ergebnisse der akustischen Studie wurden der Anteil der Einwohner in Lärmbelastungszonen oberhalb der empfohlenen Expositionsgrenzwerte, der Grad der Lärmbelästigung, die Schlafstörung sowie die Häufigkeit von koronaren Herzerkrankungen (KHK) aufgrund der Lärmbelastung durch den Straßenverkehr quantifiziert. Die Berechnung ist zwar mit einer relativ großen Unsicherheit behaftet, da sie die unterschiedliche Schalldämmung der Gebäudehüllen, die tatsächliche Anwesenheit von Personen am Wohnort und die unterschiedliche Lärmempfindlichkeit einzelner Personen nicht berücksichtigt, dennoch kann sie als ausreichend angesehen werden, um die Auswirkungen des Kraftfahrzeugverkehrs im Berechnungsgebiet zu bewerten.

Tab. 59. Anteil der Bevölkerung, die den in den WHO-Richtlinien für den Straßenverkehr empfohlenen Expositionswerten ausgesetzt ist

	Ohne Vorhaben	Mit Vorhaben	Veränderung
Jahr 2034			
Durchschnittlicher Lärmpegel Tag-Abend-Nacht (%)	100	100	0
Nachtlärm (%)	100	100	0
Jahr 2042			
Durchschnittlicher Lärmpegel Tag-Abend-Nacht (%)	100	100	0
Nachtlärm (%)	100	100	0

Tab. 60. Gesamtwerte für den Grad der starken Belästigung, der starken Schlafstörung und das Auftreten von ICHS, Straßenverkehr (für eine Gesamtzahl von 350 betroffenen Einwohnern)

	Ohne Vorhaben	Mit Vorhaben	Veränderung
Jahr 2034			
Starke Belästigung	64	65	1
Starke Schlafstörungen	19	19	0
Auftreten von ICHS	0,2358	0,2381	0,0023
Jahr 2042			
Starke Belästigung	65	66	1
Starke Schlafstörungen	19	19	0
Auftreten von ICHS	0,2421	0,2443	0,0022

Wie aus der durchgeführten Bewertung hervorgeht, wird der Anteil der Einwohner in den umliegenden Bebauungsgebieten bereits im Zustand ohne das Vorhaben in den Bereichen, die über dem WHO-Richtwert für den durchschnittlichen Lärmpegel Tag-Abend-Nacht sowie für den nächtlichen Lärmpegel liegen, 100 % betragen. Durch das Vorhaben wird sich daran nichts ändern.

Die Anzahl der durch den Straßenverkehr stark belästigten Einwohner in der umliegenden bestehenden Bebauung wird im Ausgangszustand in den beiden Prognosezuständen bei etwa 65 liegen, die Anzahl der Einwohner, die im Schlaf stark gestört werden, wird 19 Personen betragen. Durch das Vorhaben wurde ein Anstieg um einen Fall bei starker Lärmbelästigung berechnet; bei der Störung des Schlafs wurde keine Veränderung festgestellt.

Was das kardiovaskuläre Risiko betrifft, so wurde im Ausgangszustand eine Inzidenz von koronarer Herzkrankheit im Bereich von Zehnteln eines Falls in der

gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet. Durch das Vorhaben wurde ein Anstieg auf ca. 0,0022 Fälle berechnet (Anstieg der Inzidenz um einen Fall alle ca. 454 Jahre). Es handelt sich also um eine völlig vernachlässigbare Veränderung.

Insgesamt lässt sich somit feststellen, dass das Vorhaben zu einem sehr geringen Anstieg des Gesundheitsrisikos führen wird. Im Falle der IHK-Inzidenz liegt die Veränderung mehrere Größenordnungen unterhalb der Erkennbarkeitsgrenze.

Aus der vorläufigen Bewertung der Auswirkungen stationärer Quellen geht hervor, dass deren Betrieb lediglich im Standort Kočín zu Belästigungen oder Schlafstörungen führen kann, und zwar bei 2–3 % der betroffenen Einwohner; es handelt sich also höchstens um vereinzelte Fälle.

5.3. Unsicherheiten bei der Bewertung

Bei der Interpretation der Ergebnisse der Bewertung der Auswirkungen auf die Bevölkerung müssen die Unsicherheiten berücksichtigt werden, mit denen die Bewertung angesichts des aktuellen Stands der Erkenntnisse behaftet ist. Es handelt sich um Unsicherheiten in folgenden Bereichen:

- Ermittlung des Kraftfahrzeugverkehrsaufkommens für den Zeitraum nach Inbetriebnahme des Vorhabens
- Auswirkungen gesellschaftlich bedeutender Ereignisse auf die Gesamtmuster des Personen- und Güterverkehrs innerhalb der Stadt (pandemische oder politische Situation)
- Auswirkungen verkehrsorganisatorischer Maßnahmen zur Verkehrssteuerung
- Expositionsszenario für die in der Umgebung lebende Bevölkerung, die Fortbewegung der Bevölkerung außerhalb ihres Wohnortes und deren Aufenthalt im Außenbereich
- unterschiedliche Luftdämmung der Gebäudehülle
- Beeinflussung des individuellen Risikos, insbesondere durch unterschiedliche Anfälligkeit und Empfindlichkeit der exponierten Personen
- verfügbare Informationen über den Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und deren gesundheitlichen Auswirkungen. Insbesondere im Falle von Herz-Kreislauf-Erkrankungen ist darauf hinzuweisen, dass die verwendeten quantitativen Zusammenhänge bislang nicht eindeutig nachgewiesen sind und im Rahmen des Vorsorgeprinzips herangezogen werden.

Trotz der genannten Unsicherheiten können die Angaben zu den Gesundheitsrisiken im Hinblick auf die allgemeinen Faziten zu den Auswirkungen des betreffenden Vorhabens auf das Gesamtrisiko als ausreichend zuverlässig angesehen werden.

F A Z I T

Ziel der vorliegenden Studie war die Bewertung der Auswirkungen der technologischen und verkehrsbezogenen Aktivitäten bei der Realisierung und dem Betrieb des Vorhabens „Neue SMR-Kernkraftanlage am Standort Temelín“ auf die öffentliche Gesundheit hinsichtlich der Exposition gegenüber chemischen Stoffen in der Luft und Lärm.

Der Gegenstand des Vorhabens ist die Errichtung der neuen Kernkraftanlage vom SMR-Typ, und zwar einschließlich aller zusammenhängenden Bauobjekte und Betriebskomplexe (Technologieanlagen), welche für die Erzeugung und Ableitung der elektrischen Energie und für die Sicherstellung des sicheren Betriebes der Kernanlage dienen.

Luftverschmutzung

Im Rahmen der Bewertung der Auswirkungen der Immissionsbelastung auf die Gesundheit der Bevölkerung wurden die Immissionswerte für Schwebstaub der Fraktion $PM_{2,5}$ sowie PM_{10} , Stickstoffdioxid, die kombinierte Wirkung von $PM_{2,5}$ und Stickstoffdioxid, Benzol und Benzo[a]pyren untersucht.

Von den oben genannten Schadstoffen ist im gesamten Berechnungsgebiet im Ausgangszustand ein erhöhtes Risiko durch chronische Exposition gegenüber $PM_{2,5}$ -Partikeln, Stickstoffdioxid und Benzo[a]pyren sowie in einem Teil des Berechnungsgebiets auch durch PM_{10} -Partikel und Stickstoffdioxid zu erwarten. Eine ähnliche Situation ist jedoch für die meisten Siedlungen auf dem Gebiet der Tschechischen Republik typisch. Die kurzfristigen Stickstoffdioxidkonzentrationen werden im gesamten Berechnungsgebiet unterhalb der WHO-Richtwerte [6] liegen. Bei Benzol ist mit einer Immissionsbelastung an der Grenze des akzeptablen Risikos zu rechnen.

Im Rahmen der Bewertung der Langzeitexposition ist aufgrund des Vorhabens mit einem leichten Anstieg des Gesundheitsrisikos zu rechnen. Im Falle von Schwebstaub wurde ein Anstieg der gesundheitlichen Auswirkungen auf die natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen von höchstens einigen Zehnteln eines neuen Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet (und zwar nur für den Zustand 1, der höchstens 1 Jahr andauert). Im Fall von Zustand 2 und dem dauerhaften Zustand 3 wurde ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeit von höchstens einem Zehntausendstel eines neuen Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet. Im Falle von Stickstoffdioxidkonzentrationen wurde ein Anstieg der gesundheitlichen Auswirkungen auf die natürliche Sterblichkeit bei Erwachsenen von höchstens Hundertsteln eines neuen Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet (und zwar nur für

Zustand 1, der höchstens ein Jahr andauert). Im Fall von Zustand 2 und dem dauerhaften Zustand 3 wurde ein Anstieg der natürlichen Sterblichkeit von höchstens im Bereich von Zehntausendstel neuer Fälle in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet. Aus der Auswertung der gemeinsamen Wirkung von PM_{2,5}-Schwebstaub und NO₂ geht hervor, dass der Anstieg der natürlichen Sterblichkeit im Zustand 1 (mit einer Dauer von höchstens einem Jahr) im Bereich von Hundertsteln eines Falls und in den Ständen 2 und 3 im Bereich von Hunderttausendsteln liegt. Die kurzfristigen Stickstoffdioxidkonzentrationen überschreiten auch unter Berücksichtigung der Auswirkungen des Vorhabens nicht die WHO-Richtwerte. Bei den durchschnittlichen Jahreskonzentrationen von Benzol und Benzo[a]pyren wurden durch das Vorhaben keine Veränderungen festgestellt, die im Sinne einer Gesundheitsgefährdung von Bedeutung wären. Der Anstieg des Gesundheitsrisikos liegt um mehrere Größenordnungen unter der Schwelle für einen neuen Leukämie- oder Krebsfall.

Im Rahmen der Bewertung der kurzfristigen Exposition während der Bauphase ist aufgrund des Vorhabens, insbesondere in Verbindung mit dem Bau der NJZ ETE, während der Bauarbeiten mit einem Anstieg der Inzidenz von Erkrankungen des Kreislaufsystems zu rechnen, wobei ein Anstieg von etwa einem Tausendstel Fall pro Tag, an dem die höchsten berechneten Werte auftreten, berechnet wurde. Der Anstieg der Sterblichkeit wurde höchstens in der Größenordnung von Zehntausendsteln eines neuen Falls pro Tag berechnet, an dem die höchsten berechneten Werte auftraten. Der Anstieg der Anzahl der versäumten Schultage wurde auf knapp unter einem Fall pro Tag berechnet, an dem die höchsten berechneten Werte auftraten. Bei wiederholtem Auftreten können sich somit gewisse gesundheitliche Auswirkungen zeigen, die sich in einer Zunahme der versäumten Schultage äußern.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass das Vorhaben zu Veränderungen des Gesundheitsrisikos führen wird, die jedoch keine nennenswerten Auswirkungen haben werden. Während der Bauphase könnte es jedoch – bei gleichzeitigen ungünstigen Wetter- und Emissionsbedingungen – potenziell zu bestimmten gesundheitlichen Auswirkungen kommen. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die Maßnahmen zur Verringerung der Immissionsbelastung durch Schwebstaub während der Bauphase konsequent einzuhalten, insbesondere in Trockenperioden, und so das Auftreten der höchsten berechneten Tageskonzentrationen zu minimieren.

Lärmbelastung

Die Anzahl der durch den Straßenverkehr stark belästigten Einwohner in der umliegenden bestehenden Bebauung wird im Ausgangszustand in den beiden Prognosezuständen bei etwa 65 liegen, die Anzahl der Einwohner, die im Schlaf stark gestört werden, wird 19 Personen betragen. Durch das Vorhaben wurde ein Anstieg um einen Fall bei starker Lärmbelästigung berechnet; bei der Störung des Schlafs wurde keine Veränderung festgestellt.

Was das kardiovaskuläre Risiko betrifft, so wurde im Ausgangszustand eine Inzidenz von koronarer Herzkrankheit im Bereich von Zehnteln eines Falls in der gesamten betroffenen Bevölkerung berechnet. Als Auswirkung des Vorhabens wurde ein Anstieg auf ca. 0,0022 Fälle berechnet (Anstieg des Auftretens um einen Fall alle ca. 435 Jahre). Es handelt sich also um eine völlig vernachlässigbare Veränderung.

Aus der vorläufigen Bewertung der Auswirkungen stationärer Quellen geht hervor, dass deren Betrieb lediglich im Standort Kočín und auch dort nur in vereinzelten Fällen zu Belästigungen oder Schlafstörungen führen kann.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Bartoš T.: Neue SMR-Kernkraftanlage am Standort Temelín. Ausbreitungsstudie. Amentum Clean Energy. Brno, 2026.
- [2] Havel B., Kazmarová H.: Zulassungsleitfaden AN 17/15: Zulassungsleitfaden zur Bewertung des Gesundheitsrisikos durch die Exposition gegenüber chemischen Stoffen in der Außenluft, SZÚ, 2015.
- [3] Melichar, J., Máca, V. et al.: Berechnungsmethodik zur Bewertung der gesamtgesellschaftlichen Auswirkungen der Luftverschmutzung mittels eines integrierten Bewertungsmodells. Projekt TA02021165 Integrierte Bewertung der Risiken und Auswirkungen auf Materialien, Ökosysteme und den Gesundheitszustand der Bevölkerung infolge der Exposition gegenüber Luftschadstoffen. TA ČR, COŽP UK, Prag 2016.
- [4] Provazník K., Cikrt M., Komárek L. et al.: Handbuch zur Prävention in der medizinischen Praxis VIII., Grundlagen der Bewertung von Gesundheitsrisiken, SZÚ, Prag, 2000
- [5] WHO: Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - Global update 2005, WHO, 2006.
- [6] WHO: WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Genf, WHO, 2021.
- [7] WHO-IARC: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 109, Outdoor air pollution, 2015.
- [8] WHO: Health risks of air pollution in Europe: HRAPIE-2 project: updated guidance on concentration-response functions for health risk assessment of air pollution in the WHO European Region. Kopenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2025.
- [9] WHO: Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. WHO – Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2013.
- [10] Mainka, A., Žak, M.: Synergistic or Antagonistic Health Effects of Long- and Short-Term Exposure to Ambient NO₂ and PM_{2.5}: A Review. International Journal of Environmental Research and Public Health 19, 14079, 2022.
- [11] Ostro, B.: Outdoor air pollution: Assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Genf, Weltgesundheitsorganisation, 2004 (WHO Environmental Burden of Disease Series, Nr. 5).
- [12] TSCHJECHISCHES STATISTIKAMT 2025: Demografisches Jahrbuch der Regionen – für den Zeitraum 2015–2024. <https://csu.gov.cz/produkty/demograficka-rocenka-kraju-9lhzzsboxm>.
- [13] TSCHJECHISCHES STATISTIKAMT 2025: Todesfälle nach Todesursachen, Geschlecht und Alter in der Tschechischen Republik, den Regionen und Kreisen – für den Zeitraum 2015–2024. <https://csu.gov.cz/produkty/zemreli-podle-seznamu-pricin-smrti-pohlavi-a-veku-v-cr-krajich-a-okresech-9cq4mzige>.

- [14] TSCHJECHISCHES STATISTIKAMT 2025: Altersstruktur der Bevölkerung – Daten für das Jahr 2024. Archiv: Daten für die Jahre 2023, 2022, 2021 und 2020. <https://csu.gov.cz/produkty/vekove-slozeni-obyvatelstva-jx7mf54ulx>.
- [15] ÚZIS ČR 2026: Datenanalyse: Prävalenz und Inzidenz ausgewählter Erkrankungen. NZIS-Daten (NRHZS und LPZ) für den Zeitraum 2010–2024. Institut für Gesundheitsinformationen und Statistik der Tschechischen Republik.
- [16] NZIS 2026: Nationales Gesundheitsinformationsportal. Gesundheitsministerium der Tschechischen Republik und Institut für Gesundheitsinformationen und -statistik der Tschechischen Republik. <https://www.nzip.cz/>.
- [17] Šumník Z., Konečná P., Venháčová P., Neumann D., Škvor J., Pomahačová R., Strnadel, J., Průhová, Š., Petruželková, L., Vosáhlo, J., Kocourková, K., Pavlíková, M. & Cinek, O. 2022. Die Kompensation von Typ-1-Diabetes bei tschechischen Kindern verbessert sich langfristig: Daten aus dem nationalen Register ČENDA (2013–2020). Tschechisch-Slowakische Pädiatrie. 77(2): S. 64–71. <http://doi.org/10.55095/CSPediatric2022/008>.
- [18] Šumník, Z., Venháčová, J., Škvor, J., Pomahačová, R., Konečná, P., Neumann, D., Vosáhlo, J., Strnadel, J., Čížek, J., Obermannová, B., Petruželková, L., Průhová, Š., Pavlíková, M., Cinek, O. 2020. Fünf Jahre Verbesserung der Diabeteskontrolle bei tschechischen Kindern nach der Einrichtung des bevölkerungsbezogenen Kinder-Diabetes-Registers ČENDA. Pediatric Diabetes, 21(1), S. 77–87. <https://doi.org/10.1111/pedi.12929>.
- [19] GDB 2019 Dementia Forecasting Collaborators. 2022. Estimation of the global prevalence of dementia in 2019 and forecasted prevalence in 2050: an analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. The Lancet Public Health, 7(2), S. 105–125. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(21\)00249-8](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(21)00249-8).
- [20] DataPAQ: Browser für regionale Daten. 2026. Versäumte Unterrichtsstunden pro Schüler (2017/18 bis 2022/23) nach Regionen. PAQ Research. https://datapaq.cz/?g=kraj&v1=zameskane_hodiny_na_zaka&v1p=2015-2021&v1t=hodnoty&v2=zameskane_hodiny_na_zaka&v2p=2017-2023&v2t=hodnoty.
- [21] MŠMT 2023: Rahmenlehrplan für die Grundschulbildung. Ministerium für Bildung, Jugend und Sport der Tschechischen Republik. https://edu.gov.cz/wp-content/uploads/2023/07/RVP_ZV_2023_cista_verze.pdf.
- [22] US EPA: Integrated Risk Information System, Toxicological Review of Benzo(a)pyrene, 2017.
- [23] Greif-akustika, s. r. o.: Errichtung und Betrieb des SMR ETE – Verkehrsaufkommen, akustische Studie für die UVP. Prag, 2025
- [24] Greif-akustika, s. r. o.: Bau und Betrieb der SMR ETE – stationäre Lärmquellen, akustische Studie für die UVP. Prag, 2025
- [25] WHO: Night noise Guidelines for Europe 2009. <http://www.euro.who.int/pubrequest>
- [26] SZÚ: Zulassungsleitfaden AN 15/04, Version 5: Leitfaden zur Bewertung des Gesundheitsrisikos durch Lärmexposition, SZÚ, Prag, 2020

- [27] Miedema, H. M. E.: Noise & Health: How Does Noise Affect Us?, The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, The Hague, 2001
- [28] European Commission Working Group on Health and Socio-Economic Aspects: Position Paper on Dose-Effects Relationships for Night Time Noise, 2004
- [29] European Commission: Position paper on dose-response relationships between transportation noise and annoyance. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2002
- [30] European Environment Agency: Good practice guide on noise exposures and potential health effects. Copenhagen. 2010
- [31] Babisch W.: Road traffic noise and cardiovascular risk. Noise Health 2008; 10:27-33
- [32] WHO: Environmental Noise Guidelines for the European Region. WHO Regional Office for Europe, Kodaň, 2018. <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>
- [33] SZÚ: Gesundheitliche Auswirkungen von Lärm. <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdravotni-ucinky-hluku>

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

COŽP UK	Zentrum für Umweltfragen der Karls-Universität
ČHMÚ	Tschechisches Hydrometeorologisches Institut
ČR	Tschechische Republik
ČSÚ	Tschechisches Statistikamt
EEG	Elektroenzephalografie
ETE	Kraftwerk Temelín
EU	Europäische Union
CHOPN	chronisch obstruktive Lungenerkrankung
IARC	Internationale Agentur für Krebsforschung (International Agency for Research on Cancer)
IHK	ischämische Herzkrankheit
ICD	Internationale Klassifikation der Krankheiten
MŠMT	Ministerium für Bildung, Jugend und Sport
NJZ	neue Kernkraftanlage
NJZ ETE	Neue Kernkraftanlage am Standort Temelín
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PM ₁₀	Partikel mit einem Durchmesser von bis zu 10 µm
PM _{2,5}	Partikel mit einem Durchmesser von bis zu 2,5 µm
RR	relatives Risiko
SMR	Kleiner modularer Reaktor (Small Modular Reactor)
SMR ETE	Kleiner modularer Reaktor am Standort Temelín
SZÚ	Staatliches Gesundheitsinstitut
US EPA	Umweltschutzbehörde der USA (U.S. Environmental Protection Agency)
ÚZIS	Institut für Gesundheitsinformationen und Statistik
WHO	Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization)