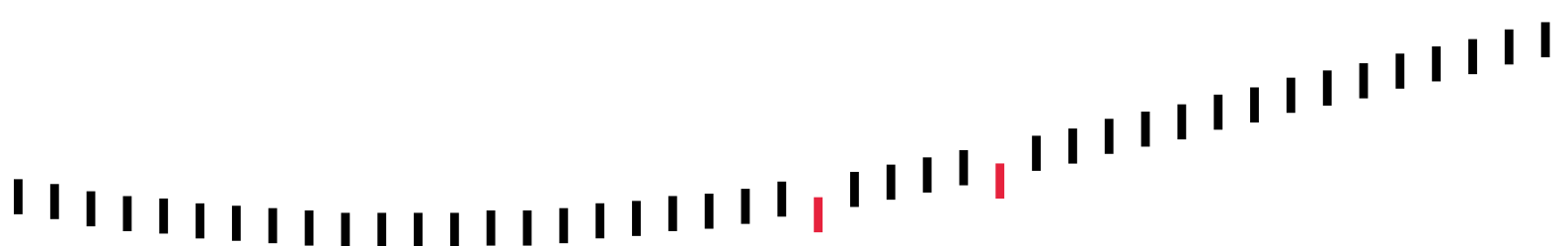


Schlussbericht (avec résumé en français)

Monitoring der medizinisch bedingten Strahlenexposition

Basel, 21.07.2025



Impressum

Monitoring der medizinisch bedingten Strahlenexposition in der Schweiz (2023)

Schlussbericht

21.07.2025

Auftraggeber: Bundesamt für Gesundheit BAG

Autorinnen und Autoren: Dr. Florentin Krämer, Tino Schönleitner, Dr. Elina Samara

Kooperationspartnerinnen und Kooperationspartner: Prof. Dr. Elmar Merkle (USB), Achim Escher (escher consulting), Dr. Elina Samara (USZ), PD Dr. Valerie Treyer (USZ), Prof. em. Dr. Thomas Krause (Uni Bern), PD Dr. Dorothea Dagassan (UZB)

Verantwortlich seitens Auftraggeber: Barbara Ott

Projektleitung seitens Auftragnehmer: Dr. Florentin Krämer

Projektbearbeitung: Dr. Florentin Krämer, Tino Schönleitner, Victor Legler, Dr. Boris Kaiser

BSS Volkswirtschaftliche Beratung AG

Aeschengraben 9

CHE-4051 Basel

T +41 61 262 05 55

contact@bss-basel.ch

www.bss-basel.ch

© 2025 BSS Volkswirtschaftliche Beratung AG

Inhalt

Zusammenfassung.....	1
Résumé.....	2
1 Einleitung.....	3
2 Ausgangslage und Zielsetzung.....	4
2.1 Untersuchungsperimeter	4
2.2 Terminologie und Definitionen	6
2.3 Zielsetzungen.....	6
3 Methodik	8
3.1 Häufigkeitserhebung	8
3.2 Dosiserhebung.....	15
4 Ergebnisse.....	17
4.1 Konventionelle Radiologie.....	19
4.2 Interventionelle Radiologie	22
4.3 Nuklearmedizin	24
4.4 Zahnmedizin	26
5 Fazit.....	26
A Ergänzungen zur Methodik.....	28
A.1 Häufigkeitserhebung	28
A.2 Dosiserhebung.....	50
B Weitere Ergebnisse	70
C CT-Retropolation	73
D Bibliographie	76

Tabellen

Tabelle 1: Übersicht Fachbereiche und Modalitäten	5
Tabelle 2: Einheitliche Terminologie	6
Tabelle 3: Übersicht Datenquellen	9
Tabelle 4: Beispielhafte Kodierung einer PTCA im stationären Bereich	12
Tabelle 5: Auszug aus der NUK-Jahresmeldung	13
Tabelle 6: Frequenz und Dosis, Computertomographie (CT)	19
Tabelle 7: Frequenz und Dosis, konventionelles Röntgen (XR)	20
Tabelle 8: Frequenz und Dosis, Mammographie (MG)	21
Tabelle 9: Frequenz und Dosis, konventionelle Durchleuchtung (RF)	21
Tabelle 10: Frequenz und Dosis, Knochendichtemessung (DEXA)	22
Tabelle 11: Frequenz und Dosis, Interventionelle Diagnostische Radiologie (IRD)	23
Tabelle 12: Frequenz und Dosis, Interventionelle Therapeutische Radiologie (IRT)	24
Tabelle 13: Frequenz und Dosis, Nuklearmedizin (NUK)	25
Tabelle 14: Frequenz und Dosis, Zahnmedizin (DENT)	26
Tabelle 15: Eckwerte des Tarifpools	28
Tabelle 16: Eckwerte der Medizinischen Statistik der Krankenhäuser (MS)	29
Tabelle 17: Eckwerte der Patientendaten Spital ambulant (PSA)	30
Tabelle 18: Harmonisierte Klassifikation der konventionellen Radiologie	31
Tabelle 19: Harmonisierte Klassifikation der interventionellen Radiologie	39
Tabelle 20: Mapping Radiopharmaka zu NUK-Untersuchungen	48
Tabelle 21: Rücklaufquoten der Zahnarzt-Befragung nach Kanton	49
Tabelle 22: Abweichungen der effektiven Dosiswerte bestimmter Untersuchungen	52
Tabelle 23: Effektive Dosen für CT-Untersuchungen	53
Tabelle 24: Effektive Dosen für Röntgenuntersuchungen	57
Tabelle 25: Effektive Dosen für Mammographie im Ländervergleich	59
Tabelle 26: Effektive Dosen für konventionelle Durchleuchtungen	60
Tabelle 27: Effektive Dosen für interventionelle diagnostische Radiologie	63
Tabelle 28: Effektive Dosen für interventionelle therapeutische Radiologie	64

Tabelle 29: Effektive Dosen für den CT-Beitrag in der Nuklearmedizin.....	65
Tabelle 30: Tarifcodes von SPECT und Szintigraphien.....	66
Tabelle 31: Sichtfeld-Kategorien für die Digitale Volumentomographie	67
Tabelle 32: Effektive Dosen für die Digitale Volumentomographie.....	68
Tabelle 33: Effektive Dosen für die Zahnmedizin.....	69

Abbildungen

Abbildung 1: Schema Häufigkeits- und Frequenzvektor	9
Abbildung 2: Häufigkeits- und Dosisverteilung nach Modalität	18
Abbildung 3: CT-Inflationsfaktoren (Auszug)	37
Abbildung 4: Frequenz und -Dosis nach Alter, Geschlecht und Kanton, CT	71
Abbildung 5: Frequenz und -Dosis nach Alter, Geschlecht und Kanton, IR	72
Abbildung 6: Datenbruch bei den stationären CT-Frequenzen.....	73
Abbildung 7: Effektive CT-Dosis (kontrafaktisch vs. tatsächlich)	74
Abbildung 8: Gesamteffekt der CT-Retropolation	75

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung durch medizinische Verfahren im Jahr 2023. Grundlage sind Abrechnungsdaten sowie administrativ erhobene Daten für Radiologie und Nuklearmedizin. Zur Erhebung der zahnmedizinischen Häufigkeiten dient eine Primärdatenerhebung. Die Untersuchungen werden nach vier Fachbereichen differenziert: konventionelle Radiologie, interventionelle Radiologie, diagnostische Nuklearmedizin und Zahnmedizin. Insgesamt wurden 12.9 Mio. strahlenverursachende Untersuchungen durchgeführt, was 1'443 Untersuchungen pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohnern entspricht. Die kollektive effektive Dosis beträgt 1.69 mSv pro Kopf – ein Anstieg von 13 % gegenüber 2018.

Hauptbefunde

Die *Computertomographie* verursacht trotz nur 14.4% Häufigkeitsanteil 75.7% der Gesamtdosis. 2023 wurden 207 CT pro 1'000 Einwohner registriert, mit einer mittleren Dosis von 1.28 mSv/Kopf. Das *Konventionelle Röntgen* ist mit 448 Untersuchungen pro 1'000 Personen die häufigste Modalität nach der Zahnmedizin, verursacht aber nur 0.04 mSv/Kopf. Auf die *Nuklearmedizin* entfallen 15.7 Untersuchungen pro 1'000 Personen, was 0.11 mSv/Kopf entspricht; fast die Hälfte stammt von zugehörigen CT-Aufnahmen. Der höchste Anteil an der Untersuchungshäufigkeit (46.5%) ist in der *Zahnmedizin* zu verzeichnen, dort entstehen aber nur 0.6% der Gesamtdosis (0.01 mSv/Kopf).

Methodik und Limitationen

Die Berechnungen basieren auf Abrechnungs- und Administrativdaten, ergänzt durch literaturbasierte Dosiswerte und eigens erhobene Primärdaten. Zur Ermittlung der Dosiswerte wurden zusätzlich Daten eines Dosismanagementsystems verwendet. Der Wechsel der Erhebungsmethodik gegenüber früheren Jahren erschwert Vergleiche über die Zeit. Unterschiede in Kodierpraxis und Abrechnungslogik stellen weitere Unsicherheiten dar.

Fazit

Der Bericht liefert eine solide und differenzierte Übersicht über die medizinisch verursachte Strahlenexposition in der Schweiz. Die methodische Umstellung bringt Vorteile hinsichtlich Repräsentativität und Automatisierbarkeit, erzeugt aber einen Bruch in der Zeitreihe. Unter plausiblen Annahmen für die Retropolation der CT-Untersuchungshäufigkeit im stationären Bereich ist die Strahlenbelastung seit 2018 stabil. CT-Untersuchungen bleiben Haupttreiber der kollektiven Strahlenbelastung.

Résumé

Le présent rapport documente l'exposition de la population suisse aux rayonnements lors de procédures médicales en 2023. Il se fonde sur les données administratives et de facturation relatives à la radiologie et à la médecine nucléaire. Une collecte de données primaires sert à déterminer la fréquence des soins dentaires. Les examens sont différenciés selon quatre domaines spécialisés : radiologie conventionnelle, radiologie interventionnelle, médecine nucléaire diagnostique et médecine dentaire. Au total, 12,9 millions d'examens causant des rayonnements ont été menés, ce qui correspond à 1443 examens pour 1000 habitants. La dose efficace collective s'élève à 1,69 mSv par personne, une hausse de 13 % par rapport à 2018.

Principaux constats

Malgré une fréquence de seulement 14,4 %, la *tomodensitométrie* représente 75,7 % de la dose totale. En 2023, 207 examens CT ont été enregistrés pour 1000 habitants, avec une dose moyenne de 1,28 mSv/personne. Avec 448 examens pour 1000 personnes, la *radiographie conventionnelle* est la modalité la plus courante après la médecine dentaire, mais elle ne génère que 0,04 mSv/personne. La *médecine nucléaire* représente 15,7 examens pour 1000 personnes, ce qui correspond à 0,11 mSv/personne ; près de la moitié proviennent d'examens CT associés. En termes de fréquence des examens, la plus forte proportion est enregistrée en *médecine dentaire* (46,5 %), mais celle-ci ne représente que 0,6 % de la dose totale (0,01 mSv/personne).

Méthodologie et limites

Les calculs se basent sur des données administratives et de facturation, complétées par des valeurs de dose issues de la littérature et des données primaires collectées spécifiquement. Des données provenant d'un système de gestion des doses ont également été utilisées pour déterminer les valeurs de dose. Le changement de méthode de collecte par rapport aux années précédentes rend difficiles les comparaisons dans le temps. Les différences dans les pratiques de codage et la logique de décompte constituent d'autres sources d'incertitude.

Conclusion

Le rapport fournit une vue d'ensemble solide et nuancée de l'exposition médicale aux rayonnements en Suisse. Le changement de méthode apporte des avantages en termes de représentativité et d'automatisation, mais entraîne une rupture dans la série chronologique. Sur la base d'hypothèses plausibles pour la rétropolation de la fréquence des examens CT dans le domaine stationnaire, l'exposition aux rayonnements est stable depuis 2018. Les examens CT restent le principal facteur d'exposition collective.

1 Einleitung

Radiologische und nuklearmedizinische Verfahren schaffen einen substanziellen Mehrwert für Patientinnen und Patienten. Viele dieser Verfahren führen jedoch zu einer Exposition mit ionisierender Strahlung, welche negative gesundheitliche Wirkungen nach sich ziehen kann. Der Gesetzgeber hat verschiedene Vorkehrungen getroffen, um die Strahlenexposition im medizinischen Bereich so gering wie möglich zu halten: In der Strahlenschutzverordnung (StSV) wird unter anderem festgehalten, dass «alle Strahlendosen so niedrig zu halten [sind], wie dies für die Gewinnung der benötigten Bildinformation notwendig ist» (Art. 32 Abs. 1 StSV). Ausserdem besteht ein Optimierungsprozess, der unter anderem Massnahmen zur Qualitätssicherung vorsieht und die Erfassung und Evaluation der Patientendosis vorschreibt (Art. 32 Abs. 3 lit. d und e StSV). Im Mittelpunkt dieses Berichts steht ein weiteres Instrument, das insbesondere auf die Beurteilung der Entwicklung der Expositionshäufigkeit und der Dosis je Exposition über die Zeit ausgelegt ist: das Monitoring der medizinischen Strahlenexposition, welches in regelmässigen Abständen – seit 1998 alle 5 Jahre – durchgeführt wird und in Art. 34 StSV verankert ist.

Für Zwecke der temporalen und internationalen Vergleichbarkeit wird dazu die *kollektive effektive Dosis* berechnet. Kollektiv, weil die verschiedenen strahlenverursachenden Modalitäten in Summe betrachtet werden. Effektiv, weil es sich um eine berechnete Grösse handelt, die Unterschiede in der Strahlenabsorption von Gewebetypen oder Organen berücksichtigt. Die kollektive effektive Dosis ist das Produkt aus der Expositionshäufigkeit und der effektiven Dosis je Exposition, aufsummiert über alle Expositionen innerhalb eines bestimmten Zeitraums.

Dabei gilt: Eine häufig durchgeführte Untersuchung, die mit einer geringen Dosis einhergeht, kann zu einer deutlich niedrigeren Strahlenexposition führen als eine weniger häufig durchgeführte Untersuchung mit hoher Dosis. Mit Blick auf zahnmedizinische Röntgenaufnahmen vs. CT-Untersuchungen ist dies besonders augenfällig: Die zahnmedizinischen Röntgenaufnahmen machen im Jahr 2023 46.5% aller Untersuchungen aus, sind aber nur für 0.6% des Dosisbeitrags verantwortlich. Umgekehrt bei den Computertomographien: hier beträgt der Häufigkeitsanteil lediglich 14.4%, der Beitrag an die Gesamtexposition liegt aber bei knapp 76%.

Für die Präsentation der Methodik und der Ergebnisse ist es im Weiteren sinnvoll, vier Fachbereiche zu unterscheiden: die konventionelle Radiologie, die interventionelle Radiologie, die diagnostische Nuklearmedizin und die Zahnmedizin. Der Fachbereich Radioonkologie und Strahlentherapie ist nicht Teil dieses Mandats. Zu beachten ist auch, dass strahlenverursachende Untersuchungen auch im Bereich der Radiologie nicht notwendigerweise von Radiologinnen oder Radiologen durchgeführt werden; zu denken ist etwa an Koronarangiografien, die von Kardiologinnen oder Kardiologen durchgeführt werden.

Wir orientieren uns bei der Erhebung der Untersuchungshäufigkeit weitgehend an der Methodik, die wir im Rahmen eines früheren Mandats für das BAG entwickelt und in einem Anschlussmandat verfeinert haben.¹ Im Wesentlichen basiert die Erhebung der Häufigkeit in der Radiologie folglich auf Administrativdaten für den stationären Bereich und Abrechnungsdaten für den ambulanten Bereich. Zusätzlich berücksichtigen wir für die Nuklearmedizin Daten, die im Rahmen der Meldepflicht jährlich an das BAG übermittelt werden müssen. Zur Erhebung der Häufigkeit

¹ Verfügbar unter <https://www.bag.admin.ch/str-monitoring>.

zahnmedizinischer Untersuchungen führen wir eine Primärdatenerhebung durch, da keine Sekundärdaten zur Verfügung stehen.

Die Erhebung der Dosiswerte beruht auf einem abgestuften Vorgehen. Primär kommen Werte aus der Literatur zum Einsatz, wobei aktuelle Veröffentlichungen Vorrang genießen. Subsidiär setzen wir diagnostische Referenzwerte oder Werte aus dem Dosismanagementsystem des Universitätsspitals Zürich ein. Eine Besonderheit besteht beim Dosisvektor für die CT-Untersuchungen: Hier hat uns das BAG Ergebnisse aus einer repräsentativen Erhebung bei Schweizer Spitälern zur Verfügung gestellt.

Die so berechnete kollektive effektive Dosis liegt im Jahr 2023 bei 1.69 mSv pro Kopf. Im Vergleich zu 2018 ist ein Anstieg um 13% zu verzeichnen. Grund dafür ist auf den ersten Blick die starke Zunahme der Computertomographien. Wurden 2018 noch 135 CT pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner verzeichnet, waren es 2023 bereits 207. Es handelt sich dabei aber mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht ausschliesslich um einen realen Anstieg, sondern vornehmlich um ein Artefakt der Datenerfassung. Aufgrund einer Änderung der Kodierrichtlinien der Schweizerischen Operationsklassifikation (CHOP) sind CT-Untersuchungen ab 2021 obligatorisch zu kodieren, was in den vorherigen Jahren nicht der Fall war. Aufgrund dieses Umstands ist zu vermuten, dass die kollektive effektive Dosis vor 2021 systematisch zu tief geschätzt wurde. Mit einiger Wahrscheinlichkeit ist die effektive Dosis pro Kopf seit 2018 somit nicht gestiegen.²

2 Ausgangslage und Zielsetzung

2.1 Untersuchungssperimeter

In einem ersten Schritt definieren wir die *Grundgesamtheit* der strahlenverursachenden Untersuchungen, die in den vorliegenden Bericht einfließen. Tabelle 1 präsentiert einen Überblick zu den einzelnen Fachbereichen und Modalitäten.³ Wie eingangs erwähnt, differenzieren wir die Untersuchungen in vier Fachbereiche: die konventionelle Radiologie, die interventionelle Radiologie, die diagnostische Nuklearmedizin und die Zahnmedizin. Die konventionelle Radiologie wird weiter in konventionelles Röntgen (XR), Computertomographie (CT), Mammographie (MG), konventionelle Durchleuchtung (RF) sowie Knochendichtemessungen (DEXA) unterteilt. Die

² Um den realen Anstieg der CT-Frequenz zu untersuchen, nehmen wir in Anhang C eine Retropolation der CT-Frequenzen auf Basis der Daten des Versorgungsatlas vor. Die Idee besteht darin, mittels der Wachstumsraten zwischen den Jahren 2021 und 2023 die kontrafaktische Frequenz des Jahres 2018 für jeden Indikator separat zu ermitteln. Anschliessend werden die effektiven Dosiswerte berechnet und der prozentuale Unterschied zwischen «tatsächlicher» und «kontrafaktischer» effektiver Dosis auf die effektive Dosis des Monitorings 2018 angewandt. Wir gelangen zum Ergebnis, dass die effektive CT-Dosis 2018 etwa 0.2 mSv höher liegt als ausgewiesen (1.16 mSv statt 0.96 mSv), wenn bereits zum damaligen Zeitpunkt alle CT-Untersuchungen obligatorisch kodiert worden wären. Die kontrafaktische kollektive effektive Dosis liegt somit bei 1.69 mSv – was exakt dem Wert von 2023 entspricht.

³ Die Auswahl der Modalitäten und Untersuchungen richtet sich nach den im Pflichtenheft beschriebenen Anforderungen und berücksichtigt im Wesentlichen die Modalitäten/Untersuchungen, welche Eingang in die vorherigen Monitorings gefunden haben. Insbesondere bei der interventionellen Radiologie waren weitergehende Validierungsschritte notwendig, die sich auf die Auswahl der Untersuchungen ausgewirkt haben. Wir beschreiben unser Vorgehen in Abschnitt 3.1.2.

interventionelle Radiologie unterteilen wir nach dem Zweck der Untersuchung (diagnostisch vs. therapeutisch).

Bei der Nuklearmedizin unterscheiden wir primär nach Positronen-Emissions-Tomographien (PET) und Szintigraphien inklusive Einzelphotonen-Emissions-Tomographien (SPECT). Zusätzlich wird berücksichtigt, dass bei vielen dieser Untersuchungen zusätzlich eine CT-Akquisition erfolgt (PET/CT und SPECT/CT). Bei der Zahnmedizin schliesslich lassen sich vier Modalitäten differenzieren: die intraorale Radiographie (IO), die Orthopantomographie (OPT), das Fernröntgenbild (FR) sowie die digitale Volumentomographie (DVT).

Um die Modalitäten zu konkretisieren, enthält Tabelle 1 auch einige Anwendungsbeispiele. In Abschnitt 3.1 weisen wir detailliert aus, welche Untersuchungen im Rahmen der verschiedenen Modalitäten in welcher Granularität gezählt werden und wie die Extraktion aus den einzelnen Datenquellen erfolgt.

Tabelle 1: Übersicht Fachbereiche und Modalitäten

Fachbereich	Modalität	Abkürzung	Beispiel
Konventionelle Radiologie	Konventionelles Röntgen	XR	Röntgen Thorax
	Computertomographie	CT	CT Neurokranium
	Mammographie	MG	Screening-Mammographie
	Konventionelle Durchleuchtung	RF	Arthrographie
	Knochendichtemessung	DEXA	
Interventionelle Radiologie	Diagnostische interventionelle Radiologie	IRD	Angiographie der unteren Extremitäten
	Therapeutische interventionelle Radiologie	IRT	Perkutan-transluminale Koronarangioplastie (PTCA)
Nuklearmedizin (NUK)	Positronen-Emissions-Tomographien (iVm CT)	PET	PET Tumore
	Einzelphotonen-Emissions-Tomographien	SPECT	SPECT Skelett
	Szintigraphie (planar)		Schilddrüsen-Szintigraphie
Zahnmedizin (DENT)	Intraorale Radiographie	IO	
	Orthopantomographie	OPT	
	Fernröntgenbild	FR	
	Digitale Volumentomographie	DVT	

Quelle: Eigene Darstellung.

2.2 Terminologie und Definitionen

Dieser Abschnitt definiert eine einheitliche Terminologie, die wir anschliessend konsistent durch den Bericht hindurch anwenden. Tabelle 2 fasst die zentralen Begrifflichkeiten zusammen.

Tabelle 2: Einheitliche Terminologie

Begriff	Erklärung	Beispiel
Modalität	Modalität ist ein Oberbegriff für bildgebende Verfahren in einem spezifischen Fachbereich.	Konventionelles Röntgen (XR)
Untersuchung/Aufnahmen	Die Durchführung eines Thorax-Röntgen ist eine <i>Untersuchung</i> . Im Rahmen dieser Untersuchung können mehrere <i>Aufnahmen</i> des Thorax angefertigt werden. Grundsätzlich wird im vorliegenden Bericht die Anzahl der Untersuchungen erfasst. Einzig für die Zahnmedizin haben wir die Anzahl Aufnahmen erhoben.	XR-Thorax
Tarifcode/Behandlungscodes	Die Untersuchungen werden innerhalb der Abrechnungs- und Administrativdaten mit <i>Tarifcodes/Behandlungscodes</i> erfasst.	39.0190 (XR-Thorax)
Häufigkeit	Die Zählung der Untersuchungen mittels Codes ergibt die <i>Häufigkeit</i> . Die Häufigkeiten werden differenziert nach <i>anatomischen Regionen/Protokollen</i> in einem Häufigkeitsvektor erfasst.	683'135 XR-Thorax im Jahr 2023
Frequenz	Die Frequenz setzt die ermittelte Häufigkeit ins Verhältnis zur Bevölkerungsgrösse.	76.2 XR-Thorax pro 1'000 Einwohner im Jahr 2023
Effektive Dosis	Die mittlere effektive Dosis gibt die Strahlenbelastung pro <i>Untersuchung/Aufnahme</i> in Millisievert (mSv) an. Die Dosen werden differenziert nach anatomischen Regionen/Protokollen in einem Dosisvektor abgelegt.	XR-Thorax: 0.035 mSv
Kollektive effektive Dosis	Das Produkt von Häufigkeit und Dosis ergibt die kollektive effektive Dosis.	XR-Thorax: 24'024 mSv
Strahlenbelastung pro Kopf	Die Strahlenbelastung pro Kopf ist der Quotient aus der kollektiven effektiven Dosis und der ständigen Wohnbevölkerung.	XR-Thorax: 0.003 mSv

Quelle: Eigene Darstellung.

2.3 Zielsetzungen

Die Ermittlung der Häufigkeit und Dosis strahlenverursachender Untersuchungen ist letztlich eine Schätzung. Absolute Genauigkeit könnte wohl nur erzielt werden, wenn man Angaben zur verwendeten Dosis direkt aus den Systemen der strahlenverursachenden Geräte extrahiert, was jedoch aufgrund der Heterogenität der verwendeten Systeme und der Nichtverfügbarkeit dieser Daten mindestens aktuell keine Option darstellt. Umso wichtiger scheint es uns, die Zielsetzungen des vorliegenden Berichts zu konkretisieren, denn sie sind massgeblich für methodische

Entscheidungen, die wir bei der Ermittlung der kollektiven effektiven Dosis getroffen haben. Wesentliche Ziele sind:

- *Erfassen von Trends und Veränderungen im Zeitablauf:* Der Beobachtung von Entwicklungen im Zeitablauf kommt ein hohes Gewicht zu. Radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungsmodalitäten entwickeln sich stetig weiter. Protokolle werden verändert, neue Tracer und Geräte entwickelt, Leitlinien angepasst. Aber auch das Spektrum der Indikationen verändert sich über die Zeit, wenngleich langsamer: Der demografische Wandel sorgt für eine Zunahme von Krankheitsbildern, die vorwiegend ältere Personen treffen. Aus diesen Gründen verändert sich sowohl die Untersuchungshäufigkeit bestimmter Modalitäten als auch die mittlere Dosis pro Untersuchung. Eine Betrachtung im Zeitablauf ist daher informativ: Einerseits kann sie Auskunft über die Zu- oder Abnahme der Frequenz bestimmter Untersuchungen geben, andererseits über die benötigte Dosis.
- *Zeitnahe und repräsentative Erfassung:* Ein explizites Ziel des Strahlenexpositionsmonitorings besteht darin, Ergebnisse zeitnah, repräsentativ und möglichst automatisiert zu erhalten. Dies gelingt aktuell nur, indem wir weitgehend auf Abrechnungs- und Administrativdaten zurückgreifen.⁴ Der hohe Abdeckungsgrad dieser Erhebungen bedeutet, dass die Ergebnisse als repräsentativ für die gesamte Schweiz betrachtet werden können. Bei gleichbleibender Methodik und Rückgriff auf eine vordefinierte Liste mit zu berücksichtigenden Tarifpositionen/Codes ist der Prozess weitgehend automatisierbar. Manuelle Eingriffe sind erforderlich, wenn:
 - Sich Tarifstrukturen ändern. So wird ab 2026 im ambulanten Bereich der Tarmed durch eine Kombination aus TARDOC und ambulanten Pauschalen abgelöst.
 - Sich Kodierregeln oder Tarifierungsregeln ändern: Auch innerhalb der gültigen Tarif- resp. Kodierungswerke können Regeländerungen zu Anpassungsaufwand führen.
 - Daten einzelner Bereiche nicht verfügbar sind: Zahnmedizinerinnen und Zahnmediziner rechnen nicht über den Tarmed ab und verfügen nicht über eine eigene Sammlung von Abrechnungsdaten.
- *Konsistenz mit anderen Erhebungen:* Im Schweizer Atlas der Gesundheitsversorgung (Versorgungsatlas) werden die Häufigkeiten bestimmter Untersuchungen ebenfalls erfasst, um die zeitliche Entwicklung und geografische Heterogenität der Inanspruchnahme darzustellen. Zum Teil überlappen sich die dort abgebildeten Untersuchungen mit den hier beschriebenen. Wir achten auf die Konsistenz der Erhebungsmethodiken und weisen transparent aus, an welchen Stellen wir von der Methodik im Versorgungsatlas abweichen.

Zudem scheint es uns wichtig, die hier gewählte Vorgehensweise gegenüber den letzten beiden Monitorings, welche durch das Institut de Radiophysique am Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (IRA) gemeinsam mit der Haute Ecole de Santé Vaud (HESAV) durchgeführt wurden, abzugrenzen:

- Für IRA/HESAV war es zentral, unbearbeitete Daten direkt aus den Kliniksystemen zu extrahieren. Somit sind alle Daten auf individueller Ebene verfügbar. Damit lassen sich erstens einzelne Untersuchungen präziser abbilden. Zweitens besteht kein Risiko, dass Tarif- oder Behandlungscodes mit Blick auf die Abrechnung «optimiert» wurden. Wir sind hingegen auf

⁴ Prinzipiell wäre es möglich, Daten über die durchgeführten Prozeduren und Dosen direkt aus den Radiologie-Informationssystemen (RIS) resp. Dosismanagementsystemen (DMS) zu extrahieren. Die Datenlandschaft ist aktuell aber sehr heterogen, sodass eine Vereinheitlichung über verschiedene Spitäler und Radiologieinstitute hinweg schwierig erscheint.

aggregierte Administrativ- resp. Abrechnungsdaten angewiesen und müssen daher gewisse Unschärfen in Kauf nehmen.

- Die Kehrseite des Vorgehens von IRA/HESAV ist, dass es kaum auf die ganze Schweiz skalierbar ist. IRA/HESAV behelfen sich durch eine Hochrechnung. Wir benötigen keine Hochrechnung auf die ganze Schweiz, haben aufgrund der grossen Stichprobe eine deutlich verlässlichere Schätzung in der Zahnmedizin, und versuchen konsequent alle Untersuchungen mittels Abrechnungs-/Administrativdaten zu erfassen, ohne auf separate Auswertungen bspw. von Fachgesellschaften zurückzugreifen. Das ist möglich, weil wir mit dem Tarifpool der SASIS AG und der Medizinischen Statistik der Krankenhäuser (MS) arbeiten und somit keine Individualdaten aus Kliniksystemen extrahieren müssen.

Beide Varianten haben Vor- und Nachteile. Unsere Methodik ermöglicht eine weitgehend automatisierbare und zeitnahe Auswertung der Häufigkeit. Zudem decken wir die ganze Schweiz ab. Bei der IRA/HESAV-Methodik ist es nicht realistisch, Daten aller Spitäler auf diese Weise erheben zu können; daher ist diese Variante immer mit einer Hochrechnung verbunden. Kombinationen von Tarifziffern, die zusammengenommen eine Untersuchung abbilden, sind mit dieser Methode aber besser zu erfassen. Auch gibt es weniger Verzerrungen durch Optimierungen bei der Abrechnung. Als Fazit bleibt festzuhalten, dass es einen methodischen Bruch zwischen 2018 und 2023 gibt, der bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

3 Methodik

Wie oben ausgeführt, besteht das Ziel des Monitorings darin, sämtliche strahlenverursachende Untersuchungen, die im Jahr 2023 in der Schweiz durchgeführt wurden, zu erfassen und ihnen korrekte Dosiswerte zuzuordnen. Konzeptionell ist es sinnvoll, die Erfassung der Häufigkeit und der Dosiswerte separat zu betrachten. Die Granularität des Dosisvektors muss jedoch mit der Granularität des Häufigkeitsvektors übereinstimmen, um die kollektive effektive Dosis bestimmen zu können. Diese wechselseitige Abhängigkeit macht eine Aggregation der Untersuchungen resp. eine Mittelwertbildung der Dosiswerte erforderlich. Wir beschreiben unser Vorgehen nachfolgend und gehen dabei auf die verschiedenen Fachbereiche gesondert ein. Um den vorliegenden Bericht kurz zu gestalten, verweisen wir für detaillierte Ausführungen jeweils auf den Anhang.

3.1 Häufigkeitserhebung

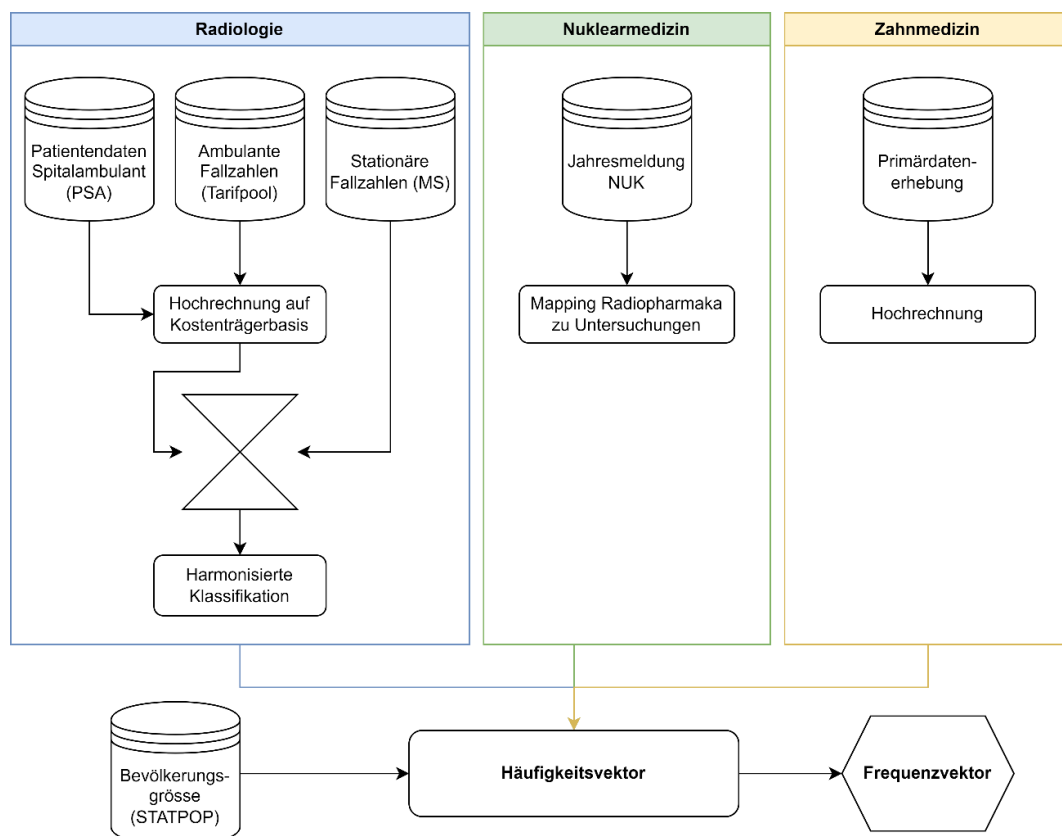
Tabelle 3 bildet die zentralen Eigenschaften der Datenquellen ab, die wir für die Ermittlung des Häufigkeitsvektors benötigen. Wie eingangs erwähnt, greift unsere Methodik auf einen breiten Mix an Datenquellen zurück, da keine Quelle für sich genommen «perfekt» ist. Erst die Kombination der Einzelteile ergibt ein schlüssiges Gesamtbild. Eine detaillierte Beschreibung der Administrativ- und Abrechnungsdaten ist in Anhang A.1.1 zu finden. Um die Untersuchungshäufigkeiten in Bezug zur Bevölkerungsgrösse zu analysieren, verwenden wir zusätzlich die Bevölkerungsstatistik des BFS (STATPOP). Zu erwähnen ist, dass sich sowohl die Untersuchungshäufigkeit als auch die Bevölkerungsgrössen auf die *ständige Wohnbevölkerung* der Schweiz aus dem Jahr 2023 beziehen. Grenzgängerinnen und Grenzgänger schliessen wir somit aus den Analysen aus. Die Abgrenzung erfolgt mittels des Wohnorts der Patientinnen und Patienten.

Tabelle 3: Übersicht Datenquellen

Fachbereich	Datenquelle	Eigentümer	Leistungserbringer	Kostenträger	Behandlungsart
Radiologie	Medizinische Statistik der Krankenhäuser (MS)	BFS	Spitäler	alle	stationär (CHOP)
	Tarifpool	SASIS AG	alle	OKP	ambulant (TAR-MED)
	Patientendaten Spital ambulant (PSA)	BFS	Spitäler	alle	ambulant (TAR-MED)
Nuklearmedizin	Jahresmeldung	BAG	alle	alle	ambulant und stationär
Zahnmedizin	Primärdatenerhebung	BAG	alle	alle	ambulant

Anmerkungen: Die Bevölkerungsgrösse wird der Bevölkerungsstatistik des BFS (STATPOP) entnommen und ist hier nicht als gesonderte Datenquelle aufgeführt. *Quelle:* Eigene Darstellung.

Abbildung 1: Schema Häufigkeits- und Frequenzvektor



Anmerkungen: Die Darstellung bietet einen Überblick über die Herangehensweise zur Berechnung des Häufigkeitsvektors, differenziert nach den Fachbereichen Radiologie, NUK und DENT. *Quelle:* Eigene Darstellung.

Abbildung 1 fasst die einzelnen Arbeitsschritte zur Ableitung des Häufigkeits- und Frequenzvektors schematisch zusammen. Die Darstellung dient als erster Überblick und verdeutlicht die

Komplexität des Untersuchungsgegenstands. In den nachfolgenden Abschnitten führen wir das Vorgehen zur Berechnung der Häufigkeit detailliert aus.

3.1.1 Konventionelle Radiologie

Für die konventionelle Radiologie greifen wir im ambulanten Bereich auf den Tarifpool der SASIS AG zurück. Für den stationären Bereich steht die medizinische Statistik der Krankenhäuser (MS) zur Verfügung. Die Untersuchungen können mittels der relevanten Codes identifiziert und anschliessend gezählt werden. Zu erwähnen ist, dass die beiden Tarifsysteme (TARMED und CHOP) eine unterschiedliche *Auflösung* besitzen: So sind beispielsweise die diagnostischen Mammographien in der CHOP granularer kodiert als im TARMED, während es sich bei konventionellen Röntgenaufnahmen der Extremitäten umgekehrt verhält. Um die Häufigkeiten aus den beiden Tarifsystemen abschliessend zu addieren, wenden wir somit eine *harmonisierte* Klassifikation an. Diese orientiert sich stark an den beiden Vorgängermmandaten⁵ sowie am Versorgungsatlas des schweizerischen Gesundheitsobservatoriums (OBSAN).⁶ Die harmonisierte Klassifikation für die konventionelle Radiologie ist im Anhang A.1.2 aufgelistet. Insgesamt zählen wir 172 Codes.

Die Erfassungsgüte ist sehr hoch, da es sich bei den verwendeten Datenquellen um Vollerhebungen handelt.⁷ Während die MS eine Vollerhebung über *alle* Kostenträger darstellt, enthält der Tarifpool aber nur Rechnungen, die über den Kostenträger OKP abgerechnet wurden. Leistungen der Unfallversicherung (UV), Invalidenversicherung (IV) und Militärversicherung (MV) sind somit im Tarifpool nicht enthalten.

Im spitalambulantem Bereich können diese Häufigkeiten grundsätzlich mittels Daten aus den Patientendaten Spital ambulant (PSA) erfasst werden. Da in der PSA Abrechnungen *aller* Kostenträger erfasst sind, kann diese Datenquelle genutzt werden, um das Verhältnis zwischen der Anzahl abgerechneter Untersuchungen über die OKP und der Anzahl abgerechneter Untersuchungen über die anderen Kostenträger zu ermitteln. Dieses Verhältnis bezeichnen wir als *Inflationsfaktor*. Details zu den Inflationsfaktoren sind im Anhang A.1.3 aufgeführt. Für den praxisambulantem Bereich liegen keine analogen Informationen für Untersuchungen vor, die nicht über die OKP abgerechnet werden.⁸ Entsprechend verwenden wir die Inflationsfaktoren aus dem spitalambulantem Bereich, um die ambulanten Häufigkeiten des Tarifpools entsprechend hochzurechnen. Dieser Schritt erfolgt *vor* der Addition der ambulanten und stationären Häufigkeiten.

Die implizite Prämisse unserer Methodik ist, dass jede durchgeführte Untersuchung abgerechnet wird oder – im stationären Bereich – mittels CHOP kodiert und in der MS erfasst wird. Diese Prämisse ist meist erfüllt. Es gibt aber sowohl im stationären als auch im ambulanten Bereich Ausnahmen:

⁵ Verfügbar unter <https://www.bag.admin.ch/str-monitoring>.

⁶ Verfügbar unter <https://www.versorgungsatlas.ch/>.

⁷ Der Tarifpool weist im Jahr 2023 im ambulanten Bereich eine OKP-Abdeckung von rund 99% auf. In früheren Jahren war die Abdeckung jedoch deutlich geringer und die Häufigkeiten mussten auf Stufe der Partnerart-Obergruppe entsprechend hochgerechnet werden (Hochrechnungsfaktor: 1/Abdeckungsgrad). Wir führen diese Hochrechnung auch für das Jahr 2023 durch – die Häufigkeiten verändern sich aufgrund des sehr hohen Abdeckungsgrades aber nur marginal.

⁸ Die Firma NewIndex AG betreibt die ärztliche Datenbank NAKO, die aus eingespeisten praxisambulantem Rechnungen von allen Kostenträgern besteht. Diese Daten konnten für das vorliegende Mandat allerdings nicht verwendet werden.

- *Stationär*: Gemäss dem Medizinischen Kodierungshandbuch (Kodierrichtlinie Po2k) sind «Prozeduren, die routinemässig bei den meisten Patienten mit einer bestimmten Erkrankung durchgeführt werden» nicht zu kodieren (S. 69). Beispielhaft sind aufgeführt: «Röntgenaufnahme [...] bei Radius-Fraktur (Colles)» sowie «Konventionelle Röntgenuntersuchungen, z.B. Routine-Thoraxröntgen». Diese Untersuchungen werden somit in der MS nicht erfasst und verzerren das Bild im stationären Bereich. Wir beschreiben in Anhang A.1.4, wie wir mit dieser Problematik sowie weiteren Spezialfällen umgehen.
- *Ambulant*: Im ambulanten Bereich gilt: Rechnungen, die von den Versicherten nicht eingereicht werden – beispielsweise aufgrund des Nicht-Ereichens der Franchise – werden auch nicht erfasst. Dies ist insbesondere im praxisambulanten Bereich relevant, da dort Rechnungen teilweise direkt an die Versicherten versendet werden (*Tiers garant*). Spitäler senden ihre Rechnungen meist direkt an den Versicherer (*Tiers payant*). Diese Untererfassung stellt eine Unschärfe dar, die wir nicht korrigieren können.⁹

3.1.2 Interventionelle Radiologie

Die Herangehensweise zur Erfassung der Untersuchungshäufigkeiten ist in der interventionellen Radiologie grundsätzlich gleich wie in der konventionellen Radiologie (vgl. Abbildung 1): Die Codes werden ambulant (Tarifpool) und stationär (MS) gezählt und mittels einer harmonisierten Klassifikation aggregiert und zusammengefügt. Die ambulanten OKP-Untersuchungshäufigkeiten im Tarifpool werden zudem anhand der PSA auf alle Kostenträger hochgerechnet (vgl. Anhang A.1.3).

Im Unterschied zur konventionellen Radiologie ist die Extraktion, Zählung und Aggregation der Untersuchungshäufigkeiten in der interventionellen Radiologie mit zusätzlichen Herausforderungen verbunden:

- *Unterschiedliche Granularität*: Während in der CHOP die interventionellen Untersuchungen sehr granular codiert sind, verfolgt der TARMED zum Teil ein sogenanntes «catch all» Prinzip: Über den Code «39.1110» werden beispielsweise verschiedenste therapeutische *und* diagnostischen Interventionen unter Durchleuchtung abgerechnet (n = 32'663 im Jahr 2023). Dies verunmöglicht eine sinnvolle Abgrenzung dieser Untersuchungen im Hinblick auf die Dosis und somit auch eine Überleitung zwischen dem ambulanten und stationären Bereich.
- *Identifikation von Ankerziffern*: Eine im stationären Bereich durchgeführte IRT-Untersuchung besteht meist aus mehreren CHOP-Codes. Die Herausforderung besteht darin, sogenannte *Ankerziffern* zu definieren, die *immer* abgerechnet werden und somit zur Erfassung der Untersuchungshäufigkeit gezählt werden können. Tabelle 4 bildet eine beispielhafte Kodierung für eine perkutan-transluminale Koronarangioplastie (PTCA) ab. Der Code «00.66.29» dient in diesem Beispiel als Ankerziffer.

⁹ In einem anderen Mandat zuhanden des BAG haben wir den Anteil der fehlenden TARMED-Leistungen infolge von nicht eingereichten OKP Rechnungen auf rund 6% geschätzt (vgl. https://bss-basel.ch/files/berichte/BSS_Obsan_Hoehstzahlen_Aerzte.pdf). Diese 6% können allerdings nach unserem Dafürhalten nicht dafür genutzt werden, um die ambulanten Untersuchungshäufigkeiten hochzurechnen, da sich die Morbidität und damit die Strahlenbelastung dieses Patientenkollektivs stark von dem schweizerischen Durchschnitt unterscheiden dürfte.

Tabelle 4: Beispielhafte Kodierung einer PTCA im stationären Bereich

Behandlungscode	Label
00.66.29	Koronarangioplastik [PTCA], mit Ballons, sonstige
00.41	Massnahme auf zwei Gefässen
36.08.22	Implantation perkutan-transluminale von Stents mit Medikamentenfreisetzung, in mehreren Koronararterien
00.66.21	Koronarangioplastik [PTCA] mit medikamentenfreisetzenden Ballons
00.4C.11	Koronarangioplastik [PTCA] mit medikamentenfreisetzenden Ballons
37.2A.12	Intravaskuläre Bildgebung der Koronargefässe mittels optischer Kohärenztomographie

Quelle: Private Kommunikation.

Aufgrund dieser Herausforderungen haben wir uns für einen pragmatischen Ansatz entschieden: Wir erfassen diejenigen Untersuchungen, die wir in den Daten gut abgrenzen können. In der IRD unterscheiden wir zwischen Koronarangiographien und Angiographien des rechten Herzens, Angiographien der oberen bzw. unteren Extremitäten sowie Angiographien der restlichen anatomischen Regionen. In der IRT bilden wir 6 Kategorien: (i) perkutan-transluminale Koronarangioplastien (PTCA), (ii) Elektrophysiologie, (iii) Implantation von Herzschrittmachern/Defibrillatoren, (iv) Schmerztherapie, (v) Untersuchungen der Herzklappen und (vi) eine Sammelkategorie für «Sonstige Untersuchungen». Letztere umfasst u.a. Angioplastien an sonstigen Blutgefässen, Embolisationen sowie auch Magen-Darm-Trakt und urogenitale Interventionen. Die «catch-all» Position «39.1110» fliesst *nicht* in die Zählung mit ein, da eine Zuordnung zu den einzelnen anatomischen Regionen/Protokollen nicht möglich ist. Die in Operationssälen durchgeführten Verfahren, wie orthopädische Eingriffe, Gefässchirurgie usw., können wir nicht erfassen. Dies stellt eine Limitation dar, da einerseits die Verwendung von Röntgenstrahlen ausserhalb der radiologischen Abteilung häufig ist und andererseits die Strahlendosis bei bestimmten Verfahren aufgrund ihrer Komplexität besonders hoch ist. Die vollständige Klassifikation mit insgesamt 254 Codes ist im Anhang A.1.5 aufgeführt.¹⁰

3.1.3 Nuklearmedizin

Sowohl der Tarifpool als auch die MS verfügen *nicht* über die notwendige Granularität, um die verschiedenen nuklearmedizinischen Untersuchungen umfassend abzubilden. Aus diesem Grund greifen wir auf die Jahresmeldung zurück, die im Rahmen der Meldepflicht jährlich an das BAG übermittelt werden muss. Die Jahresmeldung ist eine Vollerhebung für den ambulanten und stationären Bereich und ist auf Ebene der Bewilligungsinhaber von nuklearmedizinischen Geräten verfügbar. Die Angaben zur Anzahl Patienten sowie der applizierten Aktivität pro Jahr (MBq) sind weiter nach den einzelnen Radiopharmaka aufgeschlüsselt.¹¹ Die Jahresmeldung hat den

¹⁰ Genauer ausgedrückt sind es Code-Zeichenfolgen, da die Codes im stationären Bereich nicht endständig definiert sind. Bestandteil der Definition sind demzufolge alle Codes, die mit den aufgeführten Zeichenfolgen beginnen (vgl. Tabelle 19 im Anhang).

¹¹ Die Angabe zur Aktivität pro Jahr wird für Berechnung der Strahlenbelastung verwendet (vgl. Abschnitt 3.2).

Nachteil, dass die Angaben plausibilisiert und vereinzelt korrigiert werden müssen.¹² Tabelle 5 zeigt beispielhaft den Aufbau der Daten.

Tabelle 5: Auszug aus der NUK-Jahresmeldung

Bewilligungsinhaber	Jahr	Radiopharmakon	Anzahl Patienten	Aktivität pro Jahr (MBq)
Spital X	2023	18F-FDG	1'000	200'000
Spital X	2023	18F-Cholin	100	20'000
Spital X	2023	(Tc-99m) Pertechnetate	3'000	300'000

Quelle: Jahresmeldung (BAG).

Um die Häufigkeit von strahlenbelastenden Untersuchungen in der Nuklearmedizin zu berechnen, gehen wir anschliessend wie folgt vor:

- In einem ersten Schritt werden die Radiopharmaka einheitlichen Kategorien zugeordnet, da die Rohdaten unterschiedliche Schreibweisen aufweisen.
- Zweitens erstellen wir ein *Mapping* von den Radiopharmaka zu den übergeordneten Modalitäten PET und SPECT sowie zu den einzelnen anatomischen Regionen/Protokollen (bspw. PET Tumore und SPECT Skelett, vgl. Anhang A.1.6). Die Szintigraphien werden dabei zu den SPECT gezählt, da der zentrale Unterschied zwischen den beiden Modalitäten die Aufnahmetechnik ist und somit anhand der Radiopharmaka keine sinnvolle Differenzierung möglich ist.
- In einem letzten Schritt verwenden wir die Angaben zur Anzahl Patienten (= Anzahl Sitzungen) und summieren die Werte auf die Ebene der im vorherigen Schritt beschriebenen anatomischen Regionen/Protokolle. Somit erhalten wir die Untersuchungshäufigkeiten in der gewünschten Auflösung.

Bei einer PET-Untersuchung wird *immer* zusätzlich ein natives CT gefahren. Zudem wird häufig auch ein Kontrastmittel hinzugegeben, um die betroffene anatomische Stelle genauer zu untersuchen. Bei den SPECT werden nur teilweise begleitende CTs (in der Regel ohne Kontrastmittel) durchgeführt. Die CTs haben zwar keinen Einfluss auf die Untersuchungshäufigkeit, da wir bereits die Grundgesamtheit aller PET/SPECT zählen. Der Einfluss auf die Strahlenbelastung ist jedoch relativ hoch. Die Jahresmeldung enthält allerdings nur Angaben zur Strahlenbelastung durch die Radiopharmaka. Wir führen in Anhang A.2.8 detailliert aus, wie wir den Dosisbeitrag der CT-Akquisition berechnen.

3.1.4 Zahnmedizin

Wie eingangs erwähnt, führen wir für die Zahnmedizin eine Primärdatenerhebung durch. Ausgangspunkt bildet dabei die vom BAG zur Verfügung gestellte Bewilligungsinhaber-Datenbank von zahnmedizinischen Geräten. Die Datenbank ermöglicht es, eine vollständige *Adressliste* inkl. Kontaktangaben auf Ebene der Zahnarztpraxen und -abteilungen zu generieren. Die von uns ermittelte Grundgesamtheit beträgt 3'631 Praxen/Abteilungen. Für die Konzeption und Durchführung der Erhebung verwendeten wir die Befragungssoftware «Survalyzer». Die Rücklaufquote

¹² Die Validierung wurde in Zusammenarbeit mit dem BAG vorgenommen.

beträgt insgesamt rund 74%, was für eine Befragung einen sehr hohen Wert darstellt (die kantonalen Rücklaufquoten befinden sich in Anhang A.1.7). Die Repräsentativität der abgeleiteten Häufigkeiten ist somit gegeben. Nachfolgend beschreiben wir deren Herleitung:

- Der Fragebogen ist grundsätzlich nach den in der Tabelle 1 aufgeführten Modalitäten (IO, OPT, FR und DVT) gegliedert. Die Praxen konnten pro Modalität und Zeiteinheit (Tag, Woche, Monat, Jahr) die Anzahl durchgeführter *Aufnahmen* angeben.¹³ Um die Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen, war keine punktgenaue Angabe erforderlich. Stattdessen konnten die Praxen *Intervalle* ankreuzen (1–10, 11–20 etc.). Zusätzlich bestand auch die Möglichkeit, in einem Freitextfeld die genaue Anzahl anzugeben.¹⁴
- Um valide Resultate zu erhalten sind anschliessend primär 3 Schritte notwendig: (i) die Intervallangaben müssen zu konkreten Häufigkeiten umgewandelt werden, (ii) die Angaben müssen in ein einheitliches Zeitformat gebracht werden (iii) die Rücklaufquoten sind bei der Aggregation zu berücksichtigen. Wir gehen wie folgt vor:
 - *Intervallangaben*: Für das Intervall 1–10 setzen wir den Wert 5 ein, für 11–20 den Wert 15 etc.
 - *Zeiteinheiten*: Alle Angaben werden – unter Berücksichtigung von Ferien und Wochenenden – aufs Jahr hochgerechnet.
 - *Rücklaufquoten*: Die Jahreshäufigkeiten werden pro Kanton mit der Rücklaufquote gewichtet und abschliessend über die Kantone aufsummiert.¹⁵

Zusätzlich konnten die teilnehmenden Praxen/Abteilungen auch die DVT-Verteilung nach dem Sichtfeld (Field of View, FoV) angeben. Diese Angaben werden zur Berechnung der effektiven Dosis verwendet (vgl. Abschnitt 3.2). Die Datenbank des BAG enthält auch Angaben von Nicht-Zahnarztpraxen, die jedoch zahnmedizinische Geräte verwenden (bspw. Radiologie-Institute). Nicht-Zahnarztpraxen rechnen in der Regel über den TARMED ab. Ohne Korrektur führt dies bei den DVT zu Doppelzählungen, da diese Institute häufig CT-Schädel als Analogieposition bei der Abrechnung verwenden. Mittels des erhobenen Schwerpunkts der Praxen können wir diese Fälle identifizieren und deren DVTs (rund 7% des Totals) entsprechend von der CT-Schädel-Häufigkeit wieder abziehen.¹⁶

¹³ Ziel der Befragung war es, die durchschnittliche Anzahl Aufnahmen *pro Gerät* abzufragen. Mittels der Geräteangaben der Adressliste wäre es prinzipiell möglich gewesen, eine entsprechende Hochrechnung pro Praxis vorzunehmen. Da die teilnehmenden Praxen ihre Angaben jedoch *pro Praxis* gemacht haben, haben wir diese Art der Hochrechnung nicht durchgeführt.

¹⁴ Bei einer ersten Version des Fragebogens hatten die Praxen die Möglichkeit, das Intervall «>50» für die Angabe der Anzahl Untersuchungen anzukreuzen. Da dies für die Auswertung mit Unschärfen verbunden ist, erstellten wir eine zweite Version des Fragebogens. Dort wurden die Personen automatisch zu einer Zusatzfrage weitergeleitet und wurden gebeten, die genaue Anzahl anzugeben (anstelle von «>50»). Anschliessend berechneten wir pro Modalität und Zeiteinheit den *Median* in der zweiten Gruppe (Version 2) und ersetzten die Angaben in der ersten Gruppe (Version 1) damit. Insgesamt sind von dieser Korrektur unter 10% der Praxen betroffen.

¹⁵ Ein Beispiel für intraorale Radiographie (IO): Angenommen im Kanton X wurden laut der Erhebung im Jahr 2023 20'000 IO durchgeführt. Die Rücklaufquote im Kanton X beträgt 80%. Die geschätzte Grundgesamtheit im Kanton X liegt somit bei 25'000 (20'000/0.8).

¹⁶ Zwei Bemerkungen dazu: (i) Praxen mit Schwerpunkt Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie rechnen nach eigenen Angaben fast nie über den TARMED ab. Somit haben wir deren DVT *nicht* von den CT-Schädel Häufigkeiten abgezogen. (ii) Da die DVT auf Ebene der *Aufnahmen* erhoben worden sind, entsteht bei der Häufigkeitskorrektur eine leichte Unschärfe. Dies, da die CT-Schädel auf Ebene der *Untersuchung* gezählt werden.

3.2 Dosiserhebung

3.2.1 Berechnung der effektiven Dosis

Um die gesamte Strahlenexposition bezogen auf einen bestimmten Zeitraum und eine bestimmte Population angeben zu können, sind neben der Häufigkeit der durchgeführten Prozeduren Angaben zur mittleren Strahlenbelastung pro Untersuchung erforderlich. Zu diesem Zweck wird die effektive Dosis E berechnet. Die effektive Dosis wird in Sievert (Sv) ausgedrückt. Sievert ist ein Masszahl für das stochastische Risiko, im Verlauf des Lebens an Krebs zu erkranken, wobei 1 Sv einer Wahrscheinlichkeit von 5.5% entspricht [1(S. 143)].

Die effektive Dosis kann nicht unmittelbar aus Dosisprotokollen entnommen werden. Denn ionisierende Strahlen wirken nicht überall gleich: Manche Gewebe nehmen viel Strahlung auf, andere wenig; manche Strahlentypen weisen eine höhere relative biologische Wirksamkeit (RBW) auf als andere. Möchte man das Risiko einer Krebserkrankung beurteilen, hat die Bestrahlungsdosis selbst daher nur unzureichende Aussagekraft. Genau zu diesem Zweck wurde von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) das Konzept der «effektiven Dosis» entwickelt. Es handelt sich dabei um eine berechnete Grösse, die es ermöglicht, die gesundheitlichen Auswirkungen von ionisierender Strahlung über Modalitäten und anatomische Regionen hinweg vergleichbar zu machen.

Vereinfacht sind drei Schritte notwendig, um zur effektiven Dosis E zu gelangen: zunächst die Messung der absorbierten energetischen Dosis $D_{T,R}$ in einer Referenz-Frau resp. einem Referenz-Mann für ein gegebenes Organ/Gewebe T und einen gegebenen Strahlungstypus R , welche in der Einheit Gray (Gy) ausgedrückt wird. Im Anschluss erfolgt die Konversion der absorbierten Dosis in die Äquivalenzdosis H_T mit einem Faktor w_R , der für die unterschiedlichen Strahlungstypen korrigiert. Wurde die Bildgebung am ganzen Körper gleichmässig durchgeführt, entspricht die Äquivalenzdosis der effektiven Dosis. Wurden nur einzelne Organe bestrahlt, wird im dritten Schritt eine Gewichtung der Äquivalenzdosis mit einem organ- und gewebespezifischen Faktor w_T durchgeführt. Summiert über alle betrachteten Organe/Gewebe und Strahlungstypen erhält man als Resultat die effektive Dosis E . Formal:

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

Die Gewichtungsfaktoren für den Strahlentyp (w_R) und die exponierten Gewebe resp. Organe (w_T) können zu Konversionskoeffizienten (Conversion Coefficients, CC) zusammengefasst werden. Sie beruhen auf Referenztabelle der Internationalen Strahlenschutzkommission [1].¹⁷

3.2.2 Erhebungsmethoden

Prinzipiell gibt es diesbezüglich folgende Möglichkeiten:

¹⁷ Die Werte der absorbierten energetischen Dosis für Patientinnen und Patienten, die sich einer medizinischen Bildgebung unterziehen, können durch physikalische Dosimetrie in gewebeäquivalenten anthropomorphen Phantomen ermittelt werden; üblicher ist heute die Schätzung durch Monte-Carlo-Strahlungstransportsimulationen unter Verwendung anatomischer Computermodelle der Patientin oder des Patienten.

- *Verwendung von diagnostischen Referenzwerten (DRW)*: Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass diagnostische Referenzwerte für sämtliche hier betrachteten Modalitäten seitens BAG erhoben wurden, diese Werte den Schweizer Kontext abbilden, auf einer breiten Datenbasis beruhen und leicht verfügbar sind. Nachteilig ist hingegen, dass die technologische Entwicklung in der Radiologie und Nuklearmedizin rasch voranschreitet und die erhobenen DRW bereits wieder veraltet sein können (insbesondere für die besonders dosisrelevanten Modalitäten CT, XR, IRT und IRD, da die letzten publizierten DRW hier aus dem Jahr 2018 stammen). Zudem bilden die DRW das 75. Perzentil der Verteilung ab, wohingegen für die Erhebung der Dosis der Median sachgerecht erscheint (eine Ausnahme bildet die Wegleitung zu den DRW in der Computertomographie, welche beide Werte ausweist).
- *Verwendung von Werten aus der Literatur*: Nationale und internationale Studien geben Hinweise auf die absorbierte Dosis. Ein Vorteil besteht darin, dass die Datenbasis potenziell noch umfangreicher ist als für die Erhebung der diagnostischen Referenzwerte. Nachteilig ist hingegen, dass die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Schweizer Kontext nicht gesichert ist. Auch stehen nicht für alle benötigten Prozeduren aktuelle Angaben zur Verfügung.
- *Primärdatenerhebung mittels Befragung*: Befragungen stellen bei entsprechender Abdeckung eine gute Methode dar, um für die Schweiz repräsentative Werte zu erhalten. Allerdings bedingt dies, dass Untersuchungsprotokolle klar definiert sind, in den Systemen aller teilnehmenden Spitälern/Instituten in vergleichbarer Weise hinterlegt sind und von allen ausfüllenden Personen gleich verstanden werden.
- *Extraktion von Werten aus Dose Management Systems (DMS)*: Diese Variante würde grundsätzlich die präzisesten und für die Schweiz realistischsten Werte liefern. Der Vorteil besteht in der hohen Auflösung der Daten (sofern die Untersuchungsprotokolle voneinander abgrenzbar sind, ist die Extraktion von Daten auf Ebene Untersuchung möglich) sowie in der hohen Passgenauigkeit, sowohl im Hinblick auf die Schweizer Gegebenheiten als auch auf die Abbildung der aktuellen technologischen Entwicklungen. Damit geht eine hohe Validität der daraus abgeleiteten Ergebnisse einher. Als Nachteil ist der Aufwand anzuführen, der mit der Beschaffung solcher Daten einhergeht, insbesondere vor dem Hintergrund der heterogenen Datenlandschaft in der Schweiz.

Jede der aufgeführten Methoden hat Stärken und Schwächen. Im Verlauf des Mandats hat sich gezeigt, dass ein Vergleich von Werten aus unterschiedlichen Quellen zielführend ist. Auf diese Weise stellen wir sicher, dass die ermittelten Dosiswerte einerseits den Stand der praktischen Anwendung 2023 in der Schweiz bestmöglich widerspiegeln und gewährleisten andererseits eine gewisse Kontinuität über die Zeit und Einheitlichkeit über Länder hinweg. Wir präzisieren das allgemeine Vorgehen in Anhang A.2.1 und gehen in Anhang A.2.2–A.2.9 auf das Vorgehen für die einzelnen Bereiche gesondert ein.

3.2.3 Berechnung der kollektiven effektiven Dosis und der Strahlenbelastung pro Einwohnerin und Einwohner

Um von der effektiven Dosis E zur *kollektiven* effektiven Dosis S zu gelangen, sind drei Angaben erforderlich:

1. Die mittlere effektive Dosis $\overline{E}_i$ für jede betrachtete Kombination aus Modalität und anatomischer Region/Protokoll $i \in I$.
2. Die Anzahl Untersuchungen N_i für jede betrachtete Kombination aus Modalität und anatomischer Region/Protokoll $i \in I$.

3. Der zu berücksichtigende Zeitraum und die Population, auf welche sich die Erhebung bezieht.

Die Erhebung der ersten beiden Angaben wurde vorgängig beschrieben. Der Zeitraum ist das gesamte Jahr 2023. Somit kann die kollektive effektive Dosis wie folgt berechnet werden:

$$S = \sum_i \bar{E}_i N_i$$

Schliesslich wird daraus die Strahlenexposition pro Einwohnerin und Einwohner abgeleitet, indem das Verhältnis aus S und der Bevölkerungsgrösse gebildet wird. Als Population dient die ständige Wohnbevölkerung.

3.2.4 Limitierungen

Schätzungen der effektiven Dosis sind aus mehreren Gründen komplex. Dazu tragen Unsicherheiten bei der Berechnung von Organdosen, die Verwendung verschiedener Berechnungsphantome und wechselnde Werte von Gewebegewichtungsfaktoren bei. Die Dosisbelastung hängt vom Röntgengerät, dem Untersuchungsprotokoll und den Röntgenparametern, der Anzahl der Projektionen oder Scans, der Erfahrung des operierenden Arztes und der Komplexität der Anatomie ab, so dass sich die effektive Dosis von Patientin oder Patient zu Patientin oder Patient und von Zentrum zu Zentrum erheblich unterscheiden kann. Bei der interventionellen Radiologie besteht die Hauptschwierigkeit darin, zu definieren, ob es sich um diagnostische und/oder therapeutische Verfahren handelt [2]. Die Bezeichnung des Verfahrens ist über Zentren hinweg nicht eindeutig. Die Zuordnung von Verfahren zu übergeordneten Kategorien wie «Kopf-CT» oder «Angioplastie» führt zu zusätzlichen Unsicherheiten bei der Bestimmung der effektiven Dosis.

4 Ergebnisse

In diesem Abschnitt präsentieren wir die Ergebnisse der vorherigen Arbeitsschritte. Insgesamt wurden in der Schweiz im Jahr 2023 rund 12.9 Mio. strahlenverursachende Untersuchungen durchgeführt. Das sind rund 1'443 Untersuchungen pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner.¹⁸ Die kollektive effektive Dosis beträgt 1.69 mSv pro Kopf. Im Vergleich zu 2018 ist ein Anstieg um 13% zu verzeichnen. Grund dafür ist primär die starke Zunahme der Computertomographien. Wurden 2018 noch 135 CT pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner verzeichnet, waren es 2023 bereits 207. Wie eingangs erwähnt, handelt sich dabei mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht ausschliesslich um einen realen Anstieg, sondern vornehmlich um ein Artefakt der Datenerfassung.¹⁹

Die Ergebnisse werden nachfolgend nach Fachbereich, Modalität und anatomischer Region/Protokoll aufgeschlüsselt. Um ein vollständiges Bild zu ermöglichen, präsentieren wir jeweils (i) die Untersuchungshäufigkeiten in Form von Frequenzen, (ii) die effektiven Dosen pro Untersuchung

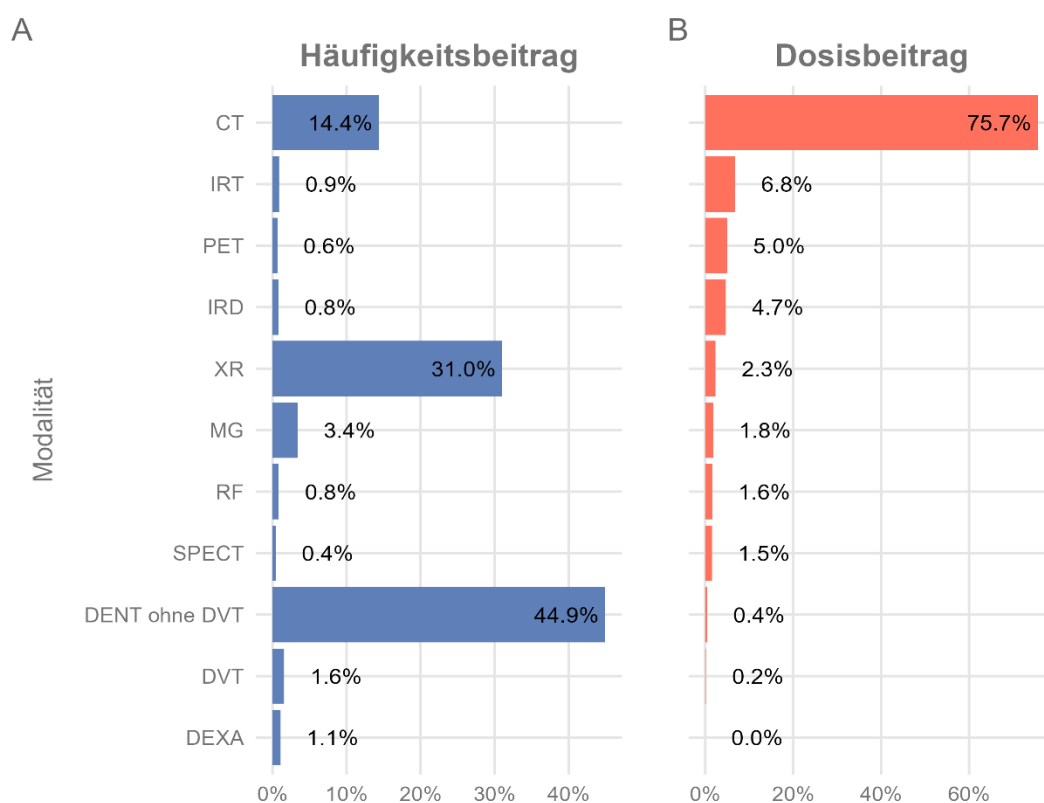
¹⁸ Im Jahr 2023 betrug die ständige Wohnbevölkerung in der Schweiz 8'962'258 Personen.

¹⁹ Aufgrund einer Änderung der Kodierrichtlinien der Schweizerischen Operationsklassifikation (CHOP) sind CT-Untersuchungen ab 2021 obligatorisch zu kodieren, was in den vorherigen Jahren nicht der Fall war. Siehe Anhang C für den Versuch, diesen strukturellen Bruch mittels einer Retropolation zu berücksichtigen.

sowie (iii) die kollektiven effektiven Dosen pro Kopf. Zur zeitlichen Einordnung vergleichen wir die Werte auf Ebene der Modalitäten auch mit jenen des Monitorings aus dem Jahr 2018.²⁰

Zur Übersicht zeigen wir die Häufigkeits- und Dosisverteilung für die verschiedenen Modalitäten (vgl. Abbildung 2). Es gilt: Eine häufig durchgeführte Untersuchung, die mit einer geringen Dosis einhergeht, kann zu einer deutlich niedrigeren Strahlenexposition führen als eine weniger häufig durchgeführte Untersuchung mit hoher Dosis. Mit Blick auf zahnmedizinische Röntgenaufnahmen vs. CT-Untersuchungen ist dies besonders augenfällig: Die zahnmedizinischen Röntgenaufnahmen machen im Jahr 2023 46.5% aller Untersuchungen aus, sind aber nur für 0.6% des Dosisbeitrags verantwortlich. Umgekehrt bei den Computertomographien: hier beträgt der Häufigkeitsanteil lediglich 14.4%, der Beitrag an die Gesamtexposition liegt aber bei 75.7%.

Abbildung 2: Häufigkeits- und Dosisverteilung nach Modalität



Anmerkungen: Die Grafik zeigt die Häufigkeits- und Dosisbeiträge der verschiedenen Modalitäten. Die Werte sind auf eine Nachkommastelle gerundet. «DENT ohne DVT» beinhaltet IO, OPT und FR. Vgl. Tabelle 1 für eine Übersicht zu den Abkürzungen. *Quelle:* MS, Tarifpool, PSA, STATPOP, BAG, Universitätsspital Zürich, Literaturangaben; eigene Berechnungen.

²⁰ Verfügbar unter <https://www.bag.admin.ch/str-monitoring>. Aufgrund des methodischen Bruchs ist es u.E. nicht zielführend, auf tieferen Aggregationsebenen die Ergebnisse im Zeitverlauf zu vergleichen.

4.1 Konventionelle Radiologie

Tabelle 6 präsentiert die Ergebnisse für die Computertomographien (CT). Insgesamt wurden im Jahr 2023 knapp 1.9 Mio. CT-Untersuchungen durchgeführt. Die Frequenz beträgt 207 pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner. Die kollektive effektive Dosis pro Kopf liegt bei 1.28 mSv.

Interessant ist zudem die Verteilung nach anatomischen Regionen: CT von Abdomen, Wirbelsäule und Thorax machen rund 62% der Häufigkeit und 76% der Dosis aus. Die kollektive effektive CT-Dosis pro Kopf ist also stark auf einzelne anatomische Regionen konzentriert. Auch bei der effektiven Dosis pro Untersuchung zeigt sich ein heterogenes Bild: Die Spannweite geht von 0.06 mSv (Füsse/Sprunggelenke) bis zu 11.4 mSv (Wirbelsäule).

Im Vergleich zu 2018 ist bei den CTs eine Zunahme der kollektiven effektiven Dosis von 33% zu beobachten. Im Jahr 2018 betrug diese 0.96 mSv. Die Gründe hierfür wurden im vorherigen Abschnitt erläutert.

Tabelle 6: Frequenz und Dosis, Computertomographie (CT)

Anatomische Region/ Protokoll	Frequenz	Dosis pro Untersuchung, mSv	Dosis pro Kopf, mSv
Abdomen	48.6 [23.4%]	9.9	0.481 [37.5%]
Wirbelsäule	27.8 [13.4%]	11.4	0.317 [24.7%]
Thorax	51.5 [24.8%]	3.5	0.180 [14.1%]
Neurokranium	25.4 [12.3%]	2.4	0.061 [4.8%]
Intervention	6.6 [3.2%]	8	0.053 [4.1%]
Becken/Iliosakralgelenk	5.7 [2.7%]	7	0.040 [3.1%]
Hüfte/Oberschenkel	4.1 [2.0%]	9.3	0.038 [3.0%]
Oberbauch	3.2 [1.6%]	11.4	0.037 [2.9%]
Schädel	9.3 [4.5%]	2.1	0.020 [1.5%]
Hals	9.0 [4.3%]	2.1	0.019 [1.5%]
Schultergelenk/Oberarme	2.2 [1.1%]	5.8	0.013 [1.0%]
Kniegelenk/Unterschenkel	4.8 [2.3%]	2.7	0.013 [1.0%]
Handgelenk/Hände	3.2 [1.5%]	1.9	0.006 [0.5%]
Ellbogengelenke/Vorderarme	1.0 [0.5%]	3.2	0.003 [0.2%]
Andere	0.4 [0.2%]	5	0.002 [0.2%]
Füsse/Sprunggelenke	4.6 [2.2%]	0.06	0.0003 [0.02%]
Total	207.4 [100%]		1.28 [100%]

Anmerkungen: Die Tabelle zeigt für die Computertomographien die Verteilung der Frequenzen, Dosen pro Untersuchung sowie der kollektiven effektiven Dosen pro Kopf – differenziert nach anatomischen Regionen/Protokollen. Die dazugehörigen Codes sind in Tabelle 18 im Anhang ersichtlich. Definition Frequenz: Untersuchungshäufigkeit pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner. Die Werte in der Tabelle sind auf eine passende Nachkommastelle gerundet. *Quelle:* MS, Tarifpool, PSA, STATPOP, BAG, Universitätsspital Zürich, Literaturangaben; eigene Berechnungen.

Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse für die konventionellen Röntgenuntersuchungen (XR). Insgesamt wurden im Jahr 2023 etwas über 4 Mio. XR durchgeführt. Auf 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner kommen somit rund 448 Untersuchungen. Die kollektive effektive Dosis pro Kopf beträgt 0.04 mSv. Die Häufigkeits- und Dosisbeiträge sind bei den XRs noch ungleicher verteilt als bei den CTs: Während die XR-Extremitäten knapp 60% aller Untersuchungen ausmachen, steuern sie nur 0.7% zur Dosis bei. Umgekehrt beträgt der Häufigkeitsanteil von XR-Wirbelsäule und XR-Pelvis/Becken/Hüfte etwas über 22%, der Dosisbeitrag liegt jedoch bei 91%.

Im Vergleich zu 2018 (0.14 mSv) ist die kollektive effektive Dosis um 71% zurückgegangen. Dies ist fast ausschliesslich auf geringere Dosen pro Untersuchung zurückzuführen: Im Jahr 2018 wurde bei der Wirbelsäule mit 1.6 mSv gerechnet, die aktuelle Dosis liegt bei 0.402. Gleiches gilt für die Hüftregion: Wir rechnen mit einer Dosis von 0.33 mSv, während das Monitoring 2018 1.15 mSv verwendet.²¹

Tabelle 7: Frequenz und Dosis, konventionelles Röntgen (XR)

Anatomische Region	Frequenz	Dosis pro Untersuchung, mSv	Dosis pro Kopf, mSv
Pelvis/Becken/Hüfte	56.6 [12.6%]	0.33	0.019 [47.1%]
Wirbelsäule	43.3 [9.7%]	0.402	0.017 [43.9%]
Thorax	76.2 [17.0%]	0.035	0.003 [6.8%]
Abdomen	2.4 [0.5%]	0.23	0.001 [1.4%]
Extremitäten	266.8 [59.6%]	0.001	0.0003 [0.7%]
Schädel	2.4 [0.5%]	0.023	0.0001 [0.1%]
Total	447.7 [100%]		0.04 [100%]

Anmerkungen: Die Tabelle zeigt für das konventionelle Röntgen die Verteilung der Frequenzen, Dosen pro Untersuchung sowie der kollektiven effektiven Dosen pro Kopf – differenziert nach anatomischen Regionen. Die dazugehörigen Codes sind in Tabelle 18 im Anhang ersichtlich. Definition Frequenz: Untersuchungshäufigkeit pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner. Die Werte in der Tabelle sind auf eine passende Nachkommastelle gerundet. *Quelle:* MS, Tarifpool, PSA, STATPOP, BAG, Universitätsspital Zürich, Literaturangaben; eigene Berechnungen.

Tabelle 8 bildet die Frequenzen und Dosen der Mammographie (MG) ab. Im Jahr 2023 wurden rund 438'000 MG gemacht. Diese teilen sich wie folgt auf: Pro 1'000 Einwohnerin und Einwohner ermitteln wir 30 Diagnostik-MG und 19 Screening-MG.²² Die kollektive effektive Dosis pro Kopf liegt bei 0.03 mSv und stammt zu knapp 65% von der Diagnostik. Im Vergleich zu 2018 (0.012 mSv) berechnen wir einen Anstieg der Strahlenbelastung von 150%. Dieser Anstieg kann prinzipiell 3 Gründe haben, die wir nachfolgend erläutern:

- *Höhere Untersuchungshäufigkeit:* Ein Anstieg der Untersuchungshäufigkeit ist durchaus plausibel – dies aufgrund des gestiegenen Bewusstseins in der (weiblichen) Bevölkerung sowie der zahlreichen kantonalen Förderprogramme zur Brustkrebsfrüherkennung (Screening).

²¹ Gründe für den Rückgang der Dosis werden in Abschnitt A.2.3 diskutiert.

²² Mammographien werden fast immer bei Frauen durchgeführt. Um die Frequenz und Dosis mit den anderen Modalitäten vergleichen zu können, verwenden wir aber zur Normierung Frauen und Männer.

- *Unterschiedliche Methodik*: Die Methodik der Erhebung unterscheidet sich zwischen 2018 und 2023. Dies kann zu einem Bruch in der Datenreihe führen. Wir orientieren uns bei der Zählung der Untersuchungshäufigkeiten am Schweizerischen Versorgungsatlas.
- *Höhere Dosis pro Protokoll*: Wir weisen im Jahr 2023 höhere Dosen sowohl für die Diagnostik als auch für das Screening auf. Gründe hierfür sind in Anhang A.2.4 aufgeführt.

Zusammenfassend: Die gestiegene Strahlenbelastung durch die Mammographie lässt sich u.E. plausibilisieren.

Tabelle 8: Frequenz und Dosis, Mammographie (MG)

Protokoll	Frequenz	Dosis pro Untersuchung, mSv	Dosis pro Kopf, mSv
Diagnostik	29.5 [60.3%]	0.66	0.02 [64.6%]
Screening	19.4 [39.7%]	0.55	0.01 [35.4%]
Total	48.9 [100%]		0.03 [100%]

Anmerkungen: Die Tabelle zeigt für die Mammographien die Verteilung der Frequenzen, Dosen pro Untersuchung sowie der kollektiven effektiven Dosen pro Kopf – differenziert nach Diagnostik und Screening. Die dazugehörigen Codes sind in Tabelle 18 im Anhang ersichtlich. Definition Frequenz: Untersuchungshäufigkeit pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner. Die Werte in der Tabelle sind auf eine passende Nachkommastelle gerundet. *Quelle*: MS, Tarifpool, PSA, STATPOP, Universitätsspital Zürich, Literaturangaben; eigene Berechnungen.

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse für die konventionellen Durchleuchtungen (RF) ersichtlich. Im Jahr 2023 wurden rund 110'000 konventionelle Durchleuchtungen durchgeführt (12.2 pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner). Wir berechnen eine kollektive effektive Dosis von 0.027 mSv pro Kopf. Die am häufigsten angewendeten Protokolle sind funktionale Durchleuchtungen von Gelenk, Thorax und Wirbelsäule, gastrointestinale Diagnostik (bspw. eine Pharynxoesophagus-Darstellung) sowie Zystographien und Arthrographien. Erstgenannte machen dabei rund 50% der Dosis aus. Im Jahr 2018 betrug die kollektive effektive Dosis 0.044 mSv pro Kopf. Im Vergleich zum Jahr 2023 ist somit ein Rückgang von 39% zu verzeichnen. Dieser Rückgang kommt ausschliesslich durch geringere Dosen pro Untersuchung zustande, während die Frequenz zugenommen hat.

Tabelle 9: Frequenz und Dosis, konventionelle Durchleuchtung (RF)

Anatomische Region/Protokoll	Frequenz	Dosis pro Untersuchung, mSv	Dosis pro Kopf, mSv
Sonstige Durchleuchtungen (vor allem Gelenk, Thorax, Wirbelsäule)	4.8 [39.5%]	2.8	0.014 [50.4%]
Sonstige gastrointestinale Diagnostik	1.3 [10.4%]	3.4	0.004 [16.2%]
Arthrographie	1.2 [9.5%]	2.1	0.002 [9.1%]
Cholangiographie ERCP und PCT	0.5 [4.3%]	3.9	0.002 [7.7%]
Sonstige urogenitale Diagnostik	0.9 [7.2%]	1.6	0.001 [5.2%]
Urogenitale Diagnostik, retrograde Pyelographie	0.9 [7.7%]	0.9	0.001 [3.2%]

Anatomische Region/Protokoll	Frequenz	Dosis pro Untersuchung, mSv	Dosis pro Kopf, mSv
Defäkographie	0.1 [0.5%]	8.8	0.001 [2.2%]
Gastrointestinale Diagnostik, Kolon	0.1 [0.5%]	7.5	0.0004 [1.8%]
Zystographie	1.7 [13.6%]	0.2	0.0003 [1.2%]
Sonstige Cholangiographie	0.3 [2.6%]	0.8	0.0003 [1%]
Gynäkologische Diagnostik	0.2 [1.7%]	1	0.0002 [0.8%]
Myelographie	0.04 [0.4%]	4.75	0.0002 [0.8%]
Intravenöse urogenitale Diagnostik	0.04 [0.3%]	2.4	0.0001 [0.3%]
Urogenitale Diagnostik, retrograde Urethrografie	0.2 [1.4%]	0.4	0.0001 [0.3%]
Ösophagusbreischluck	0.04 [0.3%]	0.32	0.0000 [0.1%]
Total	12.2 [100%]		0.027 [100%]

Anmerkungen: Die Tabelle zeigt für die konventionelle Durchleuchtungen die Verteilung der Frequenzen, Dosen pro Untersuchung sowie der kollektiven effektiven Dosen pro Kopf – differenziert nach anatomischen Regionen/Protokollen. Die dazugehörigen Codes sind in Tabelle 18 im Anhang ersichtlich. Definition Frequenz: Untersuchungshäufigkeit pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner. Die Werte in der Tabelle sind auf eine passende Nachkommastelle gerundet. *Quelle:* MS, Tarifpool, PSA, STATPOP, Universitätsspital Zürich, Literaturangaben; eigene Berechnungen.

Tabelle 10 rundet die Ergebnisse zur konventionellen Radiologie mit der Analyse zu den Knochendichtemessungen (DEXA) ab: Insgesamt wurden im Jahr 2023 knapp 139'000 DEXA verzeichnet, die Frequenz betrug 15.5 pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner. Der Beitrag zur Gesamtdosis liegt jedoch nahe bei 0%. Ein Vergleich mit 2018 ist nicht möglich, da die DEXA zu diesem Zeitpunkt noch nicht erhoben wurden.

Tabelle 10: Frequenz und Dosis, Knochendichtemessung (DEXA)

	Frequenz	Dosis pro Untersuchung, mSv	Dosis pro Kopf, mSv
Total	15.5	0.001	0.00002

Anmerkungen: Die Tabelle zeigt für die Knochendichtemessungen die Frequenz, Dosis pro Untersuchung sowie die kollektive effektive Dosis pro Kopf. Die dazugehörigen Codes sind in Tabelle 18 im Anhang ersichtlich. Definition Frequenz: Untersuchungshäufigkeit pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner. Die Werte in der Tabelle sind auf eine passende Nachkommastelle gerundet. *Quelle:* MS, Tarifpool, PSA, STATPOP, Universitätsspital Zürich, Literaturangaben; eigene Berechnungen.

4.2 Interventionelle Radiologie

Dieser Abschnitt beschreibt die Ergebnisse für die interventionelle Radiologie. Die diagnostischen Untersuchungen (IRD) sind in Tabelle 11 abgebildet. Im Jahr 2023 wurden insgesamt 103'167 Angiographien verzeichnet, davon rund 64'000 Koronarangiographien (CA). Anders ausgedrückt: Pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner sind rund 7 CA ausgeführt worden. Die kollektive effektive Dosis über alle Angiographien beträgt 0.08 mSv pro Kopf. Der Vergleich mit 2018

zeigt, dass sich die erhobenen Frequenzen in einem ähnlichen Rahmen bewegen, die Strahlenbelastung aber durch geringere Dosen pro Untersuchung um rund 32% gesunken ist.

Eine aktuelle Studie führte eine Erhebung bei den Schweizer Kardiologinnen und Kardiologen durch und ermittelte auf dieser Basis für das Jahr 2021 eine Untersuchungshäufigkeit von 30'042 CA, was einer Frequenz von 3.4 entspricht.²³ Dieser Wert weicht somit stark vom aktuellen (2023) und vergangenen Monitoring (2018) der medizinischen Strahlenexposition ab. Der Grund liegt in der unterschiedlichen Definition der CA: Während die referenzierte Studie eine sehr eng gefasste Definition aufweist, inkludieren wir auch Linksherzkatheter-Untersuchungen sowie sonstige Angiokardiographien und sind somit kongruent mit dem Monitoring 2018. Mit der engen Definition würden wir eine vergleichbare Frequenz von rund 4 CA pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohnern erhalten. Zu erwähnen ist, dass die Zuordnung für die kollektive effektive Dosis unerheblich ist, da die oben genannten Untersuchungen in jedem Fall mitgezählt werden müssen.

Tabelle 11: Frequenz und Dosis, Interventionelle Diagnostische Radiologie (IRD)

Anatomische Region/Protokoll	Frequenz	Dosis pro Untersuchung, mSv	Dosis pro Kopf, mSv
Koronarangiographie	7.1 [61.9%]	7	0.050 [63%]
Angiographie, abdominal/pulmonal/pelvis/zerebral/andere	2.9 [24.9%]	9.2	0.026 [33.3%]
Angiographie, untere Extremitäten	0.8 [6.8%]	3.1	0.002 [3.1%]
Angiographie, Herz rechts	0.4 [3.7%]	1.1	0.0005 [0.6%]
Angiographie, obere Extremitäten	0.3 [2.7%]	0.11	0.0000 [0.04%]
Total	11.5 [100%]		0.08 [100%]

Anmerkungen: Die Tabelle zeigt für die interventionelle diagnostische Radiologie die Verteilung der Frequenzen, Dosen pro Untersuchung sowie der kollektiven effektiven Dosen pro Kopf – differenziert nach anatomischen Regionen/Protokollen. Die dazugehörigen Codes sind in Tabelle 19 im Anhang ersichtlich. Definition Frequenz: Untersuchungshäufigkeit pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner. Die Werte in der Tabelle sind auf eine passende Nachkommastelle gerundet. *Quelle:* MS, Tarifpool, PSA, STATPOP, Universitätsspital Zürich, Literaturangaben; eigene Berechnungen.

Tabelle 12 bildet unsere Ergebnisse zur therapeutischen interventionellen Radiologie (IRT) ab. Wir berechnen insgesamt für das Jahr 2023 eine Untersuchungshäufigkeit von 113'739, was einer Frequenz von 12.7 pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohnern entspricht. 30% davon entfallen auf die Koronarangioplastien (PTCA), die zudem fast 69% der Dosis ausmachen. Die kollektive effektive Dosis beträgt 0.12 mSv pro Kopf.

Der Vergleich zu 2018 zeigt insbesondere für die PTCA ähnliche Werte. Für die restlichen IRT-Untersuchungen weisen wir höhere Frequenzen aus – wir vermuten allerdings, dass dies mit der gestiegenen Bandbreite der inkludierten Untersuchungen zu tun haben könnte (vgl. Tabelle 19 im Anhang).

²³ Verfügbar unter http://www.ptca.ch/DOCS_PUBLIC/ptca_statistics_2021.pdf.

Tabelle 12: Frequenz und Dosis, Interventionelle Therapeutische Radiologie (IRT)

Anatomische Region/Protokoll	Frequenz	Dosis pro Untersuchung, mSv	Dosis pro Kopf, mSv
Koronarangioplastien	3.8 [30%]	20.6	0.079 [68.5%]
IRT, sonstige	5.9 [46.7%]	5	0.03 [25.8%]
Elektrophysiologie	1.2 [9.7%]	2.6	0.003 [2.8%]
Herzschrittmacher/Defibrillator	1.0 [7.7%]	2.65	0.003 [2.3%]
Herzklappe	0.2 [1.8%]	1.9	0.0004 [0.4%]
Schmerztherapie	0.5 [4.1%]	0.5	0.0003 [0.2%]
Total	12.7 [100%]		0.12 [100%]

Anmerkungen: Die Tabelle zeigt für die interventionelle therapeutische Radiologie die Verteilung der Frequenzen, Dosen pro Untersuchung sowie der kollektiven effektiven Dosen pro Kopf – differenziert nach anatomischen Regionen/Protokollen. Die dazugehörigen Codes sind in Tabelle 19 im Anhang ersichtlich. Definition Frequenz: Untersuchungshäufigkeit pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner. Die Werte in der Tabelle sind auf eine passende Nachkommastelle gerundet. *Quelle:* MS, Tarifpool, PSA, STATPOP, Universitätsspital Zürich, Literaturangaben; eigene Berechnungen.

Zusammenfassend gilt es festzuhalten: Insgesamt wurden im Jahr 2023 im Fachbereich der interventionellen Radiologie 216'906 Untersuchungen durchgeführt. Dies entspricht einer Frequenz von 24.2 pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohnern und einer kollektiven effektiven Dosis von 0.2 mSv pro Kopf.

4.3 Nuklearmedizin

In der Nuklearmedizin wurden im Jahr 2023 insgesamt 140'397 Untersuchungen durchgeführt, davon 83'658 PET und 56'739 SPECT. Pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohnern sind dies 15.7 Untersuchungen. Die kollektive effektive Dosis liegt bei 0.11 mSv pro Kopf. Der CT-Beitrag zur Dosis beträgt 47.7%. Über 50% der Häufigkeit entfällt auf PET-Tumor Untersuchungen, die fast 75% der kollektiven Dosis ausmachen.

Der Vergleich mit 2018 zeigt, dass die Frequenz etwas zugenommen hat, die Strahlenbelastung durch die Radiopharmaka (RPH) jedoch um rund 10% gesunken ist. *Insgesamt* ist die Strahlenbelastung in der Nuklearmedizin aber um knapp 3% angestiegen. Der Grund liegt in der vermehrten Durchführung von PET-Untersuchungen (+ 53% im Vergleich zu 2018). Diese gehen mit begleitenden CT-Akquisitionen einher, wodurch die zusätzliche Strahlung entsteht.

Tabelle 13: Frequenz und Dosis, Nuklearmedizin (NUK)

Protokoll	Frequenz	RPH-Dosis pro Unter- suchung	CT-Dosis pro Unter- suchung	RPH-Dosis pro Kopf	CT-Dosis pro Kopf	Gesamtdo- sis pro Kopf
PET						
Tumore	8.03 [51.3%]	4.29	5.92	0.034	0.0475	0.082 [74.6%]
Myokard	1.27 [8.1%]	1.06	0.56	0.001	0.0007	0.002 [1.9%]
Gehirn	0.03 [0.2%]	5.32	0.25	0.0002	0.0000	0.0002 [0.2%]
PET Total	9.33 [59.6%]			0.036	0.048	0.084 [76.6%]
SPECT/Szintigraphien						
Skelett	2.59 [16.5%]	3.64	3.26	0.009	0.004	0.013 [12.1%]
Myokard	1.55 [9.9%]	5.97		0.009		0.009 [8.4%]
Schilddrüse	0.21 [1.4%]	6.13	1.04	0.001	0.0001	0.0014 [1.3%]
Gehirn	0.12 [0.7%]	5.32		0.001		0.001 [0.6%]
Pulmonale Perfusion	0.47 [3%]	1.05	1.28	0.0005	0.0003	0.0008 [0.7%]
Nieren	0.47 [3%]	0.6		0.0003		0.0003 [0.3%]
Lymphszin- tigraphie	0.86 [5.5%]	0.08		0.0001		0.0001 [0.1%]
Pulmonale Ventilation	0.05 [0.3%]	0.28	1.28	0.0000	0.0000	0.0000 [0%]
Blutquelle	0.003 [0.02%]	0.25		0.0000		0.0000 [0%]
SPECT/Szi- ntigraphien Total	6.33 [40.4%]			0.021	0.0043	0.028 [23.4%]
NUK Total	15.7 [100%]			0.058	0.053	0.11 [100%]

Anmerkungen: Die Tabelle zeigt für die PET und SPECT/Szintigraphien die Verteilung der Frequenzen, Dosen pro Untersuchung sowie der kollektiven effektiven Dosen pro Kopf – differenziert nach Protokollen und Radiopharmakon/CT-Beiträgen. Die Überleitung von Radiopharmaka zu PET und SPECT ist in Tabelle 20 im Anhang ersichtlich, die Herleitung der CT-Dosisbeiträge in Anhang A.2.8. Definition Frequenz: Untersuchungshäufigkeit pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner. Die Werte in der Tabelle sind auf eine passende Nachkommastelle gerundet. *Quelle:* Jahresmeldung BAG, PSA, STATPOP, Literaturangaben; eigene Berechnungen.

4.4 Zahnmedizin

Abschliessend präsentieren wir in diesen Abschnitt die Ergebnisse zur Zahnmedizin (vgl. Tabelle 14). Insgesamt wurden im Jahr 2023 etwas über 6 Mio. zahnärztliche Röntgenaufnahmen gemacht. Pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner sind es somit 671 Aufnahmen. Knapp 80% davon entfallen auf die intraoralen Röntgenaufnahmen (IO). Die digitalen Volumentomographien (DVT) machen nur 3.4% der Häufigkeit aus, tragen jedoch fast 29% zur Strahlenbelastung bei. Die kollektive effektive Dosis pro Kopf beträgt in der Zahnmedizin im Jahr 2023 rund 0.01 mSv. Das sind 23% weniger als im Jahr 2018. Der Rückgang ist in erster Linie auf geringere Dosen pro Aufnahme bei den IO und DVT in der Berechnung (gerade im Vergleich zur letzten Auswertung 2018) zurückzuführen. Gleichzeitig hat die Häufigkeit /Frequenz nicht in dem Masse zugenommen, um dies zu kompensieren.

Tabelle 14: Frequenz und Dosis, Zahnmedizin (DENT)

Modalität	Frequenz	Dosis pro Untersuchung, mSv	Dosis pro Kopf, mSv
Intraorale Aufnahmen	532.6 [79.4%]	0.01	0.005 [51.6%]
Orthopantomografien	89.6 [13.4%]	0.02	0.002 [17.4%]
Fernröntgenbild	26.2 [3.9%]	0.01	0.0003 [2.5%]
Digitale Volumentomographien	22.7 [3.4%]	0.13	0.003 [28.6%]
Total	671.1 [100%]		0.01 [100%]

Anmerkungen: Die Tabelle zeigt für die Modalitäten der Zahnmedizin die Verteilung der Frequenzen, Dosen pro Untersuchung sowie der kollektiven effektiven Dosis pro Kopf. Definition Frequenz: Untersuchungshäufigkeit pro 1'000 Einwohnerinnen und Einwohner. Die Werte in der Tabelle sind auf eine passende Nachkommastelle gerundet. *Quelle:* eigene Primärdatenerhebung, STATPOP, Universitätsspital Zürich, Literaturangaben; eigene Berechnungen.

5 Fazit

Das vorliegende Monitoring zeigt: Die ausgewiesene Strahlenexposition der Bevölkerung durch medizinische Verfahren hat in der Schweiz leicht zugenommen. Im Jahr 2023 lag die kollektive effektive Dosis bei 1.69 mSv pro Kopf – ein Anstieg um 13 Prozent gegenüber 2018. Es kann aber nicht gesichert festgestellt werden, ob es sich um einen realen Anstieg handelt. Erstens entsteht durch die im Vergleich zu 2013 und 2018 angepasste Methodik ein methodischer Bruch. Die Datenpunkte können daher über die Zeit nur eingeschränkt verglichen werden. Zweitens wurden 2021 im stationären Bereich neue Kodierpflichten für die CT-Diagnostik eingeführt. Die vor 2021 ermittelten Häufigkeiten für CT-Untersuchungen sind somit mit hoher Wahrscheinlichkeit zu tief. Analog zu den vorhergehenden Monitorings stellen wir fest, dass Untersuchungshäufigkeit und Strahlenbelastung nicht Hand in Hand gehen. Computertomographien machen lediglich 14 Prozent der Untersuchungen aus, sind aber für rund drei Viertel der Strahlenbelastung verantwortlich. Der Bericht verdeutlicht, wie zentral die CT-Diagnostik für die Strahlenexposition insgesamt ist – und damit auch für die gesundheitspolitische Verantwortung zur Dosisminimierung.

Inhaltlich zeigt der Bericht, dass die Exposition stark modalitätsspezifisch variiert. Während etwa zahnmedizinische Aufnahmen nahezu die Hälfte aller Untersuchungen ausmachen, ist ihr Anteil an der Gesamtdosis marginal (0.6%). Umgekehrt ist der Beitrag einzelner CT-Protokolle – etwa im Abdomen- und Thoraxbereich – besonders hoch. Ähnliches gilt für PET-Untersuchungen in der Nuklearmedizin, bei denen der CT-Anteil mittlerweile rund die Hälfte der Strahlenbelastung ausmacht.

Der Bericht beruht auf einer methodisch robusten Kombination aus Administrativdaten, tarifbasierten Abrechnungsdaten und ergänzenden Primärdatenerhebungen. Diese ermöglichen eine schweizweite und weitgehend automatisierbare Erfassung der Untersuchungsfrequenzen und Dosiswerte, wobei bewusst Zielkonflikte zwischen Datenverfügbarkeit, Genauigkeit und Skalierbarkeit adressiert wurden. Der methodische Bruch zu früheren Monitorings – insbesondere zur Erhebung durch IRA/HESAV – wurde transparent dargelegt und fundiert begründet. Das Monitoring bildet eine belastbare Entscheidungsgrundlage für gesundheitspolitische Steuerung und Strahlenschutz.

A Ergänzungen zur Methodik

Die folgenden Abschnitte ergänzen den Hauptteil dieses Berichts mit detaillierteren Erklärungen zur Methodik und sind weitgehend chronologisch nach der Nennung im Hauptteil aufgelistet.

A.1 Häufigkeitserhebung

A.1.1 Beschreibung der Datenquellen

Tabelle 15: Eckwerte des Tarifpools

Merkmal	Beschreibung
Eigentümer	SASIS AG
Inhalt	Der Tarifpool enthält aggregierte Leistungen differenziert nach Tarif und Tarifposition für jeden Leistungserbringer und ermöglicht dadurch detaillierte Analysen zum Leistungsspektrum. Die Daten stammen aus den <i>Vorsystemen</i> der Krankenversicherer, wo der Inhalt der Rechnungsbelege elektronisch erfasst wird. Die Daten werden somit generiert, bevor die OKP-Leistungspflicht einzelner Positionen geprüft wird.
Identifikatoren	– Leistungserbringer: ZSR-Nummer, GLN-Nummer – Patienten: keine
Erfasste Merkmale	Fakturarecord – <i>Merkmale der Leistungserbringer</i>: ZSR-Nummer, GLN-Nummer, Partnerart, Adressangaben, Standortkanton (<i>keine</i> BFS-Gemeindenummer) – <i>Merkmale der Patienten</i>: Altersgruppe (5-Jahres-Intervalle), Geschlecht, Wohnkanton (<i>keine</i> BFS-Gemeindenummer), Morbiditätskriterium Spitalaufenthalt im Vorjahr (Definition Risikoausgleich, ab 2015), Indikator für hohe Medikamentenkosten im Vorjahr (Definition Risikoausgleich, ca. ab 2017) – <i>Zeitbezug</i>: Behandlungsmonat, Abrechnungsmonat, (neu ab 1.1.2021: Behandlungstag) – <i>Leistungsstruktur</i>: Tarif (z.B. 001 «TARMED»), Tarifgruppen (z.B. TARMED-Kapitel 02 «Psychiatrie und Psychotherapie») und die genaue Tarifposition (z.B. 00.0510 «Spezifische Beratung durch den Facharzt für Grundversorgung bei Personen über 6 Jahren und unter 75 Jahren, pro 5 Min.»). Bei Medikamenten ist der GTIN oder Pharmacode sowie der ATC-Code hinterlegt. – <i>Variablen</i>: Anzahl abgerechnete Positionen, Rechnungsbetrag (Fakturabetrag) Patientenrecord Für jeden Leistungserbringer werden sogenannte «Monatserkrankte» ausgewiesen. Rückschlüsse auf die Anzahl der Erkrankten während eines Jahres sind nicht möglich. <i>Merkmale der Patienten</i>: Altersgruppe (5-Jahres-Intervalle), Geschlecht, Wohnkanton (<i>keine</i> BFS-Gemeindenummer), Morbiditätskriterium Spitalaufenthalt im Vorjahr (Definition Risikoausgleich, ab 2015), Indikator für hohe Medikamentenkosten im Vorjahr (Definition Risikoausgleich, ca. ab 2017)
Datentyp	– Individualdaten bezogen auf Leistungserbringer – Gruppierte Summendaten bezogen auf Patienten

Merkmal	Beschreibung
Einschätzung zur Datenqualität	– <i>Abdeckung</i>: Gemäss Berechnungen der SASIS AG beläuft sich der Abdeckungsgrad des Tarifpools im Jahr 2023 gesamthaft auf nahezu 100% der OKP-Leistungen. – <i>Einschränkung</i>: Leistungen, welche Patienten nicht bei den Krankenversicherern einreichen, sind nicht enthalten. – <i>Vollständigkeit nach Behandlungsjahr</i>: Da Patienten ihre Rechnungen noch bis fünf Jahre nach Leistungserbringung beim Krankenversicherer einreichen können, stehen die Daten nach Behandlungsjahr erst mit Verzögerung in guter Qualität zur Verfügung. Typischerweise sind bis Juli des Folgejahres rund 99% der Leistungen abgerechnet. – <i>Kongruenz mit den abgerechneten OKP-Leistungen</i>: Der Tarifpool erfasst Rechnungen nach KVG, die bei den Versicherern eingereicht werden. Die Daten stammen jedoch aus den Vorsystemen, also <i>bevor</i> die Versicherer die einzelnen Positionen auf ihre OKP-Leistungspflicht prüfen und abrechnen. Es kommt daher vor, dass im Tarifpool auch vereinzelt Leistungen enthalten sind, die der Versicherer letztlich nicht über die OKP abgerechnet hat. – <i>Leistungen nach GLN-Nummer</i>: Nicht alle Krankenversicherer erfassen die GLN-Nummer pro Tarifposition im Scanning, sondern verwenden die GLN-Nummer vom Rechnungskopf, welche bei Spitälern und Gruppenpraxen einer Betriebe-GLN und keiner Personen-GLN entspricht. Somit ist die Qualität der Leistungen nach GLN-Nummer im Tarifpool zurzeit unvollständig.
Jahre	Seit 2004
Periodizität	<i>Fakturarecord</i> : monatlich und jährlich <i>Patientenrecord</i> : monatlich
Datenzugang	– Im Rahmen dieses Mandats wurden aggregierte Daten ohne Bezug zu einzelnen Leistungserbringern verwendet. Diese können ohne Datennutzungsantrag bei der SASIS AG bestellt werden.
Links	https://www.sasis.ch/tp/

Quelle: Tarifpool SASIS AG; eigene Darstellung.

Tabelle 16: Eckwerte der Medizinischen Statistik der Krankenhäuser (MS)

Merkmal	Beschreibung
Eigentümer	BFS
Inhalt	Der Datensatz umfasst reichhaltige Informationen zu jedem stationären Aufenthalt in den Schweizer Spitälern.
Identifikatoren	– anonymisierter Spitalidentifikator – anonymisierte Patientennummer (anonymer Verbindungscode AVC)
Erfasste Merkmale	– Angaben zum Spital (Kanton, Typologie, ZSR-Nummer) und zum Spitalstandort – Haupt- und Nebenbehandlungen nach CHOP-Kodes – Haupt- und Nebendiagnosen nach ICD-10 – Patienteninformationen: Alter, Geschlecht, Wohnkanton, MedStat-Region, Nationalität, Versicherungsart – Angaben zum Aufenthalt: Eintrittsart, Austrittsart, Aufenthaltsdauer
Datentyp	Anonymisierte Individualdaten
Einschätzung zur Datenqualität	– Obligatorische Vollerhebung – Abdeckung: Die Teilnahmequote beträgt 100%.
Jahre	seit 1998

Merkmal	Beschreibung
Periodizität	jährlich
Datenzugang	– <i>Einzeldaten</i>: Nutzung erfordert einen Datenschutzvertrag mit dem BFS. Für statistische Zwecke werden nur anonymisierte Daten weitergegeben. – <i>Aggregierte Auswertungen</i>: Auswertungen, die die absolute Anonymität garantieren, können beim BFS bestellt werden.
Links	https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/erhebungen/ms.as-setdetail.7369.html

Quelle: MS; eigene Darstellung.

Tabelle 17: Eckwerte der Patientendaten Spital ambulant (PSA)

Merkmal	Beschreibung
Eigentümer	BFS
Inhalt	Der Datensatz umfasst die Leistungen nach Tarifen und Tarifpositionen zu allen durchgeführten Behandlungen im ambulanten Spitalbereich. Die Erhebung ist Teil des Projekts MARS des BFS.
Identifikatoren	– anonymisierter Spitalidentifikator – anonymisierte GLN-Nummer des behandelnden Arztes – anonymisierte Patientennummer (anonymer Verbindungscode AVC)
Erfasste Merkmale	– Angaben zum Spital (Kanton, Typologie, ZSR-Nummer) und zum Spitalstandort – Abgerechnete Leistungen: Menge, Preis, Datum, Tarif und Tarifposition der erbrachten Einzelleistungen – Angabe zum Kostenträger: KVG, UVG, VVG usw. – Patienteninformationen: Alter, Geschlecht, Wohnkanton, MedStat-Region, Nationalität
Datentyp	Anonymisierte Individualdaten
Einschätzung zur Datenqualität	– Obligatorische Vollerhebung. – <i>Abdeckung</i>: Die Teilnahmequote zwischen 2015 und 2020 beträgt etwa 96% der Spitalstandorte mit ambulanten Leistungen. – <i>Vollständigkeit nach Behandlungsjahr</i>: Teilweise werden Leistungen erst mit einem Jahr Verzögerung erhoben. Das heisst, gewisse Leistungen aus dem Behandlungsjahr t werden erst im Erhebungsjahr $t+1$ geliefert und stehen dann erst Ende $t+2$ zur Verfügung. Dieser Anteil kann je nach Kanton bis zu 10% betragen.
Jahre	seit 2015
Periodizität	Leistungen sind tagesgenau erfasst. Aggregationen auf Monate und Jahre sind möglich.
Datenzugang	– <i>Einzeldaten</i>: Nutzung erfordert einen Datenschutzvertrag mit dem BFS. Für statistische Zwecke werden nur anonymisierte Daten weitergegeben. – <i>Aggregierte Auswertungen</i>: Auswertungen, die die absolute Anonymität garantieren, können beim BFS bestellt werden.
Links	https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/erhebungen/psa.as-setdetail.9306840.html

Quelle: PSA; eigene Darstellung.

A.1.2 Harmonisierte Klassifikation der konventionellen Radiologie

Tabelle 18 listet alle Codes auf, die wir für die konventionelle Radiologie berücksichtigt haben. Zudem ist die Überleitung zwischen den Tarifsyste men ersichtlich (Modalität + anatomische Region/Protokoll).

Tabelle 18: Harmonisierte Klassifikation der konventionellen Radiologie

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsyste m	Code
CT	andere	CHOP	Z88.38.00
CT	andere	CHOP	Z88.38.99
CT	andere	CHOP	Z88.38.51
CT	becken_iliosakralgelenk	CHOP	Z88.38.41
CT	becken_iliosakralgelenk	TARMED_001	39.4090
CT	ellbogengelenke_vorderarme	CHOP	Z88.38.21
CT	ellbogengelenke_vorderarme	TARMED_001	39.4120
CT	fuesse_sprunggelenke	CHOP	Z88.38.32
CT	fuesse_sprunggelenke	TARMED_001	39.4160
CT	gesichtsschaedel_nasennebenhoehlen_oberkiefer_unterkiefer_zahne_kiefergelenke_schaedelbasis	CHOP	Z87.04.10
CT	gesichtsschaedel_nasennebenhoehlen_oberkiefer_unterkiefer_zahne_kiefergelenke_schaedelbasis	TARMED_001	39.4030
CT	hals	CHOP	Z87.04.11
CT	hals	TARMED_001	39.4050
CT	handgelenke_haende	CHOP	Z88.38.22
CT	handgelenke_haende	TARMED_001	39.4130
CT	huefte_ Oberschenkel	CHOP	Z88.38.30
CT	huefte_ Oberschenkel	TARMED_001	39.4140
CT	intervention	TARMED_001	39.4200
CT	kniegelenk_unterschenkel	CHOP	Z88.38.31
CT	kniegelenk_unterschenkel	TARMED_001	39.4150
CT	neurokranium	CHOP	Z87.03
CT	neurokranium	TARMED_001	39.4020
CT	abdomen	CHOP	Z88.01.10
CT	abdomen	CHOP	Z88.01.00
CT	abdomen	CHOP	Z88.01.99
CT	abdomen	CHOP	Z87.71
CT	oberbauch	CHOP	Z88.01.20

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code
CT	abdomen	TARMED_001	39.4080
CT	oberbauch	TARMED_001	39.4070
CT	schultergelenk_oberarme	CHOP	Z88.38.20
CT	schultergelenk_oberarme	TARMED_001	39.4110
CT	thorax	CHOP	Z87.41.00
CT	thorax	CHOP	Z87.41.99
CT	thorax	CHOP	Z87.41.10
CT	thorax	CHOP	Z87.41.11
CT	thorax	CHOP	Z87.41.12
CT	thorax	CHOP	Z87.41.13
CT	thorax	CHOP	Z87.41.14
CT	thorax	CHOP	Z87.41.15
CT	thorax	CHOP	Z87.41.16
CT	thorax	CHOP	Z87.41.19
CT	thorax	TARMED_001	39.4060
CT	wirbelsaeule	CHOP	Z88.38.40
CT	wirbelsaeule	TARMED_001	39.4100
DEXA	huefte_lendenwirbelsaeule	CHOP	Z88.98.10
DEXA	huefte_lendenwirbelsaeule	TARMED_001	39.1950
MG	diagnostik	CHOP	Z87.37.00
MG	diagnostik	CHOP	Z87.37.10
MG	diagnostik	CHOP	Z87.37.99
MG	diagnostik	TARMED_001	39.2100
MG	screening	TARMED_002	0001.0310.001
MG	screening	TARMED_002	0001.0310.003
MG	screening	TARMED_002	0001.0310.004
MG	screening	TARMED_002	0001.0310.011
MG	screening	TARMED_002	0001.0310.002
MG	screening	TARMED_002	0001.0310.005
MG	screening	TARMED_002	0001.0310.006
MG	screening	TARMED_002	0001.0310.007
MG	screening	TARMED_002	0001.0310.008
MG	screening	TARMED_002	0001.0310.009
MG	screening	TARMED_002	0001.0310.010
MG	screening	TARMED_002	0001.0310.012
MG	screening	TARMED_002	0001.0310.013

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code
MG	screening	TARMED_003	23.1301.00.05
RF	arthrographie	TARMED_001	39.0400
RF	cholangiographie_andere	CHOP	Z87.52
RF	cholangiographie_andere	CHOP	Z87.53
RF	cholangiographie_andere	CHOP	Z87.54.00
RF	cholangiographie_andere	CHOP	Z87.54.99
RF	cholangiographie_andere	CHOP	Z87.59.00
RF	cholangiographie_andere	CHOP	Z87.59.99
RF	cholangiographie_andere	TARMED_001	39.0710
RF	cholangiographie_andere	TARMED_001	39.0720
RF	cholangiographie_ercp_ptc	CHOP	Z87.51
RF	cholangiographie_ercp_ptc	CHOP	Z87.54.10
RF	cholangiographie_ercp_ptc	TARMED_001	19.0710
RF	cholangiographie_ercp_ptc	TARMED_001	39.6820
RF	defaekographie	TARMED_001	39.0640
RF	gastrointestinale_diagnostik_kolon	TARMED_001	39.0620
RF	gastrointestinale_diagnostik_kolon	TARMED_001	39.0630
RF	gastrointestinale_diagnostik_sonstige	TARMED_001	39.0590
RF	gastrointestinale_diagnostik_sonstige	TARMED_001	39.0600
RF	gastrointestinale_diagnostik_sonstige	TARMED_001	39.0610
RF	gynaekologische_diagnostik	CHOP	Z87.82
RF	gynaekologische_diagnostik	CHOP	Z87.83
RF	gynaekologische_diagnostik	CHOP	Z87.84
RF	gynaekologische_diagnostik	TARMED_001	39.0900
RF	gynaekologische_diagnostik	TARMED_001	39.0910
RF	konventionell_andere	CHOP	Z88.39.20
RF	konventionell_andere	CHOP	Z88.39.21
RF	konventionell_andere	TARMED_001	39.0500
RF	konventionell_andere	TARMED_001	39.0510
RF	konventionell_andere	TARMED_001	39.0520
RF	konventionell_andere	TARMED_001	39.0530
RF	konventionell_andere	TARMED_001	39.0540
RF	konventionell_andere	TARMED_001	39.0550
RF	konventionell_andere	TARMED_001	39.0565
RF	konventionell_andere	TARMED_001	39.0580
RF	konventionell_andere	TARMED_001	39.0860

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code
RF	konventionell_andere	TARMED_001	39.0870
RF	myelographie	TARMED_001	39.0570
RF	oesophagusbreischluck	CHOP	Z87.61.00
RF	oesophagusbreischluck	CHOP	Z87.61.99
RF	urogenitale_diagnostik_intravenös	CHOP	Z87.73
RF	urogenitale_diagnostik_intravenös	TARMED_001	39.0800
RF	urogenitale_diagnostik_retrograde_pyelographie	CHOP	Z87.74
RF	urogenitale_diagnostik_retrograde_urethrographie	TARMED_001	39.0850
RF	urogenitale_diagnostik_sonstige	CHOP	Z87.75
RF	urogenitale_diagnostik_sonstige	CHOP	Z87.91
RF	urogenitale_diagnostik_sonstige	TARMED_001	21.0710
RF	urogenitale_diagnostik_sonstige	TARMED_001	39.0810
RF	urogenitale_diagnostik_sonstige	TARMED_001	39.0820
RF	zystographie	CHOP	Z87.76.00
RF	zystographie	CHOP	Z87.76.10
RF	zystographie	CHOP	Z87.76.99
RF	zystographie	CHOP	Z87.77.00
RF	zystographie	CHOP	Z87.77.10
RF	zystographie	CHOP	Z87.77.99
RF	zystographie	TARMED_001	39.0830
RF	zystographie	TARMED_001	39.0840
XR	abdomen	CHOP	Z87.81
XR	abdomen	CHOP	Z87.85
XR	abdomen	CHOP	Z87.89
XR	abdomen	CHOP	Z87.92
XR	abdomen	CHOP	Z88.12
XR	abdomen	CHOP	Z88.13
XR	abdomen	CHOP	Z88.14
XR	abdomen	CHOP	Z88.15
XR	abdomen	CHOP	Z88.16
XR	abdomen	CHOP	Z88.19
XR	abdomen	TARMED_001	39.0200
XR	extremitaeten	CHOP	Z88.22
XR	extremitaeten	CHOP	Z88.28
XR	extremitaeten	CHOP	Z88.29

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code
XR	extremitaeten	CHOP	Z88.23
XR	extremitaeten	CHOP	Z88.27
XR	extremitaeten	CHOP	Z88.21
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0240
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0250
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0330
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0340
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0350
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0370
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0380
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0260
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0270
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0280
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0300
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0310
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0320
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0220
XR	extremitaeten	TARMED_001	39.0230
XR	pelvis_becken_huefte	CHOP	Z88.26
XR	pelvis_becken_huefte	TARMED_001	39.0210
XR	pelvis_becken_huefte	TARMED_001	39.0290
XR	schaedel	CHOP	Z87.18
XR	schaedel	TARMED_001	39.0100
XR	schaedel	TARMED_001	39.0110
XR	thorax	CHOP	Z87.49
XR	thorax	TARMED_001	39.0190
XR	thorax	TARMED_001	39.0180
XR	wirbelsaeule	CHOP	Z87.24
XR	wirbelsaeule	CHOP	Z87.23
XR	wirbelsaeule	CHOP	Z87.22
XR	wirbelsaeule	CHOP	Z87.29
XR	wirbelsaeule	TARMED_001	39.0150
XR	wirbelsaeule	TARMED_001	39.0160
XR	wirbelsaeule	TARMED_001	39.0140
XR	wirbelsaeule	TARMED_001	39.0130

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code
XR	wirbelsaeule	TARMED_001	39.0170

Quelle: TARMED 01.09_BR (KVG), CHOP 2023; eigene Darstellung.

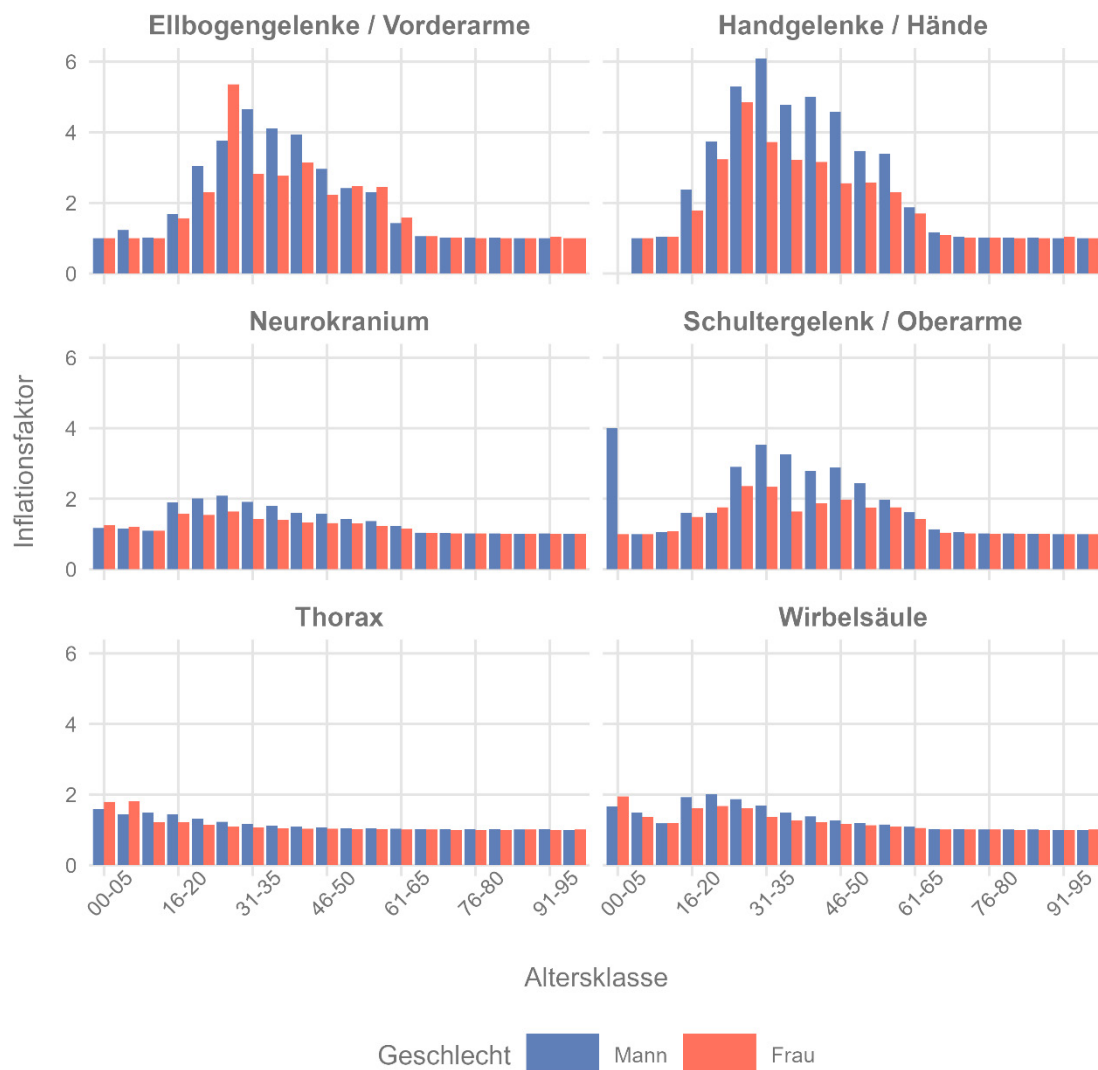
A.1.3 Berechnung der Inflationsfaktoren

Nachfolgend beschreiben wir, wie die Berechnung des PSA-Inflationsfaktors und die anschließende Hochrechnung der ambulanten Untersuchungshäufigkeit des Tarifpools erfolgt. Um die Wichtigkeit der Hochrechnung darzulegen, verwenden wir das Beispiel der CT-Hand Untersuchungen. Diese werden bei Personen im erwerbsfähigen Alter sehr häufig über andere Kostenträger (in der Regel über die Unfallversicherung) abgerechnet – die Inflationsfaktoren sind entsprechend hoch. *Insgesamt* werden jedoch deutlich mehr CT-Untersuchungen über die OKP abgerechnet als über andere Kostenträger (rund 90% im Jahr 2023).

Das Vorgehen wird äquivalent für alle anderen Untersuchungen durchgeführt und lässt sich in folgende Schritte aufteilen:

1. Alle CT-Hand Untersuchungen aus der PSA werden anhand des Kostenträgers in zwei Kategorien «OKP» und «Andere» eingeteilt und anschliessend nach Kostenträger-Kategorie, Altersklasse und Geschlecht aggregiert.
2. Anschliessend wird die Summe der CT-Hand Untersuchungen zulasten aller Kostenträger durch die Summe der CT-Hand Untersuchungen zulasten der OKP dividiert (für jede Kombination von Altersgruppe und Geschlecht). So erhalten wir die *Verhältnisse Gesamt:OKP*. Diese Verhältnisse bezeichnen wir als *Inflationsfaktoren*. Abbildung 3 stellt beispielhaft einige Inflationsfaktoren für das Jahr 2023 dar (u.a. für CT-Hand). Lesebeispiel: ca. 17% der CT-Untersuchungen der Hände bei 31-35-jährigen Männern werden über die OKP abgerechnet, 83% hingegen über andere Kostenträger (Inflationsfaktor = 6).
3. Die ermittelten Untersuchungshäufigkeiten des Tarifpools werden anschliessend mit den Inflationsfaktoren multipliziert (Auf dem Aggregationsniveau *anatomische Region/Protokoll* × *Altersklasse* × *Geschlecht*). Wir erhalten so die hochgerechneten Untersuchungshäufigkeiten im ambulanten Bereich.

Abbildung 3: CT-Inflationsfaktoren (Auszug)



Anmerkungen: Die Grafik zeigt CT-Inflationsfaktoren für ausgewählte anatomische Regionen nach Altersklasse und Geschlecht. *Quelle:* PSA; eigene Darstellung.

Die Methodik der Inflationsfaktoren ist eng an jene des Versorgungsatlas angelehnt. Der primäre Unterschied besteht darin, dass der Versorgungsatlas bei der Berechnung der Inflationsfaktoren auf die Datenjahre 2021-2023 abstützt und somit 3-Jahres-Durchschnittswerte berechnet. Unsere Berechnung hingegen beruht auf dem Jahr 2023.

A.1.4 Spezialfälle in der konventionellen Radiologie

Röntgen im stationären Bereich

Gemäss dem Medizinischen Kodierungshandbuch (Kodierrichtlinie Po2k) sind «Prozeduren, die routinemässig bei den meisten Patienten mit einer bestimmten Erkrankung durchgeführt werden» *nicht* zu kodieren (S. 69). Beispielhaft sind aufgeführt: «Röntgenaufnahme [...] bei Radius-

Fraktur (Colles)» sowie «Konventionelle Röntgenuntersuchungen, z.B. Routine-Thoraxröntgen». Das bedeutet, dass wir im stationären Bereich von einer Untererfassung bestimmter Röntgenuntersuchungen ausgehen müssen. Der Wortlaut der Kodierrichtlinie erschwert allerdings die genaue Zuordnung: Welche Röntgenuntersuchungen «routinemässig» durchgeführt werden, geht aus der Richtlinie nicht abschliessend, sondern lediglich beispielhaft hervor.

Um diese Herausforderung zu adressieren, wählen wir folgendes Vorgehen. Zwei Spitäler (USB und thurmed) haben uns Angaben zur Verteilung der Röntgenuntersuchungen auf den stationären und spitalambulantem Bereich im Jahr 2023 gemacht. Die Anteile betragen durchschnittlich 76% im spitalambulantem Bereich, 24% im stationären Bereich. Um die Häufigkeit der spitalambulant durchgeführten Routine-Röntgenaufnahmen auf den gesamten Spitalbereich hochzurechnen, bilden wir den Faktor 1.31 ($= 1/0.76$) und wenden diesen auf die entsprechenden Untersuchungshäufigkeiten aus dem Tarifpool an.

Das Vorgehen bringt drei Nachteile mit sich: Erstens wissen wir nicht, ob das Verhältnis von stationär zu ambulant durchgeführten Röntgenuntersuchungen für alle Schweizer Spitäler gilt. Zweitens beziehen sich die Anteile auf *sämtliche* Röntgenuntersuchungen, nicht nur die routinemässigen, da dies für die angefragten Spitäler leichter umsetzbar war. Und drittens erfassen wir mangels abschliessender Definition nur das Thoraxröntgen und das Röntgen des Handgelenks, da diese Prozeduren in der Kodierrichtlinie explizit genannt sind. Dieses Vorgehen ist konservativ und unterschätzt die tatsächliche Anzahl der Röntgenuntersuchungen im stationären Bereich tendenziell. Es scheint uns aber nicht gerechtfertigt, weitere Untersuchungen hochzurechnen, da die Definition von «Routine» je nach Spital und Leistungsspektrum anders ausgelegt werden kann.

Röntgen Zusatzaufnahmen

Hier handelt es sich um verschiedene Projektionen der gleichen Untersuchungsregion. Jeder Hauptleistung ist eine Zusatzleistung zugeordnet, mit der die Zusatzaufnahmen kodiert werden. Eine Erfassung ist dementsprechend auch dann möglich, wenn keine Daten auf Fallebene vorliegen.

Grundsätzlich könnten beim Röntgen die weiteren Aufnahmen auch in den aggregierten Tarifpool-Daten gezählt werden und anschliessend den anatomischen Regionen zugeordnet werden, da innerhalb der anatomischen Regionen zwischen Erstaufnahmen und weiteren Aufnahmen ein eindeutiges Beziehungsmuster besteht. Beispiel: Röntgen Ellbogengelenk, erste Aufnahme, «39.0240»; +Röntgen Ellbogengelenk, jede weitere Aufnahme, «39.0245». Als Bedingung für die Berechnung der Dosis wären dann allerdings auch Dosiswerte auf Ebene der einzelnen Aufnahmen erforderlich. Da der Dosisvektor auf Untersuchungsebene erfasst wurde, sehen wir von einer Erfassung der Zusatzaufnahmen ab.

CT Weitere Serien

Je nach Protokoll besteht eine CT-Untersuchung aus verschiedenen Serien. Die Hauptleistung ist im Tarmed immer als eigenständiger Code abgebildet. Für weitere Serien (zum Beispiel nach Kontrastmittelgabe) existiert im Tarmed hingegen nur ein einziger Code. Das heisst: Man benötigt Informationen auf Fallebene, um die Lokalisation der weiteren Serie zu erfassen. Weitere Serien dürfen höchstens einmal pro abgerechneter Hauptleistung abgerechnet werden. Eine Erfassung

der Lokalisation ist folglich dann möglich, wenn für einen gegebenen Fall die Anzahl der weiteren Serien der Anzahl der Hauptleistungen entspricht. Die Datenverfügbarkeit erlaubt diese Zuordnung im spitalambulantem Bereich, nicht aber im praxisambulantem Bereich. Es könnten jedoch anhand der PSA Faktoren berechnet werden, die dann auf den praxisambulantem Bereich übertragen werden können.

Da auch der CT-Dosisvektor auf der Betrachtungsebene «Untersuchung» erhoben wurde, ignorieren wir die weiteren Serien bei der Berechnung der Häufigkeit.

CT Perfusion bei Stroke

In manchen Fällen lassen sich Untersuchungen durch die AbrechnungsCodes nicht hinlänglich genau darstellen. Wir haben insgesamt vier Untersuchungsprotokolle identifiziert, bei denen jeweils eine zweite weitere Serie gefahren wird, die aber nicht abgerechnet werden kann. Insgesamt sind die Abweichungen zwischen berechneter Dosis (auf Grundlage der abgerechneten Positionen) und der tatsächlichen Dosis jedoch gering oder die Untersuchungen fallen volumenmässig nicht ins Gewicht, sodass wir hier von einer Korrektur absehen. Es handelt sich dabei um (1) CT Abklärung oberer Harntrakt, (2) CT Blutungssuche, (3) CT Leber und (4) CT Angio post EVAR-Kontrollen.

Dosisrelevant ist jedoch nur das CT Perfusion, das in der Schlaganfalldiagnostik standardmässig angewendet wird. Für CT Perfusion existiert kein eigenständiger Code. Als Hauptleistung wird daher die Computertomographie des Schädels (CHOP Z87.03) abgerechnet, die mit einer weit geringeren Dosis einhergeht. Die in Abschnitt A.2.2 angegebene Dosis für CT Neurokranium (auf Basis der DMS-Extraktion) stellt einen gewichteten Mittelwert verschiedener CT-Schädel-Untersuchungen (auch CT Perfusion) dar. Folglich wird diese Unschärfe über eine etwas höhere Dosis korrigiert.

A.1.5 Harmonisierte Klassifikation der interventionellen Radiologie

Tabelle 19 listet alle Codes auf, die wir für die interventionelle Radiologie berücksichtigt haben. Zudem ist die Überleitung zwischen den Tarifsystemen ersichtlich (Modalität + anatomische Region/Protokoll). Zu erwähnen ist, dass die stationären Codes nicht zwingend endständig definiert sind. Bestandteil der Definition sind immer alle Codes, die mit der aufgeführten Zeichenfolge beginnen.

Tabelle 19: Harmonisierte Klassifikation der interventionellen Radiologie

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code-Zeichenfolge
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.65
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.42.00
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.42.11

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code-Zeichenfolge
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.42.99
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.47
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.40
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.41.21
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.49.00
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.49.99
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.59
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.60
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.64
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.67
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.68
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.45
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.46
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.49.10
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.49.11
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.43
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.44
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.62
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.63.00
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.63.99
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.63.10

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code-Zeichenfolge
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.51
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.61.00
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.61.99
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.61.10
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z00.21
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	CHOP	Z88.41.11
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6080
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6160
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6350
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6620
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6120
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6130
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6560
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6570
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6730
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6520
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6540
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6690
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6700
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6360
IRD	angiographie_abdominal_pulmonal_pelvis_zerebral_andere	TARMED_001	39.6100
IRD	angiographie_herz_rechts	CHOP	Z88.52

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code-Zeichenfolge
IRD	angiographie_herz_rechts	CHOP	Z37.21
IRD	angiographie_herz_rechts	TARMED_001	17.0910
IRD	angiographie_obere_extremitaeten	CHOP	Z88.42.10
IRD	angiographie_obere_extremitaeten	CHOP	Z88.69
IRD	angiographie_obere_extremitaeten	TARMED_001	39.6110
IRD	angiographie_obere_extremitaeten	TARMED_001	39.6510
IRD	angiographie_untere_extremitaeten	CHOP	Z88.48.00
IRD	angiographie_untere_extremitaeten	CHOP	Z88.48.10
IRD	angiographie_untere_extremitaeten	CHOP	Z88.48.99
IRD	angiographie_untere_extremitaeten	CHOP	Z88.66
IRD	angiographie_untere_extremitaeten	TARMED_001	39.6140
IRD	angiographie_untere_extremitaeten	TARMED_001	39.6150
IRD	angiographie_untere_extremitaeten	TARMED_001	39.6580
IRD	koronarangiographie	TARMED_001	17.1010
IRD	koronarangiographie	TARMED_001	17.0710
IRD	koronarangiographie	CHOP	Z88.50
IRD	koronarangiographie	CHOP	Z88.53
IRD	koronarangiographie	CHOP	Z88.54
IRD	koronarangiographie	CHOP	Z88.55
IRD	koronarangiographie	CHOP	Z88.56
IRD	koronarangiographie	CHOP	Z88.57
IRD	koronarangiographie	CHOP	Z88.58
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.B
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.71
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.73
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.7A
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.72
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.77
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.76
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.75
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.00
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.09
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.20
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.21
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.22
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.24

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code-Zeichenfolge
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.25
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.26
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.27
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.28
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.29
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.40
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.41
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.42
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.44
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.45
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.46
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.47
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.48
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.49
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.50
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.51
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.52
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.54
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.55
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.56
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.57
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.58
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.59
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.60
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.61
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.62
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.64
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.65
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.66
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.67
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.68
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.69
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.90
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.91
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.92
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.94

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code-Zeichenfolge
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.95
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.96
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.97
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.98
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.9A
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.A0
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.A1
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.A2
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.A4
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.A5
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.A6
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.A7
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.A8
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.A9
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.B0
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.B1
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.B2
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.B4
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.B5
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.B6
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.B7
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.B8
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.B9
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.C0
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.C1
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.C2
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.C4
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.C5
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.C6
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.C7
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.C8
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.79.C9
IRT	irt_sonstige	CHOP	Z39.5
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.6790
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.6800
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.6770

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code-Zeichenfolge
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.6780
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.6170
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.6270
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.6260
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.6280
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.6290
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.1200
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	19.0090
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.7080
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.7090
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.0615
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.6810
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.7050
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.7060
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.7070
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	17.1240
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.7000
IRT	irt_sonstige	TARMED_001	39.7040
IRT	elektrophysiologie	CHOP	Z37.34.0
IRT	elektrophysiologie	CHOP	Z37.34.1
IRT	elektrophysiologie	TARMED_001	17.1380
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.D
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.G1.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.G2.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.G3.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.G4.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.C2.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.C2.14
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.C3.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.C3.14
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.C4.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.C4.14
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.E1.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.E1.14
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.E2.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.E2.14

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code-Zeichenfolge
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.E2.15
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.E3.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.E3.14
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.E4.14
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.E4.15
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.E4.16
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A1.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A1.14
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A2.00
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A2.09
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A2.11
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A2.12
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A2.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A2.14
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A3.00
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A3.09
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A3.11
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A3.12
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A3.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A3.14
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A4.00
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A4.09
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A4.11
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A4.12
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A4.13
IRT	herzklappe	CHOP	Z35.A4.14
IRT	herzklappe	TARMED_001	17.1210
IRT	herzschriltmacher_defibrillator	CHOP	Z37.8E
IRT	herzschriltmacher_defibrillator	CHOP	Z37.8A
IRT	herzschriltmacher_defibrillator	TARMED_001	17.1540
IRT	koronarangioplastik	TARMED_001	17.1110
IRT	koronarangioplastik	CHOP	Z00.66
IRT	koronarangioplastik	CHOP	Z39.99.30
IRT	koronarangioplastik	CHOP	Z39.99.31
IRT	koronarangioplastik	CHOP	Z39.99.32
IRT	koronarangioplastik	CHOP	Z39.99.38

Modalität	Anatomische Region/Protokoll	Tarifsystem	Code-Zeichenfolge
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z04.81.12
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z04.81.22
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z04.81.23
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z04.81.24
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z04.81.25
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z05.31.12
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z05.31.14
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z05.31.16
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z05.31.18
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z81.92.21
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z81.92.22
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z81.92.23
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z81.92.24
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z81.92.29
IRT	schmerztherapie	CHOP	Z81.92.32
IRT	schmerztherapie	TARMED_001	29.2010
IRT	schmerztherapie	TARMED_001	29.2030
IRT	schmerztherapie	TARMED_001	29.2050
IRT	schmerztherapie	TARMED_001	29.2070
IRT	schmerztherapie	TARMED_001	29.2080
IRT	schmerztherapie	TARMED_001	29.2100
IRT	schmerztherapie	TARMED_001	29.2110
IRT	schmerztherapie	TARMED_001	29.2120
IRT	schmerztherapie	TARMED_001	29.2130
IRT	schmerztherapie	TARMED_001	29.2140
IRT	schmerztherapie	TARMED_001	29.2150
IRT	schmerztherapie	TARMED_001	29.2160
IRT	schmerztherapie	TARMED_001	29.2210

Quelle: CHOP 2023, TARMED 01.09_BR (KVG); eigene Darstellung.

A.1.6 Mapping Radiopharmaka zu NUK-Untersuchungen

Tabelle 20: Mapping Radiopharmaka zu NUK-Untersuchungen

Radiopharmaka	Modalität	Protokoll
18F-FDG	PET	PET Tumore
18F-Cholin	PET	PET Tumore
18F-DOPA	PET	PET Tumore
18F-FET	PET	PET Tumore
18F-Flortaucipir	PET	PET Gehirn
18F-Fluorid	PET	PET Tumore
18F-Flutemetamol	PET	PET Gehirn
18F-PSMA 1007	PET	PET Tumore
18F-Pyclari	PET	PET Tumore
(13N) NH ₃ , injection	PET	Myokard
(15O) H ₂ O, injection	PET	PET Gehirn
(82Rb) Rubidium chloride, injection	PET	Myokard
68Ga-DOTATATE/TOC	PET	PET Tumore
68Ga-PSMA-11	PET	PET Tumore
(I-123) AdreView, lobenguane, injection	SPECT	Schilddrüse
(I-123) DaTSCAN, loflupane, injection	SPECT	Gehirn
(I-123) Hippuran, injection	SPECT	Nieren
(I-123) IBZM (Iodobenzamid), injection	SPECT	Gehirn
(I-123) MIBG, lobenguane, injection	SPECT	Skelett
(I-123) Na-iodide, diagnostic capsule	SPECT	Schilddrüse
(I-131) Na-iodide, diagnostic capsule	SPECT	Schilddrüse
(I-123) Na-iodide, injection	SPECT	Schilddrüse
I-125 Seralb HSA	SPECT	Blutquelle
(In-111) Indium DTPA, injection	SPECT	Nieren
OctreoScan, Kit, In-111	SPECT	Skelett
(Se-75) SeHCAT, capsule	SPECT	Skelett
(Tc-99m) Pertechnetate	SPECT	Skelett
Anti-granulocyte	SPECT	Skelett
Bridatec, Kit, Tc-99m	SPECT	Skelett
Ceretec, Kit, Tc-99m	SPECT	Gehirn
DMSA TechneScan, Kit, Tc-99m	SPECT	Nieren
DTPA TechneScan, Kit, Tc-99m	SPECT	Nieren

Radiopharmaka	Modalität	Protokoll
Ehida, Kit, Tc-99m	SPECT	Skelett
HDP Technescan, Kit, Tc-99m	SPECT	Skelett
Lymphoseek, Kit, Tc-99m	SPECT	Lymphszintigraphie
MAG3	SPECT	Nieren
MOAB	SPECT	Skelett
Myoview, Kit, Tc-99m	SPECT	Myokard
NANOCIS (sulphide colloid)	SPECT	Lymphszintigraphie
NanoHSA-ROTOP (NANOTOP), Kit, Tc-99m	SPECT	Lymphszintigraphie
PULMOCIS (macrosalb), Kit, Tc-99m	SPECT	Pulmonale Perfusion
PYP, Kit, Tc-99m	SPECT	Myokard
ROTOP-HSA Mikrosphären B20, Kit, Tc-99m	SPECT	Pulmonale Perfusion
Scintimun Granulocyte BW 250/183, Kit, Tc-99m	SPECT	Skelett
SESTAMIBI	SPECT	Myokard
Teceos DPD	SPECT	Skelett
Technegas, Tetley Generator, Kit, Tc-99m	SPECT	Pulmonale Ventilation
TEKTROTYD, Kit, Tc-99m	SPECT	Skelett
ULTRATAG	SPECT	Myokard
Vasculosis, Kit, Tc-99m	SPECT	Blutquelle
(TI-201) Thallous chloride injection Mallinckrodt, Injection	SPECT	Myokard

Anmerkungen: Die Szintigraphien werden bei den SPECT mitgezählt, da anhand der Radiopharmaka keine sinnvolle Unterteilung möglich ist. Quelle: Jahresmeldung BAG; eigene Darstellung.

A.1.7 Rücklaufquoten der Zahnarzt-Befragung nach Kanton

Tabelle 21: Rücklaufquoten der Zahnarzt-Befragung nach Kanton

Kanton	Rücklaufquote
Aargau	77%
Appenzell Ausserrhoden	76%
Appenzell Innerrhoden	80%
Basel-Land	80%
Basel-Stadt	83%
Bern	77%

Kanton	Rücklaufquote
Freiburg	73%
Genf	61%
Glarus	73%
Graubünden	79%
Jura	50%
Luzern	78%
Neuenburg	63%
Nidwalden	89%
Obwalden	100%
Schaffhausen	64%
Schwyz	76%
Solothurn	78%
St. Gallen	80%
Tessin	73%
Thurgau	83%
Uri	73%
Waadt	64%
Wallis	70%
Zug	81%
Zürich	78%
Total	74%

Quelle: Eigene Primärdatenerhebung.

A.2 Dosiserhebung

A.2.1 Allgemeine Bemerkungen zum Vorgehen

Die Bestimmung der Dosiswerte beruht – wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben – auf verschiedenen Datenquellen. Grundsätzlich wurden aktuelle Publikationen älteren Publikationen vorgezogen und Werte mit stärkerem Schweiz-Bezug solchen, die aus weniger gut vergleichbaren Settings stammen.

Die Literaturrecherche umfasste die Begriffe «Strahlung», «effektive Dosis», «Radiologie», NICHT «Strahlentherapie», NICHT «Beruf», NICHT «Personal», NICHT «Stereotaktik», und umfasste Artikel, die zwischen 2020 und 2024 veröffentlicht wurden. Ausserdem wurden zum

Vergleich Dosisvektoren aus den Erhebungen 2008, 2013 und 2018 in der Schweiz herangezogen, sowie eine auf das Jahr 2019 bezogene Erhebung für Österreich [3], der NCRP-Bericht 184 [4] für die USA und der UNSCEAR-Bericht 2022 [2].²⁴ Es ist anzumerken, dass die Werte der Erhebungen CHE 2008, CHE 2013 und CHE 2018 zum Teil nicht aktualisiert, sondern aus den Vorgängerstudien übernommen wurden.²⁵ Somit beziehen sich die unten ausgewiesenen Entwicklungen bspw. für Röntgendosen nicht auf einen 5-Jahres-Zeitraum, sondern effektiv auf einen 15-Jahres-Zeitraum (im Minimum).

Die effektiven Dosen konnten nur zum Teil aus der Literatur abgeleitet werden. Dies kann unter anderem auf das mangelnde Interesse an traditionellen Untersuchungen wie Röntgenaufnahmen zurückzuführen sein. Hinzu kommt: Insbesondere bei den Prozeduren der interventionellen Radiologie ist die Erfassungsebene für die *Häufigkeit* deutlich feiner als die Ebene, auf der diagnostische Referenzwerte oder anderweitig in der Literatur erhobene *Dosiswerte* verfügbar sind.²⁶ In diesen Fällen verwenden wir Werte aus dem DMS des Universitätsspitals Zürich (USZ), die auf dem Zeitraum vom 01.01.2023 bis 30.09.2024 basieren. Bedenken hinsichtlich der Repräsentativität dieser Daten sind zwar gerechtfertigt, können jedoch mindestens teilweise entkräftet werden: Es ist richtig, dass die Geräte im USZ zum Teil moderner als der Schweizer Durchschnitt sind, allerdings trifft dies hauptsächlich auf die CTs zu. Für die CT-Dosen stellen wir jedoch nicht auf DMS-Daten, sondern auf den BAG-Dosisvektor ab, wie in Abschnitt A.2.2 genauer ausgeführt²⁷. Andere Geräte entsprechen eher dem Standard, sodass im Hinblick auf das Gerätealter keine Verzerrungen zu erwarten sind. Man könnte zusätzlich einwenden, dass Massnahmen zur Dosisoptimierung an einem Unispital konsequenter erfolgen und die mittlere Dosis daher geringer ausfällt. Dieser Befund ist richtig. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass an Unispitälern typischerweise komplexere Untersuchungen durchgeführt werden, was wiederum mit einer höheren Dosis einhergeht. Der Nettoeffekt ist unklar. In der Gesamtabwägung halten wir den Einsatz von DMS-Dosiswerten eines einzelnen Unispitals für durchaus vertretbar, weil sie uns erlauben, mit sehr fein aufgelösten Prozeduren zu arbeiten. Im Übrigen weisen wir darauf hin, dass auch Angaben aus der Literatur nicht notwendigerweise repräsentativ für den Schweizer Kontext sind. Diagnostische Referenzwerte sind zwar – wo verfügbar – breiter abgestützt, beziehen sich aber zumeist auf das 75. Perzentil, während für unsere Zwecke der Median sachgerecht erscheint.

Zur Bestimmung der effektiven Dosen für jedes radiologische Verfahren wurde zunächst ein Mapping zwischen den Bezeichnungen der Untersuchungen in den Quellen zur Dosiserhebung und den für den Häufigkeitsvektor definierten Begrifflichkeiten hergestellt. So ist sichergestellt, dass sich die Untersuchungen anhand der Protokollnamen so gut wie möglich entsprechen. Für jede

²⁴ Diese Erhebungen werden im Folgenden nicht gesondert referenziert, sondern jeweils mit CHE 2008, CHE 2013, CHE 2018, AUT 2019, USA 2019 und UNSCEAR 2020 abgekürzt.

²⁵ In der Erhebung 2018 wurden nur die Werte für CT und die Nuklearmedizin neu erhoben, in der Erhebung die Werte für CT und DVT. Für alle anderen Modalitäten beruhen die Dosiswerte damit effektiv auf Angaben, die bereits 2008 vorlagen.

²⁶ Um Dosiswerte für diese Prozeduren aus dem DMS extrahieren zu können, müssen die Prozeduren definiert und die Bezeichnungen vom durchführenden Personal konsistent angewendet werden. In der Schweiz besteht aktuell keine einheitliche Ontologie für die Bezeichnung der Prozeduren, und auch die Kodierungsgranularität unterscheidet sich erheblich. Aus diesem Grund scheitert ein Abgleich zwischen verschiedenen DMS zum jetzigen Zeitpunkt an der Harmonisierbarkeit der verschiedenen Systeme.

²⁷ Nachtrag vom 21.7.2025: Das Vorgehen für den CT Dosisvektor wurde publiziert unter Ott et al 2025 *J. Radiol. Prot.* <https://doi.org/10.1088/1361-6498/adf1ad>

Untersuchung wurde aus dem DMS das 50. Perzentil (Median) der Dosismessung extrahiert. Wurde dasselbe Verfahren an mehr als einem Gerät durchgeführt, wurde der gewichtete arithmetische Mittelwert der Medianwerte verwendet. Die effektive Dosis für die CT wurde anhand der vom BAG angegebenen relativen Änderung der im Jahr 2018 geschätzten effektiven Dosen ermittelt.

Die strahlungsverursachende Einheit ist die einzelne *Aufnahme*. Untersuchungen setzen sich typischerweise aus verschiedenen Aufnahmen zusammen. Um die effektive Dosis der Untersuchung zu bestimmen, muss die Anzahl aller Aufnahmen berücksichtigt werden. Der in diesem Bericht angegebene endgültige Dosisvektor gilt pro Untersuchung.²⁸ Für jede Modalität wird die Methodik im folgenden Abschnitt separat beschrieben.

A.2.2 Computertomographie (CT)

Das BAG lieferte Daten zur Veränderung der Dosis pro Untersuchung auf Grundlage einer Erhebung, die im Jahr 2023 in verschiedenen Spitälern durchgeführt wurde. Die prozentuale Veränderung wurde auf die effektiven Dosiswerte aus der Erhebung 2018 angewendet²⁹. Es wurde eine Überprüfung mit den DMS-Daten des USZ durchgeführt. Bei zwei Untersuchungsprotokollen – CT Thorax und CT Abdomen – sind deutliche Abweichungen zwischen den Werten auf Basis der BAG-Erhebung und den Werten, die aus dem DMS extrahiert wurden, festzustellen (siehe Tabelle 22). Beim CT Neurokranium stimmen die Werte dagegen sehr gut überein.

Tabelle 22: Abweichungen der effektiven Dosiswerte bestimmter Untersuchungen

Studienprotokoll	BAG	DMS Unispital
Neurokranium	2.4 mSv	2.4 mSv
Thorax	3.5 mSv	2.9 mSv
Abdomen	9.9 mSv	5.8 mSv

Quelle: Eigene Darstellung.

Wir ziehen zur Berechnung der kollektiven effektiven Dosis die BAG-Werte heran. Dies, da die Abdeckung der BAG-Erhebung breiter ist und nicht mit Sicherheit angenommen werden kann, dass die vergleichsweise niedrigen Dosiswerte, die aus dem DMS eines Unispitals hervorgehen, repräsentativ für die Schweiz sind. Zudem ist so die Vergleichbarkeit mit 2018 gegeben. Es sei aber darauf hingewiesen, dass diese Berechnungsweise zu einem eher konservativen Ergebnis führt.

²⁸ Mit Ausnahme der Zahnmedizin.

²⁹ Nachtrag vom 21.7.2025: Ott et al 2025 *J. Radiol. Prot.* <https://doi.org/10.1088/1361-6498/adfiad>

Tabelle 23: Effektive Dosen für CT-Untersuchungen

Untersuchung	CC (mSv/Gy·cm)	E (mSv) BAG-Erhebung	E (mSv) DMS-Extraktion	E (mSv) Literaturübersicht	E (mSv) Andere Erhebungen
Neurokranium	0.0029	2.40	2.40	0.68–6.25 [5–13]	CHE 2008: 2.6 CHE 2018: 2.36 USA 2019: 1.6 UNSCEAR 2020: 1.9 AUT 2019: 1.5
Schädel		2.10			CHE 2008: 0.5–1.55 CHE 2018: 2.36 UNSCEAR 2020: 1.5 AUT 2019: 1.5
Hals		2.10			CHE 2008: 2.57 CHE 2018: 2.1 USA 2019: 1.2 UNSCEAR 2020: 2.8 AUT 2019: 1.5
Thorax	0.02	3.50	2.90	0.78–8.1 [5,8,14–21]	CHE 2008: 5.76 CHE 2018: 3.8 USA 2019: 6.1 UNSCEAR 2020: 6.4 AUT 2019: 5.7
Oberbauch	0.019	11.4	7.8	6.7–7.6 [15]	CHE 2008: 10.6 CHE 2018: 12.1
Abdomen	0.018	9.90	5.8	5.3–28.7 [5,7,8,18,22–24]	CHE 2008: 9.26 CHE 2018: 10.5 USA 2019: 7.7

Untersuchung	CC (mSv/Gy·cm)	E (mSv) BAG-Erhebung	E (mSv) DMS-Extraktion	E (mSv) Literaturübersicht	E (mSv) Andere Erhebungen
					UNSCEAR 2020: 11.2 (Abdomen), 10.3 (Leber, Pankreas, Nieren) AUT 2019: 13.0
Becken/Iliosakralgelenk		7.00		1.16–21.6 [25–29]	CHE 2008: 5.7–14.3 CHE 2018: 7.9 USA 2019: 7.7 UNSCEAR 2020: 8.8 (Beckenknochen), 10.9 (Becken Weichgewebe/vaskulär), 5.0 (Pelvimetrie) AUT 2019: 13.0
Wirbelsäule		11.40			CHE 2008: 16.7 CHE 2018: 10.7 USA 2019: 8.8 UNSCEAR 2020: 3.1 (CS), 8.0 (TS), 9.4 (LS), 14.5 (FS) AUT 2019: 6.0
Schultergelenk/Oberarme		5.80			CHE 2008: 1.8 CHE 2018: 5.8 USA 2019: 1.7 (obere Extremitäten) UNSCEAR 2020: 2.1
Ellbogengelenk/Vorderarme		3.20			CHE 2008: 1.8 CHE 2018: 3.2 USA 2019: 1.7 (obere Extremitäten) UNSCEAR 2020: 2.1
Handgelenk/Hände		1.90			CHE 2008: 1.8 CHE 2018: 1.9 USA 2019: 1.7 (obere Extremitäten) UNSCEAR 2020: 3.2
Hüfte/Oberschenkel		9.30			CHE 2008: 5.7 CHE 2018: 11

Untersuchung	CC (mSv/Gy·cm)	E (mSv) BAG-Erhebung	E (mSv) DMS-Extraktion	E (mSv) Literaturübersicht	E (mSv) Andere Erhebungen
					USA 2019: 3.2 (untere Extremitäten) UNSCEAR 2020: 2.1
Kniegelenk/Unter- schenkel		2.70			CHE 2008: 0.1 CHE 2018: 2.7 USA 2019: 3.2 (untere Extremitäten) UNSCEAR 2020: 2.1
Füsse/Sprunggelenke		0.06			CHE 2008: 0.1 CHE 2018: 0.06 USA 2019: 3.2 (untere Extremitäten) UNSCEAR 2020: 2.1
Intervention		8		0.5–16.8 [30–38]	CHE 2008: 3.9 USA 2019: 5.0 (untere Extremitäten)
Andere		5			CHE 2013: 8.54 (CT Scanning)

Quelle: Eigene Darstellung.

A.2.3 Röntgen (XR)

Die effektiven Dosen für konventionelle radiologische Untersuchungen sind in Tabelle 24 abgebildet. Die ermittelten Werte beziehen sich auf die Untersuchungsebene. Da in der Literatur nur sehr wenige Daten verfügbar waren, wurden DMS-Daten verwendet, um die verschiedenen Untersuchungen (das Spektrum der betrachteten Untersuchungen ist etwas breiter als 2018) sowie die entsprechende effektive Dosis zu definieren. Wo immer verfügbar, wurden bibliografische Daten zur Überprüfung herangezogen. Die durchschnittliche Anzahl Aufnahmen pro Untersuchung sowie die Konversionskoeffizienten werden ebenfalls in Tabelle 24 aufgeführt. Die effektiven Dosen für alle Untersuchungen waren niedriger als bei den vorherigen Erhebungen. Dafür kommen mehrere Gründe in Betracht:

- Die effektiven Dosen für die Erhebung 2018 entsprechen den effektiven Dosen, die bereits 2008 verwendet wurden (vgl. Abschnitt A.2.1). Die hier dargestellte Evolution bezieht sich daher im Minimum auf einen 15-Jahres-Zeitraum.
- Die Berechnungen der effektiven Dosis beziehen sich auf direkte Detektorsysteme (DR). Im Allgemeinen gibt es zwei Arten von digitalen Detektoren: Direktdetektoren (DR) und Computerradiographie-Detektoren (CR). Erstere werden häufiger verwendet und sind in Bezug auf die Strahlendosis effizienter als letztere.
- Fortschritte im Post-Processing mittels KI-gestützten Tools senken die Anforderungen an die Bildqualität bei gleichbleibender Signal-to-Noise-Ratio. Es ist aber unklar, in welchem Umfang diese Technologie bereits genutzt wird.

Tabelle 24: Effektive Dosen für Röntgenuntersuchungen

Untersuchung	CC (mSv/Gy·cm ²)	E (mSv)	E (mSv) DMS-Extraktion	E (mSv) Literaturübersicht	E (mSv) Andere Erhebungen
Schädel	0.05	0.023	0.023 (2.02 Aufnahmen/Untersuchung)		CHE 2008: 0.04–0.1 CHE 2013: 0.32 (Röntgen allgemein) CHE 2018: 0.3 USA 2019: 0.14 UNSCEAR 2020: 0.15 (Weichgewebe), 0.08 (Schädel und Gesichtsknochen)
Thorax	0.212	0.035	0.035 (1.89 Aufnahmen/Untersuchung)	0.01-0.03 [39–41]	CHE 2008: 0.05 CHE 2013: 0.32 (Röntgen allgemein) CHE 2018: 0.045 USA 2019: 0.1 UNSCEAR 2020: 0.08 AUT 2019: 0.08
Abdomen	0.202	0.230	0.230 (1.31 Aufnahmen/Untersuchung)	0.02-0.5 [39,42,43]	CHE 2008: 0.75 CHE 2013: 0.32 (Röntgen allgemein) CHE 2018: 1.15 USA 2019: 0.6 UNSCEAR 2020: 0.61 AUT 2019: 0.5
Becken/Hüfte	0.202	0.330	0.330 (1.92 Aufnahmen/Untersuchung)	0.19-0.85 [41]	CHE 2008: 0.45–0.9 CHE 2013: 0.32 (Röntgen allgemein) CHE 2018: 1.15 USA 2019: 0.4 UNSCEAR 2020: 0.49 AUT 2019: 0.5

Untersuchung	CC (mSv/Gy·cm ²)	E (mSv)	E (mSv) DMS-Extraktion	E (mSv) Literaturübersicht	E (mSv) Andere Erhebungen
Extremitäten	0.01 (Obere Extremität) 0.005 (Untere Extremität)	0.001	0.001 Es handelt sich um die gewichtete effektive Dosis verschiedener Untersuchungen der Extremitäten: Hand, Fuss, Knie, oberes Sprunggelenk (OSG), Handgelenk, Ellbogen, Unterschenkel, Oberschenkel, Vorderarm, Oberarm. Aus diesem Grund kann keine Angabe zur Anzahl Aufnahmen pro Untersuchung gemacht werden.	0.00045-0.03 [41,44]	CHE 2008: 0.0004–0.02 CHE 2013: 0.32 (Röntgen allgemein) CHE 2018: 0.01 USA 2019: 0–0.006 UNSCEAR 2020: 0.02
Wirbelsäule	0.212 (HWS), 0.212 (BWS), 0.202 (LWS)	0.402 (gewichtetes arithmetisches Mittel)	0.050 (HWS, 2.15 Aufnahmen/Untersuchung), 0.190 (BWS, 2.00 Aufnahmen/Untersuchung), 0.660 (LWS, 2.05 Aufnahmen/Untersuchung)	0.1-0.4 [40,41,45]	CHE 2008: 0.1 (HWS), 0.5 (BWS), 1.5 (LWS) CHE 2013: 0.32 (Röntgen allgemein) CHE 2018: 1.6 USA 2019: 0.2 (HWS), 1.0 (BWS), 1.4 (LWS) UNSCEAR 2020: 0.13 (HWS), 0.45 (BWS), 1.01 (LWS) AUT 2019: 0.5

Anmerkungen: CC = Konversionskoeffizient; HWS = Halswirbelsäule, BWS = Brustwirbelsäule, LWS = Lendenwirbelsäule. Quelle: Eigene Darstellung.

A.2.4 Mammographie (MG)

Die effektive Dosis der Screening-Mammographie beträgt 0.55 mSv. Dieser Wert beruht auf folgenden Annahmen: zwei Ansichten, bilateral kraniokaudal mit 1.10 mGy und mediolateral-schräg mit 1.18 mGy von jeder Brust (mittleres komprimiertes Brustgewebe bei 56 mm, eine mittlere Drüsendosis für das gesamte Brustgewebe von 1.8 mGy pro Ansicht und ein gewebespezifischer Faktor w_T für die Brust von 0.12 [1,46]). Die effektive Dosis der diagnostischen Mammographie beträgt 0.66 mSv, da das diagnostische Verfahren – wie auch die Screening-Mammographie – zwei Ansichten für CC und MLO umfasst, aber bei 20% der Patientinnen eine oder mehrere zusätzliche Projektionen hinzugefügt werden können [47].

Die effektive Dosis für die Mammographie ist höher als in früheren Erhebungen, da die Anzahl der Projektionen «1 oder 2 pro Brust» betrug und sich die Dosis seit der Erhebung 2013 nicht verändert hat. Die Technik für das Screening ist seit 2014 standardisiert [48]. Ein Vergleich über verschiedene Länder hinweg findet sich in Tabelle 25.

Tabelle 25: Effektive Dosen für Mammographie im Ländervergleich

Land/Institution	Effektive Dosis (mSv)	Referenz
Schweiz	0.36 (Screening & Diagnostik)	CHE 2013, CHE 2018
Österreich	0.33 (Screening & Diagnostik)	AUT 2019
USA	0.36 (Screening & Diagnostik)	USA 2019
UNSCEAR	0.52 (Diagnostik), 0.66 (Screening)	UNSCEAR 2020

Quelle: Eigene Darstellung.

A.2.5 Konventionelle Durchleuchtung (RF)

Die effektive Dosis für Verfahren unter Durchleuchtung ist Tabelle 26 zu entnehmen. Die vorgeschlagenen Werte beziehen sich auf die Untersuchungsebene. In der Literatur waren nur sehr wenige Daten verfügbar, daher wurden in erster Linie die DMS-Daten verwendet, um die verschiedenen Untersuchungen sowie die entsprechende effektive Dosis zu definieren. Angaben aus der Literatur wurden zur Überprüfung herangezogen. In der Erhebung CHE 2008 wurden separate Dosiswerte für die einzelnen konventionellen Durchleuchtungsverfahren ermittelt. Der Mittelwert dieser einzelnen Verfahren beträgt 3.5 mSv, der gewichtete Mittelwert 2.7 mSv. In den Erhebungen CHE 2013 und CHE 2018 wurde hingegen für alle Durchleuchtungsverfahren ein Mittelwert für die effektive Dosis von 8 mSv angesetzt. Vorliegend wurde für die Verfahren unter Durchleuchtung ein Mittelwert von 2.8 mSv ermittelt und für die Kategorie «Konventionelle Durchleuchtung (diverse)» verwendet.

Tabelle 26: Effektive Dosen für konventionelle Durchleuchtungen

Untersuchung	CC (mSv/Gy·cm ²)	E (mSv)	E (mSv) DMS-Extraktion	E (mSv) Literaturüber- sicht	E (mSv) Andere Erhebungen	Quellenangabe für finalen Wert
ERCP	0.202	3.9	3.9		CHE 2008: 5.49 UNSCEAR 2020: 4.9 USA 2019: 2 (Gallenwege ein- schliesslich ERCP)	DMS
Zystographie	0.202	0.2	0.2		CHE 2008: 1.8	DMS
Defäkographie		8.8			CHE 2008: 12 UNSCEAR 2020: 8.8	UNSCEAR 2020
Ösophagus- breischluck		0.32		0.32 [49]	CHE 2008: 1.1	Literatur
Myelographie		4.75			CHE 2008: 0.6–11 UNSCEAR 2020: 5.5 USA 2019: 4	Mittelwert aus UN- SCEAR 2020 und USA 2019
Cholangiographie (an- dere)	0.202	0.8	0.8		CHE 2008: 1.8–8.1 UNSCEAR 2020: 8.5	DMS
Urogenitale Diagnostik (verschiedene)	0.202	1.6	0.3–2.7 (mit einem durch- schnittlichen Wert für verschie- dene urogenitale Untersuchun- gen von 1.2)		CHE 2008: 1.1–3.5 UNSCEAR 2020: 1.6 USA 2019: 2	UNSCEAR 2020
Gynäkologische Diag- nostik (verschiedene)		1			CHE 2008: 2.5 USA 2019: 1	USA 2019
Arthrographie		2.1			CHE 2008: 0.003–0.8 UNSCEAR 2020: 2.1 USA 2019: 0.2	UNSCEAR 2020

Untersuchung	CC (mSv/Gy·cm ²)	E (mSv)	E (mSv) DMS-Extraktion	E (mSv) Literaturüber- sicht	E (mSv) Andere Erhebungen	Quellenangabe für finalen Wert
Gastrointestinale Diagnostik (Kolon)		7.5		Barium-Einlauf: 7.5 [8]	CHE 2008: 12 USA 2019: 6 AUT 2019 (Barium-Mahlzeit, Kolon- kontrasteinlauf, Barium-Einlauf, in- travenöse Urographie): 4	Literatur
Konventionelle Durchleuchtung (verschiedene)		2.8			CHE 2013: 8 CHE 2018: 8 AUT 2019: 5 USA 2019: 4	Durchschnitt aller Durchleuchtungen
Gastrointestinale Diagnostik (verschiedene)		3.4			CHE 2008: 3.8–7 UNSCEAR 2020: 3.4 AUT 2019 (Barium-Mahlzeit, Kolon- kontrasteinlauf, Barium-Einlauf, in- travenöse Urographie): 4	UNSCEAR 2020
Intravenöse Urographie		2.4		1.51 [23]	UNSCEAR 2020: 2.4 AUT 2019 (Barium-Mahlzeit, Kolon- kontrasteinlauf, Barium-Einlauf, in- travenöse Urographie): 4	UNSCEAR 2020
Retrograde Pyelographie	0.202	0.9	0.9		CHE 2008: 2.3	DMS
Retrograde Urethrographie	0.202	0.4	0.4		CHE 2008: 1.1 USA 2019: 3	DMS

Anmerkungen: Für CHE 2013 und CHE 2018 können keine Werte ausgewiesen werden, da die Kategorie «Konventionelle Durchleuchtung» dort breiter definiert wurde und keine Werte für spezifische Verfahren verfügbar sind. Quelle: Eigene Darstellung.

A.2.6 Interventionelle Diagnostische und Therapeutische Radiologie (IRD/IRT)

Die effektive Dosis für interventionelle Prozeduren (diagnostisch und therapeutisch) wurde mehrheitlich auf Basis von DMS-Daten bestimmt. Die einzige Ausnahme bildet die Koronarangiographie; hier wurde als Dosiswert der Wert herangezogen, der in drei Erhebungen (UNSCEAR 2020, AUT 2019, USA 2019) verwendet wurde. Grund dafür ist der Umstand, dass Koronarangiographien (ein diagnostisches Verfahren) im verwendeten DMS immer gemeinsam mit perkutan-transluminalen Koronarangioplastien (PTCA, ein therapeutisches Verfahren) erfasst wurden; somit ist der diagnostische Teil der Untersuchung nicht vom therapeutischen Teil abgrenzbar. Hingegen sind die verbleibenden Untersuchungen im DMS gut in sich und voneinander abgrenzbar. Die effektive Dosis für «Angiographie, abdominal/pulmonal/Becken/zerebral/andere» sowie «Angioplastie (ausser PTCA)» wurden als Mittelwerte verschiedener Prozeduren gebildet. Die Werte sind in Tabelle 27 (IRD) und Tabelle 28 (IRT) dargestellt.

Die Werte für interventionelle Verfahren können je nach Land, Klinik und Patient erheblich variieren. Dies kann auf die unterschiedliche Anatomie des Patienten, die Komplexität des Verfahrens, die bestrahlte Körperregion, die Punktionsstelle (femoral/radial), die Technologie des Röntgengeräts und das verwendete Protokoll, die Erfahrung der Bedienerin oder des Bedieners, die Genauigkeit der Definition des Verfahrens (Angiographie mit oder ohne anschliessende Angioplastie), die Monte-Carlo-Simulation für die E-Berechnung usw. zurückzuführen sein. Betrachten wir zum Beispiel die effektive Dosis für die Angiographie der oberen Extremitäten. Die DMS-Auswertung ergab eine Dosis von 0.11 mSv, ausgehend von einem speziellen Angiologiegerät. In der Literatur wird ein deutlich höherer Wert für die effektive Dosis angegeben.³⁰ Das Gleiche gilt für die Angioplastien ausser PTCA, welche wir unter «IRT, sonstige» abbilden. Für diese Prozeduren ist die Spanne der effektiven Dosen besonders gross und reicht von 0.7 bis 83.2 mSv, wobei der Mittelwert für diese Kategorie bei 5 mSv liegt. Geringere E werden für Extremitäten und grössere E für Angioplastien am Rumpf erwartet, wie z. B. endovaskuläre Eingriffe bei abdominalen Aortenaneurysmen. Eine detaillierte Kategorisierung der Verfahren und Harmonisierung zwischen den verschiedenen DMS würde zu einer breiteren Abstützung führen und könnte die Berechnung der effektiven Dosis verbessern.

A.2.7 Knochendichtemessung (DEXA)

Die effektive Dosis für die Knochendichtemessung wurde auf 0.001 mSv für die Lendenwirbelsäule und die Hüfte festgelegt. In der Erhebung von 2008 wurde die Dosis für die Lendenwirbelsäule auf 0.004 mSv und die der Hüfte auf 0.002 mSv geschätzt. Die US-Erhebung von 2019 schätzte die Dosis auf 0.001 mSv und kam zu dem Schluss, dass die Dosis zu niedrig sei, um Knochendichtemessungen mit dualer Röntgenabsorptionsmessung in weitere Schätzungen einzubeziehen [4].

³⁰ Angesichts des geringen Häufigkeitsbeitrags dieser Untersuchung (siehe Tabelle 11) verzichten wir auf eine eingehende Plausibilisierung dieses Unterschieds.

Tabelle 27: Effektive Dosen für interventionelle diagnostische Radiologie

Untersuchung	CC (mSv/Gy·cm ²)	E (mSv)	E (mSv) DMS-Extraktion	E (mSv) Lite- raturüber- sicht	E (mSv) Andere Erhebungen	Quellenan- gabe für fi- nale Wert
Koronarangiographie		7.00		4.75–20.4 [8,50]	CHE 2008: 11.2 CHE 2013: 14 CHE 2018: 14 AUT 2019: 7.0 UNSCEAR 2020: 7.0 USA 2019: 7	UNSCEAR 2020, AUT 2019, USA 2019
Angiographie, untere Extremitäten	0.02	3.10	3.10		CHE 2008: 8 UNSCEAR 2020: 3.2 USA 2019: 1	DMS
Angiographie, obere Extremitäten	0.01	0.11	0.11		CHE 2008: 8 UNSCEAR 2020: 3.2	DMS
Angiographie, abdominal/pulmonal/Pelvis/zerebral/andere	0.05 (zerebral) 0.212 (thorakal) 0.202 (abdomi- nal/Pelvis)	9.20	4–31 (Durch- schnitt für ver- schiedene Arten von Angiogra- phien: 9.2)		CHE 2008: 1–8 CHE 2013: 8 CHE 2018: 8 UNSCEAR 2020: 6.9 (zerebral), 4.8 (thora- kal), 8.0 (abdom.), 7.5 (Pelvis) USA 2019: 1–27	DMS
Angiographie, Herz rechts	0.24	1.10	1.10			DMS

Anmerkungen: Der Konversionsfaktor für kardiale Prozeduren wurde aus der Literatur abgeleitet [51]. *Quelle:* Eigene Darstellung.

Tabelle 28: Effektive Dosen für interventionelle therapeutische Radiologie

Untersuchung	CC (mSv/Gy·cm ²)	E (mSv)	E (mSv) DMS estimation	E (mSv) Literaturübersicht	E (mSv) Andere Erhebungen	Quellenangabe für finalen Wert
Perkutan-transluminale Koronarangioplastie (PTCA)	0.24	20.6		20.6		CHE 2008: 17 CHE 2013: 20 CHE 2013: 20 AUT 2019: 17.0 USA 2019: 23–30 DMS
IRT, sonstige	0.05 (zerebral) 0.212 (thorakal) 0.202 (abdominal/Pelvis)	5.0	0.7–83.2 (Durchschnitt für verschiedene Arten von Angioplastien: 5.0)		CHE 2013: 20 CHE 2018: 20 USA 2019: 0.2–55	DMS
Herzschrittmacher/Defibrillator	0.24	2.6		2.6		CHE 2008: 2.8 USA 2019: 1 DMS
Elektrophysiologie	0.24	2.6		2.6		CHE 2008: 3.3 USA 2019: 3.2 DMS
Herzklappe	0.24	1.9		1.9		CHE 2008: 2.93 DMS
Schmerztherapie	0.21	0.5		0.5		USA 2019: 1 (Wirbelsäulen-Injektionen) DMS

Anmerkungen: Der Konversionsfaktor für kardiale Prozeduren wurde aus der Literatur abgeleitet [51]. Quelle: Eigene Darstellung.

A.2.8 Nuklearmedizin (NUK)

Die Nuklearmedizin stellt hinsichtlich der Dosis einen Sonderfall dar, da die Strahlenbelastung von zwei Quellen ausgehen kann: Zum einen von der Radioaktivität des applizierten Radiopharmakons, zum anderen von der energetischen Dosis, die bei hybriden Verfahren (SPECT/CT und PET/CT) für den CT-Teil anfällt.

Für die beiden Dosisbestandteile verwenden wir unterschiedliche Quellen. Die verwendete *Aktivität* extrahieren wir aus der Jahresmeldung und rechnen sie mittels gebräuchlicher Umrechnungsfaktoren in die effektive Dosis um.³¹ Für diesen Teil der Strahlenbelastung ist also keine gesonderte Ermittlung der Dosis erforderlich. Für die Berechnung des Dosisbeitrags der CT-Akquisitionen im Rahmen der hybriden Bildgebung stellen wir auf die nationale Umfrage zur Hybrid-Bildgebung in der Nuklearmedizin ab [53]. Die hier verwendeten Dosislängenprodukte stellen gewichtete Medianwerte nach Zielsetzung der Untersuchung dar (Diagnostik, D oder Abschwächungskorrektur/Lokalisierung, AC-L). Bei den Untersuchungen PET/CT Tumore und SPECT/CT Skelett erfolgt zusätzlich eine Gewichtung über die relevanten Protokolle (vgl. Tabelle 29, Spalte Anmerkungen). Die Gewichte beruhen auf den in Lima et al. [53] angegebenen Untersuchungshäufigkeiten. Zur Umrechnung in effektive Dosen verwenden wir Umrechnungsfaktoren aus der ICRP-Publikation 103 [54].

Tabelle 29: Effektive Dosen für den CT-Beitrag in der Nuklearmedizin

Untersuchung	CC (mSv/mG y.cm)	DLP	E (mSv)	Anmerkungen
PET/CT Tumore	0.015	394.8	5.92	PET Onkologie Ganzkörper, Rumpf, Abdomen, oberes Abdomen (D und AC-L)
PET/CT Herz	0.014	40	0.56	PET/ Myokard (D und AC-L)
PET/CT Gehirn	0.0031	79	0.25	PET Demenz Kopf (D und AC-L)
SPECT/CT Skelett	0.015	217.4	3.26	SPECT Knochen-Pelvis, Knochen-Wirbelsäule, Knochen Extremitäten (D und AC-L)
SPECT/CT Schilddrüse	0.0059	177	1.04	SPECT Thyroid-Parathyroid (D und AC-L)
SPECT/CT Ventilation/Perfusion	0.014	92	1.28	SPECT Lunge Ventilation/Perfusion (D und AC-L)

Quelle: International Commission on Radiological Protection [54], Lima et al. [53]; eigene Berechnung.

³¹ Die verwendeten Umrechnungsfaktoren stammen grösstenteils aus der ICRP-Publikation 128 [52]. Sofern dort keine Angaben zu finden waren – etwa bei Radiopharmaka, die erst kürzlich auf den Markt gekommen sind – haben wir auf die Angaben in den Fachinformationen der jeweiligen Radiopharmaka zurückgegriffen (verfügbar unter <https://compendium.ch/>).

Da bei jedem PET standardmässig ein begleitendes CT gefahren wird, lassen sich die PET/CT Dosen direkt auf die entsprechenden Häufigkeiten anwenden. Anders beim SPECT: Da anhand der Radiopharmaka keine sinnvolle Differenzierung zwischen Szintigraphien und SPECT möglich ist und nicht bei jedem SPECT ein begleitendes CT gefahren wird, wird hier ein zusätzlicher Schritt benötigt. Unser Ansatz ist wie folgt:

Die Patientendaten Spital ambulant (PSA) eignen sich grundsätzlich gut, um den *Anteil* von SPECT/CT zu berechnen, da die Rechnungen auf Patientenebene analysiert werden können. Dies ermöglicht es, CTs in Rechnungen *mit* SPECT zu identifizieren und zu zählen. Der Anteil an der Grundgesamtheit von SPECT/Szintigraphien beträgt rund 24%. Die relevanten Tarificodes sind in Tabelle 30 abgebildet.³²

Tabelle 30: Tarificodes von SPECT und Szintigraphien

Modalität	Tarifsystem	Code
SPECT	TARMED_001	31.0410
Szintigraphie	TARMED_001	31.0210 / 31.0320
CT	TARMED_001	Vgl. Tabelle 18

Quelle: Eigene Darstellung.

Übertragen auf die Grundgesamtheit der Jahresmeldung bedeutet dies, dass im Jahr 2023 rund 13'600 SPECT/CT durchgeführt wurden. Anhand der Häufigkeitsverteilung teilen wir die SPECT/CT auf die relevanten Protokolle auf (vgl. Tabelle 29). Somit kann die Strahlenbelastung durch die Radiopharmaka und der CT-Akquisition separat ausgewiesen werden.

Einschränkend muss erwähnt werden, dass sich der berechnete Anteil nur auf den *spitalambulant* Bereich bezieht, da es die Datenlage verunmöglicht, den gleichen Anteil im praxisambulant und stationären Bereich zu berechnen. Die Analyse der individuellen Patientenrechnungen ist zudem zwangsläufig mit gewissen Unschärfen verbunden, da sich die Fakturierungspraxis zwischen den Leistungserbringern zum Teil deutlich unterscheidet.

A.2.9 Zahnmedizinische Radiologie (DENT)

Für den Bereich der Zahnmedizin ist die Extraktion von Dosisdaten aus DMS nicht möglich, weil einerseits die Zahl der Bewilligungsinhaber zu gross ist und andererseits DMS kaum gebräuchlich sind.

³² Bei der Ermittlung der NUK-Untersuchungshäufigkeiten (vgl. Abschnitt 3.1.3) können wir die Szintigraphien nicht separat ausweisen, da wir – ausgehend von den Radiopharmaka – nur PET vs. SPECT unterscheiden können. Die Szintigraphien sind somit *implizit* in der SPECT-Häufigkeit mitenthalten. Um den SPECT/CT-Anteil aus der PSA zu bestimmen, müssen wir die abgerechneten Szintigraphien auch mitzählen (um das korrekte Total aus SPECT und Szintigraphien zu erhalten).

Intraorales Röntgen

Für die intraoralen Röntgenuntersuchungen wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Die effektive Dosis in der Erhebung CHE 2018 wurde auf 0.02 mSv geschätzt, aber die meisten neueren Veröffentlichungen schätzen die effektive Dosis für intraorale Untersuchungen niedriger ein [55–59]. Die Erhebung USA 2019 berichtet eine mittlere effektive Dosis von 0.001 mSv, während UNSCEAR 2020 sie auf 0.01 mSv schätzt. Für die vorliegende Erhebung schlagen wir die Verwendung einer effektiven Dosis von 0.01 mSv vor.

Orthopantomographie

Was die OPT-Untersuchungen betrifft, so hat die Literaturrecherche im Vergleich zu den Werten, die in den Erhebungen 2013 und 2018 verwendet wurden, keine wesentlichen Änderungen ergeben, sodass die effektive Dosis für 2023 0.02 mSv betragen sollte [2,55,57,58,60].

Fernröntgen

In die Erhebung von 2023 wurde eine neue zahnärztliche Untersuchung, das Fernröntgen, aufgenommen. Die effektive Dosis wird auf Basis der Literatur konservativ auf 0.02 mSv festgelegt; in der Literatur wird eine Spanne von 0.002–0.02 mSv angegeben [61,62]. Zum Vergleich: Die letzte Schweizer Erhebung, welche das Fernröntgen berücksichtigte, ist diejenige von 2008. Damals wurde ein Wert von 0.06 mSv verwendet.

Digitale Volumentomographie

Die effektive Dosis für die DVT-Aufnahmen hängt vom Sichtfeld (Field of View, FoV) ab. Daher haben wir die Verteilung der DVT-Aufnahmen auf die FoV im Rahmen der Befragung der Zahnmedizinerinnen und Zahnmediziner erhoben. Es werden drei Kategorien gebildet (klein, mittel, gross), die wie in Tabelle 31 dargestellt definiert sind.

Tabelle 31: Sichtfeld-Kategorien für die Digitale Volumentomographie

Kategorie	Gebräuchliche FoV [cm ø × cm Höhe (Grösse in cm²)]
Klein	4 × 4 (16 cm²)
	5 × 5 (25 cm²)
	6 × 6 (36 cm²)
	8 × 5 (40 cm²)
Mittel	5 × 10 (50 cm²)
	8 × 8 (64 cm²)
	8 × 9 (72 cm²)
Gross	10 × 10 (100 cm²)
	15 × 15 (225 cm²)

Kategorie	Gebräuchliche FoV [cm ø × cm Höhe (Grösse in cm ²)]
	17 × 23 (391 cm ²)

Quelle: Deleu et al. [63].

Das normalisierte Dosisflächenprodukt für alle Untersuchungen betrug 421 mGy·cm² für ein FoV von 5 × 5 cm, wie es in der Umfrage zur Erhebung von Dosisreferenzwerten für das Jahr 2019 geschätzt wurde [63]. Für die Berechnung der effektiven Dosis wurde für alle Fälle eine Anwendung von 90 kVp angenommen. Das kleine FoV betrug 5 × 5 cm, das mittlere 8 × 8 cm und das grosse 15 × 15 cm. Die Umrechnungskoeffizienten wurden aus der Übersicht von Mah [64] übernommen. Das gewichtete E für DVT-Aufnahmen wurde auf 0.13 mSv geschätzt, wobei die Verteilung der FoV berücksichtigt wurde. Die Werte stehen im Einklang mit der Literatur, wo die Werte zwischen 0.005 mSv und 1.1 mSv liegen [57,58,65–68]. Die Dosis für DVT betrug in der Schweizer Erhebung 2018 0.2 mSv [basierend auf 69].

Tabelle 32: Effektive Dosen für die Digitale Volumentomographie

	CC (μSv/mGy-cm2)	Dosisflächen- produkt (mGy·cm2)	kVp	FoV (cm ²)	E (mSv)	Relative Häufig- keit
Kleines FoV	0.0015	421	90	5 × 5	0.06	49%
Mittleres FoV	0.0014	421	90	8 × 8	0.14	29%
Grosses FoV	0.0009	421	90	15 × 15	0.31	22%

Quelle: Eigene Darstellung.

Zusammenfassung

Die Dosiswerte für die verschiedenen zahnmedizinischen Modalitäten sind in Tabelle 33 abgebildet.

Tabelle 33: Effektive Dosen für die Zahnmedizin

Modalität	E (mSv)	E (mSv) Literaturübersicht	E (mSv) Andere Erhebungen	Quelle für finale Dosisangabe
Intraorale Aufnahmen	0.01	0.0012–0.005 [55–59]	CHE 2008: 0.01 CHE 2013: 0.01 CHE 2018: 0.02 USA 2019: 0.001 UNSCEAR 2020: 0.01	CHE 2008, CHE 2013, UNSCEAR 2020
Orthopantomografien	0.02	0.01–0.018 [55,57,58,60]	CHE 2008: 0.02 CHE 2013: 0.02 CHE 2018: 0.02 UNSCEAR 2020: 0.02	Andere Erhebungen
Fernröntgenbild	0.02	0.002–0.02 [61,62]	CHE 2008: 0.06	Literatur
Digitale Volumentomographien	0.06 (kleines FoV) 0.14 (mittleres FoV) 0.31 (grosses FoV)	0.005–1.1 [57,58,65–68]	CHE 2018: 0.2	DRW [63] i. V. m. Mah [64]

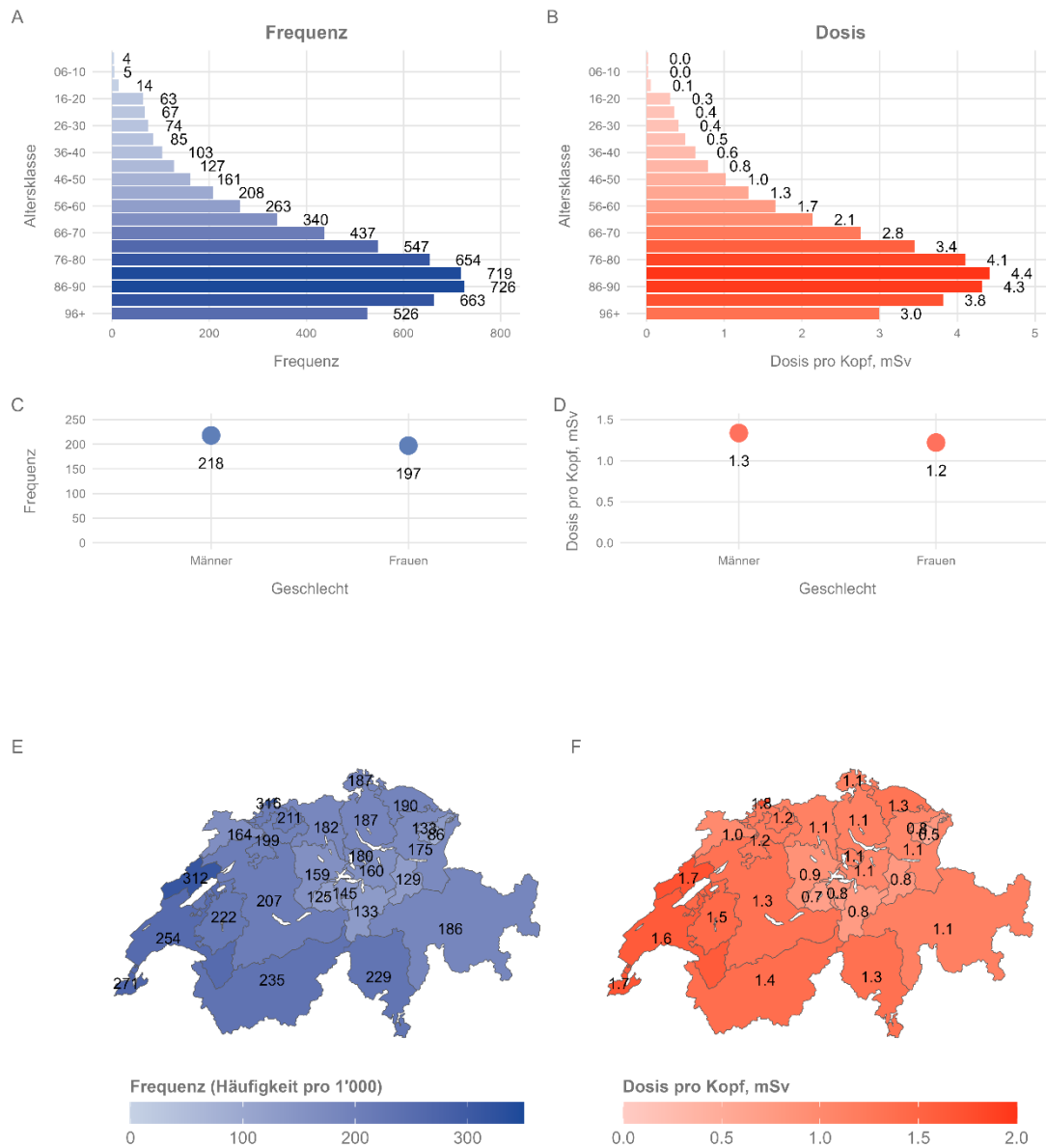
Quelle: Eigene Darstellung.

B Weitere Ergebnisse

In diesem Abschnitt präsentieren wir weitere Ergebnisse auf Ebene Altersklasse, Geschlecht und Kanton. Wir fokussieren uns auf CT-Untersuchungen sowie die interventionelle Radiologie (IR): Erstere machen 75.7% der kollektiven effektiven Dosis aus, während zweitere einen Anteil von 11.5% aufweisen. Die IR setzt sich aus dem diagnostischen und therapeutischen Bereich zusammen.

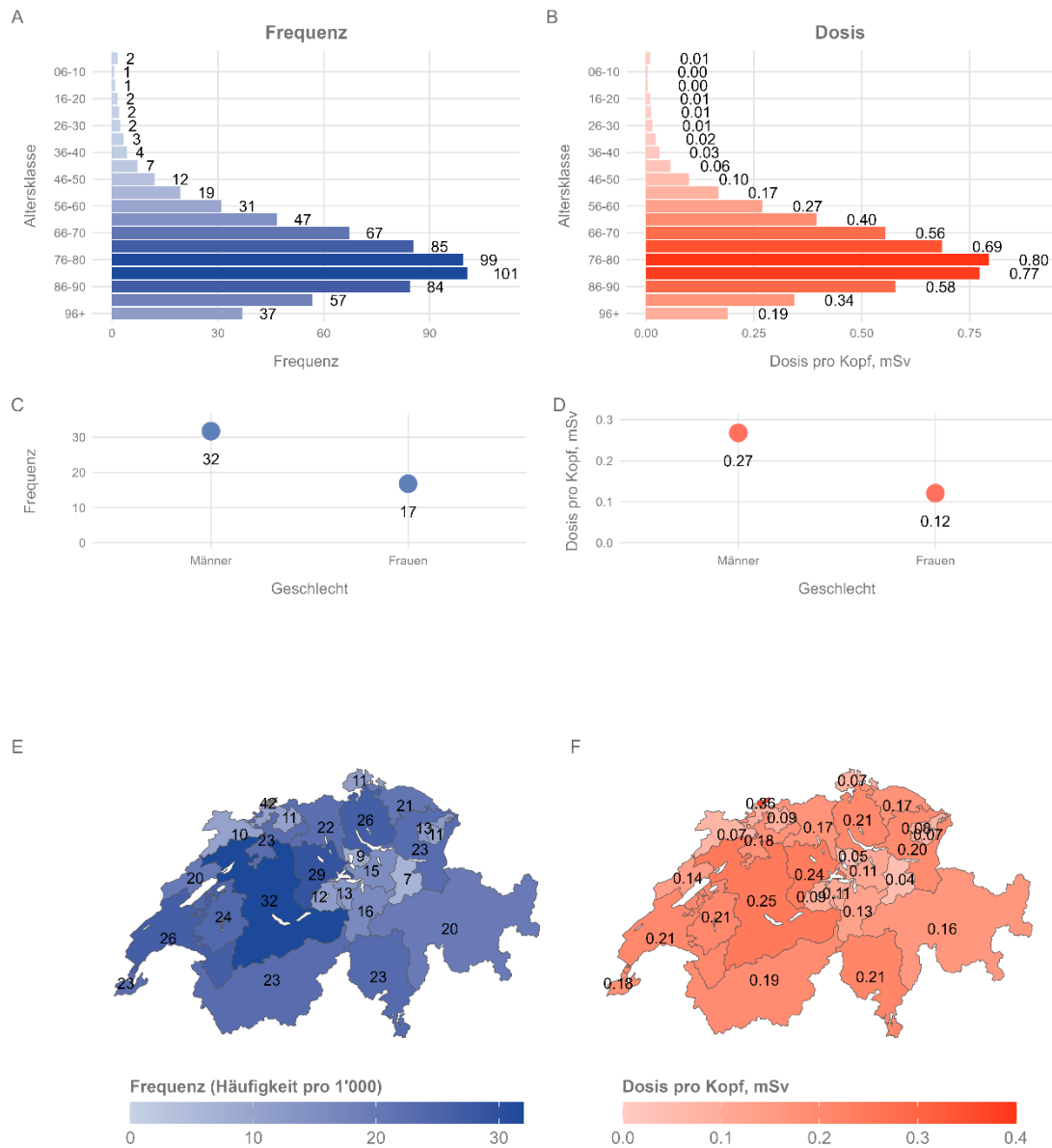
Die zwei statischen «Dashboards» (Abbildung 4 und Abbildung 5) sollen aufzeigen, in welchem Rahmen eine interaktive Visualisierung möglich wäre. Das interaktive Dashboard könnte beispielsweise in einer ersten Ebene aus den 4 Fachbereichen bestehen (konventionelle und interventionelle Radiologie, Nuklearmedizin und Zahnmedizin). Die zweite Ebene besteht pro Fachbereich aus den im vorliegenden Bericht definierten Modalitäten (Beispiele: CT, IRD oder PET). Pro Modalität können schliesslich sogenannte *Indikatoren* abgebildet werden (Beispiel: CT-Thorax, Koronarangiographie oder PET-Tumore). Wo es die Datenlage ermöglicht, werden die Indikatoren nach Altersklasse, Geschlecht und Kanton differenziert dargestellt.

Abbildung 4: Frequenz und -Dosis nach Alter, Geschlecht und Kanton, CT



Anmerkungen: Die Abbildung zeigt für die Computertomographie die Verteilung der Frequenzen/Dosen nach Altersklasse (Panel A & B), Geschlecht (Panel C & D) und Kanton (Panel E & F). *Dunklere Farben* stehen für *höhere Werte*.
Quelle: MS, Tarifpool, PSA, STATPOP, BAG; eigene Berechnungen.

Abbildung 5: Frequenz und -Dosis nach Alter, Geschlecht und Kanton, IR

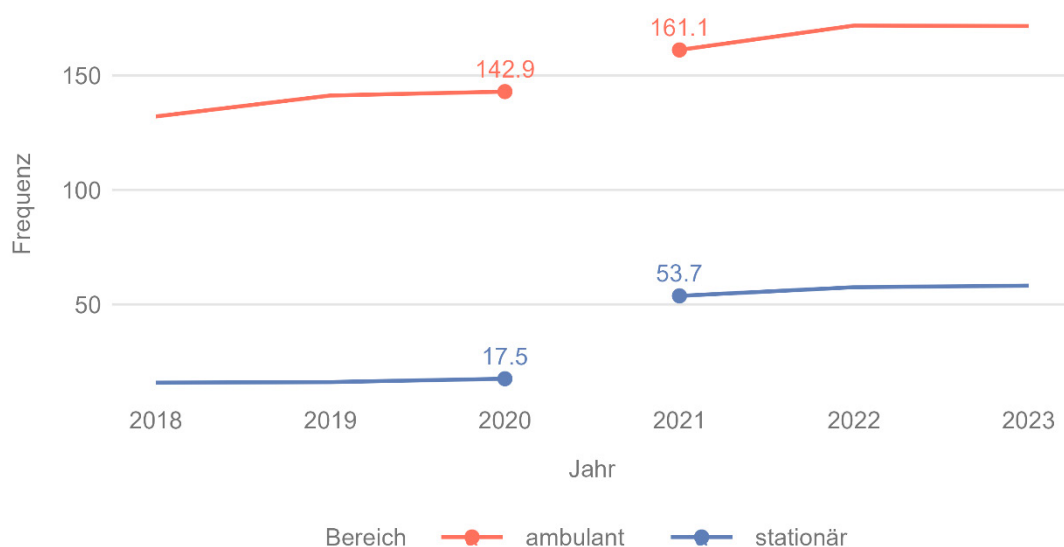


Anmerkungen: Die Abbildung zeigt für die interventionelle Radiologie die Verteilung der Frequenzen/Dosen nach Altersklasse (Panel A & B), Geschlecht (Panel C & D) und Kanton (Panel E & F). *Dunklere* Farben stehen für *höhere* Werte. Die interventionelle Radiologie setzt sich aus dem diagnostischen und therapeutischen Bereich zusammen. *Quelle:* MS, Tarifpool, PSA, STATPOP, BAG; eigene Berechnungen.

C CT-Retropolation

Wie einleitend erwähnt, wurde mit Wirkung zum 1. Januar 2021 die Kodierrichtlinie Po1i resp. Po1j geändert. Neu sind somit sämtliche CT-Untersuchungen im stationären Bereich zu kodieren. Dies führte zu einem sprunghaften Anstieg der CT-Frequenzen im stationären Bereich. Auf Basis der Daten aus dem Versorgungsatlas lässt sich der Datenbruch für das Total der CT-Untersuchungen visuell deutlich erkennen, siehe Abbildung 6.

Abbildung 6: Datenbruch bei den stationären CT-Frequenzen



Anmerkungen: Die Abbildung zeigt die rohen CT-Total-Frequenzen (Indikator 420 im Versorgungsatlas) zwischen 2018 und 2023. Um den sprunghaften Anstieg der stationären CT-Frequenzen zwischen 2020 und 2021 darzustellen, ist die Linie zwischen diesen beiden Jahren unterbrochen. *Quelle:* Versorgungsatlas, eigene Berechnung.

Mit hoher Wahrscheinlichkeit wurden die stationären CT-Frequenzen in den Jahren bis und mit 2020 systematisch zu tief ausgewiesen. Unter dieser Hypothese ist auch die effektive Dosis für CT-Untersuchungen im Monitoring CHE 2018 zu tief. Wir ergänzen unsere Analyse daher um eine kontrafaktische Betrachtung: Was wäre, wenn bereits 2018 alle CT-Untersuchungen im stationären Bereich hätten erfasst werden müssen? Zu diesem Zweck retropolieren wir die stationäre Frequenz des Jahres 2023 anhand der durchschnittlichen Wachstumsrate der Jahre 2021 bis 2023, um so die kontrafaktische Frequenz des Jahres 2018 zu erhalten. Dabei stützen wir uns ausschliesslich auf Daten des Versorgungsatlas, um die Konsistenz über die Zeit und die Definition der einzelnen Indikatoren zu wahren.

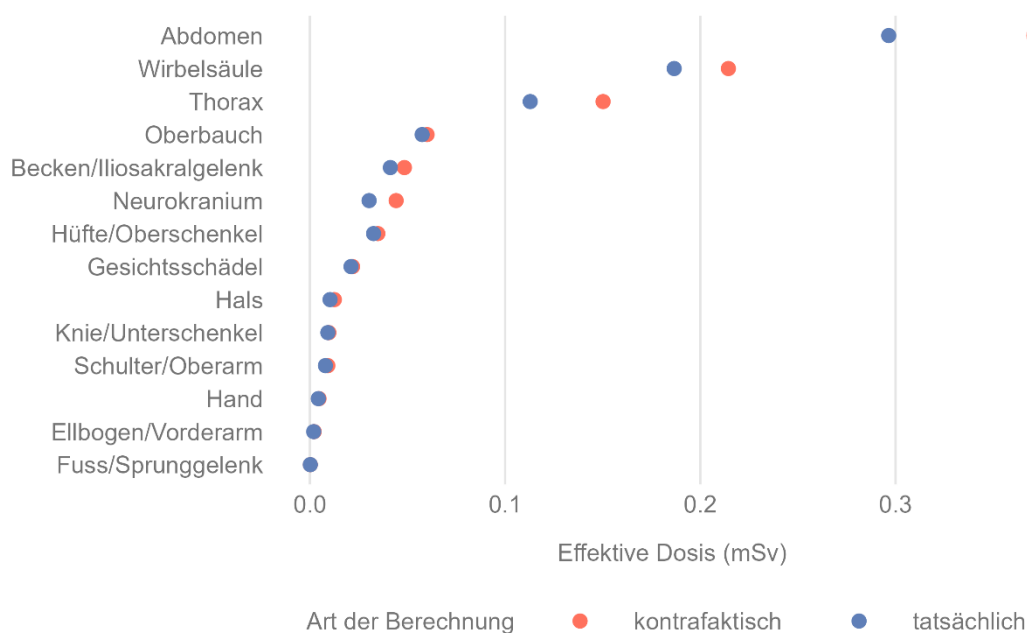
Konkret gehen wir folgendermassen vor:

1. Wir berechnen die durchschnittliche Wachstumsrate der Frequenzen zwischen den Jahren 2021 und 2023 für die im Versorgungsatlas enthaltenen Indikatoren. Ab 2021 war die neue Kodierrichtlinie für alle Spitäler verbindlich.

2. Wir berechnen die kontrafaktische Frequenz im Jahr 2018 mittels linearer Retropolation für jeden Indikator.
3. Wir berechnen die tatsächliche und kontrafaktische effektive CT-Dosis auf Basis der Dosiswerte, die im Monitoring CHE 2018 erhoben wurden.
4. Der Quotient aus kontrafaktischer und effektiver Dosis (Basis Versorgungsatlas) gibt einen prozentualen Aufschlag an, den wir auf die im Monitoring CHE 2018 ermittelte effektive CT-Dosis anwenden.
5. Daraus lässt sich die Veränderung der kollektiven effektiven Dosis ableiten.

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen den Prozess und das Ergebnis. Zunächst zeigen wir in Abbildung 7 die absoluten Veränderungen zwischen tatsächlicher und kontrafaktischer effektiver Dosis für die im Versorgungsatlas aufgeführten CT-Indikatoren. Es wird deutlich, dass absolut gesehen die grössten Veränderungen bei CT Abdomen, CT Wirbelsäule und CT Thorax zu verzeichnen sind.

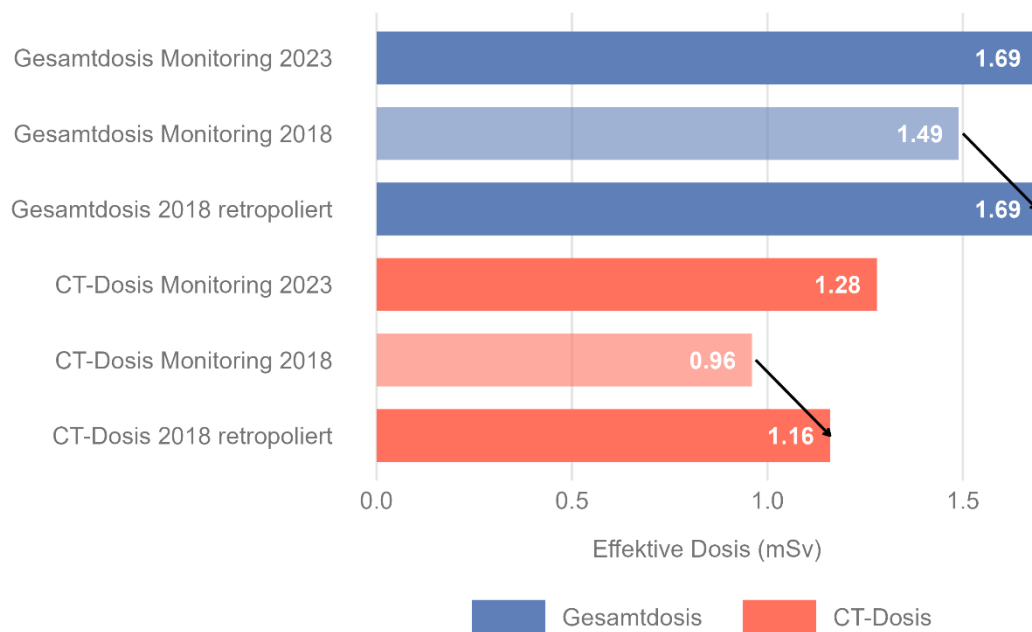
Abbildung 7: Effektive CT-Dosis (kontrafaktisch vs. tatsächlich)



Anmerkungen: Die Abbildung zeigt die kontrafaktischen (auf einer linearen Retropolation mit der Wachstumsrate der Jahre 2021 bis 2023 basierenden) effektiven Dosen für die im Versorgungsatlas abgebildeten CT-Indikatoren (ausgenommen CT Total), sowie die tatsächlichen effektiven Dosen (basierend auf den real mittels MS erfassten Häufigkeiten).
Quelle: Versorgungsatlas, Monitoring CHE 2018, eigene Berechnung.

Gesamthaft liegt die effektive tatsächliche CT-Dosis bei 0.81 mSv, die kontrafaktische bei 0.98 mSv. Dies entspricht einer Veränderung von +21%. Wenden wir diesen prozentualen Anstieg auf die CT-Dosis an, die im Monitoring CHE 2018 ausgewiesen wurde (0.96 mSv), so erhalten wir einen neuen, kontrafaktischen, Wert von 1.16 mSv. Die kollektive effektive Dosis für alle Modalitäten hätte 2018 daher 0.2 mSv höher gelegen, sprich bei 1.69 mSv statt 1.49 mSv. Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 8 dargestellt.

Abbildung 8: Gesamteffekt der CT-Retropolation



Anmerkungen: Die Abbildung zeigt den Effekt der kontrafaktischen Retropolation der CT-Frequenz auf die effektiven Dosiswerte des Monitorings CHE 2018. Die Gesamtdosis (kollektive effektive Dosis) ist in blau dargestellt, die CT-Dosis in rot. *Quelle:* Versorgungsatlas, Monitoring CHE 2018, eigene Berechnung.

D Bibliographie

1. ICRP. (2007). *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection* (Bd. 2–4).
2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2022). *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2012 Report: Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B*. UN. <https://doi.org/10.18356/2ed43f39-en>
3. Wachabauer, D., Mathis-Edenhofer, S., & Moshhammer, H. (2020). Medical radiation exposure from radiological and interventional procedures in Austria. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 132(19), 563–571. <https://doi.org/10.1007/s00508-019-01557-0>
4. National Council on Radiation Protection and Measurement. (2019). *Medical Radiation Exposure of Patients in the United States* (No. 184; NCRP Report). National Council on Radiation Protection and Measurement. <https://ncrponline.org/shop/reports/report-no-184-medical-radiation-exposure-of-patients-in-the-united-states-2019/>
5. Akyea-Larbi, K. O., Hasford, F., Inkoom, S., Tetteh, M. A., & Gyekye, P. K. (2024). Evaluation of organ and effective doses using anthropomorphic phantom: A comparison between experimental measurement and a commercial dose calculator. In *Radiography (Lond)* (Bd. 30, Nummer 1, S. 1–5). <https://doi.org/10.1016/j.radi.2023.10.003>
6. Altmann, S., Abello Mercado, M. A., Ucar, F. A., Kronfeld, A., Al-Nawas, B., Mukhopadhyay, A., Booz, C., Brockmann, M. A., & Othman, A. E. (2023). Ultra-High-Resolution CT of the Head and Neck with Deep Learning Reconstruction-Assessment of Image Quality and Radiation Exposure and Intraindividual Comparison with Normal-Resolution CT. In *Diagnostics (Basel)* (Bd. 13, Nummer 9). <https://doi.org/10.3390/diagnostics13091534>
7. Bazoma, J., Dallou, G. B., Ondo Meye, P., Bouka Biona, C., Saidou, & Ben-Bolie, G. H. (2022). Assessment of organ and effective doses received by adult patients undergoing computed tomography in three hospitals in Brazzaville, Congo Republic. In *Radiol Phys Technol* (Bd. 15, Nummer 4, S. 379–386). <https://doi.org/10.1007/s12194-022-00678-y>
8. Golikov, V., Vodovatov, A., Chipiga, L., & Shatskiy, I. (2024). Practical guidance on the assessment of radiation risks for diagnostic radiological examinations. In *J Radiol Prot* (Bd. 44, Nummer 3). <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ad72fd>
9. Jeyasugiththan, J., Karunarathna, S., Satharasinghe, D., Hishaam, U., & Pallewatte, A. (2023). Evaluation of Radiation Dose in Multi-Slice Computed Tomography Protocols of Head and Neck Regions. In *Radiat Prot Dosimetry* (Bd. 199, Nummer 10, S. 1096–1102). <https://doi.org/10.1093/rpd/ncad142>
10. Khoramian, D., Haghparsat, M., Honardari, A., Nouri, E., Ranjbar, E., Abedi-Friouzjah, R., Zarifi, S., Anam, C., Najafzadeh, M., & Afkhami-Ardakni, M. (2024). Estimation and comparison of the effective dose and lifetime attributable risk of thyroid cancer between males and females in routine head computed tomography scans: A multicentre study. In *J Med Radiat Sci* (Bd. 71, Nummer 2, S. 240–250). <https://doi.org/10.1002/jmrs.752>
11. Lenfant, M., Comby, P. O., Guillen, K., Galissot, F., Haioun, K., Thay, A., Chevallier, O., Ricolfi, F., & Loffroy, R. (2022). Deep Learning-Based Reconstruction vs. Iterative

- Reconstruction for Quality of Low-Dose Head-and-Neck CT Angiography with Different Tube-Voltage Protocols in Emergency-Department Patients. In *Diagnostics (Basel)* (Bd. 12, Nummer 5). <https://doi.org/10.3390/diagnostics12051287>
12. Lu, H., Meng, T., You, Y., Liu, Y., He, K., Kan, Y., & Zhang, H. (2022). Phantom Experimental Study on Patient Doses Obtained from 320-Multidetector-Row Computed Tomography in Whole-Brain Perfusion Scan. *Radiation Protection Dosimetry*, 198(18), 1424–1434. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncac178>
 13. Ucar, F. A., Frenzel, M., Kronfeld, A., Altmann, S., Sanner, A. P., Mercado, M. A. A., Uphaus, T., Brockmann, M. A., & Othman, A. E. (2024). Improvement of Neurovascular Imaging Using Ultra-High-Resolution Computed Tomography Angiography. In *Clin Neuroradiol* (Bd. 34, Nummer 1, S. 189–199). <https://doi.org/10.1007/s00062-023-01348-1>
 14. Chen, X., Wang, G., Xue, L., Huang, S., & Fan, S. (2024). Optimizing lung biopsy procedures: Comparative analysis of diagnostic efficacy and safety in experimental low-dose, conventional low-dose, and standard-dose CT-guided approaches. In *Eur J Radiol* (Bd. 172, S. 111331). <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2024.111331>
 15. Daniel, S., Kopp, M., Vollbrecht, T., Zeilinger, M., Fitz, T., Muttke, A., Feuerlein, U., Uder, M., & May, M. S. (2023). Personalization of thoracoabdominal CT examinations using scanner integrated clinical decision support systems—Impact on the acquisition technique, scan range, and reconstruction type. In *Eur J Radiol* (Bd. 167, S. 111078). <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2023.111078>
 16. Demircioglu, A., Bos, D., Demircioglu, E., Qaadan, S., Glasmachers, T., Bruder, O., Umutlu, L., & Nassenstein, K. (2024). Deep learning-based scan range optimization can reduce radiation exposure in coronary CT angiography. In *Eur Radiol* (Bd. 34, Nummer 1, S. 411–421). <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09971-9>
 17. Hagar, M. T., Soschynski, M., Benndorf, M., Stein, T., Taron, J., Schlett, C. L., Bamberg, F., & Krauss, T. (2023). Enhancing Radiation Dose Efficiency in Prospective ECG-Triggered Coronary CT Angiography Using Calcium-Scoring CT. In *Diagnostics (Basel)* (Bd. 13, Nummer 12). <https://doi.org/10.3390/diagnostics13122062>
 18. Jamshidi, M. H., Karami, A., Salimi, Y., & Keshavarz, A. (2023). Patient effective dose and radiation biological risk in the chest and abdominopelvic computed tomography. In *Appl Radiat Isot* (Bd. 193, S. 110628). <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110628>
 19. Shim, S., Kolditz, D., Steiding, C., Ruth, V., Hoetker, A. M., Unkelbach, J., & Boss, A. (2023). Radiation dose estimates based on Monte Carlo simulation for spiral breast computed tomography imaging in a large cohort of patients. In *Med Phys* (Bd. 50, Nummer 4, S. 2417–2428). <https://doi.org/10.1002/mp.16211>
 20. Tonkopi, E., Tetteh, M. A., Gunn, C., Ashraf, H., Rusten, S. L., Safi, P., Tinsoe, N. S., Colford, K., Ouellet, O., Naimi, S., & Johansen, S. (2024). A multi-institutional assessment of low-dose protocols in chest computed tomography: Dose and image quality. In *Acta Radiol Open* (Bd. 13, Nummer 1, S. 20584601241228220). <https://doi.org/10.1177/20584601241228220>
 21. Yang, L., Wang, Y., Li, L., Liu, D., Wu, X., Zhang, W., Pan, F., Liang, H., & Zheng, C. (2022). C-Arm Cone-Beam CT Virtual Navigation versus Conventional CT Guidance in the Transthoracic Lung Biopsy: A Case-Control Study. In *Diagnostics (Basel)* (Bd. 12, Nummer 1). <https://doi.org/10.3390/diagnostics12010115>

22. Dalah, E. Z., Alsuwaidi, J. S., AlKtebi, R. S., AlMulla, M. A. A., & Gupta, P. (2024). Establishing Protocol-based Dose Metrics for Common Abdomen and Pelvis Computed Tomography Protocols. In *Curr Med Imaging* (Bd. 20, S. e220523217204). <https://doi.org/10.2174/1573405620666230522151357>
23. Hsieh, T. Y., Chen, S. L., Chang, Y. R., Tyan, Y. S., & Chen, T. R. (2022). Effective dose for kidney-ureter-bladder plain radiography, intravenous urography, and abdominal computed tomography scan: A phantom study. In *Appl Radiat Isot* (Bd. 187, S. 110339). <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110339>
24. Jansen, J. T., Shrimpton, P. C., & Edyvean, S. (2023). Development of a generalized method to allow the estimation of doses to the ICRP reference adults from CT, on the basis of normalized organ and CTDI dose data determined by Monte Carlo calculation for a range of contemporary scanners. In *Phys Med Biol* (Bd. 68, Nummer 3). <https://doi.org/10.1088/1361-6560/acb2a8>
25. Euler, A., Wullschleger, S., Sartoretti, T., Muller, D., Keller, E. X., Lavrek, D., & Donati, O. (2023). Dual-energy CT kidney stone characterization-can diagnostic accuracy be achieved at low radiation dose? In *Eur Radiol* (Bd. 33, Nummer 9, S. 6238–6244). <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09569-1>
26. Gassenmaier, S., Winkelmann, M. T., Magnus, J. P., Brendlin, A. S., Walter, S. S., Afat, S., Artzner, C., Nikolaou, K., & Bongers, M. N. (2022). Low-Dose CT for Renal Calculi Detection Using Spectral Shaping of High Tube Voltage. In *Rofo* (Bd. 194, Nummer 9, S. 1012–1019). <https://doi.org/10.1055/a-1752-0472>
27. Grunz, J. P., Halt, D., Schule, S., Beer, M., & Hackenbroch, C. (2023). Thermoluminescence Dosimetry in Abdominal CT for Urinary Stone Detection: Effective Radiation Dose Reduction With Tin Prefiltration at 100 kVp. In *Invest Radiol* (Bd. 58, Nummer 3, S. 231–238). <https://doi.org/10.1097/RLI.0000000000000924>
28. Kunz, A. S., Grunz, J. P., Halt, D., Kalogirou, C., Luetkens, K. S., Patzer, T. S., Christner, S. A., Sauer, S. T., Bley, T. A., & Huflage, H. (2023). Tin-filtered 100 kV Ultra-low-dose Abdominal CT for Calculi Detection in the Urinary Tract: A Comparative Study of 510 Cases. In *Acad Radiol* (Bd. 30, Nummer 6, S. 1033–1038). <https://doi.org/10.1016/j.acra.2022.07.013>
29. Liang, F., Zhou, R., Wang, G., Lan, Y., Lei, S., & Zhang, S. (2023). Dual-energy computed tomography in reducing the effective radiation dose of computed tomography urography in patients with urinary calculi. In *Quant Imaging Med Surg* (Bd. 13, Nummer 4, S. 2208–2217). <https://doi.org/10.21037/qims-22-372>
30. Alexander, E. S., Petre, E. N., Bodard, S., Marinelli, B., Sarkar, D., & Cornelis, F. H. (2024). Comparison of a Patient-Mounted Needle-Driving Robotic System versus Single-Rotation CT Fluoroscopy to Perform CT-Guided Percutaneous Lung Biopsies. In *J Vasc Interv Radiol* (Bd. 35, Nummer 6, S. 859–864). <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2024.02.023>
31. Bronnimann, M. P., Kulagowska, J., Gebauer, B., Auer, T. A., Collettini, F., Schnapauß, D., Magyar, C. T. J., Komarek, A., Krokidis, M., & Heverhagen, J. T. (2024). Fluoroscopic-Guided vs. Multislice Computed Tomography (CT) Biopsy Mode-Guided Percutaneous Radiologic Gastrostomy (PRG)-Comparison of Interventional Parameters and Billing.

- In *Diagnostics (Basel)* (Bd. 14, Nummer 15). <https://doi.org/10.3390/diagnostics14151662>
32. Burgard, C., Stahl, R., de Figueiredo, G. N., Dinkel, J., Liebig, T., Cioni, D., Neri, E., & Trumm, C. G. (2021). Percutaneous CT Fluoroscopy-Guided Core Needle Biopsy of Mediastinal Masses: Technical Outcome and Complications of 155 Procedures during a 10-Year Period. In *Diagnostics (Basel)* (Bd. 11, Nummer 5). <https://doi.org/10.3390/diagnostics11050781>
 33. Cahalane, A. M., Habibollahi, S., Staffa, S. J., Yang, K., Fintelmann, F. J., & Chang, C. Y. (2023). Helical CT versus intermittent CT fluoroscopic guidance for musculoskeletal needle biopsies: Impact on radiation exposure, procedure time, diagnostic yield, and adverse events. In *Skeletal Radiol* (Bd. 52, Nummer 6, S. 1119–1126). <https://doi.org/10.1007/s00256-022-04226-y>
 34. Kamp, J. P. M., Bartlett, J., Fahmy, A., To, K., Hossain, R., & Akula, M. (2023). CT-guided vs. Fluoroscopically guided transforaminal epidural steroid injections for lumbar radiculopathy: A comparison of efficacy, safety and cost. In *Arch Orthop Trauma Surg* (Bd. 143, Nummer 5, S. 2355–2361). <https://doi.org/10.1007/s00402-022-04436-y>
 35. Ren, Q., Zhou, Y., Yan, M., Zheng, C., Zhou, G., & Xia, X. (2022). Imaging-guided percutaneous transthoracic needle biopsy of nodules in the lung base: Fluoroscopy CT versus cone-beam CT. In *Clin Radiol* (Bd. 77, Nummer 5, S. e394–e399). <https://doi.org/10.1016/j.crad.2022.02.005>
 36. Stahl, R., Seidensticker, M., Arbogast, H., Kuppinger, D., Greif, V., Crispin, A., D'Anastasi, M., Pedersen, V., Forbrig, R., Liebig, T., Rutetzki, T., & Trumm, C. G. (2024). Technical and Clinical Outcome of Low-Milliampere CT Fluoroscopy-Guided Percutaneous Drainage Placement in Abdominal Fluid Collections after Liver Transplantation: A 16-Year Retrospective Analysis of 50 Consecutive Patients. In *Diagnostics (Basel)* (Bd. 14, Nummer 4). <https://doi.org/10.3390/diagnostics14040353>
 37. Trumm, C. G., Hackner, D., Badmann, K., Crispin, A., Forbrig, R., Ozpeynirci, Y., Kuppinger, D., Pedersen, V., Liebig, T., & Stahl, R. (2022). Low-Milliampere CT Fluoroscopy-Guided Percutaneous Drainage Placement after Pancreatic Surgery: Technical and Clinical Outcome in 133 Consecutive Patients during a 14-Year Period. In *Diagnostics (Basel)* (Bd. 12, Nummer 9). <https://doi.org/10.3390/diagnostics12092243>
 38. Zlevor, A. M., Kisting, M. A., Couillard, A. B., Rossebo, A. E., Szczykutowicz, T. P., Mao, L., White, J. K., Hartung, M. P., Gettle, L. M., Hinshaw, J. L., Pickhardt, P. J., Ziemlewicz, T. J., Foltz, M. L., & Lee, Jr., F. T. (2023). Percutaneous CT-Guided Abdominal and Pelvic Biopsies: Comparison of an Electromagnetic Navigation System and CT Fluoroscopy. In *J Vasc Interv Radiol* (Bd. 34, Nummer 5, S. 910–918). <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2023.01.024>
 39. Aksit, E., Yalcin, A., & Olgar, T. (2023). Effect of varying X-ray tube voltage and additional filtration on image quality and patient dose in digital radiography system. *Applied Radiation and Isotopes*, 199, 110893. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2023.110893>
 40. Bushra, A., Sulieman, A., Edam, A., Tamam, N., Babikir, E., Alrihaima, N., Alfaki, E., Babikir, S., Almujaally, A., Otayni, A., Alkhorayef, M., Abdelradi, A., & Bradley, D. A. (2023). Patient's effective dose and performance assessment of computed radiography

- systems. In *Appl Radiat Isot* (Bd. 193, S. 110627). <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110627>
41. Dolenc, L., Petrinjak, B., Mekis, N., & Skrk, D. (2022). The impact of body mass index on patient radiation dose in general radiography. In *J Radiol Prot* (Bd. 42, Nummer 4). <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ac9f1f>
 42. Alzyoud, K., Al-Murshedi, S., Abualkhael, K., Alqawasmeh, F., & England, A. (2022). Supine and erect abdominal radiography: A comparison of radiation dose and image quality. In *Appl Radiat Isot* (Bd. 190, S. 110477). <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110477>
 43. Alzyoud, K., Al-Murshedi, S., & England, A. (2023). Effective dose and image quality for different patient sizes during AP upper abdominal radiography: A phantom study. In *Appl Radiat Isot* (Bd. 202, S. 111060). <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2023.111060>
 44. Singh, T., Muscroft, N., Collier, N., & England, A. (2022). A comparison of effective dose and risk for different collimation options used in AP shoulder radiography. In *Radiography (Lond)* (Bd. 28, Nummer 2, S. 394–399). <https://doi.org/10.1016/j.radi.2021.11.007>
 45. Bradley, C., & Snaith, B. (2023). The radiation dose, clinical and anatomical implications of erect lumbar spine radiography: A single centre pre-post implementation evaluation. In *Radiography (Lond)* (Bd. 29, Nummer 4, S. 690–696). <https://doi.org/10.1016/j.radi.2023.04.013>
 46. Dupont, L., Aberle, C., Botsikas, D., Ith, M., Lima, T. V. M., Menz, R., Monnin, P., Poletti, P.-A., Presilla, S., Schegerer, A., Stoica, L.-C., Trueb, P., & Sans Merce, M. (2024). Proposed DRLs for mammography in Switzerland. *Journal of Radiological Protection*, 44(2), 021512. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ad37c8>
 47. Samara, E. T., Tsapaki, V., & Sramek, D. (2019). Dose management software implementation in mammography. *Physica Medica*, 68, 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2019.11.008>
 48. Brüttsch, U., Zybach, U., Imhof, P., Huwiler, K., Iseli Sczepanski, B., & Kessler, C. (2014). *Normes de qualité pour le dépistage organisé du cancer du sein en Suisse* (S. 28). ligue suisse contre le cancer.
 49. Tipnis, S. V., Huda, W., Wilmskoetter, J., Martin-Harris, B., & Bonilha, H. S. (2022). Radiation Effective Doses to Adults Undergoing Modified Barium Swallow Studies. In *Dysphagia* (Bd. 37, Nummer 2, S. 399–406). <https://doi.org/10.1007/s00455-021-10291-7>
 50. Uniyal, S. C., Singh, V., Rawat, A., Gururani, K., & Belwal, C. M. (2024). An audit of patient radiation doses during interventional cardiology procedures in Uttarakhand, India, and establishment of local diagnostic reference levels. In *Radiol Phys Technol* (Bd. 17, Nummer 2, S. 476–487). <https://doi.org/10.1007/s12194-024-00805-x>
 51. Brambilla, M., D'Alessio, A., Kuchcinska, A., Segota, D., & Sukupova, L. (2022). A systematic review of conversion factors between kerma-area product and effective/organ dose for cardiac interventional fluoroscopy procedures performed in adult and paediatric patients. In *Phys Med Biol* (Bd. 67, Nummer 6). <https://doi.org/10.1088/1361-6560/ac5670>
 52. Mattson, S. & International Commission on Radiological Protection (Hrsg.). (2015). *Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals: A compendium of current information related to frequently used substances* (Bd. 44). SAGE.

53. Lima, T. V. M., Gnesin, S., Ryckx, N., Strobel, K., Stritt, N., Linder, R., & Swiss Workgroup on Nuclear Medicine, Drl. (2018). Swiss survey on hybrid imaging CTs doses in Nuclear Medicine and proposed national dose reference levels. In *Z Med Phys* (Bd. 28, Nummer 4, S. 265–275). <https://doi.org/10.1016/j.zemedi.2018.01.005>
54. International Commission on Radiological Protection. (2007). *Managing Patient Dose in Multi-Detector Computed Tomography (MDCT)*, ICRP Publication 102 (Report No. 102).
55. Dorsey, A. K., Mol, A., Green, P., Ludlow, J., & Johnson, B. (2024). Radiation doses in extraoral bitewing radiography compared with intraoral bitewing and panoramic radiography. In *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* (Bd. 137, Nummer 2, S. 182–189). <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2023.09.002>
56. Johnson, K. B., & Ludlow, J. B. (2020). Intraoral radiographs: A comparison of dose and risk reduction with collimation and thyroid shielding. In *J Am Dent Assoc* (Bd. 151, Nummer 10, S. 726–734). <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2020.06.019>
57. Lee, H., & Badal, A. (2021). A Review of Doses for Dental Imaging in 2010–2020 and Development of a Web Dose Calculator. In *Radiol Res Pract* (Bd. 2021, S. 6924314). <https://doi.org/10.1155/2021/6924314>
58. Qiang, W., Qiang, F., & Lin, L. (2019). Estimation of Effective Dose of Dental X-Ray Devices. In *Radiat Prot Dosimetry* (Bd. 183, Nummer 4, S. 417–421). <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy159>
59. Shetty, A., Almeida, F. T., Ganatra, S., Senior, A., & Pacheco-Pereira, C. (2019). Evidence on radiation dose reduction using rectangular collimation: A systematic review. In *Int Dent J* (Bd. 69, Nummer 2, S. 84–97). <https://doi.org/10.1111/idj.12411>
60. Ahmed, N. A. (2023). Typical effective dose values from diagnostic and interventional radiology. In *Appl Radiat Isot* (Bd. 192, S. 110611). <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110611>
61. Kissel, P., Mah, J. K., & Bumann, A. (2021). Modern 3D cephalometry in pediatric orthodontics—Downsizing the FOV and development of a new 3D cephalometric analysis within a minimized large FOV for dose reduction. In *Clinical Oral Investigations* (Bd. 25, Nummer 7, S. 4651–4670). <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03779-x>
62. Ting, S., Attia, D., Johnson, K. B., Kossa, S. S., Friedland, B., Allareddy, V., & Masoud, M. I. (2020). Can modifying shielding, field of view, and exposure settings make the effective dose of a cone-beam computed tomography comparable to traditional radiographs used for orthodontic diagnosis? In *Angle Orthod* (Bd. 90, Nummer 5, S. 655–664). <https://doi.org/10.2319/072819-496.1>
63. Deleu, M., Dagassan, D., Berg, I., Bize, J., Dula, K., Lenoir, V., Ott, B., Ott, J. G., Verdun, F. R., Weber, R., Ziglinas, P., Zingariello, C., & Sans Merce, M. (2020). Establishment of national diagnostic reference levels in dental cone beam computed tomography in Switzerland. *Dentomaxillofacial Radiology*, 49(6), 20190468. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190468>
64. Mah, E., Ritenour, E. R., & Yao, H. (2021). A review of dental cone-beam CT dose conversion coefficients. In *Dentomaxillofac Radiol* (Bd. 50, Nummer 3, S. 20200225). <https://doi.org/10.1259/dmfr.20200225>

65. Colceriu-Simon, I. M., Baciut, M., Stiuftuc, R. I., Aghiorghiesei, A., Tarmure, V., Lenghel, M., Hedesiu, M., & Baciut, G. (2019). Clinical indications and radiation doses of cone beam computed tomography in orthodontics. In *Med Pharm Rep* (Bd. 92, Nummer 4, S. 346–351). <https://doi.org/10.15386/mpr-1434>
66. Kaasalainen, T., Ekholm, M., Siiskonen, T., & Kortensniemi, M. (2021). Dental cone beam CT: An updated review. In *Phys Med* (Bd. 88, S. 193–217). <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.07.007>
67. Santos, A. A., de Freitas Silva, B. S., Correia, F. F. N., Mezaiko, E., de Souza Roriz, C. F., Silva, M. A. G., Freitas, D. Q., & Yamamoto-Silva, F. P. (2024). Optimizing cone-beam computed tomography exposure for an effective radiation dose and image quality balance. In *Imaging Sci Dent* (Bd. 54, Nummer 2, S. 159–169). <https://doi.org/10.5624/isd.20230251>
68. Soderqvist, S., Sivonen, V., Aarnisalo, A., Karppi, H., Sinkkonen, S. T., & Koivisto, J. (2023). Optimising the Parameters of Cochlear Implant Imaging with Cone-Beam Computed Tomography. In *Radiat Prot Dosimetry* (Bd. 199, Nummer 5, S. 462–470). <https://doi.org/10.1093/rpd/ncado19>
69. Pauwels, R., Zhang, G., Theodorakou, C., Walker, A., Bosmans, H., Jacobs, R., Bogaerts, R., Horner, K., & The SEDENTEXCT Project Consortium. (2014). Effective radiation dose and eye lens dose in dental cone beam CT: Effect of field of view and angle of rotation. *British Journal of Radiology*, 87(1042), 20130654. <https://doi.org/10.1259/bjr.20130654>

