

Addendum: erweiterter Methodenteil

Modellgleichungen

Kinder unterhalb der Impf-Altersgrenze, die nicht geimpft werden

Suszeptibel $\frac{dS_k}{dt} = \mu - (\lambda + \alpha + \mu) \cdot S_k + \rho \cdot R_k$

Latent infiziert $\frac{dL_k}{dt} = \lambda \cdot S_k - (\alpha + \delta + \mu) \cdot L_k$

Infektiös $\frac{dI_k}{dt} = \delta \cdot L_k - (\alpha + \gamma + \mu) \cdot I_k$

Immun $\frac{dR_k}{dt} = \gamma \cdot I_k - (\alpha + \lambda + \rho + \mu) \cdot R_k + \beta \cdot B_k$

Durch Infektion geboostert $\frac{dB_k}{dt} = \lambda \cdot R_k - (\alpha + \beta + \mu) \cdot B_k$

Kinder und Jugendliche oberhalb der Impf-Altersgrenze, die nicht geimpft werden

Suszeptibel $\frac{dS_u}{dt} = \alpha \cdot (1 - p_w) \cdot S_k - (\lambda + \mu) \cdot S_u + \rho \cdot R_u$

Latent infiziert $\frac{dL_u}{dt} = \alpha \cdot (1 - p_w) \cdot L_k + \lambda \cdot S_u - (\delta + \mu) \cdot L_u$

Infektiös $\frac{dI_u}{dt} = \alpha \cdot (1 - p_w) \cdot I_k + \delta \cdot L_u - (\gamma + \mu) \cdot I_u$

Immun $\frac{dR_u}{dt} = \alpha \cdot (1 - p_w) \cdot R_k + \gamma \cdot I_u - (\lambda + \rho + \mu) \cdot R_u + \beta \cdot B_u$

Durch Infektion geboostert $\frac{dB_u}{dt} = \alpha \cdot (1 - p_w) \cdot B_k + \lambda \cdot R_u - (\beta + \mu) \cdot B_u$

Jugendliche und Erwachsene, die nicht, oder noch nicht, erfolgreich geimpft sind

Suszeptibel $\frac{dS_w}{dt} = \alpha \cdot p_w \cdot S_k - (\lambda + \omega \cdot (1 - e) + \mu) \cdot S_w + \rho \cdot R_w + \varphi \cdot V$

Latent infiziert $\frac{dL_w}{dt} = \alpha \cdot p_w \cdot L_k + \lambda \cdot S_w - (\delta + \mu) \cdot L_w$

Infektiös $\frac{dI_w}{dt} = \alpha \cdot p_w \cdot I_k + \delta \cdot L_w - (\gamma + \mu) \cdot I_w$

Immun $\frac{dR_w}{dt} = \alpha \cdot p_w \cdot R_k + \gamma \cdot I_w - (\lambda + \rho + \omega \cdot e + \mu) \cdot R_w + \beta \cdot B_w$

Geboostert $\frac{dB_w}{dt} = \alpha \cdot p_w \cdot B_k + (\lambda + \omega \cdot e) \cdot R_w - (\beta + \mu) \cdot B_w$

Jugendliche und Erwachsene, die erfolgreich geimpft wurden

Erfolgreich geimpft $\frac{dV}{dt} = \omega \cdot e \cdot S_w - (\lambda + \omega \cdot e + \varphi + \mu) \cdot V + \beta \cdot B_v$

Geimpft und geboostert $\frac{dB_v}{dt} = (\lambda + \omega \cdot e) \cdot V - (\beta + \mu) \cdot B_v$

Infektionsrate

$$\lambda = \kappa \cdot (I_k + I_u + I_w) \cdot \left(1 + A \cdot \cos\left(\frac{(t - t_0)}{365} \cdot 2 \cdot \pi\right) \right) \quad \text{mit Kontaktrate} \quad \kappa = R_0 \cdot \frac{\delta}{\delta + \mu} \cdot (\gamma + \mu)$$

Startwerte

Suszeptibel $S_k(0) = 0,80 \cdot \frac{\mu}{\alpha}$, $S_u(0) = 0,80 \cdot \left(1 - \frac{\mu}{\alpha}\right) \cdot (1 - p_w)$, $S_w(0) = 0,80 \cdot \left(1 - \frac{\mu}{\alpha}\right) \cdot p_w$

Latent infiziert $L_k(0) = 0$, $L_u(0) = 0$, $L_w(0) = 0$

Infektiös $I_k(0) = 0,008 \cdot \frac{\mu}{\alpha}$, $I_u(0) = 0,008 \cdot \left(1 - \frac{\mu}{\alpha}\right) \cdot (1 - p_w)$, $I_w(0) = 0,008 \cdot \left(1 - \frac{\mu}{\alpha}\right) \cdot p_w$

Immun $R_k(0) = 0,192 \cdot \frac{\mu}{\alpha}$, $R_u(0) = 0,192 \cdot \left(1 - \frac{\mu}{\alpha}\right) \cdot (1 - p_w)$, $R_w(0) = 0,192 \cdot \left(1 - \frac{\mu}{\alpha}\right) \cdot p_w$,
 $V(0) = 0$

Geboostert $B_k(0) = 0$, $B_u(0) = 0$, $B_w(0) = 0$, $B_v(0) = 0$

Parameter

Parameterwerte wurden, soweit vorhanden, aus der im Haupttext zitierten wissenschaftlichen Literatur entnommen und überwiegend von den Angaben des Robert Koch Instituts (RKI 2022a; b).

Anteile und Konstanten	Parameter	Wert (Variationsbereich)
Basisreproduktionszahl	R_0	6 (2-12)
Impfwirksamkeit	e	75% (0% - 100%)
Impfbeteiligung in der Bevölkerung	p_w	75% (0% - 95%)
Saisonale Kontaktrate: Schwankung	A	36% (0% - 100%)
Saisonale Kontaktrate: Maximum	t_0	In der Nähe des Jahreswechsels
Raten		
Geburtenrate (= Sterberate)	μ	1/70 Jahre (wird nicht variiert)
Altersgrenze für Impfungen	$1/\alpha$	5 Jahre (wird nicht variiert)
Dauer der Latenzphase	$1/\delta$	2 Tage (wird nicht variiert)
Dauer der Infektiosität	$1/\gamma$	4 Tage (wird nicht variiert)
Kontaktrate	κ	$\kappa = R_0 \cdot (\gamma + \mu)$
Dauer der Immunität in Zustand R (impf-immun)	$1/\rho$	6 Monate (2-24 Monate)
Dauer der Immunität in Zustand V (geimpft)	$1/\phi$	6 Monate (2-24 Monate)
Dauer der Immunität in Zustand B (geboostert)	$1/\beta$	6 Monate (2-24 Monate)