



Bundesamt
für Strahlenschutz

Bericht

Überprüfung der Brustkrebsfrüherkennung mittels Röntgenmammographie

BfS-68/25

Bundesamt für Strahlenschutz

MB 1 | Generelle Aspekte des medizinischen Strahlenschutzes

Impressum

Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

Tel.: +49 30 18333-0
Fax: +49 30 18333-1885
E-Mail: ePost@bfs.de
De-Mail: epost@bfs.de-mail.de

www.bfs.de

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:
[urn:nbn:de:0221-2025072853668](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2025072853668)

Juli 2025

1 Einleitung

Nach § 83 Absatz 2 Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) sind Strahlenanwendungen am Menschen nur zulässig, wenn der Nutzen das Strahlenrisiko überwiegt. Dieses Rechtfertigungsprinzip gilt für jede Anwendung ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe am Menschen. Früherkennungsuntersuchungen stellen für die Rechtfertigung eine besondere Herausforderung dar, da die überwiegende Anzahl der untersuchten Personen nicht erkrankt ist und somit keinen unmittelbaren gesundheitlichen Nutzen aus der Früherkennung zieht. Dementsprechend ist die Früherkennung mittels ionisierender Strahlung oder radioaktiver Stoffe zur Ermittlung nicht übertragbarer Krankheiten nach dem StrlSchG nur zulässig, wenn eine Rechtsverordnung nach § 84 Absatz 2 dies vorsieht. Das Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN) ist ermächtigt, durch Rechtsverordnung festzulegen, welche Früherkennungsuntersuchungen unter welchen Voraussetzungen für eine besonders betroffene Personengruppe zulässig sind. Dabei sind die Ergebnisse der wissenschaftlichen Bewertung des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) zu berücksichtigen. Das Verfahren der wissenschaftlichen Bewertung durch das BfS ist in der *Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur wissenschaftlichen Bewertung von Früherkennungsuntersuchungen zur Ermittlung nicht übertragbarer Krankheiten* (StrlSchGVwV-Früherkennung) geregelt [1]. Gemäß dieser überprüft das BfS „mindestens alle fünf Jahre [...] die gemäß § 84 Absatz 2 StrlSchG zugelassenen Früherkennungsuntersuchungen dahingehend, ob sich der Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse weiterentwickelt hat. Ist dies der Fall, entscheidet das BfS, ob eine umfassende Neubewertung und eine Anpassung der Bedingungen und Anforderungen nach Nummer 3.2 notwendig sind.“ (Nummer 7.1 StrlSchGVwV-Früherkennung).

Zeitgleich mit der Neufassung des StrlSchG ist die *Verordnung über die Zulässigkeit der Anwendung von Röntgenstrahlung zur Früherkennung von Brustkrebs bei Frauen (Brustkrebs-Früherkennungs-Verordnung - BrKrFrühErkV)* [2] am 31.12.2018 in Kraft getreten. Sie wurde durch die *Erste Verordnung zur Änderung der Brustkrebs-Früherkennungs-Verordnung vom 21. Februar 2024* geändert [3]. Somit ist derzeit die Früherkennung von Brustkrebs mittels Mammographie bei Frauen zulässig, die das 50., aber noch nicht das 76. Lebensjahr vollendet haben.

Der vorliegende Bericht enthält Ausführungen zur Überprüfung der Entwicklung des Stands der wissenschaftlichen Erkenntnisse seit Inkrafttreten der *Brustkrebs-Früherkennungs-Verordnung* im Dezember 2018.

2 Hintergrund zum bestehenden Mammographie-Screening-Programm in Deutschland

Nach Bewertung von Nutzen und Risiko eines qualitätsgesicherten Programms zur Früherkennung von Brustkrebs mittels Mammographie kam die Strahlenschutzkommission (SSK) in ihrer Stellungnahme von 2002 aufgrund der damals bestehenden Datenlage zu dem Schluss, dass die Strahlenexposition für 50- bis 69-jährige Frauen kein Argument gegen ein qualitätsgesichertes Mammographie-Screening sei, sofern von einem Nutzen eines solchen Programmes auszugehen ist [4]. Diese im Vorfeld der Einführung des MSP vorgelegte SSK-Stellungnahme von 2008 [5] bildete die Grundlage für die damals nach § 25 Absatz 1 Satz 2 Röntgenverordnung notwendige Zulassung durch die obersten Landesgesundheitsbehörden. Nach der SSK-Empfehlung sind keine neuen Dokumente seitens der SSK publiziert worden, die sich zur Durchführung des aktuell etablierten MSP in Deutschland äußern.

Das MSP wurde sodann ab 2005 deutschlandweit implementiert. Bis 2009 wurde das Programm von der Kooperationsgemeinschaft Mammographie (KoopG) stufenweise organisatorisch aufgebaut und steht seitdem flächendeckend zur Verfügung. Frauen zwischen 50 und 69 Jahren werden regelmäßig alle zwei Jahre von einer der 14 Zentralen Stellen über die Möglichkeit zur Teilnahme informiert und erhalten mit gleichem Schreiben einen Terminvorschlag für eine Mammographie in einer der 95 Screening-Einheiten [6, 7].

Seit dem 01.07.2024 können auch Frauen zwischen 70 und 75 Jahren am deutschen MSP teilnehmen. Dem ging eine wissenschaftliche Bewertung des BfS voraus, in der die Erweiterung der Altersgrenze nach oben

im etablierten MSP geprüft und hieraus folgend für Frauen bis einschließlich ihres 76. Lebensjahres empfohlen wurde [8]. Der Bericht diente dem BMUKN als Entscheidungsgrundlage für eine Novelle der Brustkrebs-Früherkennungs-Verordnung, welche die bis dahin zulässige Altersgrenze entsprechend heraufsetzte und die am 28.02.2024 in Kraft trat. Zudem erfolgte durch das BfS die wissenschaftliche Prüfung für eine Absenkung der Altersgrenze im bestehenden MSP mit der Empfehlung, dass im Rahmen des streng qualitätsgesicherten bestehenden Programms eine Teilnahme für Frauen bereits ab 45 Jahren befürwortet werden könne [9].

Das etablierte, qualitätsgesicherte, organisierte MSP für Frauen im Alter von 50 bis 69 Jahren wurde im Dezember 2018 mittels Rechtsverordnung in das neue Strahlenschutzrecht überführt. Hierzu hat das BfS im Vorhinein in einer detaillierten Stellungnahme gegenüber dem BMUKN den aktuellen Stand der Forschung zusammenfassend bewertet [10]. Die Durchführungsmodalitäten für das MSP sind in den jeweils aktuell gültigen Fassungen geregelt in:

- der *Verordnung über die Zulässigkeit der Anwendung von Röntgenstrahlung zur Früherkennung von Brustkrebs bei Frauen (Brustkrebs-Früherkennungs-Verordnung - BrKrFrühErkV)*¹
- der *Richtlinie über die Früherkennung von Krebserkrankungen* (Krebsfrüherkennungs-Richtlinie, KFE-RL) des Gemeinsamen Bundesausschusses² sowie
- der Anlage 9.2 Bundesmantelvertrag-Ärzte (BMV-Ä) *Versorgung im Rahmen des Programms zur Früherkennung von Brustkrebs durch Mammographie-Screening*³.

Das deutsche MSP entspricht hohen Qualitätsstandards unter Einhaltung europäischer Leitlinien [11, 12], um eine qualitätsgesicherte und effektive Früherkennungsmaßnahme darzustellen wie sie außerhalb dieser Strukturen (d. h. im opportunistischen Screening) nicht erreicht werden kann. In jährlichen Evaluations- und Qualitätsberichten der KoopG werden die Ergebnisse aller Screening-Einheiten hinsichtlich der relevanten Parameter zusammengeführt.

3 Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse

Das primäre Ziel eines MSP ist die Reduktion der brustkrebspezifischen Mortalität. Hierzu soll durch das Screening eine Brustkrebserkrankung möglichst in einem prognostisch günstigen Frühstadium entdeckt werden, sodass der Erfolg einer Therapie, die Überlebenswahrscheinlichkeit und die Lebensqualität der erkrankten Frau erhöht werden können. Gleichzeitig sollte ein MSP mit einem Rückgang diagnostizierter Brustkrebsfälle im Spätstadium einhergehen.

Für den Nachweis einer Senkung der Brustkrebsmortalität gelten aus epidemiologischer Sicht randomisierte kontrollierte Studien (randomized controlled trials, RCT) als Goldstandard. In den 1970er und 1980er Jahren wurden vor allem in Großbritannien (Edinburgh [13, 14], UK Age [15, 16]), Schweden (Gothenburg [17, 18], Malmö [19, 20], Stockholm [21, 22], Two-County [23, 24]) und Nordamerika (HIP New York [25, 26], CNBSS [27, 28]) RCT zum Mammographie-Screening durchgeführt. Systematische Übersichtsarbeiten und Metaanalysen dieser RCT wurden als Evidenzbasis für den Nutzen eines MSP in der Stellungnahme des BfS gegenüber dem BMUKN für die am 31.12.2018 in Kraft getretene BrKrFrühErkV herangezogen [10]. Die Metaanalyse der Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) zeigt für Frauen zwischen 50 und 69 Jahren eine geschätzte Reduktion der brustkrebspezifischen Mortalität von 25 % [29], eine neuere Analyse nur der schwedischen Studien mit einem längeren Follow-up-Zeitraum eine relative Reduktion der Brustkrebsmortalität von 11 % bis 15 % [30]. Für die Bewertung des Nutzens für Frauen ab 70 Jahren wurden im Bericht des BfS die Studien Malmö I und Two County ausgewertet, da in diesen auch – wenn gleich wenige – Frauen im Alter über 70 Jahren eingeschlossen wurden. In der Metaanalyse wurde der Effekt

¹ https://www.gesetze-im-internet.de/brkrfr_herkv/BJNR266000018.html

² <https://www.g-ba.de/richtlinien/17/>

³ https://www.gkv-spitzenverband.de/krankenversicherung/aerztliche_versorgung/bundesmantelvertrag/anlagen_zum_bundesmantelvertrag/einzelne_anlagen_zum_bmv/bmv_anlage_9_2_mammographie_screening.jsp

des Screenings mit 23-28 % relativer Reduktion der Brustkrebsmortalität berechnet [8]. Seit der Stellungnahme des BfS bzw. der wissenschaftlichen Bewertung für Frauen älter als 70 Jahre wurden keine neuen RCT initiiert [8, 10]. Allerdings stehen derzeit noch die Ergebnisse einer Studie aus, die im Rahmen des britischen MSP den Effekt eines Screening-Starts mit 47 Jahren und den Effekt von bis zu drei zusätzlichen Mammographien für Frauen über 70 Jahre untersucht (AgeX Trial, NCT01081288).

Die Durchführung neuer RCT nach der flächendeckenden Einführung eines MSP ist aus ethischen und praktischen Gründen kaum noch möglich, da der Nutzen der Maßnahme grundsätzlich belegt ist und den Frauen in der Kontrollgruppe des RCT dieses Angebot verwehrt werden würde. Zudem ist die Durchführung einer RCT aufwendig, kostenintensiv und erfordert einen langen Nachbeobachtungszeitraum, um Aussagen zur brustkrebspezifischen Mortalität treffen zu können. Aus diesem Grund ist weitere Evidenz für die erneute Bewertung von Nutzen und unerwünschte Wirkungen heranzuziehen. Hierzu zählen beispielsweise bevölkerungsbasierte Beobachtungsstudien basierend auf Daten bestehender MSP.

3.1 Nutzen

Die nachfolgenden Studien haben ein geringeres Evidenzniveau und unterschiedliche Stärken und Schwächen.

3.1.1 Programmevaluation des deutschen MSP

Eine regelmäßig von der KoopG durchgeführte Programmevaluation bescheinigt dem deutschen MSP eine beständig hohe Qualität und Effektivität bei gleichzeitig geringstmöglicher Strahlenexposition der untersuchten Frauen [7]. Die Anforderungen der EU-Leitlinien [11] hinsichtlich der Ergebnisparameter wurden alle erfüllt, lediglich die Teilnahmerate blieb mit 51 % deutlich unter den von der EU-Leitlinie geforderten 70 % [31]. Im Jahr 2021 wurden bei den mehr als drei Millionen untersuchten Frauen durchschnittlich 6,1 Brustkrebsfälle/1.000 untersuchter Frauen identifiziert [7]. Die Stadienverteilung der im MSP entdeckten Brustkrebsfälle ist deutlich günstiger als die vor Einführung des MSP, d. h. die im Screening entdeckten Karzinome sind kleiner und gehen seltener mit einem Lymphknotenbefall einher [7]. Mehr als 80 % der invasiven Karzinome waren ≤ 20 mm [7].

3.1.2 Auswertung von Bevölkerungsstatistiken

Hinweise auf die Effekte des MSP können aus populationsbasierten Vergleichen vor und nach der Einführung des MSP oder aus Vergleichen zwischen Teilnehmerinnen und Nicht-Teilnehmerinnen gewonnen werden.

Hinsichtlich der Detektion von Brustkrebs zeigen Analysen der Krebsregisterdaten für teilnahmeberechtigte Frauen der Region Münster zur **Stadienverteilung**, dass es nach Implementierung des MSP zu einer signifikanten Zunahme von Tumoren im Stadium I und einer Abnahme von Tumoren in höheren Stadien kam [32]. Eine andere Analyse basierend auf Krebsregisterdaten, die ca. 20 % der weiblichen Bevölkerung in Deutschland abdecken, zeigt, dass es zwischen 2005 und 2016 in der Gruppe der Teilnahmeberechtigten eine Zunahme der frühen Stadien (UICC 0 und I) von ca. 48 % und eine Abnahme späterer Stadien (UICC III und IV) von knapp 32 % gab [33]. Nach Aussage der Autor*innen legen die Analysen nahe, dass die Einführung des MSP zum Rückgang der Inzidenz fortgeschrittener Brustkrebsstadien beigetragen hat [33].

Auswertungen von **Mortalitätsdaten** aus Deutschland, welche die brustkrebspezifische Mortalität vor der Einführung des MSP und zehn Jahre danach betrachten (2003/2004 versus 2015/2016), weisen auf eine Reduktion der Brustkrebsmortalität von 25,8 % für Frauen von 50-59 Jahren und von 21,2 % für Frauen von 60-69 Jahren hin [34]. Da dieser Trend in den Altersgruppen, die nicht zum MSP eingeladen werden, deutlich ungünstiger war, schlussfolgern die Autor*innen, dass der Rückgang der brustkrebspezifischen Mortalität in der Gruppe der Teilnahmeberechtigten höchstwahrscheinlich auf die Einführung des deutschen MSP zurückzuführen sei [34].

Auch etablierte MSP anderer **europäischer Länder** liefern Anhaltspunkte für den Nutzen der Maßnahme. Bereits 1989 wurde in den Niederlanden ein bevölkerungsweites MSP für Frauen im Alter von 50-69 Jahren eingeführt. Auch in den Niederlanden werden Frauen alle zwei Jahre zu einer Mammographie eingeladen.

Das niederländische MSP weist im Gegensatz zum deutschen MSP eine hohe Teilnehmerate von ca. 80 % auf [35]. Für Frauen im Alter von 50 bis 69 Jahre zeigt sich bevölkerungsweit eine Reduktion der brustkrebs-spezifischen Mortalität von ca. 33 % [35]. Zielonke et al. [36] analysierten Publikationen von Kohorten-Studien, Fall-Kontroll-Studien und RCT zu MSP in Europa hinsichtlich der Reduktion der brustkrebs-spezifischen Mortalität. Für Westeuropa lag die Verringerung der Brustkrebsmortalität bei Teilnehmerinnen im Vergleich zu Nicht-Teilnehmerinnen bei den einzelnen Studien zwischen 12 % und 58 % [36].

Die Empfehlung eines Screenings bis zum Alter von 74 Jahren findet sich auch in neueren Richtlinien und Empfehlungen, die auf Übersichtsarbeiten von RCT sowie Beobachtungsstudien basieren [11, 37-39].

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass die Ergebnisse zur brustkrebs-spezifischen Mortalitätsreduktion für das deutsche MSP [34], das niederländische MSP [35] und andere europäische MSP [36] sowie die Ergebnisse von Metaanalysen der RCT aus den 1980er und 1990er Jahren (beispielsweise [29, 40]) in der Größenordnung vergleichbar sind. In der Gesamtschau liefern sie keinen Anlass, den durch die RCT grundsätzlich gezeigten Nutzen anzuzweifeln.

3.1.3 Mortalitätsevaluation des deutschen MSP

Da nach der flächendeckenden Einführung des deutschen MSP eine RCT nicht mehr durchführbar war, wurde von Mitte 2012 bis Ende 2024 ein Ressortforschungsvorhaben [41] zur Evaluation der brustkrebs-spezifischen Mortalität im deutschen MSP (gefördert von BMUKN, KoopG und dem Bundesministerium für Gesundheit) durchgeführt. Das Forschungsvorhaben wertete die Daten der 50-69-jährigen Teilnehmerinnen aus den Jahren 2009 bis 2018 im Vergleich zu Nicht-Teilnehmerinnen aus und umfasste mehrere Teilstudien mit unterschiedlichen Methoden (Emulated Target Trials, Kohortenstudie) und Datenbeständen (Krankenkassen und Krebsregister). Auch wenn diese Studien unterschiedliche Stärken und Schwächen haben, ergänzen sie sich kombiniert in ihren Ergebnissen gegenseitig und stärken die Schlussfolgerungen (konvergierende Evidenz). Durch die Anwendung neuer methodischer Ansätze konnte möglichst trennscharf zwischen Teilnehmerinnen und Nicht-Teilnehmerinnen unterschieden werden. In bisherigen Studien war diese Trennung nur unzureichend möglich, weil das in Deutschland immer noch weit verbreitete opportunistische (sogenannte graue) Screening unberücksichtigt blieb. Darüber hinaus erlauben die dem Forschungsvorhaben zu Grunde liegenden, äußerst detailreichen Datenbestände eine weit umfangreichere Berücksichtigung von Störgrößen, als das bisher der Fall war.

Die Mortalitätsevaluation des deutschen, qualitätsgesicherten MSP hat gezeigt, dass dieses zu einer Reduktion der brustkrebs-spezifischen Mortalität um ca. 20-30 % beiträgt. Basierend auf einer konservativen Schätzung wurde ein Effekt festgestellt, der sich in der gleichen Größenordnung bewegt, wie er auch in den internationalen RCT gezeigt wurde [42].

3.2 Unerwünschte Wirkungen und Strahlenrisiko

Zur Minimierung von Risiken und unerwünschten Wirkungen des deutschen MSP werden hohe Qualitätsstandards angesetzt und kontinuierlich überwacht.

Ein Aspekt ist dabei die **technische Ausstattung**. Im deutschen MSP wird heutzutage ausschließlich die digitale Vollfeldmammographie eingesetzt, welche im Vergleich zu analoger Film-Folien- oder der zwischenzeitlich eingesetzten Speicherfolien-Mammographie in der Regel eine verbesserte Bildqualität aufweist [43, 44]. Durch den Einsatz von 2-Ebenen-Mammographie werden vor allem mehr kleine Tumoren bei gleichzeitig niedrigerer Wiedereinbestellungs- bzw. Abklärungsrate detektiert [45-47].

Die Mammographien werden von mindestens zwei Ärzt*innen unabhängig voneinander befundet (Doppelbefundung) [7].

Die bundesweite **Wiedereinbestellungsrate** zur Abklärung eines auffälligen Befundes oder für eine erforderliche Wiederholung einer Mammographie liegt im deutschen MSP bei 4,2 %, wobei sie mit knapp 11 % bei Erstuntersuchungen deutlich höher ist als mit knapp 3 % – aufgrund von Voraufnahmen – bei Folgeuntersuchungen [7]. Insgesamt erhielten in 2021 nur 3,5 % der Teilnehmerinnen einen **falsch-positiven Befund** [7].

Auch **Überdiagnose**, also die Entdeckung von Brustkrebs, der ohne Screening zu Lebzeiten der Frau nicht klinisch auffällig geworden wäre, ist als Schaden des Mammographie-Screenings anzusehen, da sie zu Folgemaßnahmen, Wiederholungsuntersuchungen und unnötigen Behandlungen (Übertherapie) führen kann. Die Abschätzung der Überdiagnose ist jedoch schwierig, da zahlreiche Faktoren berücksichtigt werden müssen. Es bestehen mehrere Methoden wie beispielsweise der Vergleich von Inzidenzraten gescreenter und nicht gescreenter Personengruppen anhand von RCT-Daten. Dabei ist zu beachten, dass die RCT eine ausreichend lange Follow-up-Dauer nach Screening-Ende aufweisen, um zwischen Überdiagnose und der Vorverlegung der Diagnose differenzieren zu können. Eine Metaanalyse der Follow-up-Daten aus drei RCT schätzte den Anteil von durch Überdiagnose verursachten Fällen, die während des Screenings auftraten, auf 19 % [48]. Als mögliche Überdiagnosen werden duktale In-Situ-Karzinome (DCIS) kontrovers diskutiert. Studien des deutschen MSP zeigen, dass das Screening vermehrt solche DCIS entdeckt, die sich zu invasivem Krebs entwickeln können [49]. Der Anteil an potentiell überdiagnostizierten Brustkrebserkrankungen im Screening nimmt mit zunehmendem Alter und sinkender Lebenserwartung zu und muss insbesondere bei Frauen ab 70 Jahren berücksichtigt werden [50].

Die derzeit im MSP verwendete digitale Vollfeldmammographie geht im Vergleich zu früher eingesetzten Techniken mit einer geringeren Strahlendosis einher [51]. Die Mammographie ist damit mit einer relativ niedrigen und auf die Brust beschränkten **Strahlenexposition** verbunden. Die vom BfS abgeschätzten Strahlenrisiken, die mit einer regelmäßigen Teilnahme am deutschen MSP verbunden sind, beziehen sich auf eine mittlere Parenchyndosis von 2,7 Millisievert pro Screening-Runde und sind trotz konservativer Annahmen relativ gering. Das Nutzen-Risiko-Verhältnis, d. h., das Verhältnis von durch Screening vermiedenen Brustkrebstodesfällen zu theoretisch „strahlenbedingten“ Brustkrebstodesfällen, beträgt für Frauen, die durchgängig zwischen 50 und 69 Jahren am MSP teilgenommen haben, ca. 50 [9]. Das Strahlenrisiko nimmt mit zunehmendem Alter bei Exposition ab und spielt für Screening-Untersuchungen ab 70 Jahren praktisch keine Rolle mehr.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es sich beim deutschen MSP aufgrund der hohen Qualitätsstandards um eine sichere Früherkennungsmaßnahme handelt, die aus Strahlenschutzsicht ein vertretbar geringes Schadenspotenzial birgt.

4 Zusammenfassung

Die regelmäßigen Analysen der Daten des deutschen MSP durch die KoopG geben aktuell keinen Anlass, den Nutzen des MSP in Frage zu stellen. Die Ergebnisse des Ressortforschungsvorhabens zur Evaluation der Brustkrebsmortalität von 50-69-Jährigen Teilnehmerinnen im deutschen MSP bestätigen die bisherige Nutzenbewertung des deutschen MSP durch das BfS. Auch die aktuellen europäischen Leitlinien sprechen sich weiterhin für das Mammographie-Screening der 50-74-Jährigen aus und befürworten zudem unter bestimmten Bedingungen eine Teilnahme ab 45 Jahren. Die bereits umgesetzte Empfehlung des BfS, Frauen bis 75 Jahre zum Screening zuzulassen, ermöglicht drei zusätzliche Früherkennungs-Mammographien im Abstand von zwei Jahren. Die wissenschaftliche Bewertung des BfS aus dem Jahr 2023 empfiehlt darüber hinaus die Berücksichtigung von Frauen ab 45 Jahren im MSP.

Insgesamt ist keine umfassende Neubewertung und Anpassung der Bedingungen und Anforderungen nach Nummer 3.2 StrlSchGVwV-Früherkennung notwendig.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (2025): *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur wissenschaftlichen Bewertung von Früherkennungsuntersuchungen zur Ermittlung nicht übertragbarer Krankheiten (StrlSchGVwV-Früherkennung)*. BAnz AT 21.05.2025 B1.
2. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2018): *Verordnung über die Zulässigkeit der Anwendung von Röntgenstrahlung zur Früherkennung von Brustkrebs bei Frauen (Brustkrebs-Früherkennungs-Verordnung - BrKrFrühErkV)*. BGBl. I S. 2660.
3. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (2024): *Verordnung über die Zulässigkeit der Anwendung von Röntgenstrahlung zur Früherkennung von Brustkrebs bei Frauen (Brustkrebs-Früherkennungs-Verordnung - BrKrFrühErkV)*. BGBl. 2024 I Nr. 59.
4. Strahlenschutzkommission (SSK) (2002): *Mammographie-Screening in Deutschland: Bewertung des Strahlenrisikos mit wissenschaftlicher Begründung*.
https://ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/DE/2002/Mammographie_Screening.html;
https://ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/DE/2002/Mammographie_Screening_wiss_Begrueendung.html [Zugriff: 22.07.2025].
5. Strahlenschutzkommission (SSK) (2008): *Evaluierung von Nutzen und Risiken im qualitätsgesicherten Mammographie-Screening in Deutschland - Empfehlung der Strahlenschutzkommission*.
https://ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/DE/2008/Nutzen_Mammographiescreening.html [Zugriff: 22.07.2025].
6. Gemeinsamer Bundesausschuss (G-BA) (2020): *Richtlinie des Gemeinsamen Bundesausschusses über die Früherkennung von Krebserkrankungen*. <https://www.g-ba.de/richtlinien/historie/2238/> [Zugriff: 16.02.2024].
7. Kooperationsgemeinschaft Mammographie (KoopG) (2023): *Jahresbericht Evaluation 2021 - Deutsches Mammographie-Screening-Programm*.
8. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2022): *Brustkrebsfrüherkennung mittels Röntgenmammographie bei Frauen ab 70 Jahren: Wissenschaftliche Bewertung des Bundesamtes für Strahlenschutz gemäß § 84 Absatz 3 Strahlenschutzgesetz*.
9. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2023): *Brustkrebsfrüherkennung mittels Röntgenmammographie bei Frauen unter 50 Jahren: Wissenschaftliche Bewertung des Bundesamtes für Strahlenschutz gemäß § 84 Absatz 3 Strahlenschutzgesetz*.
10. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2018): *Bekanntmachung der wissenschaftlichen Bewertung des Bundesamtes für Strahlenschutz gemäß § 84 Absatz 3 des Strahlenschutzgesetzes: Brustkrebsfrüherkennung mittels Mammographie*. BAnz AT 18.12.2018 B4.
11. European Commission Initiative on Breast Cancer (ECIBC) (2024): *European guidelines on breast cancer screening and diagnosis*. <https://healthcare-quality.jrc.ec.europa.eu/en/ecibc/european-breast-cancer-guidelines> [Zugriff: 16.02.2024].
12. Perry, N., Broeders, M., de Wolf, C., et al., *European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis (fourth Edition)*. 2006, Luxembourg.
13. Roberts, M.M., Alexander, F.E., Anderson, T.J., et al. (1990): *Edinburgh trial of screening for breast cancer: mortality at seven years*. Lancet 335 (8684): 241-246.
14. Alexander, F.E., Anderson, T.J., Brown, H.K., et al. (1999): *14 years of follow-up from the Edinburgh randomised trial of breast-cancer screening*. Lancet 353 (9168): 1903-1908.

15. Moss, S.M., Cuckle, H., Evans, A., et al. (2006): *Effect of mammographic screening from age 40 years on breast cancer mortality at 10 years' follow-up: a randomised controlled trial*. Lancet 368 (9552): 2053-2060.
16. Moss, S.M., Wale, C., Smith, R., et al. (2015): *Effect of mammographic screening from age 40 years on breast cancer mortality in the UK Age trial at 17 years' follow-up: a randomised controlled trial*. Lancet Oncol 16 (9): 1123-1132.
17. Bjurstam, N., Bjorneld, L., Duffy, S.W., et al. (1997): *The Gothenburg breast screening trial: first results on mortality, incidence, and mode of detection for women ages 39-49 years at randomization*. Cancer 80 (11): 2091-2099.
18. Bjurstam, N.G., Bjorneld, L.M., Duffy, S.W. (2016): *Updated results of the Gothenburg Trial of Mammographic Screening*. Cancer 122 (12): 1832-1835.
19. Andersson, I., Aspegren, K., Janzon, L., et al. (1988): *Mammographic screening and mortality from breast cancer: the Malmo mammographic screening trial*. BMJ 297 (6654): 943-948.
20. Andersson, I., Janzon, L. (1997): *Reduced breast cancer mortality in women under age 50: updated results from the Malmo Mammographic Screening Program*. J Natl Cancer Inst Monogr (22): 63-67.
21. Frisell, J., Glas, U., Hellstrom, L., et al. (1986): *Randomized mammographic screening for breast cancer in Stockholm. Design, first round results and comparisons*. Breast Cancer Res Treat 8 (1): 45-54.
22. Frisell, J., Lidbrink, E., Hellstrom, L., et al. (1997): *Followup after 11 years--update of mortality results in the Stockholm mammographic screening trial*. Breast Cancer Res Treat 45 (3): 263-270.
23. Tabar, L., Chen, H.H., Fagerberg, G., et al. (1997): *Recent results from the Swedish Two-County Trial: the effects of age, histologic type, and mode of detection on the efficacy of breast cancer screening*. J Natl Cancer Inst Monogr (22): 43-47.
24. Tabar, L., Vitak, B., Chen, T.H., et al. (2011): *Swedish two-county trial: impact of mammographic screening on breast cancer mortality during 3 decades*. Radiology 260 (3): 658-663.
25. Habbema, J.D., van Oortmarssen, G.J., van Putten, D.J., et al. (1986): *Age-specific reduction in breast cancer mortality by screening: an analysis of the results of the Health Insurance Plan of Greater New York study*. J Natl Cancer Inst 77 (2): 317-320.
26. Shapiro, S., Venet, W., Strax, P., et al. (1982): *Ten- to fourteen-year effect of screening on breast cancer mortality*. J Natl Cancer Inst 69 (2): 349-355.
27. Miller, A.B., To, T., Baines, C.J., et al. (2000): *Canadian National Breast Screening Study-2: 13-year results of a randomized trial in women aged 50-59 years*. J Natl Cancer Inst 92 (18): 1490-1499.
28. Miller, A.B., Wall, C., Baines, C.J., et al. (2014): *Twenty five year follow-up for breast cancer incidence and mortality of the Canadian National Breast Screening Study: randomised screening trial*. BMJ 348: g366.
29. International Agency for Research on Cancer (IARC) (2016): *IARC Handbooks of Cancer Prevention*. Volume 15: Breast Cancer Screening.
30. Nystrom, L., Bjurstam, N., Jonsson, H., et al. (2017): *Reduced breast cancer mortality after 20+ years of follow-up in the Swedish randomized controlled mammography trials in Malmo, Stockholm, and Goteborg*. J Med Screen 24 (1): 34-42.
31. Ponti, A., Anttila, A., Ronco, G., et al. (2017): *Cancer screening in the European Union. Report on the implementation of the Council Recommendation on cancer screening*.
32. Simbrich, A., Wellmann, I., Heidrich, J., et al. (2016): *Trends in advanced breast cancer incidence rates after implementation of a mammography screening program in a German population*. Cancer Epidemiol 44: 44-51.

33. Hübner, J., Katalinic, A., Waldmann, A., et al. (2020): *Long-term Incidence and Mortality Trends for Breast Cancer in Germany*. Geburtshilfe Frauenheilkd 80 (6): 611-618.
34. Katalinic, A., Eisemann, N., Kraywinkel, K., et al. (2020): *Breast cancer incidence and mortality before and after implementation of the German mammography screening program*. Int J Cancer 147 (3): 709-718.
35. National Evaluation Team for Breast cancer screening (NETB) (2014): *National Evaluation of Breast Cancer Screening in the Netherlands 1990 - 2011/2012*.
36. Zielonke, N., Gini, A., Jansen, E.E.L., et al. (2020): *Evidence for reducing cancer-specific mortality due to screening for breast cancer in Europe: A systematic review*. Eur J Cancer 127: 191-206.
37. U. S. Preventive Services Task Force, Nicholson, W.K., Silverstein, M., et al. (2024): *Screening for Breast Cancer: US Preventive Services Task Force Recommendation Statement*. JAMA 331 (22): 1918-1930.
38. Bennett, A., Shaver, N., Vyas, N., et al. (2024): *Screening for breast cancer: a systematic review update to inform the Canadian Task Force on Preventive Health Care guideline*. Syst Rev 13 (1): 304.
39. Henderson, J.T., Webber, E.M., Weyrich, M.S., et al. (2024): *Screening for Breast Cancer: Evidence Report and Systematic Review for the US Preventive Services Task Force*. Jama 331 (22): 1931-1946.
40. Canelo-Aybar, C., Ferreira, D.S., Ballesteros, M., et al. (2021): *Benefits and harms of breast cancer mammography screening for women at average risk of breast cancer: A systematic review for the European Commission Initiative on Breast Cancer*. J Med Screen: 969141321993866.
41. Karch, A., Buschmann, L., Minnerup, H., et al. (2022): *Hauptstudie I zur Evaluation der Brustkrebs-assoziierten Sterblichkeit im deutschen Mammographie-Screening-Programm*. Vorhaben 3617S42402.
42. Karch, A., Böhnke, J., Bonberg, N., et al. (2025): *Evaluation der Brustkrebsmortalität im deutschen Mammographie-Screening-Programm*. Vorhaben 3621S42410.
43. Pisano, E.D., Gatsonis, C., Hendrick, E., et al. (2005): *Diagnostic performance of digital versus film mammography for breast-cancer screening*. N Engl J Med 353 (17): 1773-1783.
44. Yaffe, M.J., Bloomquist, A.K., Hunter, D.M., et al. (2013): *Comparative performance of modern digital mammography systems in a large breast screening program*. Med Phys 40 (12): 121915.
45. Blanks, R.G., Moss, S.M., Wallis, M.G. (1997): *Use of two view mammography compared with one view in the detection of small invasive cancers: further results from the National Health Service breast screening programme*. J Med Screen 4 (2): 98-101.
46. van Breest Smallenburg, V., Duijm, L.E., den Heeten, G.J., et al. (2012): *Two-view versus single-view mammography at subsequent screening in a region of the Dutch breast screening programme*. Eur J Radiol 81 (9): 2189-2194.
47. Wald, N.J., Murphy, P., Major, P., et al. (1995): *UKCCCR multicentre randomised controlled trial of one and two view mammography in breast cancer screening*. BMJ 311 (7014): 1189-1193.
48. Marmot, M.G., Altman, D.G., Cameron, D.A., et al. (2013): *The benefits and harms of breast cancer screening: an independent review*. Br J Cancer 108 (11): 2205-2240.
49. Weigel, S., Heindel W, Heidinger O, Berkemeyer S, Hense H. W. (2014): *Digital Mammography Screening: Association between Detection Rate and Nuclear Grade of Ductal Carcinoma in Situ*. Radiology 271.
50. Richman, I.B., Long, J.B., Soulos, P.R., et al. (2023): *Estimating Breast Cancer Overdiagnosis After Screening Mammography Among Older Women in the United States*. Ann Intern Med 176 (9): 1172-1180.

51. Hendrick, R.E., Pisano, E.D., Averbukh, A., et al. (2010): *Comparison of acquisition parameters and breast dose in digital mammography and screen-film mammography in the American College of Radiology Imaging Network digital mammographic imaging screening trial*. AJR Am J Roentgenol 194 (2): 362-369.