

Gesundheitsökonomische Bewertung moderner Impfstrategien

Prof. Dr. Irit Nachtigall · Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Vivantes

Conflicts of Interest



Forschungsgelder

- Gilead, Advanz, Shionogi, Infectopharm
- B. Braun, Hartmann-Bode, Pfizer



Mitgliedschaften

- ESCMID, DGAI, DGI, PEG
- Deutscher Ärztinnenbund
- Spitzenfrauen Gesundheit
- Aktionsbündnis Patientensicherheit

Icons: flaticon.com

Fokus & Aufbau des Vortrags

Fokus

- Schwerpunkt Deutschland
- Versorgungs- & Arbeitgeberperspektive
- Folgekosten von Erkrankungen
- Ländervergleich nur wo erkenntnisreich
- Rolle impfender Apotheker

Vier Krankheitsblöcke



HPV



Pneumokokken



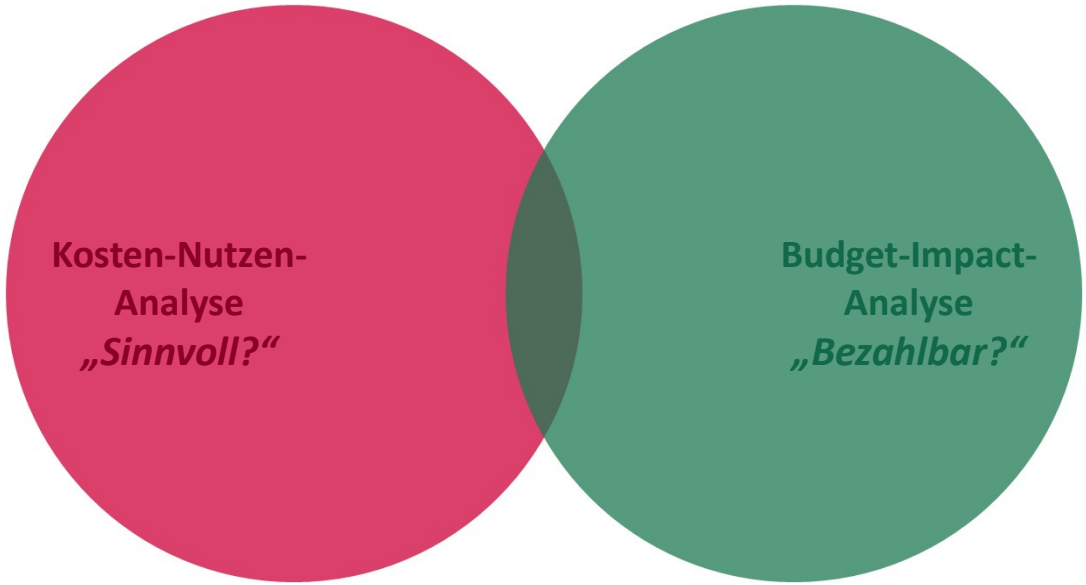
Virale Atemwegsinfektionen



Meningitis & FSME

Vorangestellt: methodische Grundlagen der gesundheitsökonomischen Bewertung

Zwei Perspektiven – zusammen stark



Zusammen **ergeben sie die belastbare Entscheidungsgrundlage.**

Beide Analysetypen beantworten unterschiedliche, sich ergänzende Fragen

Kosten-Nutzen-Analyse vs. Budget-Impact-Analyse

Aspekt	Kosten-Nutzen-Analyse (CEA/CUA)	Budget-Impact-Analyse (BIA)
Zentrale Frage	Ist die Impfung ihr Geld wert?	Können wir sie uns leisten?
Zeithorizont	Langfristig (oft Lebenszeit)	Kurz–mittelfristig (1–5 Jahre)
Perspektive	Gesellschaft, Gesundheitssystem	Staat, Kasse, Krankenhausbudget
Typ. Ergebnis	Kosten pro QALY / gerettetem Leben	Absolute Budgetänderung in €
Kernaussage	**„Sinnvoll“**	**„Bezahlbar“**

Beispiel COVID-19: 11.700 €/QALY → kosteneffektiv; Programm kurzfristig +2,5 Mrd. €, mittelfristig –2 Mrd. €

Methodische Grundlagen & Leitlinien



INTERNATIONAL

WHO-Standard

Leitlinie zur Standardisierung ökonomischer Impf-Evaluationen: Modelltyp, Zeithorizont, Diskontierung, direkte & indirekte Effekte.



DEUTSCHLAND

STIKO-Methodik

Evidenzbasierte Empfehlungen (SOP) und RKI-gestützte epidemiologisch-ökonomische Modellierung als Entscheidungsgrundlage.



AUSBLICK

Breiterer Nutzen

Voller gesellschaftlicher Wert – Herdenschutz, Resistenzen, Produktivität – vertieft im zweiten Vortrag.

WHO IVB/19.10 (2. Aufl. 2019) · STIKO-SOP (Harder et al. 2019) · RKI-Methodenpapier v1.1 (2024) · WHO FVVA

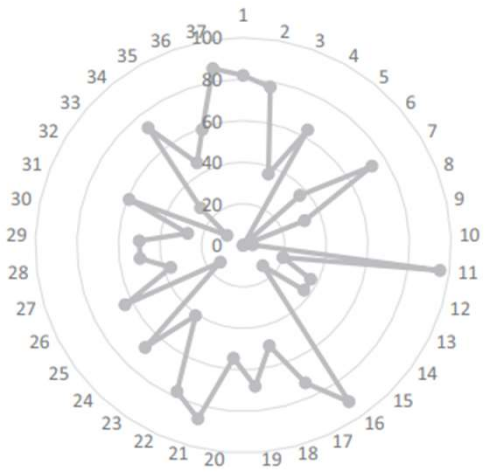
Qualität von Budget-Impact-Analysen bei Impfstoffen

22 Studien
Systematisches Review 2004–2015, ISPOR-Bewertung

> 50 %
erfüllten weniger als die Hälfte der ISPOR-Checkliste

nur 36 %
berichteten ihre Berechnungen nachvollziehbar

- Häufigste Impfstoffe: Pneumokokken 41 %, Influenza 23 %, Rotavirus 18 %
- Schwächen: kurze Zeithorizonte, Herdenschutz selten, Nebenwirkungen kaum eingerechnet
- Fazit: uneinheitlich – es braucht spezifische Leitlinien für Impf-BIA



ISPOR (International Society for Pharmacoeconomics and Outcomes Research)

Quelle: Loze et al., Vaccine 2017 · Radar: Berichterstattung der ISPOR-Checklistenpunkte

BIA: LMICs vs. Hochlohnländer

Dimension	LMICs	Hochlohnländer
Finanzierung	Staat + Entwicklungshilfe + intern. Geber	Überwiegend national / regional
Datenlage	Limitiert, fragmentiert, unsicher	Stabile Routinedaten, etabliert
Kostentreiber	Logistik, Personal, Infrastruktur	Impfstoffpreise, Integration

ISPOR-Empfehlung: länderspezifische Finanzierung, Epidemiologie und Datenlage berücksichtigen.

Quellen: Griffiths et al., Health Econ 2016 · GBD Health Financing Network, Lancet 2019

Ökonomischer Nutzen von Impfungen in 73 LMICs

10 Erkrankungen, 73 Länder, 2001–2020

20 Mio.
verhinderte Todesfälle

960 Mio.
gewonnene DALYs

350 Mrd. $
eingesparte Krankheitskosten

500 Mio.
verhinderte Krankheitsfälle

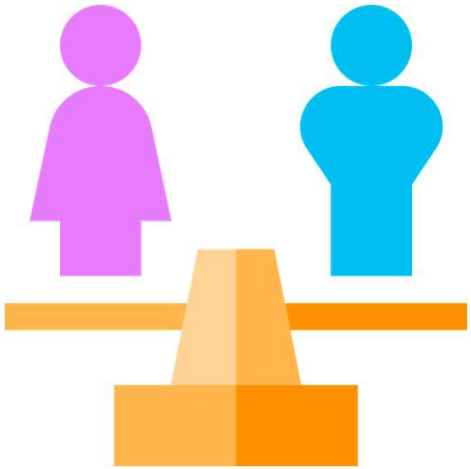
330 Mrd. $
Produktivitätsgewinne

820 Mrd. $
gesamter ökonom. & sozialer Wert

Quelle: Ozawa et al., Bull World Health Organ 2017

Fehlende geschlechtergetrennte Kosten-Nutzen-Analysen

- Kaum gesundheitsökonomische Studien mit geschlechtergetrennter Analyse
- Unterschiede bekannt – aber ökonomisch nicht quantifiziert
- Modelle rechnen selten nach Geschlecht
- Geschlechtergetrennte Analysen bislang nur bei HPV



ISPOR Task Force fordert: Geschlecht in ökonomische Modelle integrieren – v. a. bei Influenza & Pneumokokken.

Quellen: Mauskopf et al., Value Health 2018 · Mauvais-Jarvis et al., Lancet 2020

Vivantes

BLOCK 1

HPV

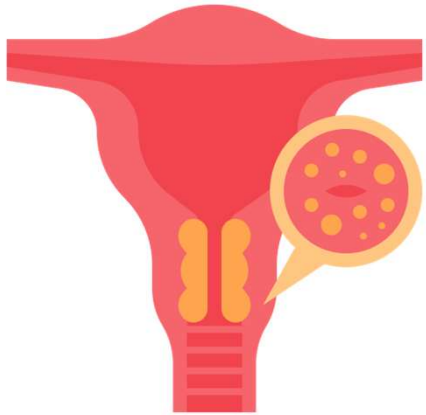


Impfung zur Krebsprävention

HPV – Impfung zur Krebsprävention

Schutz vor HPV-assoziierten Tumoren:

- Zervix-, Anal-, Vulva-, Vaginal-, Peniskarzinom
- Bestimmte Kopf-Hals-Tumoren (Oropharynx)



- Reduzierte Inzidenz invasiver (Zervix)karzinome
- CDC: Routine mit 11–12 J., Nachholung bis 26 J.
- STIKO: Routine mit 9-14J., Nachholung bis 27 J.

Quellen: Markowitz & Unger, N Engl J Med 2023 · Cuzick, Lancet Oncol 2017

Kosten-Nutzen-Analysen der HPV-Impfung

3.000–45.000 $
pro QALY (Mädchen, 12 J., Industrieländer)

< 50.000 $
Schwelle USA · < 30.000 € Europa

≈ 1 Mrd. $
jährl. Behandlungskosten USA

Gender-neutrale Strategie: Impfung von Jungen und Mädchen ist kosteneffektiv – männliche HPV-Erkrankungen eingerechnet.

Einflussfaktoren auf die Kosteneffektivität:

Impfstoffpreis · Impfquote · Dauer des Schutzes · Einbezug nicht-zervikaler HPV-Erkrankungen

Quellen: Chesson et al., Hum Vaccin Immunother 2019 · Rosettie et al., PLoS One 2021

Budget-Impact-Analyse der HPV-Impfung

Beispiel Indonesien: HPV-Impfung für 10-jährige Mädchen (2 Dosen)

22–49 Mio. $
jährl. Budgetbedarf (je nach Preis & Quelle)

Tausende
verhinderte Zervixkarzinome & Todesfälle

tragbar
& kosteneffektiv bewertet

- Grundlage für die finanzielle Planung nationaler Impfprogramme
- Ergänzt Kosten-Nutzen-Analysen für nationale Programme

Quelle: Setiawan et al., PLoS One 2020

BLOCK 2

Pneumokokken

Konjugat- und Polysaccharidimpfstoffe



Pneumokokken: Kosten-Nutzen aktueller Impfstoffe

Strategie	Kosteneffektivität	Bemerkung
PCV20 allein	meist kosteneffektiv–kostensparend	höchste Serotypabdeckung, bevorzugt
PCV15 + PPSV23	oft oberhalb der Schwellen	gute Wirksamkeit, komplexeres Schema
PPSV23 allein	teils kosteneffektiv	geringerer Schutz, kürzere Dauer

PCV20 allein ist nach aktueller Evidenz das kosteneffektivste und klinisch vorteilhafteste Regime für Erwachsene. Entscheidung nach lokaler Epidemiologie, Kosten und Verfügbarkeit.

ACIP ≥ 65 J.: PCV20 allein oder PCV15 + PPSV23 · Quellen: Rosenthal et al., Vaccine 2025; Kobayashi et al., MMWR 2023

Pneumokokken-Modellierungen für Europa (2023–2025)

Land	Population	Ergebnis	Bewertung
Deutschland	≥ 60 J. + Risiko 18–59 J.	weniger Hospitalisierungen & Tote	**PCV20 dominant**
England	Erwachsene ≥ 65 J.	mehr verhinderte IPD & Pneumonien	**kostensparend**
Belgien	Erwachsene ≥ 60 J.	höhere Effektivität, gleiche Kosten	**kosteneffektiv**
Griechenland	Erwachsene ≥ 50 J.	bessere Outcomes, geringere Kosten	**dominant**

Konsistentes Bild zugunsten PCV20 allein: verhindert mehr Hospitalisierungen & Todesfälle, kostensparend über die Lebenszeit, in Sensitivitätsanalysen dominant. In Deutschland deckt nur PCV20 ~50 % der invasiven Erkrankungen ab.

Quellen: Cho et al., Vaccine 2025 · Kühne et al., Expert Rev Vaccines 2023 · Danelian et al., Vaccine 2024

Pneumokokken – Budget-Impact-Analyse

England · PPV23 → PCV20 (5 J.)

- ≈ 785 IPD- und 11.751 CAP-Hospitalisierungen verhindert
- ≈ 1.414 Todesfälle verhindert
- Netto-Budget-Impact £ 58,7 Mio. (< 0,01 % des Budgets)

USA · Routine 50–64 J.

- Zusätzlicher Bedarf $ 6,5–9 Mrd. über 3 Jahre
- Abhängig von Preis, Durchimpfungsrate, Behandlungskosten
- Höchste Kosten im 1. Jahr, danach sinkend

Quellen: Vadlamudi et al., BMC Public Health 2025 · Mugwagwa et al., Expert Rev Vaccines 2022

BLOCK 3

Virale Atemwegs-infektionen

SARS-CoV-2 · RSV · Influenza



COVID-19-Impfung – Nutzen für Überleben (2020–2024)

≈ 2,5 Mio.
verhinderte Todesfälle weltweit

≈ 15 Mio.
gerettete Lebensjahre

90 %
der verhinderten Tode bei ≥ 60 J.

- ~54 % geringeres Sterberisiko (≥ 65 J.), ~86 % bei Multimorbiden
- 1 verhinderter Todesfall pro ≈ 5.400 Dosen
- Auch in der Omikron-Periode – v. a. bei Älteren & Risikopatient*innen

Quellen: Ioannidis et al., JAMA Health Forum 2025 · Stouten et al., Vaccine 2025

Kosten-Nutzen-Analyse der COVID-19-Impfung

Altersgruppe	ICER pro QALY	Bewertung
≥ 65 Jahre	< 25.000 $	**kostensparend**
50–64 Jahre	25.000–113.000 $	**oft kosteneffektiv**
jüngere Erwachsene / Kinder	> 200.000 $	stark kontextabhängig

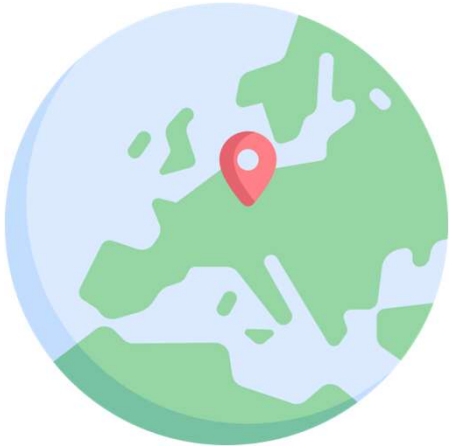
- Schwellenwerte: ~ 20.000–50.000 € pro QALY (Europa), 50.000–150.000 $ (USA)
- ACIP: v. a. Ältere & Risikopatient*innen impfen

Incremental Cost-Effectiveness Ratio = (inkrementelles Kosten-Nutzen-Verhältnis

Quellen: Prosser et al., JAMA Netw Open 2025 · Miranda et al., JAMA Netw Open 2025

COVID-19-Impfung in LMICs

- Schon 15 % Impfquote: ~120.000 Todesfälle verhindert
- 60 % Impfquote: weiterhin hoch kosteneffektiv
- Südafrika & Indo-Pazifik: kosteneffektiv bis kostensparend
- Niedrige Dosiskosten – Effektivität wie in Hochlohnländern



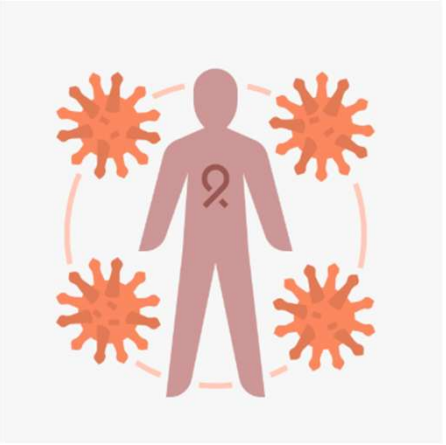
Herausforderungen: verzögerte Einführung, geringe Verfügbarkeit, logistische Hürden.

Quellen: Siedner et al., J Infect Dis 2022 · Reddy et al., Nat Commun 2021 · Bilgin et al., PLoS One 2024

COVID-19-Impfung bei immunsupprimierten Patient*innen

78 → 91 %
Schutz vor Hospitalisierung (2 → 3 Dosen)

> 92 %
Effektivität gegen COVID-19-Tod



- Erhöhtes Risiko für schwere Verläufe & Tod
- Hohe Kosteneffektivität durch Vermeidung teurer Intensivbehandlungen und Langzeitfolgen
- Booster steigern Immunantwort nachweislich; Sicherheit wie Allgemeinbevölkerung

Quellen: Chen et al., BMC Med 2024 · Baron et al., Front Immunol 2022

COVID-19 – Durchimpfungsrate & Gesundheitskosten

– 1.743 $
geringere Kosten pro Fall bei Geimpften

> 50 %
niedrigere Krankenhauskosten & -dauer



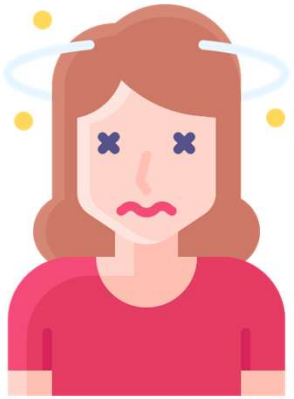
- Negativer Zusammenhang zwischen Impfquote und Hospitalisierungsrate
- Langfristige Einsparungen durch weniger schwere Verläufe
- Höhere Durchimpfungsrate → niedrigere Folgekosten

Quellen: Pike et al., Health Aff 2025 · Prosser et al., Vaccine 2025

COVID-19 – Einfluss auf Long COVID & Kosten

40–60 %
geringere Long-COVID-Inzidenz nach Impfung

- Impfung vor Infektion senkt Long COVID; Booster schützen zusätzlich
- Weniger Fatigue, Dyspnoe, kognitive Störungen
- Ungeimpfte: mehr persistierende Symptome, Rehospitalisierungen, höhere Folgekosten



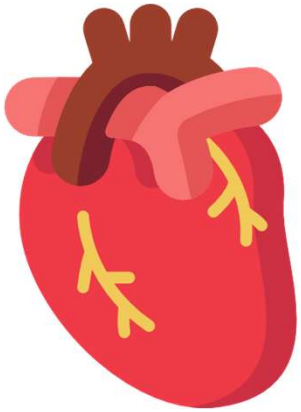
Ökonomisch: Long-COVID-Versorgung treibt Kosten deutlich – v. a. in Populationen mit niedriger Impfquote.

Quellen: MacCallum-Bridges et al., Ann Epidemiol 2024 · Hedberg et al., J Infect Dis 2025

RSV und kardiovaskuläres Risiko

22 %
akute kardiale Ereignisse bei hospital. RSV (≥ 50 J.)

8,5 %
auch ohne kardiale Vorerkrankung betroffen



- Akute Herzinsuffizienz: Intensivpflicht & Mortalität fast doppelt
- Anhaltend erhöhtes Langzeitrisiko für Herzinsuffizienz & Vorhofflimmern
- Pathophysiologie: direkte Myokardschädigung, systemische Entzündung, Dekompensation

Gezielte RSV-Impfung bei Hochrisikopatient*innen

Quelle: Woodruff et al., JAMA Intern Med 2024

Ökonomische Bedeutung des kardiovaskulären RSV-Risikos

≈ 6,6 Mrd. $
RSV-Gesamtkosten/Jahr bei ≥ 60 J. (USA)

94 %
der Direktkosten durch nur 4 % hospitalisierte Fälle



- Höchste Pro-Kopf-Kosten bei Patient*innen mit Herzinsuffizienz
- Längere Liegedauer, mehr Intensivpflicht, höhere Mortalität
- Zusatzkosten: Rehospitalisierungen, Rehabilitation, Pflegebedürftigkeit

RSV-Prävention bei Hochrisikopatient*innen ist medizinisch und ökonomisch sinnvoll

Quellen: Carrico et al., J Infect Dis 2024 · Prasad et al., PLoS One 2020

Unsicherheiten in der Schätzung der RSV-Krankheitslast

- Selten routinemäßig getestet → unsichere Schätzungen
- Kennzahlen beruhen auf Modellen, nicht auf Messung
- Mortalität durch fehlende Testung systematisch unterschätzt
- Reale Klinik-Mortalität evtl. 7–40 % höher



Fazit: Publizierte Zahlen sind Mindestschätzungen – die tatsächliche RSV-Belastung liegt höher.

Quelle: Shi et al., Lancet 2017 (RSV Global Epidemiology Network)

Kosten-Nutzen-Analysen der maternalen RSV-Impfung

Region	Intervention	Kosteneffektivität
USA	Maternale Impfung	163.513–396.280 $/QALY
Australien	Maternale Impfung	**< 12.000 AUD/QALY**
Europa (6 Länder)	mAb / maternal	**20.000–90.000 €/QALY**
Vietnam	mAb / maternal	3.367–3.442 $/DALY
LMICs (133 Länder)	mAb / maternal	**< 0,5× BIP/DALY**

International etabliert: RSV-Impfung in vielen Szenarien kosteneffektiv bis kostensparend; Untererfassung in allen Modellen über Sensitivitätsanalysen berücksichtigt.

Quellen: Hutton et al., Pediatrics 2024 · Averin et al., Vaccine 2025 u. a.

Kosten-Nutzen-Analysen der Influenza-Impfung (2024–2025)

Zielgruppe	ICER / QALY	Bewertung
≥ 65 J. / Risikopatient*innen	< 95.000 $	**kosteneffektiv–kostensparend**
Gesundheitsberufe	< Schwellenwert	**kosteneffektiv**
18–49 J. ohne Risiko	> Schwellenwert	weniger kosteneffektiv
Enhanced Vaccines (HD, rekomb.)	variabel	v. a. bei Älteren kosteneffektiv

Gesamt: in Hochrisikogruppen und bei Älteren kosteneffektiv bis kostensparend – je nach Altersgruppe, Impfstofftyp und Perspektive.

Quellen: Klimek, Bundesgesundheitsbl 2025 · Krauland et al., JAMA Netw Open 2025

Influenza-Impfung bei Krankenhauspersonal

Perspektive	Hauptergebnis	Bewertung
Gesellschaftlich	weniger direkte & indirekte Kosten	**kosteneffektiv–kostensparend**
Kostenträger	geringe Zusatzkosten pro QALY	**< 50.000 $/QALY**
Krankenhaus	weniger Personalkosten & Ausfälle	**kostensparend**

Fazit: die jährliche Influenza-Impfung von Krankenhauspersonal ist eine der kosteneffektivsten Präventionsmaßnahmen – sie schützt Mitarbeitende, Patient*innen und das System zugleich.

Quellen: Ofori et al., Occup Med 2022 · Imai et al., PLoS One 2018

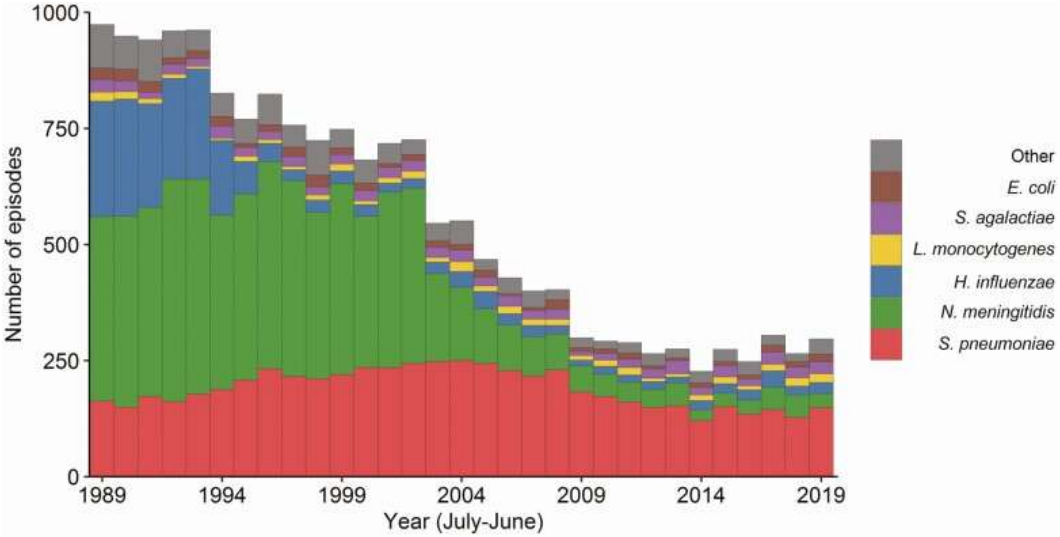
BLOCK 4

Meningitis & FSME



Meningokokken · FSME

Rückgang der bakteriellen Meningitiden



- Niederlande, nationale Surveillance 1988–2019
- Deutlicher Rückgang nach Einführung der Konjugatimpfstoffe
- Fälle pro Erreger und epidemiologischem Jahr (Juli–Juni)

Quelle: Koelman et al., Clin Infect Dis 2021

Fortschritte bei Meningokokken durch Impfprogramme

> 99 %
Rückgang Serogruppe A im afrik. Meningitisgürtel (MenAfriVac)

> 10 Jahre
anhaltender Herdeneffekt der MenC-Konjugatimpfung

- Konjugatimpfstoffe (C, A, W, Y, B): Rückgang weltweit
- Reduzieren die nasopharyngeale Besiedlung → fördern die Herdenimmunität
- Quadrivalente (ACWY), künftig pentavalente Impfstoffe

Zentraler Bestandteil der WHO-Strategie zur Eliminierung epidemischer Meningitis bis 2030

Quellen: van de Beek et al., Lancet 2021 · Koelman et al., Clin Infect Dis 2021

Budget-Impact-Analyse – MenACWY in Deutschland

< 13.205 €
pro QALY (kombinierte Strategie) → kosteneffektiv



- Größter Effekt: Kleinkinder (12 Mon.) & Jugendliche (16 J.)
- Schulbasierte Programme steigern Durchimpfung und Herdschutz
- Intern. Daten (FR, AU): Fokus Kleinkinder & Jugendliche

Für Deutschland: übertragbar, aber geringe Inzidenz → begrenzter absoluter Effekt.

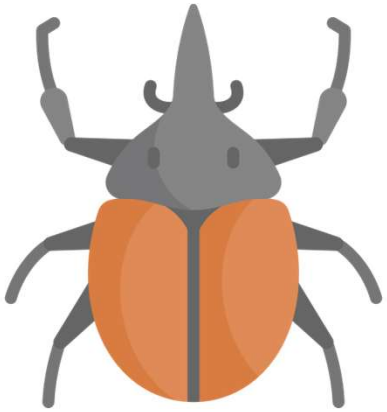
Quellen: Schley et al., BMC Public Health 2025 · Gruhn et al., Vaccine 2022

Kosten-Nutzen-Analyse – FSME-Impfung

> 90 %
Wirksamkeit gegen schwere ZNS-Infektionen

< 20.000 €
pro QALY – deutlich unter EU-Schwellen

- Deutschland: hoch kosteneffektiv ab ~ 1–2/100.000 Inzidenz
- Österreich kostensparend; Schweden & Slowenien kosteneffektiv bis kostensparend
- Treiber: Impfpreis, Programmkosten, Hospitalisierungs-/Reha-Kosten, Impfquote & Booster-Adhärenz



Quelle: Müller et al., Vaccines 2024

Impfende Apotheken – niedrigschwelliger Zugang

> 14.000
geschulte impfende Apotheker*innen (seit 2020)

~ 200.000
Impfungen in Apotheken, Saison 2024/25 (Grippe + COVID)



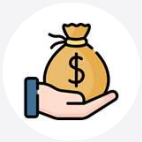
- Erlaubt: Grippe (ab 18 J.) & COVID-19 (ab 12 J.); weitere Totimpfstoffe in Planung
- Wohnortnah, ohne Termin, auch außerhalb der Praxiszeiten
- Erschließt Ungeimpfte: 44 % hätten sich sonst nicht impfen lassen (Erstimpfung: 65 %)
- Pharmazeutische Immunisierung steigert nachweislich die Impfquote

Versorgungsnutzen: zusätzlicher Kanal gegen niedrige Quoten – Grippe bei ≥ 60 J. nur ~38 % (WHO-Ziel 75 %).

§ 132e SGB V; ABDA 2025 · Isenor et al., Vaccine 2016;34(47):5708–5723 · RKI-Impfquoten

Kernbotschaften

Zwei Blickwinkel



Kosten-Nutzen zeigt „sinnvoll“, Budget-Impact zeigt „bezahlbar“ – beide gehören zusammen.

Ältere & Risikogruppen



Hier ist der ökonomische Nutzen durchweg am größten – oft kosteneffektiv bis kostensparend.

PCV20 & Atemwege



Pneumokokken (PCV20), COVID-19, RSV und Influenza mit klar günstiger Nutzen-Kosten-Relation.

Methodik & Lücken



Spezifische Impf-BIA-Leitlinien und geschlechtergetrennte Analysen bleiben gefordert.



ENDLICH HAT NADINE EINEN KINDERARZT GEFUNDEN, DER SIE VERSTEHT.

Spott sei Dank!





hpd Humanistischer Pressedienst

Vivantes

Vivantes. Berlin kann Gesundheit.



Vielen Dank.

Prof. Dr. Irit Nachtigall

Direktorin des Instituts für Hygiene und Umweltmedizin

irit.nachtigall@vivantes.de

Literatur

1. Averin A, et al. Cost-effectiveness of bivalent RSV prefusion F (RSVpreF) maternal vaccine among infants in the United States. Vaccine. 2025;58:127191.
2. Bärnighausen T, Bloom DE, et al. Valuing vaccination. Proc Natl Acad Sci USA. 2014;111(34):12313–12319.
3. Baron F, et al. Insights from early clinical trials assessing response to mRNA SARS-CoV-2 vaccination in immunocompromised patients. Front Immunol. 2022;13:827242.
4. Bilgin GM, et al. Cost-effectiveness analysis of COVID-19 booster doses and oral antivirals: case studies in the Indo-Pacific. PLoS One. 2024;19(9):e0294091.
5. Carrico J, et al. The annual economic burden of respiratory syncytial virus in adults in the United States. J Infect Dis. 2024;230(2):e342–e352.
6. Chen DT, et al. Uptake, effectiveness and safety of COVID-19 vaccines in individuals at clinical risk: a population-based cohort study in England. BMC Med. 2024;22(1):237.
7. Chesson HW, et al. Updated medical care cost estimates for HPV-associated cancers. Hum Vaccin Immunother. 2019;15(7–8):1942–1948.
8. Cho JY, et al. Systematic literature review of cost-effectiveness analyses of adult 15- and 20-valent pneumococcal vaccines. Vaccine. 2025;46:126656.
9. Cuzick J. Preventive therapy for cancer. Lancet Oncol. 2017;18(8):e472–e482.
10. Danelian G, et al. The impact and cost-effectiveness of pneumococcal immunisation strategies for the elderly in England. Vaccine. 2024;42(18):3838–3850.
11. Global Burden of Disease Health Financing Collaborator Network. Past, present, and future of global health financing, 1995–2050. Lancet. 2019;393(10187):2233–2260.
12. Griffiths UK, Legood R, Pitt C. Comparison of economic evaluation methods across low-, middle- and high-income countries. Health Econ. 2016;25(Suppl 1):29–41.
13. Gruhn S, et al. Epidemiology and economic burden of meningococcal disease in Germany: a systematic review. Vaccine. 2022;40(13):1932–1947.

Literatur (Forts.)

14. Harder T, et al. Die neue Standardvorgehensweise der STIKO: Entstehung, Struktur und Umsetzung. Bundesgesundheitsblatt. 2019;62(4):392–399.
15. Hedberg P, van der Werff SD, Nauclér P. The effect of COVID-19 vaccination on the risk of persistent post-COVID-19 condition: cohort study. J Infect Dis. 2025;231(5):e941–e944.
16. Hutton DW, et al. Cost-effectiveness of maternal vaccination to prevent respiratory syncytial virus illness. Pediatrics. 2024;154(6):e2024066481.
17. Imai C, et al. Direct epidemiological and economic effects of seasonal influenza vaccination on healthcare workers: systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2018;13(6):e0198685.
18. Ioannidis JPA, et al. Global estimates of lives and life-years saved by COVID-19 vaccination during 2020–2024. JAMA Health Forum. 2025;6(7):e252223.
19. Isenor JE, et al. Impact of pharmacists as immunizers on vaccination rates: a systematic review and meta-analysis. Vaccine. 2016;34(47):5708–5723.
20. Jit M, et al. The broader economic impact of vaccination: reviewing and appraising the strength of evidence. BMC Med. 2015;13:209.
21. Klimek P. Kosteneffizienz von Impfungen: Influenza-, SARS-CoV-2- und RSV-Impfung. Bundesgesundheitsblatt. 2025;68(4):451–457.
22. Kobayashi M, et al. Pneumococcal vaccine for adults aged ≥19 years: recommendations of the ACIP, United States, 2023. MMWR Recomm Rep. 2023;72(3):1–39.
23. Koelman DLH, et al. Changing epidemiology of bacterial meningitis since introduction of conjugate vaccines: 3 decades of surveillance in the Netherlands. Clin Infect Dis. 2021;73(5):e1099–e1107.
24. Krauland MG, Mandell A, Roberts MS. Estimated burden of influenza and direct and indirect benefits of influenza vaccination. JAMA Netw Open. 2025;8(7):e2521324.
25. Kühne F, et al. Cost-effectiveness of use of 20-valent pneumococcal conjugate vaccine among adults in Germany. Expert Rev Vaccines. 2023;22(1):921–932.
26. Loze PM, et al. Vaccines are different: a systematic review of budget impact analyses of vaccines. Vaccine. 2017;35(21):2781–2793.

Literatur (Forts.)

27. MacCallum-Bridges C, et al. Impact of COVID-19 vaccination prior to SARS-CoV-2 infection on prevalence of long COVID. Ann Epidemiol. 2024;92:17–24.
28. Markowitz LE, Unger ER. Human papillomavirus vaccination. N Engl J Med. 2023;388(19):1790–1798.
29. Mauskopf J, et al. Economic analysis of vaccination programs: an ISPOR Good Practices for Outcomes Research Task Force report. Value Health. 2018;21(10):1133–1149.
30. Mauvais-Jarvis F, et al. Sex and gender: modifiers of health, disease, and medicine. Lancet. 2020;396(10250):565–582.
31. Miranda RN, et al. Cost-utility analysis of COVID-19 vaccination strategies for endemic SARS-CoV-2. JAMA Netw Open. 2025;8(6):e2515534.
32. Mugwagwa T, et al. Public health and budgetary impact of 20-valent pneumococcal conjugate vaccine for adults in England. Expert Rev Vaccines. 2022;21(9):1331–1341.
33. Müller M, et al. Does vaccination against tick-borne encephalitis offer good value for money below the WHO endemicity threshold? A case study for Germany. Vaccines (Basel). 2024;12(10):1165.
34. Ofori SK, et al. Economic evaluations of interventions against influenza at workplaces: systematic review. Occup Med (Lond). 2022;72(2):70–80.
35. Ozawa S, et al. Estimated economic impact of vaccinations in 73 low- and middle-income countries, 2001–2020. Bull World Health Organ. 2017;95(9):629–638.
36. Pike J, et al. Comparing COVID-19 acute and postacute medical spending by vaccination status for child and adult Medicaid enrollees. Health Aff (Millwood). 2025;44(10):1218–1225.
37. Prasad N, et al. The health and economic burden of respiratory syncytial virus associated hospitalizations in adults. PLoS One. 2020;15(6):e0234235.
38. Prosser LA, et al. Cost-effectiveness of 2023–2024 COVID-19 vaccination in US adults. JAMA Netw Open. 2025;8(8):e2523688.
39. Prosser LA, et al. The cost-effectiveness of vaccination against COVID-19 illness during the initial year of vaccination. Vaccine. 2025;48:126725.

Literatur (Forts.)

40. Reddy KP, et al. Clinical outcomes and cost-effectiveness of COVID-19 vaccination in South Africa. Nat Commun. 2021;12(1):6238.
41. Rosenthal M, et al. Cost-effectiveness of 15- or 20-valent pneumococcal conjugate vaccine for U.S. adults. Vaccine. 2025;44:126567.
42. Rosettie KL, et al. Cost-effectiveness of HPV vaccination in 195 countries: a meta-regression analysis. PLoS One. 2021;16(12):e0260808.
43. Schley K, et al. Public health impact and cost-effectiveness of introducing MenACWY vaccination strategies in Germany. BMC Public Health. 2025;25(1):1653.
44. Setiawan D, et al. Cervical cancer prevention in Indonesia: clinical impact, cost-effectiveness and budget impact analysis. PLoS One. 2020;15(3):e0230359.
45. Shi T, et al; RSV Global Epidemiology Network. Global, regional and national disease burden of acute lower respiratory infections due to RSV in young children in 2015. Lancet. 2017;390(10098):946–958.
46. Siedner MJ, et al. Cost-effectiveness of COVID-19 vaccination in low- and middle-income countries. J Infect Dis. 2022;226(11):1887–1896.
47. STIKO/RKI. Methoden zur Durchführung und Berücksichtigung von Modellierungen zur Vorhersage epidemiologischer und gesundheitsökonomischer Effekte von Impfungen für die STIKO. Version 1.1; 2024.
48. Stouten V, et al. Averted mortality by COVID-19 vaccination in Belgium between 2021 and 2023. Vaccine. 2025;60:127290.
49. Vadlamudi NK, et al. Budget impact analysis of 15- or 20-valent pneumococcal conjugate vaccine use in US adults aged 50–64 years. BMC Public Health. 2025;25(1):2042.
50. van de Beek D, et al. Community-acquired bacterial meningitis. Lancet. 2021;398(10306):1171–1183.
51. WHO. Guide for the standardization of economic evaluations of immunization programmes. 2. Aufl. Genf: WHO; 2019 (WHO/IVB/19.10).
52. Woodruff RC, et al. Acute cardiac events in hospitalized older adults with respiratory syncytial virus infection. JAMA Intern Med. 2024;184(6):602–611.