

# Hydrologische Gebietsreaktion auf Starkregen in Luxemburg als Grundlage einer Sturzflutvorhersage

12.03.2024

LARSIM-Anwendertreffen

Julia Krumm, Claude Meisch

HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft mbH

Administration de la gestion de l'eau Luxembourg



## 1. Hintergrund & Ziele

## 2. Matrix der Gebietsreaktion

- a) Grundlegende Methodik
- b) exemplarische Ergebnisse und Anwendungsmöglichkeiten
- c) Anwendungsmöglichkeiten in der Sturmflutvorhersage

## 3. Weitere Auswertungen

- a) Matrix der Warnstufen
- b) Matrix kritischer Niederschläge
- c) Matrix – Einordnung anhand von SRGK-Szenarien
- d) Matrix – Zuordnung von Schadenspotenzialen

## 4. Zusammenfassung und Ausblick

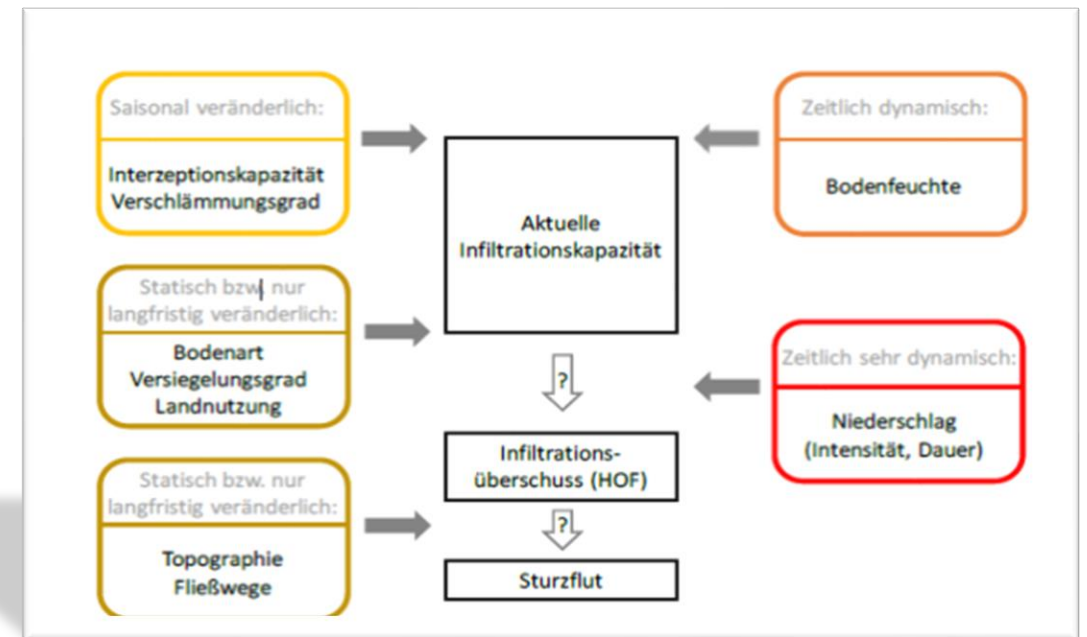
# Hintergrund & Ziele



- Strategie zur Minimierung von Starkregen- und Sturzflutfolgen im 2ten Zyklus HWRM-RL
  - **Lang- bis mittelfristig: Dokumentation & Erforschung des Phänomens und Weiterentwicklung der Vorhersage.**
  - Mittel- bis langfristig: Erstellung von Datensätzen zur Erkennung von Handlungsbedarf zur proaktiven Risikominimierung.
  - Kurzfristig: Konkretisierung des Handlungsbedarfs & Umsetzung von Maßnahmen.
- Projekte zur Verbesserung der Vorhersagbarkeit von Sturzfluten und der Bewertung der räumlichen Gefährdung der aus Starkregen entstehenden Sturzfluten
  - Wissenschaftliche Nachbereitung von vergangenen Ereignissen & Monitoring (Drohnenbefliegung)
  - Forschungsprojekt „IOT“ (2018-2020) - Entwicklung eines Sturzflut-Überwachungsprototyps sowie Erkenntnisse über hydrologische Prozesse bei Sturzfluten durch Starkregen
  - Pilotprojekt „SPEKTER-FAS“
  - Landesweite Starkregengefahrenkarten (FloodArea – 2x2m – D60T100 - +-70mm/h)
  - Dynamisches Infiltrationsmodul LARSIM



- Kooperationsprojekt mit Meteolux
  - Langfristiges Ziel: Räumlich differenzierte Sturzflutvorhersage
  - Hier: kritische Niederschlagsschwellen & Matrix der Gebietsreaktionen
    - unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussgrößen
    - räumlich differenziert
    - Auswirkungsbezug – Risikobetrachtung
  - Detaillierte Analyse der maßgeblichen Randbedingungen
  - Effiziente Nutzung bereits vorhandener Vorarbeiten

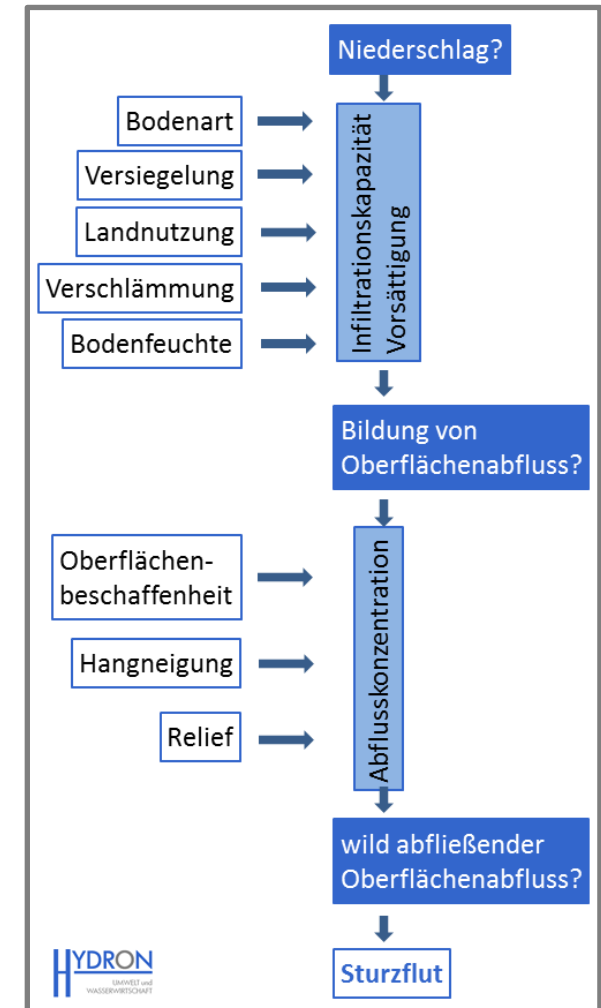


1. Hintergrund & Ziele
2. Matrix der Gebietsreaktion
  - a) Grundlegende Methodik
  - b) exemplarische Ergebnisse und Anwendungsmöglichkeiten
  - c) Anwendungsmöglichkeiten in der Sturzflutvorhersage
3. Weitere Auswertungen
  - a) Matrix der Warnstufen
  - b) Matrix kritischer Niederschläge
  - c) Matrix – Einordnung anhand von SRGK-Szenarien
  - d) Matrix – Zuordnung von Schadenspotenzialen
4. Zusammenfassung und Ausblick

## 2a) Matrix der Gebietsreaktion - Methodik

Welche Bezugsgröße charakterisiert die Gebietsreaktion bei Starkregen?

- Ziel: Erfassung der Gebietsreaktion bei Sturzfluten
- Abflussscheitel im Gewässer (u. zugehörige HQ-Werte) dafür nicht repräsentativ
- Sturzfluten charakterisiert durch wild abfließenden Oberflächenabfluss
- bestmöglicher Proxy zur Erfassung von wild abfließendem Wasser mit LARSIM: Scheitel des innerhalb eines TGB gebildeten und konzentrierten Oberflächenabflusses; hier: „(Oberflächen-) Abflussentstehung“
- Abflussentstehung enthält
  - Abflussbildung (HOF und SOF; physikalisch basiert)
    - Plausibilisierung der Abflussbildung für mehrere Starkregenereignisse im Gutland u. Oesling
  - Abflusskonzentration (konzeptionell)
    - Plausibilisierung der Abflusskonzentration anhand hydraulischem Modell
- Einschränkungen: Parametrisierung Oesling, Einfluss EQD2, Abflussentstehung keine messbare Größe → Unsicherheiten berücksichtigen



## 2a) Matrix der Gebietsreaktion - Methodik

Was ist die Matrix der Gebietsreaktion?

- Matrix der Gebietsreaktion enthält Abflusssentstehung einer Vielzahl von Simulationsvarianten mit verschiedenen Randbedingungen
- Variablen:
  - Niederschlagsintensität (flächeneinheitlich)
  - Niederschlagsdauerstufe (anfangsbetonte N-Verteilung)
  - Bodenfeuchte
  - (Verschlämmung & Interzeption)

		Niederschlagsintensität [mm/5min]										10
		0.5	1	2	4	6	10	15	20	30	45	
Niederschlagsdauerstufe [min]	5	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	6
	15	-	-	-	x	x	x	x	x	x	-	6
	30	-	-	x	x	x	x	x	x	-	-	6
	60	-	x	x	x	x	x	x	-	-	-	6
	120	-	x	x	x	x	x	-	-	-	-	5
	240	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	4
	360	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	4
		7	2	4	5	6	5	5	4	3	2	1

Bodenfeuchte [%nFK]	0
	20
	40
	60
	80
	100
Anzahl	6

## 2b) Matrix der Gebietsreaktion – Methodik

### 444 Simulationsläufe (5-Minutenzeitschritt)

Varianten-  
definition

Lauf	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i [mm/5min]	0.5	0.5	1	1	1	1	2	2	2	2	2
d [min]	240	360	60	120	240	360	30	60	120	240	360
v [mm]	24	36	12	24	48	72	12	24	48	96	144
Vorfeuchte [%nFK]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lanu.par	April	April	April	April	April	April	April	April	April	April	April

2761 TGB

TGB	Lauf_001	Lauf_002	Lauf_003	Lauf_004	Lauf_005	Lauf_006	Lauf_007	Lauf_008	Lauf_009	Lauf_010	Lauf_011
13229	0.001	0.016	0	0	0.153	0.518	0	0.051	0.633	2.814	4.689
13232	0.014	0.109	0.011	0.093	0.55	1.094	0.052	0.324	1.201	3.409	5.099
13233	0	0	0	0	0.042	0.282	0	0.015	0.348	2.068	3.908
13234	0.021	0.075	0.01	0.068	0	0	0	0	0	0	2.737
13302	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0	0	4.077
13402	0	0.004	0	0	0	0	0	0	0	0	2.133
13403	0	0.047	0	0	0	0	0	0	0	0	4.537
13404	0.049	0.125	0.029	0.096	0	0	0	0	0	0	5.084
13405	0.002	0.092	0.001	0.091	0	0	0	0	0	0	5.688
13406	0.012	0.123	0.001	0.084	0	0	0	0	0	0	5.2
13407	0.07	0.17	0.041	0.148	0	0	0	0	0	0	5.721
13408	0.153	0.335	0.095	0.342	1.01	1.79	0.206	0.614	1.789	4.141	5.799
13409	0.05	0.221	0.026	0.232	0.854	1.577	0.146	0.52	1.544	3.756	5.4

Scheitelwerte der  
Oberflächenabfluss-  
entstehung  
[m<sup>3</sup>/(s\*km<sup>2</sup>)]

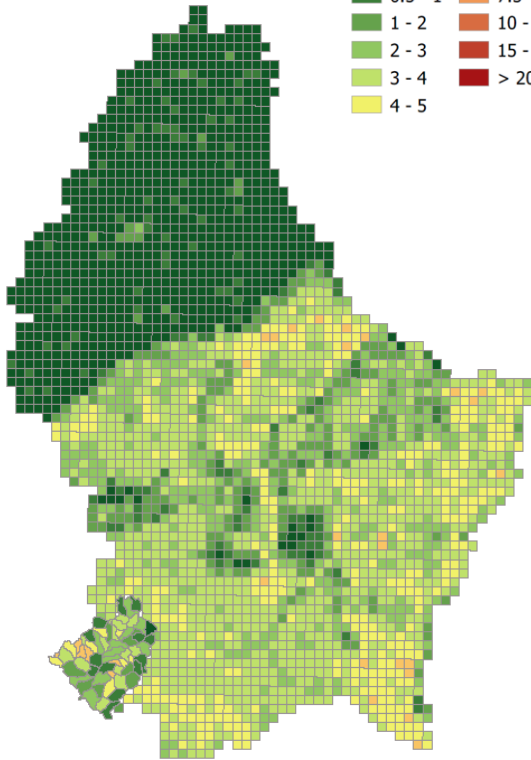
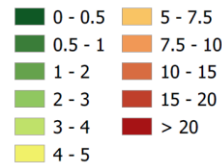
- direkte Übersetzung von Niederschlag und Vorfeuchte in Oberflächenabflussentstehung
- Matrix enthält eine große Menge an Information und ist für diverse Fragestellungen anwendbar
- im Folgenden exemplarisch aufgezeigt

## 2b) Matrix der Gebietsreaktion – Ergebnisse u. Anwendung

Dauer 60 Min, 48mm, 60%nFK

Dauerstufe 60 Min  
Intensität 4 mm/5min  
Bodenfeuchte 60% nFK

Abflussreaktion [ $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ]



0 10 20 km

HYDRON  
ANSTALT f. d.  
WASSERWIRTSCHAFT

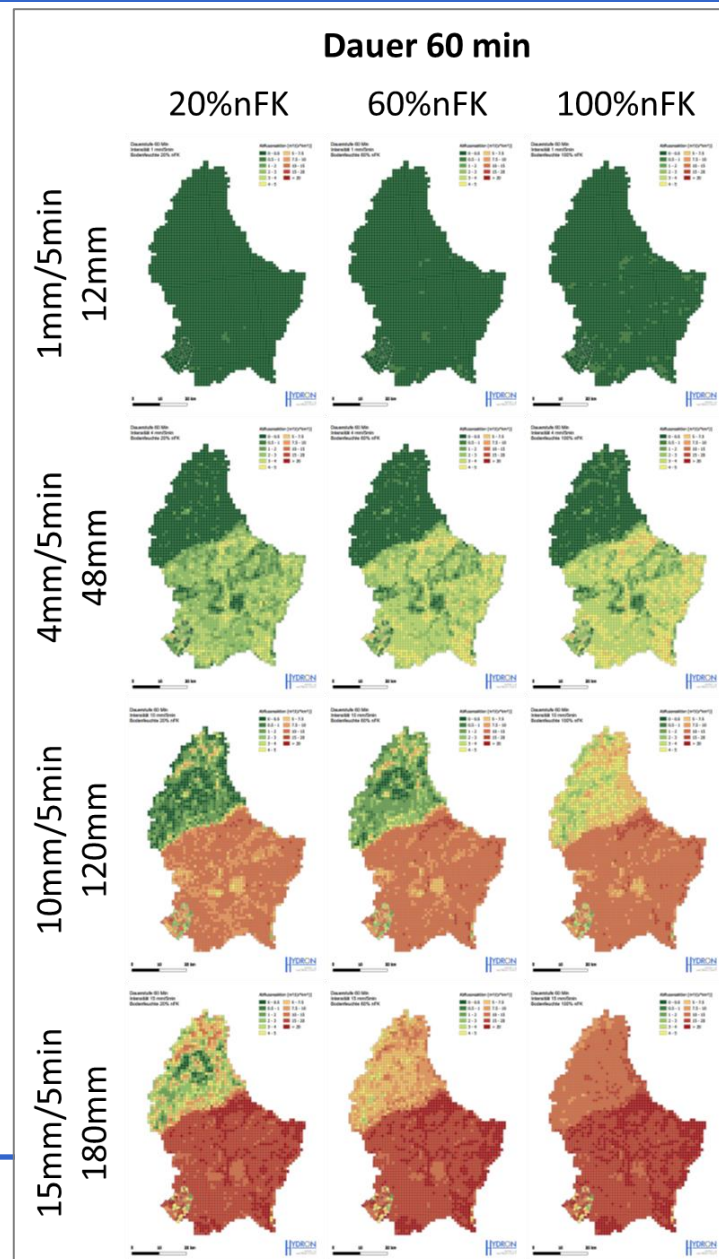
Ergebnis einer Simulationsvariante:

- Matrix erlaubt direkte Übersetzung von flächenhaft einheitlichen Randbedingungen in Abflussreaktion
- Abflussreaktion beeinflusst durch viele Gebietsfaktoren  
→ Niederschlagsinformation ist nicht ausreichend
- Unterschiede in regionaler „Anfälligkeit“  
→ Identifikation gefährdeter Gebiete

Luxemburg:

- v.a Unterschiede Oesling/Gutland
- lokale Unterschiede, z.B. durch Bodenparameter, Versiegelung, Höhenverhältnisse

## 2b) Matrix der Gebietsreaktion – Ergebnisse u. Anwendung



Abflussreaktion mit Veränderung Variablen (nicht kontinuierlich):

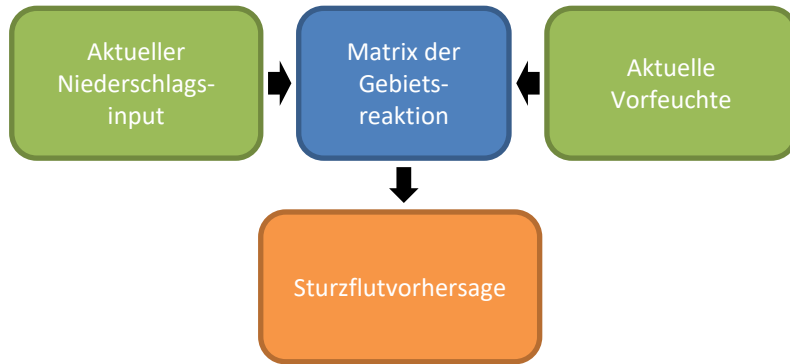
- flächendifferenzierte Information über besonders gefährdende Ereignisse/Bedingungen (z.B. regional eher kurze, intensive Niederschläge gefährlicher als lange mit hohem Volumen)
- Priorisierung von detaillierteren Analysen
- Bewusstseinsbildung und Vorsorge

Luxemburg:

- Oesling: Infiltrationsüberschuss wesentlich weniger relevant; kurze, intensive Ereignisse dort eher unproblematisch; Gefährdung eher durch Niederschläge mit hohem Volumen bei hoher Bodenfeuchte u. Sättigungsflächenabfluss
- Gutland: neben Sättigungsflächenabfluss auch Infiltrationsüberschuss relevant für Gefährdung, auch kurze, aber sehr intensive Niederschläge ergeben deutliche Reaktion

→ Matrix der Gebietsreaktion liefert unabhängig von akuten Gefahrensituationen (vergleichende) Informationen zur Sturzflutanfälligkeit von Gebieten

## 2c) Matrix der Gebietsreaktion – Anwendung in Sturzflutsituationen

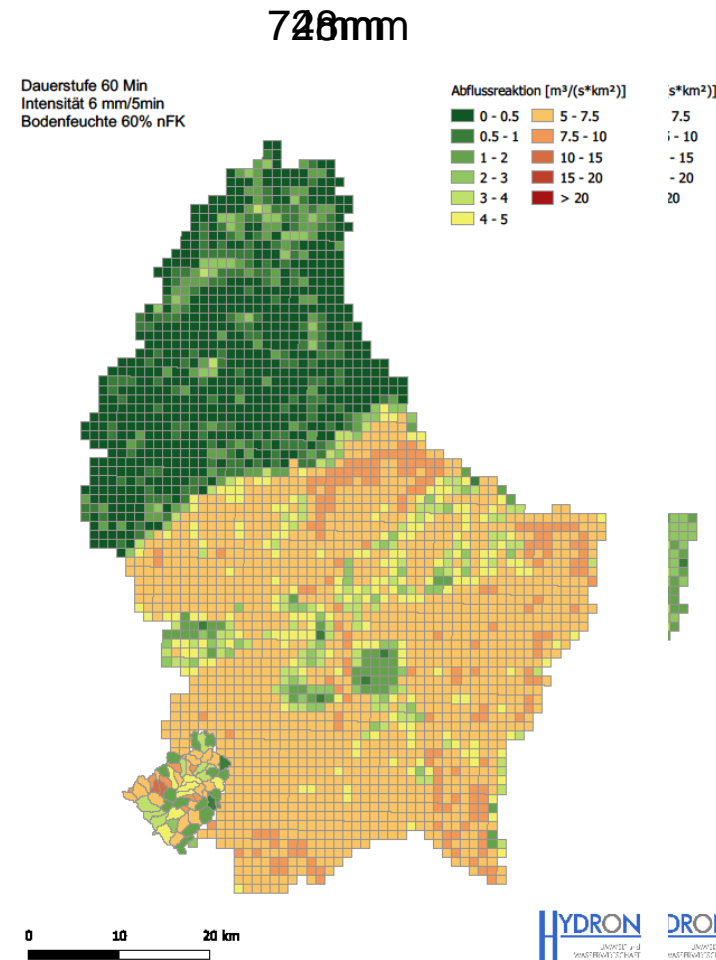
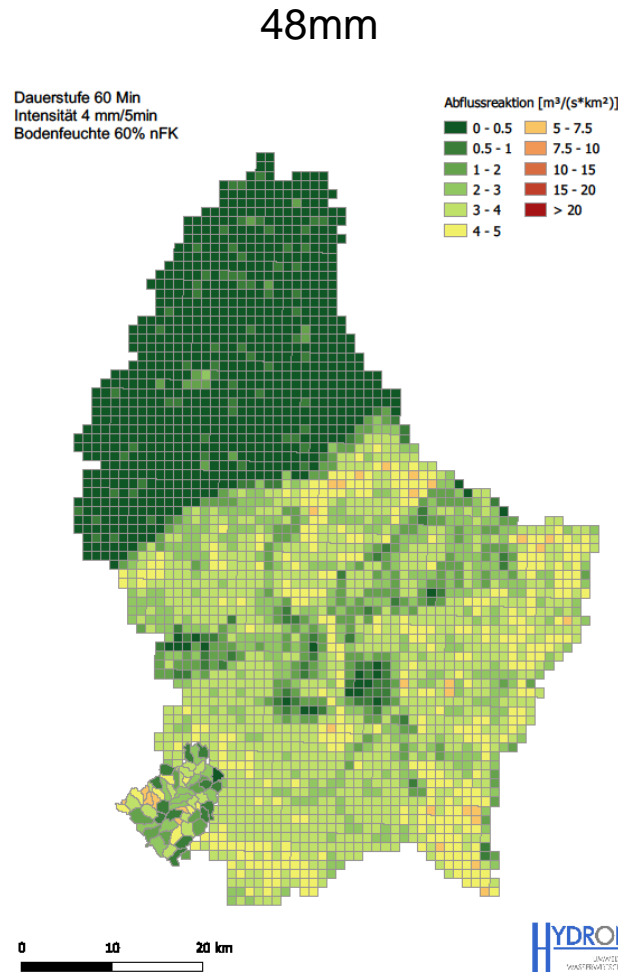


Grundidee zur Anwendung in der Sturzflutvorhersage:

- Matrix der Gebietsreaktion als Kern einer Sturzflutvorhersage liegt für Luxemburg vor
- Bodenfeuchte kann aus operationellem LARSIM-Lauf ohne Nachführung des Wasserdargebots entnommen werden
- aktueller Niederschlagsinput aus Niederschlagsvorhersage
- Einordnung von Bodenfeuchte und Niederschlag in Matrix zur Ermittlung der Gebietsreaktion
- Matrix dient also als Lookup-Tabelle für Gebietsreaktion
- Methoden:
  - Manuelle Verwendung der Matrix der Gebietsreaktion
  - Automatisiertes Warnsystem auf Basis der Matrix der Gebietsreaktion

# 2c) Matrix der Gebietsreaktion – Anwendung in Sturzflutsituationen manuelle Verwendung

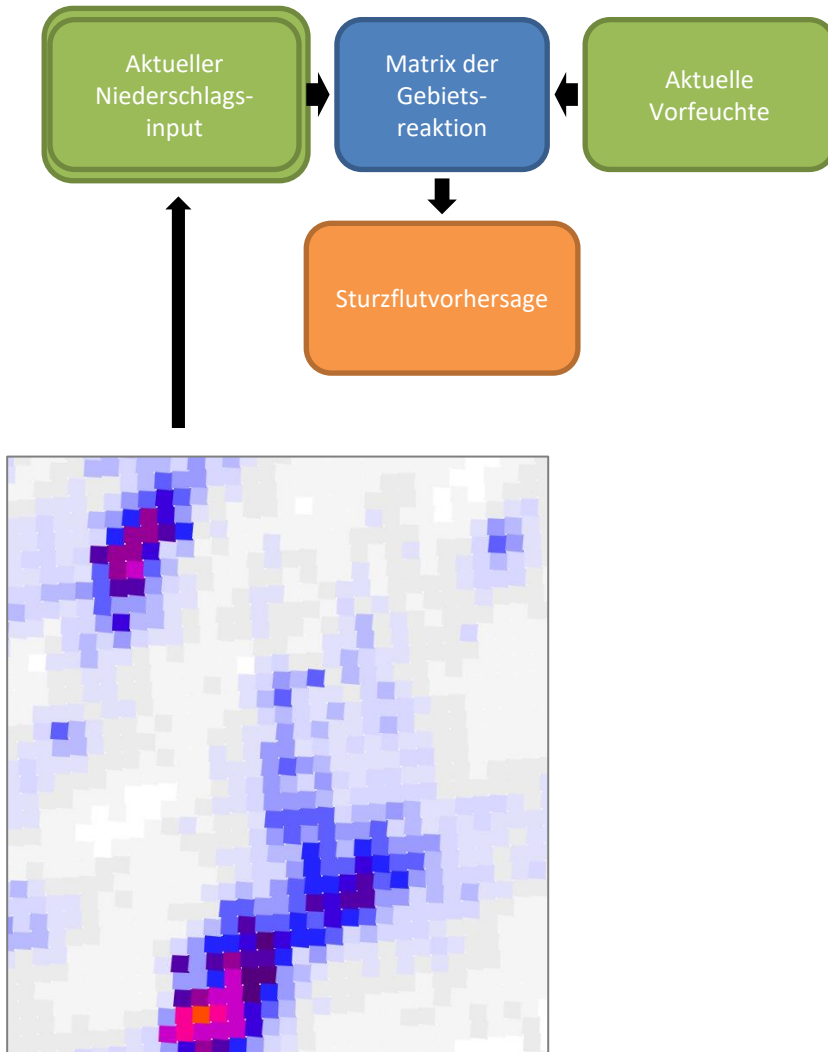
Dauer 60 Min



Beispiel manuelle Anwendung in Akutsituation:

- Beispiel: Zu erwartender Niederschlag 50mm innerhalb 60 bis 120 Minuten, lokal bis zu 70mm
  - Ausgangspunkt vorgefertigte Karten oder GIS-Layer
  - Auswahl der aktuellen Anfangsbedingung (z. B. mittel), der zu betrachtenden Niederschlagsmengen und Dauerstufen
  - Visualisierung der zu erwartenden Abflussreaktion für die vorausgewählten Kombinationen
- ermöglicht flächendifferenzierte Einschätzung der Lage bei einfacher landesweiter N-VHS (z.B. Thunderstorm Forecast Guidance)

## 2c) Matrix der Gebietsreaktion – Anwendung in Sturzflutsituationen automatisierte Verwendung



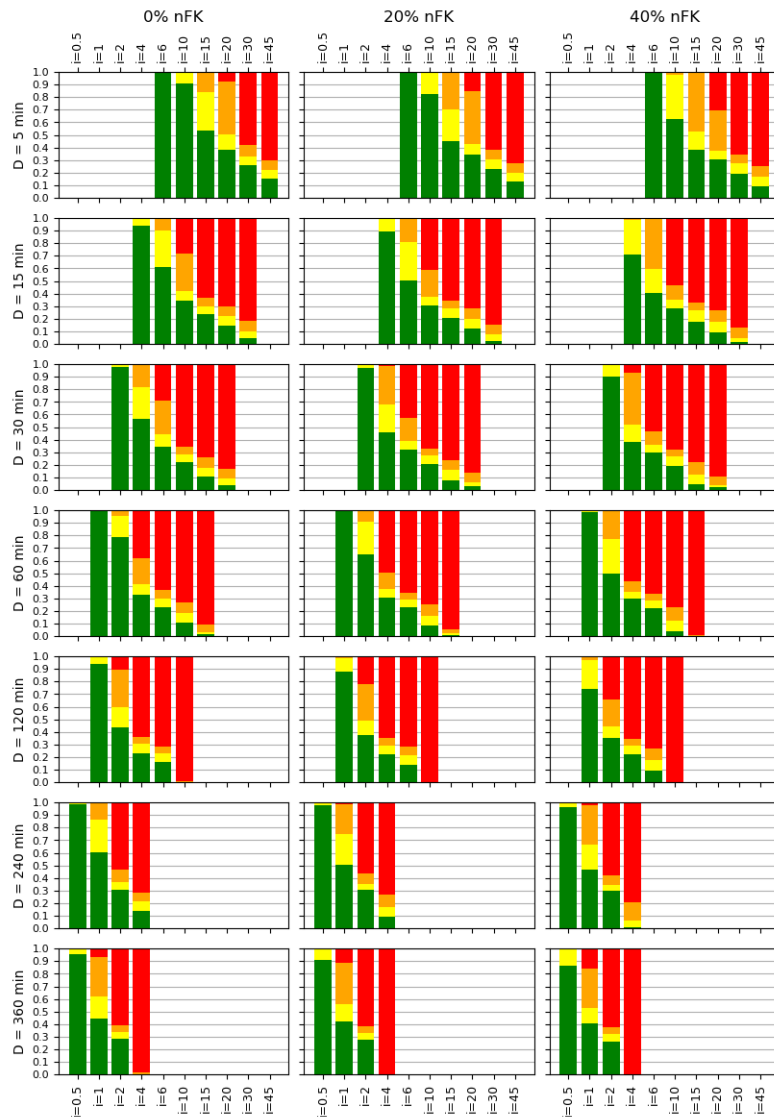
### automatisiertes Sturzflutwarnsystem:

- Matrix der Gebietsreaktion als Kern des Warnsystems
- Bodenfeuchte kann aus operationellem LARSIM-Lauf ohne Nachführung der Gebietsspeicher entnommen werden
- aktueller Niederschlagsinput aus Niederschlagsvorhersage
- automatisierte Einordnung des Niederschlags in Matrix
- Verwendung flächendifferenzierter N-VHS möglich (Nowcasting-Produkte)
- Berücksichtigung mehrerer N-VHS möglich (Ensemble-VHS)
- sehr zeiteffizientes operationelles System möglich, da keine operationelle Berechnungen der Gebietsreaktion
- zu berücksichtigen:
  - räumliche Unsicherheit des Niederschlags (ggf. über Ensemble-Streuung hinaus)
  - keine Veröffentlichung von Ergebnissen auf räumlicher Ebene der TGB
  - für Veröffentlichung explizite Werte der Abflusssentstehung „zu detailliert“  
→ Klassifikation der Gebietsreaktion in Warnstufen

# Inhalte

1. Hintergrund & Ziele
2. Matrix der Gebietsreaktion
  - a) Grundlegende Methodik
  - b) exemplarische Ergebnisse und Anwendungsmöglichkeiten
  - c) Anwendungsmöglichkeiten in der Sturmflutvorhersage
3. Weitere Auswertungen
  - a) Matrix der Warnstufen
  - b) Matrix kritischer Niederschläge
  - c) Matrix – Einordnung anhand von SRGK-Szenarien
  - d) Matrix – Zuordnung von Schadenspotenzialen
4. Zusammenfassung und Ausblick

# 3a) Matrix der Warnstufen

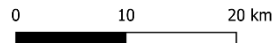
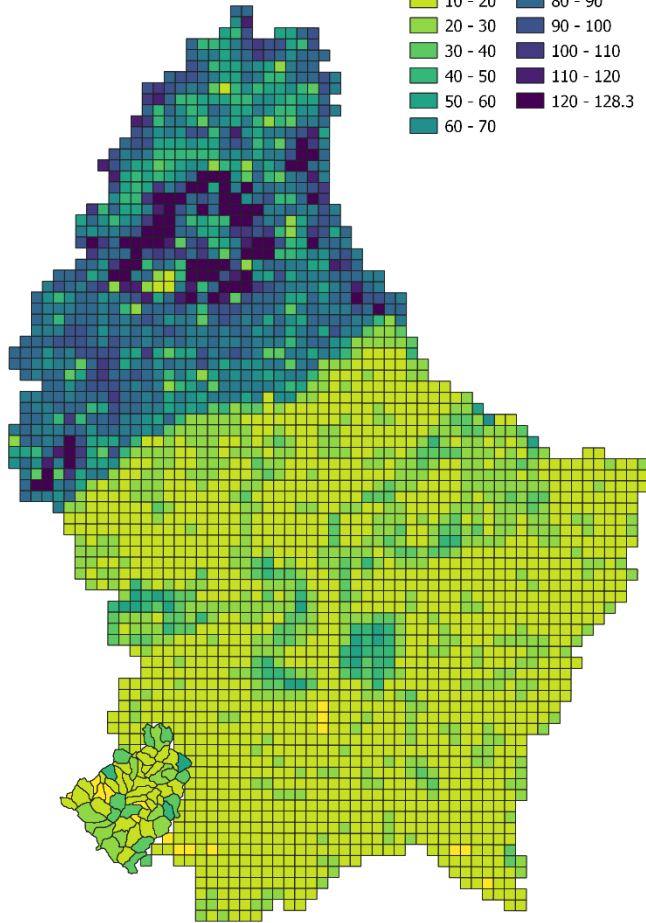
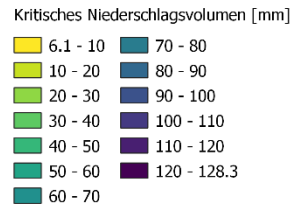


- Ableitung von Schwellenwerten für die Abflusentstehung anhand diverser Datenquellen (HQ-Regio, Starkregen-Regio, Grenzwerte DWD-Starkregenwarnung, reale Starkregenereignisse)
- Matrix der Gebietsreaktion + flächeneinheitliche Schwellenwerte → Matrix der Warnstufen
- Kategorisierung bedeutet absichtliche Vereinfachung, z.B. hilfreich für Kommunikation
- Kategorisierung erlaubt auch Aggregation der Informationsdichte
- Beispiel: räumliche Aggregation
- Könnte die vorhergesagte Situation grundsätzlich kritisch werden?

Abflussschwellenwert [m <sup>3</sup> /(s*km <sup>2</sup> )]	Stufe
< 0.5	Stufe 0
< 1	Stufe 1
< 2	Stufe 2
≥ 2	Stufe 3

# 3b) Matrix kritischer Niederschläge

Dauerstufe 60 Min  
 Bodenfeuchte 60 %nFK  
 Schwellenwert 1



- Matrix der Gebietsreaktion + flächeneinheitliche Schwellenwerte → Matrix kritischer Niederschläge
- je Dauerstufe und Bodenfeuchte geringste Niederschlagsintensität (bzw. –volumen) bei der Schwellenwert überschritten wird
- Wieviel Niederschlag darf noch fallen, bevor die Situation kritisch wird?
- „Gegenstück“ zur Abflussreaktion → wo Abflussreaktion stark, kritische Niederschläge gering

Luxemburg:

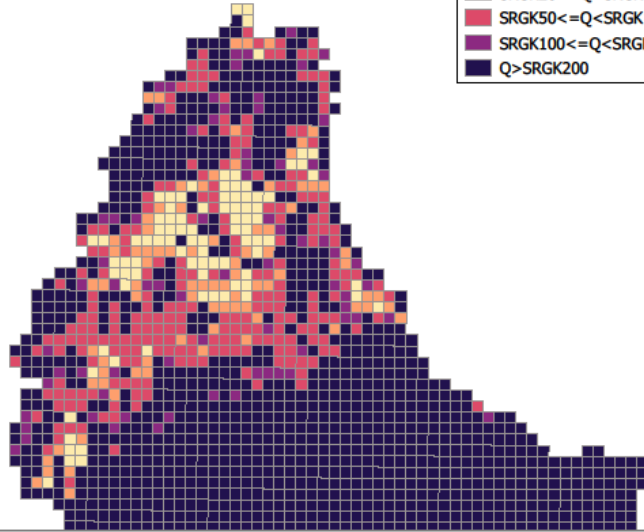
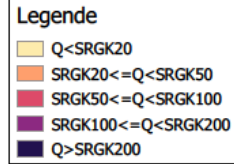
- im Oesling bei kurzen und mittleren Dauern deutlich höhere kritische Niederschläge als im Gutland

TGB	Dauerstufe 5 min					
	Bodenfeuchte 0 % nFK			Bodenfeuchte 20 % nFK		
	SW 1 (0.5 m³/(s*km²))	SW 2 (1 m³/(s*km²))	SW 3 (2 m³/(s*km²))	SW 1 (0.5 m³/(s*km²))	SW 2 (1 m³/(s*km²))	SW 3 (2 m³/(s*km²))
13229	14.205	17.195	22.206	11.956	14.946	19.71
13232	12.303	16.405	23.322	11.051	14.005	21.588
13233	16.104	20.138	27.054	12.051	15.005	23.526
13234	19.088	23.441	31.037	16.051	19.005	27.774
13302	15.264	19.382	26.976	12.051	15.005	23.551
13402	21.279	25.084	32.38	17.051	21.005	28.521

Niederschlagsvolumen [mm]

# 3c) und d) Matrix – Einordnung anhand von SRGK-Szenarien u. Zuordnung von Schadenspotenzialen

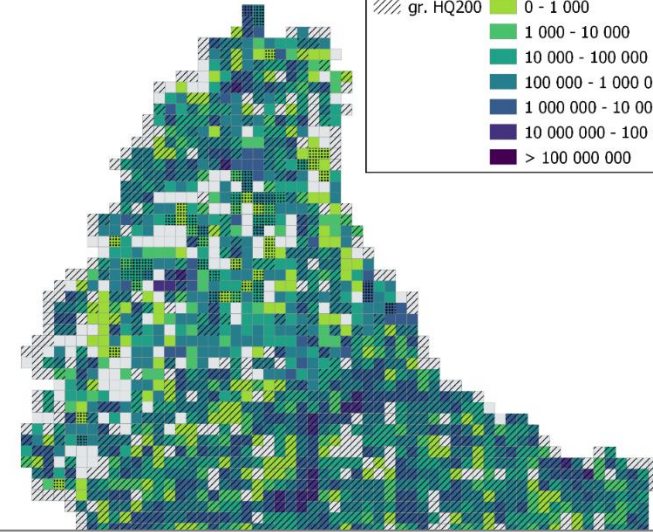
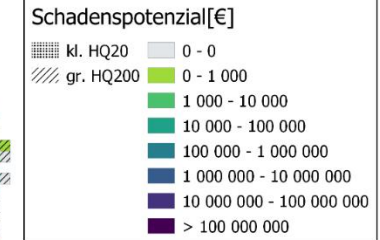
Dauerstufe 60 Min  
Intensität 10 mm/5min  
Bodenfeuchte 80% nFK



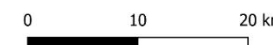
- Einordnung jeder Variante der Matrix anhand von vier SRGK-Szenarien
- eigentlich: Zuordnung von Niederschlagsjährlichkeiten
- Luxemburg: Einschränkungen bei Erstellung SRGK daher: keine Jährlichkeiten, aber: unter welchen Randbedingungen gilt wo welche SRGK?



Dauerstufe 60 Min  
Intensität 10 mm/5min  
Bodenfeuchte 80% nFK



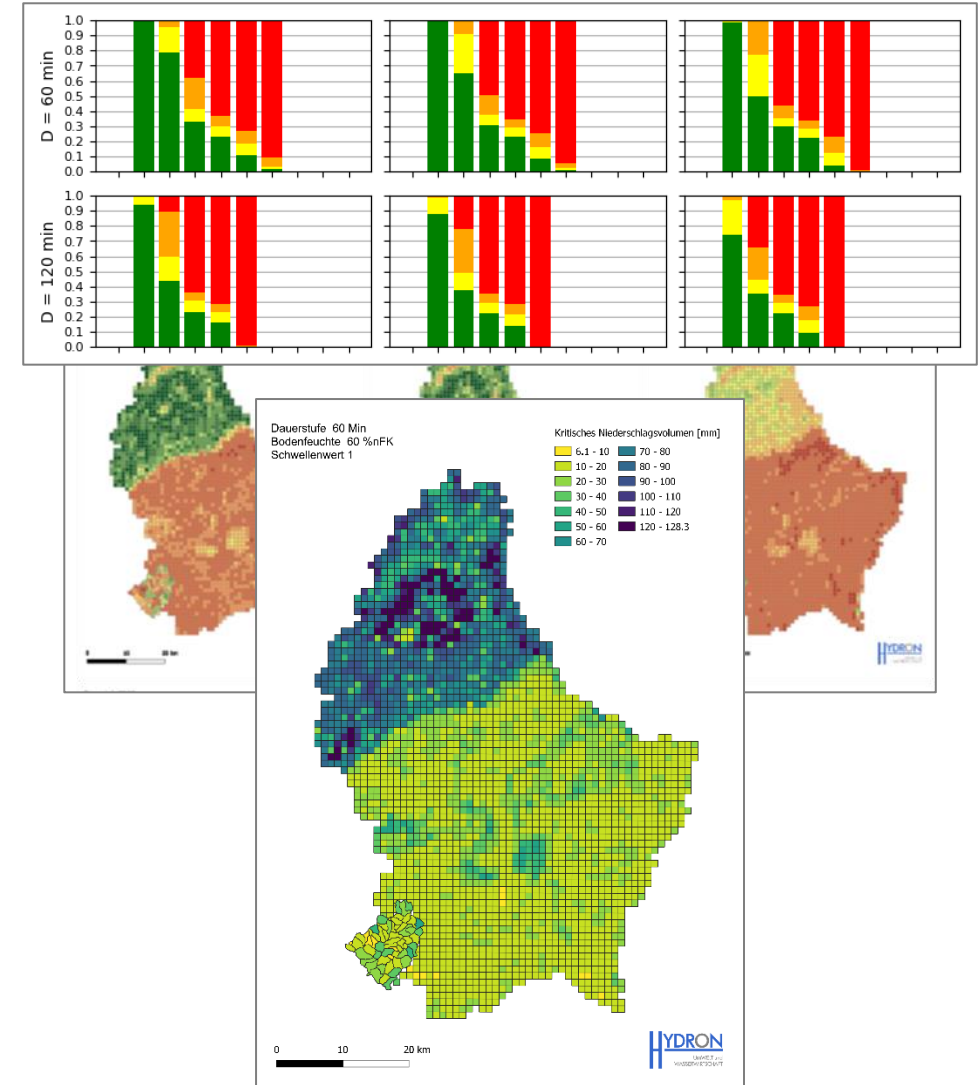
- Zuordnung von SRGK-zugehörigen Schadenspotenzialen zu jeder Variante der Matrix
- Zusatzinfo für Werte < SRGK20 und > SRGK200
- Luxemburg: Schadenspotenziale auch bei einheitlichem SRGK-Szenario räumlich sehr variabel
- kleines SRGK-Szenario ≠ geringes Schadenspotenzial



# Zusammenfassung und Ausblick

## Zusammenfassung

- als Ergebnis der Bearbeitung liegen folgende Daten vor (csv, GIS Feature Classes, z.T. Karten, Säulendiagramme):
  - Matrix der Gebietsreaktion
  - Matrix der Warnstufen (u. spezifische Schwellenwerte)
  - Matrix kritischer Niederschläge
  - Matrix – Einordnung anhand von SRGK-Szenarien
  - Matrix – Zuordnung von Schadenspotenzialen
- Ergebnisse auch unabhängig von akuten Sturzflutereignissen nutzbar („Hintergrundinfo“), z.B.
  - vergleichende Bewertung der Sturzflutanfälligkeit
- auf Basis vorliegender Auswertungen in akuter Sturzflutsituation manuelle Abschätzung der Gefährdung möglich, z.B.
  - Welcher Anteil des Landes könnte von welcher Warnstufe betroffen sein?
  - Ab welcher zusätzlichen Niederschlagsmenge besteht eine Sturzflutgefahr?



# Zusammenfassung und Ausblick

## Zusammenfassung

- als Ergebnis der Bearbeitung liegen folgende Daten vor (csv, GIS Feature Classes, z.T. Karten, Säulendiagramme):
  - Matrix der Gebietsreaktion
  - Matrix der Warnstufen (u. spezifische Schwellenwerte)
  - Matrix kritischer Niederschläge
  - Matrix – Einordnung anhand von SRGK-Szenarien
  - Matrix – Zuordnung von Schadenspotenzialen
- Ergebnisse auch unabhängig von akuten Sturzflutereignissen nutzbar („Hintergrundinfo“), z.B.
  - vergleichende Bewertung der Sturzflutanfälligkeit
- auf Basis vorliegender Auswertungen in akuter Sturzflutsituation manuelle Abschätzung der Gefährdung möglich, z.B.
  - Welcher Anteil des Landes könnte von welcher Warnstufe betroffen sein?
  - Ab welcher zusätzlichen Niederschlagsmenge besteht eine Sturzflutgefahr?

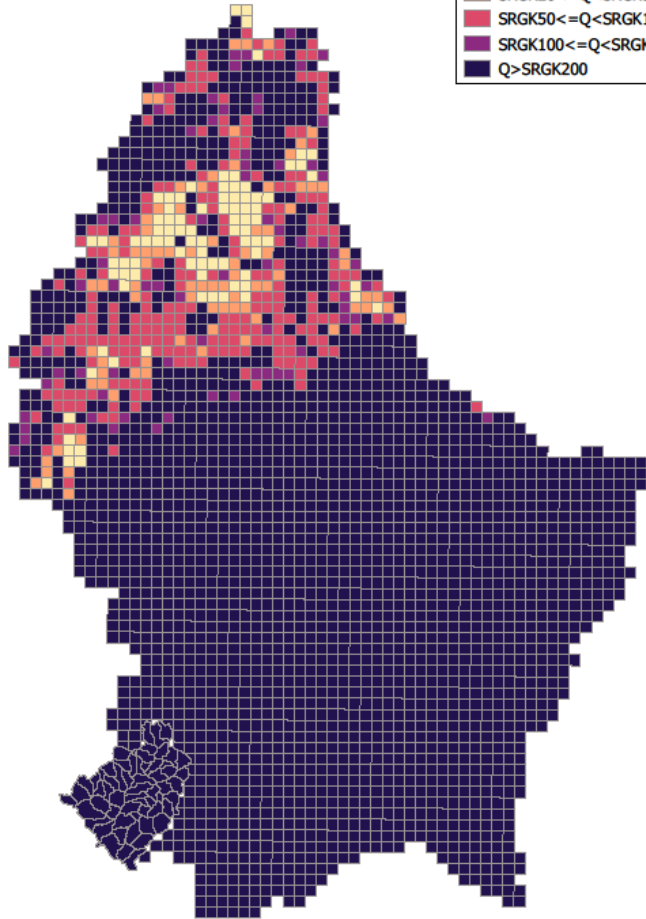
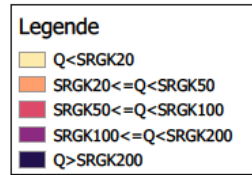
## Ausblick

- grundlegende Konzeption zur automatisierten Nutzung der Matrix für ein Warnsystem liegt vor
  - Aufbau eines operationellen Sturzflutwarnsystem auf vorliegender Grundlage möglich
  - Klärung von Detailfragen und Zuständigkeiten
  - zunächst weitergehende Tests und Auswertungen; interner Testbetrieb notwendig
  - übergangsweise „manuelle“ Nutzung der Datenbasis sinnvoll
- zukünftige Verbesserungsmöglichkeiten um (Modell)-unsicherheiten zu verringern
  - Abflusskonzentration in LARSIM
  - Infiltrationsparametrisierung im Oesling
  - SRGK mit verbesserter Abflussbildung aus LARSIM

**Danke!**  
**Fragen?**

# 3c) Matrix – Einordnung anhand von SRGK-Szenarien

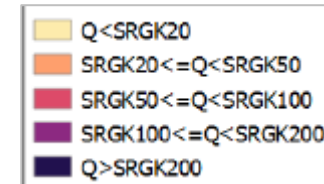
Dauerstufe 60 Min  
Intensität 10 mm/5min  
Bodenfeuchte 80% nFK



0 10 20 km

HYDRON  
ANSTALT f. d.  
WASSERWIRTSCHAFT

- Matrix der Gebietsreaktion + LARSIM-Simulation von vier SRGK-Szenarien  
→ Matrix – Einordnung anhand SRGK-Szenarien
- Simulationen des Effektivniederschlags der SRGK-Szenarien ergeben vier TGB-spezifische Werte der Abflusentstehung
- Einordnung der Werte der Matrix anhand der TGB-spezifischen Vergleichswerte der vier SRGK-Szenarien
- „Kategorisierung“ der Matrix mit TGB-spezifischen Schwellenwerten



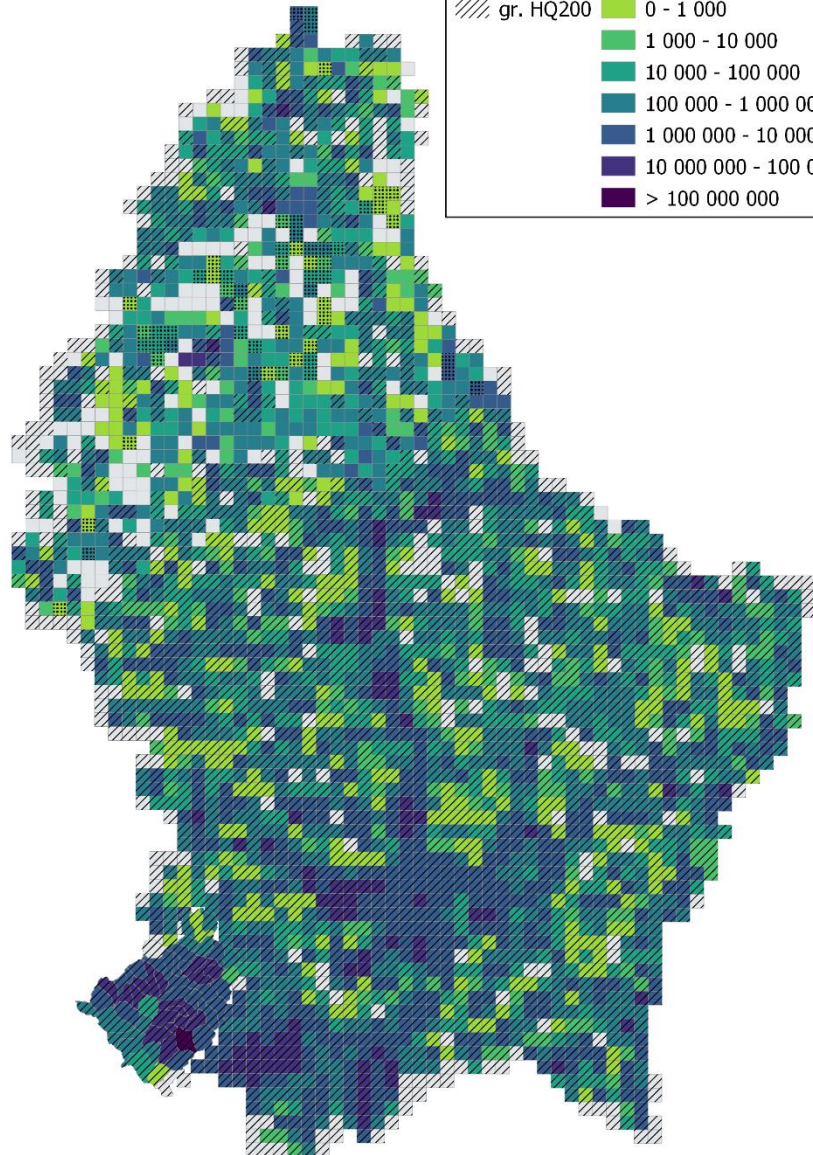
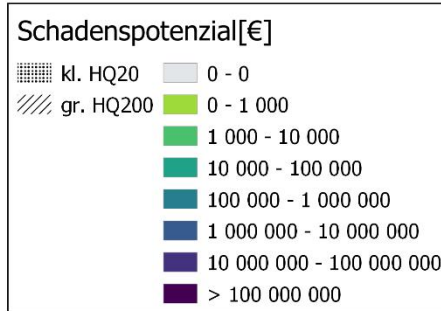
Luxemburg:

- bei vielen Varianten u. TGB grobe Info (<SRGK20 oder >SRGK200)  
→ Bandbreite Matrix größer als Bandbreite SRGK
  - im Oesling Zuordnung von SRGK mit kleinerer Jährlichkeit als im Gutland  
→ SRGK enthalten nicht Unterschiede zw. Gutland u. Oesling  
→ Einordnung der Matrix sollte in Luxemburg nicht als Zuordnung von Jährlichkeiten verstanden werden
- Einordnung zeigt, unter welchen Bedingungen wo welche SRGK gilt
- erlaubt Verknüpfung zwischen Matrix und Schadenspotenzialen



# 3d) Matrix – Zuordnung von Schadenspotenzialen

Dauerstufe 60 Min  
Intensität 10 mm/5min  
Bodenfeuchte 80% nFK



- Einordnung der Matrix der Gebietsreaktion anhand der SRGK-Szenarien + Schadenspotenzialen der SRGK-Szenarien (RZB) → Matrix – Zuordnung von Schadenspotenzialen
- minimale Schadenspotenziale gemäß Tabelle
- Schadenspotenziale liegen TGB-spezifisch vor, d.h. es wurden Zahlenwerte zugewiesen, keine Kategorie

Einordnung	Schadenspotenzial
$Q < SRGK20$	$\leq SRGK 20$
$SRGK20 \leq Q < SRGK50$	SP 20
$SRGK50 \leq Q < SRGK100$	SP 50
$SRGK100 \leq Q < SRGK200$	SP 100
$Q > SRGK200$	$\geq SP 200$

Luxemburg:

- da Werte  $< SRGK20$  und  $> SRGK200$  häufig auftreten, wurden sie als Zusatzinformation zur Darstellung im GIS übernommen
- Schadenspotenzial auch bei einheitlichem SRGK-Szenario räumlich sehr variabel
- kleines SRGK-Szenario  $\neq$  geringes Schadenspotenzial