

**8. Symposium**  
**Flussgebietsmanagement beim Wupperverband**

***Morphodynamische Grundlagen der  
Dhünn zur Abschätzung einer natürlichen  
Gewässerentwicklung***



**Erik Pasche, Arzu Kilic**



## Generelles Ziel der EU Wasserrahmenrichtlinie

Schaffung eines **Ordnungsrahmens für den Schutz** von  
Binnenoberflächengewässern, Küstengewässern,  
Übergangsgewässern und Grundwasser  
zwecks

### Artikel 1 – Ziel, Absatz a)

.....Schutz und Verbesserung des Zustands der aquatischen Ökosysteme und der direkt von ihnen abhängenden Landökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt,

### Artikel 4 – Umweltziele

a) Bei Oberflächengewässern:

... ii) die Mitgliedstaaten schützen, verbessern und sanieren alle Oberflächenwasserkörper, ....mit dem Ziel, spätestens 15 Jahre nach Inkrafttreten dieser Richtlinie ..... einen **guten Zustand der Oberflächengewässer** zu erreichen.

## Artikel 2 der WRRL – Begriffsbestimmungen

18. guter Zustand des Oberflächengewässers:  
Zustand eines Oberflächenwasserkörpers, der sich in einem zumindest **guten ökologischen und chemischen Zustand** befinde
  
21. **Ökologischer Zustand: die Qualität von Struktur und Funktionsfähigkeit** aquatischer, in Verbindung mit Oberflächengewässern stehender Ökosysteme gemäß der Einstufung nach Anhang V

## Qualitätskomponenten für ökologischen Zustand und das ökologische Potential von Gewässern

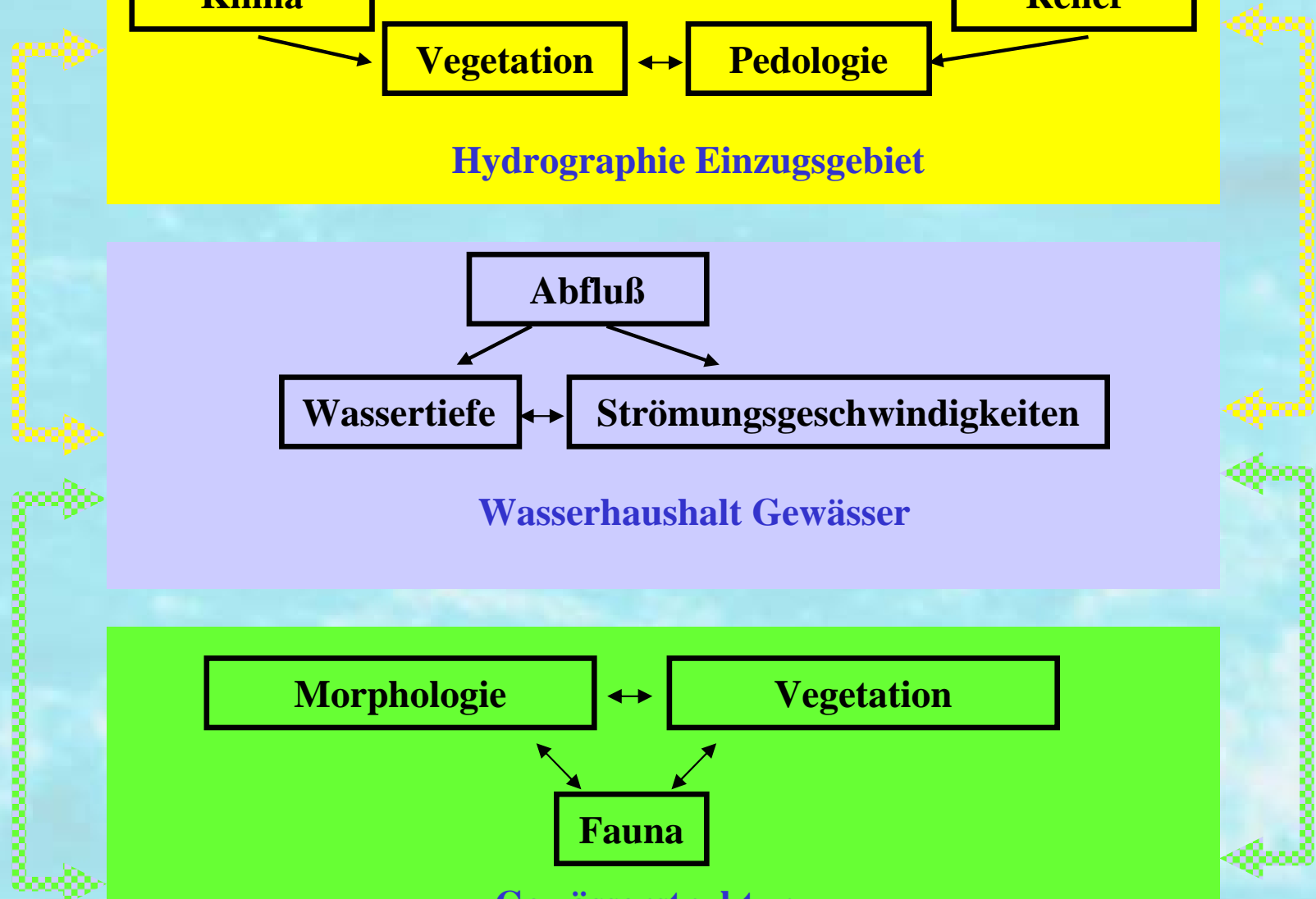
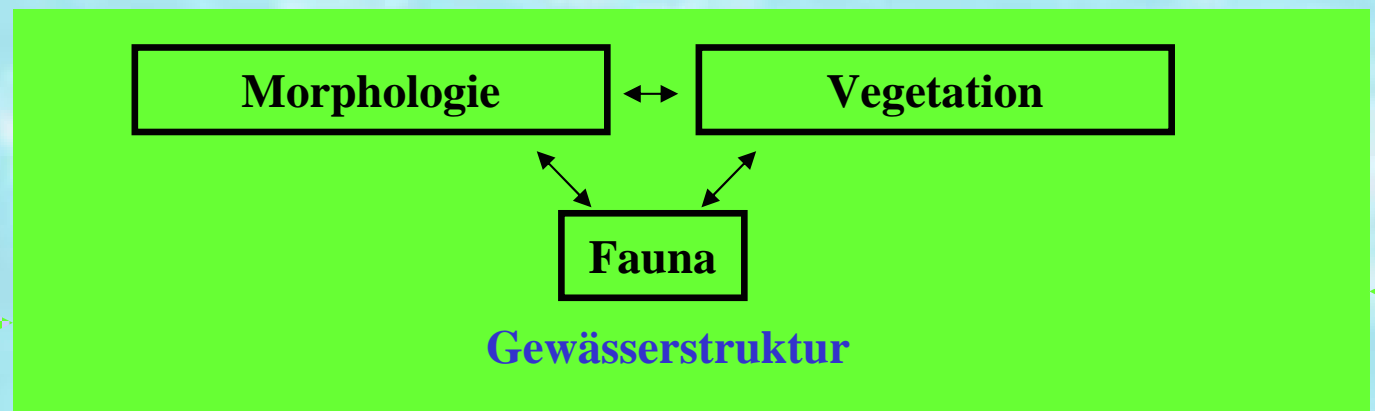
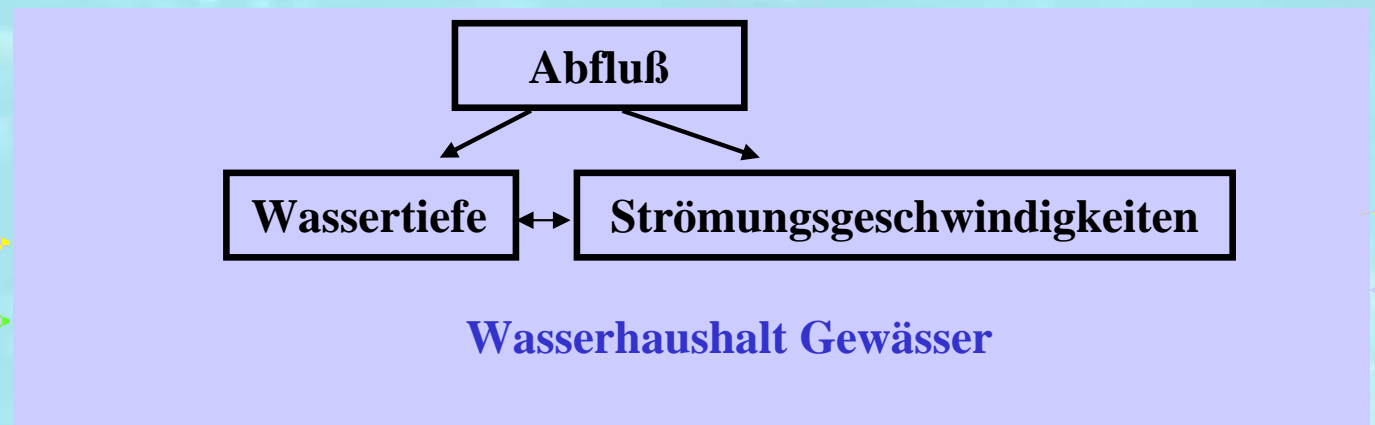
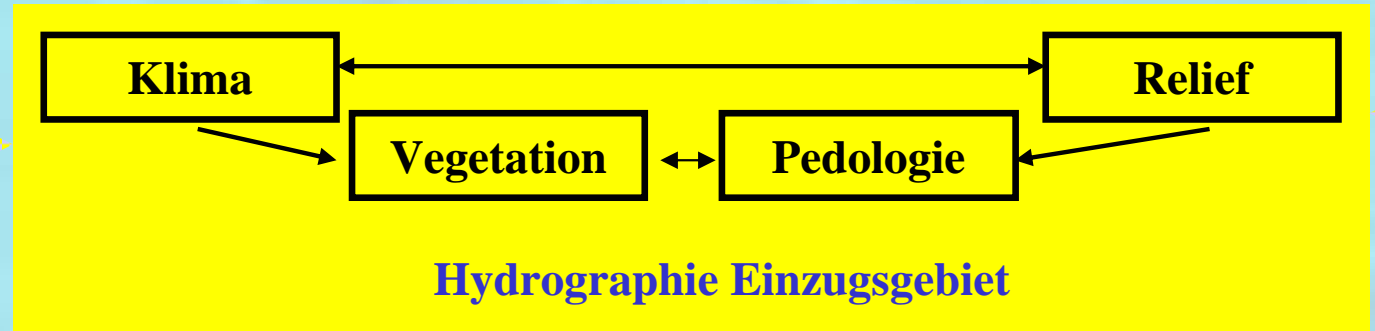
### Biologische

- **Phytoplankton**
- **Makrophyten und Phytobenthos**
- **Benthische Wirbellose Fauna**
- **Fischfauna Ichthyofauna**

### Hydromorphologische

- **Wasserhaushalt**  
*Menge und Dynamik der Strömung im Gewässer  
und die sich daraus ergebende Verbindung zum Grundwasser*
- **Durchgängigkeit des Flusses**  
*Migration aquatischer Organismen  
Transport von Sedimenten*
- **Morphologie**  
*Laufentwicklung, Variationen von Breite und Tiefe  
Strömungsgeschwindigkeiten  
Substratbedingungen  
Struktur und Bedingungen der Uferbereiche*

Welche hydromorphologischen Kenngrößen besitzt ein natürliches Gewässer?



*Auszug aus dem Fragebogen zur  
Strukturgüte-Kartierung RPF*

*Verfahrensschwächen*

**Fehleinschätzung der Vergleichbarkeit**

**fehlende Erkenntnis funktionaler  
Zusammenhänge**

Erhebungs-Datum \_\_\_\_\_ Bearbeiter \_\_\_\_\_ Unterschrift \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**TALFORM**

Klammertal  Kerbtal  Mäandertal

Auetal  Muldental  Flachland

**TALBREITE**

eng (unter 20 m)  
 schmal (20 - 50 m)  
 mittelbreit (> 50 - 150 m)  
 breit (> 150 - 300 m)  
 sehr breit (über 300 m)

**TALGEFÄLLE**

nicht wahrnehmbar  
 zu erahnen (> 0,1 - 0,2 %)  
 erkennbar (> 0,2 - 0,4 %)  
 deutlich (> 0,4 - 1 %)  
 sehr groß (über 1 %)

**LAUFKRÜMMUNG**

gerade  gestreckt  geknickt  schwach gekrümmt  geschwungen  geschlängelt  mäandrierend

**QUERPROFIL**

Gräben      Regelprofile      natürliche/ naturnahe Profile

Gräben  Rechteck  Trapez  Doppeltrapez  Erosionsprofil  Wechselprofil  Schulterprofil  Flachhagenprofil

**PROFILTIEFE**

bis 2 MW  > 2 - 3 MW  > 3 - 4 MW  über 4 MW

**GEWÄSSERBREITE**

Schritt (bis 1 m)  Straße (4 - 8 m)  
 Sprung (1 - 2 m)  Doppelstraße (8 - 15 m)  
 Fahrweg (2 - 4 m)  breiter (über 15 m)

Talform - Laufkrümmung - Querprofil - Breite - Tiefe

Landschaftsbogen L 2   
Ortsbogen O 2

**Vorstellung einer allgemeingültigen Methodik zur Quantifizierung der hydromorphologischen Qualitätsmerkmale eines Gewässers**

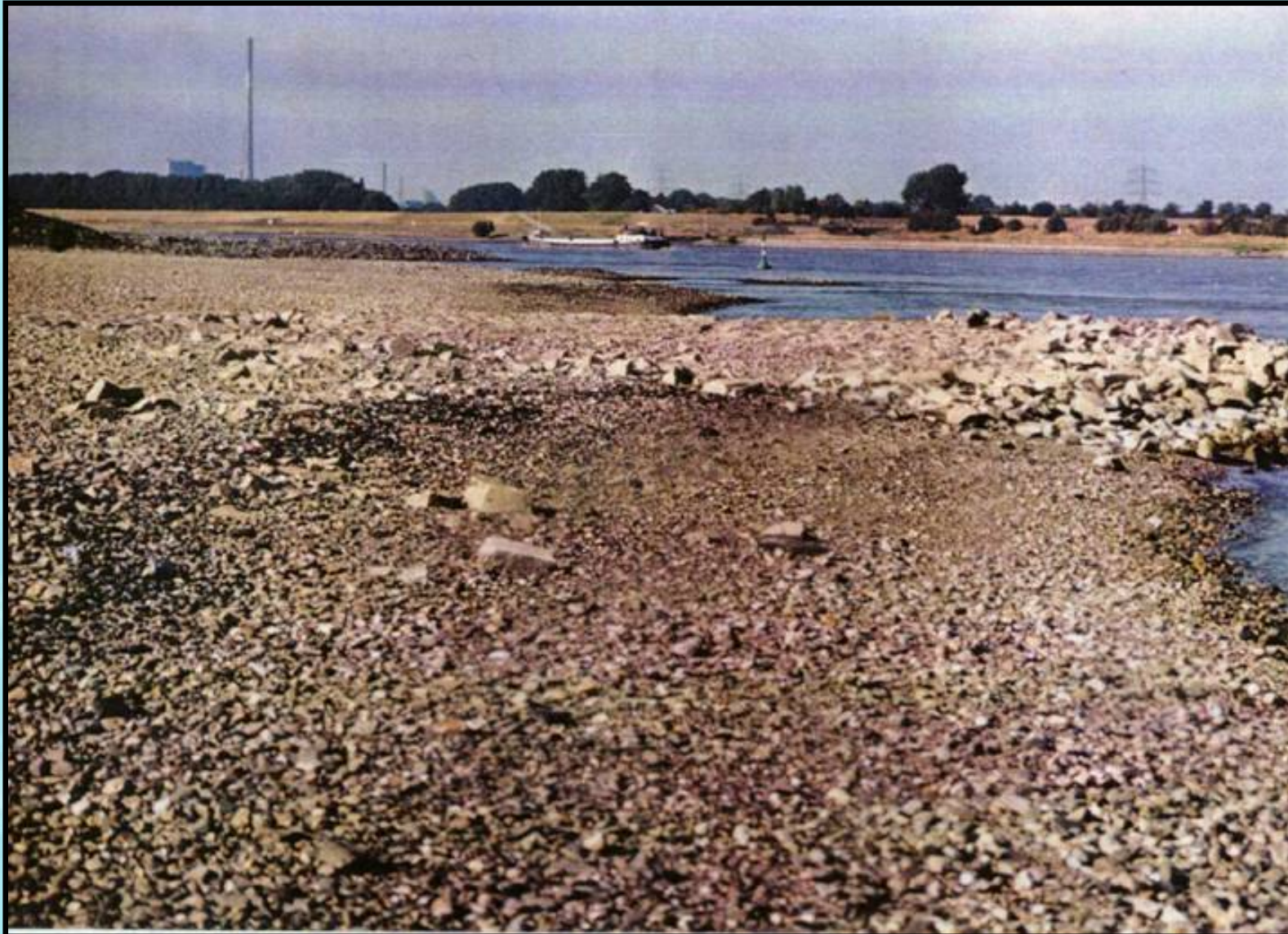
**Nutzung dieser Methode im Rahmen der EU-WRRL**

*zur Darlegung von Qualitätsdefiziten*

*Zum Wirkungsnachweis von ökologischen Sanierungsmaßnahmen*

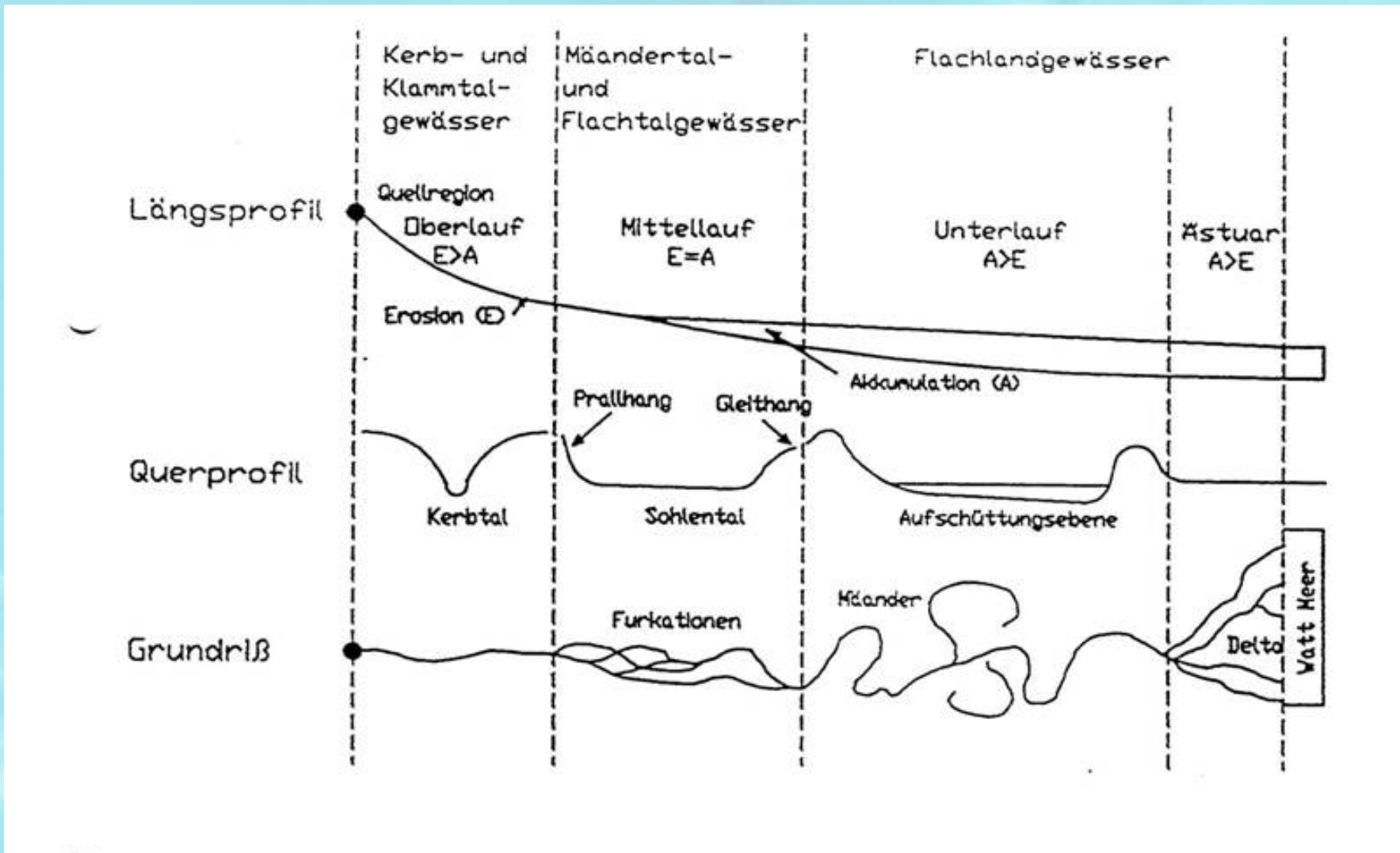
*Alluviale Gewässer:*

**Gewässerbettstruktur Ergebnis von Mitnahme,  
Transport und Ablagerung unkonsolidierten  
Sedimentmaterials**

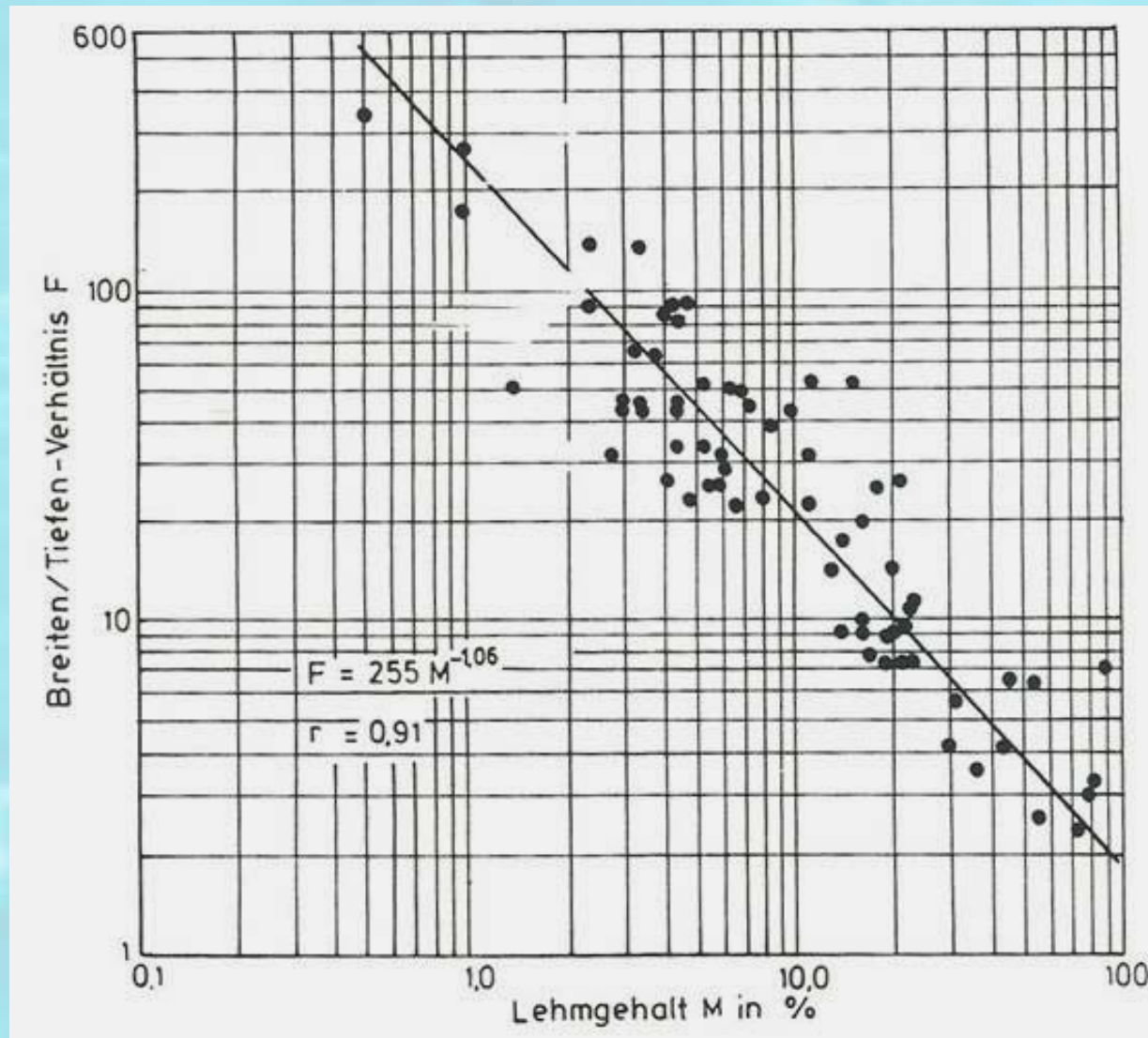




*Gleichgewichtszustände entlang des Flusslaufs (Heinrich/Hergt)*

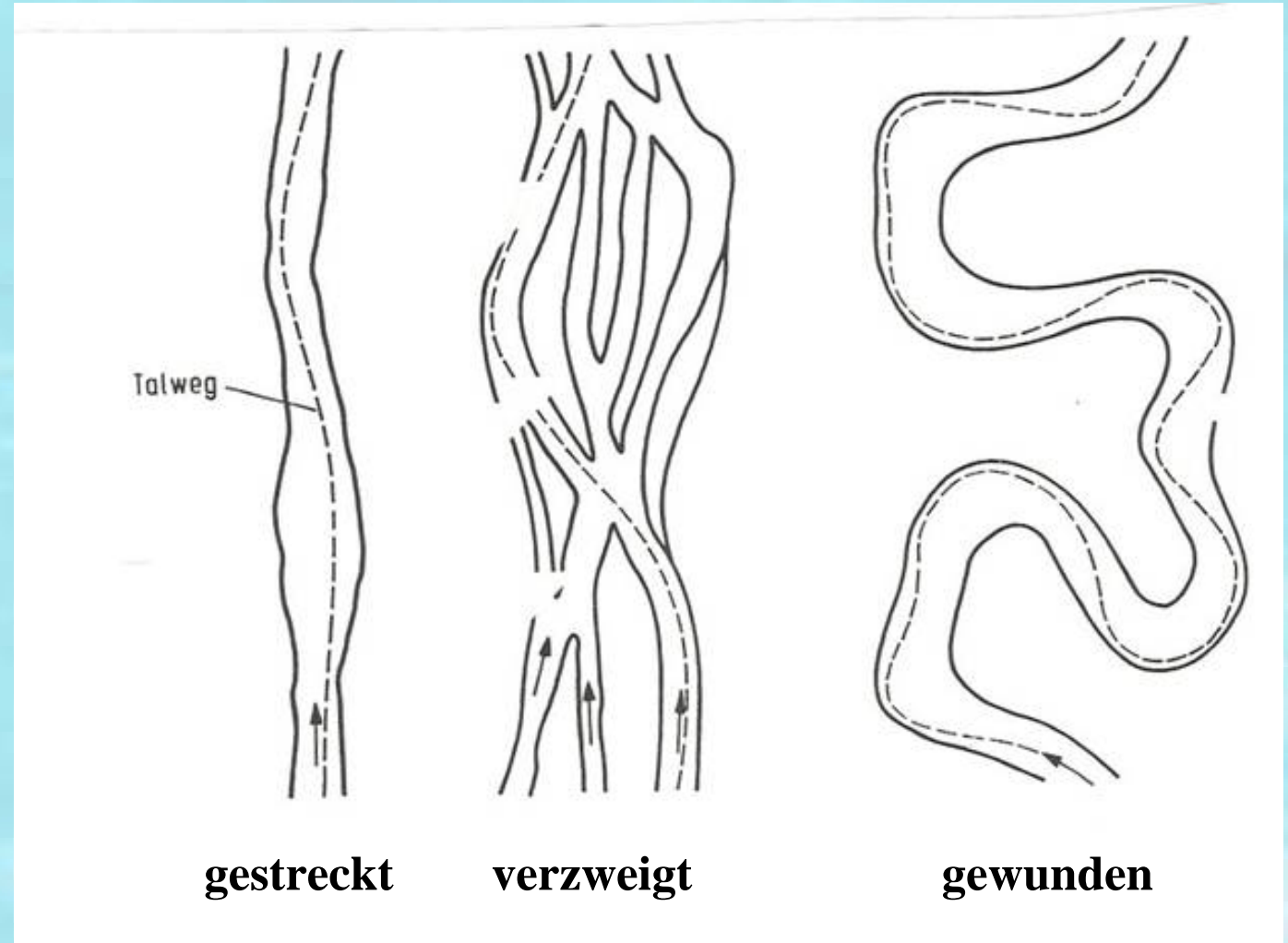


*Aus Beobachtung lassen sich funktionale Zusammenhänge  
für den morphologischen Zustand eines alluvialen Gewässers ableiten*



*Laufform:*

*Leopold/Wolman 1957*



*Laufform:*

*Leopold/Wolman 1957*

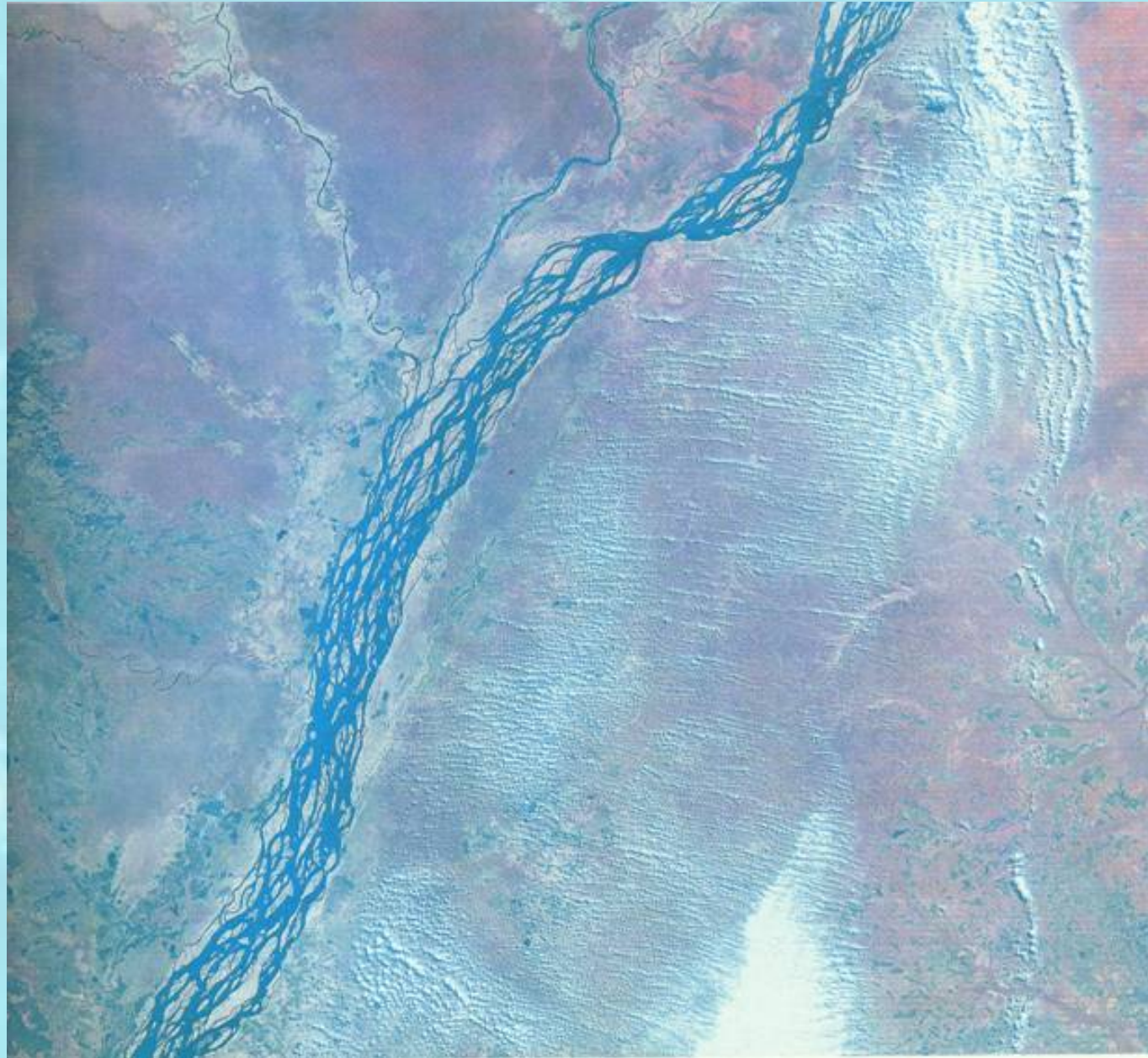


**Kushiro (Hokkaido)**

*Laufform:*

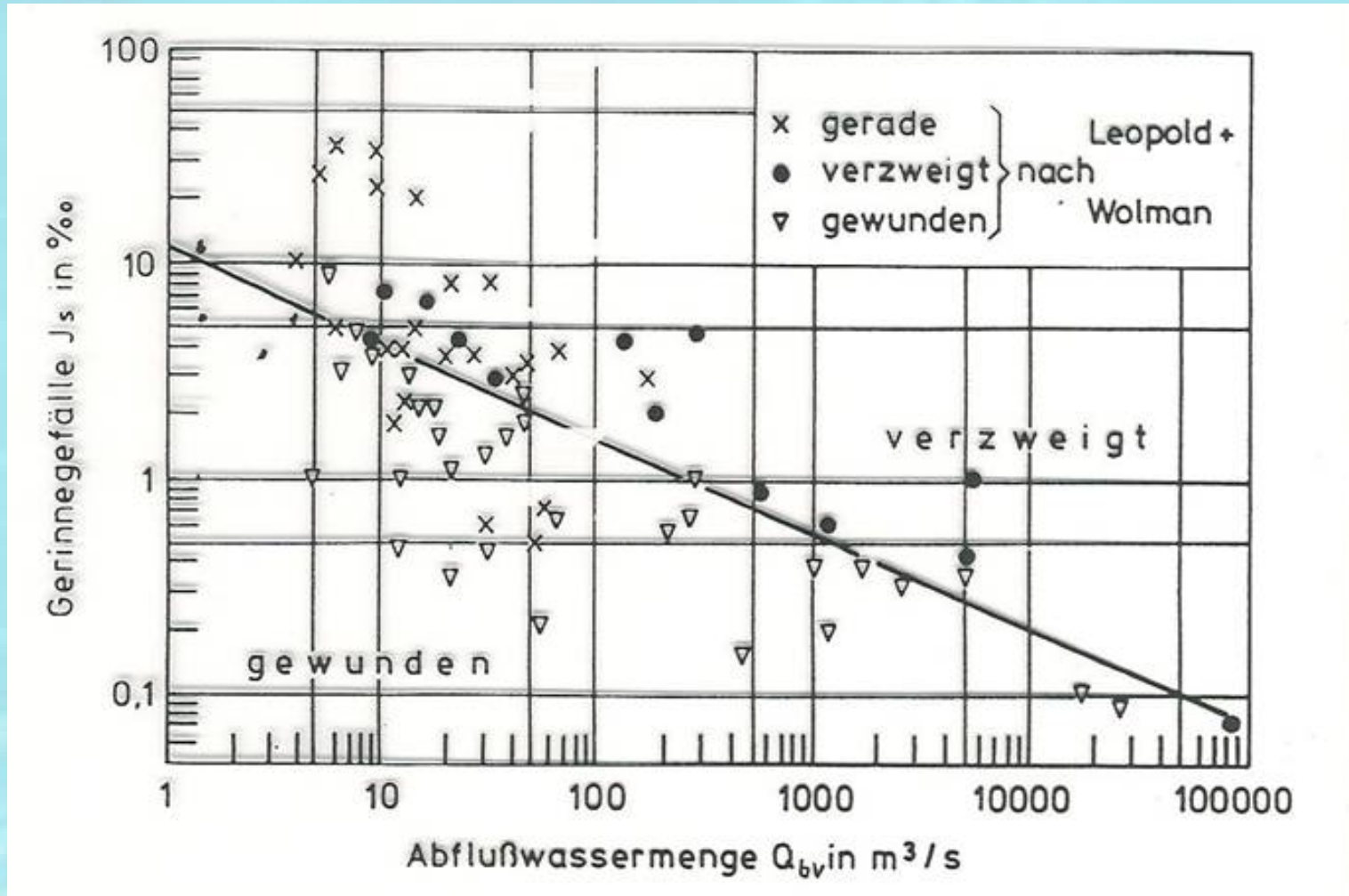
*Leopold/Wolman 1957*

Zaire



Laufform:

Leopold/Wolman 1957



$$I_{gr} = 0.012 Q_{bv}^{-0.44}$$

## Regime-Theorie

*Methode zur Bestimmung einer stabilen Flußmorphologie in alluvialen Fließgewässern mit*

*Dominierenden Abflußbedingungen*

*Bettbildender Abfluß*

***Bordvoller Abfluß***

**Laufform:**

Bei lehmhaltigen Böden:  $I_{gr} = 0.0028 Q_{bv}^{-0.34} \cdot \left(\frac{M}{100}\right)^{0.90}$  (Ferguson,1981)

Bei grobkörniger Sohle:  $I_{gr} = 0.002 Q_{bv}^{-0.46} \cdot d_{50}^{1.15}$  (Henderson,1961)

$I_{So} \leq I_{gr}$  → **Mäander**

$I_{So} > I_{gr}$  → **Verzweigtes Gewässer**

**Bordvoller Abfluss**

**Bodenverhältnisse**

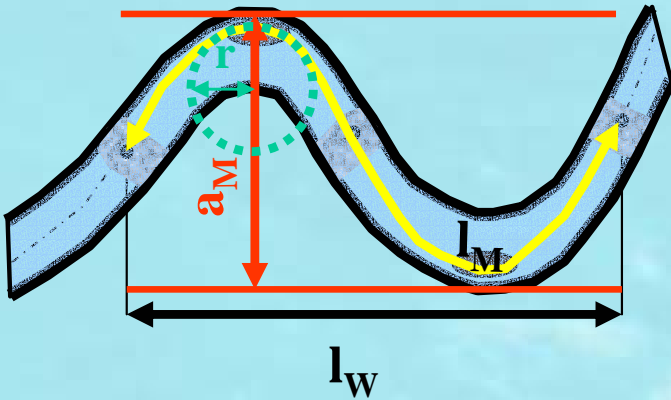
**Zufluss an Sediment**

$Q_{bv} = HQ_{1-2}$

**M in [%]**

**$Q_s$  in [m<sup>3</sup>/s]**





**Mäandrierungsgrad**

**Windungsfaktor**

$$c_W = l_M / l_W$$

$$l_W = 1,935 Q_{MQ}^{0.34} \cdot M^{-0.74} \quad (\text{Schumm,1968})$$

$$l_W = 618 Q_{bv}^{0.43} \cdot M^{-0.74}$$

$$l_W = 12.34 \cdot b_{bv} \quad (\text{Leopold/Wolman,1960})$$

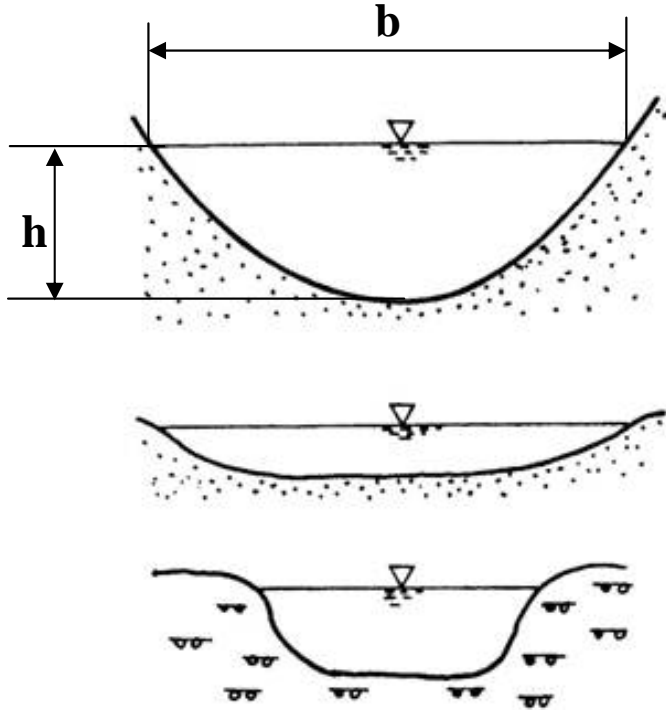
$$l_W = 4.59 r_M^{0.98}$$

$$r_M \approx 2 \div 3b$$

$$c_W = 0.94 M^{0.25} \quad (\text{Schumm,1963})$$

$$c_W = 3.5 F^{-0.27}$$

$$l_M = 17.2 b_{bv} \quad (\text{Leopold/Wolman,1960})$$



**für nicht-kohäsive Sohlstrukturen:**

$$h = 0.42 \cdot Q_{bv}^{0.4} \cdot d_{90}^{-1.2} \quad (\text{Kellerhals, 1967})$$

**für kohäsive Sohlstrukturen:**

$$h = 0.03 \cdot Q_{bv}^{0.35} \cdot M^{0.6} \quad (\text{Schumm, 1968})$$

$$b = 25.5 \cdot Q_{bv}^{0.58} \cdot M^{-0.6}$$

**Formfaktor  $c_F$ :**

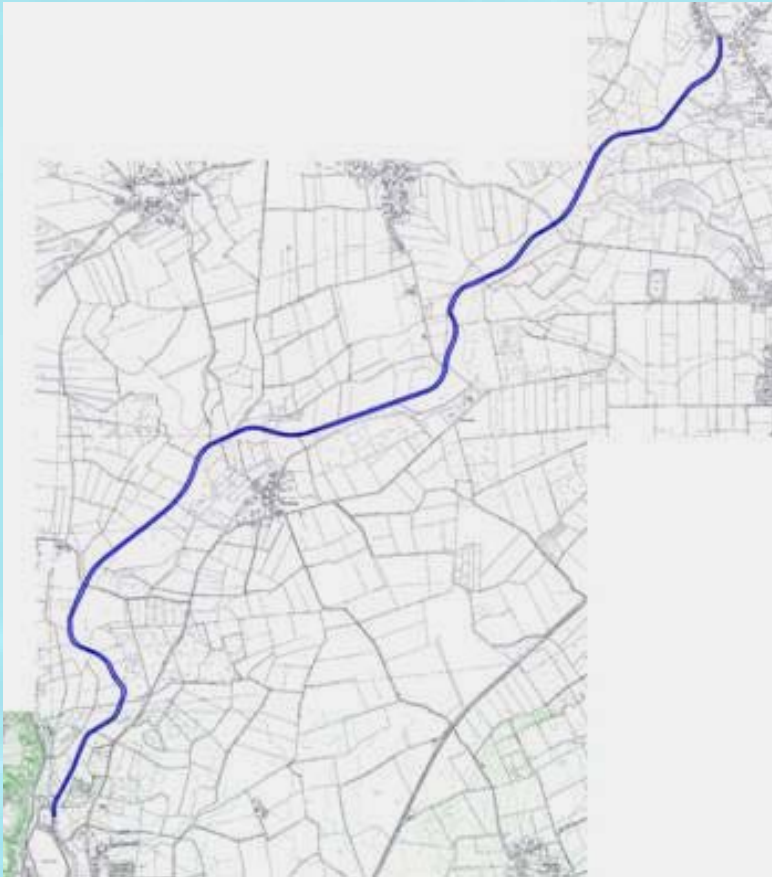
$$c_F = 255M^{-1.08} \quad (\text{Schumm, 1960})$$

$$c_F = 800 \cdot Q_{bv}^{0.15} \cdot M^{-1.2} \quad (\text{Schumm, 1968})$$

**Formfaktor**

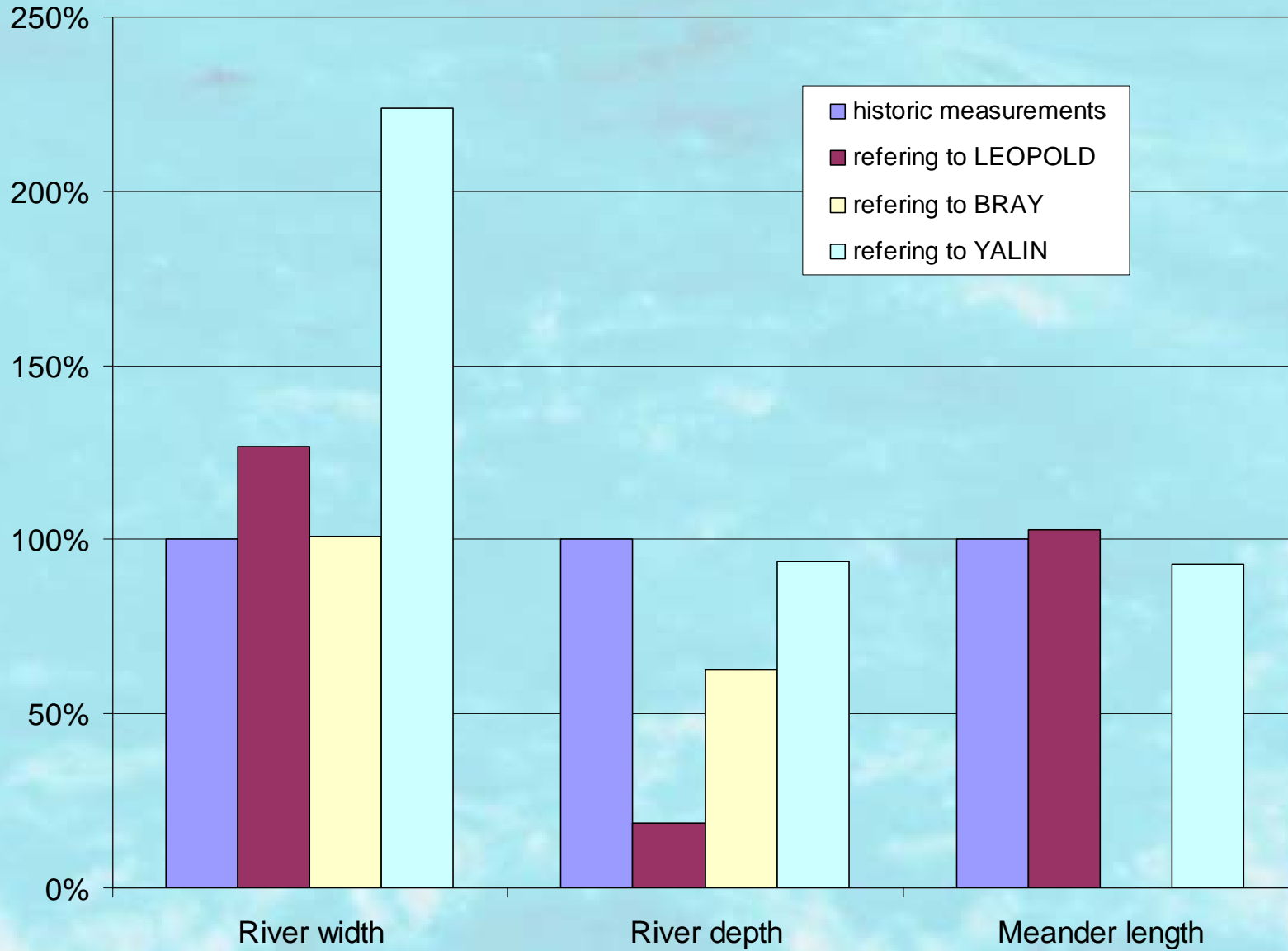
$$c_F = b/h$$

## Status Quo



## Historischer Zustand





**Morphologischer Gewässerzustand vom bettbildenden Abfluss abhängig**

**bettbildender Abfluss unterliegt anthropogenen Einflüssen im gesamten Einzugsgebiet**

**Potentiell-natürlicher Zustand nicht ableitbar, wenn nicht der natürliche bettbildende Abfluss bekannt ist**

**Faktisch nur mit Hilfe von Flussgebietsmodellen quantifizierbar**

**Anwendung der Erkenntnisse auf den Unterlauf der Dhünn**

**Forschungs- und Entwicklungsvorhaben:**

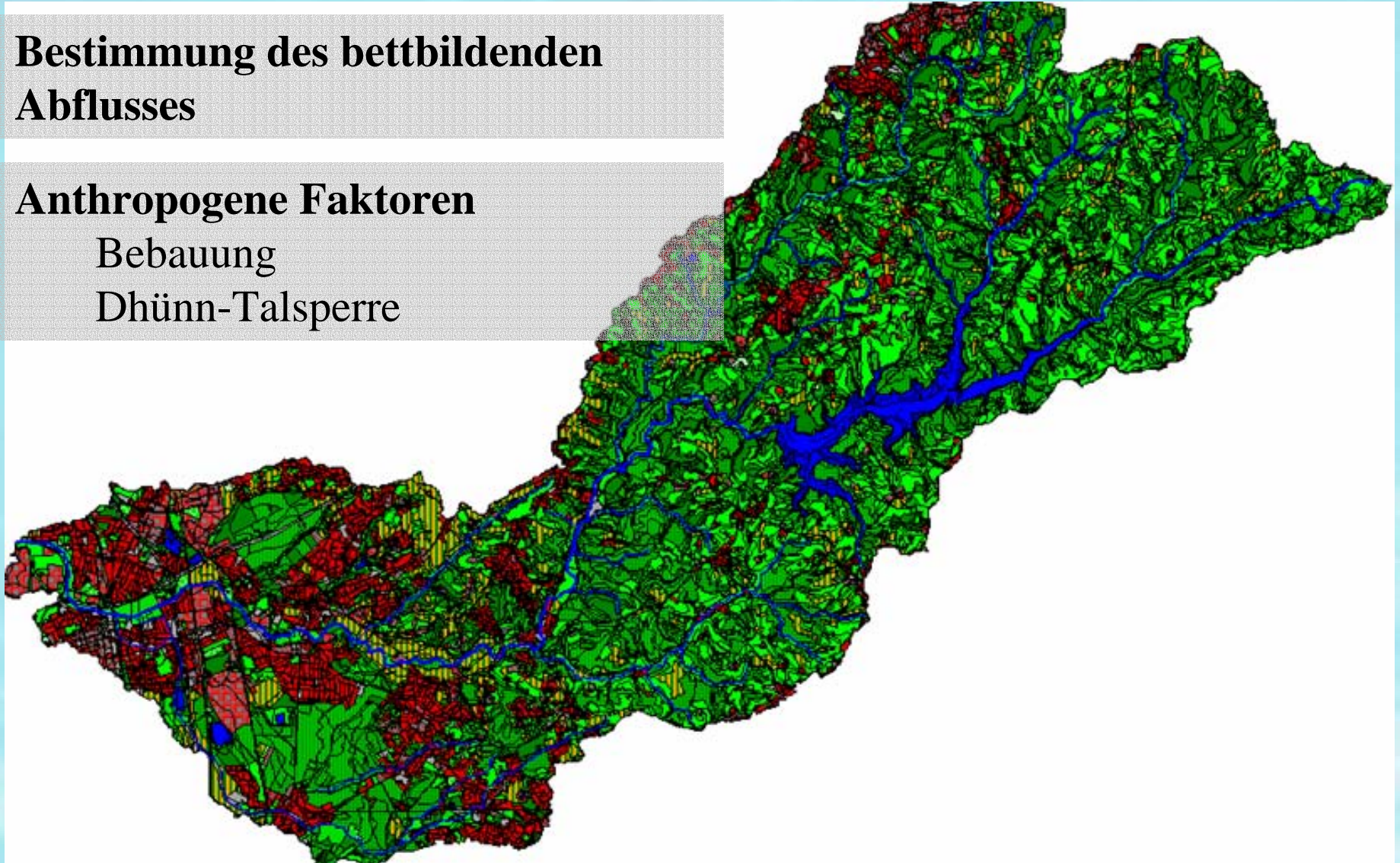
***Pilotmaßnahme zur strukturellen Verbesserung der Salmoniden-Laichgebiete in der Dhünn***

**Bestimmung des bettbildenden  
Abflusses**

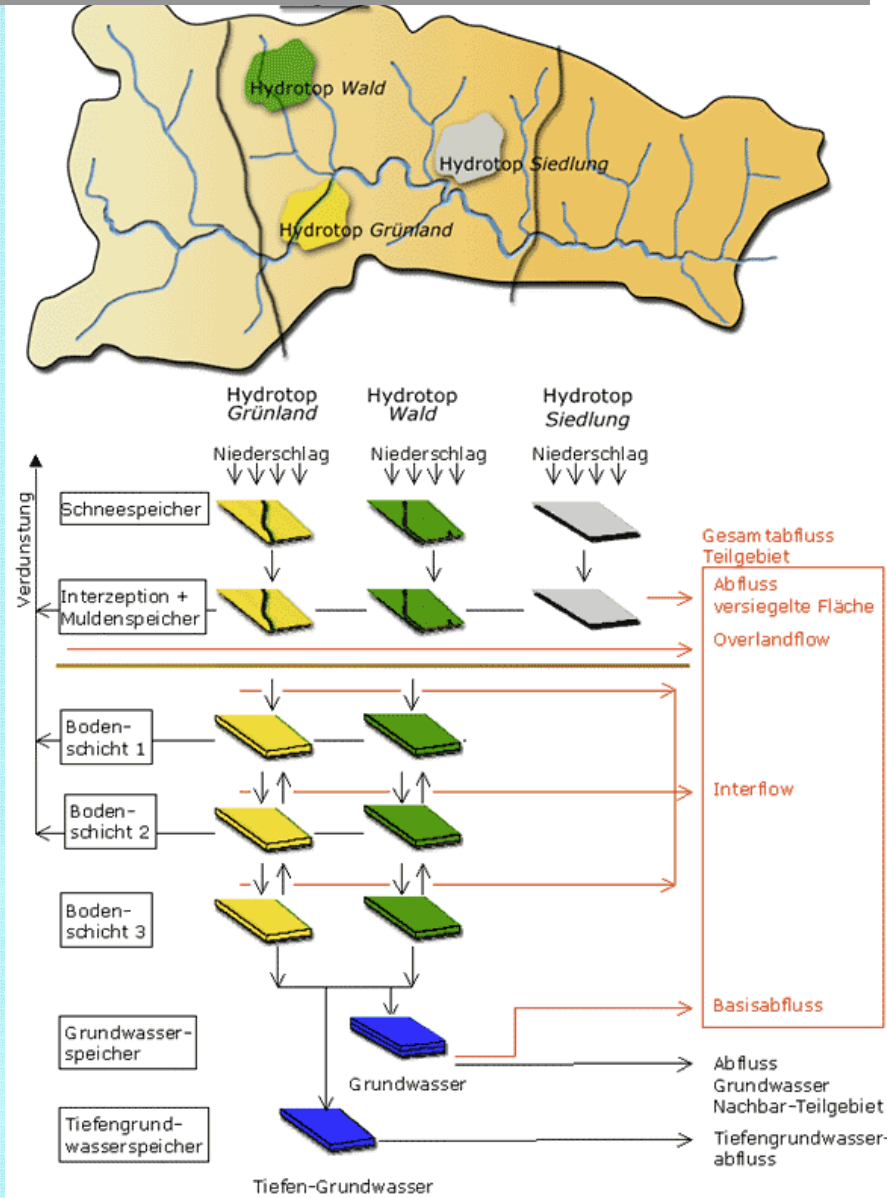
**Anthropogene Faktoren**

Bebauung

Dhünn-Talsperre



Stand der Technik in hydrologischer Modellierung



Deterministisches, detailliertes Niederschlag-Abfluss-Modell

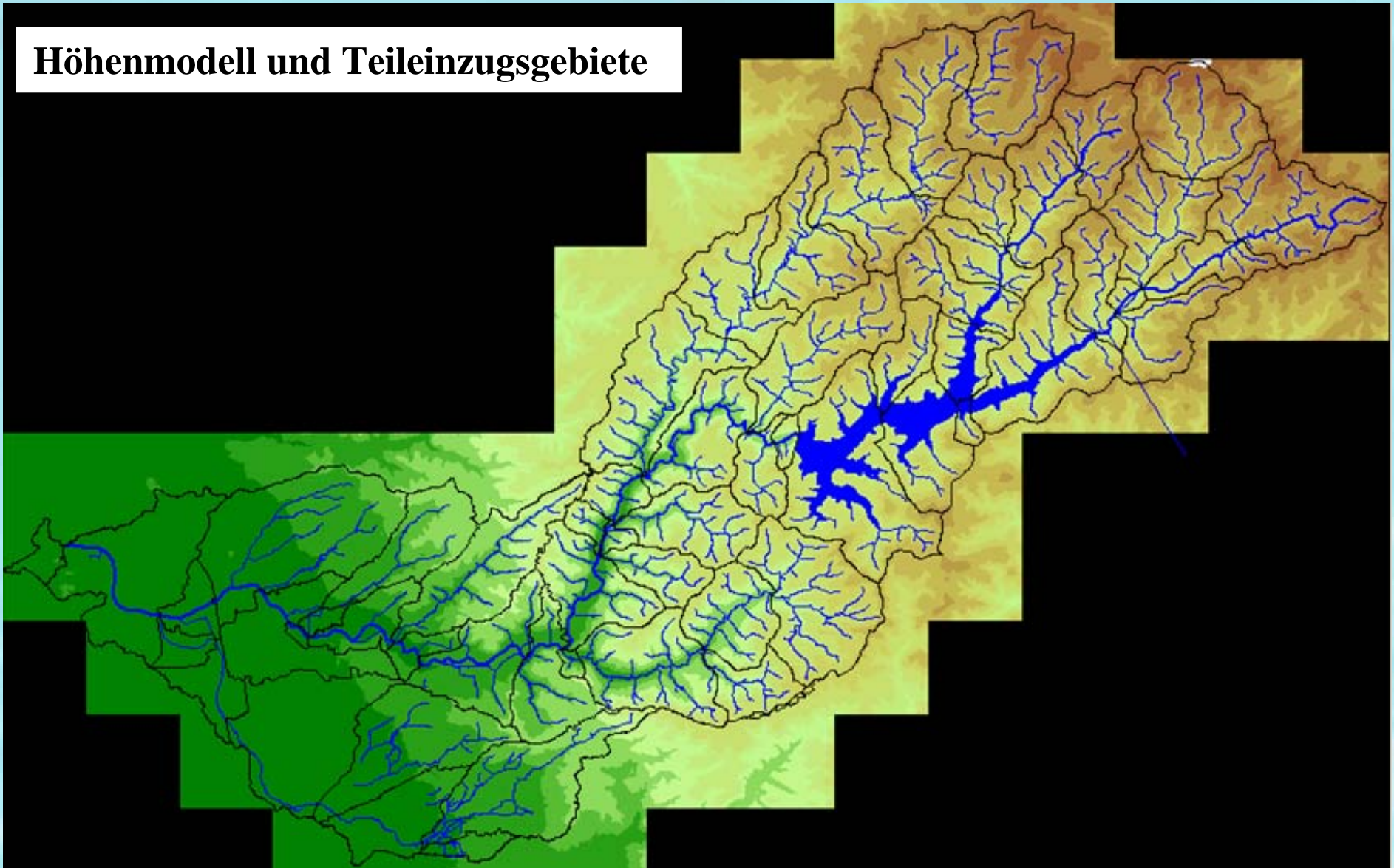
Horizontale Prozesse

Netzwerk aus Teileinzugsgebieten, Gewässerstrecken, Speicherelementen und Entwässerungsknoten

Vertikale Prozesse

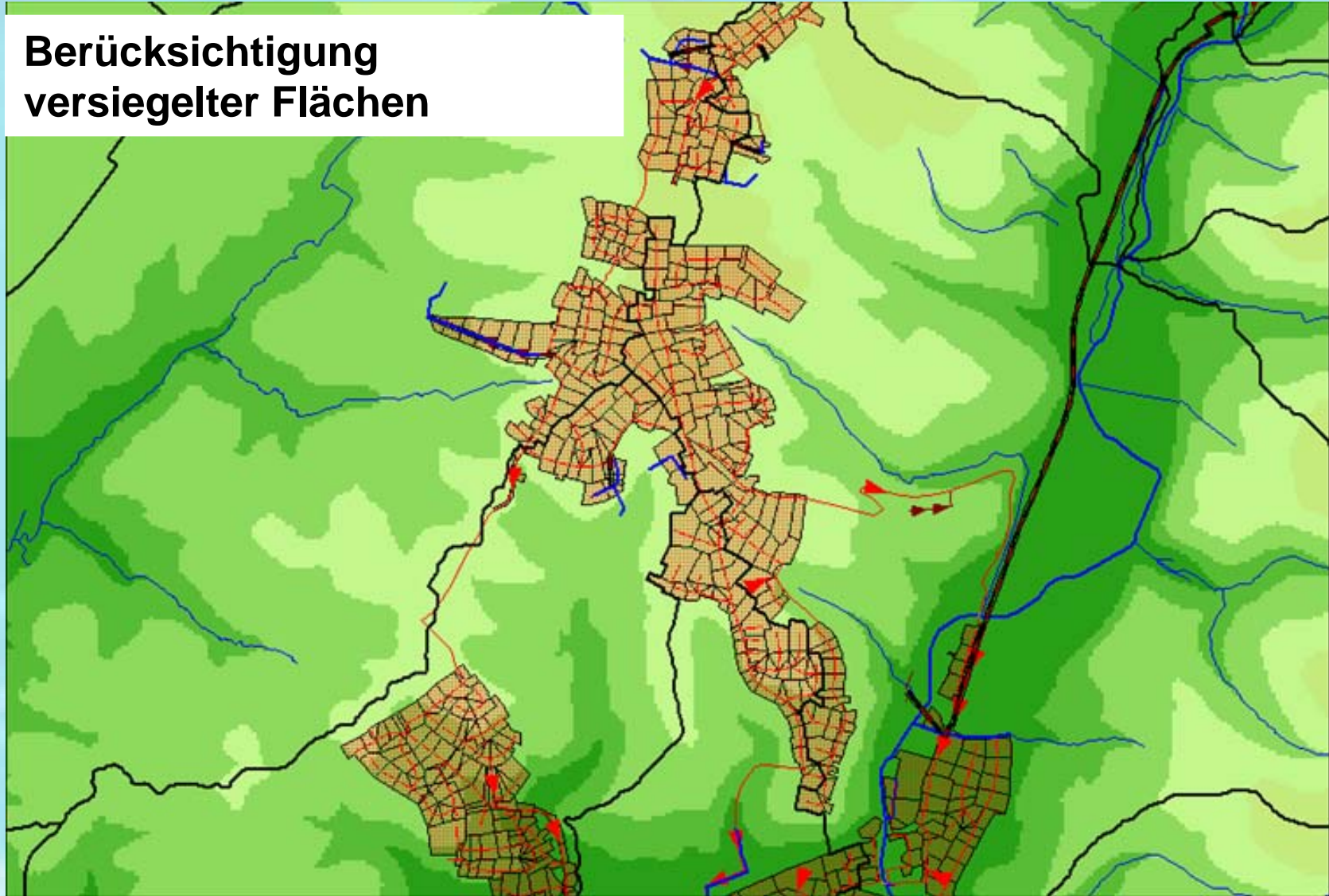
Kaskade aus untereinander angeordneten Speicherelementen

**Höhenmodell und Teileinzugsgebiete**

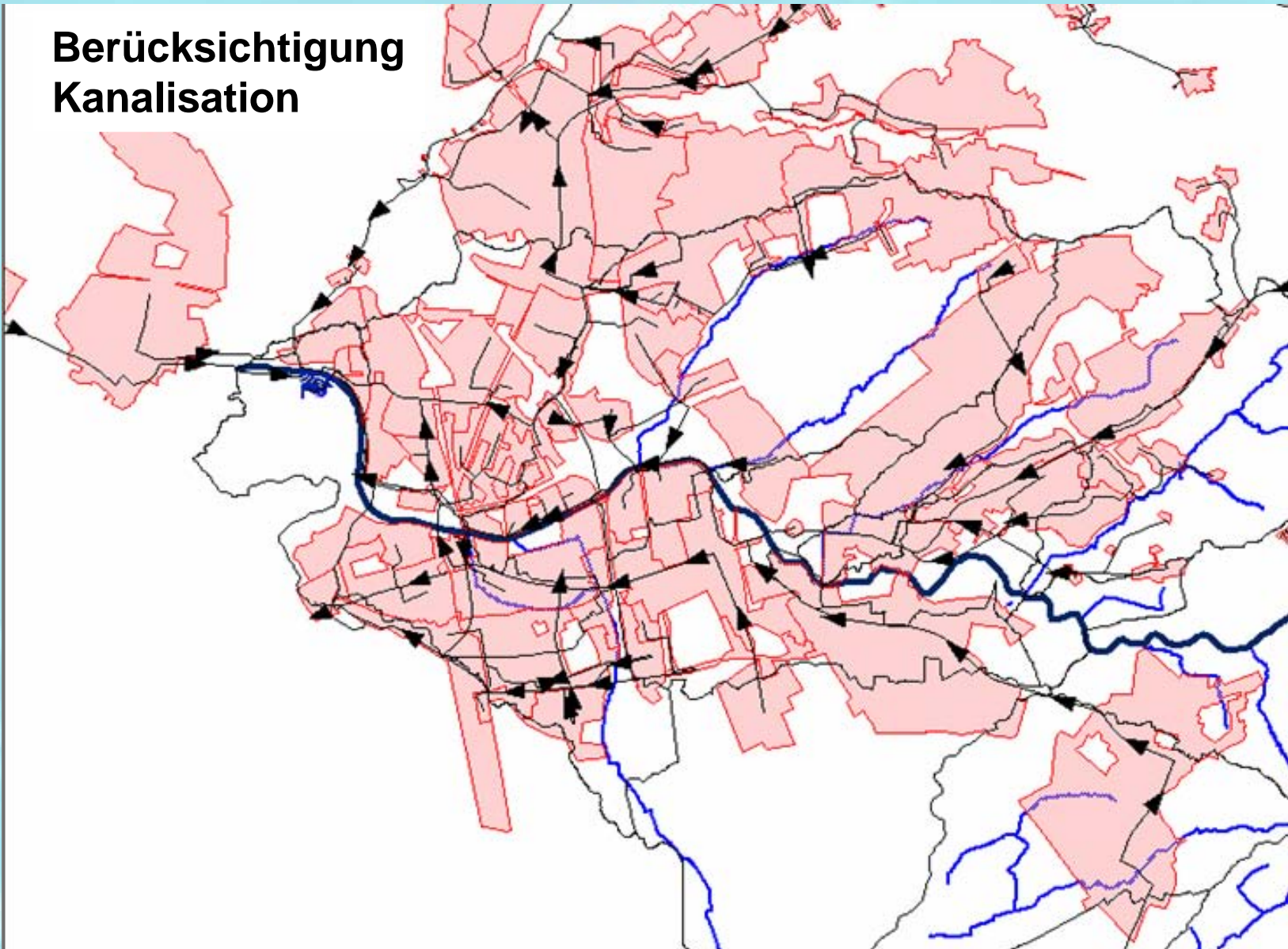


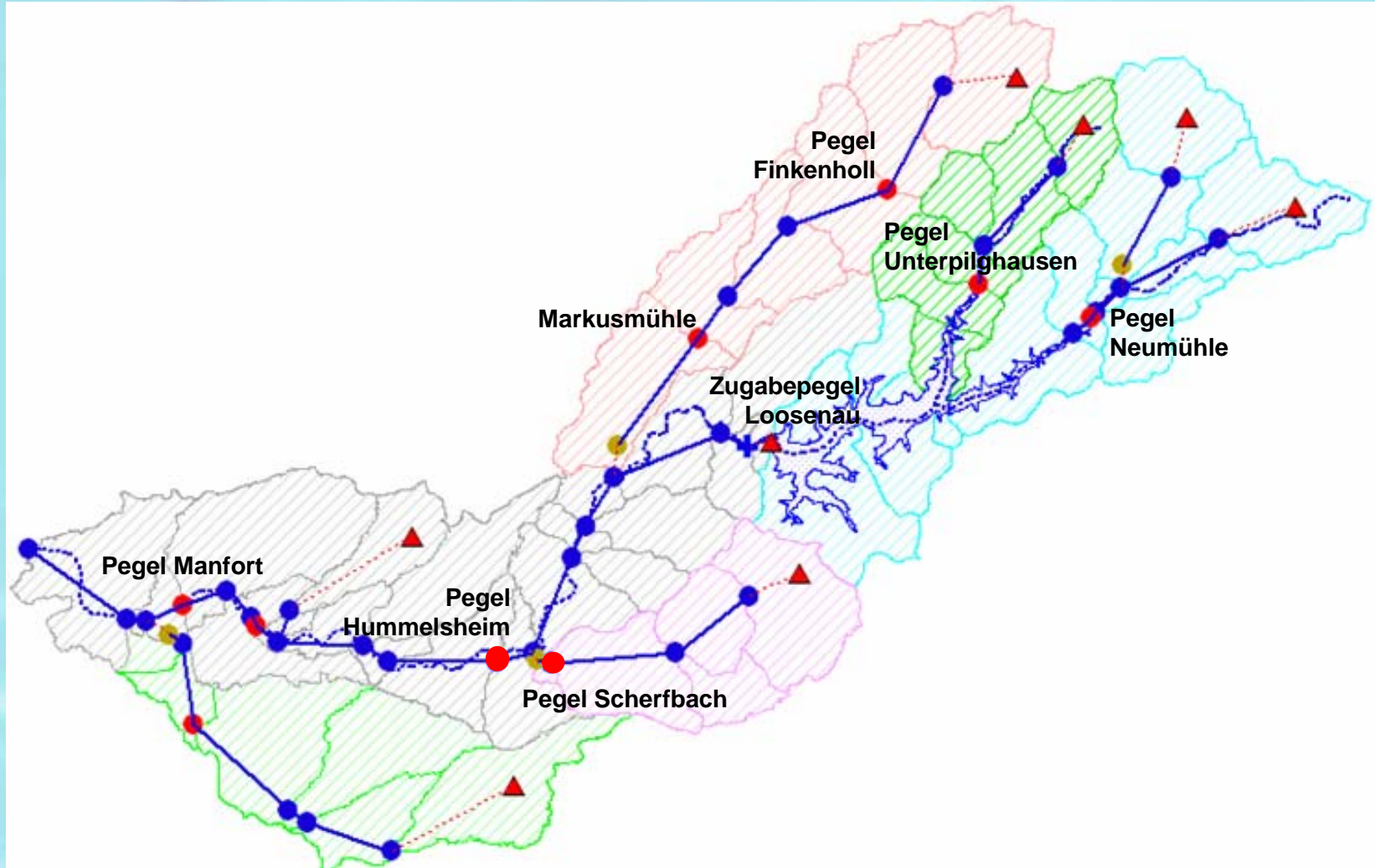


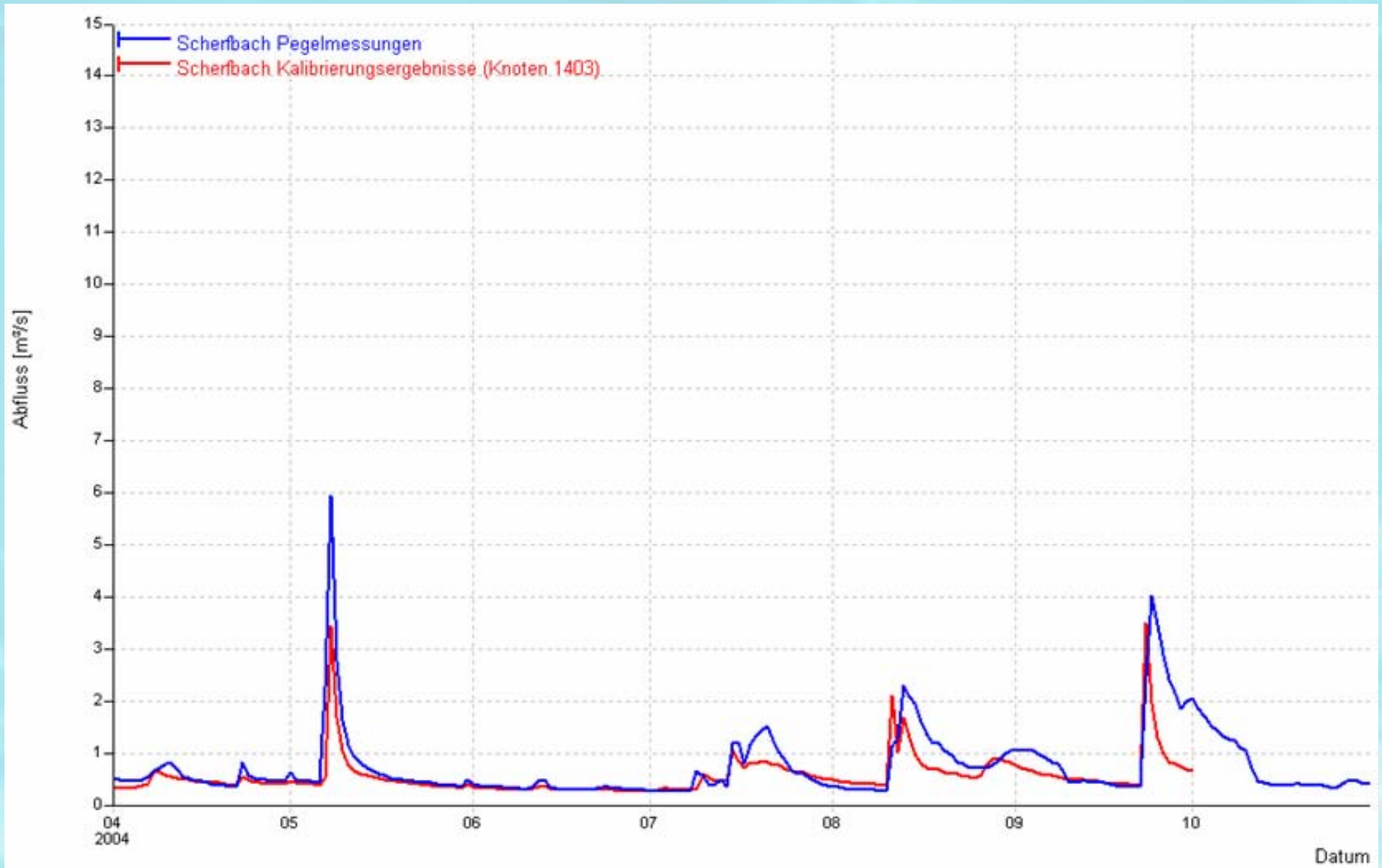
**Berücksichtigung  
versiegelter Flächen**

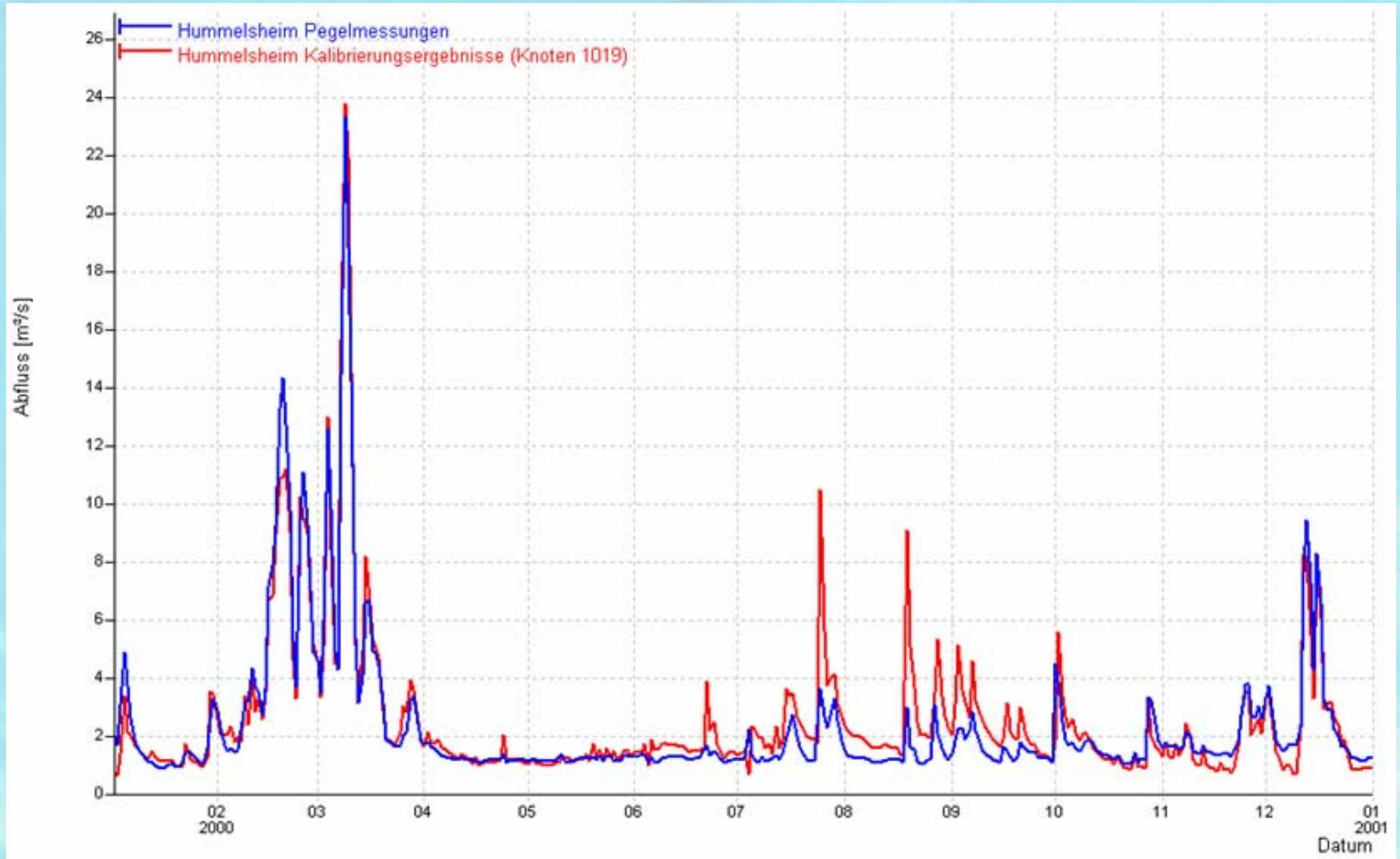


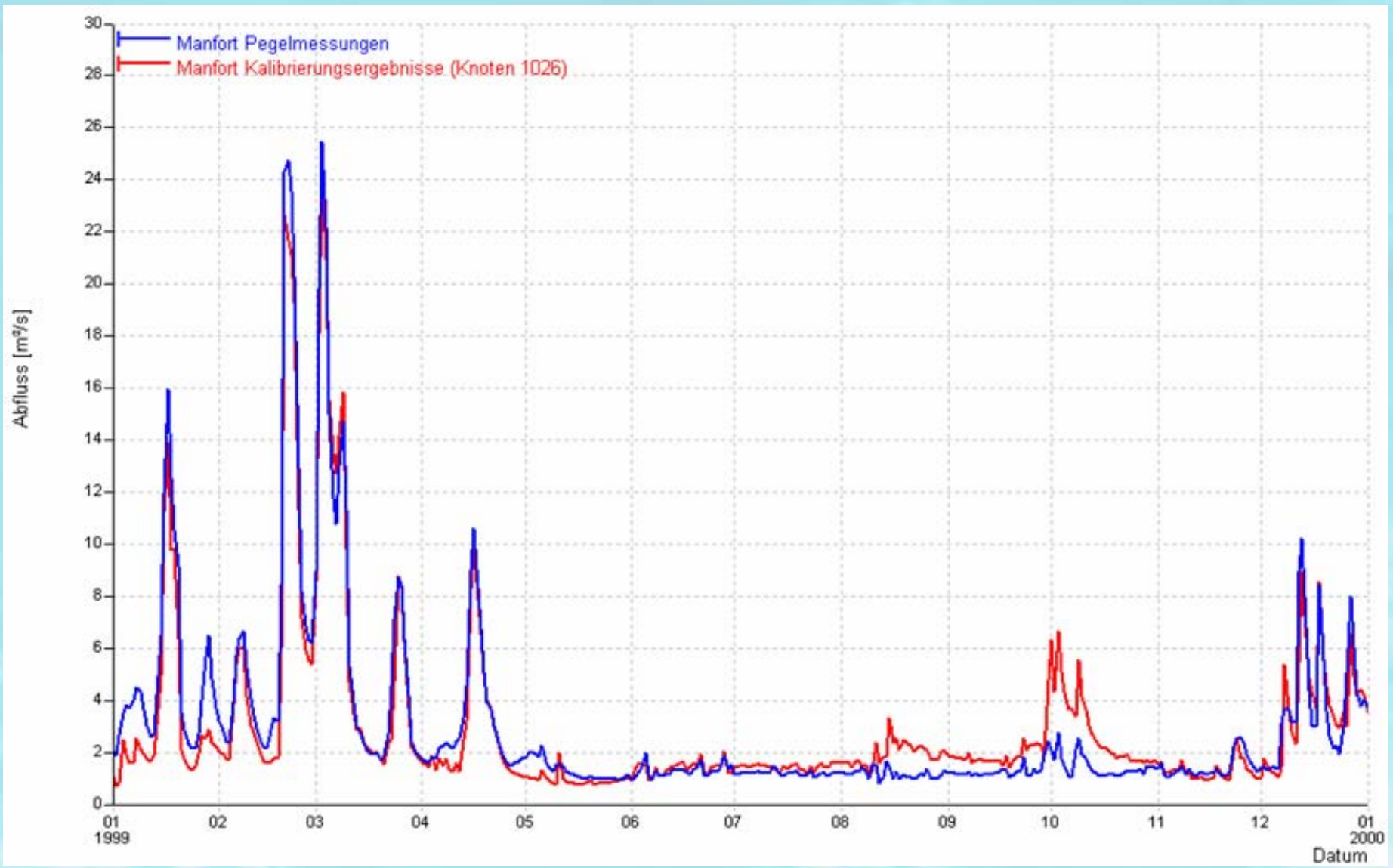
**Berücksichtigung  
Kanalisation**

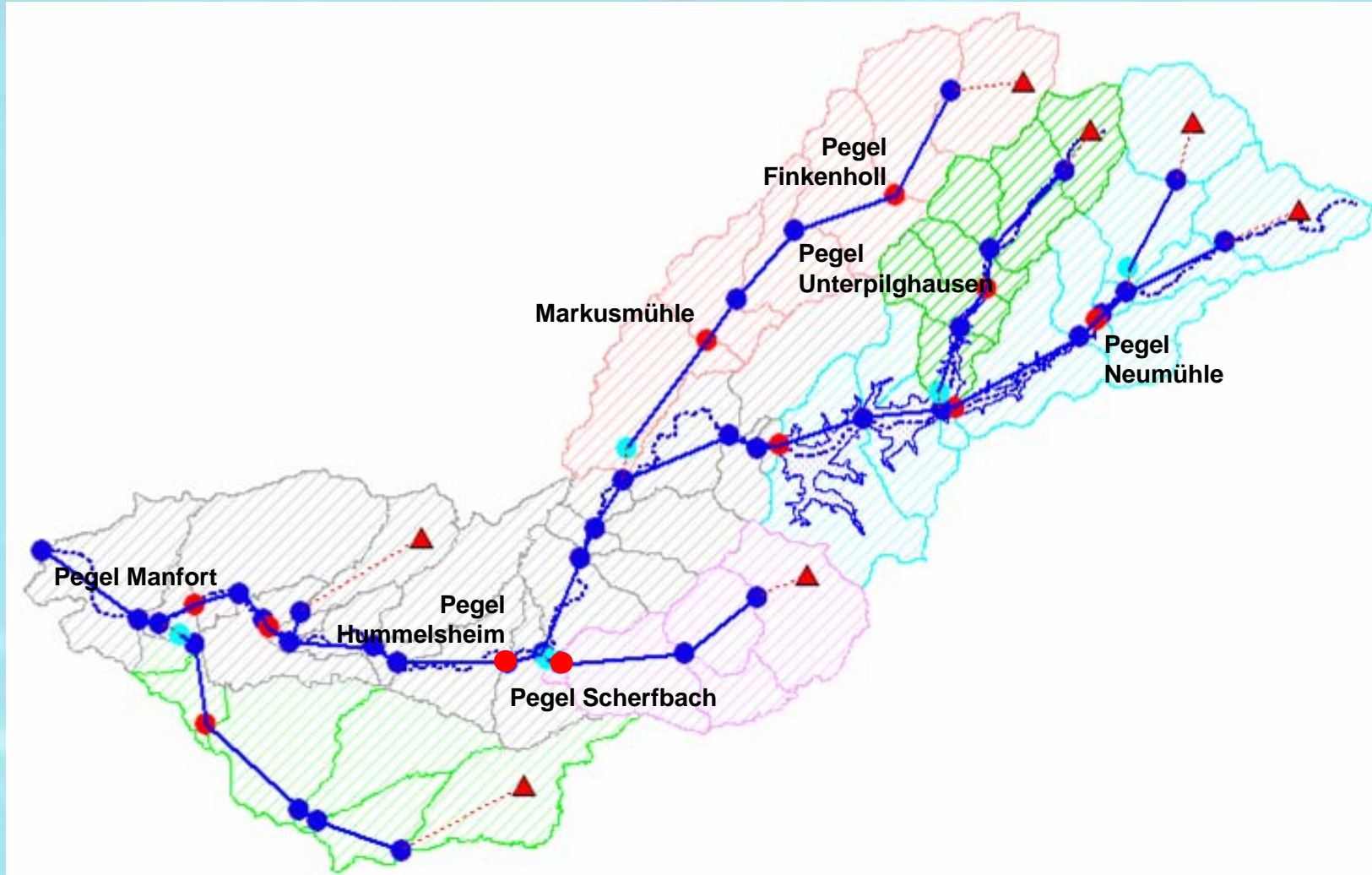


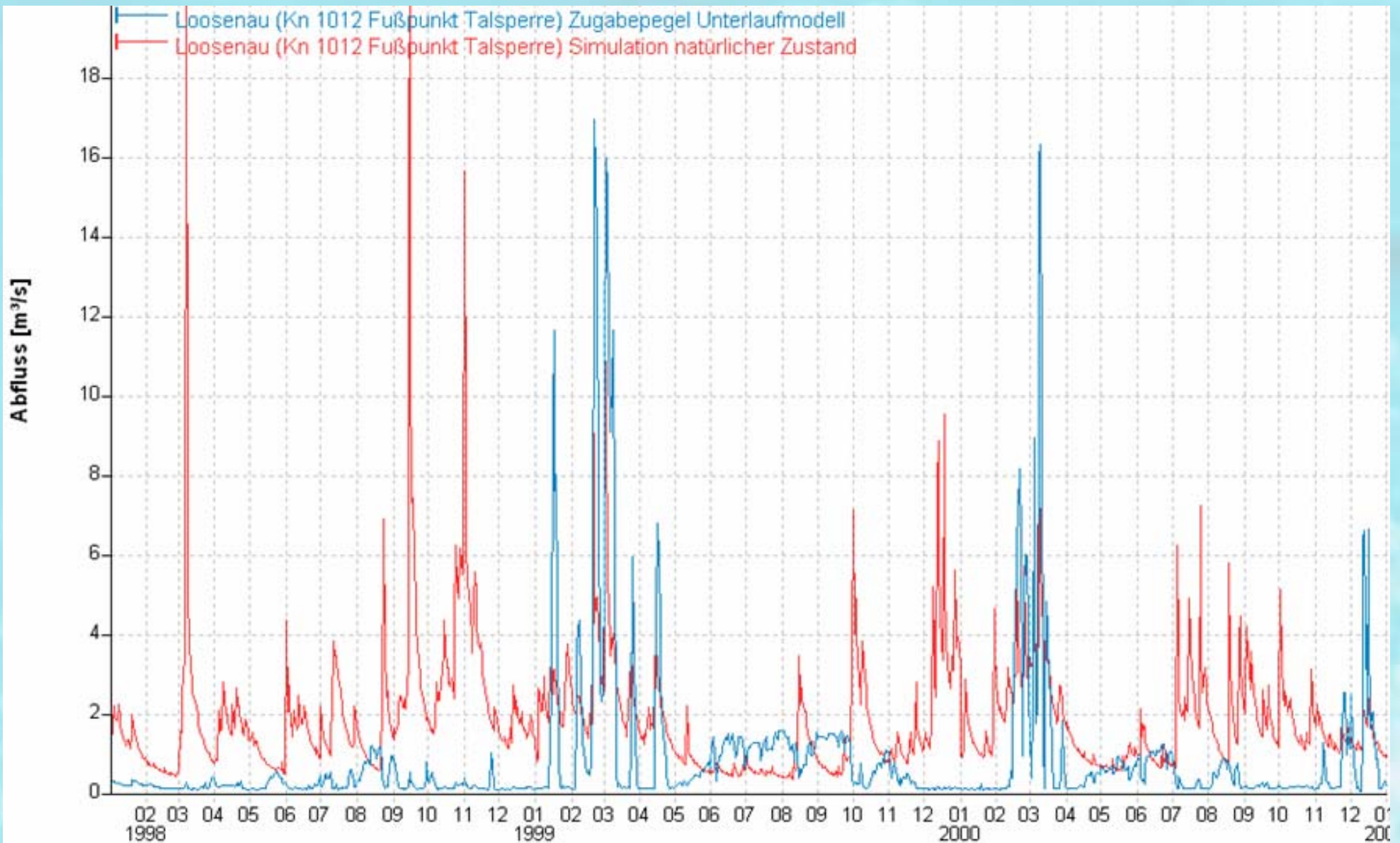




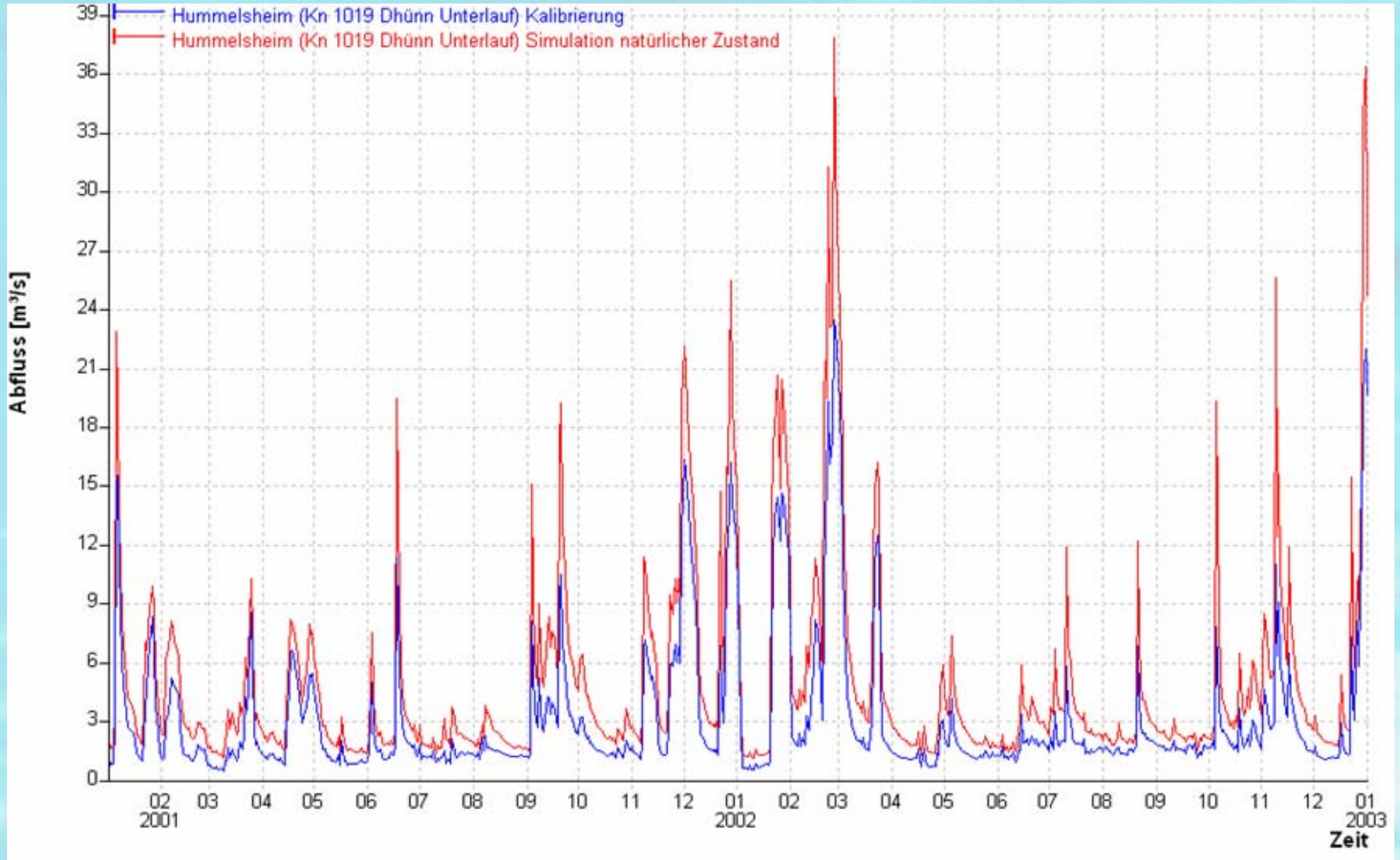


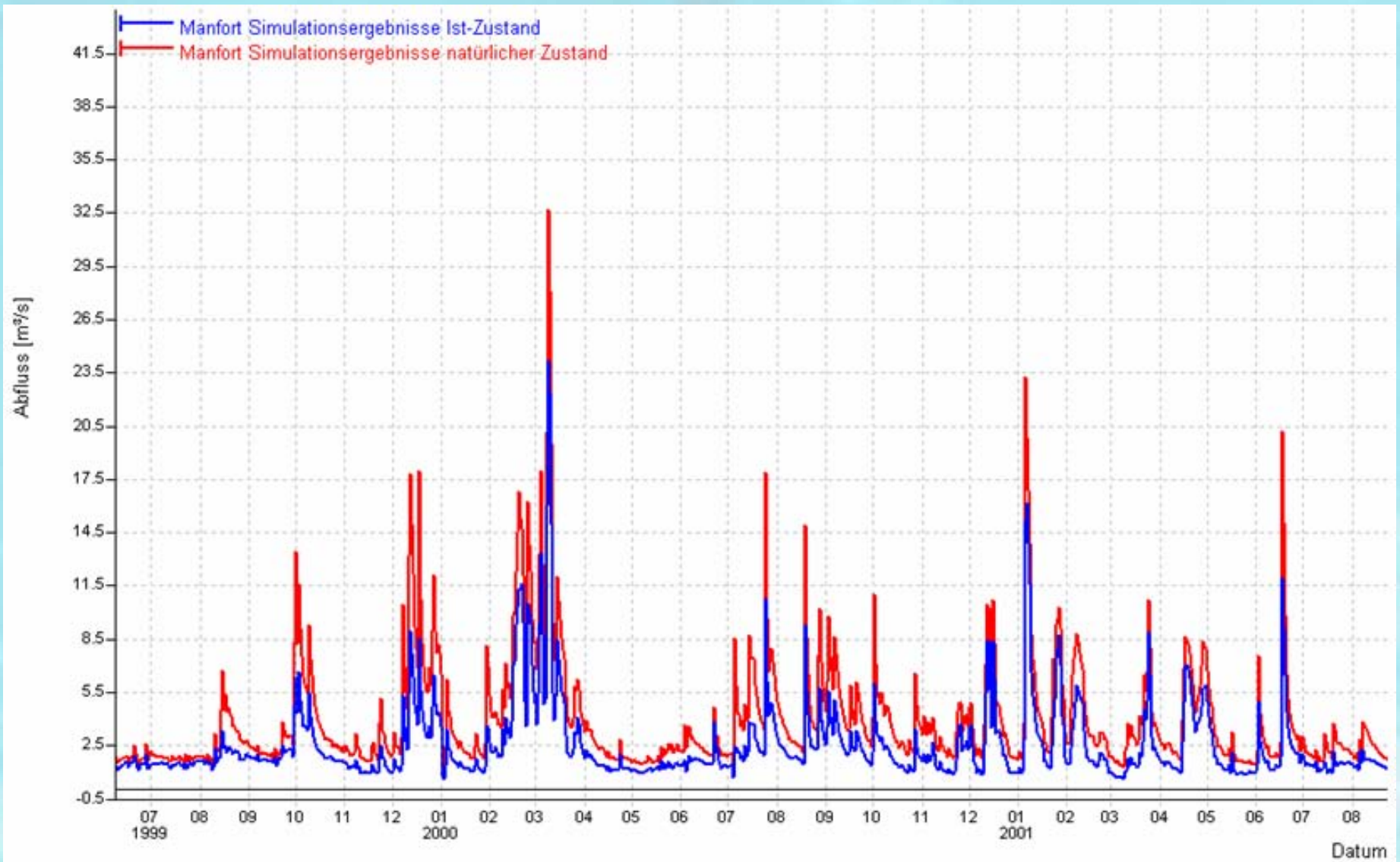






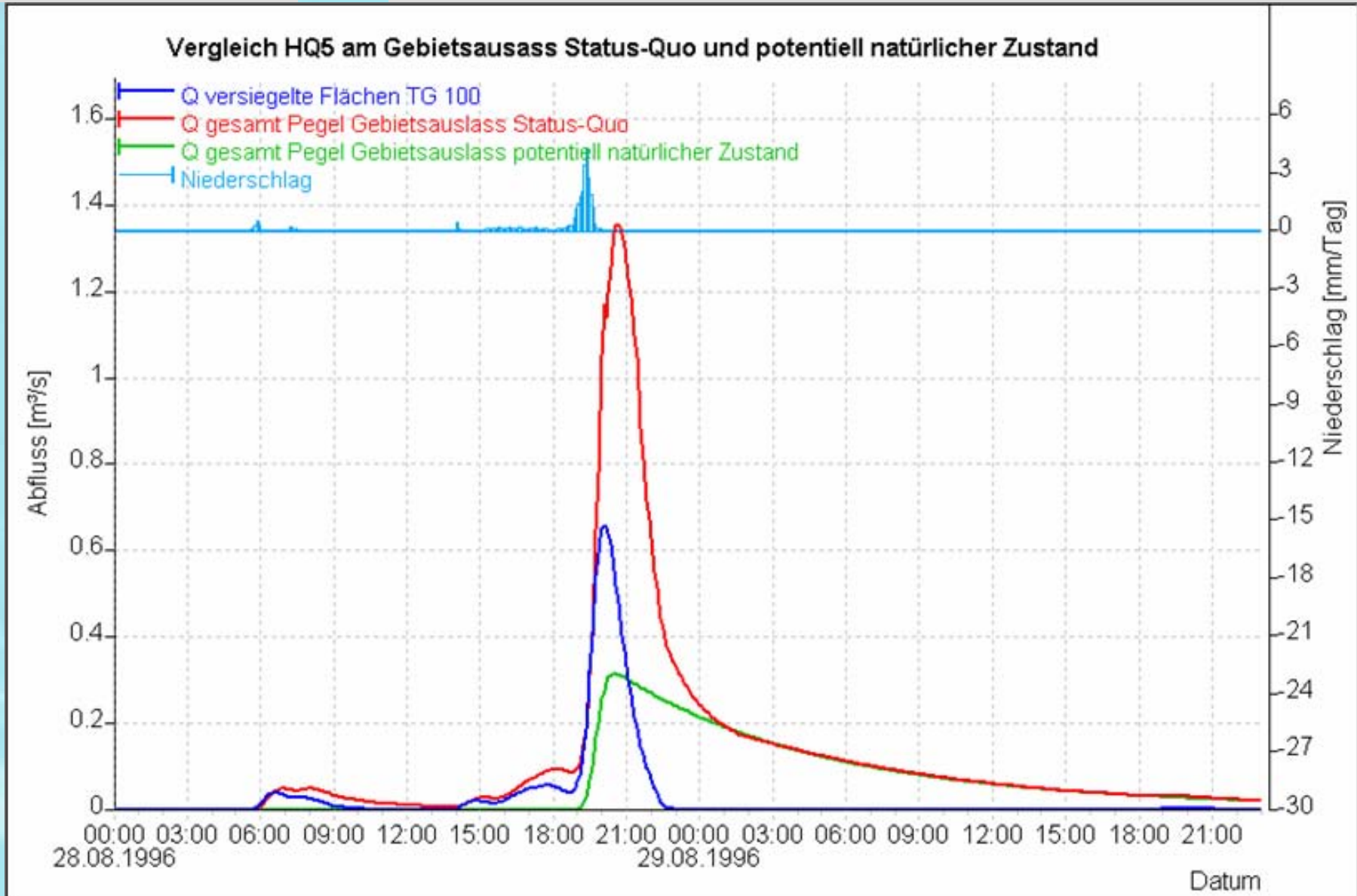




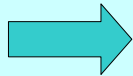


**Kurzfristsimulation**

**Vergleich zwischen natürlichem Zustand und Status Quo**



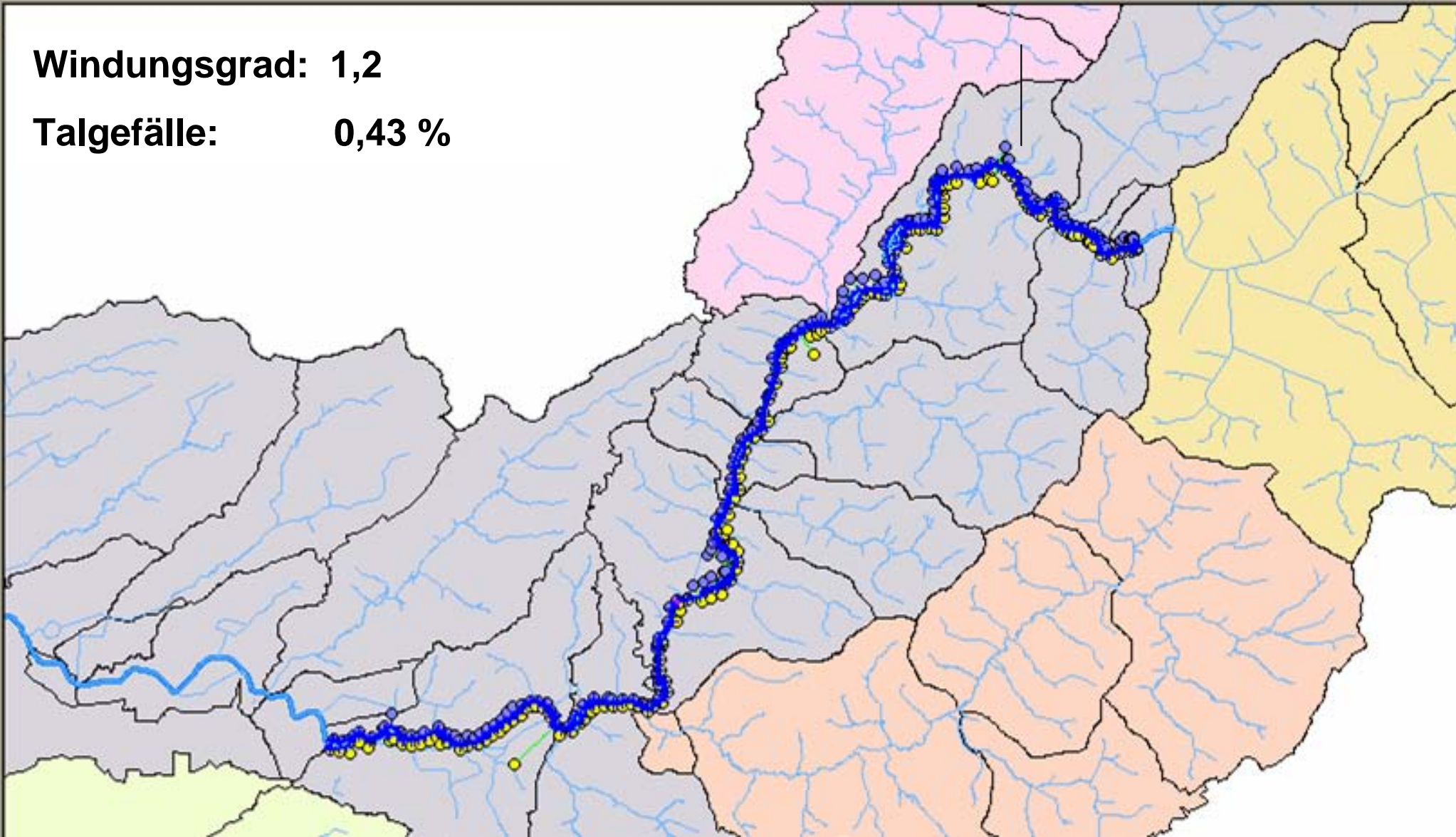
**Vergleich der morphodynamischen Verhältnisse  
auf der Basis der Regime-Theorie**



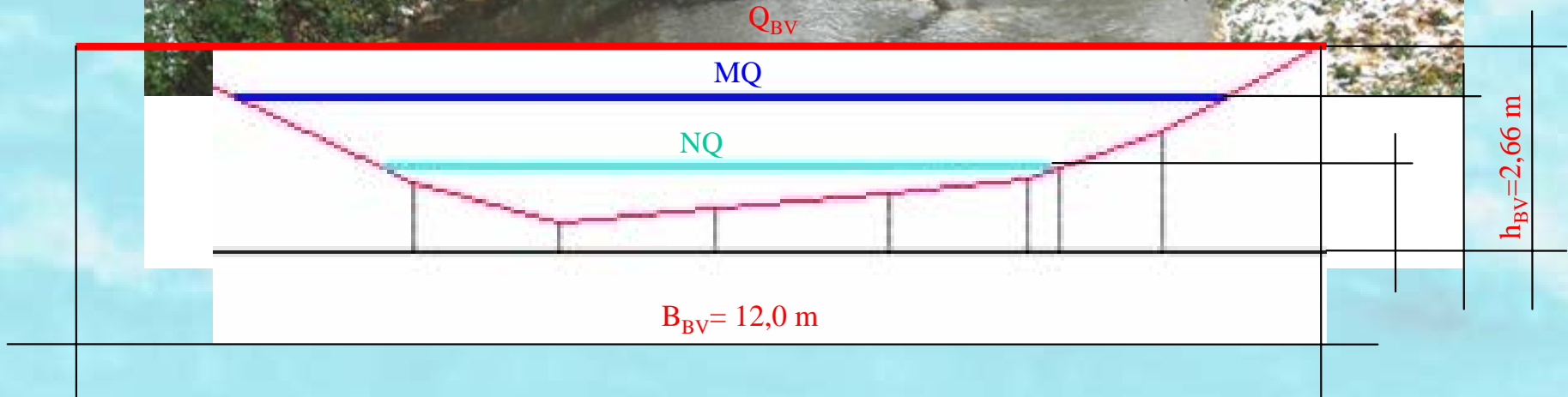
**Für den aktuellen und natürlichen Zustand**

Windungsgrad: 1,2

Talgefälle: 0,43 %



Formfaktor: 4,51



Zustand	Natürlich	Status Quo
Bordvoller Abfluss	30,00	20,00
Talgefälle	0,01	0,00
Lehmgehalt	40	?
Formfaktor	15,93	4,51
Windungsgrad	1,66	1,20
Regime-Gefälle	0,0035	0,0035
Grenz-Gefälle	0,0004	0,0004
channel pattern	verzweigt	schwach gewunden
Mäander-Länge	174,03	
Mäander-Wellenlänge	288,47	
max. Breite Gewässerbett	20,05	12,00
max. Wassertiefe	1,26	2,66

## Wiederherstellung des natürlichen Abflusses

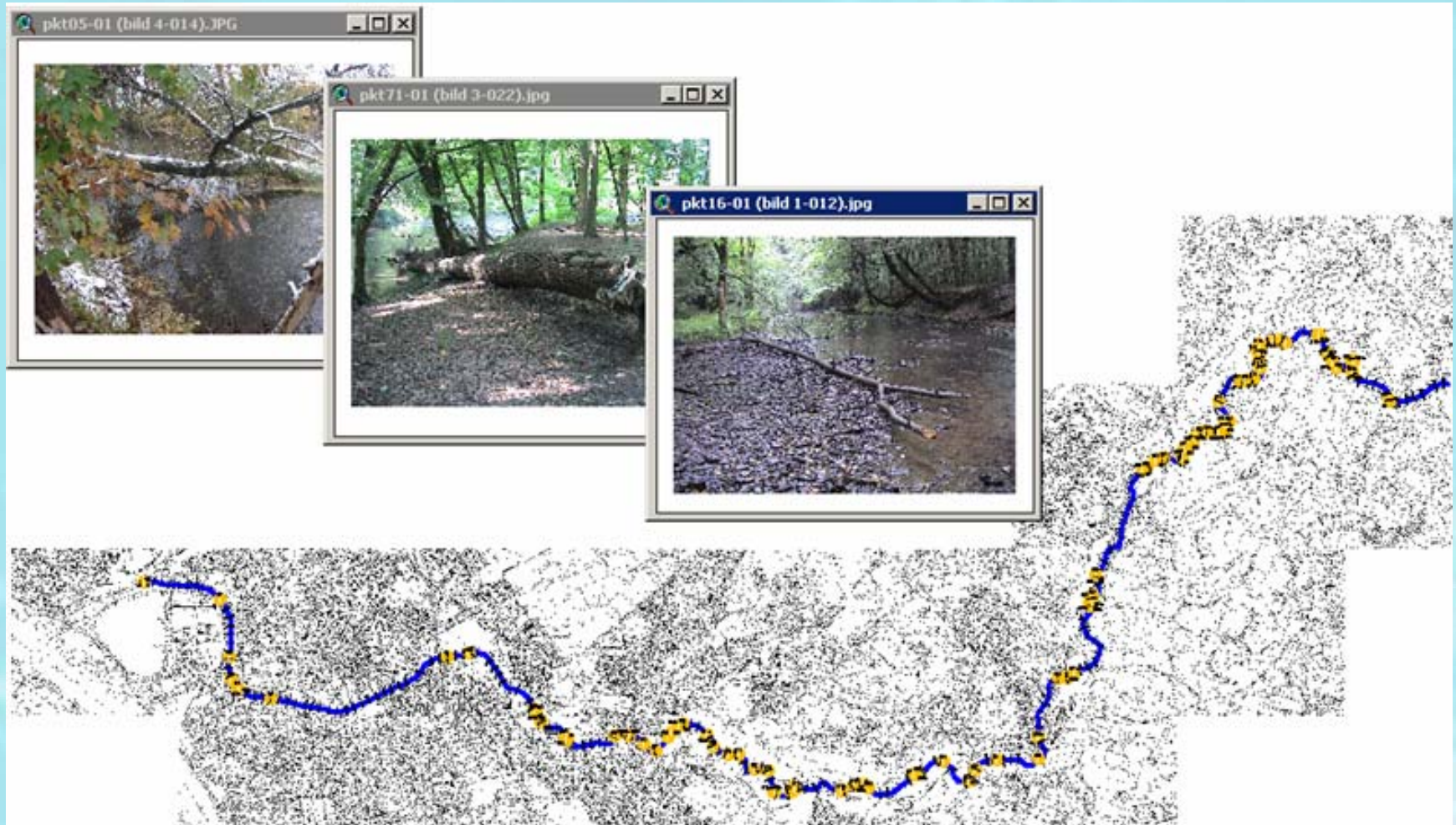
- **Dynamisierung des Regelabflusses aus der Dhünntalsperre**
- **Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung**

## Wiederherstellung der Erosions- und Sedimentationsdynamik

- **Entfernen von Uferverklammerungen**
- **Einbringung und Sicherung von Totholzstrukturen**
- **Bepflanzung mit Einzelgehölzen (Erlen- und Weidenköpfe)**
- **Strömungseinengungen durch Sohlbänke, natürlichen Bühnen und Sohlschwellen**
- **gezielte Zugabe von Geschiebe im Unterwasser der Dhünntalsperre**



## Totholzkartierung




(Datensatz übergeben Dez. 2004)

Totholzbestand in der Dhünn:  
insgesamt **144** Totholzelemente bei ~24 Fließkilometer

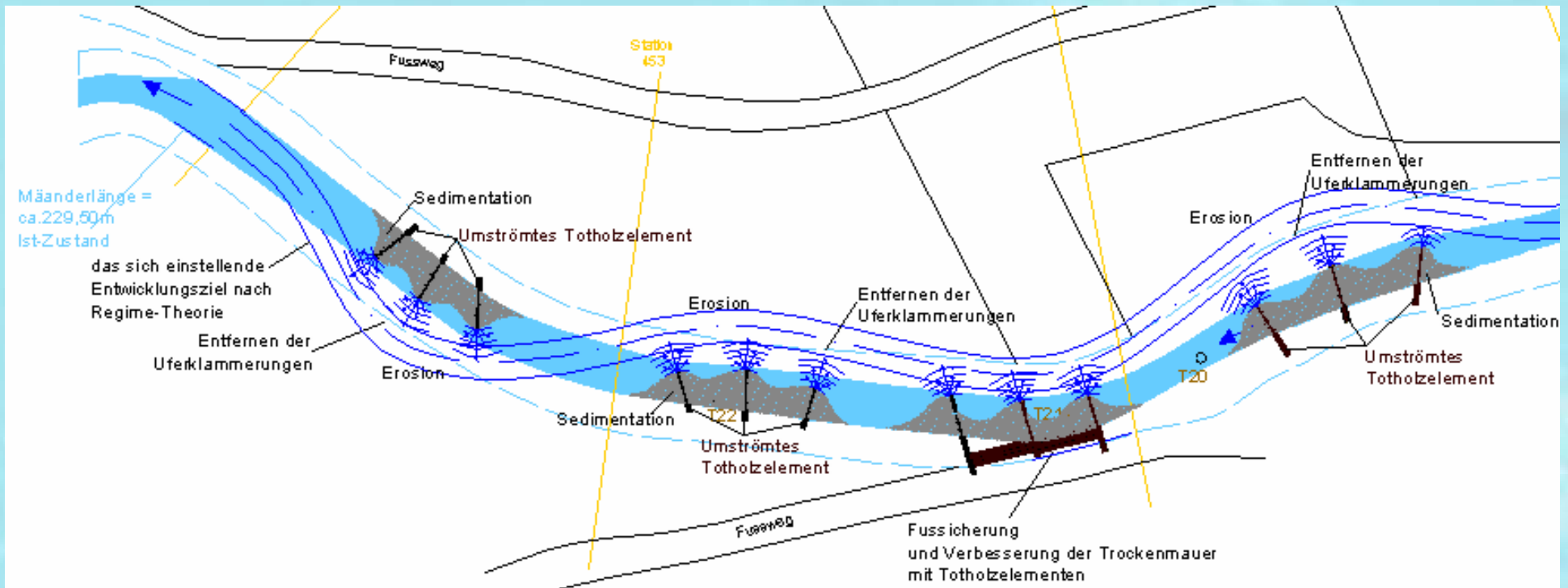
 **0,21** „große“ Totholzelemente pro Fließkilometer

Vergleich:  
in amerikanischen und kanadischen natürlichen Systemen  
Totholzdichte im Bereich von:

 **200 bis 600** pro Flusskilometer

(Def. „groß“:  $D > 0,5\text{m}$   $L < 5\text{m}$ )

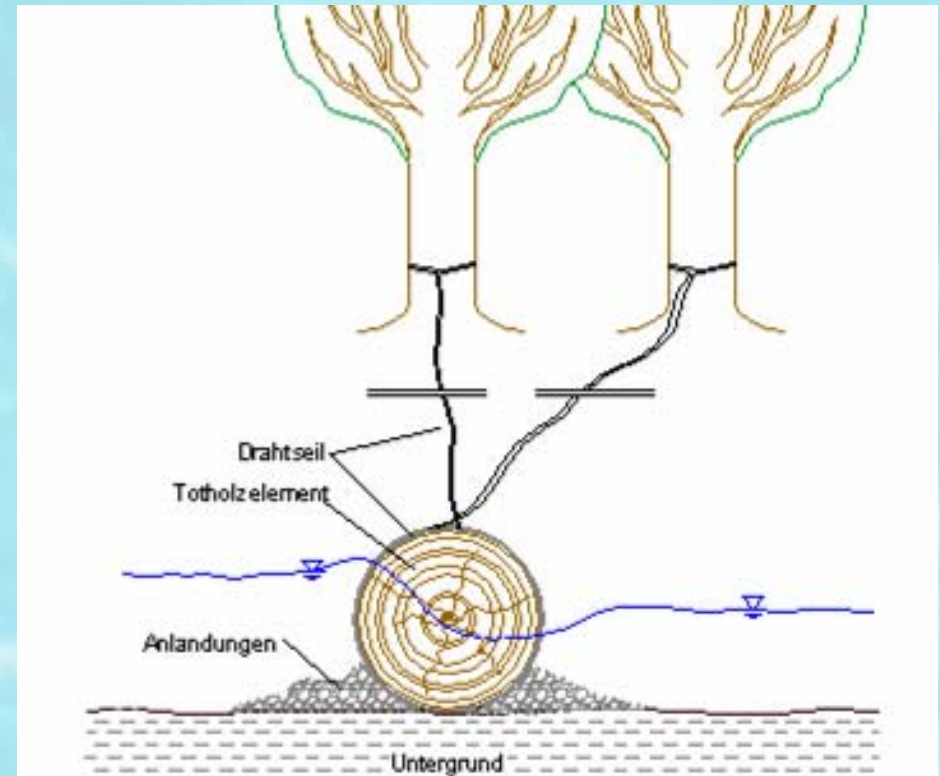
## Pilotweises Einbringen von Totholz an zwei Standorten



## Entwicklung neuer Techniken zur Sicherung von Totholz an zwei Standorten

### Konventionelle Befestigung mit Stahlseilen

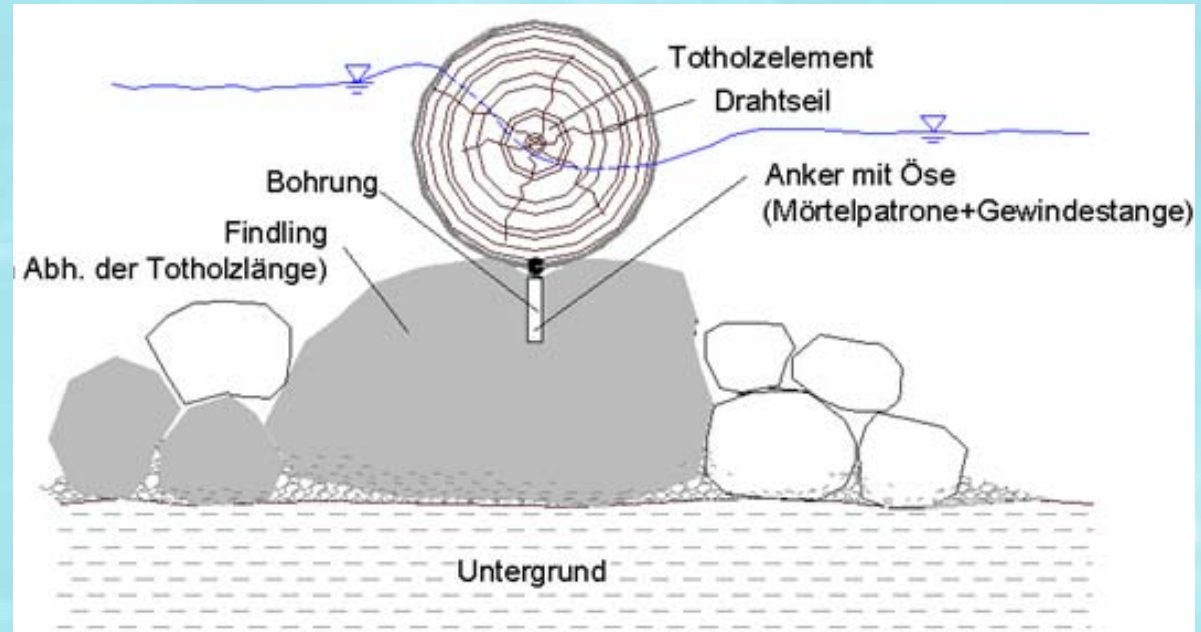
- **Schon durch leichte Strömungen starke Flatterungs- und Verdriftungsgefahren**
- **Seilanbringungen ragen über das Wasser und gehen in die Vorländer**



## Entwicklung neuer Techniken zur Sicherung von Totholz an zwei Standorten

### Befestigung an Steinunterlage:

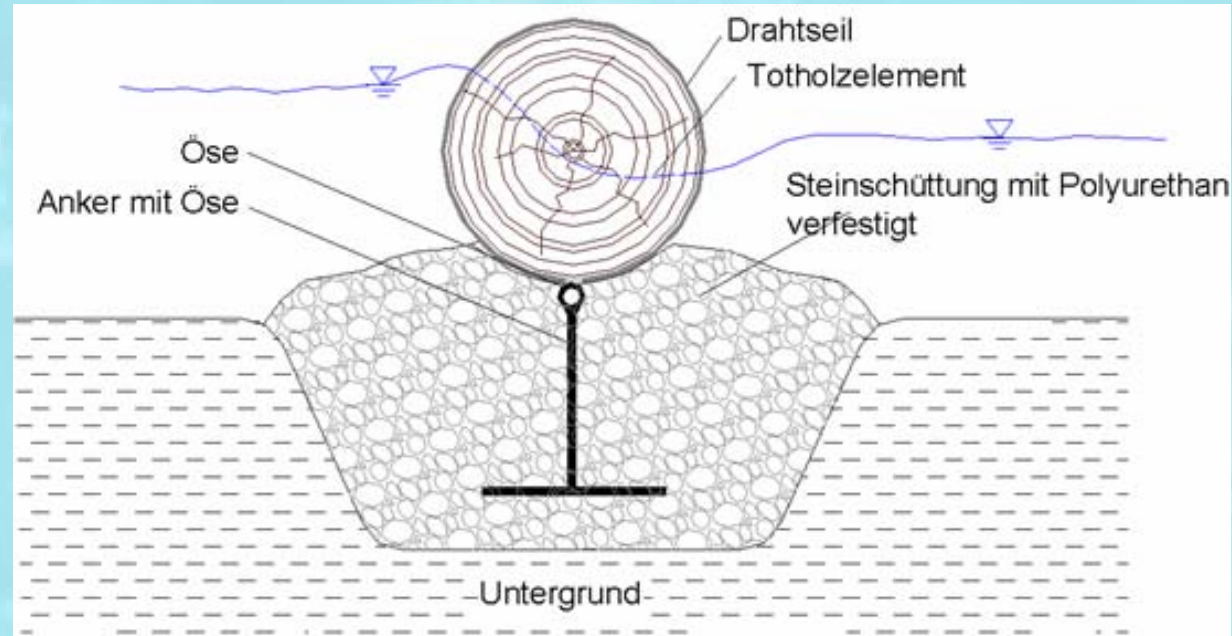
- **Schwieriges Verankerungssystem im Gestein**
- **Kostenintensiv**



## Entwicklung neuer Techniken zur Sicherung von Totholz an zwei Standorten

### Steinschüttung mit Polyurethan verfestigt :

- **Einfacher Einbau vor Ort**
- **Durchgängigkeit für kl. Lebewesen bleibt erhalten**
- **Erhöhte Stabilität und keine Verdriftung**



*Regime-Theorie geeignete Methode zur Bestimmung des potentiell-natürlichen morphologischen Zustandes*

*Der bettbildende Abfluss bestimmt maßgeblich die morphologische Gewässerstruktur*

*Flussgebietsmodelle erweisen sich besonders geeignet, den anthropogenen Einfluss aus dem aktuellen Abflussregime herauszufiltern*

*Der kombinierte Einsatz der Regime-Theorie und der Flussgebietsmodellierung ist eine gute Grundlage*

- \* zur Bewertung der hydromorphologischen Qualitätsmerkmale und*
- \* zur Wirkungsanalyse von Sanierungsmaßnahmen im Sinne EU-WRRL*