E. Leonarduzzi, B.W. McArdell und P. Molnar

Niederschlagsschwellenwerte für flachgründige Rutschungen in der Schweiz: Vorteile und Limitationen

Oberiberg, SZ, 2007. Foto von Christian Rickli WSL

Swiss National Science Foundation

E. Leonarduzzi, B.W. McArdell und P. Molnar

Niederschlagsschwellenwerte für flachgründige Rutschungen in der Schweiz: Vorteile und Limitationen

Die Autoren danken Andreas Huwyler und Christian Rickli (WSL) für die Hilfe bei der Übersetzung ins Deutsche.

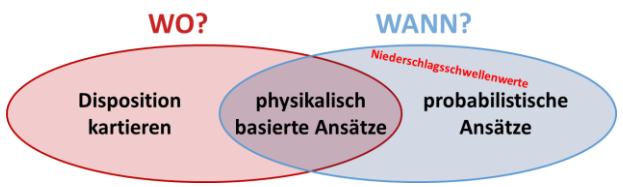
Oberiberg, SZ, 2007. Foto von Christian Rickli WSL

FNSNF
Swiss National Science Foundation

Inhalt

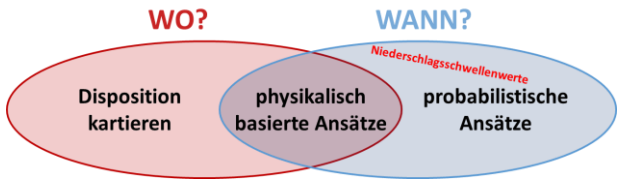
Inhalt

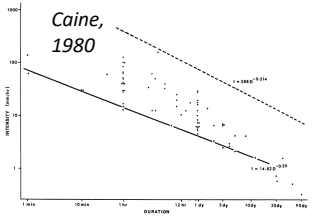
- Vorhersage von Rutschungen



Inhalt

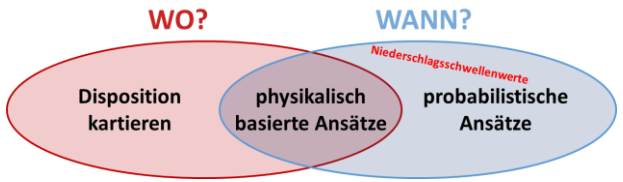
- Vorhersage von Rutschungen
- Was sind Niederschlagsschwellenwerte?

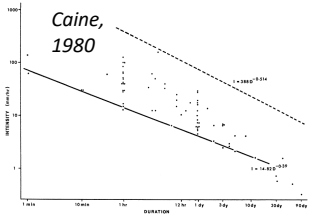


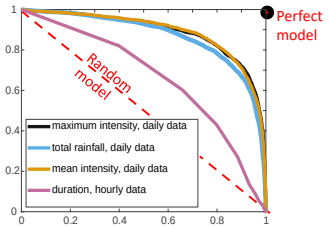


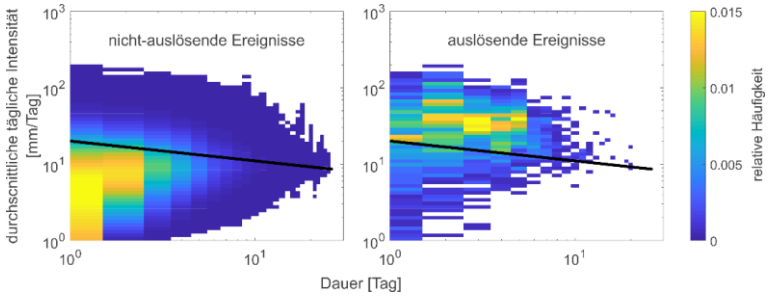
Inhalt

- Vorhersage von Rutschungen
- Was sind Niederschlagsschwellenwerte?
- Ansätze für die Definition von Niederschlagsschwellenwerten
  →Anwendung einer objektiven Methode für die Schweiz



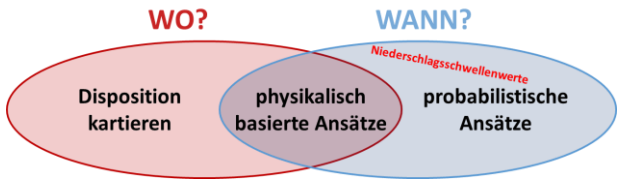


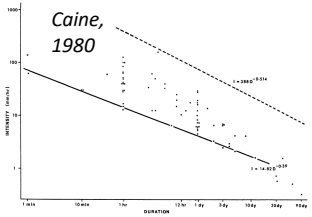


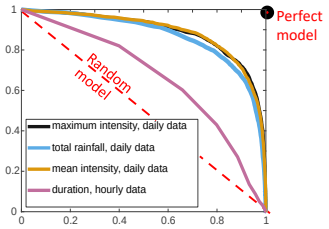


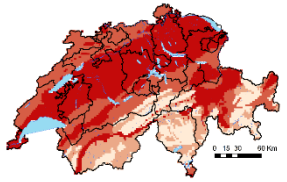
Inhalt

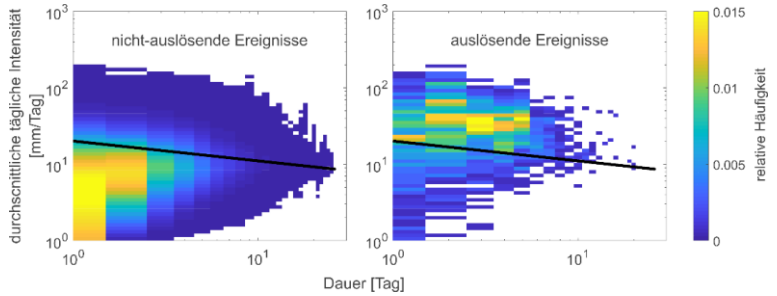
- Vorhersage von Rutschungen
- Was sind Niederschlagsschwellenwerte?
- Ansätze für die Definition von Niederschlagsschwellenwerten
  →Anwendung einer objektiven Methode für die Schweiz
- Wie können Niederschlagsschwellenwerte verbessert werden?



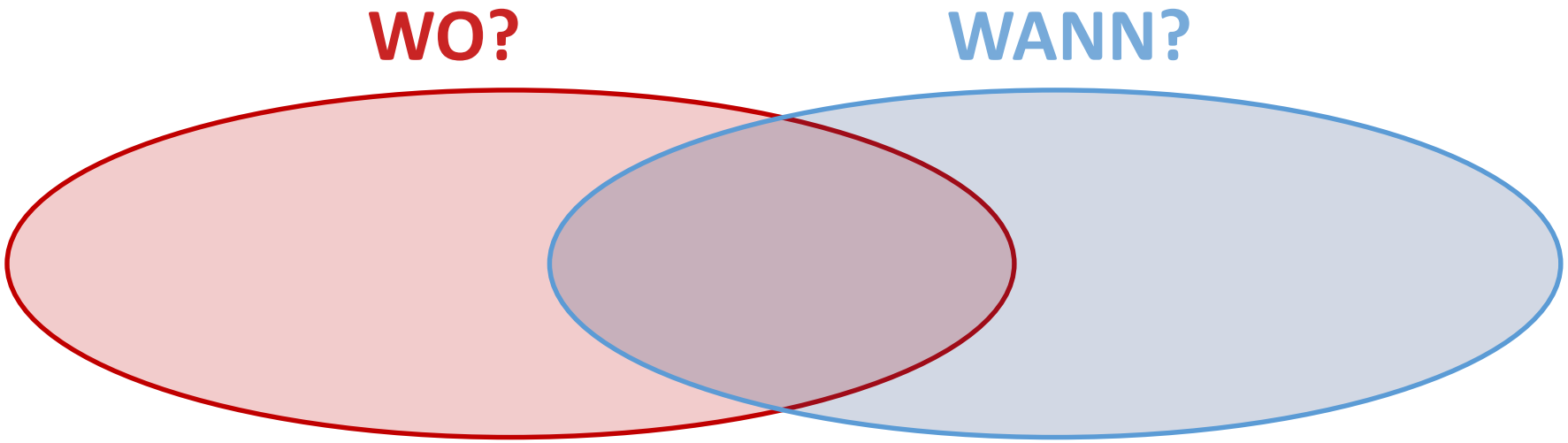




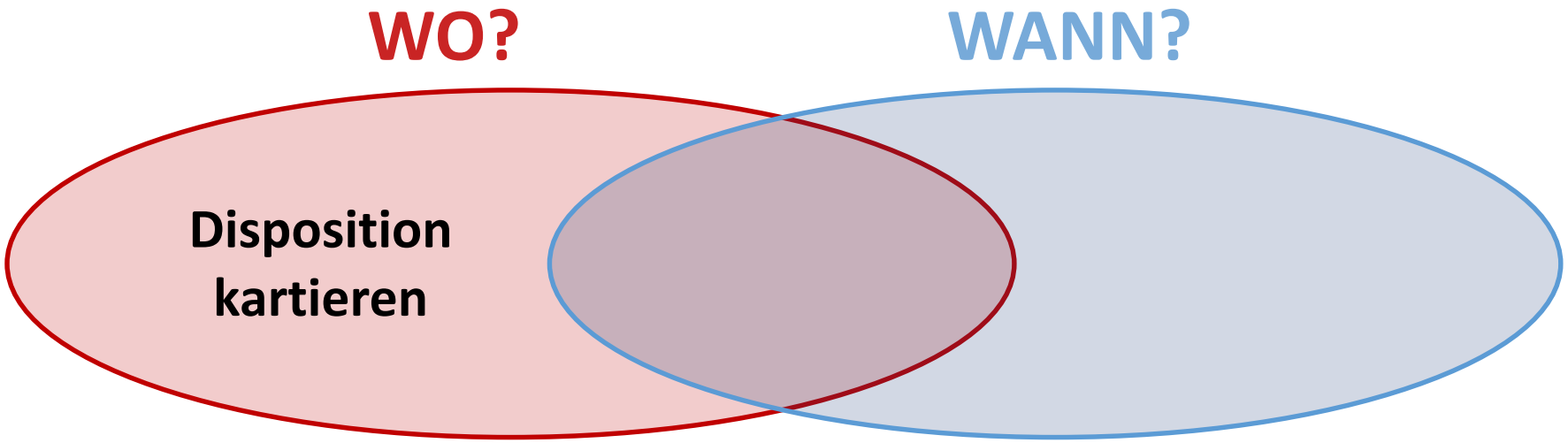




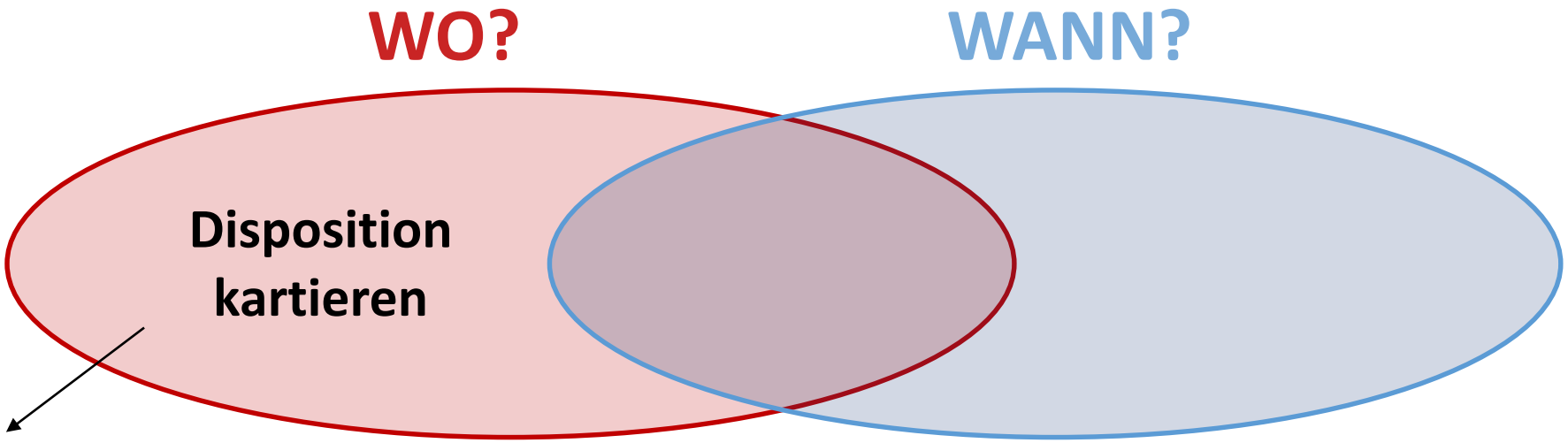
Ansätze zur Vorhersage von Rutschungen



Ansätze zur Vorhersage von Rutschungen

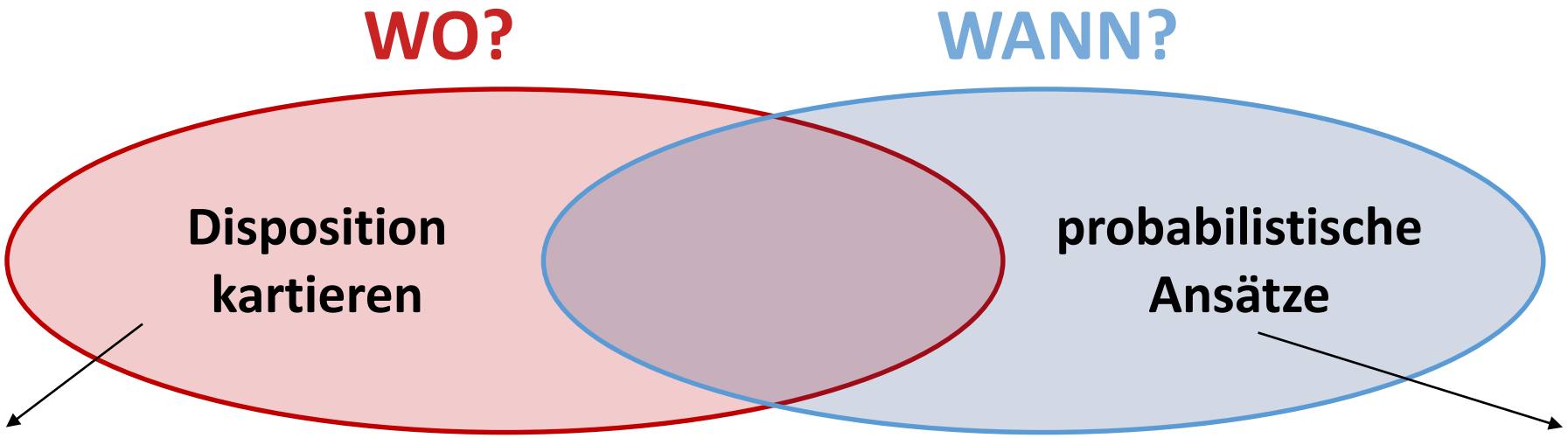


Ansätze zur Vorhersage von Rutschungen



Kombination von **prädisponierenden Faktoren** (z.B. Geologie, Topographie usw.) für eine Schätzung der Wahrscheinlichkeit eines Erdrutsches an einem bestimmten

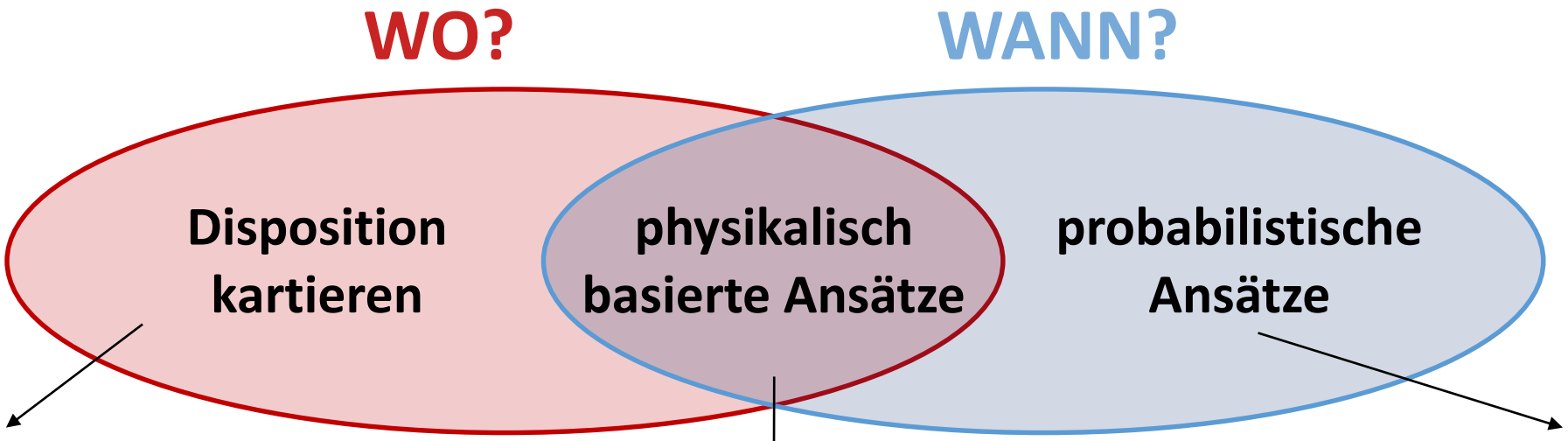
Ansätze zur Vorhersage von Rutschungen



Kombination von **prädisponierenden Faktoren** (z.B. Geologie, Topographie usw.) für eine Schätzung der Wahrscheinlichkeit eines Erdrutsches an einem bestimmten

Fokussierung auf die **auslösenden Faktoren** (typischerweise Niederschlag) für die Bestimmung kritischer Bedingungen für die Entstehung von Erdrutschen

Ansätze zur Vorhersage von Rutschungen

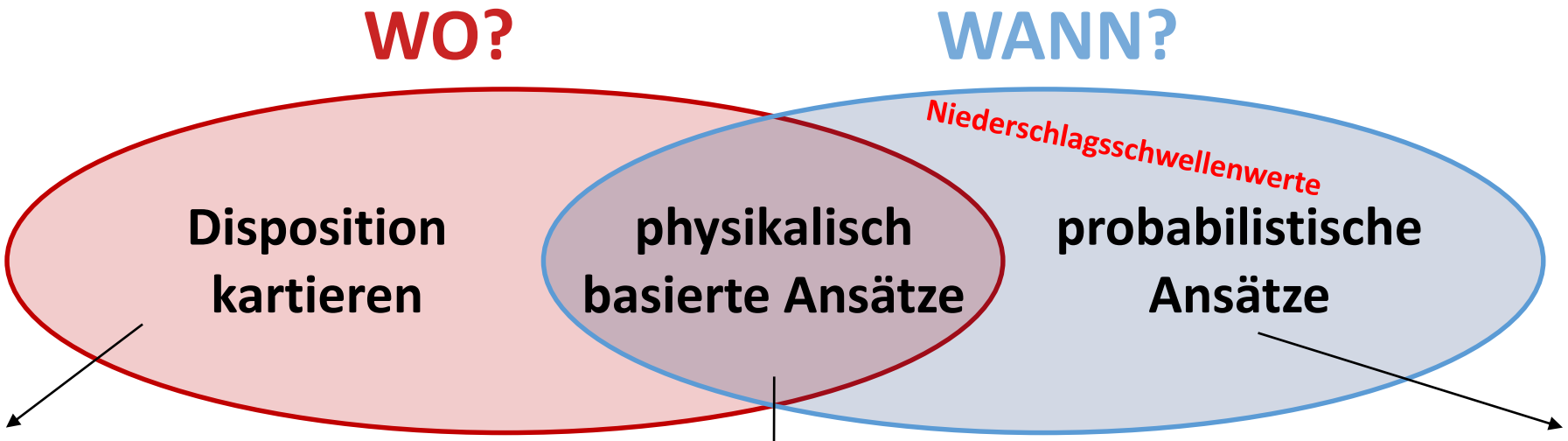


Kombination von **prädisponierenden Faktoren** (z.B. Geologie, Topographie usw.) für eine Schätzung der Wahrscheinlichkeit eines Erdrutsches an einem bestimmten

Vorhersage für **wo und wann**, jedoch **daten- und rechenintensiv** →Typische Anwendungen im kleinen Maßstab

Fokussierung auf die **auslösenden Faktoren** (typischerweise Niederschlag) für die Bestimmung kritischer Bedingungen für die Entstehung von Erdrutschen

Ansätze zur Vorhersage von Rutschungen



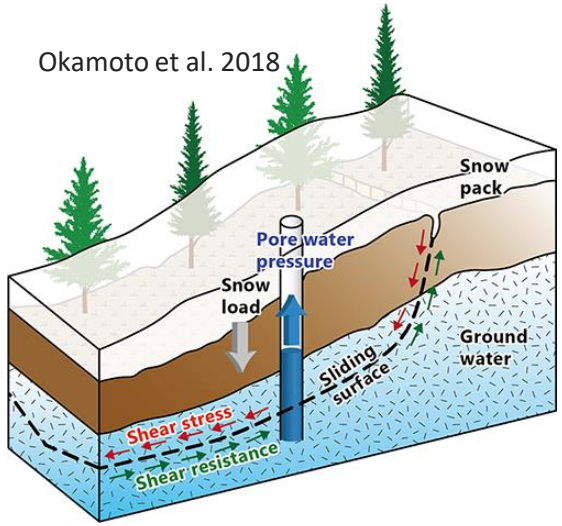
Kombination von **prädisponierenden Faktoren** (z.B. Geologie, Topographie usw.) für eine Schätzung der Wahrscheinlichkeit eines Erdrutsches an einem bestimmten

Vorhersage für **wo und wann**, jedoch **daten- und rechenintensiv** →Typische Anwendungen im kleinen Maßstab

Fokussierung auf die **auslösenden Faktoren** (typischerweise Niederschlag) für die Bestimmung kritischer Bedingungen für die Entstehung von Erdrutschen

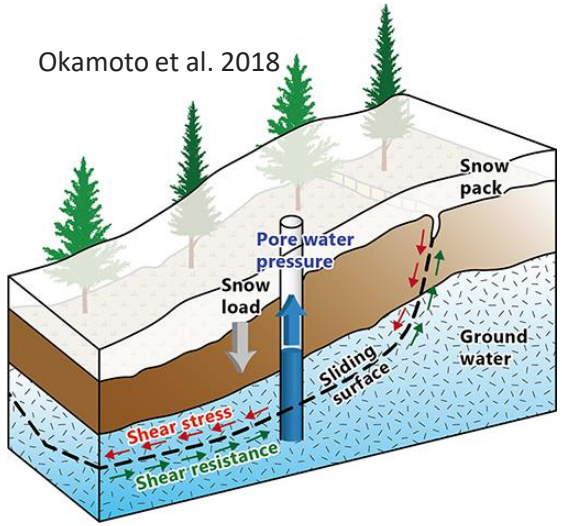
Probabilistischer Ansatz: Niederschlagsschwellenwert

Okamoto et al. 2018



Erdrutsche werden typischerweise durch einen Anstieg des Porendrucks ausgelöst, was zu grösseren mobilisierenden als stabilisierenden Kräften führt.
Die Erhöhung des Porendrucks ist verbunden mit Wassereinträgen aus Niederschlag, benachbarten Bereichen (ober- und unterirdische Fliesswege) sowie Schneeschmelze.

Probabilistischer Ansatz: Niederschlagsschwellenwert

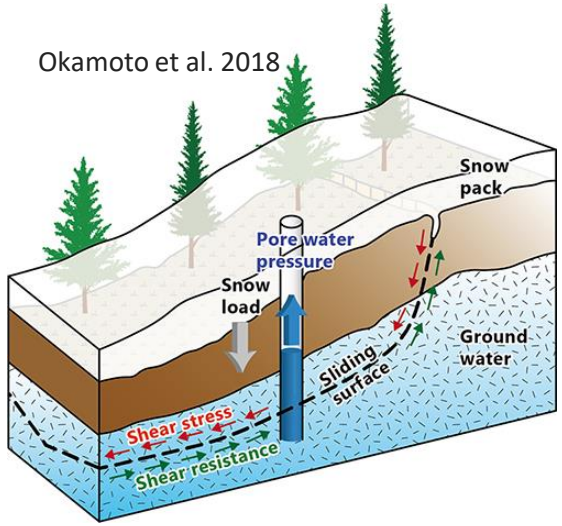


Erdrutsche werden typischerweise durch einen Anstieg des Porendrucks ausgelöst, was zu grösseren mobilisierenden als stabilisierenden Kräften führt.
Die Erhöhung des Porendrucks ist verbunden mit Wassereinträgen aus Niederschlag, benachbarten Bereichen (ober- und unterirdische Fliesswege) sowie Schneeschmelze.

Typischerweise werden **Niederschlagsereignisse als Hauptursache** erkannt (z.B. Hilker et al., 2007). Probabilistische Ansätze, die historische Ereignisse verwenden, um mehr über die Auslösung von Erdrutschen zu erfahren, konzentrieren sich deshalb vor allem auf Niederschläge.
Der häufigste dieser Ansätze ist jener der Niederschlagsschwellenwerte, die davon ausgehen, dass **Niederschläge der Hauptauslöser** und das **System stationär** ist.

Probabilistischer Ansatz: Niederschlagsschwellenwert

Okamoto et al. 2018



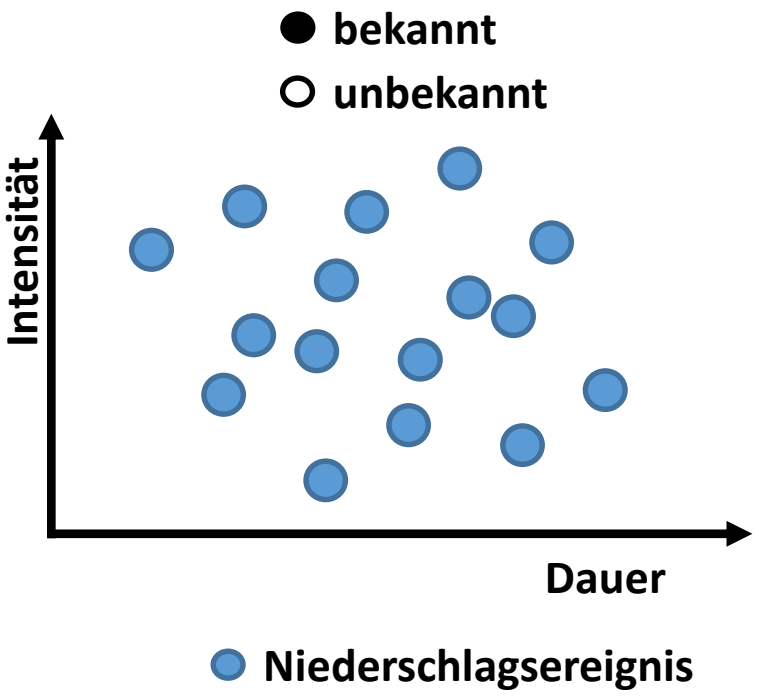
Erdrutsche werden typischerweise durch einen Anstieg des Porendrucks ausgelöst, was zu grösseren mobilisierenden als stabilisierenden Kräften führt.
Die Erhöhung des Porendrucks ist verbunden mit Wassereinträgen aus Niederschlag, benachbarten Bereichen (ober- und unterirdische Fliesswege) sowie Schneeschmelze.

Typischerweise werden **Niederschlagsereignisse als Hauptursache** erkannt (z.B. Hilker et al., 2007). Probabilistische Ansätze, die historische Ereignisse verwenden, um mehr über die Auslösung von Erdrutschen zu erfahren, konzentrieren sich deshalb vor allem auf Niederschläge.
Der häufigste dieser Ansätze ist jener der Niederschlagsschwellenwerte, die davon ausgehen, dass **Niederschläge der Hauptauslöser** und das **System stationär** ist.

Perfekter Schwellenwert: „wenn die Niederschläge XX mm/Tag überschreiten, kommt es zu einem Erdrutsch."

Schwellenwerten: Welche Daten sind verfügbar?

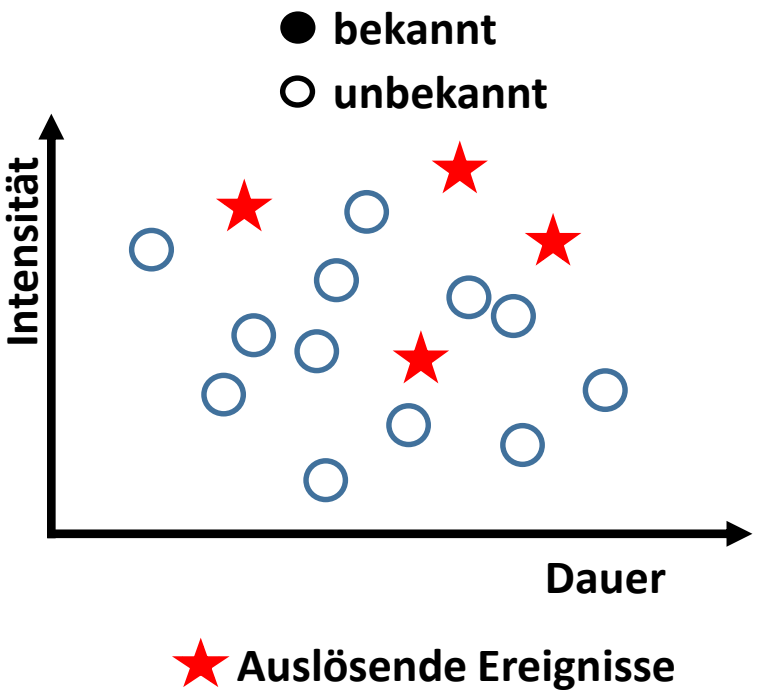
Schwellenwerten: Welche Daten sind verfügbar?



Nur Niederschlagserfassung
Schwellenwert auf der Grundlage der Niederschlagsdaten, ohne Informationen über das Auftreten vergangener Erdrutsche.
z.B. Niederschlag einer bestimmten Wiederkehrperiode

Alle Ereignisse sind verfügbar aber wie wissen nicht, ob sie einen Erdrutsch ausgelöst haben oder nicht.

Schwellenwerten: Welche Daten sind verfügbar?

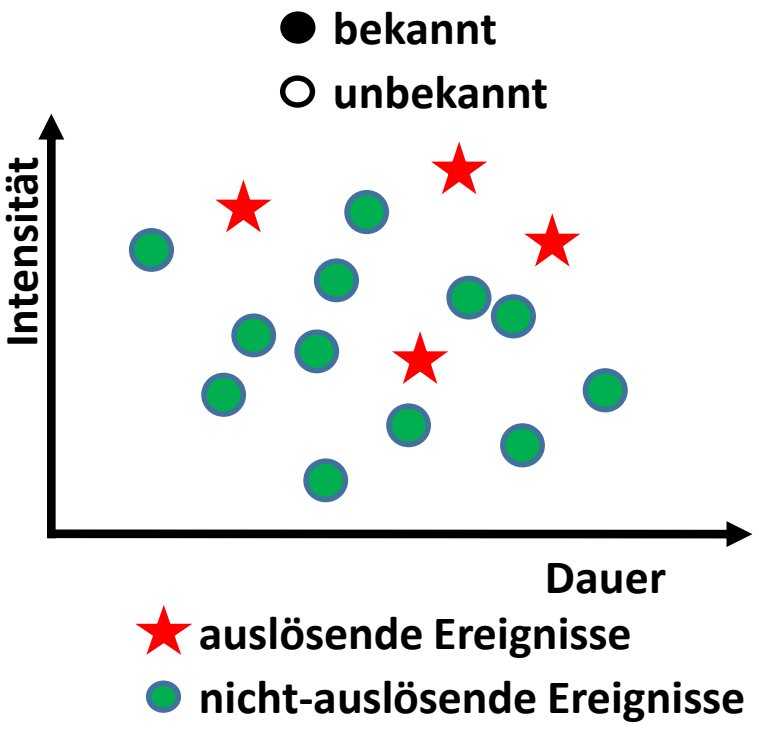


Nur Niederschlagserfassung
Schwellenwert auf der Grundlage der Niederschlagsdaten, ohne Informationen über das Auftreten vergangener Erdrutsche.
z.B. Niederschlag einer bestimmten Wiederkehrperiode

Nur Erdrutsch-Aufzeichnung
Schwellenwert basierend auf Niederschlagsereignissen mit Erdrutschen, die aus Zeitungen und anderen historischen Quellen stammen.
z.B. Überschreitungswahrscheinlichkeit (e.g. Guzzetti 2007)

Es sind nur Ereignisse verfügbar, die Erdrutsche ausgelöst haben.

Schwellenwerten: Welche Daten sind verfügbar?



Alle Ereignisse sind verfügbar und wir wissen, ob sie einen Erdrutsch ausgelöst haben oder nicht.

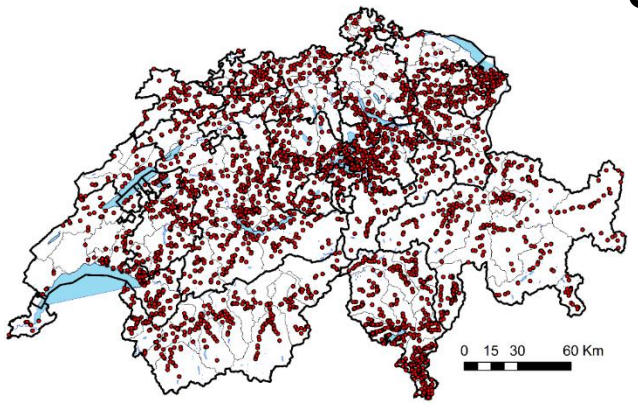
Nur Niederschlagserfassung
Schwellenwert auf der Grundlage der Niederschlagsdaten, ohne Informationen über das Auftreten vergangener Erdrutsche.
z.B. Niederschlag einer bestimmten Wiederkehrperiode

Nur Erdrutsch-Aufzeichnung
Schwellenwert basierend auf Niederschlagsereignissen mit Erdrutschen, die aus Zeitungen und anderen historischen Quellen stammen.
z.B. Überschreitungswahrscheinlichkeit (e.g. Guzzetti 2007)

Erdrutsch- und Niederschlagsrekorde
Schwellenwert, der sowohl auslösende als auch nicht auslösende Ereignissen miteinbezieht.
z.B. nachfolgend vorgestellte Arbeiten

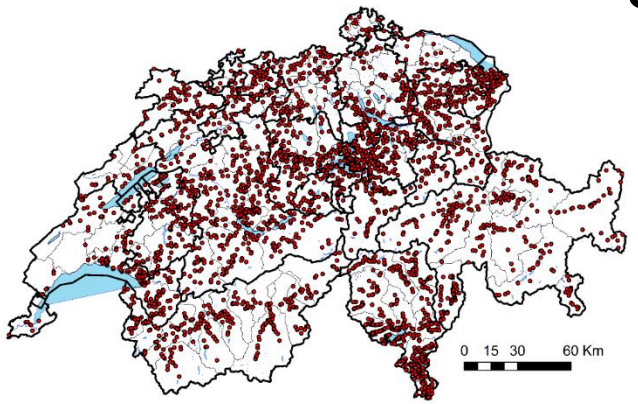
Schweiz: Regen- und Rutschungs-datenbanken

Schweiz: Regen- und Rutschungs-datenbanken

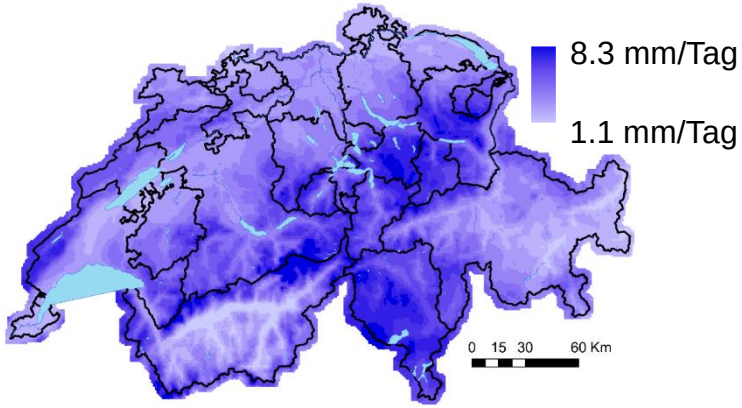


Unwetterschadens-Datenbank (WSL)
seit 1972
3690 Rutschungen mit Schadensfolgen

Schweiz: Regen- und Rutschungs-datenbanken



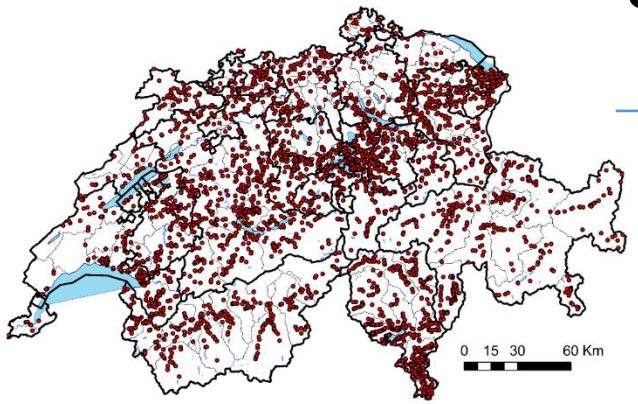
Unwetterschadens-Datenbank (WSL)
seit 1972
3690 Rutschungen mit Schadensfolgen



RhiresD (MeteoSwiss)
Interpolation von täglichen Niederschlagsmengen für 1*1 km Zellen aus Messdaten
seit 1961

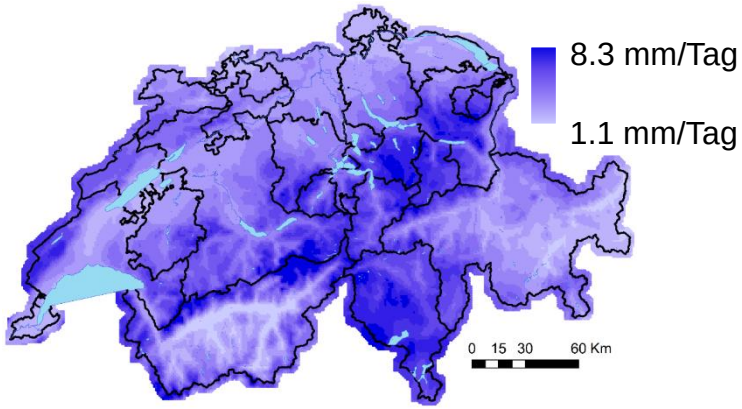
RdisaggH (MeteoSwiss)
stündliche Niederschläge aus RhiresD, Verwendung von Radar zur Disaggregation
März 2003 – Dezember 2010

Schweiz: Regen- und Rutschungs-datenbanken



Unwetterschadens-Datenbank (WSL)
seit 1972
3690 Rutschungen mit Schadensfolgen

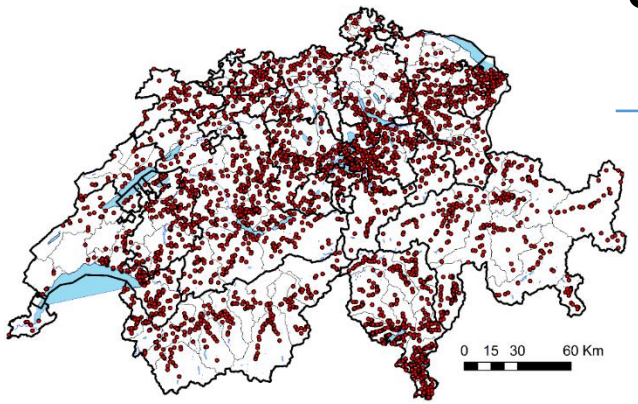
Ort bekannt
Zeitpunkt bekannt
Innerhalb des Zeitrahmens
der Niedeschlagsdaten



RhiresD (MeteoSwiss)
Interpolation von täglichen Niederschlagsmengen für 1*1 km Zellen aus Messdaten
seit 1961

RdisaggH (MeteoSwiss)
stündliche Niederschläge aus RhiresD, Verwendung von Radar zur Disaggregation
März 2003 – Dezember 2010

Schweiz: Regen- und Rutschungs-datenbanken

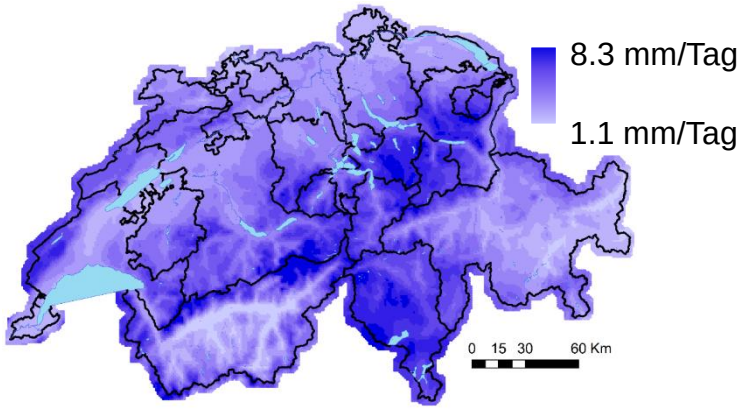


Unwetterschadens-Datenbank (WSL)
seit 1972
3690 Rutschungen mit Schadensfolgen

Ort bekannt
Zeitpunkt bekannt
Innerhalb des Zeitrahmens
der Niedeschlagsdaten

2117 Rutschungen mit täglichen Daten

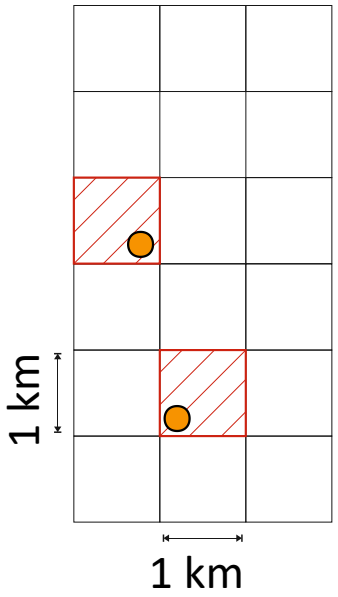
243 Rutschungen mit stündlichen Daten



RhiresD (MeteoSwiss)
Interpolation von täglichen Niederschlagsmengen für 1*1 km Zellen aus Messdaten
seit 1961

RdisaggH (MeteoSwiss)
stündliche Niederschläge aus RhiresD, Verwendung von Radar zur Disaggregation
März 2003 – Dezember 2010

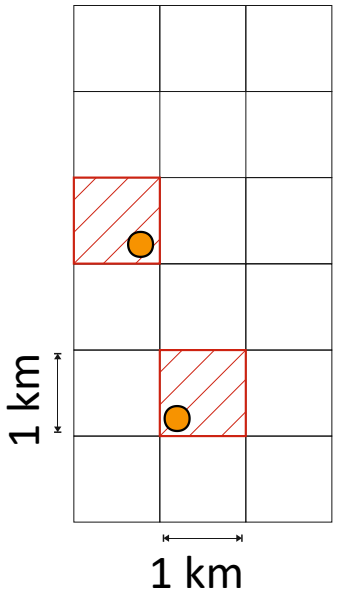
Definition von Niederschlagsereignissen



Niederschlagszellen

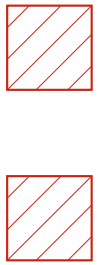
Rutschung

Definition von Niederschlagsereignissen



„Anfällige“ ZELLEN

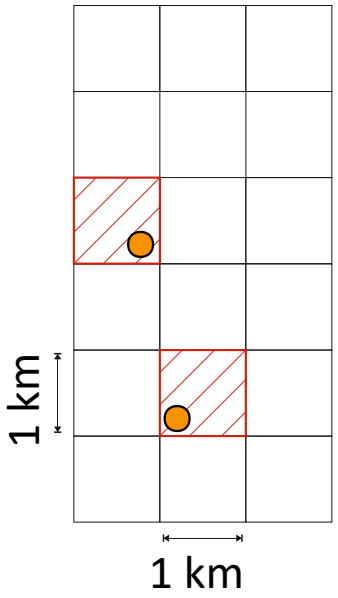
Zellen, in denen mindestens ein Erdrutsch über den gesamten Zeitraum aufgezeichnet wurde.



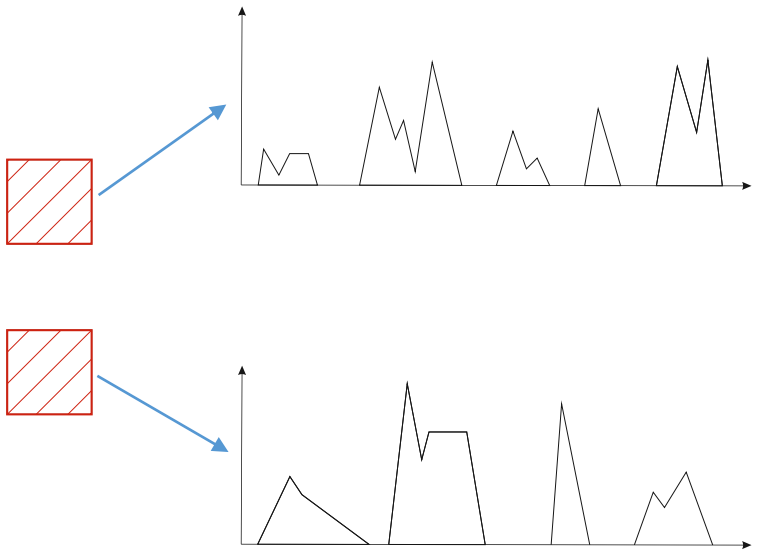
Niederschlagszellen

Rutschung

Definition von Niederschlagsereignissen



„Anfällige“ ZELLEN
Zellen, in denen mindestens ein Erdrutsch über den gesamten Zeitraum aufgezeichnet wurde.

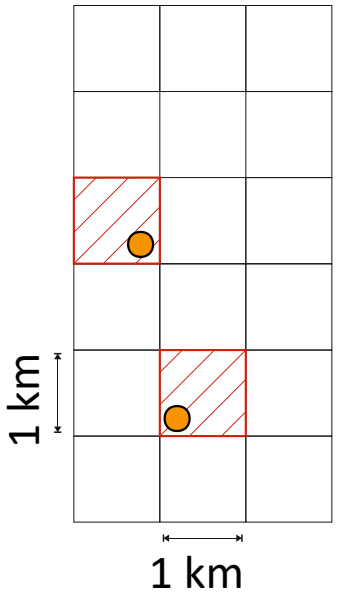


NIEDERSCHLAGSEREIGNISSE
Getrennt durch mindestens 1 Tag (Tagesdaten) oder 6 Stunden (Stundendaten) ohne Niederschlag.

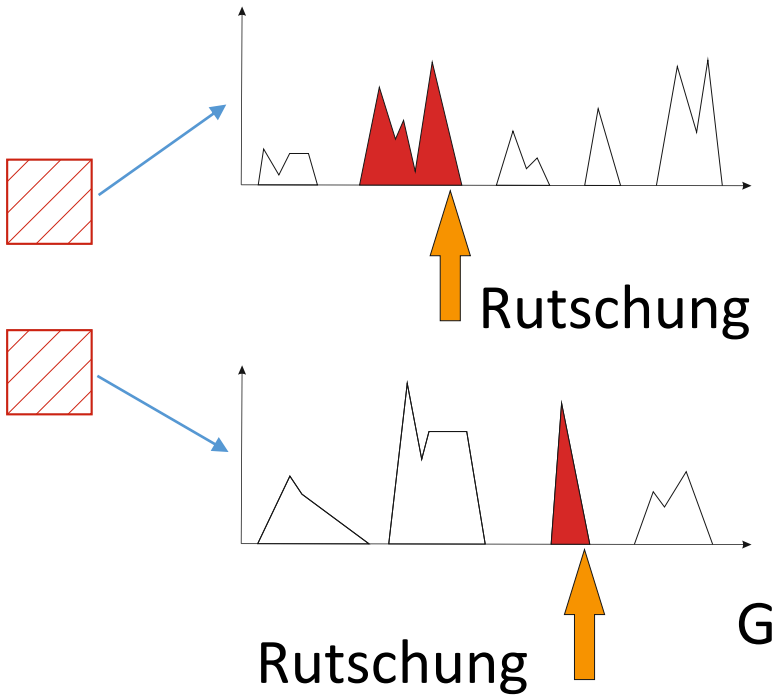
Niederschlagszellen

Rutschung

Definition von Niederschlagsereignissen



„Anfällige“ ZELLEN
Zellen, in denen mindestens ein Erdrutsch über den gesamten Zeitraum aufgezeichnet wurde.

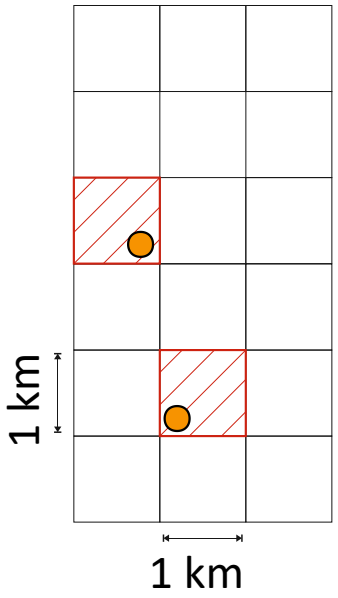


NIEDERSCHLAGSEREIGNISSE
Getrennt durch mindestens 1 Tag (Tagesdaten) oder 6 Stunden (Stundendaten) ohne Niederschlag.

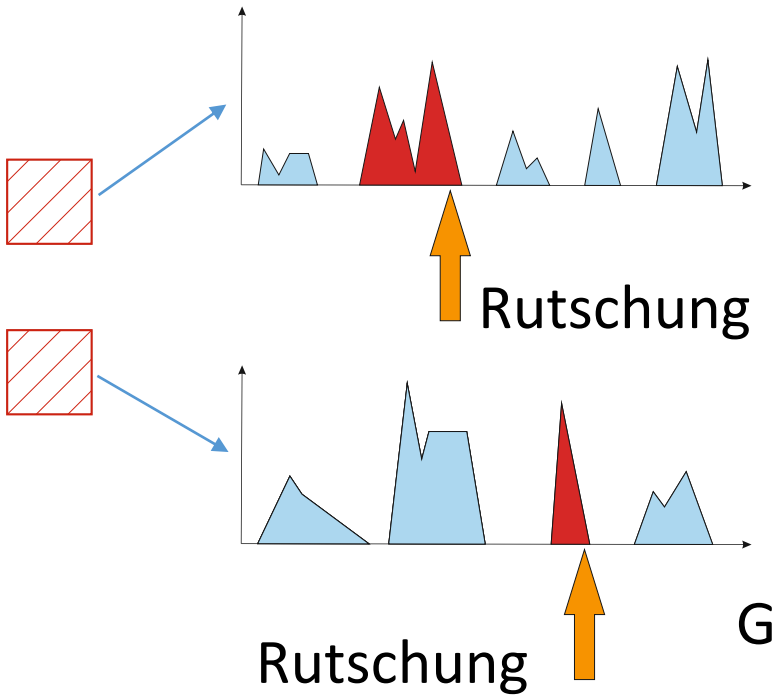
Niederschlagszellen

Rutschung

Definition von Niederschlagsereignissen



„Anfällige“ ZELLEN
Zellen, in denen mindestens ein Erdrutsch über den gesamten Zeitraum aufgezeichnet wurde.



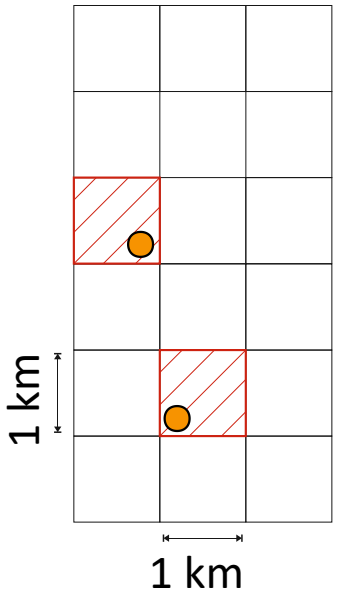
auslösende
nicht-auslösende

NIEDERSCHLAGSEREIGNISSE
Getrennt durch mindestens 1 Tag (Tagesdaten) oder 6 Stunden (Stundendaten) ohne Niederschlag.

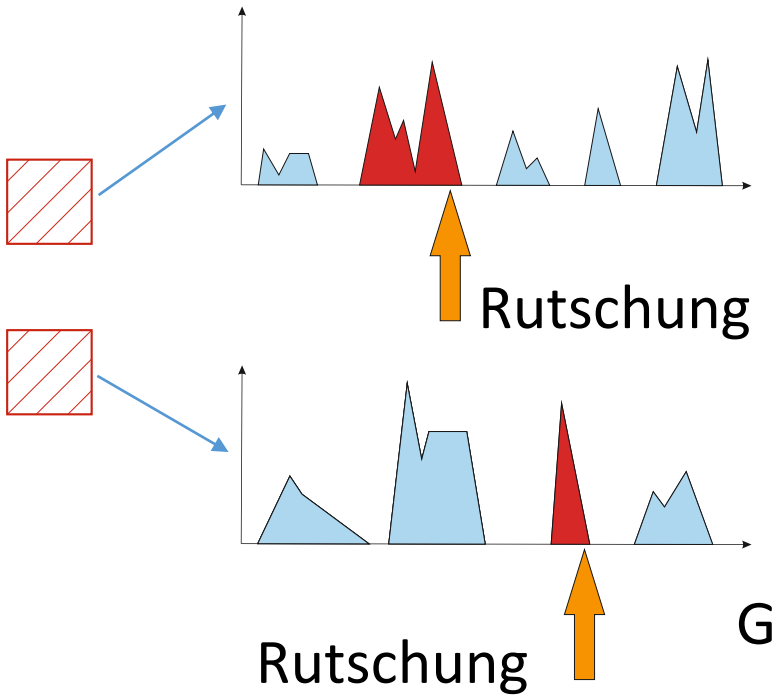
Niederschlagszellen

Rutschung

Definition von Niederschlagsereignissen



„Anfällige“ ZELLEN
Zellen, in denen mindestens ein Erdrutsch über den gesamten Zeitraum aufgezeichnet wurde.



auslösende
nicht-auslösende

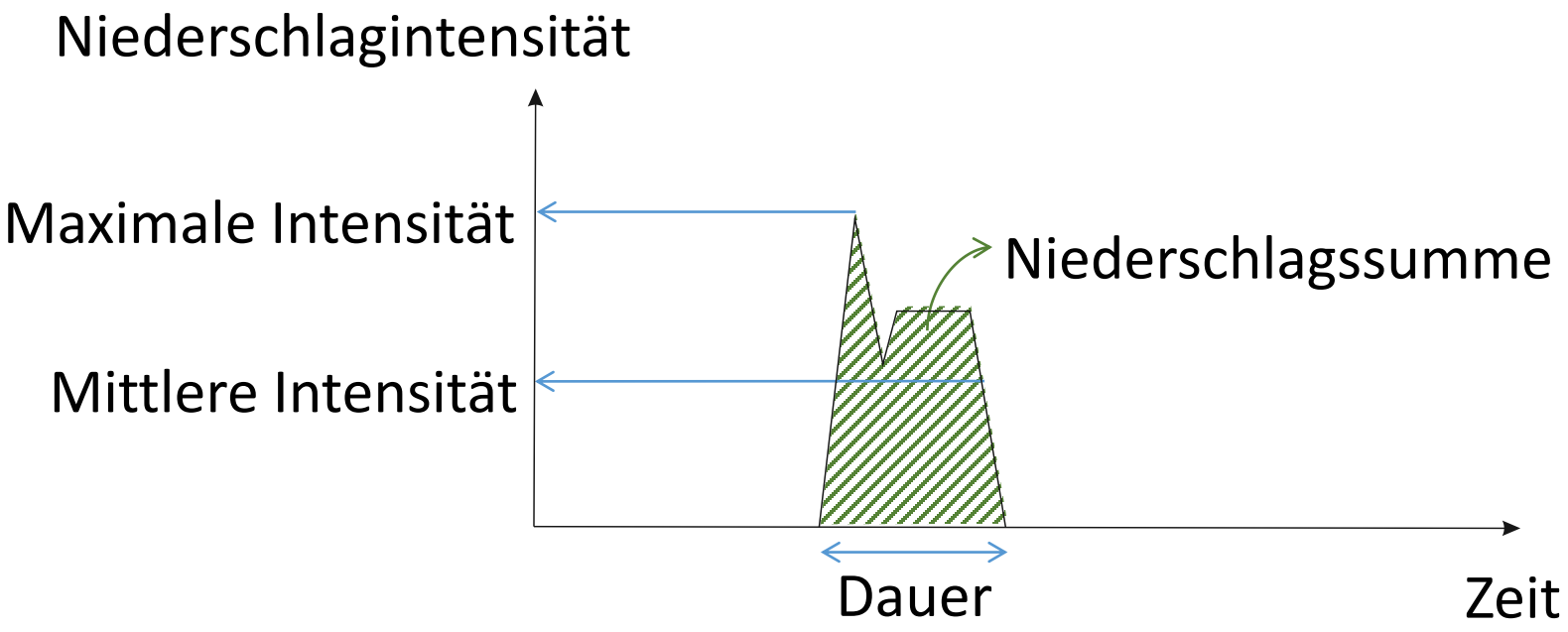
NIEDERSCHLAGSEREIGNISSE
Getrennt durch mindestens 1 Tag (Tagesdaten) oder 6 Stunden (Stundendaten) ohne Niederschlag.

Niederschlagszellen

Rutschung

Für jede anfällige Zelle beobachtete auslösende und nicht auslösende Ereignisse

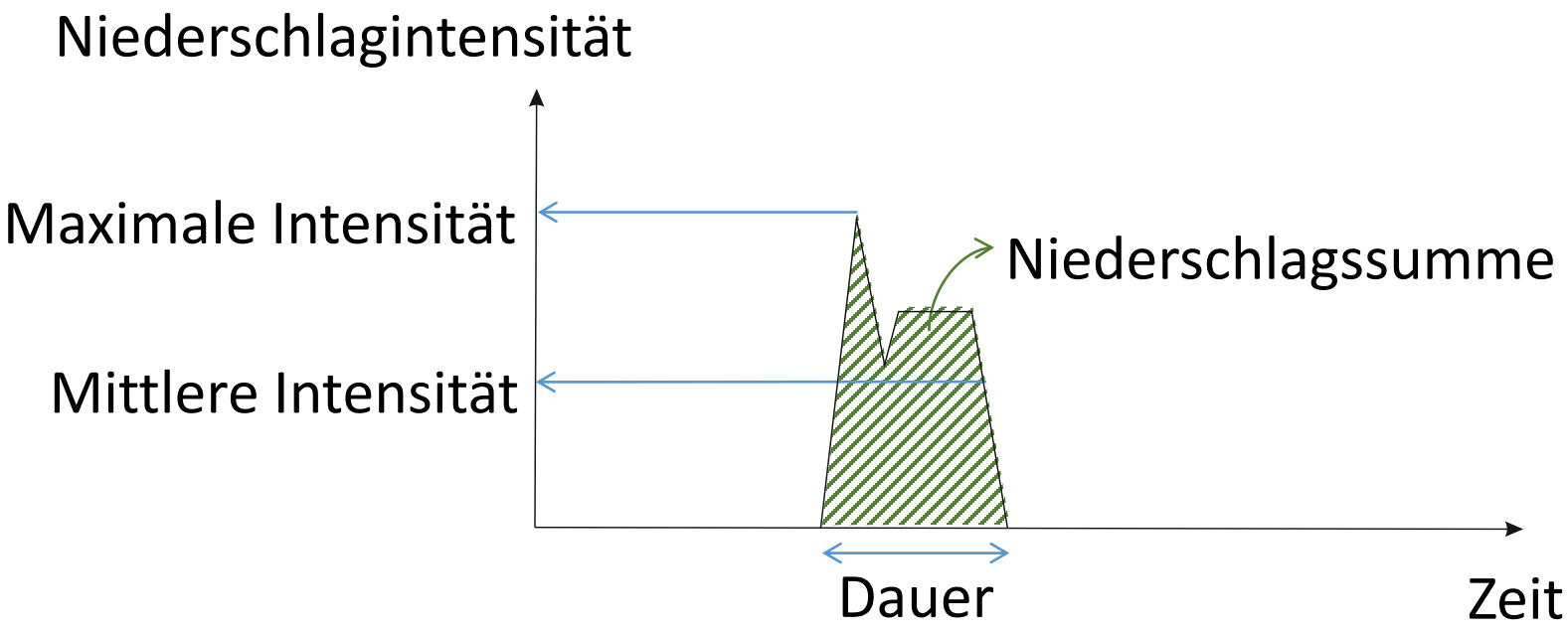
Definition von Niederschlagsereignissen



#	Beobachtung
1	n.A.
2	A.
3	n.A.
4	A.

A. = auslösende Ereignisse
n. A. = nicht-auslösende Ereignisse

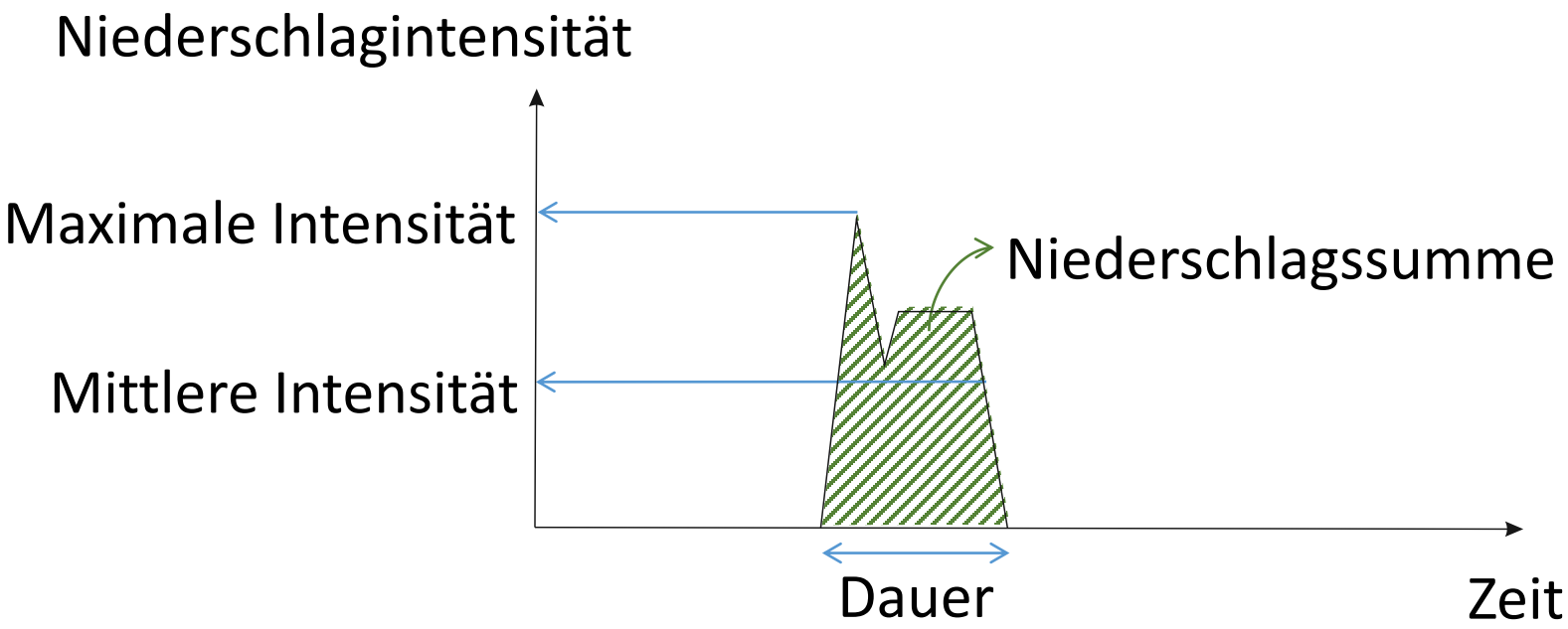
Definition von Niederschlagsereignissen



#	Beobachtung	Max. Intensität
1	n.A.	11
2	A.	10
3	n.A.	4
4	A.	15

A. = auslösende Ereignisse
n. A. = nicht-auslösende Ereignisse

Definition von Niederschlagsereignissen



#	Beobachtung	Max. Intensität
1	n.A.	11
2	A.	10
3	n.A.	4
4	A.	15

A. = auslösende Ereignisse
n. A. = nicht-auslösende Ereignisse

Für jedes Niederschlagsereignis werden die Niederschlagseigenschaften berechnet

Optimierungsstatistik

#	Beobachtung	Max. Intensität
1	n.A.	11
2	A.	10
3	n.A.	4
4	A.	15

Optimierungsstatistik

#	Beobachtung	Max. Intensität
1	n.A.	11
2	A.	10
3	n.A.	4
4	A.	15

Schwellenwert = 11 mm

Max. Int. ≥ Schwellenwert?

→ A.

Optimierungsstatistik

#	Beobachtung	Max. Intensität
1	n.A.	11
2	A.	10
3	n.A.	4
4	A.	15

Schwellenwert = 11 mm
Max. Int. ≥ Schwellenwert?
→ A.

Optimierungsstatistik

#	Beobachtung	Max. Intensität	Vorhersage
1	n.A.	11	A.
2	A.	10	n.A.
3	n.A.	4	n.A.
4	A.	15	A.

Schwellenwert = 11 mm

Max. Int. ≥ Schwellenwert?

→ A.

Optimierungsstatistik

#	Beobachtung	Max. Intensität	Vorhersage
1	n.A.	11	A.
2	A.	10	n.A.
3	n.A.	4	n.A.
4	A.	15	A.

Vergleich der Beobachtung mit Vorhersagen, die auf der Überschreitung (oder nicht) des gewählten Schwellenwerts beruhen.

Schwellenwert = 11 mm

Max. Int. ≥ Schwellenwert?

→ A.

Optimierungsstatistik

#	Beobachtung	Max. Intensität	Vorhersage
1	n.A.	11	A.
2	A.	10	n.A.
3	n.A.	4	n.A.
4	A.	15	A.

Schwellenwert = 11 mm

Max. Int. ≥ Schwellenwert?

→ A.

Vergleich der Beobachtung mit Vorhersagen, die auf der Überschreitung (oder nicht) des gewählten Schwellenwerts beruhen.

WAHRHEITSMATRIX

		Beobachtung	
		Auslösung	nicht Ausl.
Vorhersage	Ausl.	richtig positiv (RP)	falsch positiv (FP)
	nicht Ausl.	falsch negative (FN)	richtig negativ (RN)

Optimierungsstatistik

#	Beobachtung	Max. Intensität	Vorhersage
1	n.A.	11	A.
2	A.	10	n.A.
3	n.A.	4	n.A.
4	A.	15	A.

Schwellenwert = 11 mm

Max. Int. ≥ Schwellenwert?

→ A.

Vergleich der Beobachtung mit Vorhersagen, die auf der Überschreitung (oder nicht) des gewählten Schwellenwerts beruhen.

WAHRHEITSMATRIX

		Beobachtung	
		Auslösung	nicht Ausl.
Vorhersage	Ausl.	richtig positiv (RP)	falsch positiv (FP)
	nicht Ausl.	falsch negative (FN)	richtig negativ (RN)

Sensitivität $= \frac{\mathrm{RP}}{\mathrm{RP+FN}}$

Richtig postiv Rate

Spezifität $= \frac{\mathrm{RN}}{\mathrm{RN+FP}}$

Richtig negativ Rate

True Skill Statistic (TSS)

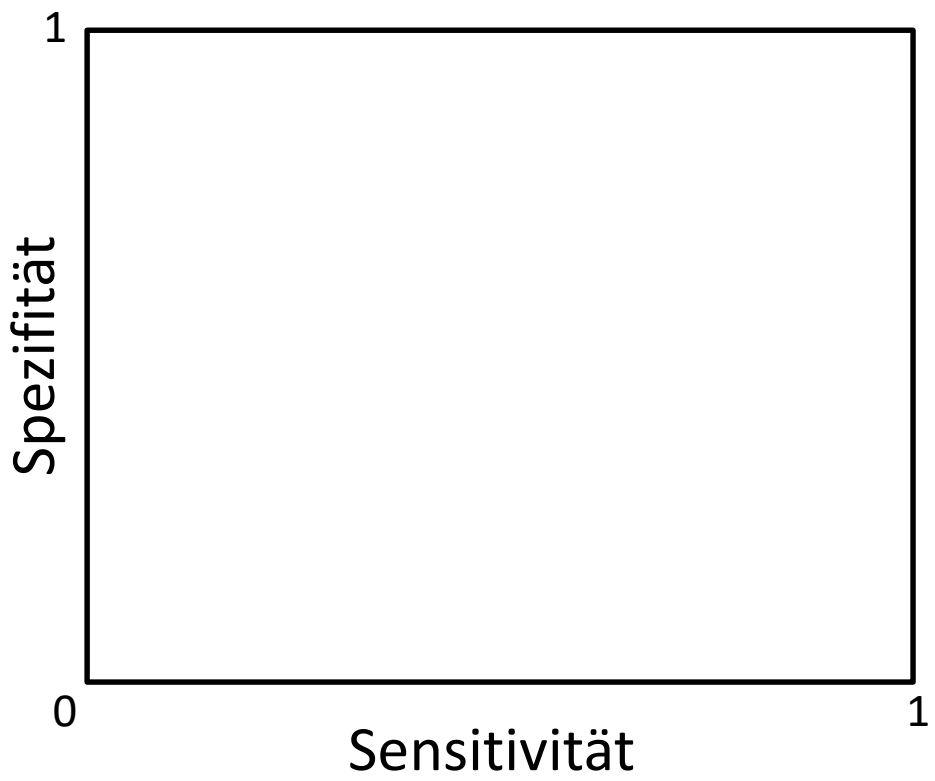
$= \mathrm{Sens.} + \mathrm{Spez.} - 1$

$= \mathrm{Treffer\ Rate} - \mathrm{Fehlalarm\ Rate}$

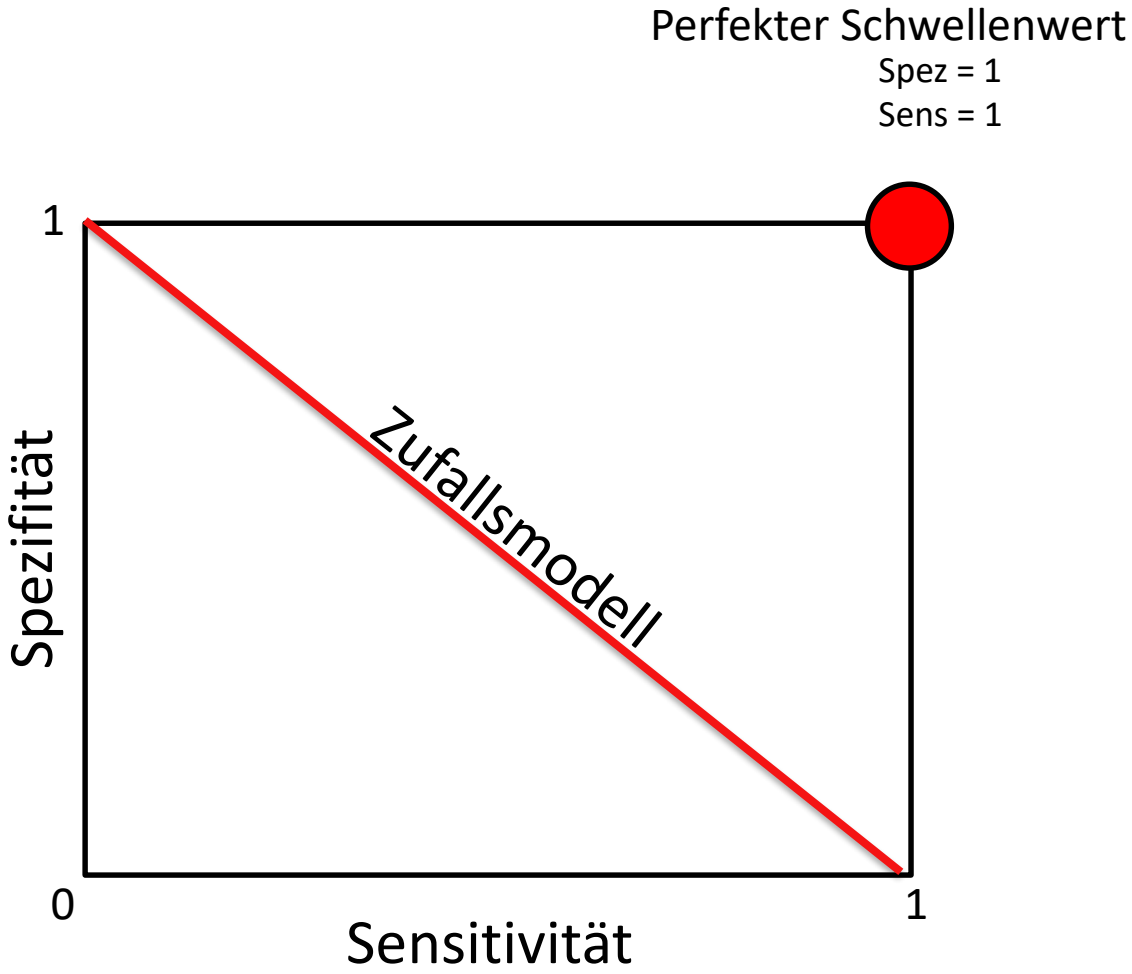
Receiver-Operating-Characteristics (ROC) Kurve

Optimierung Schwellenwert

Optimierung Schwellenwert

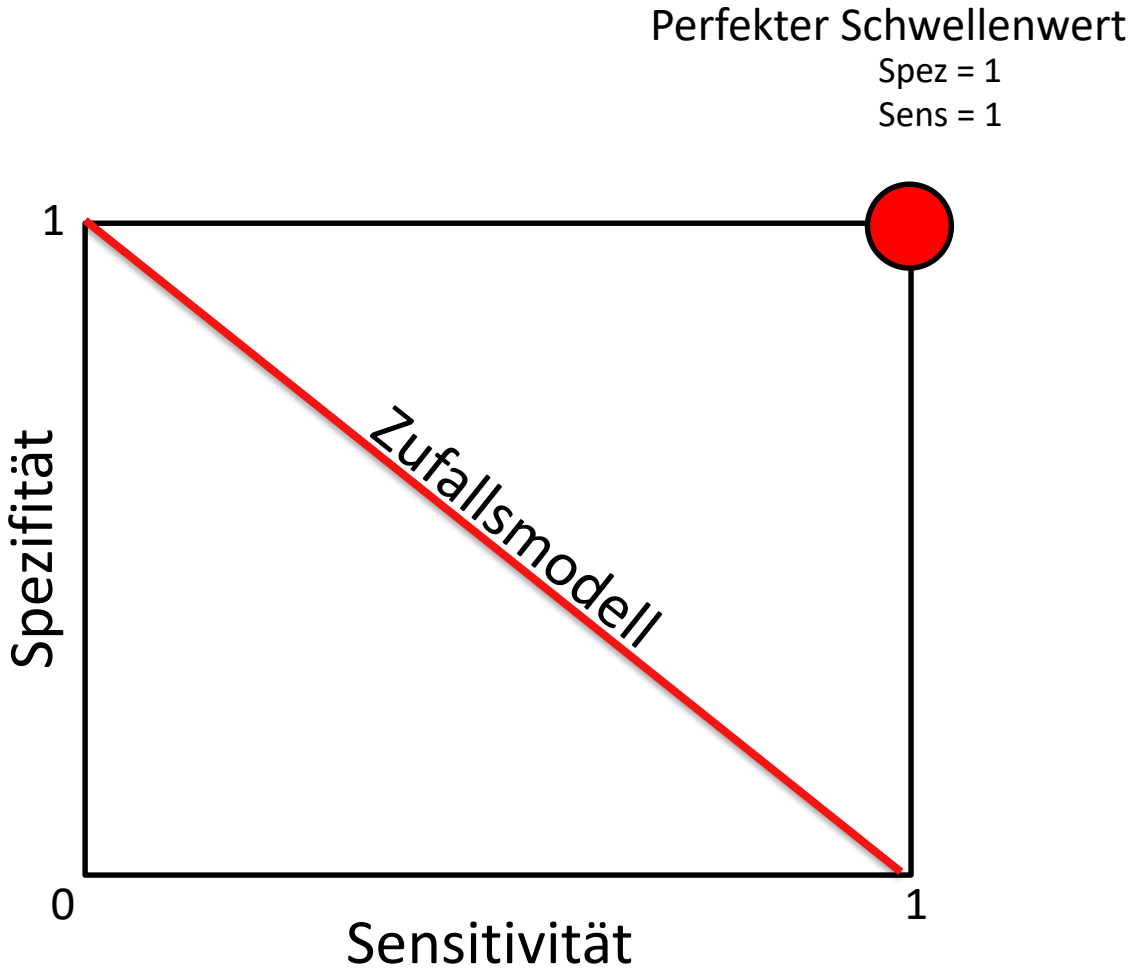


Optimierung Schwellenwert



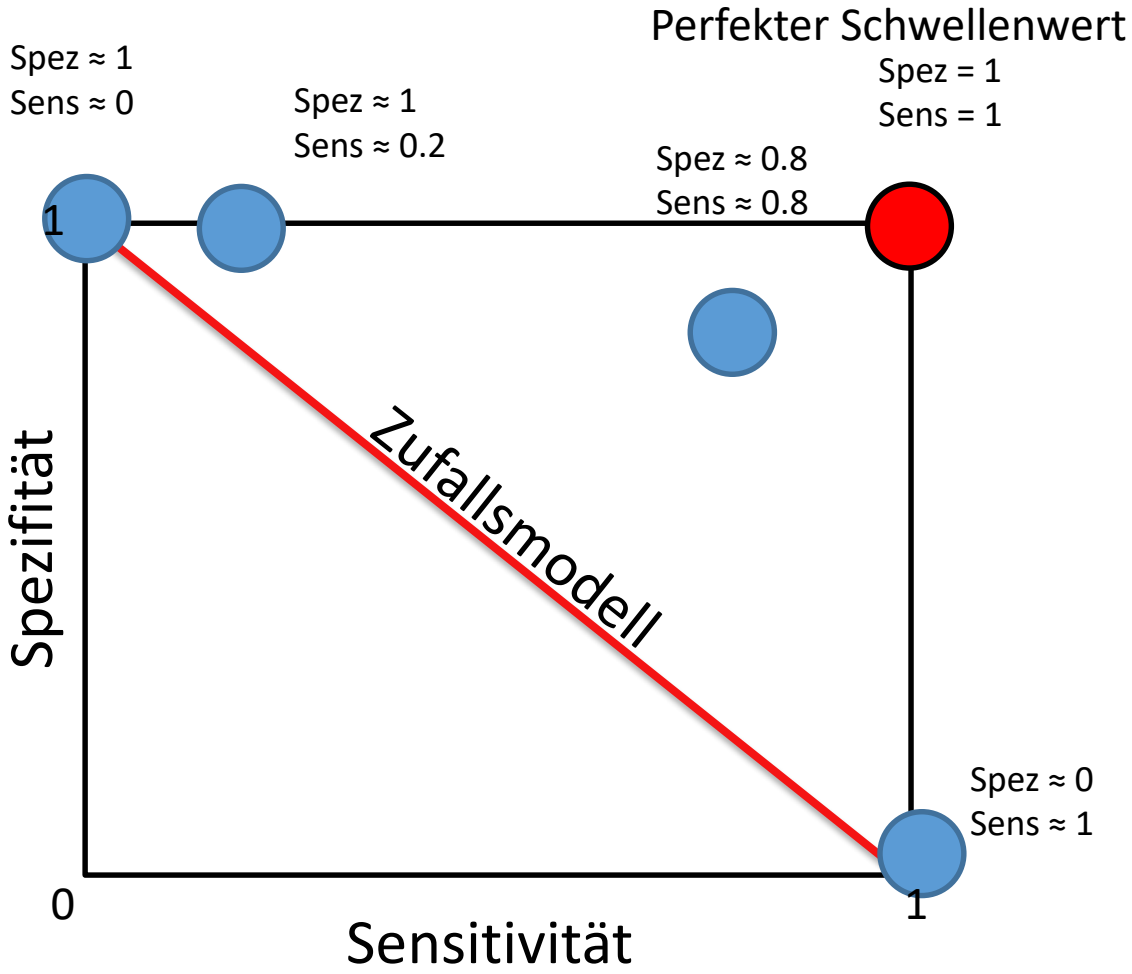
Optimierung Schwellenwert

Für eine bestimmte Niederschlagscharakteristik (Parameter) jeden möglichen Schwellenwert testen:



Optimierung Schwellenwert

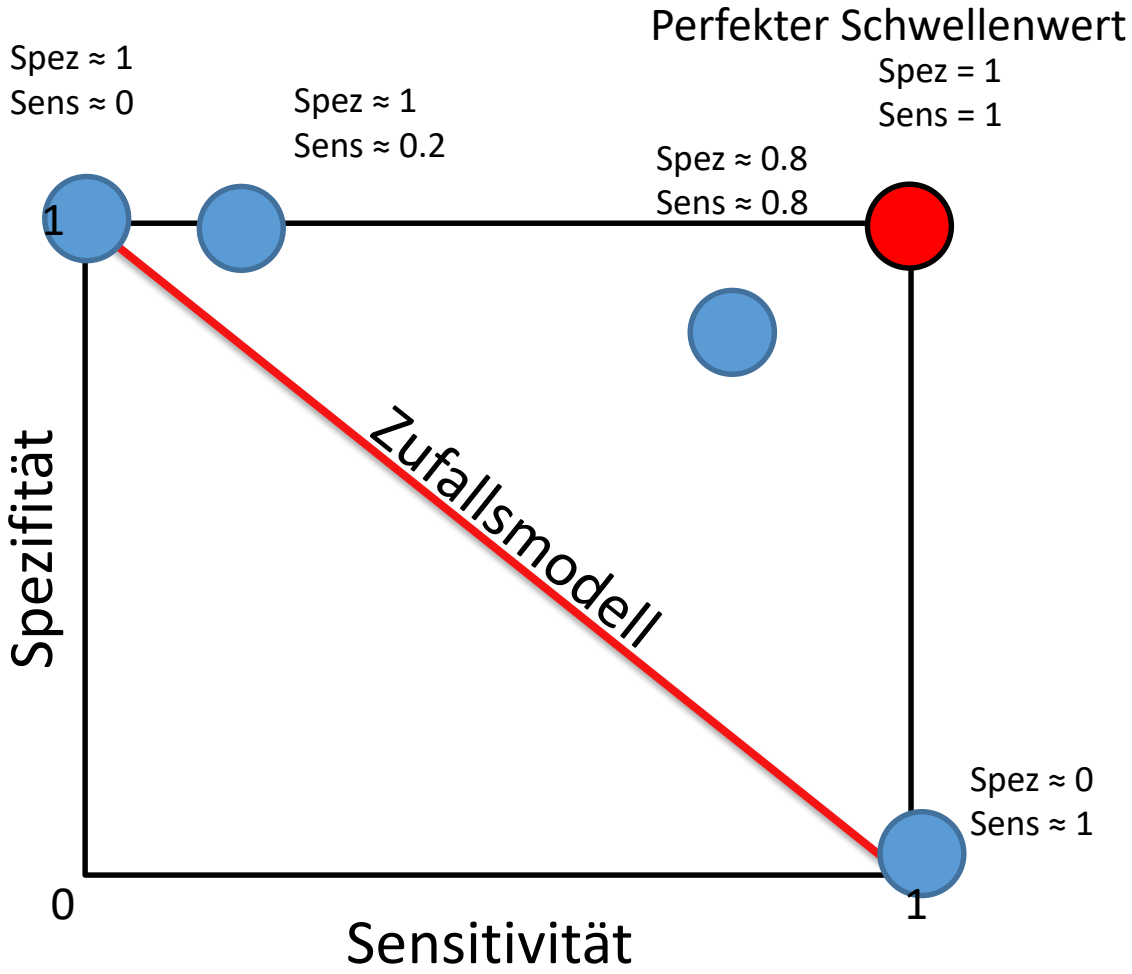
Für eine bestimmte Niederschlagscharakteristik (Parameter) jeden möglichen Schwellenwert testen:



Optimierung Schwellenwert

Für eine bestimmte Niederschlagscharakteristik (Parameter) jeden möglichen Schwellenwert testen:

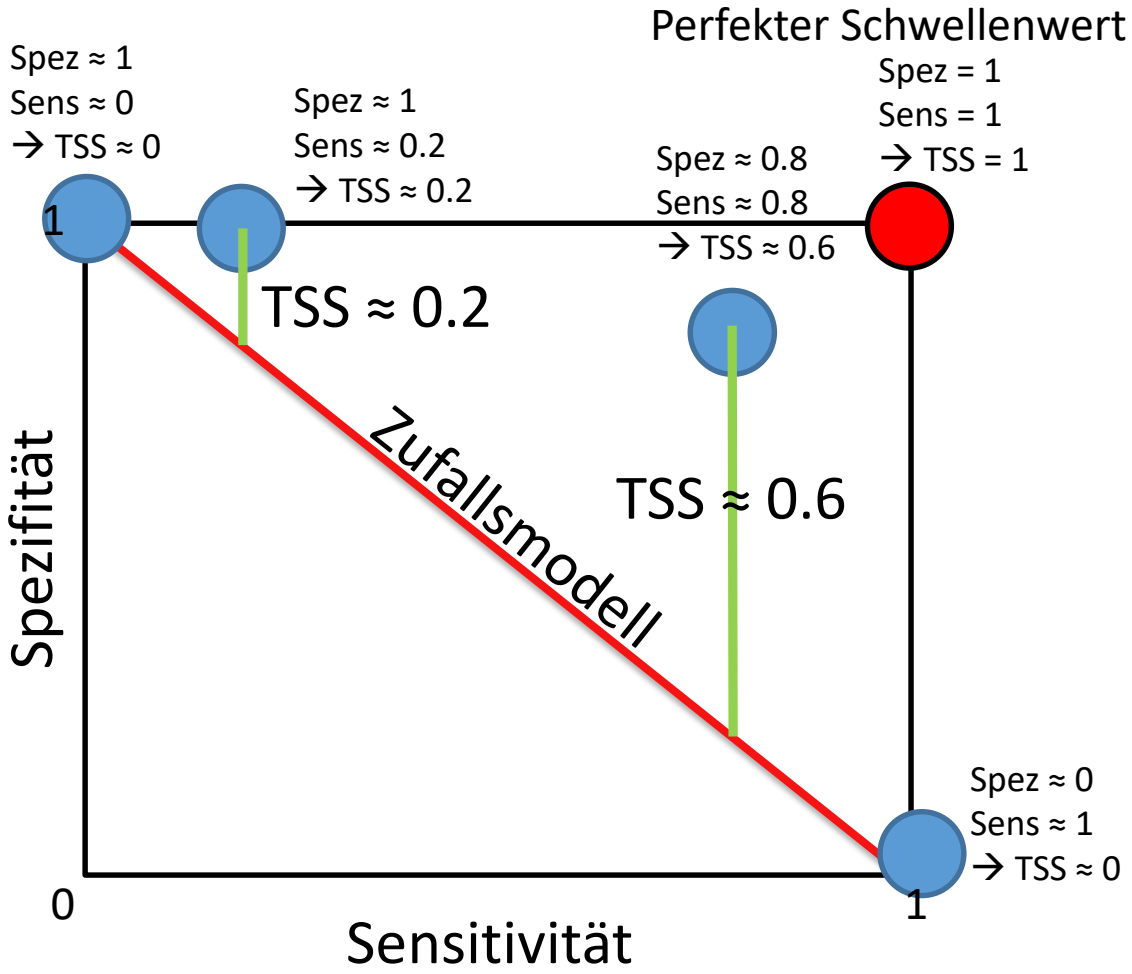
1) True Skill Statistic (Spez.+Sens.-1) maximieren
→ Bester Schwellenwert



Optimierung Schwellenwert

Für eine bestimmte Niederschlagscharakteristik (Parameter) jeden möglichen Schwellenwert testen:

1) True Skill Statistic (Spez.+Sens.-1) maximieren
→ Bester Schwellenwert

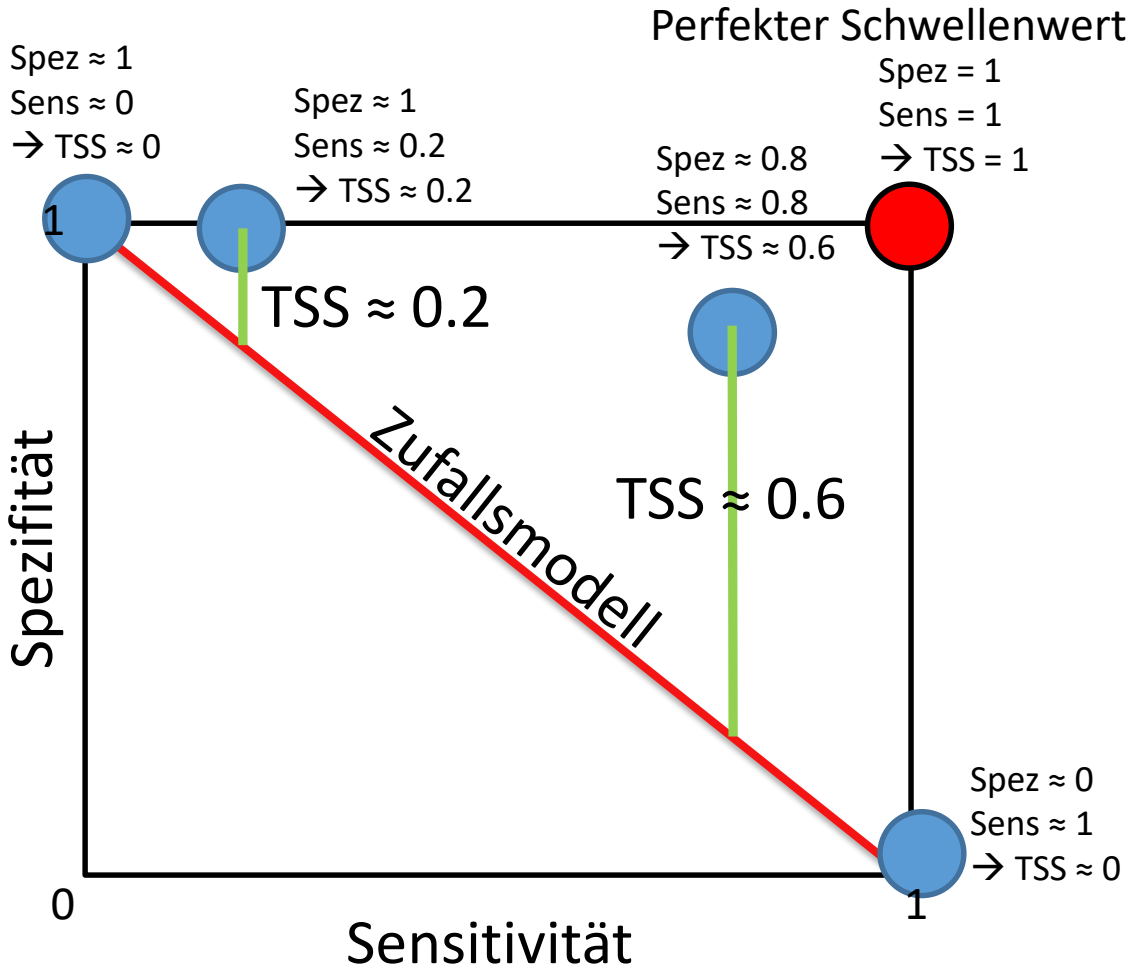


Optimierung Schwellenwert

Für eine bestimmte Niederschlagscharakteristik (Parameter) jeden möglichen Schwellenwert testen:

1) True Skill Statistic (Spez.+Sens.-1) maximieren
   → Bester Schwellenwert

2) ROC-Kurve (Spez. vs Sens.) berechnen
   → Vorhersagekraft des Parameter

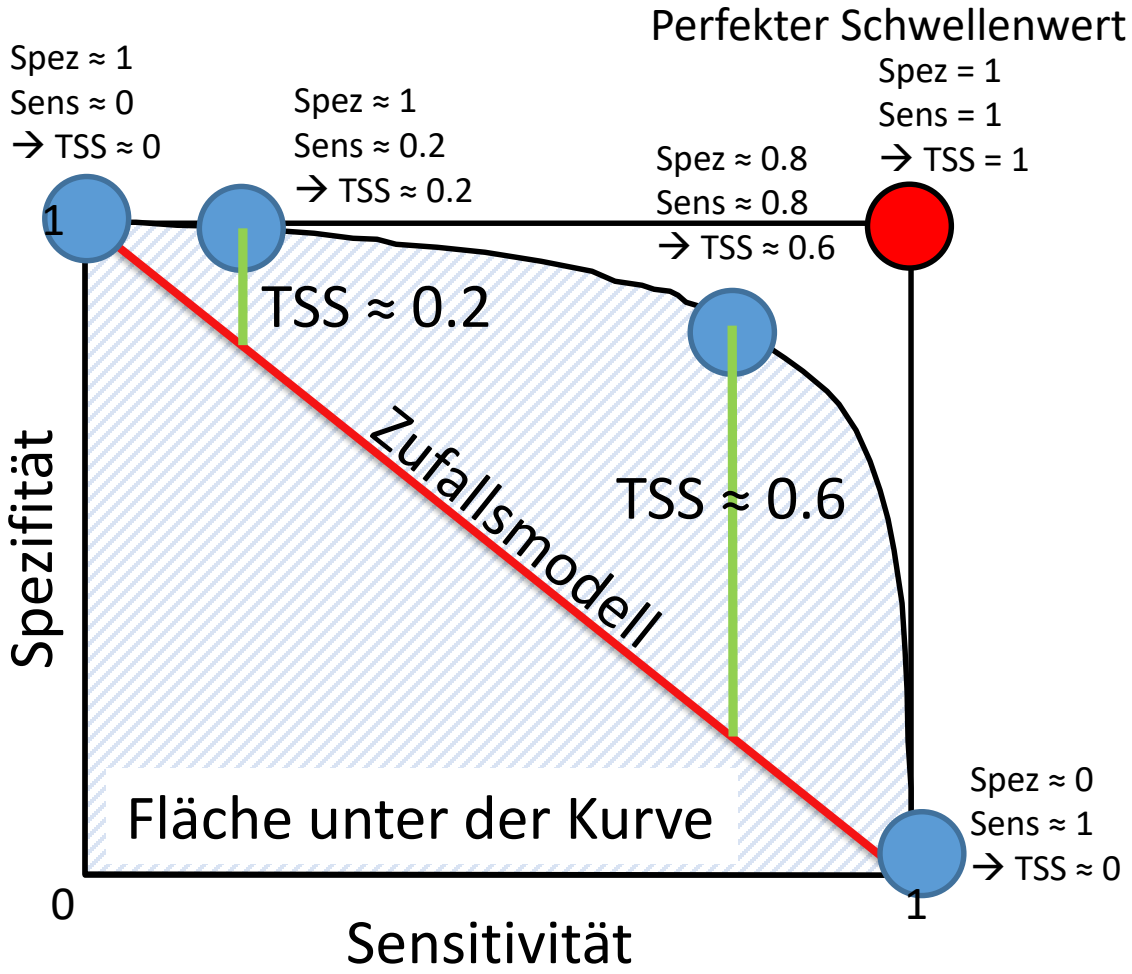


Optimierung Schwellenwert

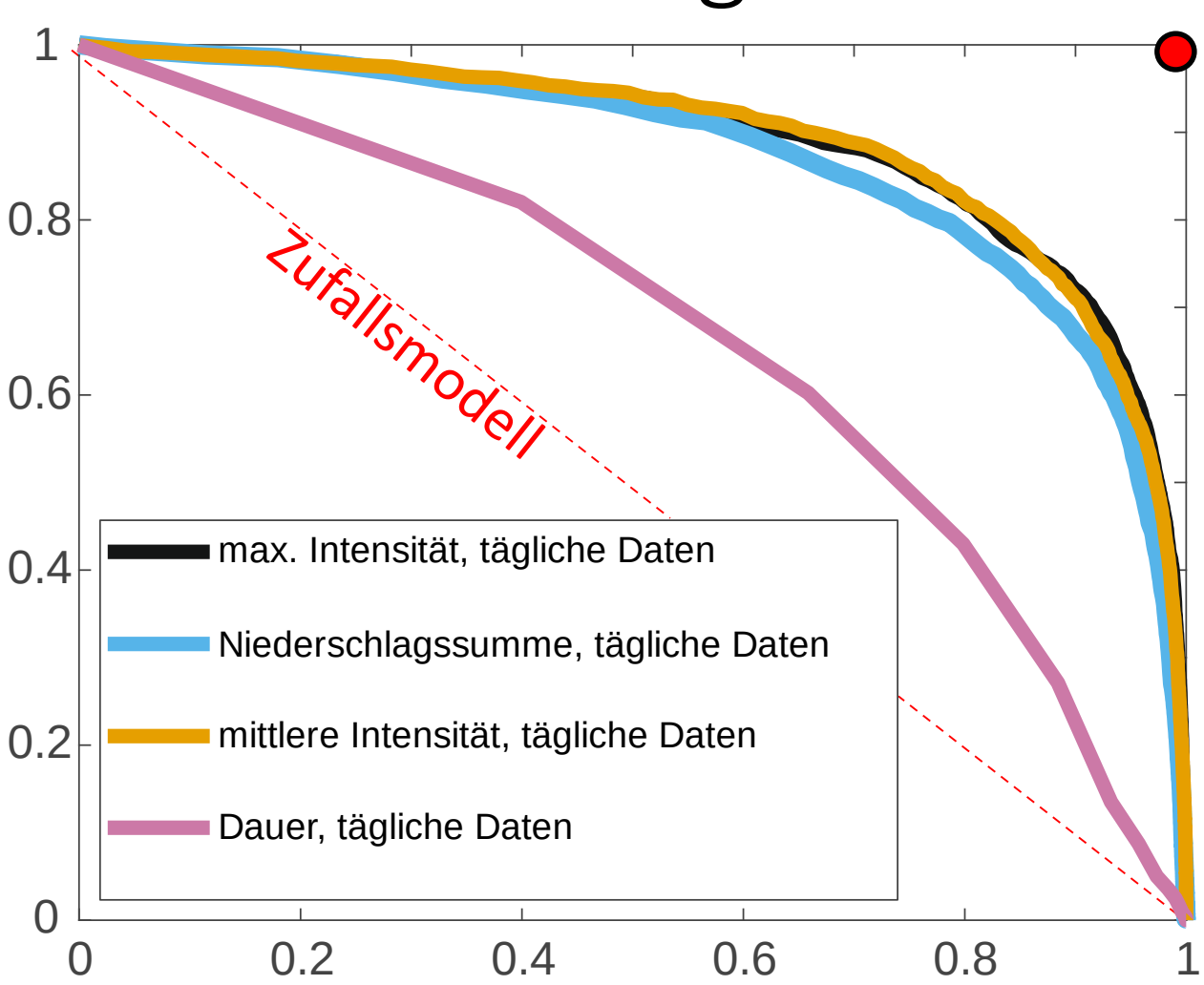
Für eine bestimmte Niederschlagscharakteristik (Parameter) jeden möglichen Schwellenwert testen:

1) True Skill Statistic (Spez.+Sens.-1) maximieren
   → Bester Schwellenwert

2) ROC-Kurve (Spez. vs Sens.) berechnen
   → Vorhersagekraft des Parameter



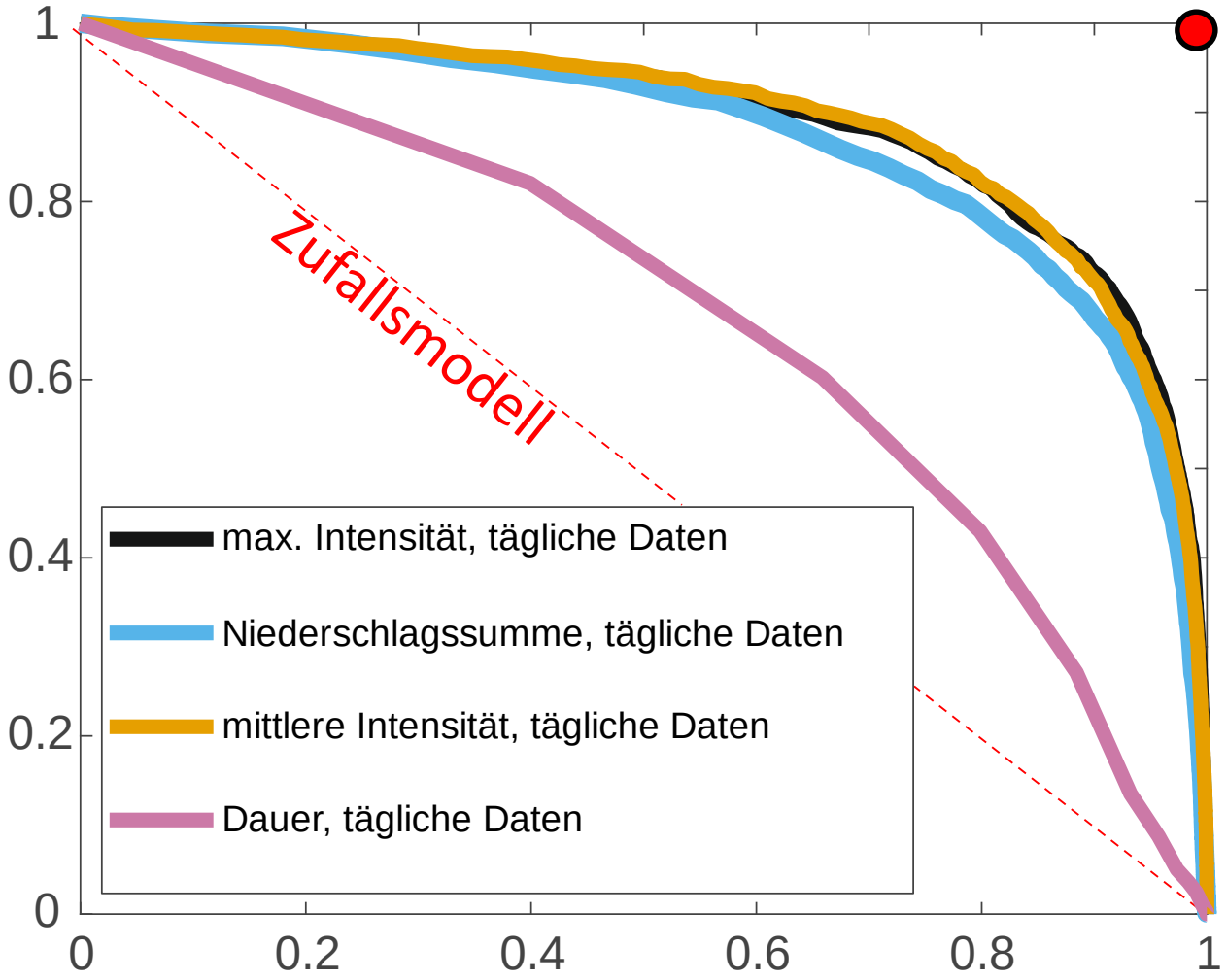
Niederschlagscharakteristik



Für jeden Parameter alle möglichen Schwellenwerte testen:

		Maximale Intensität	Mittlere Intensität	Niederschlags-summe	Dauer
Tages-niederschlag	Schwellenwert	29.6 mm/d	14.7 mm/d	42.9 mm	3 d
	TSS	0.63	0.63	0.59	0.26
	AUC	0.89	0.89	0.87	0.66

Niederschlagscharakteristik

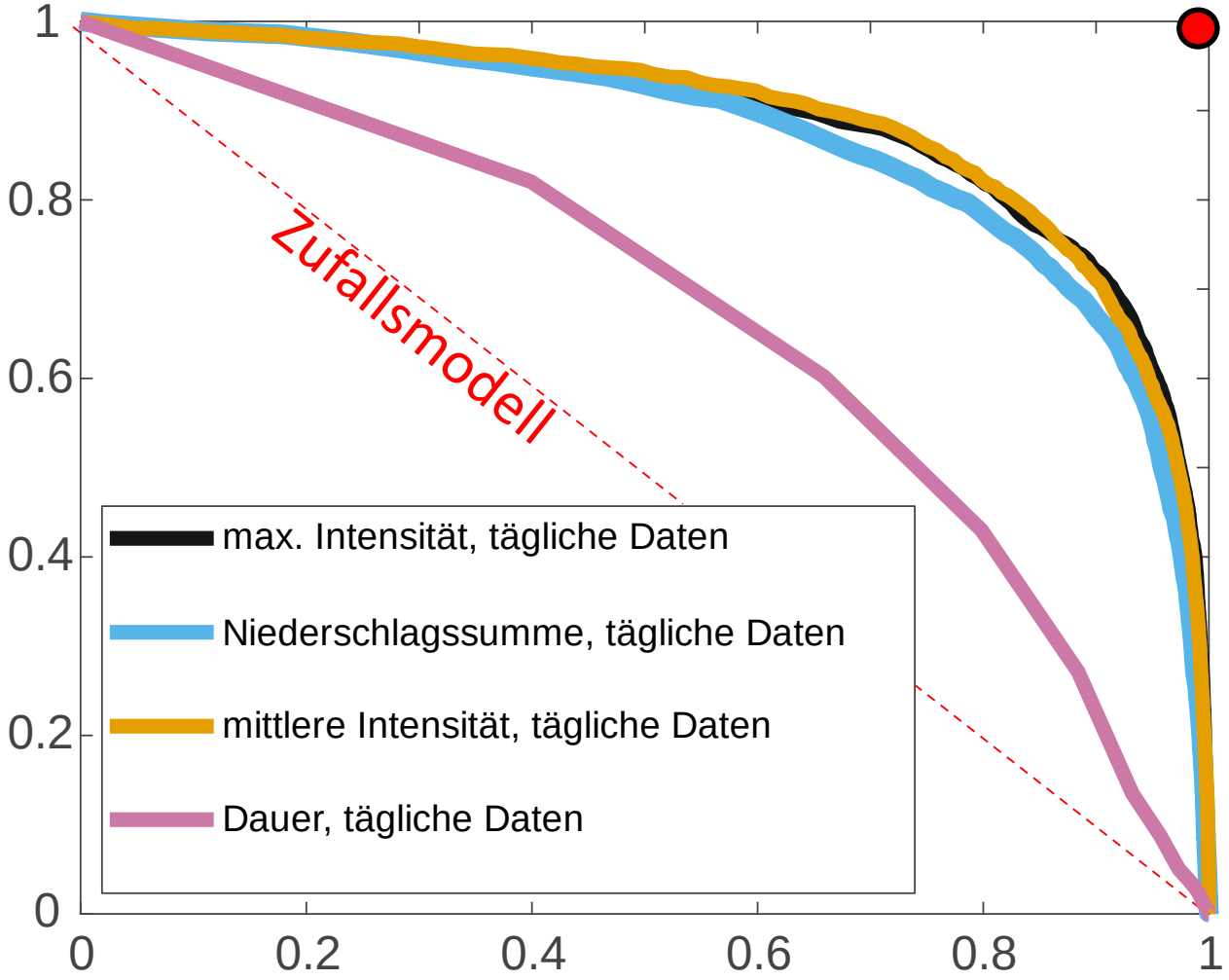


Für jeden Parameter alle möglichen Schwellenwerte testen:

- maximale Intensität und mittlere Intensität mit den besten Vorhersagen, gefolgt von der Niederschlagssumme.

		Maximale Intensität	Mittlere Intensität	Niederschlags-summe	Dauer
Tages-niederschlag	Schwellenwert	29.6 mm/d	14.7 mm/d	42.9 mm	3 d
	TSS	**0.63**	**0.63**	**0.59**	**0.26**
	AUC	0.89	0.89	0.87	0.66

Niederschlagscharakteristik



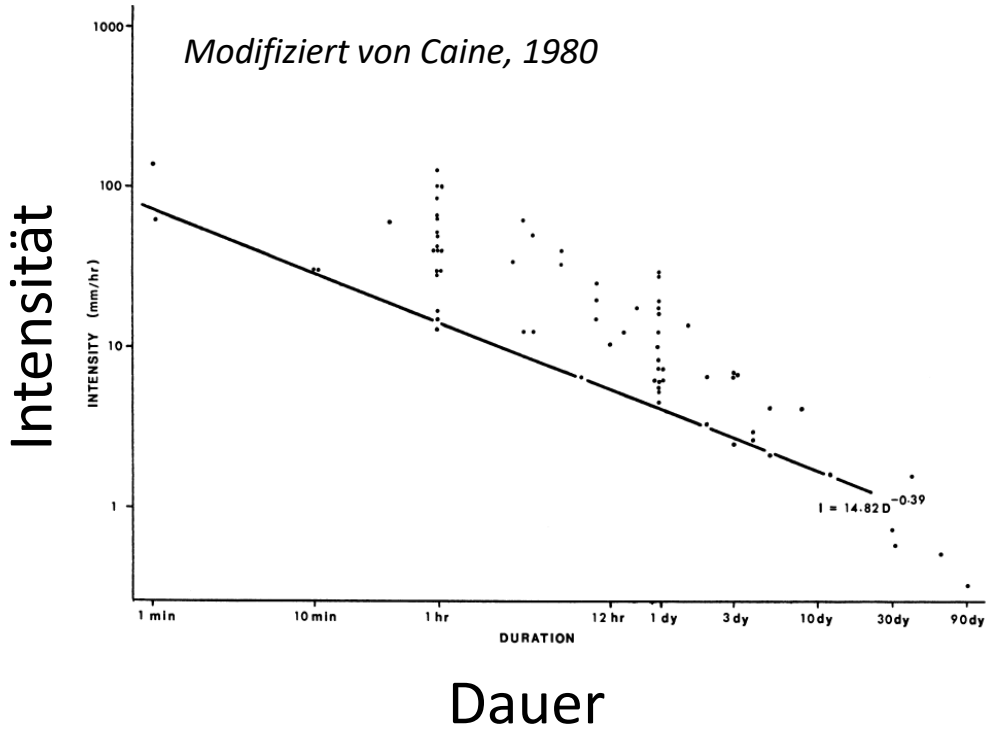
Für jeden Parameter alle möglichen Schwellenwerte testen:

- maximale Intensität und mittlere Intensität mit den besten Vorhersagen, gefolgt von der Niederschlagssumme.
- Die Dauer an sich erweist sich als deutlich schlechtere Vorhersage

		Maximale Intensität	Mittlere Intensität	Niederschlags-summe	Dauer
Tages-niederschlag	Schwellenwert	29.6 mm/d	14.7 mm/d	42.9 mm	3 d
	TSS	0.63	0.63	0.59	0.26
	AUC	0.89	0.89	0.87	0.66

Intensitätsdauerkurve

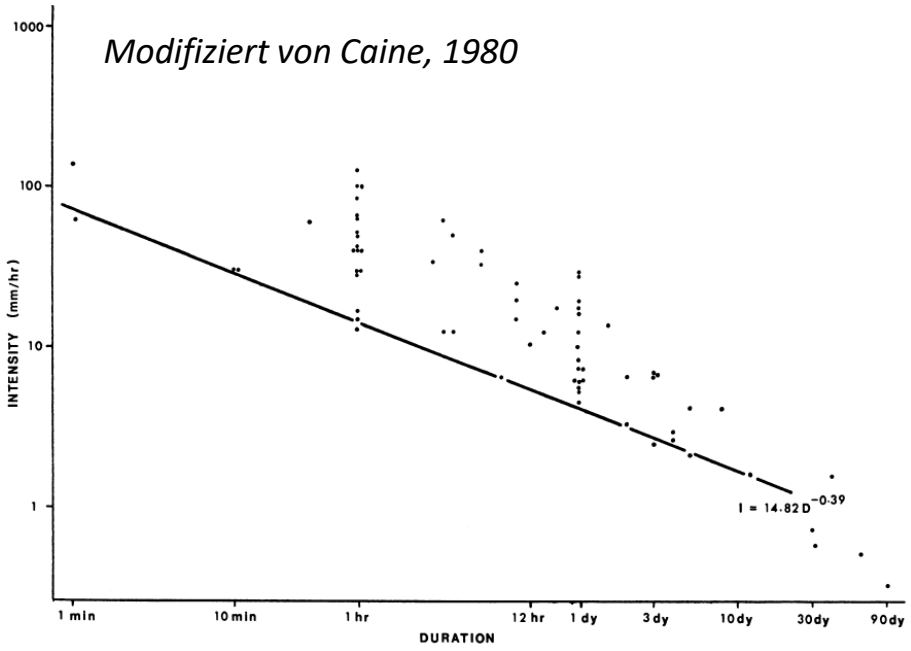
Intensitätsdauerkurve



Schwellenwert als **Potenzfunktion im Intensitäts-Dauer-Raum definiert**: Rutschungen werden typischerweise durch **kurze und intensive oder lang anhaltende** (weniger intensive) Niederschlagsereignisse ausgelöst.

Intensitätsdauerkurve

Intensität



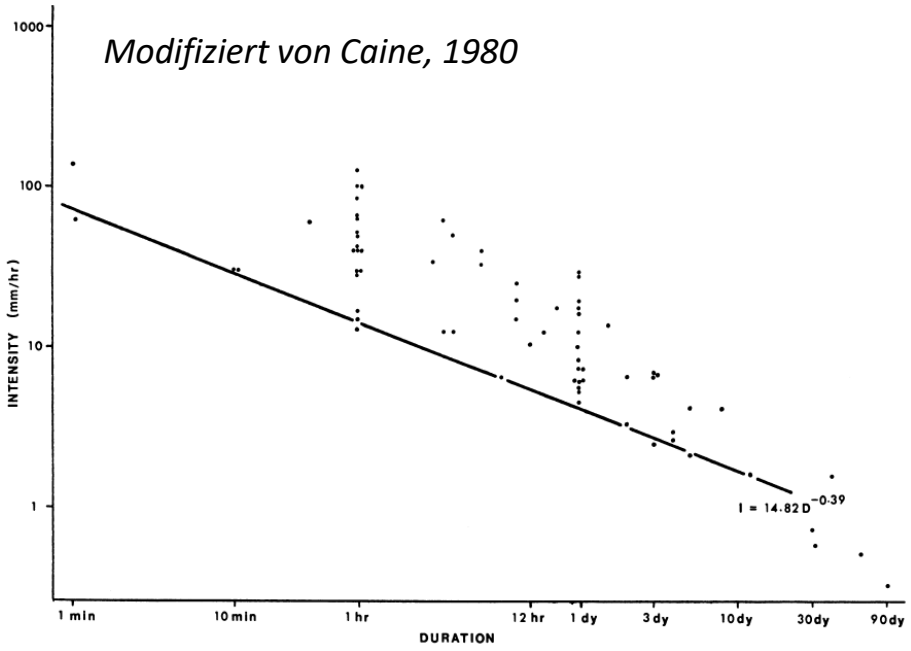
Dauer

Schwellenwert als **Potenzfunktion im Intensitäts-Dauer-Raum definiert**: Rutschungen werden typischerweise durch **kurze und intensive oder lang anhaltende** (weniger intensive) Niederschlagsereignisse ausgelöst.

Für die Definition des Schwellenwertes (Kurve) werden typischerweise nur auslösende Ereignisse berücksichtigt: visuelle Anpassung (z.B. Caine 1980) oder statistische Methode (z.B. der frequentistische Ansatz in Brunetti et al. 2010, oder die Bayes'sche Inferenzmethode in Guzzetti et al., 2007).

Intensitätsdauerkurve

Intensität



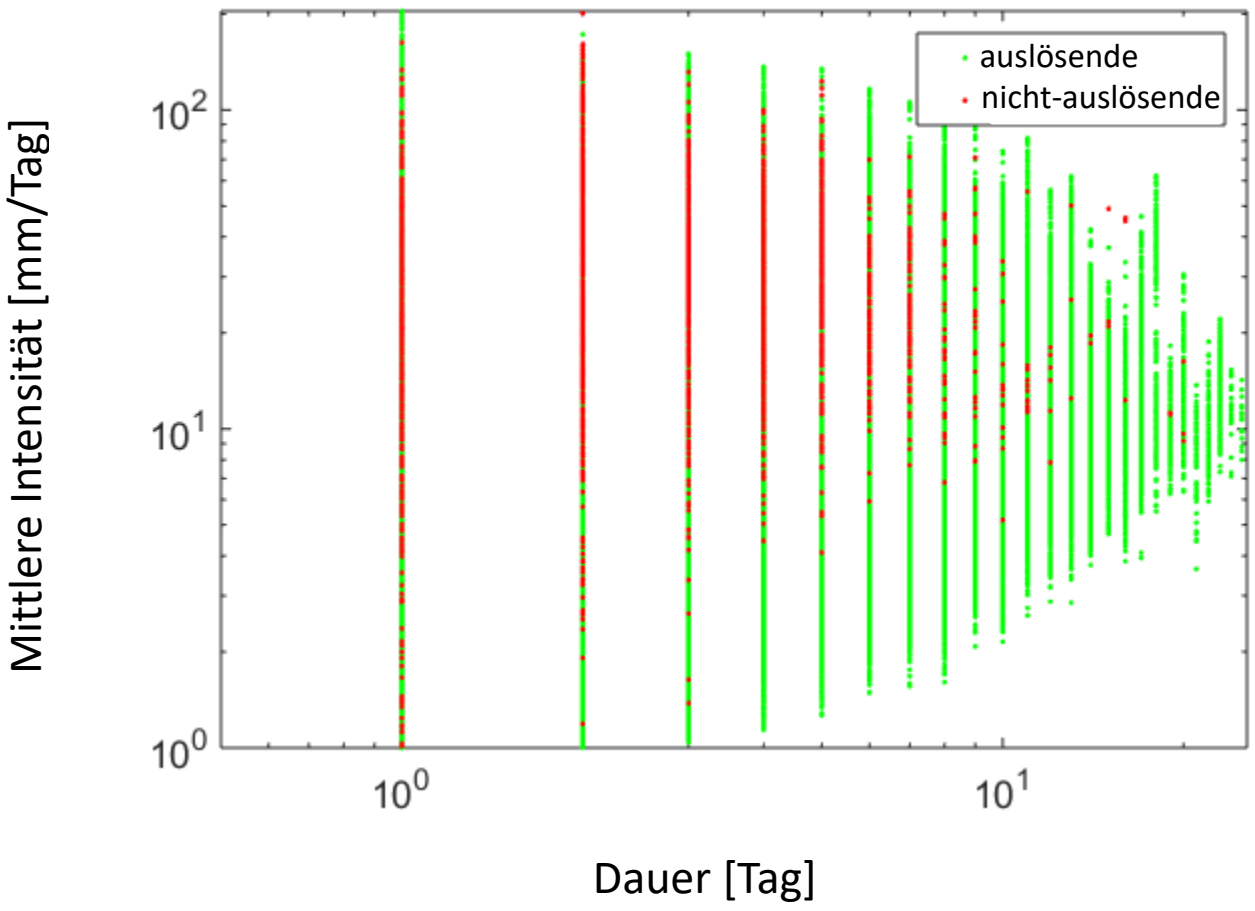
Dauer

Schwellenwert als **Potenzfunktion im Intensitäts-Dauer-Raum definiert**: Rutschungen werden typischerweise durch **kurze und intensive oder lang anhaltende** (weniger intensive) Niederschlagsereignisse ausgelöst.

Für die Definition des Schwellenwertes (Kurve) werden typischerweise nur auslösende Ereignisse berücksichtigt: visuelle Anpassung (z.B. Caine 1980) oder statistische Methode (z.B. der frequentistische Ansatz in Brunetti et al. 2010, oder die Bayes'sche Inferenzmethode in Guzzetti et al., 2007).

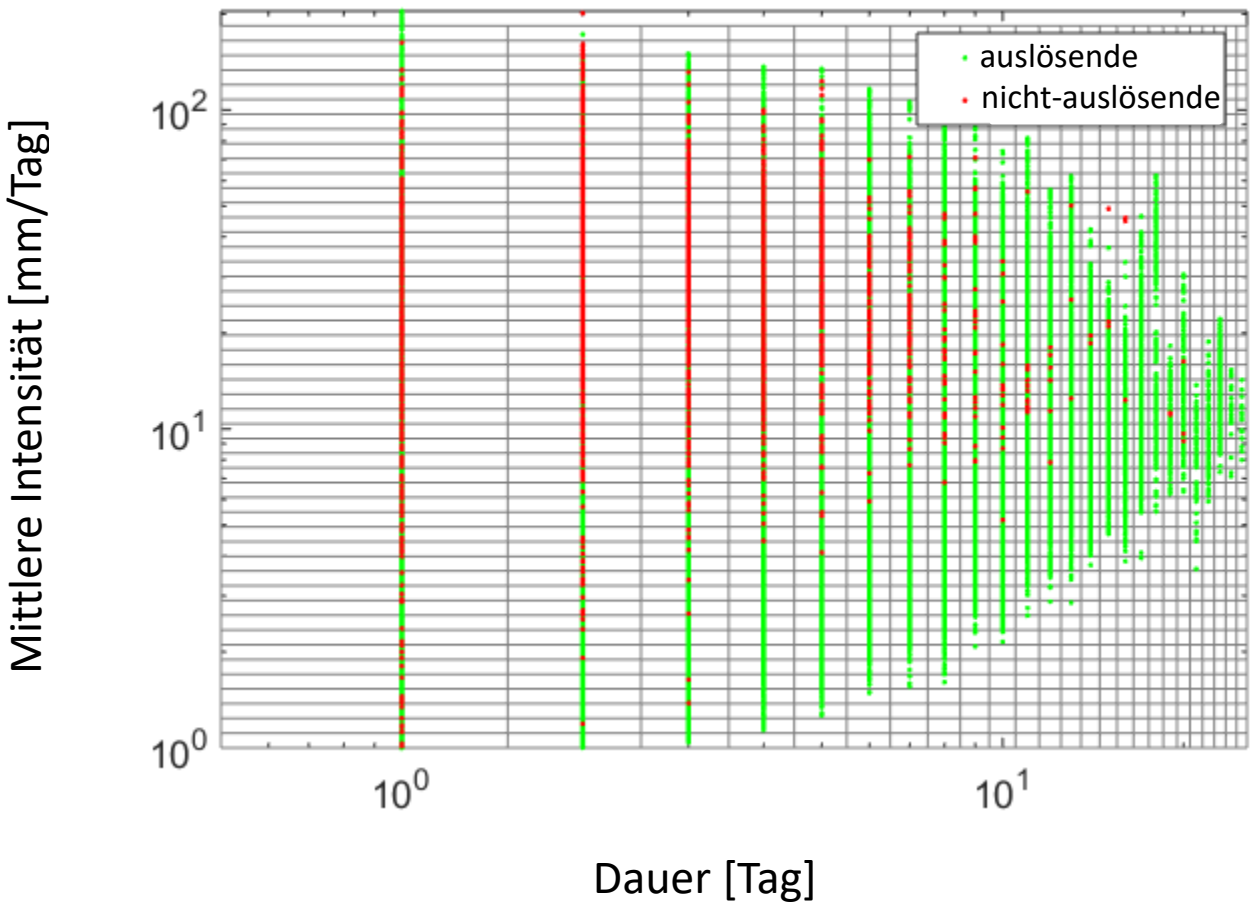
Hier: Optimierung der Parameter einer Potenzfunktion durch Maximierung des TSS.

Intensitätsdauerkurve



Aufgrund der hohen Anzahl von Ereignissen sowie der diskreten Dauerwerte erlauben Scatterplots keine aussagekräftige Visualisierung der Daten und die Darstellung einer Schwellenwertkurve (hier im Log-Log Diagramm eine Gerade)

Intensitätsdauerkurve



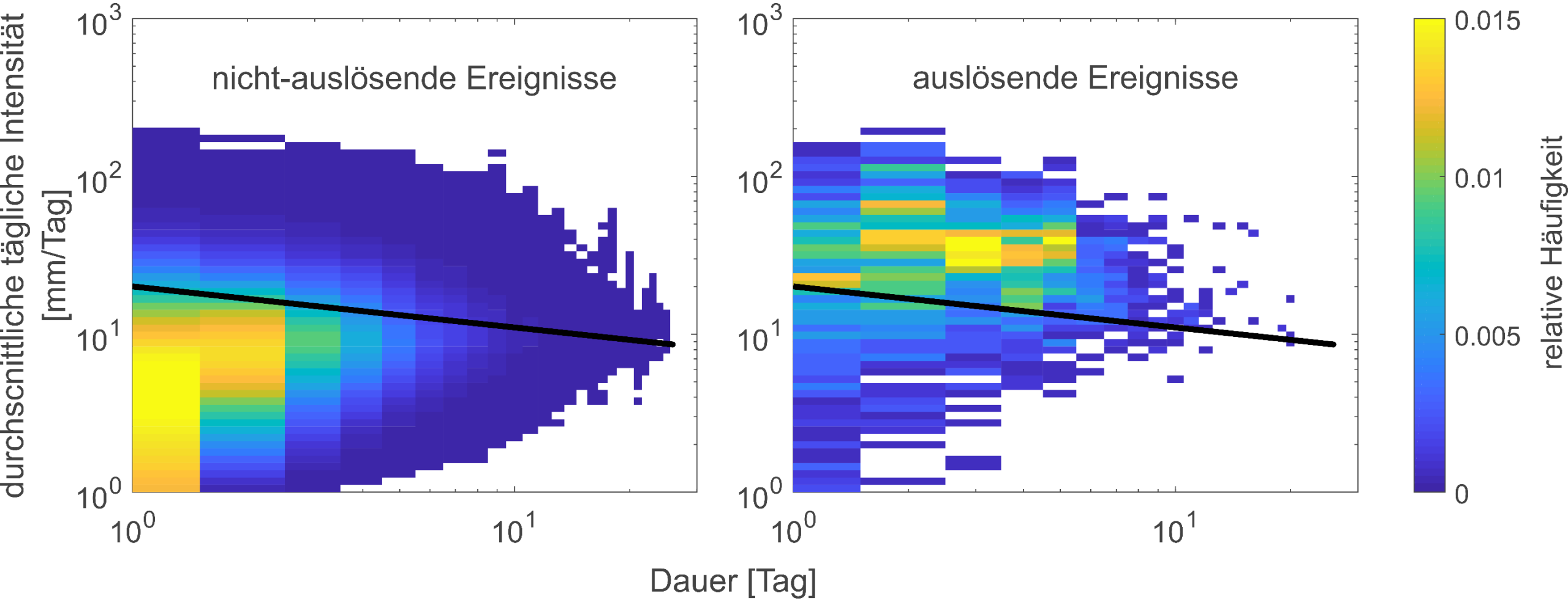
Aufgrund der hohen Anzahl von Ereignissen sowie der diskreten Dauerwerte erlauben Scatterplots keine aussagekräftige Visualisierung der Daten und die Darstellung einer Schwellenwertkurve (hier im Log-Log Diagramm eine Gerade)

Den ID-Raum mit Raster abdecken und die relative Häufigkeit berechnen als:

$$\frac{Anzahl\ der\ Ereignisse\ in\ Box\ i}{Gesamtzahl\ der\ Ereignisse}$$

Intensitätsdauerkurve

$I = 20.1\ D^{-0.26}$ TSS = 0.65



Wie kann man die Schwellenwerte verbessern?

Wie kann man die Schwellenwerte verbessern?

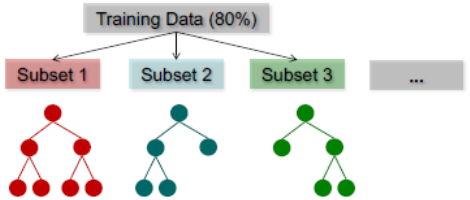
1) Berücksichtigung von mehreren Niederschlagseigenschaften gleichzeitig

Wie kann man die Schwellenwerte verbessern?

1) Berücksichtigung von mehreren Niederschlagseigenschaften gleichzeitig

z.B.

Random Forest



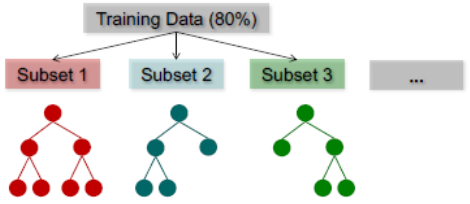
jacob.hirschberg@wsl.ch

Wie kann man die Schwellenwerte verbessern?

1) Berücksichtigung von mehreren Niederschlagseigenschaften gleichzeitig

z.B.

Random Forest



2) Verbesserung der zeitlichen Auflösung (stündliche Niederschlagsdaten)

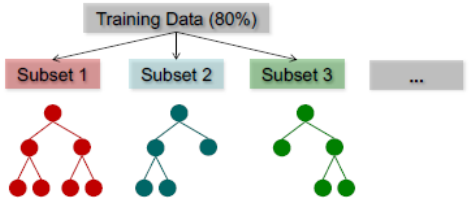
jacob.hirschberg@wsl.ch

Wie kann man die Schwellenwerte verbessern?

1) Berücksichtigung von mehreren Niederschlagseigenschaften gleichzeitig

z.B.

Random Forest



jacob.hirschberg@wsl.ch

2) Verbesserung der zeitlichen Auflösung (stündliche Niederschlagsdaten)

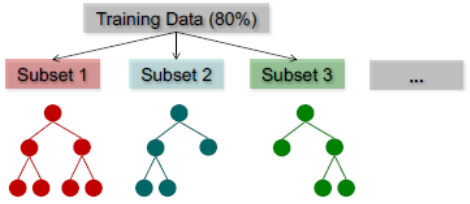
3) Zusätzliche Informationen einbinden, Schwellenwerte lokalisieren

Wie kann man die Schwellenwerte verbessern?

1) Berücksichtigung von mehreren Niederschlagseigenschaften gleichzeitig

z.B.

Random Forest



jacob.hirschberg@wsl.ch

2) Verbesserung der zeitlichen Auflösung (stündliche Niederschlagsdaten)

3) Zusätzliche Informationen einbinden, Schwellenwerte lokalisieren

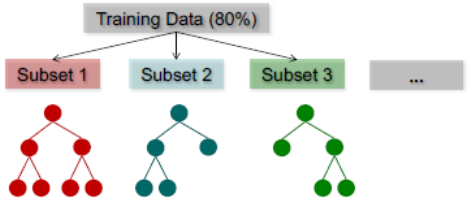
4) Berücksichtigung der Bodenfeuchtigkeit vor den (auslösenden) Regenereignissen

Wie kann man die Schwellenwerte verbessern?

1) Berücksichtigung von mehreren Niederschlagseigenschaften gleichzeitig

z.B.

Random Forest



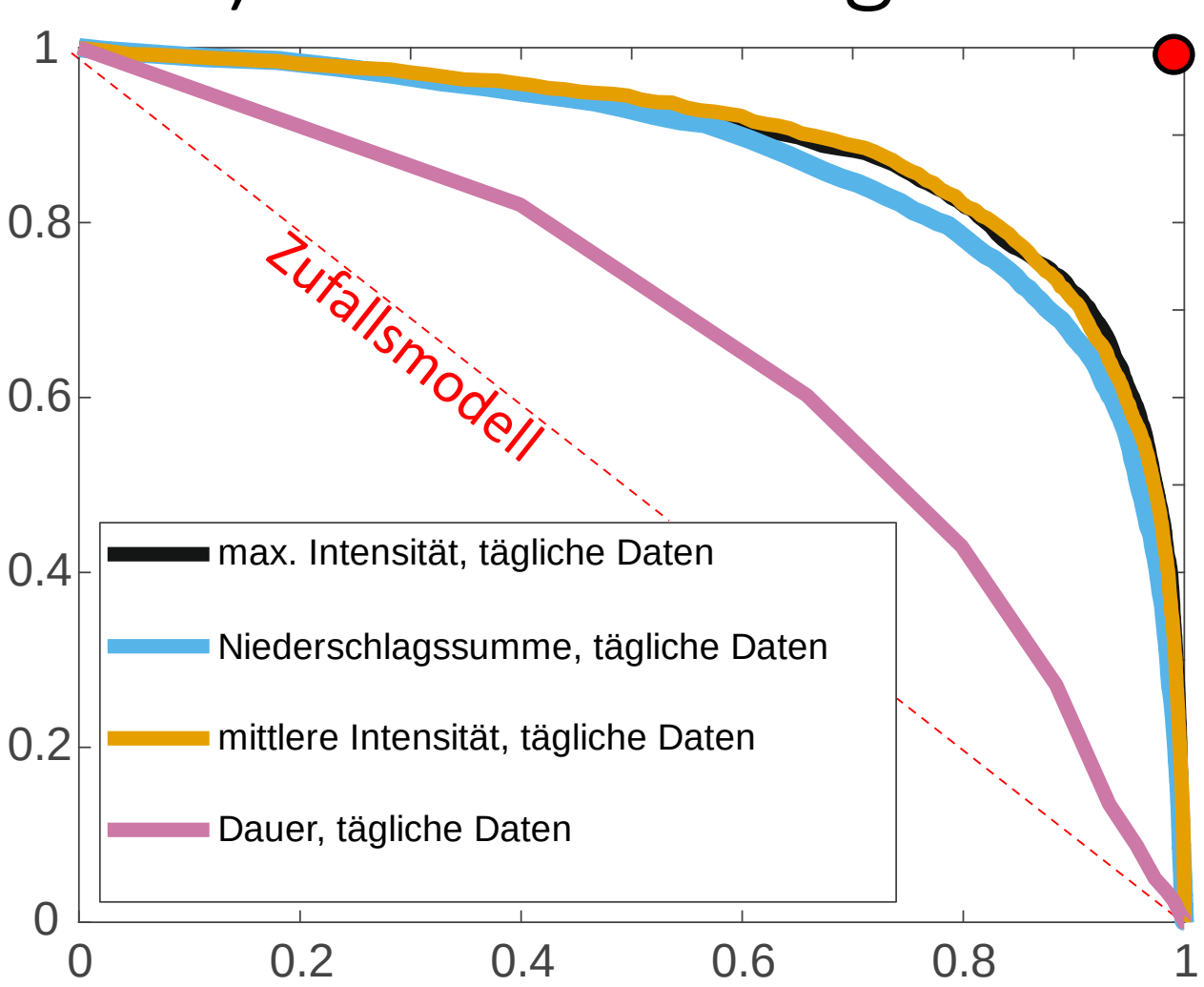
jacob.hirschberg@wsl.ch

2) Verbesserung der zeitlichen Auflösung (stündliche Niederschlagsdaten)

3) Zusätzliche Informationen einbinden, Schwellenwerte lokalisieren

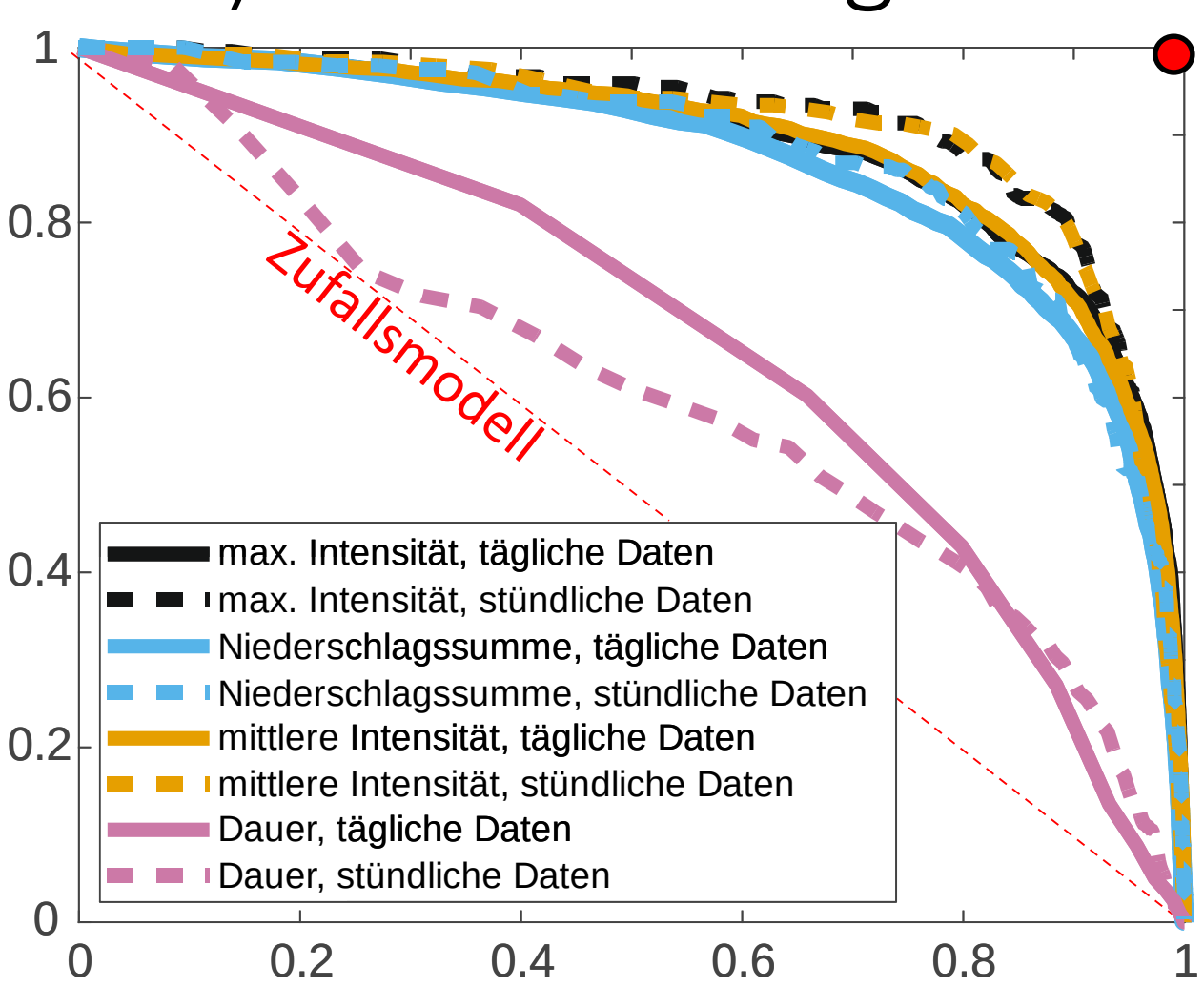
4) Berücksichtigung der Bodenfeuchtigkeit vor den (auslösenden) Regenereignissen

2) Verbesserung der zeitlichen Auflösung



Für jeden Parameter alle möglichen Schwellenwerte testen:

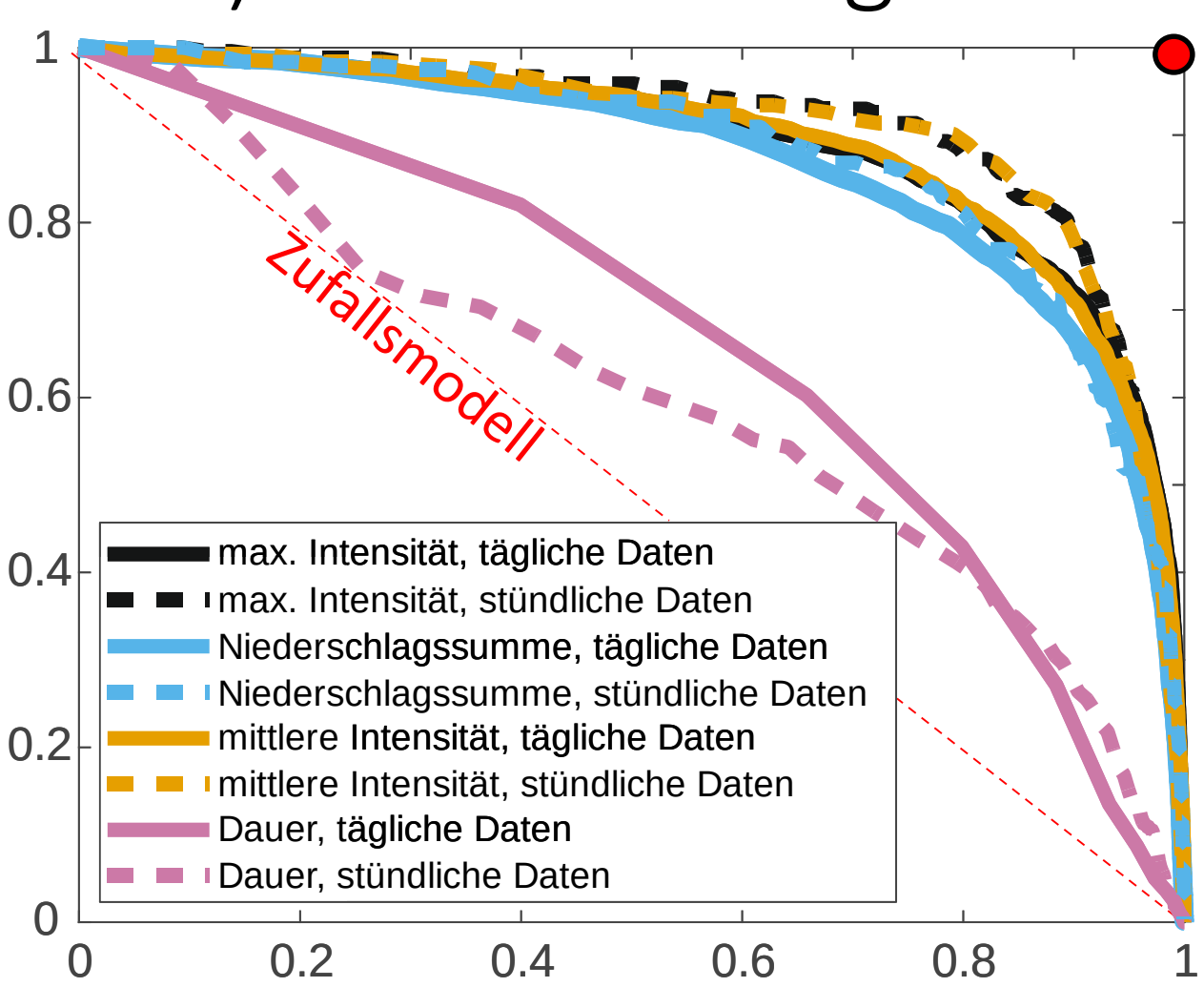
2) Verbesserung der zeitlichen Auflösung



Für jeden Parameter alle möglichen Schwellenwerte testen:

		Maximale Intensität	Mittlere Intensität	Niederschlags-summe	Dauer
Tages-niederschlag	Schwellenwert	29.6 mm/d	14.7 mm/d	42.9 mm	3 d
	TSS	**0.63**	**0.63**	**0.59**	**0.26**
	AUC	0.89	0.89	0.87	0.66
stündlicher Niederschlag	Schwellenwert	6.3 mm/h	1.8 mm/h	17.7 mm	23 h
	TSS	**0.70**	**0.70**	**0.61**	**0.21**
	AUC	0.91	0.91	0.88	0.61

2) Verbesserung der zeitlichen Auflösung

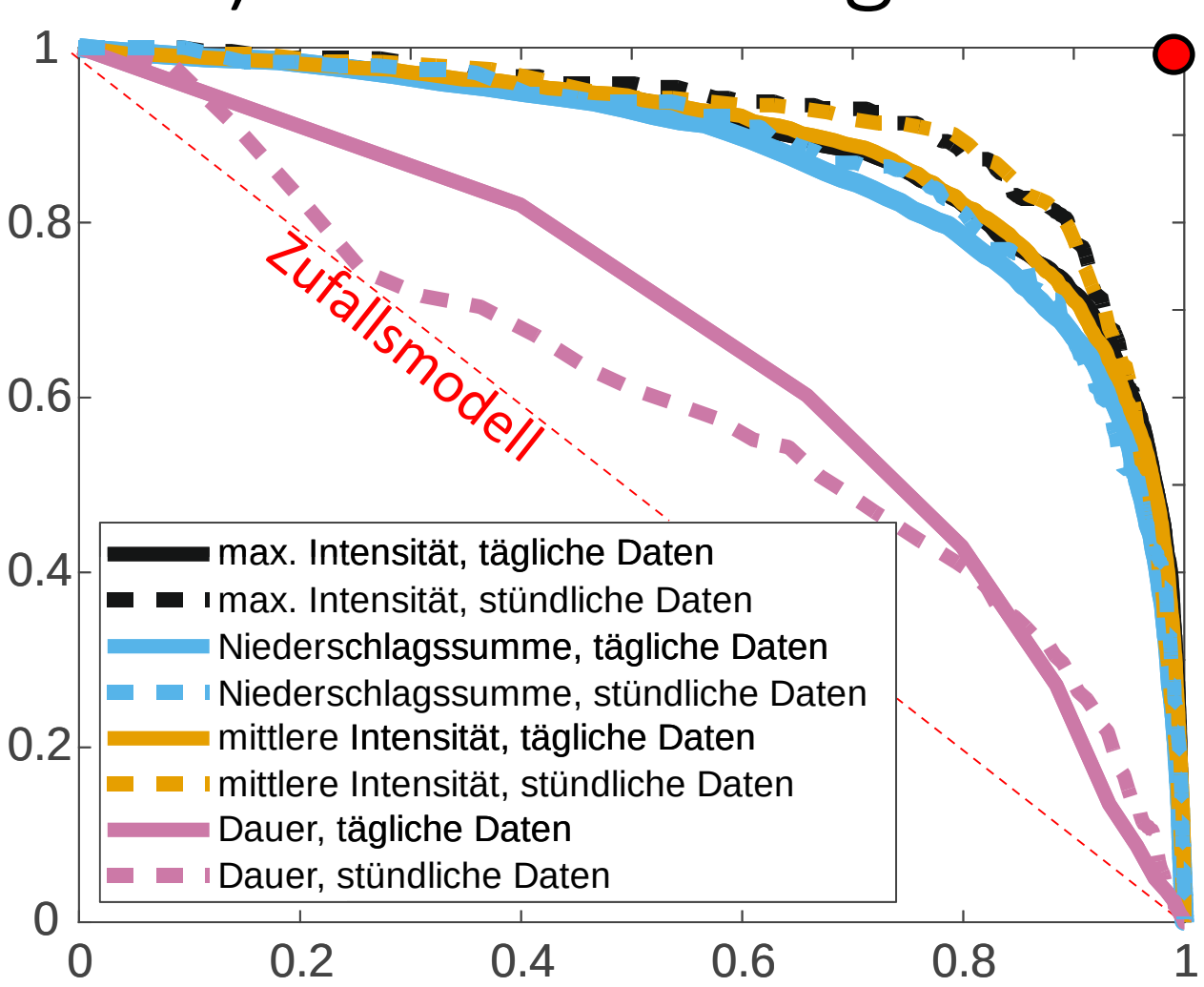


Für jeden Parameter alle möglichen Schwellenwerte testen:

- Gleiche Reihenfolge der Variablen wie bei Tagesdaten

		Maximale Intensität	Mittlere Intensität	Niederschlags-summe	Dauer
Tages-niederschlag	Schwellenwert	29.6 mm/d	14.7 mm/d	42.9 mm	3 d
	TSS	0.63	0.63	0.59	0.26
	AUC	0.89	0.89	0.87	0.66
stündlicher Niederschlag	Schwellenwert	6.3 mm/h	1.8 mm/h	17.7 mm	23 h
	TSS	0.70	0.70	0.61	0.21
	AUC	0.91	0.91	0.88	0.61

2) Verbesserung der zeitlichen Auflösung



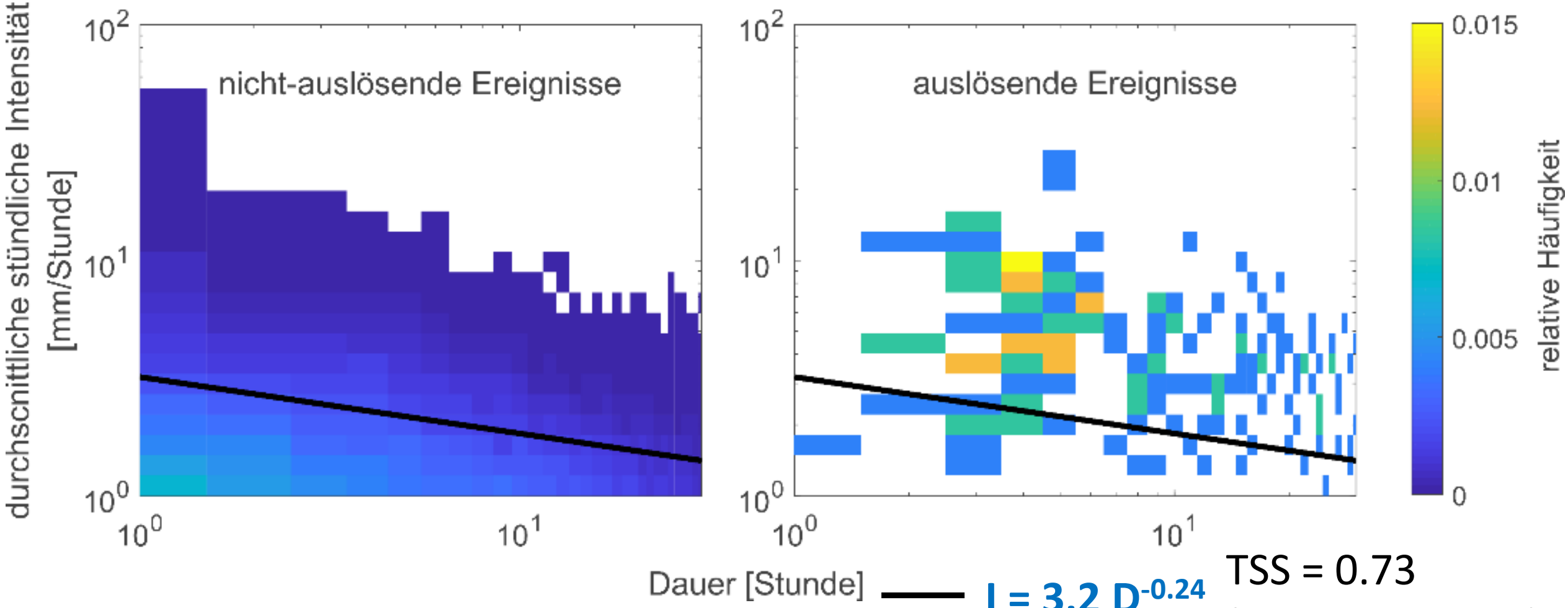
Für jeden Parameter alle möglichen Schwellenwerte testen:

- Gleiche Reihenfolge der Variablen wie bei Tagesdaten
- Stündliche Niederschlagsdaten eignen sich besser als täglichen Daten* (ausser der Dauer)

		Maximale Intensität	Mittlere Intensität	Niederschlags-summe	Dauer
Tages-niederschlag	Schwellenwert	29.6 mm/d	14.7 mm/d	42.9 mm	3 d
	TSS	**0.63**	**0.63**	**0.59**	**0.26**
	AUC	0.89	0.89	0.87	0.66
stündlicher Niederschlag	Schwellenwert	6.3 mm/h	1.8 mm/h	17.7 mm	23 h
	TSS	**0.70**	**0.70**	**0.61**	**0.21**
	AUC	0.91	0.91	0.88	0.61

* mehr Details zum Vergleich später

2) Verbesserung der zeitlichen Auflösung

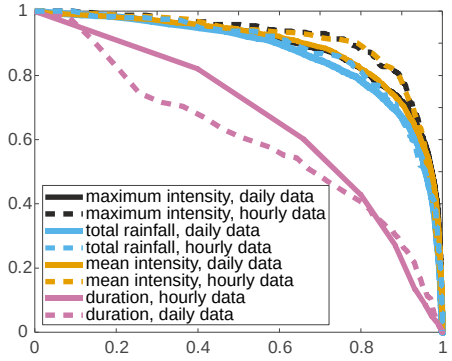


$I = 3.2\ D^{-0.24}$

TSS = 0.73
(daily data: 0.65)

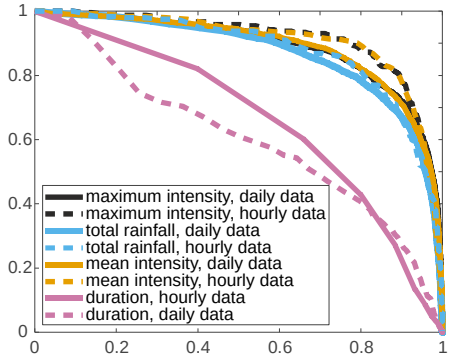
Tages- oder Stundenwerte?

Tages- oder Stundenwerte?



Die stündlichen Daten übertreffen die täglichen Daten (TSS und AUC) für die einzelnen Niederschlagscharakteristiken sowie die Intensitäts-Dauer-Kurve. Dies entspricht den Erwartungen, dass Erdrutsche manchmal durch kurze und intensive konvektive Ereignisse ausgelöst werden (geglättet bei der täglichen Auflösung).

Tages- oder Stundenwerte?

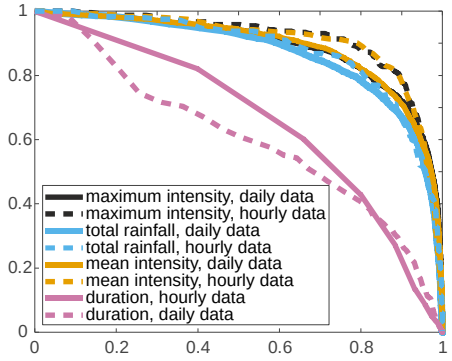


Die stündlichen Daten übertreffen die täglichen Daten (TSS und AUC) für die einzelnen Niederschlagscharakteristiken sowie die Intensitäts-Dauer-Kurve. Dies entspricht den Erwartungen, dass Erdrutsche manchmal durch kurze und intensive konvektive Ereignisse ausgelöst werden (geglättet bei der täglichen Auflösung).

Aber mit stündlichen Daten

- verkürzt sich der Zeitrahmen deutlich (7 vs. 44 Jahre)
- nimmt die Anzahl der verfügbaren Rutschungen ab (243 vs. 2217)

Tages- oder Stundenwerte?

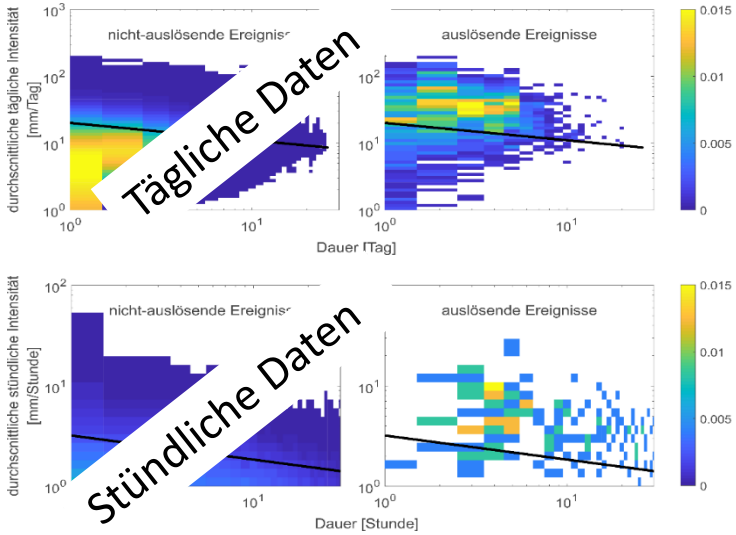


Die stündlichen Daten übertreffen die täglichen Daten (TSS und AUC) für die einzelnen Niederschlagscharakteristiken sowie die Intensitäts-Dauer-Kurve. Dies entspricht den Erwartungen, dass Erdrutsche manchmal durch kurze und intensive konvektive Ereignisse ausgelöst werden (geglättet bei der täglichen Auflösung).

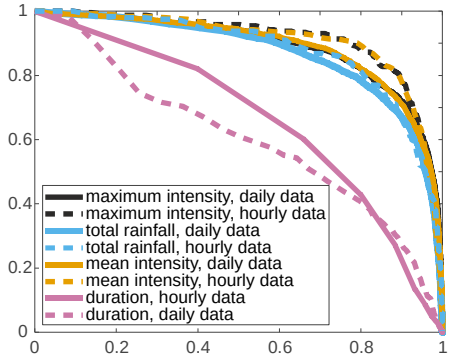
Aber mit stündlichen Daten

- verkürzt sich der Zeitrahmen deutlich (7 vs. 44 Jahre)
- nimmt die Anzahl der verfügbaren Rutschungen ab (243 vs. 2217)

→ **Die definierten Schwellenwerte sind weniger robust.**



Tages- oder Stundenwerte?



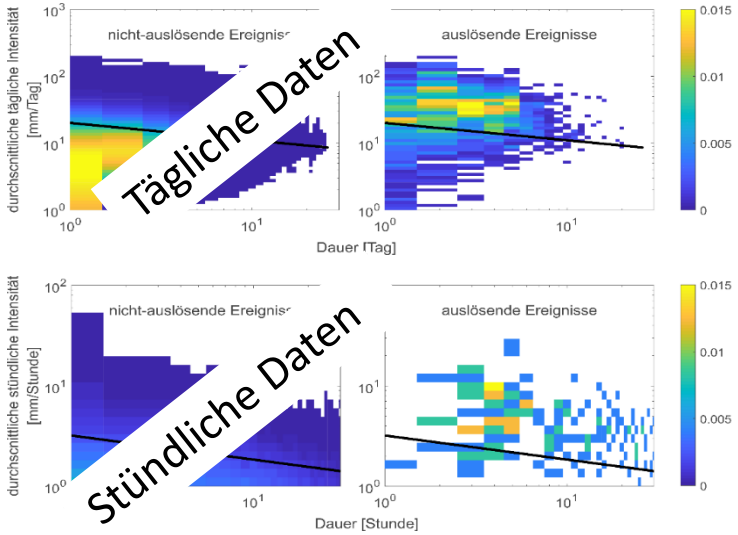
Die stündlichen Daten übertreffen die täglichen Daten (TSS und AUC) für die einzelnen Niederschlagscharakteristiken sowie die Intensitäts-Dauer-Kurve. Dies entspricht den Erwartungen, dass Erdrutsche manchmal durch kurze und intensive konvektive Ereignisse ausgelöst werden (geglättet bei der täglichen Auflösung).

Aber mit stündlichen Daten

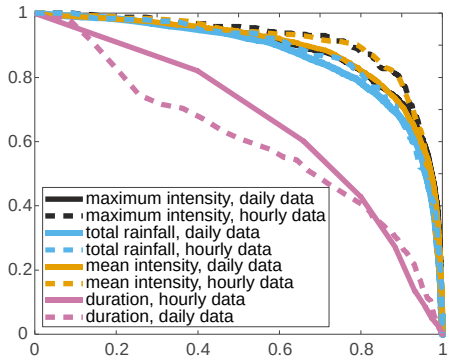
- verkürzt sich der Zeitrahmen deutlich (7 vs. 44 Jahre)
- nimmt die Anzahl der verfügbaren Rutschungen ab (243 vs. 2217)

→ **Die definierten Schwellenwerte sind weniger robust.**

- Tägliche Regenprognosen sind zuverlässiger (im operativen Umfeld)
- Mehr subjektive Wahl (z.B. Trockenstunden zwischen Ereignissen)



Tages- oder Stundenwerte?



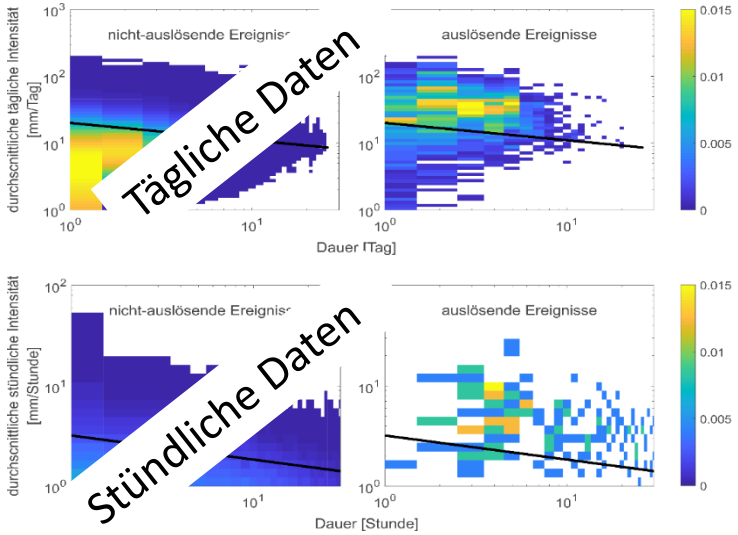
Die stündlichen Daten übertreffen die täglichen Daten (TSS und AUC) für die einzelnen Niederschlagscharakteristiken sowie die Intensitäts-Dauer-Kurve. Dies entspricht den Erwartungen, dass Erdrutsche manchmal durch kurze und intensive konvektive Ereignisse ausgelöst werden (geglättet bei der täglichen Auflösung).

Aber mit stündlichen Daten

- verkürzt sich der Zeitrahmen deutlich (7 vs. 44 Jahre)
- nimmt die Anzahl der verfügbaren Rutschungen ab (243 vs. 2217)

→ **Die definierten Schwellenwerte sind weniger robust.**

- Tägliche Regenprognosen sind zuverlässiger (im operativen Umfeld)
- Mehr subjektive Wahl (z.B. Trockenstunden zwischen Ereignissen)



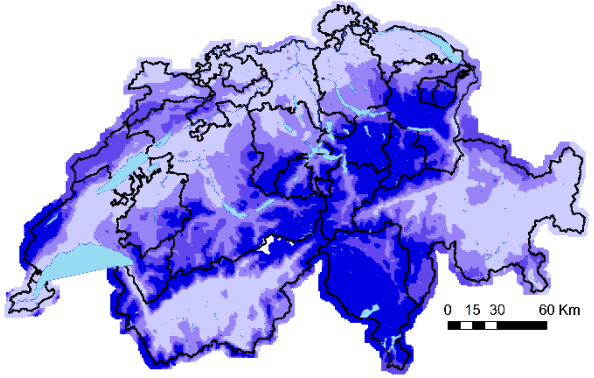
Tägliche Daten können in der Praxis eine bessere Wahl sein.

3) Regionalisierung

Eine Möglichkeit, Informationen zusätzlich zu den Niederschlägen aufzunehmen, ist die Regionalisierung. Das bedeutet, dass die **Schwellenwerte für Bereiche** (zusammenhängend oder nicht) **definiert sind, die durch ähnliche Eigenschaften gekennzeichnet sind**.

3) Regionalisierung

mittlere Tagesniederschlagsmenge (mdp): langfristiger Klimaindikator



[mm/Tag]

- niedrig (mdp < 2.6)
- mittel-niedrig(2.6 < mdp ≤ 3.2)
- mittel-hoch (3.2 < mdp ≤ 3.7)
- hoch (mdp > 3.7)

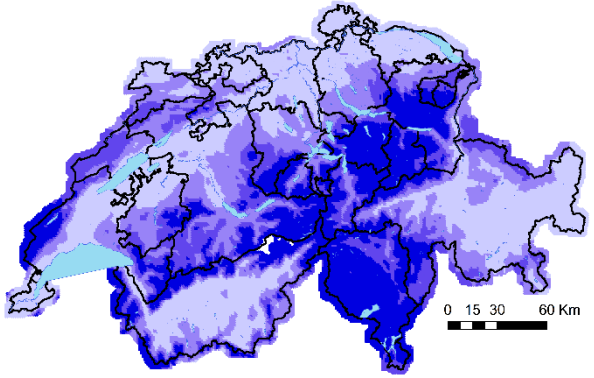
$$\mathrm{mdp} = 3\mathrm{mm} \rightarrow \mathrm{map} = 2095\mathrm{mm}$$

Eine Möglichkeit, Informationen zusätzlich zu den Niederschlägen aufzunehmen, ist die Regionalisierung. Das bedeutet, dass die **Schwellenwerte für Bereiche** (zusammenhängend oder nicht) **definiert sind, die durch ähnliche Eigenschaften gekennzeichnet sind**.

3) Regionalisierung

Eine Möglichkeit, Informationen zusätzlich zu den Niederschlägen aufzunehmen, ist die Regionalisierung. Das bedeutet, dass die **Schwellenwerte für Bereiche** (zusammenhängend oder nicht) **definiert sind, die durch ähnliche Eigenschaften gekennzeichnet sind**.

mittlere Tagesniederschlagsmenge (mdp): langfristiger Klimaindikator

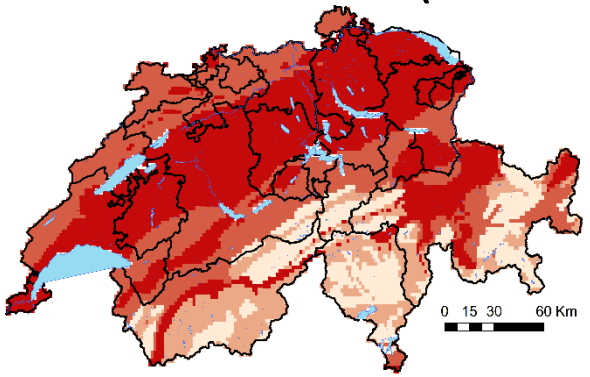


[mm/Tag]

- niedrig (mdp < 2.6)
- mittel-niedrig(2.6 < mdp ≤ 3.2)
- mittel-hoch (3.2 < mdp ≤ 3.7)
- hoch (mdp > 3.7)

$$\mathrm{mdp} = 3\mathrm{mm} \rightarrow \mathrm{map} = 2095\mathrm{mm}$$

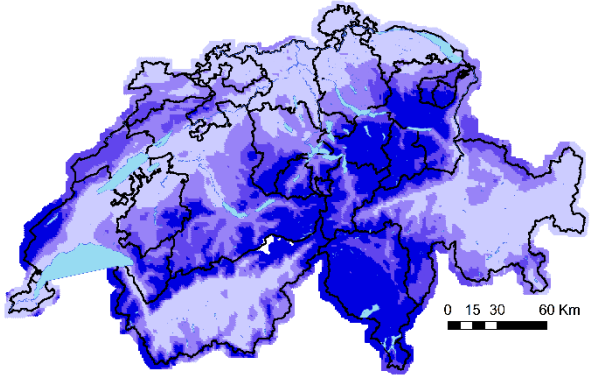
Erodierbarkeit (Kühni und Pfiffner 2001)



- sehr niedrig (exposed orthogneisses, amphibolites and granitoid rocks)
- niedrig (paragneisses)
- mittel (exposed Mesozoic carbonates)
- hoch (molasse and flysch deposits)

3) Regionalisierung: mdp und Erodierbarkeit

mittlere Tagesniederschlagsmenge (mdp):

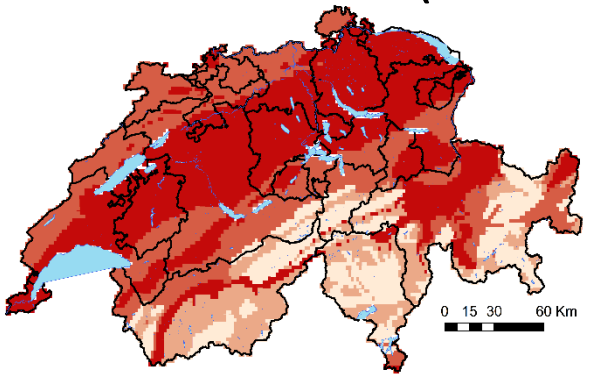


[mm/Tag]

- niedrig
- mittel-niedrig
- mittel-hoch
- hoch

$$\mathrm{mdp} = 3\mathrm{mm} \rightarrow \mathrm{map} = 2095\mathrm{mm}$$

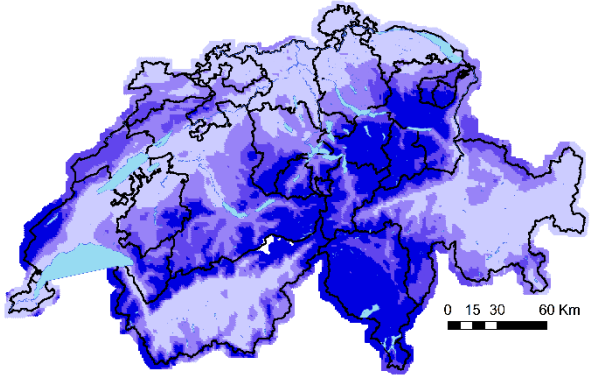
Erodierbarkeit (Kühni und Pfiffner 2001)



- sehr niedrig
- niedrig
- mittel
- hoch

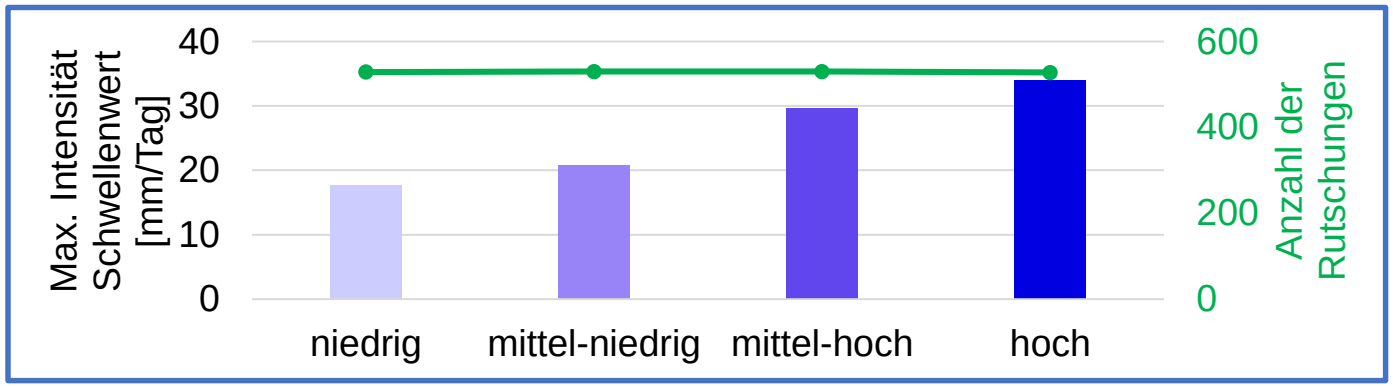
3) Regionalisierung: mdp und Erodierbarkeit

mittlere Tagesniederschlagsmenge (mdp):

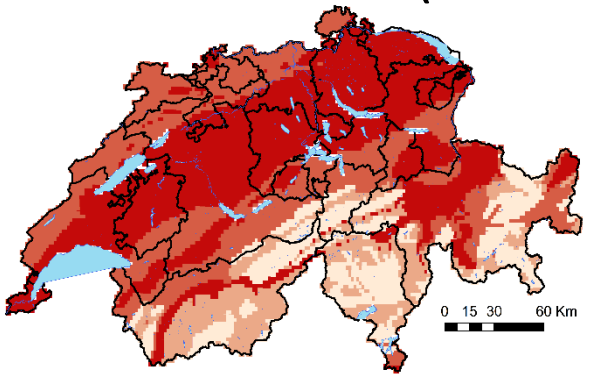


[mm/Tag]
- niedrig
- mittel-niedrig
- mittel-hoch
- hoch

$$\text{mdp} = 3\text{mm} \rightarrow \text{map} = 2095\text{mm}$$



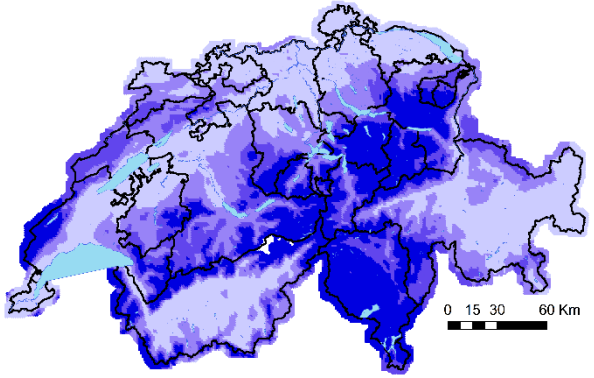
Erodierbarkeit (Kühni und Pfiffner 2001)



- sehr niedrig
- niedrig
- mittel
- hoch

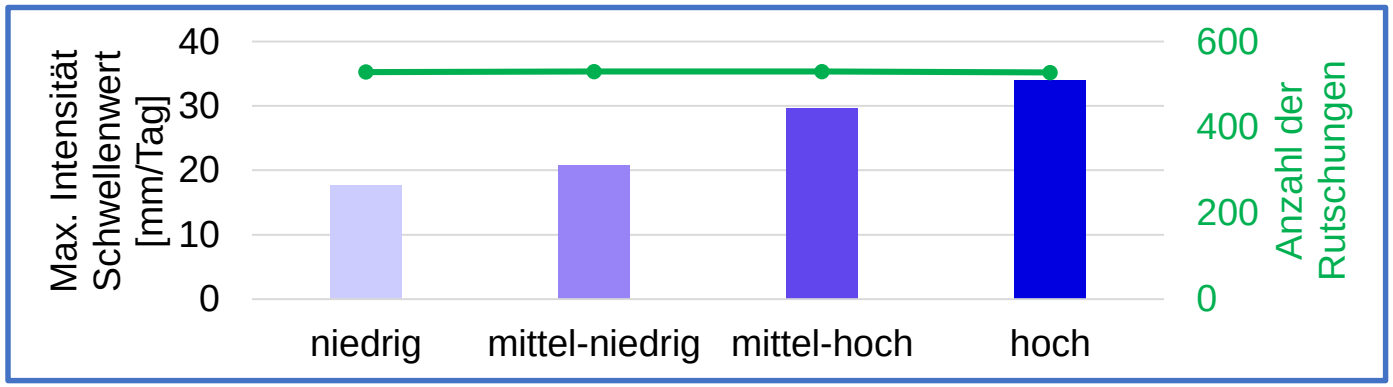
3) Regionalisierung: mdp und Erodierbarkeit

mittlere Tagesniederschlagsmenge (mdp):

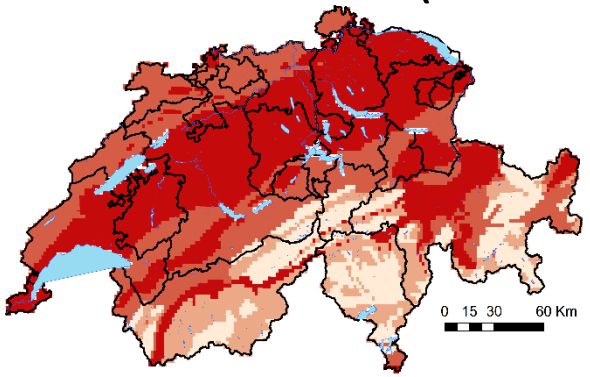


[mm/Tag]
- niedrig
- mittel-niedrig
- mittel-hoch
- hoch

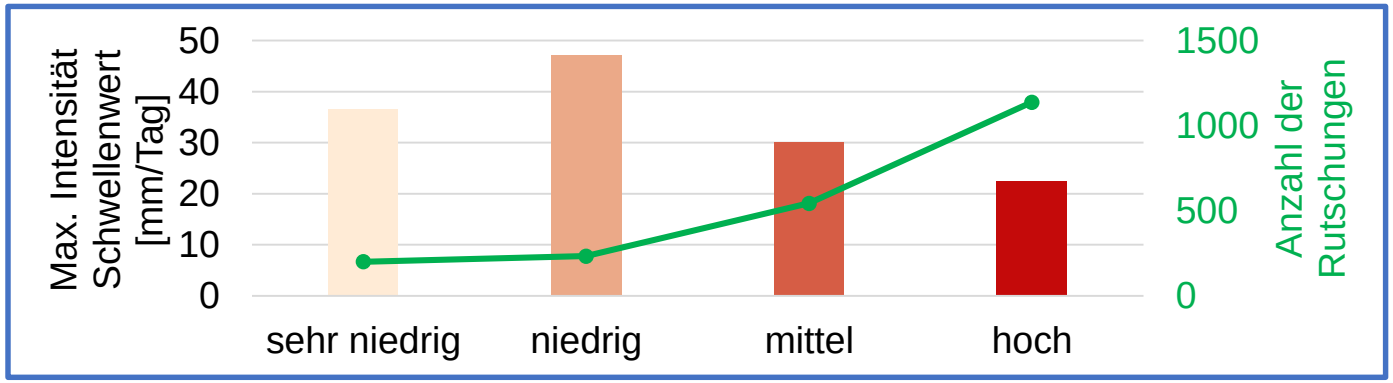
$$\text{mdp} = 3\text{mm} \rightarrow \text{map} = 2095\text{mm}$$



Erodierbarkeit (Kühni und Pfiffner 2001)

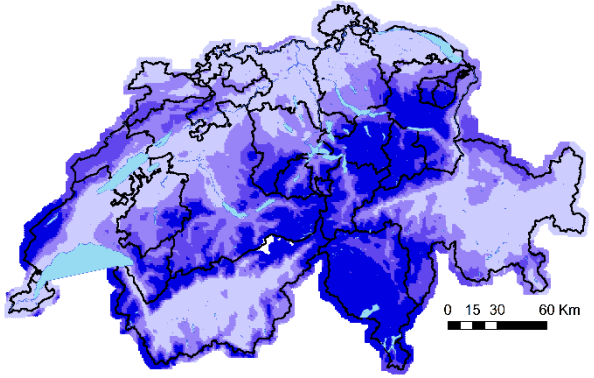


- sehr niedrig
- niedrig
- mittel
- hoch



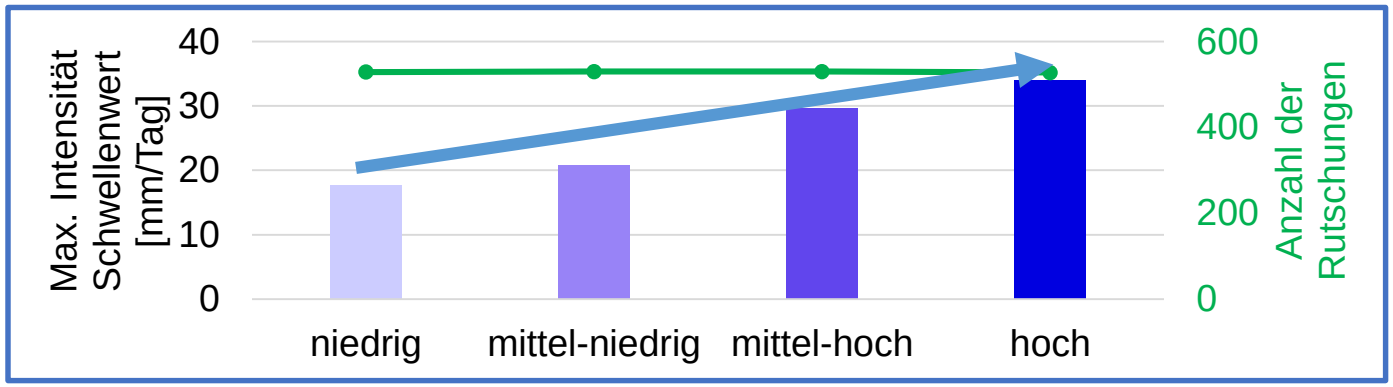
3) Regionalisierung: mdp und Erodierbarkeit

mittlere Tagesniederschlagsmenge (mdp):



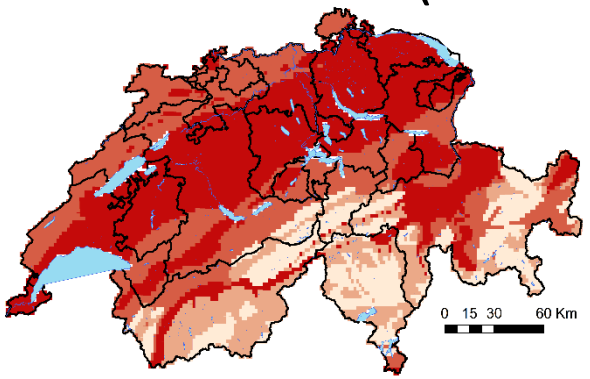
[mm/Tag]
- niedrig
- mittel-niedrig
- mittel-hoch
- hoch

$$\text{mdp} = 3\text{mm} \rightarrow \text{map} = 2095\text{mm}$$

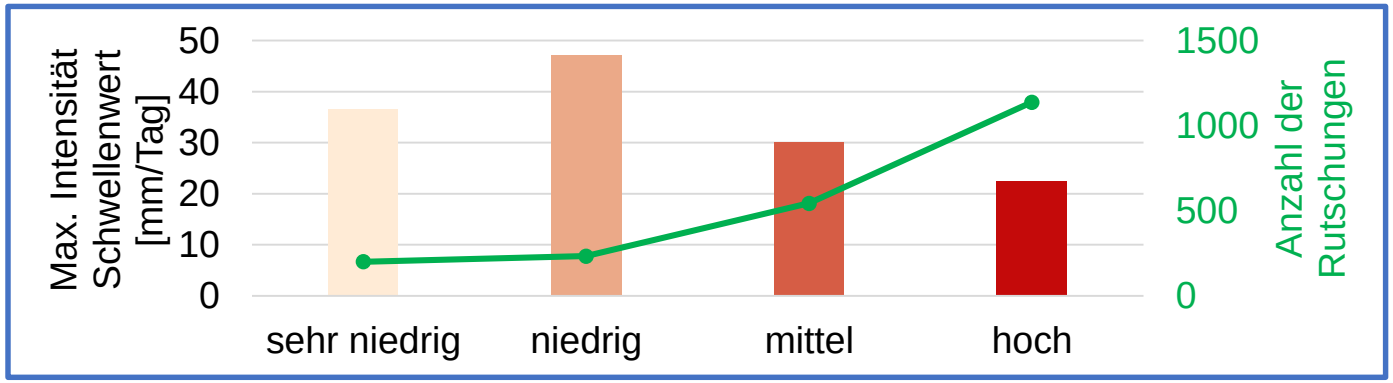


Schwellenwert steigt mit mdp an

Erodierbarkeit (Kühni und Pfiffner 2001)

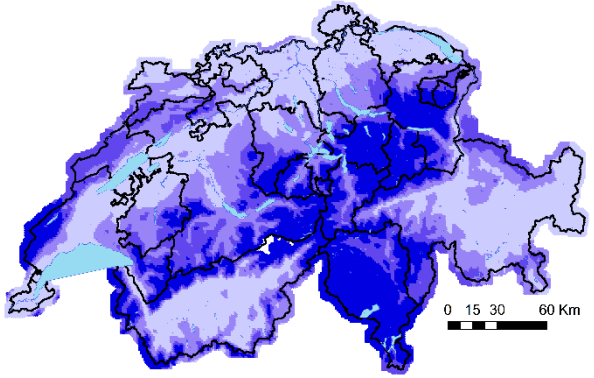


- sehr niedrig
- niedrig
- mittel
- hoch



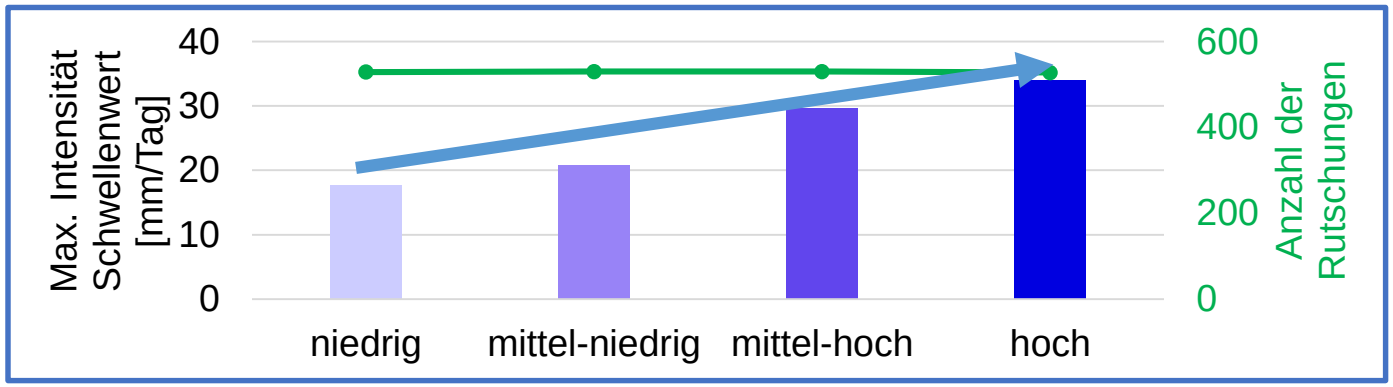
3) Regionalisierung: mdp und Erodierbarkeit

mittlere Tagesniederschlagsmenge (mdp):



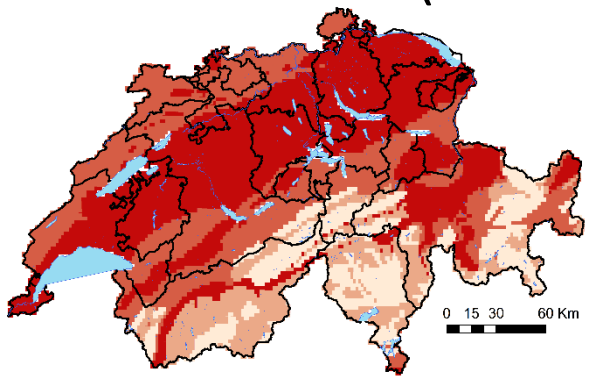
[mm/Tag]
- niedrig
- mittel-niedrig
- mittel-hoch
- hoch

$$\text{mdp} = 3\text{mm} \rightarrow \text{map} = 2095\text{mm}$$

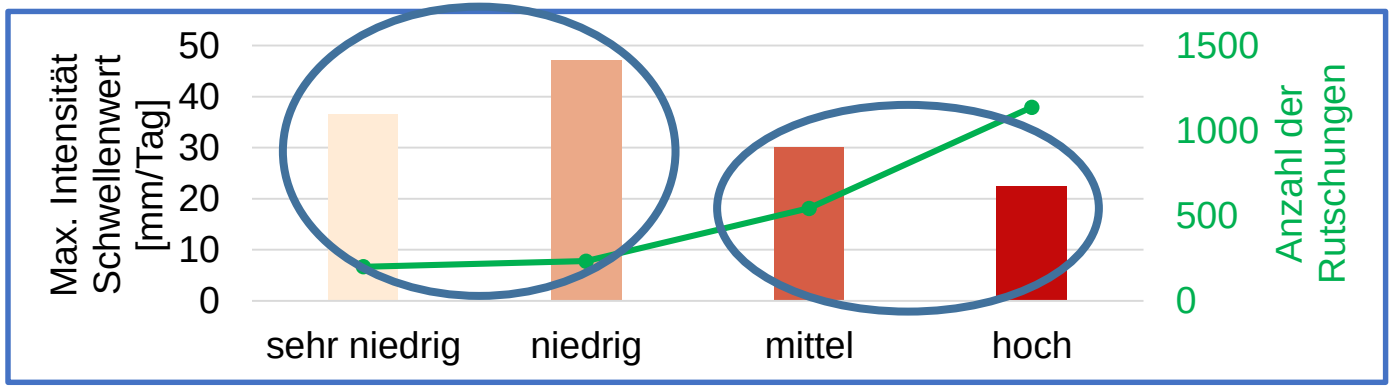


Schwellenwert steigt mit mdp an

Erodierbarkeit (Kühni und Pfiffner 2001)



- sehr niedrig
- niedrig
- mittel
- hoch



Schwellenwert ist höher bei niedrigerer Erodierbarkeit

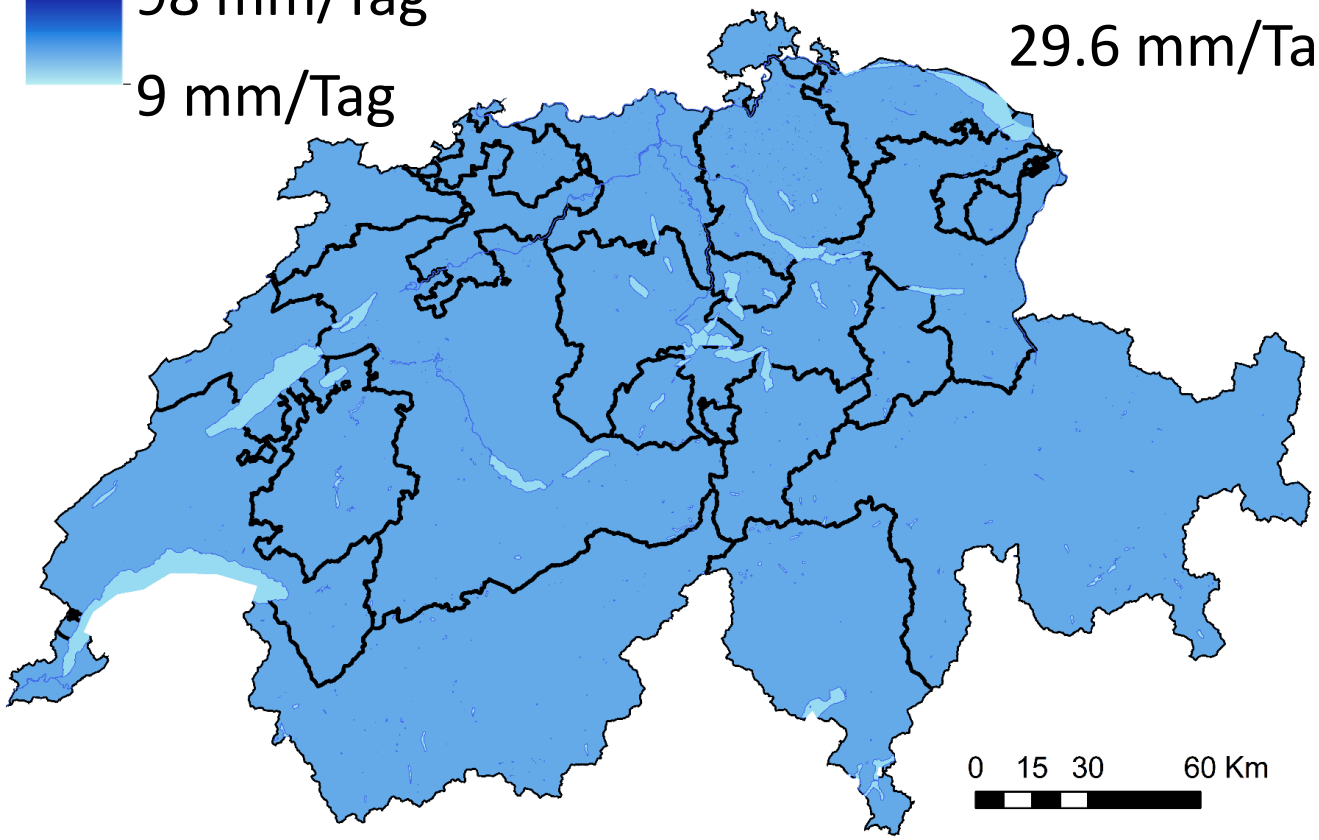
3) regionale Schwellenwerte

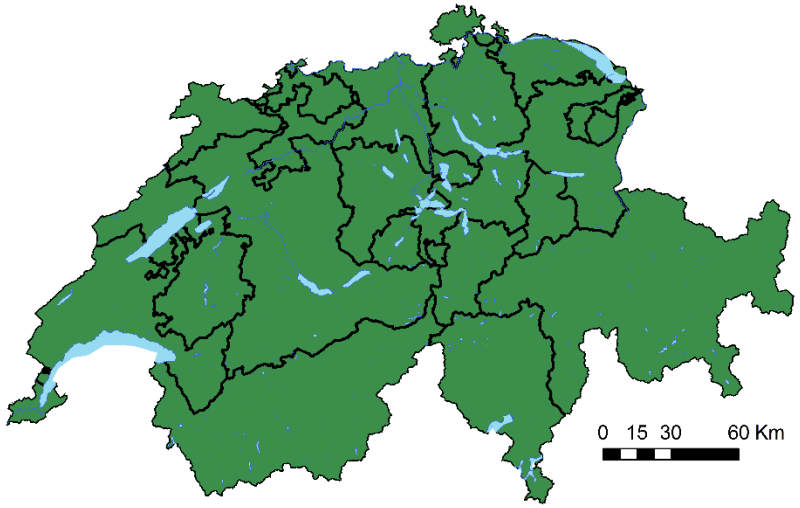
Max. Intensität Schwellenwerte (SW)

98 mm/Tag

9 mm/Tag

29.6 mm/Tag





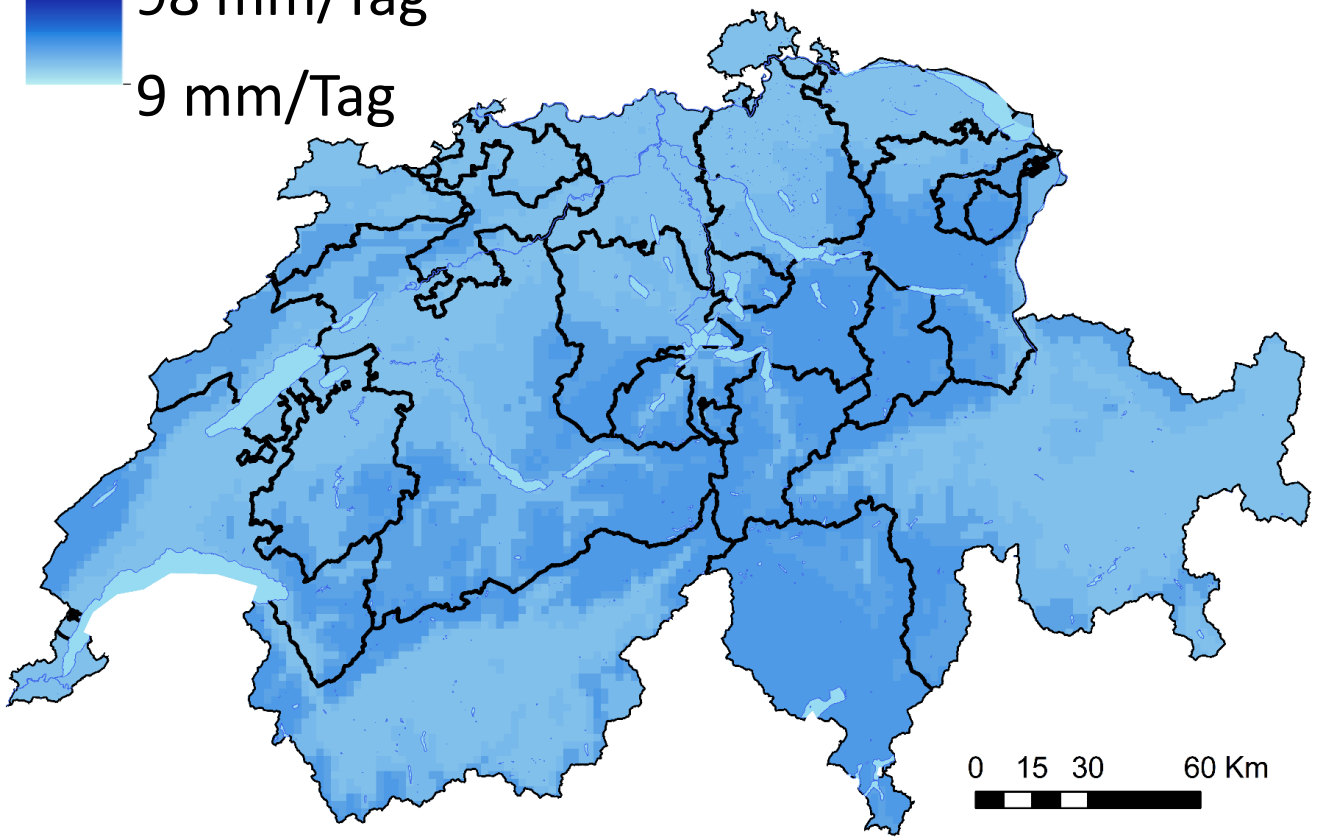
a) 1 SW für die gesamte Schweiz (TSS=0.63)

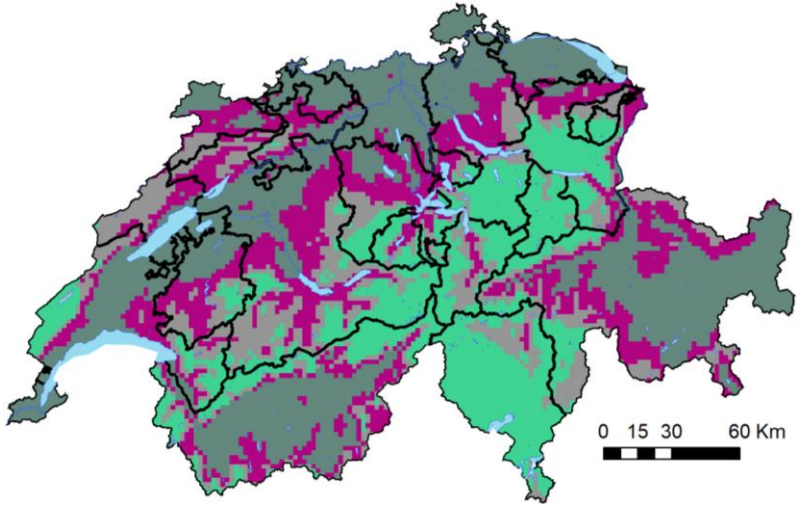
3) regionale Schwellenwerte

Max. Intensität Schwellenwerte (SW)

98 mm/Tag

9 mm/Tag





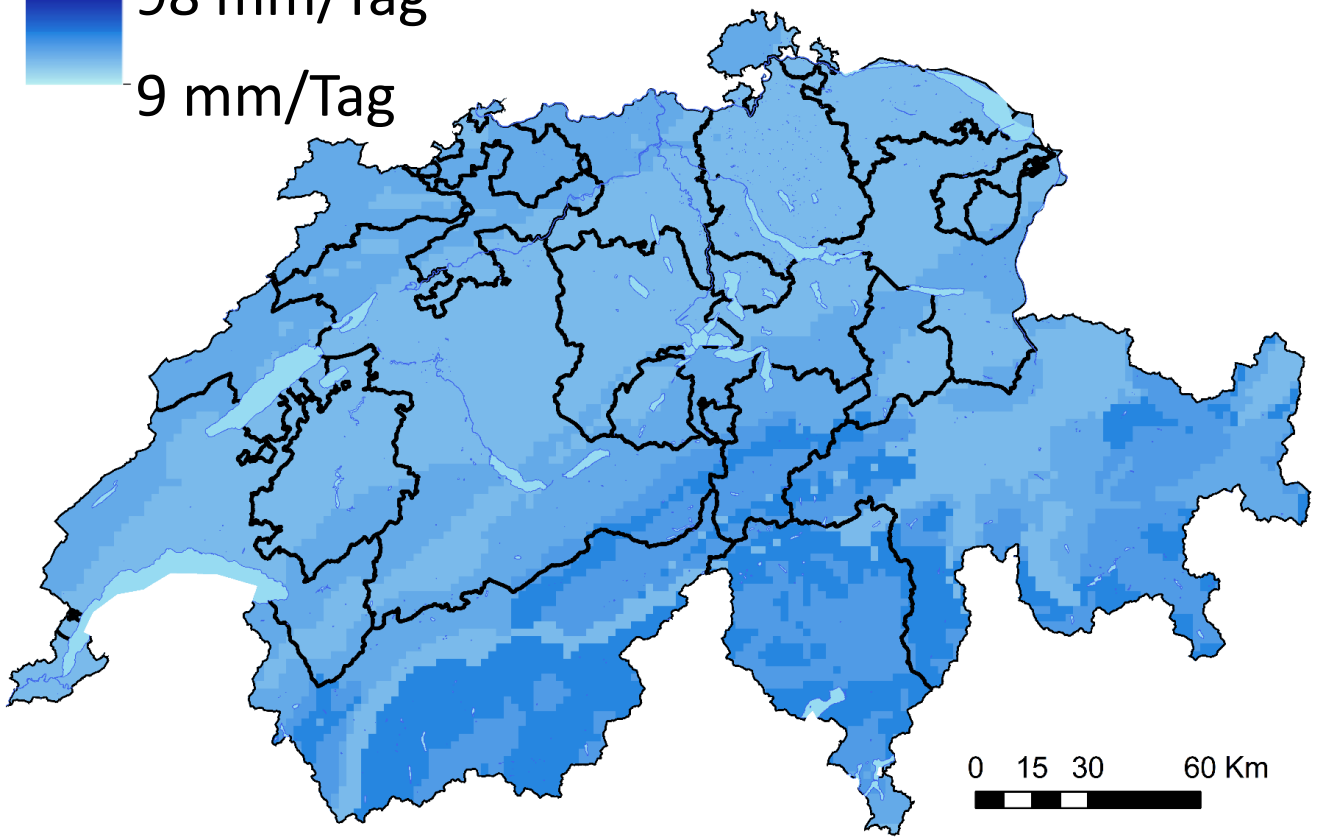
a) 1 SW für die gesamte Schweiz (TSS=0.63)
b) 4 SW, für jede mdp Region (TSS=0.65)

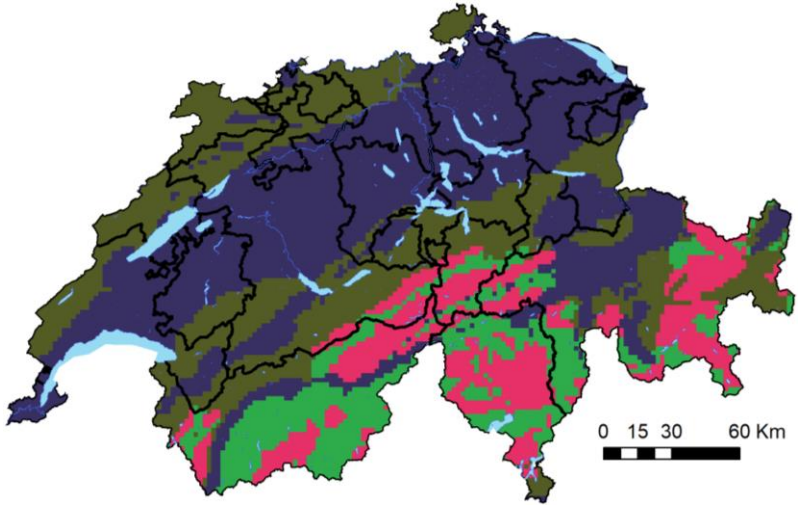
3) regionale Schwellenwerte

Max. Intensität Schwellenwerte (SW)

98 mm/Tag

9 mm/Tag





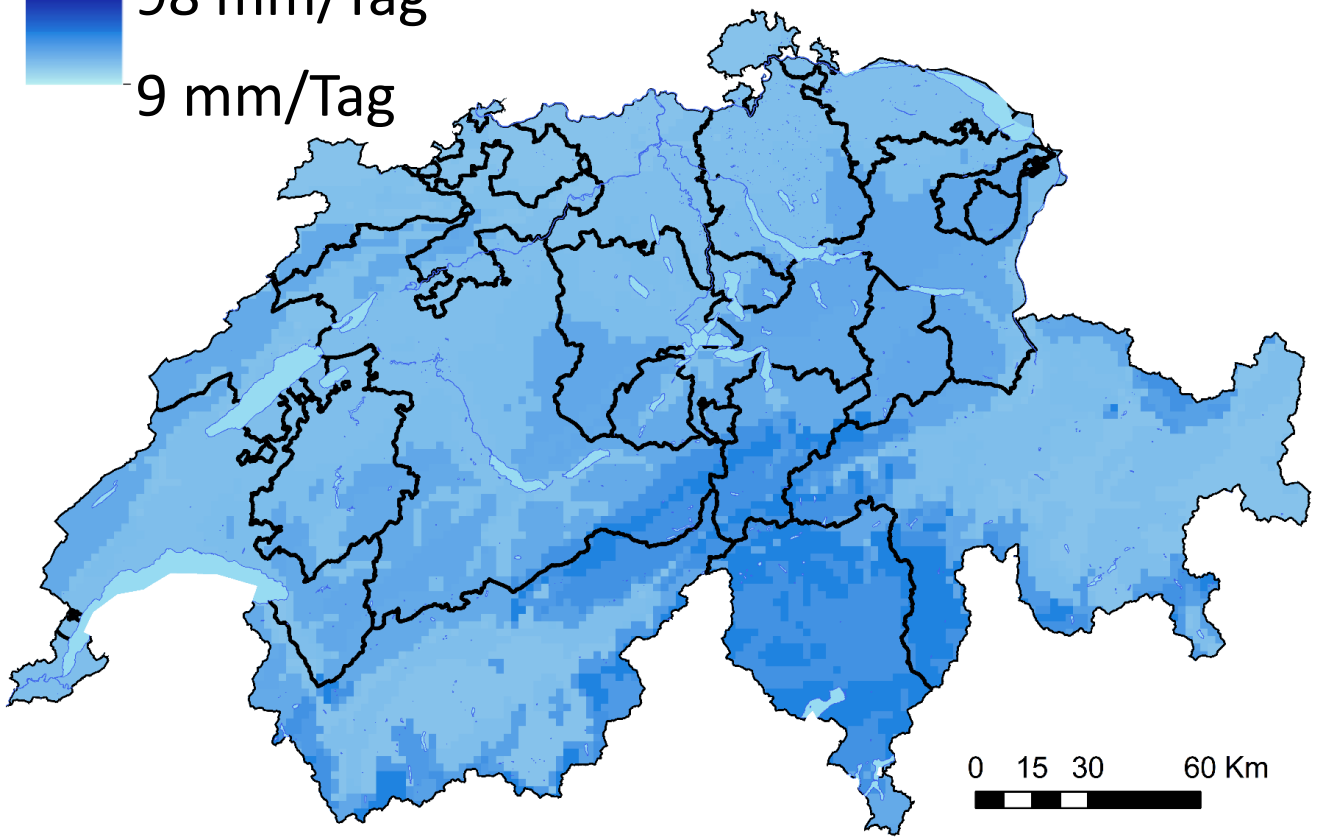
a) 1 SW für die gesamte Schweiz (TSS=0.63)
b) 4 SW, für jede mdp Region (TSS=0.65)
c) 4 SW, für jede Erodierbarkeitsregion (TSS=0.63)

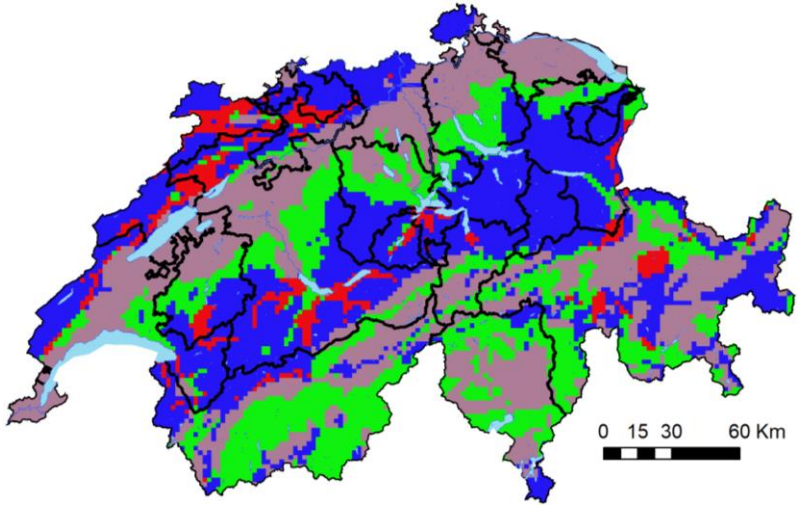
3) regionale Schwellenwerte

Max. Intensität Schwellenwerte (SW)

98 mm/Tag

9 mm/Tag





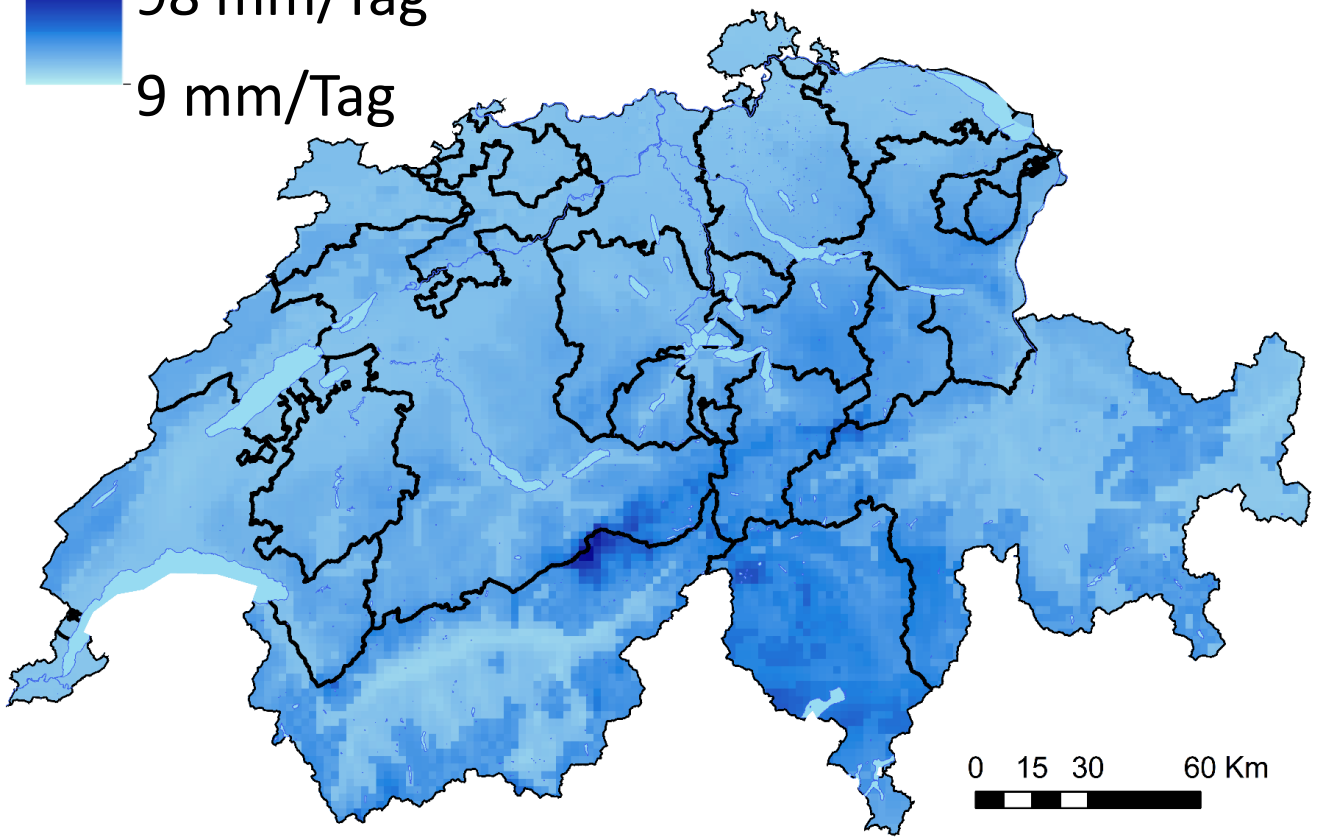
a) 1 SW für die gesamte Schweiz (TSS=0.63)
b) 4 SW, für jede mdp Region (TSS=0.65)
c) 4 SW, für jede Erodierbarkeitsregion (TSS=0.63)
d) 16 SW, für jede Kombination von mdp und Erodierbarkeitsregion (TSS=0.66)

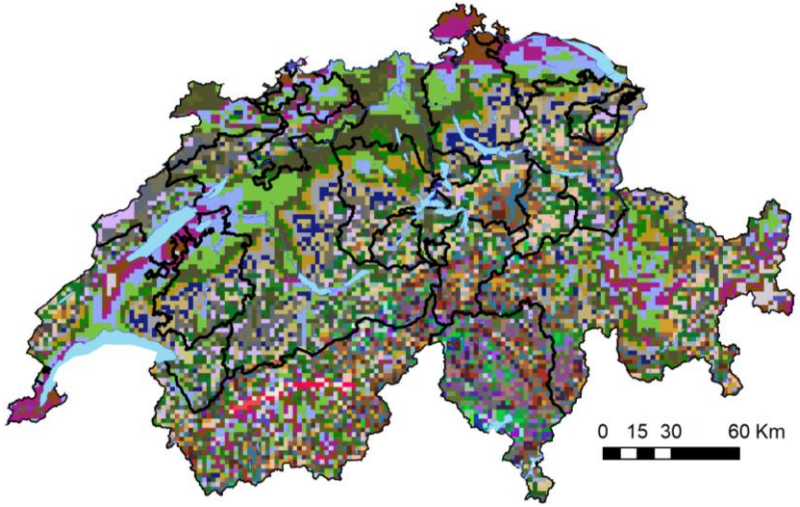
3) regionale Schwellenwerte

Max. Intensität Schwellenwerte (SW)

98 mm/Tag

9 mm/Tag





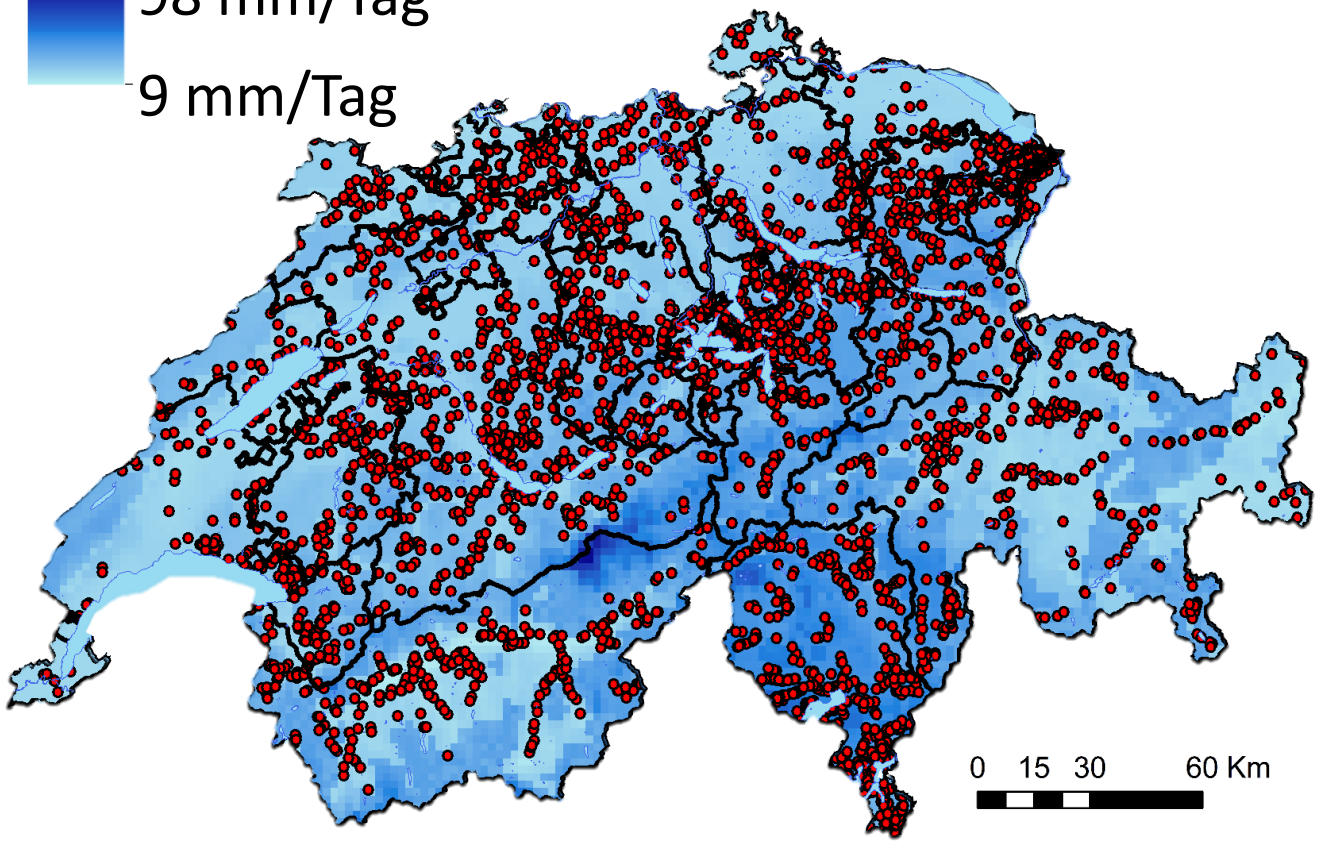
a) 1 SW für die gesamte Schweiz (TSS=0.63)
b) 4 SW, für jede mdp Region (TSS=0.65)
c) 4 SW, für jede Erodierbarkeitsregion (TSS=0.63)
d) 16 SW, für jede Kombination von mdp und Erodierbarkeitsregion (TSS=0.66)
e) 16 SW von max. Intensität/ mdp wie in d) und dann mit der lokalen mdp für jede Zelle multipliziert (TSS=0.67)

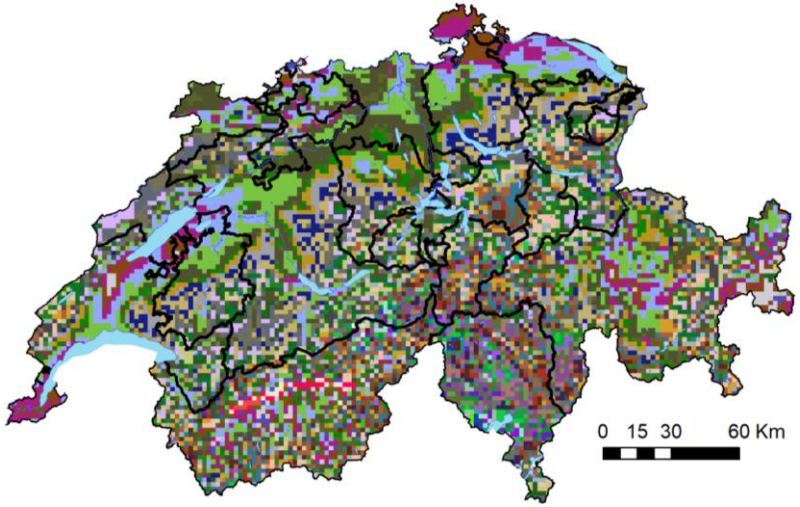
3) regionale Schwellenwerte

Max. Intensität Schwellenwerte (SW)

98 mm/Tag

9 mm/Tag





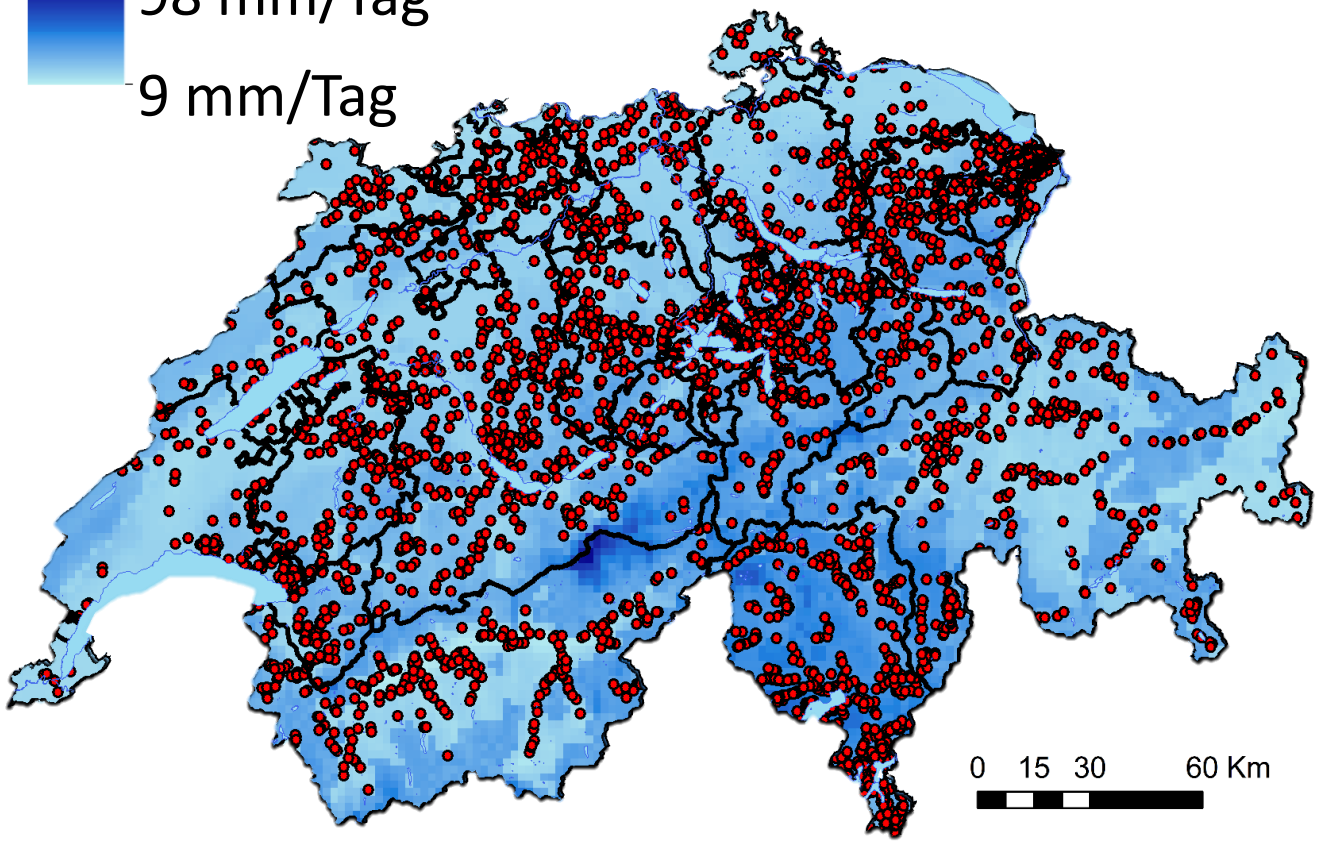
a) 1 SW für die gesamte Schweiz (TSS=0.63)
b) 4 SW, für jede mdp Region (TSS=0.65)
c) 4 SW, für jede Erodierbarkeitsregion (TSS=0.63)
d) 16 SW, für jede Kombination von mdp und Erodierbarkeitsregion (TSS=0.66)
e) 16 SW von max. Intensität/ mdp wie in d) und dann mit der lokalen mdp für jede Zelle multipliziert (TSS=0.67)

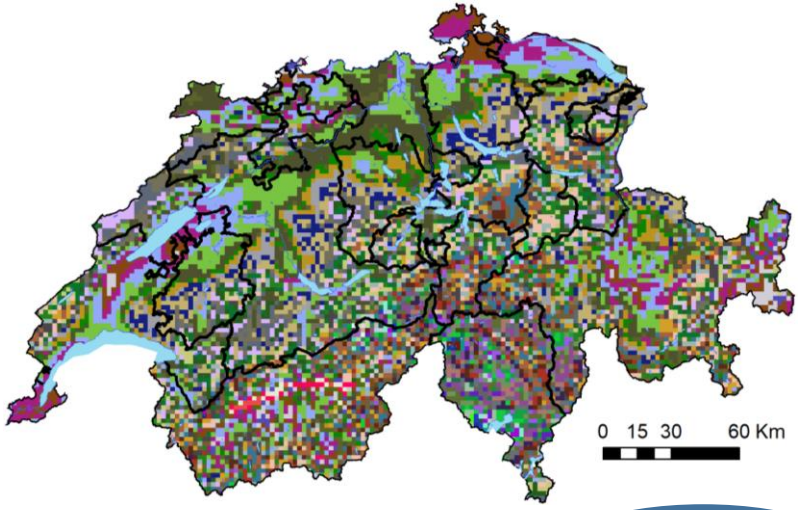
3) regionale Schwellenwerte

Max. Intensität Schwellenwerte (SW)

98 mm/Tag

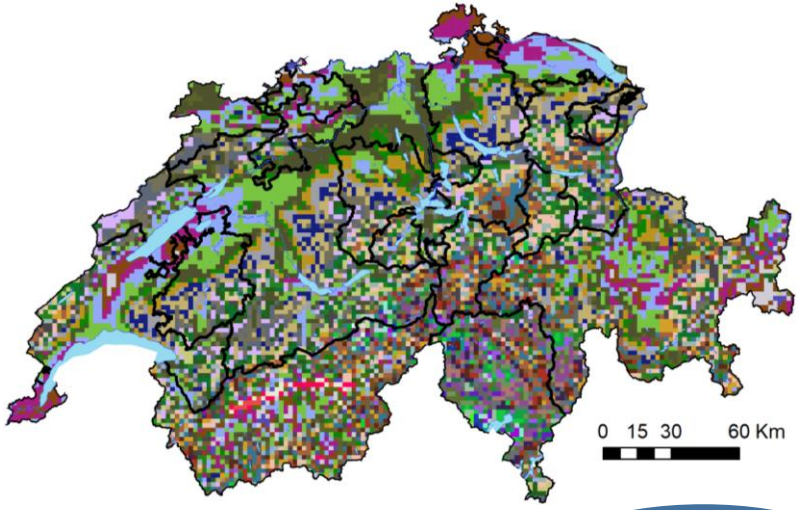
9 mm/Tag





a) 1 SW für die gesamte Schweiz (TSS=0.63)
b) 4 SW, für jede mdp Region (TSS=0.65)
c) 4 SW, für jede Erodierbarkeitsregion (TSS=0.63)
d) 16 SW, für jede Kombination von mdp und Erodierbarkeitsregion (TSS=0.66)
e) 16 SW von max. Intensität/ mdp wie in d) und dann mit der lokalen mdp für jede Zelle multipliziert (TSS=0.67)

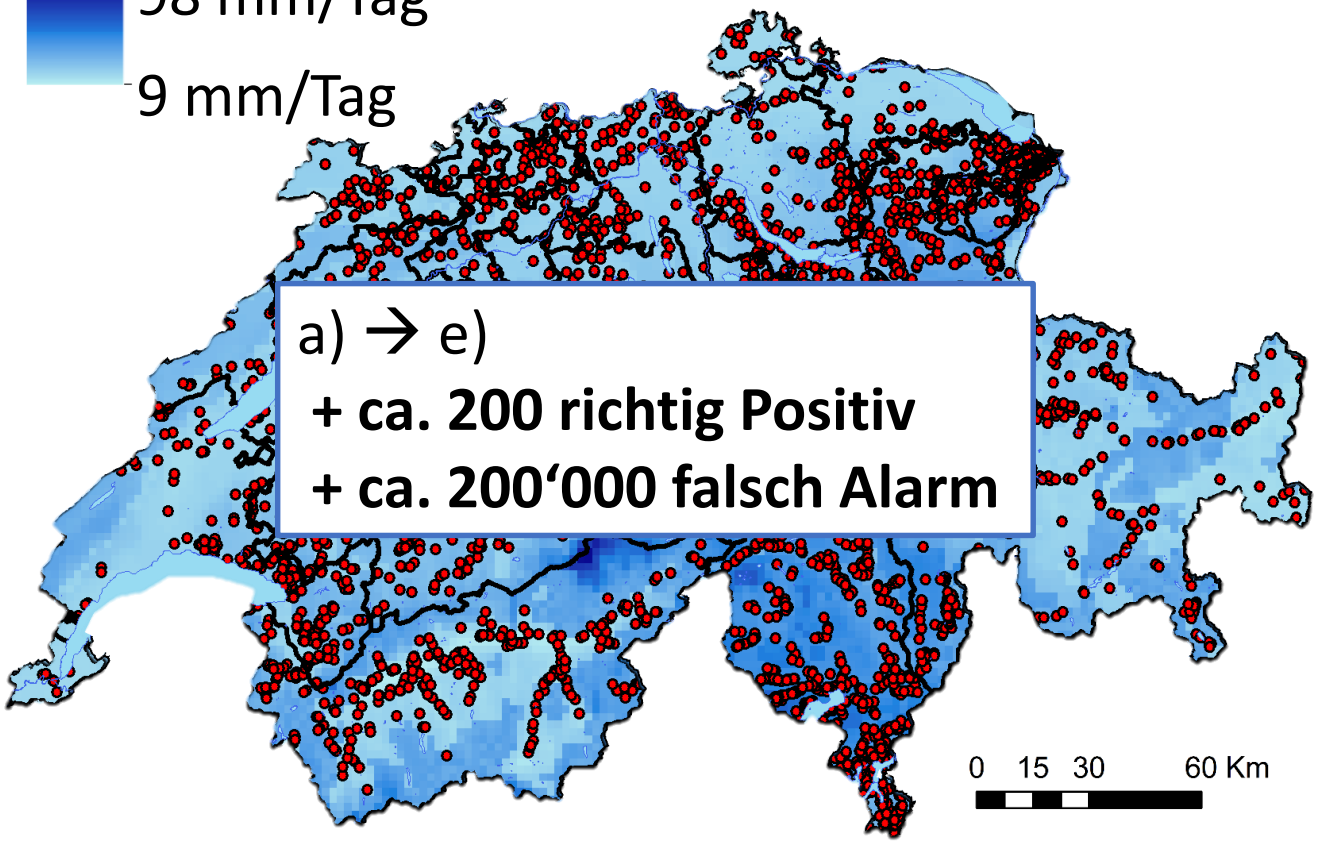
3) regionale Schwellenwerte



Max. Intensität Schwellenwerte (SW)

98 mm/Tag

9 mm/Tag



a) → e)

+ ca. 200 richtig Positiv

+ ca. 200‘000 falsch Alarm

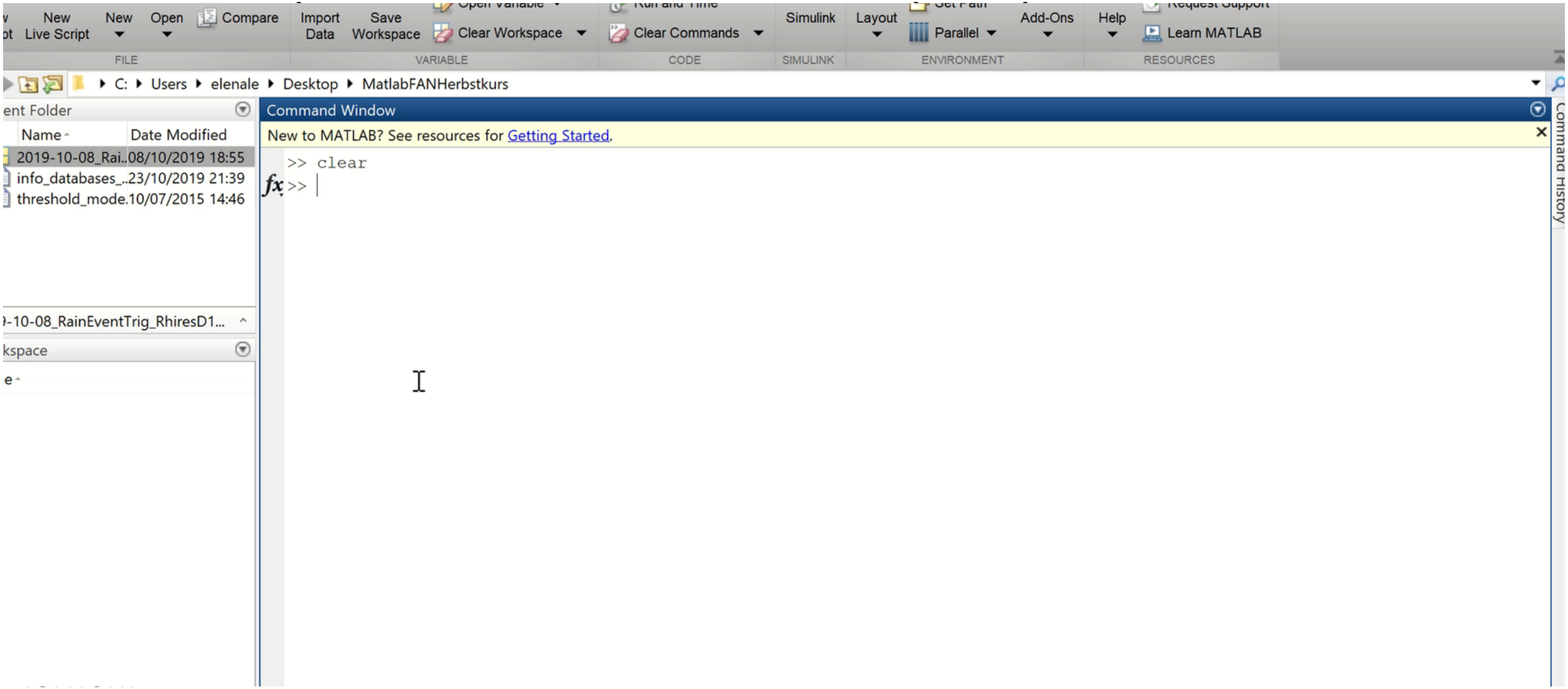
a) 1 SW für die gesamte Schweiz (TSS=0.63)
b) 4 SW, für jede mdp Region (TSS=0.65)
c) 4 SW, für jede Erodierbarkeitsregion (TSS=0.63)
d) 16 SW, für jede Kombination von mdp und Erodierbarkeitsregion (TSS=0.66)
e) 16 SW von max. Intensität/ mdp wie in d) und dann mit der lokalen mdp für jede Zelle multipliziert (TSS=0.67)

Vorteile einzigartiger Datenbanken

Unabhängig von der Methode oder den Merkmalen, die für die Definition der Schwellenwerte gewählt wurden, kann eine solche kombinierte historische Aufzeichnung ein sehr nützliches Werkzeug für Entscheidungsträger sein.

Für bestimmte Niederschlagsvorhersagen (und/oder Vorbedingungen) können alle möglichen Statistiken zu historischen Ereignisse in der Datenbank bestimmt werden mit entsprechenden Möglichkeiten, daraus zu lernen.

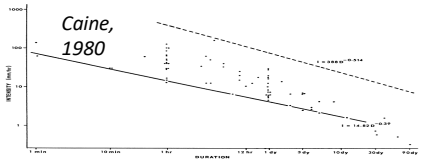
MATLAB tool


New Live Script
New
Open
Compare
Import Data
Save Workspace
Clear Workspace
Clear Commands
Simulink
Layout
Parallel
Add-Ons
Help
Learn MATLAB
FILE
VARIABLE
CODE
SIMULINK
ENVIRONMENT
RESOURCES
C: Users elenale Desktop MatlabFANHerbstkurs
Name
Date Modified
2019-10-08_Rai..08/10/2019 18:55
info_databases_..23/10/2019 21:39
threshold_mode.10/07/2015 14:46
Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
>> clear
>>
Command History

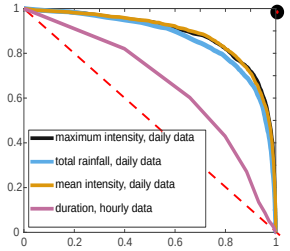
Schlussfolgerungen: Niederschlagsschwellenwerte

Niederschlagsschwellenwerte sind ein **sehr einfaches und effektives** Instrument, um mit der Auslösung von Erdrutschen umzugehen. Sie sollten jedoch mit **Bewusstsein und Vorsicht verwendet werden**, da sie von der Genauigkeit der verwendeten **Datenbanken** abhängig sind, zu einer hohen Anzahl von **Fehlalarmen** führen und die **Anfälligkeit** für Erdrutsche nicht berücksichtigen.

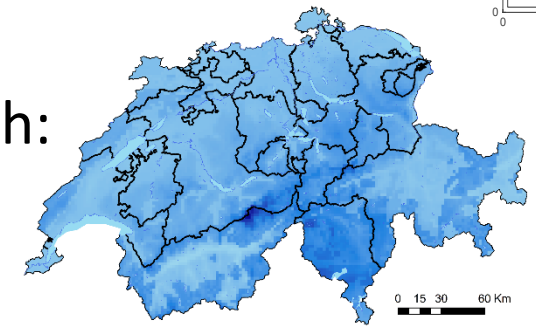
Schlussfolgerungen



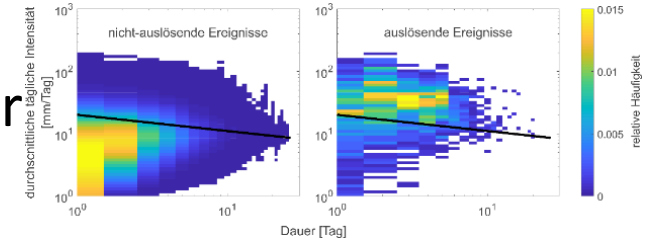
- Niederschlagsschwellen können für die Vorhersage von Erdrutschen verwendet werden.



- In der Schweiz wurde eine objektive Methode für ihre Definition angewandt, die die Vorteile einzigartiger Regen- und Rutschungs-datenbanken nutzt.



- Wir können die Niederschlagsschwellenwerte verbessern durch:
  - Regionalisierung
  - Verbesserung der zeitlichen Auflösung**
  - Durch das Einbeziehen der Vorfeuchtebedingungen



- **Tägliche Schwellenwerte könnten im operationellen Betrieb besser geeignet sein (bessere Niederschlagsvorhersagen und robustere Schwellenwerte).