

NEUE KERNKRAFTANLAGE AM STANDORT DUKOVANY

DP4 (DP41) – Auswirkungen auf die öffentliche
Gesundheit



Auftraggeber:

ÚJV Řež, a.s., Geschäftsbereich ENERGOPROJEKT Prag

Datum:

Februar 2017

Bearbeiter:

Amec Foster Wheeler s.r.o.

Vermerk zur Ausgabe des Dokuments

Titel des Dokuments	Neue Kernkraftanlage am Standort Dukovany Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit
Dokumentnummer	C2010-16-0/Z1
Auftraggeber	ÚJV Řež, a.s., Geschäftsbereich ENERGOPROJEKT Prag
Zweck der Ausgabe	Final
Vertraulichkeitsgrad	Ohne Beschränkung

Ausgabe	Beschreibung	Erstellt von	Geprüft von	Genehmigt von	Datum
01	Draft	J. Kotulán	T. Bartoš	P. Vymazal	3. 2. 2017
	Final	J. Kotulán	T. Bartoš	P. Vymazal	28. 2. 2017

Sofern dieses Dokument die vorherige Ausgabe ersetzt, ist diese zu vernichten oder deutlich mit ERSETZT zu kennzeichnen.

Verteiler:	4 Exemplare	ÚJV Řež, a.s., Geschäftsbereich ENERGOPROJEKT Prag
	4 CD	ÚJV Řež, a.s., Geschäftsbereich ENERGOPROJEKT Prag
	1 Exemplar	Archiv Amec Foster Wheeler s.r.o.
	1 elektronische Kopie	Elektronisches Archiv Amec Foster Wheeler s.r.o.

© Amec Foster Wheeler s.r.o., 2017

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument, Teile des Dokuments oder Informationen aus diesem Dokument dürfen über den Rahmen der Vertragsbestimmung hinaus nur mit schriftlicher Genehmigung des verantwortlichen Vertreters des Bearbeiters, der Firma Amec Foster Wheeler s.r.o., weitergegeben, veröffentlicht, vervielfältigt, kopiert, übersetzt, in digitaler Form oder maschinell verarbeitet werden.

Angaben zu den Autoren

Autor: Prof. MUDr. Jaroslav Kotulán, CSc.

Inhaber der Bescheinigung der fachlichen Eignung für die Beurteilung der Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit erlassen auf der Basis des Beschlusses des Gesundheitsministeriums gemäß § 19 Abs. 1 des Gesetzes Nr. 100/2001 GBl. über die Beurteilung der Umwelteinflüsse in der Fassung des Gesetzes Nr. 93/2004 GBl. und gemäß der weiterführenden Verordnung Nr. 353/2004. Der Beschluss wurde am 19.11.2004 ausgegeben - Gz. HEM-300-26.8.04/25788, laufende Nummer der Bescheinigung 1/Z/2004. Zuletzt erneuert mit dem Beschluss desselben Ministeriums vom 19.11.2014 - Gz. MZDR 58908/2014-3/OVZ.

Zemědělská 24, 613 00 Brno

Datum der Bearbeitung: 28. 2. 2017

Projektleiter: Ing. Petr Vymazal

Amec Foster Wheeler s.r.o., Křenová 58, 602 00 Brunn

Tel: +420 725 607 970

E-Mail: vymazal(at)amecfw.cz

Es kooperierten:

Titel	Vorname	Nachname	Firma	Telefon	Email
RNDr., Ph.D.	Tomáš	Bartoš	Amec Foster Wheeler s.r.o.	+420 725 607 967	bartos(a)amecfw.cz

Das Dokument wurde mit dem bei der Gesellschaft Microsoft registrierten Editor MS Word erstellt.

Verzeichnis

1	EINLEITUNG	7
2	METHODISCHE VORGEHENSWEISE	9
3	AUSWIRKUNGEN DER STRAHLENEXPOSITION DURCH DEN BETRIEB DER NEUEN KERNKRAFTANLAGE	12
3.1	Ionisierende Strahlen und ihre biologischen Wirkungen	12
3.1.1	Radioaktivität und ionisierende Strahlung	12
3.1.2	Arten der ionisierenden Strahlung	14
3.1.3	Äußere und innere Bestrahlung	16
3.1.4	Ionisierende Strahlung in der Umwelt	17
3.2	Charakteristik des Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs, Grenzwerte	18
3.2.1	Begriffe, Größen, Einheiten	18
3.2.2	Auswirkungen der ionisierenden Strahlung auf lebende Masse	20
3.2.3	Strahlendosen	22
3.2.4	Dosis-Wirkungs-Zusammenhang der Strahlung, Grenzwerte der Strahlenexposition	23
3.2.5	Strahlenschutz	25
3.2.6	Auswirkungen der Strahlung der Kernkraftwerke auf die Bevölkerung	26
3.3	Strahlungsexposition der Bevölkerung durch den aktuellen Betrieb von EDU1-4	27
3.3.1	Kernkraftwerk Dukovany und seine Ableitungen	27
3.3.2	Überwachung der Expositionssituation in der Umgebung von EDU1-4	27
3.3.3	Strahlenexposition der Bevölkerung	29
3.3.4	Individuelle Strahlenbelastungen durch ionisierende Strahlung der gasförmigen und flüssigen Ableitungen in kritischen Gruppen	31
3.3.5	Gesundheitszustand der Bevölkerung	35
3.4	Strahlungsauswirkungen der neuen Kernkraftanlage auf die Bevölkerung	43
3.4.1	Studie ABmerit	43
3.4.2	Arbeitsverfahren	47
3.4.3	Berechnete Strahlendosen	49
3.4.4	Gesundheitsrisiken	56
3.4.5	Strahlungshintergrund	60
3.4.6	Schlussfolgerungen zu den Auswirkungen der Strahlenexposition	61
4	STRAHLUNGSFREIE AUSWIRKUNGEN	62
4.1	Identifikation der gesundheitlich bedeutsamen Auswirkungen	62
4.2	Luftverschmutzung	62
4.2.1	Stickstoffdioxid	63
4.2.2	Suspendierte Partikel in der Luft (PM ₁₀ und PM _{2,5})	66
4.2.3	Benzol	70
4.2.4	Benzo(a)pyren	71
4.2.5	Schlussfolgerungen zum Artikel über die Luft	72
4.3	Lärm	72
4.3.1	Bestimmung des Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs	74
4.3.2	Bewertung der Exposition	74
4.3.3	Charakteristik des Risikos	77
4.4	Elektrische und magnetische Felder	78
4.4.1	Charakteristik der magnetischen Felder	78

4.4.2	Auswirkungen der elektrischen und magnetischen Felder auf den Menschen	80
4.4.3	Standards, Grenzwerte, Empfehlungen.....	83
4.4.4	Weitere Erkenntnisse über die Auswirkungen der elektrischen Leitungen auf die Bevölkerung	84
4.4.5	Beurteilung der konkreten Situation, Vergleich mit geltenden Standards und Grenzwerten....	85
4.5	Schlussfolgerungen zu den strahlungsfreien Auswirkungen	86
4.5.1	Luft	86
4.5.2	Lärm	87
4.5.3	Elektrische und magnetische Felder	87
5	PSYCHOSOZIALE EINFLÜSSE	88
6	ANGABEN ZU GRENZÜBERSCHREITENDEN GESUNDHEITLICHEN AUSWIRKUNGEN	90
7	CHARAKTERISTIK DER MÄNGEL AN KENNTNISSEN UND DER UNBESTIMMTHEIT	91
8	ALLGEMEINE SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	92
9	UNTERLAGEN UND LITERATUR	93
10	LISTE DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN UND BEGRIFFE	96
11	ANLAGEN.....	99

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Nominale Risiko-Koeffizienten (10^{-2} Sv^{-1}) der gesundheitlichen Schäden für stochastische Auswirkungen nach der Exposition durch geringe Strahlendosen	24
Tab. 2	Werte der Summe der effektiven Dosen und der effektiven Folgedosen aus Ableitungen in die Luft für die kritische Bevölkerungsgruppe im Jahr 2014.....	33
Tab. 3	Werte der Summe der effektiven Dosen und der effektiven Folgedosen aus Ableitungen in Wasserläufe für die kritische Bevölkerungsgruppe im Jahr 2014	33
Tab. 4	Berechnung des aktuellen Risikos (2014) eines Gesundheitsschadens durch die Ableitungen aus EDU1-4 in die Luft für einen Menschen, der im Alter 0 - 30 Jahre in einer kritischen Bevölkerungsgruppe gelebt hat	34
Tab. 5	Berechnung des aktuellen Risikos (2014) eines Gesundheitsschadens durch die Ableitungen aus EDU1-4 in die Wasserläufe für einen Menschen, der im Alter 0 - 30 Jahre in einer kritischen Gruppe lebte	34
Tab. 6	Lage aller Sektoren der Berechnungszone für die neue Kernkraftanlage.....	45
Tab. 7	Maximale effektive Dosen einer repräsentativen Einzelperson in der nahen Umgebung der neuen Kernkraftanlage.....	50
Tab. 8	Höchste Gesamtdosis der Strahlung auf dem Gebiet der Nachbarstaaten	50
Tab. 9	Ausgewählte Charakteristiken der Sektoren des südlichen Sektors	51
Tab. 10	Effektive Gesamtdosen und effektive Folgedosen aus der Atmosphäre (Sv) in den Sektoren des südlichen Sektors der beobachteten Zone bei der Alternative A (NKKA 2x 1200 MW _e , Stilllegung von EDU1-4).....	51
Tab. 11	Effektive Gesamtdosen und effektive Folgedosen aus der Atmosphäre (Sv) in den Sektoren des südlichen Sektors der beobachteten Zone bei der Alternative B (NKKA 1x 1750 MW _e , Betrieb von EDU 2-4 und Stilllegung von EDU1)	52
Tab. 12	Effektive Gesamtdosen und effektive Folgedosen aus der Atmosphäre (Sv) in den Sektoren des südlichen Sektors der beobachteten Zone bei der Alternative C (NKKA 2x 1750 MW _e , Stilllegung von EDU1-4).....	52
Tab. 13	Liste der beurteilten Sektoren im Flussgebiet Jihlava und einige ihre Charakteristiken.....	53

Tab. 14 Effektive Gesamtdosen und effektive Folgedosen aus der Hydrosphäre und der Atmosphäre + Hydrosphäre (Sv) in den Sektoren des Flussgebietes des Flusses Jihlava bei der Alternative A (NKKA 2x 1200 MW _e , Stilllegung von EDU1-4)	54
Tab. 15 Effektive Gesamtdosen und effektive Folgedosen aus der Hydrosphäre und der Atmosphäre + Hydrosphäre (Sv) in den Sektoren des Flussgebietes des Flusses Jihlava bei der Alternative B (NKKA 1x 1750 MW _e , Betrieb von EDU2-4 und Stilllegung von EDU1)	54
Tab. 16 Effektive Gesamtdosen und effektive Folgedosen aus der Hydrosphäre und der Atmosphäre + Hydrosphäre (Sv) in den Sektoren des Flussgebietes des Flusses Jihlava bei der Alternative C (NKKA 2x 1750 MW _e , Stilllegung von EDU1-4)	55
Tab. 17 Risiko eines Gesundheitsschadens durch die maximalen effektiven Dosen einer repräsentativen Einzelperson in der nahen Umgebung der neuen Kernkraftanlage	57
Tab. 18 Risiko von Gesundheitsschäden durch die maximalen effektiven Dosen und die effektiven Folgedosen in den Nachbarländern	58
Tab. 19 Risiko eines lebenslangen Gesundheitsschadens in den Sektoren des südlichen Segmentes der beobachteten Zone	58
Tab. 20 Das lebenslange Risiko eines Gesundheitsschadens in den Sektoren des Flussgebietes Jihlava bis zum Zusammenfluss mit dem Oslava	59
Tab. 21 Das lebenslange Risiko eines Gesundheitsschadens in den Sektoren des Flussgebietes Jihlava hinter dem Zusammenfluss mit dem Oslava	59
Tab. 22 Jährliche effektive Dosen einer repräsentativen Einzelperson (0 - 5 km von der neuen Kernkraftanlage entfernt) und Einwohner in einer Entfernung von 5-20 km zur neuen Kernkraftanlage	60
Tab. 23 Ausgewählte Referenzpunkte im nächsten bewohnten Gebiet	62
Tab. 24 Am meisten durch Emissionen belastete Bezirke in Transitgemeinden	63
Tab. 25 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - durchschnittliche Konzentrationen des Stickstoffdioxids ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	64
Tab. 26 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - maximale Stundenkonzentration des Stickstoffdioxids ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	65
Tab. 27 Richtwerte und Zwischenziele für suspendierte Stoffe in der Luft: jährliche durchschnittliche Konzentrationen ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), WHO 2006	67
Tab. 28 Richtwerte und progressive Ziele für suspendierte Stoffe in der Luft: 24-stündigen Konzentrationen ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), WHO 2006	67
Tab. 29 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - durchschnittliche Konzentrationen von festen Stoffen der Fraktion PM ₁₀ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	67
Tab. 30 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - maximale tägliche Konzentrationen von festen Stoffen der Fraktion PM ₁₀ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	68
Tab. 31 Anzahlen der Überschreitung des Grenzwertes für die maximale Konzentration PM ₁₀	68
Tab. 32 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - durchschnittliche Konzentrationen von festen Stoffen der Fraktion PM _{2,5} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	69
Tab. 33 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - durchschnittliche Konzentrationen des Benzols ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	71
Tab. 34 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - durchschnittliche Konzentrationen des Benz(a)pyrens ($\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$)	72
Tab. 35 Schwellenwerte der nachgewiesenen Auswirkungen der Lärmbelästigung – Tageszeit (L _{Aeq, 6-22} Uhr)	74
Tab. 36 Schwellenwerte der nachgewiesenen Auswirkungen der Lärmbelästigung – Nachtzeit (L _{Aeq, 22-6} Uhr)	74
Tab. 37 Referenzpunkte für die Beurteilung des Lärms aus der neuen Kernkraftanlage	75
Tab. 38 Beiträge aus stationären Quellen zu den lokalen Lärmpegeln im nächsten Wohngebiet	75

Tab. 39 Lärmpegel (dB) in exponierten Transitgemeinden zur Tageszeit im Horizont des Jahres 2029 mit Beteiligung des Baus der neuen Kernkraftanlage und ohne sie.....	77
Tab. 40 Referenzniveaus von Wechselstromfeldern und magnetischen Feldern für die Exposition der allgemeinen Bevölkerung	84

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Gitternetz von Kreisen und Ausschnitten in der Umgebung für Dosenberechnungen	32
Abb. 2 Exponierte Bereiche und Kontrollbereiche ausgewählt für die Beurteilung des Gesundheitszustandes	38
Abb. 3 Gesamte altersbedingte standardisierte Sterblichkeit in exponierten Gebieten und Kontrollgebieten. Bemerkung: SMR = 100,0 bezeichnet das gesamtstaatliche Niveau in der Tschechischen Republik.....	39
Abb. 4 Altersbedingt standardisierte Sterblichkeit auf Grund von Herz- und Gefäßkrankheiten in exponierten Gebieten und Kontrollgebieten. Bemerkung: SMR = 100,0 bezeichnet das gesamtstaatliche Niveau in der Tschechischen Republik	39
Abb. 5 Altersbedingt standardisierte Sterblichkeit auf Grund von bösartigen Geschwülsten in exponierten Gebieten und Kontrollgebieten. Bemerkung: SMR = 100,0 bezeichnet das gesamtstaatliche Niveau in der Tschechischen Republik	40
Abb. 6 Altersbedingt standardisierte Inzidenz aller Arten von Geschwülsten gesamt in exponierten Gebieten und Kontrollgebieten. Bemerkung: SIR = 100,0 bezeichnet das gesamtstaatliche Niveau in der Tschechischen Republik.....	41
Abb. 7 Die Entwicklung der Inzidenz der spontanen Fehlgeburten in den exponierten Gebieten und Kontrollgebieten im Zeitraum 1994 bis 2012	42
Abb. 8 Die Entwicklung der Kinder mit niedrigem Geburtsgewicht in den exponierten Gebieten und Kontrollgebieten im Zeitraum 1994 bis 2012	42
Abb. 9 Berechnungszone für die neue Kernkraftanlage nach dem Programm ESTE AI.....	44
Abb. 10 Windrose 2014: Verteilung der Windrichtung in der Höhe von 10 m am Standort Dukovany für das Jahr 2014	47
Abb. 11 Änderungen der Gesamtdosen und der effektiven Folgedosen aus der Atmosphäre mit der Entfernung von der neuen Kernkraftanlage bei einzelnen Alternativen	53
Abb. 12 Änderungen der Gesamtdosen und der effektiven Folgedosen aus der Hydrosphäre mit der Entfernung von der neuen Kernkraftanlage bei einzelnen Alternativen	56

1 Einleitung

Gegenstand dieser Studie ist die Beurteilung der potentiellen gesundheitlichen Auswirkungen der Neuen Kernkraftanlage am Standort Dukovany (im Folgenden NKKK genannt), einschließlich sämtlicher zugehöriger Bauobjekte und Betriebskomplexe zur Erzeugung und Übertragung elektrischer Energie und die Beurteilung der Gesundheitsrisiken sowohl durch die Strahlenexposition (aus effektiven Dosen bzw. effektiven Folgedosen) als auch durch strahlungsfreie Auswirkungen (Luft, Lärm und weitere relevante Faktoren).

Beurteilt werden der Zeitraum des Betriebs und des Baus der NKKK, einschließlich des Zusammenwirkens mit EDU1-4 und weiteren Kernkraftanlagen und sonstigen Anlagen am Standort.

Bei der Beurteilung der Auswirkungen der Kernkraftanlage (im Folgenden als KKA bezeichnet) auf die öffentliche Gesundheit muss das Hauptaugenmerk auf die ionisierende Strahlung als den potentiell schädlichen Faktor des Betriebs gerichtet werden. Die Beschreibung und die Analyse der möglichen Auswirkungen dieser Strahlung hat nicht nur eine unmittelbar gesundheitliche, sondern auch eine psychologische Bedeutung. Im Bewusstsein der Öffentlichkeit wird die ionisierende Strahlung manchmal als unsichtbare und hinterhältige Gefahr wahrgenommen, die auf unterschiedliche und verborgene Weise die Gesundheit und das Leben von Personen gefährden kann. Die damit verbundenen Ängste wurden in der neuesten Geschichte durch zwei Unfälle verstärkt, im Jahr 1986 im ukrainischen Tschernobyl und im Jahr 2011 im japanischer Fukushima. Auch ein noch so gut gesicherter Betrieb der Atomkraftwerke bleibt somit für die breite Öffentlichkeit eine versteckte Gefahr und die Pläne für seine Erweiterung begegnen negativen Stellungnahmen und Reaktionen. Seriöse Fachinformationen können hier zu realistischen Ansichten über die möglichen Risiken beitragen, ohne sie zu unterschätzen oder auch zu überschätzen.

Das Bauvorhaben einer neuen Kernkraftanlage ergibt sich aus der Staatlichen Energiekonzeption. Sie soll die Kohleenergie und in der Zukunft schrittweise auch das bestehende betriebene Kernkraftwerk Dukovany (EDU1-4) ersetzen. Das Vorhaben einer neuen Kernkraftanlage soll in der nächsten Nachbarschaft der bestehenden betriebenen EDU1-4 realisiert werden.

Im Rahmen der Realisierung des Vorhabens einer neuen Kernkraftanlage sollen 1 bis 2 neue Blöcke mit der installierten elektrischen Netto-Leistung von bis 2400 MWe errichtet werden. Es kommen mehrere Realisierungsvarianten in Frage: 1 oder 2 Blöcke bis 1200 MWe oder 1 Block bis 1455 MWe oder 1 Block bis 1750 MWe. Der erste Block der neuen Kernkraftanlage soll im Jahr 2035 und der zweite (falls realisiert) spätestens bis 2045 in Betrieb genommen werden. Bis zur Beendigung des Baus des 2. Block der neuen Kernkraftanlage oder spätestens bis zum Jahr 2045 wird auch ein möglicher Parallelbetrieb der bestehenden EDU vorausgesetzt. Im Falle eines solchen Gleichlaufs wird die Gesamtleistung durch die Kapazität des Übertragungsnetzes, und zwar durch den Wert von 3250 MWe begrenzt.

Es bieten sich eine Reihe von Realisierungsalternativen, die endgültige Auswahl des Lieferanten ist allerdings nicht bekannt und in der momentanen Situation ist sie auch nicht möglich. Für die Prognose und Bewertung der Auswirkungen der Strahlung auf die Einwohner wurden drei zu realisierende Leistungsalternativen ausgewählt:

- ▶ A) Betrieb der NKKK 2 x 1200 MWe, Stilllegung von EDU1-4. Der Berechnung der Auswirkungen liegt der langfristige perspektivische Durchschnittsdurchfluss im Fluss Jihlava unter dem Staubecken Mohelno = 3,3 m³/s zugrunde. Diese Leistungsalternative führt zu einer höheren Strahleneinflüssen als der Betrieb der neuen Kernkraftanlage 1 x 1200 MWe und der Betrieb von EDU1-4.
- ▶ B) Betrieb der NKKK 1 x 1750 MWe, Stilllegung von EDU2-4 und EDU1. Der Berechnung der Auswirkungen liegt der langfristige perspektivische Durchschnittsdurchfluss im Fluss Jihlava unter dem Staubecken Mohelno = 3,0 m³/s zugrunde.
- ▶ C) Betrieb der NKKK 1 x 1750 MWe, Stilllegung von EDU1-4. Der Berechnung der Auswirkungen liegt der langfristige perspektivische Durchschnittsdurchfluss im Fluss Jihlava unter dem Staubecken Mohelno = 3,7 m³/s zugrunde.

Alle weiteren möglichen Realisierungsalternativen werden durch diese drei angeführten Alternativen gedeckt. Das wichtigste Alternative mit den größten Auswirkungen ist die erste Alternative (sub A). Sie hat die größten Strahlungsauswirkungen auf die Umgebung.

Das Zeitharmonogramm des Projekts für den Fall des Baus von einem oder zwei neuen Reaktoren der NKKA, bezeichnet als NKKA, wird wie folgt angenommen:

- ▶ 2025 - 2035: Betrieb von EDU1-4 (bis 2000 MW_e), Aufbau des 1. Blocks der NKKA, Aufbau des 2. Blocks NKKA
- ▶ 2035 - 2045: *niedrigere Leistungsalternative der NKKA (Blöcke mit der Leistung bis 1200 MW_e):*
 Betrieb von EDU1-4 (bis 2000 MW_e), Betrieb des 1. Blocks der NKKA (bis 1200 MW_e) und gleichzeitig Aufbau des 2. Blocks der NKKA
höhere Leistungsalternative der NKKA (Block mit der Leistung bis 1750 MW_e):
 Betrieb von EDU2-4 (bis 1500 MW_e), Betrieb des 1. Blocks der NKKA (bis 1750 MW_e), Stilllegung von EDU1
- ▶ 2045 – 2105: *niedrigere Leistungsalternative der NKKA (Blöcke mit der Leistung bis 1200 MW_e):*
 Betrieb von zwei Blöcken der NKKA (bis 2400 MW_e), Stilllegung von EDU1-4
höhere Leistungsalternative der NKKA (Block mit der Leistung bis 1750 MW_e):
 Betrieb von einem Block der NKKA (bis 1750 MW_e), Stilllegung von EDU1-4

Konservativ wird eine Überschneidung des Ausbaus des 1. und 2. Blocks der neuen Kernkraftanlage berücksichtigt (Abstand zwischen dem Beginn der Bauten 1 Jahr).

Gemäß der staatlichen Energiekonzeption und dem nationalen Aktionsplan der Entwicklung der Kernkraftenergie ist die Priorität, die bestehenden Blöcke EDU1-4 möglichst lange - mindestens bis 2035-37 unter den Bedingungen eines sicheren und wirtschaftlichen Betriebs zu betreiben. Gemäß der Zeit der Inbetriebnahme der einzelnen Blöcke EDU1-4 (in Jahren 1985-87) idealerweise bis 2045-47.

Die geplante Lebensdauer der Blöcke der neuen Kernkraftanlage beträgt 60 Jahre, wie es den Standardprojekten der PWR III+ Generation entspricht.

Die Inbetriebnahme des 2. Blocks der neuen Kernkraftanlage ist erst nach der Beendigung des Betriebs aller bestehenden Blöcken EDU1-4 möglich. Für den Fall, dass es erforderlich wäre, EDU1-4 früher als 2045 außer Betrieb zu nehmen, wird der Ausbau die beiden neuen Blöcke im Abstand von 1 Jahr in Betracht gezogen. Die Auswirkungen des Baus (vor allem der Verkehrsanbindung) sind in diesem Fall am größten.

2 Methodische Vorgehensweise

Die Methode der Beurteilung der Gesundheitsauswirkungen ist in diesem Falle eine Risikoanalyse (Risk Assessment), basierend auf den Vorgehensweisen, die vom amerikanischen Amt für Umweltschutz (US EPA) und im Rahmen der Europäischen Union ausgearbeitet und kontinuierlich weiterentwickelt werden. Sie bilden auch die Grundlage der Richtlinien des Umweltministeriums der Tschechischen Republik.

Die Risikobeurteilung (Risk Assessment) ist eine fachliche Tätigkeit, die sich auf die Feststellung des Charakters und der Wahrscheinlichkeit ungünstiger Auswirkungen für Menschen und die Umwelt infolge einer Exposition durch chemische oder sonstige Gefahrstoffe.

Die methodische Vorgehensweise der konventionellen Beurteilung des Risikos besteht aus den vier folgenden Schritten:

► **Identifizierung der Gefährlichkeit (Hazard Identifikation)**

Es geht um die einführende qualitative Bekanntmachung mit dem zu bewertenden Standort, den vorhandenen Schadstoffen und Umständen deren potenziell ungünstigen Auswirkungen auf die Bevölkerung. Das grundlegende Resultat dieses Schritts ist eine Liste der bedeutsamen gesundheitsschädlichen Schadstoffe und die Begründung der Methode ihrer Auswahl. Die Liste wird ergänzt von einer Beschreibung der physikalischen, chemischen und toxikologischen Grundeigenschaften der gewählten Schadstoffe und deren Ausbreitung und der eventuellen Umwandlungen in der Umwelt, der Expositionswege, der Auswirkungen im Organismus des Menschen und der möglichen gesundheitlichen Effekte.

► **Beurteilung des Dosis - Wirkungs-Zusammenhangs (Dose - Response Assessment)**

In diesem Schritt wird die Beziehung zwischen dem Expositionsniveau und der Höhe des Risikos identifiziert¹. Die Gefährlichkeit des Schadstoffs wird oft als lebenslanges Risiko je Einzelexposition beurteilt.

Bezüglich des Typs der gesundheitlichen Auswirkungen werden die chemischen und physikalischen Schadstoffe in zwei Grundkategorien unterteilt:

- Schadstoffe mit Wirkungsschwelle, bei denen vorausgesetzt wird, dass minimalen Dosen bis zu einem bestimmten Niveau (Schwelle) keine ungünstigen Auswirkungen haben. Über dem Schwellenwert wächst dann der Grad der Auswirkungen mit der Höhe der Exposition. In diese Gruppe gehören die meisten giftigen Stoffe.
- Schadstoffe ohne Wirkungsschwelle sind Schadstoffe, bei denen ein bestimmter negativer Effekt schon ab den geringsten Dosen erwartet wird. Das Risiko wächst somit mit steigender Exposition von ihrem Null-Niveau, die Abhängigkeit der Dosis und der Auswirkung wird im Bereich der niedrigen Dosen überwiegend als linear betrachtet. In diese Gruppe sind die meisten krebserregenden Stoffe und auch die radioaktive Strahlung einzuordnen.

Einige Stoffe haben mit und ohne Wirkungsschwelle Auswirkungen (giftig und auch krebserregend). In solchem Fall wird gewöhnlich von einer schwellenfreien Wirkung ausgegangen, die bei niedrigen Schadstoffniveaus für die Umwelt gewöhnlich schwerwiegender ist.

Die Bewertung der Risiken von Schadstoffen mit und ohne Wirkungsschwelle unterscheidet sich grundsätzlich.

Bei Stoffen mit Wirkungsschwelle wird anhand der Forschungsarbeiten mit Versuchstieren und epidemiologischer Studien an Menschen der entsprechende Schwellenwert bestimmt, der mit der Abkürzung NOAEL bezeichnet wird. Dieser Schwellenwert ist der Maßstab für die Toxizität des gegebenen Stoffes. Je niedriger sie ist, umso toxischer ist der Stoff. Vom Wert NOAEL wird dann durch die Anwendung des Sicherheits- und Unsicherheitsfaktors der Wert der Referenzdosis RfD abgeleitet, der in der Regel um drei oder sogar vier Größenordnungen niedriger ist (d.h. strenger) als der NOAEL. Der Referenzwert wird als eine Schätzung der täglichen Exposition der Bevölkerung (einschließlich der empfindlichen Gruppe)

¹ Als Risiko wird hier die mathematische Wahrscheinlichkeit bezeichnet, mit der es unter definierten Bedingungen zur Schädigung der Gesundheit, Krankheit oder zum Tod kommt. Theoretisch bewegt sie sich zwischen null (keine Beschädigung) und eins (Schädigung in allen Fällen).

definiert, der bei lebenslanger Wirkung wahrscheinlich keine Gesundheitsschäden verursacht. Ähnlich wird für die inhalativen Exposition die definierte Referenzkonzentration (RfC) bestimmt.

Bei Stoffen ohne Wirkungsschwelle wird anhand der wissenschaftlichen Erkenntnisse das Niveau der Exposition bestimmt, die für akzeptabel gehalten wird. Sie wird mit der Abkürzung RsD (risk-specific Dose) gekennzeichnet. Bei der inhalativen Exposition wird eine ähnlich aufgefasste Referenzkonzentration (RcC) bestimmt. Die Entscheidung darüber, was akzeptabel ist, ist jedoch eine kontroverse Angelegenheit, die in verschiedenen Ländern und Institutionen unterschiedlich beurteilt wird. Als strengstes Kriterium für das akzeptable Risiko wird ein Fall der Gesundheitsbehinderung per eine Million Einwohner verwendet (1×10^{-6} , bzw. $1 \text{E-}06$), manchmal werden auch weniger strenge Niveaus, von bis zu 1×10^{-4} angewandt. Die Werte RsD bzw. RsC werden auf der Basis der Wirkstärke der krebserregenden Wirkung des gegebenen Stoffes, d. h. vom Verlauf der Dosis-Wirkung-Kurve, abgeleitet. Diese Wirkstärke wird durch den Verlauf der Dosis-Wirkungs-Kurve im Bereich der niedrigen Dosen charakterisiert (Slope Factor resp. Cancer Risk Unit). Da es auf den Expositionsweg (Eintritt in den Organismus) ankommt, wird das Verfahren für den oralen Eintritt (durch den Verdauungstrakt) als OSF (Oral Slope Factor) bzw. für den inhalativen Eintritt (über die Atemwege) als IUR (Inhalation Unit Risk) bestimmt.

Die Werte RfD, RfC, RsD und RsC werden als Expositionsgrenzwerte bezeichnet. Ihre Bestimmung ist ein anspruchsvoller multidisziplinärer wissenschaftlicher Prozess, mit dem sich kompetente Institutionen wie US EPA, WHO u. a. befassen. In unserer Beurteilung gehen wir vorwiegend von den Expositionsgrenzwerte der US EPA aus. Im Falle der Auswirkungen geringer ionisierende Strahlung ist das Herangehen grundsätzlich übereinstimmend, als Kriterien werden die von Internationale Kommission für Strahlenschutz (ICRP) entwickelten Koeffizienten verwendet.

► **Bewertung der Exposition**

Es geht um eine Schätzung des Niveaus der Exposition (der Dosen), der unterschiedliche Bevölkerungsgruppen (Subpopulation) durch chemische Stoffe oder sonstige schädliche Faktoren aus der Umwelt ausgesetzt werden. Die Stufe der Exposition hängt nicht nur von Konzentrationen des Stoffes in der Umwelt, sondern auch vom Aufenthaltsort und der Aktivität der Personen ab. Bei inhalativer Exposition (durch Einatmen) kommt es z. B. darauf an, wie viel Zeit die Personen der jeweiligen Bevölkerungsgruppe (einschließlich der risikoreichen) außerhalb und innerhalb von Gebäuden verbringen, wie intensiv sie draußen atmen (während Arbeit bzw. Sport). Bei der oralen Exposition (durch Einnahme) kommt es z. B. darauf an, wie viel Wasser sie täglich aus der lokalen Quelle trinken, in welchen Mengen sie kontaminierte Nahrungsmittel konsumieren u. a. Die Bearbeitung der Expositionsunterlagen ist eine außerordentlich komplexe Aufgabe, die schwierigste des gesamten Prozesses der Risikobeurteilung.

► **Charakteristik des Risikos**

In diesem vierten Schritt werden die Auswirkungen auf die Bevölkerung bzw. Bevölkerungsgruppen unter Einbezug der Erkenntnisse über die Gefährlichkeit einzelner Stoffe und der Angaben über die Exposition prognostiziert. Für Stoffe mit Wirkungsschwelle wird der Expositionsindex ER (Exposure Ratio) errechnet, d. h. das Verhältnis der Exposition zum zugehörigen Expositionsgrenzwert oder dem empfohlenen Referenzniveau. Falls ER niedriger ist als 1, ist das Risiko vernachlässigbar, falls es höher ist, ist es erforderlich seinen Einfluss detaillierter zu analysieren. Bei krebserregenden Stoffen wird das Risiko auf die Einwohneranzahl errechnet. Die strengste angeführte Anforderung ist hier das Risiko in der Größenordnung $1 \text{E-}06$, das bedeutet bei lebenslanger Exposition tritt 1 Erkrankungsfall (bzw. ein Todesfall) pro 1 Million exponierter Einwohner auf.

Zu dieser methodischen Übersicht ist zu ergänzen, dass die Feststellung des Risikos durch das beschriebene Verfahren dort erforderlich ist, wo für den gegebenen Stoff im jeweiligen Element der Umwelt (Luft, Wasser u. Ä.) kein Grenzwert bestimmt wurde bzw. dort, wo dieser Grenzwert überschritten wird. Die Grenzwerte sind meistens so ausgearbeitet, dass sie die gesundheitliche Unbedenklichkeit bzw. den gesellschaftlich akzeptablen Grad des Risikos mit ausreichender Reserve sicherstellen, und ihr Einhaltung in der gegebenen Situation dem gesetzlichen Gesundheitsschutz entspricht. Bei einigen Schadstoffen werden allerdings in der Fachliteratur ungünstige Folgen auch bei Niveaus unterhalb des Grenzwertes angegeben. Bei den chemischen Schadstoffen betrifft dies vor allem suspendierte Stoffe in der Luft, physikalischen Lärm und ionisierende Strahlung. In diesen Fällen kann es im Rahmen der UVP günstig sein, auf diese Tatsachen hinzuweisen. Falls wir allerdings beim gegebenen Schadstoff über keine überzeugenden Angaben dieser Art verfügen, dann führen wir bei eingehaltenen Grenzwerten die Berechnung des Risikos mit der beschriebenen Methode Risk Assessment normalerweise nicht durch.

Die neue Kernkraftanlage am Standort Dukovany könnte sich auf die öffentliche Gesundheit einerseits durch die Ableitung von Radionukliden in die Luft und ins Wasser (Strahlenauswirkungen) und andererseits durch die Verschmutzung der Luft, durch Lärm und einige weitere Faktoren (einschließlich der Verkehrsanbindung) zur Zeit des Baus und in der Zeit des Betriebs (strahlungsfreie Auswirkungen) auswirken. Die Auswirkungen der Strahlenexposition werden unter Berücksichtigung ihres spezifischen Charakters separat abgehandelt.

3 Auswirkungen der Strahlenexposition durch den Betrieb der neuen Kernkraftanlage

3.1 Ionisierende Strahlen und ihre biologischen Wirkungen

3.1.1 Radioaktivität und ionisierende Strahlung

Die physikalische Basis der Entstehung der ionisierenden Strahlung ist die Radioaktivität, d. h. die natürliche oder künstlich hervorgerufene Eigenschaft einiger nicht stabiler Atomkerne, sich selbständig umzuwandeln, dabei Strahlung (elektromagnetische oder korpuskulare) abzugeben und somit in einen energetisch niedrigeren und stabileren Zustand zu wechseln.

Bei der näheren Klärung der Probleme der Kernstabilität können wir von der bekannten Vorstellung über die Atomstruktur, entwickelt Anfang des 20. Jahrhundert durch E. Rutherford und N. Bohr, ausgehen, die an unser Sonnensystem erinnert. Auch wenn heutzutage bekannt ist, dass die Atomstruktur komplexer ist, ist das angeführte Modell stets eine nützliche Approximation für das grundlegende Verständnis der Atomstruktur. Der Atomkern besteht aus zwei Typen materieller Teilchen, Nukleonen - positiv geladenen Protonen und elektrisch neutralen Neutronen. Beide haben eine ähnliche Masse. Um den Kern herum kreisen in einer oder mehreren Abstandszonen (energetische Niveaus - Orbit) wesentlich kleinere Teilchen mit negativer Ladung - Elektronen. Sie sind 1800 Mal leichter als Neutronen und Protonen.

Die Eigenschaften des Elements werden durch die Anzahl der Protonen im Kern bestimmt. Diese Anzahl wird als sog. Atom-(Protonen-)Zahl angegeben und in Form des unteren Index links vom Zeichen des Elementes ausgedrückt. Mit wachsender Zahl der Protonen entsteht die Reihenfolge der Elemente, bekannt aus dem Periodensystem von Mendeljew: mit einem Proton Wasserstoff 1 H, mit zwei Helium 2He usw. bis zum letzten natürlichen Element in dieser Reihe, Uran mit 92 Protonen, 92U. Jedes Element ist dabei eine Mischung von Isotopen, die mit der Anzahl der Neutronen, also mit der Masse, abweichen. Dieses wird durch die sog. Nukleonenzahl (genannt auch als Massenzahl) charakterisiert, die die Summe der Anzahl der Protonen und Neutronen im Kern angibt. Die Nukleonenzahl wird als Index oben links vom Zeichen des Elementes angeführt z. B. bekanntes radioaktives Kohlenstoffisotop, das im Unterschied zum neutralen Kohlenstoff mit 6 Protonen und 6 Neutronen im Kern zwei Neutronen mehr hat, deshalb wird es als ^{14}C bezeichnet. Eine andere verwendete Art der Kennzeichnung, die ebenfalls in dieser Studie verwendet wird, ist C-14. Bei der Beschreibung von Isotopen in Worten werden Ausdrücke wie z. B. Kohlenstoff 14, Jod 131 u. Ä. verwendet.

Der Kern wird durch starke Kräfte zwischen den Nukleonen zusammengehalten. Es gibt aber auch abstoßende Kräfte, mit der sich die Protonen unter dem Einfluss ihrer positiven Ladung gegenseitig abstoßen. Das elektrische Feld der Protonen greift auch außerhalb des Kerns ein, an den es die Elektronen bindet. Die Atome mit einer gleichen oder sehr ähnlichen Anzahl von Protonen und Neutronen, in denen sich die angeführten Kräfte im Gleichgewicht befinden, sind stabil. Beliebige Änderungen der Anzahl, Anordnung und Energie der Nukleonen kann dieses Gleichgewicht zerstören. Dazu kommt es in Isotopen mit erhöhter oder verminderter Anzahl von Neutronen. Diese haben zwar ähnliche physikalische Eigenschaften, aber ihre Stabilität sinkt mit dem Maß der Abweichung von der idealen Anzahl von Nukleonen in beliebige Richtung. Bei größeren Abweichungen vom angeführten Ideal sind die Isotope instabil und unterliegen dem radioaktiven Zerfall. Wir bezeichnen sie als Radioisotopen bzw. Radionuklide. Sie sind entweder natürlich oder werden künstlich geschaffen. Jedes Element verfügt über isotopische Formen, schwerere Elemente haben die Tendenz zu einer größeren Anzahl Isotopen. In der Natur gibt es 256 Nuklide, die man als stabil betrachten kann und ungefähr 80 Radionuklide. Mehr als 1000 weitere Radionuklide wurden künstlich geschaffen.

In der Strahlungsphysik gibt es auch den Begriff Isomere. Das sind zwei Nuklide, die die gleiche Anzahl an Protonen und Neutronen, aber unterschiedliche energetische Zustände haben. Sie weisen einen abweichenden Ablauf des radioaktiven Zerfalls auf.

Jedes Radioisotop hat die Tendenz seine Stabilität durch die Änderung der Anzahl seiner Neutronen oder Protonen (oder beider) zu erhöhen. Das kann auf unterschiedliche Weise erreicht werden: durch die Konversion von Neutronen und Protonen, die Konversion der Protonen zu Neutronen oder durch das Abschließen eines Alpha-Teilchens (2 Protonen und 2 Neutronen). Jede Änderung des Kerns verbunden mit

der Emission von Teilchen oder Energie wird als Desintegration (oder Transformation) bezeichnet. Unter einer Aktivität verstehen wir die Anzahl der Desintegrationen in einer Zeiteinheit.

Bei der Änderung der Anzahl der Nukleonen (Protonen und Neutronen) emittiert der Kern Energie in Form ionisierender Strahlen. Bei der Änderung der Anzahl der Protonen ändert sich das gegebene Element, bei der Änderung der Neutronen bleibt es erhalten, allerdings als Isotop. Der Weg des Atoms zur Stabilität kann lang sein und eine Reihe von Teilschritten beinhalten, die für das gegebene Nuklid charakteristisch sind und die Zerfallsreihe bilden.

Radioaktive Atome (Radionuklide) ändern sich auf gesetzmäßige Weise, für jedes gibt es ein typisches Verfahren, das mit bestimmter Geschwindigkeit stattfindet.

Bei natürlichen radioaktiven Elementen gibt es drei Zerfallsreihen mit einem radioaktiven Anfangselement und einem stabilen Endelement:

- ▶ die Uran-Radium-Reihe beginnt mit $^{238}_{92}\text{U}$ und endet mit $^{206}_{82}\text{Pb}$,
- ▶ die Aktiniden-Reihe beginnt mit $^{235}_{92}\text{U}$ und endet mit $^{207}_{82}\text{Pb}$,
- ▶ die Thorium-Reihe beginnt mit $^{232}_{90}\text{U}$ und endet mit $^{208}_{82}\text{Pb}$,

Die Geschwindigkeit des Zerfalls der Radionuklide drücken wir als **effektive Halbwertszeit** (beschrieben in der Regel mit der Abkürzung $T_{1/2}$) aus, d. h. als die Zeit, die erforderlich ist zur Desintegration der Hälfte der radioaktiven Atome, die zum Zeitpunkt des Starts der Messung vorhanden sind. Für jedes Radionuklid bleibt seine Halbwertszeit konstant. Der fortschreitende Zerfall findet exponentiell statt. Nach dem Ablauf von zwei Halbwertszeiten bleiben 25 % der Anfangsaktivität, nach 7 Halbwertszeiten weniger als 1 %. In der ersten angeführten Zerfallsreihe dauert die längste effektive Halbwertszeit des U-238 4,5 Milliarden Jahre, die kürzeste hat Radon Rn-222, dessen effektive Halbwertszeit nur 3,8 Tage beträgt.

Bei der Desintegration eines Radionuklids wird die überflüssige Energie als radioaktive Strahlung emittiert. Diese kann einerseits korpuskular (Alpha und Beta), andererseits elektromagnetisch (Gamma) sein. Eine besondere Form stellt die Neutronenstrahlung dar. Unter Strahlung (Radiation) verstehen wir hier die Energie, die sich in Form von Teilchen oder Wellen ausbreitet.

Bei der Interaktion mit dem bestrahlten Material kann die radioaktive Strahlung eine Ionisierung auslösen. Das ist das Abscheiden, Ausstoßen oder eine andere Entfernung der Elektronen aus ihren orbitalen Bahnen. Somit wird das Gleichgewicht der elektrisch neutralen Atome zwischen positiv geladenen Protonen im Kern und negativ geladenen Elektronen auf orbitalen Bahnen gestört. Das Ergebnis ist einerseits die Entstehung von freien negativ geladenen Elektronen und andererseits positiv geladenen Atomresten. Solche elektrisch unausgeglichene Atomteile, mit einem Übergewicht der positiven oder negativen elektrischen Ladung, werden als Ionen bezeichnet. Die radioaktive Strahlung, die ihre Entstehung auslöst, wird deshalb auch als ionisierende Strahlung bezeichnet. Negativ oder positiv geladene Ionen sind durch Instabilität und höhere Reaktivität charakterisiert und beim Aufeinanderstoßen mit anderen Stoffen können sie in ihnen chemische oder elektrostatische Änderungen ausgelöst. Das kann schwerwiegende Folgen in lebenden Geweben haben.

Die Wirkung der Strahlung hängt von Energie, Masse und Ladung der Teilchen bzw. Photonen ab. Die Gamma-Strahlung hat eine hohe Durchdringung, aber ihre ionisierende Wirkung ist im Vergleich zur korpuskularen Strahlung wesentlich schwächer, sie ionisiert "dünn" (sie hat eine relativ geringe Messionisation, d. h. die Anzahl der gebildeten Ionen auf eine Bahneinheit ist niedrig). Sie wird (gemeinsam mit der ähnlich wirkenden Röntgenstrahlung) in der Fachliteratur mit dem englischen Begriff low-LET radiation bezeichnet und bedeutet eine sehr geringe ionisierende Strahlung entlang ihrer Bahnen. Geladene Teilchen der korpuskularen Strahlung haben im Gegenteil eine geringe Durchdringung und ionisieren dicht.

Die ionisierende Strahlung kann mit den Sinnen nicht erkannt werden, zu ihrer Bestimmung und Auswertung sind Messgeräte erforderlich. Man kann die Ionisierung auch als eine Folge der Strahlung messen und somit ihren Effekt beurteilen und eventuell regulieren.

Nicht jede Strahlung ist ionisierend. Es gibt eine ganze Skala von weiteren Typen elektromagnetischer Strahlung mit höheren Wellenlängen, die keine elektrisch geladenen Teilchen bilden. Sie setzen ebenfalls Energie in die bestrahlte Masse frei, sie bildet allerdings keine Ionen. Das ist die Kategorie der nicht ionisierenden Strahlung, zu der die ultraviolette, die sichtbare und infrarote Strahlung, Radar und weitere Mikrowellenradiationen, Strahlungen der Funkfrequenzen u. a. (in der Reihenfolge der sinkenden Frequenzen und wachsenden Wellenlängen) gehören.

3.1.2 Arten der ionisierenden Strahlung

Es gibt somit vier grundlegende Arten der ionisierenden Strahlung:

- ▶ Alpha-Strahlung (α),
- ▶ Beta-Strahlung (β),
- ▶ Gamma-Strahlung (γ) und Röntgenstrahlung (rtg),
- ▶ Neutronenstrahlung.

Alpha-Strahlung

Die Alpha-Strahlung ist ein Strom von α -Teilchen, bestehend aus zwei Protonen und zwei Neutronen (wie der Helium-Kern). Im Vergleich zu anderen Teilchen der ionisierenden Strahlung sind die Alpha-Teilchen schwerer und tragen eine größere (positive) Ladung. Deshalb haben sie eine relativ geringe Geschwindigkeit und Durchdringung (niedrige Penetrationsentfernung). Sie verbreiten sich mit einer ungefähr 2 x geringeren Geschwindigkeit als das Licht, in der Luft breiten sie sich höchstens 10 bis 18 cm aus. Sie haben eine Tendenz sich entlang einer Geraden auszubreiten und verursachen auf kleinem Raum eine große Anzahl Ionisierungen. Die Energie geben sie dabei innerhalb von einigen cm ab, dann nehmen sie bereits freie Elektronen an und verursachen anschließend keine weitere Ionisierung der Umgebung. Sie werden von einem Papierblatt oder von der oberen Schicht der toten Zellen auf der Haut aufgehalten. Sie stellen daher extern kein Risiko dar. Sie sind gefährlich, wenn sie in den Organismus eindringen (d. h. bei innerer Exposition), in der nächsten Umgebung des gegebenen Gewebes ionisieren sie stark. Sie erhöhen das Risiko vom Krebs z. B. bei der Inhalation erhöhen sie das Risiko vom Lungenkrebs. Ihr Effekt konzentriert sich dabei immer nur auf einen kleinen Gewebebereich. Die Exposition der Bevölkerung durch Alpha-Strahlung ist bei Radon und seinen Tochterprodukten am größten. Zum Schutz vor äußerer Kontamination ist es erforderlich, auch die Gewebe zu schützen, die nicht von Haut bedeckt sind wie Augen und offene Wunden.

Die Alpha-Strahlung entsteht durch den Zerfall der Atome, wenn das Verhältnis der Neutronen zu den Protonen zu niedrig ist. Es handelt sich überwiegend um Atome mit hoher Nukleonenzahl. Außer einige Ausnahmen haben sie die Atomzahl von mindestens 82 (Element Plumbum). Dazu zählen: Americium $^{241}_{95}\text{Am}$, Plutonium $^{238}_{94}\text{Pu}$, Uran $^{238}_{92}\text{U}$, Thorium $^{232}_{90}\text{Th}$, Radium $^{226}_{88}\text{Ra}$, Radon $^{222}_{86}\text{Rn}$ und Polonium $^{210}_{84}\text{Po}$. Nach dem Abschießen eines Alpha-Teilchens sinkt die Anzahl der Protonen im verlassenen Kern, was zur Umwandlung des Atoms in ein anderes Element führt. Polonium-210 wandelt sich beispielsweise durch die Strahlung der Alpha-Teilchen in ein Atom des Plumbums-206, das stabil (nicht radioaktiv) ist.

Die meisten Quellen der Alpha-Strahlung kommen natürlich vor z. B. Uran-238, Radium-226 und weitere Radionuklide der Zerfallsreihe des Urans. Sie kommen in unterschiedlichen Mengen beinahe in allen Gesteinen, im Boden und Wasser vor. Die Möglichkeit der Exposition wächst bei der Förderung von Mineralien. Hohe Konzentrationen gibt es in Abfällen aus der Förderung von Uran.

Beta-Strahlung

Die Strahlung β (Beta) entsteht durch die Transformation eines Neutrons zu einem Proton oder eines Protons zu einem Neutron. Danach emittiert das Elektron e^- und gleichzeitig das Neutrino oder das Positron e^+ und das Antineutrino. Danach unterscheidet sich dann die Strahlung β^- (negativ geladene Elektronen) und die wesentlich seltenere β^+ (positiv geladene Positronen). Gemeinsam werden sie als β -Teilchen bezeichnet. Die Durchdringung der Beta-Strahlung ist höher als die der Alpha-Strahlung, sie wird allerdings von z. B. 1 cm Plexiglas oder 1 mm Blei aufgehalten. Die Masse der Beta-Teilchen ist gering, sie entspricht 1/1800 der Masse eines Protons oder Neutrons. Dank der Ladung und dem niedrigen Gewicht werden breiten sich die β -Teilchen in der Luft über eine Distanz von ca. 3 m aus und können sehr dünne Schichten verschiedener Materialien z. B. Aluminium durchdringen. Sie können mehrere mm in Gewebe durchdringen und somit auch in lebende Schichten der Haut. Sie stellen deshalb ein äußeres und inneres Risiko dar. Sie können auch bei Kontaktlinsen gefährlich sein. Über die Haut kommen sie allerdings nicht tief genug, um vitale Organe treffen. Die Beta-Teilchen werden meistens auch von der Bekleidung aufgehalten. Am besten werden sie durch eine dünne Schicht leichter Metalle abgeschirmt. Am häufigsten wird dank seiner Verfügbarkeit und mechanischen Eigenschaften Aluminium verwendet.

Wenn die negativ geladenen Beta-Teilchen ihre Energie verlieren, verhalten sie sich wie jedes andere Elektron und werden sowohl in der äußeren Umgebung als auch im Körper von positiven Ionen gesammelt.

Die Beta-Teilchen sind ähnlich wie Alpha im Inneren des Körpers sehr schädlich. Einige Nuklide mit Beta-Strahlung können sich z. B. in Knochen ablagern. Falls die Haut über einen längeren Zeitraum großen Dosen der Beta-Strahlung ausgesetzt wird, kann es zu Hautverbrennungen ähnlich wie bei der Verbrennung durch Wärme kommen. Weiterhin kommen im Körper die Radionuklide Kalium-40 und Kohlenstoff-14 vor, die aus der Nahrung und aus der Luft ergänzt werden. Diese sind allerdings nur sehr schwache Beta-Strahler. Beta-Strahler sind auch einige Zerfallsprodukte des Radons, aber ein viel größeres Gesundheitsrisiko stellt bei ihnen die Alpha-Strahlung dar.

Beta-Strahler werden umfangreich, insbesondere in der ärztlichen Diagnostik, Bildgebung und Heilung verwendet z. B. Jod-131 zur Heilung der Störungen der Schilddrüse. Zu Forschungszwecken werden Phosphor-32 und Strontium-90 genutzt. Tritium (H-3) wird zur Erforschung lebender Organismen, des Stoffwechsels, von Medikamenten und zur Beurteilung der Sicherheit von neuen Medikamenten, zur flugtechnischen und kommerziellen Kennzeichnung des Notausgangs (Exit), für Luminiszenzzifferblätter, Messgeräte und Armbanduhren genutzt. Beta-Strahlung werden in verschiedenen technischen Werkzeugen z. B. in Industriemessgeräten der Dicke von sehr dünnen Materialien genutzt. Ein Emitter der Strahlung β ist auch der bekannte Kohlenstoff-14 (mit effektiver Halbwertszeit von 5 730 Jahre), der zur Datierung des Alters von archäologischen Funden bis ungefähr 50 000 Jahre mit der Radiokarbonmethode verwendet wird

Vor einiger Zeit war der grundlegende durch Menschen produzierte Beta-Strahler das Strontium-90 aus dem radioaktiven Niederschlag nach Versuchen mit Nuklearwaffen seit den 1950-er bis Anfang der 1990-er Jahre. Der überwiegende Teil dieses Strontiums ist bereits zerfallen. Atomtests setzten in die Umwelt auch große Mengen des Cesiums-137 frei. Auch wenn es Beta-Teilchen emittiert, ist die Gamma-Strahlung beim ihm erheblicher. Ein Teil des Cs-137 verbleibt noch in der Umgebung, aber die Mehrheit sich bereits beinahe ausgestrahlt.

Die Beta-Strahlung wird oft von Gamma--Strahlung begleitet. Falls die Strahlung des Beta-Teilchens den Kern nicht von der überflüssigen Energie befreit, strahlt der Kern die restliche Energie in Form eines Gamma-Photons aus.

Gamma-Strahlung (und Röntgenstrahlung)

Die Gamma-Strahlung Gamma (γ) ist eine elektromagnetische Wellenbewegung mit hoher Frequenz. Der Gamma-Strahl ist ein Paket elektromagnetischer Energie, sog. Photonen, reiner Energie, die keine Restmasse und auch keine Ladung hat. In vielem ist sie dadurch der sichtbaren Strahlung ähnlich, sie hat allerdings viel mehr Energie. Die Gamma-Photonen haben 10.000 Mal mehr Energie als die Photonen im sichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums. Dank diesen Eigenschaften (hohe Energie, ohne Massen, ohne Ladung) bewegen sie sich mit Lichtgeschwindigkeit und bevor sie ihre Energie emittieren, können sie in der Luft hunderte oder tausende Meter zurücklegen. Die Gamma-Strahlung existiert nur für die Zeit, wenn sie Energie hat. Sobald sie ausgeschöpft ist, entweder in der Luft oder in festen Materialien, hört sie auf zu existieren.

Gemäß ihrem physikalischen Charakter ist die Gamma-Strahlung komplett mit der Röntgenstrahlung (rtg) identisch. Bestimmte Abweichungen gibt es nur in den Wellenlängen. Die Gamma-Strahlung liegt im Bereich der Wellenlängen um oder unter 10^{-12} m, die harte Röntgenstrahlung von 10^{-12} m bis 10^{-11} , die weiche Röntgenstrahlung von 10^{-11} m bis 10^{-10} m. Die Röntgenstrahlung hat somit eher kürzere Wellenlängen, aber sie überschneidet sich mit den Wellenlängen der Gamma-Strahlung weitgehend. Die Differenz zwischen beiden Strahlungen ist vor allem durch ihren Ursprung gegeben: die Gamma-Strahlung ist ein natürliches Produkt des Zerfalls des Atomkerns von einigen instabilen Atomen, die Röntgenstrahlung entsteht durch Veränderungen in der orbitalen Position der Elektronen. Sie wird künstlich in einem Röntgen-Rohr mit einem hochenergetischen Elektronenstrom durch eine Kathode erzeugt, der an die Oberfläche einer Wolfram-Anode stößt, die sie bremst und dabei die Röntgenstrahlung erzeugt.

Die Gamma-Strahlung und auch die Röntgenstrahlung haben eine sehr hohe Durchdringung, sie können viele Materialarten, einschließlich menschlicher Gewebe durchdringen. Als Barrieren zur Moderation oder zum Anhalten der Gamma-Photonen werden dicke Schilder aus Metallen mit großer Dichte (z. B. aus Blei) oder aus Legierungen solcher Metalle verwendet. Es werden auch andere dichte Materialien verwendet. Z. B. 6 cm dichter Beton absorbiert ca. 50 % der typischen Gamma-Strahlen. Genauso effektiv ist eine 13 cm Schicht Wasser.

Die Quellen der Gamma-Strahlung produzieren oft gleichzeitig auch die Beta-Strahlung, wenn auch in einem geringeren Umfang als Alpha.

Hauptquelle der Exposition des Menschen durch Gamma-Strahlung sind natürlich vorkommende Radionuklide, insbesondere Kalium-40 (im Boden, im Wasser und auch im Fleisch und anderen Nahrungsmitteln), und außerdem das Radium in der Nuklearmedizin. Die Exposition der Gamma- oder Röntgenstrahlung ist meistens exogen. Nuklide, die die Gamma-Strahlung emittieren, können auch eingeatmet, mit Wasser oder Nahrung aufgenommen werden, und somit können sie zu inneren Quellen werden. Sie bestrahlen im Körper eine viel größere Umgebung als Alpha oder Beta. Primäre Gefahr für die Bevölkerung ist die Gamma-Strahlung bei radiologischen außerordentlichen Unfällen. Auch die Strahlenkrankheit wird meistens durch die Gamma-Strahlung verursacht.

Die Quellen der Gamma-Strahlung finden praktische Anwendung. In der Technik sind sie dadurch günstig, dass sie viele verschiedene Materialien durchdringen und dabei keine Radioaktivität verursachen. Die drei, die am meisten verwendet werden, sind Kobalt-60 (Heilung von Krebs, Sterilisierung medizinischer Geräte in Krankenhäusern, Pasteurisierung einiger Nahrungsmittel und Gewürze, Messung der Metalldicke in Stahlwerken, u. a.), Cäsium-137 (zur Heilung von Krebs, Messung des Flüssigkeitsdurchflusses, zur Untersuchung von Untergrundschichten und Erdölbohrlöchern, Messen der Bodendichte an Baustellen, Prüfen von Verpackungsinhalten u. a.) und Technicium-99m (für diagnostische Studien, Bildgebung des Gehirns, der Knochen, von Leber, Milz und Nieren und sowie für Studien des Blutstroms u. a.).

Neutronenstrahlung

Neben der Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung, die hauptsächlichen Produkte des radioaktiven Zerfalls sind, emittieren instabile Kerne die überflüssige Energie auch in anderer Form z. B. durch das Abschießen von Neutronen. Die Neutronenstrahlung ist ein Strom sich frei bewegender Neutronen. Sie haben keine Ladung und eine ähnliche Masse wie Protonen. Sie können von Hochgeschwindigkeitsteilchen hoher Energie bis zu langsamen Teilchen mit geringer Energie reichen (bezeichnet als thermale Neutronen). Sie bewegen sich selbständig durch den Raum, und das in der freien Luft bis zu 1 km, sie haben eine hohe Durchdringung und gelangen auch einfach in den menschlichen Körper. Sie verlieren ihre Energie meistens bei einer Kollision mit Protonen der Wasserstoffatome.

Die Neutronenstrahlung ionisiert stark und indirekt. Wenn ein Neutron genug Energie verliert, kann es vom Kern gefangen werden und das gegebene Atom wird dadurch radioaktiv. Es emittiert dann die Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung. Schwere Atome wie Blei sind für die Abschirmung der Neutronen ausreichend wirksam. Die besten Abschirmmaterialien sind solche, die ein Wasserstoffatome enthalten z. B. Wasser und auch Polyethylen und Beton. Externe Bestrahlung durch Neutronen ist eine ernsthafte Gefahr bei einer nuklearen Explosion. Sie kann auch in der beruflichen Umgebung der Kernwaffen gefährlich sein. In der gewöhnlichen Umgebung der Menschen ist sie selten.

Die Neutronenstrahlung wird zur Erforschung der subatomaren Massenstruktur verwendet. An Arbeitsplätzen mit Explosionsgefahr wird sie auch als Bestandteil der Technologie zur Untersuchung der Anwesenheit explosiver und anders gefährlicher Substanzen verwendet. In der Medizin wird die Neutronenstrahlung zur Erzeugung medizinischer Isotope und auch direkt im Rahmen von therapeutischen Verfahren angewendet.

3.1.3 Äußere und innere Bestrahlung

Die Strahlenexposition durch eine Quelle außerhalb des Körpers bezeichnen wir als äußere (externe) Bestrahlung. In diesem Fall absorbiert der Körper die radioaktive Strahlung nur für die Zeit der Exposition durch die angeführte Quelle und nur an den Körperteilen, die der Quelle direkt ausgesetzt sind. Externe Bestrahlung kann einerseits aus einer entfernten Quelle, andererseits aus der Kontamination der Haut oder der Bekleidung stammen. Allgemein gilt, dass die höchsten Dosen der externen radioaktiven Strahlung über die Haut abgefangen werden. Die Dosis in tiefere Gewebe, falls der ganze Körper bestrahlt wird, wird als eine ganzkörperliche Dosis bezeichnet. Der externen Strahlung kann mit Hilfe einer Abschirmung oder durch Verlassen des bestrahlten Raumes aufgehalten werden.

Falls sich die Quellen im Inneren eines Organismus befinden, handelt es sich um eine innere Bestrahlung. Die natürliche Quelle der inneren Bestrahlung eines Menschen sind vor allem Kalium-40, Kohlenstoff-14 und Radionuklide der Zerfallsreihen des Urans und Thoriums. Diese stammen aus der gewöhnlichen Umwelt und sind im Körper in ausgewogener Konzentration anwesend. Das Ausmaß dieser natürlichen inneren Bestrahlung kann an Stellen mit erhöhtem Vorkommen von Radon wesentlich erhöht werden.

Bei anthropogener Kontamination der Umwelt durch künstlich produzierte Radionuklide kann es zum Wachstum der inneren Bestrahlung kommen, falls sie in den Körper durch Inhalation, Ingestion oder

Verletzung eindringen. Die innere Bestrahlung ist dadurch gefährlicher als die äußere, da davor keine Flucht möglich ist und sie gewährt keine Möglichkeit der Abschirmung. Bestimmte schützende Bedeutung können Medikamente haben, die das Ausscheiden der Radionuklide aus dem Körper beschleunigen bzw. die Ablagerung der Radionuklide im Körper verhindern.

Je nach Art können die Radionuklide von Gewebe aufgehalten oder mit Harn oder Stuhl ausgeschieden werden. Nach dem Charakter der Bewegung und des Stoffwechsels des gegebenen Elements können die Quellen der inneren Bestrahlung im Körper unterschiedlich in umfangreichen Bereichen des Organismus verstreut werden oder im Gegenteil in bestimmten Organ konzentriert werden (z. B. Jod-131 in der Schilddrüse, Strontium-90 in Knochen u. ä.).

3.1.4 Ionisierende Strahlung in der Umwelt

In der gewöhnlichen Umwelt wirken zwei Arten der ionisierenden Strahlung:

- ▶ natürliche Strahlung,
- ▶ künstliche Strahlung.

Natürliche Strahlung

Die natürliche Strahlung kommt in drei Arten vor:

- ▶ kosmische Strahlung,
- ▶ terrestrische Strahlung,
- ▶ innere Bestrahlung durch natürliche Radionuklide.

Sie verursacht den größten Teil der gesamten Exposition der Bevölkerung. Sie ist unumgänglich mit der Umwelt verbunden und der Mensch verfügt über keine Möglichkeit, sich dagegen zu schützen oder zu wehren.

Kosmische Strahlung hat einen doppelten Ursprung. Einerseits durch die Sonne, andererseits aus tiefen Bereichen des Weltalls (galaktische Strahlung). Die Sonnenkomponente der kosmischen Strahlung stammt vor allem von den Sonneneruptionen. Im entscheidenden Maß besteht sie aus Protonen. Galaktische kosmische Strahlung besteht überwiegend auch aus Protonen, aber auch aus Kernen des Heliums und in Spuren aus schwereren Kernen praktisch von allen Elementen des periodischen Systems und aus Elektronen. Während das Niveau der galaktischen Strahlung stabil ist, wächst die Sonnenkomponente sprunghaft während Sonneneruptionen.

Die kosmische Strahlung dringt in hohe Schichten der Erdatmosphäre ein, die als ein Schutzschirm wirkt und die Strahlung wesentlich reduziert, die auf die Erdoberfläche fällt. In der Atmosphäre reagiert die kosmische Strahlung mit deren Teilchen, Atomen und Molekülen. Es entsteht dabei eine sekundäre Strahlung mit hoher Energie, die aus Mesonen, Neutronen, Protonen und teilweise auch aus Gamma-Strahlung besteht. Das ist der sog. sekundäre Bestandteil der kosmischen Strahlung. Auf die Erde gelangen unter ihrem Einfluss sog. kosmogene Radionuklide, Tritium (H-3), Kohlenstoff-14, Beryllium-10 und Natrium-22 u. Ä.

Das Radionuklid C-14 wird ständig durch die Interaktion der Neutronen der kosmischen Strahlung mit dem Kohlendioxid in der Atmosphäre gebildet. Im Laufe des Lebens wird von Organismen aus der Umgebung aufgenommen. Sämtliche organische Masse (pflanzliche und tierische) enthält deshalb das radioaktive Kohlenstoff C-14. Nach dem Tod wird seine Ergänzung eingestellt. Auf dieser Tatsache basiert die Bestimmung des Alters der organischen Materialien aus archäologischen Funden mit sog. Kohlenstoff-(Radiokohlenstoff)-Methode.

Die Intensität der kosmischen Strahlung auf der Erdoberfläche hängt von der Meereshöhe (mit der Höhe steigt sie fließend bis zu einer Entfernung ca. von 20 km) und auch der geographischen Breite ab. Sie hat Einfluss auf die gesamte Bevölkerung, aber insbesondere ist sie an der Bestrahlung von Personen in Flugzeugen und Raumschiffen beteiligt.

Die durchschnittliche Dosis der kosmischen Strahlung beträgt in den geographischen Tieflagen um 0,3 mSv pro Jahr. Menschen in höheren Lagen sind einer sehr viel höheren Dosis von bis 1,4 mSv/Jahr ausgesetzt.

Terrestrische Strahlung entsteht durch den Zerfall radioaktiver Elemente in Gesteinen geologischen Ursprungs und im Boden (Uran 238, Uran 235, Thorium 232 und ihre Zerfallsprodukte - Radioisotopen des Bismuts, Aktinium, Polonium, Radium, Blei, Ruthenium, Thallium u. a.). Das am meisten verbreitete Produkt

ist das Radioisotop des Kaliums K-40, das gewöhnlich auch in Nahrungsmitteln vorkommt (dutzende bis hunderte Bq/kg). Die Menge der radioaktiven Elemente ist geographisch vielfältig und vom geologischen Untergrund abhängig. Wesentlich sind deshalb auch die Unterschiede im Niveau der terrestrischen Strahlung. So können z.B. in den USA die Dosisraten dieses Strahlungstyps für den Körper ungefähr im Bereich zwischen 0,15 und 1,4 mSv/Jahr variieren. Der Durchschnitt beträgt ungefähr 0,4 mSv/Jahr.

Die Strahlenexposition der Einwohner durch terrestrische Radionuklide kann sich durch bestimmte industrielle Tätigkeiten (Förderung und Verarbeitung des Urans u. a.) erhöhen.

Ein bedeutender Bestandteil der terrestrischen Strahlung ist das Radon (Rn-222), ein radioaktives Gas geologischen Ursprungs und ein Zerfallsprodukt der Uran-Reihe. Es steigt durch den Boden auf und dringt auf die Erdoberfläche vor. Im freien Terrain wird es durch Luftströme verdünnt, so dass seine Konzentration in der freien Luft niedrig und gesundheitlich bedeutungslos ist. Falls es allerdings in Gebäude eindringt, kann es in Innenräumen kumulieren und eine höhere Konzentration erreichen. Das betrifft Gebäude, die nicht perfekt vom Untergrund isoliert sind.

Die innere Strahlung verursacht natürliche Radionuklide im Körper. Es sind kleine Mengen, vor allem Kalium-40, Kohlenstoff-14, und auch weiterer Radionuklide der Zerfallsreihen von Uran und Thorium. Sie kommen im Körper im Gleichgewicht in Folge des stetigen Eingangs von Nahrungsmitteln, Wasser und Luft einerseits und der metabolischen Abscheidung andererseits vor.

Der durchschnittliche Wert der effektiven Dosis aus natürlichen Quellen für die Staaten der Europäischen Union beträgt 2,2 mSv pro Jahr. In der Tschechischen Republik zeigt sich abhängig vom Charakter des Untergrunds hauptsächlich ein Anteil von Radon und dessen Tochterprodukten. Die durchschnittliche Strahlenbelastung durch den natürlichen Hintergrund ist deshalb bei uns höher, hat ein Niveau von 3,4 mSv pro Jahr.

Künstliche Strahlung

Zur unvermeidlichen Dosis der ionisierenden Strahlung des natürlichen Hintergrunds kommt die Exposition in Folge der Bestrahlung aus verschiedenen künstlichen anthropogenen Quellen dazu. Die ionisierende Strahlung findet heutzutage breite Anwendung in verschiedenen Bereichen der menschlichen Tätigkeit und beteiligt sich somit an der Gesamtexposition der Bevölkerung. Zu den bedeutendsten Quellen gehören unter diesem Aspekt medizinische Quellen, Röntgen und Radioisotope, die zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken verwendet werden. Es wird geschätzt, dass auf 1 Einwohner durchschnittlich 1 Röntgendiagnose jährlich fällt und die ganzkörperliche Dosis dieser Prozeduren bis zu 1,5 mSv/Jahr erreichen kann.

In geringem Maße tragen auch verschiedene Materialien, die Spuren von Radioisotopen enthalten z. B. Baustoffe, Förderung von Erzen, künstliche Düngemittel aus Phosphaten, Asche aus Wärmekraftwerken, Ableitungen der Kernkraftwerke, leuchtende Farben auf Zifferblättern verschiedener Geräte, Strahlung emittierend durch Komponenten von Fernseh- und Computerbildschirmen, Rauchdetektoren, Starter in Leuchtmitteln, Thyristoren, und sonstige Verbrauchsprodukte bei. In der Vergangenheit, insbesondere in den 1960er Jahren war auch der radioaktive Niederschlag in Folge von Atomwaffentests eine bedeutende anthropogene Quelle. Nach dem massiven Rückgang der Prüfungen hat die Strahlung aus dieser Quelle erheblich abgenommen. Ähnlich kann sich an der gesamten Strahlung auch der Niederschlag aus Unfällen von Kernkraftwerken beteiligen.

3.2 Charakteristik des Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs, Grenzwerte

3.2.1 Begriffe, Größen, Einheiten

Von den Begriffen und Einheiten auf dem Gebiet der Radiologie und des Strahlenschutzes führen wir hier nur einige grundlegende Begriffe an, die wir in dieser Studie anwenden.

Aktivität bezeichnet die Kraft der Strahlung, die Menge der Radioaktivität (Frequenzen der Radiumumwandlung) in der gegebenen Probe des Materials. Sie wird als die Anzahl der radioaktiven Umwandlungen der definierten Masse der Quelle in einer Zeiteinheit definiert. Die Einheit der SI Aktivität ist **Becquerel (Bq)**, d. h. solche Menge Radioaktivität, bei der es zu einer radioaktiven Umwandlung pro Sekunde kommt.

Früher wurde und in einigen Ländern wird teilweise bisher die Einheit 1 Curie (Ci) verwendet. Umrechnung: $1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$, $1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$.

Dosis (Energiedosis) ist eine grundlegende Größe für den radiologischen Schutz. Sie charakterisiert den Zustand der bestrahlten Masse. Es ist die Gewichtsichte der Energie, die durch die ionisierende Strahlung auf bestrahlten Stoff (bei lebenden Organismen, Geweben) weitergegeben und von ihm absorbiert wird bzw. der Durchschnitt der Distribution der Energie, gespeichert im Volumen des Gewebes. Sie ist in jedem Punkt des Stoffes gut definiert. Die Einheit im Komplex SI ist **Gray (Gy)**, $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/kg}$ des Stoffes (Gewebes).

Eine ältere Einheit ist **rad** (absorbed dose of radiation). Umrechnung: $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$, $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$. Für die Röntgenstrahlung und die Gamma-Strahlung wird auch die Einheit Rentgen, auch Röntgen oder Roentgen (**R**) verwendet. Die Umrechnung ist hier komplexer, denn die Energiedosis ist vom Material und Typ der Strahlung abhängig. Zum Beispiel absorbiert der menschliche Körper bei der Exposition durch 1 Rentgen Gamma-Strahlung die Dosis von ungefähr 1 rad (0,01 Gy).

Äquivalente Dosis ist eine Größe, die es ermöglicht, biologische Auswirkungen verschiedener Arten der Strahlungen und ihrer Mischungen mit einer, vergleichbarer Art auszudrücken. Die Reaktion des lebenden Gewebes, das verschiedenen Arten von Strahlungen ausgesetzt ist, ist nämlich nicht direkt proportional zur physikalischen Dosis D . Dicht ionisierende korpuskulare Strahlung (Alpha, Beta) hat bei gleicher Dosis eine wesentlich höhere Wirkung. Diese Unterschiede der relativen biologischen Wirksamkeit werden für einzelne Arten der Strahlung mit dem Qualitätsfaktor Q ausgedrückt. Mit seiner Hilfe wird dann das Äquivalent H bestimmt, das die biologische Wirksamkeit der Strahlung verschiedener Radionuklide auf einen gemeinsamen Nenner umwandelt und aus dieser Perspektive ihren Vergleich ermöglicht. Die Äquivalente ist durch das Verhältnis $H = Q \times D$ gegeben.

Die Einheit der Äquivalentdosis ist **Sievert (Sv)**. Im Falle der Gamma-Strahlung stimmt ihr Wert mit Gy überein (der Qualitätsfaktor ist für die Gamma-Strahlung gleich 1), bei korpuskularer Strahlung ist sie bei gleicher Dosis höher. Sie charakterisiert einheitlich die biologischen Auswirkungen der Strahlung beliebiger Radionuklide und ihrer Kombinationen. Sie ist nicht direkt messbar und wird durch eine Berechnung abgeleitet. Im Strahlenschutz ist sie die am meisten verwendete Einheit. Sie ist relativ groß, in der Praxis arbeitet man üblicherweise mit ihren Teilen, Millisievert (mSv) oder Mikrosievert (μSv).

Eine ältere Einheit ist **rem** (Roentgen equivalent man). Umrechnung: $1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$; $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$.

Effektive Dosis bezeichnet den Anteil einzelner bestrahlter Gewebe an der ganzkörperlichen Bestrahlung. Es ist eine gewichtete Summe der äquivalenten Dosen auf alle bestrahlten Gewebe und Organe, denn verschiedene Gewebe sind unterschiedlich radiosensitiv unter dem Aspekt der Wahrscheinlichkeit krebserregender Wirkungen. Sie ermöglicht mit einer Zahl die Strahlungsbelastung des Körpers bei ungleichmäßiger Bestrahlung der Körperteile auszudrücken, wie es bei einer ärztlichen Anwendung der ionisierenden Strahlung und oft auch bei beruflicher Exposition der Fall ist. Bei gleichmäßiger Bestrahlung des gesamten Körpers mit einer bestimmten Art der Strahlung stimmt die effektive Dosis mit der äquivalenten Dosis überein. Auch hier ist die Einheit **Sievert (Sv)**.

Effektive Äquivalentdosis der Bevölkerungsgruppen - Einzelperson-Sv Summe der effektiven Personendosen aller Einzelpersonen einer bestimmten Gruppe. Sie ist z. B. bei der Prognose der gesundheitlichen Auswirkung der Projekte mit Strahlenexposition der Bevölkerung von Bedeutung.

Effektive Folgedosis $E(\tau)^2$ bzw. äquivalente Folgedosis $HT(\tau)$ ist ein Zeitintegral der Leistungsrate, bzw. das Äquivalent für die Zeit τ ab der Aufnahme eines Radionuklids. Sie wird bei der Beurteilung der Auswirkung der inneren Bestrahlung verwendet, die im Unterschied zur äußeren mit der Einstellung der Strahlenexposition nicht endet, sondern eine Reihe von weiteren Jahren anhält, manchmal auch sehr lange (sie ist von der effektiven Halbwertszeit der aufgenommenen und im Körper persistierenden Radionuklide abhängig). Falls nicht anders angegeben wird für die lebenslange Exposition üblicherweise die Dauer von 50 Jahren für die Aufnahme von Radionukliden bei Erwachsenen und der Zeitraum bis zum Alter von 70 Jahren bei der Aufnahme der Radionuklide bei Kindern berechnet. Ähnlich sind auch die Auswirkungen der effektiven Äquivalentdosis der Bevölkerungsgruppen definiert. Auch hier ist die Einheit **Sievert (Sv)**.

Gesamtdosis ist die Summe der externen und internen Dosen, einschließlich der effektiven Folgedosen.

Dosisleistung (Dose Rate) ist die Geschwindigkeit, mit der die Person eine Strahlendosis oder ein Äquivalent aufgenommen hat (oder aufnehmen würde). Es ist ein Maß der Intensität einer Strahlendosis. Die gewöhnlich verwendeten Maßeinheiten der Äquivalente sind: $\mu\text{Sv/Std}$, $\mu\text{Sv/Woche}$, mSv/Woche , mSv/Quartal , mSv/Jahr .

² ist der griechische Buchstabe Tau

Radioaktive Kontamination ist eine Verunreinigung beliebigen Materials oder seiner Oberfläche, des Umfelds oder einer Person mit einem radioaktiven Stoff überall, wo es nicht absichtlich geschieht oder nicht erwünscht ist. Es können Luft, Wasser, Oberflächen, Boden, Pflanzen, Gebäude, Tiere und auch Menschen kontaminiert werden. Im Falle des menschlichen Körpers kann es sich um eine äußere Kontamination der Haut oder eine innere Kontamination oder beides handeln. Die Menschen müssen sich der Kontamination nicht bewusst sein. Sie kann auch auf andere Personen übertragen werden, z. B. mit der Bekleidung, bei innerlich kontaminierten Personen über Sekrete.

3.2.2 Auswirkungen der ionisierenden Strahlung auf lebende Masse

3.2.2.1 Biologische Auswirkungen

Falls die ionisierende Strahlung lebende Masse durchdringt, kollidiert sie mit anwesenden Atomen, erregt sie und scheidet die Elektronen aus den Atomen des Körpers aus. Es folgt die Dissoziation von Molekülen, die Bildung von Ionen und die folgende Bildung von Radikalen. Unter Berücksichtigung, dass zu den am häufigsten ausgeschiedenen Molekülen Wasser gehört (H_2O), gehört zu den üblichen Folgen der Bestrahlung die Entstehung von Kationen H^+ , Hydroxyl-Anionen OH^- , und unter der Anwesenheit von Sauerstoff die weitere Bildung von instabilen Molekülen z. B. des Wasserstoffperoxids H_2O_2 , des atomaren Sauerstoffs O_2 , HO_2 u. A. Es geht um die sog. freien Radikalen, die mit Zellen im Gewebe reagieren, chemische Bindungen stören und somit Zellen verletzen.

Im Falle von Zellen, die in Geweben und im Körper eine bedeutende Steuerungs- oder Regulierungsfunktion haben, kann ihre chemische Verletzung auch schwerwiegende Folgen haben. Besonders schwerwiegend kann die Verletzung der DNA als Trägerin des Erbguts einer Zelle und des gesamten Organismus sein.

Ein Molekül der DNA ist für übliche molekulare Verhältnisse außerordentlich groß, aufgewickelt auf eine sehr lange Helix, bestehend aus länglichen und unter einem optischen Mikroskop sichtbaren Formationen, sog. Chromosomen. Die Beschädigung der DNA durch Strahlung kann deshalb unter einem Mikroskop als eine Formveränderung, Überkreuzung oder Brüche von Chromosomen sichtbar sein. Darauf basiert auch die Methode der Beurteilung der angeführten Formveränderungen, der sog. Chromosomaberrationen in Lymphozyten. Ihre Feststellung im mikroskopischen Bild kann als eine Methode des Nachweises des Kontakts des Organismus mit ionisierender Strahlung gelten.

Außer der DNA, deren Beschädigung durch ionisierende Strahlung die schwerwiegendsten Auswirkungen hat, können durch die Exposition auch andere Komponenten von Molekülen oder Zellen wie Lipide, Enzyme und sonstige Eiweiße, Zellmembranen, Mitochondrien u. Ä. beschädigt werden.

Bestrahlte Zellen sterben bei einer schwerwiegenderen Beschädigung, bei einer mäßigen können sie in einem geänderten Zustand überleben, es kommt zur sog. Mutation. Falls es um eine somatische Zelle aus menschlichen Geweben geht, kann sie in der Weise mutieren, die ihre schrittweise Umwandlung in eine Krebszelle ermöglicht, die bei der Teilung diese Eigenschaft auf andere Tochterzellen überträgt. Auf dieser Basis können somit in Geweben Herde der zukünftigen Entwicklung einer bösartigen Geschwulst entstehen. Falls eine Keimzelle betroffen ist, und falls sie sich an der Befruchtung beteiligt hat, werden ihre geänderten Eigenschaften auf die Nachkommenschaft und weitere Generationen übertragen. In Folge dessen können angeborene Defekte entstehen.

Für die ionisierende Strahlung sind Zellen insbesondere in der Phase der Teilung empfindlich. Deshalb neigen sie zur Beschädigung durch Bestrahlung eher die (radiosensitiven) Gewebe, in denen stets und intensiv Zellteilung stattfindet. Das sind insbesondere blutbildenden Organe (Knochenmark) und die Geschlechtsdrüse.

3.2.2.2 Gesundheitliche Auswirkungen

Bei einer Strahlenexposition des menschlichen Körpers greift die ionisierende Strahlung die betroffenen Atome und Moleküle an und ändert ihre Eigenschaften. Sie kann somit die Gesundheit gefährden. Unter Berücksichtigung der umfangreichen Forschungsstudien über die Einwohner der japanischen Städte Hiroshima und Nagasaki, die die Explosionen der Atombomben überlebten, und ihrer Nachkommen sowie auch der Menschen, die bei Unfällen Strahlung ausgesetzt waren (einschließlich Tschernobyl) sind heutzutage die Auswirkungen von hohen einmaligen Dosen der ionisierenden Strahlung verhältnismäßig gut bekannt. Langfristige bis lebenslange Auswirkungen durch sehr kleine Dosen, denen wir üblicherweise in der Umwelt ausgesetzt sind, können nicht direkt erkannt werden, sie werden mittels Extrapolation der Indikatoren der Auswirkungen von höheren Dosen abgeleitet.

Die ungünstigen Auswirkungen der ionisierenden Strahlung auf den Menschen werden in zwei Gruppen unterteilt:

- ▶ deterministische und
- ▶ stochastische.

Deterministische sind Auswirkungen mit direkter Beschädigung des Zellgewebes (z. B. Hautentzündungen, Katarakte, akute **Strahlenkrankheit**). Sie treten nach hohen Dosen auf. Sie haben eine Wirkungsschwelle, über die hinaus die Schwere der Schäden wächst und die Regenerationsfähigkeit mit der Dosis nachlässt. Unter dem Schwellenwert treten sie nicht auf. Oft, aber nicht immer, haben sie akuten Charakter und sie treten bald nach der Bestrahlung auf.

Die schwerwiegendste Folge der deterministischen Auswirkungen der hohen Dosen der ionisierenden Strahlung ist die Strahlenkrankheit. Massenhaft kam sie nach der Explosion von Atombomben in Hiroshima und Nagasaki vor, in wenigen Fällen auch bei Arbeitern und Feuerwehrleuten im Verlaufe der Unfälle in den Kernkraftwerken von Tschernobyl und Fukushima. Sie stellen eine schwerwiegende Gefahr für die Bevölkerung im Falle des militärischen Einsatzes von Atomwaffen dar. Sie tritt bei der Bestrahlung mit Dosen von 0,5 bis 1 Gy und höher auf. Es handelt sich um eine schwere Erkrankung, die oft tödlich verläuft und verschiedene Organe schädigt, insbesondere Verdauungstrakt, Knochenmark (Blutbildung) und zentrales Nervensystem. In schweren Fällen sterben die Kranken innerhalb weniger Wochen, meistens in Folge der Destruktion des Knochenmarks, Infektionen (Immunschwäche) und an inneren Blutungen. Falls sie überleben, dauert die Heilung von mehreren Wochen bis zu zwei Jahren.

Die deterministischen Auswirkungen bei erhöhten akuten Dosen der Strahlung können sich auch durch weniger schwerwiegende Schäden, Hautentzündungen (oft schwer heilbar), chronische entzündliche Hautänderungen und den Star der Augenlinse zeigen.

Stochastische Auswirkungen sind durch die Entstehung bösartiger Geschwülste und Erbgutschädigung charakterisiert. Sie können nicht nur bei hohen, sondern auch bei geringen Dosen auftreten. Nach dem allgemein angenommenen konservativen Ansatz, der für die Zwecke des Strahlenschutzes verwendet wird, haben sie keine Wirkungsschwelle und die Auswirkung wachsen linear zur Dosis. Dieses sog. LNT Modell wird nicht allgemein angenommen, für die Praxis stellt es allerdings eine zweckmäßige Konzeption dar. Mit der Dosis wächst nicht die Schwere der Beschädigung, sondern die Wahrscheinlichkeit ihrer Entstehung. Stochastische Wirkungen sind verzögert, sie wirken sich erst nach einer bestimmten Zeit der Exposition aus, oft erst nach vielen Jahren.

Die schwerwiegendste schädliche Folge der stochastischen Auswirkungen der ionisierenden Strahlung ist die Entstehung von **bösartigen Geschwülsten**. Es geht um einen verzögerten Effekt, das klinische Stadium der Geschwulst entwickelt sich erst nach einer relativ langen Latenz, normalerweise 5 bis 15 Jahre, und in einigen Fällen auch nach einer viel längeren. Während dieser Zeit kann der Organismus verschiedene Reparationsprozesse anwenden z. B. Reparaturen von beschädigten Molekülen oder Tötung von gestörten Zellen. In Hiroshima und Nagasaki waren die häufigsten Formen der ausgelösten Wucherung Leukämie, in Tschernobyl bösartige Geschwülste der Schilddrüse, hauptsächlich bei Kindern. Die krebserregende Wirkung ist bei großen Dosen der ionisierenden Strahlung nachgewiesen, bei kleinen Dosen (unter 100 mSv) wird sie nur vorausgesetzt.

Krebs, der in Folge der ionisierenden Strahlung entsteht, kann pathologisch nicht von anderen Geschwülsten unterschieden werden, die auf andere Ursachen zurückzuführen sind. Allgemein kann man nicht mit Bestimmtheit sagen, ob der stochastische Strahlungseffekt wie die Spaltung einer Geschwulst, die Folge einer Strahlenexposition ist. In den meisten Fällen kann man nur abschätzen, dass die ionisierende Strahlung einen Beitrag geleistet hat. Die Heilung von Geschwülsten und anderen Krankheiten, über die wir annehmen, dass sie von der ionisierenden Strahlung kommen, unterscheidet sich nicht von der Heilung der derselben Krankheit, wenn sie aus anderen Gründen entstanden ist.

Bei Versuchstieren sind in Folge der ionisierenden Strahlung auch Erbkrankheiten nachgewiesen worden, auch bei Menschen wurden solche Auswirkung der ionisierenden Strahlung nachgewiesen.

Hohe Strahlendosen haben bei Versuchstieren auch auf das sich entwickelnde Embryo und den Fötus Auswirkungen und rufen angeborene Defekte hervor. Auf Grund der experimentellen Ergebnisse nimmt man an, dass die Wirkungsschwelle hier rund 100 mGy beträgt. Nach den gegenwärtigen wissenschaftlichen Erkenntnissen ist dieser Typ der Auswirkung bei kleinen Strahlendosen (unter 100 mGy) nicht zu erwarten.

Bei der Beurteilung der Gefährlichkeit der inneren Bestrahlung ist ein wichtiges Kriterium die physikalische effektive Halbwertszeit des gegebenen Radionuklids, die die Wirkungslänge charakterisiert, falls es im Körper verbleibt. Bei Tieren und auch beim Menschen behandelt der Organismus die Radionuklide wie Basiselemente, aus denen sie abgeleitet sind. Falls sie biogen sind, findet in bestimmter Weise ihr Stoffwechsel statt. Wenn sie in den Körper durch Einatmen, Einnahme, Hautabsorption oder offene Wunden eindringen, können sie sich im Gewebe festsetzen oder in Körperflüssigkeiten zirkulieren. Bei Gewebeänderungen im Rahmen des Stoffwechsels können sie über Schweiß, Harn und Stuhl ausgeschieden werden. Falls dieser Stoffwechsel schnell genug ist, befreit sich der Körper früher von Radionukliden, als es seinem Aussterben nach der physikalischen effektiven Halbwertszeit entsprechen würde. Entscheidend ist hier **die biologische Halbwertszeit**, d. h. die Zeit, in der vom Körper die Hälfte des aufgenommenen Radionuklids ausgeschieden wird. Es wird auch die **effektive Halbwertszeit** bestimmt, die sowohl die radioaktive als auch die biologische Halbwertszeit umfasst. Sie ergibt sich aus der Berechnung der Dosis einer inneren Quelle der Radioaktivität. So hat z. B. das bekannte Nuklid aus dem Niederschlag nach Versuchen mit Atomwaffen und nach Unfällen der Kernkraftwerke, Cäsium-137, die physikalische Halbwertszeit 30 Jahre und die effektive Halbwertszeit 70 Tage.

3.2.3 Strahlendosen

Wir führten bereits an, dass die grundlegende physikalische Größe für den radiologischen Schutz die absorbierte Dosis ist. Vor allem von ihrer Größe ist die biologische und gesundheitliche Wirkung abhängig. Die Effekte der einmaligen akuten großen Dosen, vor allem aus Hiroshima und Nagasaki, sind gut untersucht. Für die Praxis des Strahlenschutzes der Bevölkerung sind allerdings unter normalen Bedingungen langfristig, bzw. lebenslang wirkende chronische kleine Dosen, denen wir gewöhnlich einerseits aus natürlichen und andererseits aus anthropogenen Quellen ausgesetzt sind. Große wissenschaftliche Aufmerksamkeit wird deshalb in der Radiobiologie den Auswirkungen der kleinen Dosen ionisierender Strahlung gewidmet.

3.2.3.1 Charakteristik und Besonderheiten kleiner Dosen ionisierender Strahlung

Als kleine Dosen werden Strahlendosen bezeichnet, die keine unmittelbaren (deterministischen) Auswirkungen, sondern nur stochastische Auswirkungen haben, d. h. die die Wahrscheinlichkeit des Auftretens später Effekten (bösartigen Geschwülsten usw.) erhöhen. Für dünn ionisierende Strahlung werden hier üblicherweise Dosen bis 100 mGy, für dicht ionisierende Strahlung bis 50 mGy eingeordnet.

Die grundlegende Schwierigkeit bei der Beurteilung der Auswirkungen von kleinen Strahlendosen ist, dass die Effekte nicht direkt nachgewiesen werden können, denn sie sind sehr klein und man kann sie nicht vom Effekt anderer, viel wirksamerer krebserregender Faktoren trennen. Sie werden deshalb aus Ergebnissen der humanen epidemiologischen Studien von Personen bestimmt, die hohen Dosen, oft einmalig (in Hiroshima u. Ä.) ausgesetzt waren. Die festgestellten Auswirkungen von hohen Dosen werden dann in niedrige Dosen und sehr langfristig, bis lebenslang wirkend extrapoliert, was in die Ergebnisse ein erhebliches Maß an Unsicherheiten hineinbringt.

Weitere Unsicherheiten ergeben sich aus der Unmöglichkeit, die Abhängigkeit zwischen der Dosis von 0 bis 100 mSv und ihrer stochastischen Wirkung zu bestimmen. Für die Praxis wird allgemein ein einfacheres als das oben genannte LNT Modell angenommen, d. h. schwellenfreie Wirkung und lineare Abhängigkeit. Für seine Gültigkeit gibt es allerdings keine Nachweise und es gibt auch Hypothesen über andere Modelle.

Grundsätzlich abweichend ist die Hypothese über günstige Auswirkungen kleiner Dosen (sog. Strahlungshormesis) in einigen experimentellen Erkenntnissen nachgewiesen. Laut mehreren veröffentlichten Studien wächst nach einer Bestrahlung mit sehr niedrigen Dosen bei Zellen die Adaptations-, bzw. Reparationsfähigkeit gegenüber Strahlungsschäden durch höhere Dosen. Die allgemeine Akzeptanz der Theorie der Hormesis würde die Ansicht zu den erforderlichen Schutzmaßnahmen komplett ändern, denn sehr niedrige Dosen könnten nicht als schädlich, sondern im Gegenteil als nützlich betrachtet werden. Die Studien, die diese Vorstellung unterstützen, werden allerdings zurzeit von den entscheidenden Autoritäten nicht als überzeugend betrachtet.

Unter Berücksichtigung der angeführten Mängel und Unsicherheiten des aktuellen Wissensstands darf man alle prognostischen Berechnungen der Auswirkungen kleiner Dosen auf die Bevölkerung höchstens als annehmbare Approximationen, nicht jedoch als wissenschaftlich nachgewiesene Fakten verstehen. Das gilt z. B. auch für folgenden Koeffizienten (Tabelle 1).

Mit dem Studium kleiner Strahlendosen und dem Schutz davor (u.a.) beschäftigt sich detailliert die internationale Kommission für Strahlenschutz ICRP (The International Commission on Radiological Protection), eine unabhängige Nichtregierungsorganisation, gegründet im Jahr 1928. Sie bearbeitet systematisch die neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse aus dem Bereich der Radiologie und nutzt diese zu Aktualisierungen der vorbeugenden Grundsätze zum Schutz vor den mit der ionisierenden Strahlung verbundenen Risiken (künstlich produzierte Strahlung sowie natürliche Strahlung). Sie verbindet die bedeutendsten weltweiten Fachleute auf diesem Gebiet. Sie genießt in dieser Richtung eine hohe internationale Autorität.

Seit ihrer Gründung erlässt die ICRP entsprechende Empfehlungen. Auf Grund der aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse entwickelt sie darin schrittweise die Strahlendiagnostik, sie präzisiert die verwendeten Einheiten und perfektioniert die Verfahren und Anforderungen an den Strahlenschutz. Alle internationalen Standards und die nationalen Regulierungsaktivitäten im Bereich des Strahlenschutzes basieren auf Empfehlungen der ICRP.

Wir erwähnen hier die letzten zwei bedeutenden Empfehlungen der ICRP. Es handelt sich vor allem um die Empfehlung Nr. 60 aus dem Jahr 1990. Durch sie wurden, hauptsächlich auf der Basis neuer Erkenntnisse aus fortschreitenden Studien der gesundheitlichen Entwicklung von 90.000 Japanern, Überlebenden der Explosionen der Atombomben, die Einstellungen zum Strahlenschutz wesentlich modernisiert, die Grenzwerte der Strahlenexposition verschärft, ein neues Verständnis der durch Strahlung verursachten Gesundheitsschäden wie tödliche Krebserkrankungen, erbliche Schäden und sonstige, nicht tödliche Krebserkrankungen eingeführt. Die früheren Risiko-Koeffizienten wurden deutlich erhöht.

Im Jahr 2007 wurde eine neue Empfehlung der ICRP Nr. 103 verabschiedet, die die Angaben der Empfehlung aus dem Jahr 1990 ersetzte bzw. anpasste. Es ist eine sehr umfangreiche Analyse neuer Erkenntnisse und deren Folgen (Buch mit 332 Seiten). Sie wendet neue wissenschaftliche Feststellungen und Trends aus dem Bereich der Strahlenphysik an. Sie präzisiert die Werte der verwendeten Strahlungs- und Gewebe-Gewichtsfaktoren zur Bestimmung der äquivalenten und effektiven Dosis. Sie beweist, begründet und argumentiert alle Schlussfolgerungen detailliert und wissenschaftlich. Sie ist eine Vervollkommnung der Hauptgrundsätze des Strahlenschutzes: Rechtfertigung, Optimierung und Beschränkung der Bestrahlung. Zur Absicherung des Grundsatzes der Limitierung für alle relevanten Quellen der Strahlenexposition führt die Analyse die Grenzdosen und Referenzniveaus für geplante und Notsituationen (dose and risk constraints) ein. Bei der Planung von Kernkraftanlagen erfüllen in der Tschechischen Republik diese Funktion sog. autorisierte Grenzwerte (siehe unten).

3.2.4 Dosis-Wirkungs-Zusammenhang der Strahlung, Grenzwerte der Strahlenexposition

In dieser Studie beschäftigen wir uns nicht näher mit den Fragen der Strahlenkrankheit bei extrem hohen einmaligen Dosen der ionisierenden Strahlung, sondern nur mit den langfristigen Auswirkungen von kleinen Dosen, der die Bevölkerung der Erde üblich und systematisch begegnet. Wir orientieren uns somit nur an den stochastischen Auswirkungen. Die wissenschaftlichen Unterlagen, aus denen die sich durch die Exposition ergebenden Risiken durch ionisierende Strahlung abgeleitet sind, stellen einerseits humane Studien (vor allem die bereits erwähnte Beobachtung der Überlebenden der Explosionen von Atomwaffen in Hiroshima und Nagasaki und ihrer Nachkommen, außerdem die Studie der bestrahlten Personen nach dem Unfall in Tschernobyl, der Bergmänner in Uran-Minen, von Personen, die Radon und seinen Produkten in "Radon"-Häusern ausgesetzt sind), und andererseits experimentelle Studien an Tieren, insbesondere Mäusen dar. Aus den Studien in Hiroshima und Nagasaki ergab sich z. B. der bis vor kurzem verwendete Risiko-Koeffizient des Todesfalls wegen einer bösartigen Geschwulst für die Bevölkerung von $5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$, d. h. bei einer Dosis 1 Sv auf 100 Bewohner 5 Todesfälle, bei der Dosis 1 mSv dann 5 Fälle auf 100 000 Bewohner usw.

Auch wenn das oben angeführte LNT Modell von stochastischen Auswirkungen geringer Strahlungsdosen das wissenschaftlich annehmbare Konzept für die Praxis des Strahlenschutzes bleibt, kann es nicht eindeutig nachgewiesen werden. Unter Berücksichtigung dieser Unsicherheit hielt es die ICRP in ihrer letzten Empfehlung (2007) für sinnvoll, für die Zwecke der Planung im Bereich der öffentlichen Gesundheit die hypothetischen Anzahlen der Geschwülste zu berechnen, welche sich aus sehr niedrigen Strahlungsdosen bei einer großen Bevölkerungszahl über einen langen Zeitraum ergeben könnten.

Stattdessen entwickelte die ICRP Kommission anhand der modernsten wissenschaftlichen Erkenntnisse Koeffizienten für die Schätzung der sogenannten Gesundheitsschädigung³. Die Koeffizienten berücksichtigen im Ganzen das potenzielle Risiko von tödlichen und auch heilbaren bösartigen Neubildungen, der Schädigung der Nachkommen und den Effekt der Lebensverkürzung. ICRP umfasst hier auch die auf Kinder vererbten Schäden, obwohl sie beim Menschen nicht nachgewiesen wurden. Das geschieht aufgrund der vorbeugenden Vorsicht und unter Berücksichtigung dessen, dass es bei Versuchstieren in dieser Richtung überzeugende Nachweise gibt. Die erste Zeile der Tabelle bezieht sich auf die gesamte Bevölkerung (einschließlich der Kinder), die zweite auf beruflich exponierte Erwachsene. Für unsere folgenden Berechnungen werden wir das Risiko eines Gesundheitsschadens für die gesamte Bevölkerung berechnen, also unter der Verwendung des Koeffizienten $0,057 \text{ Sv}^{-1}$.

Tab. 1 Nominale Risiko-Koeffizienten (10^{-2} Sv^{-1}) der gesundheitlichen Schäden für stochastische Auswirkungen nach der Exposition durch geringe Strahlendosen

Exponierte Bevölkerung	Neubildungen	Erbeffekte	Insgesamt
Insgesamt	5,5	0,2	5,7
Erwachsene	4,1	0,1	4,2

Aus den Erkenntnissen über stochastische Auswirkungen der ionisierenden Strahlung auf den Menschen werden auch die angewandten Grenzwerte abgeleitet. Unter Berücksichtigung des oben angeführten Modells ohne Wirkungsschwellen können die Niveaus nicht bestimmt werden, die eine vollständige Unschädlichkeit der Strahlung gewährleisten würden, denn auch minimale Dosen rufen biologische Wirkungen (wenn auch minimal) hervor. Die Lösung in diesem Fall ist eine Konzeption des sog. akzeptablen Risikos, d. h. Sicherstellung einer geringen Wahrscheinlichkeit der Auswirkungen, die man aus gesundheitlicher und gesellschaftlicher Perspektive gerade noch akzeptieren kann. Die Perspektiven sind hier natürlich sehr streng.

Einer der grundlegenden Grundsätze des Strahlenschutzes lautet, dass alle Ionendosen so niedrig gehalten werden müssen, wie es unter der Erwägung von wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Perspektiven erreichbar ist (Grundsatz der Optimierung der Bestrahlung). Man bemüht sich also darum, dass die Bestrahlung von Menschen auf einem möglichst niedrigen, allerdings vernünftigerweise erreichbaren Niveau gehalten wird.

Die Grenzwerte für die Begrenzung der Bestrahlung werden gemäß der Verordnung SÚJB Nr. 422/2016 GBl. in drei Gruppen unterteilt:

- ▶ allgemeine Grenzwerte für die Einwohner,
- ▶ Grenzwerte für einen Mitarbeiter im radioaktiven Bereich,
- ▶ Grenzwerte für Schüler und Studenten.

Unter Berücksichtigung der Orientierung dieses Textes zum Schutz der Bevölkerung werden wir uns lediglich mit den allgemeinen Grenzwerten beschäftigen.

Der grundlegende, für die effektive Gesamtpersonendosis bestimmte **allgemeine Grenzwert** der äußeren Bestrahlung und der effektiven Folgedosen der inneren Bestrahlung beträgt gemäß der oben angeführten Verordnung (in der Übereinstimmung mit der Empfehlung ICRP) **1 mSv für ein Kalenderjahr**. Er bezieht sich auf die durchschnittliche berechnete Exposition der kritischen Bevölkerungsgruppe für alle Expositionswege aus allen Quellen der ionisierenden Strahlung. Den Expositionsgrenzwert stellt der quantitative Indikator für die Begrenzung der gesamten Bestrahlung einer physischen Person aus Tätigkeiten **im Rahmen der geplanten Expositionssituationen** gemäß der im Atomgesetz angeführten Definition dar. Die Expositionsgrenzwerte gelten für die medizinische Bestrahlung nicht. Sie wird nicht in die Bestrahlung aus natürlichem Hintergrund eingerechnet.

³ Die Gesundheitsschädigung (engl. detriment) ist nach der ICRP "die gesamte Gesundheitsschädigung, zu welcher es in der exponierten Gruppe und bei deren Nachkommen infolge der Gruppenexposition durch Strahlungsquellen gekommen ist." Es ist ein mehrdimensionaler Begriff. Seine Grundkomponenten sind diese stochastischen Quantitäten: die Wahrscheinlichkeit der hervorgerufenen tödlichen Neubildung, gewichtete Wahrscheinlichkeit der hervorgerufenen heilbaren Neubildung, gewichtete Wahrscheinlichkeit der schweren erblichen Folgen und der Lebensverkürzung infolge der Schädigung."

Gemäß dem Atomgesetz ist die Dosisoptimierungsgrenze für alle Ableitungen radioaktiver Stoffe die durchschnittliche effektive Dosis **250 μSv für ein Kalenderjahr** für die betreffende kritische Bevölkerungsgruppe, bei Kernenergieanlagen davon **200 μSv** für Ableitungen in die Luft und **50 μSv** für Ableitungen in Wasserläufe.

Daneben werden bei der Bauplanung neuer bedeutender Quellen gemäß Verordnung SÚJB Nr. 422/2016 GBl. die quantitativen Indikatoren der **autorisierten Grenzwerte** als bindend festgelegt, in der Regel sind sie ein Ergebnis der Optimierung des Strahlenschutzes für einzelne Strahlungstätigkeiten oder einzelne Quellen der ionisierenden Strahlung, und bedürfen der Genehmigung durch die staatliche Behörde für Atomschutz. Sie können strenger sein als die oben angeführten optimierten Dosisgrenzwerte. Bei der Erweiterung der Kernkraftwerke wird für jede neue Quelle ein neues Verfahren zur Bestimmung von neuen autorisierten Grenzwerten realisiert. Sie entsprechen der Anforderung der Festlegung von begrenzten (dose constraint) gemäß der Empfehlung der ICRP aus dem Jahr 2007.

Zur Frage der beschriebenen Grenzwerte zur Begrenzung der Bestrahlung ist anzumerken, dass im Strahlenschutz der Nachdruck vor allem auf die Optimierung gelegt wird und die Rolle der Limitierung von Dosen in den Hintergrund rückt. Bei einer sorgfältig durchgeführten Optimierung, d. h. Reduzierung der Dosen auf die niedrigste vernünftigerweise erreichbare Grenze ist die Anwendung der Grenzwerte nicht erforderlich, es werden üblicherweise die Niveaus unter den Grenzwerten eingehalten.

3.2.5 Strahlenschutz

Eine bedeutende Komponente des Schutzes der öffentlichen Gesundheit ist der Strahlenschutz, dessen Ziel es ist, ein adäquates Niveau des Gesundheitsschutzes sicherzustellen, und dies auch bei der Nutzung von Expositionsquellen und Kernenergie für technische und wirtschaftliche Zwecke. Die Bedeutung des Strahlenschutzes nimmt in der modernen Zeit mit der Erweiterung der Quellen der ionisierenden Strahlung im Gesundheitswesen, der Industrie und in der sich entwickelnden Kernenergie zu. In allen diesen Fällen werden strenge Anforderungen an die Sicherheit der Strahlenquellen, den Schutz der Gesundheit von Mitarbeitern und auch den Schutz der Bevölkerung gestellt.

3.2.5.1 Grundsätze des Strahlenschutzes

Der letzte Bericht Nr. 103 ICRD zielte darauf ab, dass seine Empfehlungen auf alle Quellen und auf alle exponierte Personen in drei Basistypen von Expositionssituationen angewendet werden, die alle denkbaren Umstände umfassen. Dazu zählen:

- ▶ geplante Expositionssituationen - sie umfassen die beabsichtigte Einführung und den Betrieb der Quellen,
- ▶ Unfallexpositionssituationen, die während der Durchführung von geplanten Situation auftreten können,
- ▶ Expositionssituationen, die es bereits gibt, wenn über ihre Regelung entschieden wird.

Deshalb werden in der letzten Empfehlung der ICRP aus dem Jahr 2007 einheitliche Grundsätzen formuliert, die sowohl für geplante und vorhandene Expositionssituation als auch für Unfälle gelten können.

Grundsätze:

Grundsatz der Rechtfertigung (justification)

Eine Tätigkeit, die zur Bestrahlung von Menschen führt, darf nur durchgeführt werden, falls sie gerechtfertigt ist, was in diesem Zusammenhang als eine Tätigkeit betrachtet werden kann, bei der der gesundheitliche Schaden, der durch die Strahlung verursacht werden kann, durch einen vorausgesetzten Beitrag für einen Einzelnen und für die Gesellschaft kompensiert wird. Die Begründung muss vor der ersten Einführung beliebiger Strahlungsaktivitäten in die Praxis und auch beim Erwerb von neuen Erkenntnissen über die Wirkung und Folgen der entsprechenden Aktivität durchgeführt werden. Jede Entscheidung, durch die die Bestrahlungssituation geändert wird, sollte mehr Nutzen als Schaden verursachen.

Grundsatz der Optimierung des Schutzes:

Bestimmung der Schutz- und Sicherheitsebene, die die gegebenen Bestrahlungen und auch die Wahrscheinlichkeit und Größe der potenziellen Bestrahlungen so niedrig garantiert, wie dies vernünftigerweise unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen und sozialen Faktoren erreichbar ist. Für

diesen Grundsatz wird auch die Abkürzung ALARA, das Akronym für "As Low As Reasonably Achievable" (so niedrig, wie es vernünftigerweise erreichbar ist) verwendet, als eine Anforderung vernünftige Bemühung aufzuwenden, um die Ionendosen der ionisierenden Strahlung so niedrig unter dem Grenzwert zu halten, wie es praktisch möglich und mit dem Zweck der Aktivität konsistent ist, und dies unter Berücksichtigung des Zustandes der Technologie, des Erfolges für die öffentliche Gesundheit und die Sicherheit die Zweckmäßigkeit der gegebenen Nutzung der Nuklearenergie im öffentlichen Interesse.

Grundsatz der Anwendung Dosisgrenzwerten:

Jeder, der eine zur Bestrahlung führende Tätigkeit durchführt, ist verpflichtet, die Strahlung so zu beschränken, dass die Bestrahlung keiner exponierten Person die festgelegten Grenzwerte überschreitet. Die Gesamtdosis aller Einzelpersonen aus geregelten Energiequellen in geplanten Bestrahlungssituationen (außer der medizinischen) darf die entsprechenden Grenzwerte nicht überschreiten.

Die ersten zwei angeführten Grundsätze beziehen sich auf die Quelle und werden in allen Expositionssituationen verwendet, der Dritte bezieht sich auf Einzelpersonen und wird in geplanten Expositionssituationen angewandt.

3.2.5.2 Strahlungssicherheit

Einen breiteren Aspekt des Schutzes vor radioaktiver Strahlung stellt die Sicherstellung der Strahlungssicherheit dar. Dieser Problemkreis wurde international im Rahmen der IAEA (Internationale Atomenergie-Organisation) gelöst und die Ergebnisse wurden als "IAEA Safety Standards, Fundamental Safety principles" (2006), als Empfehlung für alle Betreiber von Kernkraftanlagen und ihre Führungs- und Aufsichtsorgane veröffentlicht.

Hinsichtlich der Strahlungssicherheit werden hier 10 Hauptgrundsätze formuliert. Neben den oben angeführten Grundsätzen im Rahmen der Auslegung über den Strahlenschutz (Rechtfertigung, Optimierung, Anwendung der Grenzwerte) wird hier der Grundsatz der Verantwortlichkeit für die Sicherheit postuliert, die Aufgabe der Regierungen, der Grundsatz der Führung und Verwaltung der Sicherheit, der Grundsatz des Schutzes der gegenwärtigen und zukünftigen Generationen, die Vorbeugung von Unfällen, die Bereitschaft auf außerordentliche Ereignisse und Pflege um die Senkung der existierenden und nicht regulierten Strahlungsrisiken festgelegt.

Die detailliertere Auslegung der angeführten Sicherheitsgrundsätze würde bereits deutlich über den Rahmen dieser Studie hinausgehen.

3.2.6 Auswirkungen der Strahlung der Kernkraftwerke auf die Bevölkerung

Im Kernkraftwerk entstehen auf zwei Wegen radioaktive Stoffe:

- ▶ durch das Spalten des Kernbrennstoffs,
- ▶ durch die Aktivierung verschiedener Materialien, verursacht durch Neutronen (Baumaterialien, Brennstoffe, Zusatzstoffe im Reaktorkühlmittel des primären Kreises, im Moderator, im Brennstoff u. a).

Es entstehen hier somit Spalt- und Aktivierungsprodukte. Beim Auffangen von Neutronen durch die Baustoffe wird Gamma-Strahlung emittiert.

Auch wenn die gasförmigen und flüssigen technologischen Medien vor der Ableitung ein ausgefeiltes und außerordentlich wirksames Reinigungssystem durchlaufen, müssen die geringen Spuren von Radionukliden gemäß den gültigen Genehmigungen einerseits in die Luft (Gasableitung), andererseits in die Abwässer (flüssige Ableitungen) kontrolliert abgeleitet werden. Sie verbreiten sich in der Umgebung und erhöhen somit auch unter störungsfreiem Betrieb eines Kernkraftwerks in geringem Umfang die Kontamination der Umwelt. Diese Belastungen werden systematisch überwacht und ausgewertet.

Zu den bedeutendsten Radionukliden, die in die Luft entweichen, gehören einerseits die Spaltprodukte (Edelgase Kr-85 und Xe-133, und außerdem I-131, I-133, Sr-90, Cs-134, Cs-137), andererseits die Aktivierungs- und Korrosionsprodukte (Cr-51, Fe-55, Mn-57, Co-60, Ni-59, Zn-65, Ag-110m), und auch die Aktivierungsprodukte des Kühlmittels (H-3, C-14) und in Bezug auf die tatsächliche Leistung auch die der Luft im Reaktorschacht (Ar-41) und in sehr geringem Umfang Aktivitäten von Transuranen (insbesondere Am-241, Pu-239). Die Abwässer enthalten vor allem Tritium und in geringem Maße auch einige Aktivierungs- und eventuell auch Spaltprodukte.

3.3 Strahlungsexposition der Bevölkerung durch den aktuellen Betrieb von EDU1-4

3.3.1 Kernkraftwerk Dukovany und seine Ableitungen

Das Kernkraftwerk Dukovany (EDU1-4) besteht aus vier Blöcken (Nr. 1 bis 4), jeder davon hat die elektrische Leistung von ca. 500 MW_e. Die Luftemissionen werden durch Ventilationskamine über einzelne Blöcke abgeleitet, die Wasseremissionen der Abwässer in den Fluss Jihlava.

Unter Ableitung versteht man "flüssigen oder gasförmigen Stoff, in dem die enthaltenen Radionuklide die Menge der Lösungsebenen nicht übersteigen und der gemäß den in der Genehmigung angegebenen Bedingungen der Emission von Radionukliden in die Umwelt abgeleitet wird".

Als gasförmige Ableitungen bezeichnen wir in der Praxis eine Zusammenfassung von Radionukliden, die aus Kernkraftwerken in die umliegende Luftumgebung entweichen, und als flüssige Ableitungen eine ähnliche Zusammenfassung von Radionukliden, die aus Kernkraftwerken mit Abfallgewässern in die Oberflächengewässer entweichen.

Die gasförmigen Ableitungen von EDU1-4 werden vor allem über die in den Lüftungsschächten enthaltene Luft abgeleitet. Sie kommen aus den Räumen der kontrollierten Zone (der Hauptproduktionsblöcke und dem Gebäude der aktiven Hilfsbetriebe), die mit einer speziellen Lüftungstechnik gelüftet werden.

Die Zusammensetzung der gasförmigen Emissionen von EDU1-4 können anhand der Ergebnisse der Überwachung im Jahre 2014 demonstriert werden. Von insgesamt 32 überwachten Radionukliden hatten 16 praktisch einen Nullwert, messbare Werte wurden in Edelgasen für Ar-41, Xe-133 und Xe-135, aus Aerosolen Cr-51, Mn-54, Co-58, Fe-59, Co-60, Zr-95, Nb-95, Ag-110m, Sb-124 und Cs-137, in anderen I-131, H-3 (Tritium) und C-14 festgestellt.

Die flüssigen Emissionen sind in industriellen Abwässern von EDU1-4 (Wasserschlämme des Kühlwassers, der Abwässer der Neutralisierung und in nicht spezifischem Wasser des Sekundärkreislaufs) enthalten. Nach der Reinigung wird das Abwasser aus EDU1-4 durch den resultierenden Sammler in einen Auffangbehälter im Skryjský Bach geleitet, der in das Wasserwerk Dalešice des Staubeckens Mohelno in den Fluss Jihlava mündet.

Im Rahmen der Überwachung der flüssigen Ableitungen wurden im Jahr 2014 insgesamt 22 Radionuklide, davon 15 praktisch mit Null-Ergebnissen, überwacht. In messbaren Mengen wurden vor allem Tritium (H-3), und weiter in geringem Maße Mn-54, Co-58, Co-60, Ag-110m, Cs-134 und Cs-137 festgestellt.

Für beide Ableitungen aus EDU1-4 sind autorisierte Grenzwerte festgelegt, deren Einhaltung systematisch kontrolliert wird.

Bei der Beurteilung der Auswirkungen des bestehenden Betriebs von EDU1-4 auf die öffentliche Gesundheit gehen wir von der Studie "Beurteilung der Gesundheitsrisiken für die Bevölkerung in der Umgebung des Kernkraftwerkes Dukovany durch Ableitungen von radioaktiven Stoffen in die Luft und in Wasserläufe, einschließlich der Prognosen von Risiken für den Zeitraum des verlängerten Betriebs des Kernkraftwerks J. Kotulán, Amec s.r.o., Brno, Februar 2015" aus.

3.3.2 Überwachung der Expositionssituation in der Umgebung von EDU1-4

Zur Kontrolle der Einhaltung der zulässigen Ableitungen und zur rechtzeitigen Feststellung möglicher Abflüsse dient die Strahlenkontrolle der Umgebung zur systematischen und allseitigen Überwachung. Sie wird durch Überwachung, Messung, Beurteilung und Aufzeichnung von Größen und Parametern, die das Strahlungsfeld und den Auftritt von künstlichen Radionukliden in der Umwelt realisiert. Zum Zwecke dieser Überwachung wurde ein selbständiges Labor der Strahlungskontrolle der Umgebung (LRKO) in Moravský Krumlov errichtet. Auf der Basis der durchgeführten betrieblichen Überwachung werden regelmäßig vierteljährliche und jährliche Meldungen erstellt, die der staatlichen Aufsicht übergeben werden, und die Ergebnisse der Überwachung stehen der Öffentlichkeit im Rahmen der Jahresberichte SÚJB zur Verfügung.

Die Höhe der Ableitungen spiegelt sich natürlich in der Kontamination der Umgebung wider. Zur Information über die Ergebnisse der Kontrolltätigkeit führen wir hier eine Übersicht der Ergebnisse aus den Jahren 1984 bis 2013 an.

Flächenmäßige Aktivität von künstlichen Radionukliden in den atmosphärischen **Niederschlägen** (an sechs Punkten in der Umgebung von EDU1-4): keine nennenswerten Auswirkungen des Betriebs des Kraftwerks im gesamten angeführten Zeitraum. Die Werte einiger Radionuklide waren vorübergehend im Jahr 1986 in Folge des Unfalls in Tschernobyl erhöht.

Der Umfang der Aktivitäten der künstlichen radionukliden **Aerosolen** in der Luft (einschließlich des gasförmigen radioaktiven Jods) an sechs Punkten in der Umgebung von EDU1-4: mehrmals vorübergehend erhöhte Werte infolge des Unfalls in Tschernobyl, Fukushima und anderer nuklearer Unfälle im Ausland. Keine nennenswerten Auswirkungen des Betriebs von EDU1-4 aufgezeichnet.

Die Volumenaktivitäten von künstlichen Radionukliden in **Niederschlagsgewässern** an sechs Punkten in der Umgebung von EDU1-4: keine nennenswerten Auswirkungen von EDU1-4 aufgezeichnet.

Volumenaktivitäten von künstlichen Radionukliden in **Oberflächengewässern** (in ausgewählten Profilen des Flusses Jihlava und Flüssen nicht beeinflusst durch die flüssigen Ableitungen. Im Fluss Jihlava erhöhte Werte von Tritium, gemäß erwarteten Projektwerten. Außer dem Zeitraum 1991 bis 1995, als die gemessenen Werte 100 Bq.l^{-1} ($116 - 147 \text{ Bq.l}^{-1}$) überstiegen, bewegten sie sich im gesamten anderen überwachten Zeitraum vorwiegend zwischen 30 und 50 Bq.l^{-1} (Durchschnitt $32,2 \text{ Bq.l}^{-1}$). Keine nennenswerten sonstigen Auswirkungen des Betriebes von EDU1-4 aufgezeichnet.

Volumenaktivitäten von künstlichen Radionukliden im Trinkwasser aus Brunnen, die sich in der Nähe des Flusses Jihlava befinden (in Gemeinden Hrubšice, Kordula, Ivančice, Vémyslice, Višňové, Dukovany, Řeznovice, Rouchovany, Mohelno, M. Bránice, Wasserleitung Ivančice, Wasserleitung M. Bránice): Erhöhte Werte von Tritium gemäß erwarteten Projektwerten aufgetreten. Die Aktivitäten sind niedrig, sie bewegen sich zwischen ca. 10 und 50 Bq.l^{-1} (Durchschnitt $22,9 \text{ Bq.l}^{-1}$). Die ionisierende Strahlenexposition des Trinkwassers aus diesen Brunnen ist somit minimal und im Vergleich mit den Auswirkungen anderer Expositionsquellen (natürlichen und künstlichen) können sie vernachlässigt werden. Keine nennenswerten sonstigen Auswirkungen des Betriebes von EDU1-4 aufgezeichnet.

Volumenaktivitäten von künstlichen Radionukliden im Grundwasser durch Bohrungen im Areal EDU1-4 und der nahen Umgebung: dauerhaft erhöhte Werte von Tritium. Mit Ausnahme der vergleichsweise höheren Aktivitäten in Jahren 1995, 1996 und 2005 ($150,9$; $87,4$; $132,9 \text{ Bq.l}^{-1}$) bewegen sich die Werte zwischen ca. 10 und 50 Bq.l^{-1} (Durchschnitt $35,3 \text{ Bq.l}^{-1}$). Sie erreichen nicht die Werte der Untersuchungs-niveaus gemäß Überwachungsprogramm. Keine sonstigen nennenswerten Auswirkungen von EDU1-4 aufgezeichnet.

Volumenaktivitäten von künstlichen Radionukliden in **Milch** aus der nahen Landwirtschaftsgenossenschaft: keine Auswirkung des Betriebes von EDU1-4 aufgezeichnet. Mehrere vorübergehend erhöhte Werte waren eine Folge des Unfalls in Tschernobyl.

Äquivalente Dosisleistung **der Gamma-Strahlung** an ausgewählten Punkten der Umgebung von EDU1-4: keine Auswirkung des Kraftwerkes aufgezeichnet. Die vorübergehend erhöhten Werte im Jahr 1986 wurden durch den Unfall in Tschernobyl verursacht.

Die Niveaus **der flächenhaften Aktivitäten** von künstlichen Radionukliden (Gamma-Strahlung an ausgewählten Punkten in der Umgebung von EDU): keine nennenswerten Auswirkungen des Betriebes von EDU1-4 aufgezeichnet.

Die Niveaus der Messaktivitäten von künstlichen Radionukliden in **landwirtschaftlichen Früchten**, erfasst in ausgewählten Profilen der Umgebung von EDU1-4. Eine vorübergehende Erhöhung der Radioaktivität wurde nach dem Unfall in Tschernobyl festgestellt. Keine Auswirkung EDU1-4 aufgezeichnet

Die Messaktivität von künstlichen Radionukliden in **Fischen**, erfasst in ausgewählten Profilen in der Umgebung von EDU1-4: keine nennenswerten Auswirkungen des Betriebes von EDU1-4 während der Betriebsdauer von EDU1-4 aufgezeichnet.

Die Messaktivität von künstlichen Radionukliden in **Sedimenten der Oberflächengewässer** in ausgewählten Profilen in der Umgebung von EDU1-4: es wurde keine Auswirkung des Betriebes von EDU1-4 während der Betriebsdauer von EDU1-4 aufgezeichnet.

Die Messaktivität von künstlichen Radionukliden in **Böden** von ausgewählten Profilen in der Umgebung von EDU: es wurden keine nennenswerten Auswirkungen des Betriebes von EDU1-4 während der Betriebsdauer von EDU1-4 aufgezeichnet.

Zusammenfassend lässt sich somit feststellen, dass außer dem erhöhten Gehalt vom Tritium im Fluss Jihlava, in Brunnen in seiner Nähe und im Grundwasser im Areal EDU1-4 und in seiner nächsten Umgebung keine Erhöhung des Gehalts von radioaktiven Stoffen aus Ableitungen von EDU1-4 in der Umgebung gemessen wurde. Die genannten Aktivitäten von Tritium entsprechen den erwarteten Projektwerten. Der Gehalt von radioaktiven Stoffen in den Ableitungen überstieg in keinem Fall die im Dokument SÚJB "A04 - festgelegten Grenzwerte und Bedingungen für den normalen Betrieb des Kernkraftwerkes Dukovany".

Unter Berücksichtigung dessen, dass das Tritium als einziges Nuklid, das aus den Ableitungen von EDU1-4 stammt, in einigen Umweltbereichen vorkommt und als solches manchmal ein erhöhtes Interesse der Öffentlichkeit erregt, folgen hier einige Bemerkungen zu seinem Ursprung und Charakter.

Während die absolute Mehrheit von Radioisotopen durch die Reinigungsprozesse in Kernkraftwerken aufgefangen wird, ist das Isotop des Wasserstoffes H-3 - Tritium eines der wenigen Radionuklide, das man von radioaktiven Gewässern nicht trennen kann. Es verbindet sich mit Sauerstoff zum Tritiumwasser (HTO), das beinahe die gleichen chemischen, physikalischen und weiteren Eigenschaften hat wie übliches destilliertes Wasser, und deshalb gibt es keine Methode, wie man es vom üblichen Wasser trennen könnte. Das Tritium ist deshalb die Quelle des überwiegenden Teils der Aktivität in gereinigten flüssigen Abfällen von Kernkraftwerken. Die Kontaminationen sind allerdings sehr gering. Auch wenn ein Einwohner den ganzjährigen Verbrauch des Trinkwassers nur mit dem Wasser mit aktivem Tritium von ungefähr 100 Bq.l⁻¹ abdecken würde, wäre die jährliche Aufnahme von Tritium bei solchem exponierten Menschen am Niveau von ungefähr 1 µSv, was ein Wert ist, der 50 x niedriger ist als der gemäß Atomgesetz optimierte festgelegte Dosisgrenzwert für die Ableitungen in Wasserläufe.

Zur Information fügen wir noch die grundlegenden Charakteristiken von Tritium an.

Das **Tritium** (³H, H-3) wird in laienhaften Diskussionen als ein bedeutender Faktor schädlicher Auswirkungen von Kernkraftwerken angeführt. Es ist ein Wasserstoff-Isotop des Wasserstoffes mit einem Proton und zwei Neutronen (wobei der Kern des normalen Wasserstoffes nur aus einem Proton besteht). Unter gewöhnlichem Druck und bei normaler Temperatur ist es ein Gas. Es entsteht im Reaktor in Folge der Aktivierung von Deuterium (H-2), Lithium und Bor und auch als ein Spaltprodukt direkt im Brennstoff. Das Deuterium (Wasserstoff mit einem Neutron) befindet sich gewöhnlich im Wasser (0,015 %), das Lithium und das Bor sind Zusatzstoffe im Kühlmittel. Das Tritium ist ein schwach radioaktiver Beta-Strahler mit geringer Durchdringung der Strahlung, es wird bereits von einer 6 mm dicken Luftschicht angehalten. Es entsteht natürlich in den oberen Schichten der Atmosphäre durch die Einwirkung der kosmischen Strahlung, wenn kosmische Strahlen auf die Luftmoleküle stoßen. Künstlich wird es in Atomreaktoren und auch bei Explosionen von Kernwaffen produziert. Es hat die physikalische Halbwertszeit von 12,3 Jahre, aber die effektive Halbwertszeit beträgt nur 12 Tage in Folge einer schnellen metabolischen Abwechslung des Wassers, dessen Bestandteil es ist. Unter Berücksichtigung der schwachen Strahlung und der schnellen Ausscheidung aus dem Körper gehört es zu den am wenigsten gefährlichen Radioisotopen. Technisch wird es in Autolumineszenzmaterialien wie Kennzeichen von Ausgängen aus Gebäuden, Nummernscheiben im Luftverkehr, Zeigern an Messgeräten und Armbanduhren, in Lumineszenzfarben, und auch in der biologischen Forschung verwendet.

Die Studie der wasserwirtschaftlichen Forschungsanstalt T.G.M. (weiter nur VÚV TGM) - Beurteilung NEK-RP für Tritium, 2015, enthält eine internationale Übersicht von Grenzwerten (Richtwerten), gültig für den Gehalt von Tritium im Trinkwasser. Diese Werte sind überraschend vielfältig, vom Richtwert für "Wasser für den menschlichen Bedarf" von 100 Bq.l⁻¹ in der EU und in den meisten Ländern Europas (einschließlich der Tschechischen Republik) bis zu einem Richtwert von 30000 Bq.l⁻¹ in Finnland, über den Grenzwert für Trinkwasser von 10 000 Bq.l⁻¹ (WHO) u. a. Wie wir oben anführten, sind im Trinkwasser der Brunnen, die in der Nähe des Flusses Jihlava liegen, die Aktivitäten von Tritium niedrig, im Bereich von ca. 10 bis 50 Bq.l⁻¹, also zuverlässig unter den strengsten Grenzwerten oder Richtwerten.

3.3.3 Strahlenexposition der Bevölkerung

Nach ca. dreißigjährigem Betrieb von EDU1-4 ist es zweckmäßig zu beurteilen, ob und in welchem Ausmaß der Organismus der benachbarten Einwohner durch die andauernden Emissionen aus gasförmigen und flüssigen Emissionen von EDU1-4 betroffen werden kann. Zu solcher Beurteilung müssen allerdings nicht nur die Radioaktivität einzelner Bestandteile der Umwelt, sondern auch die äußeren und inneren Dosen der Strahlung bekannt sein, der die Menschen ausgesetzt sind. Auf Grund dieser Dosen kann dann das resultierende Gesundheitsrisiko berechnet werden, Mit Hilfe dieser Verfahren beurteilen wir gleichzeitig das Risiko für die benachbarten Einwohner, einerseits derer, die die ganze Betriebsdauer von EDU1-4 bereits

als Erwachsene erlebten, und andererseits derer, die in der Zeit der Betriebseinführung geboren wurden und hier ihre Kindheit verbrachten.

3.3.3.1 Quantifizierung der stochastischen Gesundheitsauswirkungen der ionisierenden Strahlung

Es wird vorausgesetzt, dass im Bereich der niedrigen Dosen der stochastische Effekt der Strahlung der Summe der effektiven Dosen aus der äußeren Bestrahlung und der Äquivalentdosen aus der inneren Bestrahlung proportional ist. Es geht nicht um direkt messbare Werte. Sie werden durch eine Berechnung aus gemessenen (bzw. in der Zukunft vorausgesetzten) Niveaus der absorbierten Dosen und deren Korrekturen nach dem Charakter der beteiligten Radioisotope abgeleitet.

Die Berechnungen dieser Art sind für den Schutz der Bevölkerung im Rahmen der Beurteilung der geplanten Expositionssituationen bei Bauvorbereitungen oder bei vorbereiteter Erweiterung von Kernkraftwerken erforderlich. Auf der Basis der Kenntnis der Parameter der neuen Quellen und der vorausgesetzten gasförmigen Ableitungen (der Emission von Spuren Mengen von Radionukliden in die Luft) kann man mit Hilfe von Streuungsstudien für die ausgewählten Punkte und Zonen der Umgebung die Aktivitäten von Bodenkonzentrationen der Radionuklide in der Luft ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) und die Depositionsdosisleistung ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$) feststellen. Bei flüssigen Ableitungen kann man ähnlich die Aktivität nach der Verdünnung des Abwassers des Kraftwerks in dem entsprechenden Rezipienten feststellen. Verwendete Expositionsszenarios in der Umgebung, auf die sich gasförmige Ableitungen auswirken, müssen sechs Expositionswege umfassen:

- ▶ Einatmen der Luft mit Emissionen von Radionukliden,
- ▶ äußere Bestrahlung "aus einer Wolke", d. h. die Wirkung von Luftradionukliden auf den Körper von außen,
- ▶ innere Bestrahlung aus einem Depositum an der Terrainoberfläche,
- ▶ Einatmen von suspendierten Nukliden aus einem Depositum.
- ▶ Konsum von Nahrungsmitteln, die am Standort erzeugt oder gezüchtet werden,
- ▶ Konsum des kontaminierten Wassers.

Beim Wasser der Rezipienten von Abwässern der Kernkraftwerke müssen ebenfalls alle potentiellen Expositionswege berücksichtigt werden, und dies sind:

- ▶ die Ingestion von Trinkwasser, das vom Wasser des Rezipienten beeinflusst werden kann,
- ▶ die Ingestion von Fischen, die im kontaminierten Wasser leben,
- ▶ die Ingestion vom Fleisch und Milch der Tiere, die das kontaminierte Wasser trinken,
- ▶ die Ingestion von landwirtschaftlichen Produkten kontaminiert durch Bewässerung,
- ▶ Baden in kontaminiertem Wasser,
- ▶ Bootfahrten,
- ▶ Aufenthalt an einer Stelle der Ablagerung,
- ▶ Aufenthalt auf bewässertem Boden.

Nach diesen Szenarios werden mit Hilfe von detaillierten Computermodellen individuelle absorbierte Dosen und davon die jährlichen effektiven Dosen und die effektiven Dosen der betreffenden Einwohner bestimmt. Daraus kann man dann zur Bestimmung des individuellen Risikos eines Gesundheitsschadens unter der Verwendung des Koeffizienten $0,057 \text{ Sv}^{-1}$ gemäß der letzten Empfehlung von ICRP (siehe 3.2.4. Tab. 1) leben. Die nominalen Risikokoeffizienten werden dann durch die Berechnung des Mittelwerts der Schätzungen der lebenslangen Risiken nach dem Geschlecht und dem Alter der Exposition in repräsentativen Bevölkerungsgruppen abgeleitet.

Bei der Prognose der Auswirkungen der Bestrahlung der Bevölkerung und bei den durchgeführten Kontrollen der Einhaltung von Grenzwerten wird der sogenannten repräsentativen Einzelperson besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die repräsentative Einzelperson wird gemäß Atomgesetz (§ 2. Buchst. J) definiert als die "Einzelperson der Bevölkerung, die ein Vertreter der Modellgruppe der physischen Personen ist, die der Strahlenexposition durch die gegebene Quelle und auf dem gegebenen Weg am stärksten ausgesetzt sind".

Die Prognose der Gesundheitsrisiken ist allerdings nicht exakt, sie sind mit einigen Unsicherheiten belastet:

- ▶ mit statistischer Wahrscheinlichkeit,
- ▶ mit der Extrapolation von großen Dosen auf kleine, bei denen es über den Effekt keine direkten Nachweise gibt,
- ▶ mit der Übertragung der Ergebnisse auf eine andere Bevölkerungsgruppe,
- ▶ mit der Interaktion mit anderen krebserregenden Risikofaktoren (Rauchen bei Lungenkrebs, Reproduktionsgeschichte bei Brustkrebs u.a.),
- ▶ mit der relativen biologischen Wirksamkeit im Verhältnis zu Strahlungen verschiedener Qualität,
- ▶ mit der Existenz einer möglichen Schwelle des krebserregenden Risikos bei sehr niedrigen Dosen u. a.

Unter Berücksichtigung der andauernden Unsicherheiten über die Gesundheitsfolgen von niedrigen Dosen betrachten die Autoren der das zuletzt veröffentlichten Empfehlung von ICRP (aus dem Jahr 2007) als ungünstig für Zwecke der Planung der öffentlichen Gesundheit, die hypothetische Anzahl von Krebsfällen oder erblichen Effekten zu kalkulieren, die mit sehr niedrigen Strahlungsdosen, aufgenommen von sehr vielen Menschen und über einen langen Zeitraum verbunden sein könnten.

3.3.4 Individuelle Strahlenbelastungen durch ionisierende Strahlung der gasförmigen und flüssigen Ableitungen in kritischen Gruppen

Die aufgenommenen Dosen der radioaktiven Strahlung kann man bei Menschen nicht mit Hilfe einer direkten Messung bestimmen, sie werden aus Niveaus der äußeren Bestrahlung in ihren Lebensbedingungen und aus der Schätzung der Art und der Menge von Radionukliden, die in ihren Organismus gelangt sind, abgeleitet. Es handelt sich um verschiedene Quellen der äußeren Strahlung und Dutzende von Radioisotopen, und dies an verschiedenen Standorten des nahen Wohngebiets in Abhängigkeit von ihrer Entfernung von EDU1-4, der vorherrschenden Windrichtung und weiteren lokalen meteorologischen und anderen Bedingungen. Solche Berechnungen waren mit traditionellen Berechnungsverfahren praktisch nicht realisierbar, sie sind nur unter der Verwendung von anspruchsvollen Computerprogrammen lösbar.

Bei der regelmäßigen Beurteilung der Auswirkungen des betriebenen Kraftwerks auf die Bevölkerung in der Umgebung von EDU1-4 wird das für ČEZ vom Forschungsinstitut VUJE, Trnava entwickelte Programm RDEDU verwendet, das im Jahr 1996 und danach schrittweise perfektioniert wurde. Im Jahr 2013 wurde es mit positivem Ergebnis in einem wiederholten Genehmigungsprozess durch eine Fachkommission der SÚJB beurteilt. Das Programm bilanziert die jährlichen Ableitungen mit dem Ziel die Einhaltung des von der SÚJB festgelegten Grenzwerts der effektiven Dosen und der effektiven Folgedosen zu überprüfen. Die Ergebnisse werden jedes Jahr in jährlichen Berichten zur "Expositionssituation in der Umgebung des Kernkraftwerkes Dukovany" vorgelegt.

Im Programm werden drei grundlegende Wege ausgewertet:

- ▶ mittels der Atmosphäre: äußere Bestrahlung aus einer Wolke, äußere Bestrahlung aus kontaminierter Erdoberfläche, innere Bestrahlung bei der Inhalation, innere Bestrahlung aus der Ingestion landwirtschaftlicher Produkte, kontaminiert durch atmosphärischen Niederschlag,
- ▶ mittels der Hydrosphäre: äußere Bestrahlung von Ablagerungen und beim Aufenthalt an einem Strand, innere Bestrahlung aus der Ingestion von Trinkwasser, innere Bestrahlung aus der Ingestion von Fischen, innere Bestrahlung aus Ingestion landwirtschaftlicher Produkte, kontaminiert durch Bewässerungen,
- ▶ über Nahrungsmittelketten.

Die Verbreitung von Radioisotopen über die Luft wird unter Berücksichtigung einer Reihe von Faktoren, die diese Verbreitung bedingen oder modifizieren, ausgewertet, dies sind meteorologische Bedingungen (Windgeschwindigkeit und Windrichtung, Intensität der atmosphärischen Niederschläge u. a.), Meereshöhen der Quelle und der Berechnungspunkte, die Rauheit der Erdoberfläche u. a.

Für die Verbreitung von radioaktiven Stoffen in Gewässern werden die Ableitung radioaktiver Stoffe in die Oberflächengewässer und die Verhältnisse ausgewertet, die eine konservative Schätzung der

Volumenaktivität radioaktiver Stoffe in Flüssen, Staubecken und Ablagerungen ermöglichen. Es wird ein Modell der Verbreitung von radioaktiven Stoffen im System der Staubecken Dalešice-Mohelno entwickelt.

Die Übertragung von Radionukliden in Nahrungsmittelketten nach einer Kontamination aus der Atmosphäre bzw. aus der Bewässerung wird durch die modifizierte Version des Modells berechnet, das im Zentrum für Strahlungshygiene der Gesundheitsanstalt Praha (jetzt SÚRO Praha) entwickelt wurde. Es berücksichtigt u. a. die Depositionen von Radionukliden auf der Blattfläche von Pflanzen, den Transport von Radionukliden in Pflanzen über die Blätter, beim Schweinefleisch ebenfalls auch die Kontamination durch Radioisotopen von Cäsium (aus Futtermitteln) und selbstverständlich den Nahrungsmittelverbrauch in der Bevölkerung.

Als die Zeit der Kumulation von Radionukliden auf der Erdoberfläche wird in Übereinstimmung mit der internationalen Methodik bei effektiven Dosen immer 1 Jahr, bei Folgedosen dann 50 Jahre (Erwachsene) oder 70 Jahre (Kinder) betrachtet. Die effektive Dosis aus äußerer Bestrahlung, bzw. eine Folgedosis aus der inneren Bestrahlung (Sv) wird als Summe der Produkte des Äquivalents HT und des Gewebegewichtsfaktors wT in allen Geweben und Organen des Körpers bestimmt.

Die Verbreitung von radioaktiven Stoffen in der Atmosphäre wird rechnerisch im Umkreis von 60 km rund um den Mittelpunkt des Kraftwerkes in einem Gitternetz angegeben durch 16 Ausschnitte (nach 22,5°) nach den Himmelsrichtungen und in jedem davon durch die Teile von zwölf Kreisringen begrenzt mit Entfernungen von EDU1-4 von 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 60 km (Abbildung 1) ausgewertet. Es entsteht somit ein Netz mit insgesamt 192 Sektoren und für jeden davon führt das Programm RDEDU die Dosenberechnungen durch. Die Zonen werden vom Norden und nach der zunehmenden Entfernung im Uhrzeigersinn nummeriert.

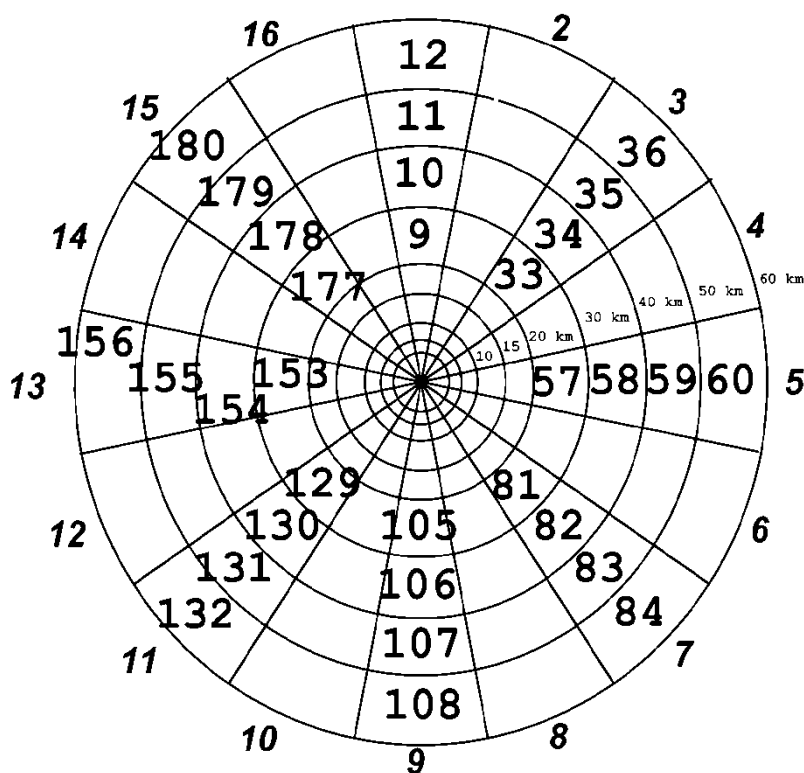


Abb. 1 Gitternetz von Kreisen und Ausschnitten in der Umgebung für Dosenberechnungen

Für gasförmige und flüssige Emissionen legte SÚJB kritische Bevölkerungsgruppen im Sinne des Gesetzes Nr. 18/1997 GBl. fest. Die kritische Gruppe für die Abgabe von Radionukliden an die Umwelt in der Form von Emissionen in die Luft sind die Einwohner, die in einer Entfernung von bis 5 km zu EDU1-4 (Beschluss SÚJB Gz. 12135 vom 3. 5. 2007) leben. Die besiedelte Zone mit der kritischen Bevölkerungsgruppe kann in einzelnen Jahren in Abhängigkeit von überwiegenden meteorologischen Bedingungen variieren.

Als kritische Bevölkerungsgruppe in Bezug auf die flüssigen Ableitungen wurden die Einwohner bestimmt, die in der Zone 41 des oben angeführten Netzes bis zur Entfernung von 10 km ab der Ableitungsstelle in den Rezipienten, d. h. in der Ortschaft Lhánice (Beschluss SÚJB Gz. 12136 z 25. 4. 2007) leben.

Die kritische Einzelperson ist für die Zwecke der Studie ein fiktives Individuum, das in der gesamten beurteilte Zeit jedes Jahr dem historisch aufgezeichneten Maximum der effektiven Dosen aus der äußeren Bestrahlung und den Folgedosen aus innerer Bestrahlung aus Ableitungen in die Luft und Wasserläufe ausgesetzt ist.

Die resultierenden Dosen aus Luftableitungen von EDU1-4 errechnet durch das beschriebene Programm für das Jahr 2014 mit der Aufteilung nach einzelnen Altersgruppen führen wir in der Tabelle 2 an. Die kritische Gruppe mit dem höchstem Wert der effektiven Gesamtpersonendosis und der effektiven Folgedosen waren im angegebenen Jahr die Einwohner von Rešice (Zone Nr. 88). Es handelt sich um Werte am Niveau der Hundertstel, also um drei Größenordnungen (1000 x) niedriger als der festgelegte Grenzwert (40 μ Sv).

Tab. 2 Werte der Summe der effektiven Dosen und der effektiven Folgedosen aus Ableitungen in die Luft für die kritische Bevölkerungsgruppe im Jahr 2014

Alter Jahre	Sv
0 - 1	1,687E-08
1 - 2	2,011E-08
2 - 7	2,030E-08
7 - 12	2,012E-08
12 - 17	1,808E-08
Erwachsene	1,832E-08

Ähnliche Ergebnisse, die sich auf die Ableitungen in Wasserläufe beziehen, führen wir in der Tabelle 3 an. Es handelt sich um Werte am Niveau von einer bis zwei Einheiten μ Sv, also zuverlässig unter dem Niveau des festgelegten Grenzwerts (6 μ Sv). Falls es um die Radionuklidenzusammensetzung der angeführten Ableitungen geht, ist es beinahe ausschließlich das Tritium. Sonstige Radioisotopen beteiligen sich an den angeführten Dosen nur mit wenigen Prozenten.

Tab. 3 Werte der Summe der effektiven Dosen und der effektiven Folgedosen aus Ableitungen in Wasserläufe für die kritische Bevölkerungsgruppe im Jahr 2014

Alter Jahre	Sv
0 - 1	2,914E-06
1 - 2	2,262E-06
2 - 7	2,586E-06
7 - 12	1,981E-06
12 - 17	1,596E-06
Erwachsene	2,348E-06

Die in den Tabellen 2 und 3 aufgeführten Ergebnisse bilden die Grundlage für die quantitative Beurteilung der Gesundheitsrisiken.

3.3.4.1 Individuelle Gesundheitsrisiken von Erwachsenen mit begrenzter Expositionszeit

Bei folgender Beurteilung der Gesundheitsrisiken in der Umgebung des Kernkraftwerks Dukovany gehen wir gemäß den Unterlagen von ICRP (siehe 3.2.4 Tabelle 1) vor.

An dieser Stelle beurteilen wir das Risiko für die Einwohner, die während der gesamten 30 Betriebsjahre als Erwachsene in der nächsten Umgebung von EDU1-4 lebten. Als die alljährliche Dosis verwenden wir das konservative Ergebnis aus dem Jahr 2014 als Umschlagsergebnis für die Beurteilung des gesamten 30-jährigen Betriebs von EDU1-4.

Bei Ableitungen in die Luft ist das Risiko eines Gesundheitsschadens gleich dem Produkt der resultierenden jährlichen Dosis (Summe der effektiven Dosis und der effektiven Folgedosis), d. h. 1,832E-08 Sv, der Anzahl der Jahre der Exposition, d. h. 30 und des in der Tabelle angeführten Koeffizienten der Einwohner, d. h.

0,057. Sv⁻¹. Das Risiko durch Ableitungen in die Luft beträgt somit in der am stärksten exponierten (kritischen) Gruppe der Bevölkerung **3,13E-08**.

Das Risiko durch Ableitungen in die Wasserläufe berechnen wir ähnlich als das Produkt $2,348E-06 \times 30 \times 0,057$, d.h. **4,02E-06**.

Das angeführte Risiko eines Gesundheitsschadens durch Ableitungen in die Wasserläufe bedeutet, dass von einer Million Menschen, die diesem Strahlungsniveau ausgesetzt sind, 4 einen Gesundheitsschaden erleiden würden. Falls wir der Einfachheit halber annehmen, dass in der Lokalität der gegebenen kritischen Gruppe 1000 Menschen leben, würde das einen Gesundheitsschaden bei 0,004 Menschen bedeuten, oder anders gesagt 4 Fälle eines Gesundheitsschadens in 400 Jahren. Es ist ersichtlich, dass es um ein nichtiges Risiko geht, eher um eine mathematische Abstraktion ohne jede praktische Bedeutung.

Das Risiko durch Ableitungen in die Luft ist noch um 2 Ordnungen niedriger.

3.3.4.2 Individuelle Gesundheitsrisiken bei lebenslanger Exposition

Als zweites Modell stellen wir uns einen Menschen vor, der im Jahr der Inbetriebnahme von EDU1-4 geboren wurde und seine ganze Kindheit, Reifezeit und dann einen Teil der Reife bis zum Alter von 30 Jahren als das Mitglied einer kritischen Gruppe erlebte. Hier müssen wir berücksichtigen, dass in einigen Perioden der Kindheit die gesamten Jahresdosen (Summen der effektiven Dosen und der effektiven Folgedosen) unter sonst gleichen Bedingungen höher sind als bei Erwachsenen. Diese Gesamtdosen müssen für die Anzahl der Jahre des Lebens in der gegebenen Altersperiode eingerechnet werden. Die Vorgehensweise der Berechnungen für die Ableitungen in die Luft präsentieren wir in der Tabelle 4.

Tab. 4 Berechnung des aktuellen Risikos (2014) eines Gesundheitsschadens durch die Ableitungen aus EDU1-4 in die Luft für einen Menschen, der im Alter 0 - 30 Jahre in einer kritischen Bevölkerungsgruppe gelebt hat

Alter Jahre	A	B	C
	Sv	Lebensjahre	A x B x 0,057
0 - 1	1,687E-08	1	9,616E-10
1 - 2	2,011E-08	1	1,146E-09
2 - 7	2,030E-08	5	5,786E-09
7 - 12	2,012E-08	5	5,734E-09
12 - 17	1,808E-08	5	5,153E-09
Erwachsene	1,832E-08	13	1,358E-08
Insgesamt			3,235E-08

Ähnlich gehen wir bei demselben Modellmensen bei der Beurteilung seines Gesundheitsrisikos durch die Ableitungen von EDU1-4 in die Wasserläufe (Tabelle 5) vor.

Tab. 5 Berechnung des aktuellen Risikos (2014) eines Gesundheitsschadens durch die Ableitungen aus EDU1-4 in die Wasserläufe für einen Menschen, der im Alter 0 - 30 Jahre in einer kritischen Gruppe lebte

Alter Jahre	A	B	C
	Sv	Lebensjahre	A x B x 0,057
0 - 1	2,914E-06	1	1,661E-07
1 - 2	2,262E-06	1	1,289E-07
2 - 7	2,586E-06	5	7,370E-07
7 - 12	1,981E-06	5	5,646E-07
12 - 17	1,596E-06	5	4,549E-07
Erwachsene	2,348E-06	13	1,740E-06
Insgesamt			3,791E-06

Aus dem Vergleich mit den oben angeführten Ergebnissen der Person, die den gesamten Zeitraum des Betriebs von EDU1-4 im Erwachsenenalter in einer kritischen Gruppe lebte (bei Ableitungen mit dem Risiko

eines Gesundheitsschadens von $3,13E-08$ bzw. d.h. $4,02E-06$) sehen wir, dass sie nur unwesentlich abweichen, sie haben die gleiche Größenordnung und sind somit ähnlich völlig unbedeutend.

3.3.5 Gesundheitszustand der Bevölkerung

Der zweite Aspekt der möglichen gesundheitlichen Auswirkungen des bisherigen Betriebs von EDU1-4 ist die Beurteilung des Gesundheitszustands der Bevölkerung und dessen Entwicklung während der Betriebszeit des Kraftwerks. Eine solche Beurteilung wurde detailliert durchgeführt und die Ergebnisse wurden in der "Studie der Entwicklung des Gesundheitszustands der Bevölkerung im Interessengebiet des Kernkraftwerkes Dukovany" (J. Kotulán, Amec s.r.o., Brno, März 2015) veröffentlicht. Das Ziel dieser Studie war die Überprüfung, ob der Betrieb von EDU1-4 die Gesundheit der Einwohner der nahen Umgebung beeinflusst hat. Eventuelle Gesundheitsauswirkung des beinahe dreißigjährigen Betriebs, schrittweise Inbetriebnahme der einzelnen Reaktoren in den Jahren 1985 - 1987, müsste sich bereits für diese Zeit in Folge der Kumulation von Teilauswirkungen und des ausreichenden Zeitintervalls als eventuelle krebserregende Auswirkungen zeigen.

3.3.5.1 Methoden und Komplexe

Die Auswahl von Indikatoren der Gesundheit und der Methoden, die in der angeführten Studie verwendet werden, haben Ähnlichkeit mit den Methoden, die in der oben beschriebenen älteren Studie aus dem Jahr 1996 und im Rahmen der langfristigen Überwachung des Gesundheitszustandes der Bevölkerung im betreffenden Gebiet des Kraftwerks Temelín verwendet wurden (Kotulán, 2014).

Die gewählten Vorgehensweisen gehen von diesem Grundgedanken aus:

EDU1-4 könnte theoretisch die umliegende Bevölkerung auf zwei Weisen beeinflussen:

- ▶ durch ionisierenden Strahlung von Radionukliden, freigesetzt in die Umwelt aus Luftableitungen und flüssigen Ableitungen,
- ▶ durch Auswirkungen auf die Psyche der Menschen, das Hervorrufen von Gefühlen der Beunruhigung und geistiger Anspannung verbunden *mit der Nähe des Kraftwerks und Befürchtungen vor möglichen ungünstigen Auswirkungen und Risiken.*

Bedeutung haben die Indikatoren solcher gesundheitlichen Aspekte, die von den angeführten Auswirkungen von EDU1-4 potentiell berührt werden könnten. Das ist das Vorkommen von bösartigen Neubildungen (mit besonderer Orientierung auf bösartige Wucherung des lymphatischen und blutbildenden Gewebes), Vorkommen von Herz- und Gefäßerkrankungen und weiterhin das Vorkommen von Störungen des Reproduktionsprozesses der Bevölkerung (Gebären von Kindern). Außerdem ist es günstig, systematisch die Sterblichkeit als den grundlegenden komparativen Gesundheitsindikator auszuwerten.

Direkte Untersuchung von ausreichend großen repräsentativen Bevölkerungsstichproben wäre unverhältnismäßig, finanziell und organisatorisch anspruchsvoll und hätten unter Berücksichtigung der Geringfügigkeit der potentiellen Gesundheitsauswirkungen und der häufigen und nicht einfach greifbaren verwirrenden Faktoren (Confounders) der Lebensbedingungen der Menschen nicht den gewünschten Effekt. Es ist deshalb günstiger, sich auf solche Gesundheitsindikatoren zu konzentrieren, die für große Bevölkerungsgruppen, und dies auch rückwirkend in staatlichen Dokumenten und Datenbanken der routinemäßigen demographischen und gesundheitlichen Statistik zugänglich sind. Mit deren Hilfe kann man zusammenfassend alle Bewohner der ausgewählten Gebiete bewerten.

Unter Berücksichtigung der allgemein niedrigen Inzidenz der Todesfälle (ca. 1,2 % der Bevölkerung pro Jahr) und der bösartigen Neubildungen (bei häufigsten Arten ca. 0,1 % pro Jahr) und des Bedarfs, Männer und Frauen getrennt zu beurteilen, ist die statistische Beurteilung nur bei ausreichend zahlreichen Bevölkerungsgruppen gut möglich. Für die jährliche Beurteilung der gesamten Sterblichkeit sollten die beurteilten Bevölkerungsgruppen mindestens 5000 Einwohner erfassen (d. h. ca. 30 gestorbene Männer und 30 gestorbene Frauen pro Jahr) und für die Beurteilung der Teilindikatoren der Sterblichkeit und der Inzidenz der Neubildungen noch viel mehr.

Eine statistisch besser geeignete Anzahl von Fällen kann man mittels zusammenfassender Beurteilung von mehrjährigen Perioden erreichen

Zur Detektion von eventuellen Auswirkungen des Kraftwerks wird es günstig sein, zwei exponierte Zonen (nähere und entferntere) im Umkreis von EDU1-4 abzugrenzen und die Befunde dieser zwei Zonen mit analogen Befunden zumindest von zwei mehr entfernten Kontrollgebieten zu vergleichen, falls möglich mit ähnlichem sozialen, wirtschaftlichen und kulturellem Hintergrund.

3.3.5.2 Gesundheitscharakteristiken

Zur Beurteilung des Gesundheitszustandes wurden folgende Charakteristiken verwendet:

Die **Sterblichkeit** wird im Bericht für den Zeitraum vom Jahr 1994 bis Jahr 2013 (letztes verfügbares Jahr) beurteilt. Neben der gesamten Sterblichkeit (alle Todesursachen) wird gesondert auch die Sterblichkeit auf Herz-Gefäß-Krankheiten und bösartige Neubildungen beurteilt. Es geht um die zwei häufigsten Todesursachen, wobei die erste eine bestimmte Beziehung zum Stress hat und die zweite eine Beziehung zur ionisierenden Strahlung haben könnte. Außer der zusammenfassenden Werte für alle Altersgruppen beurteilen wir speziell ebenfalls die Sterblichkeit im produktiven Alter (20 - 64 Jahre), die in einigen Richtungen die Einflüsse der Lebensbedingungen sensibler als die gesamte Sterblichkeit widerspiegelt, die auch ältere Altersgruppen miteinbezieht.

Insgesamt wurden also 6 Indikatoren der Sterblichkeit beurteilt:

Sterblichkeit (alle Altersgruppen):

1. *Gesamt (alle Todesfälle)*
2. *Auf Herz- und Gefäßerkrankungen (kardiovaskuläre)*
3. *Auf bösartige Neubildungen*

Sterblichkeit im produktiven Alter:

4. *Gesamt (alle Todesfälle)*
5. *Auf Herz- und Gefäßerkrankungen (kardiovaskuläre)*
6. *Auf bösartige Neubildungen.*

Inzidenz (Vorkommen von neuen Fällen pro Jahr) von bösartigen Geschwülsten, einerseits insgesamt aller Arten, andererseits von ausgewählten Geschwülsten, die häufiger vorkommen, und von Geschwülsten, die eine Beziehung zur ionisierenden Strahlung haben könnten. Die Beurteilung basiert auf jährlichen Unterlagen für den Zeitraum 1994 bis 2010. Die Liste der beobachteten Geschwülste wird mit Codes nach dem Code der internationalen Klassifizierung der Krankheiten nach der 10. Revision gültig seit dem Jahr 1995 versehen:

- ▶ alle bösartigen Neubildungen zusammen außer "sonstigen Hautneubildungen" (Code C00 bis C97 minus C44).
- ▶ bösartige Neubildungen des Dickdarms, Mastdarms, der rektosigmoidalen Verbindung und des Anus (Code C18 bis C21).
- ▶ bösartige Neubildungen der Brust (Code C50) - nur Frauen,
- ▶ bösartige Neubildungen des Harnapparats (Code C64 bis C68),
- ▶ bösartige Neubildungen des lymphatischen, blutbildenden und verwandten Gewebes (Code C81 bis C96).

Beim Vergleich der Sterblichkeit und Inzidenz der Geschwülste in verschiedenen Bereichen könnten die Abweichungen in der Altersstruktur störend sein. Wo ein größerer Anteil von älteren Jahrgängen ist, ist die höhere Anzahl von Todesfällen und bösartigen Geschwülsten natürlich. Deshalb werden bei beiden Indikatoren die groben Anzahlen mit sog. Altersstandardisierung korrigiert und mit verhältnismäßigen Charakteristiken SMR bei der Sterblichkeit und SIR bei der Inzidenz von bösartigen Geschwülsten ausgedrückt.

Die Inzidenz der Erscheinungen der gestörten Reproduktion (Gebären von Kindern) wird im Zeitraum 1994 bis 2013 mit zwei Charakteristiken beurteilt.

- ▶ Der Index des Vorkommens von spontanen Fehlgeburten (umgerechnet auf 1000 lebend Geborene).
- ▶ Index des Vorkommens von Kindern mit einem Geburtsgewicht unter 2500 g (umgerechnet auf 1000 lebend Geborene).

3.3.5.3 Beobachtete Bereiche

Die Untersuchung wird einerseits in der nahen Umgebung von EDU1-4 ("exponierte" Bereiche) und andererseits in entfernteren, aber sonst vergleichbaren ("kontrollmäßigen") Bereichen durchgeführt. Die Einwohnerzahl wird im weiteren Text gemäß den Angaben der letzten Volkszählung, als zum 25. 3. 2011.

Exponierte Bereiche

Als exponierten Bereich betrachten wir die Gemeinden in einer Entfernung bis ca. 10 km von EDU. Auf diesem Gebiet müssten sich die eventuellen ungünstigen Auswirkungen der Existenz und des Betriebs von EDU1-4 zeigen (Auswirkung von freigesetzten Radionukliden, psychischer Anspannung verbunden mit Befürchtungen vor schädlichen Auswirkungen von EDU1-4 bzw. vor möglichen Unfällen). In größeren Entfernungen wären die angeführten Auswirkungen bereits weniger deutlich oder gar nicht.

Unter der Berücksichtigung des eventuellen psychischen Einflusses teilen wir den exponierten Bereich noch auf in zwei Teile: näher (E1) und entfernter (E2).

Näheres exponiertes Gebiet (E1), bis zur Entfernung von ca. 6 km, es befindet sich in direkter und relativ detaillierter Sichtbarkeit der Kühltürme von EDU1-4, bei der man auch ein dauerhaftes Unterbewusstsein dafür annehmen kann, dass sie in ihrer unmittelbaren Nähe leben. Es geht um so nahe Gemeinden, dass sich die eventuellen Auswirkungen der Strahlung auch hier zeigen müssten.

Das Gebiet umfasst 11 administrative Gemeinden und 13 Standorte, sie gehörten zu den Bezirken Třebíč und Znojmo. Im Jahr 2011 wohnten hier 7 194 Einwohner.

Entferntes exponiertes Gebiet (E2) sind Gemeinden auf dem Gebiet der ungefähren Form eines Kreisrings zwischen dem äußeren Rand E1 und dem äußeren Rand des gesamten exponierten Gebietes. Es umfasst 32 administrative Gemeinden und 38 Standorte. Die Gemeinden gehören in die Bezirke Třebíč, Znojmo und Brno - Land. Im Jahr 2011 wohnten in diesem Gebiet insgesamt 10 124 Einwohner.

Zum Zweck der Beurteilungen verbanden wir ebenfalls das nähere und entferntere Gebiet (E1 + E2) zu einem exponierten Gesamtgebiet (EC) mit 17 318 Einwohnern im Jahr 2011.

Kontrollgebiete:

Das Kontrollgebiet Třebíčsko (KT) umfasst eine Reihe von Standorte situiert ungefähr in einem Kreis rund um die Stadt Třebíč (ohne Stadt Třebíč). Es umfasst 60 administrative Gemeinden und 82 Standorte, alle gehört zum Bezirk Třebíč. Im Jahr 2011 wohnten hier 20 533 Einwohner.

Kontrollgebiet Moravskobudějovicko (KMB) wurde im südwestlichen Zipfel des Bezirks Třebíč mit der größten Stadt Moravské Budějovice gewählt. Im Interesse der Bewahrung eines vergleichbaren Landescharakters wurden hier die Städte Moravské Budějovice, Jaroměřice nad Rokytnou und Jemnice eingeordnet. Dieses Gebiet umfasst 51 administrative Gemeinden und 67 Standorte, alle gehören zum Bezirk Třebíč. Im Jahr 2011 wohnten hier 13 686 Einwohner.

Kartographisch sind diese Gebiete in der Abbildung 2 dargestellt.

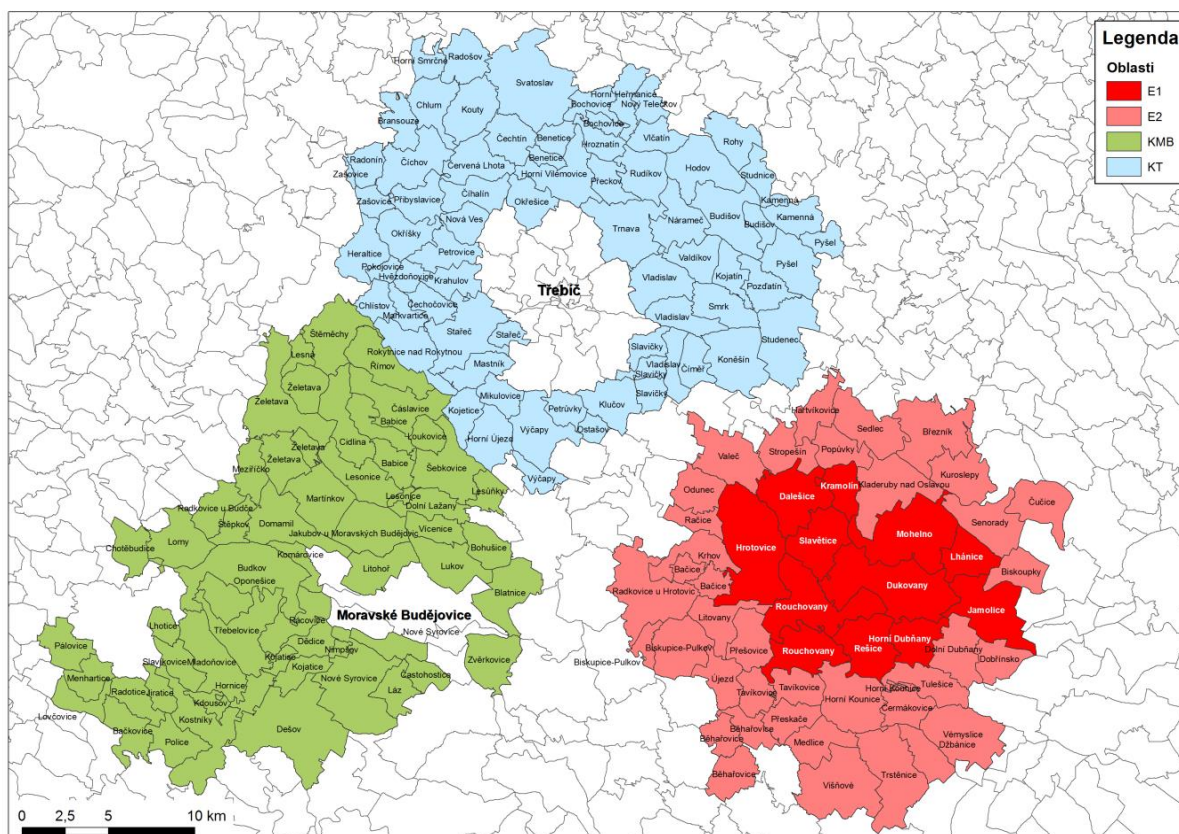


Abb. 2 Exponierte Bereiche und Kontrollbereiche ausgewählt für die Beurteilung des Gesundheitszustandes

Legenda	Legende
Oblasti	Gebiete

3.3.5.4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Bei den Überlegen über eventuelle Gesundheitsauswirkungen gehen wir von der Tatsache aus, dass der beobachtete Zeitraum die Zeit des bereits früher aufgenommenen und in der bewerteten Zeit bereits mehr oder weniger stabilisierten Betriebs von EDU1-4 umfasst, der, falls er sich auf die Bevölkerung auswirken würde, stabilisierte und andauernde Effekte, keine kurzfristigen Abweichungen und Änderungen, aufweisen müsste. Ein weiterer Aspekt dieses Zeitraums ist die Tatsache, dass sich die umliegende Bevölkerung bereits an den Betrieb des Kraftwerkes gewöhnt hat, sie nimmt ihn als einen Bestandteil ihrer Umgebung an und es entfiel der frühere Stress im Zusammenhang mit den verbreiteten Gerüchten über die schädlichen Auswirkungen und die Gefahren durch das Kraftwerk oder sie waren zumindest stark gedämpft. Die psychischen Anspannungen, die sich bei neuen Kraftwerken, insbesondere in den ersten Jahren psychologisch und auch gesundheitlich ungünstig auswirken können, spielten anscheinend keine Rolle mehr.

Besondere Aufmerksamkeit wird bei der Beurteilung der Ergebnisse der zitierten Studie dem Gesundheitszustand der Bevölkerung der nächsten Umgebung des Kraftwerkes (Gebiet E1) gewidmet, in die die Gemeinden Mohelno, Lhánice, Dukovany, Jamolice, Horní Dubňany, Rešice, Rouchovany, Slavětice, Hrotovice, Dalešice und Kramolín fallen. Von den Abweichungen von der gleichmäßigen Verteilung der Indikatoren des Gesundheitszustands in den Gebieten sind für uns aus der Sicht möglicher Auswirkungen von EDU1-4 folgende Beziehungen am bedeutsamsten: a) des näheren exponierten Gebietes (E1) zum entfernteren (E2), b) des näheren exponierten Gebietes (E1) zu den Kontrollgebieten (KMB und KT), c) die Entwicklungstrends im Gebiet E1.

Ungünstige Auswirkungen von EDU1-4 müssten sich vor allem mehr in seiner unmittelbaren Nähe zeigen, also im Gebiet E1, als im entfernten Gebiet E2. Solche Beziehungen wurden in der Studie allerdings nicht

festgestellt bzw. nachgewiesen. Falls die numerischen Unterschiede dieses Typs auftraten, waren sie immer eine Erscheinung kurzfristiger Schwankungen, keine dauerhafteren Tendenzen, und sie traten nicht nur in den exponierten, sondern auch in den kontrollierten Gebieten auf.

Aus ähnlich dokumentierten Ergebnissen der zitierten Studie wählen wir hier nur die grundlegenden aus.

Sterblichkeit

Standardisierte Sterblichkeitsindizes (Abbildung 3) sind bei Männern im Kontrollbereich KMB am höchsten, und dies wird statistisch durch die Sterblichkeit im näheren exponierten Gebiet E1 deutlich. Bei Frauen sind die Ergebnisse ähnlich, allerdings noch deutlicher, in beiden exponierten Gebieten ist die Sterblichkeit statistisch wesentlich niedriger als in den Kontrollgebieten. Die angeführten Ergebnisse beweisen somit, dass der Gesundheitszustand, beurteilt auf Grund der gesamten Sterblichkeit in der nahen Umgebung des Kraftwerks, günstiger ist als in den entfernteren Gebieten.

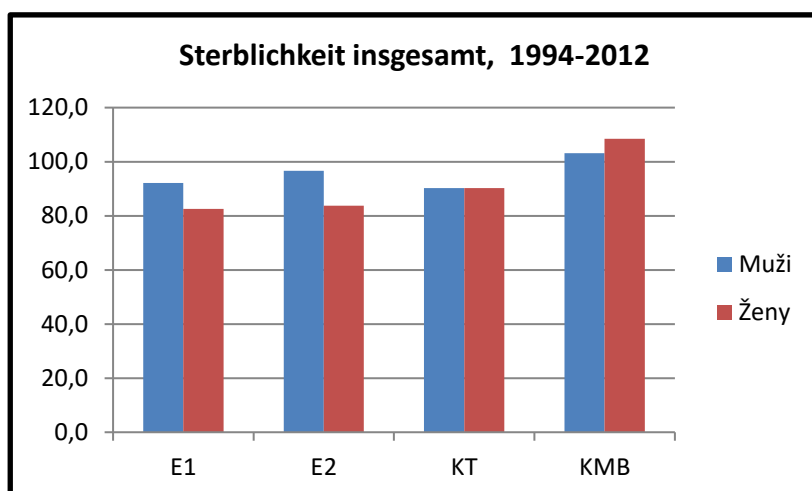


Abb. 3 Gesamte altersbedingte standardisierte Sterblichkeit in exponierten Gebieten und Kontrollgebieten. Bemerkung: SMR = 100,0 bezeichnet das gesamtstaatliche Niveau in der Tschechischen Republik

Muži	Männer
Ženy	Frauen

Bei der Sterblichkeit auf Grund von Herz- und Gefäßerkrankungen (Abbildung 4) und bösartigen Geschwülsten (Abbildung 5) zeigten sich ebenfalls keine Anzeichen eventuell ungünstiger Auswirkung von EDU. Sie wurden auch bei keinem der Indikatoren der Sterblichkeit im produktiven Alter festgestellt.

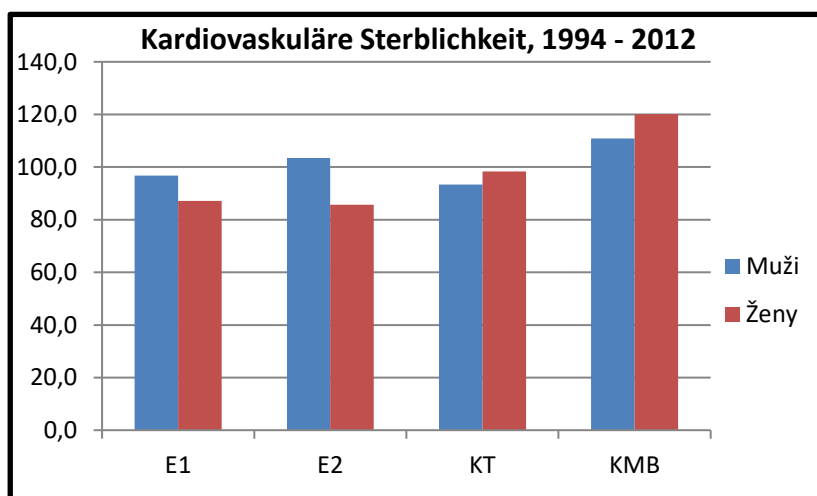


Abb. 4 Altersbedingt standardisierte Sterblichkeit auf Grund von Herz- und Gefäßkrankheiten in exponierten Gebieten und Kontrollgebieten. Bemerkung: SMR = 100,0 bezeichnet das gesamtstaatliche Niveau in der Tschechischen Republik

Muži	Männer
Ženy	Frauen

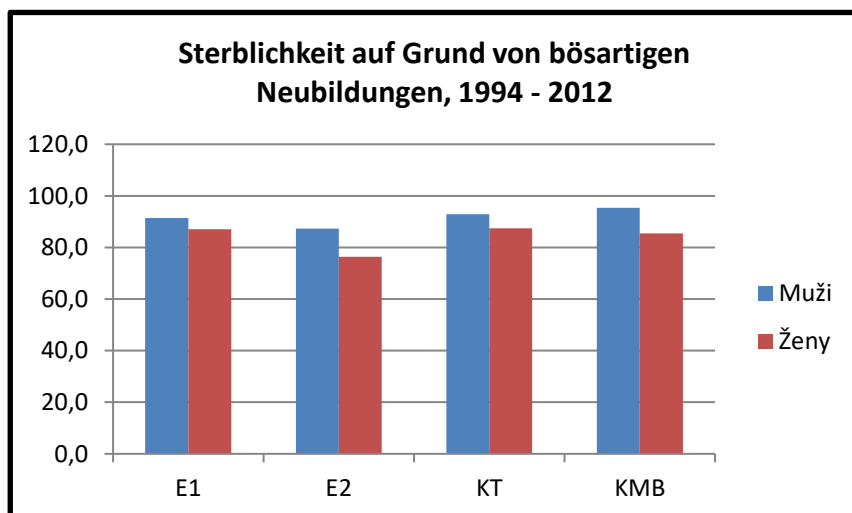


Abb. 5 Altersbedingt standardisierte Sterblichkeit auf Grund von bösartigen Geschwülsten in exponierten Gebieten und Kontrollgebieten. Bemerkung: SMR = 100,0 bezeichnet das gesamtstaatliche Niveau in der Tschechischen Republik

Muži	Männer
Ženy	Frauen

Bösartige Neubildungen

Die Erkrankung, die in der gewöhnlichen Sprache Krebs genannt wird, bezeichnet Herde von abnormal schnell wachsenden abartigen Zellen, die die Eigenschaften von normalen Zellen des entsprechenden Gewebes und die Fähigkeit der Koordination mit anderen Zellen verloren haben. Der sich vergrößernde Herd wird üblicherweise als eine Geschwulst bzw. in der wissenschaftlichen Literatur als eine Neubildung bezeichnet (nach der wissenschaftlichen Bezeichnung Neoplasma).

Der krebserregende (karzinogene) Prozess beginnt immer in einer einzelnen Zelle eines bestimmten Gewebes, das mit einem krebserregenden Faktor beschädigt wurde, meistens mit chemischen (Karzinogene - krebserregende Stoffe) Stoffen, aber in einem Teil der Fälle auch unter physikalischen Einflüssen (ionisierende Strahlung, ultraviolette Strahlung) oder biologischen (Viren, Mikroben, Parasiten). Auch wenn das beschriebene Prinzip für die absolute Mehrheit der Geschwülste gleich ist, handelt es sich nicht um eine einheitliche Krankheit. Geschwülste, die in unterschiedlichen Geweben entstehen, haben nicht nur unterschiedliche Eigenschaften und Anzeichen, sondern auch unterschiedliche kausale Faktoren in Bezug auf die Lebensbedingungen. Insgesamt gibt es einige Hunderte unterschiedlicher Typen von Geschwülsten, die man als selbstständige, im Wesentlichen voneinander unabhängige Krankheiten betrachtet.

Die Inzidenz aller bösartigen Geschwülsten gesamt in exponierten Gebieten und Kontrollgebieten wird in der Abbildung 6 dargestellt. Bei Männern liegen die Indizes der Inzidenz in allen Gebieten in der Nähe des gesamtstaatlichen Niveaus (=100 %), die Unterschiede dazwischen sind statistisch nicht bedeutend. Bei Frauen sind die Werte SIR noch niedriger, in allen Gebieten statistisch wesentlich unter dem gesamtstaatlichen Niveau. Die Unterschiede sind meistens nicht signifikant, nur SIR des gesamten exponierten Gebietes EC ist wesentlich niedriger als im Kontrollgebiet KT.

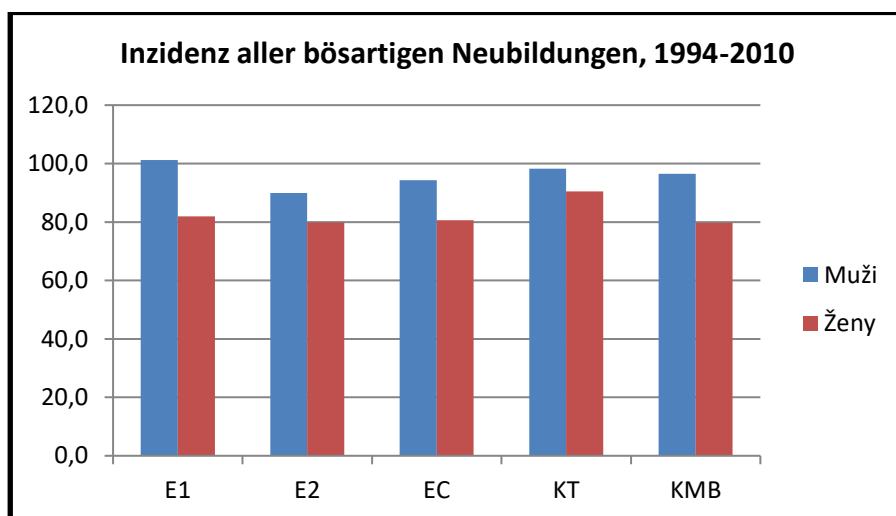


Abb. 6 Altersbedingt standardisierte Inzidenz aller Arten von Geschwülsten gesamt in exponierten Gebieten und Kontrollgebieten. Bemerkung: SIR = 100,0 bezeichnet das gesamtstaatliche Niveau in der Tschechischen Republik

Muži	Männer
Ženy	Frauen

Ähnlich negativ sind aus der Sicht der möglichen Auswirkungen von EDU1-4 auch die Inzidenzen von einzelnen beurteilten Arten von Geschwülsten, d. h. des Dickdarms und Anus, der Brust bei Frauen, der Organe des Harnapparats und auch bei Geschwülsten des lymphatischen, blutbildenden und verwandten Gewebes.

Besondere Bedeutung hat die Feststellung des vermehrten Vorkommens (sog. Anhäufung) von Leukämien und Non-Hodgkin-Lymphome im Kindesalter, die in der Umgebung von einigen ausländischen Kernanlagen festgestellt wurden. In der zitierten Studie wird detailliert das Vorkommen von einzelnen Fällen in einzelnen Gebieten und einzelnen Jahren beurteilt und mit gesamtstaatlichen Ergebnissen verglichen. Das Vorkommen der Leukämie umgerechnet auf 1000 Kinder in den exponierten Gebieten beträgt 0,013 Fälle, in den Kontrollgebieten 0,014 Fälle. Das Vorkommen ist praktisch identisch, der Unterschied ist statistisch nicht bedeutend. Es unterscheidet sich auch nicht bedeutend von der gesamtstaatlichen Inzidenz, numerisch ist sie sogar noch etwas niedriger. Es kann somit festgestellt werden, dass sich die Anhäufung der Leukämien, beschrieben in der Nähe von einigen ausländischen Kernanlagen, in der Umgebung von EDU1-4 nicht zeigte

Anzeichen der Störung des Reproduktionsprozesses

Die Entwicklung der Inzidenz von spontanen Fehlgeburten wird in der Abbildung 7 dargestellt. Es ist daraus ersichtlich, dass es sich um keine kontinuierlichen Trends handelt, sondern um unregelmäßige Schwankungen, anscheinend einerseits durch Wahrscheinlichkeitszufälligkeiten, andererseits durch Änderungen von schwer nachvollziehbaren lokalen Bedingungen, einschließlich z. B. auch der Art und der Sorgfältigkeit des Aufzeichnungswesens. Gut sichtbar ist das z. B. an der Kurve der Fehlgeburten im Gebiet E1, die dreimal auf das Niveau 60 bis 85 sinkt und zweimal steigt, in einem Fall auf das extreme Niveau von 200. Es kann sich somit um keinen kontinuierlichen und dauerhaften Einfluss z. B. von EDU1-4 handeln. In der Graphik sind zum Vergleich auch die Werte der Inzidenzen der spontanen Fehlgeburten für die gesamte Tschechische Republik eingezeichnet. Sie hat selbstverständlich einen ausgeglicheneren Verlauf, der Index der Inzidenz variiert ungefähr im Bereich 120 bis 140. Alle beobachteten exponierten Gebiete und auch die Kontrollgebiete haben im überwiegenden beobachteten Zeitraum ein niedrigeres Niveau, und somit aus der gesamtstaatlichen Perspektive ein günstigeres. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gebieten zeigen sich einzeln und unregelmäßig, an den Stellen mit den höchsten Abweichungen der Werte einzelner Gebiete. Für die Interpretation der Ergebnisse haben sie keine Bedeutung.

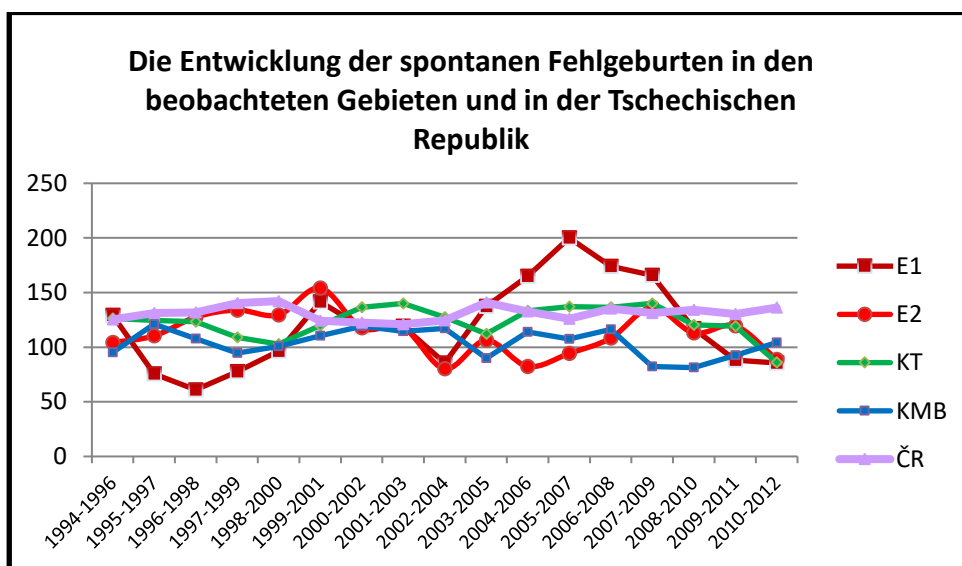


Abb. 7 Die Entwicklung der Inzidenz der spontanen Fehlgeburten in den exponierten Gebieten und Kontrollgebieten im Zeitraum 1994 bis 2012

Die Entwicklung **des Vorkommens der Kinder mit niedrigem Geburtsgewicht** ist aus der Abbildung 8 ersichtlich. Zum Vergleich sind hier ebenfalls die Angaben für die gesamte Tschechische Republik eingezeichnet. Gesamtstaatlich zeigt sich auch hier das systematische gesamtstaatliche Wachstum von Inzidenzen. Alle Gebietskurven weisen einen ähnlichen aufsteigenden Trend auf, sie verlaufen allerdings weniger regelmäßig, insbesondere im Gebiet E1, wo ein hohes Maß an Schwankungen durch niedrige Anzahl der Fälle gegeben ist. Die Kurven der einzelnen exponierten Gebiete und Kontrollgebiete sind in der absoluten Mehrheit (bis auf einige ausnahmsweise kurzfristige Anstiege) niedriger als die gesamtstaatlichen und zeigen somit insgesamt eine günstigere Situation im beobachteten Gebiet. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gebieten zeigen sich einzeln und unregelmäßig, an den Stellen mit den höchsten Abweichungen der Werte des Gebietes E1. Für die Interpretation der Ergebnisse haben sie keine Bedeutung.

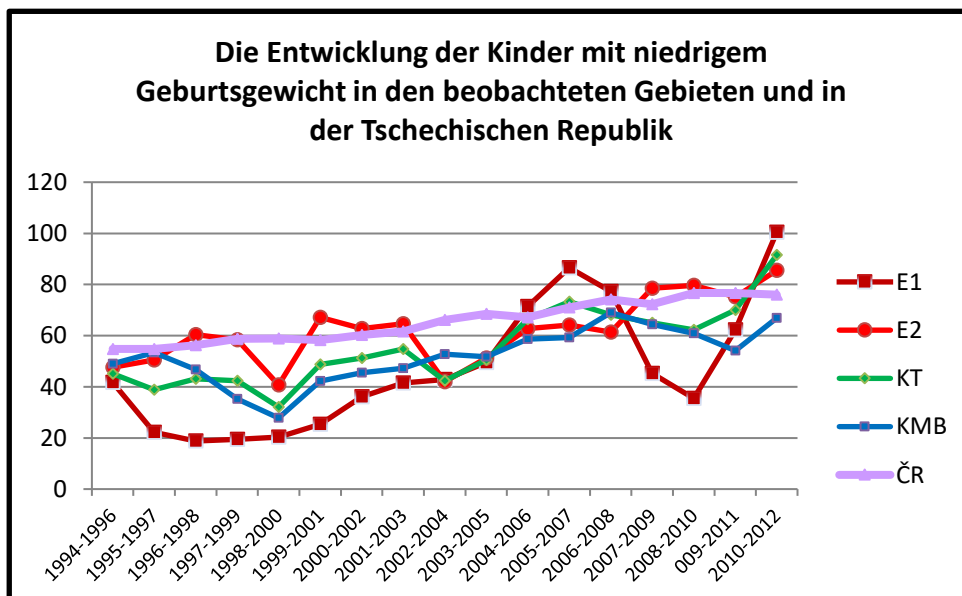


Abb. 8 Die Entwicklung der Kinder mit niedrigem Geburtsgewicht in den exponierten Gebieten und Kontrollgebieten im Zeitraum 1994 bis 2012

3.3.5.5 Schluss

Insgesamt können wir die Ergebnisse der Studie mit der Feststellung abschließen, dass bei keinem der angewendeten Indikatoren des Gesundheitszustandes ungünstige Auswirkungen von EDU1-4 festgestellt wurden.

3.4 Strahlungsauswirkungen der neuen Kernkraftanlage auf die Bevölkerung

3.4.1 Studie ABmerit

In diesem Kapitel konzentrieren wir uns auf drei grundlegende Leistungsalternativen möglicher Kombinationen von neuen Reaktoren am Standort Dukovany genannt in der Einleitung, wo diese Auswahl ebenfalls begründet ist. Das Ziel der quantitativen Beurteilung der Auswirkungen der Betriebszustände der neuen Kernkraftanlage auf lebenslange Risiken eines Gesundheitsschadens gemäß ICRP für repräsentative Einzelpersonen, die in der Nähe und für die Einwohner, die in den am stärksten exponierten, grenzüberschreitenden Regionen Österreichs und der Slowakei leben⁴. Wir lehnen uns hier an detaillierte Studien der Verbreitung von Radionukliden durch Ableitungen der neuen Kernkraftanlage und ihres Effektes auf die Strahlendosen der exponierten Bevölkerung durch die Firma ABmerit (Trnava, 2016 a.b) an.

Zur Lösung der Sequenzprobleme wurde in der angeführten Studie das Berechnungsprogramm **ESTE Annual Impacts** (ESTE AI) verwendet, das zur Beurteilung von radiologischen Auswirkungen des gewöhnlichen Betriebs von Kernanlagen auf die Umgebung dient. Es ist vom Amt des öffentlichen Gesundheitswesens der SR (ÚVZ SR) als zertifiziertes Werkzeug für die Berechnung der Auswirkungen des Betriebs von Kernkraftanlagen genehmigt. Es wird vom Staatsamt für Kernsicherheit (SÚJB) zu Verifizierungsberechnungen der Strahlungsauswirkungen des Betriebs der Kernkraftanlagen Dukovany und Temelín verwendet.

Das Programm berechnet die Auswirkungen der Emissionen in die Luft und in die Wasserläufe, im Falle der Ableitungen in die Luft ermöglicht es die Emissionen einzugeben und die Verbreitung von Radionukliden an verschiedenen Punkten am Standort zu berechnen (zum Beispiel aus Ventilationsschloten oder Kühltürmen). Die methodischen Verfahren und Algorithmen des Programms berücksichtigen alle potentiellen Bestrahlungswege und große Mengen von Radionukliden in potentiellen Ableitungen.

Das Programm ESTE AI arbeitet mit einer Berechnungszone bis zur Entfernung von 100 km von der NKA. Zur Berechnung der durchschnittlichen Konzentrationen in der Luft, verursacht durch den gewöhnlichen Betrieb, wird die Voraussetzung von konstanten meteorologischen Parametern für die Verbreitung der Ableitung in der Berechnungszone verwendet, d. h. die Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Kategorie der Stabilität, Höhe der Mischungsschicht, Intensität der Niederschläge ist konstant ab dem Zeitpunkt der Ableitung aus dem Ventilationsschlot bzw. Kühlturm bis zu einer Entfernung von 100 km von der Stelle der Ableitung. Es ermöglicht somit die Auswirkungen der Ableitungen in die Luft, der Ableitungen in die Wasserläufe und summarisch somit aller Ableitungen festzustellen und zu präsentieren. Am Standort Dukovany kann man somit den Einfluss einzelner Ableitungen am Standort (Ventilationsschlot 12, Ventilationsschlot 34, Kühltürme 12 und Kühltürme 34) und der Ableitungen in die Wasserläufe (über die Mündung ins Wasserbecken Mohelno) auswerten. Das Programm ermöglicht ebenfalls die Auswirkungen auf die Nachbarstaaten, die sich im Umkreis mit dem Halbdurchmesser von 100 km um die neue Kernkraftanlage befinden (Österreich, Slowakei), und die Auswirkung von sog. globalen Nukliden (Kr-85, H-3, C-14) auch auf die Bevölkerung Deutschlands und Polens auszuwerten.

Das Programm ermöglicht eine repräsentative Einzelperson bzw. kritische Bevölkerungsgruppe (siehe nachstehend) für verschiedene Bestrahlungswege zu ermitteln und zu identifizieren, es stellt effektiven Personendosen und 50-jährige oder 70-jährige effektive Folgedosen von Personendosen fest, es bestimmt Dosen auf einen durchschnittlichen Bewohner und berechnet daraus die Äquivalentdosen der Bevölkerungsgruppen.

Zu Berechnungen der durchschnittlichen Konzentrationen in der Luft, verursacht durch den gewöhnlichen Betrieb, wird die Voraussetzung von konstanten meteorologischen Parametern für die Verbreitung der

⁴ Jegliche aufzeigbare Strahlungseinflüsse der Betriebszustände der neuen Kernkraftanlage auf die anderen Länder sind in Übereinstimmung mit den Ergebnissen dieser Studie ausgeschlossen.

Ableitung in der Berechnungszone verwendet, d. h. die Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Kategorie der Stabilität, Höhe der Mischschicht, Intensität der Niederschläge ist konstant ab dem Zeitpunkt der Ableitung aus dem Ventilationsschacht bzw. Kühlturm bis zu einer Entfernung von 100 km von der Stelle der Ableitung.

Das Modell und die Berechnung der Ausbreitung der Ableitungen in die Wasserläufe und die Berechnung der Volumenskonzentrationen im Wasser für den Standort Dukovany nimmt ein konstantes Wasservolumen in der Talsperre Mohelno an und nutzen im Weiteren die Angaben über die durchschnittliche Durchflussmenge im Fluss Jihlava unterhalb der Talsperre Mohelno bzw. in weiteren Punkten längs des Flusses bis zum Zusammenfluss mit dem Fluss Morava.

Die Berechnungszone wird mit den vorgegebenen Methoden des Programms ESTE A bestimmt, das die Auswirkungen im Berechnungsnetz im Kreis mit einem Halbdurchmesser von 100 km berechnet und darstellt. Die Zone ist in 16 regelmäßige Sektoren und 12 Kreisringe geteilt. Die Mitte des Netzes befindet sich in der Sohle des Ventilationsschlotes VK12 EDU1-4. Das angeführte Netz stellt die Abbildung 9 dar. übernommen aus der zitierten Studie der Firma ABmerit. Die Sektoren werden vom nördlichen Sektor in der Richtung von der Mitte zur Peripherie und dann ähnlich in weiteren Sektoren schrittweise im Uhrzeigersinn nummeriert. Insgesamt sind es 192 Sektoren. In der Abbildung sind auch die Grenzen der Entfernungen einzelner Kreisringe von der Mitte und die Position ausgewählter Städte angeführt: Sektor Nr. 36 Olomouc, Nr. 46 Brünn, Nr. 56 Ivančice, Nr. 71 Břeclav, Nr. 84 Malacky, Nr. 108 Wien, Nr. 156 Jindřichův Hradec. Farblich werden die Sektoren gekennzeichnet, die sich in Nachbarländern, in der Slowakei und in Österreich befinden.

Die Tabellenübersicht aller Sektoren führen wir nach der zitierten Studie ABMerit an der Tabelle 6 an. In den Zeilen für einzelne Sektoren mit der Bezeichnung der Himmelsrichtung, in den Spalten die Entfernungen einzelner Zonen von der neuen Kernkraftanlage erfolgen die Angaben in km. In Feldern der Tabelle gibt es alle Nummern der 192 Sektoren. Die gelb gefärbten Felder bezeichnen die bewohnten Sektoren (wenn innerhalb des Sektors der Definitionspunkt einer Gemeinde liegt bzw. wenn sich im Sektor bebautes Gebiet einer Gemeinde oder Liegenschaften befinden). Nicht gefärbte Sektoren sind nicht bewohnt

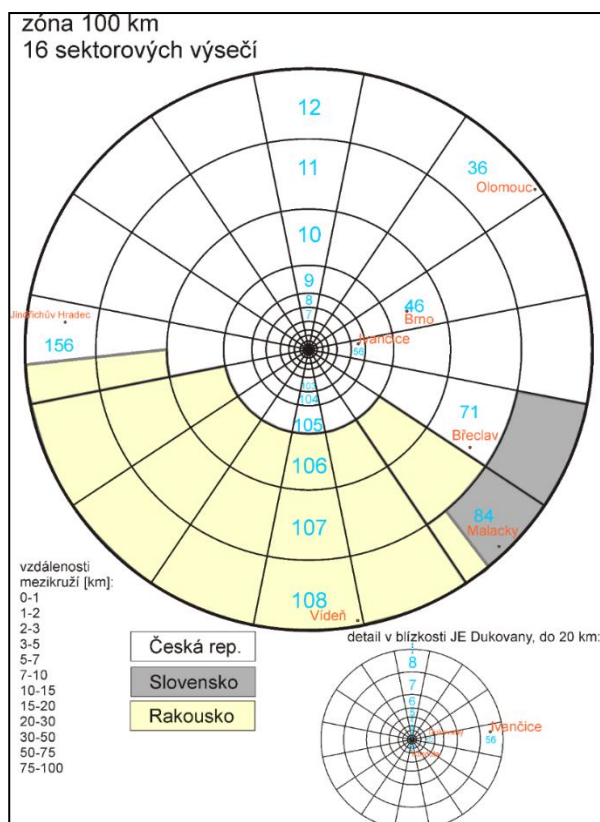


Abb. 9 Berechnungszone für die neue Kernkraftanlage nach dem Programm ESTE AI

zóna 100 km	Zone 100 km
16 sektorových výsečí	16 Sektoren
vzdálenost mezikruží	Entfernung der Kreisringe
Česká rep.	Tschechische Republik
Slovensko	Slowakei
Rakousko	Österreich
detail v blízkosti JE Dukovany, do 20 km	Detail in der Nähe des Kernkraftwerks Dukovany, bis 20 km

Tab. 6 Lage aller Sektoren der Berechnungszone für die neue Kernkraftanlage

Entfern.	0-1	1-2	2-3	3-5	5-7	7-10	10-15	15-20	20-30	30-50	50-75	75-100
Richtung												
S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NNO	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
NO	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
NOO	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
O	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
OSO	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
SO	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
SOS	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
J	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
SSW	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
KKA	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
SWW	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
W	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156
WSW	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
NW	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
NWN	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192

Die Berechnungen der Strahlendosis in einzelnen Sektoren orientieren sich in den zitierten Studien meistens auf die sog. **repräsentativen Einzelperson**. Unter diesem Begriff versteht man gemäß Definition des Atomgesetzes ein Individuum der Öffentlichkeit, das der Strahlungswirkung als Mitglied der Öffentlichkeit ausgesetzt wird (nicht beruflich in einer Kernanlage), und das in Folge der Ableitungen die Radionuklide in die Luft und Wasserläufe aus der gesamten Bevölkerung am stärksten bestrahlt wird oder bestrahlt werden kann. Die repräsentative Einzelperson lebt in der Umgebung der Kernkraftanlage. Da die radiologischen betrieblichen Ableitungen durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden können (die Menge der abgeleiteten Radionuklide, die Art ihrer Ableitung in die Umwelt, die Nuklidzusammensetzung der Ableitungen, die meteorologische Situation, den Durchfluss in Wasserläufen u. ä.), kann auch die repräsentative Einzelperson in unterschiedlichen Situationen unterschiedlich sein. Die Identifikation der repräsentativen Einzelperson wird mit Hilfe des Modells der Umwelt in der Umgebung der Kernkraftanlage und der Modellberechnungen der Strahlenauswirkungen verursacht durch ihren Betrieb gelöst, manchmal auch in Kombinationen mit Ergebnissen der Überwachung von Strahlungsparametern in der Umwelt und mit der Untersuchung der Gewohnheiten und Bräuche exponierter Einwohner.

Das Programm ESTE AI wertet sehr detailliert die möglichen Bestrahlungswege aus, und dies:

- ▶ Exposition durch die Wolke (extern)/Dosis
- ▶ Exposition durch das Depot (extern)/Dosis
- ▶ Inhalieren der Volumenaktivität/Dosis (für einzelne Alterskategorien)
- ▶ Ingestion (für einzelne Alterskategorien):
 - ▶ Blattgemüse - Mensch (direkte Ingestion)
 - ▶ Sonstige landwirtschaftliche Produkte Mensch (direkte Ingestion)
 - ▶ (Getreide, Kartoffeln, Obst, Weinrebe, Hopfen)
 - ▶ Frische Weide - Kuh - Milch - Mensch
 - ▶ Gefüttert im Stall - Kuh - Milch - Mensch
 - ▶ Frische Weide - Ziege - Milch - Mensch
 - ▶ Gefüttert im Stall - Ziege - Milch - Mensch
 - ▶ Frische Weide - Kuh - Fleisch - Mensch
 - ▶ Gefüttert im Stall - Kuh - Fleisch- Mensch
 - ▶ Trinkwasser - Mensch (direkte Ingestion)
 - ▶ Gefüttert im Stall mit Getreide - Schwein - Fleisch- Mensch
 - ▶ Gefüttert im Stall mit Getreide - Geflügel - Fleisch- Mensch
 - ▶ Gefüttert im Stall mit Getreide - Geflügel - Eier - Mensch
 - ▶ Bewässertes Blattgemüse - Mensch (direkte Ingestion)
 - ▶ Sonstige bewässerte landwirtschaftliche Produkte Mensch (direkte Ingestion)
 - ▶ (Getreide, Kartoffeln, Obst, Weinrebe, Hopfen)
 - ▶ Bewässerte frische Weide - Kuh - Milch - Mensch
 - ▶ Bewässert gefüttert im Stall - Kuh - Milch - Mensch
 - ▶ Bewässerte frische Weide - Ziege - Milch - Mensch
 - ▶ Bewässert gefüttert im Stall - Ziege - Milch - Mensch
 - ▶ Bewässerte frische Weide - Kuh - Fleisch - Mensch
 - ▶ Bewässert gefüttert im Stall - Kuh - Fleisch - Mensch
 - ▶ Bewässert gefüttert mit Getreide im Stall - Schwein - Fleisch - Mensch
 - ▶ Gefüttert im Stall mit bewässertem Getreide - Geflügel - Fleisch- Mensch
 - ▶ Gefüttert im Stall mit bewässertem Getreide - Geflügel - Eier - Mensch
 - ▶ Wasser (Fluss) - Fisch - Fleisch - Mensch
 - ▶ Wasser (Fluss) - Kuh trinkt - Milch - Mensch
 - ▶ Wasser (Fluss) - Kuh trinkt - Fleisch - Mensch
 - ▶ Wasser (Fluss) - Schwein trinkt - Fleisch - Mensch
 - ▶ Wasser (Fluss) - Geflügel trinkt - Fleisch - Mensch
 - ▶ Wasser (Fluss) - Geflügel trinkt (Eier) - Eier - Mensch
- ▶ Baden im Fluss
- ▶ Rudern auf dem Fluss
- ▶ Aufenthalt am Ufer (Fischer)

3.4.2 Arbeitsverfahren

Die angeführte Studie hatte zu Zwecken der UVP-Dokumentation das Ziel, die radiologischen Auswirkungen der Emissionen radioaktiver Stoffe in die Luft und in die Gewässer aus der neuen Kernkraftanlage zu bestimmen, und dies beim Parallelbetrieb oder Stilllegung von EDU1-4 und weiterer Kernkraftanlagen am Standort, sowie die Menge der abgeleiteten radioaktiven Stoffe in die Luft und in die Wasserläufe aus der neuen Kernkraftanlage so vorzuschlagen, sodass die gesetzlichen Anforderungen gemäß Atomgesetz (Gesetz Nr. 263/2016 GBl.) und Verordnung SÚJB Nr. 422/2016 GBl. erfüllt werden.

Das entscheidende Kriterium ist hier der optimierte Grenzwert gemäß Atomgesetz: maximale jährliche Dosen einer repräsentativen Einzelperson von 200 μSv durch Ableitungen in die Luft und 50 μSv durch Ableitungen in die Wasserläufe. Alle Berechnungen der Studie münden deshalb in die Bestimmung der individuellen effektiven Dosis und der effektiven Folgedosis in den beurteilten Situationen an Standorten

Die Lösung zieht die Tatsache in Betracht, dass im Interessengebiet der neuen Kernkraftanlage die Strahlendosen für die Bevölkerung aus den Ableitungen in die Luft relativ niedrig sind und tief unter den festgelegten Grenzwerten liegen. Auf der anderen Seite sind die Strahlendosen aus den Ableitungen in die Wasserläufe unter dem Einfluss des ausgelassenen Tritiums relativ hoch und könnten die Einhaltung des Grenzwerts gefährden. Deshalb wurden ebenfalls die Möglichkeiten zur Überführung eines Teils des Tritiums in die Luft über Ventilationsschlotte und Kühltürme der neuen Kernkraftanlage analysiert.

Für die geplanten Analysen wurden eine Reihe **von Eingangsunterlagen** verarbeitet.

Es wurden vor allem die Werte nach der Methode der Hüllkurve, also die maximalen Werte **der jährlichen betrieblichen Ableitungen** der Referenztypen der Reaktoren auf Grund der Angaben für die Leistungsalternativen 2 x 1200 MW_e a 1 x 1750 MW_e , und dies bei Ableitungen in den Wasserlauf von 44 Nukliden und bei Ableitungen in die Luft von 91 Nukliden bestimmt.

Auf der Basis der Analyse der meteorologischen Angaben am Standort Dukovany in den Jahren 2012, 2013 und 2014 und aus den durchgeführten Sensitivitätsberechnungen wurden die **meteorologischen Bedingungen** für die Beurteilung der Auswirkungen der neuen Kernkraftanlage und für die UVP-Bedürfnisse der meteorologischen Situation (Windrichtung und -geschwindigkeit 10 m über dem Terrain, Intensität der Niederschläge und Stabilitätskategorie) für das Jahr 2014 verwendet, die zu höheren Dosen in den nächsten bewohnten Gebieten und in den nächsten Gebieten in Österreich führen. Die Windrose führen wir in der Abbildung 10 an.

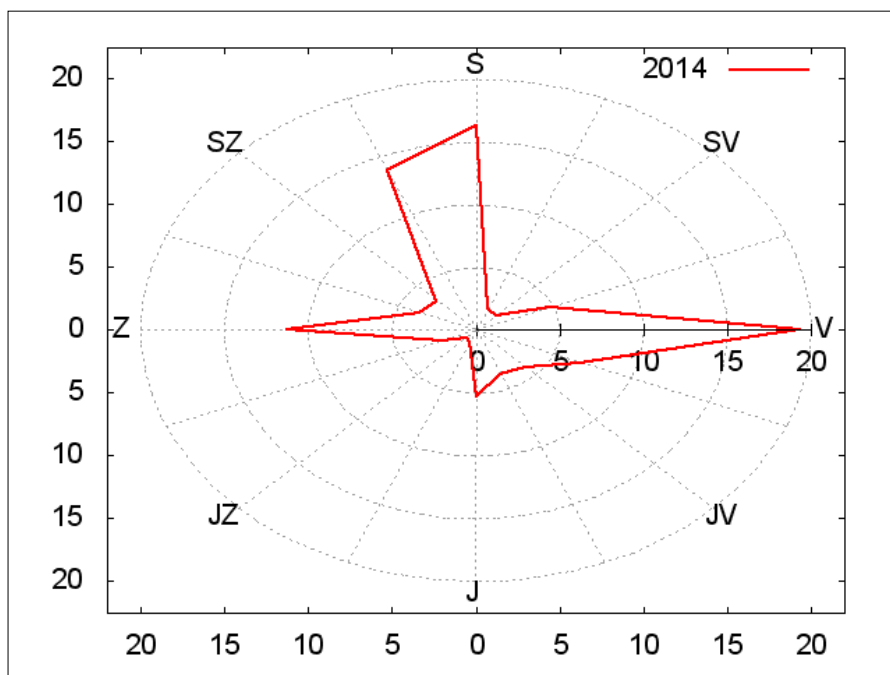


Abb. 10 Windrose 2014: Verteilung der Windrichtung in der Höhe von 10 m am Standort Dukovany für das Jahr 2014

S	S
SZ	NW
SV	NO
Z	W
V	O
JZ	SW
JV	SO
J	S

Weiterhin wurden **Durchflüsse in Wasserläufen** in fünf Profilen des Flusses Jihlava bei verschiedenen Niveaus des Abflusses aus dem Wasserbecken Mohelno ausgewertet.

Es wurden **grundlegende statistische Daten** für die Analysen und Berechnungen aus der Tschechischen Republik, der Slowakei, Österreich, Deutschland und Polen gesammelt.

Grundlage für die Beurteilung der potentiellen Zuführung von Radionukliden durch die Nahrung war **der Verbraucherwarenkorb** für die Tschechische Republik, die Slowakei und Österreich.

Bei der zukünftigen Realisierung des Vorhabens können die gesamten Strahlenauswirkungen der neuen Kernkraftanlage durch einige Parameter beeinflusst werden, deren Zustand inzwischen noch nicht bekannt ist: Durchflüsse im Fluss Jihlava, erforderliches Maß der Überführung der Aktivität des Tritiums in die Luftableitungen, Anzahl der Kühltürme und Höhe der Ventilationsschote, Zusammenwirkung des Ausscheidens der bestehenden Blöcke. Für diese Parameter und ihren Einfluss auf die resultierenden Strahlendosen bei verschiedenen Variationen der Quellen wurden detaillierte **Sensibilitätsanalysen** durchgeführt, die eine Prognose der Beeinflussung der Ergebnisse durch die genannten Faktoren ermöglichen.

Für die Berechnung der lebenslangen Dosen kam man mit der Bestimmung der durchschnittlichen jährlichen Personendosen aus. Jährliche durchschnittliche Personendosen bestehen aus den Dosen in Folge der Ableitungen in die Luft und den Dosen in Folge der Ableitungen in die Wasserläufe. Für die Berechnung der durchschnittlichen jährlichen Personendosis aus den Ableitungen in die Luft wurden aus den oben angeführten Gründen die meteorologischen Bedingungen des Jahres 2014 verwendet. Für die Berechnung der jährlichen Personendosis aus Ableitungen in die Wasserläufe wurden durchschnittliche Durchflüsse im Fluss Jihlava bestimmt, die gemeinsam mit der Größe der Ableitungen auf die Größe der Dosis eine bestimmende Wirkung haben. Der durchschnittliche jährliche Durchfluss wurde durch VÚV TGM auf der Basis einer langjährigen (84-jährigen) gemessenen Durchflussreihe im Fluss Jihlava unter Berücksichtigung der Leistungsalternative der neuen Kernkraftanlage (wann die Größe der Leistung Auswirkungen auf die Größe der Verdampfung der Kühltürme und den restlichen Durchfluss im Fluss Jihlava hat) und des klimatischen Szenarios mit dem vorausgesetzten Wachstum der durchschnittlichen Temperatur um 2 °C bis zum Jahr 2100 bestimmt.

Für den Betrieb der neuen Kernkraftanlage wurde vorausgesetzt, dass es genauso wie für das betriebene Kraftwerk (EDU1-4) auch weiterhin zur eigenständigen Übertragung des Teils der flüssigen Emissionen von H-3 und C-14 (ca. 20 %) in die Luft mit Hilfe der Verdunstung des nachgefüllten Kühlwassers aus dem Wasserbecken Mohelno kommen wird. Unter dieser Voraussetzung wurde das Umschlagsquellenmitglied in die Wasserläufe nach den Angaben der Lieferanten für die neue Kernkraftanlage angepasst (und gleiche Voraussetzung wurde auch für betriebene EDU1-4 bzw. EDU2-4 für Maximen der Auslässe in die Wasserläufe geltend gemacht).

Für die Ableitungen in die Luft wurde die konservative Voraussetzung geltend gemacht, dass man theoretisch das gesamte Volumen der flüssigen Ableitungen in die Luft überführen kann. Das Quellglied der Emissionen in die Atmosphäre aus dem Betrieb der neuen Kernkraftanlage wurde bei der Berechnung der Dosen somit für alle Berechnungsalternativen erhöht, sodass zu den laut Lieferanten der neuen Kernkraftanlage angegebenen Werten der Emissionen in die Atmosphäre die gesamte Emission in Wasserläufe in der kompletten Radionuklid-Zusammensetzung hinzugerechnet wurde. Diese Maßnahme stellt sicher, dass auch wenn in der Zukunft Bedarf an einer höheren als der angenommenen Konversion der

flüssigen Emissionen in die Atmosphäre entstehen sollte (zum Beispiel aufgrund eines außerordentlich niedrigen Durchflusses im Fluss Jihlava und der Notwendigkeit der Optimierung der Ableitungen in die Wasserläufe) die Emissionen in die Atmosphäre nie höher sein werden als die Emissionen, die bei der Berechnung der Dosen in der UVP-Dokumentation angenommen wurden.

Mit diesen grundlegenden Voraussetzungen wurden die endgültigen Analysen zur Bestimmung der durchschnittlichen jährlichen und lebenslangen Dosis durchgeführt.

3.4.3 Berechnete Strahlendosen

Die umfangreichen und detaillierten Berechnungen in der Studie ABmerin richten sich auf die Suche der repräsentativen Einzelperson und des Sektors, in dem sie sich befindet, für verschiedenste potentielle neue Reaktoren und deren Kombinationen unter verschiedenen Bedingungen (Flussdurchflüsse, Konversion unterschiedlicher Mengen Radionuklide aus Emissionen in Wasserläufe in die Emissionen in die Atmosphäre, verschiedener Phasen des Gleichlaufs der Blöcke EDU 1-4 u.ä.

Die repräsentative Einzelperson ist für die Zwecke dieser Berechnungen durch diese Parameter definiert:

- ▶ die Person deckt ihren gesamten inhalierten Luftverbrauch an ihrem Wohnort bei durchschnittlicher Atemgeschwindigkeit,
- ▶ sie ist gegen eine Dosis "aus Wolken" nicht abgeschirmt, so als wenn sie sich ständig im Freien und außerhalb von Gebäuden aufhalten würde.
- ▶ aus Nahrungsmitteln produziert im gegebenen Sektor deckt sie den gesamten Verbrauch an Blattgemüse und 75 % der sonstigen landwirtschaftlichen Produkte; "mit bewässerten Nahrungsmitteln deckt sie maximal 50 % ihres Verbrauchs,
- ▶ sie deckt einen Teil ihres Milchverbrauchs (50 % des Milchverbrauchs in der gegebenen Alterskategorie) mit der Milch der Kühe, die mit dem Wasser aus dem anliegenden Fluss Jihlava getränkt werden und die auf den mit dem Wasser aus dem anliegenden Fluss Jihlava berieselten Kuhwiesen weiden;
- ▶ sie deckt sämtlichen Trinkwasserbedarf durch Brunnen oder aus einer Wasserquelle, in die das Wasser aus dem Fluss Jihlava durchsickert, und die nicht mit sonstigem, von Ableitungen beeinflusstem Wasser verdünnt wird,
- ▶ sie deckt den gesamten Fischfleischverbrauch aus Fischen, die das ganze Leben lang im anliegenden Fluss Jihlava leben
- ▶ sie badet 100 Stunden pro Jahr im Fluss Jihlava in der Umgebung ihres Wohnortes (bei Siedlungen am Ufer des Flusses, Alter über 2 Jahre),
- ▶ sie hält sich 200 Stunden pro Jahr am Ufer des Flusses Jihlava (Fischer) in der Umgebung des Wohnortes (bei Siedlungen am Strand des Flusses, Alter über 2 Jahre) auf,
- ▶ sie verbringt mit dem Rudersport 100 Stunden pro Jahr am Fluss Jihlava in der Umgebung ihres Wohnortes (bei Siedlungen am Ufer des Flusses, Alter über 2 Jahre),

Die Auswirkung auf die repräsentativen Einzelpersonen wird durch die jährliche effektive Dosis und die effektive Folgedosis, und dies auch getrennt nach Alterskategorien, ausgedrückt. Extra werden die Auswirkungen der Ableitungen in die Wasserläufe, der Ableitungen in die Luft und durch deren Summe auch die gesamten Auswirkungen beurteilt. Die resultierende Beurteilung basiert somit auf der Bestimmung der höchsten existierenden Strahlendosis und des Sektors, in dem diese Strahlenbelastung vorkommt. Diese Methode ermöglicht eine relativ gute Bewertung der nahen Umgebung der NKKK, denn vor allem dort befinden sich die am meisten belasteten Sektoren.

Im Rahmen der Studie ABmerit wurden auch Gruppen-Äquivalentdosen berechnet. Diese werden hier von uns nicht zitiert und kommentiert. Sie gehören zu den Unterlagen der Planung und die Auswahl der neuen Kernkraftanlage, das allgemeine Niveau der Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung drücken sie allerdings nicht aus.

Die grundlegenden Angaben über die Strahlendosen für die repräsentativen Einzelpersonen in 10 Gemeinden bzw. Städten in der nahen Umgebung der neuen Kernkraftanlage präsentieren wir in der Tabelle 7. Wir führen die berechneten maximalen effektiven Dosen für eine repräsentative Einzelperson (Sv) für 3

Alternativen der Auswahl der neuen Kernkraftanlage und des Gleichlaufs der Stilllegung der bestehenden Blöcke EDU 1-4 an:

- ▶ Bei der Berechnung der Auswirkungen wird die Durchflussmenge im Fluss Jihlava unterhalb der Talsperre Mohelno = 3,3 m³/s angenommen.
- ▶ Bei der Berechnung der Auswirkungen wird die Durchflussmenge im Fluss Jihlava unterhalb der Talsperre Mohelno = 3,0 m³/s angenommen.
- ▶ C) Betrieb der NKKA 1 x 1750 MW_e, Stilllegung von EDU1-4.

Tab.7 Maximale effektive Dosen einer repräsentativen Einzelperson in der nahen Umgebung der neuen Kernkraftanlage

Standort	Alternative A		Alternative B		Alternative C	
	Sektor	Max. (Sv)	Sektor	Max. (Sv)	Sektor	Max. (Sv)
Mohelno	28	2,38E-05	28	2,16E-05	28	1,64E-05
Dukovany	52	2,80E-05	52	2,37E-05	52	1,84E-05
Horní Dubňany	64	2,14E-06	64	1,21E-06	64	1,17E-06
Rešice	88	6,32E-06	88	4,02E-06	88	3,89E-06
Kordula	99	1,28E-05	99	7,29E-06	99	7,14E-06
Rouchovany	136	3,22E-06	136	1,79E-06	136	1,72E-06
Šemíkovice	124	2,57E-06	124	1,33E-06	124	1,30E-06
Slavětice	172	2,84E-06	172	1,45E-06	172	1,41E-06
Ivančice	56	2,34E-05	56	2,10E-05	56	1,57E-05
Moravské Bránice	57	6,90E-06	57	5,71E-06	57	4,96E-06

Bemerkung: Alternative A, B, C siehe Text

Max.(Sv) ... maximale effektive Dosis einer repräsentativen Einzelperson (Sv)

Im zitierten Bericht ABmerit sind auch bedeutende Informationen über die Strahlenexposition der Nachbarstaaten enthalten. Im beurteilten Umkreis bis 100 km von der neuen Kernkraftanlage sind dies Österreich und die Slowakei. Die grundlegenden Angaben präsentieren wir in der Tabelle 8. Im Sektor mit der höchsten Gesamtdosis in Österreich (Sektor Nr. 83 - Fluss Dyje) liegen die Gemeinden Wilhelmsdorf und Poysdorf, in der Slowakei ähnlich der Sektor Nr. 84 (Fluss Morava) mit den Gemeinden Gajary und Malacky.

Tab. 8 Höchste Gesamtdosis der Strahlung auf dem Gebiet der Nachbarstaaten

Land	Sektor	Effektive Dosis und effektive Folgedosis (Sv)		
		Alternative A	Alternative B	Alternative C
Österreich	83	1,70E-06	1,47E-06	1,34E-06
Slowakei	84	1,62E-06	1,41E-06	1,29E-06

Für Informationen über Strahlungsdosen im breiteren Gebiet des beurteilten Umkreises von 100 km stellte uns die Firma ABmerit auf Anfrage die Angaben über weitere, im zitierten Bericht nicht angeführte Sektoren zur Verfügung (ABmerit, Dezember 2016), in kohärenter Reihe der Sektoren einerseits in dem ausgewählten Sektor Richtung Süden - Österreich, andererseits im relevanten Flussgebiet des Flusses Jihlava und in anschließenden Oberflächengewässern. Aus der beurteilten Zone wählten wir konservativ gerade die Sektoren mit der Richtung nach Süden aus (Sektoren Nr. 97 bis 108), denn beim Übergewicht des Windes

aus nördlichen Richtungen (siehe Windrose im Kapitel 3.4.2) können wir hier die stärkste Ausbreitung von Radionukliden in größere Entfernungen voraussetzen. Der Sektor reicht im wesentlichen Umfang nach Österreich hinein, bis zur nördlichen Grenze von Wien im Sektor Nr. 108. Die Informationen über das Flussgebiet umfassen eine Reihe von Sektoren vom Wasserbecken Mohelno (Sektor Nr. 28) bis zum Fluss Morava im Gebiet von Hodonín (Sektor Nr. 71).

Die Sektoren des beurteilten südlichen Sektors charakterisieren wir näher, u. a. mit der Anführung eines Beispiels der zugehörigen Gemeinde, in der Tabelle 9. Sie sind für die drei oben angeführte Alternativen A, B und C bearbeitet worden. Zur Beurteilung des Trends der Ausbreitung von Radionukliden aus den Ableitungen in die Luft wählen wir hier nur die Angaben über die atmosphärischen Auswirkungen. Die Ergebnisse für die Alternative A werden in der Tabelle 10, für die Alternative B in der Tabelle 11 a und für die Alternative C in der Tabelle 12 präsentiert. Sektoren 97, 98 und 100 sind unbewohnt.

Tab. 9 Ausgewählte Charakteristiken der Sektoren des südlichen Sektors

Sektor Nr.	Entfernung zur neuen Kernkraftanlage km	Staatsgebiet	Z. B. Sitz
97	0-1	Tschechische Republik	nicht bewohnt
98	1-2	Tschechische Republik	nicht bewohnt
99	2-3	Tschechische Republik	Kordula
100	3-5	Tschechische Republik	nicht bewohnt
101	5-7	Tschechische Republik	Horní Kounice
102	7-10	Tschechische Republik	Medlice
103	10-15	Tschechische Republik	Horní Dunajovice
104	15-20	Tschechische Republik	Žerotice
105	20-30	Tschechische Republik	Tasovice
106	30-50	Tschechische Republik - Österreich	Dyjákovičky, Hadres
107	50-75	Österreich	Hollabrunn
108	75-100	Österreich	Wien

Tab. 10 Effektive Gesamtdosen und effektive Folgedosen aus der Atmosphäre (Sv) in den Sektoren des südlichen Sektors der beobachteten Zone bei der Alternative A (NKKA 2x 1200 MW_e, Stilllegung von EDU1-4)

Sektor Nr.	Alter Jahre					
	0-1	1-2	2-7	7-12	2-17	über 17
97	5.68E-06	6.53E-06	7.07E-06	6.94E-06	6.77E-06	6.79E-06
98	1.21E-05	1.39E-05	1.51E-05	1.48E-05	1.45E-05	1.45E-05
99	1.03E-05	1.18E-05	1.28E-05	1.26E-05	1.23E-05	1.23E-05
100	8.71E-06	1.01E-05	1.10E-05	1.07E-05	1.05E-05	1.05E-05
101	6.41E-06	7.46E-06	8.15E-06	7.98E-06	7.77E-06	7.78E-06
102	4.79E-06	5.61E-06	6.15E-06	6.02E-06	5.85E-06	5.87E-06
103	3.37E-06	3.99E-06	4.39E-06	4.29E-06	4.17E-06	4.18E-06

104	2.28E-06	2.73E-06	3.01E-06	2.95E-06	2.86E-06	2.87E-06
105	9.73E-07	1.17E-06	1.29E-06	1.26E-06	1.22E-06	1.23E-06
106	3.21E-07	3.95E-07	4.36E-07	4.28E-07	4.19E-07	4.23E-07
107	1.56E-07	1.97E-07	2.19E-07	2.15E-07	2.12E-07	2.15E-07
108	9.07E-08	1.16E-07	1.29E-07	1.27E-07	1.25E-07	1.27E-07

Tab. 11 Effektive Gesamtdosen und effektive Folgedosen aus der Atmosphäre (Sv) in den Sektoren des südlichen Sektors der beobachteten Zone bei der Alternative B (NKKA 1x 1750 MW_e, Betrieb von EDU 2-4 und Stilllegung von EDU1)

Sektor	Alter Jahre					
Nr.	0-1	1-2	2-7	7-12	2-17	über 17
97	4.59E-06	5.67E-06	6.36E-06	6.21E-06	5.98E-06	6.01E-06
98	6.23E-06	7.69E-06	8.64E-06	8.42E-06	8.10E-06	8.13E-06
99	5.23E-06	6.48E-06	7.29E-06	7.11E-06	6.83E-06	6.87E-06
100	4.51E-06	5.60E-06	6.31E-06	6.15E-06	5.91E-06	5.94E-06
101	3.38E-06	4.22E-06	4.75E-06	4.64E-06	4.45E-06	4.48E-06
102	2.60E-06	3.26E-06	3.68E-06	3.59E-06	3.44E-06	3.47E-06
103	1.91E-06	2.41E-06	2.73E-06	2.67E-06	2.55E-06	2.57E-06
104	1.35E-06	1.71E-06	1.94E-06	1.90E-06	1.82E-06	1.83E-06
105	5.91E-07	7.54E-07	8.53E-07	8.37E-07	8.01E-07	8.09E-07
106	1.99E-07	2.61E-07	2.95E-07	2.90E-07	2.81E-07	2.86E-07
107	1.02E-07	1.37E-07	1.55E-07	1.53E-07	1.49E-07	1.52E-07
108	6.21E-08	8.41E-08	9.49E-08	9.40E-08	9,14E-08	9.35E-08

Tab. 12 Effektive Gesamtdosen und effektive Folgedosen aus der Atmosphäre (Sv) in den Sektoren des südlichen Sektors der beobachteten Zone bei der Alternative C (NKKA 2x 1750 MW_e, Stilllegung von EDU1-4)

Sektor	Alter Jahre					
Nr.	0-1	1-2	2-7	7-12	2-17	über 17
97	4.42E-06	5.45E-06	6.12E-06	5.97E-06	5.75E-06	5.77E-06
98	6.16E-06	7.58E-06	8.52E-06	8.29E-06	7.98E-06	8.01E-06
99	5.13E-06	6.35E-06	7,14E-06	6.95E-06	6.68E-06	6.71E-06
100	4.42E-06	5.47E-06	6.16E-06	6.00E-06	5.77E-06	5.79E-06
101	3.29E-06	4.09E-06	4.61E-06	4.50E-06	4.32E-06	4.34E-06
102	2.52E-06	3,14E-06	3.54E-06	3.45E-06	3.31E-06	3.33E-06
103	1.83E-06	2.30E-06	2.60E-06	2.53E-06	2.43E-06	2.44E-06
104	1.28E-06	1.61E-06	1.82E-06	1.78E-06	1.70E-06	1.71E-06
105	5.54E-07	6.99E-07	7.91E-07	7.73E-07	7.40E-07	7.45E-07

106	1.85E-07	2.40E-07	2.71E-07	2.66E-07	2.58E-07	2.61E-07
107	9.46E-08	1.26E-07	1.42E-07	1.39E-07	1.36E-07	1.38E-07
108	5.74E-08	7.66E-08	8.63E-08	8.49E-08	8.26E-08	8.41E-08

Der Vergleich des Trends der Änderungen der Strahlendosen aus der Atmosphäre mit einer Entfernung von der neuen Kernkraftanlage bei einzelnen Alternativen stellen wir in der Abbildung 11 dar. Zur Übersichtlichkeit wählten wir nur Dosen für Erwachsene aus, die wir als die bedeutendsten betrachten und wir drücken Sie in μSv aus. Bis zur zweiten Zone (1-2km) steigen sie bei allen Alternativen, die erste ist "im Schatten". Danach folgt eine kontinuierliche Absenkung praktisch bis auf null in der 10. Zone (15 - 20 km). Die Steigung am Anfang ist bei der Alternative A höher, bei den alternativen B und C ist sie niedriger und der Verlauf ist praktisch identisch. Alle diese Unterschiede haben allerdings eine vernachlässigbare Bedeutung, sie bewegen sich auf Niveaus, die mindestens um zwei Stufen niedriger sind als die natürliche Strahlung.

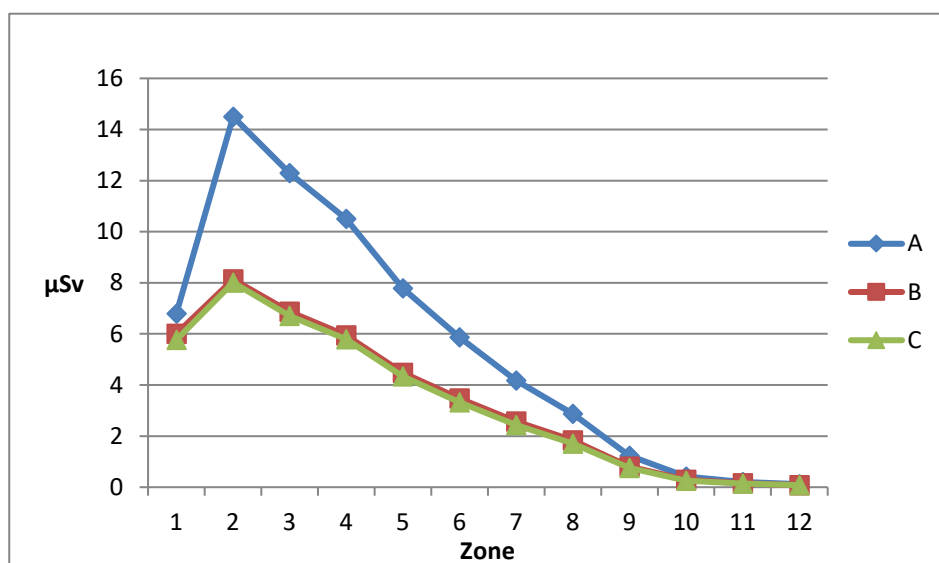


Abb. 11 Änderungen der Gesamtdosen und der effektiven Folgedosen aus der Atmosphäre mit der Entfernung von der neuen Kernkraftanlage bei einzelnen Alternativen

Für gleiche drei Alternativen der neuen Kernkraftanlage A, B und C werden auch ausgewählte Sektoren, die das Flussgebiet des Flusses Jihlava überwachen, berücksichtigt. In der Tabelle 13 führen wir ihre Liste, die Luftentfernung von der neuen Kernkraftanlage und die ungefähre Lage im Flussgebiet (ausgewählte lokale Angabe) an. Da die entfernteren Sektoren relativ umfangreich sind, haben die Angaben über die Lage in der Tabelle nur orientierenden Charakter. Wir lassen zwei nicht bewohnte Sektoren aus, Nr. 14 und Nr. 27 (Wasserbecken Mohelno und erster Abschnitt des Flusses darunter).

Tab. 13 Liste der beurteilten Sektoren im Flussgebiet Jihlava und einige ihre Charakteristiken

Sektor Nr.	Richtung des Sektors	Entfern. *)	Platzierung
28	NO	3-5	Mohelno
41	NOO	5-7	Lhánice
54	O	7-10	Biskoupky
56	O	15-20	Ivančice, Zusammenfluss von Jihlava und Oslava
57	O	20-30	Fluss Jihlava, Moravské Bránice
69	OSO	20-30	Jihlava, Pohořelice
70	OSO	30-50	Svratka, Vranovice
71	OSO	50-75	Fluss Morava, Hodonín

*) Luftentfernung von der neuen Kernkraftanlage (ca. in km)

Zur Spezifikation der Strahlendosen aus den Ableitungen in den Wasserlauf wählten wir für die folgenden Tabellen lediglich die Strahlendosen aus der Hydrosphäre einerseits der Gesamtdosis, der Summen der

Dosen aus der Atmosphäre und auch der Hydrosphäre. Die erste dient zur Beurteilung der Rolle der Dosen aus der Hydrosphäre bei der gesamten Strahlenbelastung, die zweite zur Beurteilung der gesundheitlichen Auswirkungen in gegebenen Sektoren. Die Ergebnisse für die Alternative A werden in der Tabelle 14, für die Alternative B in der Tabelle 15 a und für die Alternative C in der Tabelle 16 präsentiert.

Tab. 14 Effektive Gesamtdosen und effektive Folgedosen aus der Hydrosphäre und der Atmosphäre + Hydrosphäre (Sv) in den Sektoren des Flussgebietes des Flusses Jihlava bei der Alternative A (NKKA 2x 1200 MWe, Stilllegung von EDU1-4)

Sektor Nr.		Alter Jahre					
		0-1	1-2	2-7	7-12	2-17	über 17
28	H	2.12E-05	2.17E-05	2.24E-05	1.92E-05	1.75E-05	2.24E-05
	H+A	2.24E-05	2.31E-05	2.38E-05	2.06E-05	1.89E-05	2.38E-05
41	H	2.12E-05	2.17E-05	2.20E-05	1.89E-05	1.72E-05	2.19E-05
	H+A	2.30E-05	2.37E-05	2.43E-05	2.11E-05	1.93E-05	2.41E-05
54	H	2.12E-05	2.16E-05	2.20E-05	1.88E-05	1.71E-05	2.18E-05
	H+A	2.36E-05	2.44E-05	2.51E-05	2.18E-05	2.00E-05	2.48E-05
56	H	2.11E-05	2.16E-05	2.19E-05	1.88E-05	1.71E-05	2.18E-05
	H+A	2.22E-05	2.29E-05	2.34E-05	2.02E-05	1.85E-05	2.32E-05
57	H	6.01E-06	6.10E-06	6.22E-06	5.31E-06	4.84E-06	6.18E-06
	H+A	6.52E-06	6.72E-06	6.90E-06	5.98E-06	5.49E-06	6.83E-06
69	H	6.00E-06	6.07E-06	6.20E-06	5.29E-06	4.83E-06	6.16E-06
	H+A	6.16E-06	6.28E-06	6.42E-06	5.51E-06	5.04E-06	6.38E-06
70	H	5.99E-06	6.05E-06	6.18E-06	5.28E-06	4.81E-06	6.15E-06
	H+A	6.06E-06	6,14E-06	6.28E-06	5.37E-06	4.90E-06	6.24E-06
71	H	1.47E-06	1.24E-06	1.41E-06	1.24E-06	1.16E-06	1.56E-06
	H+A	1.51E-06	1.29E-06	1.46E-06	1.29E-06	1.21E-06	1.61E-06

Bemerkung: H ... Dosen nur aus der Hydrosphäre

H+A ... gesamte Dosen aus der Atmosphäre + aus der Hydrosphäre

Tab. 15 Effektive Gesamtdosen und effektive Folgedosen aus der Hydrosphäre und der Atmosphäre + Hydrosphäre (Sv) in den Sektoren des Flussgebietes des Flusses Jihlava bei der Alternative B (NKKA 1x 1750 MWe, Betrieb von EDU2-4 und Stilllegung von EDU1)

Sektor Nr.		Alter Jahre					
		0-1	1-2	2-7	7-12	2-17	über 17
28	H	2.05E-05	1.77E-05	2.01E-05	1.76E-05	1.58E-05	2.08E-05
	H+A	2.10E-05	1.85E-05	2.10E-05	1.84E-05	1.66E-05	2.16E-05
41	H	2.04E-05	1.77E-05	1.97E-05	1.71E-05	1.54E-05	2.01E-05
	H+A	2,14E-05	1.88E-05	2.10E-05	1.84E-05	1.66E-05	2,14E-05
54	H	2.04E-05	1.76E-05	1.96E-05	1.71E-05	1.53E-05	2.00E-05
	H+A	2.16E-05	1.92E-05	2,14E-05	1.88E-05	1.70E-05	2.17E-05
56	H	2.04E-05	1.75E-05	1.96E-05	1.70E-05	1.53E-05	2.00E-05

	H+A	2.10E-05	1.83E-05	2.05E-05	1.79E-05	1.61E-05	2.08E-05
57	H	5.41E-06	4.63E-06	5.19E-06	4.49E-06	4.03E-06	5.28E-06
	H+A	5.71E-06	5.02E-06	5.63E-06	4.92E-06	4.45E-06	5.69E-06
69	H	5.40E-06	4.62E-06	5.17E-06	4.48E-06	4.02E-06	5.26E-06
	H+A	5.50E-06	4.75E-06	5.32E-06	4.62E-06	4.16E-06	5.40E-06
70	H	5.40E-06	4.60E-06	5.16E-06	4.46E-06	4.01E-06	5.24E-06
	H+A	5.44E-06	4.66E-06	5.23E-06	4.53E-06	4.07E-06	5.30E-06
71	H	1.44E-06	1.19E-06	1.38E-06	1.18E-06	1.06E-06	1.40E-06
	H+A	1.46E-06	1.22E-06	1.41E-06	1.22E-06	1.10E-06	1.44E-06

Bemerkung: H ... Dosen nur aus der Hydrosphäre

H+A ... gesamte Dosen aus der Atmosphäre + aus der Hydrosphäre

Tab. 16 Effektive Gesamtdosen und effektive Folgedosen aus der Hydrosphäre und der Atmosphäre + Hydrosphäre (Sv) in den Sektoren des Flussgebietes des Flusses Jihlava bei der Alternative C (NKKA 2x 1750 MW_e, Stilllegung von EDU1-4)

Sektor Nr.		Alter Jahre					
		0-1	1-2	2-7	7-12	2-17	über 17
28	H	1.46E-05	1.30E-05	1.47E-05	1.31E-05	1.19E-05	1.57E-05
	H+A	1.52E-05	1.38E-05	1.55E-05	1.39E-05	1.27E-05	1.64E-05
41	H	1.46E-05	1.30E-05	1.44E-05	1.27E-05	1.16E-05	1.51E-05
	H+A	1.55E-05	1.41E-05	1.57E-05	1.40E-05	1.28E-05	1.63E-05
54	H	1.45E-05	1.29E-05	1.43E-05	1.26E-05	1.15E-05	1.50E-05
	H+A	1.57E-05	1.44E-05	1.60E-05	1.43E-05	1.31E-05	1.66E-05
56	H	1.45E-05	1.28E-05	1.43E-05	1.26E-05	1,14E-05	1.49E-05
	H+A	1.51E-05	1.36E-05	1.51E-05	1.34E-05	1.23E-05	1.57E-05
57	H	4.47E-06	3.94E-06	4.38E-06	3.85E-06	3.51E-06	4.58E-06
	H+A	4.75E-06	4.30E-06	4.79E-06	4.25E-06	3.89E-06	4.96E-06
69	H	4.46E-06	3.92E-06	4.36E-06	3.83E-06	3.49E-06	4.56E-06
	H+A	4.56E-06	4.04E-06	4.50E-06	3.97E-06	3.62E-06	4.69E-06
70	H	4.46E-06	3.90E-06	4.35E-06	3.82E-06	3.48E-06	4.54E-06
	H+A	4.50E-06	3.95E-06	4.41E-06	3.88E-06	3.54E-06	4.60E-06
71	H	1.25E-06	1.05E-06	1.22E-06	1.06E-06	9.72E-07	1.28E-06
	H+A	1.28E-06	1.08E-06	1.26E-06	1.09E-06	1.00E-06	1.31E-06

Bemerkung: H ... Dosen nur aus der Hydrosphäre

H+A ... gesamte Dosen aus der Atmosphäre + aus der Hydrosphäre

Die Trends der Änderungen mit der Entfernung von der neuen Kernkraftanlage weichen bei den Dosen aus der Hydrosphäre selbstverständlich von den Dosen aus der Luft ab (Abbildung 11). Die Anfangsdosis ist hier höher und bleibt praktisch auf unverändertem Niveau bis zur 6. Zone (vor den Zusammenfluss von Jihlava mit Oslava. Danach sinkt sie stark und bleibt lange am erreichten wesentlich niedrigeren Niveau bis zum Zusammenfluss mit dem Fluss Dyje, wo sich die starke Verdünnung zeigt. Bei der Alternative C bewegen

sich die Dosen aus der Hydrosphäre bis zum Zusammenfluss mit Oslava am niedrigeren Niveau als in den Alternativen A und B

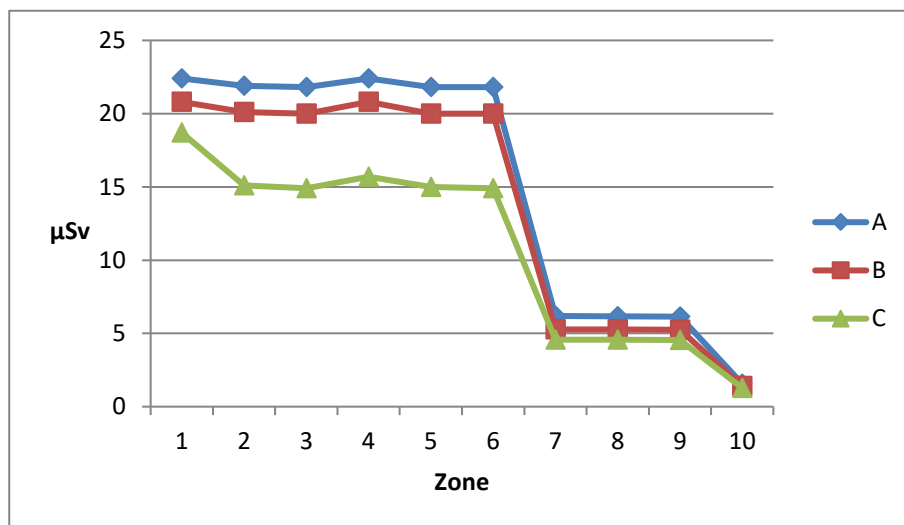


Abb. 12 Änderungen der Gesamtdosen und der effektiven Folgedosen aus der Hydrosphäre mit der Entfernung von der neuen Kernkraftanlage bei einzelnen Alternativen

Da es sich nur um die Dosen aus der Hydrosphäre handelt, deren Auswirkungen auf die Gesundheit mit den Dosen aus der Atmosphäre summiert werden, wird ersichtlich, dass sich hier im Unterschied zu allen sonstigen Sektoren in den beobachteten Zonen neben den Dosen aus der Atmosphäre auch die Dosen aus der Hydrosphäre bemerkbar machen. Sie sind wesentlich höher. Aus den Tabellen ist dann ersichtlich, dass der Zuwachs aus der Atmosphäre hier gering ist und sich die Dosis aus der Hydrosphäre praktisch nicht verändert. Die Sektoren im Flussgebiet von Jihlava vom Wasserbecken Mohelno bis zum Zusammenfluss von Jihlava und Oslava sind somit viel stärker mit der Strahlung belastet als alle sonstigen Sektoren der beobachteten Zone.

3.4.4 Gesundheitsrisiken

Im vorherigen Kapitel wurden die wichtigsten Angaben aus dem Bericht ABmerit (2016a) über effektive Dosen und effektive Folgedosen in den bedeutendsten Sektoren der beurteilten Zone konzentriert. In diesem Kapitel beurteilen wir die gesundheitliche Bedeutsamkeit der angeführten Dosen, und dies in der Reihenfolge, wie sie oben präsentiert wurden.

Das Ziel der Berechnungen ist die Schätzung der kumulierten lebenslangen Belastung eines erwachsenen Menschen, der im gegebenen Gebiet unter der theoretischen Voraussetzung leben würde, dass sich die Strahlungsbedingungen, beschrieben für das gegebene Jahr, sich in weiteren Jahren nicht ändern würden (außer, obwohl gering, der wachsenden Gewichtsaktivität der deponierten Nuklide im Boden und der damit zusammenhängenden Aktivitäten der Bestandteile der Umwelt und der Artikel der Nahrungsmittelketten, was in den Berechnungen berücksichtigt wurde).

Die methodische Grundlage für die Beurteilung des Risikos ist der oben (Kapitel 3.2.4) zitierte Bericht der Internationalen Kommission für den Strahlenschutz (ICRP) aus dem Jahr 2007. Sie orientiert sich insbesondere auf niedrige Strahlendosen, d. h. effektive Dosen bis ungefähr 100 mSv (oder absorbierte Dosen bis ungefähr 100 Gy low-LET Strahlung), die als Einzeldosis oder kumulierte Jahresdosis wirken. Wie bereits im genannten Artikel angeführt und begründet wurde, empfiehlt der genannte ICRP Bericht, das Risiko des sog. Gesundheitsschadens mit Hilfe der neu festgelegten Koeffizienten (siehe Kapitel 3.2.4 Tabelle 1) auszuwerten.

Die effektiven Dosen und effektiven Folgedosen, berechnet in den ABmerit-Studien, stellen durchwegs die jährlichen Strahlenbelastungen dar. Wenn wir von der konservativen Voraussetzung einer 70-jährigen Exposition aller Einwohner während ihres Lebens ausgehen, entsprechen die kumulierten lebenslangen Belastungen dem Siebzigfachen der angeführten jährlichen Dosen.

Unter Berücksichtigung dessen, dass die Strahlenbelastungen im Kindesalter anders als bei Erwachsenen sein können, und dadurch die lebenslangen Schätzungen der gesundheitlichen Auswirkung beeinflusst werden können, gehen wir bei den Ergebnissen der Berechnungen der effektiven Dosen und effektiven

Folgedosen für einzelne Altersschichten des Kinderalters (Alter 0-1 Jahre, 1-2 Jahre, 2-7 Jahre, 7-12 Jahre, 12-17 Jahre) auch von diesen Altersbesonderheiten aus. Aus den Tabellen sehen wir, dass die jährlichen effektiven Dosen und effektiven Folgedosen bei Kindern etwas höher sind als bei Erwachsenen. Die Unterschiede sind allerdings nur gering und sie können das oben angeführte Gesamtergebnis der lebenslangen Gesundheitsrisiken nicht wesentlich verändern. Trotzdem verwenden wir sie im Bemühen um die höchstmögliche Genauigkeit für die Berechnungen.

Bei veröffentlichten maximalen effektiven Dosen summieren wir die jährlichen effektiven Dosen und effektive Folgedosen für 70 Jahre des Lebens. Falls wir diese Vorgehensweise unter der Einbeziehung der Kinderangaben präzisieren, tragen sie zur lebenslangen Belastung der Altersgruppe 0-1 Jahr und 1-2 Jahre mit einem Jahr bei und der Gruppen 2-7 Jahre, 7-12 Jahre und 12-17 Jahre je 5 Jahre. Für den erwachsene Alter bleiben dann 53 Jahre über. Mit den angeführten Summen multiplizieren wir die Angaben über die Dosen und Folgedosen der entsprechenden Altersgruppen und zur Bestimmung der lebenslangen Belastung summieren und multiplizieren wir sie mit dem oben angeführten Koeffizient 0,057.

3.4.4.1 Maximale effektive Dosen einer repräsentativen Einzelperson in der nahen Umgebung der neuen Kernkraftanlage

Mit der oben beschriebenen Vorgehensweise bewerten wir das Gesundheitsrisiko aus den angeführten maximalen effektiven Dosen einer repräsentativen Einzelperson in der nahen Umgebung der NKKA, angeführt in der Tabelle 7. Die Ergebnisse präsentieren wir in der Tabelle 17.

Tab. 17 Risiko eines Gesundheitsschadens durch die maximalen effektiven Dosen einer repräsentativen Einzelperson in der nahen Umgebung der neuen Kernkraftanlage

Standort	Sektor	Alternative A		Alternative B		Alternative C	
		Max Sv	Schaden	Max Sv	Schaden	Max Sv	Schaden
Mohelno	28	2,38E-05	9,50E-05	2,16E-05	8,62E-05	1,64E-05	6,54E-05
Dukovany	52	2,80E-05	1,12E-04	2,37E-05	9,46E-05	1,84E-05	7,34E-05
Horní Dubňany	64	2,14E-06	8,54E-06	1,21E-06	4,83E-06	1,17E-06	4,67E-06
Rešice	88	6,32E-06	2,52E-05	4,02E-06	1,60E-05	3,89E-06	1,55E-05
Kordula	99	1,28E-05	5,11E-05	7,29E-06	2,91E-05	7,14E-06	2,85E-05
Rouchovany	136	3,22E-06	1,28E-05	1,79E-06	7,14E-06	1,72E-06	6,86E-06
Šemíkovice	124	2,57E-06	1,03E-05	1,33E-06	5,31E-06	1,30E-06	5,19E-06
Slavětice	172	2,84E-06	1,13E-05	1,45E-06	5,79E-06	1,41E-06	5,63E-06
Ivančice	56	2,34E-05	9,34E-05	2,10E-05	8,38E-05	1,57E-05	6,26E-05
Moravské Bránice	57	6,90E-06	2,75E-05	5,71E-06	2,28E-05	4,96E-06	1,98E-05

Bemerkung: Max Sv ...maximale effektive Dosis

Schaden... Risiko eines Gesundheitsschadens in 70 Lebensjahren (Max. Sv x 70 x 0,057)

Für das Risiko des Gesundheitsschadens gibt es keinen Grenzwert und auch kein empfohlenes Niveau. Es ist hier die Sache der zuständigen Behörden, ob sie von den empfohlenen Prinzipien der ICRP ausgeht, siehe oben (Kapitel 3.2.4), der Rechtfertigung und der Optimierung ausgehen. Es muss sorgfältig erwägt werden, ob der erwartete Gesundheitsschaden durch den vorausgesetzten Beitrag für ein Individuum oder für die Gesellschaft ausgewogen ist und ob verantwortlich nach Möglichkeiten einer Reduzierung der Dosen auf das niedrigste vernünftigerweise erreichbare Niveau (ALARA) gesucht wird.

Solche Überlegungen zur gewünschten Optimierung sind allerdings dort unnötig, wo sich das Risiko am Niveau $1 \cdot 10^{-6}$ bewegt (in Einheiten der Ordnung E-06). Die Einheit auf diesem Niveau gibt nämlich für ein 70 Jahre langes Leben die Wahrscheinlichkeit eines Gesundheitsschadens eines Menschen von 1 Million Menschen, die gleich exponiert werden. An bösartigen Geschwülsten stirbt in unserer Bevölkerung ungefähr 1/4 der Menschen, d. h. von einer Million ungefähr 250.000. Ein berechneter Fall eines Gesundheitsschadens geht darunter völlig verloren. Es ist kein reales Risiko mehr, sondern eher eine mathematische Abstraktion, die mit dem realen Leben nichts zu tun hat. Bis zum bestimmten Maß gilt das Gleiche auch für die Niveaus der Einheiten E-05, also nach langlebiger Ionendosis beträgt die Wahrscheinlichkeit der Behinderung einer Person der Bevölkerungsgruppe hunderttausend Menschen.

Größere Aufmerksamkeit verdienen die Gesundheitsschäden am Niveau E-04. Obwohl es sich ebenfalls um ein sehr geringes Risiko handelt (1 Fall von 10.000), wäre es bereits jetzt günstig zu überlegen, ob es nicht Wege zur Reduzierung der Dosen mindestens um 1 Größenordnung gibt. In unserem Fall betrifft das die Sektoren, die sich auf diesem oder annähernd auf diesem Niveau befinden, bei der Alternative A und auch B Mohelno, Dukovany und Ivančice. In der Wirklichkeit nur Ivančice und die Umgebung am oberen Lauf des Flusses Jihlava (Hrubšice, Biskoupky), denn in den Katastern der Gemeinden Mohelno und Dukovany breiten sich die bewohnten Gebiete nicht bis zum Fluss Jihlava aus bzw. sie werden nicht mit dem Trinkwasser aus dem Fluss Jihlava, das den Hauptweg der Bestrahlung darstellt, versorgt. Die Lösung muss von einer guten Kenntnis der Situation vor Ort und der potentiellen Möglichkeit ausgehen. Bei der Alternative C sind die Werte des Gesundheitsrisikos etwas günstiger.

3.4.4.2 Höchste Gesamtdosis der Strahlung auf dem Gebiet der Nachbarstaaten

In der zitierten Studie ABmerit wurde auch die höchsten effektiven Dosen und effektive Folgedosen in Österreich (sie wurden im Sektor 53 gefunden) und in der Slowakei (im Sektor 84) berechnet. Wir führten sie in der Tabelle 8 an. Die lebenslangen Gesundheitsschäden berechnen wir hier in gleicher Weise wie im vorherigen Fall (Dosis x 70 x 0,057). Die Ergebnisse führen wir in der Tabelle 18 an. Sie bleiben in der Größenordnung $1:10^{-6}$ und nach der gesundheitlichen Seite hin sind sie also vollkommen ausreichend. Aus der Tatsache, dass es sich um maximale Werte handelt, ergibt sich, dass die Auswirkungen der Strahlenexposition in allen anderen Sektoren auf dem Gebiet des gegebenen Staates noch nichtiger werden.

Tab. 18 Risiko von Gesundheitsschäden durch die maximalen effektiven Dosen und die effektiven Folgedosen in den Nachbarländern

Land	Sektor	Alternative A		Alternative B		Alternative C	
		Max Sv	Schaden	Max Sv	Schaden	Max Sv	Schaden
Österreich	83	1,70E-06	6,78E-06	1,47E-06	5,87E-06	1,34E-06	5,35E-06
Slowakei	84	1,62E-06	6,46E-06	1,41E-06	5,63E-06	1,29E-06	5,15E-06

Bemerkung: Max Sv ...maximale effektive Dosis

Schaden... Risiko eines Gesundheitsschadens in 75 Lebensjahren (Max. Sv x 70 x 0,057)

3.4.4.3 Risiko eines Gesundheitsschadens in den Sektoren des südlichen Segmentes der beobachteten Zone

Aus den Angaben über die Strahlendosen in den Sektoren des südlichen Segments, angeführt in den Tabellen 10, 11 und 12, berechneten wir die lebenslangen Gesundheitsrisiken in der oben beschriebenen Weise und auch unter der Verwendung der Dosen, die für einzelne Zeiträume des Kindesalters berechnet wurden. Die Berechnung wird in der Anlage in den Tabellen P1, P2 und P3 präsentiert.

Eine Übersicht der Ergebnisse führen wir in der Tabelle 19 an. Es geht um die Sektoren, wo die Strahlendosen aus der Atmosphäre kommen, die Hydrosphäre wird höchstens nur mit einem vernachlässigbaren Minimum geltend gemacht. Die Risiken haben seit dem Beginn, von den nächsten nicht bewohnten Sektoren, eine Größenordnung von $1:10^{-5}$ und sind somit gesundheitlich passend. Da es um ein Segment geht, das unter der Berücksichtigung der verwendeten Windrose anscheinend zu den am meisten belasteten gehört, können wir zusammenfassend feststellen, dass alle Alternativen der neuen Kernkraftanlage in Bezug auf die Ableitungen in die Atmosphäre unter dem Aspekt der gesundheitlichen Auswirkungen auf die Bevölkerung gut akzeptabel sind. Die Unterschiede zwischen den Alternativen sind bezüglich dieser Seite nur gering und unwesentlich.

Tab. 19 Risiko eines lebenslangen Gesundheitsschadens in den Sektoren des südlichen Segmentes der beobachteten Zone

Sektor	Leistungsalternative der neuen Kernkraftanlage		
	A	B	C
97	2,71E-05	2,41E-05	2,31E-05
98	5,79E-05	3,26E-05	3,20E-05
99	4,92E-05	2,74E-05	2,69E-05

100	4,20E-05	2,37E-05	2,32E-05
101	3,11E-05	1,79E-05	1,90E-05
102	2,35E-05	1,39E-05	1,34E-05
103	1,67E-05	1,03E-05	9,77E-06
104	1,15E-05	7,32E-06	6,84E-06
105	4,91E-06	3,23E-06	2,98E-06
106	1,68E-06	1,14E-06	1,04E-06
107	8,54E-07	6,04E-07	5,48E-07
108	5,04E-07	3,70E-07	3,34E-07

3.4.4.4 Das Risiko eines Gesundheitsschadens in den Sektoren des Flussgebietes Jihlava

Aus den Angaben über effektive Dosen und effektive Folgedosen aus der Atmosphäre + Hydrosphäre (Sv) in den Sektoren im Flussgebiet des Flusses Jihlava, angeführt in den Tabellen 14, 15 und 16, berechneten wir das lebenslange Gesundheitsrisiko ebenfalls unter der Verwendung der Angaben für das Kinderalter. Die Berechnung wird in der Anlage in den Tabellen P4, P5 und P6 präsentiert, die Übersicht der Ergebnisse ist in den Tabellen 20 und 21 enthalten.

Tab. 20 Das lebenslange Risiko eines Gesundheitsschadens in den Sektoren des Flussgebietes Jihlava bis zum Zusammenfluss mit dem Oslava

Sektor	Alternative der neuen Kernkraftanlage		
	A	B	C
28	9,25E-05	8,35E-05	6,32E-05
41	9,39E-05	8,29E-05	6,30E-05
54	9,16E-05	8,42E-05	6,42E-05
56	9,04E-05	8,06E-05	6,07E-05

Das relativ höhere Risiko eines Gesundheitsschadens, dem wir in der nächsten Umgebung der neuen Kernkraftanlage begegnen, hält auf einem ähnlichen Niveau entlang des Flusses Jihlava bis zum Zusammenfluss der Flüsse Jihlava und Oslava (Tabelle 20) an. Das lebenslange Risiko bewegt sich hier im oberen Bereich der Wahrscheinlichkeit von $1:10^{-5}$ bzw. an ihrer Grenze mit der Zone $1:10^{-4}$. Es handelt sich immer um ein Risiko von Einzelfälle aus der Bevölkerung von 100 000 Bewohnern, also immer noch akzeptabel.

Hinter dem angeführten Zusammenfluss verliert das Risiko eines Gesundheitsschadens aus der Hydrosphäre bereits an der Bedeutung, die Niveaus des gesamten Risikos sind ähnlich wie in gleich entfernten Sektoren der beobachteten Zone (Tabelle 21).

Tab. 21 Das lebenslange Risiko eines Gesundheitsschadens in den Sektoren des Flussgebietes Jihlava hinter dem Zusammenfluss mit dem Oslava

Sektor	Alternative der neuen Kernkraftanlage		
	A	B	C
57	2,66E-05	2,21E-05	1,92E-05
69	2,48E-05	2,09E-05	1,81E-05
70	2,43E-05	2,05E-05	1,77E-05
71	6,15E-06	5,57E-06	5,05E-06

3.4.5 Strahlungshintergrund

Einen bemerkenswerten Einblick in die Rolle der atmosphärischen und auch flüssigen Ableitungen der neuen Kernkraftanlage und EDU1-4 bei den Strahlungsbelastungen der Bevölkerung gewährt auch ihr Vergleich mit den Auswirkungen des Strahlungshintergrunds. Wir gehen hier von den im Bericht ČVUT veröffentlichten Angaben (Mai 2015) aus. Er ist eine Zusammenfassung von Informationen, Berechnungen und fachlichen Schätzungen einzelner Komponenten der effektiven Jahresdosis für eine repräsentative Einzelperson und die Einwohner in einer Entfernung von 5 - 20 km bis zur neuen Kernkraftanlage. Er beurteilt die Strahlenexposition aus allen bedeutenden Quellen, einschließlich der natürlichen. Als repräsentative Einzelperson wird hier ein Einwohner mit dauerhaftem Wohnsitz in der Zone mit einer Entfernung von 5 km vom Objekt des Kraftwerks (unter Ausschluss der Mitarbeiter des Kraftwerks, die der Strahlenexposition beruflich) ausgesetzt sind.

Die Beiträge sind relativ genau durch eine Labor- und in situ Messung oder Schätzung bestimmt (z. B. der Beitrag von K-40, Inhalieren außer Rn und Th) und in der Tabelle 22. Im Falle des inhalierten Radons wurden für die Berechnung der effektiven Dosis der Durchschnitt in vorigen Jahren im Rahmen des Radonprogramms bestimmten Werte und neu gemessene Werte verwendet, damit in die Berechnung eine möglichst große Menge an gemessenen Objekten miteinbezogen wird. In der Tabelle ist kein Ergebnis der Berechnung der Bestrahlung einer repräsentativen Einzelperson beim Transport des radioaktiven Abfalls oder radioaktiver Stoffen berücksichtigt, da ihr Wert ordnungsgemäß kleiner ist als andere angeführte Werte. Dieser Beitrag ist nur theoretisch, in der Praxis wird er grundsätzlich null betragen.

Tab. 22 Jährliche effektive Dosen einer repräsentativen Einzelperson (0 - 5 km von der neuen Kernkraftanlage entfernt) und Einwohner in einer Entfernung von 5-20 km zur neuen Kernkraftanlage

Strahlungsquelle	Bis 5 km		5-20 km	
	mSv/Jahr	%	mSv/Jahr	%
Außerhalb EDU				
kosmische	0,264	6,33	0,278	5,50
terrestrisch	0,068	1,63	0,076	1,51
intern	0,44	10,55	0,3	5,94
medizinisch	0,8	19,18	0,8	15,84
Radon	2,3	55,16	3,12	61,78
Sonstiges *)	0,295	7,07	0,473	9,37
EDU1-4				
Ableitungen	0,0027	0,06	0,0027	0,05
Insgesamt	4,17	100	5,05	100

*) Fallout, Inhalieren, Ingestion, Verbrauchsware, kosmogene Radionuklide u. a.

Die Tabelle zeigt, dass die jährliche effektive Dosis der repräsentativen Einzelperson 4,17 mSv und die der Einwohner in einer Entfernung von 5 - 20 km 5,05 mSv beträgt. Beide Werte liegen über der geschätzten durchschnittlichen Bestrahlung in der Tschechischen Republik, die sich ungefähr in der Nähe von 3,5 mSv bewegt. Die Hauptkomponente sind Beiträge von Radon, medizinische Bestrahlung, kosmische Strahlung natürlicher Radionuklide in Gesteinen (terrestrische Strahlung).

Die angeführten jährlichen Dosen, 4,17 mSv und 5,05 mSv entsprechen dem lebenslangen Risiko (in 70 Jahren) $1,66E-2$ und $2,01E-2$. Dies bedeutet nach den gegenwärtigen Erkenntnissen, dass die natürliche und sonstige ionisierende Strahlung aus anderen Quellen als aus EDU1-4 und der neuen Kernkraftanlage bei der Bevölkerung, die dauerhaft in diesem Gebiet angesiedelt ist, auf alle 100 Bewohner einen Gesundheitsschaden bei ca. bei 2 Menschen verursacht.

Der Beitrag von EDU1-4 ist unter Berücksichtigung der anderen Komponenten völlig vernachlässigbar. Falls er langfristig am angeführten Niveau wirken würde, würde er nach den Unterlagen des Berichtes von ČVUT in beiden verglichenen Gebieten ein lebenslanges Risiko von $1,08 \times 10^{-5}$, also ein Risiko um 3 Ordnungen, d. h. tausendmal kleiner, darstellen. Dabei ist ersichtlich, dass sich durch die, beschriebene Realisierung der neuen Kernkraftanlage die festgestellten jährlichen effektiven Dosen für eine repräsentative Einzelperson und auch für Einwohner in größeren Entfernungen als 5 km von der neuen Kernkraftanlage nicht verändern würden.

3.4.6 Schlussfolgerungen zu den Auswirkungen der Strahlenexposition

- ▶ Auch beim einem sehr konservativen Szenario der Lebensbedingungen der repräsentativen Einzelperson bewegt sich das lebenslange Risiko eines Gesundheitsschadens aus Emissionen in die Luft für die repräsentative Person (früher für die kritische Bevölkerungsgruppe) im Falle aller drei beurteilten Leistungsalternativen der neuen Quellen ordnungsgemäß am Niveau 10^{-5} und niedriger. Dieses Maß an Risiko ist hinsichtlich der gesundheitlichen Seite gut akzeptabel.
- ▶ Am meisten durch die Strahlung belastetes Gebiet ist die nächste Umgebung der neuen Kernkraftanlage und der Küstenstreifen des Flusses Jihlava, vom Wasserbecken Mohelno zum Zusammenfluss des Flusses Jihlava mit dem Oslava in Ivančice. Auch dort handelt es sich noch immer um ein lebenslanges Risiko von Einzelfällen bei einer Einwohnerzahl von 100 000 Bewohner, also um ein akzeptables Risiko.
- ▶ Der Vergleich mit dem radioaktiven Hintergrund im gegebenen Gebiet zeigte, dass im Vergleich mit sonstiger ionisierender Strahlung der Beitrag der neuen Kernkraftanlage im Verhältnis zum lebenslangen Risiko eines Gesundheitsschadens völlig vernachlässigbar ist.

4 Strahlungsfreie Auswirkungen

In diesem Teil der Studie beurteilen wir potentielle Einflüsse der neuen Kernkraftanlage auf die Bevölkerung durch die Verschmutzung der Luft, Lärm und weitere nicht strahlungsbedingte Faktoren, und dies im Laufe des Baus und danach im Betrieb.

4.1 Identifikation der gesundheitlich bedeutsamen Auswirkungen

Der Bau und Betrieb der neuen Kernkraftanlage kann auf die Bevölkerung einerseits direkt vom Areal, andererseits durch den anschließenden Verkehr wirken, und das hauptsächlich durch die Verschmutzung der Luft und Lärm, eventuell auch durch weitere störende Faktoren des Fahrzeugverkehrs. Einen ungünstigen Einfluss können auch elektromagnetische (elm) Felder in der Nähe einer Hochspannungsleitung haben.

Andere bedeutsame strahlungsfreie Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit kommen nicht in Frage.

Aus den angeführten Gründen beurteilen wir hier für den Zeitraum des Baus und den Zeitraum des Betriebs a) Luft, b) Lärm, c) elektrische und magnetische Felder.

4.2 Luftverschmutzung

Bei der Beurteilung der Auswirkungen der verschmutzten Luft gehen wir von der Streuungsstudie der Firma Amec Foster Wheeler s.r.o. (RNDr. T. Bartoš, Ph.D., Brno Oktober 2016) aus, die den Einfluss aller stationären, Linien- und flachen Quellen einerseits aus dem Betrieb der neuen Kernkraftanlage, andererseits aus ihrem Bau behandelt. Es werden auch die Auswirkungen des hervorgerufenen Fahrzeugverkehrs beurteilt.

Die Berechnungen wurden mit der Methode "SYMOS 97" Version 2013 durchgeführt und zwar für ein rechteckiges Gebiet mit den Abmessungen 15 x 12 km im Netz der Berechnungspunkte mit einem Schritt von 500 m in der Höhe von ungefähr 1,5 m über dem Terrain. In der Nähe des beurteilten Vorhabens, im inneren Gebiet mit den Abmessungen 4 x 4 km, wurde das angeführte Netz durch ein dichteres Netz der Referenzpunkte mit einem Schritt von 200 m erweitert. Die Ergänzung der Referenzpunkte wurde auch entlang von allen beurteilten Strecken durchgeführt, und dies in der Entfernung von jeweils 0 m, 100 m, 250 m und 500 m.

Die beurteilten Schadstoffe sind Stickstoffdioxid, suspendierte Partikel in der Luft, PM₁₀ sowie PM_{2,5}, Benzol und Benzo(a)pyren. Diese Auswahl charakterisiert in geeigneter Weise die gesundheitlich bedeutsamen Verschmutzungen durch die relevanten stationären Quellen und auch durch den hervorgerufenen Verkehr.

Die Ergebnisse der Berechnungen der Immissionscharakteristiken werden kartographisch mit Hilfe von Isolinien und außerdem auch numerisch in ausgewählten Referenzpunkten präsentiert, die die nächsten bewohnten Gebiete in der Nähe des Areals, die den stationären Quellen auch zum Zeitpunkt des Baus ausgesetzt sind, charakterisieren.

Tab. 23 Ausgewählte Referenzpunkte im nächsten bewohnten Gebiet

Punkt Nr.	Adresse	Entfernung ^{*)}
1	Slavětice Konskriptions-Nr. 51	1,5 km
2	Dukovany Konskriptions-Nr. 270	1,8 km
3	Roučovany Konskriptions-Nr. 410	2,6 km
4	Kordula Konskriptions-Nr. 170	2,1 km
5	Mohelno Konskriptions-Nr. 327	3,6 km

^{*)} ungefähre Entfernung zur nächsten Quelle in m

Tab. 24 Am meisten durch Emissionen belastete Bezirke in Transitgemeinden

Bezeichnung	Gemeinde	Kommunikation
S	Slavětice	II/152
D	Dukovany	II/392
R	Rouchovany	II/396
J	Jamolice	II/152
H	Hrotovice	II/152
K	Kramolín	III/39218
M	Mohelno	II/392

Laufende Arbeiten mit verschmutzenden Auswirkungen (Tabelle 23) in den am stärksten exponierten bewohnten Bezirken in den Gemeinden, belastet durch den anschließenden Verkehr (bezeichnet mit Buchstaben, Tabelle 24).

In der folgenden Beurteilung der gesundheitlichen Einflüsse der verschmutzten Luft werden wir vor allem von den Immissionsangaben für die angeführten Referenzpunkte ausgehen, denn sie charakterisieren bündig die am meisten belastete bewohnte Umgebung.

Als Quellen der Verschmutzung in der Zeit des Betriebs wird in die Berechnungen der Streuungsstudie Folgendes miteinbezogen:

- ▶ Fahrzeugverkehr (für die Zeithorizonte der Jahre 2027, 2029 und 2034)
- ▶ stationäre Quellen (Dieselaggregate u. Ä.), bestehende und für zukünftige,
- ▶ Bautätigkeiten in den Jahren 2027 (Terrainaufbereitungen und Grabungsarbeiten) und 2029 (höchste Belastung durch Fahrzeugverkehr); ausgewählt der Bau einer niedrigeren Leistungsalternative (2 neue Böcke mit 2 Kühltürme pro Block), die die höchstmöglichen Ansprüche und deshalb auch die bedeutendsten Auswirkungen auf die Luftqualität darstellen.

Die Berechnungen wurden für den bestehenden Zustand und fünf zukünftige Szenarios durchgeführt:

- ▶ Jahr 2027 ohne Auswirkungen der Realisierung einer neuen Kernkraftanlage,
- ▶ Jahr 2027 mit der Realisierung einer neuen Kernkraftanlage (Zeitraum der groben Terrainaufbereitungen),
- ▶ Jahr 2029 ohne Auswirkungen der Realisierung einer neuen Kernkraftanlage,
- ▶ Jahr 2029 mit der Realisierung einer neuen Kernkraftanlage (Zeitraum des Baus),
- ▶ Jahr 2034 (Zeitraum des Betriebs der neuen Kernkraftanlage).

In den perspektivischen Szenarios (Jahre 2027, 2029 und 2034) wurden sowohl die durch die Realisierung der neuen Kernkraftanlage hervorgerufenen Beiträge als auch die gesamten Immissionsituationen beurteilt.

Für die Beschreibung der bestehenden Immissionsbelastung des Standortes wurden in der Streuungsstudie die Angaben von ČHMÚ für die Jahre 2011 - 2015 (Netz 1x1 km) genutzt. Für maximale kurzfristige Konzentrationen von NO₂, die in der angeführten Quelle nicht berücksichtigt sind, wurden die Daten aus der Immissionsüberwachung (ČHMÚ) verwendet.

4.2.1 Stickstoffdioxid

Der Stickstoffdioxid (NO₂) gehört zu den bedeutendsten und am meisten überwachten Schadstoffen der Abgase. In Verbrennungsmotoren wird Stickstoffoxid (NO) freigesetzt, der unter dem Einfluss des Ozons und der Sonnenstrahlung schrittweise zu NO₂ oxidiert, wobei die Geschwindigkeit dieser Reaktion wesentlich von den Umgebungsbedingungen in der Atmosphäre abhängt. Das Gemisch dieser beiden Gase wird zusammenfassend als Stickstoffoxide (NO_x) bezeichnet. Es ist nicht nur ein Bestandteil der Abgase, sondern auch der Emissionen aus jeder Verbrennung. Sein schädlichster Bestandteil ist NO₂, Gas mit einem brennenden, stickigen Geruch. Geruchsmäßig ist er bei Konzentrationen 200 - 400 µg.m⁻³ spürbar.

Das Stickstoffdioxid stellt unter der Anwesenheit von Kohlenstoffen und ultravioletter Strahlung (Sommersmog) die Hauptquelle des potentiell giftigen troposphärischen Ozons und weiterhin der Nitrat-Aerosole dar, die eine bedeutende Fraktion von feinen suspendierten Partikeln in der Luft sind (PM_{2,5}).

Die Auswirkungen höherer Konzentrationen des NO₂ auf den menschlichen Organismus sind einerseits chronisch, und andererseits akut. Beim langfristigen Einatmen erhöhen sie das Vorkommen Symptome. Die akuten Auswirkungen zeigen sich bei hohen Dosen bereits nach einer kurzen Ionendosis durch ungünstige Beeinflussung der Atemwege und die Reizung der Augen.

In vielen epidemiologischen Studien wurde NO₂ als Identifikator eines Schadstoffgemisches der Verbrennung, insbesondere aus dem Straßenverkehr, verwendet. Die Gesundheitseffekte in diesen Studien werden dann auch der Anwesenheit von anderen Verbrennungsprodukten zugerechnet, deren Auswirkungen man schwer vom NO₂ unterscheiden kann, wie suspendierte Partikel (speziell ultrafein), Stickstoffdioxid oder Benzol.

4.2.1.1 Auswertung des Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs

Beim langfristigen Einatmen von erhöhten Konzentrationen des Stickstoffdioxids reagieren am sensibelsten die Asthmatiker. Aus epidemiologischen Studien ergab sich, dass Bronchitis-symptome bei asthmatischen Kinder bei der Erhöhung der durchschnittlichen Konzentrationen des Stickstoffdioxids häufiger auftreten. Im Falle von erhöhten Konzentrationen vom NO₂, die in der freien Luft der europäischen und nordamerikanischen Städte relativ üblich sind, wurde bei Kindern auch eine langsamere Entwicklung der Lungenfunktionen beobachtet.

Im Fall der kurzfristigen Auswirkungen haben die Versuchsuntersuchungen wiederholt bewiesen, dass gesunde Menschen bei kurzfristigem (zweistündigem) Einatmen von Konzentration des NO₂ unter 1 ppm (1880 µg.m⁻³) nicht betroffen sind. Bei Konzentrationen 3000 - 9000 µg.m⁻³ treten Änderungen der Lungenfunktionen (Einstig des Atemwiderstands) bei gesunden Menschen nach 10 - 15 Minuten auf. Bei Menschen, die an Bronchitis leiden, verschlechtern sich die Funktionen bei 3000 µg.m⁻³ bereits nach 5 Minuten. In toxikologischen Studien wurden akute gesundheitliche Auswirkungen bei stündlichen Expositionen von 500 µg.m⁻³ NO₂ festgestellt. Direkte Auswirkungen des NO₂ auf die Lungenfunktionen von Asthmatikern wurden bei stündlichen Konzentrationen von über 560 µg.m⁻³ beschrieben und bereits ab Konzentrationen von 200 µg.m⁻³ war es möglich, durch eine spezielle Untersuchung den beginnenden Anstieg der Reaktivität der Bronchen festzustellen. Andere Labore bestätigten allerdings bei so niedrigen Konzentrationen bei Asthmatikern keine Auswirkung.

Der Richtwert der WHO für NO₂ beträgt 40 µg.m⁻³ für den jährlichen Durchschnitt und 200 µg.m⁻³ für den Stundendurchschnitt. Diese Konzentrationen wurden auch in das Gesetz Nr. 201/2012 GBl. über den Luftschutz als in der Tschechischen Republik verbindliche Grenzwerte festgelegt, unter der Voraussetzung, dass der angeführte Stundendurchschnitt nicht mehrmals als 18 x im Kalenderjahr überschritten wird.

4.2.1.2 Bewertung der Exposition

Die Exposition der Einwohner ist durch die örtlichen Immissionskonzentrationen gegeben. Die durchschnittlichen Immissionskonzentrationen des NO₂ in den beurteilten Zeiträumen führen wir in Tabelle 25 an, die maximalen Stundenkonzentrationen in Tabelle 26.

Tab. 25 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - durchschnittliche Konzentrationen des Stickstoffdioxids (µg.m⁻³)

Punkt	Akt. Zustand	2027 ohne neue Kernkraftanlage	2027 mit neuer Kernkraftanlage	2029 ohne neue Kernkraftanlage	2029 mit neuer Kernkraftanlage	2034 ohne neue Kernkraftanlage	2034 mit neuer Kernkraftanlage
Nahe Umgebung von EDU							
1	9.6	9.1	9.2	9.1	9.4	9.0	9.1
2	10.0	9.7	9.7	9.7	9.9	9.7	9.7
3	9.8	9.5	9.5	9.5	9.7	9.5	9.5
4	10.1	9.9	10.0	9.9	10.1	9.9	9.9
5	9.9	9.8	9.8	9.8	9.9	9.8	9.8

In Transitgemeinden							
S	9.8	8.4	8.5	8.4	9.0	8.3	8.7
D	10.1	9.7	9.8	9.7	9.9	9.7	9.7
R	9.8	8.9	9.0	8.9	9.4	8.9	9.2
J	10.3	8.8	9.0	8.8	9.5	8.8	9.0
H	11.8	10.8	10.8	10.8	11.0	10.7	10.8
K	9.4	9.1	9.1	9.1	9.2	9.1	9.1
M	11.6	11.3	11.3	11.3	11.4	11.3	11.3

Bemerkung: 1. Gültiger Immissionsgrenzwert 40,0 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Tab. 26 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - maximale Stundenkonzentration des Stickstoffdioxids ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

Punkt	DG S*)	2027 ohne neue Kernkraftanlage	2027 mit neuer Kernkraftanlage	2029 ohne neue Kernkraftanlage	2029 mit neuer Kernkraftanlage	2034 ohne neue Kernkraftanlage	2034 mit neuer Kernkraftanlage
Nahe Umgebung von EDU							
1	25	69.0	86.0	69.0	79.0	69.0	72.0
2	10	70.0	75.0	70.0	79.0	70.0	72.0
3	8	75.0	85.0	75.0	78.0	75.0	76.0
4	7	79.0	84.0	79.0	83.0	78.0	79.0
5	10	78.0	82.0	78.0	82.0	78.0	79.0
In Transitgemeinden							
S	18	55.0	68.0	50.0	70.0	50.0	55.0
D	9	72.0	75.0	72.0	80.0	72.0	73.0
R	8	73.0	82.0	72.0	77.0	72.0	73.0
J	6	57.0	58.0	55.0	68.0	55.0	57.0
H	14	69.0	70.0	69.0	75.0	69.0	71.0
K	16	75.0	77.0	75.0	81.0	75.0	76.0
M	6	75.0	79.0	74.0	77.0	74.0	75.0

Verhältnis 1: Gültiger Immissionsgrenzwert 200,0 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

2: Der bestehende Zustand des Hintergrunds geschätzt auf 80,0 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

*) Beitrag zur maximalen Stundenkonzentration unter dem Einfluss der Prüfung SBO DG EDU1-4

4.2.1.3 Charakteristik des Risikos

Aus der Tabelle 25 ist ersichtlich, dass in keinem der Referenzpunkte und in keinem Zeitraum der Anteil der neuen Kernkraftanlage an der Summe mit dem für den bestehenden Hintergrund festgelegten Grenzwert 40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ nicht übersteigt. Der höchste Anteil von 0,7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ wurde für Jamolice berechnet. Gemeinsam mit dem Hintergrund erreichen allerdings die Konzentrationen beim Wohnungsbaus die Niveaus bis 30 % des festgestellten Grenzwertes.

Ähnlich ist die Beurteilung der maximalen stündlichen Immissionskonzentrationen NO₂ (Tabelle 26). Der höchste Anteil, der hier vorkommt, beträgt 13,0 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ in Jamolice. In der Summe mit dem Hintergrund werden die Beiträge die gesamte Immissionskonzentration bis 86 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ bilden, d. h. 43 % des festgestellten Grenzwerts.

Wir können somit feststellen, dass im exponierten Wohngebiet die Anteile der neuen Kernkraftanlage an den durchschnittlichen und auch den maximalen Stundenkonzentrationen des Stickstoffdioxids in allen beurteilten Zeithorizonten gesundheitlich nicht bedeutsam sind.

4.2.2 Suspendierte Partikel in der Luft (PM₁₀ und PM_{2,5})

Außer den verschmutzenden Gasen kommen in der Luft gewöhnlich auch suspendierte Partikel (airborne particulate matter) von unterschiedlichen Typs, verschiedener Größe und Ursprung vor. Ihre Gesundheitsauswirkungen hängen vor allen von ihren chemischen, physikalischen und eventuell biologischen Eigenschaften ab. Bedeutung hat außerdem auch ihre Größe. Die Partikel über 100 µm werden beinahe komplett in den oberen Atemwegen aufgefangen, sie dringen nicht in die unteren Atemwege ein und sind somit gesundheitlich weniger bedeutsam. In der Luft halten sie nicht lange an, sie sedimentieren relativ schnell. Mit der sinkenden Größe wächst die Zeit ihres Verbleibs in der Luft und der Anteil der Partikel, die in die Lungen eindringen. Unter dem gesundheitlichen Aspekt werden in der bisherigen Praxis meistens Partikel mit einem Durchmesser von bis zu 10 µm beobachtet. Diese werden bei tieferer Untersuchung weiterhin nach groben Partikeln mit einem Durchmesser von 10 bis 2,5 µm, und feinen mit einem Durchmesser von 2,5 µm und kleiner sortiert. Sie werden mit der Abkürzung PM (particulate matter) und dem Index der oberen Grenze ihrer Abmessung, also als PM₁₀ bzw. PM_{2,5}, bezeichnet.⁵ Es können sowohl feste Stoffe als auch Tröpfchen von Flüssigkeiten sein. Die bei uns häufig verwendete Bezeichnung "feste verschmutzende Stoffe" (TZL) ist deshalb ungenau.

In der Fraktion PM₁₀ befinden sich üblicherweise Staub, Pollen, Sporen, Asche und Partikel von Pflanzen oder Insekten. Es entsteht vor allem bei mechanischen Prozessen wie Bauarbeiten und beim Aufwirbeln von Staubs durch die Verkehrsmittel und Wind. Unter der Berücksichtigung der Messung mit Hilfe eines Filters ist in dieser Klasse auch die Kategorie der kleineren, feinen Partikeln (PM_{2,5}) enthalten, zu denen u. a. auch sekundär gebildete Aerosole (durch Konversion von Gasen auf Partikel) zählen. Sie stammen überwiegend aus Verbrennungsprozessen. Sie können auch schwere Metalle, kohlenstoffhaltige Stoffe einschließlich der krebserregenden, Nitrite, Sulfate u. a. enthalten. Die Partikel aus der Fraktion PM_{2,5}, und insbesondere bei Abmessungen unter 1 µm dringen in 90 und mehr Prozenten in die Lungenbläschen ein und beeinflussen ihre Wände. Die enthaltenen Schadstoffe dringen hier einfach in den Blutkreislauf ein. Die Fraktion PM_{2,5} wird deshalb zurecht als gesundheitlich bedeutsamer als PM₁₀ betrachtet.

Das Verhältnis der groben und feinen Partikel kann in verschiedenen Städten und Standorten unterschiedlich sein. Üblicherweise wird das Verhältnis PM_{2,5}/ PM₁₀ mit 0,5 angegeben, in Städten der hoch entwickelten Länder bewegt es sich im Bereich 0,5 – 0,8.

4.2.2.1 Auswertung des Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs

Die Studie befasst sich mit den kurzfristigen (24-stündigen) und langfristigen (jährlichen) Expositionen beweisen eine ungünstige Auswirkung der suspendierten Partikel der Luft auf die Funktion und Gesundheit des Atemapparates und auch auf das Herz-Gefäß-System. Bei erhöhten Expositionen wurden wiederholt erhöhte Todesraten, eine größere Anzahl Fälle der Einweisung in ein Krankenhaus und weitere Auswirkungen ermittelt. Bezüglich der Sensibilität gegenüber den schädlichen Auswirkungen der suspendierten Partikel gibt es unter den Menschen große Unterschiede. Allgemein sind alte Menschen, Kinder und insbesondere Patienten, die unter Respirations- und kardiovaskulären Krankheiten leiden, sensibler. Besonders sensibel sind Asthmatiker.

Große Variabilität der suspendierten Partikel, die chemische und Größenzusammensetzung und auch die erwähnten großen Unterschiede in der Sensibilität von Menschen erschweren eine wissenschaftlich begründete Bestimmung von Grenzwerten. Bei beiden erwähnten Fraktionen war es nicht einfach beim städtischen Typ der Partikel eine Schwelle zu bestimmen, unter der niemand betroffen ist. Bei feinen Partikeln (PM_{2,5}) wird er knapp unter der Konzentration 3 – 5 µg.m⁻³ angenommen. Man kann nicht sicherstellen, dass alle Grenzwerte jederzeit jeden Menschen vor allen möglichen ungünstigen Gesundheitseffekten zuverlässig schützen können. Vielmehr geht es darum, sich um die Reduzierung von Staub auf ein erreichbares zu bemühen. Die Grenzwerte, falls angegeben, sind somit eher eine Konvention, die bei besonders sensiblen Menschen in geringem Umfang ungünstige Auswirkungen zulässt.

Auf der Basis der Analyse der modernen wissenschaftlichen Literatur führt die WHO Richtwerte der langjährigen Wirkung (jährliche Durchschnitte) der Fraktion PM_{2,5} von 10 µg.m⁻³ an, der praktisch erreichbar ist und dabei die Gesundheitsrisiken erheblich reduziert. Wir empfehlen dazu je nach der örtlichen Möglichkeit durch einen Komplex von progressiven Zielen zu kommen, die wir übersichtlich in der Tabelle 27 anführen. Wir führen auch die Äquivalente der inzwischen häufiger verwendeten Charakteristik von PM₁₀ an.

⁵ In der Fachliteratur werden manchmal auch ultrafeine Partikel mit einem Durchmesser bis 0,1 µm (PM_{0,1}) unterschieden

Tab. 27 Richtwerte und Zwischenziele für suspendierte Stoffe in der Luft: jährliche durchschnittliche Konzentrationen ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), WHO 2006

	PM ₁₀	PM _{2,5}	Kommentar
Ziel 1	70	35	Risiko der Sterblichkeit um ca. 15 % höher als beim Niveau AQG.
Ziel 2	50	25	Risiko der vorzeitigen Sterblichkeit um ca. 6 % niedriger als beim Ziel 1 ¹⁾ .
Ziel 3	30	15	Risiko der Sterblichkeit um ca. 6 % niedriger als beim Ziel 2 ¹⁾ .
AQG ²⁾	20	10	Grundlegender Richtwert

1) Außer anderen ungünstigen Auswirkungen auf die Gesundheit

2) Richtwert (air quality guideline)

Bei kurzfristiger (24-stündigen) Exposition wird in den Richtlinien WHO ein Anstieg der Sterblichkeit um ca. 0,5 % für jeden Anstieg um $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ PM₁₀ in der täglichen Konzentration angeführt. Bei der Konzentration $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ wird somit ungefähr ein fünfprozentiges Wachstum der täglichen Sterblichkeit vorausgesetzt. Auch hier sind progressive Ziele entwickelt worden (Tabelle 28).

Tab. 28 Richtwerte und progressive Ziele für suspendierte Stoffe in der Luft: 24-stündigen Konzentrationen ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), WHO 2006

	PM ₁₀	PM _{2,5}	Kommentar
Ziel 1	150	75	Risiko der kurzfristigen Sterblichkeit um ca. 5 % höher als bei AQG.
Ziel 2	100	50	Risiko der kurzfristigen Sterblichkeit um ca. 2,5 % höher als bei AQG.
Ziel 3	75	37,5	Risiko der kurzfristigen Sterblichkeit um ca. 1,2 % höher als bei AQG.
AQG ¹⁾	50	25	Basierend auf dem Verhältnis zwischen 24-stündigen und jährlichen Niveaus PM

1) Richtwert (air quality guideline)

Bei uns gilt der Grenzwert gemäß Ges. Nr. 201/2012 GBl., der für durchschnittliche jährliche Konzentrationen PM₁₀ $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ und für einen 24-stündigen Immissionsdurchschnitt von $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ beträgt, unter der Voraussetzung, dass er im Kalenderjahr höchstens 35 x in überschritten werden darf. Der Grenzwert für die durchschnittliche jährliche Konzentration von PM_{2,5} wird in der Höhe von $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ bestimmt.

4.2.2.2 Beurteilung der Exposition

Die Immissionskonzentrationen bei suspendierten Stoffen in den beurteilten Zeithorizonten sind in den Tabellen 29 (durchschnittlicher jährlicher PM₁₀), 30 (maximaler täglicher PM₁₀) und 31 (durchschnittlicher jährlicher PM_{2,5}) aufgeführt.

Tab. 29 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - durchschnittliche Konzentrationen von festen Stoffen der Fraktion PM₁₀ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

Punkt	Akt. Zustand	2027 ohne neue Kernkraftanlage	2027 mit neuer Kernkraftanlage	2029 ohne neue Kernkraftanlage	2029 mit neuer Kernkraftanlage	2034 ohne neue Kernkraftanlage	2034 mit neuer Kernkraftanlage
Nahe Umgebung von EDU							
1	19.8	19.8	23.1	19.8	20.4	19.8	19.7
2	20.7	20.7	22.7	20.7	21.2	20.7	20.7
3	21.0	21.0	23.0	21.0	21.7	21.0	21.0
4	20.9	20.9	24.0	20.9	21.8	20.9	20.9
5	20.7	20.7	21.2	20.7	20.8	20.7	20.7
In Transitgemeinden							
S	20.0	19.9	22.3	19.9	20.3	19.9	19.8
D	22.2	22.2	23.7	22.2	22.6	22.2	22.2
R	21.1	21.1	23.3	21.1	22.1	21.1	21.0

Punkt	Akt. Zustand	2027 ohne neue Kernkraftanlage	2027 mit neuer Kernkraftanlage	2029 ohne neue Kernkraftanlage	2029 mit neuer Kernkraftanlage	2034 ohne neue Kernkraftanlage	2034 mit neuer Kernkraftanlage
J	22.1	22.0	22.3	22.0	22.2	22.0	21.9
H	22.6	22.5	23.1	22.5	22.7	22.5	22.5
K	19.9	19.9	20.3	19.9	20.3	19.9	19.9
M	22.4	22.4	22.9	22.4	22.6	22.4	22.4

Bemerkung: 1. Gültiger Immissionsgrenzwert 40,0 µg.m⁻³

Tab. 30 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - maximale tägliche Konzentrationen von festen Stoffen der Fraktion PM₁₀ (µg.m⁻³)

Punkt	Akt. Zustand	2027 ohne neue Kernkraftanlage	2027 mit neuer Kernkraftanlage	2029 ohne neue Kernkraftanlage	2029 mit neuer Kernkraftanlage	2034 ohne neue Kernkraftanlage	2034 mit neuer Kernkraftanlage
1	70,0	69.6	880	69.6	132	69.5	71.2
2	70,0	70.0	540	70.0	126	70.0	70.6
3	70,0	70.2	550	70.2	106	70.3	70.9
4	70,0	70.2	370	70.2	92	70.2	70.6
5	70,0	70.1	340	70.1	93	70.1	70.6
In Transitgemeinden							
S	70,0	68.8	750	68.8	115	68.7	68.8
D	70,0	70.3	420	70.3	100	70.4	71.0
R	70,0	70.1	520	70.1	102	70.2	70.7
J	70,0	68.5	230	68.5	88	68.4	68.0
H	70,0	69.5	350	69.5	85	69.4	70.6
K	70,0	70.3	280	70.3	83	70.3	72.0
M	70,0	70.2	230	70.2	81	70.3	70.9

Bemerkung: 1. Gültiger Immissionsgrenzwert 50,0 µg.m⁻³

Tab. 31 Anzahlen der Überschreitung des Grenzwertes für die maximale Konzentration PM₁₀

Punkt	Akt. Zustand	2027 ohne neue Kernkraftanlage	2027 mit neuer Kernkraftanlage	2029 ohne neue Kernkraftanlage	2029 mit neuer Kernkraftanlage	2034 ohne neue Kernkraftanlage	2034 mit neuer Kernkraftanlage
1	8	16	8	9	8	8	8
2	10	15	10	11	10	10	10
3	10	16	10	12	10	10	10
4	10	19	10	12	10	10	10
5	10	11	10	10	10	10	10
In Transitgemeinden							
S	8	14	8	9	8	8	8
D	14	18	14	15	14	14	14
R	11	17	11	13	11	10	11
J	13	14	13	14	13	13	13
H	14	16	14	15	14	14	14

Punkt	Akt. Zustand	2027 ohne neue Kernkraftanlage	2027 mit neuer Kernkraftanlage	2029 ohne neue Kernkraftanlage	2029 mit neuer Kernkraftanlage	2034 ohne neue Kernkraftanlage	2034 mit neuer Kernkraftanlage
K	8	9	8	9	8	8	8
M	14	15	14	15	14	14	14

Bemerkung: Gültiger Immissionsgrenzwert: Überschreitung maximal 35x pro Jahr

Tab. 32 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - durchschnittliche Konzentrationen von festen Stoffen der Fraktion PM_{2,5} (µg.m⁻³)

Punkt	Akt. Zustand	2027 ohne neue Kernkraftanlage	2027 mit neuer Kernkraftanlage	2029 ohne neue Kernkraftanlage	2029 mit neuer Kernkraftanlage	2034 ohne neue Kernkraftanlage	2034 mit neuer Kernkraftanlage
1	15.9	15.9	16.2	15.9	16.0	15.9	15.9
2	16.6	16.6	16.8	16.6	16.7	16.6	16.6
3	16.9	16.9	17.1	16.9	17.1	16.9	16.9
4	16.7	16.7	17.0	16.7	16.9	16.7	16.7
5	16.5	16.5	16.6	16.5	16.5	16.5	16.5
In Transitgemeinden							
S	16.0	16.0	16.1	16.0	16.1	15.9	15.9
D	17.4	17.4	17.5	17.4	17.5	17.4	17.4
R	17.0	17.0	17.2	17.0	17.2	17.0	17.0
J	17.7	17.6	17.7	17.6	17.7	17.6	17.6
H	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
K	15.9	15.9	15.9	15.9	16.0	15.9	15.9
M	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8

Bemerkung: 1. Gültiger Immissionsgrenzwert 25,0 µg.m⁻³

4.2.2.3 Charakteristik des Risikos

Wie die Tabelle 29 zeigt, bewegen sich die Beträge des Vorhabens zu durchschnittlichen Konzentrationen PM₁₀ am Niveau von ca. 3 µg.m⁻³ und in der Summe mit dem Hintergrund dann höchstens von 24,0 µg.m⁻³ d. h. 60 % des festgelegten Grenzwerts. Aus dem Vergleich mit der Tabelle 27 ergibt sich, dass das angeführte Niveau sich nur mäßig über dem grundlegenden Richtwert der WHO befindet. Das ist momentan so und wird ohne große Änderungen in allen beurteilten Zeithorizonten und Kombinationen so sein. Die neue Kernkraftanlage hat keine bedeutsamen Auswirkungen.

Die Beiträge der neuen Kernkraftanlage zu den durchschnittlichen jährlichen Immissionskonzentrationen von PM_{2,5} im beobachteten Wohngebiet (Tabelle 32) sind im Verhältnis zum Grenzwert sehr niedrig, in der Summe erreichen sie mit dem Hintergrund bis 18 µg.m⁻³ (d. h. 72 % des Grenzwerts). Sie liegen also moderat über dem Niveau des dritten progressiven Ziels der WHO (Tabelle 27). Auch hier gilt allerdings, dass es um die gegenwärtige Situation handelt, die auch in der Zukunft andauert und dass die neue Kernkraftanlage praktisch keine Auswirkungen hat.

Wichtiger sind die Angaben zu den maximalen kurzfristigen (24-stündige) Konzentrationen von PM₁₀ (Tabelle 30). Der aktuelle Zustand ist da über dem Grenzwert (um 40 %) und hält sich auf einem ähnlichen Niveau auch in zukünftigen Zeithorizonten, falls sich der Bau der neuen Kernkraftanlage nicht auswirkt. Es entspricht dem progressiven Ziel 3 gemäß WHO (siehe Tabelle 28), dass es gegenüber dem grundlegenden Richtwert von 50 µg.m⁻³ die kurzfristige Sterblichkeit um 1,2 % erhöht. Die Beiträge aus dem Bau des Vorhabens verschlechtern die gegebene Situation wesentlich, insbesondere im Jahr 2027 (Terrain- und Grabungsarbeiten) und in geringerem Umfang im Jahr 2029 (höchste Belastung durch Fahrzeugverkehr). Im Jahr 2027 bewegen sich die maximalen kurzfristigen Immissionen von PM₁₀ im nächsten Wohngebiet z. B.

auf den Niveaus 340 bis 880 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (d. h., ca. das 7-fache bis 18-fache des festgelegten Grenzwerts). Es geht um sehr hohe Werte, der Autor ergänzte dazu auf Anfrage auch die Angaben über die Anzahl der Überschreitung des Grenzwerts pro Jahr (Tabelle 31). Gemäß diesem Kriterium sollten in allen Referenzpunkten die Anforderung des Gesetzes Nr. 201/2012 GBl. eingehalten werden.

Zu den angeführten hohen Werten der kurzfristigen maximalen Konzentrationen von PM_{10} führt der Autor an, dass sie vor allem (bis zu 90 %) die Folge des Transportes des Bodens sind. Er empfahl einige Maßnahmen (vor allem die Befestigung der Baustellenverkehrswege und ihre regelmäßige Bewässerung und Reinigung, und weiterhin eine Geschwindigkeitsbegrenzung auf der Baustelle), durch deren Anwendung man eine bedeutende Reduktion der Emissionen und die Reduzierung des Beitrags zu den maximalen täglichen Konzentrationen beim nächsten Wohnbau auf das Niveau von ca. 50-100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ und bei weiteren Maßnahmen auch unter 50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ erwarten kann.

Diese Schlussfolgerungen können übernommen und im gegebenen Zeitraum eine besondere Sorgfalt und die Kontrolle der empfohlenen Maßnahmen gefordert werden. Es ist u. a. auch trotzdem akzeptabel, weil die Tage mit dem Risiko einer hohen maximalen Konzentration eher nur ausnahmsweise vorkommen werden, in Zeiträumen einer besonders ungünstigen Kombination der meteorologischen Bedingungen.

4.2.3 Benzol

Benzol (C_6H_6) ist eine klare, farblose, flüchtige und brennende Flüssigkeit mit einem kräftigen aromatischen Geruch und einem Siedepunkt von 80,1°C. In der Umwelt ist es überall anwesend, es entsteht bei jeder Brennstoffverbrennung, es ist ein Bestandteil der Abgase und in einer relativ bedeutenden Menge ist es im Tabakrauch enthalten (ein Raucher von 20 Zigaretten am Tag atmet 10 x mehr vom Benzol ein als ein normaler Einwohner in städtischer Luft). Im Motorbenzin ist es in einer Menge von 0,5 bis 2 % vertreten.

In hohen Konzentrationen reizt das Benzol Augen, Schleimhäute der Atemwege und die Haut und bei akuten Dosen wirkt es giftig auf das zentrale Nervensystem. Bei chronischen Expositionen hoher Dosen dämpft es die Bildung von Blutkörperchen im Knochenmark. Aus epidemiologischen Studien bei Arbeitern, die langfristig hohen Konzentrationen des Benzols ausgesetzt sind (früher in der Leder verarbeitenden und Gummiindustrie) wurde festgestellt, dass langfristiges Einatmen von niedrigen Dosen eine kumulative Wirkung hat und das Risiko der akuten myeloiden Leukämie erhöht. Die amerikanische Behörde für den Umweltschutz (US EPA) und auch die internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) ordnen das Benzol bei den menschlichen Karzinogenen ein.

4.2.3.1 Auswertung des Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs

Der bei uns gültige Immissionsgrenzwert der jährlichen durchschnittlichen Konzentration des Benzols in der freien Luft beträgt gemäß der oben angeführten Regierungsverordnung 5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Zur Durchführung einer Risikoanalyse stehen Koeffizienten zur Verfügung, die von der amerikanischen Behörde für den Umweltschutz (US EPA) veröffentlicht wurden, und die eine Schätzung des inhalativen Einheitsrisikos im Bereich von $7,1 \times 10^{-3}$ bis $2,5 \times 10^{-2}$ auf 1 ppm (3,19 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) des Benzols in der Luft anführt, was umgerechnet UR 2,2 bis $7,1 \cdot 10^{-6}$ na 1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ entspricht. Dieser Wert bedeutet, dass wenn 1 Million Menschen lebenslang Luft mit der Konzentration 1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ Benzol einatmen würden, würden davon zusätzlich 2,2 bis 7,1 Personen an Leukämie sterben. Dazu führt die US EPA im Kommentar an, dass das tatsächliche Risiko durch die Benzolexposition derzeit unter der Berücksichtigung der Unsicherheit in Expositionsszenarios bei niedrigen Konzentrationen und unzureichenden Kenntnissen über den Wirkungsmechanismus nicht bestimmt werden kann. Damit wird begründet, dass die Koeffizienten nicht mit einer Zahl, sondern in einem Intervall festgelegt werden, und es wird betont, dass alle Werte innerhalb des angeführten Intervalls über die gleiche wissenschaftliche Validität verfügen.

WHO (2000) führt für Exposition von 1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ Benzols ein lebenslanges Leukämie-Risiko von 6×10^{-6} an.

4.2.3.2 Beurteilung der Exposition

Da es im Falle des Benzols um chronische kumulative Auswirkungen geht, hat es hier keinen Sinn, kurzfristige Höchstwerte zu beurteilen, ausschlaggebend sind die jährlichen Durchschnitte. Ihre berechneten Werte für die oben beschriebenen Referenzwerte am beurteilten Standort führen wir in der Tabelle 33 an.

Tab. 33 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - durchschnittliche Konzentrationen des Benzols ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

Punkt	Akt. Zustand	2027 ohne neue Kernkraftanlage	2027 mit neuer Kernkraftanlage	2029 ohne neue Kernkraftanlage	2029 mit neuer Kernkraftanlage	2034 ohne neue Kernkraftanlage	2034 mit neuer Kernkraftanlage
1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
5	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
In Transitgemeinden							
S	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
D	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
R	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
J	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
H	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
K	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
M	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

Bemerkung: 1. Gültiger Immissionsgrenzwert $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

4.2.3.3 Charakteristik des Risikos

Aus der Tabelle 33 wird deutlich, dass sich in der Summe der Immissionskonzentrationen vom Benzol des lokalen Hintergrunds und der Beiträge aus der neuen Kernkraftanlage die resultierenden Belastungen der lokalen Bewohner durch das Benzol auf Niveaus nahe 26 % des festgelegten Grenzwertes bewegen. Sie sind deshalb aus gesundheitlicher Sicht akzeptabel. Die neue Kernkraftanlage hat keine bedeutsamen Auswirkungen.

4.2.4 Benzo(a)pyren

Benzo(a)pyren (BaP) ist der bekannteste und am besten untersuchte Repräsentant der Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAU). Es geht um eine Gruppe organischer Verbindungen mit zwei oder mehr kondensierten Benzolkernen.

Es sind relativ gering wasserlösliche Stoffe, in der Luft werden sie durch feste Partikel adsorbiert. Sie bilden sich hauptsächlich in Folge von Pyrolyseprozessen, insbesondere bei unvollständiger Verbrennung organischer Materialien. In die Umwelt gelangen sie insbesondere im Zusammenhang mit der Herstellung von Koks, der Kohleverbrennung bei individueller Heizung und in der Industrie, und auch mit den Abgasen von Motorfahrzeugen. Hohe Konzentrationen von PAU sind ebenfalls im Tabakrauch enthalten. In der Luft wurden um 500 PAU identifiziert, die meisten in der Literatur angeführten Messungen wurden allerdings bei BaP und einigen wenigen weiteren Repräsentanten dieser Gruppe durchgeführt. In der Luft der europäischen Städte werden die Konzentrationen von BaP am häufigsten im Bereich von ungefähr von 1 bis $10 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ angegeben. Das Einatmen von PAU kann laut Literatur zur Entstehung vom Lungenkrebs beitragen.

4.2.4.1 Auswertung des Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs

Der Immissionsgrenzwert für BaP ist bei uns gemäß dem Gesetz Nr. 201/2012. für den jährlichen Durchschnitt festgelegt und beträgt $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$.

Die Risikoeffizienten für inhalatives Benzo(a)pyren sind von internationalen Institutionen erfasst.

4.2.4.2 Beurteilung der Exposition

Die berechneten durchschnittlichen jährlichen Immissionskonzentrationen des Benzo(a)pyrens in den beobachteten Punkten führen wir in der Tabelle 34 an.

Tab. 34 Ergebnisse der Änderung der Immissionsbelastung für ausgewählte Berechnungspunkte - durchschnittliche Konzentrationen des Benz(a)pyrens (ng.m⁻³)

Punkt	Akt. Zustand	2027 ohne neue Kernkraftanlage	2027 mit neuer Kernkraftanlage	2029 ohne neue Kernkraftanlage	2029 mit neuer Kernkraftanlage	2034 ohne neue Kernkraftanlage	2034 mit neuer Kernkraftanlage
1	0.44	0.44	0.44	0.44	0.45	0.44	0.44
2	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
3	0.55	0.55	0.55	0.55	0.56	0.55	0.55
4	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
5	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
In Transitgemeinden							
S	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
D	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
R	0.56	0.56	0.56	0.56	0.57	0.56	0.56
J	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
H	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
K	0.43	0.43	0.43	0.43	0.44	0.43	0.43
M	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72

Bemerkung: 1. Gültiger Immissionsgrenzwert 1 ng.m⁻³

4.2.4.3 Charakteristik des Risikos

Aus der Tabelle 34 ergibt sich, dass die Beiträge des Vorhabens zu den durchschnittlichen jährlichen Immissionskonzentrationen BaP in der Summe mit dem Hintergrund bereits in der Gegenwart unter dem Grenzwert liegen (bis 72 % des festgelegten Grenzwerts). Dieses Niveau behalten sie auch in allen beurteilten zukünftigen Zeithorizonten bei, wobei die Beteiligung des Vorhabens keine bedeutsamen Auswirkungen auf diesen Zustand hat. Auch im Verhältnis zu den Konzentrationen von BaP kann man somit das Vorhaben aus gesundheitlicher Sicht akzeptieren.

4.2.5 Schlussfolgerungen zum Artikel über die Luft

Insgesamt kann zur Verschmutzung der Luft durch den Einfluss des Vorhabens festgestellt werden, dass bei meisten beurteilten Schadstoffen ihre Konzentrationen in der Luft zur Zeit des Baus und auch zur Zeit des Betriebs im Zusammenwirken mit dem Hintergrund unter dem Grenzwert bleibt. Eine Ausnahme sind die übermäßigen maximalen kurzfristigen Konzentrationen von PM₁₀ in einigen Phasen des Baus des Vorhabens. Unter Berücksichtigung der Seltenheit ihres Vorkommens und der erwarteten Wirksamkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen ist es möglich, aus der gesundheitlichen Sicht auch diese Belastungen zu akzeptieren.

4.3 Lärm

Der Lärm gehört zu typischen und schwerwiegenden schädlichen Faktoren der Umwelt der hochentwickelten Länder. Bereits die Lärmpegel, die sich in der Nähe der grundlegenden Grenzwerte bewegen, wirken sich auf die gesamte exponierte Bevölkerung aus. Heutzutage ist somit ein wesentlicher Teil der Bevölkerung unserer Städte betroffen. Unter den Menschen gibt es allerdings große Unterschiede bei der Lärmempfindlichkeit je nach den individuellen Eigenschaften des Nervensystems, Gesundheitszustand, Alter u. a. Der Anteil der Personen, die ausdrücklich für Lärm empfindlich sind, wird auf 5 bis 8 % unsere Bevölkerung geschätzt. Auf der anderen Seite gibt es eine ähnlich große Gruppe von Menschen, die gegenüber Lärm relativ widerstandsfähig sind. Beim Rest der Bevölkerung steigt die Wirkung mit der

wachsenden Lärmintensität (allerdings auch in der Abhängigkeit von einer Reihe weiterer Faktoren). Die störende Auswirkung des Lärms variieren je nach Tageszeit und Nachtzeit.

Erhöhte **tägliche Lärmpegel** wirken sich vor allem auf dem Nervensystem und die Psyche des Menschen aus. Zugleich können sie sich bei intensiver Auswirkung auch an psychosomatischen Störungen beteiligen.

Folgen

- ▶ Störung, falls sie mit einer Tätigkeit oder Erholung interferieren (geistige Arbeit, gesprochene Kommunikation, Schlaf u. a.),
- ▶ Missstimmung, Unruhe, Widerstand und Missfallen, die bei gezwungenem Wahrnehmen von Geräuschen entstehen, gegenüber denen das Individuum eine ablehnende Haltung einnimmt,
- ▶ Gefühl einer Belästigung durch unzulässige Beeinflussung der Umwelt und der persönlichen Gruppenrechte,
- ▶ Änderungen des sozialen Verhaltens (in lauter Umgebung sinkt die Rücksichtnahme, die Bereitschaft, Hilfe zu leisten und die Fähigkeit zu kooperieren, Erregung und Aggressivität steigen).

Das subjektive Gefühl der Missstimmung wegen Lärm und Lärmbelästigung ist durch den emotionalen Bestandteil der Wahrnehmung gegeben. Die Aufgeregtheit, die in diesem Zusammenhang entsteht, führt zum Gefühl eines Diskomforts bis Widerstands, eine Folge stellt die Verschlechterung des psychischen Komforts dar. Das emotionale Erlebnis ist grundsätzlich nicht von der Intensität des Lärmimpulses abhängig. Gefühle der Belästigung kommen allerdings öfter in einer Umgebung mit höheren Lärmpegeln vor.

Direkte gesundheitliche Auswirkungen (auf das Herz-Kreislaufsystem, auf das Gehör u. a.) treten erst bei höheren Intensitäten auf. Der äquivalente Pegel von 65 dB in der Tageszeit stellt die Grenze für ein bewohntes Umfeld einer Siedlungsformation aus der Perspektive der direkten Gesundheitsrisiken dar. Ein günstiges akustisches Klima ist aus der Sicht des akustischen Komforts für die Regeneration der Arbeitsfähigkeit beim Aufenthalt im Freien durch ein äquivalentes Niveau von weniger als 50 bis 55 dB gegeben. Bei höheren Werten kommt es zur oben genannten Störung des psychischen Komforts.

Nicht einmal bei der Einhaltung des Basis-Grenzwerts von 50 dB ist ein voller Schutz sensibler Menschen sichergestellt, ca. 10 % der Menschen erleben somit auch das Gefühl der Missstimmung aufgrund von Lärm.

Erhöhte **nächtliche Lärmpegel** wirken sich bei der exponierten Bevölkerung dahingehend aus, dass sie das Einschlafen und die Qualität und Länge des Schlafs stören. Die Wirkung hängt von der individuellen Sensibilität der Menschen ab, die wesentlich unterschiedlich ist. Die Differenz der Auswirkungen durch Tonimpulse beträgt 25 und auch 30 dB. Neben den Besonderheiten der Konstitution wird hier auch das Alter berücksichtigt. Im Alter erhöht sich wesentlich die Empfindlichkeit für Schlafstörungen. Einen gewissen Schutz bietet im Alter andererseits die Reduzierung der Gehörschärfe. Bedeutung hat auch die Frequenzbreite des Lärms, breitbandiger Lärm wirkt intensiver. Mit wachsender Intensität des Lärms wächst der Prozentsatz der Behinderten. Auf der anderen Seite verringert sich bei manchen Menschen die Empfindlichkeit durch schrittweise Gewöhnung.

Ruhiger und ungestörter Schlaf ist eine notwendige Voraussetzung der Aufrechterhaltung der Gesundheit und der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit. Seine Qualität wird durch den Lärm gestört, auch wenn der betroffene Mensch nicht aufwacht (bzw. er ist sich des kurzfristigen Aufwachens nicht bewusst), der Schlaf ist allerdings weniger tief und die Schlafphasen, die am bedeutendsten für die Regeneration der Kräfte sind (SWS und REM) werden eingeschränkt. Falls sich der Mensch des Aufwachens bewusst ist, treten häufig Schwierigkeiten mit wiederholtem Einschlafen und der damit verbundenen Missstimmung und das Gefühl eines Gesundheitsschadens vor. In Experimenten wurden nach einer solchen Nacht am folgenden Tag verringerte Aufmerksamkeit, Leistungsfähigkeit und Konzentrationsfähigkeit nachgewiesen. Der Lärmpegel im Schlafzimmer, der die Schlafefigenschaften nachweislich nicht ändert, beträgt 35 - 37 dB(A), über diesem Niveau tritt die Störung ein.

Auf der Grundlage der Erkenntnisse in der Fachliteratur gehen wir in bei weiterer Beurteilung eindeutig von den Basis-Grenzwerten der äquivalenten Lärmpegel, d. h. 50 dB am Tag und 40 dB in der Nacht aus. Die erhöhenden Korrekturen, ermöglicht durch bestehende Vorschriften (Regierungsverordnung Nr. 272/2011 GBl., in der geltenden Fassung), haben rechtliche, jedoch keine physiologische Bedeutung. Menschen werden durch Lärm eines bestimmten Niveaus unabhängig davon belästigt, ob an gegebener Stelle eine Korrektur genehmigt wurde oder nicht.

4.3.1 Bestimmung des Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs

Zur Messung und Prognose der störenden und gesundheitsschädlichen Auswirkungen von Lärms gibt es eine Reihe von Methoden, einschließlich relativ komplexer mathematischer Verfahren. In der Praxis eignet sich die Übersicht der Schwellenwerte der Lärmexposition im Außenbereich für diejenigen Lärmauswirkungen, die heutzutage bereits als ausreichend bewiesen betrachtet werden. Diese Schwellenwerte gibt (gemäß den Unterlagen der WHO) die Autorisationsanleitung SZÚ zur Beurteilung des gesundheitlichen Risikos der Lärmexposition an (Praha, 2007). Wir führen sie für die Tageszeit in der Tabelle 35, für die Nachtzeit in der Tabelle 36 an.

Tab. 35 Schwellenwerte der nachgewiesenen Auswirkungen der Lärmbelastigung – Tageszeit (L_{Aeq, 6-22 Uhr})

Ungünstige Auswirkung	dB					
	<50	50-55	55-60	60-65	65-70	70+
Hörbehinderung						
Schlechtere Aneignung der Sprache und des Lesens bei Kindern						
Ischämische Herzkrankheit						
Schlechtere Sprachkommunikation						
Starke Belästigung						
Mäßige Belästigung						

Tab. 36 Schwellenwerte der nachgewiesenen Auswirkungen der Lärmbelastigung – Nachtzeit (L_{Aeq, 22-6 Uhr})

Ungünstige Auswirkung	dB					
	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60+
Schlechtere Laune und Leistung am folgenden Tag						
Subj. wahrgenommene schlechtere Schlafqualität						
Erhöhte Einnahme von Beruhigungsmitteln						
Belästigung durch Lärm						

4.3.2 Bewertung der Exposition

In diesem Aufsatz gehen wir von der Lärmstudie (Amec Foster Wheeler, Oktober 2016) aus. Sie beurteilt einerseits die (bestehende) Hintergrund-Lärmsituation des betroffenen Gebietes, andererseits die vorausgesetzten Lärmauswirkungen verbunden mit dem Betrieb der stationären, Linien- und flächigen Lärmquellen während des Baus und auch des Betriebs der neuen Kernkraftanlage. Sie beurteilt die Niveaus einerseits in der nächsten Umgebung der neuen Kernkraftanlage (Tabelle 37) und andererseits in Transitgemeinden.

Tab. 37 Referenzpunkte für die Beurteilung des Lärms aus der neuen Kernkraftanlage

Punkt	Platzierung
1	Dukovany Konskriptions-Nr. 270
2	Slavětice Konskriptions-Nr. 51
3	Kordula Konskriptions-Nr. 153
4	Rouchovany Konskriptions-Nr. 284
5	Mohelno Konskriptions-Nr. 327

Die Ergebnisse werden einerseits numerisch in angeführten Referenzpunkten, andererseits in sehr detaillierten Lärmlandkarten angeführt. Hier nutzen wir die Angaben über die Referenzpunkte, denn sie charakterisieren ausreichend schlüssig die Lärmbelastungen in exponierten Schutzgebieten.

Die Lärmstudie beurteilt die stationären Quellen (Kühltürme, Maschinenräume, Transformatoren, Diesel-Generatorstationen, Niederdruck-Kompressionsstation u. a.), außerdem den Fahrzeugverkehr auf den Areal-/zweckmäßigen Verkehrswegen und auch den Fahrzeugverkehr des öffentlichen Verkehrsnetzes, und das alles in der Gegenwart und perspektivisch für ausgewählte Zeithorizonte. Insbesondere werden dann als Lärmquellen der Bauarbeiten beurteilt.

Die Ergebnisse werden in drei selbstständigen Kapiteln präsentiert: Lärm des Kraftwerksbetriebs, Lärm der Bautätigkeit und Verkehrslärm des Verkehrs auf öffentlichen Verkehrswegen.

4.3.2.1 Lärm des Kraftwerksbetriebs

Die Übersicht der Lärmpegel aus dem Betrieb der stationären Quellen in dem am meisten betroffenen externen Schutzgebiet der Bauten des nächsten Wohnbaus, charakterisiert durch die Referenzpunkte, in unterschiedlichen Zeitphasen führen wir in der Tabelle 38 an.

Tab. 38 Beiträge aus stationären Quellen zu den lokalen Lärmpegeln im nächsten Wohngebiet

Punkt)	Bestehender Zustand		Perspektivischer Zustand		NKKA + EDU1-4	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
1-1	30,9	30,9	19,5	19,5	35,8	35,5
1-2	31,2	31,2	19,0	19,0	36,0	35,7
2-1	33,5	33,5	40,9	38,4	39,1	38,8
3-1	26,8	26,9	25,1	25,1	34,9	34,3
4-1	29,0	29,0	33,4	33,4	34,6	34,6
5-1	23,4	23,4	18,0	18,0	31,5	31,2
5-2	23,6	23,6	18,3	18,3	31,6	31,3

Bemerkung: *) Punkt-Nr. - Etage

In der Spalte Bestehender Zustand sind die Auswirkungen der Lärmquellen aus dem Areal EDU1-4, einschließlich der Schaltanlage Slavětice und der nicht öffentlichen Arealverkehrswege angegeben.

Die Spalte Perspektivischer Zustand geht von der Anordnung der Objekte der neuen Kernkraftanlage gemäß Basisplanungsgrundlage aus. Der Lärm durch den Betrieb von EDU1-4 ist nicht miteinbezogen. Auch hier wurden die Schaltanlage Slavětice (nach ihrer Erweiterung) und die Bewegung der Fahrzeuge auf nicht öffentlichen Arealverkehrswegen berücksichtigt. Außer der Basisplanungsgrundlage wurden 4 Alternativen der abweichenden Anordnung der Kühltürme berechnet. Alle erzeugen Lärmpegel, die niedriger sind als die Basisplanungsgrundlage, deshalb kommentieren wir sie hier nicht näher. Es wurde auch der mögliche Einfluss auf die Änderungen der Höhenpositionierung der Türme bis um 5 m erfasst. Er ist vernachlässigbar.

In der letzten Spalte der Tabelle neue Kernkraftanlage + EU1-4 geht es um die Beurteilung der Auswirkungen des vorübergehenden Zustands des Parallellaufs des bestehenden Kernkraftwerks mit einem neuen Produktionsblock mit 2 Kühltürmen, einschließlich der erweiterten Schaltanlage Slavětice.

4.3.2.2 Lärm der Bautätigkeit

Für die Bautätigkeit beim Bau der neuen Kernkraftanlage unterscheidet die Lärmstudie zwei akustisch bedeutsame Abschnitte: den Zeitraum der groben Terrainanpassungen mit bedeutenden Verschiebungen der Muttererde und des Bodens, und den eigentlichen Bau der neuen Kernkraftanlage, charakterisiert durch intensive Betonarbeiten.

Der akustisch intensivste Zeitraum wird der Zeitraum der groben Terrainanpassungen in Folge des Einsatzes der Maschinen beim Abbau und Transport des Bodens sein. Es wird sich auch die hohe Umschlagshäufigkeit der Lastkraftwagen beim Abtransport des Bodens auf die Deponie auswirken. Der Beitrag des Vorhabens zu den lokalen Lärmpegeln bewegt sich im nächsten Wohngebiet im Bereich des Niveaus 50 dB oder darunter.

Die Berechnungen der Beiträge des Vorhabens zu den lokalen Lärmpegeln im anschließenden Zeitraum der Betonierung sind günstiger, im nächsten Wohngebiet bewegen sie sich um das Niveau von ca. 35 bis 45 dB. Im Großen und Ganzen wird die relativ günstige Situation nicht einmal durch die betrachteten Möglichkeiten der Anlieferung von Materialien für den Bau beeinflusst.

4.3.2.3 Lärm des Verkehrs auf öffentlichen Verkehrswegen

Die Lärmstudie beurteilt die Lärmbelastungen exponierter Wohnhäuser in Transitgemeinden, in denen man zum Zeitpunkt des Baus der neuen Kernkraftanlage höhere Verkehrsfrequenzen erwarten kann. Insgesamt wurden 153 Referenzpunkte in 44 Gemeinden ausgewertet (Branišovice, Březník, Dalešice, Dobelice, Dolní Kounice, Dukovany, Horní Dubňany, Hostěradice, Míšovice, Hrotovice, Ivančice, Jamolice, Jinošov, Kožichovice, Kramolín, Kralice, Kuroslepy, Moravské Bránice, Mohelno, Moravský Krumlov, Myslibořice, Náměšť nad Oslavou, Neslovice, Olbramovice, Petrovice, Pohořelice, Polánka, Prosiměřice, Račice, Rešice, Rouchovany, Rybníky, Sedlec, Slavětice, Suchohrdly, Tetčice, Třeбенice, Třesov, Tulešice, Valeč, Vémyslice, Vícenice, Vítonice).

Die Angaben über die Lärmbelastungen im Zeitraum des größten Anstiegs des Fahrzeugverkehrs (2029 mit dem Bau der neuen Kernkraftanlage) zeigten dabei, dass die meisten angeführten Gemeinden von den Auswirkungen des Vorhabens nicht bedeutsam betroffen sein werden (siehe Tabelle 26 in der Lärmstudie). Von der weiteren Beurteilung nehmen wir deshalb die Gemeinden aus, bei denen für den gegebenen Zeitraum ein Anstieg der Lärmpegel bis 1,5 dB berechnet wurde. Diesen Unterschied betrachten wir als unbedeutend, man kann ihn kaum sinnlich oder als gesundheitliche Auswirkung erfassen und er ist im Rahmen des gewöhnlichen Fehlers der Messung. Das gilt für die Gemeinden Branišovice, Dalešice, Hostěradice, aus Ivančice Punkte 3-1, 3-2, 5-1, 6-1 und 6-2, Jinošov, Kožichovice, Kuroslepy, Moravský Krumlov, Myslibořice, Náměšť nad Oslavou, Neslovice, Olbramovice, Petrovice, Pohořelice, Prosiměřice, Račice, Suchohrdly, Tetčice, Třeбенice, Valeč und Vítonice.

Die weitere Beurteilung orientiert sich somit an 21 durch den Lärm stärker belastete Gemeinden (Březník, Dobelice, Dolní Kounice, Dukovany, Horní Dubňany, Hrotovice, Ivančice, Jamolice, Kramolín, Kralice, Moravské Bránice, Mohelno, Polánka, Rešice, Rouchovany, Sedlec, Slavětice, Třesov, Tulešice, Vémyslice und Vícenice) mit insgesamt 98 Referenzpunkten.

Der Gegenstand unseres Interesses ist nicht das Niveau der Lärmpegel an einzelnen Standorten selbst, sondern vor allem der Maß der Änderung, die Tätigkeit im Zusammenhang mit dem Vorhaben der neuen Kernkraftanlage hervorgerufen wird. Bemerkenswert ist hier einerseits der Zeitraum des Baus, andererseits der Zeitraum des Betriebs nach der fertiggestellten Realisierung.

Im **Zeitraum des Baus** können höhere Lärmbelastungen aus dem Verkehr im betrachteten Horizont des Jahres 2029 erwartet werden. Die Übersicht der grundlegenden relevanten Angaben über diesen Zeitraum führen wir in der Tabelle 39 an, und dies nur für die Tageszeit, auf die die Tätigkeiten im Zusammenhang mit dem Bau der neuen Kernkraftanlage beschränkt sind. Bei einzelnen Gemeinden geben wir die Spannweite der Lärmpegel, die in ihren einzelnen Referenzpunkten vorkamen an und in der letzten Spalte die Spannweite der durch den Bau hervorgerufenen Änderungen.

Tab. 39 Lärmpegel (dB) in exponierten Transitgemeinden zur Tageszeit im Horizont des Jahres 2029 mit Beteiligung des Baus der neuen Kernkraftanlage und ohne sie

Gemeinde	Ohne neue Kernkraftanlage	Mit neuer Kernkraftanlage	Unterschied von:bis
Březník	59,6-61,5	61,3-63,1	+1,6 : +1,7
Dobelice	66,0	69,3-69,4	+3,3 : + 3,4
Dolní Kounice	64,6-67,3	66,7-69,9	+2,1 : +2,6
Dukovany	60,4-63,3	63,4-66,2	+2,9 : +3,0
Horní Dubňany	58,7-62,4	61,8-65,6	+3,1 : +3,2
Hrotovice	60,5-67,8	62,0-69,3	+1,4 : +1,6
Ivančice	67,4-73,2	69,4-74,8	+1,6 : +2,0
Jamolice	63,7-66,8	67,6-70,7	+3,9 : +4,0
Kramolín	49,5-59,4	53,3-64,1	+3,8 : 4,7
Kralice	59,5-62,9	61,3-63,8	+0,9: +1,8
Moravské Bránice	67,7-69,5	70,0-71,4	+ 1,7 : +2,1
Mohelno	56,3-62,9	58,2-63,6	+1,9
Polánka	62,6-65,7	65,2-69,4	+1,1 : +3,7
Rešice	60,3-62,2	66,1-68,0	+5,8
Rouchovany	57,6-64,0	63,3-68,0	+3,8 : +5,8
Sedlec	61,8	65,5	+3,2
Slavětice	64,4-69,2	67,6-72,5	+2,9 : +3,3
Třesov	58,7-59,3	61,7-62,1	+2,8 : +3,0
Tulešice	60,7-63,8	65,0-68,0	+4,2 : +4,4
Vémyslice	61,7-65,5	65,6-68,4	+2,9 : +3,9
Vícenice	61,3-61,4	64,4-64,5	+3,1

Bezüglich **des Zeitraums des Betriebs** ergibt sich den Berechnungen der Lärmpegel mit der neuen Kernkraftanlage und ohne sie im Zeithorizont 2034 gemäß Lärmstudie, dass die Beteiligung der neuen Kernkraftanlage die lokalen Lärmpegel in den Gemeinden höchstens um einige Hundertstel dB erhöht. Solche Verschiebung vermisst jegliche gesundheitliche Bedeutung, und deshalb belegen wir sie hier nicht durch eine Beschreibung der Änderungen in den einzelnen Gemeinden.

4.3.3 Charakteristik des Risikos

Die Lärmbeiträge **aus stationären Quellen** (Tabelle 38) sind in allen beurteilten Kombinationen niedrig und können nicht das gesamte Niveau der lokalen Lärmbelastungen (durch Hinzurechnen zum Hintergrund) beeinflussen. Sie haben deshalb keine gesundheitliche Bedeutung.

Der Lärm **aus der Bautätigkeit**, wie wir oben anführten, produziert Beiträge zu den lokalen Lärmpegeln im nächsten Wohngebiet im Bereich eines Lärmpegels von 50 dB oder darunter. Falls der lokale Lärmhintergrund unter dem Limit ist, was man voraussetzen kann, werden die Beiträge gesundheitlich akzeptabel sein, und umso mehr, da es um vorübergehende und kurzfristige Belastungen geht.

Noch günstigere Ergebnisse ergeben sich aus den Berechnungen zum Zeitpunkt der Betonierung.

Bedeutsamere Situationen stellen wir im Laufe des Baus im Zusammenhang mit **dem Verkehr auf den öffentlichen Verkehrswegen** in exponierten Transitgemeinden fest. Vor allem hier finden wir in einem Teil der Gemeinde relativ hohe Lärmbelastungen auch ohne die Teilnahme der neuen Kernkraftanlage. Das betrifft am meisten Ivančice mit Pegeln bis 73,2 dB, Moravské Bránice (bis 69,5 dB), Slavětice (bis 62,9 dB), Hrotovic (bis 67,8 dB) und Dolní Kounice (bis 67,3 dB). Der Vergleich mit der Tabelle 35 zeigt, dass hier bereits die Zone der direkten gesundheitlichen Auswirkungen beginnt (das Risiko der ischämischen Herzkrankheit). Auch wenn in diesen Gemeinden die Beiträge des Baus der neuen Kernkraftanlage relativ klein sind, verschieben sie die Lärmpegel im Inneren der genannten kritischen Zone. In diesen Gemeinden sollten besonders sorgfältig Schutzmaßnahmen ergriffen werden (Anpassung der Verkehrswege, Erhöhung

der Kontinuität und die Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit u. a.). In sonstigen Fällen ändern die nicht bedeutsamen Beiträge des Baus der neuen Kernkraftanlage die Platzierung des gegebenen Standortes in einer bestimmten Zone der Lärmbelastung nicht. Unter Berücksichtigung dessen, dass es sich um vorübergehende Auswirkungen handelt, kann es in Bezug auf die Gesundheit als akzeptabel betrachtet werden.

4.4 Elektrische und magnetische Felder

4.4.1 Charakteristik der magnetischen Felder

Verschiedene Quellen, natürliche und auch vom Menschen geschaffene, verbreiten in ihrer Umgebung elektromagnetische Strahlung. Der von dieser Strahlung betroffene Raum wird als elektromagnetisches Feld (ELM) bezeichnet. Es gibt viele Arten solcher Felder, die sich durch ihren Charakter und ihre Auswirkungen unterscheiden. Ihre Eigenschaften sind durch die charakteristische produzierte Strahlung gegeben.

Elektromagnetische Felder bestehen aus elektrischen (E) und magnetischen (H) Wellen, die sich gemeinsam mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Sie werden durch ihre Frequenz (Schwingungszahl) und die Wellenlänge charakterisiert. Die Frequenz wird durch die Anzahl der Oszillationen in einer definierten Zeit, die Einheit ist Hz (1 Zyklus pro Sekunde definiert). Die Wellenlänge ist eine Entfernung, die eine Welle während einer Oszillation (bzw. eines Zyklus) zurücklegt.

Je höher die Frequenz, desto kürzer ist die Wellenlänge und umso höher ist auch das Quantum der Energie im gegebenen Feld. Das Spektrum der ELM-Strahlung ist kontinuierlich und es zeichnet sich durch eine riesige Spannweite aus. In der Praxis werden deshalb neben der Basiseinheit Hz auch höhere Einheiten angewendet: kHz (Kilohertz, d. h. 1000 Hz), MHz (Megahertz, d. h. 1000 kHz) und GHz (Gigahertz, d. h. 1000 MHz oder 1 Milliarde Schwingungen pro Sekunde). Mit steigender Frequenz steigen auch die biologischen Auswirkungen des ELM-Feldes. Das Spektrum der ELM-Felder umfasst auch Zonen, von einigen wenigen Hz in der Umgebung der Leiter des üblicherweise verwendeten Wechselstroms bis zu Zonen mit einer Frequenz bis zu einigen GHz, infraroter Strahlung, sichtbarer Strahlung, UV-Strahlung, Röntgenstrahlen und Gammastrahlung mit einer Frequenz bis 10^{22} Hz. In der gleichen Richtung, wiederum mit einer großen Spannweite, sinkt auch die Wellenlänge, ab 6000 km bei der Frequenz eines gewöhnlichen Wechselstrom-Netzes (50 Hz) bis zu 6×10^{-12} m bei der RTG und Gamma-Strahlung.

Das elektrische Feld wird durch die Spannung produziert, die die Elektronen im Leiter (Draht) in Bewegung bringt. Mit wachsender Spannung wächst dessen Intensität. Es wird in Volt pro Meter (V/m) gemessen. Am intensivsten ist das elektrische Feld in der Nähe der Quelle, mit wachsender Entfernung von der Quelle sinkt es. Es wird von gewöhnlichen Baumaterialien, Boden u. A. geschirmt.

Das magnetische Feld entsteht auf Grund der Auswirkung des Stromflusses durch einen Draht und eine elektrische Anlage und verstärkt sich mit dem Wachstum des Stroms. Die Intensität des magnetischen Feldes sinkt ebenfalls sehr schnell mit der wachsenden Entfernung von der Quelle. Das magnetische Feld wird in den Einheiten Ampere pro Meter (A/m) gemessen, und üblicherweise wird es als entsprechende magnetische Induktion gemessen in Einheiten Tesla (T) ausgedrückt, bzw. in dessen Teilen Millitesla (mT) oder Mikrottesla (μ T), d. h. in Millionstel Tesla. Die meisten gewöhnlichen Materialien schirmen es nicht ab.

Elektrische Felder werden ohne Rücksicht darauf produziert, ob die Anlage angeschaltet ist (falls diese ans Netz angeschlossen ist), während magnetische Felder nur dann entstehen, wenn Strom fließt, was üblicherweise erfordert, die Anlage anzuschalten. Die Fernleitungen mit sehr hoher Spannung (VVN) produzieren ununterbrochen ein magnetisches Feld, da darin ständig der Strom fließt. Elektrische Felder können einfach mit Hilfe von Mauern oder anderen Objekten abgeschirmt oder abgeschwächt werden, während magnetische Felder durch Gebäude, Lebewesen und meisten auch andere Materialien hindurchgehen können.

Nach den Frequenzen werden die ELM-Felder in der Praxis einzelnen Zonen zugeordnet. Das sind hauptsächlich zwei grundlegende Kategorien

- ▶ Hochfrequenz-ELM-Feld (RTG und Gamma Strahlung) über 30 PHz (1 PHz – Petahertz = 10^{15} Hz). Es hat ein hohes Maß an Energie und auf seiner Bahn beschädigt es Atome durch das Entfernen eines Teils der Elektronen aus den orbitalen Bahnen, wodurch elektrisch unausgewogene Atomreste mit einem Übergewicht positiver oder negativer Ladung entstehen, sog. Ionen. Deshalb wird diese Strahlung als ionisierend bezeichnet. Aus gesundheitlicher Sicht ist sie sehr gefährlich, denn die Bildung von Ionen kann die Lebensvorgänge in Zellen schwerwiegend stören.

- ▶ ELM-Feld mit niedriger und mittlerer Frequenz (bis 300 GHz oder 300 Milliarden Hz). Bei Durchgang dieser Strahlung durch eine Masse ionisiert sie keine Atome, deshalb wird sie auch als nicht ionisierend bezeichnet. Soweit bekannt, beschädigt sie die lebende Masse nicht direkt.

Die zweite angeführte Gruppe wird in der Literatur weiterhin unterteilt, gewöhnlich in vier Gruppen:

- ▶ ELM-Feld mit extrem niedriger Frequenz (ENF ELM Feld) 1 – 300 Hz. Sie werden durch den üblicherweise verwendeten Wechselstrom produziert.
- ▶ ELM-Feld mit mittlerer (intermediate) Frequenz von 300 Hz bis 100 kHz. Zu den häufigsten Quellen gehört die Induktionserwärmung von Küchenherden, Bildschirmen für Computer und Fernseher, elektronische Lokomotiven, Industrieanlagen für diaelektrische und Induktionserwärmung, Kommunikationsanlagen u. a.
- ▶ Radiofrequenz-ELM-Feld von 100 kHz bis 1 GHz. Die üblichen Quellen sind drahtlose Telekommunikationsanlage, wie Handys, Entfernungsmessgeräte und übertragbare drahtlose Geräte wie Tablets oder Laptopcomputer. Zu weiteren üblichsten Quellen der Radiofrequenzradiation gehören Radio- und Fernsehsignale (AM und FM), Radar, Satellitenstationen, Diagnose mit Magnetresonanz, Antennentürme für Handys, Fernseh- und Computerbildschirme (außer Bildschirme mit flüssigen Kristallen; moderne Computer verfügen über leitfähige Bildschirme, die statische Felder aus dem Bildschirm auf das normale Niveaus des Hintergrunds reduzieren), weiterhin lokale drahtlose Netze bekannt als Wi-Fi, digitale Messgeräte des Strom- oder Gasverbrauchs u. a.
- ▶ Mikrowellen-ELM-Felder von 1 GHz bis 300 GHz, die übliche Quelle sind die Küchen-Mikrowellen.

Bei hohen Frequenzen (Mikrowellen- und Radiofrequenzen) werden elektromagnetische Felder üblicherweise als ein Komplex beurteilt, als Bestandteile einer elektromagnetischen Welle, produziert durch ein Wechselstrom- und magnetisches Feld. Ihre Kraft wird als sog. Leistungsdichte des ELM-Feldes in W/m^2 oder mW/cm^2 ausgedrückt.

Elektromagnetische Felder aller Frequenzen sind einer der am häufigsten verbreiteten und am schnellsten wachsenden Faktoren der Umwelt. Der Mensch ist heute ununterbrochen von ELM-Feldern mit unterschiedlichen Eigenschaften und biologischen Auswirkungen umgeben, im Zusammenhang mit dem Betrieb von unterschiedlichen elektrischen Geräten in Haushalten, TV-Empfängern und deren Bildschirmen, Computer-Bildschirmen, Handys und auch den Auswirkungen von Radio- und Fernsehsendern und des Energieverteilernetzes ausgestellt. Weitere Quellen sind Straßenbahnen, Züge, U-Bahn, Sicherheitssysteme in Geschäften und auf Flughäfen (Kontrolle beim Eintritt in Gebäude, Hängeschilder auf Waren detektiert beim Ausgang), Radar und viele andere. Ihre Menge und Vielfältigkeit wird mit dem technologischen Fortschritt weiter wachsen. In diesem umfangreichen und vielfältigen Gewirr von ELM-Feldern, denen wir ständig ausgesetzt sind, stellen die Felder rund um die Hochspannungsleitungen, die Gegenstand unseres Interesses ist, nur einen unbedeutenden und durchwegs vernachlässigbaren Beitrag.

Die elektromagnetischen Felder **rund um die Hochspannungsleitung** sind **Felder mit extrem niedriger Frequenz (im Folgenden als ENF ELM-Felder genannt)**. Ihre Frequenz wird durch die Frequenz des Wechselstroms 50 Hz vorgegeben. Das Quantum der verbreiteten Energie ist hier gering. Das zeigt z. B. der Vergleich mit Handys. Durch Handys produzierte ELM-Felder haben eine Wellenlänge von 30 cm, während die Niederfrequenzfelder (rund um die Leitung des elektrischen Stroms, einschließlich der Hochspannung) haben eine Wellenlänge von 6000 km. Die Energie der ELM-Strahlung in der Umgebung der Stromleitung ist millionenfach niedriger als bei Handys.

Unter Berücksichtigung der außerordentlichen Wellen geht es bei ENF ELM-Felder im wahrsten Sinne des Wortes nicht mehr um ein elektromagnetisches Feld, es werden hier zwei gegenseitig anschließende Felder, elektrisch und magnetisch, betrachtet. Die Felder dieser Art entstehen bei der Produktion, Distribution und Verwendung des Stroms und wir begegnen ihnen nicht nur in der Nähe der Hochspannungsleitung, sondern auch der elektrischen Kabel, der Niederspannungsleitung zu Häusern, der Elektroinstallationen in Häusern und in der Nähe von elektrischen Haushaltsgeräten (Rasierer, Haartrockner und viele andere) und in Büros.

Elektrische Felder entstehen im Zusammenhang mit Spannung (auch ohne Stromdurchfluss). Je höher die Spannung, umso stärker wird das entstandene Feld sein, und dies unabhängig vom Stromfluss. Magnetische Felder entstehen den Fluss des elektrischen Stroms. Wenn durch einen Leiter elektrischer Strom fließt, ändert sich das elektromagnetische Feld nach seinem Verbrauch, wobei das elektrische Feld konstant bleibt. Insgesamt gilt, dass die Intensität des elektrischen Feldes mit der Spannung, die Intensität des magnetischen Feldes mit dem Durchfluss des elektrischen Stroms wächst.

Die Auswirkungen der elektromagnetischen Felder können mit Hilfe einer Abschirmung, insbesondere mit Materialien aus Metall, reduziert werden. Das elektrische Feld wird durch einen beliebigen leitfähigen Teil deformiert, von der Vegetation bis zur Bebauung, es dringt nicht durch den menschlichen Körper. Die Auswirkungen elektrischer Felder entstehen in der Nähe der Hochspannungsleitungen und werden durch Mauer, Gebäude und Bäume reduziert. Falls die Kabel unter der Erde verlegt sind, erscheint das elektrische Feld unter der Erdoberfläche nicht. Im Gegenteil magnetische Felder werden durch die Wirkung von Bäumen, Mauern oder Gebäuden nicht abgeschirmt. Sie dringen unverändert durchdringen alle organischen Stoffe, meistens Gesteine (einschließlich Baumaterialien) und die meisten Metalle. Bei der Kabelführung unter der Erde wird deshalb ein magnetisches Feld nicht beeinflusst. Es wird nur durch ferromagnetische Stoffe (Eisen, Kobalt, Nickel) und ihre Legierungen deformiert.

4.4.1.1 Hochspannungsleitung

Zwischen dem Leiter unter Spannung und dem Boden wird ein elektromagnetisches Feld produziert. Falls durch den Leiter Strom durchfließt, entsteht in seiner Umgebung auch ein magnetisches Feld. Das elektrische Feld rund um die Hochspannungsleitung bleibt normalerweise konstant, wobei das magnetische Feld je nach Stromabnahme schwankt. Beide Felder erreichen die maximale Größe an der Stelle der Annäherung der Leiter ans Terrain, d. h. an der Stelle der größten Durchbiegung der Leiter zwischen Mastbäumen, in der Richtung zum Mastbäumen sinkt ihre Intensität wesentlich und an den Mastbäumen erreicht sie das Minimum. Sie sinkt schnell auch in der seitlichen Richtung (senkrecht zur Achse der Leitung).

Die Größe des elektrischen und des magnetischen Feldes unter der Hochspannungsleitung ist

- ▶ vom Spannungsniveau und der Stromintensität,
- ▶ vom Typ des Mastbaums und der Anordnung der Phasen in seinem Kopf,
- ▶ von der Höhe der Leiter über dem Boden und
- ▶ der Entfernung von der Achse der Leitung abhängig.

4.4.2 Auswirkungen der elektrischen und magnetischen Felder auf den Menschen

Die Nutzung der Elektrizität und elektrischer Geräte ist im 20. Jahrhundert zu einem untrennbaren Bestandteil des alltäglichen Lebens geworden. Am Arbeitsplatz, im öffentlichen Raum und auch in Haushalten sind wir von verschiedenen Typen elektrischer Leitungen umgeben und ständig der Ionendosis ihrer elektromagnetischen Felder ausgesetzt.

Seit den 60. Jahren des letzten Jahrhunderts wächst auch das Interesse an möglichen gesundheitlichen Auswirkungen dieser Ionendosen. Es werden die Auswirkungen aller ELM-Feldern untersucht, einschließlich der Felder mit sehr niedriger Frequenz. Diesen Fragen widmet sich systematisch u. a. auch die Weltgesundheitsorganisation, unter derer Führung im Jahr 1996 ein internationales Forschungsprojekt zu potentiellen gesundheitlichen Risiken der ELM-Felder und ihrer Quellentechnologie geschaffen wurde. Die führende Arbeitsgruppe veröffentlicht regelmäßig Berichte über die erzielten Ergebnisse.

Der erste Anreiz zu Überlegungen über mögliche schädliche Auswirkungen der ELM-Felder auf den Menschen war die epidemiologische Studie von zwei amerikanischen Autoren, N. Wertheimer und E. Leeper, aus dem Jahr 1979, aus der sich ergab, dass in der Nähe der Hochspannungsleitungen eine höhere Inzidenz der kindlichen Leukämie auftrat. Es schloss sich eine lange Reihe von weiteren Studien an. Es wurden Tausende wissenschaftliche Arbeiten mit unterschiedlichen, sich oft widersprechenden Ergebnissen veröffentlicht, in halbfachlichen und laienhaften Zeitschriften wurden viele Spekulationen über ungünstige (Übelkeit, Schlafstörungen, Migräne, Krebs u. A.) und auch günstige Auswirkungen (Verbesserung der intellektuellen Leistungsfähigkeit, allgemeine Heileffekte) verbreitet. Die überwiegende Mehrheit der Untersuchungen untersuchte unterdessen die Hochfrequenzstrahlung, die bei höheren Intensitäten tatsächlich Auswirkungen auf den menschlichen Organismus hat.

Eine Schädigung des menschlichen Organismus bei direkter Wirkung elektrischer Felder bis 20 kV/m wird für ausgeschlossen gehalten. Ähnlich kann man auch keine negativen Auswirkungen auf den menschlichen Organismus durch magnetische Felder 50 Hz bis zur Induktion von 5 mT (d. h. 5000 μ T) erwarten. Es sind auch keine giftigen bzw. krebserregenden Mechanismen bekannt, durch die diese schwachen Felder den Zustand von Zellen und Geweben ungünstig beeinflussen könnte.

Trotz den angeführten Tatsache, nach denen die Auswirkungen der Hochspannungsleitung als unbedeutend erscheinen, setzen die wissenschaftlichen Untersuchungen und Diskussionen in diesem Bereich sich stets fort.

Das ELM-Feld beeinflusst lebendes Gewebe dadurch, dass es elektrische Felder und Ströme einführt. Die Intensität dieser zugeführten Ströme ist allerdings unter den üblicherweise vorkommenden Lebensbedingungen niedriger als die physiologischen Ströme im menschlichen Körper. Die bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse über gesundheitliche Auswirkungen elektrischer Felder zeigen, dass die Expositionen bis 20 kV/m nur geringe Auswirkungen ohne gesundheitliche Folgen haben. Bei Versuchen an Tieren wurden auch bei Intensitäten über 100 kV/m keine Auswirkungen von elektrischen Feldern auf die Reproduktion und die Entwicklung festgestellt.

Menschliche und auch tierische Körper stört die räumliche Distribution des elektrischen Niederfrequenzfelds. Bei niedrigen Frequenzen stellt der Körper einen guten Leiter dar. Auf seiner Oberfläche werden oszillierende Ladungen induziert und diese produzieren Ströme im Körper. Bei der Frequenz von 50 - 60 Hz ist das induzierte elektrische Feld wesentlich kleiner als das externe elektrische Feld.

Eine mehrere Stunden dauernde Exposition von Freiwilligen durch magnetische Feldern bis 5 mT hatte nur geringfügige Auswirkungen auf die Ergebnisse der klinischen und physiologischen Tests (Blutzusammensetzung, EKG, Puls, Blutdruck, Körpertemperatur u. a.).

Es gibt keinen überzeugenden Nachweis, dass das elektrische Feld direkt biologische Molekülen, einschließlich der DNA, beschädigt. Es ist deshalb unwahrscheinlich, dass es einen krebserregenden Prozess initiiert. Im Weiteren fanden allerdings Studien über Möglichkeiten heraus, dass sich die Exposition durch ELM-Feldern an weiteren Phasen der Karzinogenese, der sog. Promotion, beteiligt sein können.

Die neuesten Studien an Tieren zeigten keine Beziehung zwischen Exposition durch ELM-Strahlung und der Inzidenz von Geschwülsten

Die wissenschaftliche Literatur über die Auswirkungen von ELM-Feldern mit extrem niedriger Frequenz ist umfangreich und die Debatte wird in viele Richtungen und mit uneinheitlichen Ergebnissen geführt. Ausgewählte Beispiele sind im Literaturverzeichnis aufgeführt. Von Zeit zu Zeit werden in wissenschaftlichen Kommissionen und Institutionen zusammenfassende kritische Beurteilungen der erzielten Erkenntnisse durchgeführt. Zur Beurteilung der gesundheitlichen Auswirkungen von ENF ELM-Felder verwenden wir hier einige dieser zusammenfassenden Beurteilungen aus der letzten Zeit. Es ist vor allem der umfangreiche zusammenfassende Bericht (288 Seiten) der wissenschaftlichen Kommission für neue und neu identifizierte Gesundheitsrisiken, orientiert auf potentielle gesundheitliche Effekte der Exposition durch ELM Felder (SCENIHR 2015), weiterhin die Abhandlung über ELM-Felder und Krebs, veröffentlicht von der amerikanischen Nationalen Anstalt für Krebs und in der geänderten Fassung im April 2016 (NIH National Cancer Institute 2016) und das Material der Weltgesundheitsorganisation über ELM-Felder (WHO 2016).

Viele epidemiologische Studien und zusammenfassende Übersichten der wissenschaftlichen Literatur beurteilten die möglichen Zusammenhängen zwischen nicht ionisierenden ELM-Feldern und dem Krebsrisiko bei Kindern. Der größte Teil der Forschung konzentrierte sich auf Leukämie und Gehirngeschwülste, zwei der häufigsten Typen des Krebses bei Kindern. Es wurden die Zusammenhänge dieser Geschwülste mit dem Leben in der Nähe einer Hochspannungsleitung, mit magnetischen Feldern im Haushalt und mit der Exposition der Eltern durch starke magnetische Felder am Arbeitsplatz untersucht. Es wurde kein konsistenter Nachweis des Zusammenhangs gefunden.

Der zweite mögliche Weg der Exposition von Kinder durch magnetische Felder sind die elektrischen Haushaltsgeräte und Anlagen. Obwohl die magnetischen Felder in der Nähe dieser Anlagen höher sind als bei der Fernleitung, sind die Beiträge der gesamten Exposition allerdings niedriger, die meisten Geräte werden nur für kurze Zeit eingeschaltet. Die Studie liefern ebenfalls keinen konsistenten Nachweis eines Zusammenhangs mit den Leukämien der Kinder.

In Bezug auf die Gesundheit werden hier gewöhnlich magnetische Felder studiert. Die elektrischen Niederfrequenzfelder dringen nicht tief in den Körper ein, sondern sie bilden auf seiner Oberfläche elektrische Ladung. Diese beeinflusst die nicht Gesundheit, aber bei starken Wechselstromfeldern kann sie dadurch stören, dass sensible Menschen das Sträuben von Haaren auf der Haut wahrnehmen.

Die magnetischen Niederfrequenzfelder dringen im Gegenteil in den Körper ein, wo unter ihrem Einfluss zirkulierende Ströme gebildet werden. Die Versuche an menschlichen Freiwilligen zeigten, dass sie bei sehr starken Expositionen über 3 mT (d. h. 3000 μ T), denen wir nur in beruflichen Umgebungen begegnen (z. B. bei der Induktionserwärmung oder beim Lichtbogenschweißen), einige biologische Prozesse anregen

können, z. B. in der Netzhaut (Gefühl des Sehens von schwachen flirrenden Punkten), über 20 mT kann es bereits bei angestrengtem Sehen zu Irrtümern kommen, bei 60 mT treten Kopfschmerzen und weitere Schwierigkeiten auf. Es handelt sich allerdings um Niveaus, die um 3 - 4 Größenordnungen höher sind, als die in der Umgebung von Hochspannung anzutreffenden.

SCENIHR kommt in der oben zitierten detaillierten Übersicht über ENF ELF-Felder zu dem Schluss, dass die bisherigen Studien keinen überzeugenden Nachweis des kausalen Zusammenhangs zwischen den Expositionen durch ELM-Felder und den subjektiv angeführten Symptomen erbringen. Mehrere neue epidemiologische Studien berichten zwar in der Übereinstimmung mit älteren Befunden über das wachsende Risiko von Leukämien bei Kindern bei geschätzten durchschnittlichen täglichen Expositionen von 0,3 bis 0,4 μT . Es wurden allerdings keine Mechanismen dieser Auswirkung festgestellt und es gibt hier auch keine Unterstützung durch experimentelle Studien, mit denen man diese Befunde stützen könnte, was gemeinsam mit den Mängeln in den epidemiologischen Studien keine kausale Erklärung ermöglicht. Die Studien, die mögliche Auswirkungen von ELM-Felder der Stromleitungen auf das EEG im Wachzustand untersuchen, haben zu uneinheitliche Ergebnisse in Bezug auf die verwendeten Felder, die Expositionsdauer und die Anzahl der aufgenommenen Ableitungen und auch zu den statistischen Methoden geführt, so dass man daraus keine zuverlässigen Schlussfolgerungen ableiten kann. Das Gleiche gilt auch für die Erscheinungen der Reizbarkeit der Großhirnrinde.

Die epidemiologischen Studien liefern auch keine überzeugenden Nachweise für das wachsende Risiko der neurovegetativen Erkrankungen, einschließlich der Demenzen im Zusammenhang mit der Exposition durch Felder rund um Stromleitungen. Sie erbringen auch keine Nachweise zur Störung der Schwangerschaft. Die Studien über Auswirkungen auf die Gesundheit von Kindern durch Expositionen ihrer Mutter während Schwangerschaft sind methodisch fehlerhaft und erfordern eine Überprüfung. Neue Studien beweisen nicht einmal die Auswirkungen der ELM-Felder auf die reproduktiven Funktionen des Menschen. Die epidemiologischen Studien der Radiofrequenzexpositionen zeigen ebenfalls keinen Anstieg von Gehirngeschwülsten oder sonstigen Geschwülsten von Kopf und Hals.

Im Zusammenhang mit den angeführten Ergebnissen muss man auf zahlreiche Gefahren hinweisen, die mit der Verwendung von epidemiologischen Methoden verbunden sind. Ihr Prinzip ist der Nachweis, dass in der exponierten Bevölkerung das Vorkommen des beobachteten Effektes höher ist als in der nicht exponierten Bevölkerung. Bereits die Auswahl der angeführten Bevölkerungsgruppen ist mit einer Reihe von Problemen verbunden, da sie sich voneinander im Idealfall durch nichts anderes als die untersuchte Exposition unterscheiden sollten. Dies kann in einer realen Situation im Terrain praktisch nicht erreicht werden, da in beiden Gruppen auch andere Auswirkungen gegeben, die die untersuchte Inzidenz beeinflussen, Einflüsse, die gewöhnlich nicht erkannt werden und meistens auch nicht erkennbar sind. Weitere Gefahren sind entsprechende Sammlung von Unterlagen, die Vollständigkeit der Untersuchung, die Wahl und Anwendung der statistischen Methoden und viele andere. Allgemein wird die Meinung vertreten, dass die epidemiologische Studie, auch wenn sie keine statistisch bedeutsamen Ergebnisse vorlegt, selbst keine kausalen Zusammenhänge nachweisen kann. Aus der Literatur ist eine Reihe von schweren Irrtümern bei der Interpretation der gewonnenen Ergebnisse bekannt, wenn die Assoziation umgekehrt erscheint als der kausale Zusammenhang. Deshalb ist es erforderlich, die Ergebnisse der epidemiologischen Studien äußerst umsichtig umzugehen und über eine Kausalität erst im Falle der Übereinstimmung der epidemiologischen Funde mit den Laborergebnissen und experimentellen Ergebnissen in Betracht zu ziehen.

Bei den Leukämien bei Kindern ergibt sich ein weiteres spezifisches Problem durch die Tatsache, dass ihre Verteilung in der Bevölkerung nicht gleichmäßig ist, es wechseln sich Bezirke mit höherer und niedrigerer Inzidenz ab. Diese Tatsache war z. B. die Ursache der lang tradierten fehlerhaften Angaben über den Einfluss der Kernkraftwerke auf die Gesundheit von Kindern.

Wie wir bereits oben anführten, wurden bestimmte Befürchtungen im Zusammenhang mit einer möglichen Funktionsstörung implantierter elektrischer Geräte zur Regulierung des Herzrhythmus (sog. Herzschrittmacher) geäußert. Die schlimmste Situation einer Funktionsstörung des Herzschrittmachers beim Aufenthalt unter einer Hochspannungsleitung wurde mit Hilfe einer Berechnung überprüft (Scholten und Koll., 2004). Es wurde die Schlussfolgerung abgeleitet, dass auch wenn man die Interferenz des ELM-Felds der Hochspannungsleitung mit dem Betrieb des Herzschrittmachers ausschließen kann, ist eine lebensbedrohende Auswirkung einer solchen Interferenz unwahrscheinlich. Eine endgültige Antwort können allerdings erst die Studien von Patienten mit implantierten Herzschrittmachern geben.

4.4.3 Standards, Grenzwerte, Empfehlungen

Bei der Beurteilung potentieller Auswirkungen der ELM-Felder können wir von den empfohlenen Grenzwerten der ICNIRP (Internationale Kommission zum Schutz vor nicht ionisierende Strahlung) ausgehen. Das ist eine Nichtregierungscommission unabhängiger wissenschaftlicher Experten, die eng mit der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zusammenarbeiten, wissenschaftliche Ergebnisse aus aller Welt über mögliche Auswirkungen der ELM-Strahlung beurteilt, verbreitet und Richtlinien mit empfohlenen Grenzwerten der Exposition ausarbeitet. Die letzten Empfehlungen wurden im Jahre 2010 (ICNIRP 2010) veröffentlicht. Die festgestellten Grenzwerte für elektrische und magnetische Felder sollen einen Schutz vor allen bekannten negativen Auswirkungen auf die Gesundheit der Arbeitnehmer am Arbeitsplatz und als auch für die allgemeine Bevölkerung sicherstellen. Die Vorgehensweise bei der Erarbeitung der Richtlinie wird detailliert begründet. Eines der Kriterien sind z. B. vorübergehende Reaktionen des (peripheren und auch zentralen) Nervensystems und auch der Netzhaut. Es wird auch eine Übersicht der direkten und auch indirekten Auswirkungen von ELM-Feldern erstellt, und es werden die Ergebnisse der Laborforschungen und epidemiologischen Studien ausgewertet. Diese Grundlagenstudien wurden nach der Qualität ausgewählt, sie werden nur dann ausgewertet, wenn sie glaubwürdige wissenschaftliche Nachweise erbringen. Mögliche Auswirkungen der Exposition durch *elektrische* ELM-Felder mit niedriger Frequenz sind gut definierte biologische Reaktionen, von Gefühlen der Missstimmung bis zu Oberflächeneffekten der elektrischen Ladung. Die einzigen gut bewiesenen Auswirkungen bei Freiwilligen, die den *magnetischen* Niederfrequenzfeldern ausgesetzt waren, ist die Stimulierung der zentralen und auch peripheren Nervengewebe, die Induktion von Blitzen auf der Netzhaut und die Wahrnehmung eines schwachen flatternden Lichtes an der Peripherie des Blickwinkels. Die Netzhaut ist ein Bestandteil des Nervensystems und ein geeignetes Modell für alle durch elektrische Felder hervorgerufene Auswirkungen im zentralen Nervensystem.

Es wurden die veröffentlichten Ergebnisse über mögliche Effekte auf das neuroendokrine System, neurodegenerativen Störungen (es wurde kein Zusammenhang mit der Parkinson'schen Krankheit, multipler Sklerose und der Alzheimer Krankheit bestätigt), Herz- und Gefäßkrankheiten berücksichtigt (ein Zusammenhang mit Niederfrequenzfeldern sind bei den Expositionsniveaus, die in der beruflichen und gewöhnlichen Lebensumgebung vorkommen, unwahrscheinlich). Weiterhin wird festgestellt, dass die epidemiologischen Studien sich keine Verbindung zwischen der Exposition von Müttern und Vätern durch ENF ELM-Felder und ungünstigen Reproduktionsprozessen zeigt.

Große Aufmerksamkeit wird der Begründung der Grenzwerte der möglichen Zusammenhänge mit dem Vorkommen von Krebs gewidmet. Es wird angegeben, dass eine bedeutende Anzahl von epidemiologischen Berichten, veröffentlicht hauptsächlich in den 80er und 90er Jahren, indizierte, dass die langfristige Exposition durch magnetische Felder mit der Frequenz von 50-60 Hz mit einer Intensität unter den von der ICNIRP verabschiedeten Grenzwerte im Jahr 1998 mit Krebs assoziiert werden könnte. Bei Erwachsenen wurden keine Zusammenhänge mit verschiedenen Geschwülsten assoziiert. Bei Leukämien bei Kindern ist die Situation etwas anders. Zwei verbundene Analysen (Ahlbom et.al.2000; Greenland et al. 2000) indizieren, dass es ein erhöhtes Risiko durch durchschnittliche Expositionen, die 0,3 bis 0,4 μT überschreiten, geben kann. Die Autoren dieser Analysen betonten allerdings selbst, dass ihre Ergebnisse nicht als eine Erscheinung des kausalen Verhältnisses zwischen magnetischen Feldern und der Leukämie bei Kindern interpretiert werden könne. Es wurden keine biophysikalischen Mechanismen identifiziert und experimentelle Ergebnisse aus Laborstudien und Versuchen mit Tieren unterstützen die Meinung nicht, dass die Exposition durch magnetische Felder mit einer Frequenz von 50-60 Hz eine Ursache der Leukämien bei Kindern ist. Die meisten Studien mit Modellen von Nagetieren zeigen einen Null-Effekt bei Leukämien, Lymphomen und andere Geschwülste. Die Studie der Auswirkungen von ENF ELM auf Zellen wiesen keine Induktion der Genotoxizität in Feldern unter 50 mT auf.

Unter der Berücksichtigung der Unsicherheiten in den wissenschaftlichen Angaben wurden bei der Bildung der Grenzwerte die Reduktionsfaktoren verwendet.

Da die bestehenden wissenschaftlichen Erkenntnisse nur leicht andeuten, aber nicht beweisen, dass ELM-Felder, die in unserer gewöhnlichen Lebensumgebung vorkommen, negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben könnte, werden für die allgemeine Bevölkerung keine spezifischen Schutzmaßnahmen gefordert.

Die resultierende Empfehlung für die Frequenzen ENF ELM sind in der Tabelle 40 aufgeführt:

Tab. 40 Referenzniveaus von Wechselstromfeldern und magnetischen Feldern für die Exposition der allgemeinen Bevölkerung

Frequenzspannweite (Hz)	Intensität des elektrischen Feldes E (kV m ⁻¹)	Intensität des magnetischen Feldes H (A m ⁻¹)	Magnetische Induktion B (T)
25 –50		1.6 x10 ²	2 x 10 ⁻⁴
50 -400	2.5 x10 ² /f	1.6 x10 ²	2 x 10 ⁻⁴

Bem.: f ... Frequenz in Hz

Im Kommentar wird es festgestellt, dass man in speziellen Expositionssituationen die Grenzwerte mit Hilfe räumlicher Berechnung des Mittelwertes der Expositionen einzelner Körperteile präzisieren kann. Wir betonen, dass die Einhaltung der vorgelegten Werte, angeführt in der Richtlinie, nicht notwendigerweise die Interferenz mit medizinischen Hilfsmitteln, wie Prothesen aus Metall, Herzschrittmachern und implantierten Defibrillatoren oder kochlearen Implantaten ausschließen muss. Eine Interferenz mit Herzschrittmachern kann auch bei Feldern unter dem Grenzwert vorkommen.

Zur Richtlinie ist ein Kommentar zu möglichen langfristigen Auswirkungen von ENF ELM Feldern hinzugefügt. In den oben genannten epidemiologischen Studien wurde wiederholt festgestellt, dass chronische alltägliche Expositionen durch magnetische ENF-Felder (über 0,3 bis 0,4 µT) elektrischer Leitungen mit einem wachsenden Leukämierisiko bei Kindern assoziiert wird. IARC klassifizierte solche Felder als vielleicht krebserregend (*possibly carcinogenic*). Das kausale Verhältnis wurde allerdings bei dieser Assoziation nicht festgestellt und auch kein Zusammenhang eines solchen Feldes zu sonstigen langfristigen Effekten. Die nicht nachgewiesene Kausalität macht allerdings die Annahme dieser Ergebnisse als Basis für die Bildung der Grenzwerte unmöglich.

Für uns gilt die Regierungsverordnung Nr. 291/2015 GBl. über Gesundheitsschutz vor nicht ionisierender Strahlung. Sie reguliert die zulässigen Höchstwerte der nicht ionisierenden Strahlung im Frequenzbereich von 0 Hz bis 1,7.10¹⁵ Hz für Arbeitnehmer und physische Personen im kommunalen Umfeld, das Verfahren ihrer Bestimmung, die Beurteilung der Exposition und die Maßnahmen zum Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer. Sie definiert die zulässigen Werte als Grenzwerte, die sich direkt aus den nachgewiesenen Auswirkungen auf die Gesundheit und aus den Angaben über ihre biologische Wirkung ergeben, und deren Einhaltung sicherstellt, dass die Arbeitnehmer oder physische Personen im kommunalem Umfeld, die der nicht ionisierenden Strahlung ausgesetzt sind vor allen ihre bekannten direkten biophysikalischen und indirekten Auswirkungen geschützt sind. Weiterhin gibt sie auch Referenzwerte der Größe der direkt messbaren Parameter der nicht ionisierenden Strahlung im Frequenzbereich von 0 Hz bis 3.10¹¹ Hz an (Intensität des elektrischen Feldes, magnetische Induktion, Dichte des Strahlungsflusses und Kontaktstrom), die zum einfacheren Nachweisen der Einhaltung der zulässigen Höchstwerte dienen.

Gemäß dieser Verordnung darf in der Frequenzzone von 0 Hz bis 300 Hz die Größe der Intensität des modifizierten elektrischen Feldes im Gewebe E_{mod} (t) zu keinem Zeitpunkt für physische Personen im Kommunalumfeld den Wert 0,2 V.m⁻¹ übersteigen. Die Regierungsverordnung Nr. 291/2015 GBl. enthält auch eine Reihe von weiteren partiellen Bestimmungen und außerdem anspruchsvolle Berechnungsmethoden. Wir werden sie hier nicht weiter ausführen, denn im Falle einer beurteilten Leitung sind die nächsten geschützten Wohnräume so weit entfernt, dass es nicht zur realen Exposition der Bevölkerung kommt.

4.4.4 Weitere Erkenntnisse über die Auswirkungen der elektrischen Leitungen auf die Bevölkerung

4.4.4.1 Funkgeräusch der Leiter

Als störendes Element könnten in einigen Fällen die akustischen Erscheinungen, die bei ungünstigen Wetter mit Nebel, Raureif u. a. in der Umgebung von Mastbäumen mit Isolatoren entstehen, betrachtet werden ("Funken" auf Mastbäumen und "Korona" zwischen Mastbäumen). Die Ergebnisse der Messungen, durchgeführt in der Nähe der Hochspannungsleitung, zeigten, dass man auch unter extremen Bedingungen in der Nähe der Leitung die Einhaltung des grundlegenden hygienischen Grenzwertes für die Nachtzeit (40 dB) erwartet.

4.4.4.2 Störung des Funk- und Fernsehempfangs

Die Störung des Funk- und Fernsehsignals gehört zu weiteren potentiell ungünstigen Auswirkungen der Hochspannungsleitung. Dieser Effekt ist von einer ganzen Reihe lokaler Bedingungen abhängig (Position des Senders, Charakteristiken der Leitung und der Empfangsantenne u. a.) und deshalb kann man ihn für konkrete Standorte nicht zuverlässig vorhersagen. Falls Beschwerden auftauchen, ist eine Messung durchzuführen und nach dem Ergebnis sind Maßnahmen zu realisieren, die eine gute Qualität des Empfangs sicherstellen.

4.4.4.3 Unfälle durch elektrischen Strom

Bei Unfällen an der Leitung (Durchreißen der Leiter, Sturz von Mastbäumen) im Zusammenhang mit Gewitter, Raureif u. a. könnte es theoretisch zur Verletzung oder zum Tod von Personen kommen, die sich in der Nähe aufhalten. Dieses Risiko wird mit Hilfe einer speziellen Verstärkung der Leitung in der Nähe eines Wohngebietes und an den Straßenkreuzung, Eisenbahnstrecken u. a. vermindert.

4.4.4.4 Störung des psychischen Komforts

In der Öffentlichkeit ist heutzutage bekannt, dass die Hochspannungsleitung in die Umgebung bestimmte Mengen elektromagnetischer Strahlung ausstrahlt. Im Unterbewusstsein der Menschen gibt es unterschiedliche sachliche und auch verzerrte Vorstellungen über die gesundheitlichen Auswirkungen der ELM-Strahlung, verbreitet durch Presse und weitere Kommunikationsmedien.

Menschen, die sich in der Nähe einer dieser Leitung aufhalten, fühlen sich oft beunruhigt, negativ beeinflusst bzw. auch gefährdet. Im Falle von schwerwiegenderen Erscheinungen solcher Befürchtungen ist der Kontakt mit den Vertretern der betroffenen Gemeinden erwünscht und über sie auch mit der Bevölkerung, die Aufklärung über die Eigenschaften und Auswirkungen der ELM-Felder und die Zerstreuung unbegründeter Befürchtungen, eventuell auch die Durchführung von Verifikationsmessungen.

Bestimmte ungünstige psychologische Bedeutung können die Auswirkungen bei Menschen mit ästhetischer Empfindsamkeit für die Landschaft haben und auch die Tatsache, dass die Hochspannungsleitung in bestimmtem Maß das Landschaftsbild stört, insbesondere wenn es um eine neue Leitung geht.. Diese Auswirkungen sind kaum zu beeinflussen, man kann sich nur auf eine schrittweise Gewöhnung und Versöhnung mit diesem Zustand verlassen.

4.4.5 Beurteilung der konkreten Situation, Vergleich mit geltenden Standards und Grenzwerten

Ein Bestandteil des Vorhabens sind einerseits die oberirdische Leitung aus der neuen Kernkraftanlage in das Umspannwerk Slavětice und andererseits die doppelte unterirdische Kabelleitung als eine Reservemöglichkeit der Versorgung des eigenen Verbrauchs der neuen Kernkraftanlage aus dem Umspannwerk Slavětice.

4.4.5.1 Oberirdische Leitung

Gegenstand des Vorhabens ist eine einfache oberirdische Leitung von 400 kV zur Übertragung der Leistung aus der neuen Kernkraftanlage an das Umspannwerk Slavětice. Zur Freistellung des Raums für die Realisierung des Vorhabens wird eine Verlegung von zwei bestehenden oberirdischen Leitungen durchgeführt. Es entstehen einige kritische Profile des Parallelverlaufs von zwei Leitungen, beschrieben detailliert in der Dokumentation.

Im kritischen Profil geht es um 2 Leitungen mit 420 kV, im Achsenabstand von 50 m.

Die Beurteilung des ELM-Felds im kritischen Profil des Parallelverlaufs der Leitungen V483 und V884 (Kernkraftwerk Dukovany und Umspannwerk 400 kV Slavětice) wurde von der Firma EGU – HV Laboratory a.s. durchgeführt (2016a). Bei der Berechnung wurde die möglichst schlechte Reihenfolge der Phasen betrachtet. Die Ergebnisse wurden gemäß der neuen Regierungsverordnung Nr. 291/2015 GBl. beurteilt.

Das Ergebnis der Berechnungen ist die Anforderung einer Mindesthöhe der unteren Phasenleiter über der Erde gemäß der zitierten neuen Regierungsverordnung von 7,5 m, was vollkommen der gültigen Norm für den Bau von Freileitungen entspricht (vorgeschriebener minimaler Abstand von stromführenden Teilen der Leitung mit 400 kV vom einfachen Terrain 8 m).

Die neue Regierungsverordnung weicht die Anforderungen der früheren Regierungsverordnung 1/2008 GBI. auf, die eine Mindesthöhe der Leitung von 13,1 m verlangte. Der Gutachter betrachtet die Höhe der niedrigsten Leitung über dem Boden von 7,5 m bzw. 8 m als ungeeignet gering und betrachtet es als erwünscht auch weitere Aspekte zu bedenken: den erforderlichen Abstand der Phasenleiter für die Bewegung der Technik unter der Leitung, Funkentladungen zwischen Personen und leitfähigen, mit dem Boden verbundenen Elementen Metallkonstruktionen, Vegetation u. a.). Er empfiehlt eine Mindesthöhe der Leitung entsprechend den Anforderungen der angeführten älteren Regierungsverordnung.

Aus der Sicht der Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit kann man diese Frage nicht lösen, denn unter der Berücksichtigung der deutlichen Entfernungen der nächsten Wohngebiete ist sie aus der Sicht der möglichen langfristigen Auswirkungen ohne Bedeutung. Auf gelegentliche Passanten in der Nähe der Leitung kann sich die geringe Höhe der Leitung psychisch ungünstig auswirken, aufgrund größerer Befürchtungen in Bezug auf die unbekannte Gefahr, die sie in der Nähe der Hochspannungsleitung vermuten.

4.4.5.2 Unterirdische Leitung

Die Möglichkeit der Reserveversorgung des eigenen Verbrauchs der neuen Kernkraftanlage aus dem Umspannwerk Slavětice soll mit einer doppelten unterirdischer Kabelleitung 2 x 110 kV sichergestellt werden (4 Leitungen in der Mindesttiefe von 1,3 m). Im Rahmen der Realisierung gemäß dem Projekt entsteht hier ein kritisches Profil N2 des Parallelverlaufs von vier unterirdischen Kabelleitungen 110 kV.

Das ELM-Feld in der Umgebung dieser unterirdischen Leitung wurde fachlich von der Firma EGU - HV Laboratory a.s. ausgewertet (2016b). Die Größe des magnetischen Feldes in der Umgebung des Kabels ist vor allem durch die Entfernung vom Kabel, die Reihenfolge der Phasen und die Durchführung der Erdung der Kabelummantelung gegeben. Die Berechnung wurde für eine maximale Belastung von 800 A durchgeführt. Für die Reihenfolge der Phasen wurde der ungünstigste Fall angenommen. Unter der Berücksichtigung der leitfähigen Ummantelung der Kabel ist für die Beurteilung der Grenzwerte nur der magnetische Bestandteil des elektromagnetischen Feldes wesentlich.

Aus den Ergebnissen ergab sich, dass der Referenzwert des magnetischen Feldes von 200 μT im Sinne der Regierungsverordnung 291/2015 GBI. nicht überschritten wurde. Da die Berechnungen für eine möglichst schlechte Anordnung der Phasenreihenfolge und die schlechteste Erdung der Ummantelung durchgeführt wurden, wird bei einer anderen Konfiguration die Intensität der magnetischen Induktion immer niedriger sein als der berechnete maximale Wert 128 μT für die Höhe von 0,2 m über dem Boden.

Bei den Überlegungen über potentielle Effekte der geplanten überirdischen Leitung muss man darauf achten, dass diese Kabel nicht im gewöhnlichen Betrieb verwendet werden, die betrachtete maximale Strombelastung von 800 A wird konservativ für 20 Minuten innerhalb von 10 Jahre vorausgesetzt.

4.4.5.3 Nächstes Wohngebiet

Die beurteilte oberirdische und unterirdische Leitung verläuft in der freien Landschaft, in ihrer Nähe befinden sich keine Wohngebäude. Das nächste Wohngebiet ist die Siedlung Bažantnice (gehört zu Slavětice), südlich von der existierenden Schaltanlage in einer Entfernung von ungefähr 600 m von der oberirdischen Leitung und ungefähr 120 m von der unterirdischen Leitung entfernt. Chronische Auswirkungen von ELM Feldern aus der beurteilten Leitung kommen hier somit nicht in Frage. Es werden auch keine anderen möglichen negativen Auswirkungen wie Funkgeräusche der Leitung, Störung des Funk- oder Fernsehsignals oder Störungen des psychischen Komforts unterstellt. Aus der landschaftlichen Perspektive ist die beurteilte Leitung kein neuer Faktor, seit Jahren gibt es hier die bestehende Leitung.

4.5 Schlussfolgerungen zu den strahlungsfreien Auswirkungen

4.5.1 Luft

Die Angaben aus Streuungsstudien zeigen, dass die Auswirkungen auf die Luftverschmutzung durch die Baustelle und den anschließenden Verkehr in den meisten Fällen gesundheitlich akzeptabel sein werden. Im Ganzen kann man feststellen, dass die Konzentration der meisten beurteilten Schadstoffen in der Luft zur Zeit des Baus und auch zur Zeit des Betriebs in der Summe mit dem Hintergrund unter dem Limit bleibt. Die einzige Ausnahme sind die erhöhten maximalen kurzfristigen Konzentrationen von PM_{10} in einigen Bauphasen des Vorhabens. Unter Berücksichtigung der Seltenheit ihres Vorkommens und der erwarteten

Wirksamkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen ist es möglich, aus der gesundheitlichen Sicht auch diese Belastungen zu akzeptieren.

Im Laufe des Baus wird es erforderlich sein auf der Baustelle und der Durchfahrt durch Gemeinden staubsichere Maßnahmen zu realisieren (Bewässerung von Flächen, Beregnung der Fahrbahn, Reinigung von Fahrzeugen vor der Ausfahrt aus der Baustelle, Verhinderung von Verschüttungen während der Fahrt, Erhöhung der Zügigkeit der Fahrt von Fahrzeugen mittels geeigneter Regulierungen u. a.). Diese Maßnahmen werden besonders an Tagen mit ungünstigen meteorologischen Bedingungen (trockenes und windiges Wetter) wichtig sein.

4.5.2 Lärm

Die Lärmbeiträge aus stationären Quellen und aus der Bautätigkeit werden im nahen Wohngebiet relativ gering und gesundheitlich unbedeutend sein. Eine schwerwiegendere Situation stellen wir im Laufe des Baus im Zusammenhang mit dem Verkehr auf öffentlichen Straßen in einigen Transitgemeinden fest. Das betrifft insbesondere die Gemeinden Ivančice, Moravské Bránice, Slavětice, Hrotovice und Dolní Kounice, wo relativ hohe Belastungen durch Lärm auch ohne die Beteiligung der neuen Kernkraftanlage gegeben sind. In diesen Gemeinden sollten besonders sorgfältig Schutzmaßnahmen ergriffen werden (Anpassung der Verkehrswege, Erhöhung der Kontinuität und die Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit u. a.). In sonstigen Fällen ändern die nicht bedeutsamen Beiträge des Baus der neuen Kernkraftanlage die Platzierung des gegebenen Standortes in einer bestimmten Zone der Lärmbelästigung nicht. Unter Berücksichtigung dessen, dass es sich um vorübergehende Auswirkungen handelt, kann es in Bezug auf die Gesundheit als akzeptabel betrachtet werden.

4.5.3 Elektrische und magnetische Felder

Unter der Berücksichtigung der großen Entfernung der Wohnhäuser von der beurteilten Hochspannungsleitung sind keine Interessen der öffentlichen Gesundheit betroffen.

5 Psychosoziale Einflüsse

Aus der psychischen Perspektive könnten bei der Bevölkerung in der nahen Umgebung die Befürchtungen durch die Nähe von EDU1-4 und der damit verbundenen potentiellen Risiken der Bestrahlung und eventueller Unfälle störend wirken. Nach den durchgeführten Untersuchungen kommt es dazu allerdings nicht oder es spielt zumindest keine bedeutende Rolle.

Die erste psychologische Untersuchung in der Umgebung von EDU1-4 wurde bereits im Jahr 1995 durchgeführt (Kotulán und Koll. 1996), und beruhte auf repräsentativen Stichproben unter den erwachsenen Einwohnern von zwei Gemeinden in der näheren Umgebung, Dukovany und Rouchovany, als der exponierten Gruppe, und der zwei Gemeinden aus dem südlichen Teil des Bezirks Brno-Land, Mělník und Těšany, als Vergleichsgruppe. Die angeführten Einwohnergruppen wurden mittels eines geführten Gesprächs und einem Fragebogen untersucht, der die Auswertung von vier grundlegenden persönlichen Charakteristiken ermöglicht, und das sind a) Niveaus des aktuellen Lebensstresses, b) persönliche Empfindlichkeit, sich Stress aufzuerlegen, c) Fähigkeiten bei der Bewältigung von Lebenssituationen, d) persönliche Empfindlichkeit. Falls die Hypothese über negative Auswirkungen von EDU1-4 gelten würden, müssten die Ergebnisse in den angeführten Charakteristiken in der exponierten Gruppe weniger günstig sein als in der Vergleichsgruppe.

Die Ergebnisse waren allerdings aus der angeführten Perspektive eher paradox. Alle statistisch bedeutenden Unterschiede in den Positionen des Fragebogens zwischen beiden Gruppe sprachen zugunsten der exponierten Gruppe. Der psychische Komfort war somit in der Umgebung von EDU1-4 in den angeführten Charakteristiken günstiger. Es wurde festgestellt, dass die Einwohner des Gebiets des Kernkraftwerks mit dieser vermutlichen Gefährdung leben, sie halten ihr mit intensiver Aktivität stand, sie verfügen über ein System von konstruktiven Bewältigungsformen dieser möglichen Gefährdung, sie sind emotional ausgeglichener und beherrscher als die Menschen der verglichenen Kontrollgruppe.

Die Autoren schließen mit der ausgesprochenen Voraussetzung ab, dass die Existenz eines Kernkraftwerks in der Lebensumgebung Auswirkungen auf die Persönlichkeit, auf soziopsychologische Erscheinungen und auf die psychische Ausgeglichenheit hat. Entgegen den Erwartungen zeigen Menschen, die im exponierten Gebiet leben, produktive Verarbeitungsmethoden, die so komplex und interindividuell bunt sind, dass man sie weder als eine Kompensation, noch als "Kopf in den Sand stecken", sondern als adäquate Verarbeitung dieser Lebenssituation bezeichnen kann.

Die zweite psychologische Untersuchung wurde im Jahr 2015 von der Agentur INRES (Sadílek und Koll., 2015) durchgeführt. Methodisch wurde die gleiche Vorgehensweise angewandt, die die Autoren bei ähnlichen Untersuchungen im Gebiet des Kraftwerks Temelín in Jahren 2000, 2002, 2004 und 2011 verwendeten. Der Fragebogen wurde so konstruiert, damit er es ermöglicht, Neurotizismus, sog. Lügenskore, depressive Symptomatologie, Lokalisierung der Kontrolle, Lebenszufriedenheit, erlebte Angst und Befürchtungen und die Fähigkeit zur Selbstrealisierung zu beurteilen. In die Forschung wurden insgesamt 1110 Befragten einbezogen, davon stammten 550 aus den exponierten Gebieten E1 und E2 (siehe Kapitel 3.3.5) und 560 aus der ostböhmischen Region.

Die mathematisch-statistische Analyse der im Rahmen der Forschung erhobenen Daten wies eindeutig nach, dass die Existenz und der Betrieb des Kernkraftwerks Dukovany keinen negativen Einfluss auf die beobachteten psychologischen Charakteristiken der Bevölkerung hat, die in seiner unmittelbaren Umgebung lebt. Diese Bevölkerungsgruppe erreicht im Vergleich mit der Kontrollgruppe bessere Ergebnisse, was konkret heißt, dass sie weniger neurotisch, selbstbewusster, weniger depressiv ist, sie traut sich mehr zu und ist mit dem Leben zufriedener. Die Analysen wiesen eindeutig nach, dass diese psychologischen Charakteristiken im bedeutenden Maß durch solche Indikatoren wie Geschlecht, Alter, Einkommenshöhe, konkretes Erlebnis usw. beeinflusst werden. Die Existenz von EDU1-4 selbst beeinflusst diese psychologischen Charakteristiken in keiner bedeutsamen Weise.

Es wurden somit die durch andere Forschungen und anderen Bevölkerungsgruppen ermittelten Tendenzen bestätigt. Diese zeigen ebenfalls einen bedeutsamen Einfluss von Geschlecht, Alter, Einkommen, Beschäftigung und anderer gewöhnlicher Faktoren auf die Ausformung der psychologischen Charakteristiken. Diese Tendenzen sind bei Einwohnern, die in exponierten Gebieten leben, ähnlich. Das bedeutet, dass diese Einwohner die Existenz und den Betrieb von EDU1-4 als Realität wahrnehmen, mit der sie rechnen und sie nehmen sie als akzeptabel und tragbar wahr. Obwohl man dieses relativ hohe Niveau der Qualität des geistigen Lebens der Bevölkerung in der Umgebung von EDU1-4 nicht als ein für alle Mal

gegeben und unveränderlich betrachten kann, geht es um einen günstigen Trend. Dieser ist ohne Zweifel vom störungsfreien Betrieb von EDU1-4 und von der Sicherheit der Kernenergie im Ganzen abhängig. Falls also der Betrieb von EDU1-4 und der neuen Kernkraftanlage ohne außerordentliche Ereignisse routinemäßig und stabil abläuft, werden EDU1-4 und die neue Kernkraftanlage auch in Zukunft keinen negativen Einfluss auf die psychologischen Charakteristiken haben.

Die Schlussfolgerungen beider Studien stimmen überein und bestätigen, dass durch die Existenz und die Nähe eines Kraftwerks keine bedeutenden Persönlichkeitscharakteristiken und auch nicht die psychische Ausgeglichenheit und der Komfort gestört werden.

6 Angaben zu grenzüberschreitenden gesundheitlichen Auswirkungen

Die nächsten Nachbarländer Österreich und die Slowakei werden auf ihren Gebieten von Spuren Mengen der Radionuklide aus den Ableitungen der neuen Kernkraftanlage in die Atmosphäre betroffen sein. Es handelt sich um geringe, nichtige, nicht messbare, nur mathematisch abgeleitete Niveaus. Sie wurden detailliert im Kapitel 3.4.3. beschrieben und im Kapitel 3.4.4. ausgewertet. Die Auswirkungen der Ableitungen der neuen Kernkraftanlage in die Luft auf andere Staaten werden völlig vernachlässigbar sein. Aus der Sicht der flüssigen Ableitungen wird es unter dem Einfluss des Betriebs der neuen Kernkraftanlage zu unbedeutenden Auswirkungen auf den Grenzfluss Dyje und weiterhin auch auf den Fluss Morava kommen, der mit seinem unteren Lauf die Grenze zwischen Österreich und Slowakei bildet. Die Gesundheitsrisiken für die Bewohner, die entlang des Flusses Dyje und Morava leben, bleiben in der Größenordnung von $1:10^{-6}$ und sie entsprechen somit vollständig der gesundheitlichen Perspektive. Nach der Verdünnung mit dem Wasser des Flusses Dunaj werden sie weiter um mehr als eine Größenordnung gesenkt. Für andere Bewohner von Österreich und der Slowakei, genauso wie für die Bewohner anderer naher Staaten, kommt es in der Folge der flüssigen Ableitungen aus der neuen Kernkraftanlage zu keinen Auswirkungen.

7 Charakteristik der Mängel an Kenntnissen und der Unbestimmtheit

In der aktuellen Phase der Vorbereitung der Bauten sind die zur Verfügung gestellten Unterlagen und Informationen ausreichend. Die Unbestimmtheiten sind unvermeidlich durch die Unvollkommenheiten des aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisstands und den erreichbaren Grad der Genauigkeit der Unterlagen und der verwendeten Methoden gegeben.

8 Allgemeine Schlussfolgerungen

Die neue Kernkraftanlage wird unter Betriebszustände auf keine erkennbare Weise die Gesundheit der Bevölkerung berühren. Auch bei sehr konservativem Zugang bewegt sich in der kritischen Bevölkerungsgruppe das lebenslange Risiko eines Gesundheitsschadens aus radioaktiven Betriebsableitungen in der Größenordnung auf dem Niveau von $1:10^{-5}$ und niedriger, und dies gilt für jede der betrachteten Leistungsalternativen der neuen Kernkraftanlage und für die gesamte Betriebsdauer der neuen Kernkraftanlage einschließlich der Berücksichtigung der Zusammenwirkung mit EDU1-4 und somit ist es aus der gesundheitlichen Perspektive akzeptabel. Gegenüber dem lokalen Hintergrund ist es im nahen Wohngebiet bereits um 3 Größenordnungen niedriger.

Die grenzüberschreitenden Auswirkungen sind mit keinen gesundheitlichen Problemen verbunden, eventuelle Immissionen von Radionukliden aus Luftableitungen der neuen Kernkraftanlage sind nichtig und aus der Sicht der potentiellen gesundheitlichen Auswirkungen völlig vernachlässigbar und die Auswirkungen der flüssigen Ableitungen sind unbedeutend.

Mäßige und zeitliche vorübergehende störende Auswirkungen im Laufe des Baus sind gesundheitlich akzeptabel und können teilweise durch Schutzmaßnahmen vermindert werden.

In Brno, am 28. Februar 2017

9 Unterlagen und Literatur

Unterlagen

1. Gesetz Nr. 258/2000 GBl. über den Schutz der öffentlichen Gesundheit, in der geltenden Fassung
2. Gesetz Nr. 100/2001 GBl. über die Beurteilung der Auswirkungen auf die Umwelt, in der geltenden Fassung
3. Gesetz Nr. 263/2016 GBl. Atomgesetz, in der geltenden Fassung.
4. Verordnung der Staatliche Behörde für Atomsicherheit Nr. 422/2016 GBl. über Strahlenschutz.
5. Gesetz Nr. 201/2012 GBl. über den Luftschutz, in der geltenden Fassung
6. Regierungsverordnung Nr. 272/2011 GBl. über den Schutz der Gesundheit vor ungünstigen Auswirkungen von Lärm und Vibrationen, in der Fassung der Regierungsverordnung Nr. 217/2016 GBl.
7. Autorisationsanleitung (AN 15/04 Version 2) zur Beurteilung des Gesundheitsrisikos der Lärmexposition. Staatliche Gesundheitsanstalt, Praha, Januar 2007,
8. Beurteilung der Gesundheitsrisiken für die Bevölkerung in der Umgebung des Kernkraftwerkes Dukovany durch Ableitungen von radioaktiven Stoffen in die Luft und in Wasserläufe, einschließlich der Prognosen von Risiken für den Zeitraum des verlängerten Betriebs des Kernkraftwerks J. Kotulán, Amec s.r.o., Brno, Februar 2015.
9. Studie der Entwicklung des Gesundheitszustands der Bevölkerung im Interessengebiet des Kernkraftwerkes Dukovany J. Kotulán, Amec s.r.o. („Neue Kernkraftanlage am Standort EDU, Partielle Teil 3, Partielle Erfüllung 13“), Brno, März 2015.
10. Kotulán, J., Smékal, V., Roth, Z., Petlan, I.: Gesundheitszustand der Bevölkerung im Bereich der Auswirkungen des Energiekomplexes Dukovany - Dalešice. Naturwissenschaftliches Sammelwerk des Westmährischen Museums in Třebíč (Acta sci.nat.musei Moraviae occid.), 24, 1996, S. 45 – 112.
11. Kotulán, J.: Gesundheitszustand der Bevölkerung im Bereich der Auswirkungen des Kernkraftwerks Temelín. Masaryk Universität, Brno, Oktober 2014.
12. Radiologische Auswirkungen des gewöhnlichen Betriebs der neuen Kernkraftanlage EDU für die Leistungsalternative bis 2400 MWe. ABmerit, Trnava, September 2016a
13. Sadílek, P.: Neue Kernkraftanlage am Standort Dukovany. Psychischer Zustand der Bewohner. Amec Foster Wheeler, Dezember 2015.
14. Zusammenfassung - Bestimmung der radiologischen Auswirkungen durch Ableitungen in die Atmosphäre und Stoffe in der Luft und Ableitungen in die Wasserläufe aus der neuen Kernkraftanlage EDU, EDU 1-4 und weiteren Kernkraftanlagen an diesem Standort für die UVP-Dokumentation und die Durchführung der Sensitivitätsanalyse für die Änderung der Eingangsparameter der Berechnung, ABmerit, Trnava, September 2016b.
15. Ergänzung der Tabellen mit Dosen aus atmosphärischen und hydrosphärischen Ableitungen für die Sektoren „Výsek“ und „Povodí“. ABmerit, Trnava, Dezember 2016.
16. DPS – Studie zur Expositionssituation in der Umgebung des Kraftwerks Dukovany. Beurteilung der Bestahlungsmöglichkeiten. VUT, FJFI, Lehrstuhl der Dosimetrie und der Anwendung ionisierender Strahlung, Praha, Mai 2015.
17. Neue Kernkraftanlage am Standort Dukovany. Ausführliche Streuungsstudie. Amec Foster Wheeler s.r.o., RNDr. Tomáš Bartoš, Ph.D., Brno Oktober 2016
18. Neue Kernkraftanlage am Standort Dukovany. Ausführliche Lärmstudie. Amec Foster Wheeler s.r.o., September 2016.
19. Erstellung der unterstützenden technischen Berichte zum Zweck der Bestimmung der Bedingungen für die Platzierung der neuen Kernkraftanlage am Standort Dukovany aus der Sicht der radioaktiven

flüssigen Ableitungen. DP2 - Beurteilung NEK-RP für Tritium. T. G. Masaryk Wasserwirtschaftliche Forschungsanstalt, E. Hanslík, Prag, April 2015

20. Auswirkung des elektrischen/magnetischen Feldes auf die Gesundheit und Umwelt, Bestimmung der minimalen Höhe des Parallellaufs der Leitung V483 und V884 mit einem Achsenabstand von 50 m gemäß der Regierungsverordnung 291/2015 BGI. EGU – HV Laboratory a.s., Praha – Běchovice, Juli 2016a.
21. Die Auswirkung des elektromagnetischen Feldes auf die Gesundheit und die Umwelt, die Berechnung der Parameter der Leitung zur Einhaltung der hygienischen Grenzwerte für den Parallellauf der unterirdischen Kabelleitungen mit 110 kV der Reserveversorgung des Eigenverbrauchs der neuen Kernkraftanlage EDU. EGU – HV Laboratory a.s., Praha – Běchovice, Juli 2016b.

Literatur

22. Ahlbom A., Day, N., Feychting, M. et al.: A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. Br. J. Cancer, 83, 692-8, 2000.
23. Ahrens, W., Pigeon, I. (ed.): Handbook of epidemiology. Springer, Berlin – Heidelberg – New York 2005, 1618
24. Babisch, W.: Noise and Health. Environmental Health Perspectives. Research Triangle Park: 2005, Vol. 113, Iss. 1, pp. A14 – 15.
25. Berglund B, Lindval, T. (ed.): Community noise. J. Snabbtryck, Stockholm 1995, 232 pp.
26. Bithell, J.F., Keegan, T.J., Kroll, M.E., Murphy, M.F.G., Vincent, T.J.: Childhood leukaemia near British nuclear installations: Methodical issues and recent results. Radiation Protection Dosimetry 2008;132(2):191-197.
27. Board on Radiation Effects Research: Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. BEIR VII Phase 2. The National Academic Press, Washington, D.C 2006.
28. COMARE (Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment), tenth report: The incidence of childhood cancer around nuclear installations. Crown 2005. Verfügbar aus <http://www.comare.org.uk>
29. IAEA Safety Standards, Fundamental Safety principles“ (2006).
30. ICNIRP International Commission on Non-ionizing Radiation Protection: Exposure Limits. <http://www.icnirp.com> bzw. <http://www.icnirp.de>.
31. ICRP (The Internal Commission on Radiological Protection): The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 103. Elsevier Ltd. 2007, 332 pp.
32. Kotulán, J., Gesundheitszustand der Bevölkerung im Bereich der Auswirkungen des Kernkraftwerks Temelín. Masaryk Universität, Brünn, November 2016.
33. Miedema H.M., Passchier-Vermeer W., Vos H.: Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance. TBO Inro report 2002-59, Delft, January 2003.
34. NIH National Cancer Institute: Electromagnetic Fields and Cancer. Reviewed: April 4, 2016. Available at <http://www.cancer.gov/about-cancer/causes-prevention/risk/radiation/electromagnetic-fields-fact-sheet>
35. Staatliche Anstalt für Strahlenschutz (SÚRO), Prag: Natürliche Radioaktivität und die Radon-Problematik Verfügbar auf www.suro.cz/cz/prirodnioz
36. Salome C.M. et al.: Effect of nitrogen dioxide and other combustion products on asthmatic subjects in a home-like environment. Eur Respir J. 1996, 9, 910 - 918.
37. SCENHIR(Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks): Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). European Commission, 2015.
38. TNO Prevention and Health. Annoyance from Transportation Noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL, and their confidence intervals. Verfügbar auf <http://www.health.tno.nl/>

39. United States Environmental Protection Agency: Integrated Risk Information System. Verfügbar auf: <http://www.epa.gov/>
40. UNSCEAR: Report of United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. 2000. Verfügbar auf <http://www.unscear.org/>.
41. World Health Organization: Air quality guidelines for Europe. Copenhagen 2000, 426 pp.

10 Liste der verwendeten Abkürzungen und Begriffe

Abkürzung	Definition
ALARA	„As Low AS Reasonably Achievable“ (so niedrig, wie vernünftigerweise erreichbar), Abkürzung für das Prinzip des Strahlenschutzes
ALL	akute lymphatische Leukämie
BaP	Benzo(a)pyren
Bq (Becquerel)	Aktivität eines radioaktiven Stoffes, bei der es zum Zerfall eines Atomkerns pro Sekunde kommt
ca	carcinoma (Krebs)
COMARE	Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (UK), Ausschuss für medizinische Aspekte der Strahlung
DNA	Desoxyribonukleinsäure im Zellkern, Träger der Erbinformation
EDU1-4	Kernkraftwerk Dukovany (bestehendes betriebenes Kernkraftwerk)
elm	elektromagnetisch
Ätiologie	Lehre über die Entstehung und Ursachen von Krankheiten
Exposition	Kontakt zwischen einem chemischen, physikalischen und biologischen Faktor und der äußeren Grenze des Organismus
IAEA	International Atomic Energy Agency (Internationale Atomenergie-Organisation)
IARC	International Agency for Research of Cancer (Internationale Agentur für Krebsforschung)
ICRP	The International Commission on Radiological Protection (Internationale Kommission für Strahlenschutz)
Inzidenz	Anzahl der neuen Fälle einer Krankheit pro Jahr umgerechnet auf die Anzahl (gewöhnlich 100.000) der Einwohner der gleichen Kategorie
INES	The International Nuclear Event Scale (Internationale Bewertungsskala für nukleare Ereignisse) hat acht Stufen, sie wurde im Jahr 1990 zur Beurteilung von Störungen und Unfällen von Kernkraftanlagen eingeführt. Sie wurde von den Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA) und der Agentur für Kernkraftenergie OECD eingeführt
Ingestion	Zuführung durch Verdauungstrakt
Inhalation	Aufnahme über die Atemwege
Ischämische Herzkrankheit	Unzureichende Blutversorgung des Herzmuskels, die bekannteste Erscheinung ist der Herzinfarkt
IZ	Ionisierende Strahlung
JE	Kernkraftwerk, Kernkraftwerke
Karzinogenese	Prozess, der von der ursprünglichen Beschädigung der Zelle (Initiation) zu ihrer schrittweisen Veränderung und zur Vermehrung bis zu Geschwulstzellen und der Entstehung einer klinisch feststellbaren Geschwulst führt; es dauert eine Reihe von Jahren, oft 10-15 in Ausnahmefällen bis 40 Jahre
karzinogen	krebserregend
kardiovaskulär	kardial und vaskulär
LET	Linear Energy Transfer (lineare Energieübertragung)
Leukämie	bösartiges Wuchern von weißen Blutkörperchen; nach der Art der betroffenen Blutkörperchen und der Heftigkeit des Verlaufs werden vier grundlegende Typen

Abkürzung	Definition
	der Leukämie unterschieden
low-LET radiation (low Linear Energy Transfer.)	Röntgenstrahlung und Gamma-Strahlung, die sehr gering entlang ihrer Bahnen ionisieren
LNHL	Leukämie und Non-Hodgkin Lymphome
LNT Modell (linear-non-threshold model)	Konzeption, nach der ionisierenden Strahlung bei niedrigen Dosen keine Wirkungsschwelle hat und linear mit der Dosis wächst
Lymphozyten	Art der weißen Blutkörperchen
Mutation	chemische Änderung der Erbmasse (DNA, Chromosomen) übertragen auf die Nachkommenschaft
MW _e	elektrisches Megawatt; elektrische Leistung eines Kernkraftwerks in Megawatt (im Unterschied zur Wärmeleistung, MW _t , die niedriger ist)
NCRP	National Council on Radiation Protection and Measurements (USA)
Non-Hodgkin Lymphome	besondere Form des bösartigen Wucherns des lymphatischen Gewebes
NHL	Non-Hodgkin Lymphome
NKKA	neue Kernkraftanlage
KKA	Kernkraftanlage
PM ₁₀	suspendierte Partikel in der Luft mit Abmessungen bis 10 µm
PM _{2,5}	suspendierte Partikel in der Luft mit Abmessungen bis 2,5 µm
spontane Fehlgeburt	spontan (im Unterschied zu Abtreibungen)
PWR	Druckwasserreaktor
Radionuklide	ebenfalls Radioisotope, Stoffe mit instabilen Atomkernen, die ionisierende Strahlung aussenden
Referenz-	Dosis, Konzentration u. ä., die wahrscheinlich auch bei lebenslanger Exposition der Bevölkerung (einschließlich der sensiblen Untergruppen) kein Risiko negativer Auswirkungen hervorruft
Risiko	mathematische Wahrscheinlichkeit von Schäden
RTG	Röntgen,
SI	Das Komplex SI (aus französischem Le Système International d'Unités) ist ein international vereinbarter Komplex der Einheiten physikalischer Größen, abgeleitet von sieben grundlegenden Einheiten (Meter, Kilogramm, Sekunde, Kelvin, Amper, Candele, Mol). Er entstand im Jahre 1960 in der Tschechischen Republik und ist für die Subjekte und Organe der Staatsverwaltung seit dem Jahr 1990 obligatorisch
SIR	Standardized Incidence Rate (standardisierter Index des Vorkommens von Geschwülsten)
SMR	Standardized Mortality Ratio (standardisierter Index der Sterblichkeit)
SÚJB	Staatliche Behörde für Atomsicherheit (Prag)
SÚRO	Staatliche Anstalt für Strahlenschutz (Praga)
Sv	ist die Einheit, die die Dosis der ionisierenden Strahlung absorbiert aus unterschiedlichen Quellen, auf einen gemeinsamen Nenner gebracht und ermöglicht somit den Vergleich der biologischen Auswirkungen vielfältiger Kombinationen der beteiligten Quellen
TNT	Trinitrotoluol (Sprengstoff)
T1/2	Abkürzung für die effektive Halbwertszeit von Radionukliden
Schadenmaß	engl. detriment, deutsch das Schadensmaß ist nach der ICRP "gesamte Gesundheitsschädigung, zu welcher es in der exponierten Gruppe und bei deren Nachkommen infolge der Gruppenexposition durch Strahlungsquellen gekommen

Abkürzung	Definition
	ist. Es ist ein mehrdimensionaler Begriff. Seine Grundkomponenten sind diese stochastischen Quantitäten: die Wahrscheinlichkeit einer hervorgerufenen tödlichen Neubildung, gewichtete Wahrscheinlichkeit der hervorgerufenen heilbaren Neubildung, gewichtete Wahrscheinlichkeit schwerer erblichen Folgen und der Lebensverkürzung infolge der Schädigung
effektive Folgedosis	engl. committed effective dose, deutsch effektive Folgedosis, Zeitintegral des Leistungsbedarfs der effektiven Dosis bzw. der Äquivalentdosis für die Zeit ab der Aufnahme des Radionuklides; sie berücksichtigt die Tatsache, dass ein Radionuklid im Körper nicht nur im Jahr des Eintritts, sondern auch eventuell viele weitere Jahre wirkt
US EPA	United States Environmental Protection Agency (Behörde der USA für Umweltschutz)
VVER	Wasser-Wasser Leistungsreaktor (Typ PWR produziert in Russland)
Ableitung	Unter Ableitung versteht man "flüssigen oder gasförmigen Stoff, in dem die enthaltenen Radionuklide die Menge der Lösungsebenen nicht übersteigen und der gemäß den in der Genehmigung angegebenen Bedingungen der Emission von Radionukliden in die Umwelt abgeleitet wird".
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
ŽP	Umwelt

11 Anlagen

Tab. P1: Berechnung des Risikos eines Gesundheitsschadens in den Sektoren des südlichen Segmentes, Alternative A

Sektor		Alter Jahre						
Nr.	Zeit	0-1	1-2	2-7	7-12	2-17	über 17	70 Jahre
97	Sv/Jahr	5,68E-06	6,53E-06	7,07E-06	6,94E-06	6,77E-06	6,79E-06	
	R [-]	3,24E-07	3,72E-07	2,01E-06	1,98E-06	1,93E-06	2,05E-05	2,71E-05
98	Sv/Jahr	1,21E-05	1,39E-05	1,51E-05	1,48E-05	1,45E-05	1,45E-05	
	R [-]	6,90E-07	7,92E-07	4,30E-06	4,22E-06	4,13E-06	4,38E-05	5,79E-05
99	Sv/Jahr	1,03E-05	1,18E-05	1,28E-05	1,26E-05	1,23E-05	1,23E-05	
	R [-]	5,87E-07	6,73E-07	3,65E-06	3,59E-06	3,51E-06	3,72E-05	4,92E-05
100	Sv/Jahr	8,71E-06	1,01E-05	1,10E-05	1,07E-05	1,05E-05	1,05E-05	
	R [-]	4,96E-07	5,76E-07	3,14E-06	3,05E-06	2,99E-06	3,17E-05	4,20E-05
101	Sv/Jahr	6,41E-06	7,46E-06	8,15E-06	7,98E-06	7,77E-06	7,78E-06	
	R [-]	3,65E-07	4,25E-07	2,32E-06	2,27E-06	2,21E-06	2,35E-05	3,11E-05
102	Sv/Jahr	4,79E-06	5,61E-06	6,15E-06	6,02E-06	5,85E-06	5,87E-06	
	R [-]	2,73E-07	3,20E-07	1,75E-06	1,72E-06	1,67E-06	1,77E-05	2,35E-05
103	Sv/Jahr	3,37E-06	3,99E-06	4,39E-06	4,29E-06	4,17E-06	4,18E-06	
	R [-]	1,92E-07	2,27E-07	1,25E-06	1,22E-06	1,19E-06	1,26E-05	1,67E-05
104	Sv/Jahr	2,28E-06	2,73E-06	3,01E-06	2,95E-06	2,86E-06	2,87E-06	
	R [-]	1,30E-07	1,56E-07	8,58E-07	8,41E-07	8,15E-07	8,67E-06	1,15E-05
105	Sv/Jahr	9,73E-07	1,17E-06	1,29E-06	1,26E-06	1,22E-06	1,23E-06	
	R [-]	5,55E-08	6,67E-08	3,68E-07	3,59E-07	3,48E-07	3,72E-06	4,91E-06
106	Sv/Jahr	3,21E-07	3,95E-07	4,36E-07	4,28E-07	4,19E-07	4,23E-07	
	R [-]	1,83E-08	2,25E-08	1,24E-07	1,22E-07	1,19E-07	1,28E-06	1,68E-06
107	Sv/Jahr	1,56E-07	1,97E-07	2,19E-07	2,15E-07	2,12E-07	2,15E-07	
	R [-]	8,89E-09	1,12E-08	6,24E-08	6,13E-08	6,04E-08	6,50E-07	8,54E-07
108	Sv/Jahr	9,07E-08	1,16E-07	1,29E-07	1,27E-07	1,25E-07	1,27E-07	
	R [-]	5,17E-09	6,61E-09	3,68E-08	3,62E-08	3,56E-08	3,84E-07	5,04E-07

Bemerkung: Sv/Jahr...effektive Dosis und Folgedosis für ein Jahr (übernommen aus der Tabelle 10)

R [-].... Risiko eines Gesundheitsschadens [dimensionslose Größe] - jährliche Dosis x Umrechnung der Lebensjahre x Risikoeffizient

Tab. P2: Berechnung des Risikos eines Gesundheitsschadens in den Sektoren des südlichen Segmentes, Alternative B

Sektor		Alter Jahre						Summe
Nr.	Zeit	0-1	1-2	2-7	7-12	12-17	über 17	70 Jahre
97	Sv/Jahr	4,59E-06	5,67E-06	6,36E-06	6,21E-06	5,98E-06	6,01E-06	
	R [-]	2,62E-07	3,23E-07	1,81E-06	1,77E-06	1,70E-06	1,82E-05	2,41E-05
98	Sv/Jahr	6,23E-06	7,69E-06	8,64E-06	8,42E-06	8,10E-06	8,13E-06	
	R [-]	3,55E-07	4,38E-07	2,46E-06	2,40E-06	2,31E-06	2,46E-05	3,26E-05
99	Sv/Jahr	5,23E-06	6,48E-06	7,29E-06	7,11E-06	6,83E-06	6,87E-06	
	R [-]	2,98E-07	3,69E-07	2,08E-06	2,03E-06	1,95E-06	2,07E-05	2,74E-05
100	Sv/Jahr	4,51E-06	5,60E-06	6,31E-06	6,15E-06	5,91E-06	5,94E-06	
	R [-]	2,57E-07	3,19E-07	1,80E-06	1,75E-06	1,68E-06	1,79E-05	2,37E-05
101	Sv/Jahr	3,38E-06	4,22E-06	4,75E-06	4,64E-06	4,45E-06	4,48E-06	
	R [-]	1,93E-07	2,41E-07	1,35E-06	1,32E-06	1,27E-06	1,35E-05	1,79E-05
102	Sv/Jahr	2,60E-06	3,26E-06	3,68E-06	3,59E-06	3,44E-06	3,47E-06	
	R [-]	1,48E-07	1,86E-07	1,05E-06	1,02E-06	9,80E-07	1,05E-05	1,39E-05
103	Sv/Jahr	1,91E-06	2,41E-06	2,73E-06	2,67E-06	2,55E-06	2,57E-06	
	R [-]	1,09E-07	1,37E-07	7,78E-07	7,61E-07	7,27E-07	7,77E-06	1,03E-05
104	Sv/Jahr	1,35E-06	1,71E-06	1,94E-06	1,90E-06	1,82E-06	1,83E-06	
	R [-]	7,70E-08	9,75E-08	5,53E-07	5,42E-07	5,19E-07	5,53E-06	7,32E-06
105	Sv/Jahr	5,91E-07	7,54E-07	8,53E-07	8,37E-07	8,01E-07	8,09E-07	
	R [-]	3,37E-08	4,30E-08	2,43E-07	2,39E-07	2,28E-07	2,44E-06	3,23E-06
106	Sv/Jahr	1,99E-07	2,61E-07	2,95E-07	2,90E-07	2,81E-07	2,86E-07	
	R [-]	1,13E-08	1,49E-08	8,41E-08	8,27E-08	8,01E-08	8,65E-07	1,14E-06
107	Sv/Jahr	1,02E-07	1,37E-07	1,55E-07	1,53E-07	1,49E-07	1,52E-07	
	R [-]	5,81E-09	7,81E-09	4,42E-08	4,36E-08	4,25E-08	4,60E-07	6,04E-07
108	Sv/Jahr	6,21E-08	8,41E-08	9,49E-08	9,40E-08	9,14E-08	9,35E-08	
	R [-]	3,54E-09	4,79E-09	2,70E-08	2,68E-08	2,60E-08	2,82E-07	3,70E-07

Bemerkung: Sv/Jahr...effektive Dosis und Folgedosis für ein Jahr (übernommen aus der Tabelle 11)

R [-].... Risiko eines Gesundheitsschadens [dimensionslose Größe] - jährliche Dosis x Umrechnung der Lebensjahre x Risikoeffizient

Tab. P3: Berechnung des Risikos eines Gesundheitsschadens in den Sektoren des südlichen Segmentes, Alternative C

Sektor		Alter Jahre						Summe
Nr.	Zeit	0-1	1-2	2-7	7-12	12-17	über 17	70 Jahre
97	Sv/Jahr	4,42E-06	5,45E-06	6,12E-06	5,97E-06	5,75E-06	5,77E-06	
	R [-]	2,52E-07	3,11E-07	1,74E-06	1,70E-06	1,64E-06	1,75E-05	2,31E-05
98	Sv/Jahr	6,16E-06	7,58E-06	8,52E-06	8,29E-06	7,98E-06	8,01E-06	
	R [-]	3,51E-07	4,32E-07	2,43E-06	2,36E-06	2,27E-06	2,42E-05	3,20E-05
99	Sv/Jahr	5,13E-06	6,35E-06	7,14E-06	6,95E-06	6,68E-06	6,71E-06	
	R [-]	2,92E-07	3,62E-07	2,03E-06	1,98E-06	1,90E-06	2,03E-05	2,69E-05
100	Sv/Jahr	4,42E-06	5,47E-06	6,16E-06	6,00E-06	5,77E-06	5,79E-06	
	R [-]	2,52E-07	3,12E-07	1,76E-06	1,71E-06	1,64E-06	1,75E-05	2,32E-05
101	Sv/Jahr	3,29E-06	4,09E-06	4,61E-06	4,50E-06	4,32E-06	4,34E-06	
	R [-]	2,52E-06	3,14E-06	3,54E-06	3,45E-06	3,31E-06	3,04E-06	1,90E-05
102	Sv/Jahr	2,52E-06	3,14E-06	3,54E-06	3,45E-06	3,31E-06	3,33E-06	
	R [-]	1,44E-07	1,79E-07	1,01E-06	9,83E-07	9,43E-07	1,01E-05	1,34E-05
103	Sv/Jahr	1,83E-06	2,30E-06	2,60E-06	2,53E-06	2,43E-06	2,44E-06	
	R [-]	1,04E-07	1,31E-07	7,41E-07	7,21E-07	6,93E-07	7,38E-06	9,77E-06
104	Sv/Jahr	1,28E-06	1,61E-06	1,82E-06	1,78E-06	1,70E-06	1,71E-06	
	R [-]	7,30E-08	9,18E-08	5,19E-07	5,07E-07	4,85E-07	5,16E-06	6,84E-06
105	Sv/Jahr	5,54E-07	6,99E-07	7,91E-07	7,73E-07	7,40E-07	7,45E-07	
	R [-]	3,16E-08	3,98E-08	2,25E-07	2,20E-07	2,11E-07	2,25E-06	2,98E-06
106	Sv/Jahr	1,85E-07	2,40E-07	2,71E-07	2,66E-07	2,58E-07	2,61E-07	
	R [-]	1,05E-08	1,37E-08	7,72E-08	7,58E-08	7,35E-08	7,89E-07	1,04E-06
107	Sv/Jahr	9,46E-08	1,26E-07	1,42E-07	1,39E-07	1,36E-07	1,38E-07	
	R [-]	5,39E-09	7,18E-09	4,05E-08	3,96E-08	3,88E-08	4,17E-07	5,48E-07
108	Sv/Jahr	5,74E-08	7,66E-08	8,63E-08	8,49E-08	8,26E-08	8,41E-08	
	R [-]	3,27E-09	4,37E-09	2,46E-08	2,42E-08	2,35E-08	2,54E-07	3,34E-07

Bemerkung: Sv/Jahr...effektive Dosis und Folgedosis für ein Jahr (übernommen aus der Tabelle 12)

R [-].... Risiko eines Gesundheitsschadens [dimensionslose Größe] - jährliche Dosis x Umrechnung der Lebensjahre x Risikoeffizient

Tab. P4: Berechnung des Risikos eines Gesundheitsschadens in den Sektoren des Flussgebiets Jihlava, Alternative A

Sektor		Alter Jahre						Summe
Nr.	Zeit	0-1	1-2	2-7	7-12	12-17	über 17	70 Jahre
28	Sv/Jahr	2,24E-05	2,31E-05	2,38E-05	2,06E-05	1,89E-05	2,38E-05	
	R [-]	1,28E-06	1,32E-06	6,78E-06	5,87E-06	5,39E-06	7,19E-05	9,25E-05
41	Sv/Jahr	2,30E-05	2,37E-05	2,43E-05	2,11E-05	1,93E-05	2,41E-05	
	R [-]	1,31E-06	1,35E-06	6,93E-06	6,01E-06	5,50E-06	7,28E-05	9,39E-05
54	Sv/Jahr	2,36E-05	2,44E-05	2,51E-05	2,18E-05	2,00E-05	2,48E-05	
	R [-]	1,35E-06	1,39E-06	7,15E-06	3,45E-06	3,31E-06	7,49E-05	9,16E-05
56	Sv/Jahr	2,22E-05	2,29E-05	2,34E-05	2,02E-05	1,85E-05	2,32E-05	
	R [-]	1,27E-06	1,31E-06	6,67E-06	5,76E-06	5,27E-06	7,01E-05	9,04E-05
57	Sv/Jahr	6,52E-06	6,72E-06	6,90E-06	5,98E-06	5,49E-06	6,83E-06	
	R [-]	3,72E-07	3,83E-07	1,97E-06	1,70E-06	1,56E-06	2,06E-05	2,66E-05
69	Sv/Jahr	6,16E-06	6,28E-06	6,42E-06	5,51E-06	5,04E-06	6,38E-06	
	R [-]	3,51E-07	3,58E-07	1,83E-06	1,57E-06	1,44E-06	1,93E-05	2,48E-05
70	Sv/Jahr	6,06E-06	6,14E-06	6,28E-06	5,37E-06	4,90E-06	6,24E-06	
	R [-]	3,45E-07	3,50E-07	1,79E-06	1,53E-06	1,40E-06	1,89E-05	2,43E-05
71	Sv/Jahr	1,51E-06	1,29E-06	1,46E-06	1,29E-06	1,21E-06	1,61E-06	
	R [-]	8,61E-08	7,35E-08	4,16E-07	3,68E-07	3,45E-07	4,86E-06	6,15E-06

Bemerkung: Sv/Jahr...effektive Dosis und Folgedosis für ein Jahr (übernommen aus der Tabelle 14)

R [-]... Risiko eines Gesundheitsschadens [dimensionslose Größe] - jährliche Dosis x Umrechnung der Lebensjahre x Risikoeffizient

Tab. P5: Berechnung des Risikos eines Gesundheitsschadens in den Sektoren des Flussgebiets Jihlava, Alternative B

Sektor		Alter Jahre						Summe
Nr.	Zeit	0-1	1-2	2-7	7-12	12-17	über 17	70 Jahre
28	Sv/Jahr	2,10E-05	1,85E-05	2,10E-05	1,84E-05	1,66E-05	2,16E-05	
	R [-]	1,20E-06	1,05E-06	5,99E-06	5,24E-06	4,73E-06	6,53E-05	8,35E-05
41	Sv/Jahr	2,14E-05	1,88E-05	2,10E-05	1,84E-05	1,66E-05	2,14E-05	
	R [-]	1,22E-06	1,07E-06	5,99E-06	5,24E-06	4,73E-06	6,46E-05	8,29E-05
54	Sv/Jahr	2,16E-05	1,92E-05	2,14E-05	1,88E-05	1,70E-05	2,17E-05	
	R [-]	1,23E-06	1,09E-06	6,10E-06	5,36E-06	4,85E-06	6,56E-05	8,42E-05
56	Sv/Jahr	2,10E-05	1,83E-05	2,05E-05	1,79E-05	1,61E-05	2,08E-05	
	R [-]	1,20E-06	1,04E-06	5,84E-06	5,10E-06	4,59E-06	6,28E-05	8,06E-05
57	Sv/Jahr	5,71E-06	5,02E-06	5,63E-06	4,92E-06	4,45E-06	5,69E-06	
	R [-]	3,25E-07	2,86E-07	1,60E-06	1,40E-06	1,27E-06	1,72E-05	2,21E-05
69	Sv/Jahr	5,50E-06	4,75E-06	5,32E-06	4,62E-06	4,16E-06	5,40E-06	
	R [-]	3,14E-07	2,71E-07	1,52E-06	1,32E-06	1,19E-06	1,63E-05	2,09E-05
70	Sv/Jahr	5,44E-06	4,66E-06	5,23E-06	4,53E-06	4,07E-06	5,30E-06	

	R [-]	3,10E-07	2,66E-07	1,49E-06	1,29E-06	1,16E-06	1,60E-05	2,05E-05
71	Sv/Jahr	1,46E-06	1,22E-06	1,41E-06	1,22E-06	1,10E-06	1,44E-06	
	R [-]	8,32E-08	6,95E-08	4,02E-07	3,48E-07	3,14E-07	4,35E-06	5,57E-06

Bemerkung: Sv/Jahr...effektive Dosis und Folgedosis für ein Jahr (übernommen aus der Tabelle 15)

R [-].... Risiko eines Gesundheitsschadens [dimensionslose Größe] - jährliche Dosis x Umrechnung der Lebensjahre x Risikoeffizient

Tab. P6: Berechnung des Risikos eines Gesundheitsschadens in den Sektoren des Flussgebiets Jihlava, Alternative C

Sektor		Alter Jahre						Summe
Nr.	Zeit	0-1	1-2	2-7	7-12	12-17	über 17	70 Jahre
28	Sv/Jahr	1,52E-05	1,38E-05	1,55E-05	1,39E-05	1,27E-05	1,64E-05	
	R [-]	8,66E-07	7,87E-07	4,42E-06	3,96E-06	3,62E-06	4,95E-05	6,32E-05
41	Sv/Jahr	1,55E-05	1,41E-05	1,57E-05	1,40E-05	1,28E-05	1,63E-05	
	R [-]	8,84E-07	8,04E-07	4,47E-06	3,99E-06	3,65E-06	4,92E-05	6,30E-05
54	Sv/Jahr	1,57E-05	1,44E-05	1,60E-05	1,43E-05	1,31E-05	1,66E-05	
	R [-]	8,95E-07	8,21E-07	4,56E-06	4,08E-06	3,73E-06	5,01E-05	6,42E-05
56	Sv/Jahr	1,51E-05	1,36E-05	1,51E-05	1,34E-05	1,23E-05	1,57E-05	
	R [-]	8,61E-07	7,75E-07	4,30E-06	3,82E-06	3,51E-06	4,74E-05	6,07E-05
57	Sv/Jahr	4,75E-06	4,30E-06	4,79E-06	4,25E-06	3,89E-06	4,96E-06	
	R [-]	2,71E-07	2,45E-07	1,37E-06	1,21E-06	1,11E-06	1,50E-05	1,92E-05
69	Sv/Jahr	4,56E-06	4,04E-06	4,50E-06	3,97E-06	3,62E-06	4,69E-06	
	R [-]	2,60E-07	2,30E-07	1,28E-06	1,13E-06	1,03E-06	1,42E-05	1,81E-05
70	Sv/Jahr	4,50E-06	3,95E-06	4,41E-06	3,88E-06	3,54E-06	4,60E-06	
	R [-]	2,57E-07	2,25E-07	1,26E-06	1,11E-06	1,01E-06	1,39E-05	1,77E-05
71	Sv/Jahr	1,28E-06	1,08E-06	1,26E-06	1,09E-06	1,00E-06	1,31E-06	
	R [-]	7,30E-08	6,16E-08	3,59E-07	3,11E-07	2,85E-07	3,96E-06	5,05E-06

Bemerkung: Sv/Jahr...effektive Dosis und Folgedosis für ein Jahr (übernommen aus der Tabelle 16)

R [-].... Risiko eines Gesundheitsschadens [dimensionslose Größe] - jährliche Dosis x Umrechnung der Lebensjahre x Risikoeffizient