

www.cfLab.eu

Numerische Modellierung im Flussbau

Bauhaus Uni Weimar

| 21.09.2022

| Dr.-Ing. Florian Pflieger | cfLab GmbH

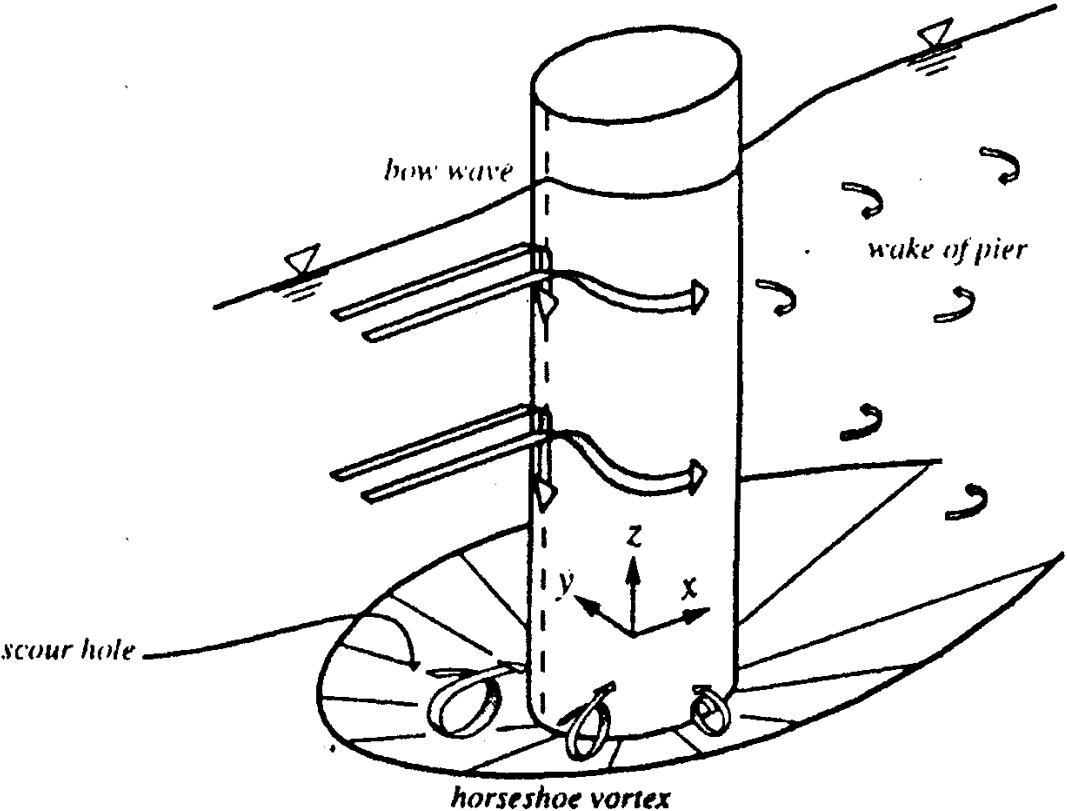


Dr.-Ing. Florian Pflieger

- Bis 2006: Studium des Bauingenieurwesens an der TU München
- 2006 - 2011: Promotion am Fachgebiet für Hydromechanik der TU München
Forschung und Lehre
- 2011 – 2021: aquasoli Ingenieurbüro, Siegsdorf (Chiemgau)
Leitung Fachbereich Hydraulik und Morphologie
Projektleitung in den Bereichen
Überschwemmungsgebiete
Starkregengefahren
Morphologie
Planung im Hochwasserschutz
- Seit 1.1.2022: Geschäftsführer cfLab GmbH

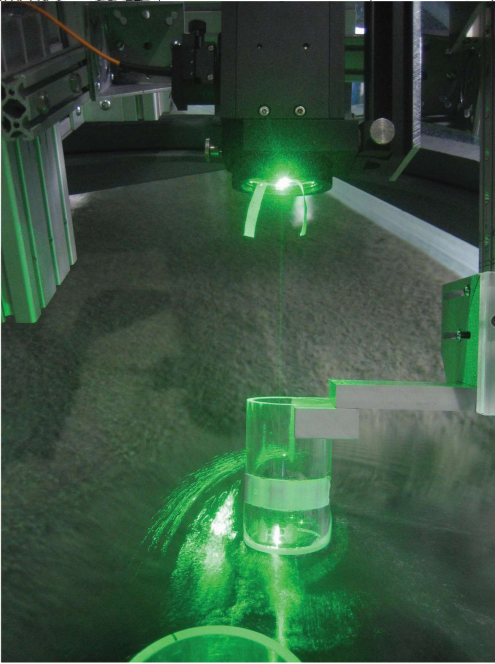
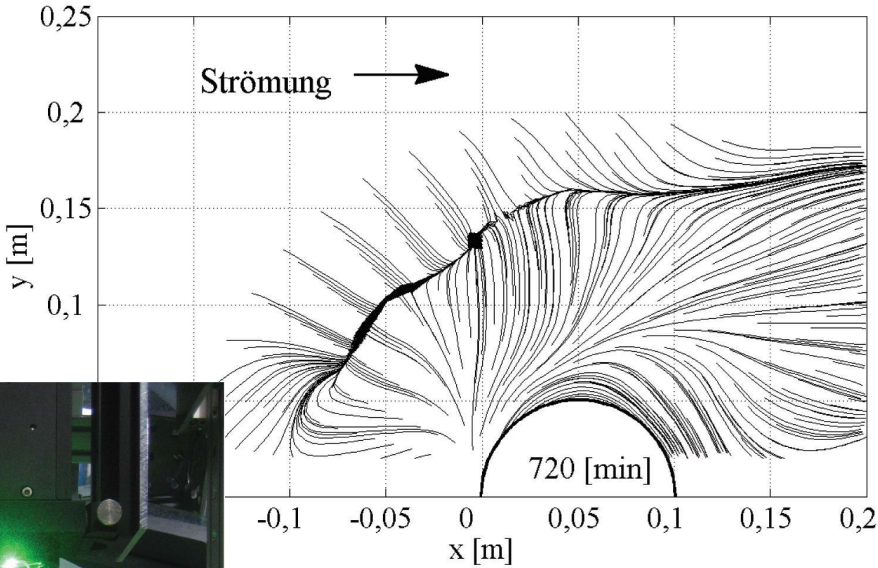
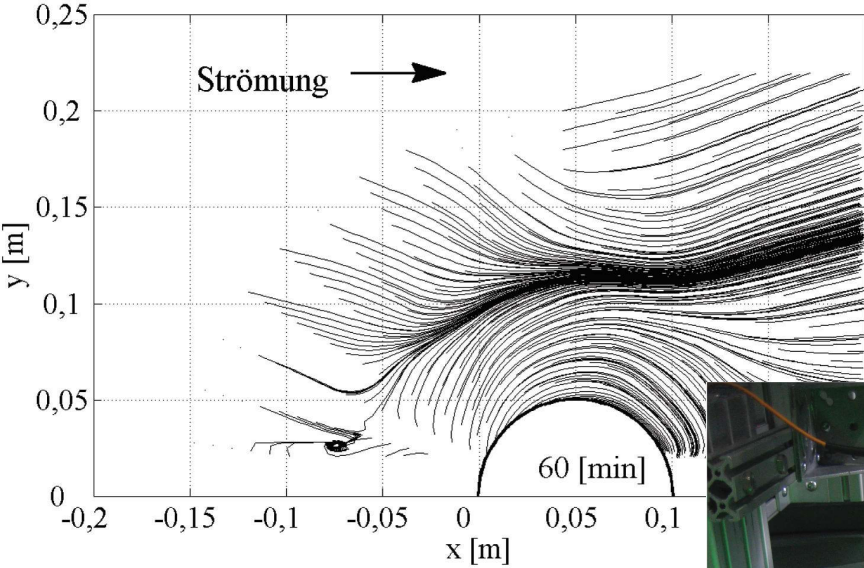


Tätigkeit am Fachgebiet Hydromechanik (TUM)



Quelle: Graf/Istiarto (2002)

Tätigkeit am Fachgebiet Hydromechanik (TUM)



Ingenieurbüro cfLab GmbH

Ingenieurbüro für Hydraulik, Morphologie und Abflussbestimmung

Sitz: Grassau / Chiemgau



Gegründet von Dres. Christoph Rapp und Florian Pflieger nach langjähriger Zusammenarbeit im Laboratorium für Hydromechanik der Technischen Universität München

Leistungen u.a.:

- Hydrologische und hydraulische Gutachten
- Ermittlung von Überschwemmungsgebieten
- Ermittlung von Starkregengefahrenbereichen
- Abflussmessung / Abflussbestimmung
- Morphologische Untersuchungen

Weitere Informationen: www.cfLab.eu



Numerische Modellierung im Flussbau

Grundlegende Fragestellungen im Flussbau

- Wieviel Wasser kommt pro Zeiteinheit zum Abfluss?
- Wie breitet sich der zu erwartende Abfluss im Gelände aus?
- Welche Fließtiefen und Wasserstände werden erreicht?
- Wie werden Abflussverhältnisse durch geplante Maßnahmen verändert?
- Wie werden Sedimente im Abflussgeschehen bewegt und abgelagert?

Numerische Modellierung im Flussbau

Grundlegende Fragestellungen im Flussbau

- Wieviel Wasser kommt pro Zeiteinheit zum Abfluss?
- Wie breitet sich der zu erwartende Abfluss im Gelände aus?
- Welche Fließtiefen und Wasserspiegellagen werden erreicht?
- Wie werden Abflussverhältnisse durch geplante Maßnahmen verändert?
- Wie werden Sedimente im Abflussgeschehen bewegt?

Hydrologie

Hydraulik

Morphologie

Numerische Modellierung im Flussbau

Grundlegende Fragestellungen im Flussbau

- Wieviel Wasser kommt pro Zeiteinheit zum Abfluss?

Hydrologie

- Wie breitet sich der zu erwartende Abfluss im Gelände aus?
- Welche Fließtiefen und Wasserspiegellagen werden erreicht?
- Wie werden Abflussverhältnisse durch geplante Maßnahmen verändert?

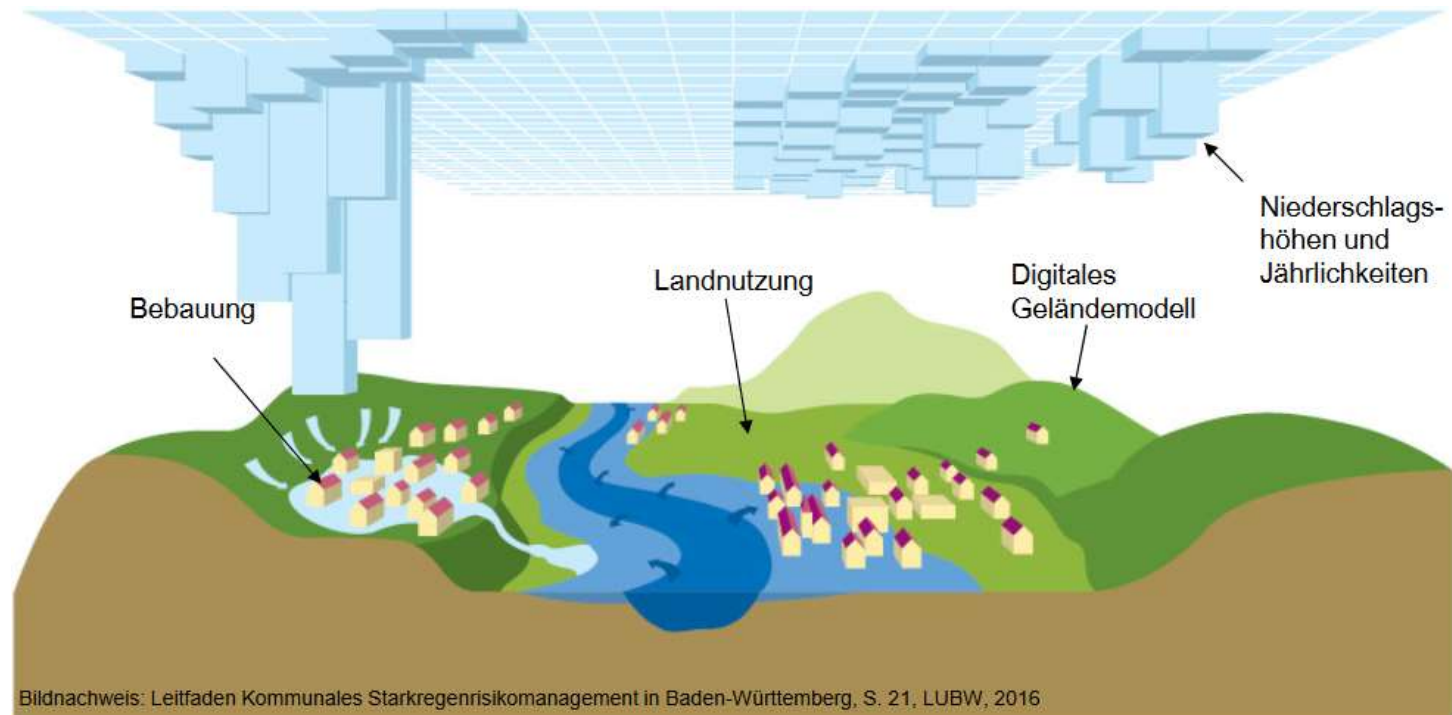
Hydraulik

- Wie werden Sedimente im Abflussgeschehen bewegt?

Morphologie

Hydrologie

„Übersetzung von Regen in Abfluss“



Hydrologie

Pegelbeobachtete Gewässer

- Statistische Ermittlung von Abflüssen verschiedener Auftretenswahrscheinlichkeiten aus Messzeitreihen über lange Zeiträume
- von Niederwasser bis Extremhochwasser



Pegelbeobachtungen an Gew. I. Ordnung

Vorgehensweise:

Erhebung von Abflusswerten über mehrere Jahre oder Jahrzehnte

Ermittlung von statistischen Auftretenswahrscheinlichkeiten auf Basis der beobachteten Zeitreihen

Berechnungen von Abflüssen verschiedener Jährlichkeiten, auch wenn diese innerhalb der Zeitreihe nicht beobachtet wurden

→ z.B. HQ100-Abflusswert

Lange Zeitreihen erforderlich!

Zunehmende Verlässlichkeit, je länger die Zeitreihe dauert

Hydrologie

Pegelbeobachtete Gewässer

- Statistische Ermittlung von Abflüssen verschiedener Auftretenswahrscheinlichkeiten
- von Niederwasser bis Extremhochwasser

Statistik Staudach / Tiroler Achen

Messstellen-Nr.:	18454003
Landkreis:	Traunstein
Betreiber:	 Wasserwirtschaftsamt Traunstein
Gewässer:	Tiroler Achen
Einzugsgebiet:	944,70 km ²
Flusskilometer:	9,25 km
Pegelnullpunktshöhe:	532,20 m NN (DHHN12)

Gewässerkundliches Jahrbuch

2015

Hauptwerte (1921 - 2013)				
	Winter	Sommer	Jahr	
NQ	7,18	8,5	7,18	m ³ /s
MNQ	12,4	15,2	11,9	m ³ /s
MQ	29,9	41,4	35,7	m ³ /s
MHQ	201	325	349	m ³ /s
HQ	649	966	966	m ³ /s

Statistische Abflusskenngrößen (HQ _T)	
Bemerkung:	
HQ ₁	272 m ³ /s
HQ ₂	350 m ³ /s
HQ ₅	440 m ³ /s
HQ ₁₀	530 m ³ /s
HQ ₂₀	630 m ³ /s
HQ ₅₀	760 m ³ /s
HQ ₁₀₀	870 m ³ /s

Extremwerte Hochwasser		
1.	966 m ³ /s	02.06.2013
2.	780 m ³ /s	31.05.1940
3.	687 m ³ /s	31.07.1924
4.	678 m ³ /s	12.08.2002
5.	671 m ³ /s	14.06.1959

Extremwerte Niedrigwasser		
1.	7,18 m ³ /s	1963
2.	7,46 m ³ /s	1941
3.	7,71 m ³ /s	1962
4.	7,87 m ³ /s	1954
5.	8,2 m ³ /s	1929

Hydrologie

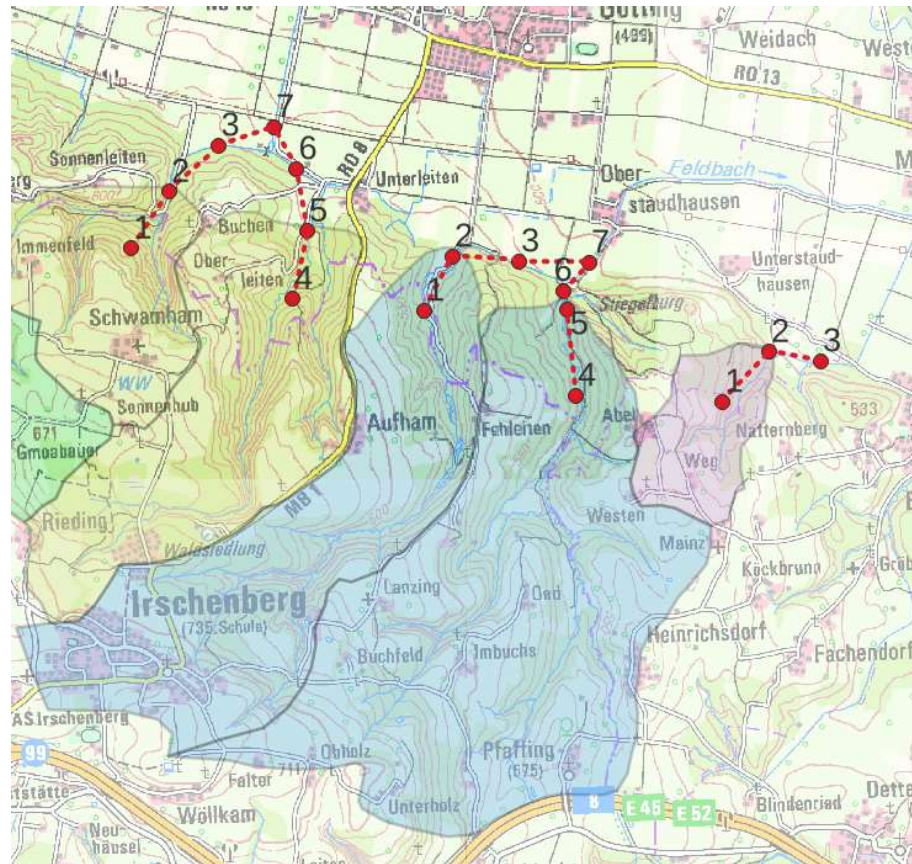
Gewässer OHNE Pegelbeobachtung

- Keine Messwerte vorhanden
- Modellierung von Abflussganglinien über hydrologische Niederschlag-Abfluss-Modelle



Niederschlag-Abfluss-Modellierung

Einzugsgebiet -> Regendaten -> Topographie -> Geologie/Nutzung -> Abflussganglinie



Numerische Modellierung im Flussbau

Niederschlag-Abfluss-Modellierung

– Regendaten

– Statistische Daten in räumlichen Rastern / Kacheln

KOSTRA-DWD 2010R

Nach den Vorgaben des Deutschen Wetterdienstes - Hydrometeorologie -

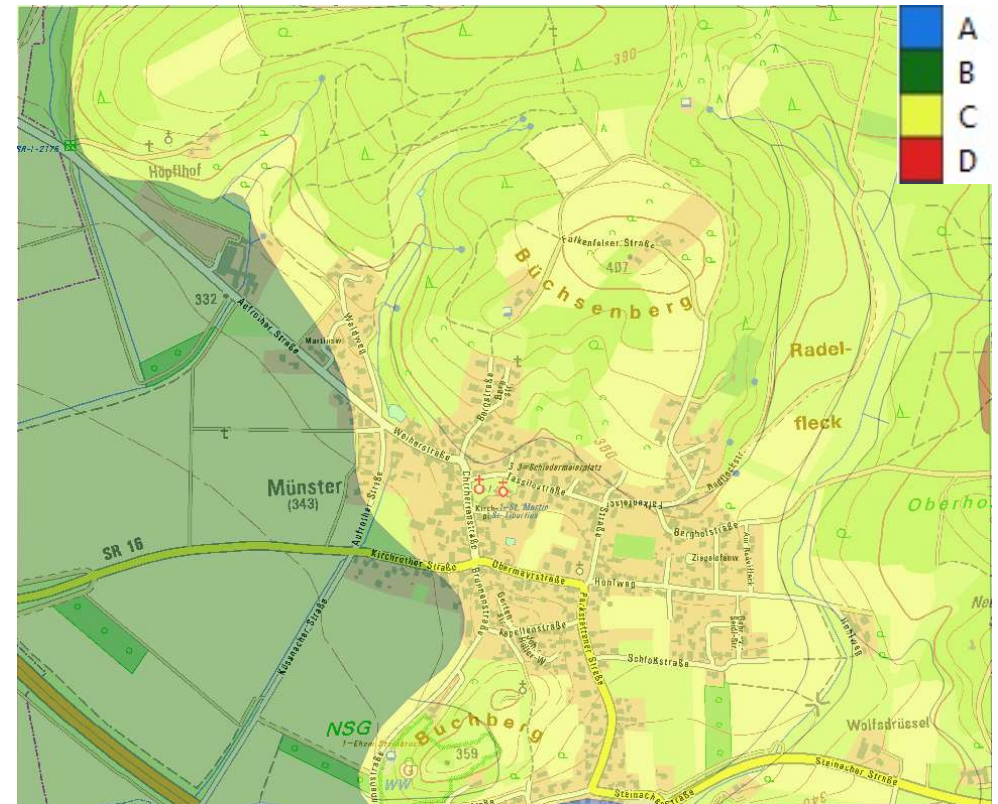


Dauerstufe	Niederschlagshöhen hN [mm] je Wiederkehrintervall T [a]								
	1 a	2 a	3 a	5 a	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
5 min	7,3	10,4	12,2	14,4	17,5	20,6	22,4	24,6	27,7
10 min	11,6	15,4	17,6	20,4	24,2	28,0	30,2	33,0	36,8
15 min	14,5	18,8	21,3	24,5	28,8	33,0	35,5	38,7	43,0
20 min	16,5	21,2	24,0	27,4	32,1	36,8	39,5	43,0	47,7
30 min	19,2	24,5	27,6	31,5	36,8	42,1	45,2	49,2	54,5
45 min	21,6	27,6	31,1	35,5	41,5	47,5	51,0	55,4	61,4
60 min	23,0	29,5	33,4	38,2	44,8	51,3	55,1	60,0	66,5
90 min	25,8	33,0	37,1	42,4	49,5	56,7	60,9	66,1	73,3
2 h	28,0	35,6	40,1	45,7	53,3	60,9	65,3	70,9	78,5
3 h	31,4	39,7	44,6	50,7	59,0	67,3	72,1	78,2	86,5
4 h	34,1	42,9	48,1	54,6	63,4	72,2	77,4	83,9	92,7
6 h	38,3	47,9	53,5	60,6	70,3	79,9	85,5	92,6	102,2
9 h	43,0	53,5	59,6	67,3	77,8	88,3	94,5	102,2	112,7
12 h	46,6	57,8	64,3	72,6	83,7	94,9	101,4	109,7	120,8
18 h	52,3	64,5	71,6	80,6	92,8	105,0	112,1	121,1	133,3
24 h	56,8	69,8	77,3	86,9	99,9	112,8	120,4	129,9	142,9
48 h	75,2	91,2	100,5	112,3	128,3	144,3	153,6	165,4	181,4
72 h	88,6	106,4	116,8	129,8	147,6	165,4	175,8	188,8	206,6

– Angabe Toleranzbetrag für 100-jährliche Ereignisse: +/-20%

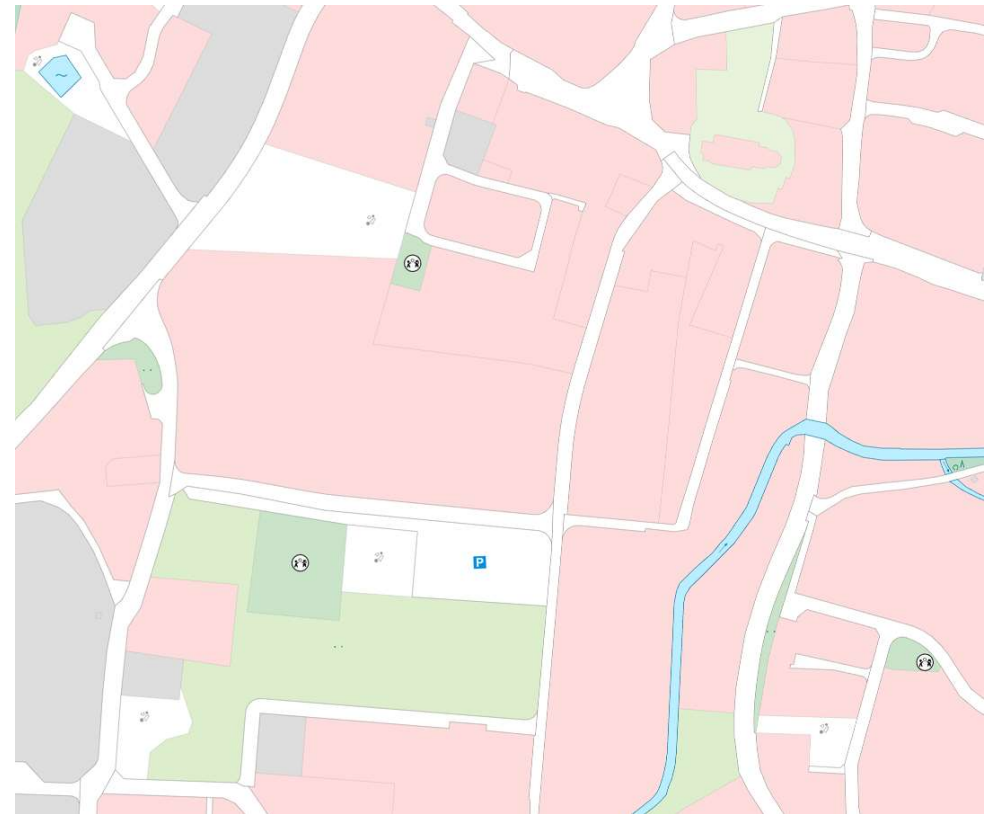
Niederschlag-Abfluss-Modellierung

- Geologie
 - Ermittlung der Versickerung bzw. des abflusswirksamen Anteils
 - Hydrologische Bodentypen nach Lutz
 - A: sehr durchlässig
 - ...
 - D: nahezu undurchlässig
- Grundlage Übersichtsbodenkarte
Maßstab 1:25.000



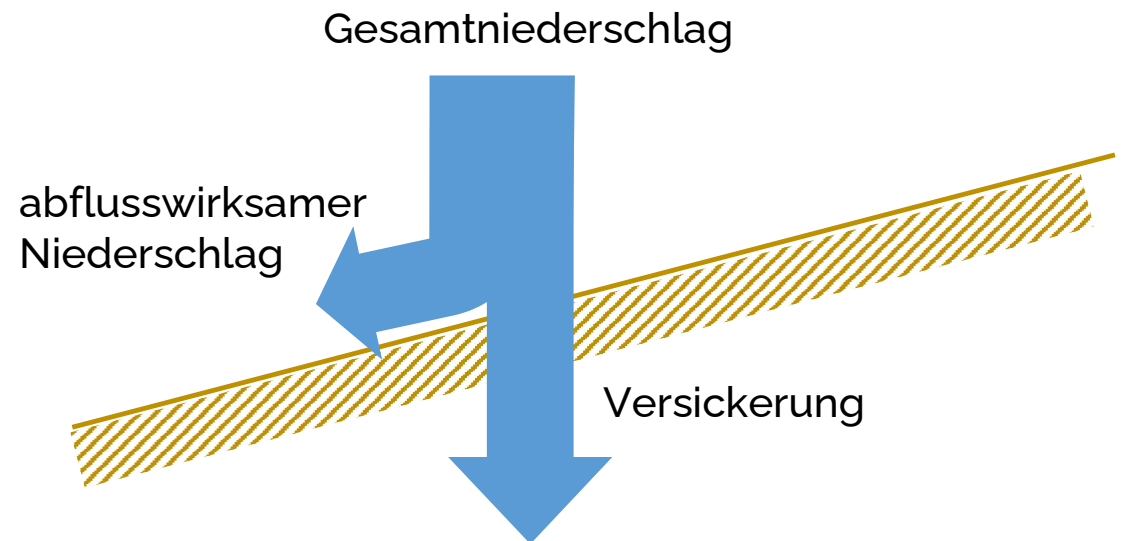
Niederschlag-Abfluss-Modellierung

- Nutzung
 - Ermittlung der Versickerung bzw. des abflusswirksamen Anteils
 - Nutzungsart bedingt die Speicherfähigkeit an der Oberfläche
 - Wald
 - ...
 - Versiegelte Flächen
 - Grundlage Datensatz „Tatsächliche Nutzung“ auf Basis aktueller Luftbildaufnahmen



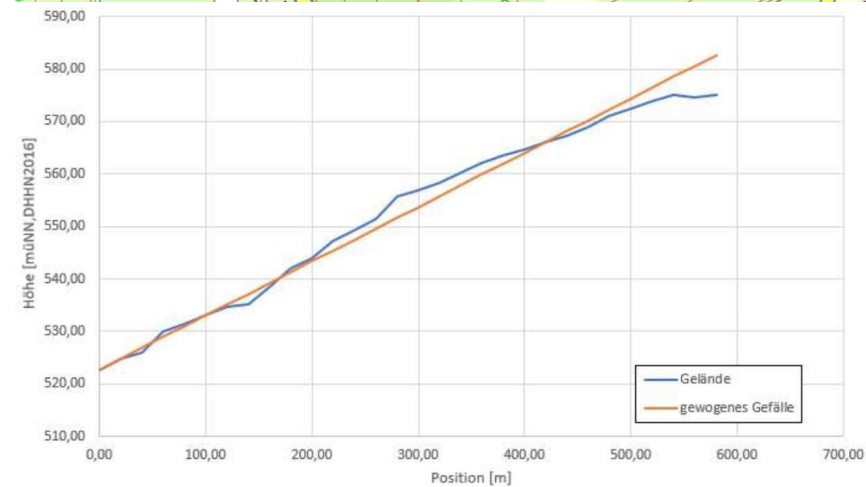
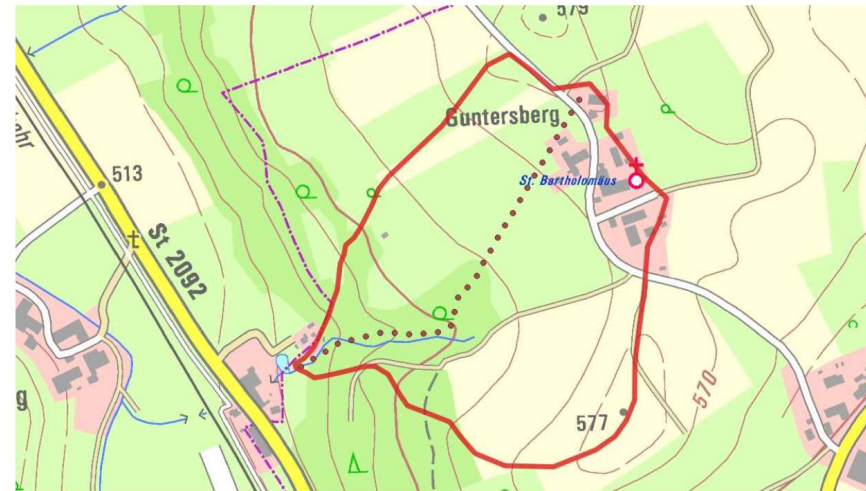
Niederschlag-Abfluss-Modellierung

- Abflusswirksamer Niederschlag
 - Überlagerung von Nutzung und Geologie
 - Ermittlung eines Abflussbeiwerts
 - Z.B. Lutz-Verfahren
 - zeitlich variabel!



Niederschlag-Abfluss-Modellierung

- Topographie
 - Neigung des Einzugsgebiets
 - Mittlere Hangneigung
 - Gewogenes Gefälle
 - Länge der Strömungswege



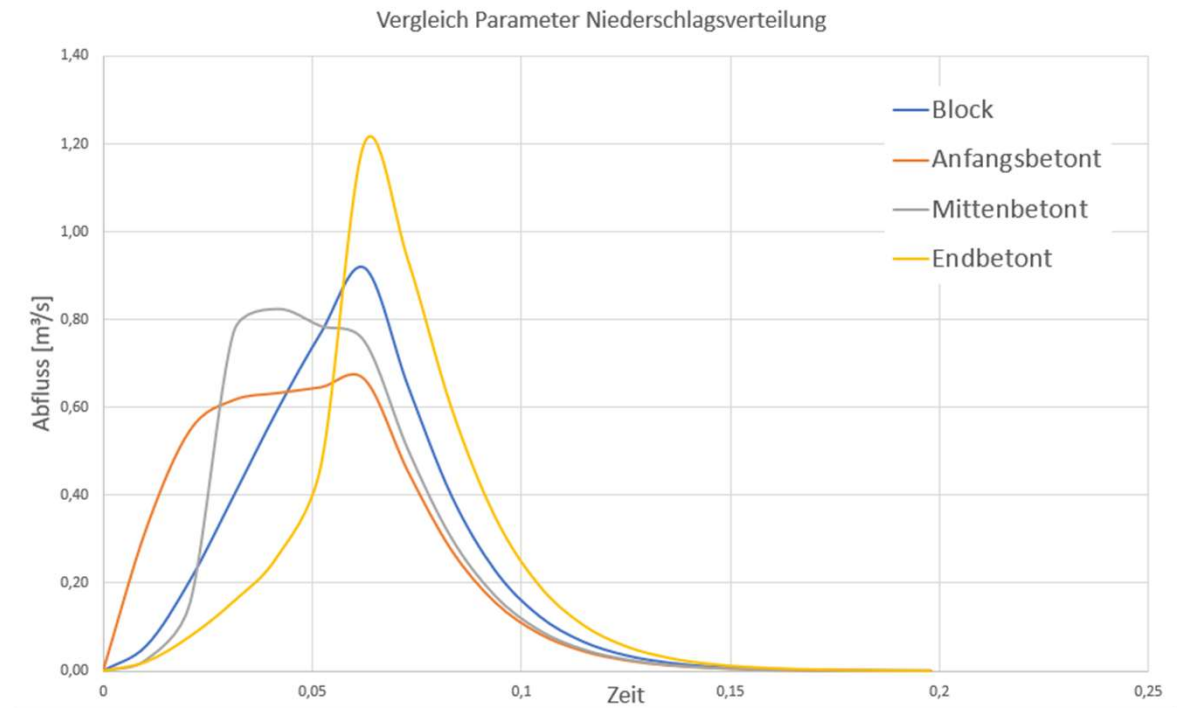
Niederschlag-Abfluss-Modellierung

- Hydrologische Modellierung mit generalisierten Parametern
- Bei großen Gebieten Aufteilung in Teileinzugsgebiete möglich
- Parameter müssen teilweise aus Erfahrungswerten bestimmt werden

Ermittlung von Abflussbeiwerten mit dem Lutzverfahren						
Name des Einzugsgebietes:		Einzugsgebiet Häuselgraben, Grafing				
Berechnungsgrundlage der Parameter c, A _v und c2 nach Lutz						
Landnutzung	Bodentyp				Berechnung der Parameter c, A _v und c2 sind die Flächenanteile in % anzugeben. Grobe Abschätzungen sind ausreichend.	
	A	B	C	D		
Laubwald			13,96	5,9	Definition der Bodentypen: Schotter, Kies, Sand A Feinsand, Löß, leicht tonige Sande B Bindige Böden mit Sand, Mischböden wie lehmiger Mehlsand, sandiger Lehm, tonig-lehmiger Sand C Ton, Lehm, dichter Fels, stauender Untergrund D CN-Wert Feuchtezustand II maximaler Endabflussbeiwert c 0,69 Anfangsverlust unversiegelte Fläche A _v 2,25 Parameter Jahreszeiteinfluss c2 3,36	
Nadelwald						
bebauter Anteil			11,22	0,16		
Ödland			0,78	0,18		
Reihenkultur (Hackfrüchte, Weinbau, u.ä.)						
Getreideanbau			29,44			
Leguminosen (Klee, Luzerne, u.ä.)						
Weideland						
Dauerwiese			38,14	0,22		
Haine, Obstanlagen, u.ä.						
Flächensumme (%)				100		
Berechnung des Abflussbeiwertes nach dem Verfahren von Lutz						
Name	Parameter	Zeichen	Dimension	Wert	Default	Bemerkung
Niederschlagshöhe	h _N		mm	47,30		
bebauter Anteil	A _b	%		11,38		Wird von oben übernommen, Eingabe möglich
Versiegelungsgrad	V _A	%		30		Eingabe möglich, alternativ Defaultwert nach Lutz
Anfangsverlust versiegelte Flächen	A _v	mm		1,0		Eingabe möglich, alternativ Defaultwert nach Lutz
Abflussbeiwert versiegelte Fläche	PSI _v	--		1,0		Eingabe möglich, alternativ Defaultwert nach Lutz
maximaler Endabflussbeiwert	c	--		0,69		Wird von oben übernommen, Eingabe möglich.
Anfangsverlust unversiegelte Fläche	A _v	mm		2,3		Wird von oben übernommen, Eingabe möglich
Eichparameter	c1			0,06	0,02	Eingabe möglich (für Südbayern wurde c1 zu 0,05 (Ebene) bis 0,1 (Alpen) ern
Parameter Jahreszeiteinfluss	c2				3,4	Wird von oben übernommen, Eingabe möglich
Wochennummer	WN				22	Eingabe möglich. Eingabe sinnvoll, wenn nicht Sommer berechnet wird
Wochenzahl	WZ				10	Berechnungsergebnis, Defaultwert 10 wenn Wochennummer nicht eingegeben
Parameter Vorregen	c3				2	Eingabe möglich, alternativ Defaultwert nach Lutz
Basisabflusspende	q _b	l/s/km ²		1,00	10	Eingabe möglich, alternativ Defaultwert nach Lutz
Parameter Niederschlagsdauer	c4				0	Eingabe möglich, alternativ Defaultwert nach Lutz
Niederschlagsdauer	D	h				Eingabe nicht erforderlich wenn c4 = 0
Proportionalitätsfaktor	a	l/mm		0,026		Zwischenergebnis c 0,687 0,034 A _v
Abflusshöhe versiegelte Fläche	h _{A,v}	mm		1,58		Berechnungsergebnis a 0,026 1,000 PSI _v
Abflusshöhe unversiegelte Fläche	h _{A,u}	mm		12,28		Berechnungsergebnis A _v 2,255 1,000 A _v
Abflusshöhe Gesamtgebiet	h _A	mm		13,86		Berechnungsergebnis
Abflussbeiwert	PSI	--		0,29		Berechnungsergebnis

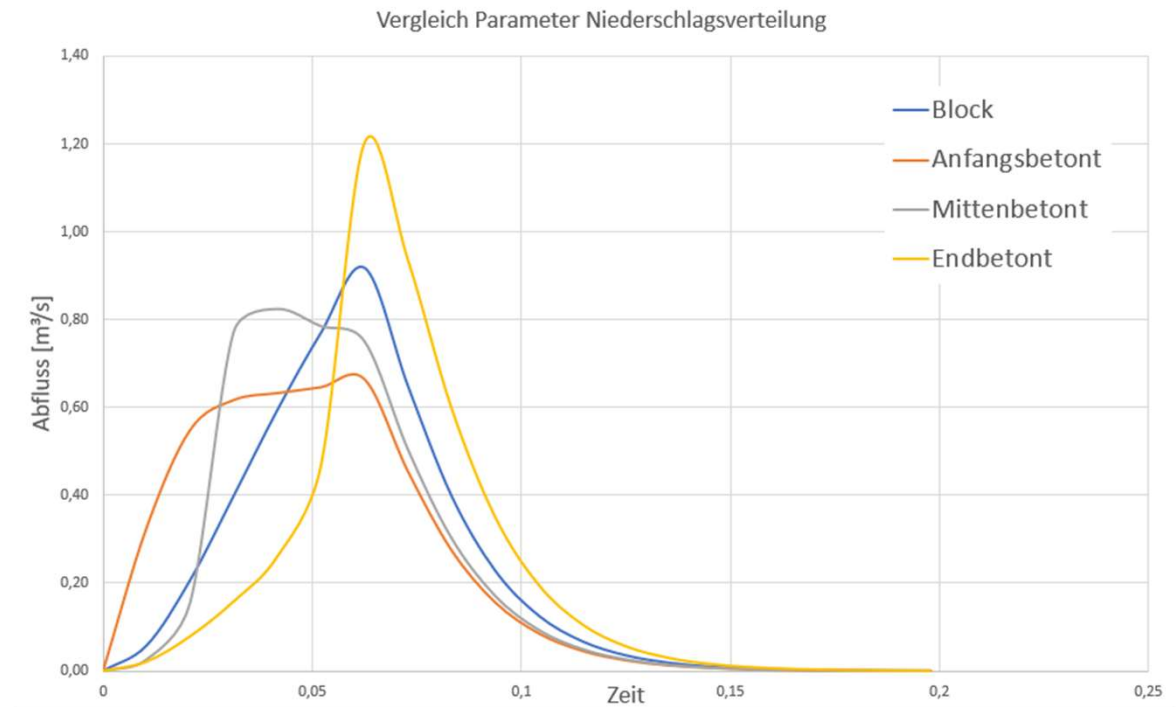
Niederschlag-Abfluss-Modellierung

- Ergebnisse weisen bei Parametervariationen häufig große Unterschiede auf
- Beispiel Niederschlagsverteilung
 - Block
 - Anfangsbetont
 - Mittenbetont
 - Endbetont



Niederschlag-Abfluss-Modellierung

- Ergebnisse einer hydrologischen Modellierung können große Unschärfen aufweisen!
- Kein „Fehler“ des Bearbeiters, sondern grundlegende Schwierigkeit in der Hydrologie
- Wenn keine Messwerte zur Verfügung stehen, bleibt die NA-Modellierung die einzige Möglichkeit!



Hydrologie

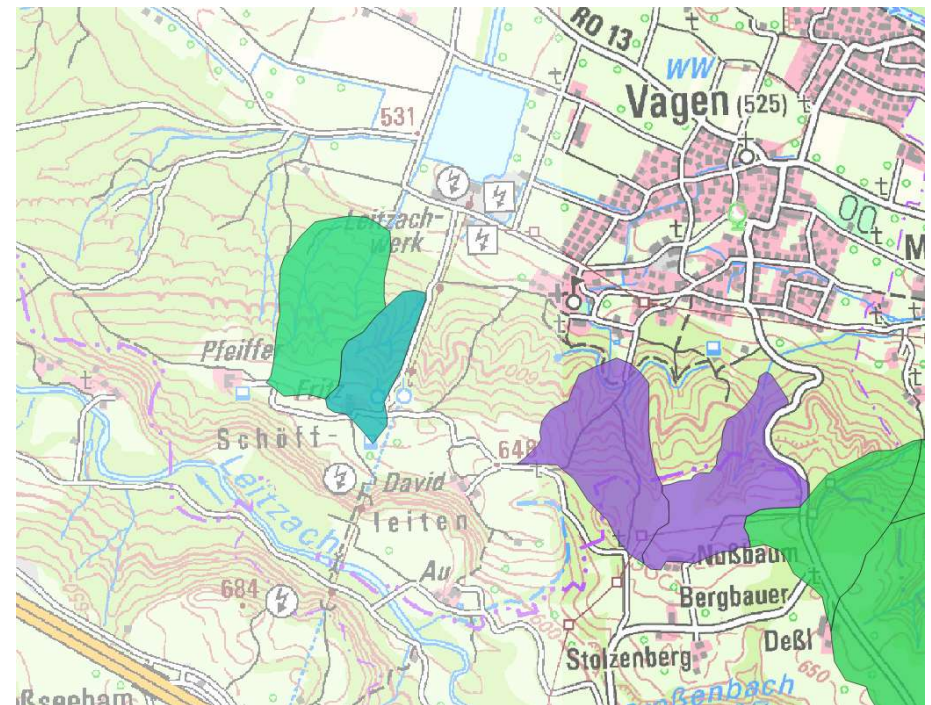
Klassische NA-Modellierung

- Talräume mit Gewässerstruktur

Aktuelle Fragestellung: Sturzflutereignisse

- Abflüsse aus Hangbereichen ohne deutliche Gewässerstruktur
- „Der Abfluss kommt aus der Fläche“

-> Flächige Berechnung eines 2d-Abflussmodells



Numerische Modellierung im Flussbau

Grundlegende Fragestellungen im Flussbau

– Wieviel Wasser kommt pro Zeiteinheit zum Abfluss?

Hydrologie

– Wie breitet sich der zu erwartende Abfluss im Gelände aus?

– Welche Fließtiefen und Wasserspiegellagen werden erreicht?

Hydraulik

– Wie werden Abflussverhältnisse durch geplante Maßnahmen verändert?

– Wie werden Sedimente im Abflussgeschehen bewegt?

Morphologie

Hydraulische Modellierung

- Grundlage: Navier-Stokes-Gleichung

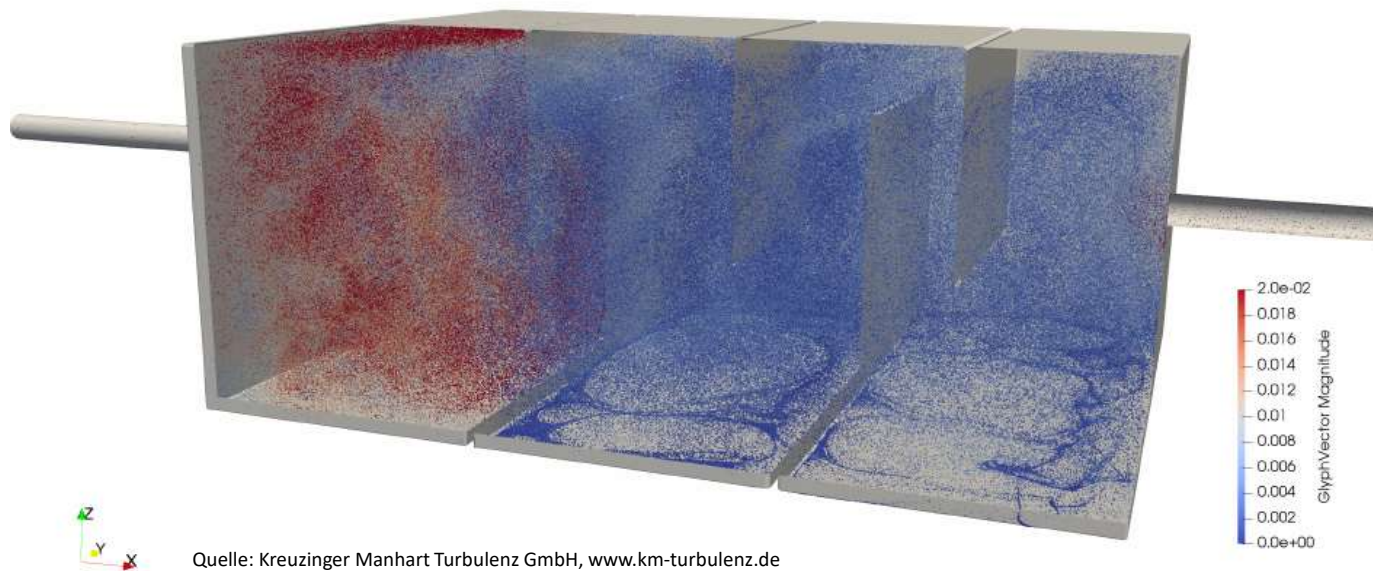
$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} - g_i + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2}$$

- Numerische Modellierung:
 - Lösung des Differenzialgleichungssystems in einem diskreten räumlichen Gitter zu verschiedenen Zeitpunkten
 - Vorgabe von Rand- und Anfangsbedingungen

Hydraulische Modellierung

- Numerische Modellierung:
 - Lösung des Differenzialgleichungssystems in einem diskreten räumlichen Gitter zu verschiedenen Zeitpunkten

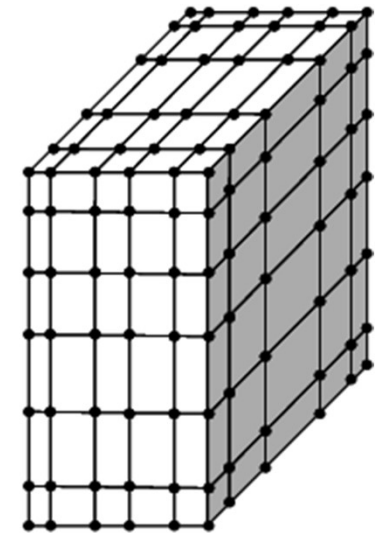
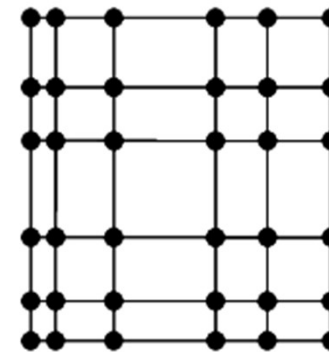


Hydraulische Modellierung

Vereinfachungen, um Rechenzeiten zu reduzieren und größere Gebiete berechnen zu können

– 1d-, 2d- und 3d-Modellierung

– Vereinfachung der Navier-Stokes-Gleichungen durch Ansätze, die unter bestimmten Voraussetzungen gültig sind



Quelle: https://www.researchgate.net/figure/Cartesian-grids-in-1D-2D-and-3D_fig2_301488723

Hydraulische Modellierung

1d-Modellierung

- Keine maßgeblichen Geschwindigkeitskomponenten quer zur Hauptrichtung
- Hydrostatische Druckverhältnisse
- Klassische Beispiele:
 - Rohrhydraulik
 - Technische Gerinnequerschnitte



Hydraulische Modellierung

1d-Modellierung

- Je Stützstelle ein Wert für
 - Sohlhöhe
 - Rauheit
 - Querschnittsgeometrie
- Je Stützstelle ein Ergebnis für
 - Fließtiefe
 - Geschwindigkeit
- „Querschnittsgemittelte“ Ergebnisse



Hydraulische Modellierung

2d-Modellierung

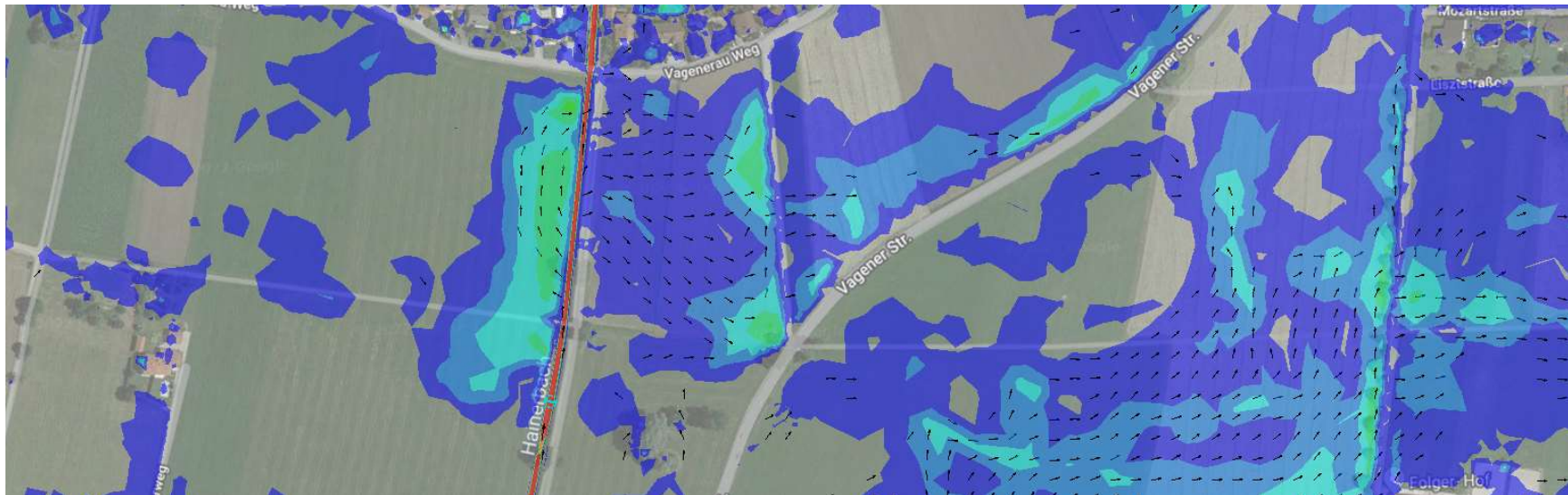
- Keine maßgeblichen Geschwindigkeitskomponenten in vertikaler Richtung
- Hydrostatische Druckverhältnisse
- Klassische Beispiele:
 - Stark gegliederte Querschnitte
 - Überschwemmungsgebietsermittlung
 - Bemessungen im Flussbau



Hydraulische Modellierung

2d-Modellierung

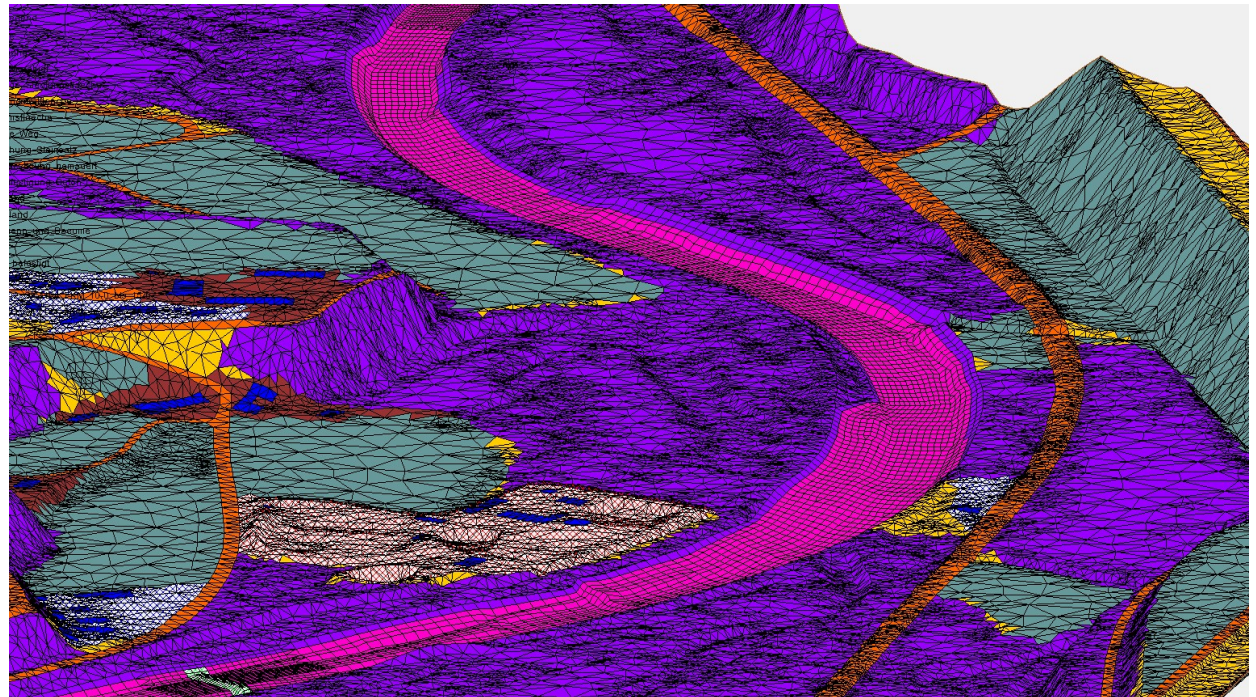
– Beispiel Überschwemmungsgebietsermittlung



Hydraulische Modellierung

2d-Modellierung

- Je Stützstelle ein Wert für
 - Sohlhöhe
 - Rauheit
- Je Stützstelle ein Ergebnis für
 - Fließtiefe
 - Geschwindigkeit
- „Tiefengemittelte“ Ergebnisse



Hydraulische Modellierung

3d-Modellierung

- Abbildung aller Strömungsrichtungen und Geschwindigkeitskomponenten
- Beispiele im Flussbau:
 - Bauwerke
 - Lokale Hindernisse
- Turbulenzmodelle!

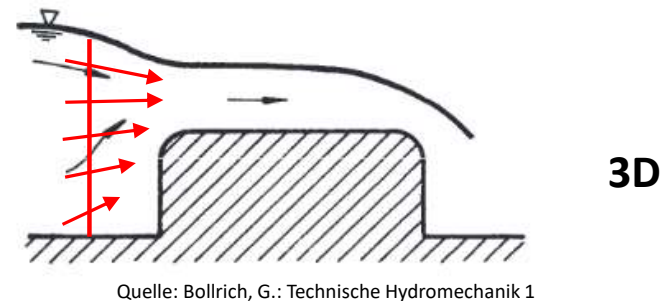
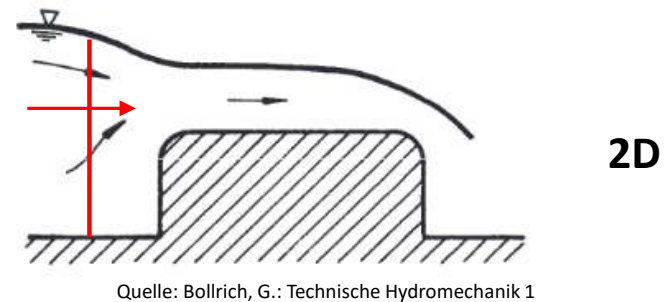


Hydraulische Modellierung

3d-Modellierung

- Netzdiskretisierung in drei Raumrichtungen
- Je Lagepunkt
 - Strömungsgrößen an mehreren Stellen über die Höhe

- Strömungsgrößen in drei Raumrichtungen

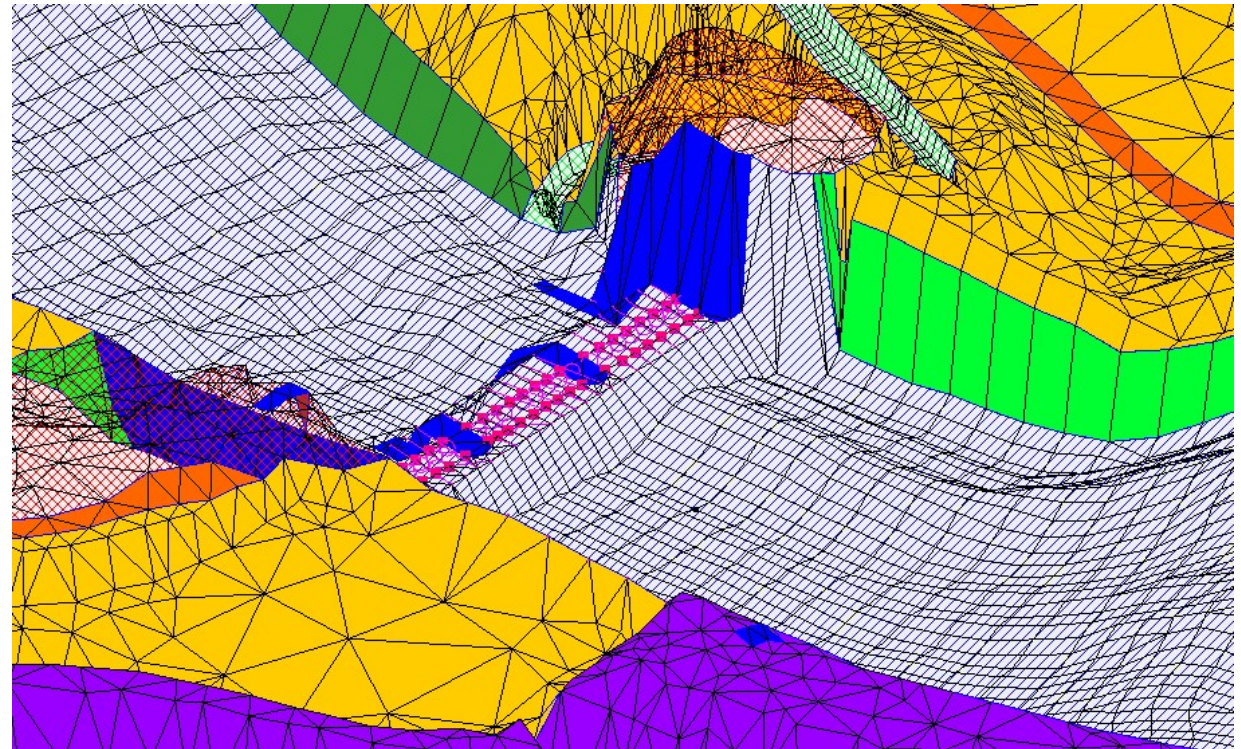


Hydraulische Modellierung

3d-Modellierung

- Anwendungsfälle in der Praxis
 - Sonderbauwerke im HWS
 - Wasserkraftanlagen

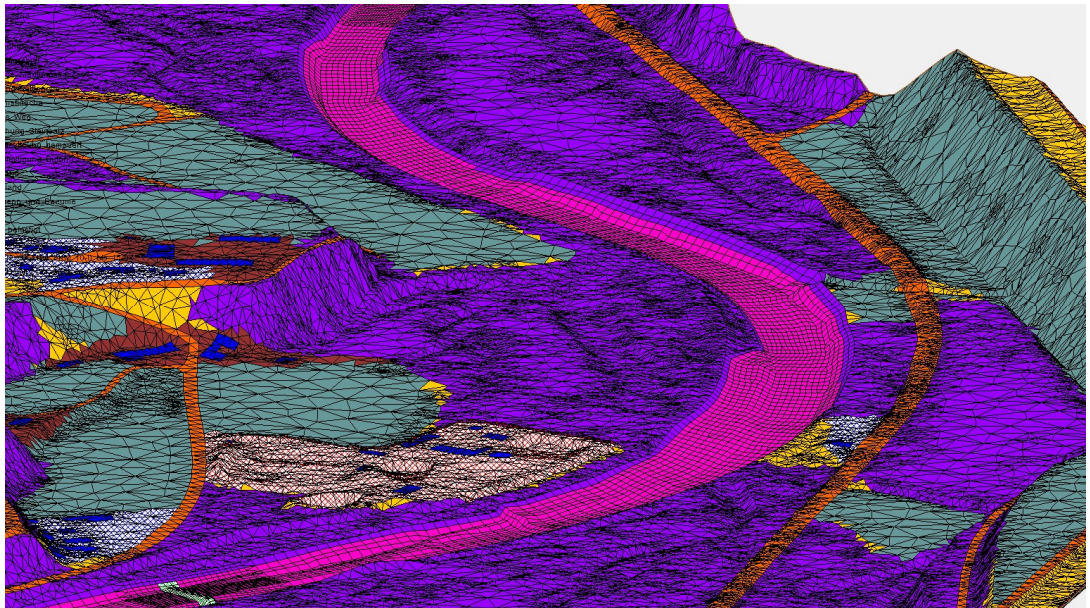
- Standardbauwerke (Wehre, Abstürze,..) werden in der Praxis in der Regel im 2d-Modell abgebildet



Hydraulische 2d-Modellierung

Topographische Grundlagendaten

- Unterscheidung Gerinne und Vorland:
 - Vorland: Laserscan-Daten mit Raster-Auflösung (z.B. DGM1)
 - Gerinne: Vermessungsdaten
 - Profilvermessung
 - Flächenpeilungen



Hydraulische 2d-Modellierung

Vorlanderstellung

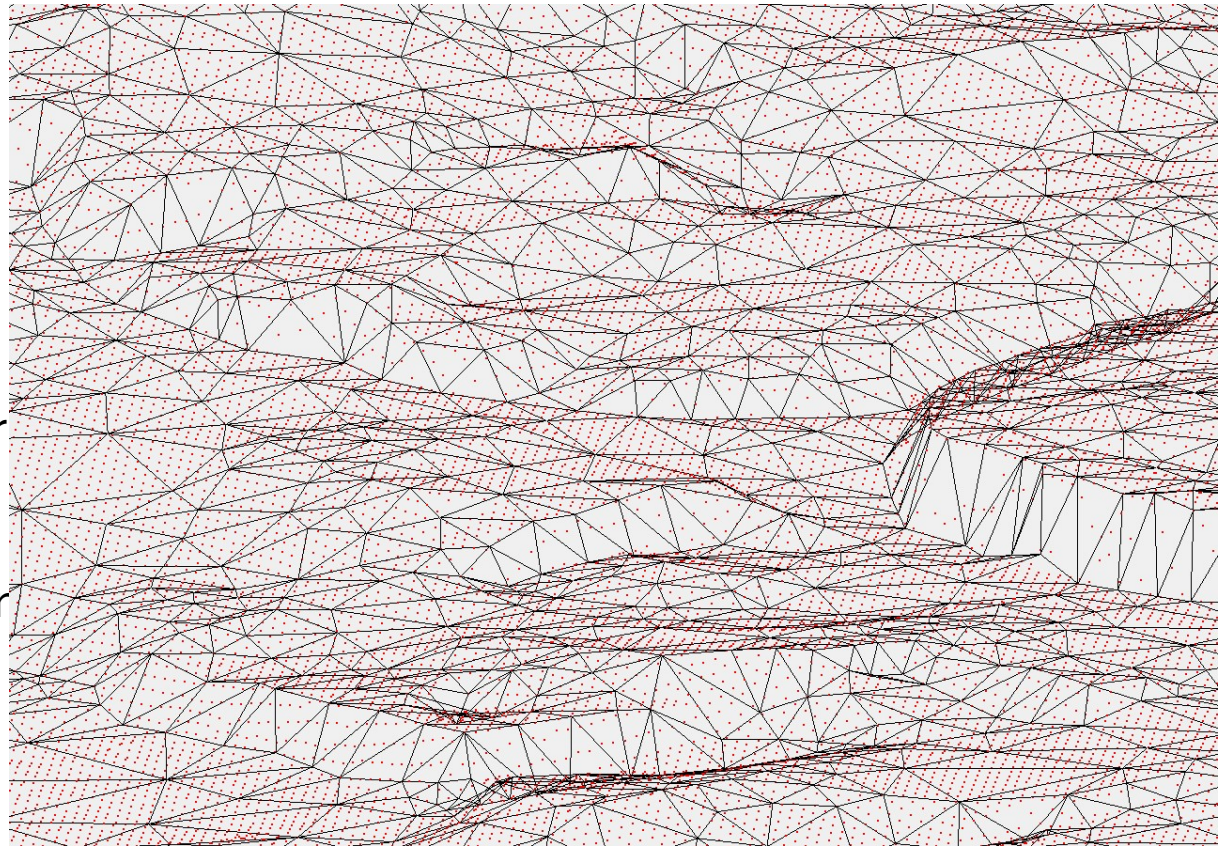
- Laserscandaten -> DGM1
- Geländehöhen im 1x1m-Raster
- Ausdünnung nach Geländeform
- Bruchkantenerkennung



Hydraulische 2d-Modellierung

Vorlanderstellung

- Laserscandaten -> DGM1
- Geländehöhen im 1x1m-Raster
- Ausdünnung nach Geländeform
- Bruchkantenerkennung

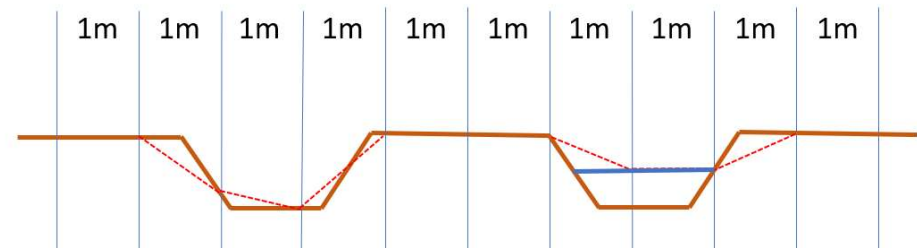
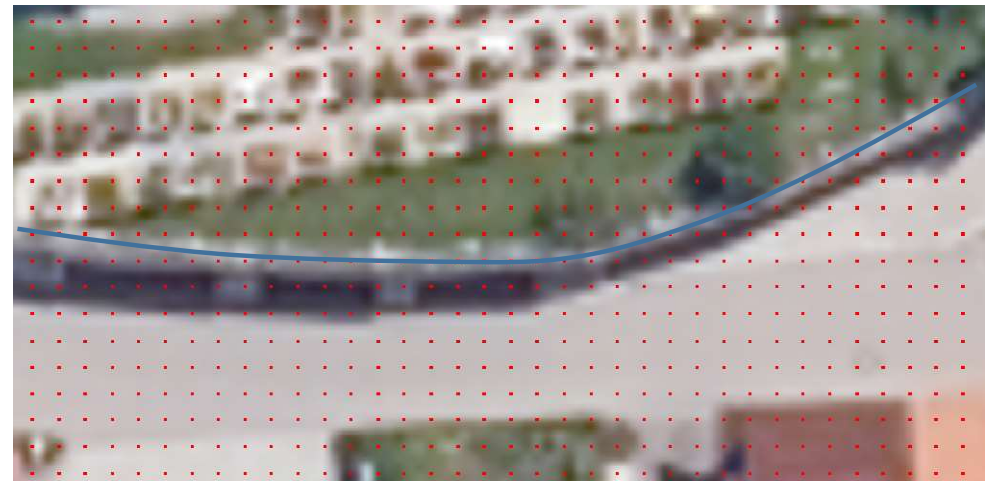


Hydraulische 2d-Modellierung

Laserscandaten -> DGM1

Mauern und Gewässerstrukturen werden durch das DGM1 nicht in ausreichender Genauigkeit erfasst

→ Terrestrische Vermessung erforderlich



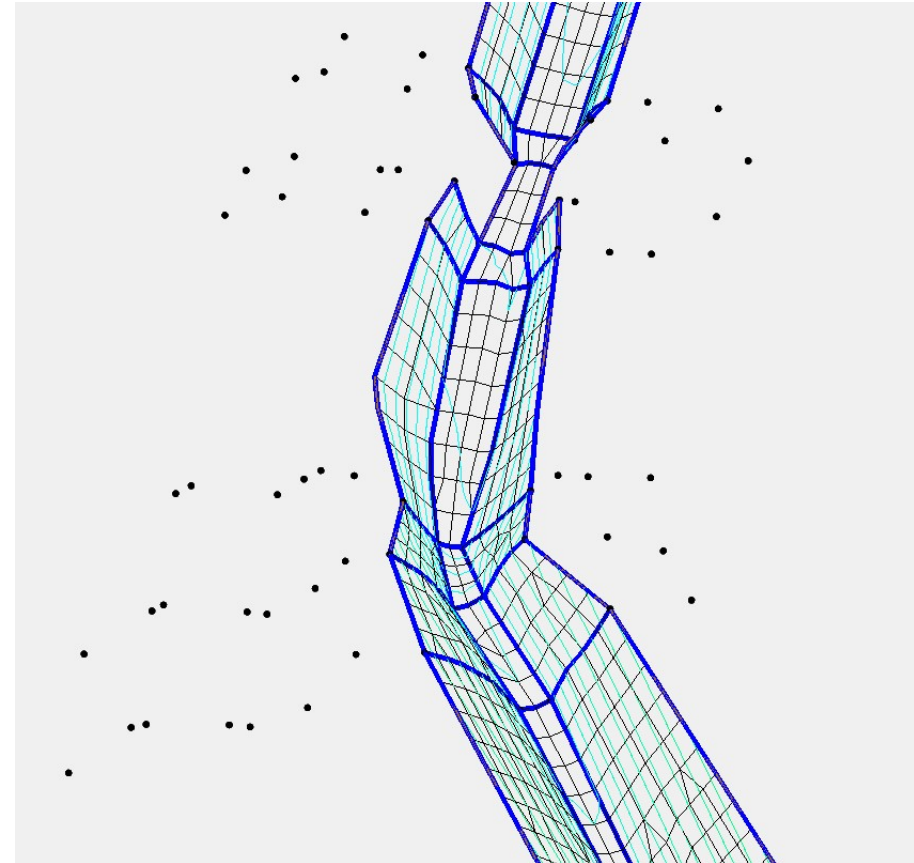
Hydraulische 2d-Modellierung

Flussschlauchmodellierung

Erstellung des Berechnungsgitters aus
Profilvermessung

- Querprofile
- Längsstrukturen

Längsinterpolation



Hydraulische 2d-Modellierung

Flussschlauchmodellierung

Erstellung des Berechnungsgitters
aus Profilvermessung

- Querprofile
- Längsstrukturen

Längsinterpolation



Hydraulische 2d-Modellierung

Flussschlauchmodellierung über
Profilvermessungen

- Zielsetzung in den meisten Fällen:
 - Modellierung von Hochwasserabflüssen
 - Keine Niedrigwasserberechnungen!

- Geringe Relevanz von kleinen geometrischen Strukturen!

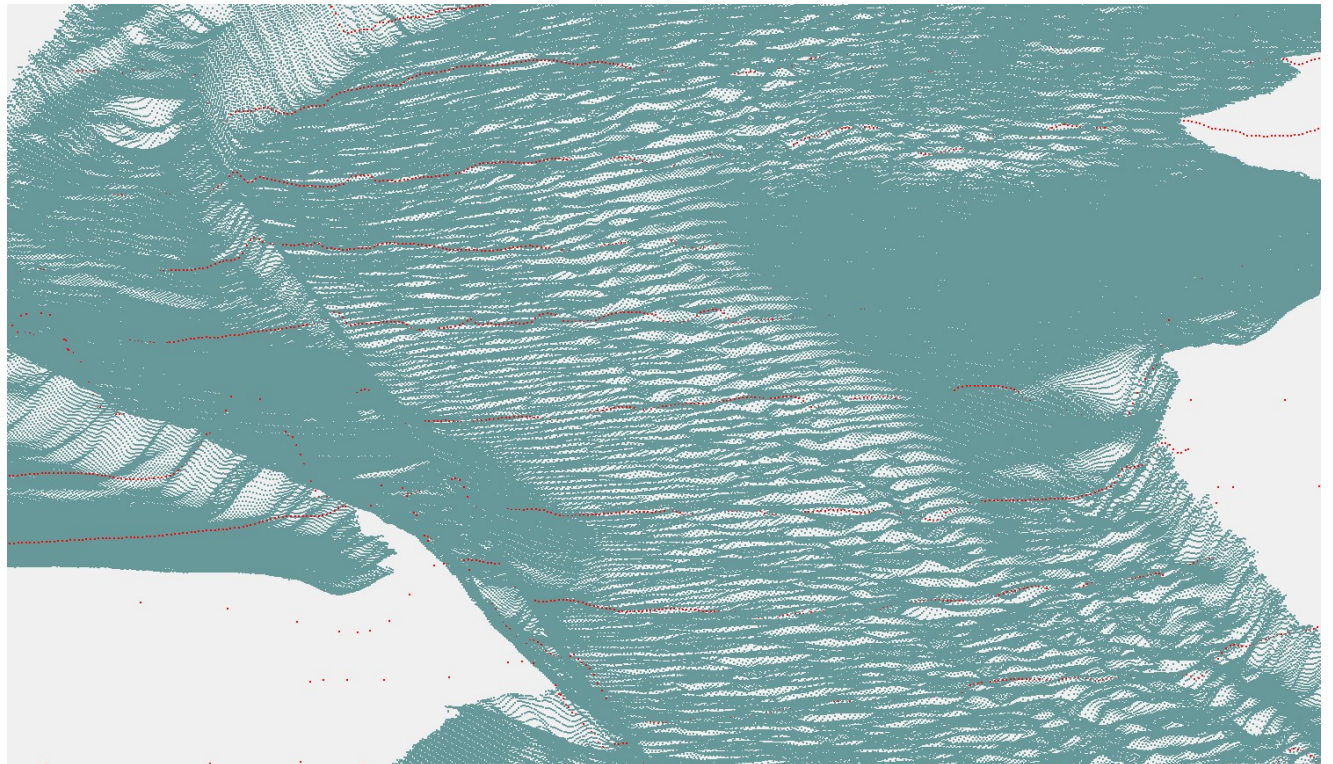


Hydraulische 2d-Modellierung

Flussschlauchmodellierung

Flächenpeilungen

-> Ausdünnung für Erstellung
des Berechnungsgitters



Hydraulische 2d-Modellierung

Randbedingungen

→ Zufluss

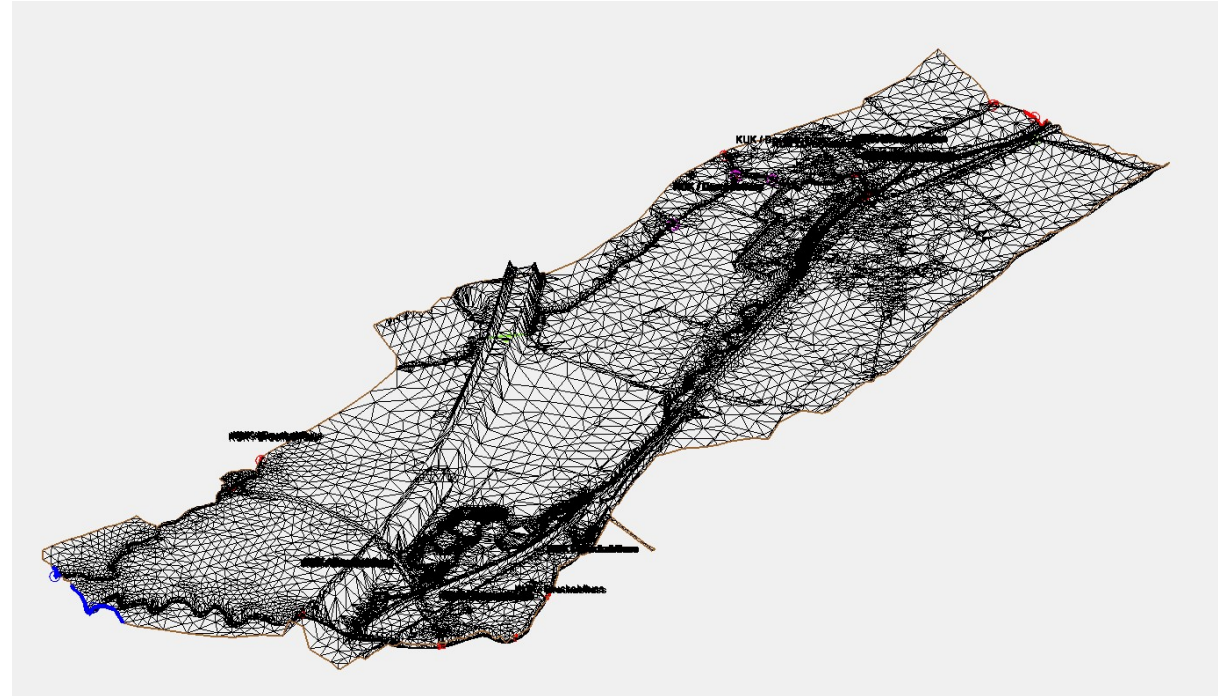
punktuelle Zugaben

Berechnung in der Fläche

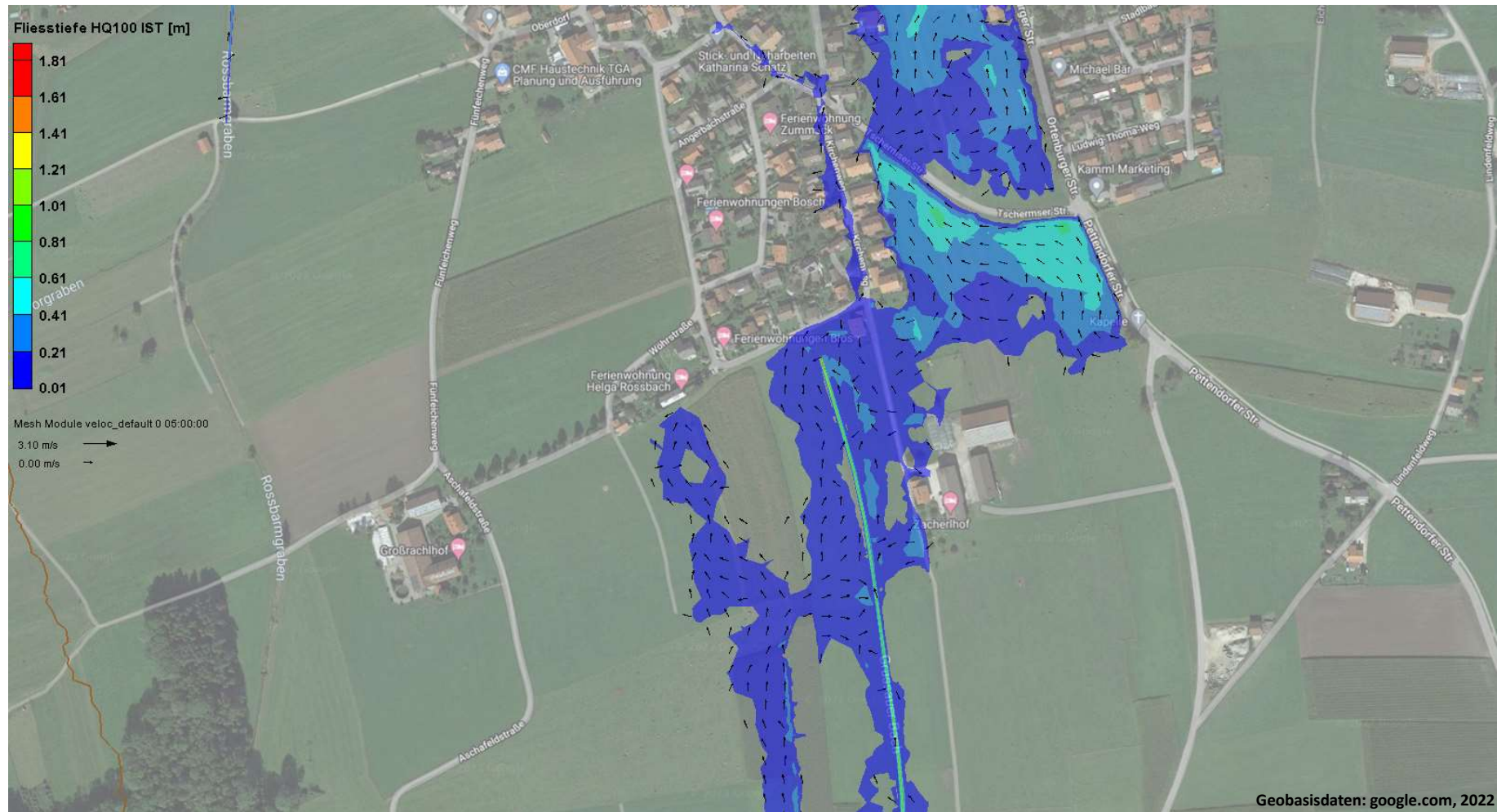
→ Auslauf

W-Q-Beziehungen

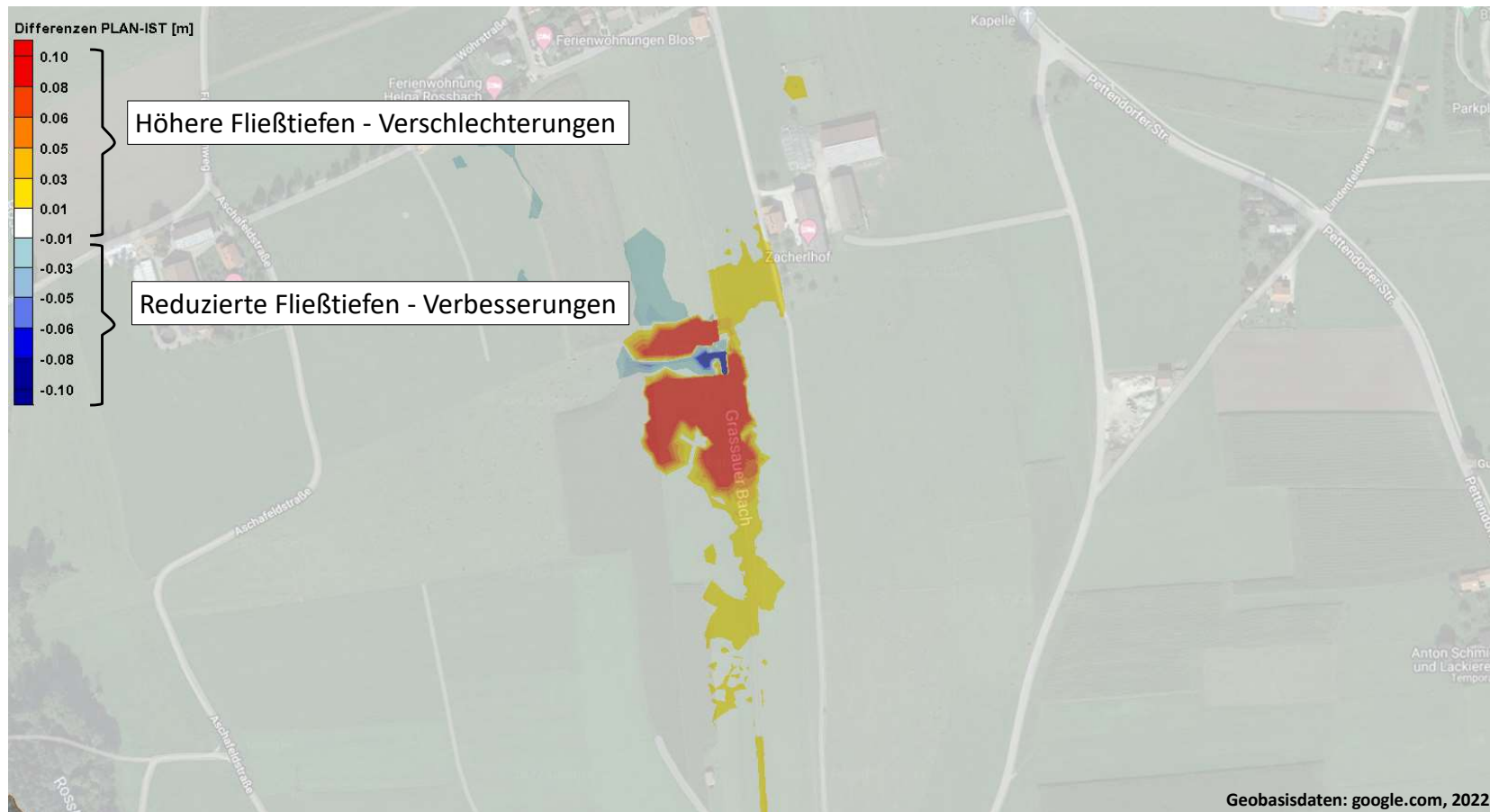
angelehnt an das Geländegefälle



Hydraulische 2d-Modellierung - Ergebnisse



Hydraulische 2d-Modellierung – Untersuchung von geplanten Maßnahmen



Numerische Modellierung im Flussbau

Grundlegende Fragestellungen im Flussbau

- Wieviel Wasser kommt pro Zeiteinheit zum Abfluss?
- Wie breitet sich der zu erwartende Abfluss im Gelände aus?
- Welche Fließtiefen und Wasserspiegellagen werden erreicht?
- Wie werden Abflussverhältnisse durch geplante Maßnahmen verändert?

Hydrologie

Hydraulik

- Wie werden Sedimente im Abflussgeschehen bewegt?

Morphologie

Morphologische Modellierungen

Relevanz:

- Ermittlung von Erosions- und Verlandungsprozessen
- Bewertung von Auswirkungen geplanter flussbaulicher Maßnahmen
- Analyse von langfristigen Sohlentwicklungen durch z.B. Veränderungen im Sedimentregime



Morphologische Modellierungen

Relevanz:

- Auswirkungen auf Grundwasserspiegel
- Auswirkungen auf Wasserspiegellagen im Hochwasserfall
- Auswirkungen auf den ökologischen Zustand eines Gewässers



Geodaten: Verbund Innkraftwerke

Morphologische Modellierungen

Grundlegende Unterscheidung:

- Geschiebetransport
- Schwebstofftransport



Morphologische Modellierungen

Grundlegende Unterscheidung:

- Geschiebetransport
- Schwebstofftransport



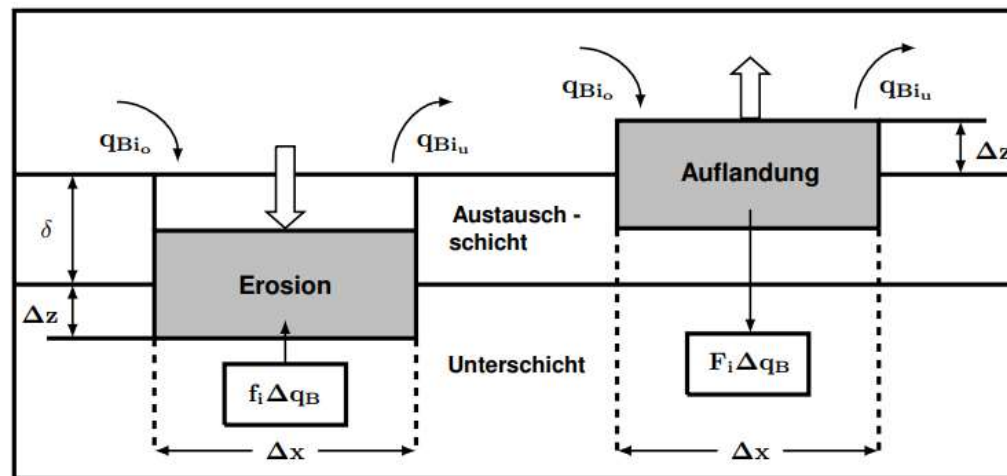
Morphologische Modellierungen

Vorgehensweise:

- Hydraulische Berechnung der Strömungssituation im 1d/2d-Abflussmodell
- Berechnung der transportwirksamen Strömungsgrößen
 - z.B. Sohlschubspannung
- Ermittlung der erodierten oder angelandeten Feststoffmenge
- Ermittlung der neuen Sohlgeometrie

Morphologische Modellierungen

Bilanzierung der Feststoffbewegung innerhalb eines Gitterelements



Quelle: Ingenieurbüro Hydrotec, Aachen, Handbuch Hydro_FT

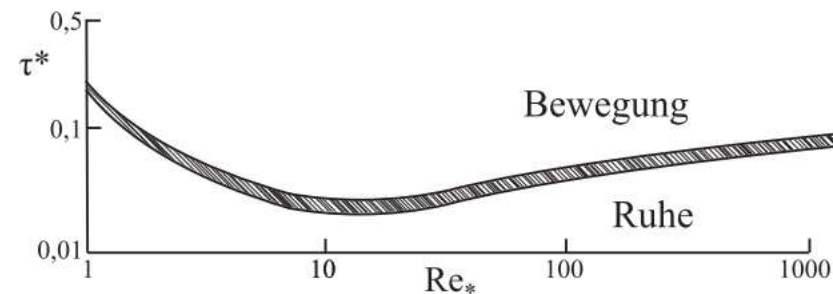
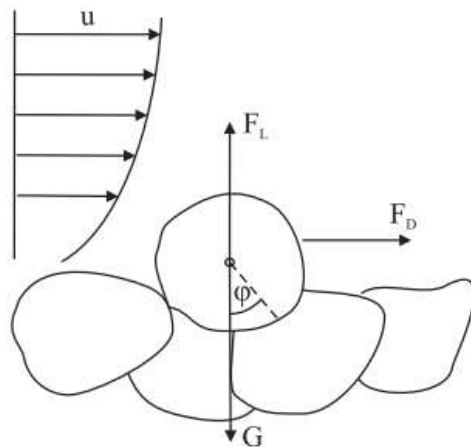
Morphologische Modellierungen

Zusätzlicher Parametersatz im Vergleich zum reinen hydraulischen Modell:

z.B.

- Definition des Bewegungsbeginns der Kornfraktionen

Modellansätze: z.B. Bewegungsbeginn nach Shields



Morphologische Modellierungen

Zusätzlicher Parametersatz im Vergleich zum reinen hydraulischen Modell:

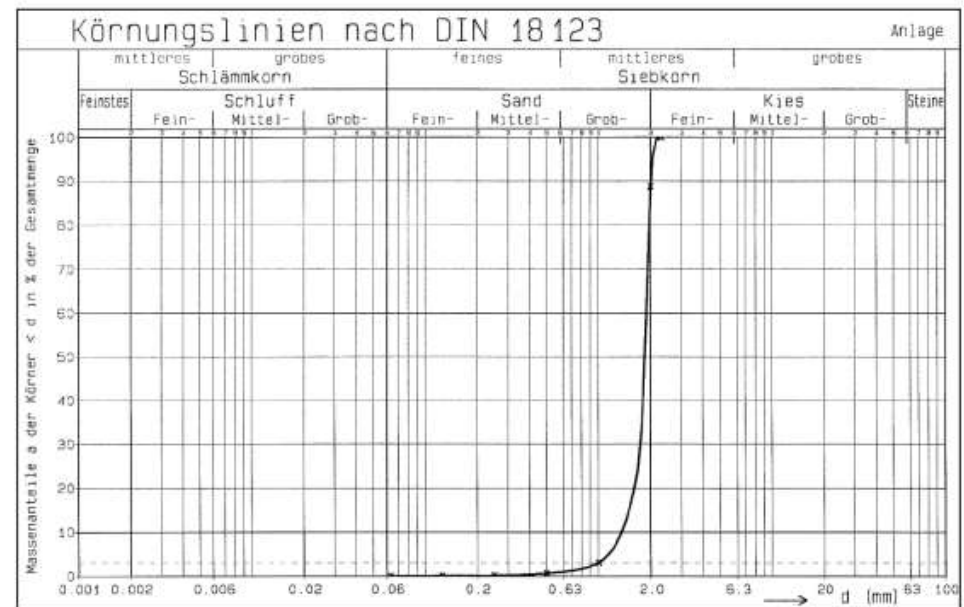
z.B.

- Kornverteilungskurve

Stichproben im Untersuchungsgebiet

Modellansätze zum Schichtenaufbau

„Deckschichtbildung“



Morphologische Modellierungen

Zusätzlicher Parametersatz im Vergleich zum reinen hydraulischen Modell:

z.B.

- Kornverteilungskurve

Stichproben im Untersuchungsgebiet

Modellansätze zum Schichtenaufbau

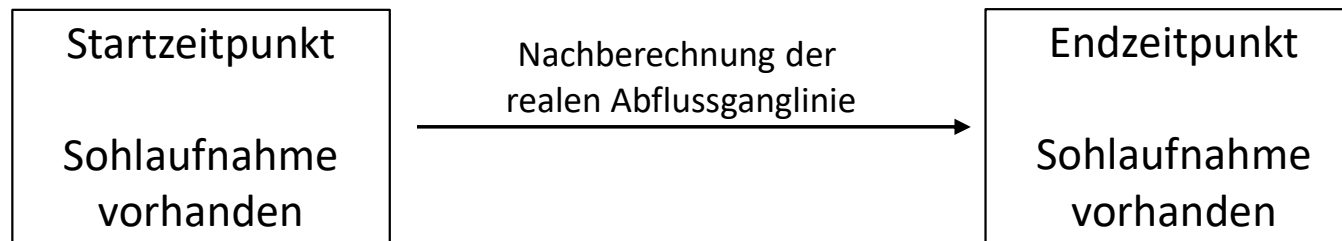
„Deckschichtbildung“



Morphologische Modellierungen

Zahlreiche zusätzliche Modellansätze

-> Kalibrierung der Modelle zwingend erforderlich



Vergleich der gemessenen und berechneten Sohlentwicklungen

Morphologische Modellierungen

Zahlreiche zusätzliche Modellansätze

-> Kalibrierung der Modelle zwingend erforderlich

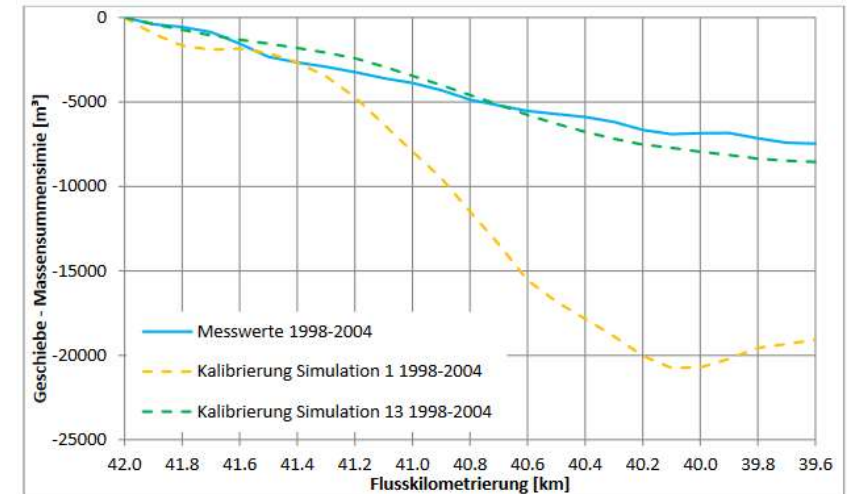
Kalibrierzeitraum in der Regel über mehrere Jahre

– Relevante bettbildende Abflüsse müssen enthalten sein (Hochwasser)

Lange Rechenzeiten wegen

– langer Abflussganglinien

– Hohem Berechnungsaufwand wegen zus. Gleichungen und Modellansätze

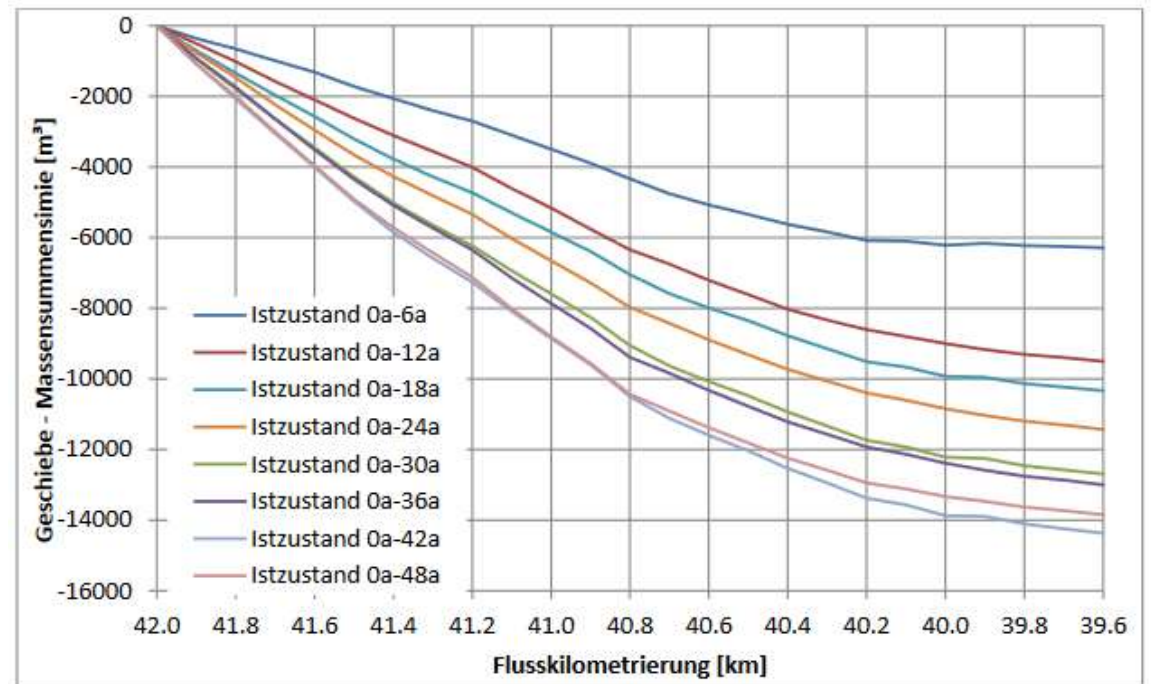


Quelle: Ingenieurbüro SKI, München

Morphologische Modellierungen

Auswertungen der Berechnungen

- Häufig 2d-Berechnungsansätze
- 1d-Auswertung



Quelle: Ingenieurbüro SKI, München

Zusammenfassung

Grundlegende Fragestellungen im Flussbau werden mit verschiedenen numerischen Modellen bearbeitet

- In allen Modellen werden Vereinfachungen getroffen, da Prozesse betrachtet werden, die nicht vollständig numerisch abgebildet werden können
- Für die Modellansätze gelten bestimmte Voraussetzungen, die dem Ersteller / Bearbeiter bewusst sein müssen, um die Ergebnisse sinnvoll bewerten zu können
- Modellansätze sollten mit dem Wissen über vorhandene Unschärfen verwendet und aufeinander abgestimmt werden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

cfLab GmbH

Nußbaumweg 30a

83224 Grassau

Tel.: 08641/627 99 44

E-Mail: info@cfLab.eu

www.cfLab.eu

www.cfLab.eu