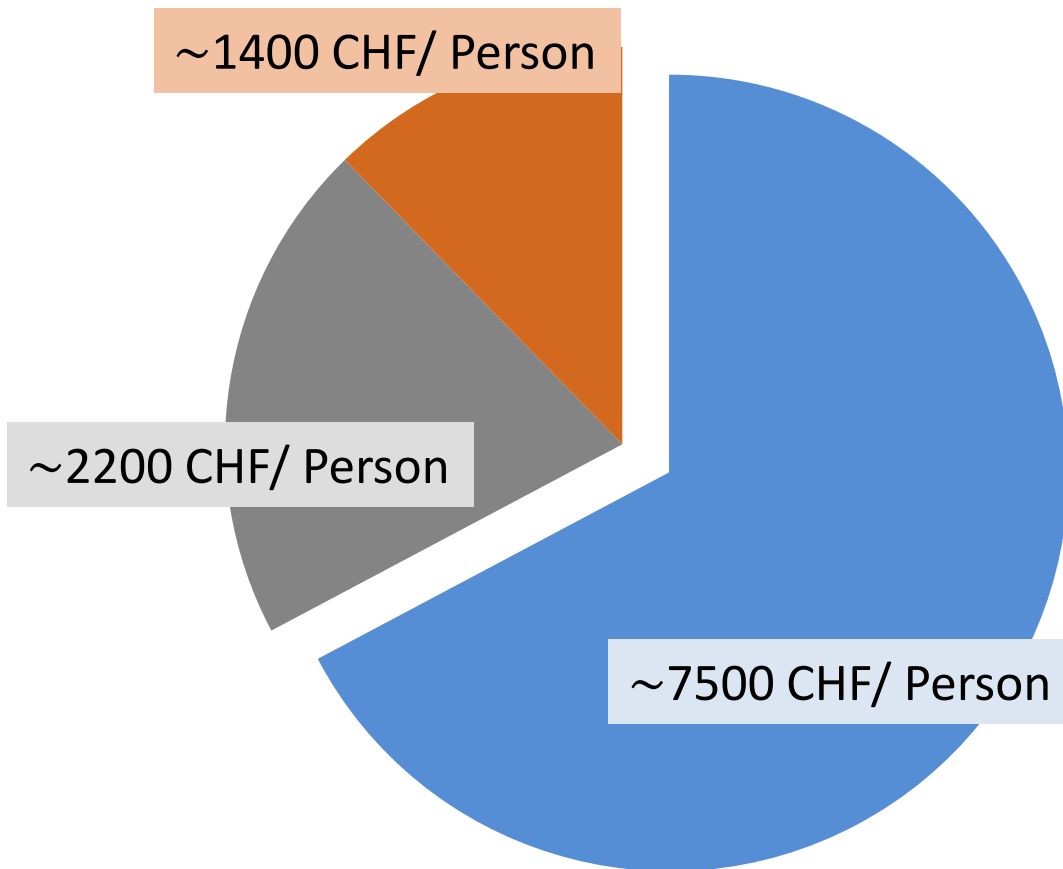


# Rehabilitationsplanung von Kanalnetzen unter Unsicherheit

Christoph Egger und Max Maurer

Aqua Urbanica 2015, 7.-8. Oktober 2015, Stuttgart

# Hintergrund



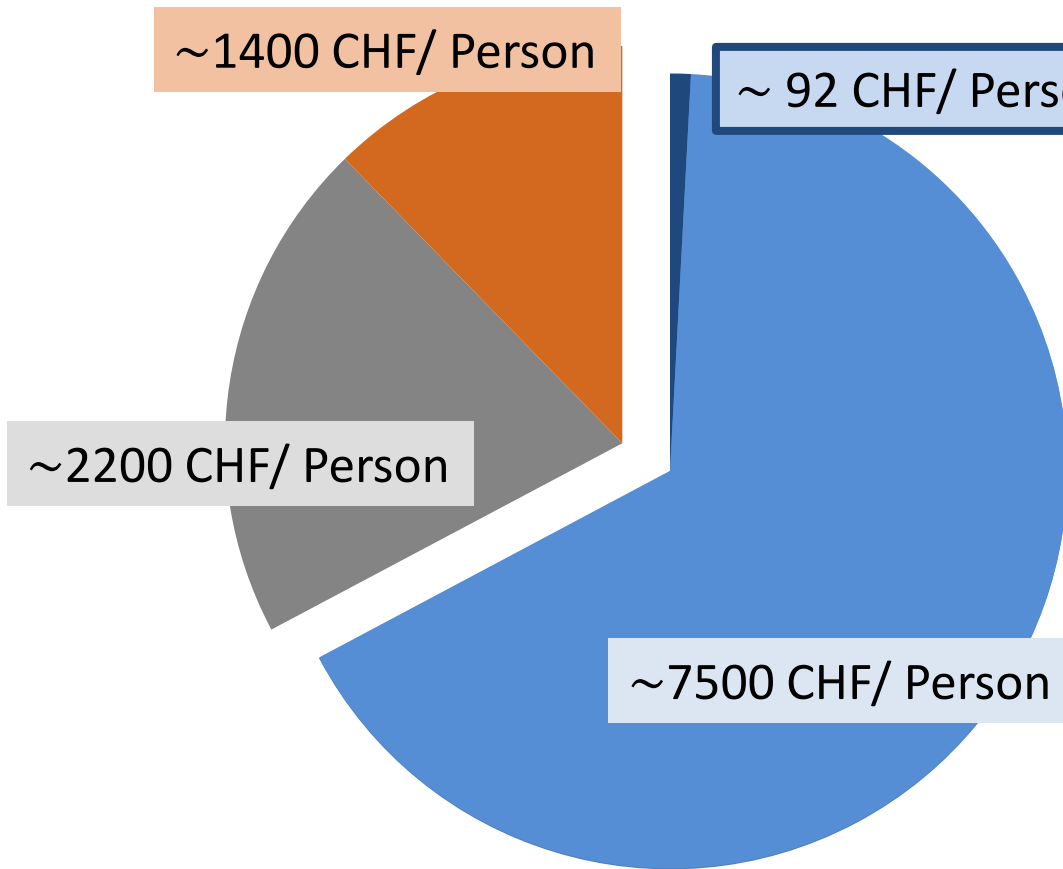
(Maurer und Herlyn, 2006)



(Tagesanzeiger, 2014)

- Öffentliche Kanalisation
- Private Kanalisation
- Abwasserreinigung

# Hintergrund

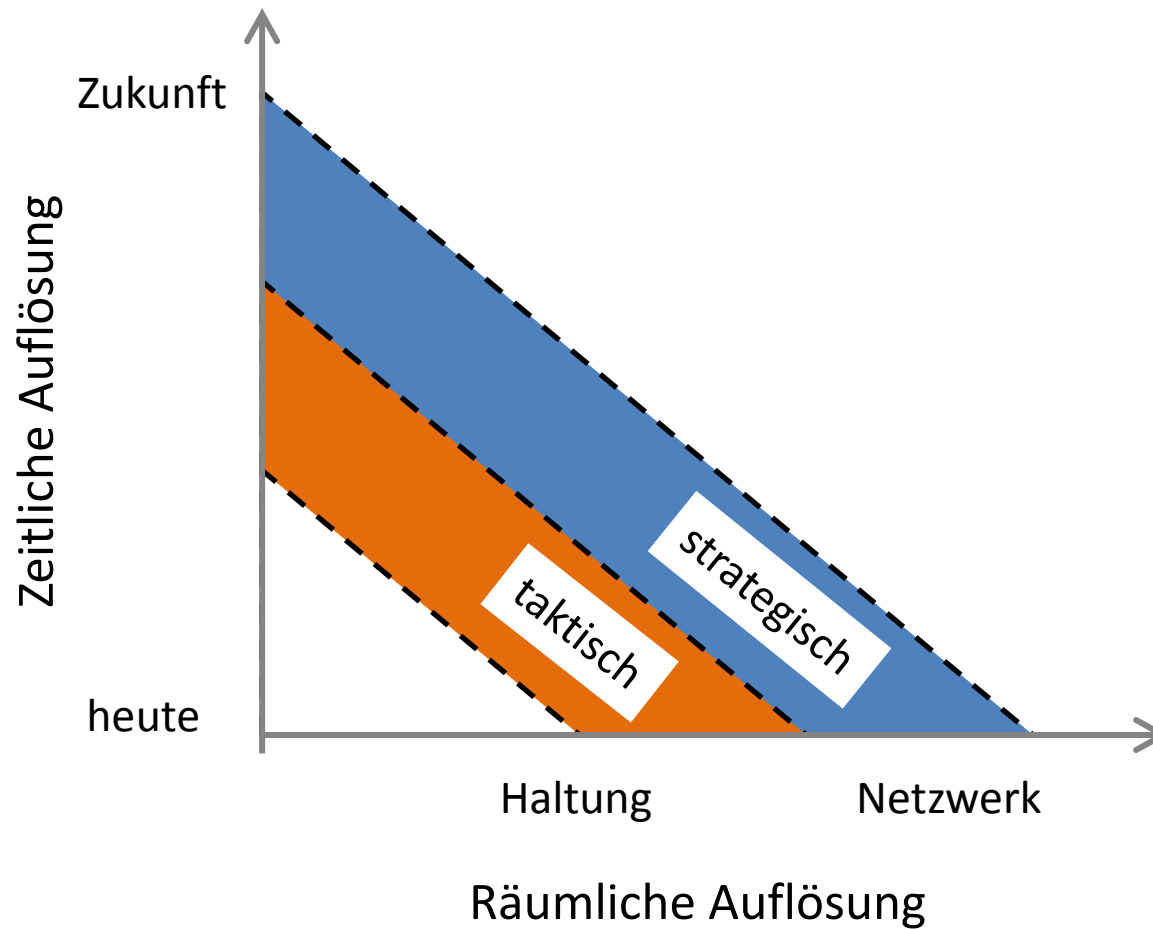


(Tagesanzeiger, 2014)

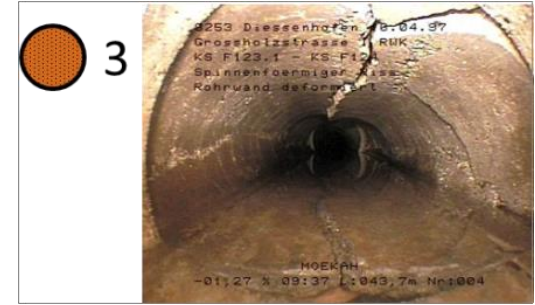
- Reinvestitionsbedarf  
öffentliche Kanalisation
- Öffentliche Kanalisation
- Private Kanalisation
- Abwasserreinigung

(Maurer und Herlyn, 2006)

... auf verschiedenen Ebenen

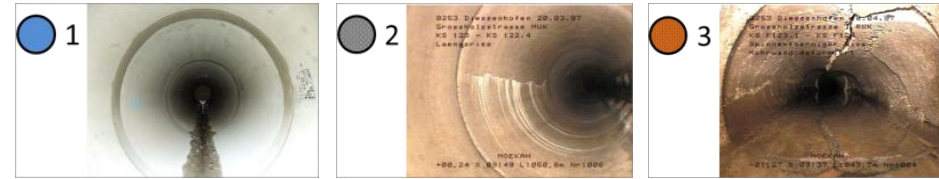


# Alterung

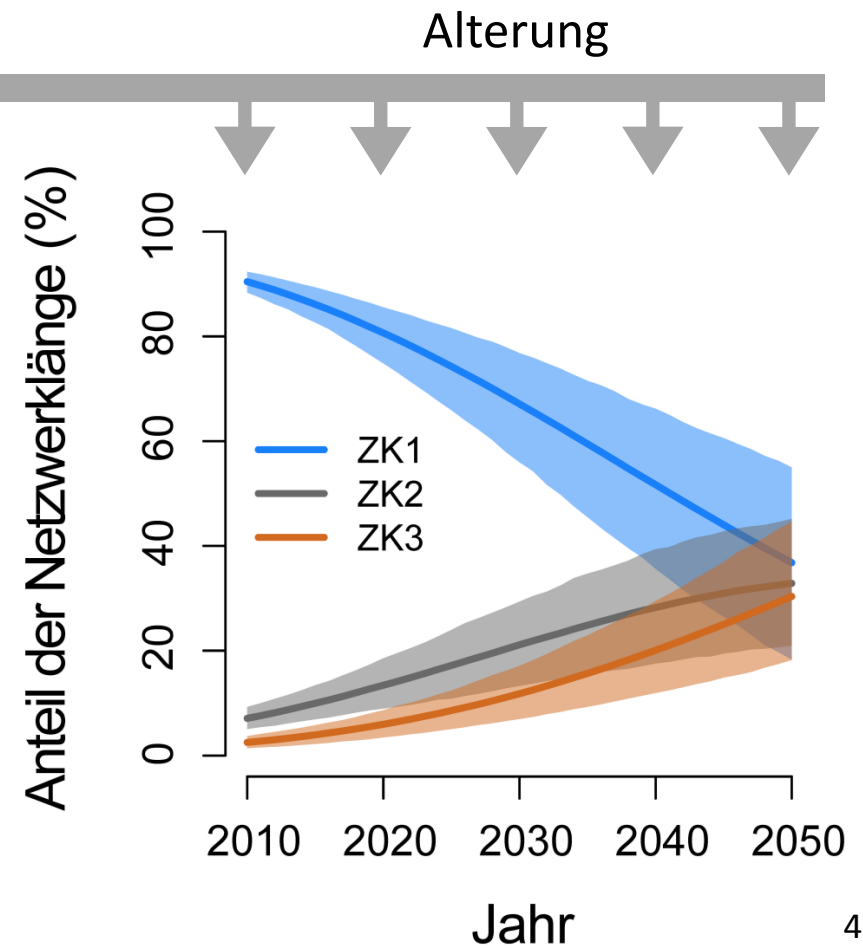


(Mökah AG, 2003)

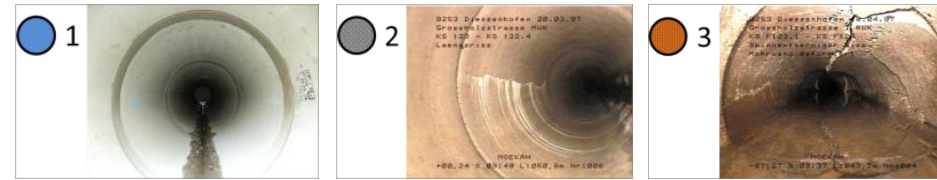
# Alterung



Probabilistisches Alterungsmodell



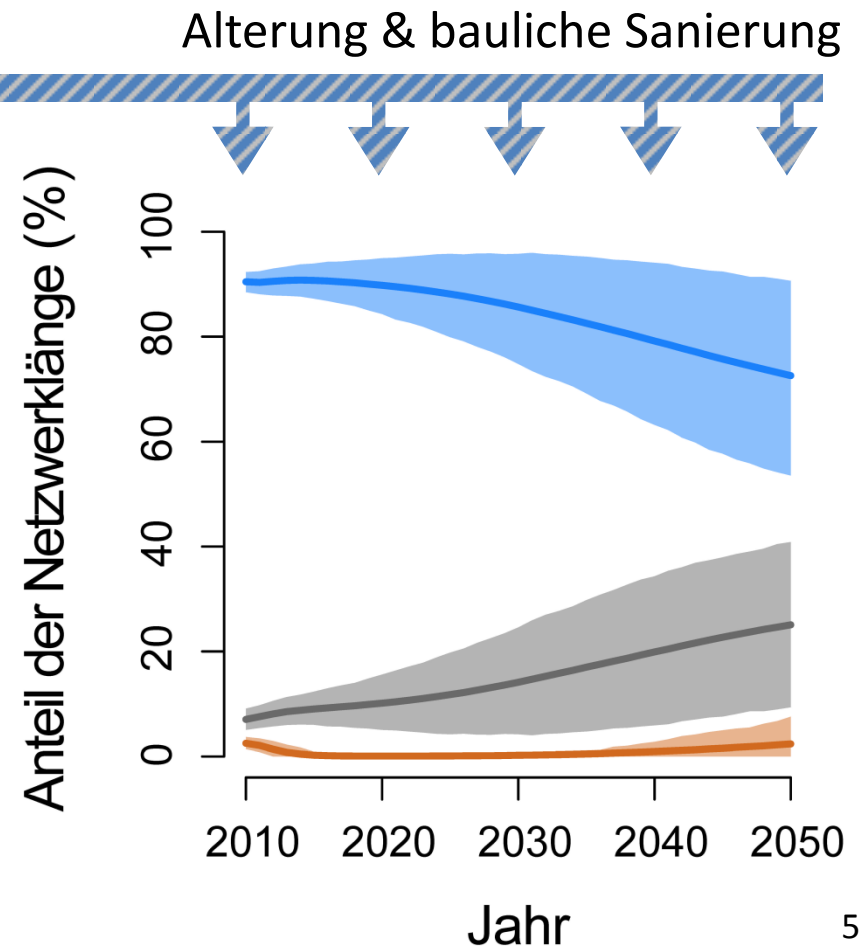
# Alterung & bauliche Sanierung



## Probabilistisches Alterungsmodell

Mögliche Sanierungsstrategie(n), z.B.:

- Gegebenes Budget → Priorisierung
- Mindestzustand



# Einfluss der hydraulischen Sanierung?

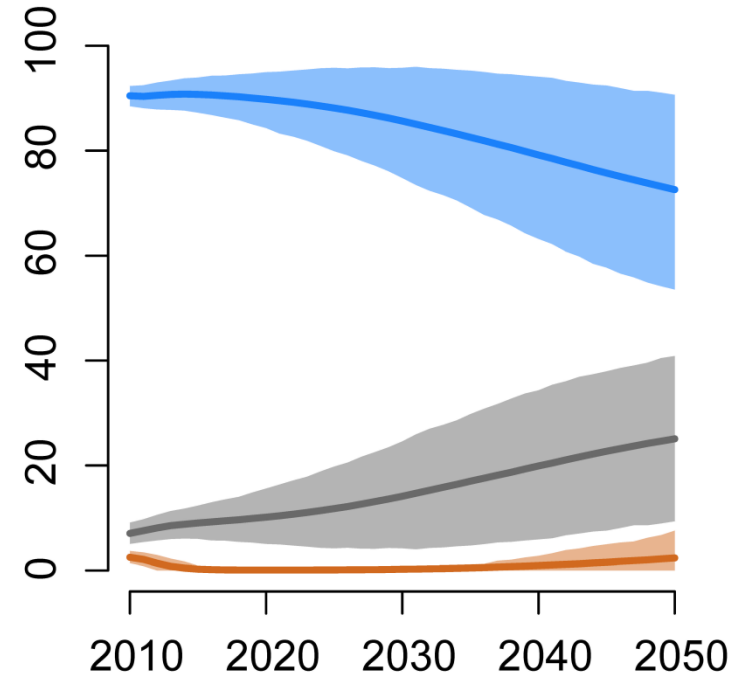
Probabilistisches Alterungsmodell

Mögliche Sanierungsstrategie(n), z.B.:

- Gegebenes Budget → Priorisierung
- Mindestzustand

Hydraulische Sanierungsbedarf

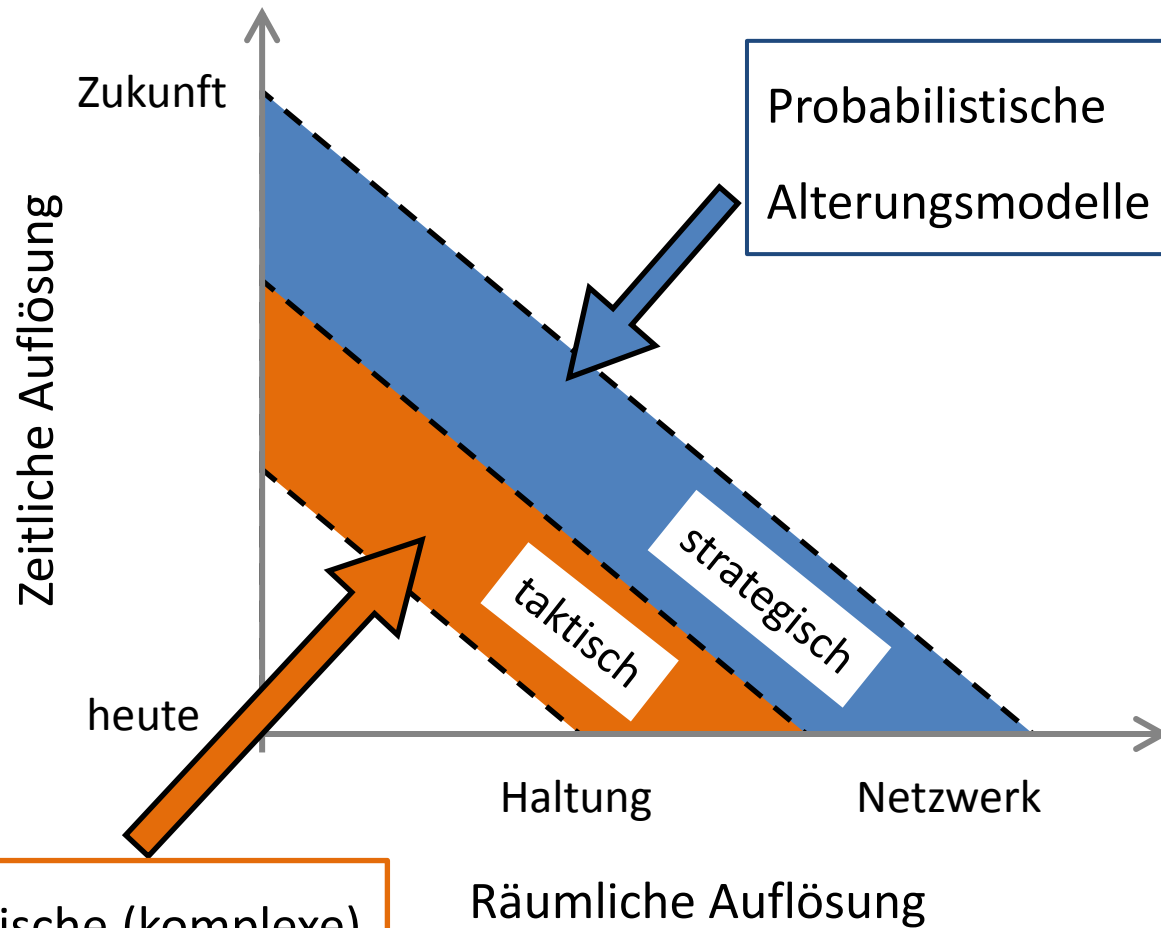
Anteil der Netzwerklänge (%)



Jahr



... auf verschiedenen Ebenen



Deterministische (komplexe)  
hydraulische Modelle

Probabilistische  
Alterungsmodelle

Haltung

Netzwerk

Räumliche Auflösung

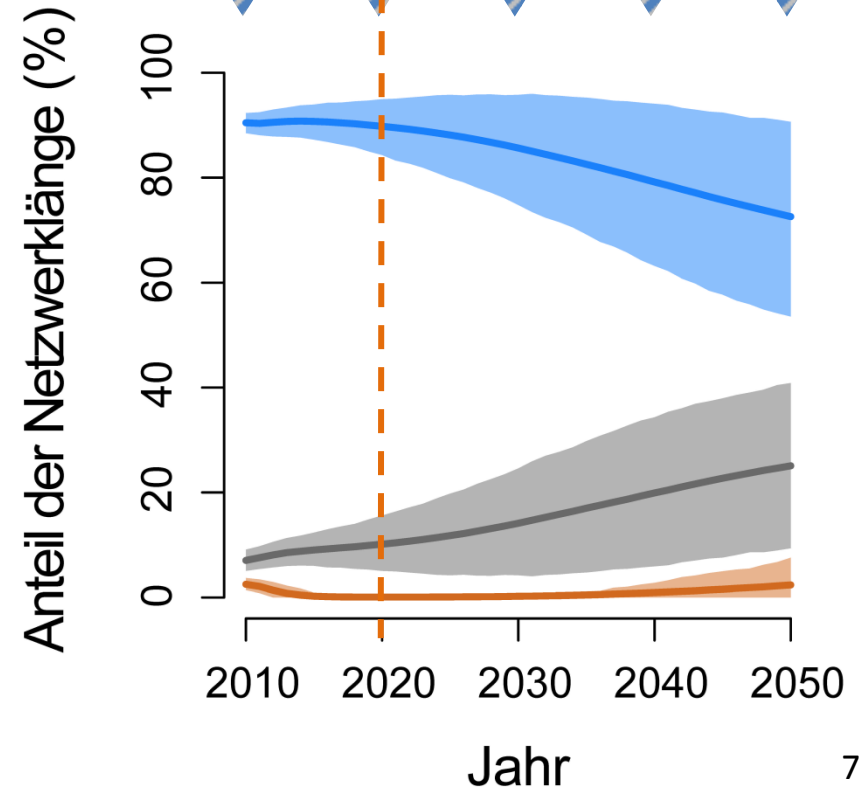
# Einfluss der hydraulischen Sanierung?

Probabilistisches Alterungsmodell

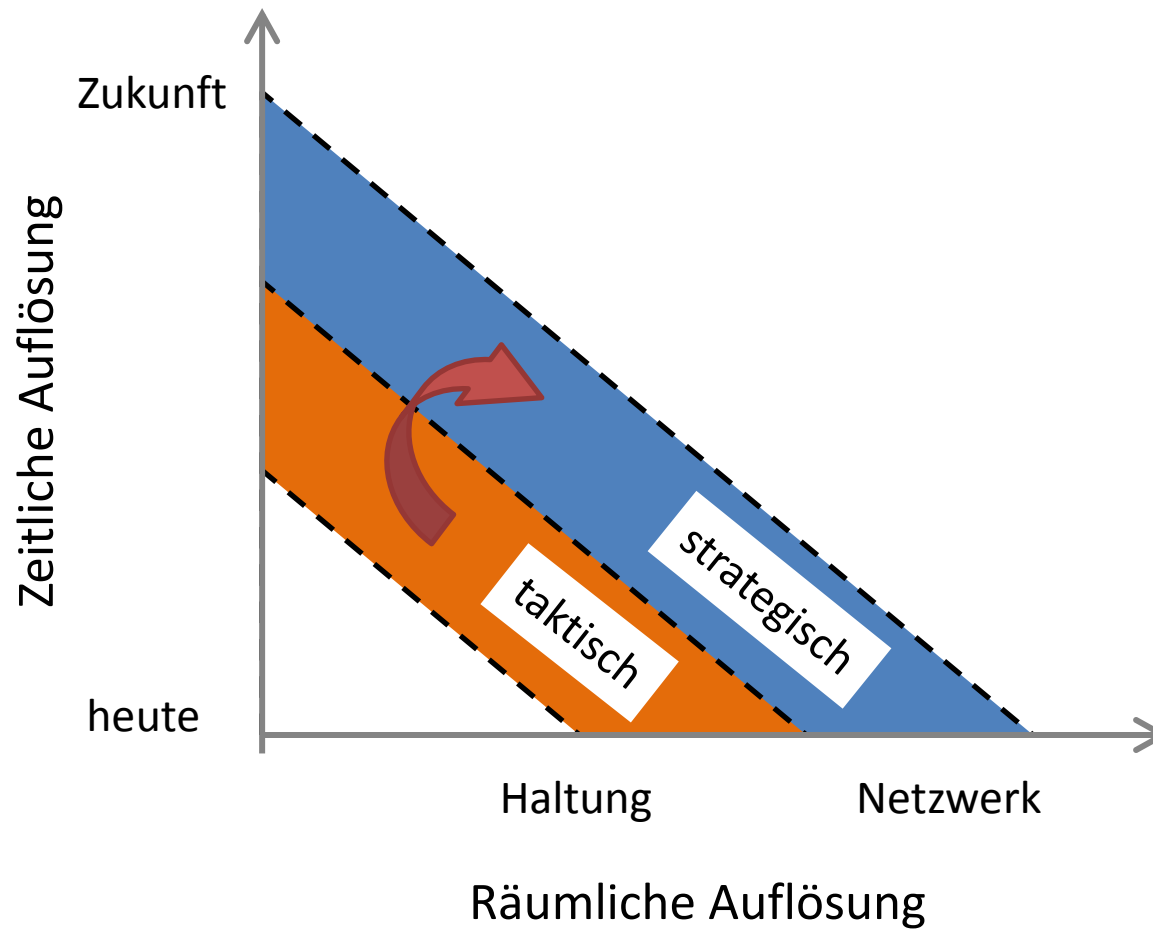
Mögliche Sanierungsstrategie(n), z.B.:

- Gegebenes Budget → Priorisierung
- Mindestzustand

Hydraulische Sanierungsbedarf



... auf verschiedenen Ebenen

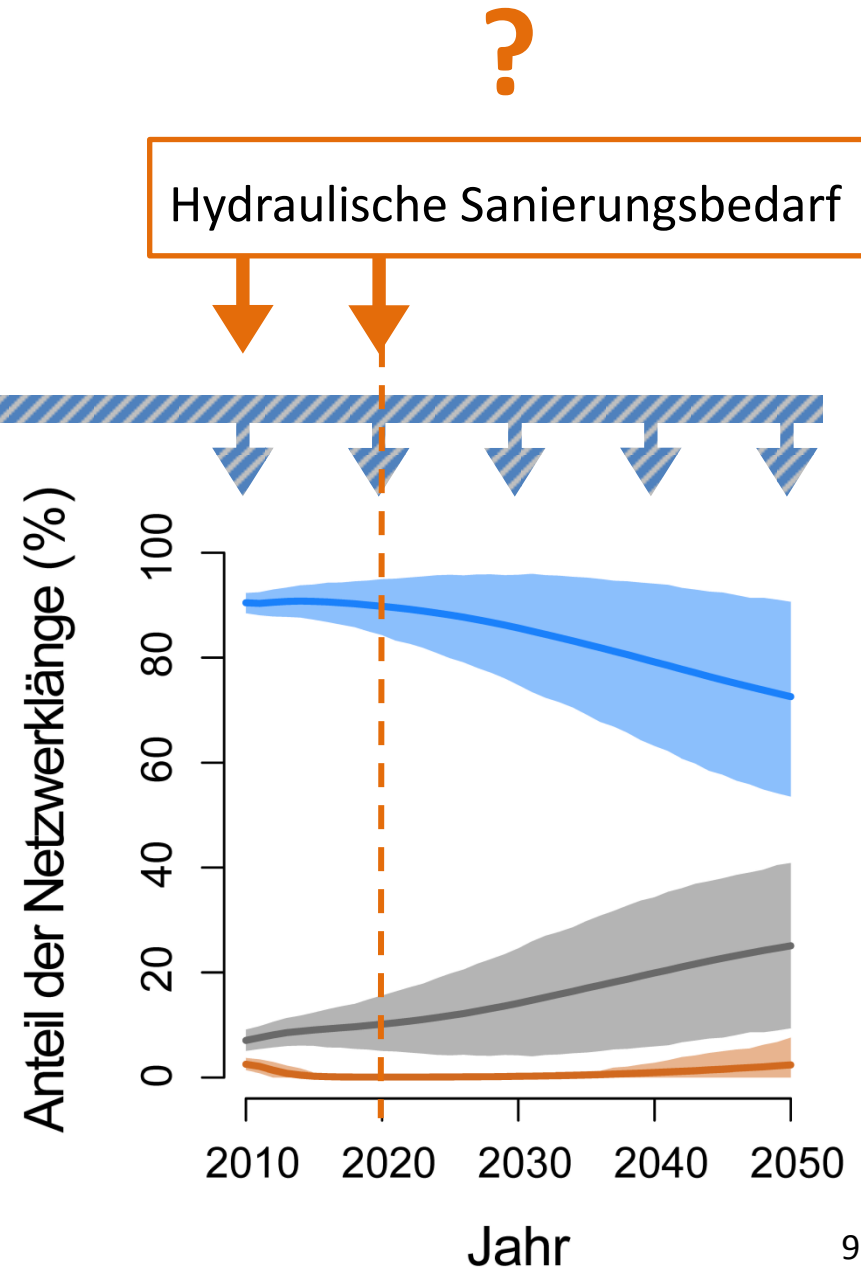


# Hydraulischer Sanierungsbedarf

Probabilistisches Alterungsmodell

Mögliche Sanierungsstrategie(n), z.B.:

- Gegebenes Budget → Priorisierung
- Mindestzustand



?

Hydraulische Sanierungsbedarf

Z.B.: DWA-A 118, Hydraulische Bemessung  
und Nachweis von Entwässerungssystemen



$$r_{max} = 0.1 \text{ Jahre}^{-1}$$

?

Hydraulische Sanierungsbedarf



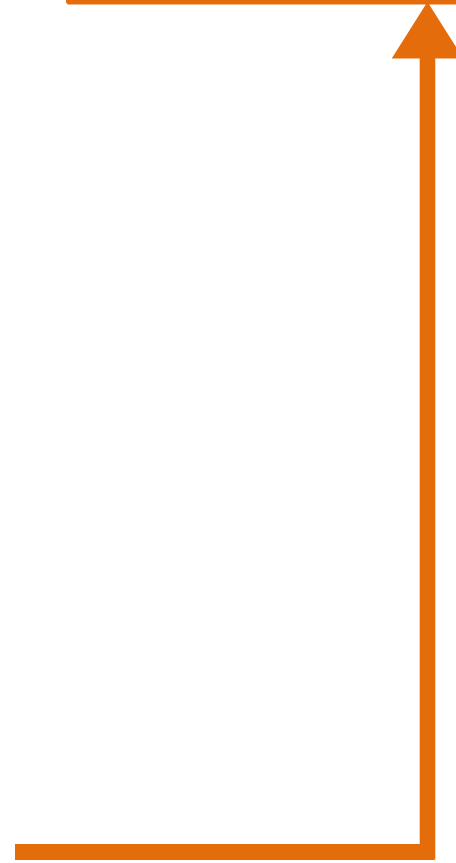
Lokale Niederschlagsdaten

Tobias Doppler (2014)



$$r_{max} = 0.1 \text{ Jahre}^{-1}$$

Abschätzung:  $\hat{r} = \frac{k}{l}$



# Hydraulischer Sanierungsbedarf

Klimawandel & -variabilität



Lokale Niederschlagsdaten



$$r_{max} = 0.1 \text{ Jahre}^{-1}$$

Abschätzung:  $\hat{r} = \frac{k}{l}$

?

Hydraulische Sanierungsbedarf



# Downscaling

Klimawandel & -variabilität



Lokale Niederschlagsdaten



$$r_{max} = 0.1 \text{ Jahre}^{-1}$$

Abschätzung:  $\hat{r} = \frac{k}{l}$

Treibhausgas-  
emissionen

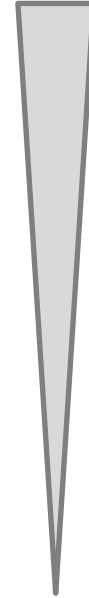


Klimamodelle



Stochastisches  
«Downscaling»

Zeitlich-  
räumliche  
Skala





# Niederschlagsbezogene Unsicherheiten

Klimawandel & -variabilität



Lokale Niederschlagsdaten



$$r_{max} = 0.1 \text{ Jahre}^{-1}$$

Abschätzung:  $\hat{r} = \frac{k}{l}$

Treibhausgas-  
emissionen



Klimamodelle



Stochastisches  
«Downscaling»

Szenario-  
unsicherheit

Modell-  
unsicherheit

Modell-  
unsicherheit



epistemisch

# Niederschlagsbezogene Unsicherheiten

Klimawandel & -variabilität



Lokale Niederschlagsdaten



$$r_{max} = 0.1 \text{ Jahre}^{-1}$$

Abschätzung:  $\hat{r} = \frac{k}{l}$

Treibhausgas-  
emissionen



Klimamodelle



Stochastisches  
«Downscaling»

Szenario-  
unsicherheit

Modell-  
unsicherheit

Modell-  
unsicherheit



epistemisch



aleatorisch

# Niederschlagsbezogene Unsicherheiten

Klimawandel & -variabilität



Lokale Niederschlagsdaten



$$r_{max} = 0.1 \text{ Jahre}^{-1}$$

Abschätzung:  $\hat{r} = \frac{k}{l}$



Treibhausgas-  
emissionen

( Szenario-  
unsicherheit )



Klimamodelle

Modell-  
unsicherheit ✓



Stochastisches  
«Downscaling»

Modell-  
unsicherheit ☹️



epistemisch



aleatorisch

# Niederschlagsbezogene Unsicherheiten

Klimawandel & -variabilität



Lokale Niederschlagsdaten

«Kleine historische Stichproben  
extremer Niederschlags-  
eigenschaften»



$$r_{max} = 0.1 \text{ Jahre}^{-1}$$

Abschätzung:  $\hat{r} = \frac{k}{l}$

Treibhausgas-  
emissionen



Klimamodelle



Stochastisches  
«Downscaling»

( Szenario-  
unsicherheit )

Modell-  
unsicherheit ✓

Modell-  
unsicherheit ☹️



epistemisch



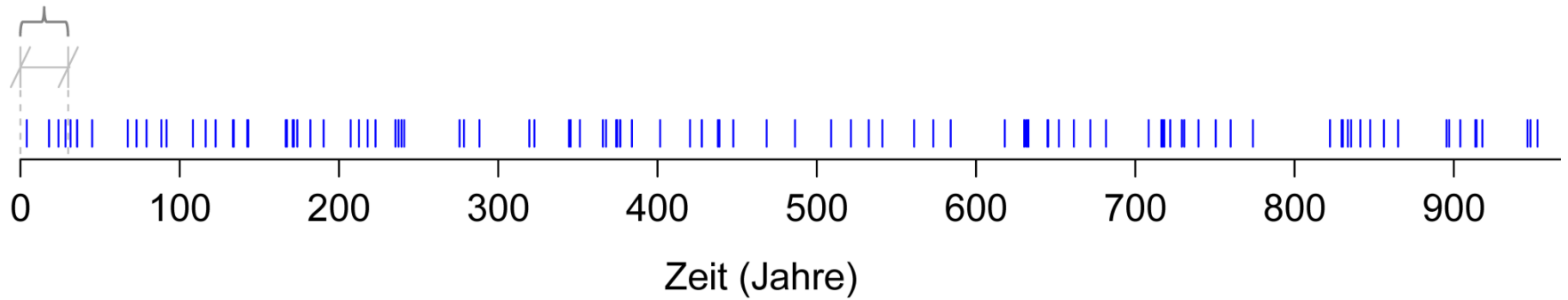
aleatorisch

# Hydraulischer Sanierungsbedarf



$$r = r_{max} = 0.1 \text{ a}^{-1}$$

$l = 30 \text{ Jahre}$



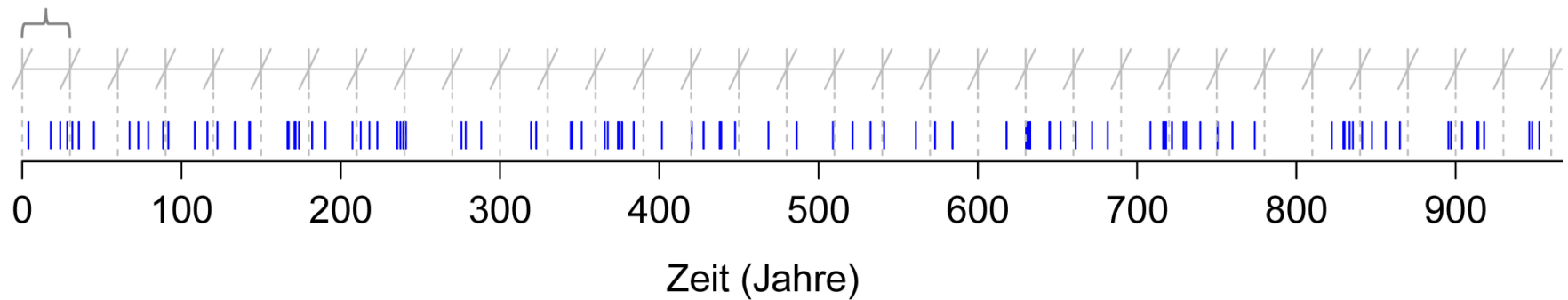
# Hydraulischer Sanierungsbedarf



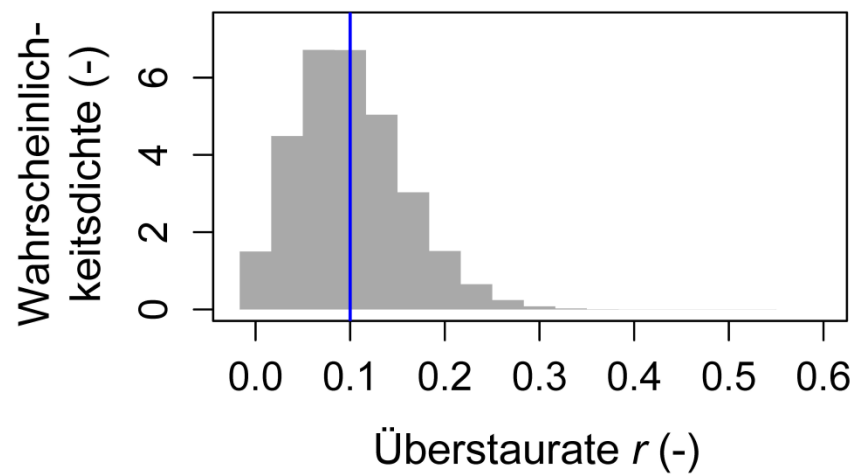
$$r = r_{max} = 0.1 \text{ a}^{-1}$$

Abschätzung:  $\hat{r} = \frac{k}{l}$

$l = 30$  Jahre



(a) 30-jährige Beobachtungsdauer



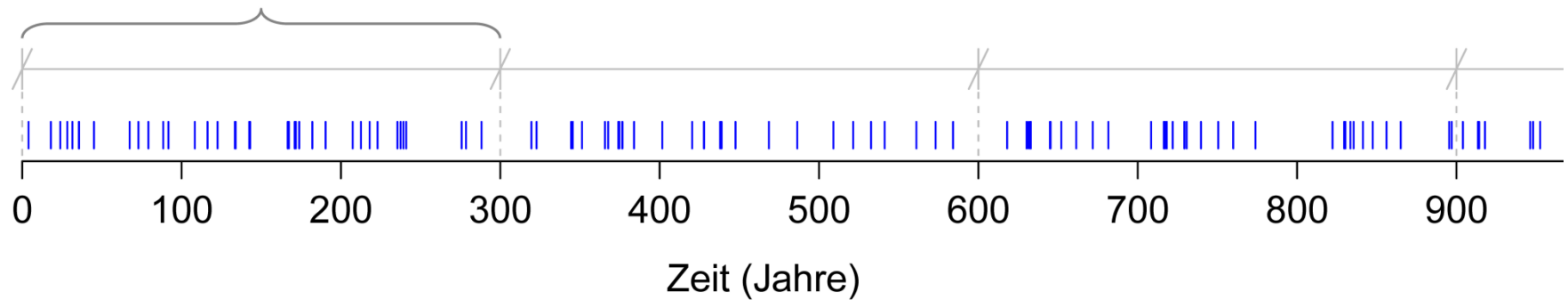
# Hydraulischer Sanierungsbedarf



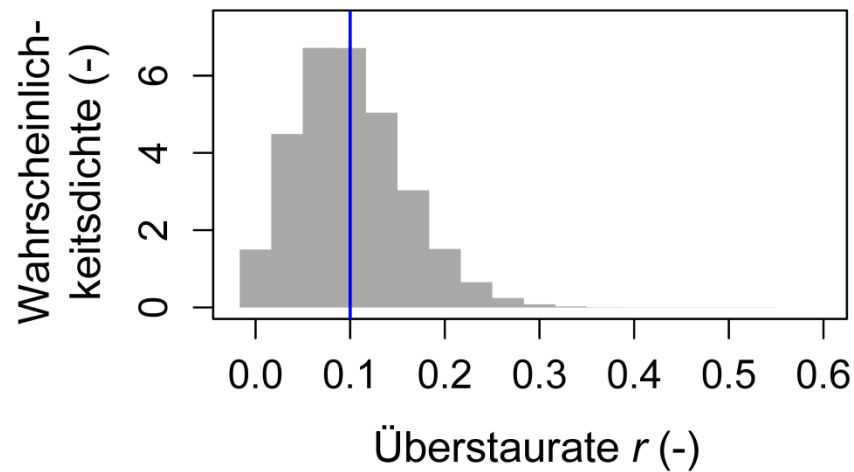
$$r = r_{max} = 0.1 \text{ a}^{-1}$$

Abschätzung:  $\hat{r} = \frac{k}{l}$

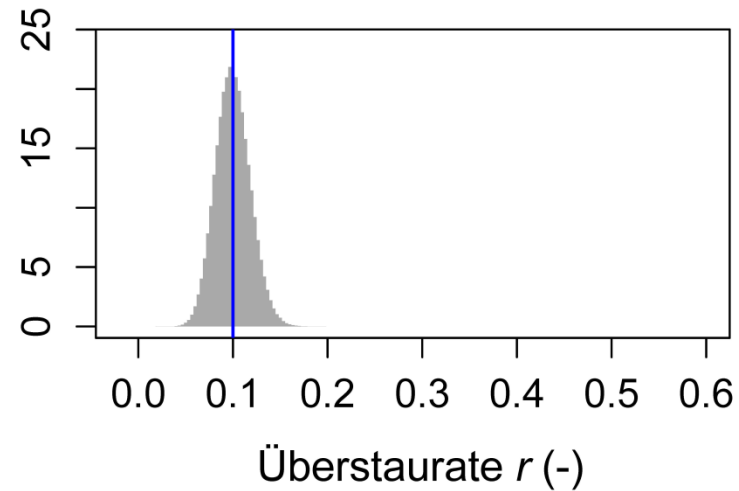
$l = 300 \text{ Jahre}$



(a) 30-jährige Beobachtungsdauer



(b) 300-jährige Beobachtungsdauer



# Niederschlagsbezogene Unsicherheiten

Klimawandel & -variabilität



Lokale Niederschlagsdaten

«Kleine historische Stichproben  
extremer Niederschlags-  
eigenschaften»



$$r_{max} = 0.1 \text{ Jahre}^{-1}$$

Abschätzung:  $\hat{r} = \frac{k}{l}$

Treibhausgas-  
emissionen



Klimamodelle



Stochastisches  
«Downscaling»



«Viele» Nieder-  
schlagsserien

( Szenario-  
unsicherheit )

Modell-  
unsicherheit ✓

Modell-  
unsicherheit ☹️

Stichproben-  
unsicherheit ✓



reduzierbar

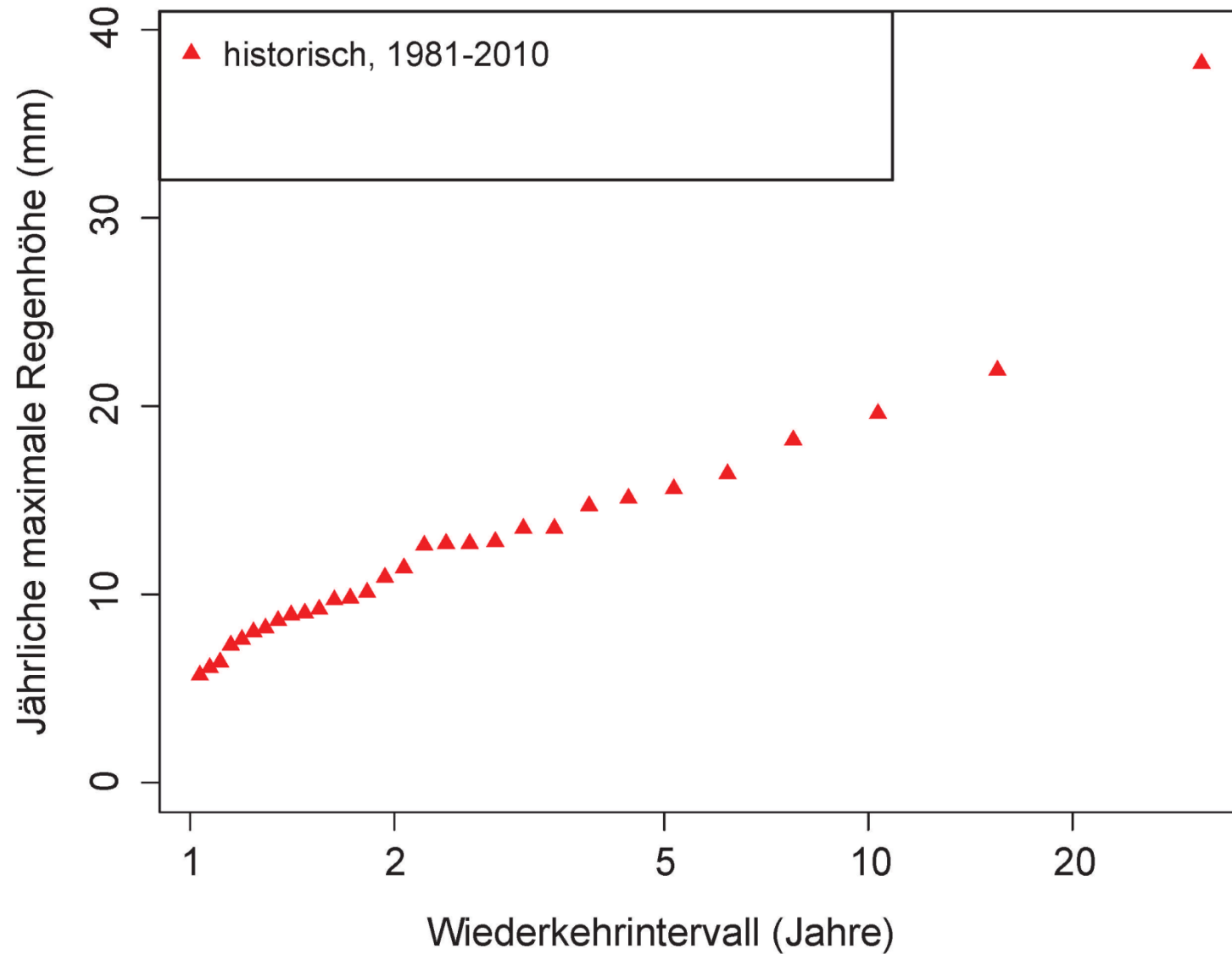


aleatorisch



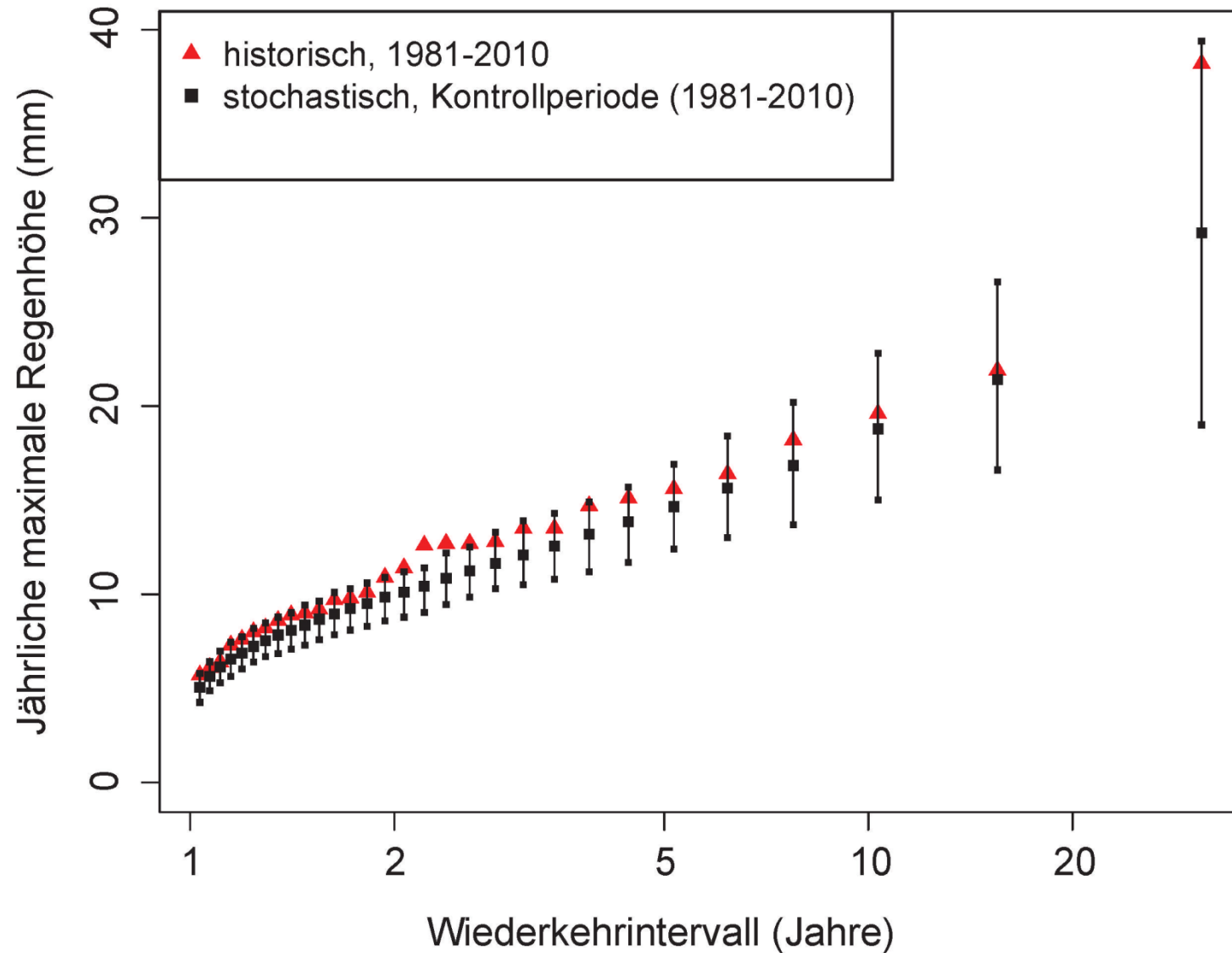
# Extreme Niederschlagseigenschaften

Dauerstufe: 10 min



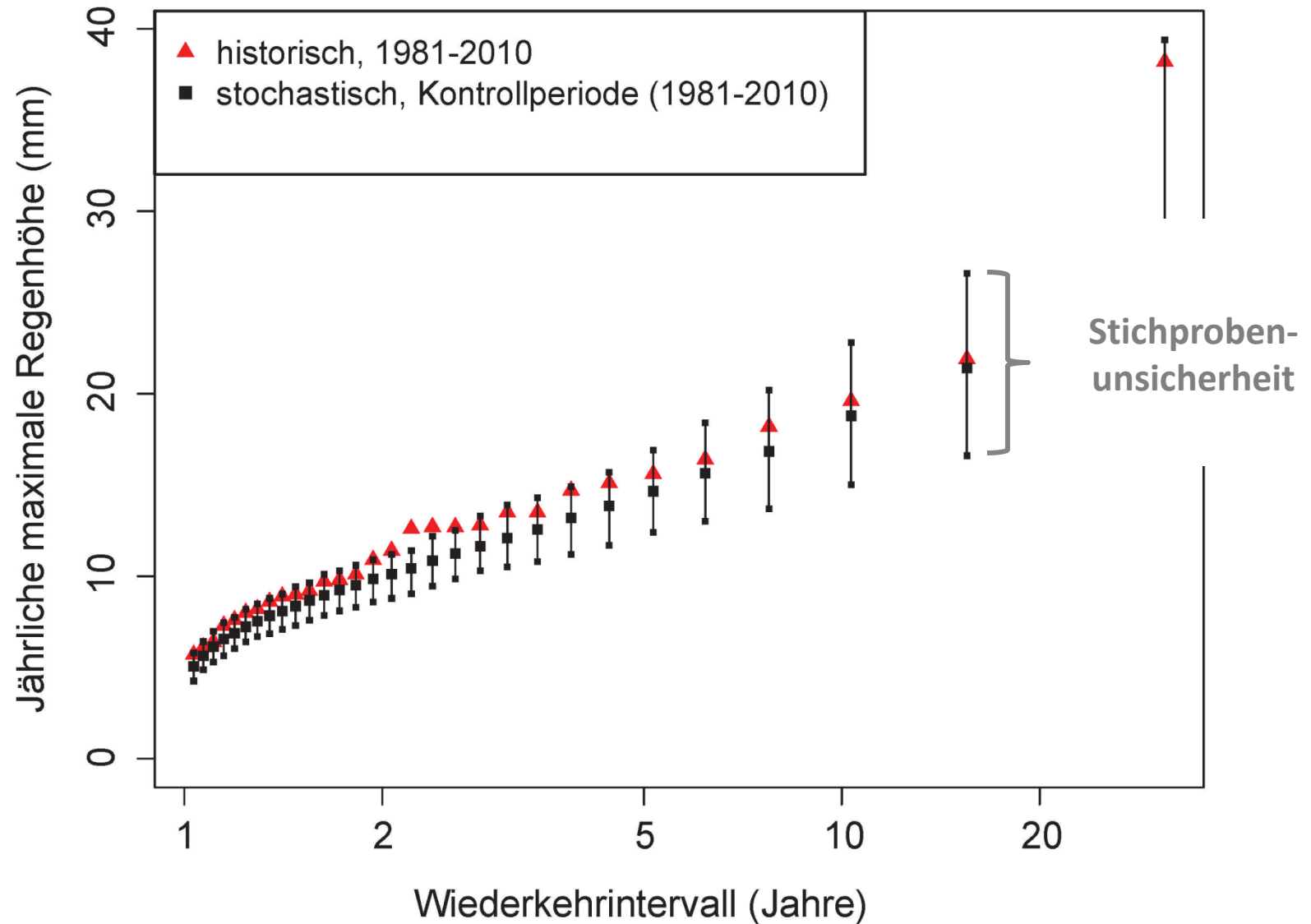
# Extreme Niederschlagseigenschaften

Dauerstufe: 10 min



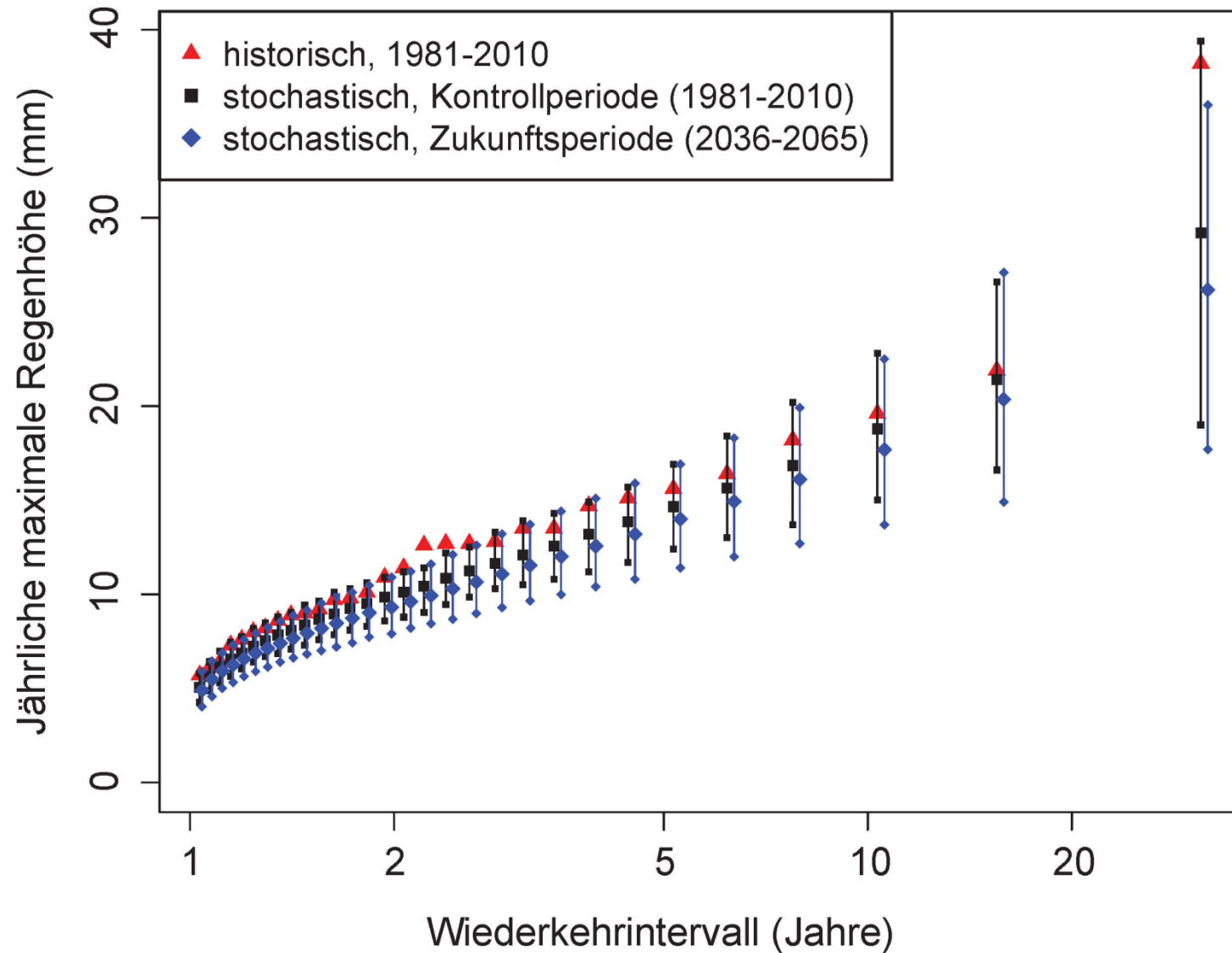
# Extreme Niederschlagseigenschaften

Dauerstufe: 10 min



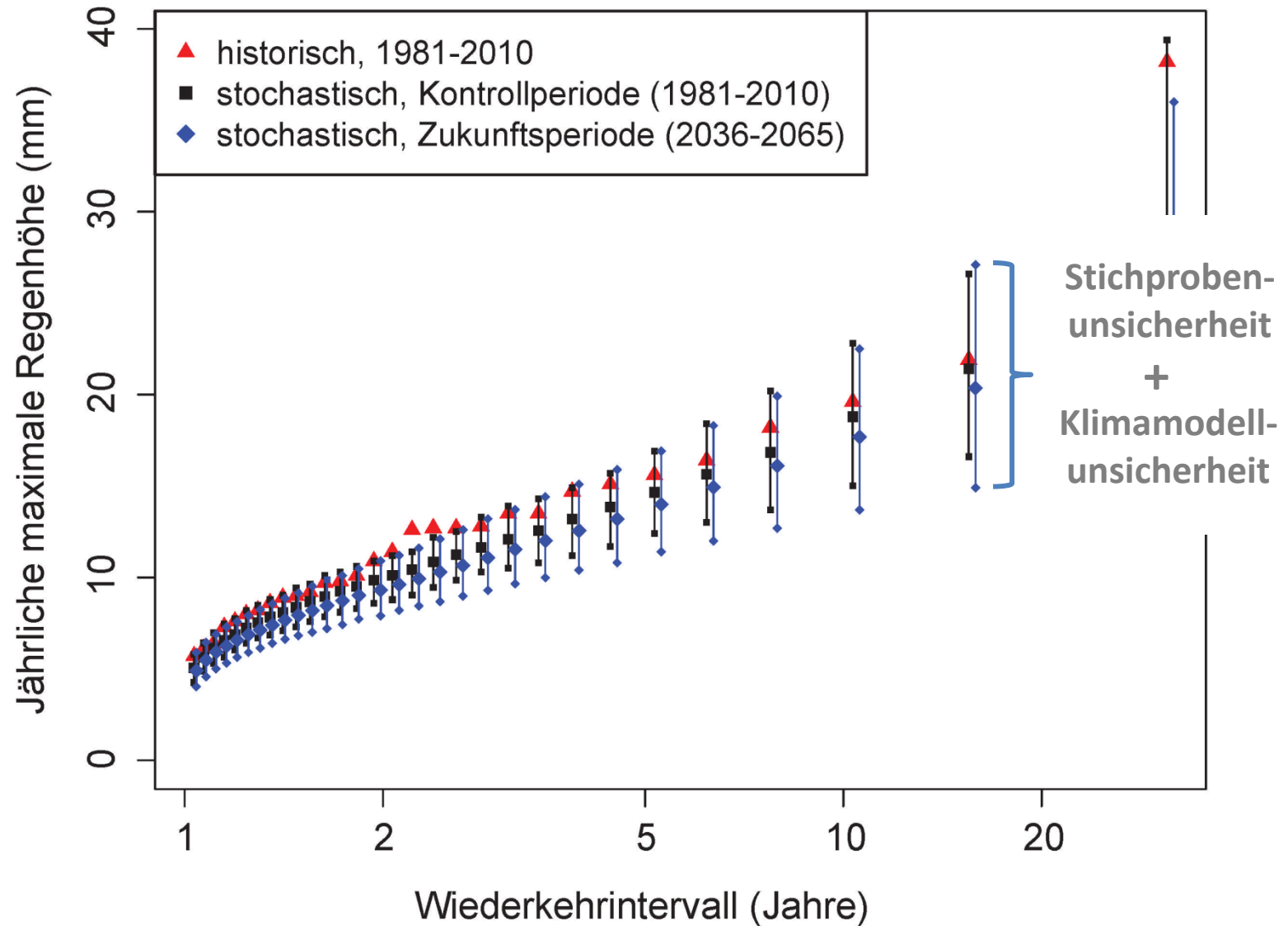
# Extreme Niederschlagseigenschaften

Dauerstufe: 10 min



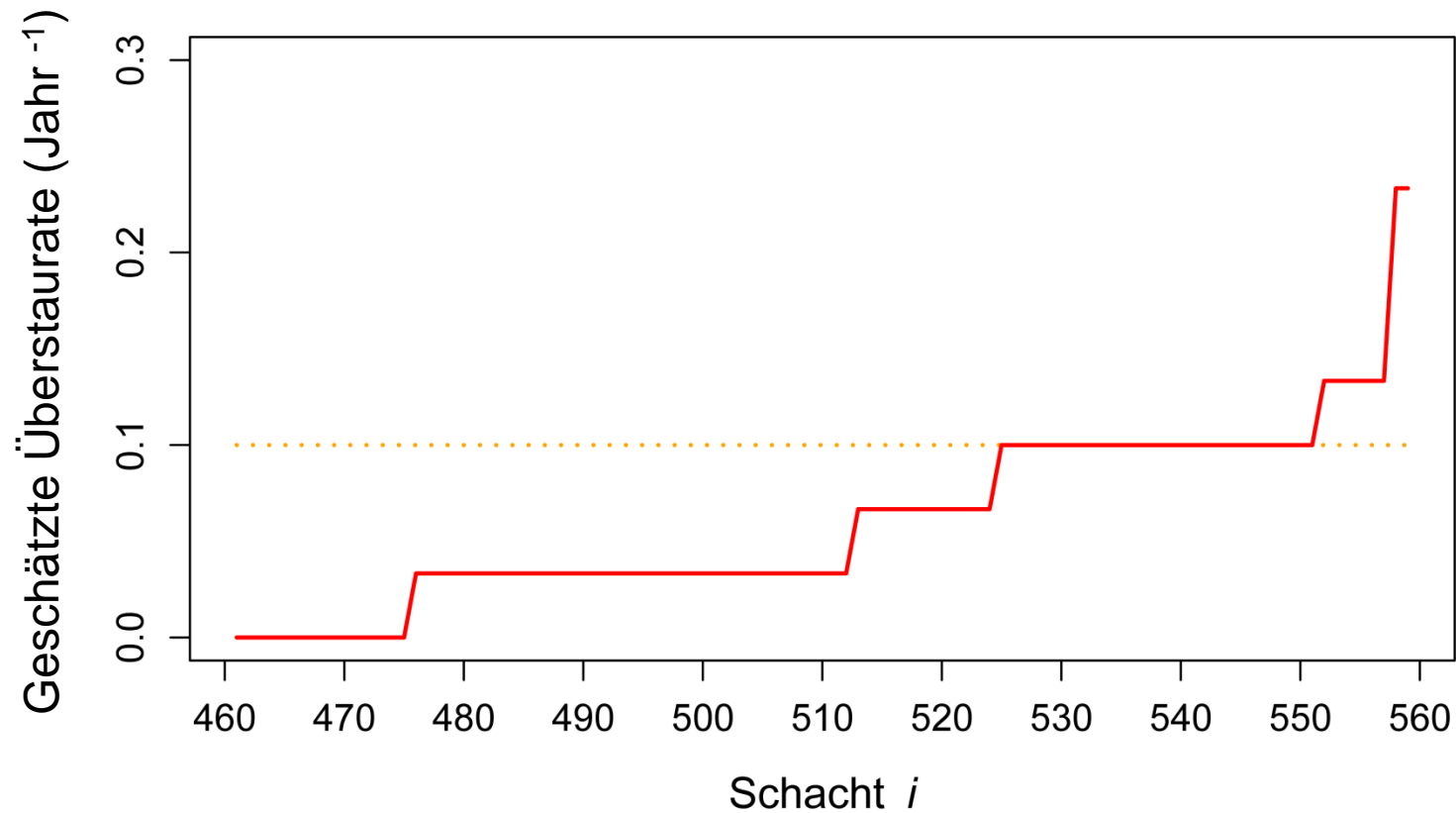
# Extreme Niederschlagseigenschaften

Dauerstufe: 10 min



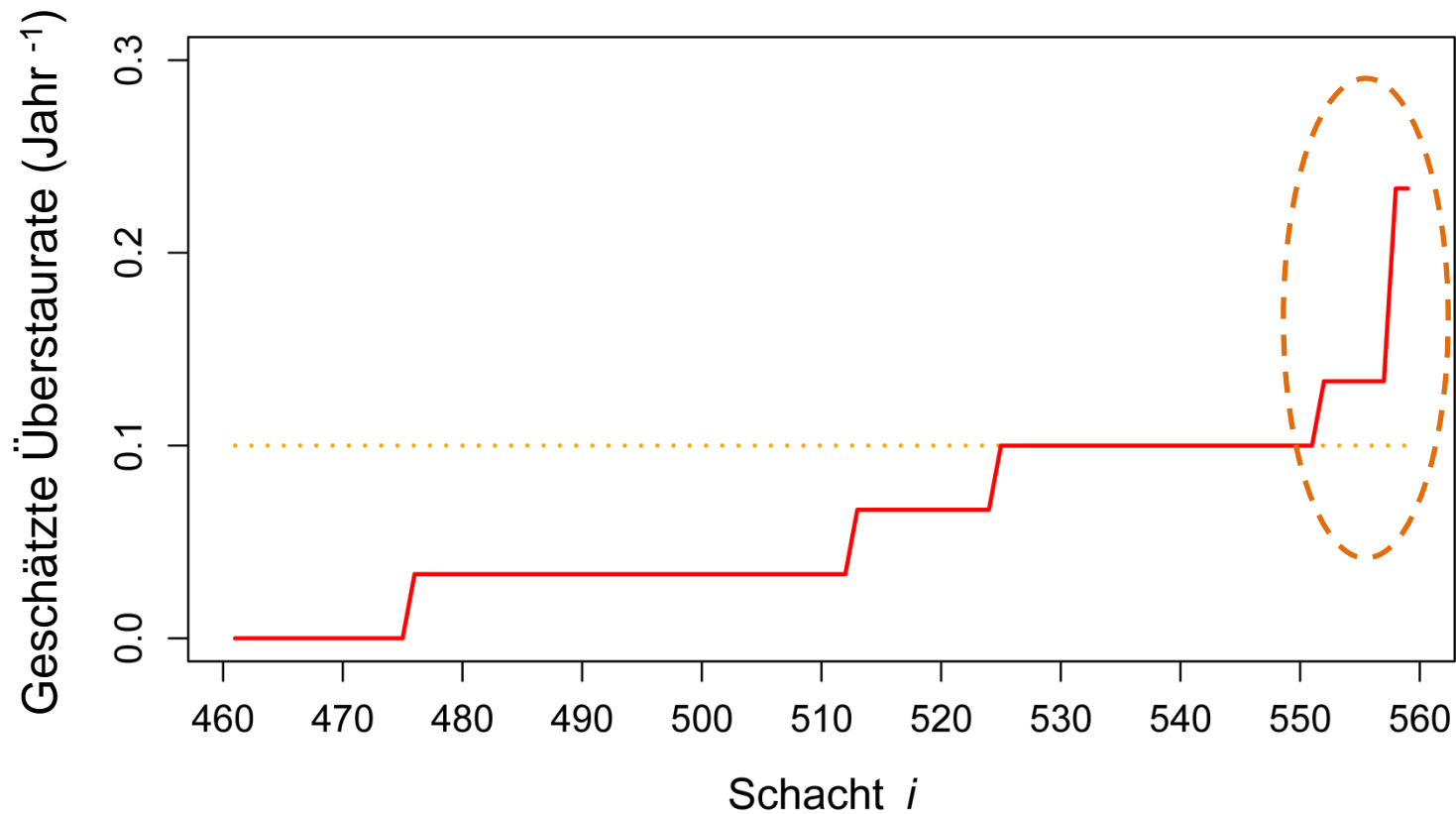
# Geschätzte Überstauraten, (i) historische Serie

— historisch, 1981-2010



# Geschätzte Überstauraten, (i) historische Serie

— historisch, 1981-2010

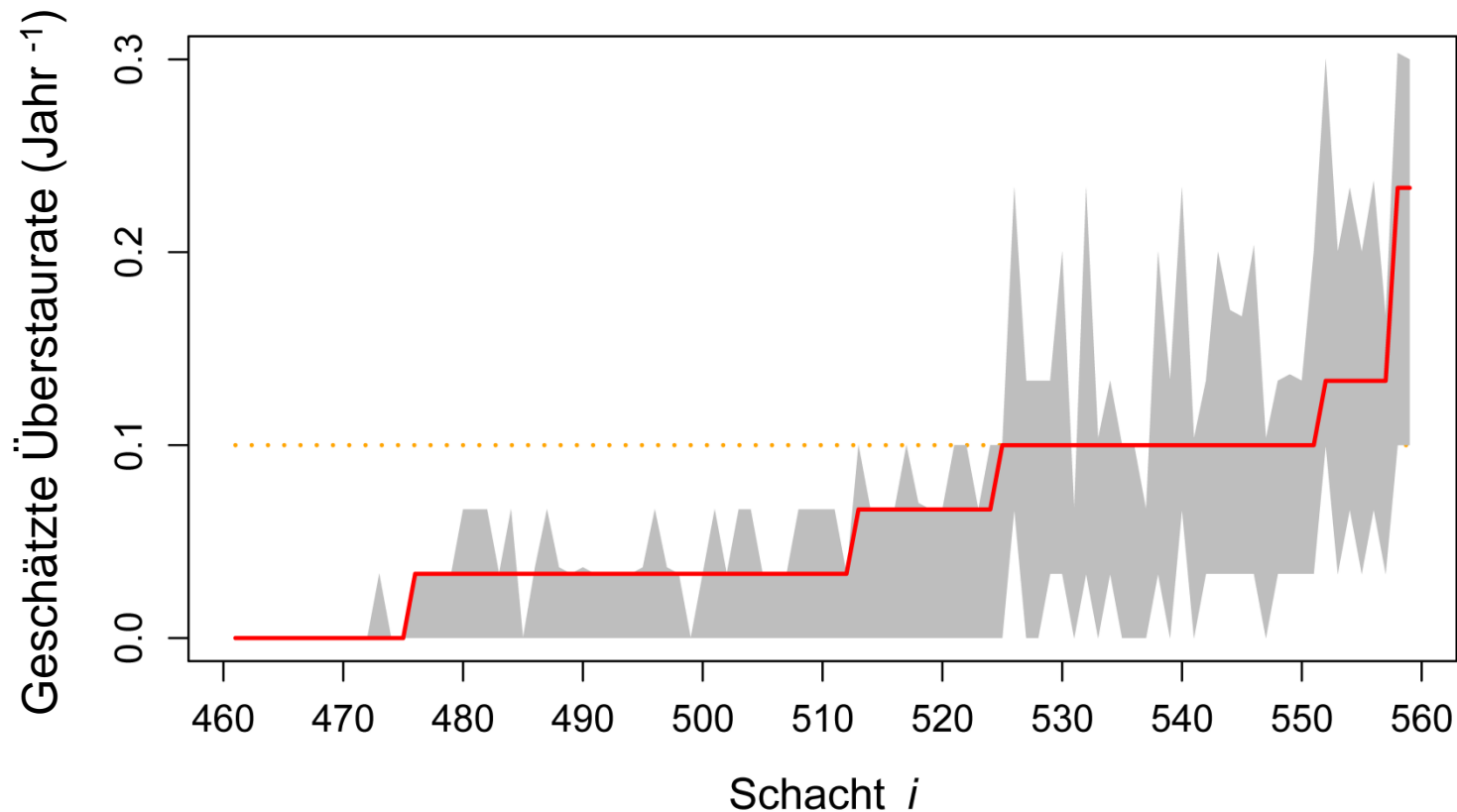


# Geschätzte Überstauraten, (ii) «kurze» stochastische Serien

— historisch, 1981-2010

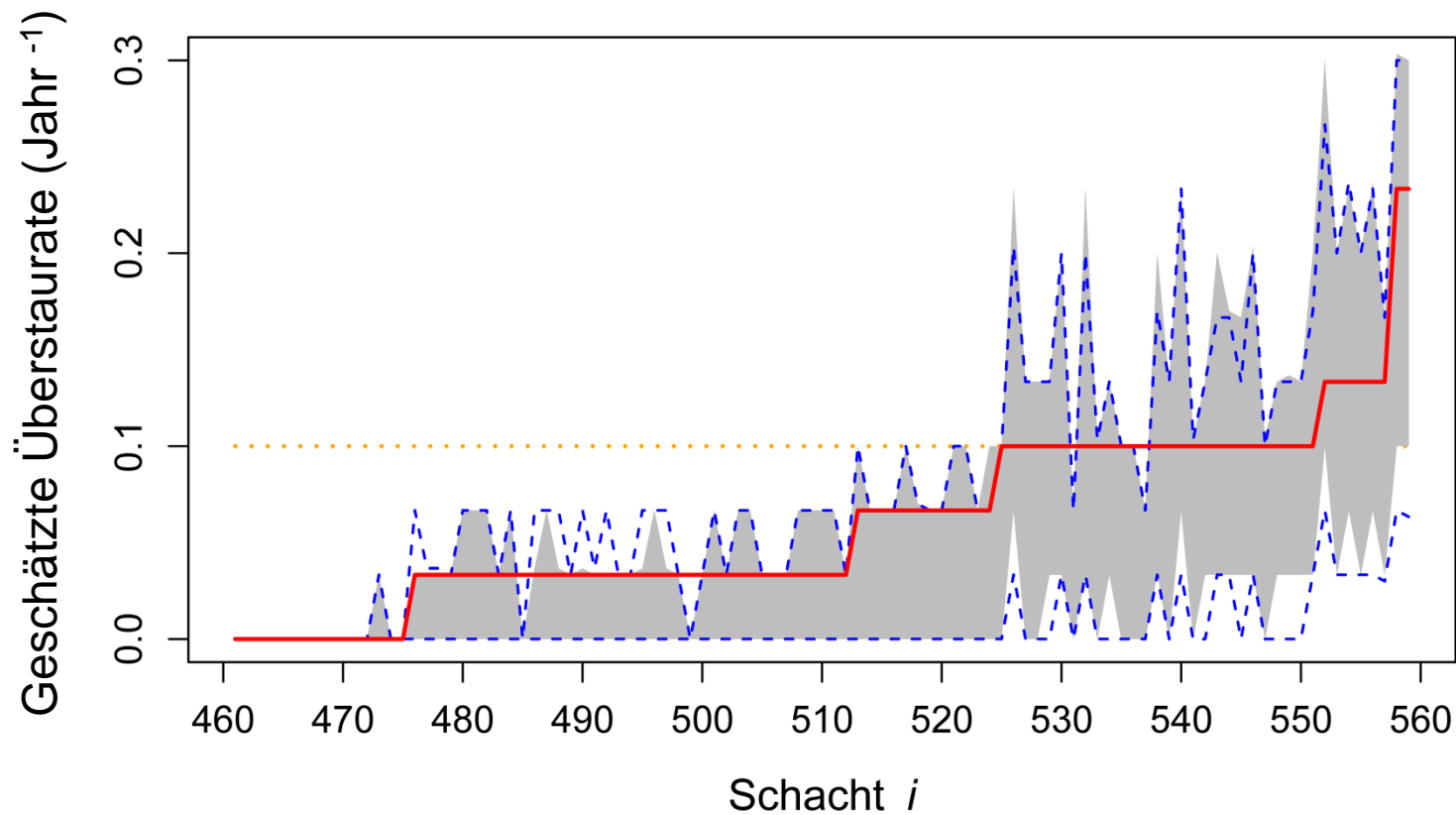
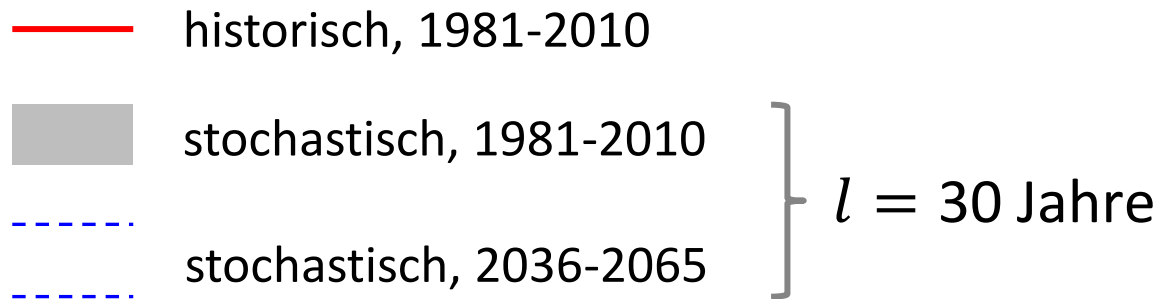
■ stochastisch, 1981-2010  $l = 30$  Jahre

(10- bis 90 %-Quantile)





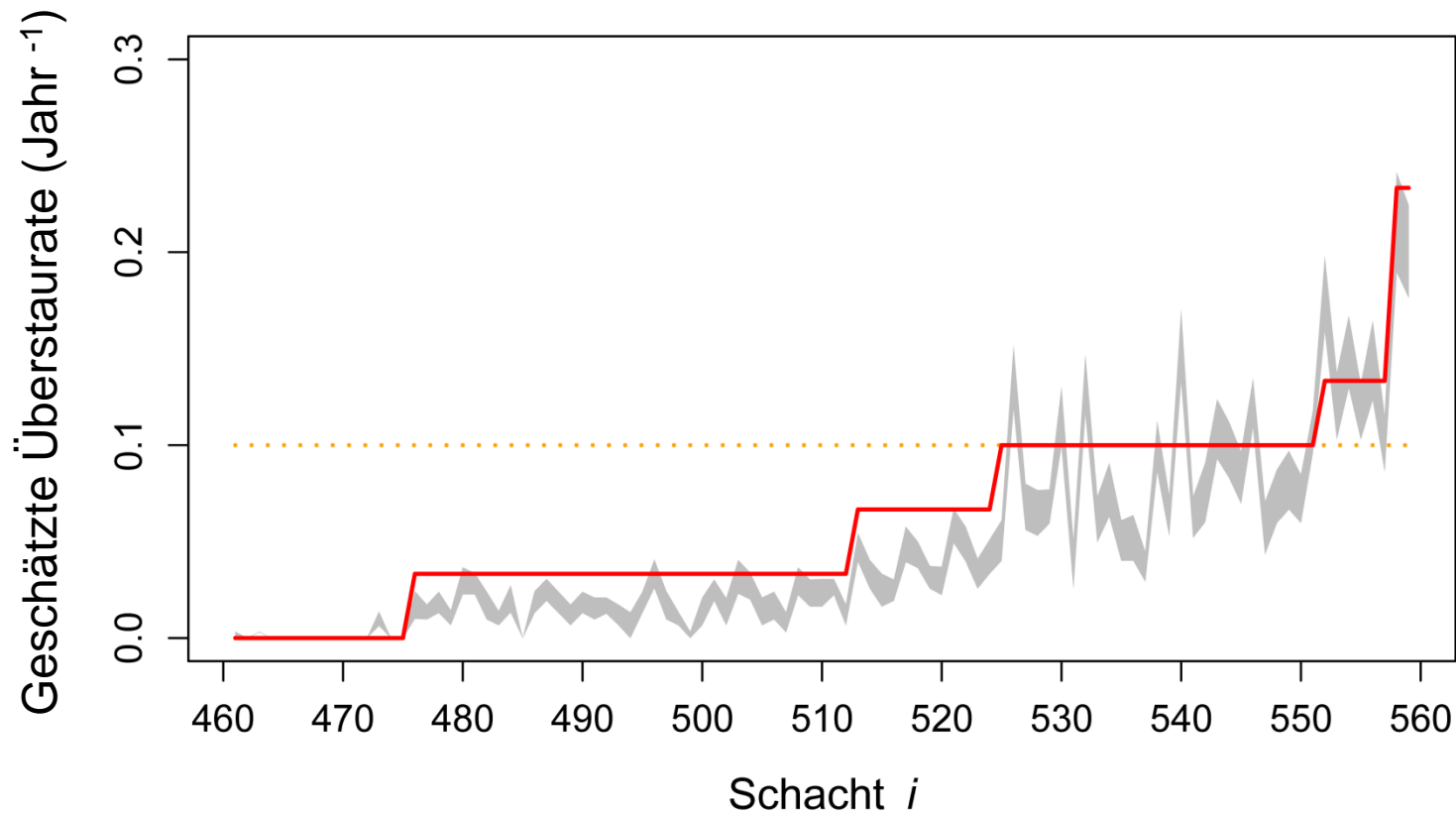
# Geschätzte Überstauraten, (ii) «kurze» stochastische Serien



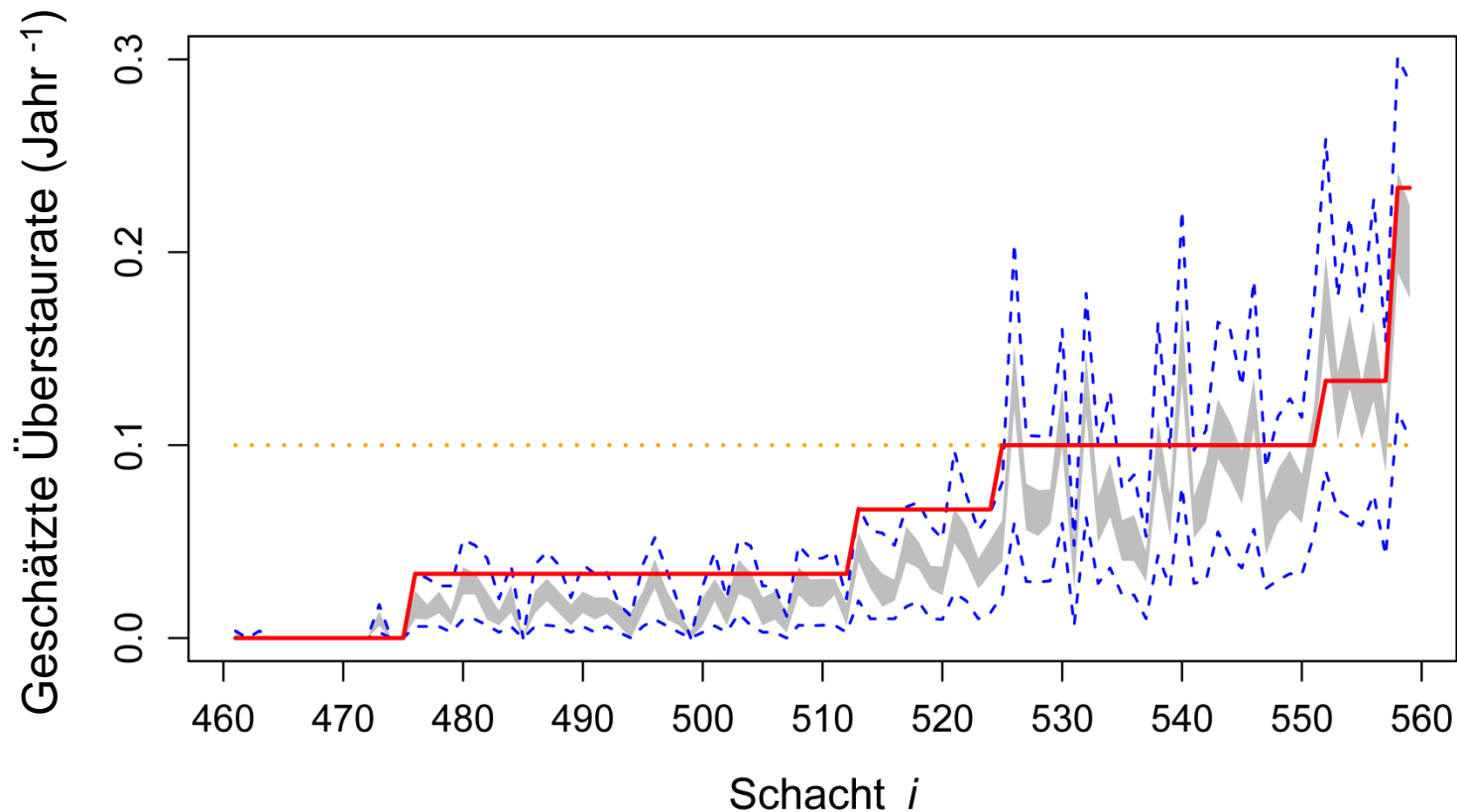
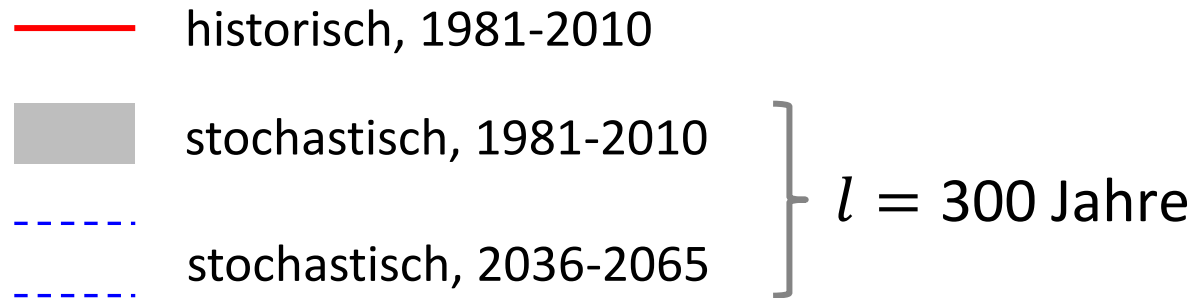
# Geschätzte Überstauraten, (iii) «lange» stochastische Serien

— historisch, 1981-2010

■ stochastisch, 1981-2010       $l = 300$  Jahre

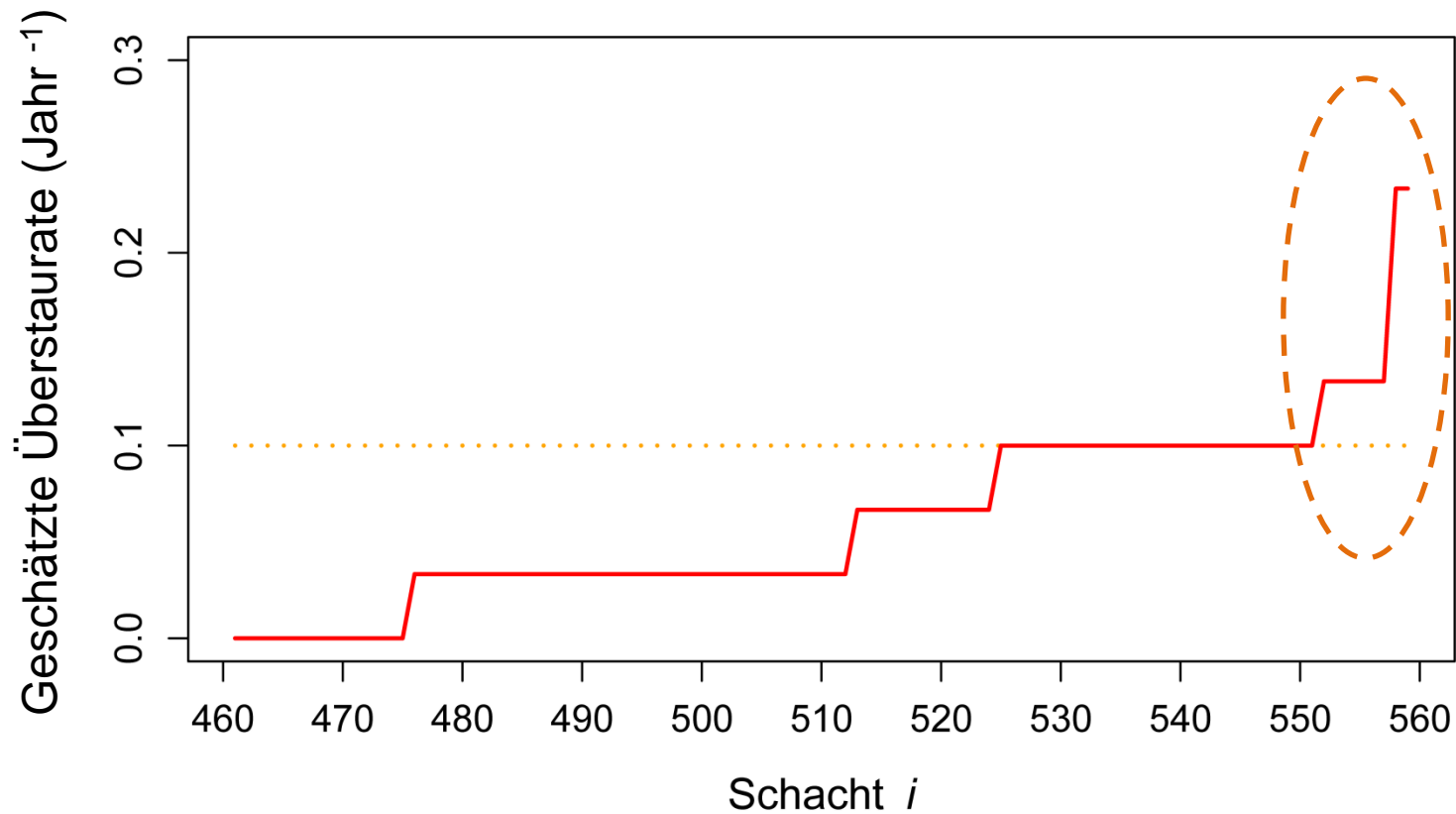


# Geschätzte Überstauraten, (iii) «lange» stochastische Serien



# (I) Konventionelle Bemessung

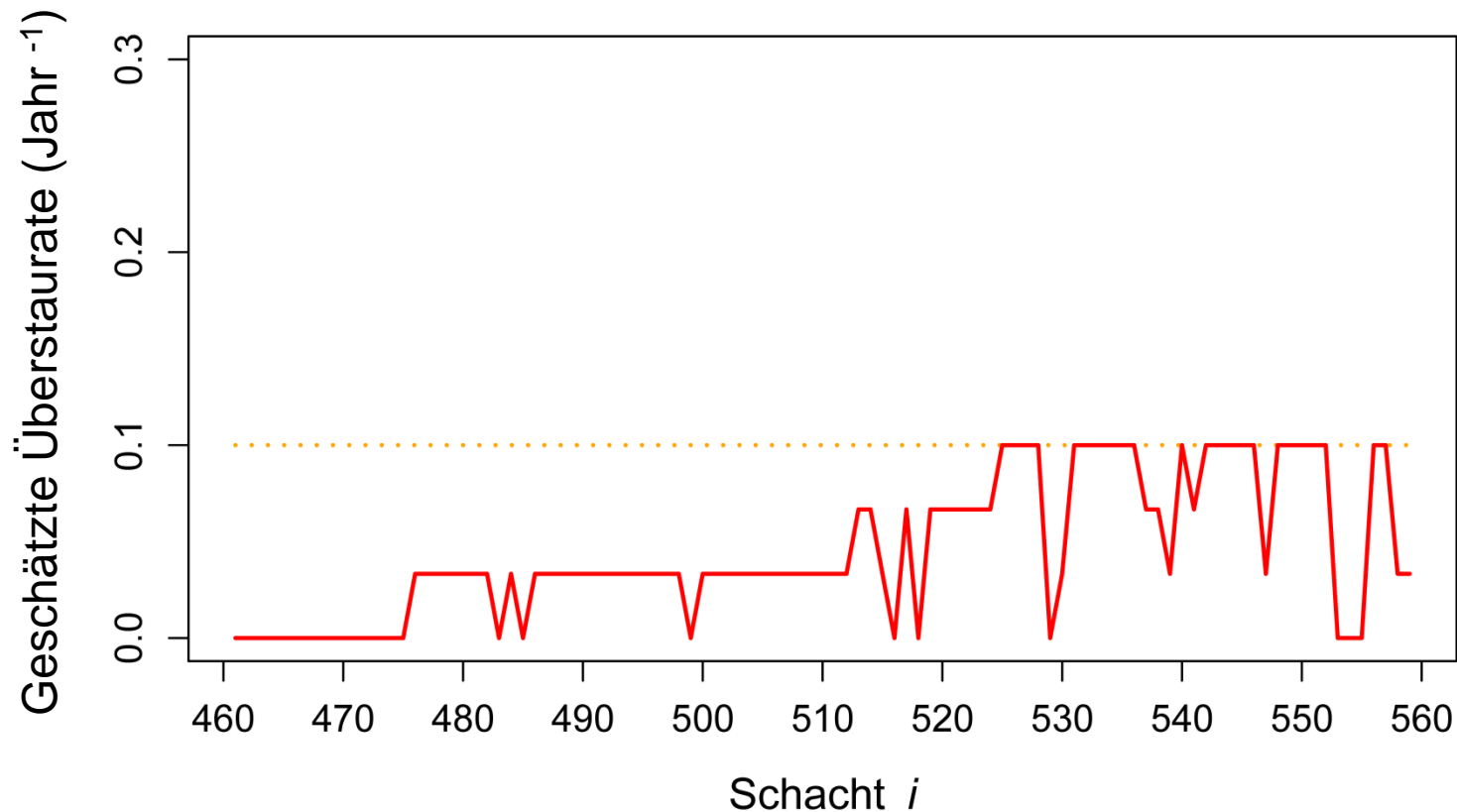
— historisch, 1981-2010



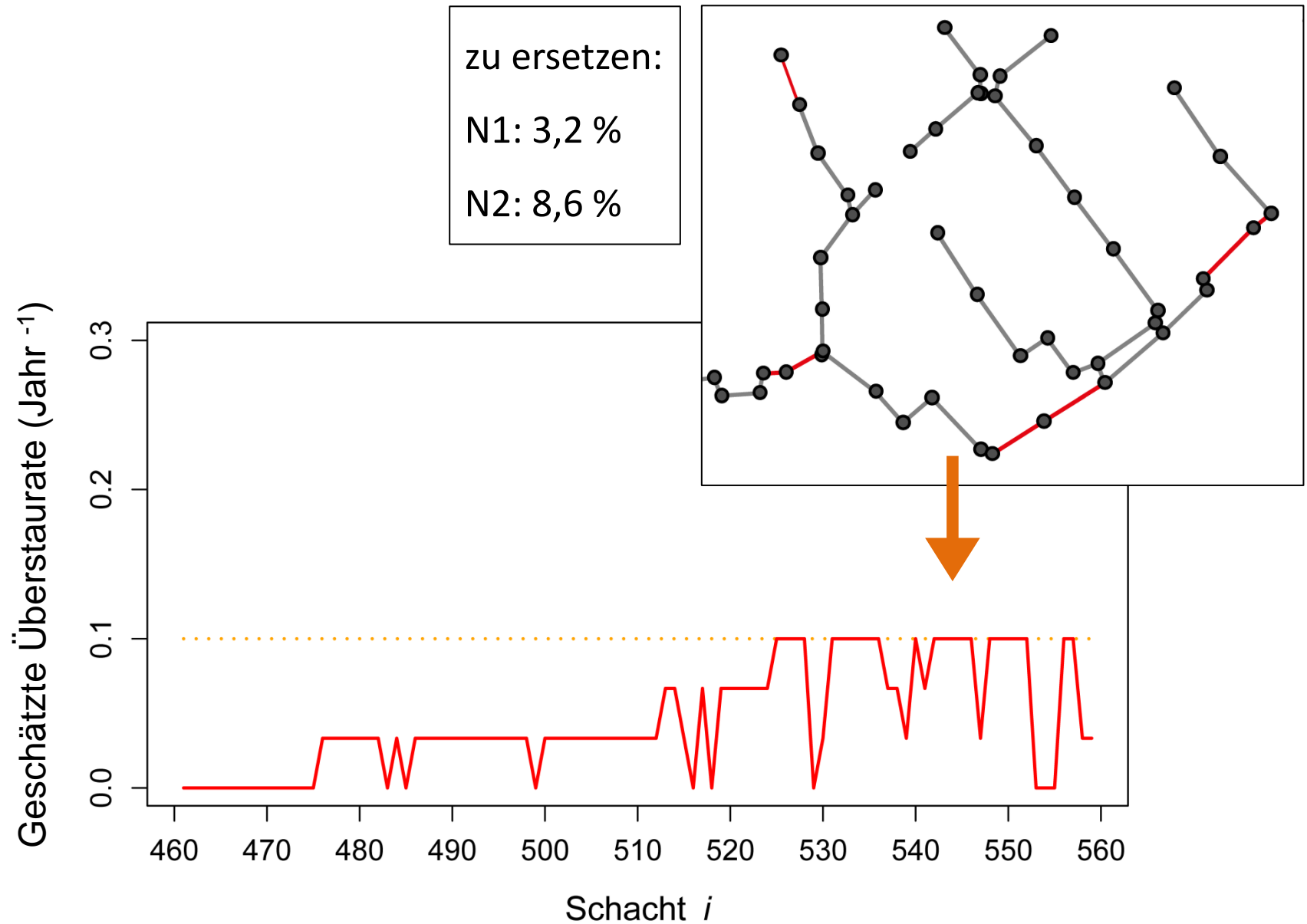
# (I) Konventionelle Bemessung

— historisch, 1981-2010

- Nachverdichtung wird berücksichtigt
- Anpassung von Rohrdiametern

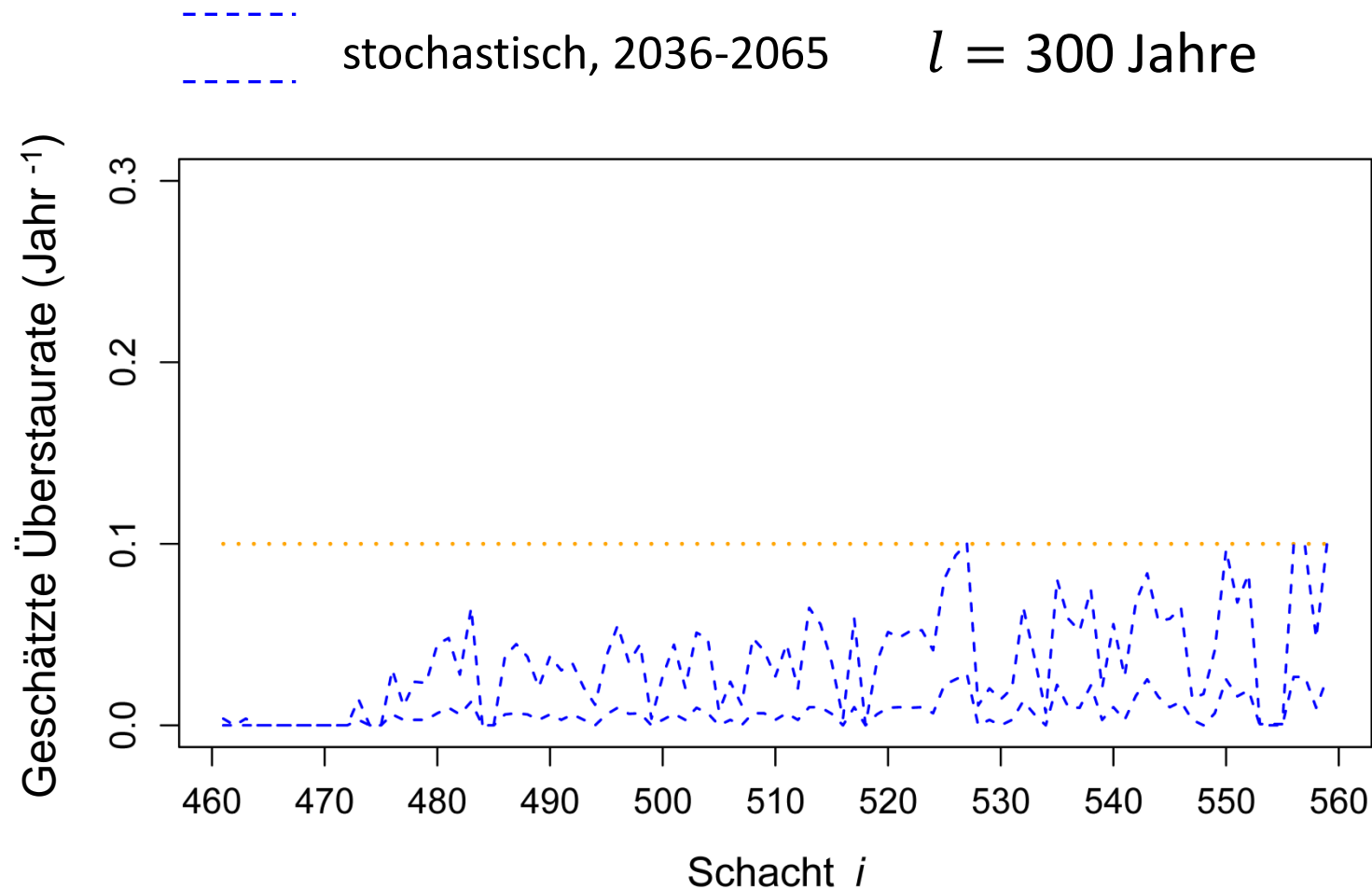


# (I) Konventionelle Bemessung

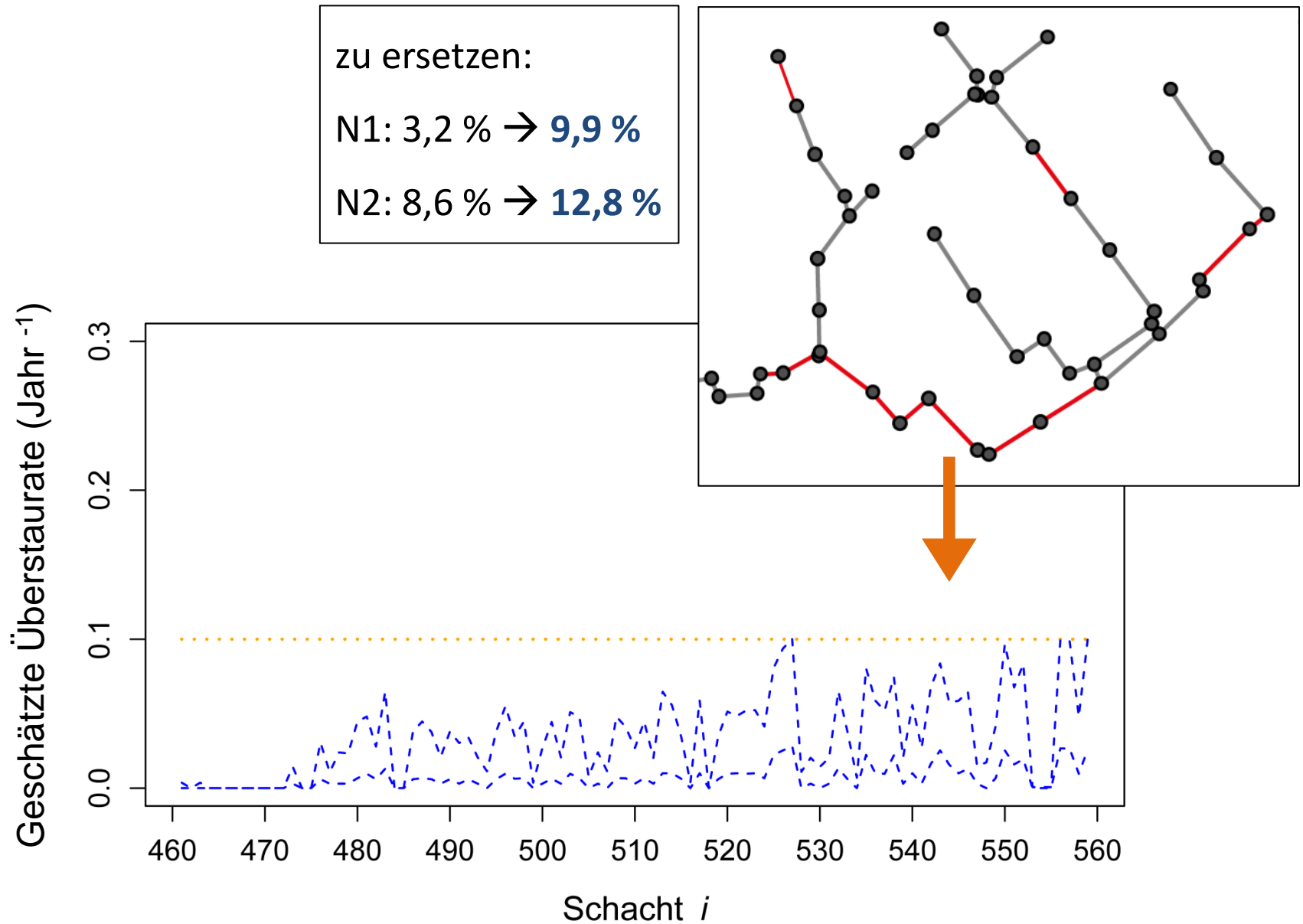


## (II) «Probabilistische» Bemessung mit «langen» Niederschlagsserien

**Ziel:** Erfüllung der Bemessungsziele mit hoher Wahrscheinlichkeit (90 %) unter zukünftigen klimatischen Bedingungen



## (II) «Probabilistische» Bemessung mit «langen» Niederschlagsserien





$$\text{Bedingung: Konstantes Budget} = \frac{\text{Wiederbeschaffungswert}}{\text{Mittlere geschätzte Lebensdauer}}$$

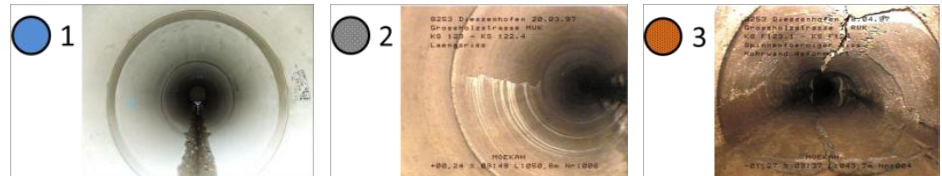
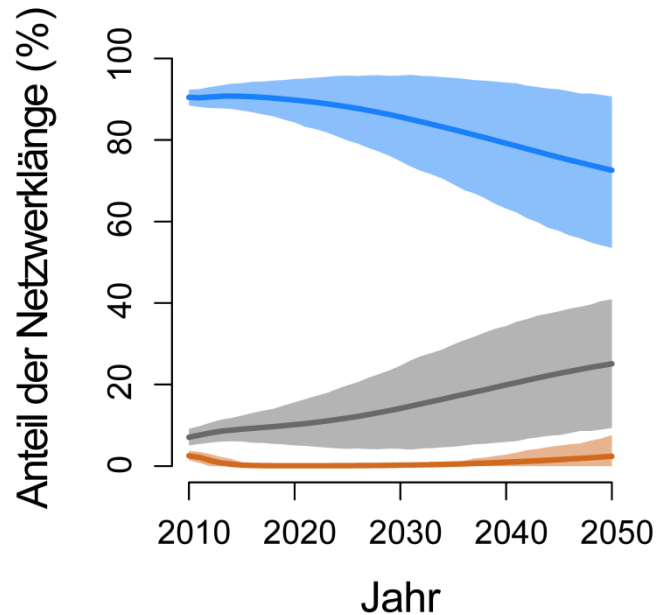
- Priorisierung:**
1. Hydraulisch kritische Leitungen
  2. Schlechte Leitungen zuerst

# Resultat einer möglichen Sanierungsstrategie

$$\text{Bedingung: Konstantes Budget} = \frac{\text{Wiederbeschaffungswert}}{\text{Mittlere geschätzte Lebensdauer}}$$

- Priorisierung:**
1. Hydraulisch kritische Leitungen
  2. Schlechte Leitungen zuerst

Keine hydraulische  
Sanierung

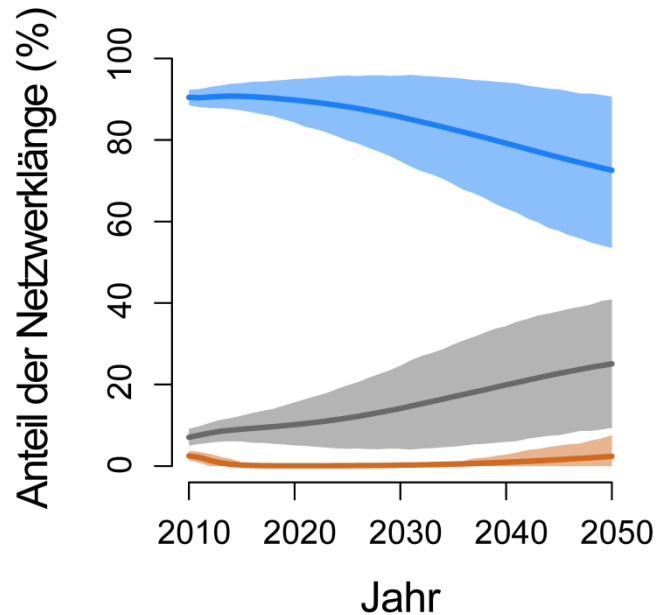


# Resultat einer möglichen Sanierungsstrategie

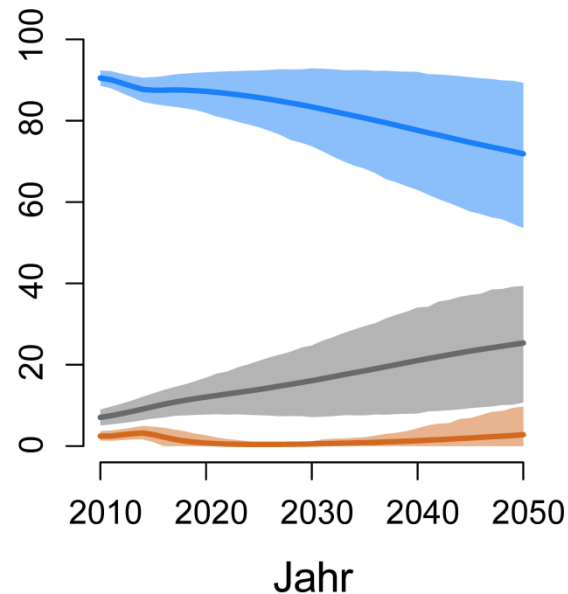
$$\text{Bedingung: Konstantes Budget} = \frac{\text{Wiederbeschaffungswert}}{\text{Mittlere geschätzte Lebensdauer}}$$

- Priorisierung:**
1. Hydraulisch kritische Leitungen
  2. Schlechte Leitungen zuerst

Keine hydraulische Sanierung



(I) Konventionelle Bemessung

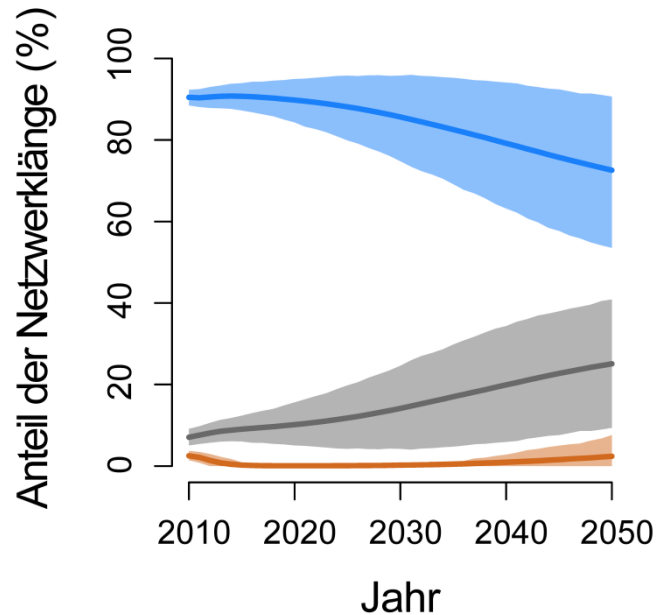


# Resultat einer möglichen Sanierungsstrategie

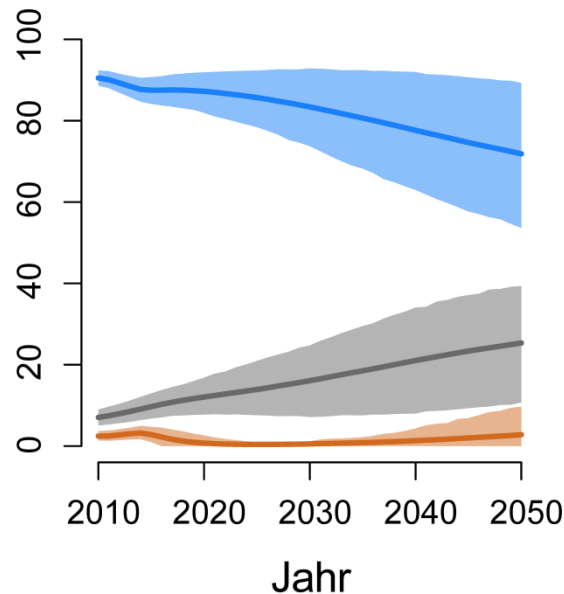
$$\text{Bedingung: Konstantes Budget} = \frac{\text{Wiederbeschaffungswert}}{\text{Mittlere geschätzte Lebensdauer}}$$

- Priorisierung:**
1. Hydraulisch kritische Leitungen
  2. Schlechte Leitungen zuerst

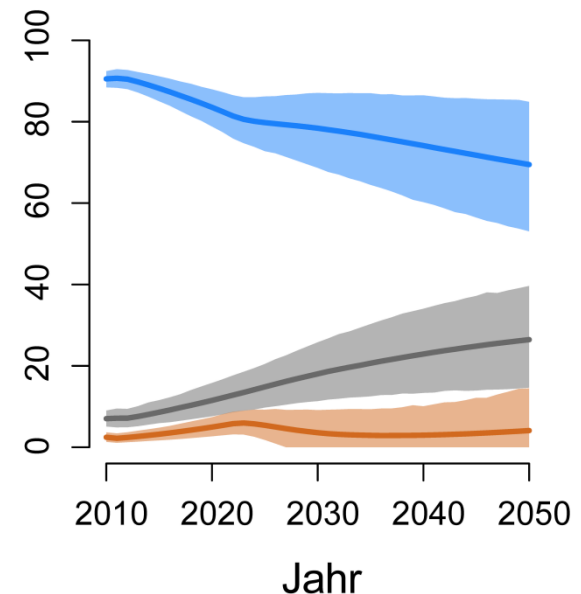
Keine hydraulische Sanierung



(I) Konventionelle Bemessung



(II) «Probabilistische» Bemessung

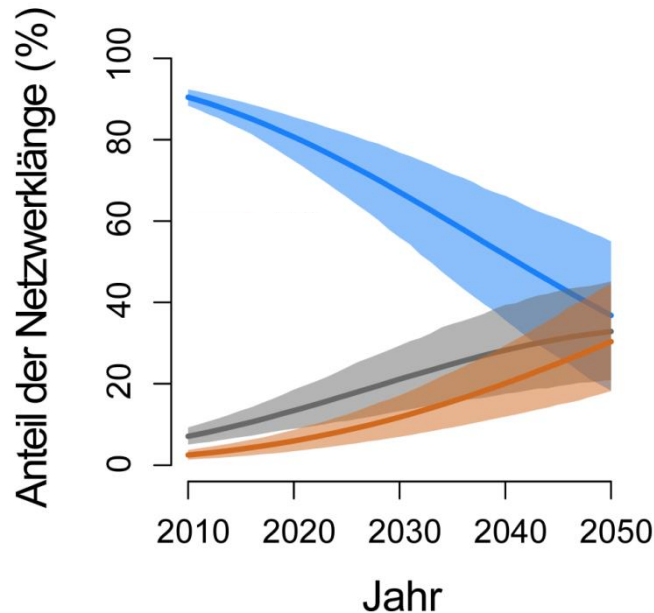


# Resultat einer möglichen Sanierungsstrategie

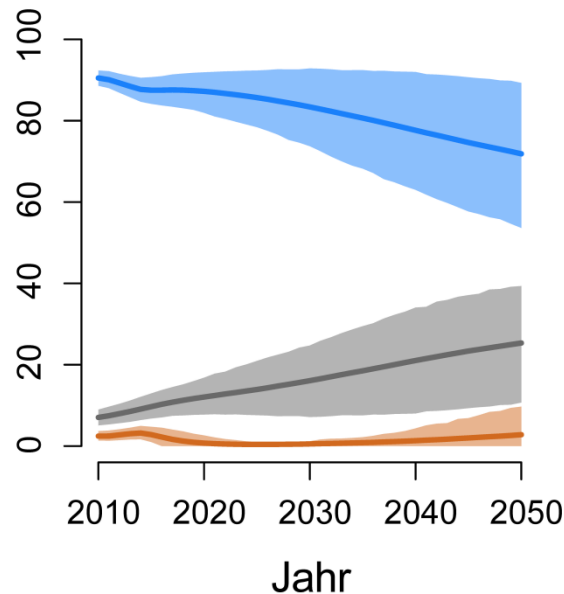
$$\text{Bedingung: Konstantes Budget} = \frac{\text{Wiederbeschaffungswert}}{\text{Mittlere geschätzte Lebensdauer}}$$

- Priorisierung:**
1. Hydraulisch kritische Leitungen
  2. Schlechte Leitungen zuerst

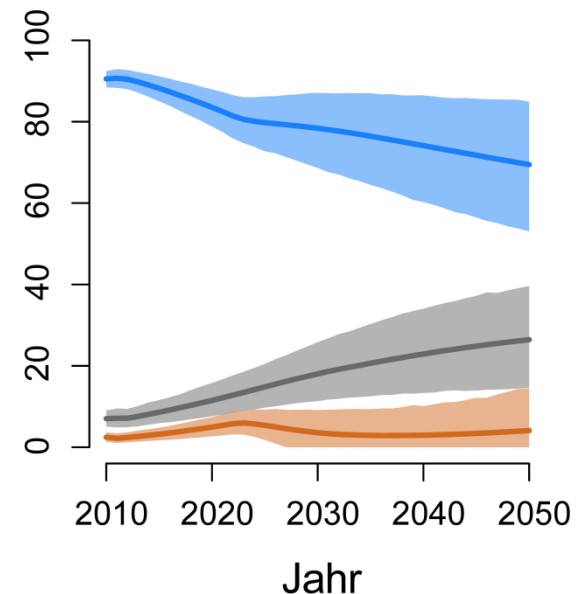
gar keine  
Sanierung



(I) Konventionelle  
Bemessung

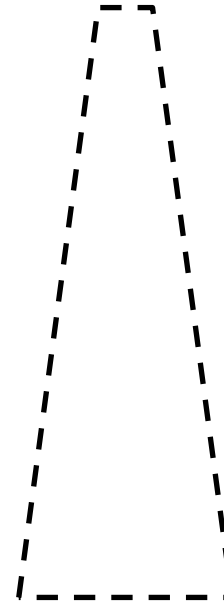
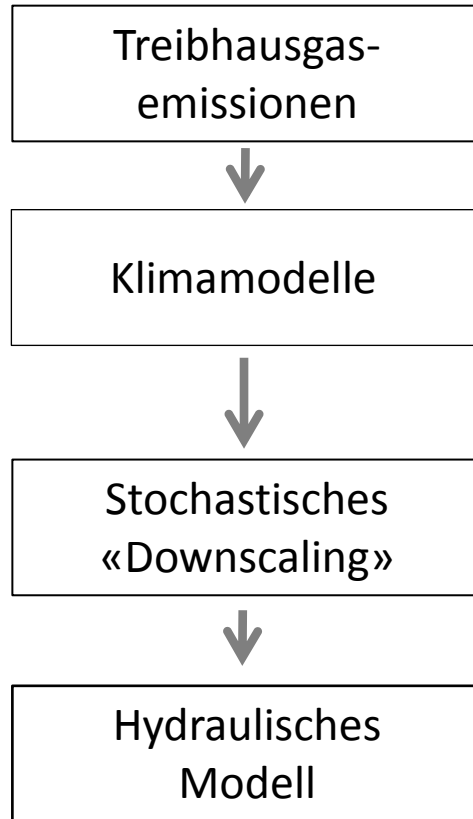


(II) «Probabilistische»  
Bemessung



# Komplementäre Bemessungsstrategien

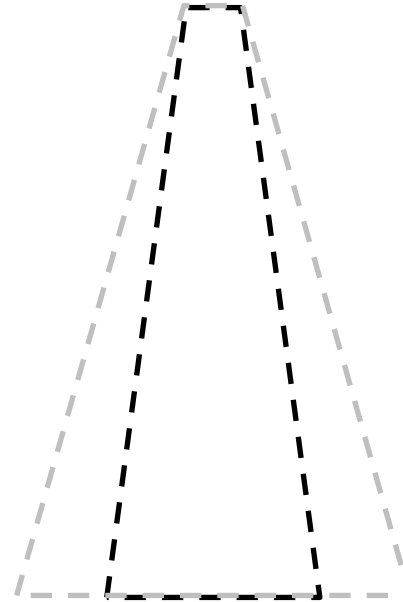
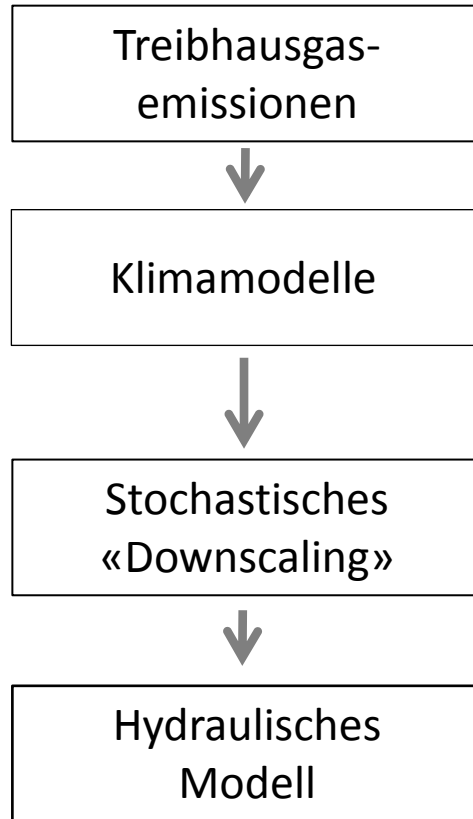
Downscaling



Unsicherheiten

# Komplementäre Bemessungsstrategien

Downscaling



Unsicherheiten

# Komplementäre Bemessungsstrategien

Downscaling

«Top-down»



Treibhausgas-  
emissionen



Klimamodelle



Stochastisches  
«Downscaling»



Hydraulisches  
Modell



Weite Bandbreite von  
«Stressfaktoren»



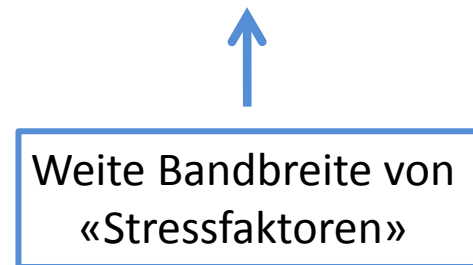
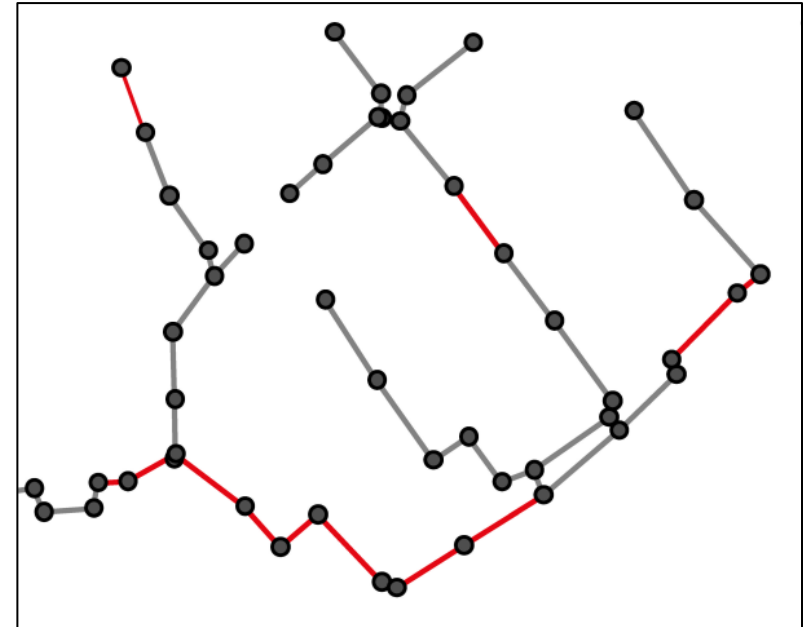
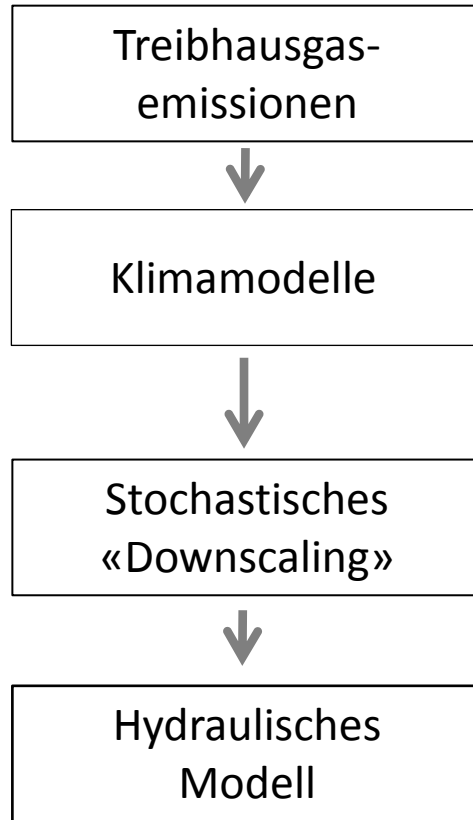
«Bottom-up»



# Komplementäre Bemessungsstrategien

Downscaling

«Top-down»



«Bottom-up»



(Klimatilpasning.dk, 2015)

- Schwierig hydraulische Aspekte in einem strategischen Planungskontext zu berücksichtigen
- Heutige hydraulische Bemessung hängt wesentlich von kleinen zufälligen Stichproben extremer Niederschlagseigenschaften ab.
- Stochastische Regenmodelle stellen einen Mehrwert dar.
- Je nach Sicherheitsniveau können hydraulische Aspekte mittelfristig ähnlich bedeutend sein wie bauliche (wenige Synergieeffekte).
- Komplementäre Bemessungsstrategien → günstigere Lösungen, höhere Robustheit, Priorisierung unter großen Unsicherheiten