

# Modellierung eines verallgemeinerten SEIR-Modells mit prävalenzabhängigen Kontaktraten

Mansur Daschaew, Janina Rastetter und Maren Raus

14. Februar 2022

## 1 SEIR-Modell

- ODEs
- Simulation

## 2 Simulation eines Lockdowns

- Auswirkungen auf den Epidemieverlauf
- mehrstufiger Lockdown
- Lockdown anhand von Fallzahlen

## 3 Fallbeispiel Xi'an

- Vorgehen
- Daten
- Parameter
- Schätzung von  $\delta$
- Anfangswerte
- Simulationen

## SEIR-Modell:

S    susceptible  
E    exposed  
I    infectious  
D    detected  
R    recovered

$$\frac{dS}{dt} = -\beta \frac{SI}{N}$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta \frac{SI}{N} - \alpha E$$

$$\frac{dI}{dt} = \alpha E - \gamma I - \delta I$$

$$\frac{dD}{dt} = \delta I - \gamma D$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I + \gamma D$$

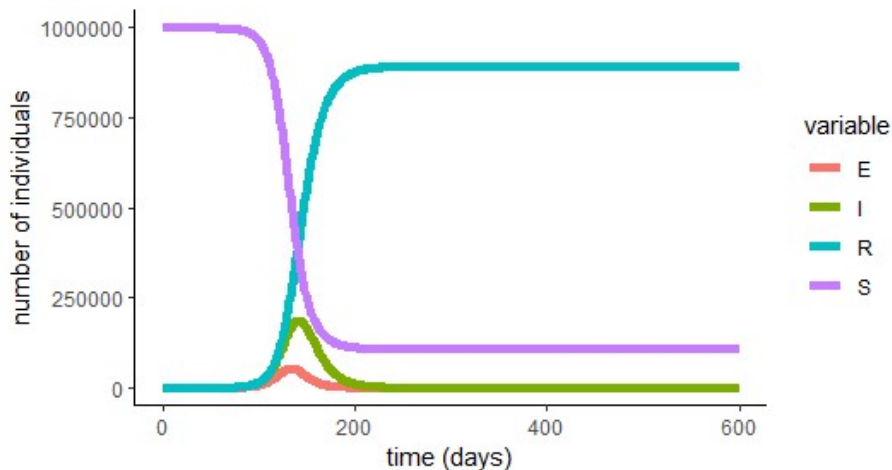
Übergangsrate $\alpha$ :	Kehrwert der mittlere Latenzzeit
Transmissionsrate $\beta$ :	Übertragungen pro S-I Kontakt pro Zeit
Erholungsrate $\gamma$ :	Kehrwert der mittleren infektiösen Zeit
Testrate $\delta$ :	Testrate für positive Individuen × Rate der positiven Testergebnisse

Schätzung für Transmissionsrate (zu Beginn der Epidemie):

$$\beta = \frac{R_0}{\gamma} \quad (R_0 \text{ Reproduktionszahl})$$

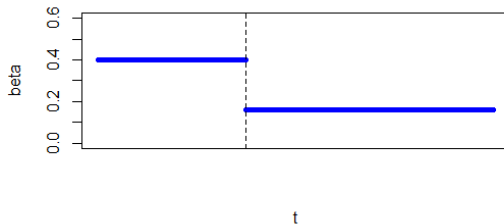
Startwerte:

- Populationsgröße  $N$
- $S = N-1, I = 1, E = R = 0$

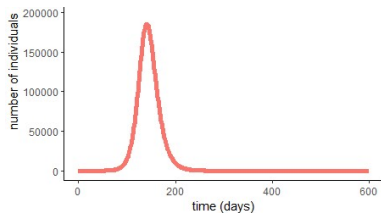


# Simulation eines Lockdowns

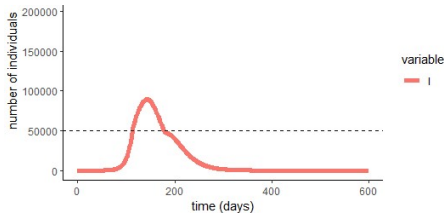
- Kontaktrate verändert sich nicht kontinuierlich, sondern abrupt
- Zeitpunkt ist von der Inzidenz abhängig
- Bedingung an  $\beta$ :  $\beta(t) = \begin{cases} \phi\beta_0 & \text{falls } I(t) > \tau N \\ \beta_0 & \text{sonst} \end{cases}$ , wobei  $\phi \in (0, 1)$  und  $\tau \in (0, 1)$



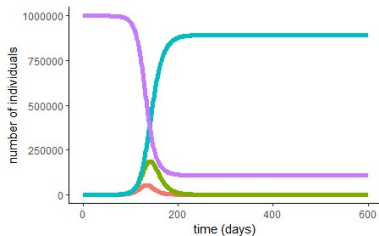
# Auswirkungen auf den Epidemieverlauf



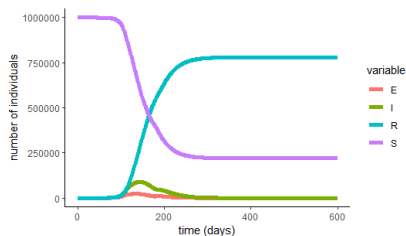
(a) Infizierte



(b) Infizierte bei Lockdown für  $I(t) > 0.05N$

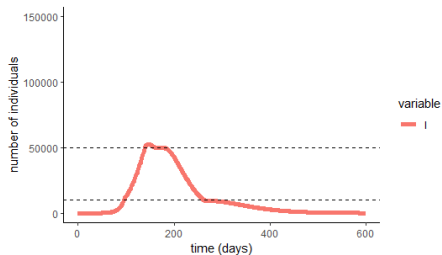


(c) Pandemieverlauf

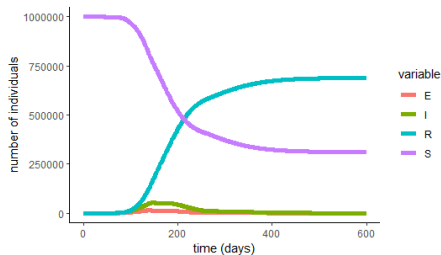


(d) Epidemieverlauf bei Lockdown für  $I(t) > 0.05N$



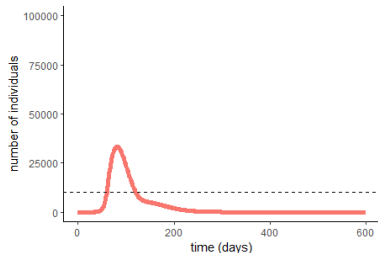


(a) Infizierte

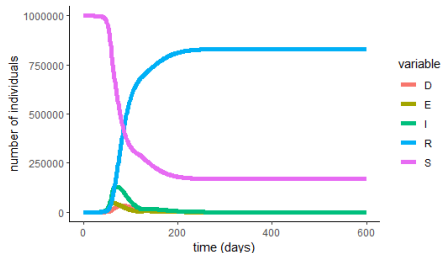


(b) Epidemieverlauf

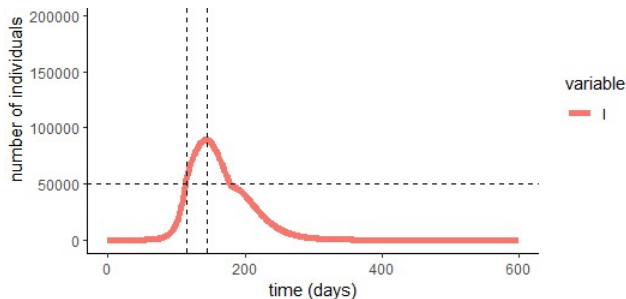
- Einsetzen der Reduktion der Kontaktrate nach Werten von  $D(t)$  (detected)
- niedrigere Werte, kleinere Schranke



(a) Fallzahlen (detected cases  $D$ ) mit Schranke  $D(t) > 0.01N$



(b) Epidemieverlauf

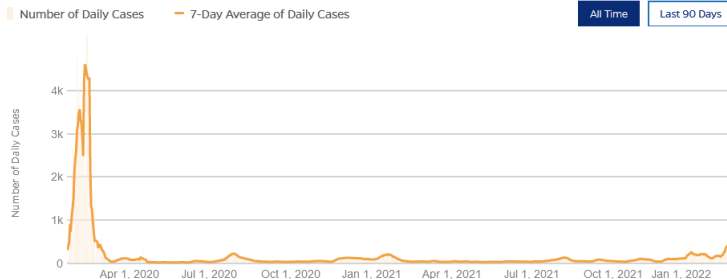


- Schranke  $\tau N$  muss passend gewählt werden
- Zeitspanne zwischen Beginn des Lockdown und Peak

## China...

- strikte Null-Covid-Strategie in der Coronapandemie

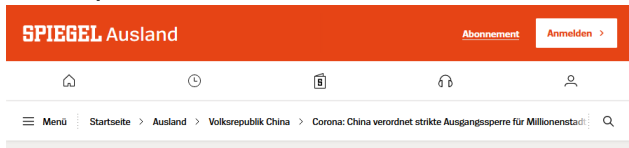
### Number of Daily Cases



**Data Sources:** Cases and deaths data from JHU CSSE; testing and vaccine data from JHU CCI; and hospitalization data from the U.S. Department of Health and Human Services.

China...

- strikte Null-Covid-Strategie in der Coronapandemie  
⇒ aktuelles Beispiel: Lockdown in der chinesischen Stadt Xi'an



»Dynamische Null-Covid-Strategie«

## China verhängt Lockdown für Millionenstadt Xi'an

In der zentralchinesischen Metropole Xi'an hat es Dutzende Coronafälle gegeben. Die Folge ist ein maximal strenger Regelkatalog: Nur ein Familienmitglied darf jeden zweiten Tag einkaufen gehen.

23.12.2021, 10.02 Uhr

## China...

- strikte Null-Covid-Strategie in der Coronapandemie
  - ⇒ aktuelles Beispiel: Lockdown in der chinesischen Stadt Xi'an
  - ⇒ reale Daten

## China...

- strikte Null-Covid-Strategie in der Coronapandemie
  - ⇒ aktuelles Beispiel: Lockdown in der chinesischen Stadt Xi'an
  - ⇒ reale Daten
- Impfquote von 87.88%, aber bei verwendeter Vakzine kaum Schutz vor Delta
  - ⇒ Annahme: nicht immunisierte Bevölkerung

- ➊ Recherche (Daten zur Infektionslage in Xi'an und zur Deltavariante)
- ➋ Berechnung der Parameter
- ➌ Schätzung des Parameters  $\delta$  (verantwortlich für die Identifikation infizierter Individuen)
- ➍ Berechnung der Anfangswerte
- ➎ Simulation verschiedener Szenarien mit dem Ziel, die Epidemie möglichst schnell ohne Durchseuchung stoppen

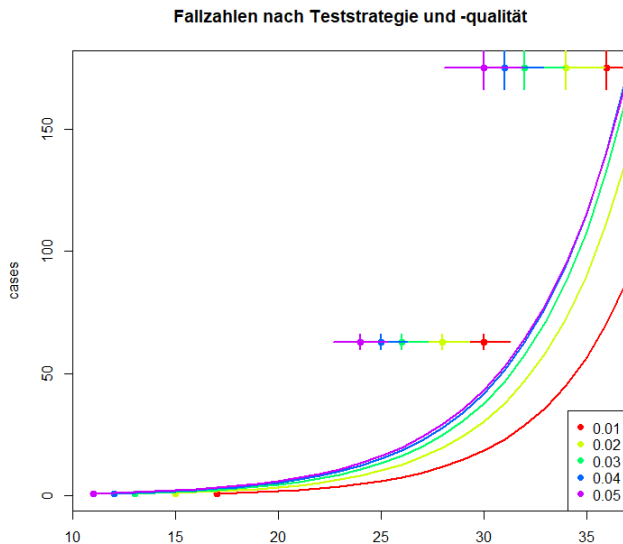


## Dünne Datenlage

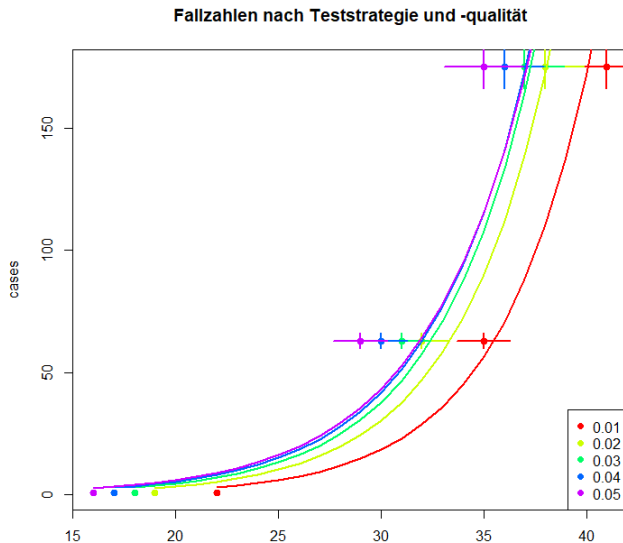
- 9. Dezember 2021: erster Fall
- In den Folgetagen: steigende Infektionszahlen
- 22. Dezember 2021 (+ 13 Tage): 63 Fälle
- 23. Dezember 2021: Lockdown
- 28. Dezember 2021 (+ 19 Tage): 175 Fälle
- 24. Januar 2022: Ende des Lockdowns (nach 32 Tagen), insgesamt ca. 2000 Fälle

- R-Wert  $\approx 5.5$
- $\alpha = 1/2$  (mittlere Latenzzeit  $\approx 4$ , ansteckend etwa zwei Tag vor Auftreten von Symptomen)
- $\gamma = 1/12$
- $\beta \approx \gamma \cdot R = 5.5/12 = 0.468$
- $\phi \approx \gamma/\beta = 1/5.5$
- $\beta \cdot \phi = 1/12$

## Beobachtung: Schlechter Fit mit recherchierten Werten



Konsequenz: Erlaube Abweichungen  $\Rightarrow \delta = 0.01$



- $t = 36$
- $S = 12996450$
- $E = 1097$
- $I = 1731$
- $C = 56$
- $R = 666$

# Verlauf ohne Intervention

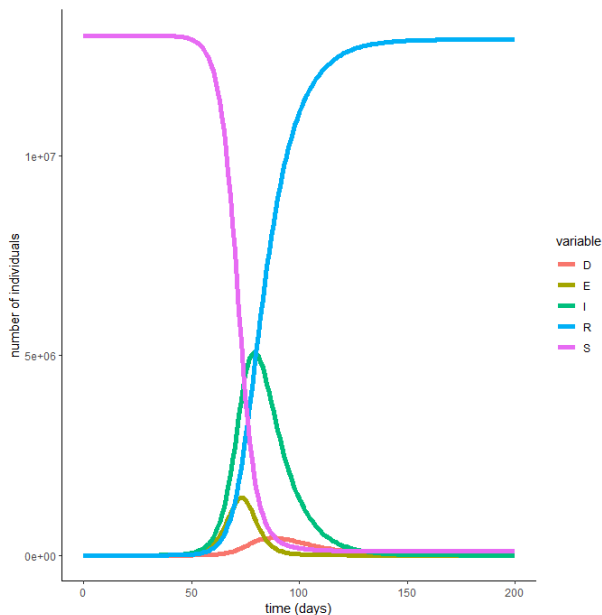


Abbildung: Verlauf ohne Intervention

Kompartiment	Maximum	Zeitpunkt des Maximums
I	5076922	80
E	1437318	74
D	433135.2	89

- Verbleibende S: 99439.98 (0.7649229%)  
⇒ Durchseuchung
- Schritte, bis E und I kleiner 1: 260

Abbildung: Verlauf mit verstärktem Testen

$\delta$	Verbleibende S (in %)	I und E kleiner 1, ab
$\delta_{ur} \cdot 2^1$	1.252596	212 (+ 36)
$\delta_{ur} \cdot 2^2$	2.687945	196 (+ 36)
$\delta_{ur} \cdot 2^3$	7.447852	186 (+ 36)
$\delta_{ur} \cdot 2^4$	23.80182	211 (+ 36)
$\delta_{ur} \cdot 2^5$	76.87228	589 (+ 36)
$\delta_{ur} \cdot 2^6$	99.93514	60 (+ 36)

- ⇒ Erst ab einer Steigerung der Testeffizienz um Faktor  $2^5$  ist eine Eindämmung der Epidemie möglich
- ⇒ Bei einer Steigerung der Testeffizienz um Faktor  $2^6$  müssten „nur“ zwei Monate lang vermehrt getestet werden



## Verlauf mit verstärktem Testen: $\delta = 0.64$

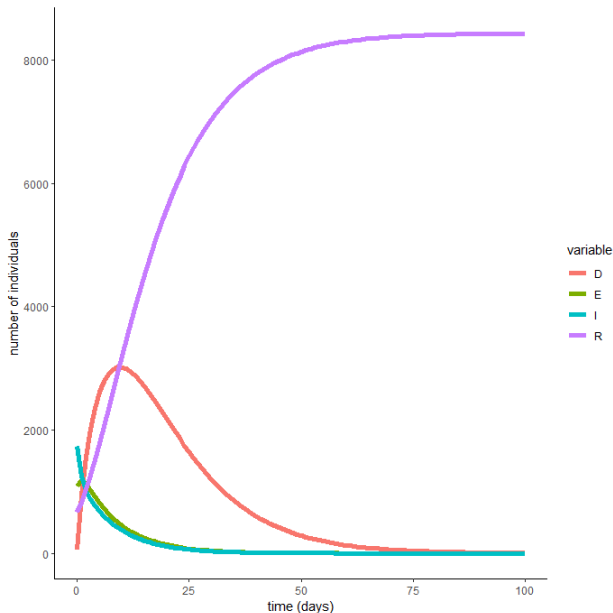


Abbildung: Verlauf mit verstärktem Testen:  $\delta = 0.64$

Kompartiment	Maximum	Zeitpunkt des Maximums
I	1731	0
E	1185.318	1
D	3016.812	9

Abbildung: Verlauf mit Kontaktreduktion

$\beta$	Verbleibende S (in %)	I und E kleiner 1, ab
$\beta_{ur} * 2^{-1}$	11.3365	338 (+ 36)
$\beta_{ur} * 2^{-2}$	65.28979	1184 (+ 36)
$1/12$	99.79345	898 (+ 36)

- ⇒ Kontaktreduktion verhindert Infektionen, zieht die Epidemie aber in die Länge
- ⇒ Um eine Durchseuchung zu verhindern, müssten die Kontakte fast drei Jahre lang reduziert werden

## Verlauf mit Kontaktreduktion: $\beta = 1/12$

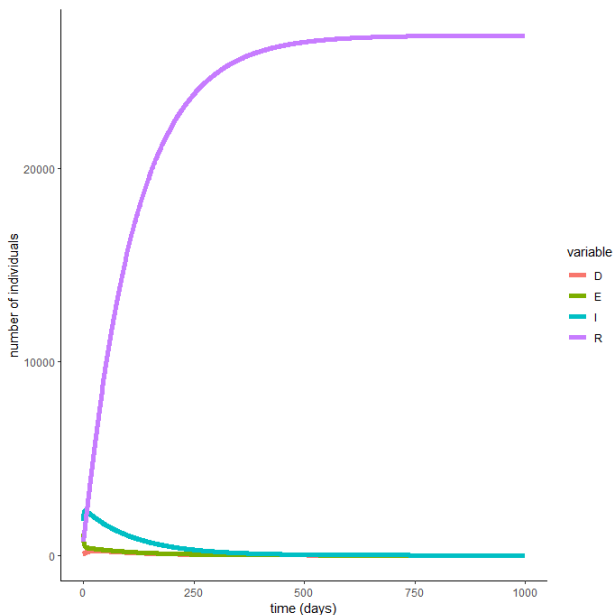


Abbildung: Verlauf mit Kontaktreduktion:  $\beta = 1/12$

Kompartiment	Maximum	Zeitpunkt des Maximums
I	2288.959	5 (+36)
E	1097	0 (+36)
D	228.0604	29 (+36)

**Abbildung:** Verlauf mit verstärktem Testen und Kontaktreduktion

$\delta$	Verbleibende S (in %)	I und E kleiner 1, ab
$\delta_{ur} \cdot 2^1$	99.88242	456 (+ 36)
$\delta_{ur} \cdot 2^2$	99.92746	230 (+ 36)
$\delta_{ur} \cdot 2^3$	99.95006	117 (+ 36)
$\delta_{ur} \cdot 2^4$	99.96137	60 (+ 36)
$\delta_{ur} \cdot 2^5$	99.96703	33 (+ 36)
$\delta_{ur} \cdot 2^6$	99.96986	20 (+ 36)

- ⇒ Bei extremer Kontaktreduktion wirkt sich die Testeffizienz kaum auf die Anzahl der Infektionen aus, dafür aber sehr stark auf die erforderliche Dauer der Beschränkungen
- ⇒ Die Testeffizienz müsste mindestens um Faktor  $2^4$  gesteigert werden, um die Dauer der Einschränkungen gering zu halten (ein bis zwei Monate)

## Verlauf mit Kontaktreduktion und verstärktem Testen: $\beta = 1/12$ und $\delta = 0.32$

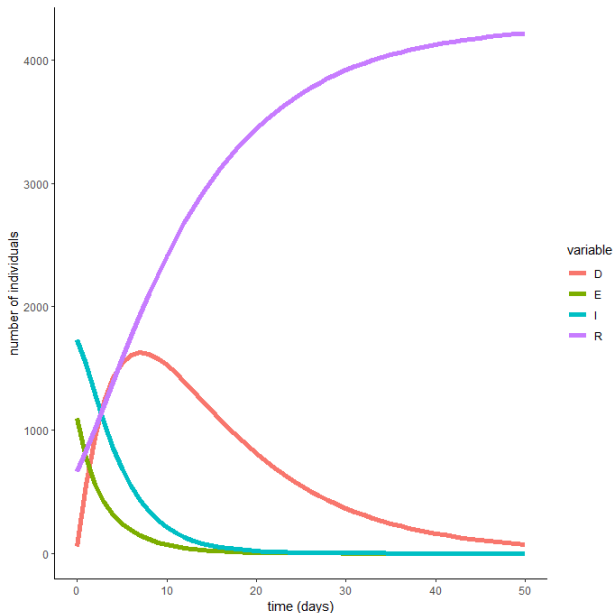


Abbildung: Verlauf mit Kontaktreduktion und verstärktem Testen:  $\beta = 1/12, \delta = 0.32$

Kompartiment	Maximum	Zeitpunkt des Maximums
I	1731	0
E	1097	0
D	1627.685	7



## Verlauf mit Kontaktreduktion und verstärktem Testen: $\beta = 1/12$ und $\delta = 0.64$

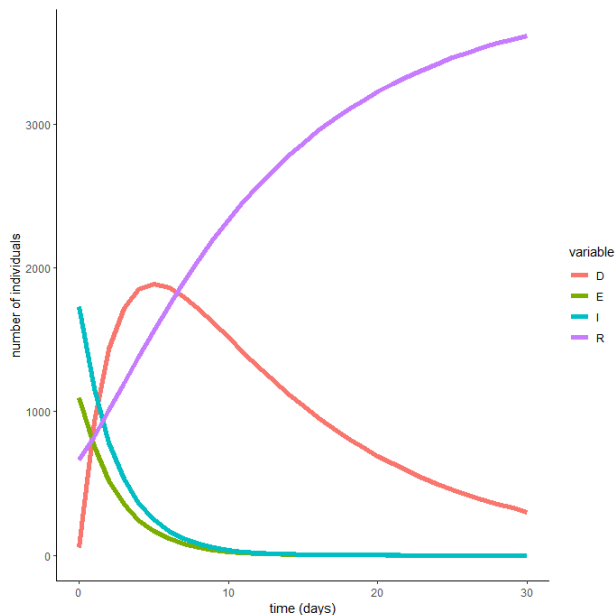


Abbildung: Verlauf mit Kontaktreduktion und verstärktem Testen:  $\beta = 1/12, \delta = 0.64$

Kompartiment	Maximum	Zeitpunkt des Maximums
I	1731	0
E	1097	0
D	1886.614	5

Abbildung: Verlauf mit verstärktem Testen und Kontaktreduktion

$\delta$	Fälle (gesamt)
$\delta_{ur} \cdot 2^1$	34473.27 (+ 348.5105)
$\delta_{ur} \cdot 2^2$	34566.07 (+ 348.5105)
$\delta_{ur} \cdot 2^3$	34596.05 (+ 348.5105)
$\delta_{ur} \cdot 2^4$	34584.94 (+ 348.5105)
$\delta_{ur} \cdot 2^5$	33786.95 (+ 348.5105)
$\delta_{ur} \cdot 2^6$	31079.05 (+ 348.5105)

⇒ Fehler bei Parameterwahl, in Xi'an gab es insgesamt nur etwa 2000 Fälle

⇒ Vermutung zur Fehlerquelle:

Lockdown in Xi'an bei  $t = 14$ , in Simulation bei  $t = 36$

Schätzung von  $\delta$  darf sich nicht zu stark auf den Anfangszeitpunkt der Maßnahmen auswirken

Abbildung: Zusammenfassung

Strategie	$\delta$	$\beta$	Dauer	Verbleibende S (in %)
–	0.01	$5.5/12$	8.5 Monate	0.7649229
T	0.64	$5.5/12$	2 Monate	99.93514
K	0.01	$1/12$	2.5 Jahre	99.79345
K + T	0.32	$1/12$	1 Monat	99.96703
K + T	0.64	$1/12$	3 Wochen	99.96986