

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD



Dr.-Ing. Raju M. Rohde

Dorsch Consult Wasser und Umwelt GmbH
Hansastraße 20, 80686 München
+49 (0) 89-5797-635
email: raju.rohde@dorsch.de



Dorsch Gruppe

Das System BaSYS-L.E.O.

Ganglinien-Volumen-Methode

Hydrodynamische Kanalnetzberechnung

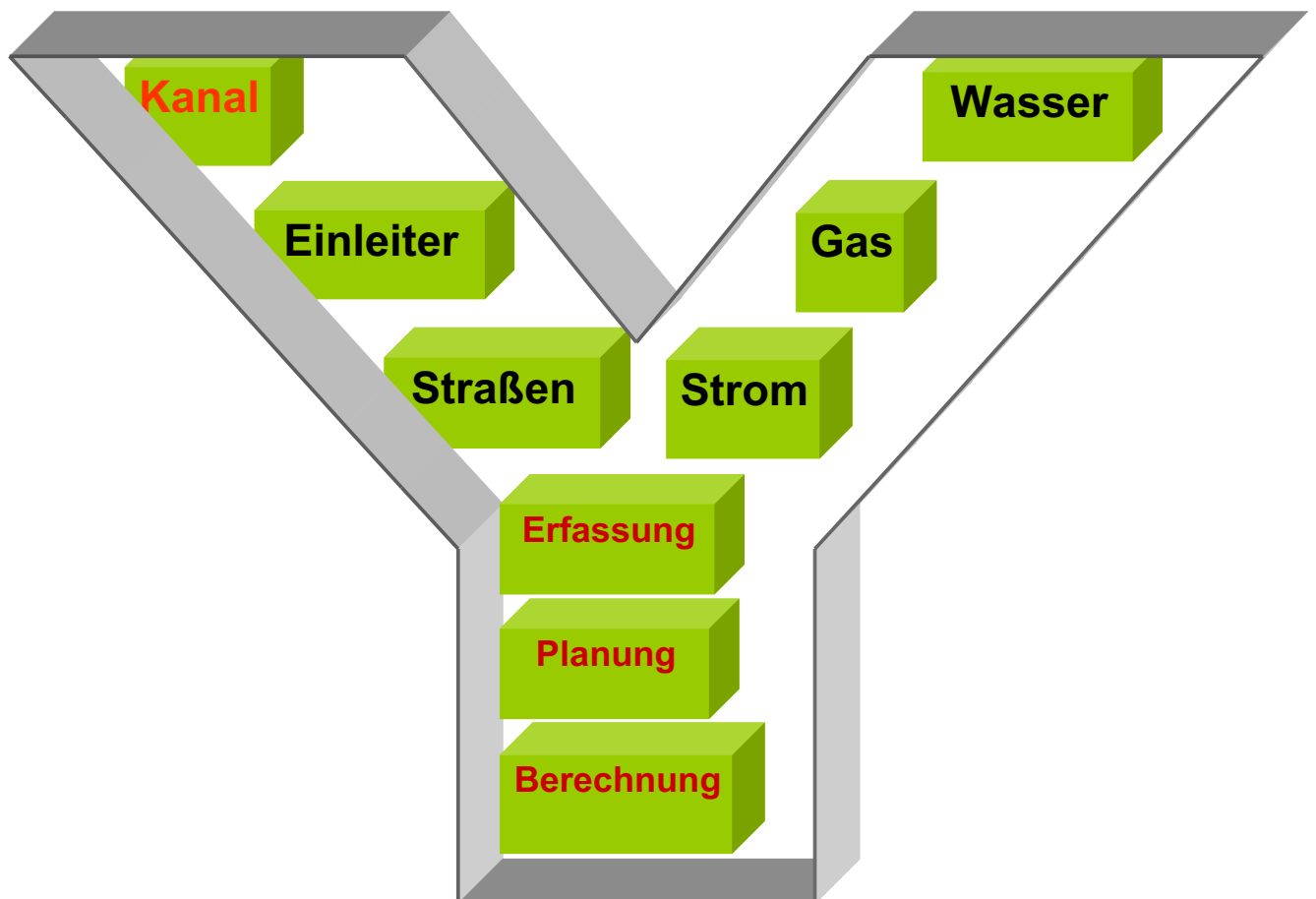
Hydraulische Objekte

Hydrodynamische Schmutzfrachtberechnung

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

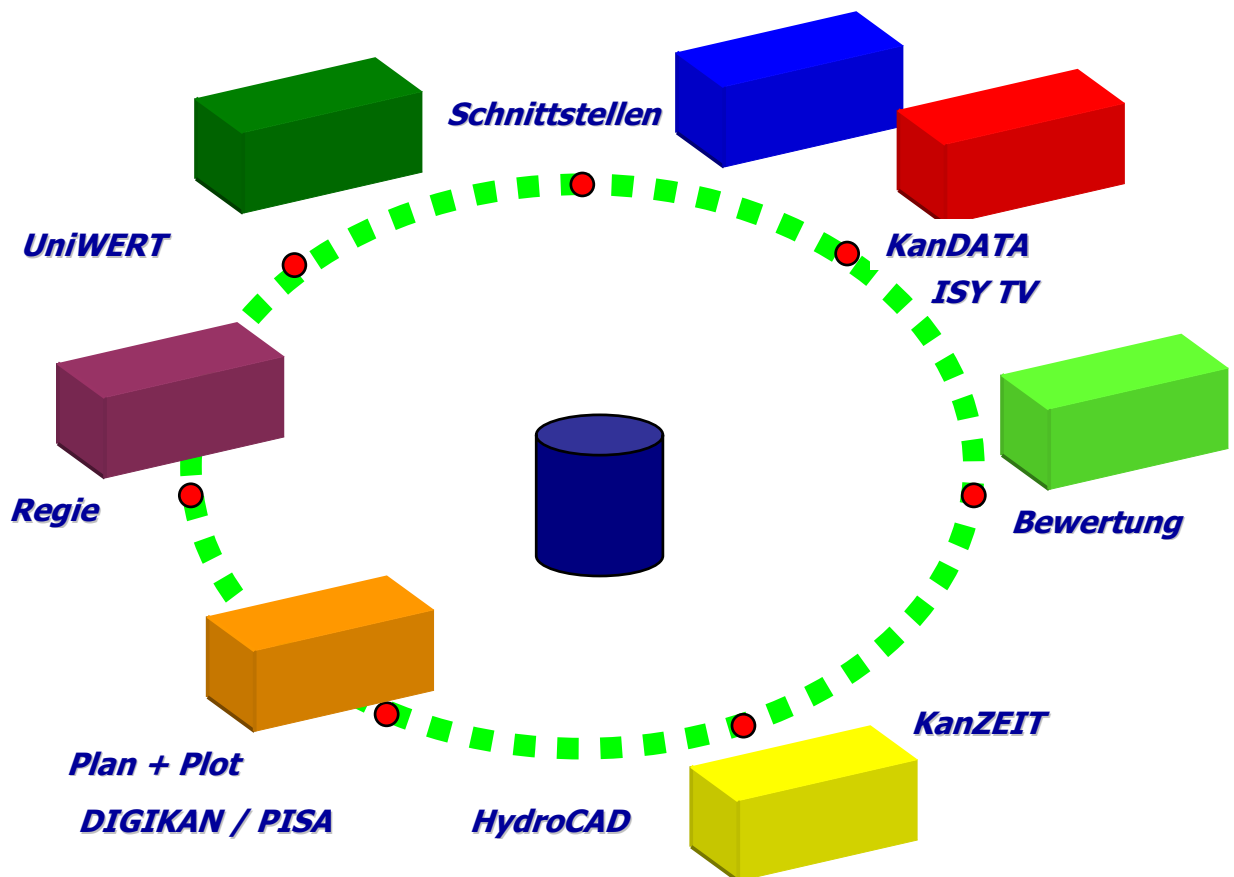
Das System BaSYS L.E.O.



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

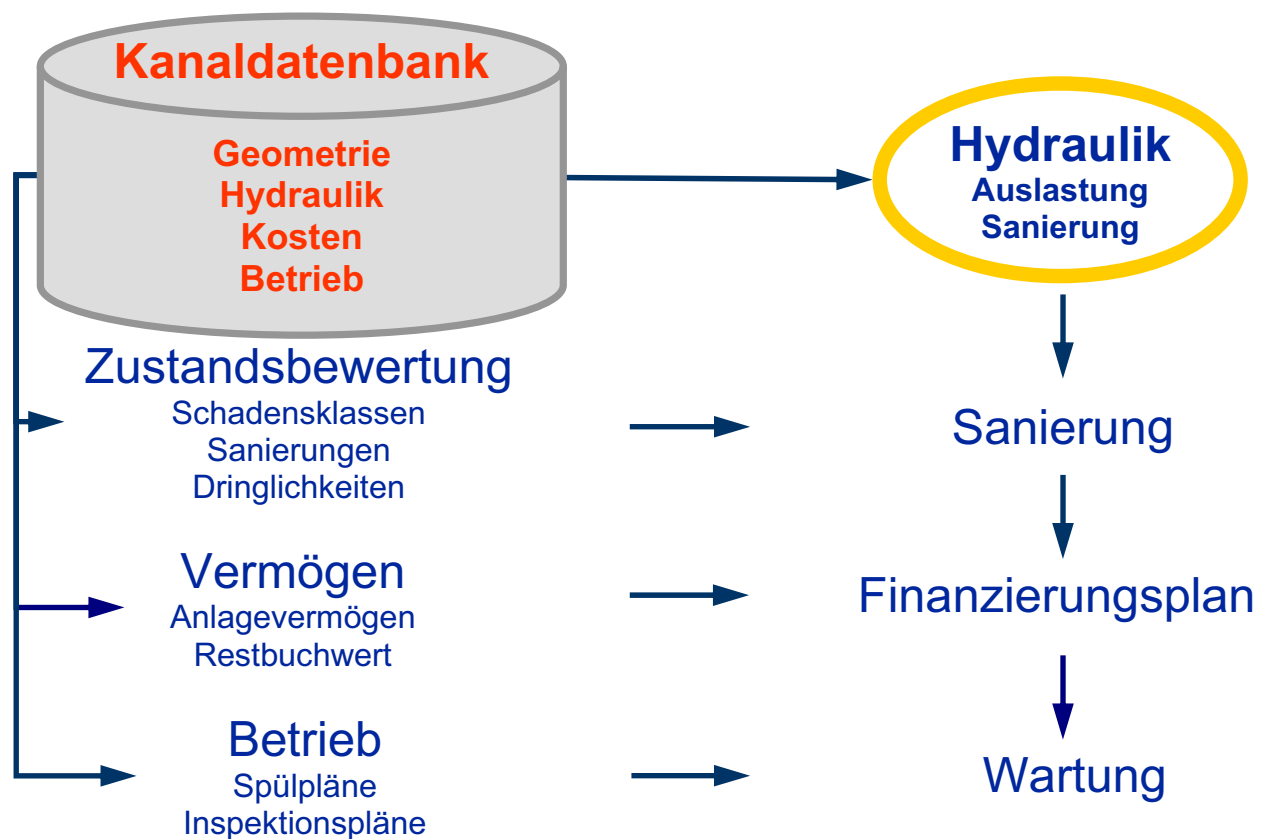
Das System BaSYS L.E.O.



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Das System BaSYS L.E.O.



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Ganglinien-Volumen-Methode (GVM)

Hydrodynamische Berechnung mit Berücksichtigung ...

von Rückstau und Rückfluss

... der Verbundwirkung in vermaschten Netzen

... des Speichervermögens der Kanäle, Schächte und Becken

Profile (TEIFUE)

- Teilfüllungskurvenberechnung für offene, geschlossene und gegliederte Querschnitte

Oberflächenabflussmodell (RUNOFF)

- Hydrodynamische Niederschlagsabflussberechnung für durchlässige und befestigte Flächen

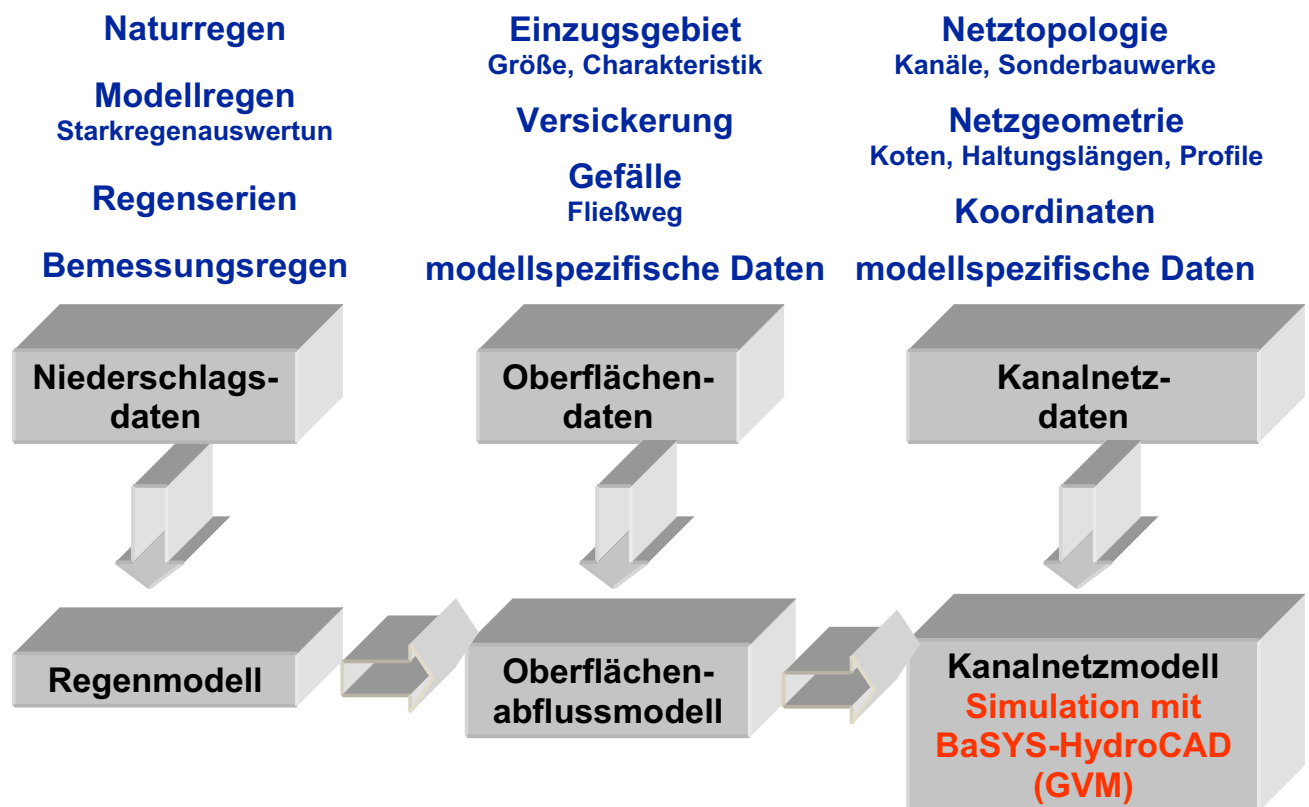
Transportmodell (KANAL)

- Lösung der vollständigen Barré de Saint-Venant-Gleichungen
- Geregelter Pumpen, Schieber und Wehre

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

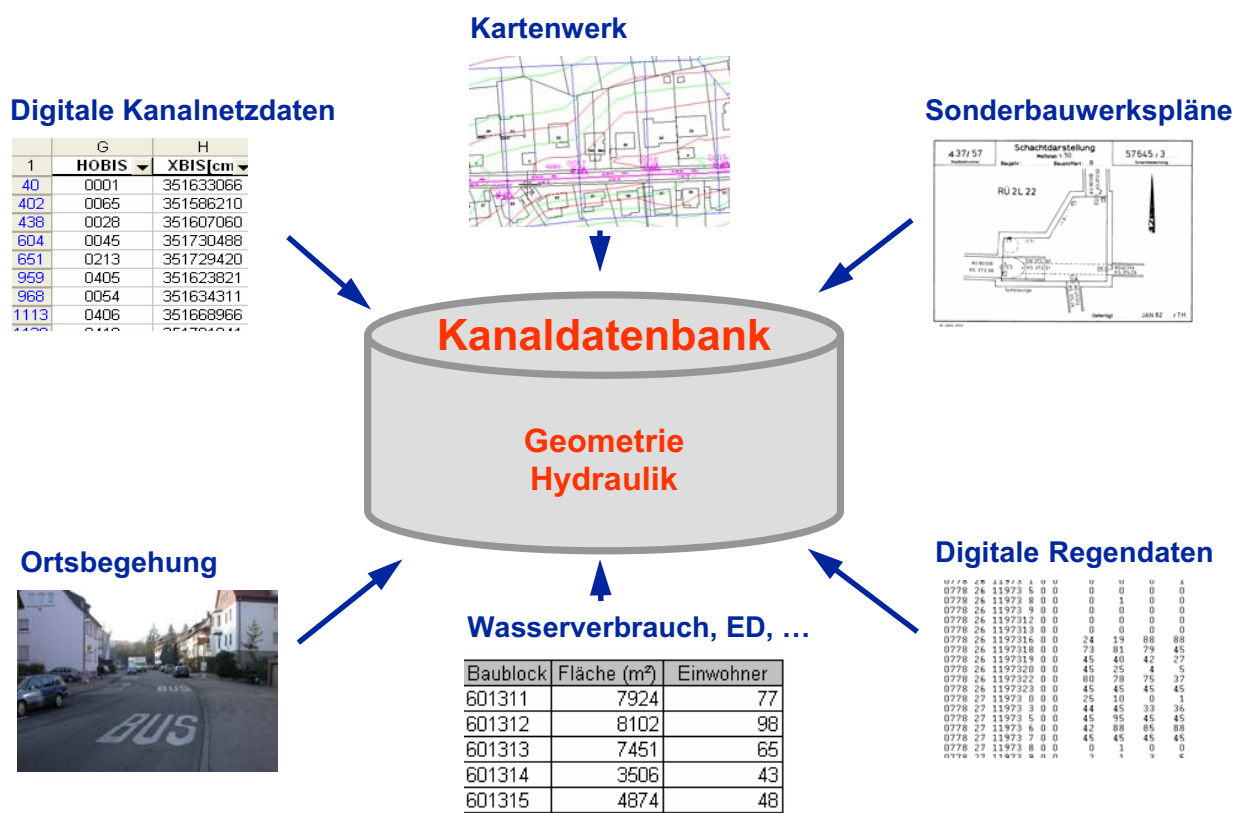
Niederschlags-Abfluss-Modell



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Datengrundlage



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Kanalprofile (TEIFUE)

Definition beliebiger Querschnitte

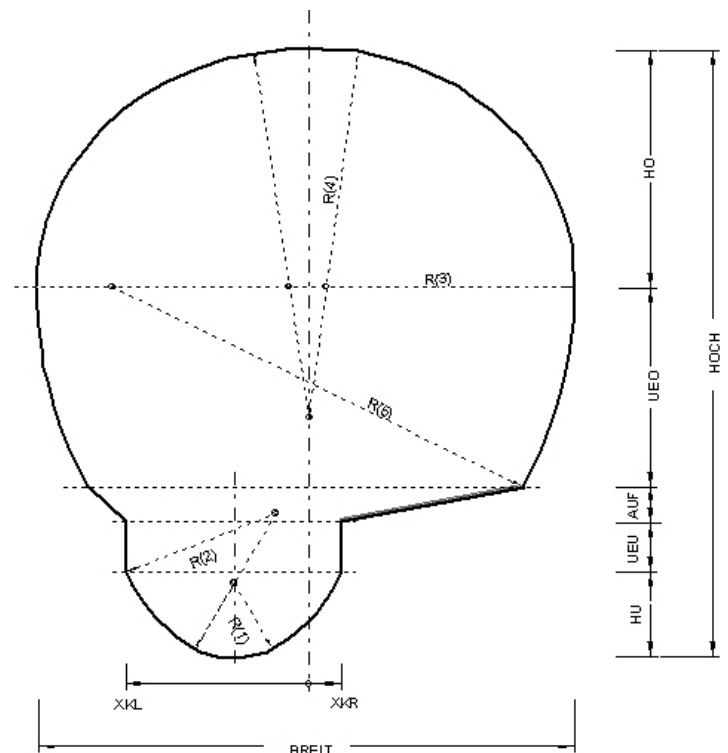
- Definition der Profilquerschnitte als Polygonzug oder über geometrische Kenngrößen

Geometrische Ähnlichkeit

- Geometrische Ähnlichkeit von Kanalquerschnitten unterschiedlicher Größe

Hydraulische Kennwerte ALLER Profile

- Darstellung der geometrischen und hydraulischen Kennwerte aller Gerinne anhand dimensionsloser Werte



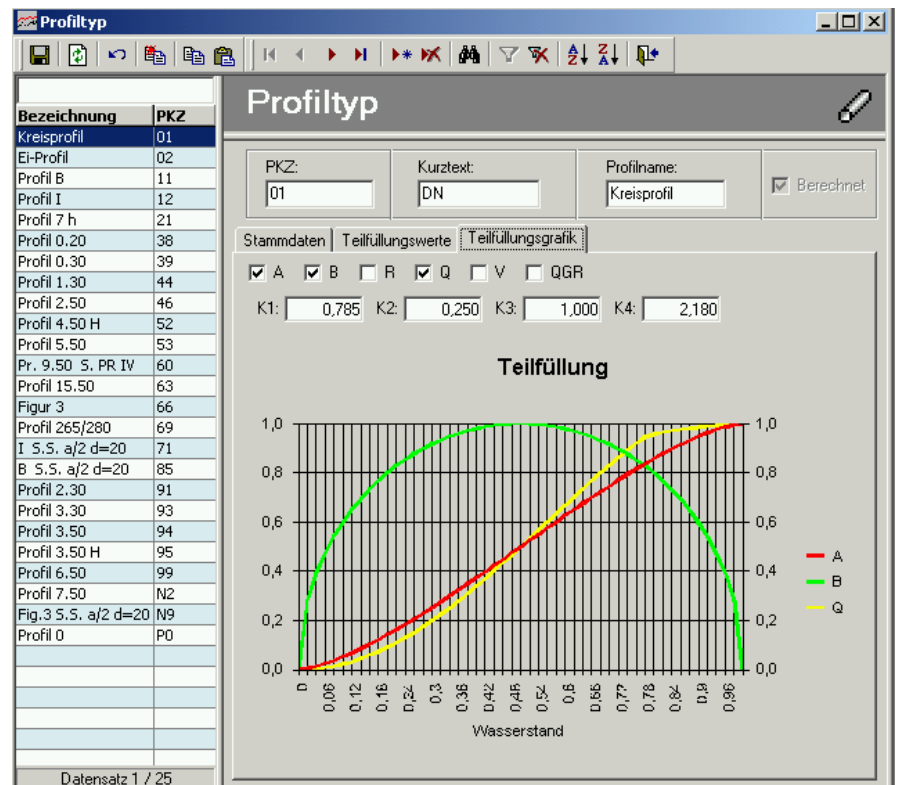
1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Kanalprofile (TEIFUE)

Teilfüllungskurven

- Berechnung der Teilfüllungskurven offener und geschlossener Gerinne mit TEIFUE
- eine Teilfüllungskurve für alle geometrisch ähnlichen Profile
- Die Berechnung der Teilfüllungskurven ist **nur einmal** vor der Kanalnetzberechnung durchzuführen



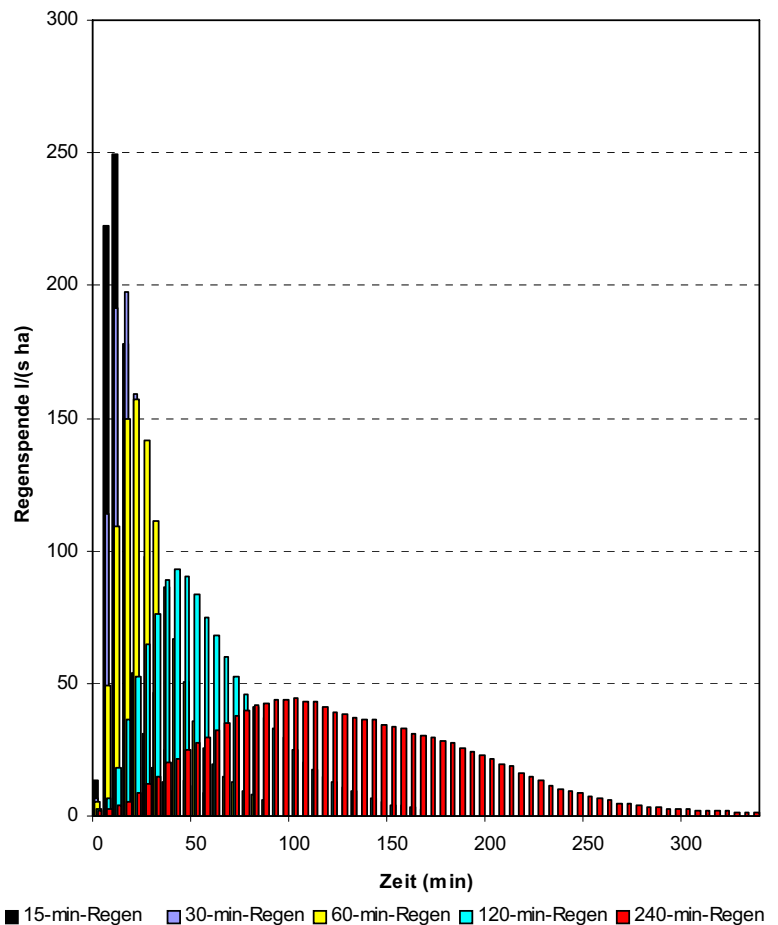
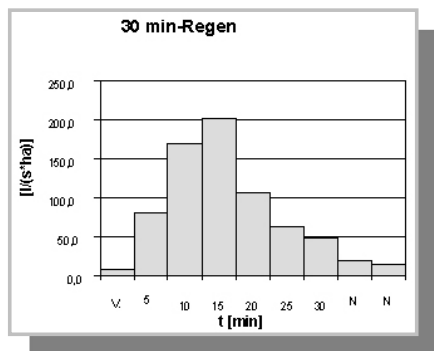
1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Modellregen

**DWA - A 118
(DIN-EN-752)**

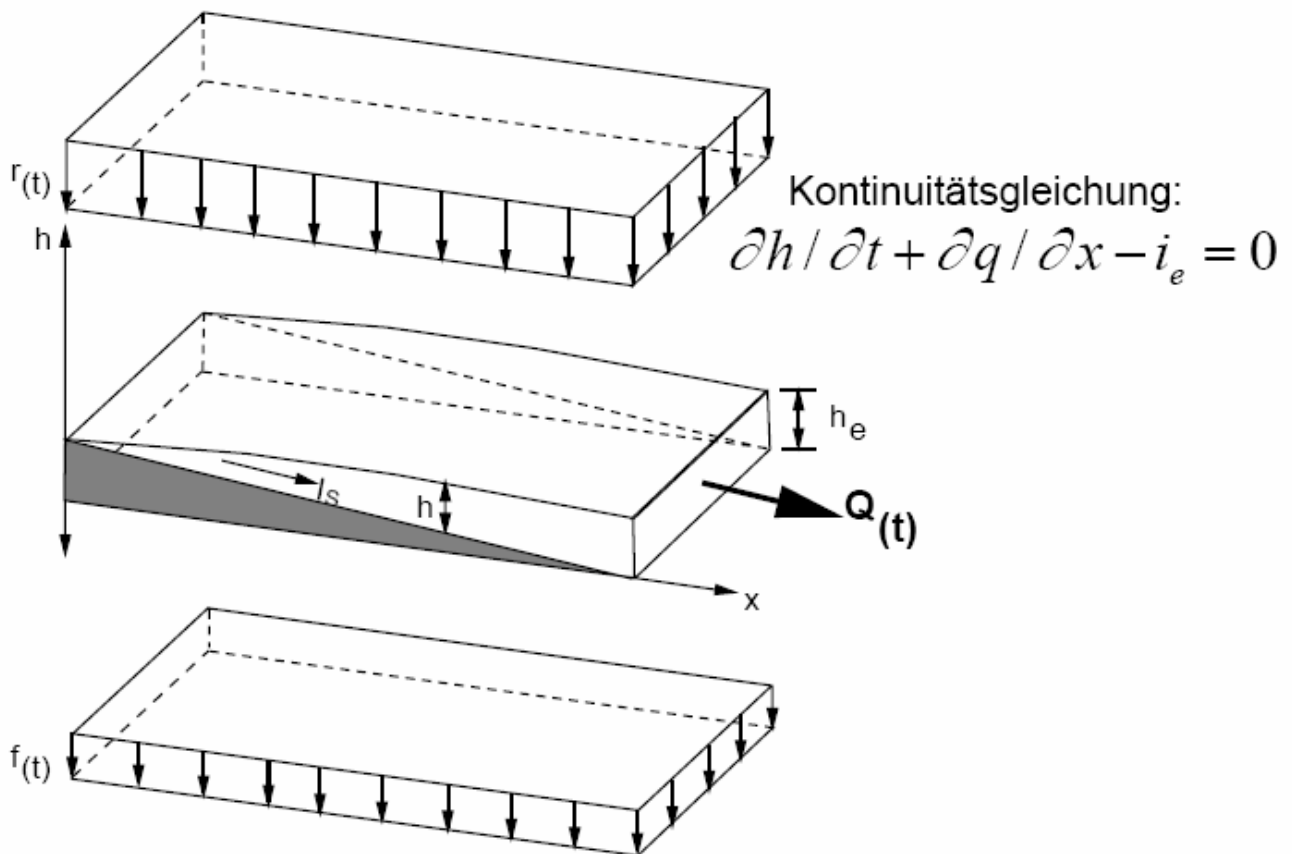
- Euler-Modellregen
- Modellregen(gruppe)
- Seriensimulation



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Oberflächenabfluss (RUNOFF)



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Oberflächenabfluss (RUNOFF)

Bewegungsgleichung:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} - g(I_S - I_R) + vr / h = 0$$

mit

r	Niederschlagsintensität	[m ³ /(sm ²)]
i _e	effektiver Niederschlag	[m ³ /(sm ²)]
q	spezifischer Abfluß	[m ³ /(sm)]
x	Entfernung in Fließrichtung	[m]
h	Wassertiefe	[m]
v	Fließgeschwindigkeit	[m/s]
t	Zeit	[s]
I _S	Neigung der Oberfläche	[-]
I _R	Reibungsgefälle	[-]
g	Erdbeschleunigung	[m/s ²]

Hydrodynamische Berechnung

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Oberflächenabfluss (RUNOFF)

- ⇒ Bezeichnung/ Eigenschaften
- ⇒ Größe / berechnete Größe [ha]
- ⇒ **Oberflächentyp**
- ⇒ Befestigungsgrad GAMMA
- ⇒ Schmutzwasser ED [l/(s*ha)] oder [E/ha]
- ⇒ Industrielles Abwasser IW [l/s] oder [l/(s*ha)]
- ⇒ Fremdwasserspende FREM [l/(s*ha)] oder [l/(s*km)]



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Oberflächenabfluss (RUNOFF)

Oberflächenganglinien für die unterschiedlichen Oberflächentypen

- Verkehrsflächen
Straßen, Gehwege, Hofflächen, ...
- Dachflächen
Flachdächer, Steildächer, ...
- Grünflächen
Böschungen, landwirtschaftliche Nutzflächen, ...

... mit unterschiedlichen Eigenschaften:

- Größe, Fließweg
- Neigung
- Versickerungsvermögen
- Größe und zeitliche Abfolge der Verluste

Parameter	GrünFL	VerkehrsFL	Dachfl.
FO:	180,000 l/(s*ha)		
FC:	30,000 l/(s*ha)		
GEF:	10,0 %	8,0 %	0,0 %
KS:	3,000	40,000	60,000 m ³ /s
SBR:	250,000 m	20,000 m	9,670 m
MUL:	4,000 mm	1,500 mm	1,000 mm

Eigenschaft	K	GADA	DUNS
	0,060 1/min	0,000	0,500 l/(s*ha)

Überlagerung der einzelnen Abflussganglinien bei der Berechnung

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

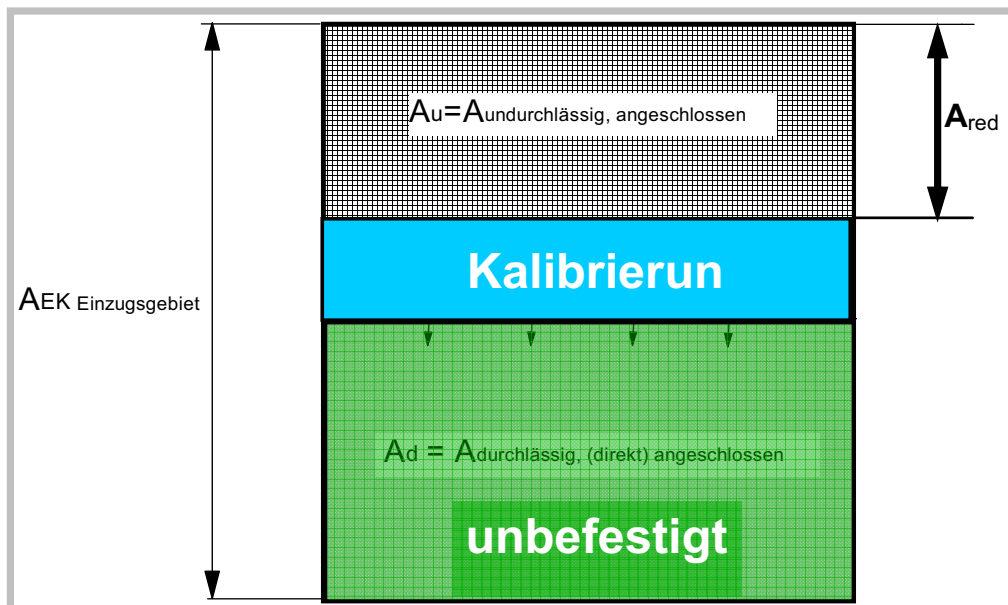
Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Befestigungsgrad

Def: Anteil der befestigten Fläche an der Gesamtfläche der Teileinzugsfläche $GAMMA = A_{\text{befestigt}} / A_{\text{gesamt}}$

Abfluss von der Teileinzugsfläche in die angeschlossene Haltung:

$$Q = A_{\text{gesamt}} (q_{\text{befestigt}} \cdot GAMMA + q_{\text{unbefestigt}} (1 - GAMMA))$$



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Befestigungsgrad

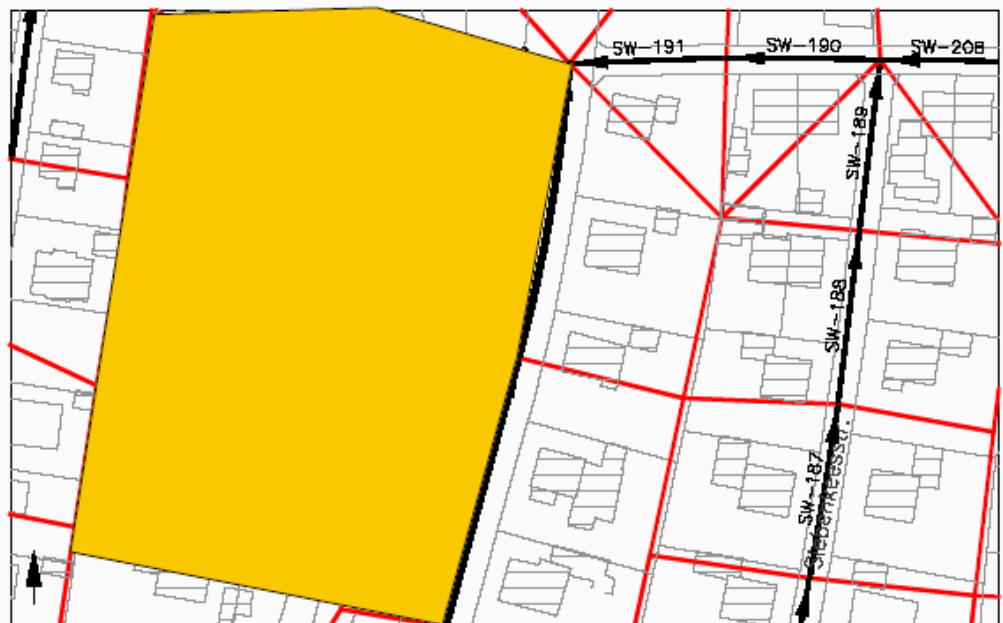
Ermittlung des Befestigungsgrades

„im Feld“:

- Digitalisierung der Flächenanteile
- Übertragung auf vergleichbare Einzugsgebiete

Nachteile:

- subjektive Einschätzung
- pauschalisiert, nicht detailliert
- ungenau



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Befestigungsgrad

**Ermittlung des Befestigungsgrades
mittels Fernerkundung:**

Sensoren:

- satellitengestützt
- flugzeuggestützt



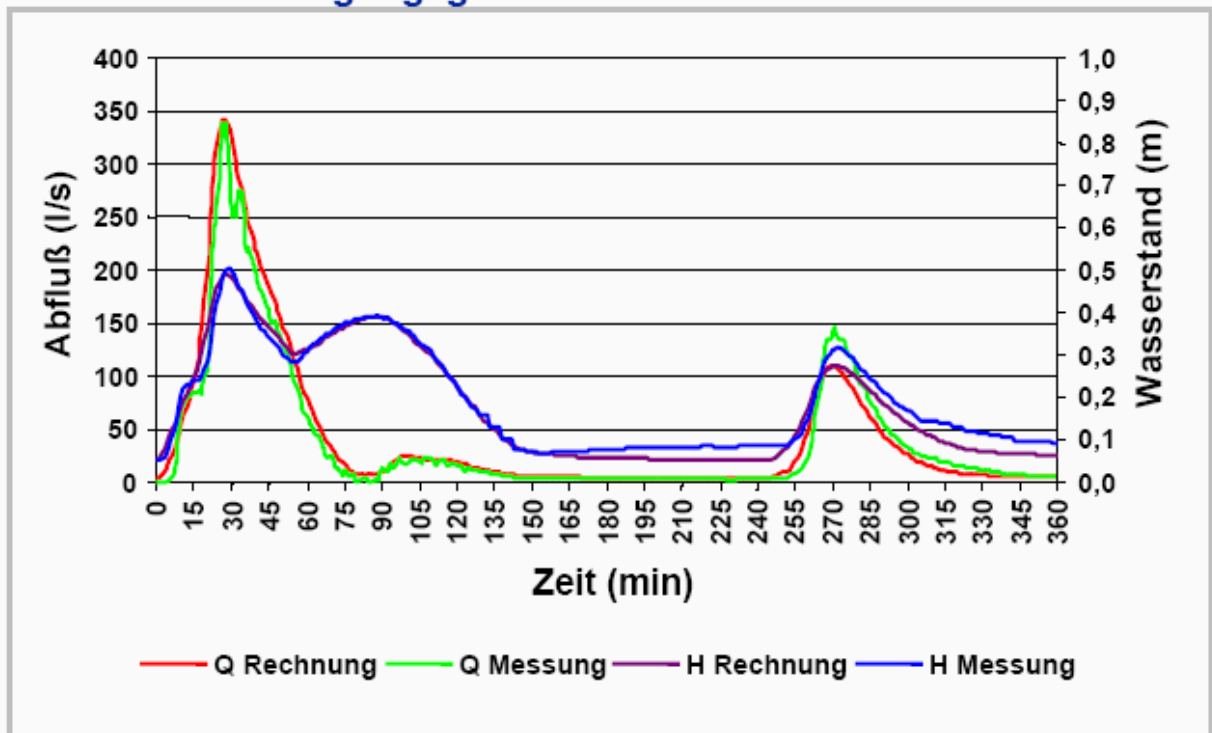
1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Kalibrierung

Ermittlung der abflusswirksamen Fläche durch Messung von Niederschlag und Abfluss

- Vergleich mit Simulationsergebnissen
- Reduktion des Befestigungsgrades



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Hydrodynamische Kanalnetzberechnung

Vollständige Lösung der Saint-Venant-Gleichungen

Instationärer, ungleichförmiger, diskontinuierlicher, strömender und schießender Abfluß

Hydraulische Besonderheiten

- Senkungskurven an Abstürzen und bei Gefällswechseln
- Impulsverluste in Verbindungsbauwerken und bei Querschnittsänderungen
- Schachtverluste beim Einstau
- Speicherung in Schächten und Kammern
- Aufstau im Sammelgerinne hinter Streichwehren
- freier und rückgestauter Ausfluß unter Schützen
- Schwingungsvorgänge beim vollständigen Schließen von Schiebern

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Gleichungssystem

Bewegungsgleichung

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{cq_v}{Ag} = I_{So} - I_R$$

1 2 3 4 5 6

mit

- 1 **Wasserspiegelgefälle**
- 2 **Änderung der Geschwindigkeitshöhe in Fließrichtung**
- 3 **lokaler Beschleunigungsterm**
- 4 **Energiebeitrag durch seitlichen Zufluß**
- 5 **Sohlengefälle**
- 6 **Reibungsgefälle**

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Gleichungssystem

Kontinuitätsgleichung

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

1 2 3

mit

- 1 **Änderung des Durchflusses in Fließrichtung**
- 2 **Änderung der durchströmten Fläche**
- 3 **seitlicher Zu- oder Abfluß**

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Hydraulik

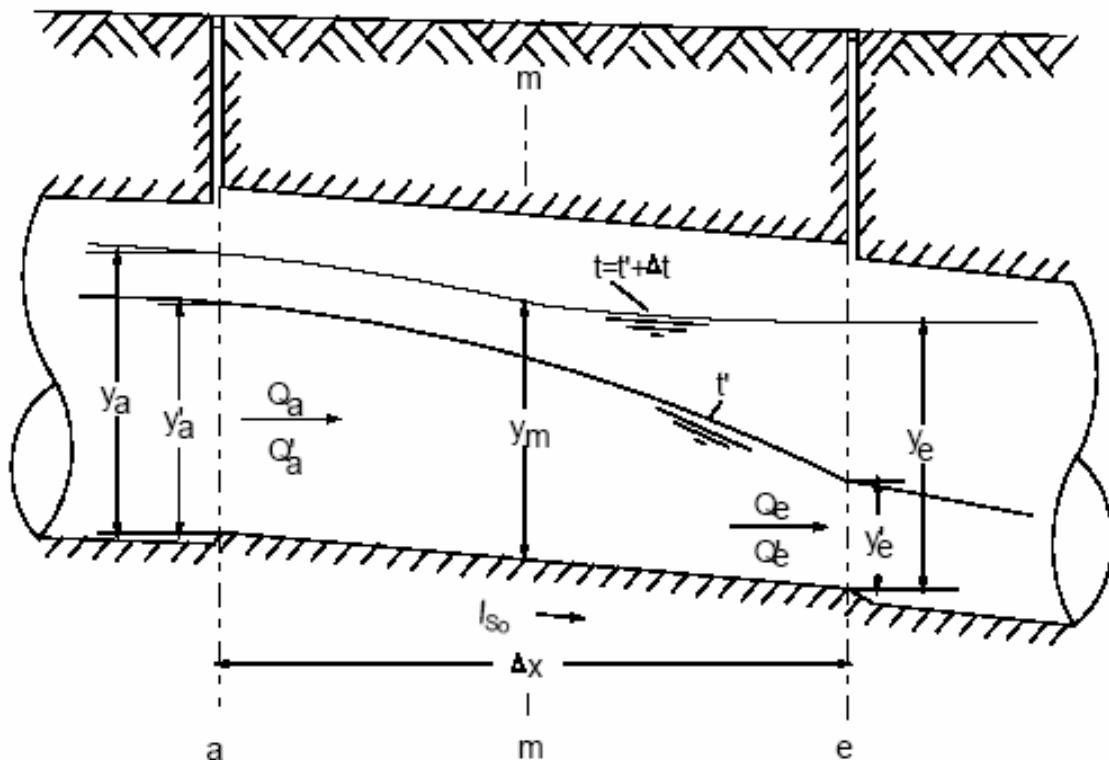
Nichtlineares Gleichungssystem

Bewegungsgleichung (Saint-Venant) im Kanal

Kontinuitätsgleichung (Saint-Venant) im Kanal

Bewegungsgleichung und / oder Impulsgleichung am Knoten unten

Kontinuitätsgleichung am Knoten oben



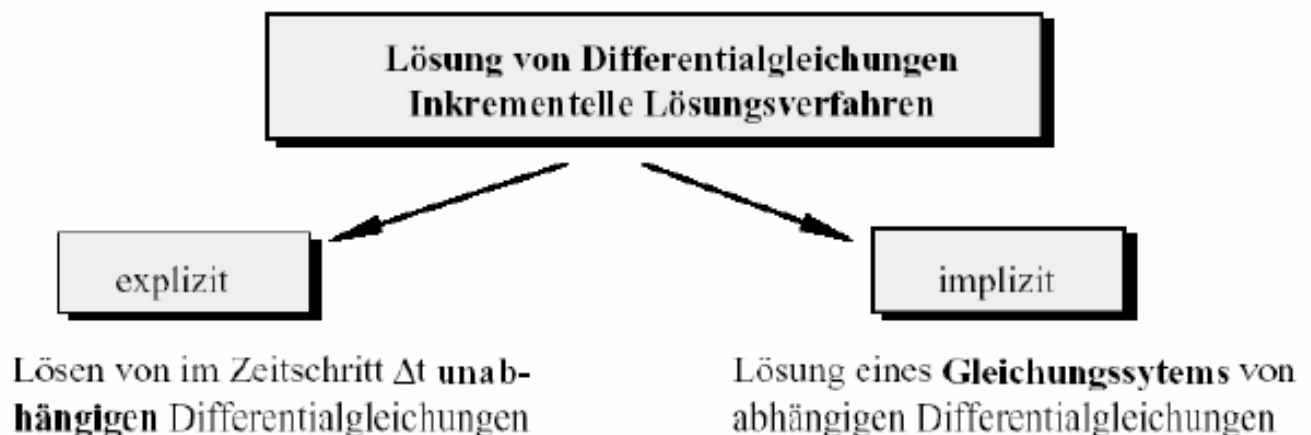
1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Numerisches Lösungsverfahren

Lösungsverfahren

Implizites Differenzenverfahren, Newton-Iteration und überlagertes, globales Relaxationsverfahren



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

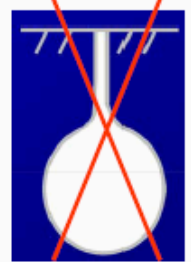
Numerisches Lösungsverfahren

Vorteile des impliziten Lösungsverfahrens

- **Keine** Beschränkung der Länge der Berechnungsstrecken und der Zeitschritte durch das numerische Verfahren

~~Courant'sche Stabilitätskriterium~~

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = |v| \pm \sqrt{gA/\bar{b}}$$



- **Keine** "Näherungslösungen" nötig für den Abfluss unter Druck (eingestautes Netz, Düker)

~~Preissmann-Schlitz~~

- Genauigkeit der **Volumenbilanz** stets < 0,1 %
- **Keine** arbeitsaufwendigen und fehleranfälligen "Netzvereinfachungen"
- **Unveränderte (1:1) Übernahme** der tatsächlichen Netzdaten aus der Datenbank

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Numerisches Lösungsverfahren

Anfangsbedingung:

Stationärer Trockenwetterabfluß: Nachtminimum und Tagesspitze; häusliches Abwasser, Industrieabwasser, Fremdwasser

Zufluß von den Oberflächen:

Schmutz- und Regenwasser: gleichmäßig über die Haltungslänge verteilter seitlicher Zufluß

Randbedingungen:

oben:

Zuflußganglinien: Übernahme von Zuflüssen von Nachbargebieten oder Gewässern

unten:

Rückstauganglinien: wahlweise Wasserstandsübernahme oder freier Ausfluß mit Grenztiefe oder schießender Wassertiefe

Knoten:

Schächte, Vereinigungs-, Verzweigungsbauwerke
mit vom Programm aus der Netzgeometrie und -topologie ermittelten Verlustansätzen
(Impuls- und Energiesatz)

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Hydraulische Objekte

Transportelemente

- Haltungen: Rohre, Kanäle und offene Gerinne mit beliebigem Sohlengefälle:
 - ein- oder mehrteilige Profile (Trockenwetterrinne),
 - wahlweise mit Ausflußmöglichkeit auf das Gelände (mit / ohne Rückfluß), oder als Druckrohre
 - Betriebsrauheit nach Prandtl-Colebrook, oder Manning-Strickler

Sonderbauwerke

- Knoten: Speicherbauwerk, Wehre, Streichwehre, Leapingwehre, Schälzungen, Rückhaltebecken:
 - frei wählbare Überlauf- und Durchflußbeiwerte, Streichwehre mit/ ohne Sammelrinne

Regelorgane

- Schieber, Wirbeldrosseln, Pumpen, Wehre, Klappen:
 - frei wählbare Durchflußbeiwerte bzw. Kennlinien, geregelte Elemente als PID-Regler

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Haltungsdaten

The screenshot displays the 'Haltung' (Manhole) data entry form in the BaSYS-HydroCAD software. The window title is 'Haltung' and the calculation area is 'RÜ-M1019'. The form is divided into several sections:

- Bezeichnung:** M1021
- Modus:** (empty)
- Arbeitsbereich:** (empty)
- Von - Schacht:** M1021
- Nach - Schacht:** M1020
- Straße:** (empty)

Navigation tabs include: GVM / Stamm, Koordinaten, Hydraulik, Hydraulikergebnisse, Ganglinien.

Haltung Data:

Ober:		Unten:	
HS:	376.666 mNN	376.300 mNN	
HG:	380.896	380.300	

Dimensions and Flow:

is aut:	5,664 o/oo	5,664 o/oo
---------	------------	------------

Profile and Material:

Typ:	Kreisprofil	Hyd.-Randbed.:	Normales Rohr
Höhe:	400 mm	Volumen /	
Breite:	400 mm	Oberflächenz.:	Vorgabe BeiGebiet
Fläche:	0,126 m ²	Kanalart:	KM
		Innenschutz:	
		Material:	B
		Plannummer:	

Other Fields:

- Alternative Bez.: (empty)
- Eigentum: (empty)
- Bemerkung: (empty)
- Kommentar: (empty)

Left Panel: 'Suche' and 'Straße' tabs. A list of manholes (M1018 to M1086) is shown, with M1021 selected. Below is a tree view of the 'Datensatz 5 / 11' showing the hierarchy: M1021 (Zuläufe) -> M1022, M1020 (Abläufe) -> M1020, and the 'Berechnungsgebiet' containing 'RÜ-M1019', 'Wulfschlinge', and 'Einzugsfläche'.

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Speicherbauwerke

The screenshot shows the BaSYS-HydroCAD software interface for a storage structure (Speicherbauwerk). The main window displays the following data:

Bezeichnung:	M1019	Modus:	
Straße:		Arbeitsbereich:	
Untergruppe:	Regenüberlauf	Hauptbauwerk:	

Technical specifications for the structure:

Alternative Bez.:	RÜ15e	HWS:	0,800 m	bewegliches Wehr:	<input checked="" type="checkbox"/>	
Pumpe:		HS:	376,370 mNN	Sollwert:		m
Schieber:		HD:	380,910 mNN	KP:	0,000	
Entlastungsrohr:	M1019B	HG:	380,910 mNN	KJ:	0,000	
Hyd. Randbed.:	Streichwehr m.R.	B:	5,000 m	KD:	0,000	
Volumen /		A:	15,000 m ²			
Oberflächensp.:		MUE:	0,620			
Kanalart:	KM	HLOF:	0,700 m			

Below the main window, five schematic diagrams illustrate different types of weirs and their configurations:

- Streichwehr mit Sammelrinne
- Streichwehr ohne Sammelrinne
- Senkrecht Wehr mit Sammelrinne
- Senkrecht Wehr ohne Sammelrinne
- Wehr als Schälzunge (ohne Sammelrinne)

At the bottom of the slide, the following abbreviations are listed: **RÜ TB RÜB RRB**

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Regelorgane (Schieber)

Freier Ausfluss:

Unvollkommener Ausfluss:

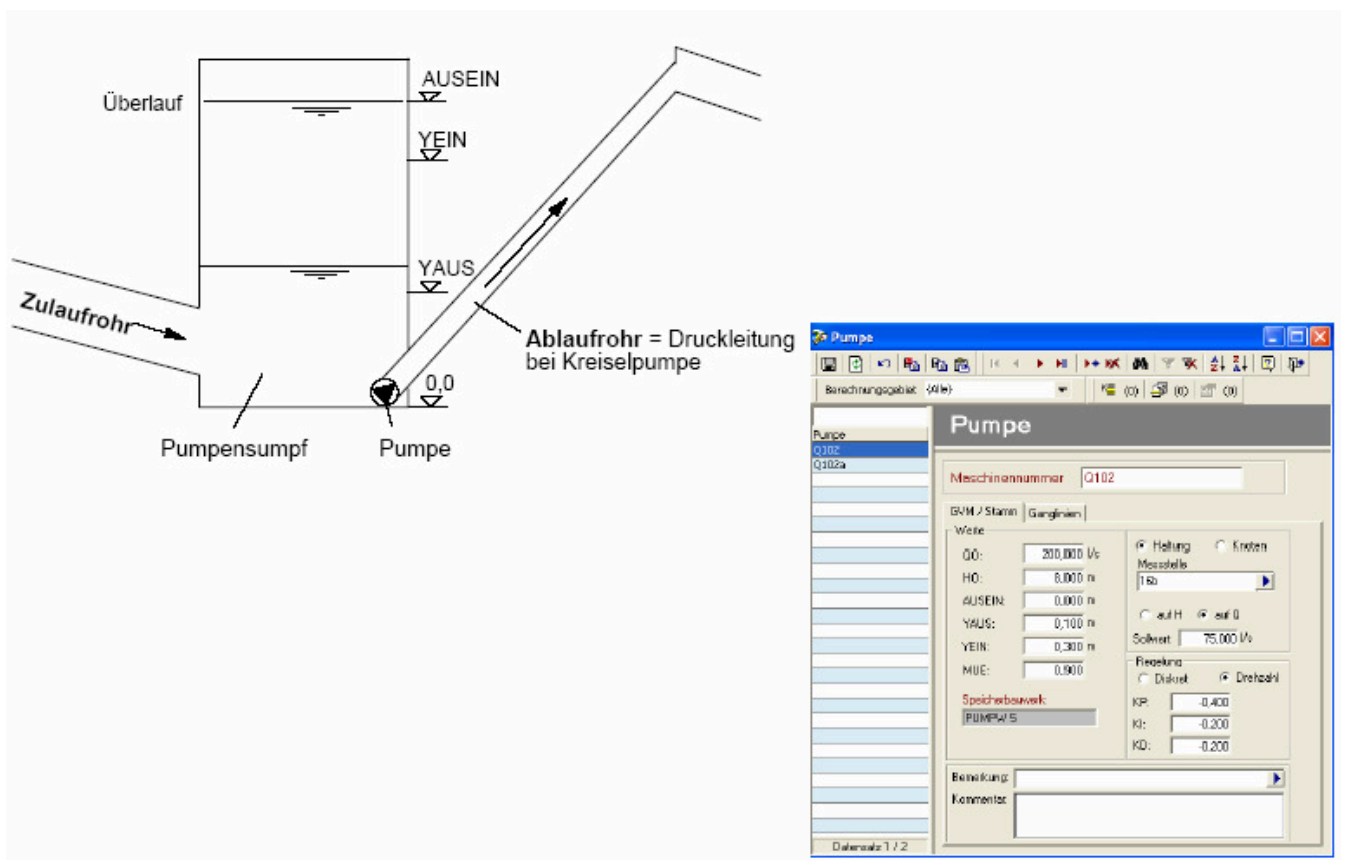
Schieber

Berechnung: S101 Modus:
Stärke: Arbeitsbereich:
Untergruppe: Hauptbauwerk:
GNN / Stauort | Koordinsten | Soegl.linien
Alt Bez.: Messstelle: auf H auf Q Hölung Knoten
Höhe: in
Breite: in
Höhe: 0,100 in Solwert: 20,800 m/s
SSch: 508,000 mNN Speicherbauwerk: ID: 0,400
MUE: RUE 1/1 ID: 0,400
Profiltyp: Kreisprofil D Höhe: 300 mm HD: mNN
Kanalarbeit: Breite: 300 mm HG: mNN
Einrichtung: /Au
Kommentar:

1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

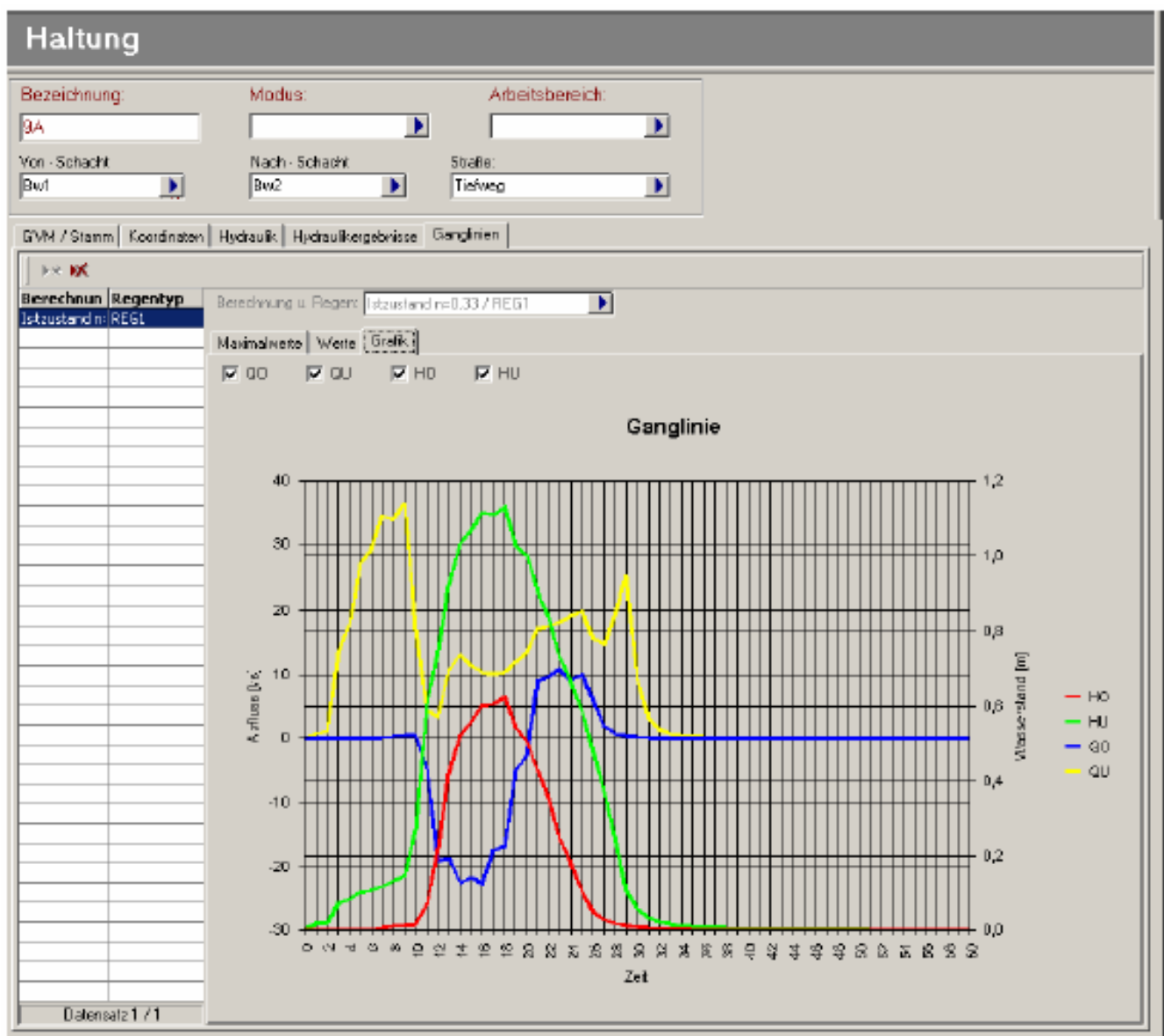
Regelorgane (Pumpe)



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

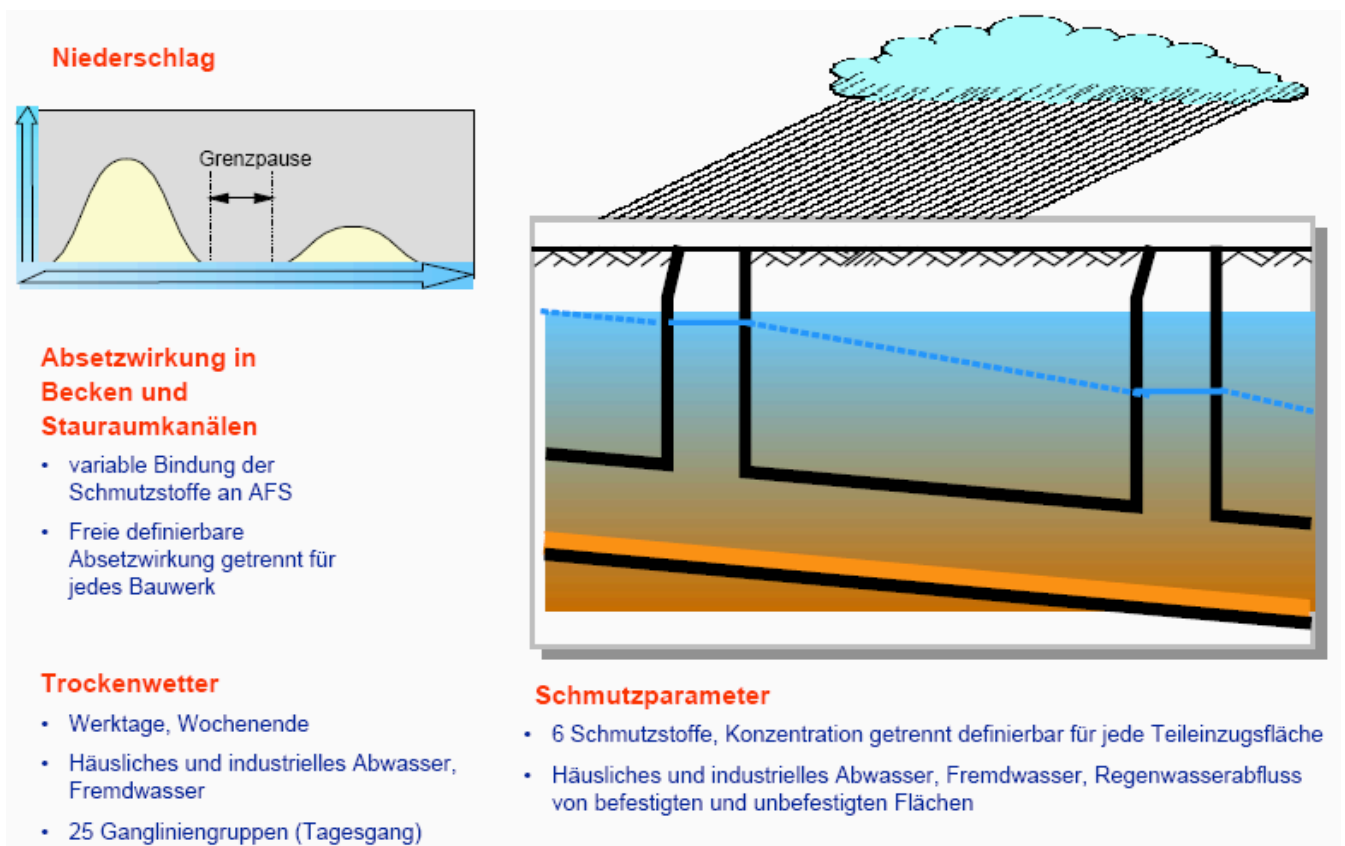
Berechnungsergebnisse



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

Integrierte Implizite Kanalnetzberechnung mit BaSYS-HydroCAD

Hydrodynamische Schmutzfrachtberechnung



1. Aachener Softwaretag in der Wasserwirtschaft

www.stawag.de



Offen für
neue Wege

 **STAWAG**

Energie für die Zukunft

Wer im Markt eine gute Position einnehmen will, muss auch mal gegen den Strom schwimmen. Mit neuen Ideen und neuen Konzepten. Für mehr Unabhängigkeit und eine zukunftsfähige Energieversorgung.

www.stawag.de

STAWAG. Gut für Sie. Gut für Aachen.