

## Präsentation der Ergebnisse des Forschungssemesters

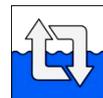
# Sachgerechte Berücksichtigung der ungleichmäßigen Überregnung zur Durchführung von Simulationsberechnungen im Bereich der Stadtentwässerung

bearbeitet von:

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Drechsel



mit Unterstützung von:



**BGS Wasser**

Brandt Gerdes Sitzmann Wasserwirtschaft GmbH



**Wirtschaftsbetrieb  
Mainz**

Eigenbetrieb der Stadt Mainz

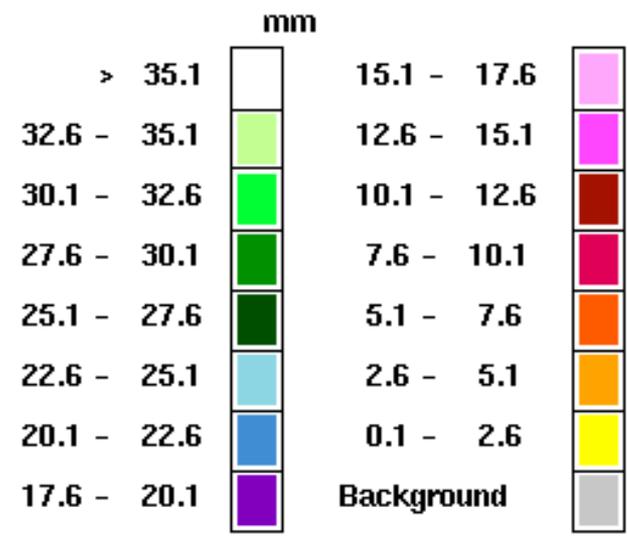
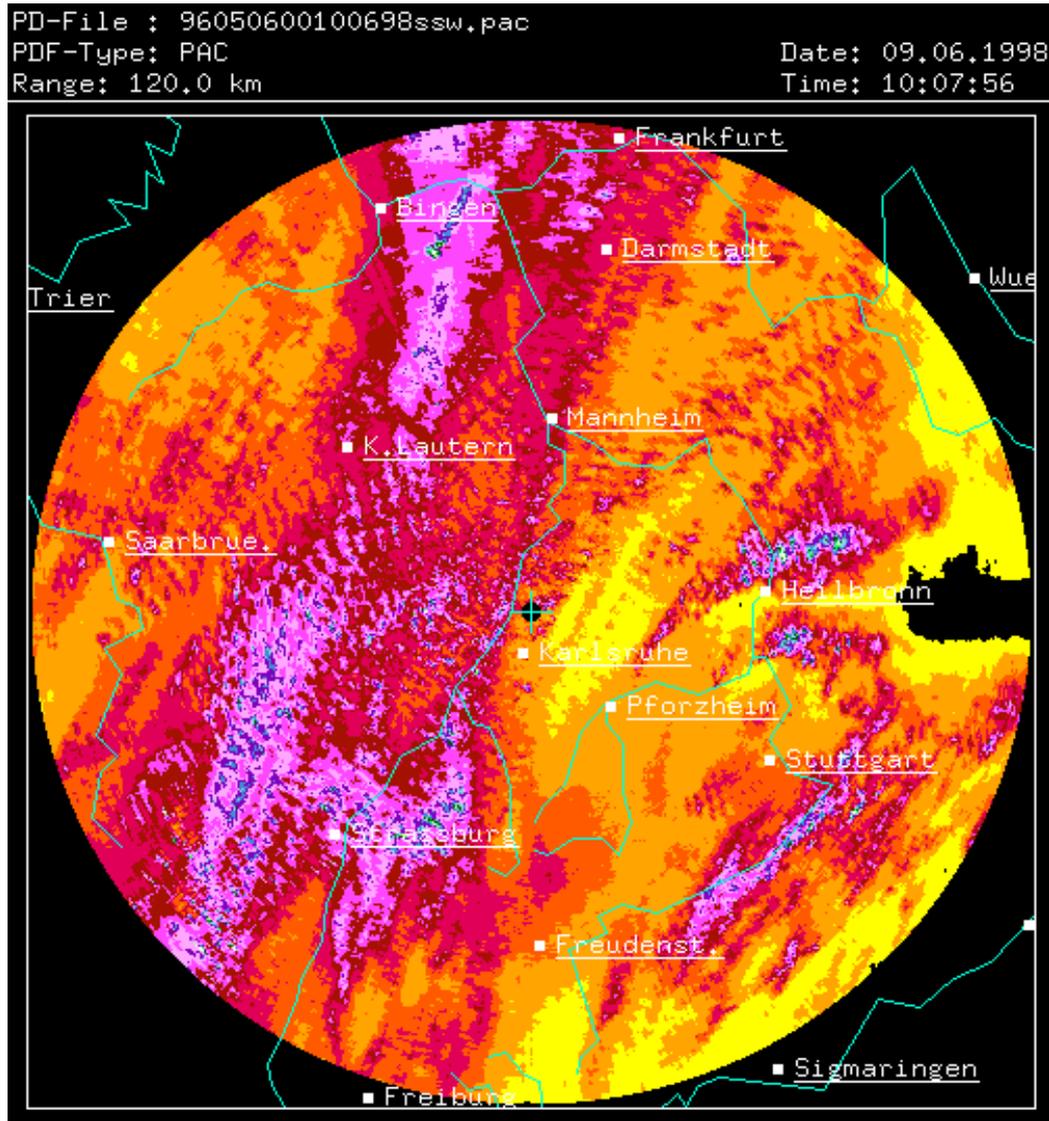
## Gliederung / Themen

1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise
2. Beschreibung Projektgebiet und Niederschlagsdaten
3. Niederschlagsauswertungen
4. Gebietsniederschlagshöhenstatistiken
5. Synthetisches Generieren von Niederschlagsdaten
6. Kanalnetzrechnungen für unterschiedliche Niederschlagsbelastungen
7. Beurteilung und Empfehlung

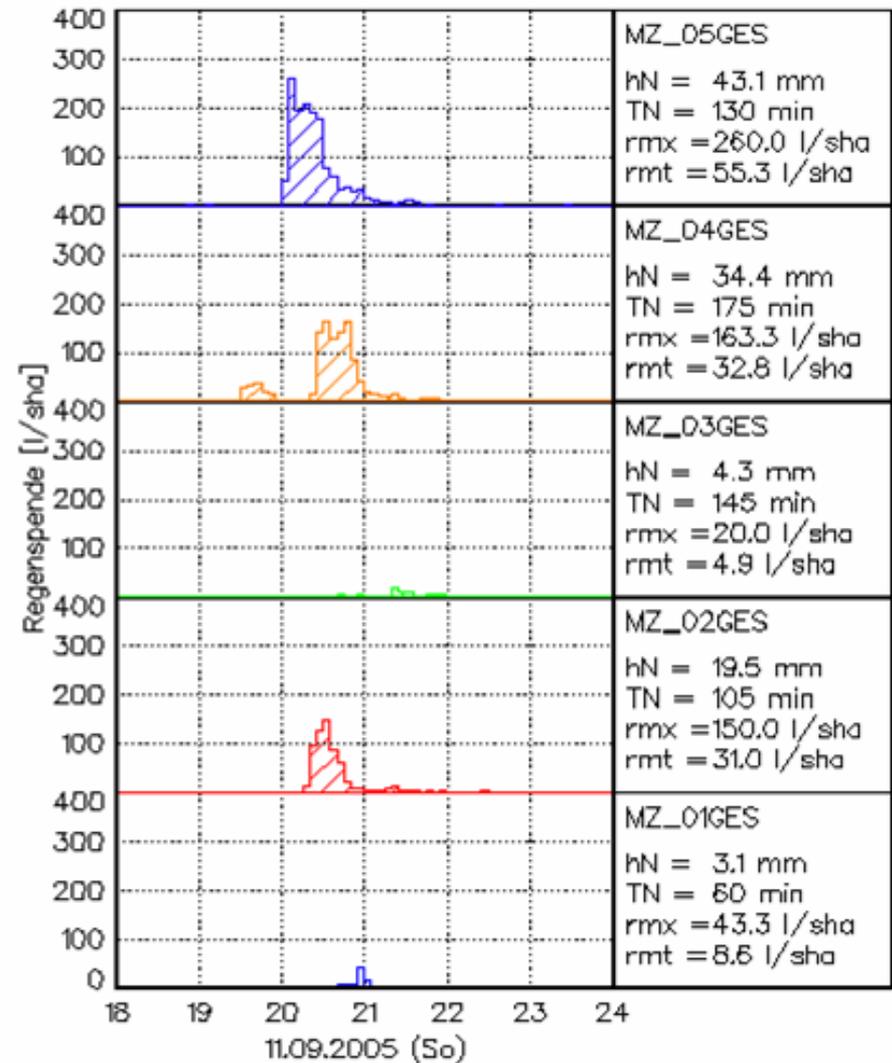
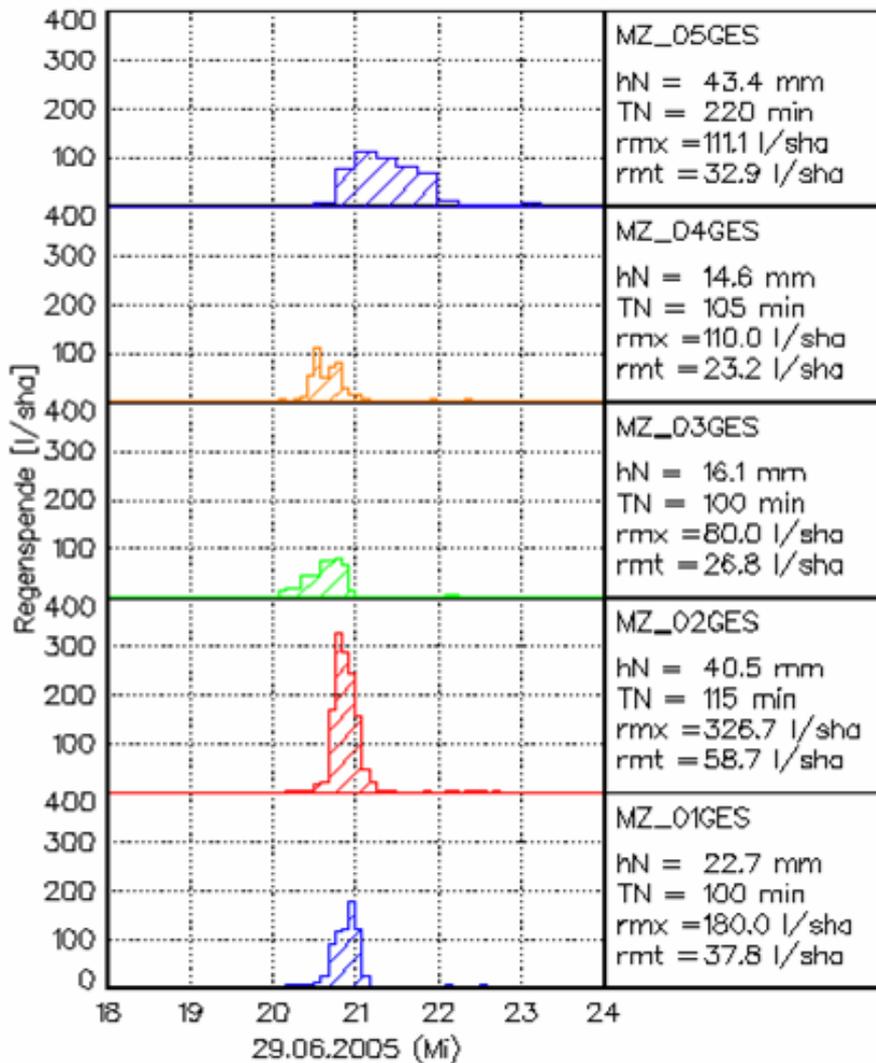
## Gliederung / Themen

- 1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise**
2. Beschreibung Projektgebiet und Niederschlagsdaten
3. Niederschlagsauswertungen
4. Gebietsniederschlagshöhenstatistiken
5. Synthetisches Generieren von Niederschlagsdaten
6. Kanalnetzrechnungen für unterschiedliche Niederschlagsbelastungen
7. Beurteilung und Empfehlung

# 1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise



# 1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise

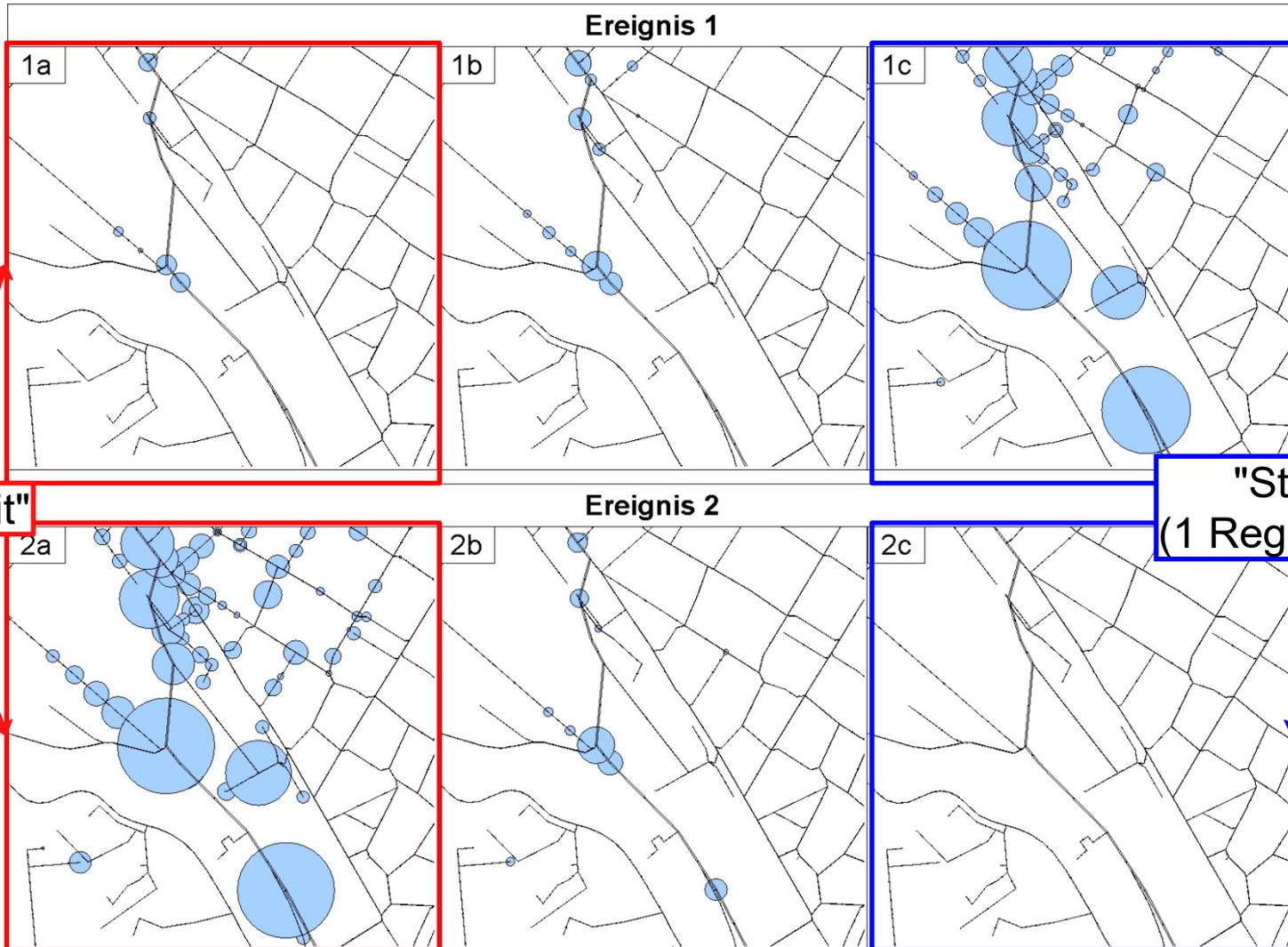


# 1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise

## ➤ Gemessene Starkregenereignisse in Mainz

- 2007 → 2 extremere Starkregenereignisse 1 und 2
- Niederschlagsmessung → 17 Regenschreiber
- Nachrechnungen am kalibrierten Kanaldatensatz mit
  - Alle 17 Regenschreibern ("Wahrheit") (1a und 2a)
  - Regenschreiber 1 bis 5 (→ später) (1b und 2b)
  - Regenschreiber 1 (Klärwerk) (1c und 2c)
- Nachfolgend Berechnungsergebnisse (1 a-c, 2 a-c)  
→ Berechnete Überflutungen im Innenstadtbereich

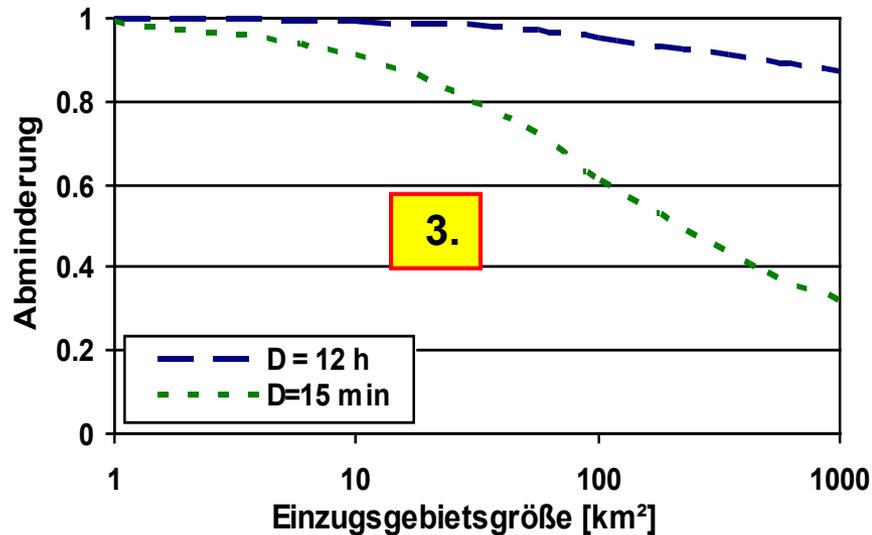
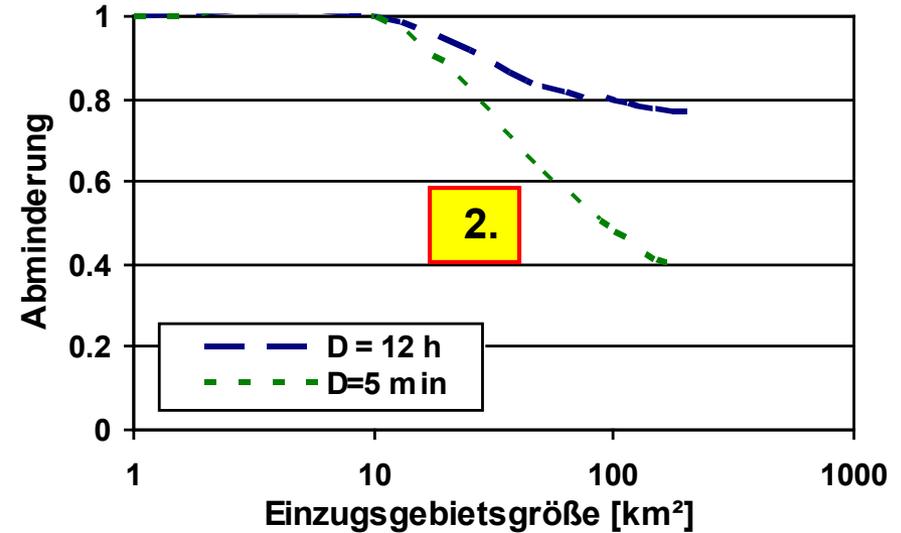
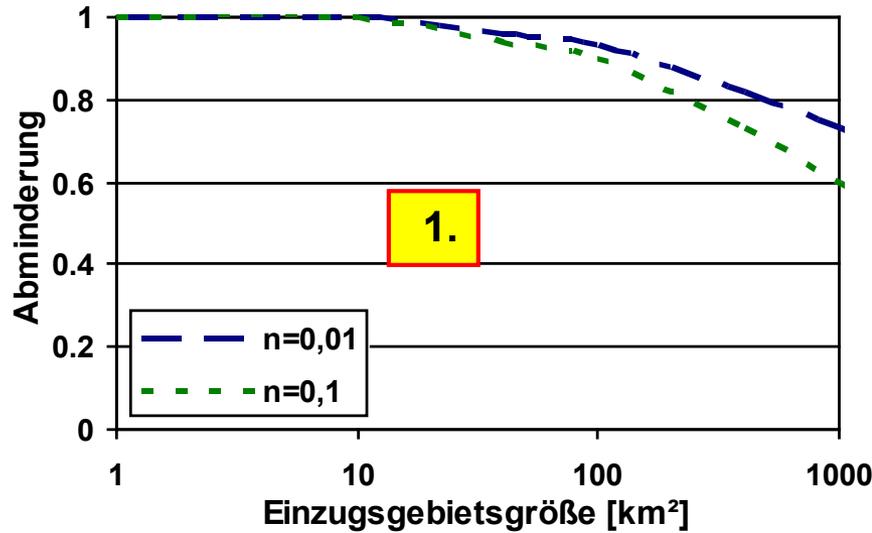
# 1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise



"Wahrheit"

"Standard"  
(1 Regenschreiber)

# 1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise

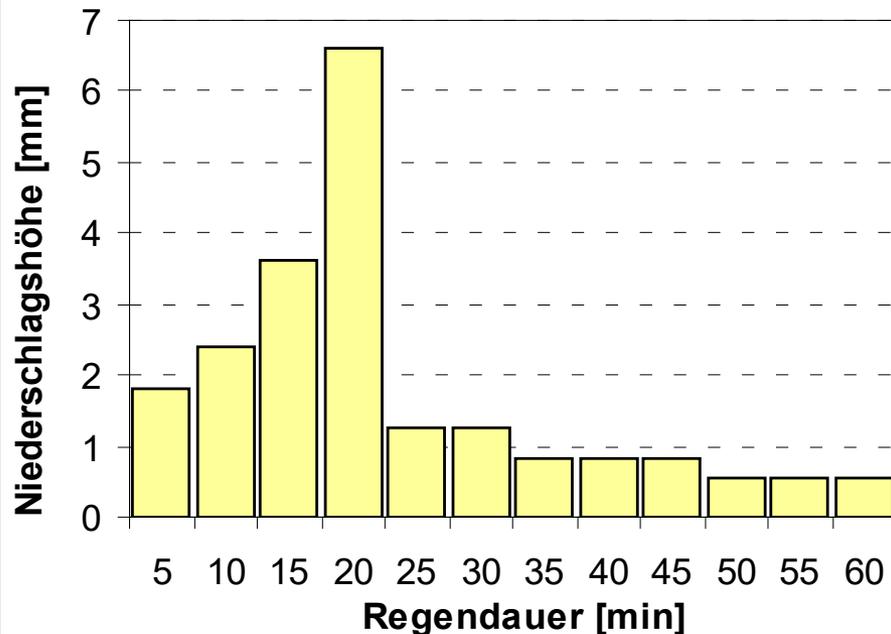


1. Grobe, Emscher- und Lippegebiet, 1977
2. Fuchs und Flender, Hamburg und Hannover, 1986
3. Verworn und Schmidtke, Emscher-Wupper- und Bodegebiet, 2006

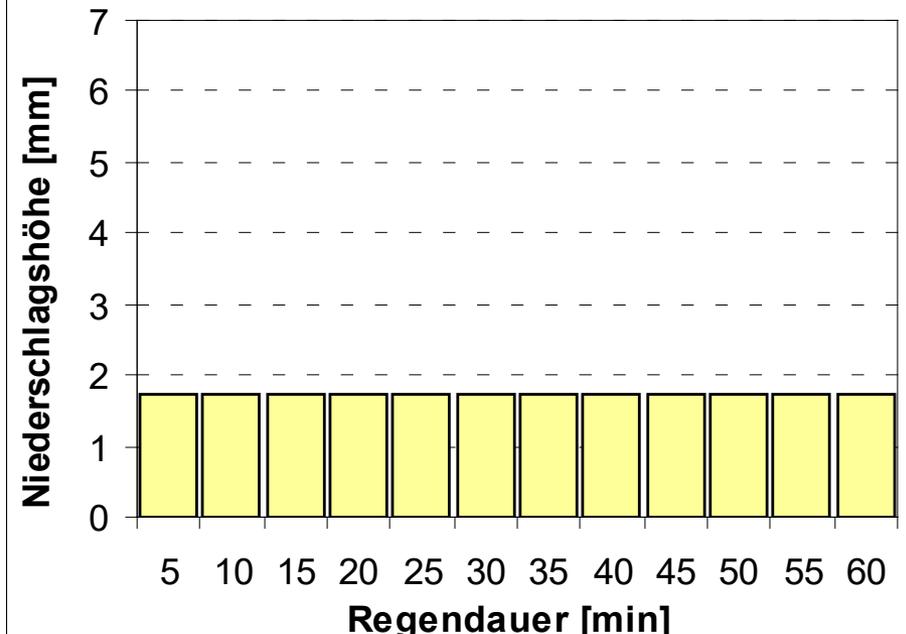
# 1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise

## ➤ Niederschlagsbelastungen für Kanalnetzberechnungen

### Modellregen nach Euler



### Blockregen



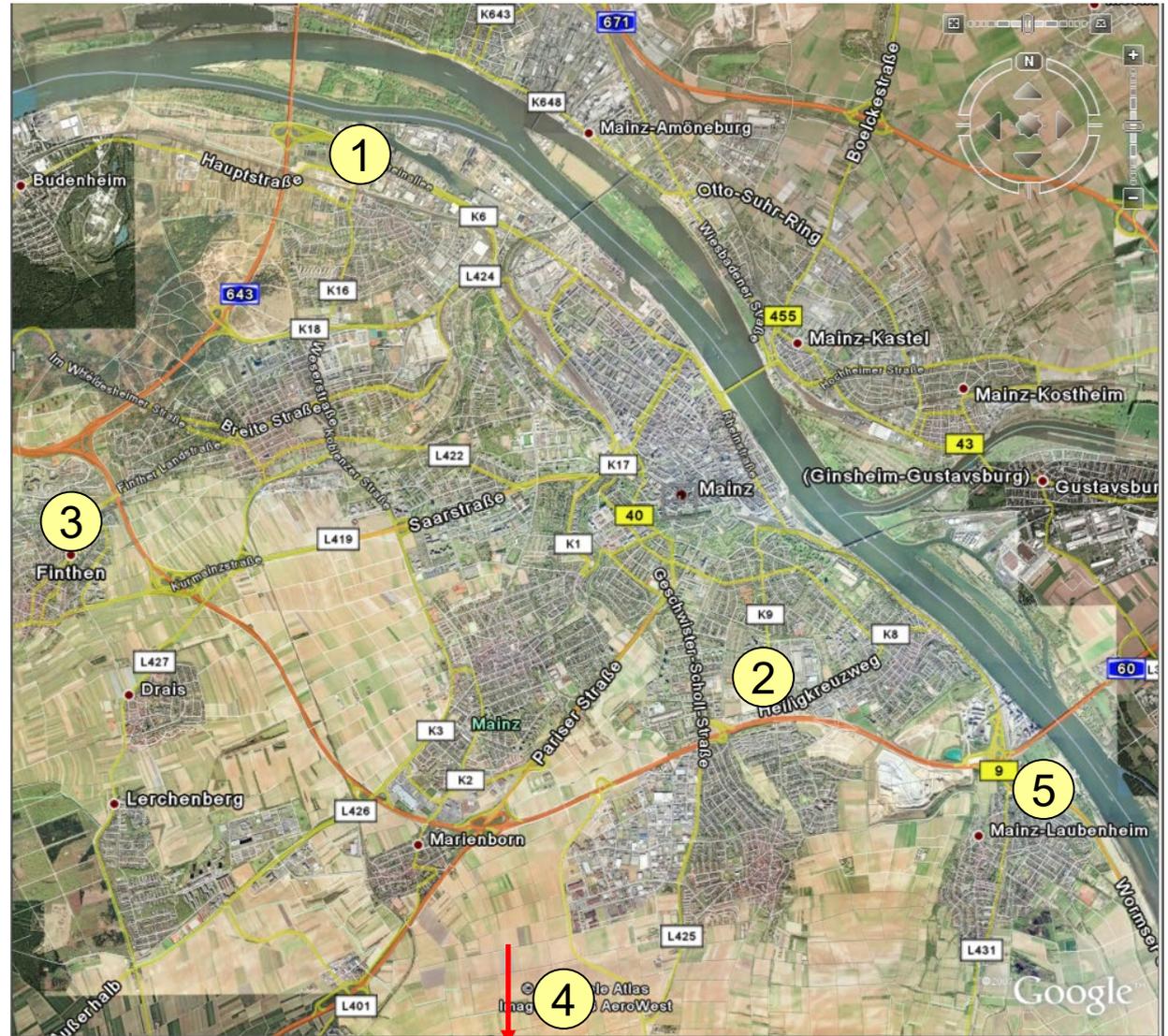
## Gliederung / Themen

1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise
- 2. Beschreibung Projektgebiet und Niederschlagsdaten**
3. Niederschlagsauswertungen
4. Gebietsniederschlagshöhenstatistiken
5. Synthetisches Generieren von Niederschlagsdaten
6. Kanalnetzrechnungen für unterschiedliche Niederschlagsbelastungen
7. Beurteilung und Empfehlung

## 2. Projektgebiet / Niederschlagsdaten

### ➤ Überblick / Lage

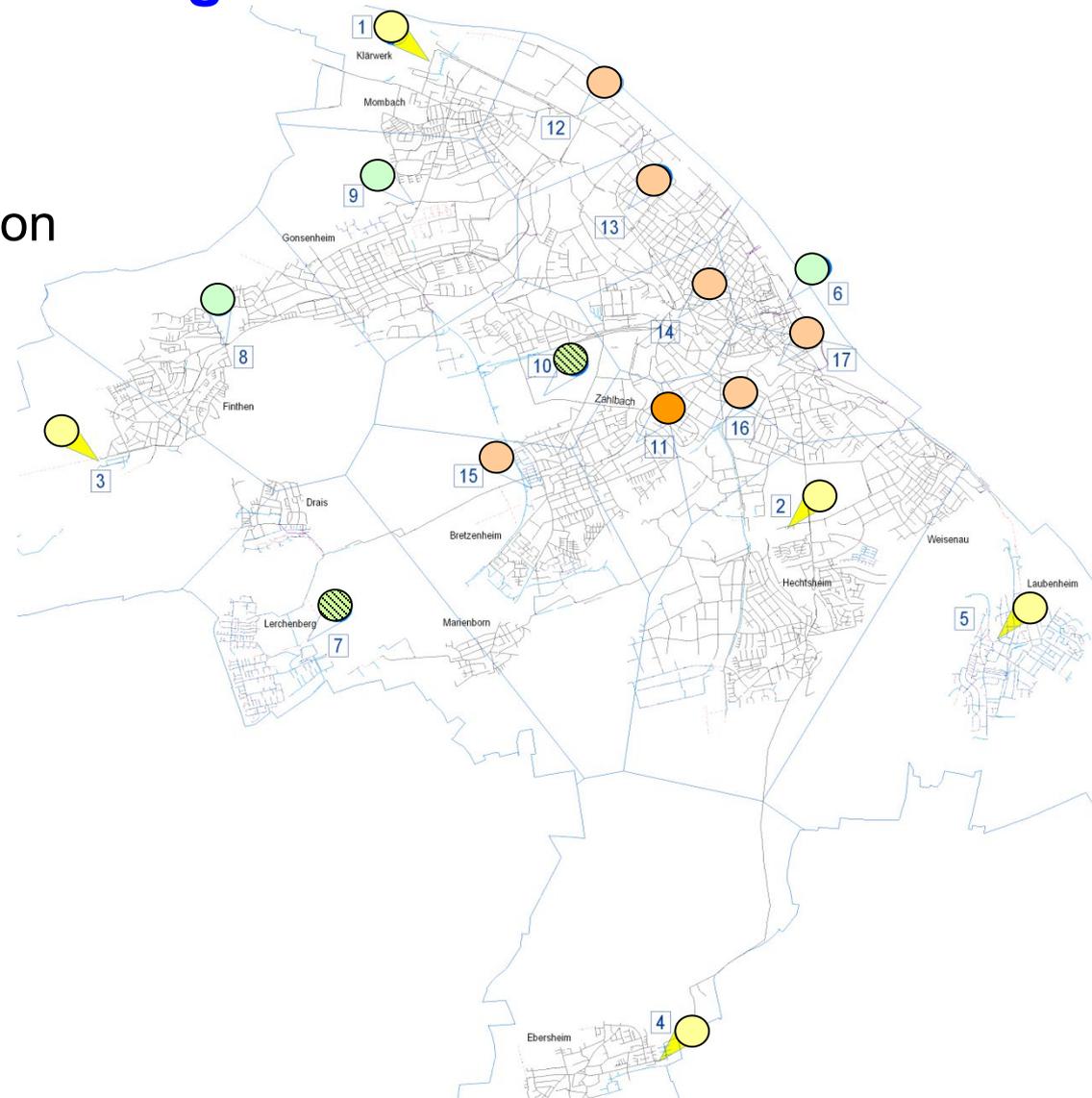
- Stadt Mainz



## 2. Projektgebiet / Niederschlagsdaten

### ➤ Aktuelle Situation

- 17 Regenschreiber, davon
  - 15 digital (bis auf ☼)
  - ☼ 5 seit 1974
  - ● 5 seit 1991
  - ● 1 seit 1996
  - ● 6 seit 2000



## 2. Projektgebiet / Niederschlagsdaten

### ➤ Tabellarische Übersicht

Nr.	Kenn.	Lage	1974-1990	1991-1995	1996-1999	2000-2005													
1	MZ_01	Mombach Klärwerk	Aufzeichnungsdauer: 32 Jahre																
2	MZ_02	Hechtsheim Henkacherweg																	
3	MZ_03	Finthen Wasserwerk																	
4	MZ_04	Ebersheim RRB																	
5	MZ_05	Laubenheim Longchamp Platz																	
6	MZ_06	Stadtmitte Rathaus	Aufzeichnungsdauer zu kurz				6 Jahre												
7	MZ_07	Lerchenberg Polizei						15 Jahre											
8	MZ_08	Finthen RÜB										10 Jahre							
9	MZ_09	Gonsenheim / Mombach																	
10	MZ_10	Universitätsgelände																	
11	MZ_11	Zahlbach / Bretzenheim																	
12	MZ_12	Pumpwerk Rheinallee																	
13	MZ_13	Neustadt Feuerwache 2																	
14	MZ_14	Oberstadt Cityport																	
15	MZ_15	Bretzenheim Feuerwache 1																	
16	MZ_16	Oberstadt Kinderheim																	
17	MZ_17	Zitadelle																	

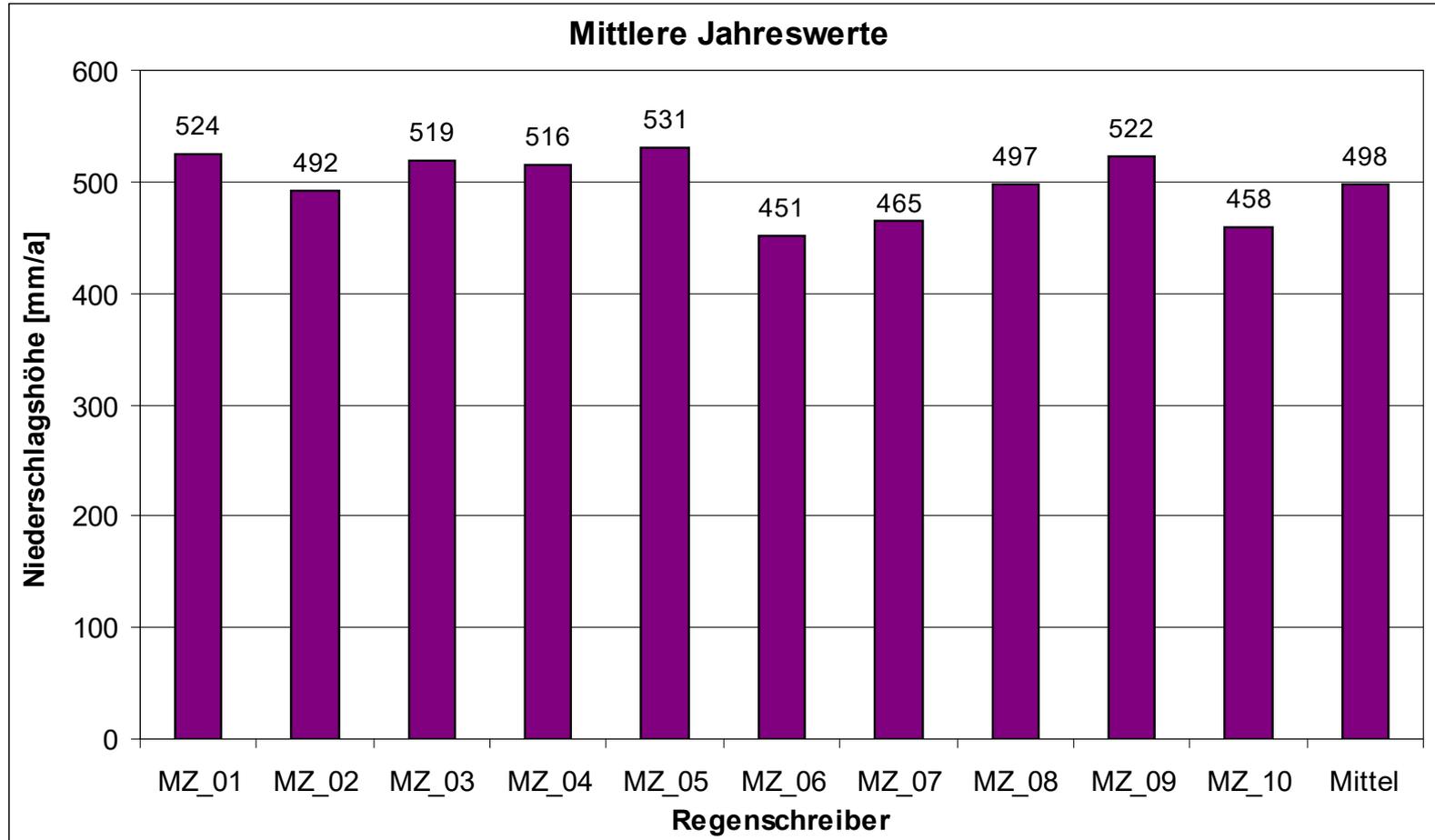


## Gliederung / Themen

1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise
2. Beschreibung Projektgebiet und Niederschlagsdaten
- 3. Niederschlagsauswertungen**
4. Gebietsniederschlagshöhenstatistiken
5. Synthetisches Generieren von Niederschlagsdaten
6. Kanalnetzrechnungen für unterschiedliche Niederschlagsbelastungen
7. Beurteilung und Empfehlung

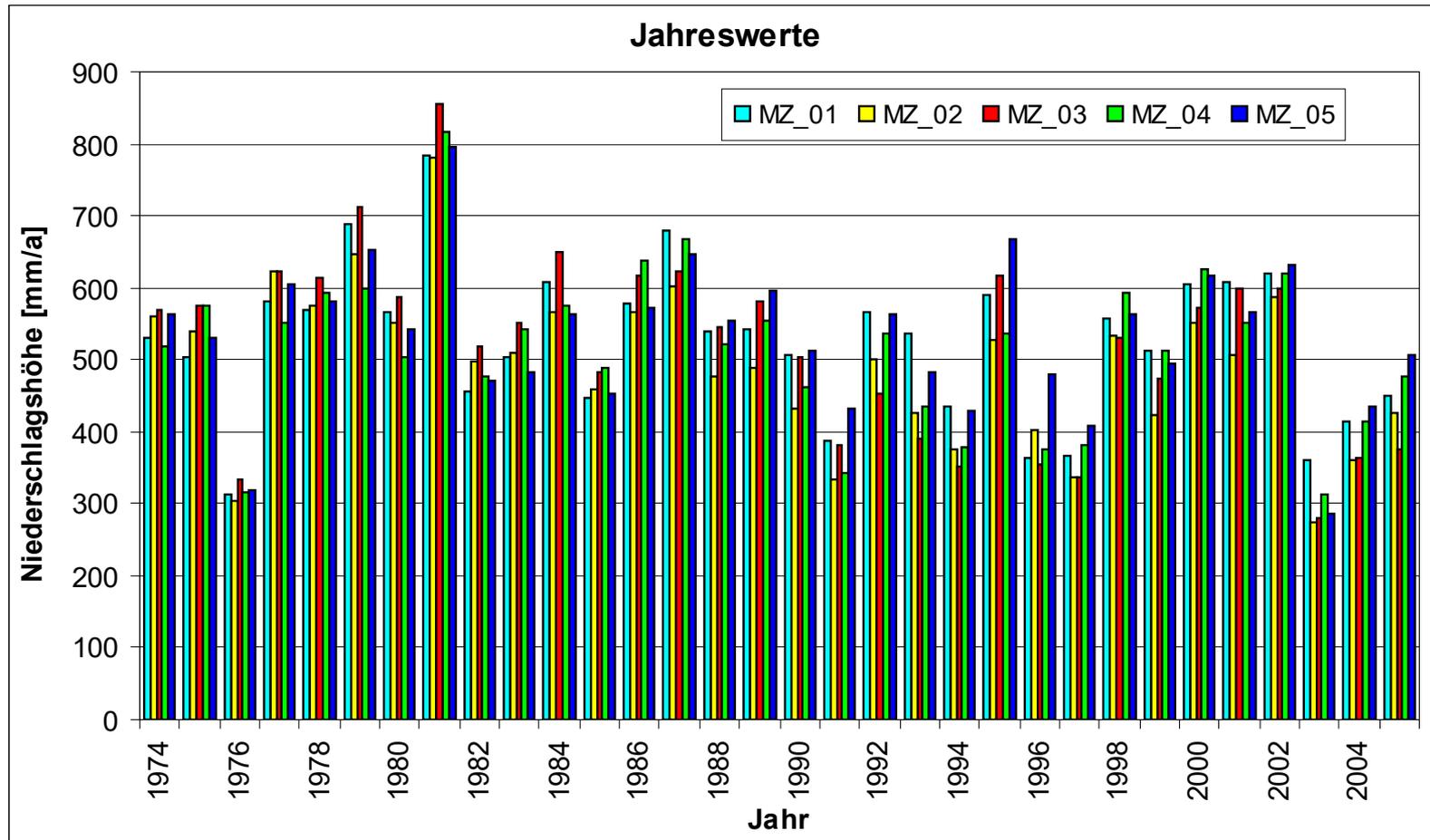
### 3. Niederschlagsauswertungen

#### ➤ Jährliche hN-Höhen



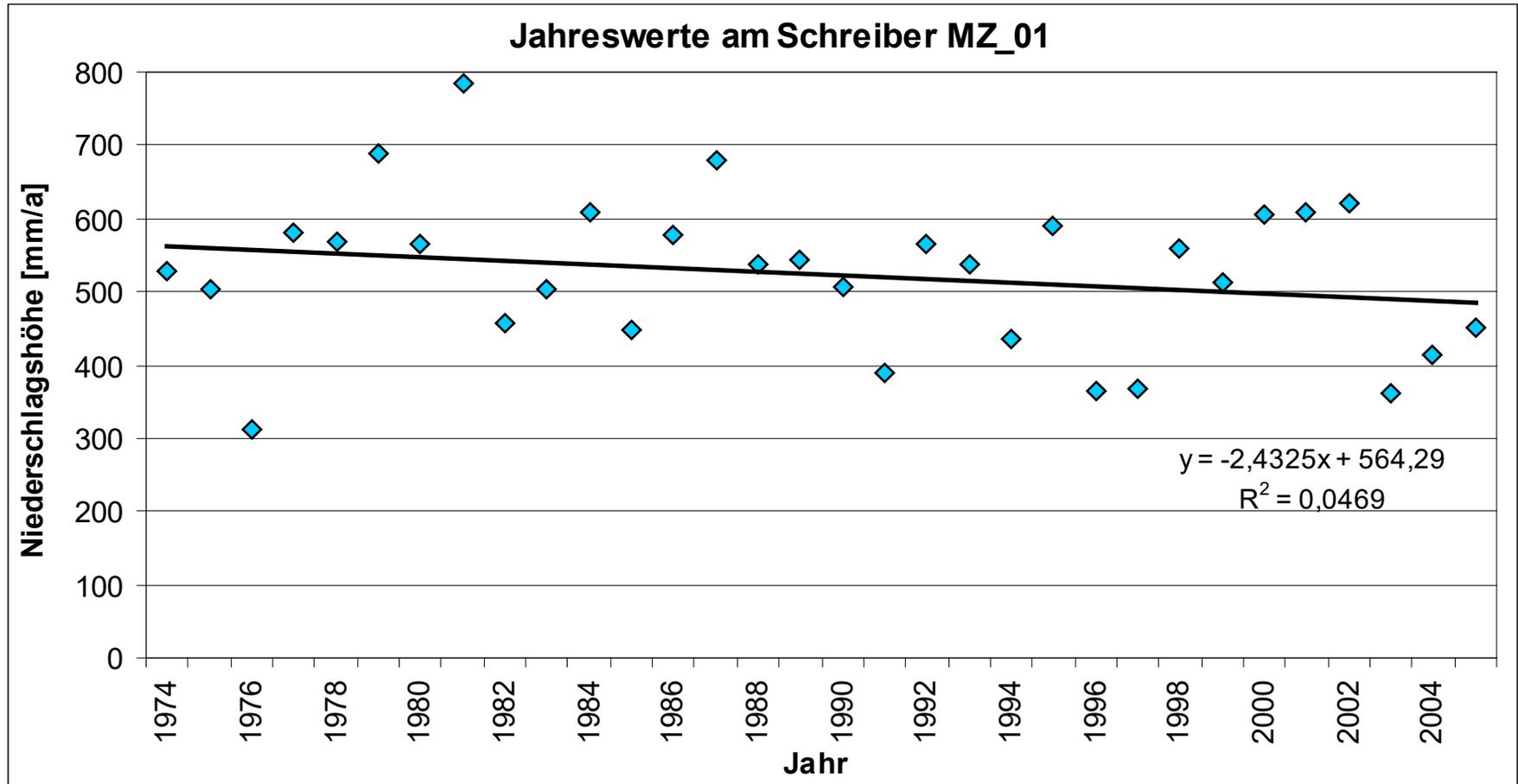
### 3. Niederschlagsauswertungen

#### ➤ Jährliche hN-Höhen



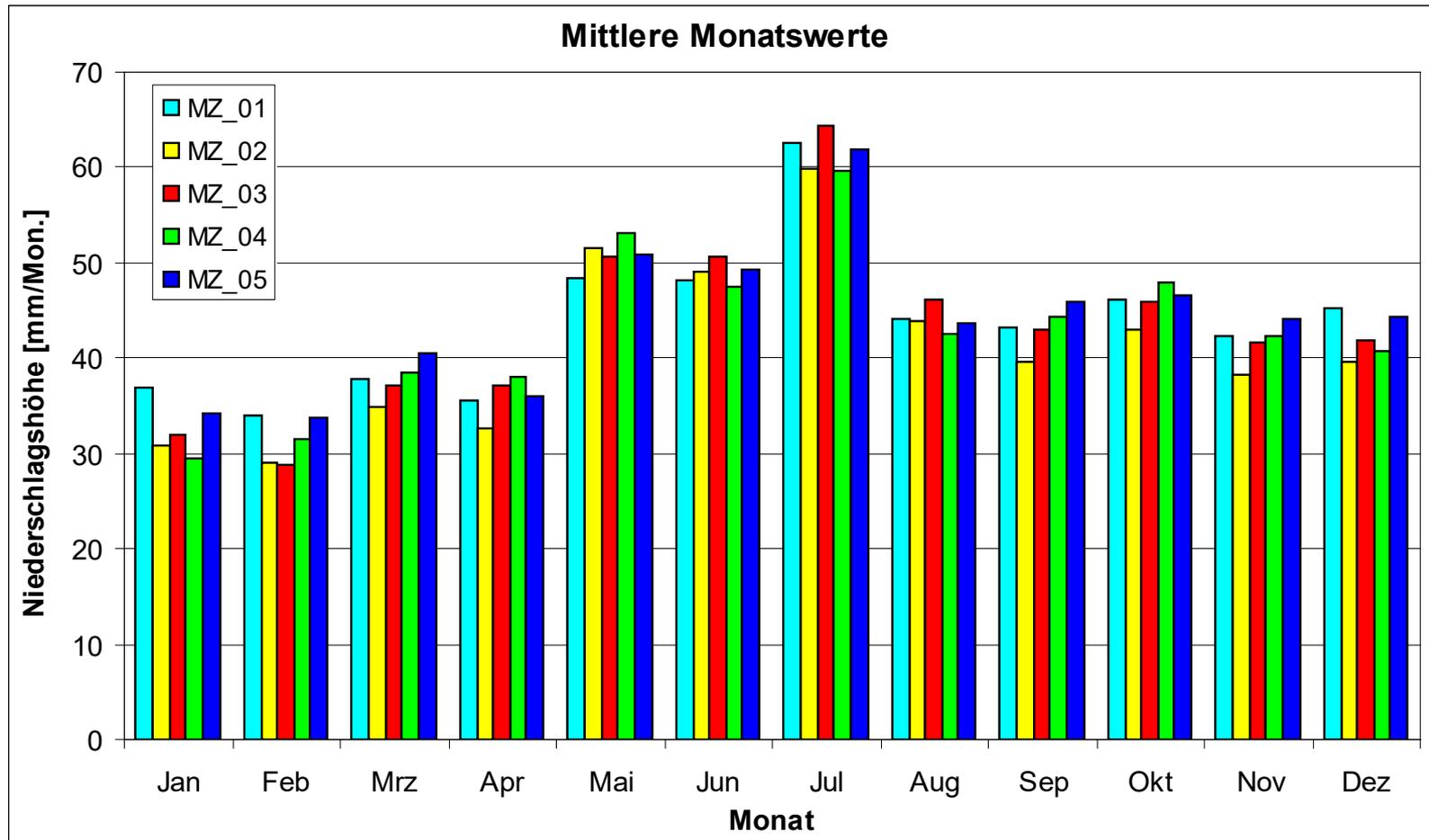
### 3. Niederschlagsauswertungen

#### ➤ Jährliche hN-Höhen



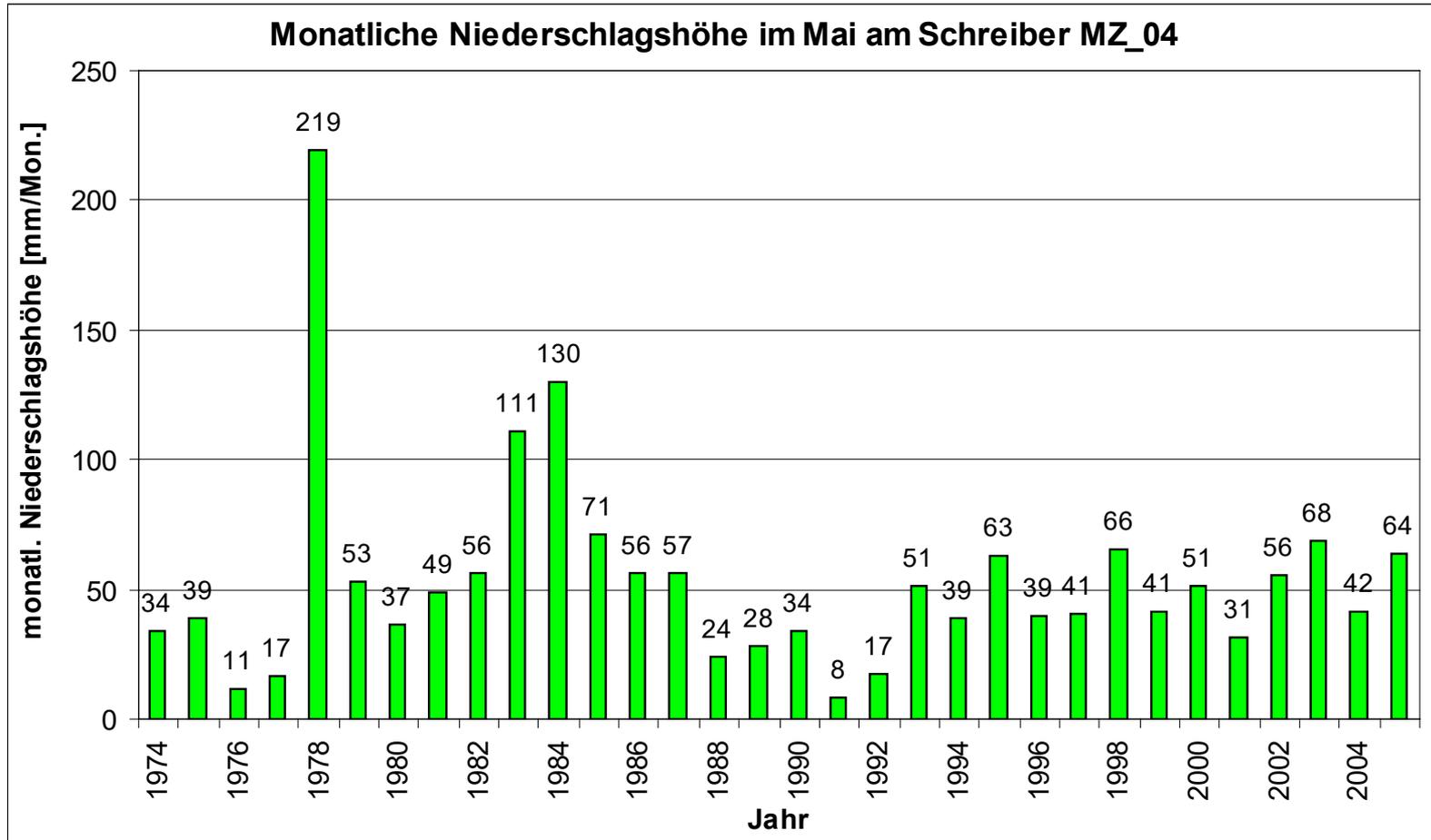
### 3. Niederschlagsauswertungen

#### ➤ Monatliche hN-Höhen



### 3. Niederschlagsauswertungen

#### ➤ Monatliche hN-Höhen

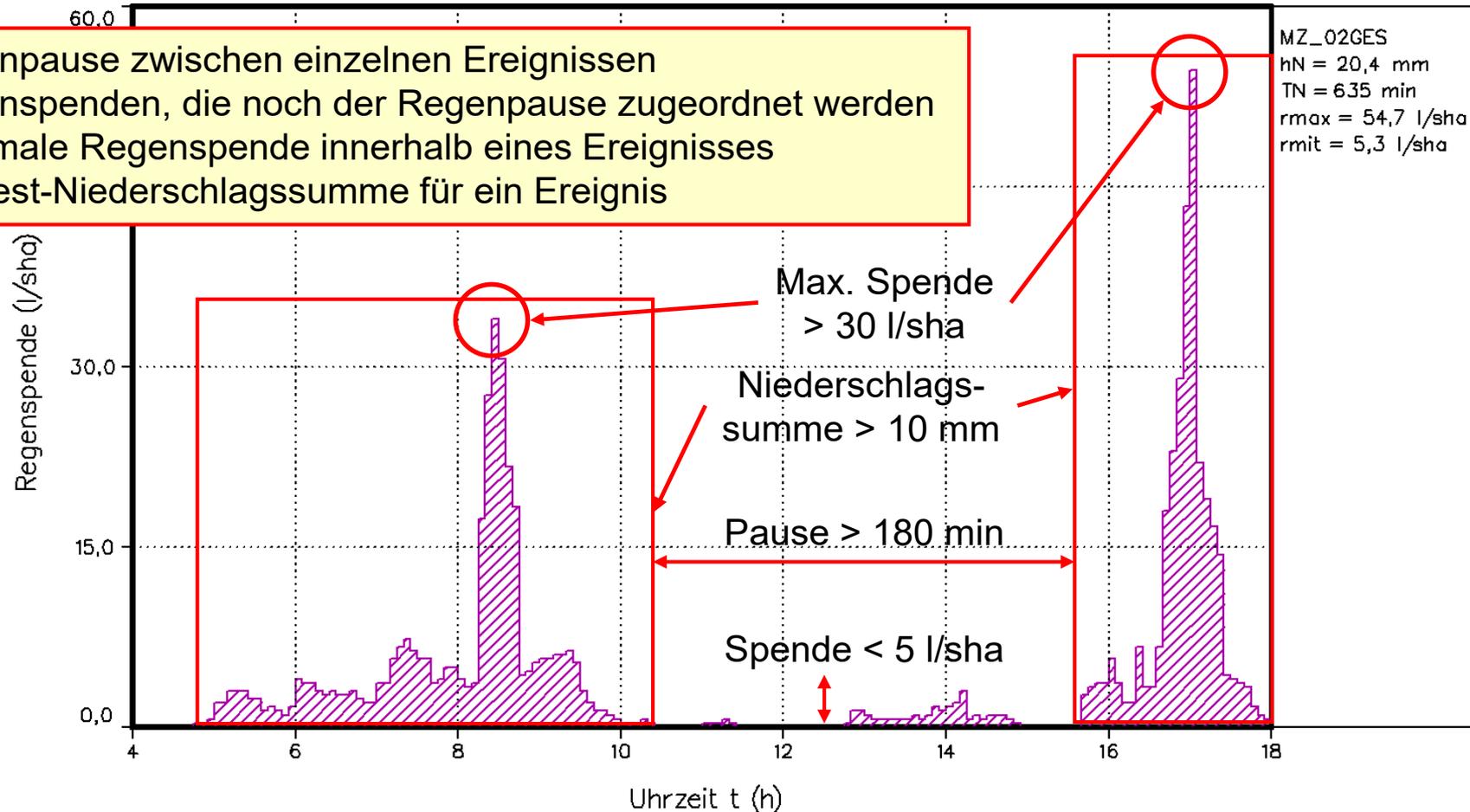


### 3. Niederschlagsauswertungen

#### ➤ Starkregenereignisse

##### ▪ Kriterien für Ereignisdefinition

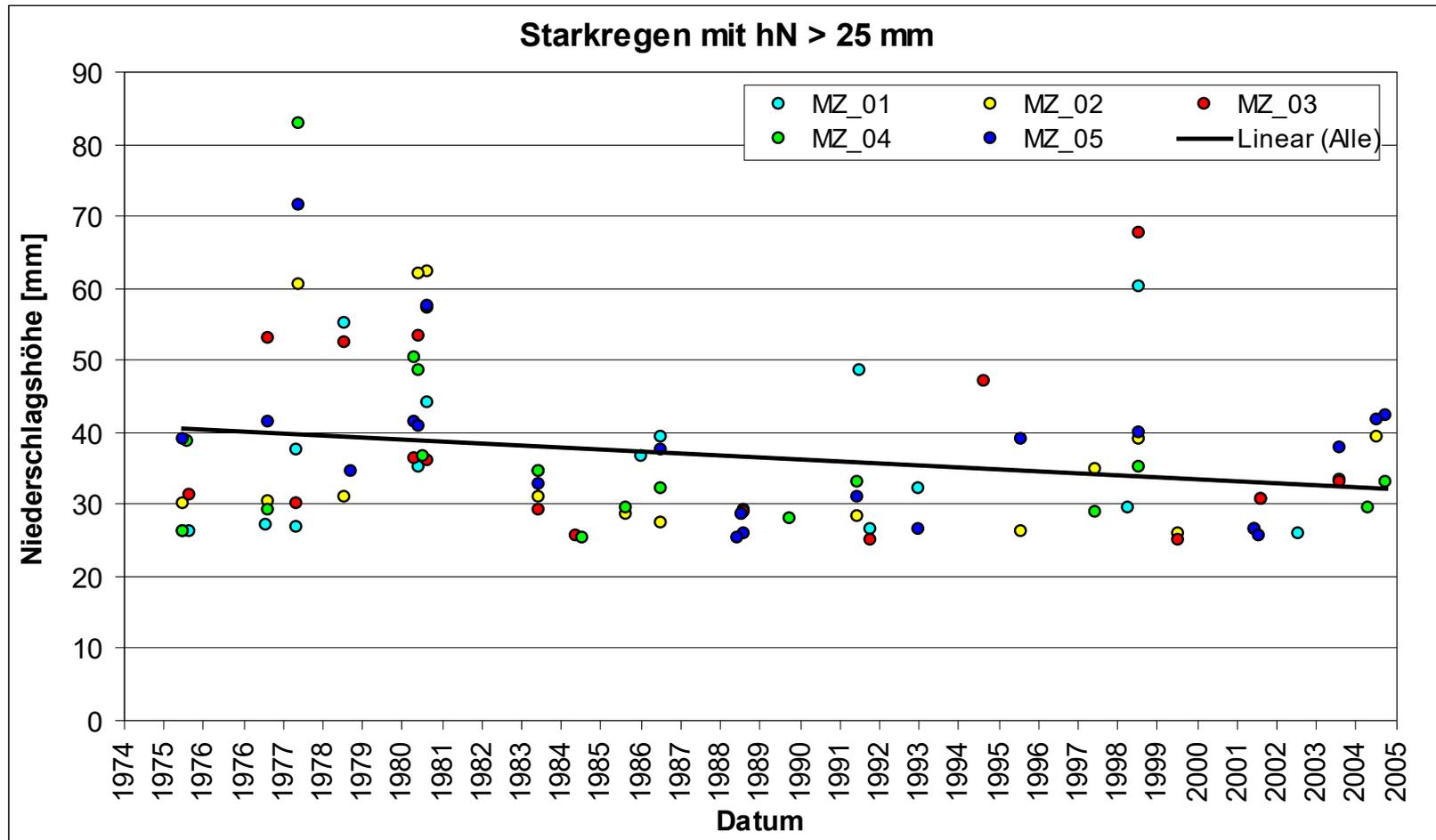
- Regenpause zwischen einzelnen Ereignissen
- Regenspenden, die noch der Regenpause zugeordnet werden
- Maximale Regenspende innerhalb eines Ereignisses
- Mindest-Niederschlagssumme für ein Ereignis



### 3. Niederschlagsauswertungen

#### ➤ Starkregenereignisse

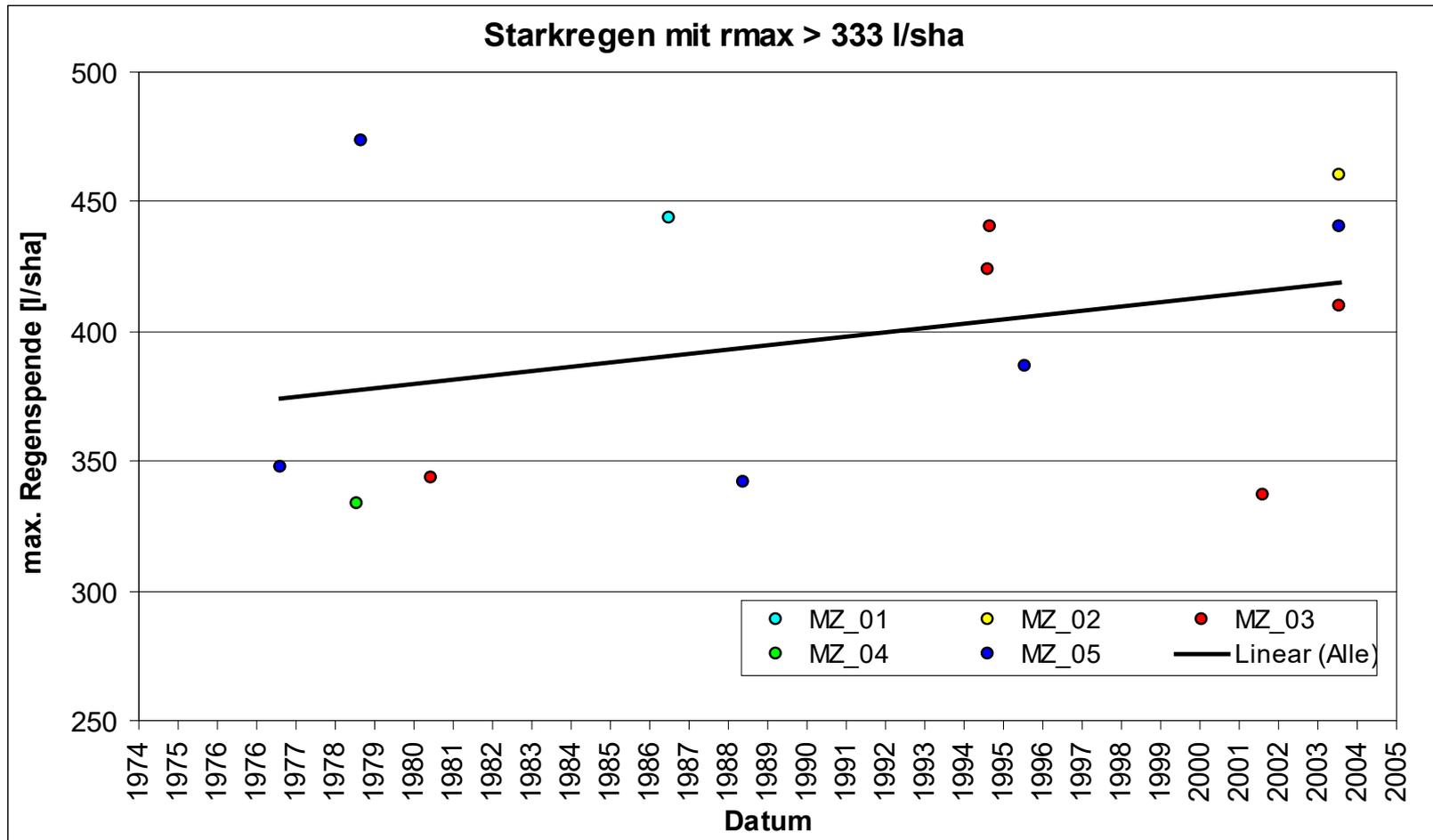
##### ▪ Definition 2



### 3. Niederschlagsauswertungen

#### ➤ Starkregenereignisse

##### ▪ Definition 3



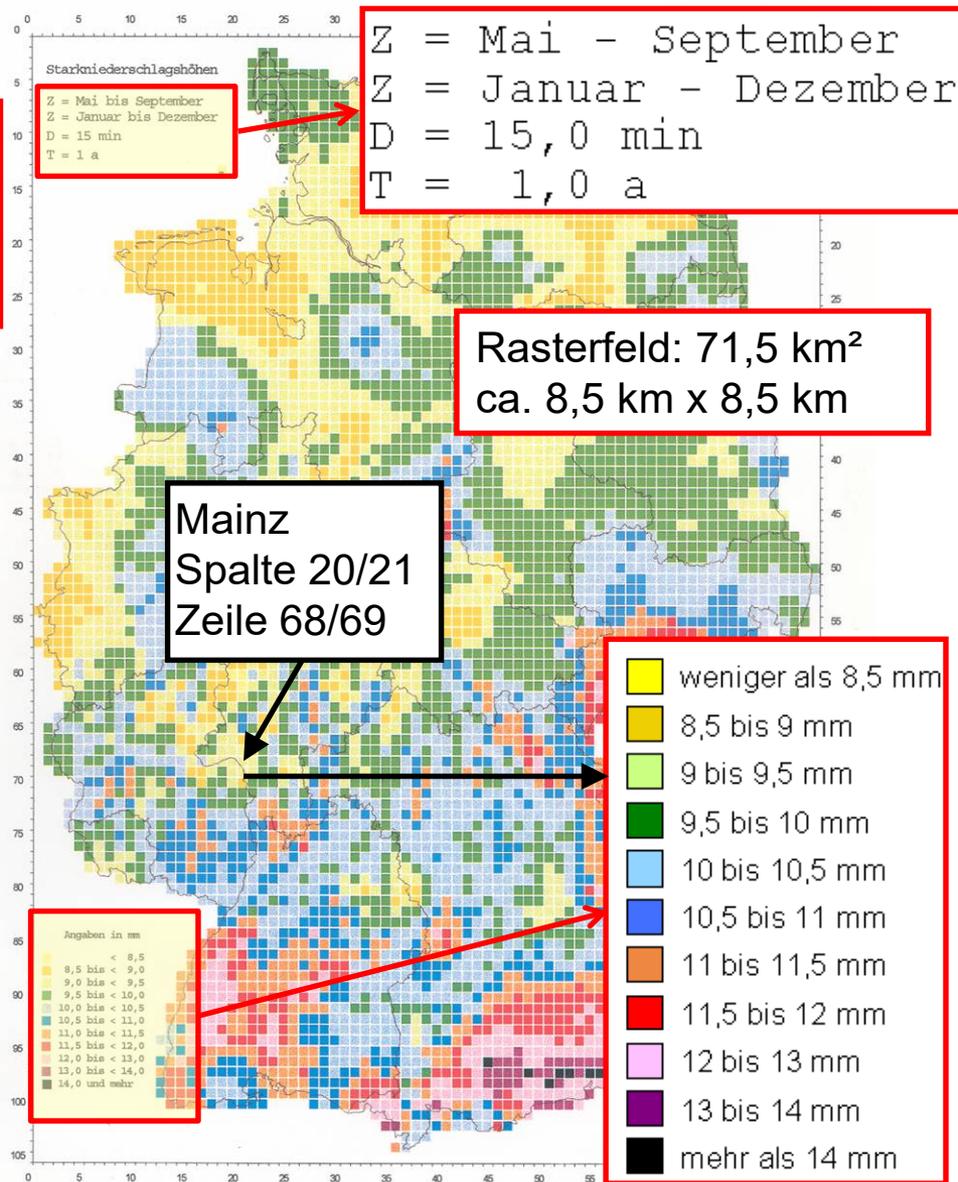
### 3. Niederschlagsauswert.

#### ➤ Niederschlags- höhenstatistik nach KOSTRA

**KO**ordinierte  
**ST**ark**R**egen  
Auswertung

- z.B.  $h_N$  für:
  - 1 mal pro Jahr
  - 15 min Dauer
- Weitere Karten für
  - andere Häufigkeiten
  - andere Dauern
- Basierend darauf

**Niederschlagshöhenstatistik**



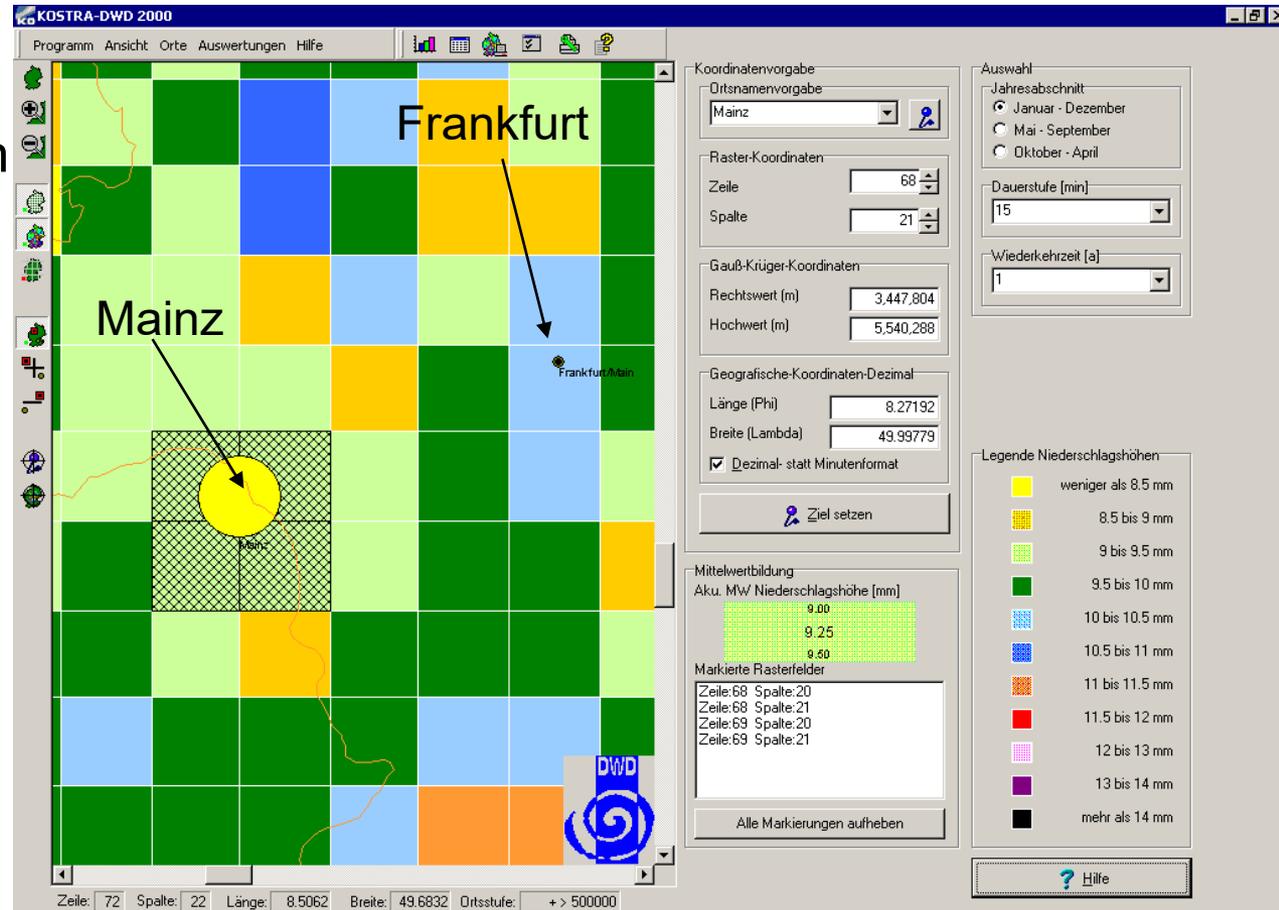
### 3. Niederschlagsauswertungen

#### ➤ Niederschlagshöhenstatistik (KOSTRA)

##### ▪ KOordinierte STarkRegenAuswertung

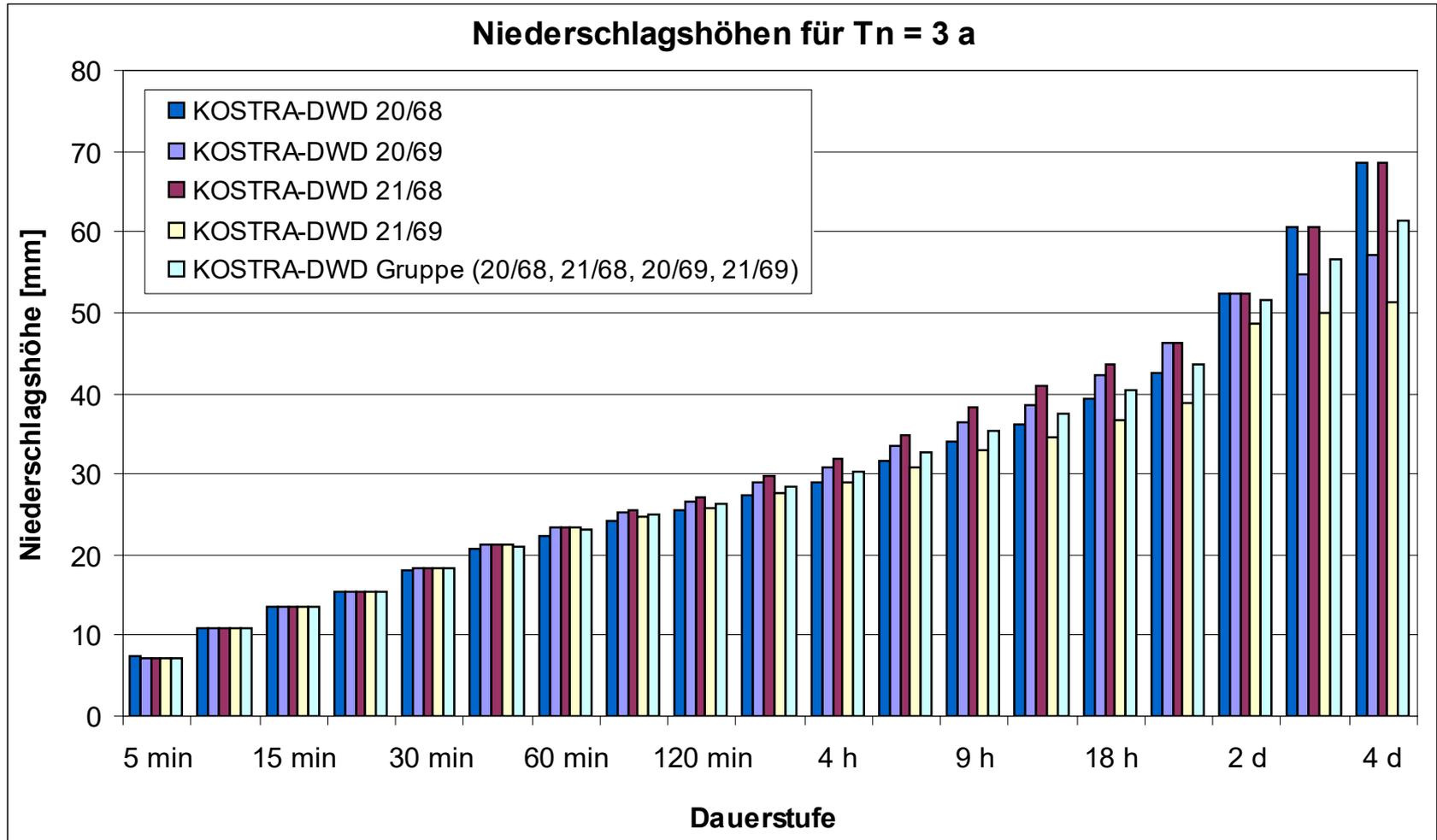
- 4 Einzelstatistiken  
(20/68, 21/68,  
20/69, 21/69)

- Gruppenstatistik



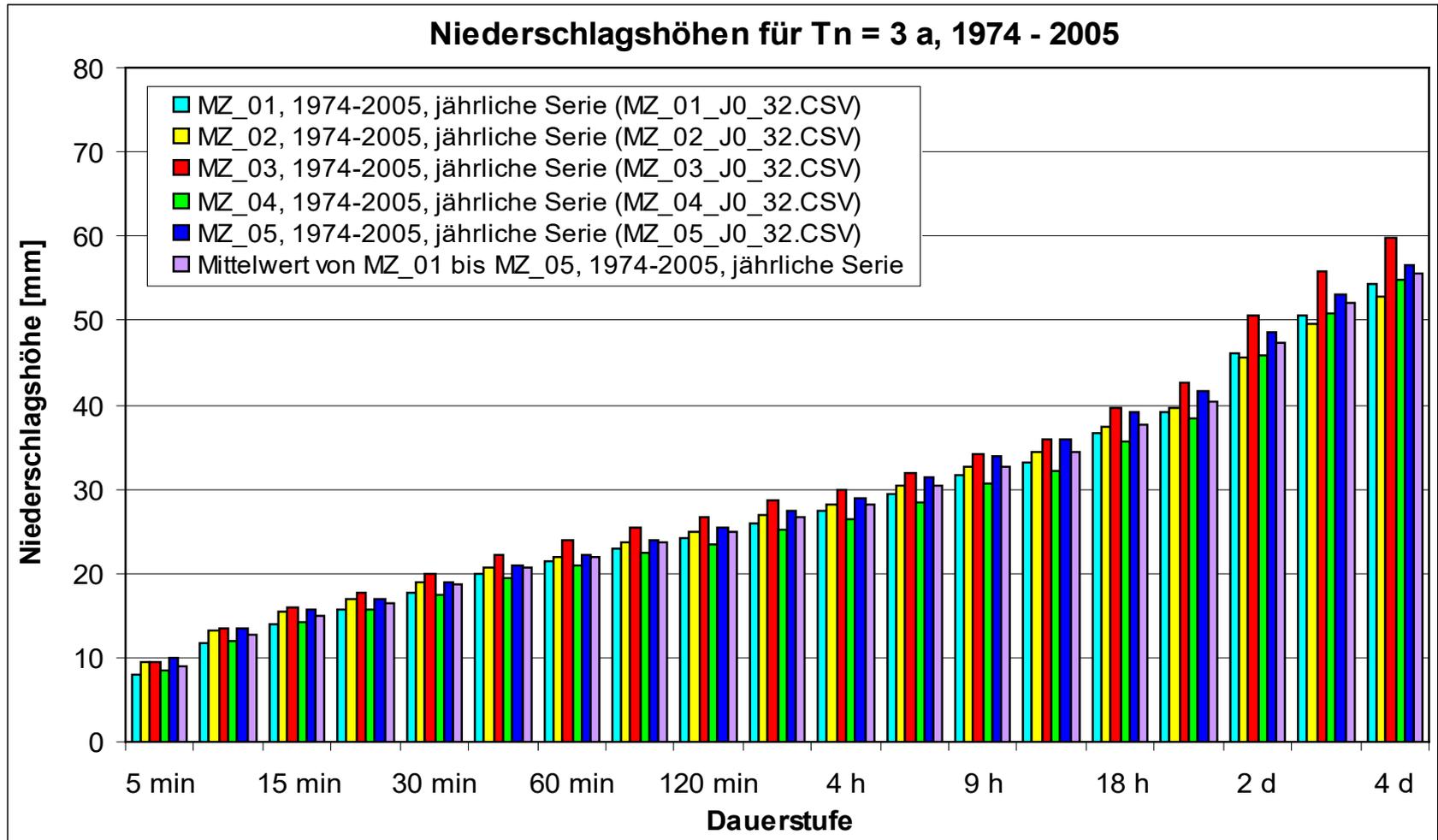
### 3. Niederschlagsauswertungen

#### ➤ Niederschlagshöhenstatistiken (KOSTRA)



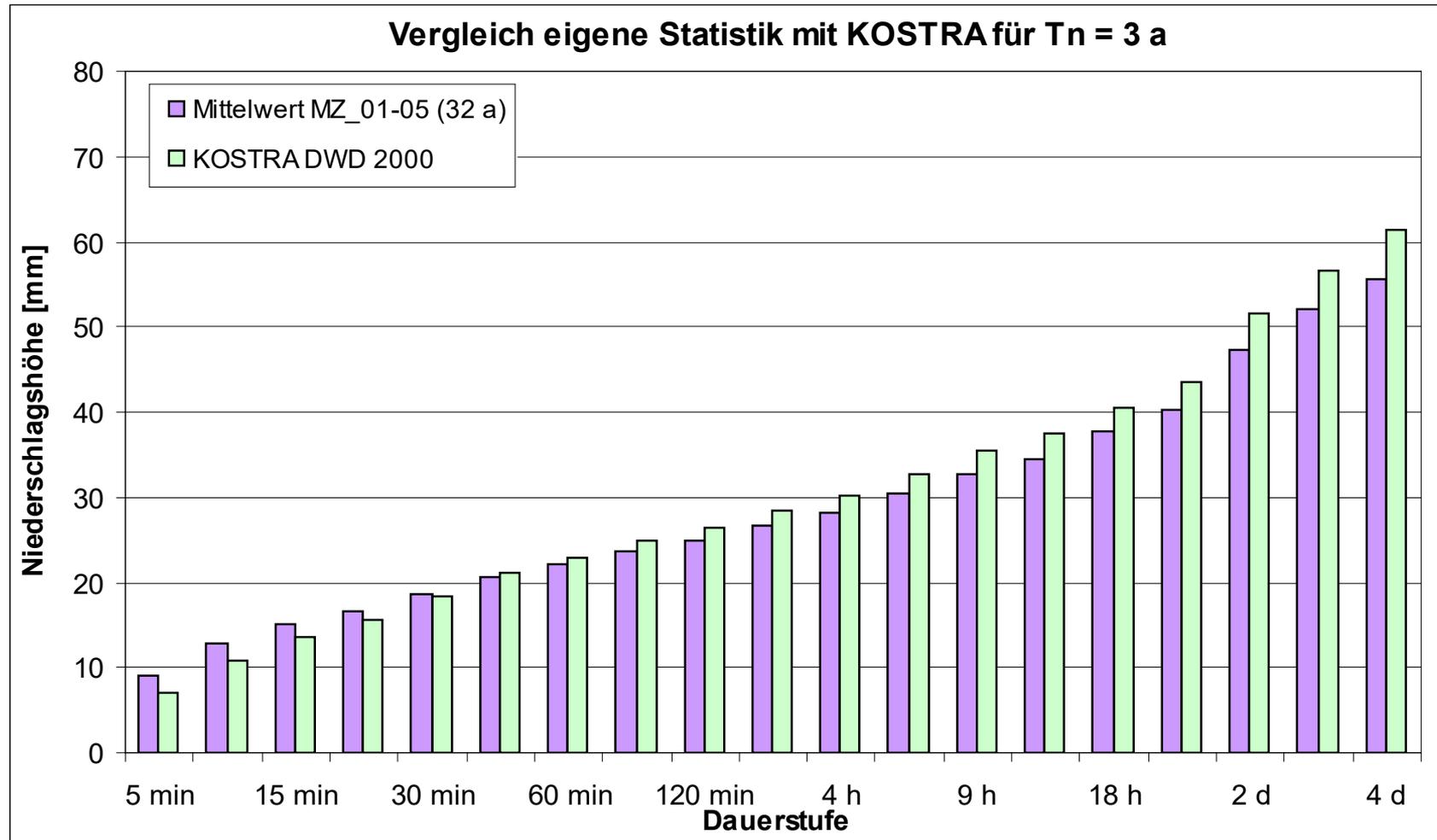
### 3. Niederschlagsauswertungen

#### ➤ Niederschlagshöhenstatistiken (eigene Auswertungen)



### 3. Niederschlagsauswertungen

#### ➤ Niederschlagshöhenstatistiken (KOSTRA vs. Mainz)

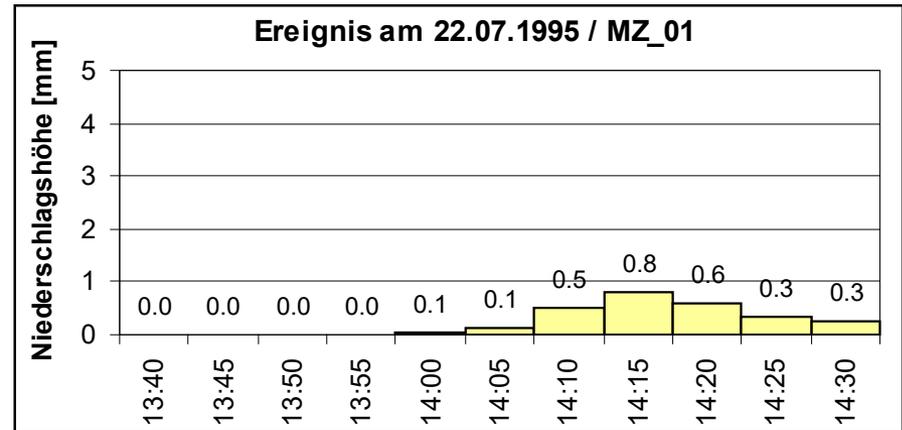
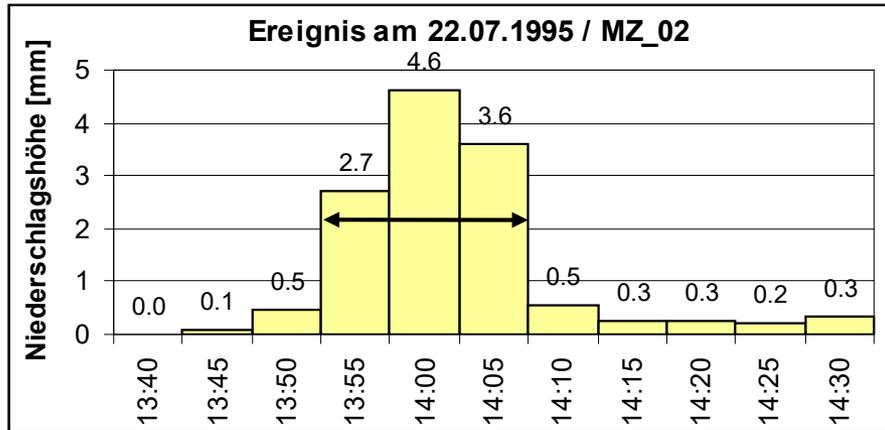


## Gliederung / Themen

1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise
2. Beschreibung Projektgebiet und Niederschlagsdaten
3. Niederschlagsauswertungen
- 4. Gebietsniederschlagshöhenstatistiken**
5. Synthetisches Generieren von Niederschlagsdaten
6. Kanalnetzrechnungen für unterschiedliche Niederschlagsbelastungen
7. Beurteilung und Empfehlung

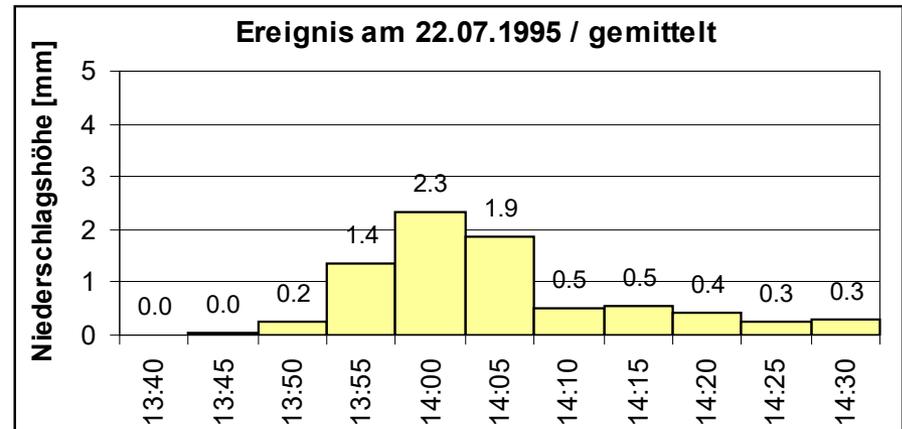
# 4. Gebietsstatistiken

## ➤ Problem / Vorgehensweise



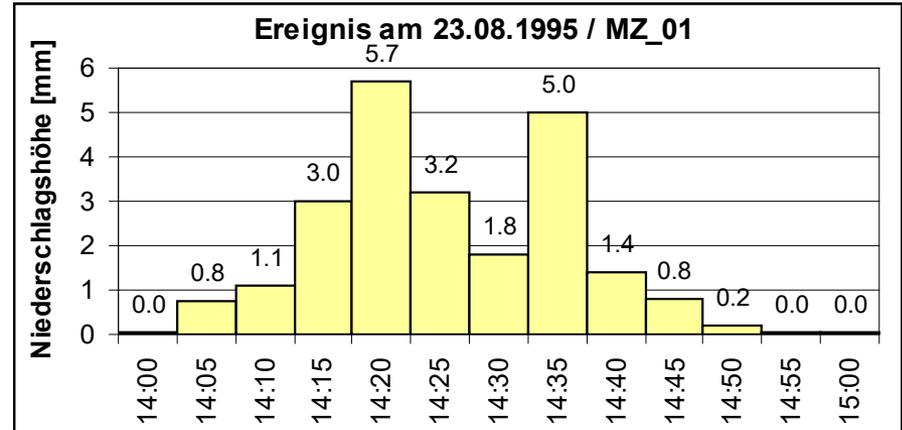
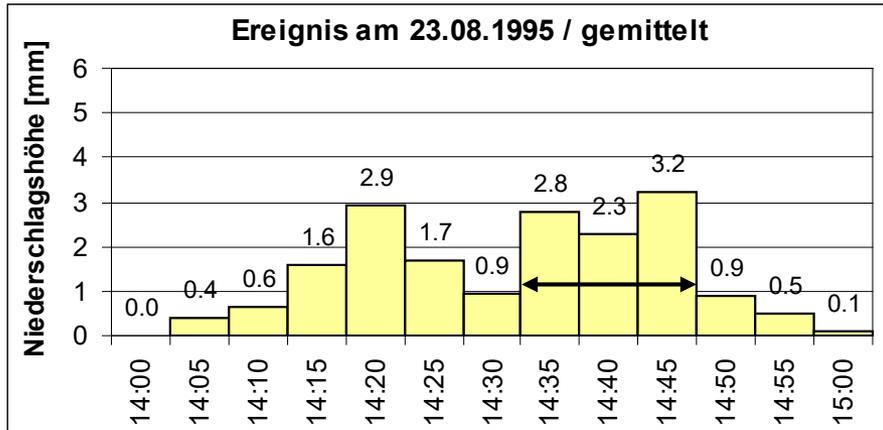
### Beispiel für D = 15 min für 1995 (22.07.)

Maximum für MZ\_02: 10,9 mm  
 zeitgleich an MZ\_01: 0,2 mm  
 5-Minuten-Werte gemittelt: 5,6 mm



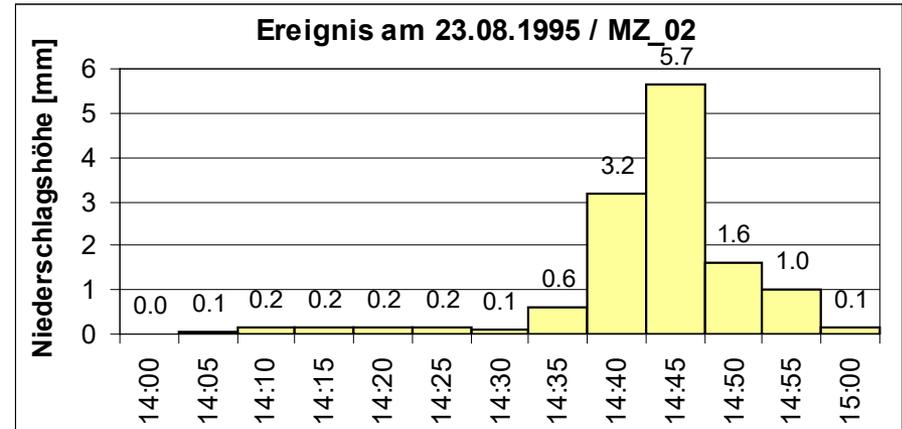
# 4. Gebietsstatistiken

## ➤ Problem / Vorgehensweise



### Beispiel für D = 15 min für 1995 (23.08.)

Maximum für gemittelt: 8,3 mm  
 zeitgleich an MZ\_01: 7,2 mm  
 zeitgleich an MZ\_02: 9,5 mm



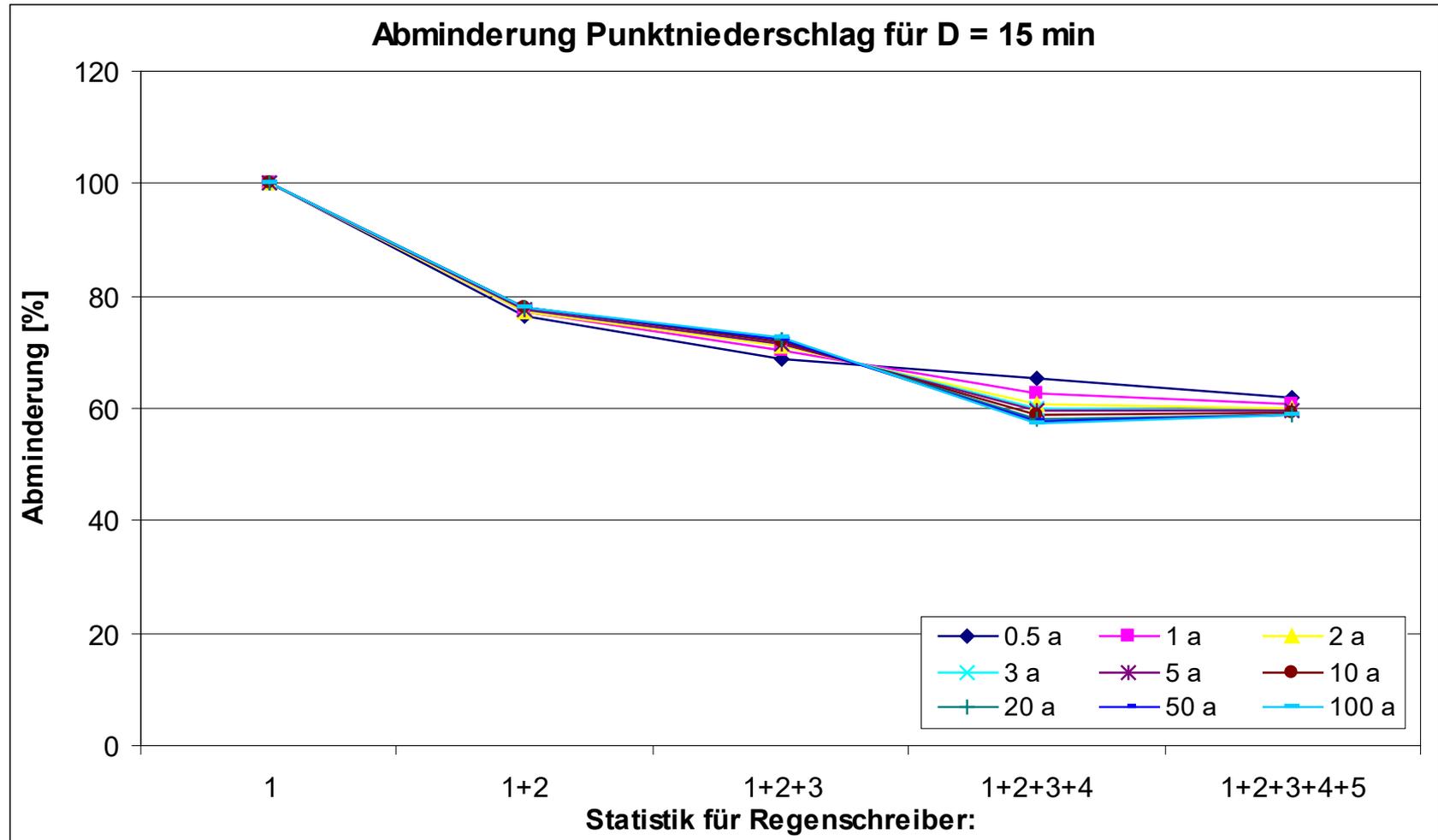
## 4. Gebietsstatistiken

### ➤ Problem / Vorgehensweise

- „Ausgangs- / Referenzstation“ → MZ\_01
  - MZ\_01 alleine (Referenz)
  - MZ\_01 und 02 (jeweils 50 % der Schreiberdaten „gemischt“)
  - MZ\_01 bis 03 (d.h. jeweils 33 % der Schreiberdaten „gemischt“)
  - MZ\_01 bis 04 (d.h. jeweils 25 % der Schreiberdaten „gemischt“)
  - MZ\_01 bis 05 (d.h. jeweils 20 % der Schreiberdaten „gemischt“)
  
- Übertragung der Ergebnisse auf die Fläche
  - Gesamtfläche ca. 100 km<sup>2</sup> → je Schreiber ca. 20 km<sup>2</sup>
    - MZ\_01 → 20 km<sup>2</sup>
    - MZ\_01 und 02 → 40 km<sup>2</sup>
    - etc.

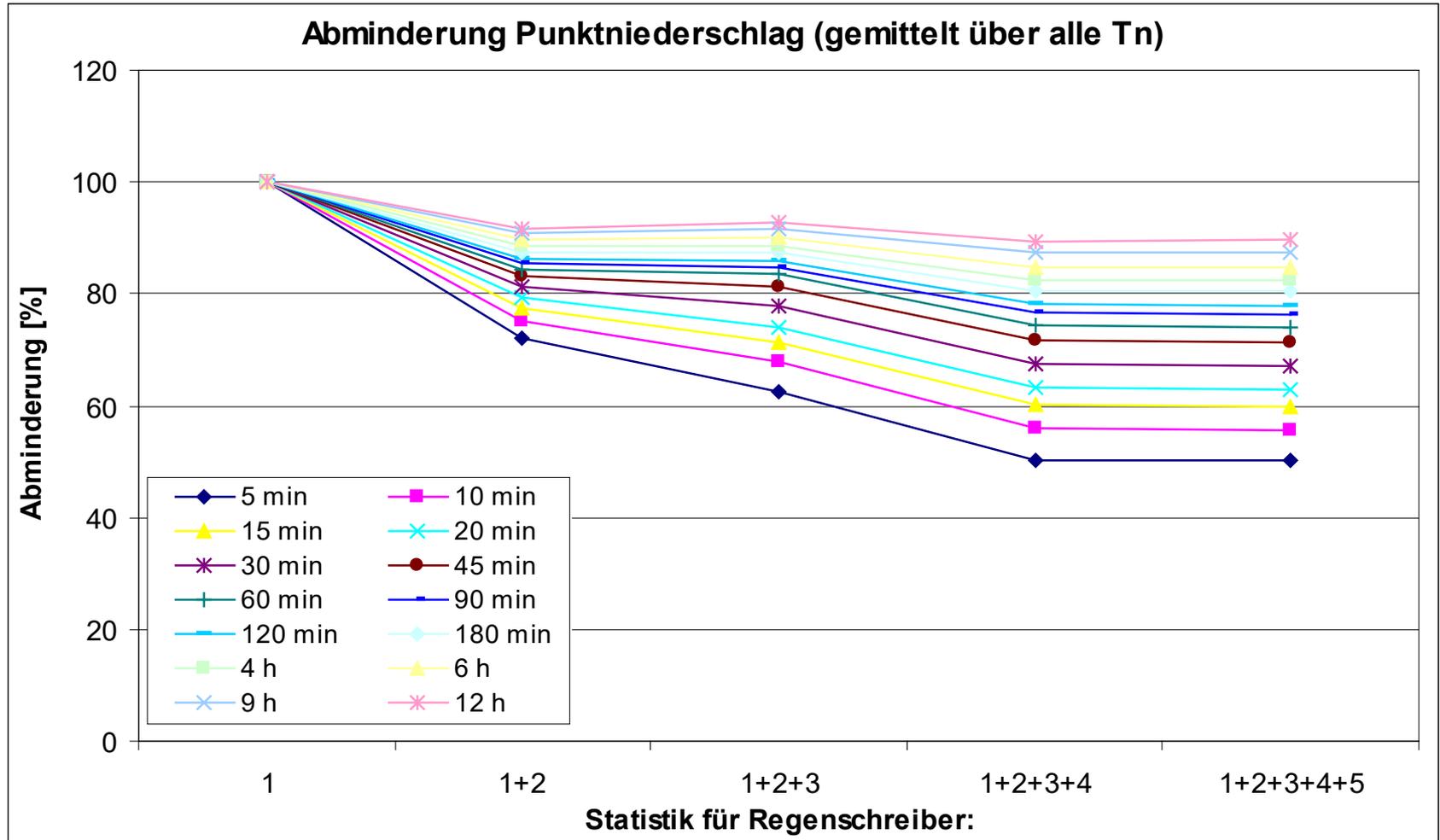
## 4. Gebietsstatistiken

### ➤ Ergebnisse



# 4. Gebietsstatistiken

## ➤ Ergebnisse

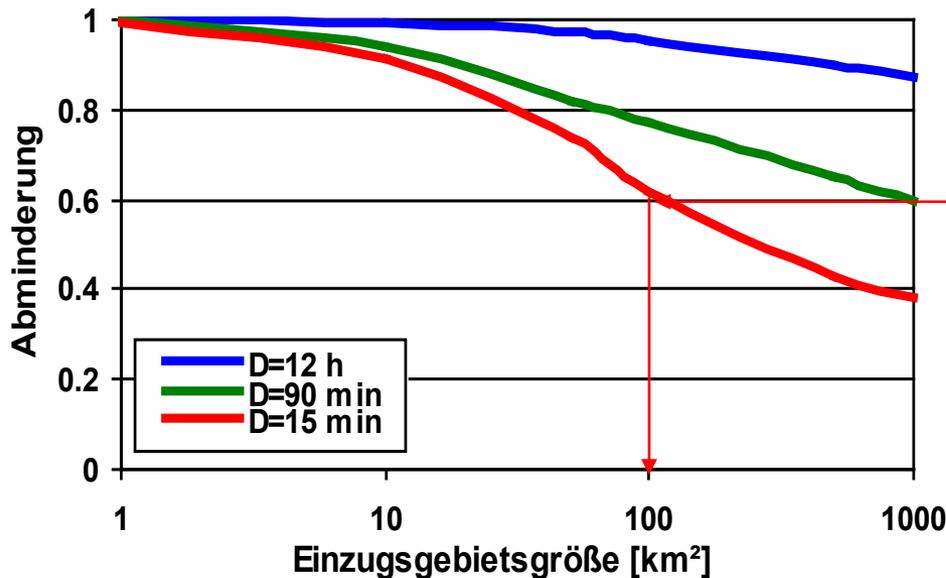


## 4. Gebietsstatistiken

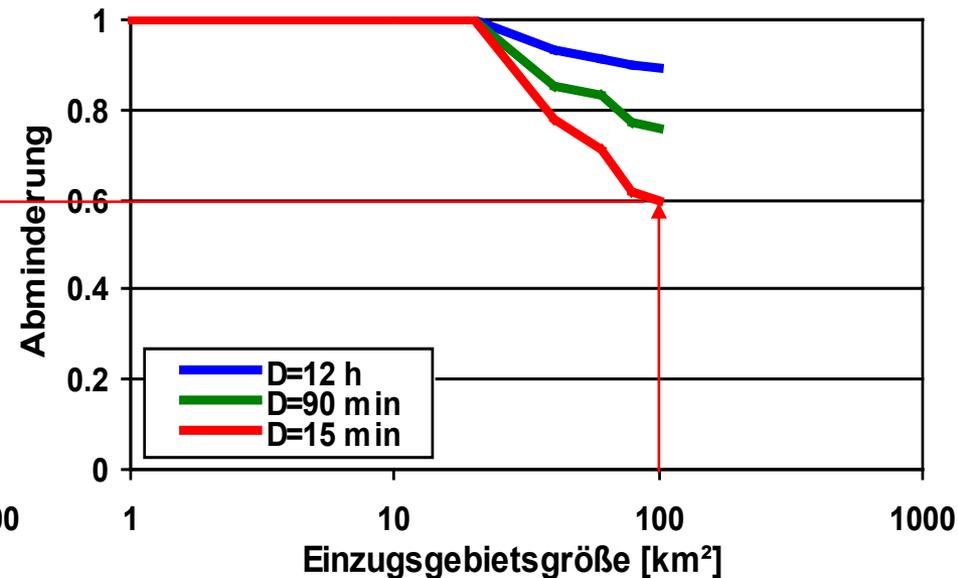
### ➤ Vergleich der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen

- 1 Schreiber → ca. 20 km<sup>2</sup> (Ø ca. 5 km)
- alle 5 Schreiber → ca. 100 km<sup>2</sup>

Verworn / Schmidtke (2006)



Mainzer Daten



## 4. Gebietsstatistiken

### ➤ Was kann man damit anfangen?

- Abminderung am Größten für kleine Dauerstufen, aber:
  - kurze Regendauer nur für Anfangshaltungen maßgebend
  - dort Punktstatistik zutreffend
  
- Bei Berechnung großes Gebiet
  - Differenzierte Abminderung je nach Kanalabschnitt
  
  - Anfangshaltungen → keine Abminderung
  - Endhaltungen → je nach Einzugsgebietsgröße stärkere Abminderung
  
  - Mehrere Rechenläufe → nicht sehr praktikabel

## Gliederung / Themen

1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise
2. Beschreibung Projektgebiet und Niederschlagsdaten
3. Niederschlagsauswertungen
4. Gebietsniederschlagshöhenstatistiken
- 5. Synthetisches Generieren von Niederschlagsdaten**
6. Kanalnetzrechnungen für unterschiedliche Niederschlagsbelastungen
7. Beurteilung und Empfehlung

## 5. Synthetische Niederschlagsreihen

### ➤ Berechnung von synthetischer Reihe "MZ\_06"

- Lineare Korrelation mit MZ\_01 bis MZ\_05 und MZ\_06

MZ_06	MZ_01	MZ_02	MZ_03	MZ_04	MZ_05	Datum	Uhr
				.....			
190	220	230	250	30	50	24.04.1991	7:35
260	270	200	250	20	80	24.04.1991	7:40
270	200	200	300	60	160	24.04.1991	7:45
				.....			

$$y = B[0] + B[1] \cdot x[1] + B[2] \cdot x[2] + \dots + B[n] \cdot x[n]$$

mit

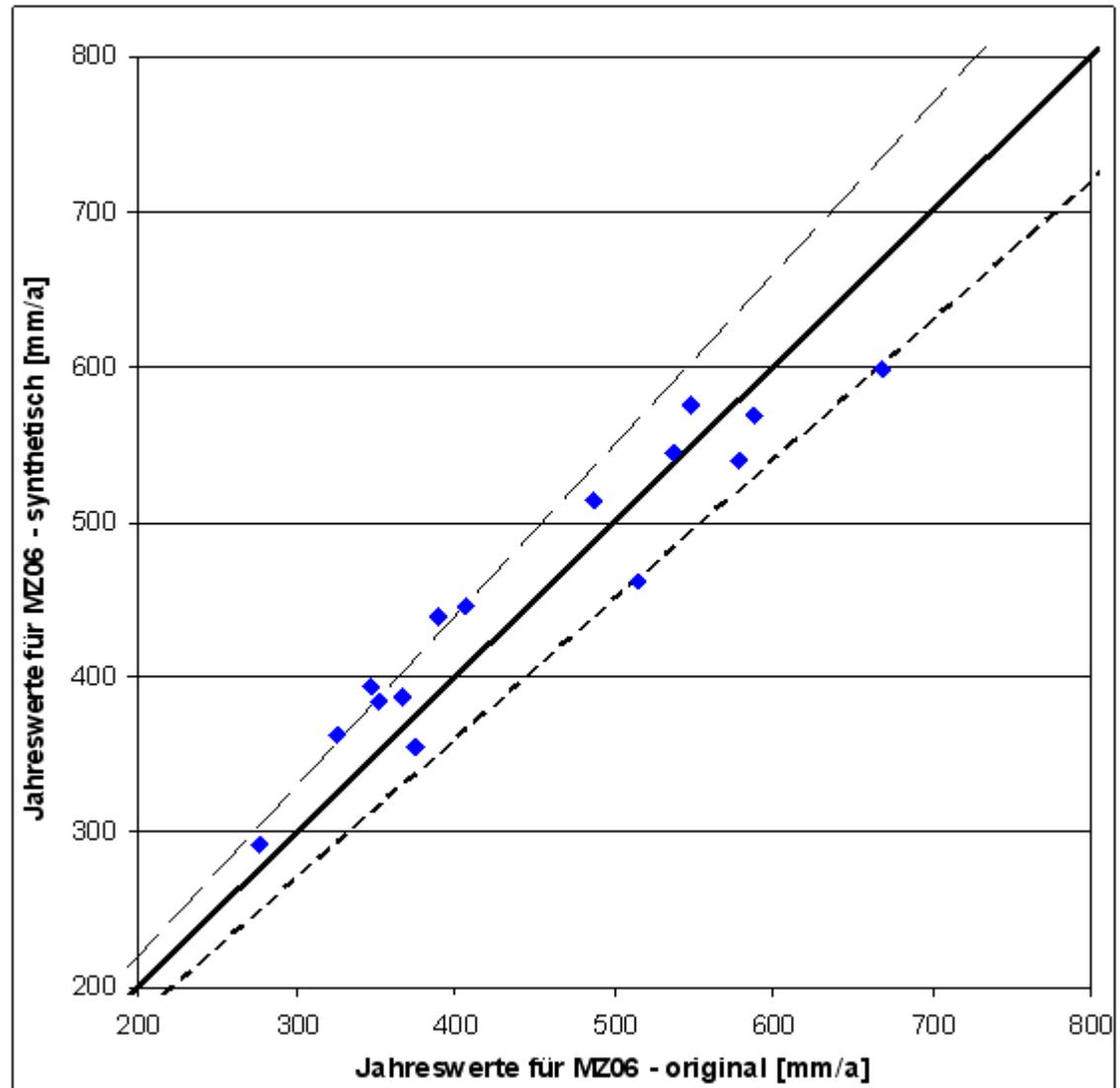
- y = Niederschlagsdaten von MZ\_06
- x[i] = Niederschlagsdaten von MZ\_01 bis 05
- B[i] = "Gewicht" der einzelnen Schreiber

VAR 1 mit Achsenabschnitt	VAR 2 Forcierter Nulldurchgang
B[0] = 12.200	B[0] = 0.000
B[1] = 0.151	B[1] = 0.153
B[2] = 0.302	B[2] = 0.306
B[3] = 0.097	B[3] = 0.100
B[4] = 0.071	B[4] = 0.073
B[5] = 0.147	B[5] = 0.170

## 5. Synthetische Niederschlagsreihen

### ➤ Berechnung MZ\_06

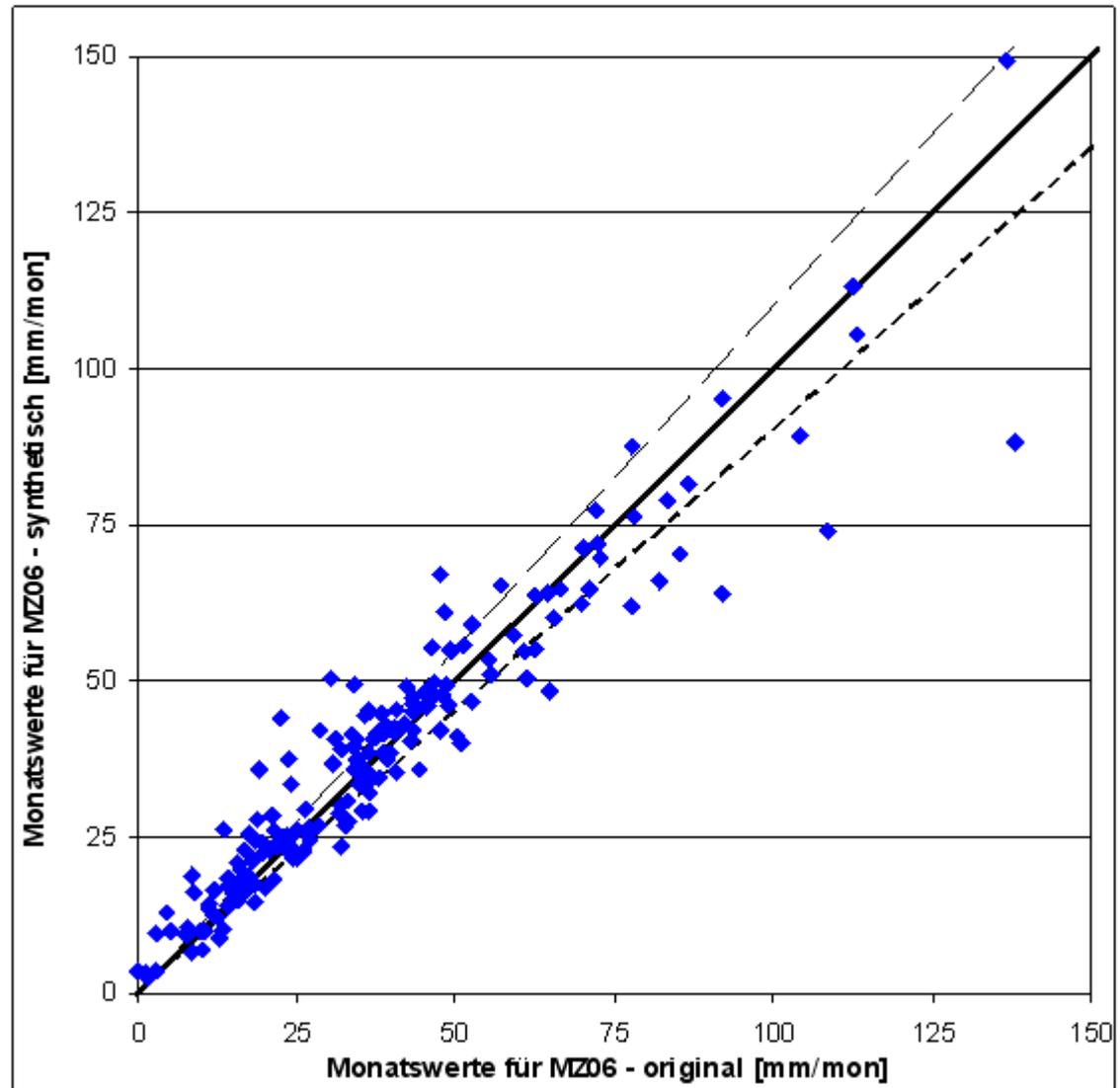
- Gegenüberstellung  
Original / Gerechnet
- Jahreswerte



## 5. Synthetische Niederschlagsreihen

### ➤ Berechnung MZ\_06

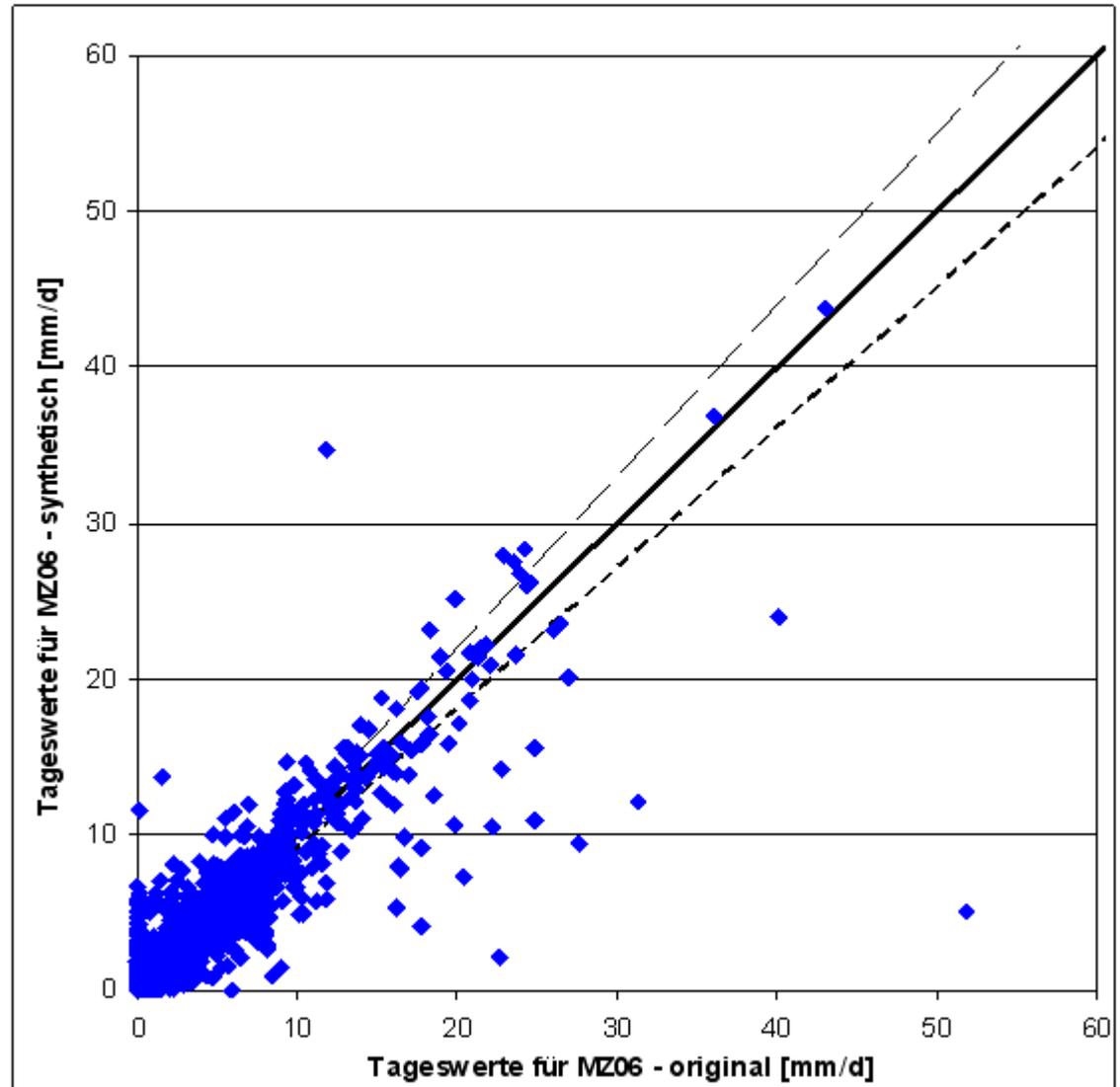
- Gegenüberstellung Original / Gerechnet
- Monatswerte



## 5. Synthetische Niederschlagsreihen

### ➤ Berechnung MZ\_06

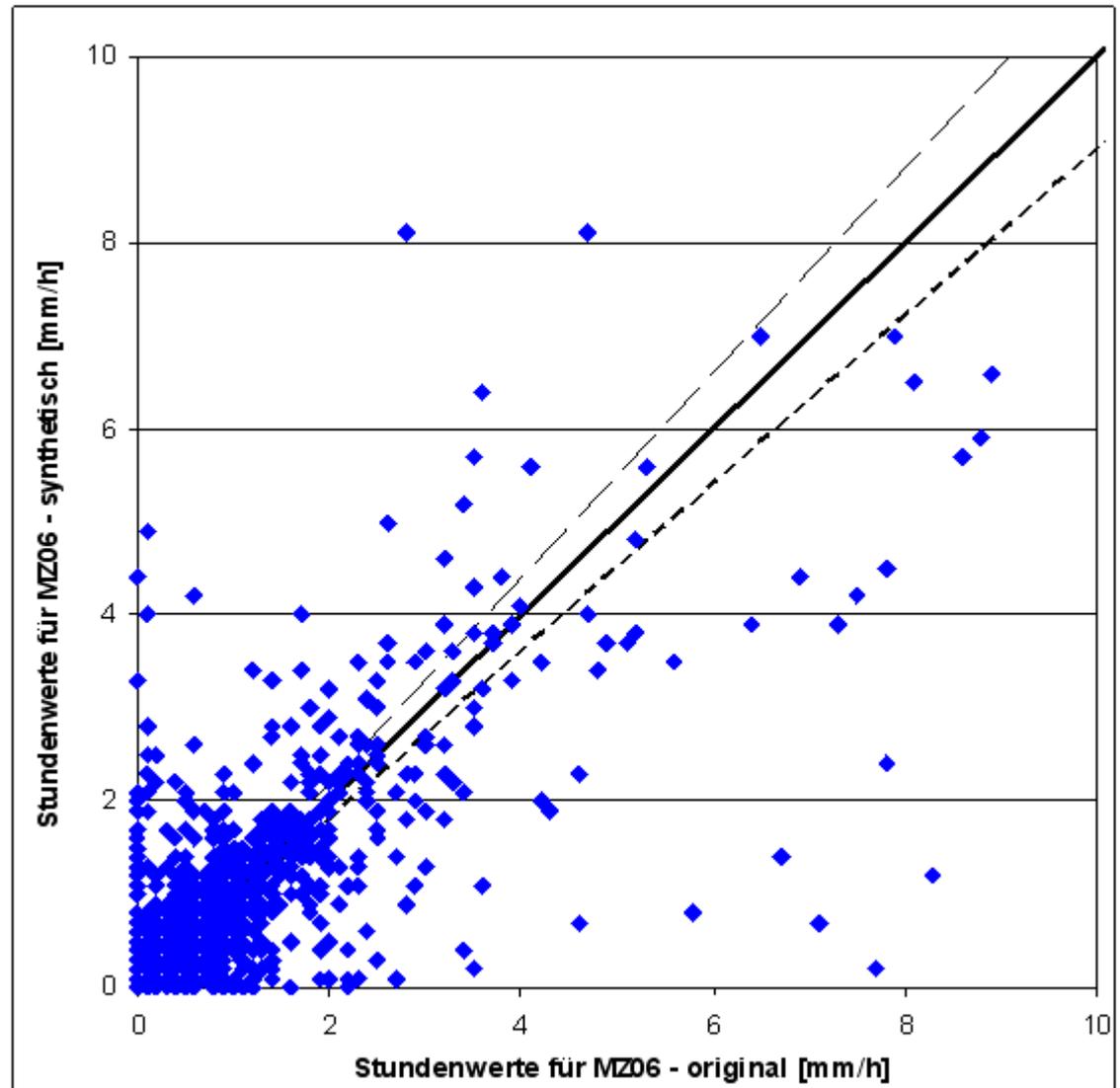
- Gegenüberstellung  
Original / Gerechnet
- Tageswerte



## 5. Synthetische Niederschlagsreihen

### ➤ Berechnung MZ\_06

- Gegenüberstellung  
Original / Gerechnet
- Stundenwerte



# 5. Synthetische Niederschlagsreihen

## ➤ Berechnung Niederschlagshöhenstatistik für MZ\_06

- Gegenüberstellung Original / Gerechnet → hN-Statistik

MZ_06, jährliche Serie, Vergleich 1991-2005 (synthetisch) mit 1991-2005 (original), prozentuale Unterschiede																		
T	0.5		1.0		2.0		3.0		5.0		10.0		20.0		50.0		100.0	
D	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R
5 min	-53	-53	-48	-48	-46	-46	-45	-45	-44	-44	-43	-43	-43	-43	-42	-42	-42	-42
10 min	-43	-43	-42	-42	-42	-42	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41
15 min	-37	-37	-38	-38	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-39	-40	-40	-40	-40
20 min	-32	-32	-35	-35	-36	-36	-37	-37	-38	-38	-38	-38	-39	-39	-39	-39	-39	-39
30 min	-25	-25	-31	-31	-34	-34	-35	-35	-36	-36	-37	-37	-38	-38	-38	-38	-39	-39
45 min	-16	-16	-27	-27	-31	-31	-33	-33	-35	-35	-36	-36	-37	-37	-38	-38	-38	-38
60 min	-10	-10	-25	-25	-30	-30	-32	-32	-34	-34	-36	-36	-37	-37	-38	-38	-39	-39
90 min	-8	-8	-21	-21	-27	-27	-29	-29	-31	-31	-32	-32	-34	-34	-35	-35	-35	-35
120 min	-6	-6	-19	-19	-24	-24	-26	-26	-28	-28	-30	-30	-31	-31	-32	-32	-33	-33
180 min	-4	-4	-15	-15	-20	-20	-22	-22	-24	-24	-26	-26	-27	-27	-29	-29	-29	-29
4 h	-2	-2	-12	-12	-17	-17	-19	-19	-21	-21	-23	-23	-25	-25	-26	-26	-27	-27
6 h	1	1	-8	-8	-13	-13	-15	-15	-17	-17	-19	-19	-21	-21	-22	-22	-23	-23
9 h	5	5	-4	-4	-9	-9	-11	-11	-13	-13	-15	-15	-16	-16	-18	-18	-19	-19
12 h	7	7	-1	-1	-6	-6	-8	-8	-10	-10	-12	-12	-13	-13	-15	-15	-16	-16
18 h	7	7	0	0	-5	-5	-6	-6	-8	-8	-10	-10	-12	-12	-13	-13	-14	-14
1 d	7	7	0	0	-4	-4	-6	-6	-7	-7	-9	-9	-11	-11	-12	-12	-13	-13
2 d	7	7	1	1	-2	-2	-4	-4	-5	-5	-7	-7	-8	-8	-9	-9	-10	-10
3 d	7	7	2	2	-1	-1	-2	-2	-4	-4	-5	-5	-6	-6	-7	-7	-8	-8

## Gliederung / Themen

1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise
2. Beschreibung Projektgebiet und Niederschlagsdaten
3. Niederschlagsauswertungen
4. Gebietsniederschlagshöhenstatistiken
5. Synthetisches Generieren von Niederschlagsdaten
- 6. Kanalnetzrechnungen für unterschiedliche Niederschlagsbelastungen**
7. Beurteilung und Empfehlung

## 6. Kanalnetzrechnungen

### ➤ Angesetzte Niederschlagsbelastungen (1)

#### ▪ Einzelregenberechnung:

- Niederschlagsbelastungen nach Gruppenstatistik KOSTRA
  - Modellregen Häufigkeiten  $n = 0,2 \text{ 1/a}$  und  $0,33 \text{ 1/a}$
  - Blockregen Häufigkeiten  $n = 0,1; 0,2; 0,33 \text{ 1/a}$  für variierte Dauerstufen
- Niederschlagsbelastungen nach Gruppenstatistik Mainz
  - Modellregen Häufigkeiten  $n = 0,2 \text{ 1/a}$  und  $0,33 \text{ 1/a}$
  - Blockregen Häufigkeiten  $n = 0,1; 0,2; 0,33 \text{ 1/a}$ , variable Dauerstufen
- Abgeminderte Modellregen 90 min / Häufigkeiten  $n = 0,2; 0,33 \text{ 1/a}$

## 6. Kanalnetzrechnungen

### ➤ Angesetzte Niederschlagsbelastungen (2)

- Langzeitsimulation:
  - Gleichmäßige Überregnung 32 a (1974-2005)
    - Regenreihe MZ\_01 - MZ\_05 (jede Reihe einzeln)
    - (Langzeitserie Ereignisdef. 1 für MZ\_01, 119 Ereignisse)
  - Gleichmäßige Überregnung 15 a (1991 -2005)
    - Regenreihe MZ\_01 - MZ\_05
  - Ungleichmäßige Überregnung 32 a (1974-2005)
    - Regenreihe MZ\_01 - MZ\_05 (alle Reihen gemeinsam)
  - Ungleichmäßige Überregnung 15 a (1991 -2005)
    - Regenreihe MZ\_01 - MZ\_05
    - Regenreihe MZ\_01 - MZ\_10

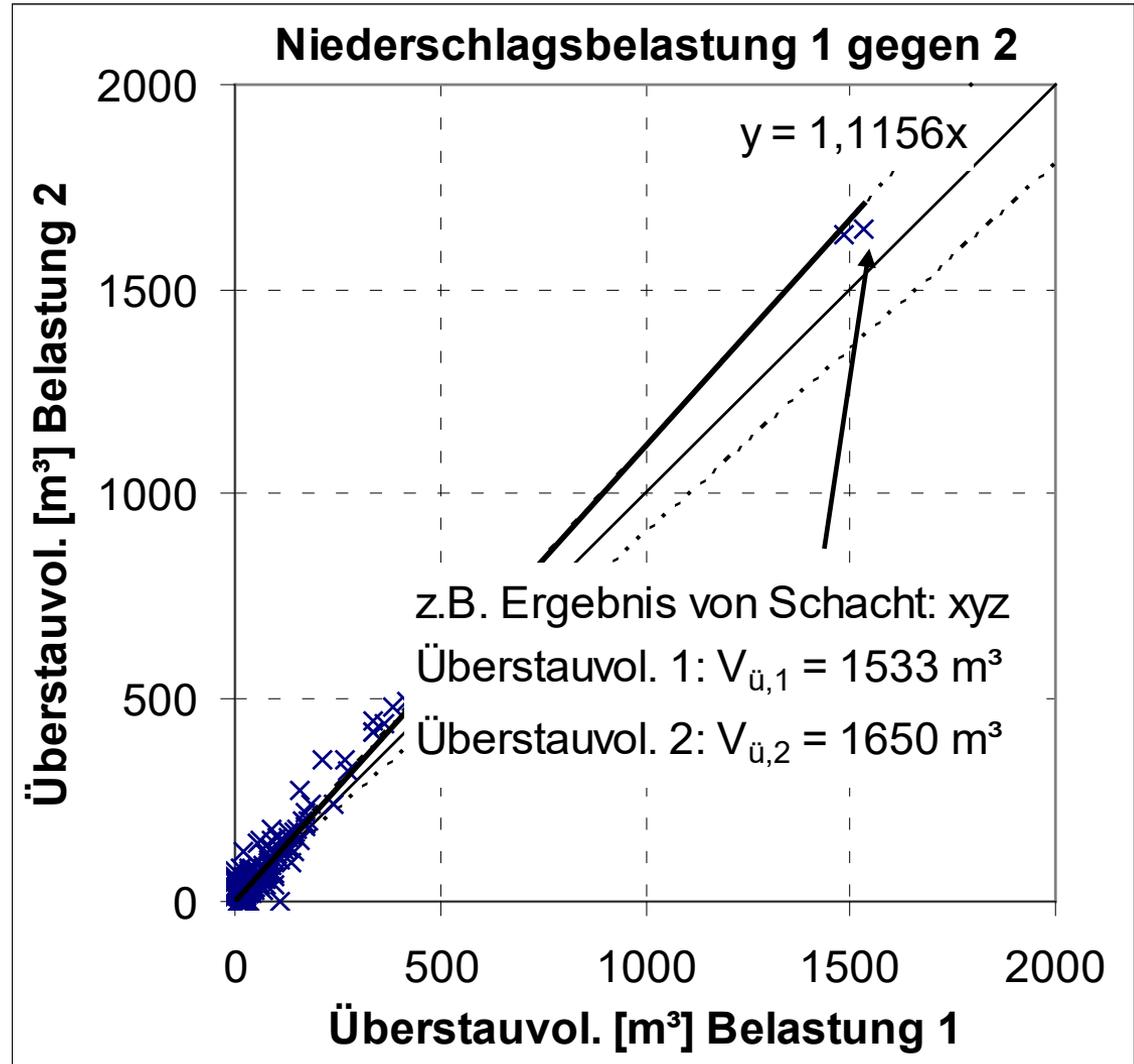
## 6. Kanalnetzberechnungen

### ➤ Rechenzeit

- eine Kontinuumssimulation
  - Mainzer Netz
  - Niederschlagsreihe mit 32 Jahren
  
- mit leistungsfähigstem PC (Stand 2008)
  - etwa 50 Stunden

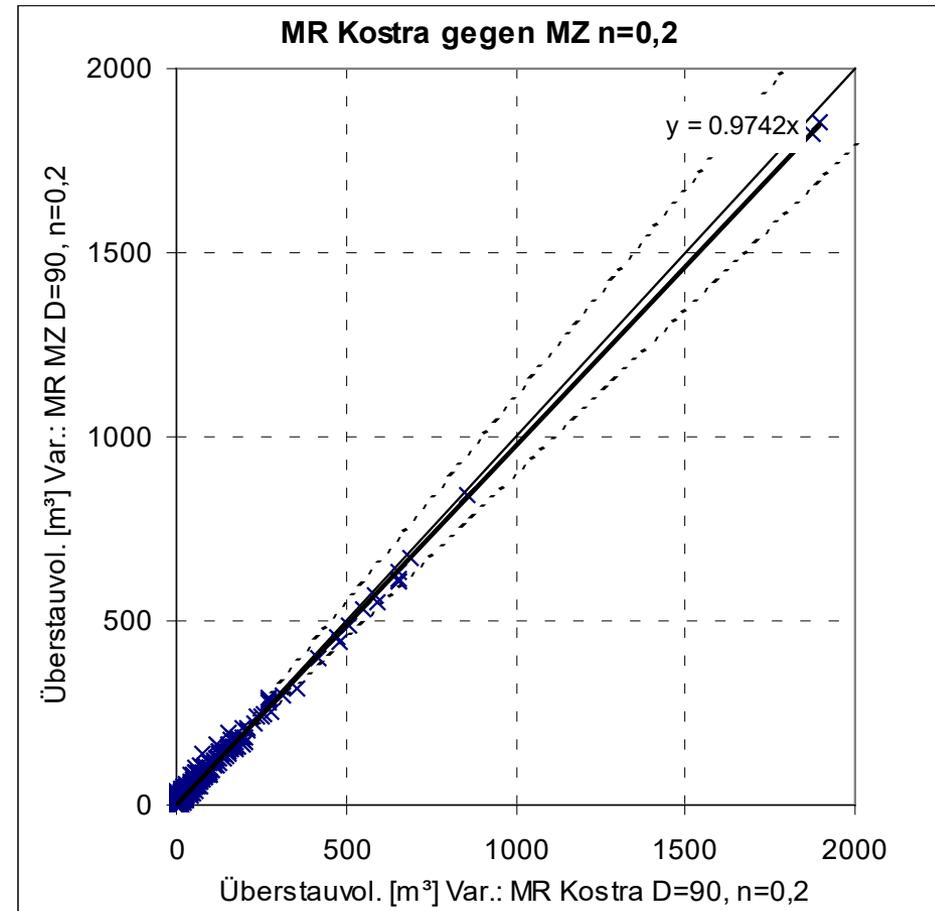
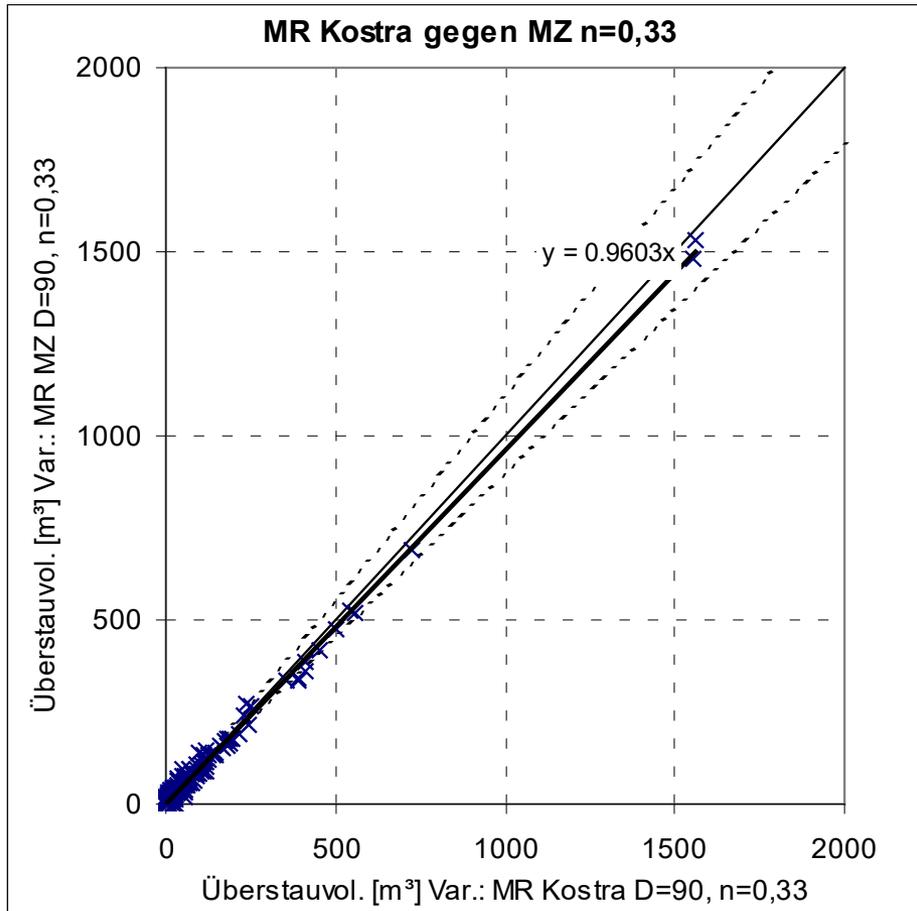
# 6. Kanalnetzrechnungen

## ➤ Ergebnisse (1)



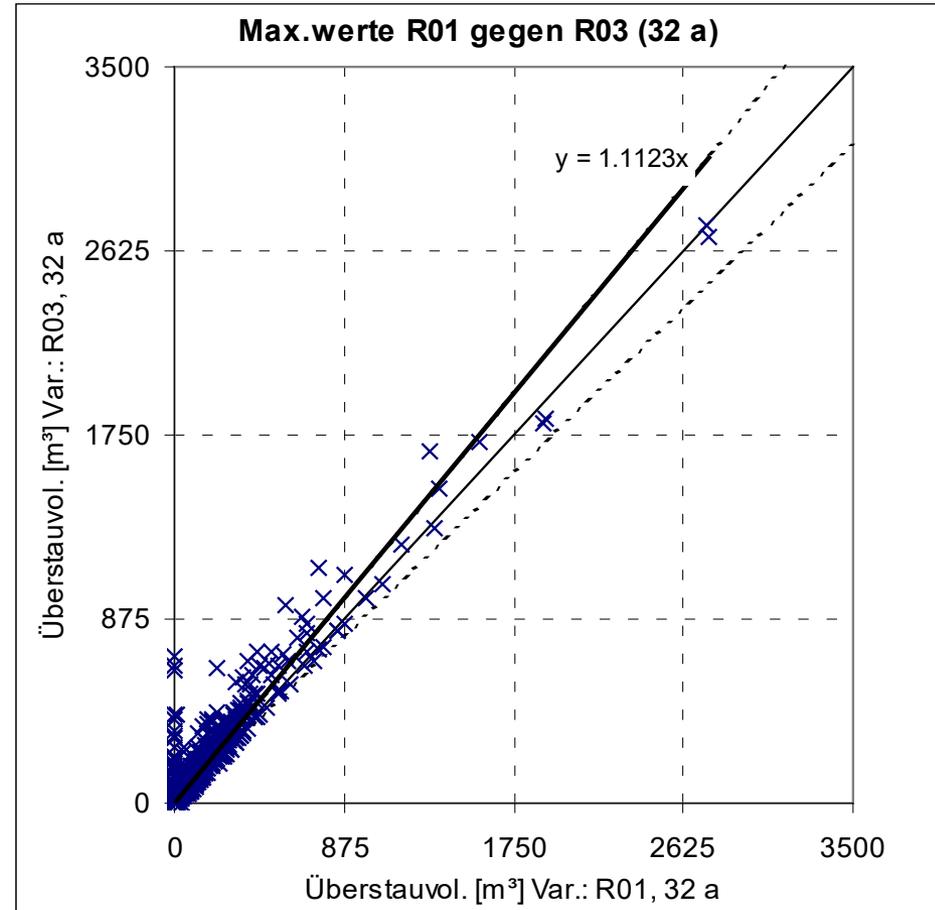
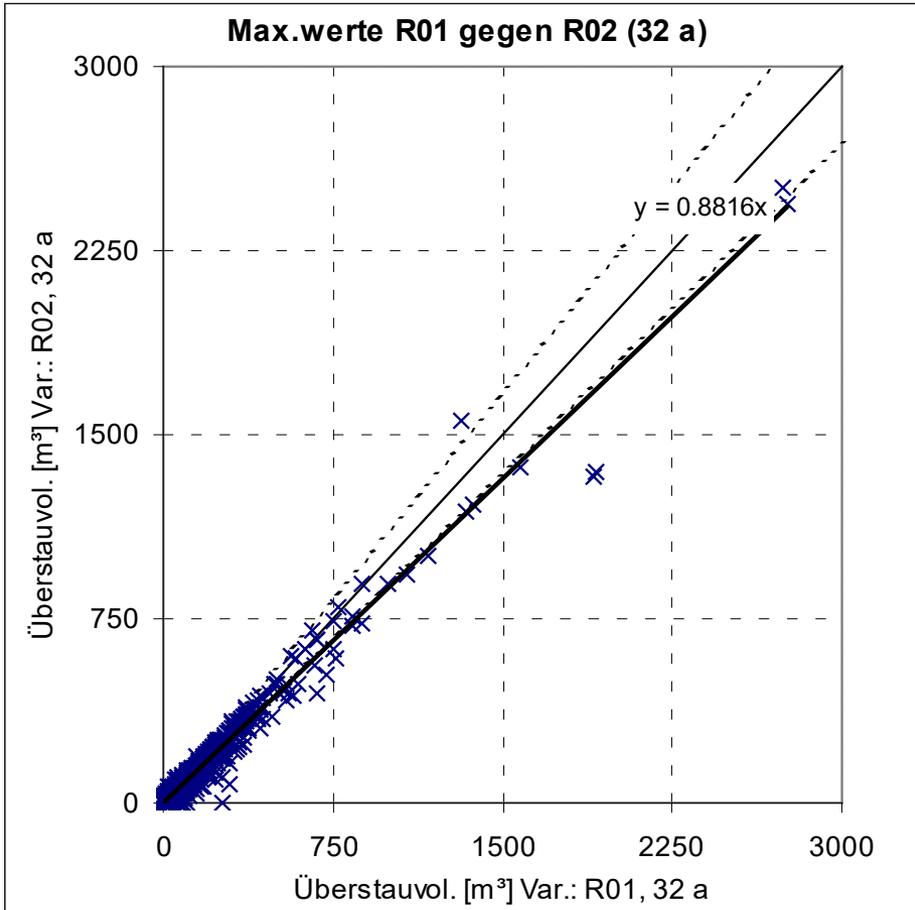
## 6. Kanalnetzberechnungen

### ➤ Ergebnisse (2) Kostra gegen MZ (gemittelt 1-5)



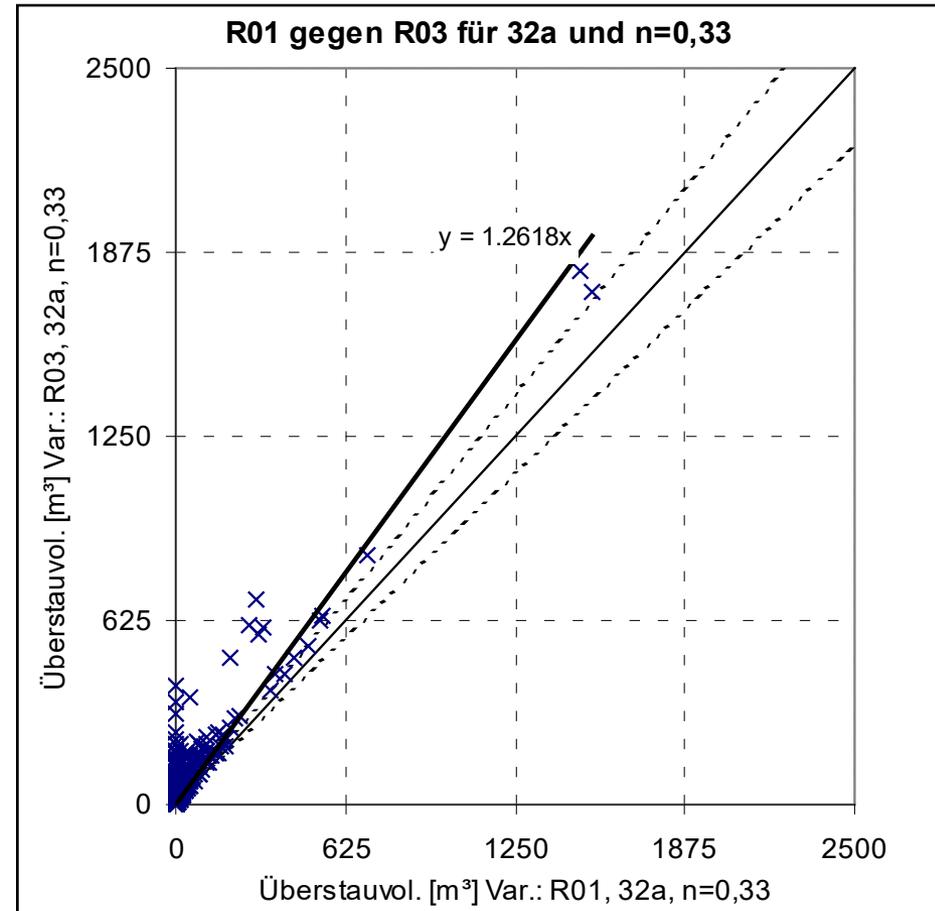
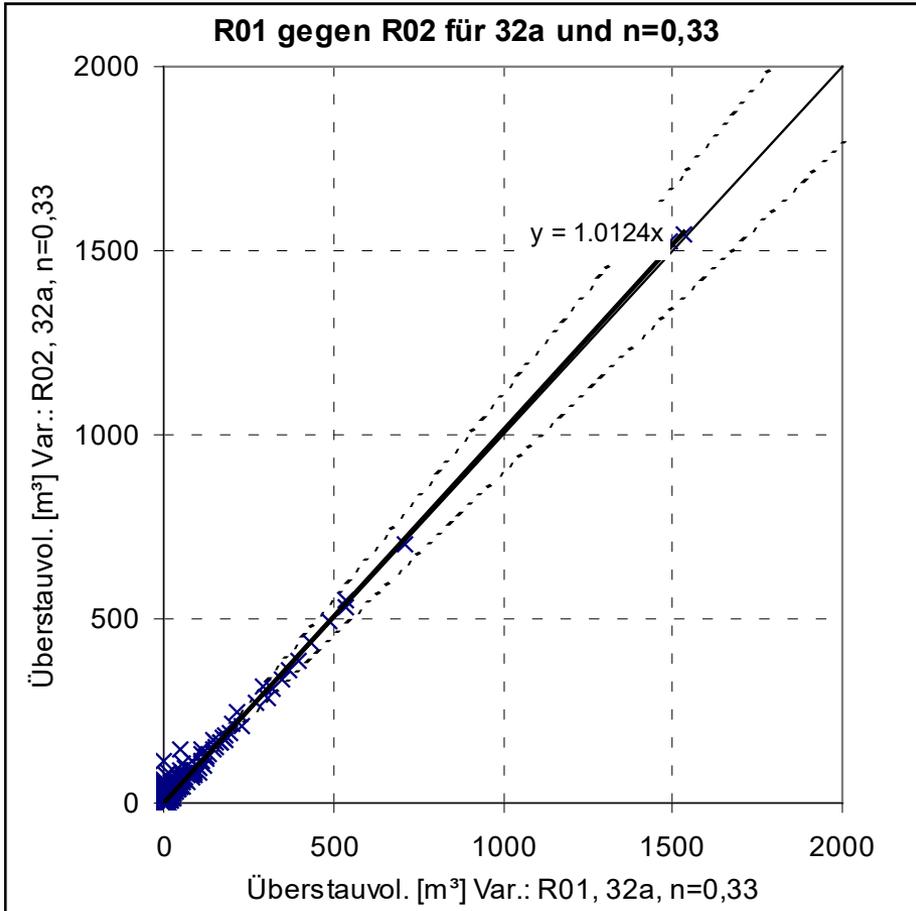
# 6. Kanalnetzrechnungen

## ➤ Ergebnisse (3) LZS / Vergleich der Maximalwerte



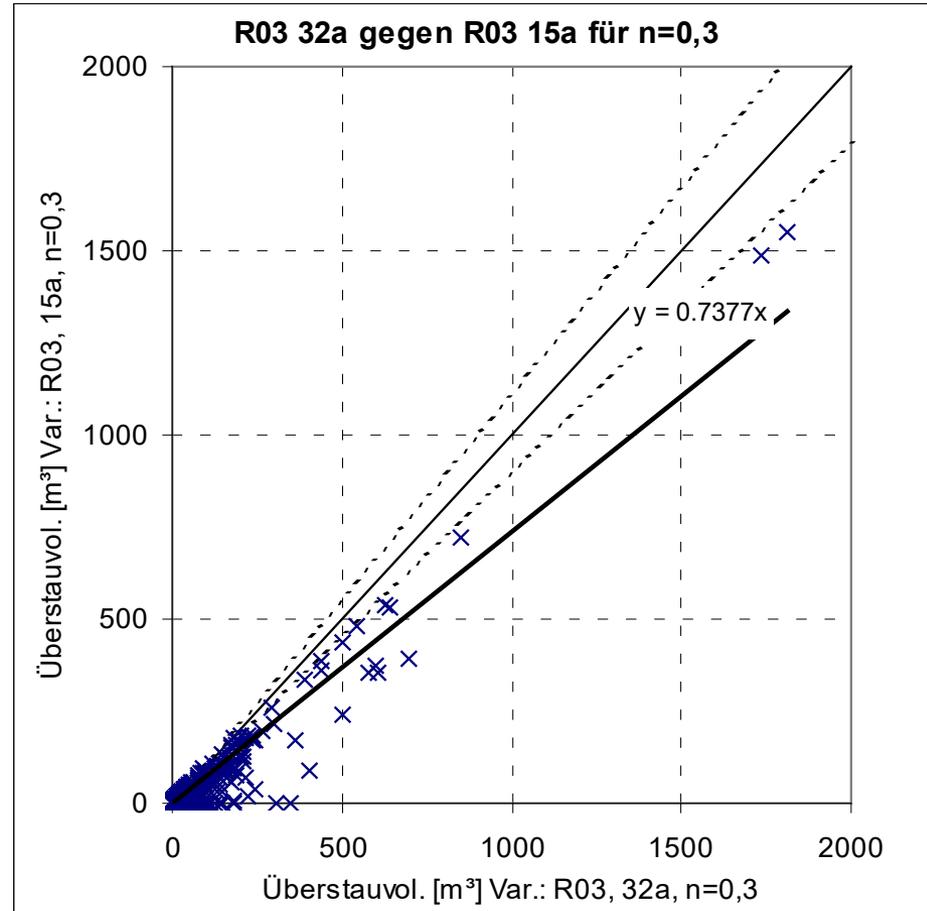
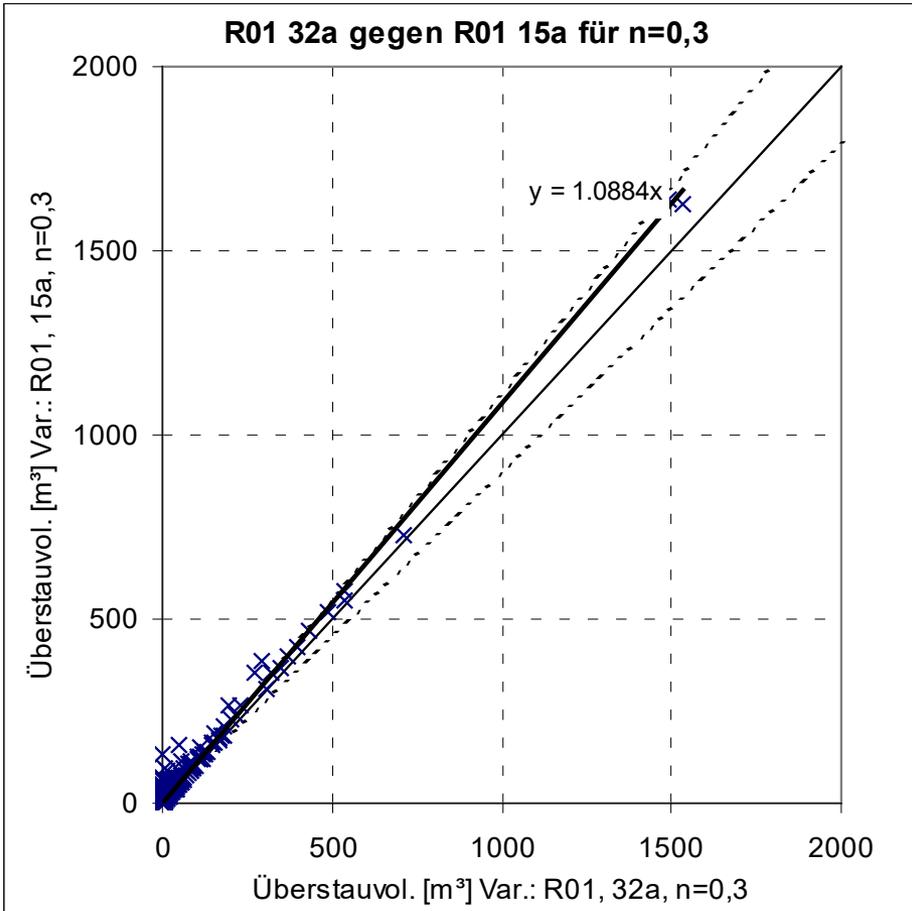
# 6. Kanalnetzrechnungen

## ➤ Ergebnisse (4) LZS / Vergleich Jährlichkeiten



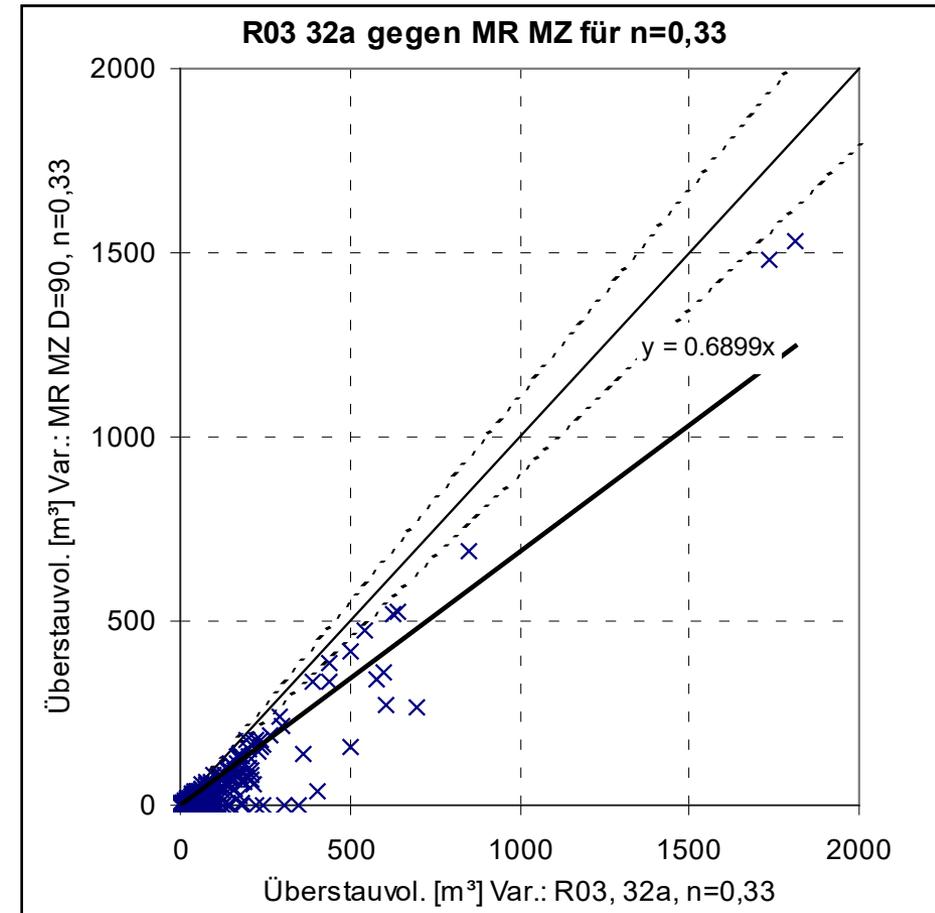
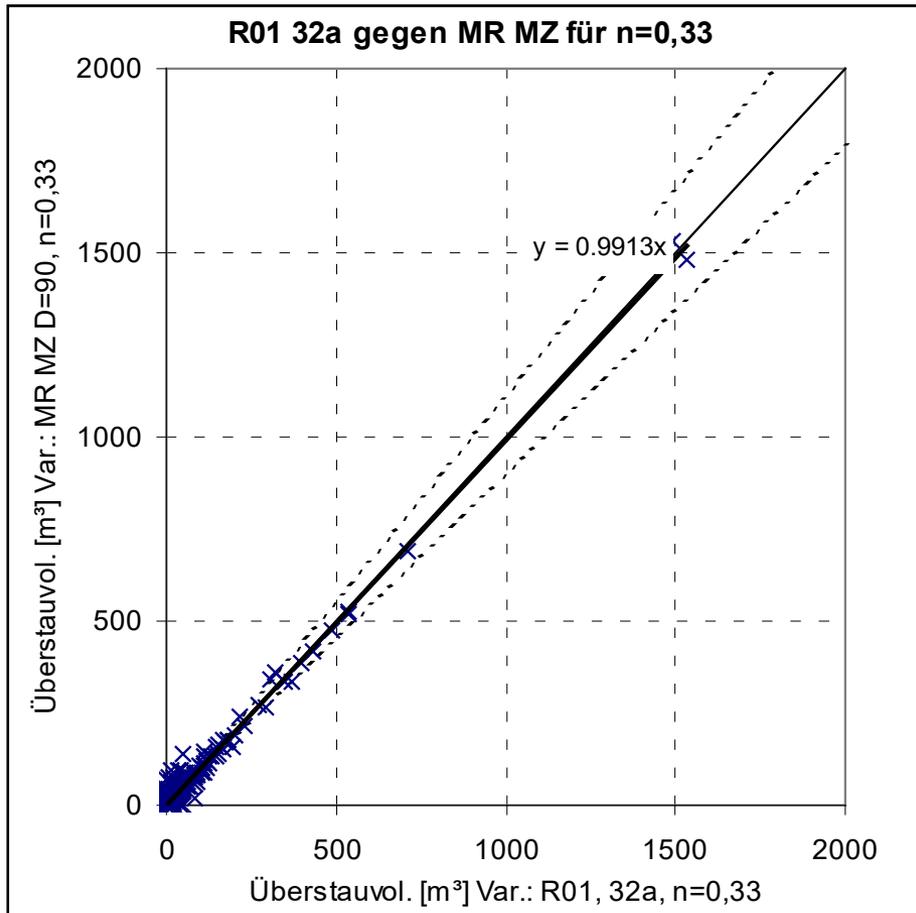
## 6. Kanalnetzrechnungen

### ➤ Ergebnisse (5) LZS / 32a gegen 15a



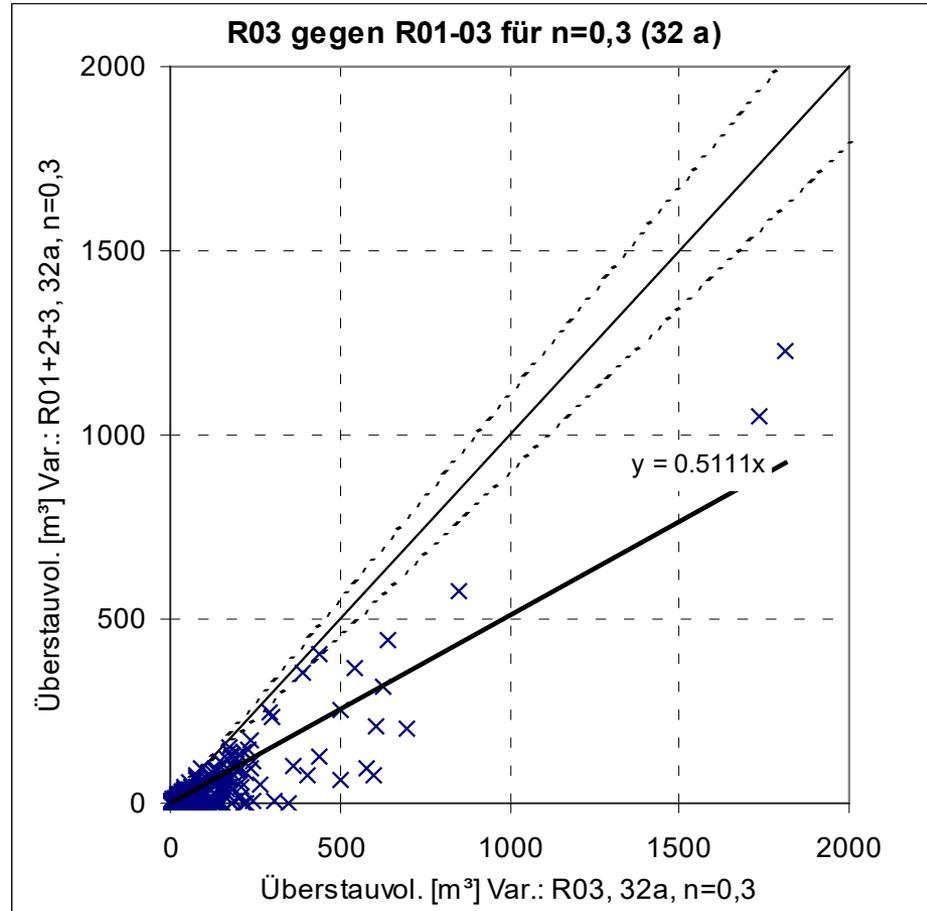
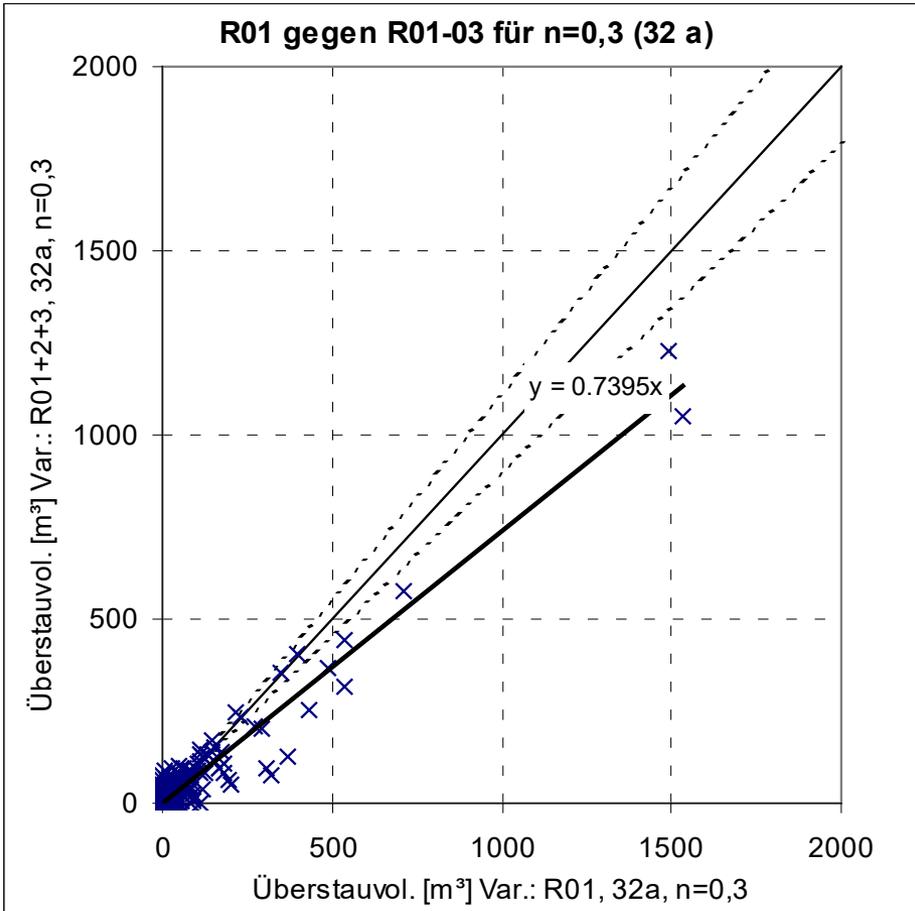
## 6. Kanalnetzberechnungen

### ➤ Ergebnisse (6) LZS gegen Modellregen



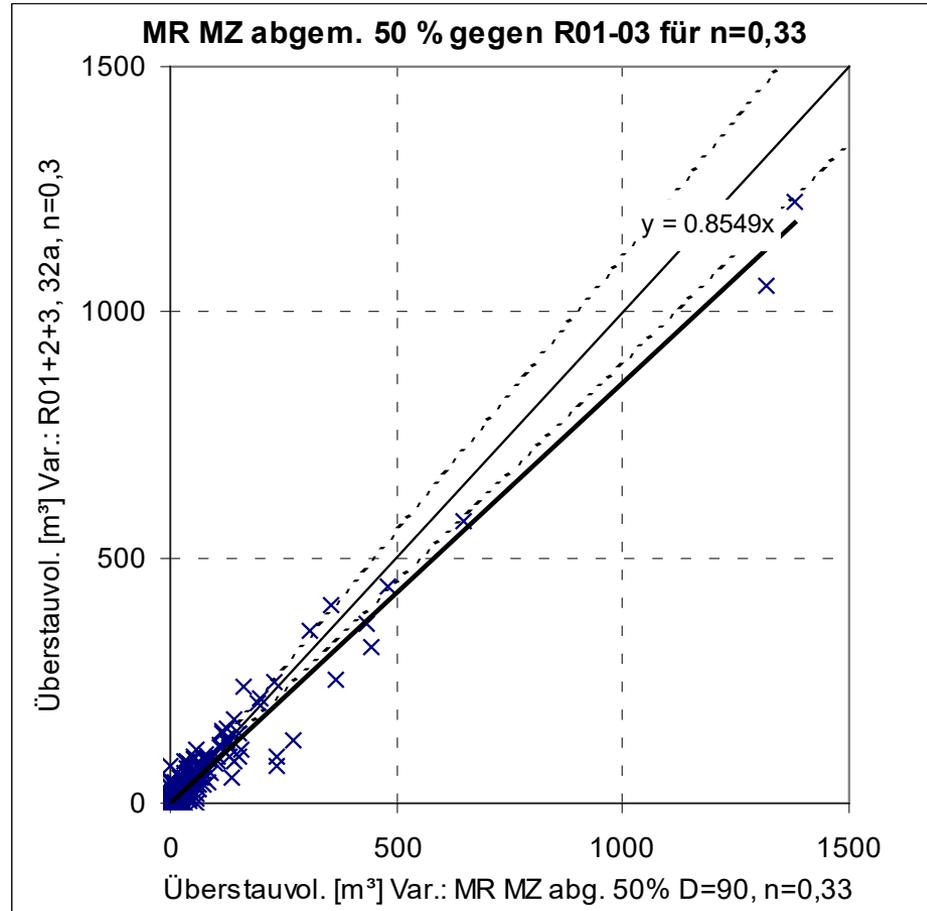
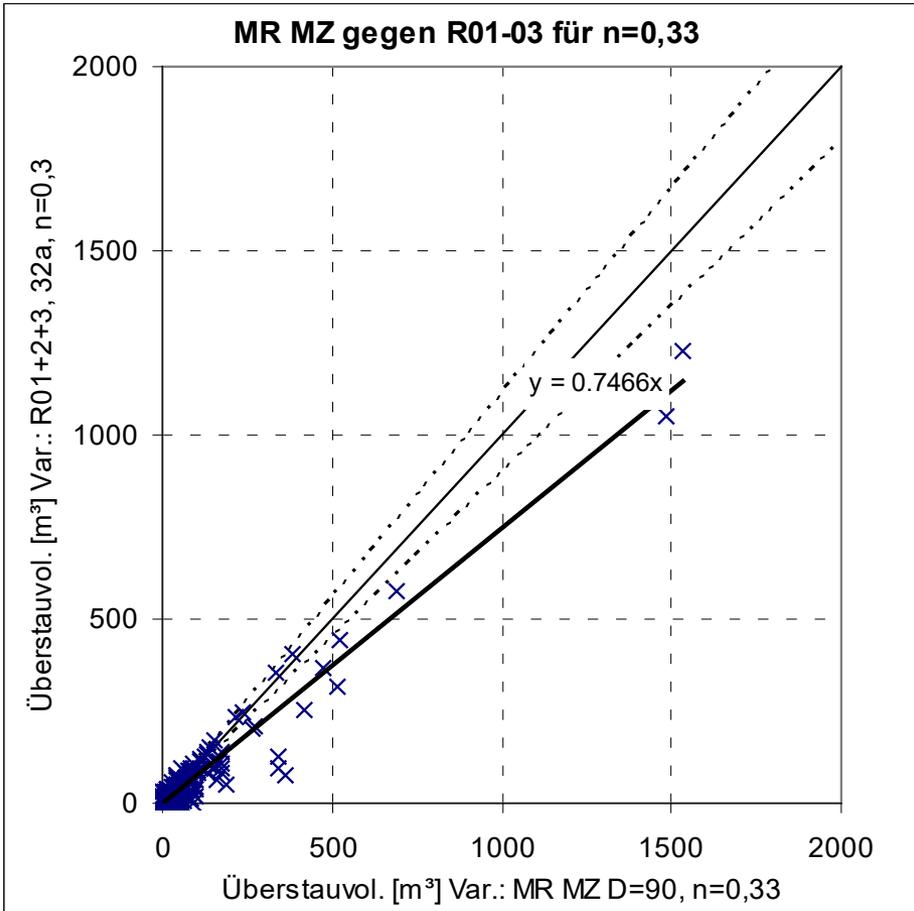
# 6. Kanalnetzberechnungen

## ➤ Ergebnisse (7) LZS / ungleichmäßige Überregnung (32a)



# 6. Kanalnetzrechnungen

## ➤ Ergebnisse (8) ungleichm. LZS gegen abgemin. MR



## Gliederung / Themen

1. Einleitung / Stand der Forschung / Vorgehensweise
2. Beschreibung Projektgebiet und Niederschlagsdaten
3. Niederschlagsauswertungen
4. Gebietsniederschlagshöhenstatistiken
5. Synthetisches Generieren von Niederschlagsdaten
6. Kanalnetzrechnungen für unterschiedliche Niederschlagsbelastungen

### 7. Beurteilung und Empfehlung

## 7. Beurteilung und Empfehlung

### ➤ Grundsätzliche Empfehlungen

- Modellkalibrierung mit Messdaten von Niederschlag und Abfluss sowie geeignetes stabiles Kanalnetzrechnungsmodell zwingend
- Lückenfreie Niederschlagsdaten sollten mindestens 10 a aufweisen
- Langzeit-Seriensimulation liefert bei sinnvoller Ereignisdefinition gegenüber Langzeit-Kontinuumssimulation vergleichbare Ergebnisse
- 5 langjährige Niederschlagsmessstationen in Mainz  
→ Auswirkungen deutlich aber noch nicht ausreichend
- Große Netze  
Modellregen mit Abminderung nur Notlösung  
→ hydrodynamische Langzeitsimulation mit ungleichmäßiger Überregnung zwingend