

Großtechnische Erprobung eines standardisierten Optimierungs- und Simulationswerkzeugs zur Online-Kanalnetzsteuerung am Beispiel des Einzugsgebiets der Kläranlage Kenten im Erftverbandsgebiet

Abflusssteuerung in Kanalnetzen unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit

Vergabe-Nr. 08/058.2 – Einzelauftrag 10

gefördert durch

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Partner



SIEMENS



**Großtechnische Erprobung eines standardisierten
Optimierungs- und Simulationswerkzeugs zur
Online-Kanalnetzsteuerung
am Beispiel des Einzugsgebiets der Kläranlage
Kenten im Erftverbandsgebiet**

**Abflusssteuerung in Kanalnetzen unter dem Aspekt
der Wirtschaftlichkeit**

Aachen, Juni 2012
FiW an der RWTH Aachen

Dr.-Ing. F.-W. Bolle

Projektbearbeitung

	Institution	Bearbeiter
	Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V. Kackertstraße 15-17 52056 Aachen Tel.: 0241 80 26825 Fax: 0241 80 22825 Email: fiw@fiw.rwth-aachen.de	Maja Lange Thomas Siekmann Susanne Hüben
	Erftverband Bauassessor Norbert Engelhardt Am Erftverband 6 50126 Bergheim Tel.: 02271 88 0 Fax: 02271 80 12 10	Heinrich Dahmen Reinhold Kiesewski
	PFI Planungsgemeinschaft GbR Dr.-Ing. Richard Rohlfing Karl-Imhoff-Weg 4 30165 Hannover Tel.: 0511 35851-0 Fax: 0511 35851-43	Dr.-Ing. Richard Rohlfing Steffen Gerke
	Siemens AG Industry Sector Industry Automation Division Industrial Automation Systems Process Automation I IA AS PA W&WW Siemensallee 84 76187 Karlsruhe, Deutschland	Dr. Annelie Sohr CT T DE TC3 Otto-Hahn-Ring 6 81739 München, Deutschland Tel.: +49 89 636-50391 Fax: +49 89 636-45111 Mobil: +49 152 21859498 Email:annelie.sohr@siemens.com Holger Hanss I IA AS PA W&WW Siemensallee 84 76187 Karlsruhe, Deutschland Tel.: +49 721 595-6748 Mobil: +49 1522 2912019 Email:holger.hanss@siemens.com

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung.....	2
3	Grundlagen für eine Abflusssteuerung	3
3.1	Datenerhebung	3
3.2	Simulationsprogramme.....	8
3.3	Genehmigung	13
3.4	Steuerung und Immission	16
4	Beschreibung des Untersuchungsgebiets Kanten.....	18
4.1	Gebiets- und Netzdaten.....	18
4.2	Niederschlagsdaten	21
4.3	Datengrundlage und Plausibilitätsprüfung	22
5	Ablaufschema zur Datenerhebung.....	25
6	Abflusssteuerung im Netz Kanten	26
6.1	Ziele und Ist-Zustand	26
6.2	Verwendete Modelle	26
6.3	Modell MOMENT	27
6.4	Modell EXTRAN.....	31
6.4.1	Berechnungsmodell.....	31
6.4.2	Kalibrierung des Berechnungsmodells	33
6.5	SIWA SEWER ASSIST.....	38
6.5.1	SIWA SEWER ASSIST Module.....	38
6.5.2	SIWA SEWER ASSIST Komponenten	41
6.5.2.1	Zufluss	41
6.5.2.2	Kanal	41
6.5.2.3	Düker	42
6.5.2.4	Verzweigung / Zusammenfluss	42
6.5.2.5	Becken.....	42
6.5.2.6	Schwelle / Wehr.....	42
6.5.2.7	Pumpe	43
6.5.2.8	Ventil.....	43
6.5.2.9	Verbinder	43
6.5.3	SIWA SEWER ASSIST Modelle Einzugsgebiet Kanten	44
6.5.3.1	Visio Modell	44
6.5.3.2	Simulationsmodell	46
6.5.3.3	Optimierungsmodell.....	46
6.6	Modellvergleich EXTRAN – SIWA SEWER	46

6.7	Formulierung der Steuerziele	52
6.7.1	Kanalnetzsteuerung als nichtlineares Optimierungsproblem	52
6.7.2	Zielfunktion	53
6.7.3	Wichtungsfaktoren.....	54
6.7.3.1	Grundgedanken.....	55
6.7.3.2	Drosselabfluss	56
6.7.3.3	Beckenüberlauf.....	56
6.7.3.4	Beckeneinstau	59
6.7.3.5	Überstau	61
6.7.4	Optimierungshorizont	61
6.7.5	Zusätzliche Einschränkungen.....	63
6.8	Ergebnisse ungesteuerter / gesteuerter Zustand	64
6.8.1	Ereignis 4.....	66
6.8.2	Ereignis 8.....	70
6.8.3	Ereignis 9.....	74
6.8.4	Ereignis 12.....	78
6.8.5	Ereignis 16.....	82
6.9	Risiko- und Störungsanalyse und Ausfallstrategie	86
6.9.1	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse	86
6.9.2	Teilnehmerkreis	87
6.9.3	Erstellung einer Störungskette	87
6.9.4	Erstellung einer Bewertungsmatrix.....	88
6.9.5	Einführung eines Bagatellwertes	89
6.9.6	Handlungsanweisungen	89
6.9.7	Ausfallstrategie	92
7	Genehmigungsverfahren – „Behördenkatalog“	94
8	Immissionsbetrachtungen	96
8.1	Allgemeines, Datenlage, Gewässerschutzziele	96
8.2	Entlastungsfrachten im ungesteuerten und gesteuerten Zustand	98
8.3	Fazit.....	102
9	Handlungsempfehlung zur Installation einer ASS unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit	104
10	Ausblick Phase 2	108
11	Quellen.....	110
12	Anlagen.....	1

Verzeichnis der Bilder

Bild 3-1:	Beispielhafte, schematische Darstellung der Steuer- und Ausfallstrategie eines Bauwerks für die Unterlagen einer Genehmigung (Hüben et al. 2009)15
Bild 4-1:	Einzugsgebiet der Kläranlage Kanten (Erftverband 2011) 18
Bild 4-2:	Zuordnung der Regenschreiber im Einzugsgebiet des Klärwerks Kanten (Erftverband 2011)..... 21
Bild 5-1:	Ablaufschema zur Datenerhebung 25
Bild 6-1:	Verwendete Modelle und ihre Verknüpfung 27
Bild 6-2:	Auszug der Niederschlagsmessungen der Station Koettingen für das Ereignis 12..... 28
Bild 6-3:	Übersicht Kanalnetzmodell nach IsyBau-Daten 32
Bild 6-4:	Grobnetzmodell für das EZG des GKW Kanten 33
Bild 6-5:	Ganglinienvergleich RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 8 36
Bild 6-6:	Ganglinienvergleich RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 8..... 37
Bild 6-7:	SIWA SEWER ASSIST Module im Gesamtüberblick..... 39
Bild 6-8:	SIWA SEWER ASSIST Module im Forschungsprojekt 40
Bild 6-9:	SIWA SEWER ASSIST Module in Fortsetzung des Forschungsprojekts... 40
Bild 6-10:	SIWA SEWER ASSIST Shape Zufluss 41
Bild 6-11:	SIWA SEWER ASSIST Shape Kanal..... 41
Bild 6-12:	SIWA SEWER ASSIST Shape Düker 42
Bild 6-13:	SIWA SEWER ASSIST Shape Verzweigung 42
Bild 6-14:	SIWA SEWER ASSIST Shape Becken 42
Bild 6-15:	SIWA SEWER ASSIST Shape Schwelle..... 42
Bild 6-16:	SIWA SEWER ASSIST Shape Pumpe..... 43
Bild 6-17:	SIWA SEWER ASSIST Shape Ventil..... 43
Bild 6-18:	SIWA SEWER ASSIST Shape Verbinder 43
Bild 6-19:	SIWA SEWER ASSIST Visio Modell Einzugsgebiet Kanten 45
Bild 6-20:	Vergleich der Modellergebnisse SIWA SEWER / EXTRAN, Ereignis Nr.4, Weiterleitungsabfluss RÜB 629 Kerpen Süd..... 48
Bild 6-21:	Vergleich der Modellergebnisse SIWA SEWER / EXTRAN, Ereignis Nr.4, Volumen RÜB 628 Kerpen Nord 48
Bild 6-22:	Optimierung mit rollendem Zeithorizont..... 61
Bild 6-23:	Begrenzung auf 10 Optimierungsvariablen (hier für 60 Zeitfenster)..... 63
Bild 6-24:	Ereignis 4, Zuflüsse [m^3/s] 66
Bild 6-25:	Ereignis 4, Entlastungen ungesteuert [m^3/s]..... 67
Bild 6-26:	Ereignis 4, Entlastungen gesteuert [m^3/s]..... 68
Bild 6-27:	Ereignis 4, Entlastungen im Vergleich [m^3/s]..... 68
Bild 6-28:	Ereignis 4, Zufluss GKW [m^3/s] (grün ungesteuert, rot gesteuert)..... 70
Bild 6-29:	Ereignis 8 Zuflüsse [m^3/s] 70
Bild 6-30:	Ereignis 8, Entlastungen ungesteuert [m^3/s]..... 71

Bild 6-31:	Ereignis 8, Entlastungen gesteuert [m ³ /s].....	72
Bild 6-32:	Ereignis 8, Entlastungen im Vergleich [m ³ /s].....	72
Bild 6-33:	Ereignis 8, Zufluss GWK [m ³ /s] (grün ungesteuert, rot gesteuert).....	74
Bild 6-34:	Ereignis 9 Zuflüsse [m ³ /s]	75
Bild 6-35:	Ereignis 9, Entlastungen ungesteuert [m ³ /s].....	75
Bild 6-36:	Ereignis 9, Entlastungen gesteuert [m ³ /s].....	76
Bild 6-37:	Ereignis 9, Entlastungen im Vergleich.....	76
Bild 6-38:	Ereignis 9, Zufluss GWK [m ³ /s] (grün ungesteuert, rot gesteuert).....	77
Bild 6-39:	Ereignis 12, Zuflüsse [m ³ /s]	78
Bild 6-40:	Ereignis 12, Entlastungen ungesteuert [m ³ /s].....	79
Bild 6-41:	Ereignis 12, Entlastungen gesteuert [m ³ /s].....	80
Bild 6-42:	Ereignis 12, Entlastungen im Vergleich.....	80
Bild 6-43:	Ereignis 12, Zufluss GWK [m ³ /s] (grün ungesteuert, rot gesteuert).....	81
Bild 6-44:	Ereignis 16, Zuflüsse [m ³ /s]	82
Bild 6-45:	Ereignis 16, Entlastungen ungesteuert [m ³ /s].....	83
Bild 6-46:	Ereignis 16, Entlastungen gesteuert [m ³ /s].....	83
Bild 6-47:	Ereignis 16, Entlastungen im Vergleich.....	84
Bild 6-48:	Ereignis 16, Zufluss GWK [m ³ /s] (grün ungesteuert, rot gesteuert).....	85
Bild 6-49:	Seite 1 für SBW 1, Muster Störungshandbuch.....	90
Bild 6-50:	Seite 2 für SBW 1, Muster Störungshandbuch.....	91
Bild 6-51:	Seite 3 für SBW 1, Muster Störungshandbuch.....	91
Bild 9-1:	Vorgehen zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer ASS	104
Bild 9-2:	Qualitativer Zusammenhang zwischen Kostenabschätzung und Summe der Bewertungspunkte.....	107

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 3-1:	Eingesetzte Simulationsprogramme in Projekten zur Abflusssteuerung	12
Tabelle 4-1:	Kenndaten der steuerwürdigen Becken	20
Tabelle 4-2:	Vorliegende Datenzeiträume und zeitliche Auflösung	22
Tabelle 4-3:	Vergleich Messdaten – Simulationsergebnisse für Q zu, KA	23
Tabelle 4-4:	Ausgewählte Niederschlagsereignisse für die Plausibilitätsprüfung.....	24
Tabelle 6-1:	Vergleich simulierter und gemessener Werte für Q _{ab} (= Q _{dr}) für die Niederschlagsereignisse 4, 8, 9	30
Tabelle 6-2:	Vergleich simulierter und gemessener Werte für Q _{ab} (= Q _{dr}) für die Niederschlagsereignisse 12, 16	31
Tabelle 6-3:	Netzcharakteristik des Berechnungsmodells.....	32
Tabelle 6-4:	Ausgewählte N-Ereignisse mit Vorlauf/ Nachlauf	35
Tabelle 6-5:	Beurteilung der Kalibrierungsergebnisse.....	37
Tabelle 6-6:	Beurteilung des Vergleiches der Ergebnisse EXTRAN / SIWA SEWER....	50
Tabelle 6-7:	Wichtungsfaktoren.....	56

Tabelle 6-8:	Kriterien zur Herleitung der Faktoren für den Beckenüberlauf (vollständig in Anlage 5.1)	57
Tabelle 6-9:	Bewertete Kriterien und Ableitung des Wichtungsfaktors für den Beckenüberlauf (vollständig in Anlage 5.1)	57
Tabelle 6-10:	Kriterien zur Herleitung der Faktoren für den Beckeneinstau (vollständig in Anlage 5.2)	59
Tabelle 6-11:	Bewertete Kriterien und Ableitung des Wichtungsfaktors für den Beckeneinstau (vollständig in Anlage 5.2).....	59
Tabelle 6-12:	Gewichtungsfaktoren der Becken.....	64
Tabelle 6-13:	Gewichtungsfaktoren Überstau	65
Tabelle 6-14:	Drosselbereiche.....	65
Tabelle 6-15:	Ereignis 4, Entlastungen im Vergleich.....	69
Tabelle 6-16:	Ereignis 8, Entlastungen im Vergleich.....	73
Tabelle 6-17:	Ereignis 9, Entlastungen im Vergleich.....	77
Tabelle 6-18:	Ereignis 12 Entlastungen im Vergleich.....	81
Tabelle 6-19:	Ereignis 16 Entlastungen im Vergleich.....	84
Tabelle 7-1:	Checkliste für die Genehmigung einer Abflusssteuerung.....	95
Tabelle 8-1:	Auszug aus der Tabelle „Grundlagendaten für die Bewertungsmatrix“ (Anlage 5.1 und Anlage 5.2).....	97
Tabelle 8-2:	Auszug aus der Tabelle „Bewertungsmatrix“ (Anlage 5.1 und Anlage 5.2).....	97
Tabelle 8-3:	Vergleich entlasteter Schmutzfrachten für das Einzelereignis 4	99
Tabelle 8-4:	Vergleich entlasteter Schmutzfrachten für das Einzelereignis 8	100
Tabelle 8-5:	Vergleich entlasteter Schmutzfrachten für das Einzelereignis 9	100
Tabelle 8-6:	Vergleich entlasteter Schmutzfrachten für das Einzelereignis 12	101
Tabelle 8-7:	Vergleich entlasteter Schmutzfrachten für das Einzelereignis 16	101
Tabelle 8-8:	Vergleich entlasteter Schmutzfrachten, Mittel über alle Ereignisse.....	102
Tabelle 9-1:	Bewertungsmatrix zur Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte bei einer ASS	106

Anhang

Anlage 1: Fließschema Kanalnetz Kanten

Anlage 2: Grobnetz für das EZG des GKW Kanten in EXTRAN

Anlage 3: Vergleich Simulationsergebnisse EXTRAN-Messwerte

Anlage 3-1:	RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 4	A-5
Anlage 3-2:	RÜB 633 Törnich, Ereignis Nr. 4	A-6
Anlage 3-3:	RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 4.....	A-7
Anlage 3-4:	RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 4	A-8
Anlage 3-5:	RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 4	A-9
Anlage 3-6:	RÜB 492 Ahe, Ereignis Nr. 4.....	A-10

Anlage 3-7:	RÜB 682 u. RBF Kenten, Ereignis Nr. 4.....	A-11
Anlage 3-8:	GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 4.....	A-12
Anlage 3-9:	RÜB 130 Thorr, Ereignis Nr. 4.....	A-13
Anlage 3-10:	RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 8.....	A-14
Anlage 3-11:	RÜB 633 Türnich, Ereignis Nr.8.....	A-15
Anlage 3-12:	RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 8.....	A-16
Anlage 3-13:	RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 8.....	A-17
Anlage 3-14:	RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 8.....	A-18
Anlage 3-15:	RÜB 492 Ahe, Ereignis Nr. 8.....	A-19
Anlage 3-16:	RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 8.....	A-20
Anlage 3-17:	GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 8.....	A-21
Anlage 3-18:	RÜB 130 Thorr, Ereignis Nr. 8.....	A-22
Anlage 3-19:	RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 9.....	A-23
Anlage 3-20:	RÜB 633 Türnich, Ereignis Nr. 9.....	A-24
Anlage 3-21:	RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 9.....	A-25
Anlage 3-22:	RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 9.....	A-26
Anlage 3-23:	RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 9.....	A-27
Anlage 3-24:	RÜB 492 Ahe, Ereignis Nr. 9.....	A-28
Anlage 3-25:	RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 9.....	A-29
Anlage 3-26:	GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 9.....	A-30
Anlage 3-27:	RÜB 130 Thorr, Ereignis Nr. 9.....	A-31
Anlage 3-28:	RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 12.....	A-32
Anlage 3-29:	RÜB 633 Türnich, Ereignis Nr. 12.....	A-33
Anlage 3-30:	RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 12.....	A-34
Anlage 3-31:	RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 12.....	A-35
Anlage 3-32:	RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 12.....	A-36
Anlage 3-33:	RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 12.....	A-37
Anlage 3-34:	RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 12.....	A-38
Anlage 3-35:	GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 12.....	A-39
Anlage 3-36:	RÜB 130 Thorr, Ereignis Nr. 12.....	A-40
Anlage 3-37:	RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 16.....	A-41
Anlage 3-38:	RÜB 633 Türnich, Ereignis Nr. 16.....	A-42
Anlage 3-39:	RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 16.....	A-43
Anlage 3-40:	RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 16.....	A-44
Anlage 3-41:	RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 16.....	A-45
Anlage 3-42:	RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 16.....	A-46
Anlage 3-43:	RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 16.....	A-47
Anlage 3-44:	GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 16.....	A-48
Anlage 3-45:	RÜB 130 Thorr, Ereignis Nr. 16.....	A-49

Anlage 4:	Vergleich Simulationsergebnisse EXTRAN – SIWA SEWER ASSIST
Anlage 4-1:	RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 4 A-51
Anlage 4-2:	RÜB 633 Türnich, Ereignis Nr. 4 A-52
Anlage 4-3:	RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 4 A-53
Anlage 4-4:	RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 4 A-54
Anlage 4-5:	RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 4 A-55
Anlage 4-6:	RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 4 A-56
Anlage 4-7:	RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 4 A-57
Anlage 4-8:	GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 4 A-58
Anlage 4-9:	RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 8 A-59
Anlage 4-10:	RÜB 633 Türnich, Ereignis Nr. 8 A-60
Anlage 4-11:	RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 8 A-61
Anlage 4-12:	RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 8 A-62
Anlage 4-13:	RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 8 A-63
Anlage 4-14:	RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 8 A-64
Anlage 4-15:	RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 8 A-65
Anlage 4-16:	GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 8 A-66
Anlage 4-17:	RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 9 A-67
Anlage 4-18:	RÜB 633 Türnich, Ereignis Nr. 9 A-68
Anlage 4-19:	RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 9 A-69
Anlage 4-20:	RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 9 A-70
Anlage 4-21:	RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 9 A-71
Anlage 4-22:	RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 9 A-72
Anlage 4-23:	RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 9 A-73
Anlage 4-24:	GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 9 A-74
Anlage 4-25:	RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 12 A-75
Anlage 4-26:	RÜB 633 Türnich, Ereignis Nr. 12 A-76
Anlage 4-27:	RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 12 A-77
Anlage 4-28:	RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 12 A-78
Anlage 4-29:	RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 12 A-79
Anlage 4-30:	RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 12 A-80
Anlage 4-31:	RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 12 A-81
Anlage 4-32:	GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 12 A-82
Anlage 4-33:	RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 16 A-83
Anlage 4-34:	RÜB 633 Türnich, Ereignis Nr. 16 A-84
Anlage 4-35:	RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 16 A-85
Anlage 4-36:	RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 16 A-86
Anlage 4-37:	RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 16 A-87
Anlage 4-38:	RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 16 A-88

Anlage 4- 39:	GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kanten, Ereignis Nr. 16 A-89
Anlage 5:	Grundlagendaten und Bewertungsmatrix
Anlage 5.1:	Grundlagendaten und Bewertungsmatrix für Beckenüberlauf
Anlage 5.2:	Grundlagendaten und Bewertungsmatrix für den Beckeneinstau
Anlage 6:	Wichtungsfaktoren
Anlage 7:	SIWA SEWER ASSIST, Visio Modell Einzugsgebiet Kanten
Anlage 8:	BDS-Anbindung Kanten für Abflusssteuerung
Anlage 9:	Datenblätter zu den Einleitstellen

1 Zusammenfassung

Der vorliegende Abschlussbericht fasst die Ergebnisse der ersten Phase des Projekts „Großtechnische Erprobung eines standardisierten Optimierungs- und Simulationswerkzeugs zur Online-Kanalnetzsteuerung am Beispiel des Einzugsgebiets der Kläranlage Kenten im Erftverbandsgebiet“ zusammen. Die erste Phase ist theoretisch orientiert und soll durch eine zweite praktische Phase fortgesetzt werden. Wesentliches Element des Berichts ist die theoretische Betrachtung der Abflusssteuerung im Kanalnetz Kenten. Darüber hinaus finden sich auch Hinweise zu erforderlichen Daten, in der Praxis angewendeten Simulationsprogrammen für die Abflusssteuerung sowie zur Genehmigungspraxis.

Das betrachtete Einzugsgebiet der Kläranlage Kenten ist relativ flach und entwässert vorwiegend im Mischsystem. Eine erste Abschätzung mit dem Programm PASST sprach für die Steuerwürdigkeit des Netzes, was durch die durchgeführten Simulationsrechnungen bestätigt wird.

Für die Simulationen wurden das Modell MOMENT zur Generierung von Zuflusswellen, das hydrodynamische Simulationsmodell EXTRAN zur Abbildung des Ist-Zustands und das Optimierungstool SIWA SEWER ASSIST zur Abbildung des Ist-Zustands und des gesteuerten Zustands eingesetzt. Von den 34 Regenüberlaufbecken des Kanalnetzes Kenten wurden acht für die geplante Verbundsteuerung ausgewählt. Außerdem sind noch vier Regenüberläufe und ein Retentionsbodenfilter im Netz vorhanden.

Das Steuerziel in Kenten ist die Reduzierung der Entlastungsmenge bei optimierter Weiterleitung zur Kläranlage, um die Gewässerbelastung zu reduzieren und die Gewässergüte zu verbessern. Nach einer statistischen Analyse vorhandener Niederschlagsreihen für drei Stationen im Einzugsgebiet wurden fünf Niederschlagsereignisse mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von $1/a$ und $2/a$ ausgewählt, anhand derer das Steuerpotenzial ermittelt wurde.

Der Vergleich der Entlastungsmengen für das ungesteuerte und gesteuerte Netz ergab eine Reduzierung der Gesamtentlastungsmengen für die Einzelereignisse zwischen 0 % und 50 %. Auch bei den geringeren Reduzierungen der Gesamtentlastungsmenge hat die Abflusssteuerung aufgrund der zugrundeliegenden Optimierungsgleichung eine größere Wirkung als vermutet, da die der Steuerung zugrundeliegende Optimierungsgleichung den Beckeneinstau, den Beckenüberlauf und den Überstau an jeder zu steuernden Stelle im Netz bewertet und als Randbedingung die bestmögliche Ausnutzung des Retentionsbodenfilters (RBF) enthält. Kleine Verringerungen der Entlastungsmenge führen so durch Verschiebung im Netz und Beschickung des RBF zu kleineren entlasteten Frachten. Außerdem wird die Optimierung mit rollendem Zeithorizont realisiert, d.h. in kurzen zeitlichen Abständen werden Optimierungsläufe über längere Vorausschauzeiträume berechnet und dabei aktualisierte Messdaten verwendet. Das jeweils aktuellste Optimierungsergebnis wird als Steuersignal an

die Anlage weitergegeben. Diese Art der Optimierung bietet für die Realisierung, wie in Phase 2 geplant ist, eine gute Anpassung an die netzspezifischen Gegebenheiten.

2 Einleitung

Die Abflusssteuerung wird schon seit über 30 Jahren in der Fachwelt als Instrument zum optimierten Betrieb eines Kanalnetzes und somit auch zur Verbesserung der Beschaffenheit der Oberflächengewässer diskutiert. Sie wurde in verschiedenen Projekten meist theoretisch entwickelt, aber weniger häufig praktisch umgesetzt.

Netzbetreiber stehen der Abflusssteuerung immer noch skeptisch gegenüber. Dies liegt an dem hohen Planungsaufwand, den immer noch geringen Erfahrungen mit umgesetzten Beispielen sowie an den ungeklärten rechtlichen Rahmenbedingungen. Die DWA hat mit dem 2005 herausgegebenen Merkblatt 180 „Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen“ (DWA 2005) den Grundstein gelegt, dass die Abflusssteuerung als potenzielle Realisierungsvariante bei der entwässerungstechnischen Planung berücksichtigt wird.

Seitdem gibt es weitere Entwicklungen, wie die Diskussion um den Klimawandel und den demographischen Wandel, wodurch anpassungsfähige Lösungen wie die Abflusssteuerung an Bedeutung gewinnen. Auch die Mess- und Kommunikationstechnik hat sich weiterentwickelt und die Fortschritte in der Computertechnik sind so weit, dass Rechenzeiten für die Simulation verschiedener Szenarien immer seltener der begrenzende Faktor sind.

Einige Voraussetzungen für die Abflusssteuerung als ernstzunehmende Planungsvariante sind damit gegeben. Für die Stärkung in der Planung und der praktischen Umsetzung müssen nun die Planer und Netzbetreiber gewonnen werden und das Kosten-Nutzen-Verhältnis positiv ausfallen. Das vorliegende Pilotprojekt verfolgt diese Ziele, indem

- Möglichkeiten der Standardisierung für Planung und Umsetzung geprüft werden,
- eine Abflusssteuerung theoretisch entwickelt und dann praktisch umgesetzt wird,
- wirtschaftliche Aspekte herausgearbeitet werden und
- das Interesse bei Netzbetreibern geweckt wird.

3 Grundlagen für eine Abflusssteuerung

3.1 Datenerhebung

Grundlage für eine Abflusssteuerung sind möglichst detaillierte Daten des Ist-Zustands im betrachteten Einzugsgebiet und darauf aufbauende Prognosewerte, damit die Berechnungsmodelle angepasst und das Steuerungspotenzial fundiert abgeschätzt werden können. In Abhängigkeit der Ziele, die mit der Abflusssteuerung erreicht werden sollen, dem Planungsstand sowie den verwendeten Simulationsmodellen, differieren die Anforderungen an die Daten (zeitliche Auflösung, Genauigkeit) bzw. der Umfang der Daten. Der Mindestumfang an Daten, der plausibel vorhanden sein muss, deckt sich weitgehend mit dem, der für eine Kanalnetzberechnung (hydrodynamisch oder hydrologisch) erforderlich ist:

- Maßgebliche Abflussgrößen (Abflusswirksame Flächen, Trockenwetterabfluss, Niederschlagsabfluss),
- Entwässerungstechnische Daten (Kanalnetz, Kläranlage, Bauwerke bzw. Regenentlastungsanlagen),

Betriebsdaten (Niederschlagsmessungen, Weiterleitungsmengen, Pumpleistungen, Zufluss zur KA, Abschlagssummen) zur Kalibrierung und Verifizierung der Modelle.

Zusätzlich müssen noch detaillierte Informationen vorhanden sein über:

Betriebseinrichtungen (Bau-, Maschinentchnik und EMSRN-Technik) und

- Ggf. über das aufnehmende Gewässer (hydraulische Leistungsfähigkeit, stoffliche Belastbarkeit, Empfindlichkeit).

Diese Informationen liegen dem Betreiber in der Regel vor. Sie sind für eine Steuerung von besonderer Bedeutung, da sie oft die Randbedingungen bzw. Grenzen bei der Realisierung einer Steuerung darstellen.

Im Folgenden werden die einzelnen Datenquellen kurz erläutert.

Maßgebliche Abflussgrößen

Besonders sorgfältig müssen die abflusswirksamen Flächen, d.h. im allgemeinen die versiegelten, zum Kanal entwässernden Einzugsgebietsflächen ermittelt werden, da hierdurch der Regenwasserabfluss festgelegt wird. Datenquellen für abflusswirksame Flächen sind in der Regel vorliegende Berechnungen eines Kanalnetzes. Diese sollten auf jeden Fall sowohl für den Ist-Zustand wie auch für den Prognosezustand auf Aktualität geprüft werden.

Liegen keine Berechnungen des Kanalnetzes vor, gibt es verschiedene Methoden, mit denen die maßgeblichen Flächen bestimmt werden können (nach Hüben et al. 2009):

- Schätzverfahren – Flächenauswertung aus Kartenausschnitten,
- Terrestrische Geländeaufnahme,
- Satellitenfernerkundung,
- Luftbildauswertung aus Befliegungsdaten,
- Digitalisierung der Flurkarte,
- Verwendung der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) bzw. des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS),
- Verwendung der Erhebungsdaten für den gesplitteten Gebührenmaßstab bei der Abwassergebührenermittlung,
- Messungen im Kanal; Einsatz in Modellrechnungen (Durchflussmessungen zur Verifizierung der abgeschätzten Abflussgrößen. Rückschlüsse auf die Niederschlagsabflüsse und damit auf die Flächen durch Messungen im Trockenwetter- und im Regenwetterfall möglich).

Trockenwetterabfluss

Durch den mittleren Trockenwetterabfluss wird der Teil festgelegt, der bei Drosselleistungen der Entlastungsbauwerke und der Kapazität der Kläranlage nicht mehr zur Ableitung von Regenwasser verfügbar ist. Sofern eine Kanalnetzberechnung vorliegt, sind die Angaben zum Trockenwetterabfluss vorhanden, anderenfalls muss dieser ermittelt werden aus:

- Einwohnerstatistiken,
- Wasserverbrauchszahlen mit getrennter Ausweisung der Großverbraucher, evtl. Wassermengen aus privater Förderung,
- Betriebstagebüchern der Kläranlage bzw. ausgewertete Zusammenstellungen des Trockenwetterzuflusses zur Kläranlage bzw. ggf. der Tagesschmutzfrachten des Trockenwetterabflusses (CSB ...),
- Zulaufganglinien zur Kläranlage an Trockenwettertagen (nicht Feiertage, nicht Urlaubszeit).

Niederschlagsabfluss

Der Niederschlagsabfluss ergibt sich aus den abflusswirksamen Flächen und dem angesetzten Niederschlag. Es können repräsentative Niederschlagsaufzeichnungen einer oder mehrerer Regenschreiber oder auch Radardaten genutzt werden. Die erforderliche zeitliche und räumliche Auflösung hängt von mehreren Parametern, wie z.B. den Zielen der Steuerung,

der Formulierung der Steuerregeln und der Charakteristik des Einzugsgebietes ab. Es können Langzeitserien oder ausgewählte Einzelereignisse sinnvoll sein.

Entwässerungstechnische Daten

Kanalnetz und Kläranlage

- Bestandspläne des Kläranlageneinzugsgebiets (Kanalnetz, Sonderbauwerke),
- Generalentwässerungsplan mit Ist- und Planzustand,
- Kanalstammdaten mit Bezeichnung (optimal: ISYBAU-Format, alternativ anderes einheitliches Format wie beispielsweise ASCII;GIS-bezogen),
- für die Teileinzugsgebiete: mittlerer Trockenwetterabfluss Q_{t24} , befestigte/undurchlässige Fläche A_{red} (haltungs- oder schachtbezogen bei hydrodynamischer Simulation), Fließzeit t_f ,
- Fließzeit in den Transportsammlern,
- max. Weiteleitungsmengen der Transportsammler
- Übernahmemenge der Kläranlage bei Mischwasserzufluss.

Sonderbauwerke (SBW) bzw. Regenentlastungsanlagen

Die technischen Daten der Bauwerke können aus den Dokumentationsunterlagen (Bauwerkspläne, Betriebsanweisungen) entnommen werden. Die Aktualität der Unterlagen ist durch Personalbefragung und Ortsbegehungen zu überprüfen und ggf. anzupassen. Es müssen für alle Bauwerke vorliegen:

- Drosselabfluss Q_d , aktuelle Einstellung aus Betriebsdaten,
- Pumpleistungen aus Betriebsdaten

Für die zu steuernden Elemente:

- Regelbereich der Pumpleistungen
- Art und Leistungsbereich der Drosseleinrichtungen,
- EMSRN-Technik: E-technische Ausrüstung des Bauwerks,
- Messeinrichtungen,
- Einrichtungen zur Steuerung und Regelung,
- Einrichtungen zur Fernüberwachung (Datenerfassung, -verarbeitung und -übertragung) und Alarmierung.

Betriebseinrichtungen – EMSRN-Technik

Von den Betriebseinrichtungen ist die EMSRN-Technik für die Steuerung von besonderer Bedeutung, weshalb hier einige Komponenten näher erläutert sind.

Messungen

- Messprinzip und Messbereich aller für die Steuerung relevanten Messungen,
- Einbauort, Ausbauzustand, Erweiterbarkeit,
- Bekannte Genauigkeit und Zuverlässigkeit im Betrieb,
- Datentechnische Anbindung (Fernüberwachung, Fernwirktechnik),
- Sicherheits-Überwachung (Überflutung).

Aufbau der Systemebenen Unterstation, Kopfstation, Fernwirkzentrale,

- Aufbau und Konfiguration (Hardware, Ankopplung),
- Stromversorgung,
- Platz-/Ausbaureserven,
- Software (Archivierung, Protokollierung),
- USV, Notstrom,
- Prozessleitsystem,
- Überspannungs- und Blitzschutz.

Automatisierung, Fernüberwachung, Fernwirktechnik

- Örtliche Anzeigen,
- Vorort-Steuerstellen, Bedienebenen (Handbedienung Schieber, Wirbeljets, Pumpen),
- Speicherprogrammierbare Steuerungen,
- Prozessleitsystem (Bedienfunktionen, Schaltbefehle, Meldungen,...),
- Verknüpfung Systemebenen, Datenübertragungswege,
- (Wählleitungen, Standleitungen, Funk ...),
- Zuverlässigkeit und Zeitverhalten (Übertragungsverzögerungen) der Verbindung,
- Datenerfassung, -protokollierung, -speicherung, -verarbeitung in den Systemebenen Unterstation, Kopfstation, Fernwirkzentrale,
- Alarmierungssystem (Telefonwahlgerät, o.ä.),
- Überspannungs- und Blitzschutz.

Telekommunikation

- Telefonanschluss (Wählleitung) analog, ISDN,
- Örtliches Telefon,
- DSL, GPRS,
- Überspannungs- und Blitzschutz.

Schnittstellen

- Intranet,
- Software-Anbindung (Officeprogramme, Datenbanken),
- Mobilfunk (GSM) / GPRS/ UMTS.

Betriebsdaten

Aus den Betriebsdaten sind die Weiterleitungsmengen und Schiebereinstellungen, die Pumpleistungen, die Abschlagssummen, der Zufluss zur Kläranlage, weitere Informationen über den Betriebszustand, ggf. der durch Messung erfasste Niederschlag zu entnehmen. Diese Daten sind auch für eine reine Kanalnetzberechnung ohne Steuerung zur Kalibrierung und Verifizierung der Modelle erforderlich. Die Plausibilität der Daten ist entscheidend für die gesamte Kanalnetzberechnung und der darauf aufbauenden Steuerung und muss daher unter Einbeziehung der Erfahrungen des Kanalbetriebs- und Kläranlagenpersonals geprüft werden.

Das Betriebspersonal kann außerdem Angaben zum Alter der Geräte, den Betriebsstunden und zur Ausfall-/Störungshäufigkeit sowie Bedienfreundlichkeit der einzelnen Aggregate machen, was für den praktischen Betrieb wichtige Zusatzinformationen sind.

Gewässer

Wird eine Abflusssteuerung auch unter Immissionsaspekten betrachtet, sind weitere Daten relevant, die üblicherweise nicht in Kanalnetzberechnungen sondern eher in Gewässergütemodellierungen Eingang erhalten. Dazu gehören beispielsweise die hydraulische Leistungsfähigkeit, die stoffliche Belastbarkeit, die Empfindlichkeit des aufnehmenden Gewässers / der aufnehmenden Gewässer, die biologische Vielfalt, die Strukturgüte, Verschmutzungsparameter usw. Sind derartige Betrachtungen gewünscht, ist die Datenlage vor Projektbeginn in diesem Punkt sehr sorgfältig zu prüfen, da der im Allgemeinen vorliegende Datenbestand diese Informationen nicht umfassend beschreibt.

Die Datengrundlage des vorliegenden Forschungsprojekts wird in Kapitel 4 beschrieben.

Ein Ablaufschema zur Datenerhebung ist in Kapitel 5 skizziert.

3.2 Simulationsprogramme

Simulationsprogramme werden eingesetzt, um die Realität (vereinfacht) abbilden zu können und verschiedene Fragestellungen, wie den Nachweis der Entwässerungsverhältnisse, die Abschätzung von Änderungen im Kanalnetz, die Optimierung von Sanierungen im Kanalnetz, beantworten zu können. Dadurch, dass sowohl reale als auch künstliche Belastungen simuliert werden können, eignen sich Simulationsprogramme auch zur Ermittlung erforderlicher Abflusskapazitäten zur Verhinderung von Überlastungen bzw. als Grundlage zur Ausnutzung vorhandener Abflusskapazitäten.

Hydrologische Modelle, wie z.B. KOSIM, SMUSI, LWA-FLUT, MOMENT, R-win, o. ä. werden überwiegend zur Schmutzfrachtsimulation eingesetzt, wenn z.B. ein Nachweis der Mischwasserentlastung erfolgen soll.

Komplexer sind die hydrodynamischen Modelle, wie HYSTEM-EXTRAN, DYNA, MOUSE, FLUTER, o. ä. mit Ziel der Niederschlags-Abfluss-Simulation. Mit diesen Modellen kann ein Kanalnetz detaillierter berechnet werden, was in Abhängigkeit der jeweiligen Fragestellung und der gegebenen Randbedingungen erforderlich sein kann.

Im Folgenden werden kurz die in diesem Projekt verwendeten Simulationsprogramme (HYSTEM, EXTRAN, MOMENT, SIWA SEWER ASSIST) ausführlicher beschrieben.

HYSTEM

Das Oberflächenabflussmodell HYSTEM ermittelt die infolge eines Regenereignisses auf der Geländeoberfläche entstehende Abflusswelle.

Das Oberflächenabflussmodell HYSTEM ist am Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover entwickelt worden. Mit Hilfe von HYSTEM können Niederschlagsereignisse beliebiger Dauer und mit beliebigem Intensitätsverlauf abgebildet und das Abflussverhalten beliebiger Entwässerungsflächen nachgebildet werden. HYSTEM unterscheidet zwischen den Prozessen Abflussbildung und Abflusskonzentration.

Der Prozess der **Abflussbildung** bestimmt, wieviel des gefallenen Niederschlags zum Abfluss kommt. Die **Abflusskonzentration** beschreibt die zeitliche Verteilung dieses Abflusses beim Eintritt in das Kanalnetz.

EXTRAN

Das hydrodynamische Abflusstransportmodell EXTRAN ermittelt und beschreibt die aus dieser Oberflächenabflusswelle entstehende Abflusswelle im Kanalnetz, d.h. den Abfluss in Rohren und Gerinnen. Die Schnittstelle zwischen den beiden Modellen wird an der Eintrittsstelle der Oberflächenwelle in das Kanalnetz gebildet.

Die Ergebnisse der Oberflächenabflussberechnung mit dem Modell HYSTEM werden auf einer gesonderten Wellendatei für die Eingabe in das hydrodynamische Transportmodell EXTRAN zur Verfügung gestellt.

Im Gegensatz zum Oberflächenabfluss verläuft der Wellenablauf im Kanalnetz selbst in durch Abmessungen und Form eindeutig definierten Gerinnen oder Sonderbauwerken.

Die vom Oberflächenabflussmodell berechneten Zulaufganglinien der einzelnen Haltungen zum Kanalnetz werden vom Transportmodell überlagert und die zeitliche Verteilung längs der Fließwege berechnet. Dabei wird generell unterschieden in hydrologische und hydrodynamische Modelle.

Als hydrologisch werden diejenigen Ansätze bezeichnet, die den Abfluss im Kanalnetz über empirische Transformationsfunktionen und Parameter berechnen. Dazu zählen die time-offset Methode, das Flutplanverfahren sowie Speichermodelle (z.B. KOSIM).

Hydrologische Ansätze können dort verwendet werden, wo ein ungestörter Abflussablauf im Kanalnetz stattfindet. Einstau, Rückstau sowie Verzweigungen und Sonderbauwerke können nur unter zum Teil sehr vereinfachten Annahmen berechnet werden.

Grundlage für die hydrodynamischen Modelle ist das partielle hyperbolische Differentialgleichungssystem, das 1871 von DE SAINT VENANT abgeleitet wurde, bestehend aus der Bewegungs- und der Kontinuitätsgleichung. Dieses Gleichungssystem ist nur in den einfachsten Fällen direkt lösbar, sodass für die praktische Kanalnetzberechnung die Differentialquotienten durch Differenzquotienten dargestellt werden und eine zeitliche wie örtliche Diskretisierung notwendig ist.

Mit diesem Gleichungssystem und zusätzlich notwendigen Gleichungen für die Sonderbauwerke kann das Abflussgeschehen in einem Kanalnetz detailliert nachgebildet werden. Das Abflusstransportmodell EXTRAN ist ein derartiges hydrodynamisches Modell.

Mit EXTRAN lassen sich sowohl geschlossene Rohrsysteme als auch offene Gerinne berechnen.

EXTRAN unterscheidet zwischen Netzeinstau und Netzüberstau. Während beim Einstau die Haltungen gefüllt sind und sich der Wasserspiegel in den Schächten zwischen Rohrscheitel und Deckel bewegt, fließt beim Überstau das Wasser aus den Schächten heraus. Das Wasserspiegelgefälle wird dementsprechend für den ersten Fall der Drucklinie und für den zweiten Fall dem Geländegefälle zwischen zwei Schächten (Knoten) gleichgesetzt. Dasjenige Abflussvolumen, das während der Überstauphase aus einem Schacht entweicht, wird angegeben und fließt in das Netz zurück, sobald die Wasserspiegellage unter die Deckelhöhe absinkt. Anderenfalls wird das ausgeflossene Volumen aufgehoben und in den Ergebnislisten bei der Volumenbilanz berücksichtigt. Ebenso wird dasjenige Volumen angegeben, das am Ende der Berechnung noch nicht aus dem Kanalnetz abgeflossen ist.

Sonderbauwerke können ihren individuellen Eigenschaften entsprechend aus folgenden programminternen Grundelementen beliebig zusammengesetzt werden:

- Rückhaltebecken als idealisierte Schächte mit zugeordnetem Speichervolumen,
- Grundausslässe, Seitenauslässe,
- Wehre,
- Pumpwerke,
- Tidetore.

MOMENT

Für das vorliegende Projekt der Kanalnetzsteuerung wird die Oberflächenwelle über das Simulationsprogramm Moment erzeugt. Dies ist erforderlich, da zum Zuständigkeitsbereich des Erftverbands nur die Transportsammler zählen. Die oberhalb der Übergabestellen liegenden Entwässerungssysteme liegen im Zuständigkeitsbereich der jeweiligen Gemeinden. Detaillierte Informationen über diese Entwässerungssysteme liegen nicht vor. Aus diesem Grund werden die Zuflusswellen aus dem kalibrierten hydrologischen Schmutzfrachtmodell an den jeweiligen Übergabepunkten erzeugt.

Die Zuflusswellen werden für ausgewählte registrierte Niederschlagsereignisse erzeugt, für die ein Steuerungspotenzial zu erwarten ist und für die ausreichende Aufzeichnungen an den zu steuernden Becken vorliegen. Durch die Abbildung dieser registrierten Niederschlagsaufzeichnungen und den gleichzeitig vorliegenden Abflussmesswerten an den zu steuernden Becken wird das Simulationsmodell kalibriert.

SIWA SEWER ASSIST

SIWA SEWER ASSIST stellt ein simulations- und optimierungsbasiertes Assistenz- und Steuerungssystem zum verbesserten Kanalnetzbetrieb dar. Es dient im vorliegenden Projekt zur Simulation des Ist-Zustands, zur Berechnung optimierter Steuereingriffe und zum simulativen Vergleich zwischen ungesteuertem und gesteuertem Zustand. SIWA SEWER ASSIST wird ausführlich in Kapitel 6.5 beschrieben.

Weitere Simulationsprogramme, die in Projekten mit Abflusssteuerung eingesetzt wurden

In anderen Projekten zur Abflusssteuerung wurden weitere Simulationsprogramme eingesetzt. In Abhängigkeit der jeweiligen Fragestellung kamen sowohl hydrodynamische als auch hydrologische Modelle zum Einsatz oder eine Kopplung mehrerer Modelle z.B. bei integrier-

ter Betrachtung von Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer. Die Simulation des gesteuerten Netzes, d.h. die Verarbeitung der Steuerregeln (Wenn-Dann-Regeln, Fuzzy-basierte Regler, Optimierungsproblem) wird in der Regel durch ein anderes Programm realisiert als für den Nachweis des ungesteuerten Netzes verwendet wird. Im der folgenden Tabelle 3-1 werden Beispiele für eingesetzte Simulationsprogramme in Steuerungsprojekten aufgeführt.

Tabelle 3-1: Eingesetzte Simulationsprogramme in Projekten zur Abflusssteuerung

Eingesetzte Programme	Ort, Projekt	Betrachtung von	Steuerziele	Umsetzung Steuerung durch	Quelle
HYSTEM-EXTRAN, itwh. CONTROL, KOSIM	Leipzig	Kanalnetz und Kläranlage	Vergleichmäßigung KA-Zulauf, Ausnutzung vorhandener Speichervolumina, integrierte Betrachtung Kläranlage und Kanalnetz	Wenn-Dann-Regeln	Rohlfing et al. 2007
LWAFLUT, FITASIM	Eschweiler	Kanalnetz	Minimierung Entlastungsereignisse, Ausnutzung vorhandener Volumina und Vermeidung Ausbauvolumen	Wenn-Dann-Regeln	Hübner et al. 2009a
HYSTEM-EXTRAN, itwh. CONTROL, Vorhersagemodell für Niederschlag unter Verwendung von Radardaten	Wien	Kanalnetz	Minimierung MW-überlauf in die Donau, Vergleichmäßigung KA-Zulauf, Verbesserung Kanalbetrieb	Wenn-Dann-Regler, fuzzybasiert	Fuchs et al. 2007
itwh. CONTROL, ASM2d, SIMBA für KA	Wilhemshaven	Kläranlage und Kanalnetz		Wenn-Dann-Regler, fuzzybasiert	Seggelle 2011
	Emmerich	Kläranlage und Kanalnetz	Vergleichmäßigung KA-Zulauf, Nutzung freie Kapazitäten Kanalnetz, Minimierung Entlastungsereignisse	selbstlernendes Software-Agentensystem	Bongards, Stockmann 2011
SIMBA, SWMM (Kanalnetz), Fuzzy-Regler und State-Machine	Hornburg-Bröl, Projekt "KANNST"	Kläranlage und Kanalnetz	Gewässerschutz, Vergleichmäßigung KA-Zulauf, Einsparung Volumen im Kanalnetz	selbstlernendes Regelsystem auf Basis neuronaler Netze, Fuzzy-Regler u. Niederschlagsprognose	Bongards 2010, Graner 2011
SIMBA, SIMBA/ SWMM bzw. HYSTEM-EXTRAN (Nachweis für rückstaugefähige Bereiche)	Hildesheim, Projekt "ADESBA"	Kanalnetz	Reduzierung Mischwasserentlastung, Vermeidung von Ausbauvolumen im Kanalnetz	generalisierten Regelalgorithmus, der vorkonfiguriertes Regelungsprinzip ermöglicht	Pabst et al. 2010, Peikert 2011
HYSTEM-EXTRAN-GÜTE (Kanalnetz), SIMBA (KA), itwh. CONTROL (Steuerungssoftware zur Kopplung)	Chemnitz	Kläranlage und Kanalnetz	dynamische Regelung des max. Mischwasserzuflusses zur KA.	integrierte Steuerung, Fuzzy-Regler	Seggelle et al. 2009
LWAFLUT, itwh. CONTROL	Glehn, RBF Bendstraße	Kanalnetz und Kläranlage	Reduzierung Mischwasserentlastung, Optimierung Beschickung Kläranlage und Retentionsbodenfilter	Wenn-Dann-Regeln	Dahmen, Beenken 2006

3.3 Genehmigung

Nach § 8 WHG (N.N. 2009) bedarf eine Benutzung der Gewässer der behördlichen Erlaubnis gemäß § 10 WHG. Die Erlaubnis gewährt die Befugnis, ein Gewässer zu einem bestimmten Zweck in einer nach Art und Maß bestimmten Weise zu benutzen. Sie kann auch nach § 18 widerrufen werden (N.N. 2009).

Für die Genehmigung von Abflussteuerungen existiert in Deutschland keine einheitliche Praxis. Auch die rechtlichen Voraussetzungen, wie der Nachweis der Mischwasserbehandlung zur Ermittlung des Stauraumvolumens, sind länderspezifisch geregelt, wobei die Grundlage für den emissionsorientierten Schmutzfrachtnachweis das Arbeitsblatt ATV A 128 (ATV 1992) bildet. Länderspezifische Anforderungen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts der DBU zusammengestellt (N.N. 2009a). In einigen Ländern wird jeder Nachweis als Einzelfall betrachtet (Bayern, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen), in anderen sind bestimmte Nachweis- und Prüfprogramme der Regelfall (KOSIM in Sachsen-Anhalt) bzw. werden bevorzugt (SMUSI in Hessen), oder sind zum ATV A 128 ergänzende Vorschriften zu berücksichtigen (Baden Württemberg).

Aus diesem Grund ist bei jeder geplanten Abflussteuerung die frühzeitige Einbindung der zuständigen Behörde sehr ratsam.

Rechtliche Voraussetzung für eine Abflussteuerung in Nordrhein-Westfalen (NRW) ist die Erlaubnis nach § 58 (1) LWG NRW (N.N. 1995). Der Betrieb des Kanalisationsnetzes oder wesentliche Veränderungen sind demnach anzeigepflichtig. Die Genehmigung nach § 58 (2) LWG NRW (N.N. 1995) für Bau- und Betrieb von Abwasserbehandlungsanlagen in Kanalisationsnetzen ist ebenfalls im Falle der Einrichtung einer Abflussteuerung erforderlich, wenn wesentliche bauliche Maßnahmen an den Bauwerken vorgenommen und Drosseleinstellungen verändert werden. Dazu gehört auch der Austausch einer Rohrdrossel gegen ein MID, für das ein Schacht zusätzlich gebaut werden muss.

Aus Gesprächen mit der Wasserbehörde NRW in diesem Projekt und in einem abgeschlossenen Projekt zur Installation einer Abflussteuerung lassen sich verschiedene Aspekte zusammenstellen, die bei dem Entwurf und dem Betrieb einer Abflussteuerung zu beachten sind (Hüben et al. 2009). Dabei kann man unterscheiden zwischen allgemein notwendigen Voraussetzungen für die Umsetzung einer Abflussteuerung und Bedingungen, die sich ggf. zusätzlich für den Einzelfall ergeben:

- Ermittlung der zulässigen Emissionen nach A 128 bzw. der weitergehenden Anforderungen
- Rechnerischer Nachweis, z.B. durch Schmutzfrachtberechnung, dass die Ziele der Abflussteuerung erreicht werden
- Entwicklung und nachvollziehbare Erläuterung einer Steuerstrategie

- Durchführung einer Risiko- und Störungsanalyse
- Ausarbeitung einer Ausfallstrategie
- Einsatz einer Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (Aufnahme von Benutzungszeit und -dauer, Füllständen, Überlaufzeit, -dauer und -wassermenge, Einstellungen bei variabler Drosseleinrichtung)
- Nachweis der Effizienz der Abflusssteuerung für das Gesamtsystem durch Simulation
- Nachweis bei der Bemessung der Entlastungsanlagen,
- Zulässigkeit der Entlastungen an einzelnen Einleitungsstellen

Zur Genehmigung einer Abflusssteuerung nach § 58 (1) sind der Aufsichtsbehörde z.B. folgende Genehmigungsunterlagen vorzulegen:

- Überrechnung der Mischwasserbehandlungsanlagen mit einem Simulationsprogramm
- Planungsablauf der Steuerung
- Steuerstrategie allgemein und für jedes Bauwerk
- Einrichtungen der Elektro-, Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen
- Risiko- und Störungsanalyse
- Ausfallstrategien
- Simulationen zur Abflusssteuerung, um die Effizienz der Abflusssteuerung nachzuweisen.

Für einen schnellen Überblick ist eine schematische Darstellung der Steuer- und Ausfallstrategie für jedes Bauwerk gemäß Bild 3-1 empfehlenswert.

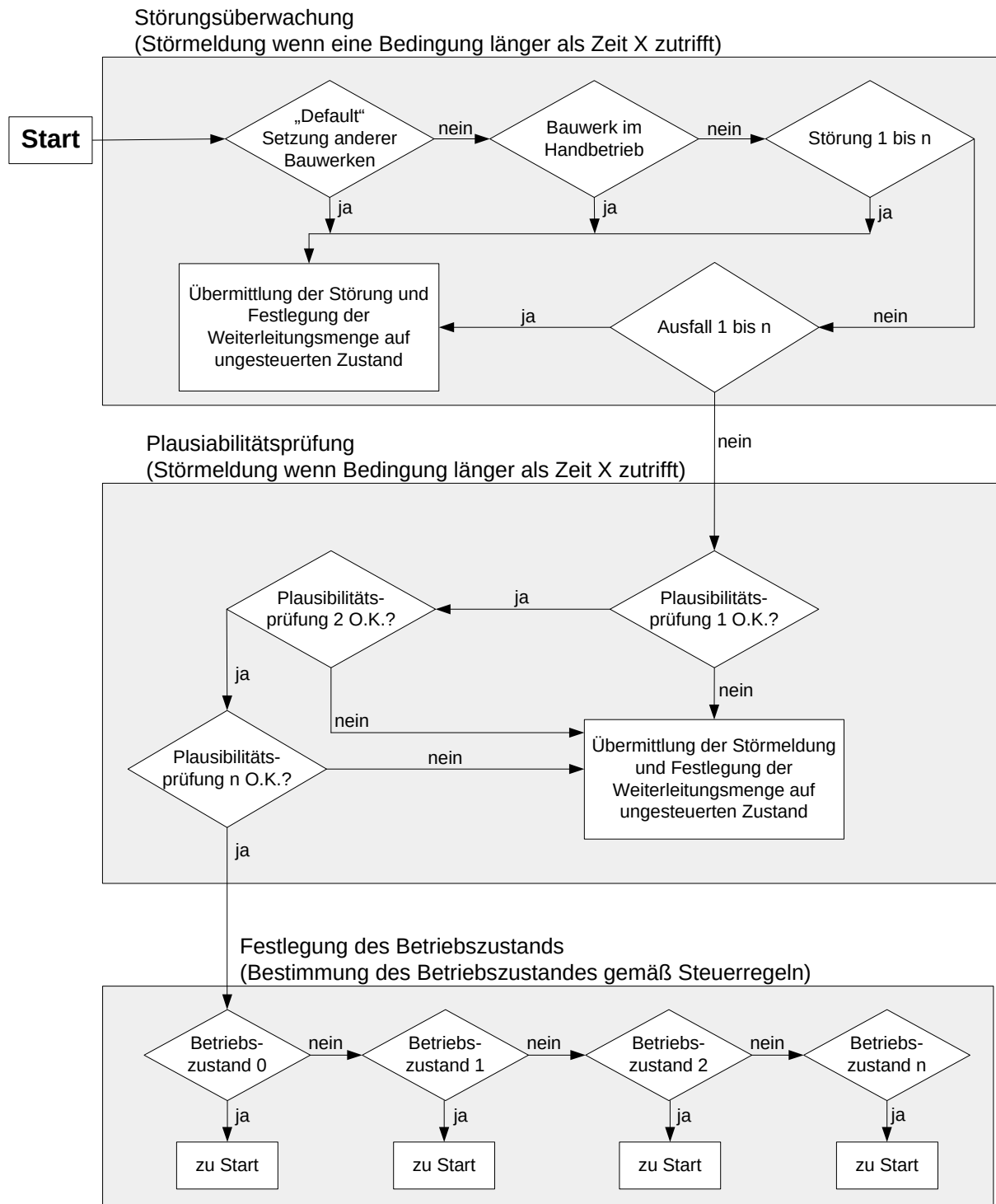


Bild 3-1: Beispielhafte, schematische Darstellung der Steuer- und Ausfallstrategie eines Bauwerks für die Unterlagen einer Genehmigung (Hüben et al. 2009)

In der Phase 1 des vorliegenden Projekts konnten der Bezirksregierung die verwendeten Modelle und die Funktionsweise des Optimierungstools gezeigt und bereits anhand konkreter Niederschlagsereignisse der theoretische Steuerungserfolg nachgewiesen werden. Wichtige Grundlage für eine Genehmigung in der geplanten Phase 2 ist sicher, dass die Ergeb-

nisse des Optimierungstools für den ungesteuerten Zustand mit dem Ergebnissen des hydrodynamischen Kanalnetzmodells übereinstimmen und für die Steuerung die jeweils aktuellsten verfügbaren Daten einbezogen werden (rollender Optimierungshorizont). Zudem soll vor der Inbetriebnahme der online-Steuerung eine Übergangsphase zum Vergleich der Optimierungsergebnisse mit dem realen Betrieb (genehmigte Defaulteinstellungen) stattfinden, in der die zugrundeliegende Optimierungsgleichung noch einmal im Detail angepasst werden kann und so die Gewässerschutzziele bestmöglich berücksichtigt werden können.

3.4 Steuerung und Immission

Die Betrachtung der Immissionsseite bei Mischwasserabschlägen bekommt zunehmend Bedeutung, z.B. durch das BWK-Merkblatt M3 bzw. durch die Anforderungen der EU-WRRL. Aktuell ist auch ein „Immissionspapier BWK-A 3 (Arbeitsbezeichnung)“ in Bearbeitung. Dies soll die BWK-Merkblätter 3 und 7 (BWK 2007, BWK 2008) zusammenführen und aktualisieren und die immissionsbezogenen Inhalte des DWA-Merkblattes DWA-M 153 (DWA 2007) einbeziehen (Schmitt 2012). Eine Steuerung, die nicht nur rein mengenmäßig betrieben wird sondern auch die stofflichen Komponenten aus Immissionssicht berücksichtigt, erscheint daher sinnvoll.

In der Praxis gibt es hierzu jedoch nur wenige Anwendungsbeispiele. Dies liegt vor allem daran, dass Messungen zu Stoffkonzentrationen in Mischwasserabschlägen schwer zu realisieren sind und ein Nachweis zur Reduzierung der Frachten durch Steuerung schwierig durchzuführen ist. Darüber hinaus ist anzumerken, dass selbst die Volumensteuerung noch selten Anwendung findet und daher wenig Erfahrung mit gesteuerten Systemen existieren.

Für eine immissionsseitige Betrachtung müssen sowohl das Gewässer als auch die Mischwassereinleitungen und die Kläranlageneinleitungen als Gesamtes betrachtet werden. Dies bedeutet, dass das Gewässer an den Einleitungsstellen (Mischwasserentlastungsanlagen und Kläranlage) zu bewerten ist und die Einleitungen stofflich und volumenbezogen zu bilanzieren sind. Nur so kann entschieden werden, ob hydraulischer Stress oder stoffliche Einträge Belastungen für das Gewässer darstellen.

Für die volumenbezogene Bewertung existieren sowohl funktionierende und erprobte Messeinrichtungen (Füllstands- und Abflussmessungen), als auch modelltechnische Abbildungen, die eine gute Abschätzung des Steuerpotenzials erlauben.

Für die Messung von Stoffparametern gibt es verschiedene Messeinrichtungen, die bisher aber keine gängige Praxis darstellen. Grüning (2005) beschreibt beispielsweise den Einsatz von Photometersonden. Mit einer solchen spektralen Messung werden der Spektrale Adsorptionskoeffizient (SAK) und die Trübung gemessen und es können Äquivalenzwerte zu weiteren Parametern (NO_3 , CSB, TOC) abgeleitet werden (Grüning 2005). So kann beispielsweise ein unbelasteter Basisabfluss im Trockenwetterfall dem Gewässer zugeführt werden und bei Zufluss von belastetem Oberflächenwasser kann eine Umleitung zur Kläran-

lage erfolgen (Grüning 2008). Gruber et al (2006) berichten über Langzeiterfahrungen mit dem Betrieb von Kanal-Online-Messstationen in Österreich. Hier wurde ein UV/VIS-Spektrometer zur Messung von Kohlenstoff-Feststofffrachten auf einem schwimmenden Ponton und in einem Probendurchlaufbehälter außerhalb des Kanals (Bypass-Lösung) getestet (Gruber et al. 2006). Es wurde festgestellt, dass an beiden Standorten Kalibrierungsmodelle eingesetzt werden müssen, um die Richtigkeit der Äquivalenzkonzentrationen zu gewährleisten (Gruber et al. 2006). Ein weiterer Test von Online-Messungen wurde von Theilen et al. (2006) vorgenommen. Es wurden zwei Sondensysteme getestet, die beide nicht für den direkten Einbau ins Kanalnetz geeignet sind (Theilen et al. 2006)

Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass Messungen von Stoffparametern im Kanal noch lange nicht als Standard bezeichnet werden können und ein erhöhter Betriebsaufwand zur Wartung und Kalibrierung erforderlich ist. Somit ist der Einsatz solcher Messeinrichtungen als Grundlage für eine Steuerung noch mit Vorsicht zu betrachten.

Die modelltechnische Abbildung von Schmutzfrachten als Bewertungsgrundlage für eine Steuerung ist ebenfalls kritisch zu hinterfragen, da i.d.R. Entlastungsfrachten über längere Zeiträume abgebildet und nicht auf einzelne Ereignisse bezogen werden. Schwankungen innerhalb eines Ereignisses oder der First-Flush-Effekt können mit den üblicherweise eingesetzten Modellen ebenfalls nicht abgebildet werden. Im Bereich der Forschung werden jedoch auch hier Untersuchungen durchgeführt (Christoffels 2008). Grüning und Tandler (2006) haben beispielsweise gezeigt, dass eine Langzeitsimulation mit einem hydrodynamischen Kanalnetzrechnungsprogramm und somit ein Schmutzfrachtnachweis mit hydrodynamischer Berechnung möglich ist.

In einem Steuerungsprojekt in der Gemeinde Odenthal wurden temporäre Einleitungen aus dem Kanalnetz und die permanente Einleitung aus der Kläranlage für den Ist-Zustand durch Messungen ermittelt und diese Werte wurden für die Modellierung der Prognosezustände genutzt. Die gemessenen Konzentrationsganglinien wurden in ihrem zeitlichen Verlauf überlagert und zeitabhängig 90-Perzentilwerte gebildet, um Verschmutzungskonzentrationen in Abhängigkeit von der Entlastungsdauer für die Bauwerke zu generieren. In diesem Projekt wurde ein integrales Gesamtkonzept erarbeitet, in dem Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer betrachtet und Empfehlungen für Maßnahmen erarbeitet wurden. (Londong 2003)

Aus den bisherigen Beschreibungen zum Stand einer Steuerung, welche stoffliche Komponenten aus Immissionssicht berücksichtigt, wird ersichtlich, dass der Forschungsbedarf noch groß ist, da weder Messeinrichtungen für Stoffkonzentrationen im Mischwasser, noch eine modelltechnische Nachweisführung als Standardwerkzeug existieren.

4 Beschreibung des Untersuchungsgebiets Kerten

4.1 Gebiets- und Netzdaten

Das Einzugsgebiet des Gruppenklärwerks Bergheim-Kerten umfasst das gesamte Einzugsgebiet der Stadt Kerpen, die Ortslagen Golzheim und Morschenich der Gemeinde Merzenich, die Ortslagen Berrendorf, Giesendorf, Widdendorf, Grouven und Heppendorf der Stadt Elsdorf sowie die Ortsteile Quadrath-Ichendorf, Kerten, Ahe und Thorr der Stadt Bergheim. Die zu entwässernde Gesamtfläche A_{EK} beträgt 2.425 ha, wobei überwiegend im Mischsystem entwässert wird. Gegenwärtig existieren im Gesamteinzugsgebiet 34 Regenüberlaufbecken (offene/geschlossene Rund- bzw. Rechteckbecken und Stauraumkanäle) sowie 4 Regenüberläufe und ein Retentionsbodenfilter, welches 2005 in Betrieb gegangen ist. Das Gesamtspeichervolumen beträgt rd. 65.000 m³ und das spezifische Speichervolumen ca. 69 m³/ha Ared. Die Kläranlage ist auf einen Mischwasser- /Trockenwetterzufluss von 624 l/s entsprechend 54.000 m³/d ausgelegt.

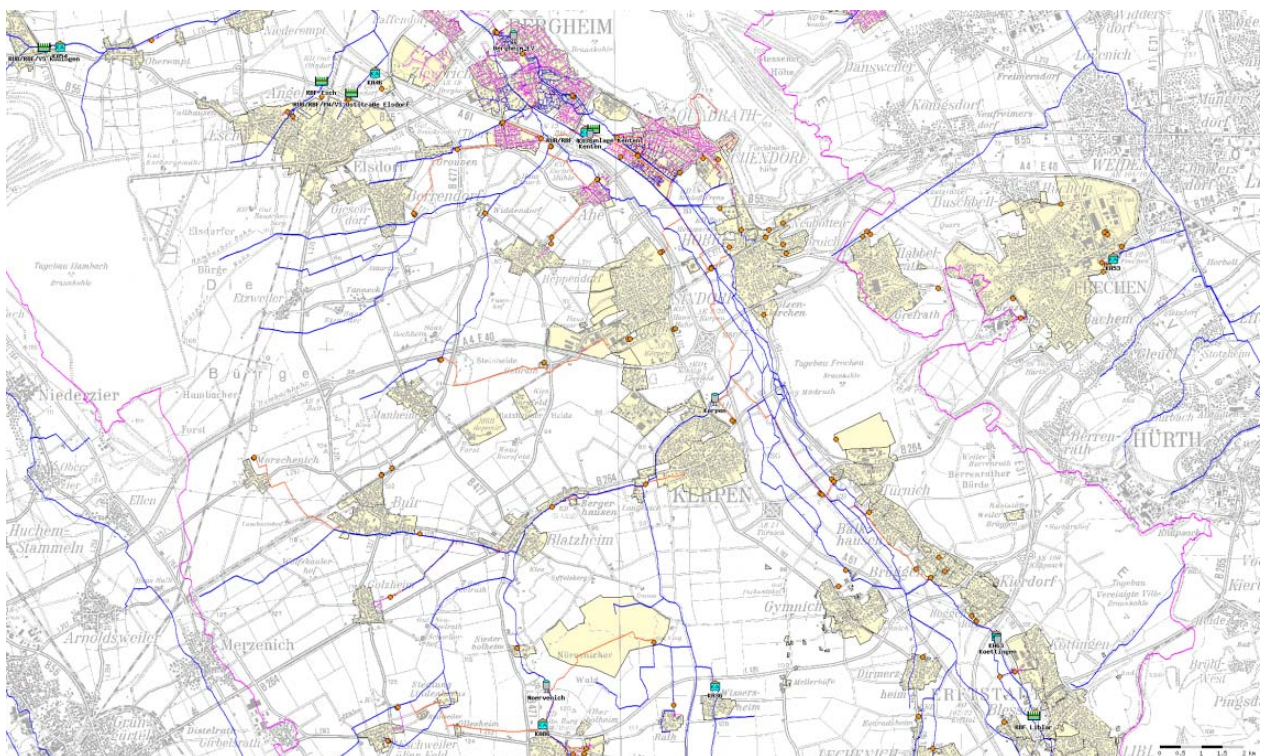


Bild 4-1: Einzugsgebiet der Kläranlage Kerten (Erftverband 2011)

Das Einzugsgebiet der Kläranlage Kerten ist relativ flach, die maximale Fließzeit bis zur Kläranlage beträgt ca. 6 h, wobei die Nachlauf- /Entleerungszeiten im Netz sehr lang sind (bis über 24 Stunden), so dass es zu langen Einstauzeiten kommt. Die Einleitung erfolgt in die Erft und deren Nebengewässer.

Die Netzanzeige für das Einzugsgebiet Kerten wurde Mitte 2011 vorgelegt, so dass die vorhandenen Daten sehr aktuell sind. Das Fließschema ist in Anlage 1 dargestellt.

Für die Steuerung wurden 8 Becken vorausgewählt (RÜB Kanten + RBF Kanten wird als Einheit betrachtet), die mit ihren Kenndaten in der Tabelle 4-1 zusammengestellt sind. Hauptauswahlkriterien waren dabei die Lage im Netz, das Speichervolumen und die gute technische Ausrüstung der Becken.

Tabelle 4-1: Kenndaten der steuerwürdigen Becken

Betr. Nr.	Bezeichnung	RÜB Volumen m ³	max. Entleerungs- zeit h	Summe Qzu oberhalb l/s	Au (direkt) ha	Qt ₂₄ l/s	Qab		Gewässer
							l/s	h	
a	b	c	d	e	f	g	h	n	
76	GKW Kenten	0	0	624	0	165	-		Erft
130	RÜB / PW Thorr	321	2	110	< 1	18	150		Große Erft
218	RÜB Kenten	3.814	19	~ 600	< 1	165	624		Erft
492	RÜB Ahestr.	3.964	25	0	33,1	6,2	50		Kleine Erft
625	RÜB Horrem	3.670	22	208	78,4	21	74		Erft
628	RÜB Kerpen Nord	6.907	53	70	63	28	99		Neffelbach
629	RÜB Kerpen Süd	3.121	7	109	68	14	130		Neffelbach
633	RÜB Türrich	3.998	11	~ 550	36,1	18	125		Erft
635	RÜB Hüttengraben	7.318	62	125	81,6	34	99		Hüttengraben
682	RBF Kenten	4.246	12	~ 600	0	-	60		Erft

4.2 Niederschlagsdaten

Im Einzugsgebiet des Klärwerks Kerten gibt es die drei Niederschlagsstationen Haus Forst (A), Bergheim (B), und Köttingen (C). Für diese Stationen lagen Daten vom 01.11.2001 bis zum 31.10.2010 vor. Des Weiteren existiert in der Nähe die Station Rondorf mit einer Niederschlagsreihe für die Jahre 1966 bis 2009 mit einer zeitlichen Auflösung von 5 min. Mit der langjährigen Reihe der Station Rondorf wurde auch die Simulation für die Kanalnetzanzeige gerechnet.

Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung zeigte sich in diesem Projekt, dass die Verwendung der Daten der drei Stationen und die Zuordnung der Stationen zu den Teileinzugsflächen nach Thiessen-Polygon zu besseren Modellergebnissen führt (siehe Abschnitt 4.3). In diesem Projekt werden deshalb alle Rechnungen mit ungleichmäßiger Überregnung (3 Stationen) durchgeführt.

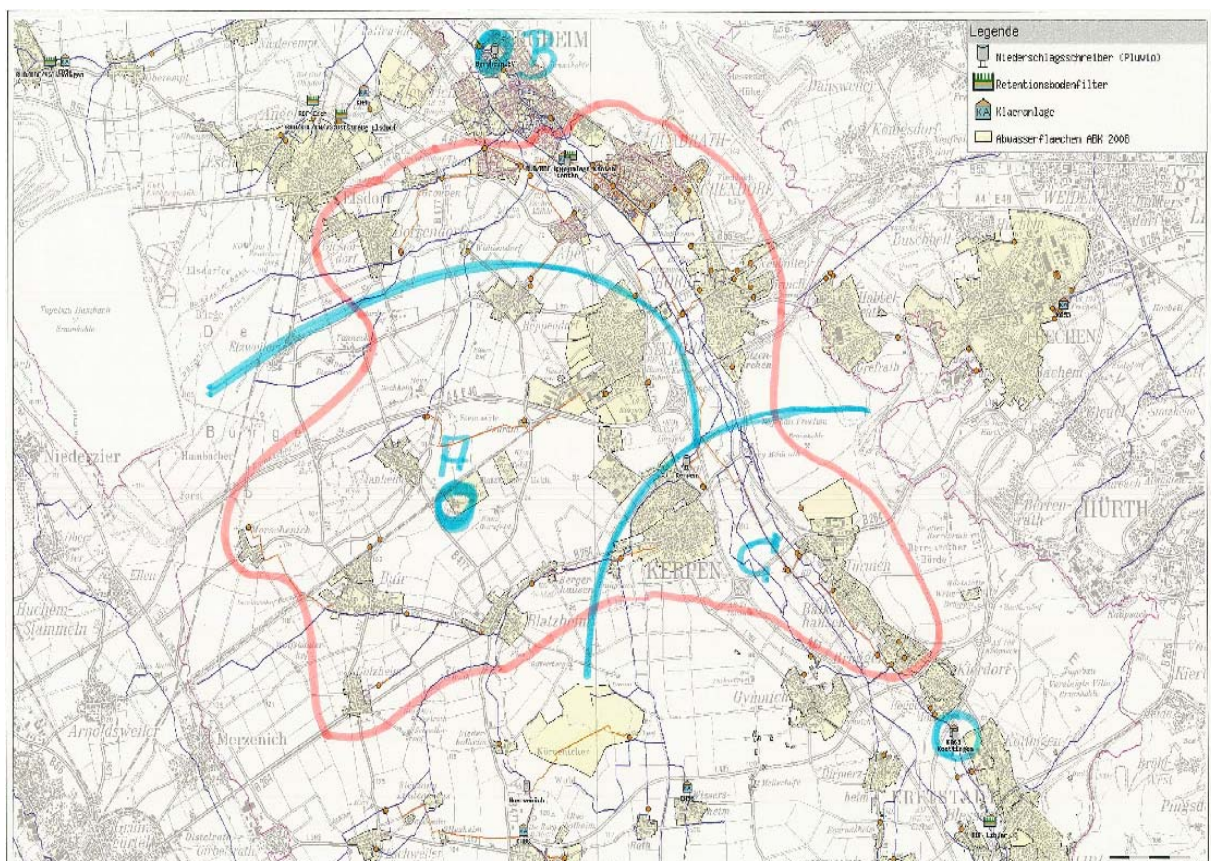


Bild 4-2: Zuordnung der Regenschreiber im Einzugsgebiet des Klärwerks Kerten (Erftverband 2011)

4.3 Datengrundlage und Plausibilitätsprüfung

Als Datengrundlage für das Kanalnetz im Einzugsgebiet des Klärwerks Kenten dienten die Angaben aus der aktuellen Netzanzeige, dem Abwasserbeseitigungskonzept und den Dokumentationen für die einzelnen Bauwerke. Außerdem lagen Pläne des Einzugsgebiets sowie der steuerwürdigen Becken als Schemazeichnungen aus dem Prozessleitsystem (PLS) vor.

Des Weiteren wurden vom Ertfverband die Kenndaten und Parameter der vorhandenen Pumpen und Bauwerke, die im PLS dokumentierten Betriebsdaten für die vorausgewählten zu steuernden Becken sowie die Zu- und Ablaufmengen des Klärwerks zur Verfügung gestellt (siehe Tabelle 4-2).

Tabelle 4-2: Vorliegende Datenzeiträume und zeitliche Auflösung

Betr. Nr.	Bezeichnung	Betriebsdaten		zeitliche Auflösung
		von	bis	min
76	Zu- /Ablauf GKW Kenten	01.01.2006	31.03.2011	15
130	RÜB / PW Thorr	keine Messdaten für den Vergleichszeitraum vorliegend		
218	RÜB Kenten	01.01.2007	15.03.2011	3/15
492	RÜB Ahestr.	keine Messdaten für den Vergleichszeitraum vorliegend		
625	RÜB Horrem	01.05.2008	15.03.2011	3
628	RÜB Kerpen Nord	08.04.2008	15.03.2011	3
629	RÜB Kerpen Süd	08.04.2008	15.03.2011	3
633	RÜB Türnich	08.04.2008	15.03.2011	3
635	RÜB Hüttengraben	08.04.2008	15.03.2011	3
682	RBF Kenten	01.09.2007	31.12.2009	3
646	RÜB Im Rauland	01.01.2008	15.03.2011	15

Bei der Datenprüfung zeigten sich anfangs einige Unstimmigkeiten, die im Dialog und durch eine Ortsbegehung mit dem Ertfverband geklärt werden konnten. Dies betraf z. B. maximale Drosselwerte oder Niveaumessungen, deren genaue Lage bei der Besichtigung festgestellt wurden und dadurch die Zuordnung zu den aufgenommenen Daten eindeutig wurde.

Die Plausibilität der Messdaten wurde zunächst anhand des Parameters Zufluss zur Kläranlage mit dem Modell MOMENT geprüft, wobei aufgrund der höheren Genauigkeit die Messdaten für den Ablauf der Kläranlage verwendet wurden ($Q_{\text{Ablauf, KA}}$). Es wurde sowohl mit gleichmäßiger als auch mit ungleichmäßiger Überregnung (3 Stationen nach Thiessen-Polygon zugeordnet, siehe Abschnitt 4.2) gerechnet. Als Vergleichszeitraum dienten die Jahre 2006 bis 2009, weil dafür sowohl Ablaufwerte der Kläranlage als auch Niederschlagsmessdaten (mit zeitlicher Auflösung von 5 min) vorlagen. Es zeigte sich, dass die Übereinstimmung zwischen Messdaten und Simulationsergebnissen bei der Rechnung mit ungleichmäßiger Überregnung besser war, als wenn mit gleichmäßiger Niederschlagsbelastung (Station Rondorf oder Forst) gerechnet wurde (Tabelle 4-3). Für alle folgenden Berechnungen wurde daher von einer ungleichmäßigen Überregnung ausgegangen. Die Abweichungen zwischen Mess- und Modelldaten mit im Mittel 2,1 % und maximal 4,1 % liegen im akzeptablen Bereich.

Tabelle 4-3: Vergleich Messdaten – Simulationsergebnisse für Q_{zu} KA

	$Q_{\text{Ablauf KA}}$ Mess	Rondorf $Q_{\text{zu KA}}$ Sim	Differenz Sim - Mess	Forst $Q_{\text{zu KA}}$ Sim	Differenz Sim - Mess	3 Stationen $Q_{\text{zu KA}}$ Sim	Differenz Sim - Mess
Jahr	m ³ /a	m ³ /a	%	m ³ /a	%	m ³ /a	%
2006	7.386.522	7.863.176	6,5	7.628.954	3,3	7.538.085	2,1
2007	8.070.271	8.174.453	1,3	8.144.740	0,9	8.130.202	0,7
2008	7.680.934	8.113.604	5,6	7.977.847	3,9	7.996.502	4,1
2009	7.717.244	8.250.904	6,9	7.774.040	0,7	7.836.946	1,6
Mittelwert	7.713.743	8.100.534	5,0	7.881.395	2,2	7.875.434	2,1

Anschließend wurde eine detailliertere Betrachtung anhand von Einzel-Niederschlagsereignissen vorgenommen. Dazu wurden 5 Niederschlagsereignisse mit unterschiedlicher Wiederkehrhäufigkeit ($n=1/a$ und $n=2/a$) mit dem Programmbaustein itwh-Langzeit ausgewählt (Tabelle 4-4), anhand derer ein Vergleich zwischen den Modellergebnissen für Q_{dr} und $Q_{\text{ü}}$ aus EXTRAN und MOMENT vorgenommen wurde. Die ausgewählten Ereignisse führten nicht alle zu einer Entlastung an den Bauwerken und gehören mit ihrer relativ kleinen Wiederkehrhäufigkeit zu den Ereignissen, die in der Regel ein großes Potenzial für eine Kanalnetzsteuerung bieten.

Tabelle 4-4: Ausgewählte Niederschlagsereignisse für die Plausibilitätsprüfung

Nummer	Anfang Datum	Anfang Zeit	Ende Datum	Ende Zeit	Regensumme [mm]	Regenspende [l/(s*ha)]	Regendauer [min]
1	01.04.2008	21:50:00	01.04.2008	23:15:00	5,946	11,658824	85
2	28.04.2008	13:25:00	28.04.2008	13:35:00	3,837	63,95	10
3	01.05.2008	15:50:00	01.05.2008	17:20:00	8,839	16,368519	90
4	29.05.2008	09:40:00	29.05.2008	09:55:00	9,637	107,077778	15
5	02.07.2008	18:35:00	02.07.2008	18:45:00	4,563	76,05	10
6	10.07.2008	22:15:00	11.07.2008	00:40:00	5,289	6,07931	145
7	26.07.2008	17:30:00	26.07.2008	18:00:00	10,695	59,416667	30
8	03.08.2008	23:30:00	04.08.2008	00:35:00	11,307	28,992308	65
9	17.04.2009	08:35:00	17.04.2009	10:10:10	17,953	31,496491	95
10	07.06.2009	15:50:00	07.06.2009	16:00:00	4,526	75,433333	10
11	21.06.2009	09:05:00	21.06.2009	09:20:00	6,749	74,988889	15
12	14.07.2009	20:50:00	14.07.2009	22:00:00	11,811	28,121429	70
13	06.10.2009	16:05:00	06.10.2009	16:35:00	6,459	35,883333	30
14	07.10.2009	21:25:00	07.10.2009	23:40:00	11,529	14,233333	135
15	10.10.2009	10:20:00	10.10.2009	10:30:00	4,327	72,116667	10
16	02.05.2010	14:35:00	02.05.2010	14:55:00	7,251	60,425	20
17	26.05.2010	12:50:00	26.05.2010	15:00:00	11,691	14,988462	130
18	14.07.2010	17:30:00	14.07.2010	17:50:00	6,553	54,608333	20
19	16.07.2010	22:05:10	16.07.2010	22:15:10	3,645	60,75	10
20	28.07.2010	16:35:00	28.07.2010	16:40:00	3,103	103,433333	5
21	29.07.2010	18:05:20	29.07.2010	18:15:20	4,472	74,533333	10
22	08.08.2010	05:50:00	08.08.2010	06:15:40	10,605	70,7	25
23	17.08.2010	03:05:10	17.08.2010	03:10:10	3,124	104,133333	5
24	27.08.2010	02:55:00	27.08.2010	05:50:00	14,78	14,07619	175
25	30.08.2010	06:15:10	30.08.2010	07:35:20	13,277	27,660417	80

n = 1,0 [1/a]

n = 2,0 [1/a]

Der Vergleich der Modellergebnisse bestätigte, dass eine Abbildung mit dem Modell EXTRAN zu vergleichbaren Ergebnissen führt. Eine Kalibrierung des Modells EXTRAN erfolgte dann anhand von Messdaten (siehe Abschnitt 6.4).

5 Ablaufschema zur Datenerhebung

Die erforderlichen Daten zur Planung einer Abflusssteuerung sind in Abschnitt 3.1 beschrieben. In nachstehendem Bild 5-1 ist schematisch der Datenbedarf in Abhängigkeit der Planungsphase skizziert. Wichtig ist zu jedem Zeitpunkt die Prüfung der Daten auf Plausibilität. Dies ist auch während der Realisierungs- und Betriebsphasen, die hier nicht mehr aufgeführt sind, sehr entscheidend.

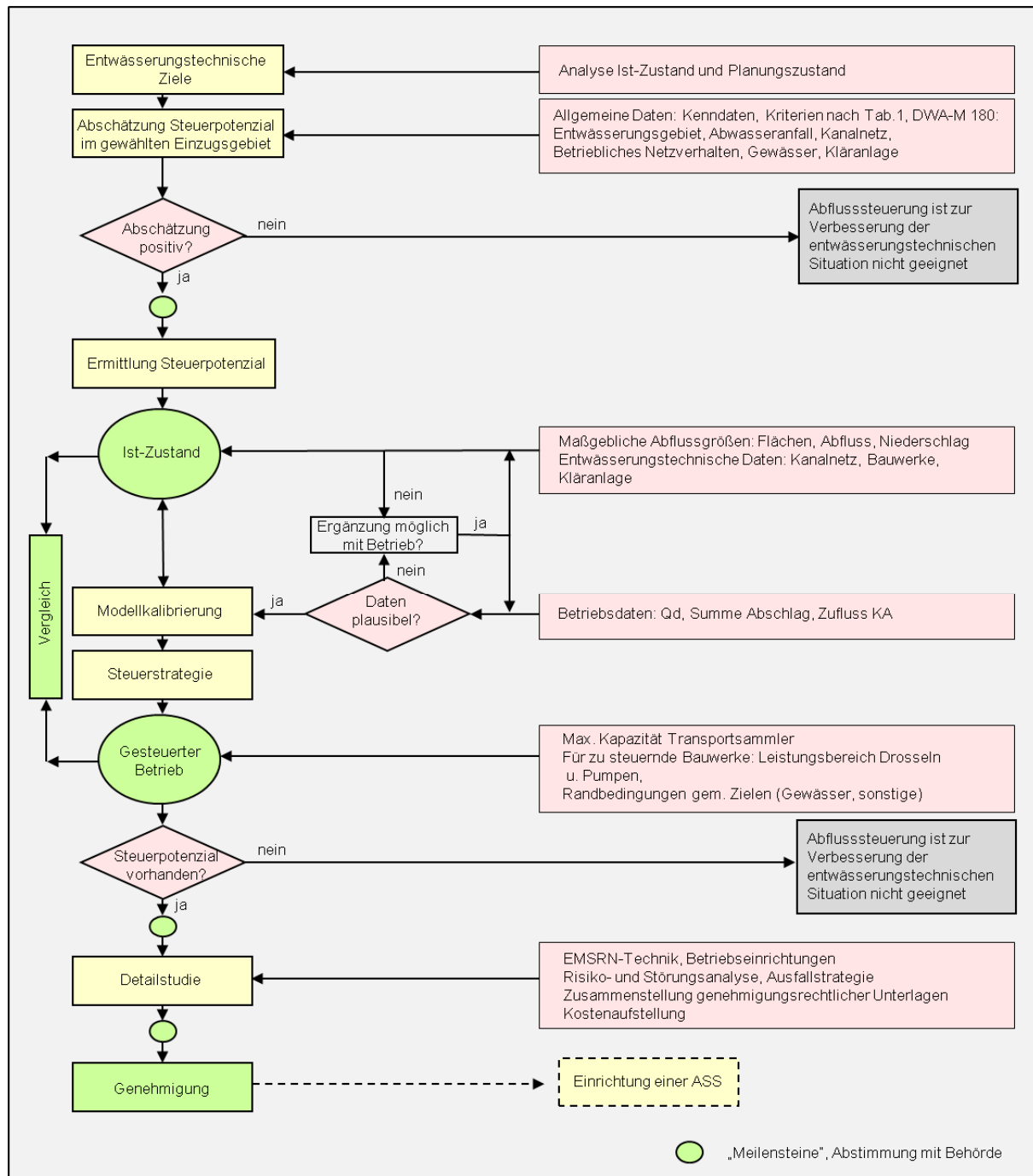


Bild 5-1: Ablaufschema zur Datenerhebung

6 Abflusssteuerung im Netz Kanten

6.1 Ziele und Ist-Zustand

Das Hauptziel der Abflusssteuerung im Netz Kanten ist die Reduzierung der Entlastungsmengen. Damit verbunden ist eine optimierte Weiterleitung zum Klärwerk Kanten und eine hohe Auslastung des Retentionsbodenfilters Kanten (RÜB + RBF).

Vor Projektbeginn wurde eine erste Abschätzung zur Steuerwürdigkeit des Kanalnetzes im EZG Kanten mit dem Programmpaket PASST des DWA Merkblattes M 180 – Abflusssteuerung vorgenommen, die ergab, dass das Gebiet für eine Steuerung prädestiniert ist (siehe Projektantrag, Anhang B).

Ein weiterer Vorteil ist, dass die Regenbecken im Netz ohne hohen Investitionsaufwand nachgerüstet werden können und die Anbindung an die sanierte und erweiterte Kläranlage mit moderner Prozessleittechnik realisiert ist (siehe Anlage 7).

Für das Netz Kanten liegt eine aktuelle Netzanzeige vor, die Gebiets- und Netzdaten wurden bereits in Abschnitt 4.1 beschrieben. Für die Steuerung wurden 8 Becken vorausgewählt (RÜB Kanten + RBF Kanten wird als Einheit betrachtet), die mit ihren Kenndaten in der Tabelle 4-1 zusammengestellt sind. Hauptauswahlkriterien waren dabei die Lage im Netz, das Speichervolumen und die technische Ausrüstung der Becken. Diese Vorauswahl wurde nach Simulation mit dem Modell EXTRAN bestätigt.

6.2 Verwendete Modelle

In diesem Projekt werden drei Modelle für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt und ihre Ergebnisse verglichen, wie in Bild 6-1 grafisch dargestellt ist. Das hydrologische Modell MOMENT (Abschnitt 6.3), welches auch als Grundlage für die Netzanzeige diente, wird zum Abbilden des Ist-Zustands und zum Erzeugen von Zulaufganglinien als Eingang für die anderen beiden Modelle verwendet. Die Ergebnisse aus MOMENT werden einerseits mit Messdaten verglichen, andererseits zum Überprüfen des Modells EXTRAN herangezogen.

Das hydrodynamische Modell EXTRAN (Abschnitt 6.4) bildet den Ist-Zustand ab und wird für den direkten Vergleich mit dem Optimierungstool SIWA SEWER eingesetzt. Das Modell in EXTRAN wird vereinfacht abgebildet und anhand von Messdaten kalibriert.

Das Optimierungstool SIWA SEWER (Abschnitt 6.5) dient zur Modellierung des Ist-Zustands und des gesteuerten Zustands. Das zugrundeliegende vereinfachte Netz entspricht dem in EXTRAN abgebildeten Netz, die Zuflussganglinien sind, wie in EXTRAN, aus MOMENT generiert. Damit stimmen die Grundlagen der beiden Modelle SIWA SEWER und EXTRAN überein, so dass ein direkter Vergleich der Ergebnisse möglich ist.

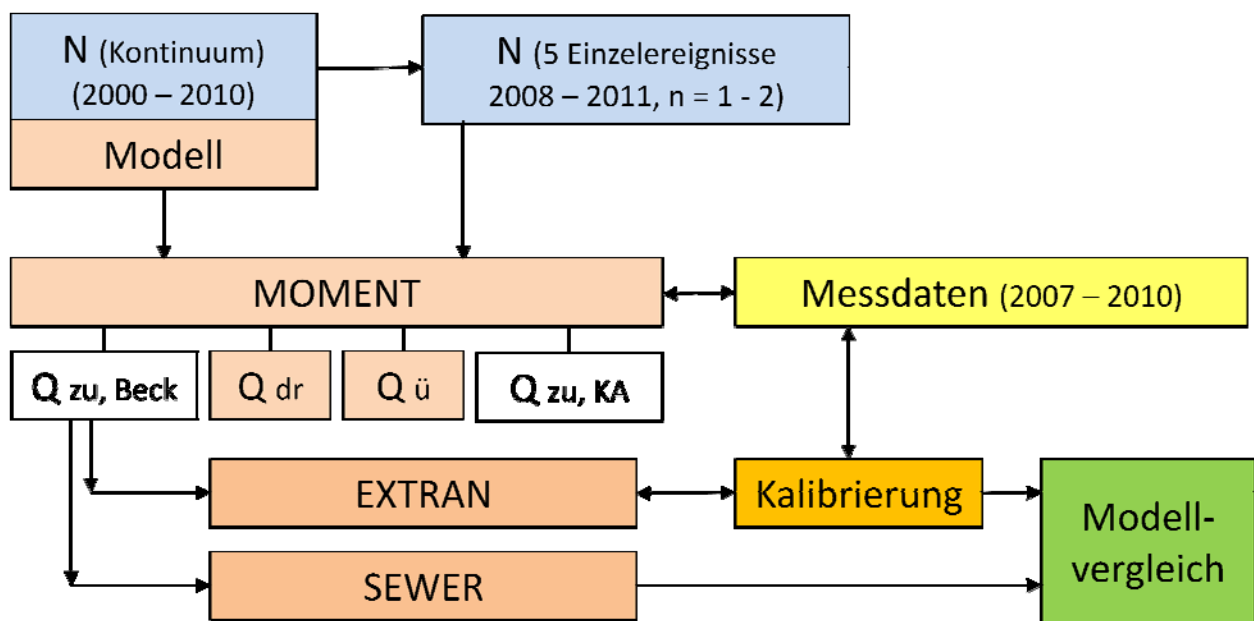


Bild 6-1: Verwendete Modelle und ihre Verknüpfung

6.3 Modell MOMENT

Für die Abbildung des Ist-Zustands und das Erzeugen von Zulaufganglinien für die hydrodynamischen Modelle wurde das hydrologische Modell MOMENT verwendet, wie es der aktuellen Netzanzeige zugrundeliegt (siehe Fließschema, Anlage 1). MOMENT wird zur Langzeitsimulation von Mischwasserentlastungen eingesetzt, ermöglicht aber auch die Berechnung von Einzelereignissen [BGS 2009]. Der Vergleich mit Messdaten ergab, dass der Kläranlagenzufluss am besten abgebildet wird, wenn eine ungleichmäßige Überregnung (3 Niederschlagsstationen, Aufteilung nach Thiessen-Polygon, siehe Abschnitt 4.2) angesetzt wird.

Neben dem Kläranlagenzufluss wurden die Messdaten und Simulationsergebnisse für die Parameter Drosselabfluss ($Q_{dr} = Q_{ab}$) und Entlastung (Summe $Q_{\dot{u}}$ und $Q_{K\dot{u}}$) anhand von Einzelereignissen (siehe Tabelle 4-4) verglichen. Dazu ist anzumerken, dass MOMENT als hydrologisches Modell primär für den Nachweis von Mischwasserentlastungen eingesetzt wird, wobei in NRW dafür eine Regenreihe von 10 Jahren genutzt werden soll. Über so lange Zeiträume sind Aussagen über Gesamtbilanzen gut möglich, da sich dann positive und negative Abweichungen i.d.R. ausgleichen. MOMENT kann die hydrodynamischen Vorgänge im Netz nicht detailliert abbilden, wie es für eine Steuerung notwendig ist, aber die Simulation von Einzelereignissen mit ausreichend langem Vor- und Nachlauf kann trotzdem Hinweise geben, ob das Modell die Realität ausreichend abbildet. Vergleicht man die Messdaten und

Modellergebnisse von Q_{dr} und Q_ü lassen sich Schlüsse ziehen, ob z.B. der Ansatz der abflusswirksamen Flächen der Teileinzugsgebiete gut abgebildet ist.

In Tabelle 6-1 und Tabelle 6-2 sind die Ergebnisse des Vergleichs für den Parameter Q_{ab} für alle ausgewählten Niederschlagsereignisse zusammengefasst. Von den vorausgewählten steuerbaren Becken sind die Bauwerke RÜB/PW Thor (130), RÜB Ahestraße (492) und RÜB Kerpen Nord (628) nicht aufgeführt, da für diese keine vergleichbaren Messdaten für den Zeitraum vorlagen (siehe auch Tabelle 4-2). An RÜB 628 wird beispielsweise die Weiterleitungsmenge des RÜB 629 (Kerpen Süd) mit erfasst und der Messendwert war auf 200 l/s begrenzt, was einen direkten Vergleich schwierig macht. Am RÜB Törnich (633) wurde die Drosseleinstellung für die Simulation jeweils auf die maximal gemessene Weiterleitungsmenge gesetzt, da die aktuelle Drosseleinstellung 2010 geändert wurde.

Es ist festzustellen, dass der Abfluss (Q_{dr RÜB} bzw. Q_{zu KA}) bei drei von vier Niederschlagsereignissen am letzten Becken vor der Kläranlage (RÜB Kanten) sehr gut abgebildet wird. Mit Ausnahme des RÜB Törnich (633) wird bei allen Becken die beste Übereinstimmung zwischen Mess- und Modelldaten für die Ereignisse 12 und 16 erzielt. Dies sind zwei Niederschlagsereignisse, bei denen keine Entlastung erfolgt ist. Die Ursache für die große Abweichung für das Ereignis 12 beim RÜB Törnich ist, dass die reale Niederschlagsbelastung lokal nicht widerspiegelt wird. Die über das RÜB Törnich entwässerten Teilflächen werden alle mit Niederschlägen der Station Koettingen (C) belastet (siehe Bild 4-2). Wie aus Bild 6.2 ersichtlich, sind die Niederschläge für den 14.07.2009 (Ereignis 12, schwarz hinterlegt) im Gegensatz zu den Niederschlägen der anderen Stationen sehr klein (Angaben in 10⁻³ mm), so dass quasi nur der Trockenwetterabfluss in der Simulation zur Kläranlage geleitet wird. Den Messdaten ist aber zu entnehmen, dass ein maßgebender Abfluss durch Niederschlag hervorgerufen wurde. Dieses Beispiel zeigt, dass die angesetzte ungleichmäßige Überregnung nach Thiessen Polygon zwar die Gesamtbelastung des Systems besser repräsentiert als die Belastung von Einzelstationen, wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, sehr lokale Verhältnisse aber unter Umständen gar nicht erfasst werden.

0001	12	7	2009	17	0	0	448	2268	4	0	0	0	0	0	0	0
0001	14	7	2009	22	0	0	0	0	0	0	321	468	110	182	207	42
0001	17	7	2009	6	2	37	0	0	0	0	0	0	30	89	119	182
0001	17	7	2009	7	190	149	201	138	163	241	220	309	280	219	138	32
0001	17	7	2009	8	30	28	32	30	30	0	0	0	0	0	0	0

Bild 6-2: Auszug der Niederschlagsmessungen der Station Koettingen für das Ereignis 12

Die Abweichungen von Mess- und Modelldaten sind auch für das RÜB Horrem groß und für das RÜB Hüttengraben recht deutlich. Hier könnte die Abbildung der lokalen Niederschlagsituation ebenfalls eine Ursache sein. Aber vor dem Hintergrund, dass es sich um die Simula-

tion von Einzelereignissen mit einem hydrologischen Modell handelt, der Gesamtzulauf zur Kläranlage sehr gut sowohl für die Einzelereignisse als auch für die Jahresbilanzen abgebildet wird und eine Kalibrierung des hydrodynamischen Modells an Messdaten vorgenommen wird, darf aus diesen Abweichungen keine grundlegende Modellanpassung abgeleitet werden.

Differenzwerte mit negativem Vorzeichen bedeuten, dass die Weiterleitungsmenge zur Kläranlage in der Simulation kleiner als die gemessene ist. Dies müsste bei ähnlichem Gesamtabfluss zu einer größeren Entlastungsmenge führen, was durch die Simulationsergebnisse auch bestätigt wird. Auch für die Ereignisse 4, 8, 9 werden für das RÜB Kerpen Süd die simulierten Entlastungsmengen offenbar überschätzt (trotz positivem Vorzeichen der Differenz), so dass die Modellergebnisse auf der „sicheren Seite“ liegen. Die detaillierten Ergebnisse für den Vergleich der simulierten und gemessenen Entlastungsmengen werden hier nicht dargestellt, da die Messung von Entlastungsmengen mit noch größeren Ungenauigkeiten behaftet ist und die Daten nicht lückenlos plausibel waren.

Die ausgeführte Gesamtbetrachtung lässt den Schluss zu, dass das Modell MOMENT geeignet ist, Zulaufwellen als Eingangsinformation für die Modelle EXTRAN und SIWA SEWER in ausreichender Güte zur Verfügung zu stellen, wie dies erfolgt ist. Ein Vergleich der hydrodynamisch simulierten Ergebnisse mit den Betriebsdaten erfolgt im Abschnitt 6.4.

Tabelle 6-1: Vergleich simulierter und gemessener Werte für Q_{ab} (= Q_{dr}) für die Niederschlagsereignisse 4, 8, 9

Ereignis 4	Anfang Datum	Anfang Zeit	Ende Datum	Ende Zeit
Wiederkehrhäufigkeit	29.05.2008	09:40:00 Uhr	29.05.2008	09:55:00 Uhr
Regendauer [min]	n=1/a			
Vorlauf [h]	15			
Nachlauf [h]	10			
Regensumme [mm]	14			
Regenspende [l/(s*ha)]	9,64			
	107,08			
Bezeichnung	Betr. Nr.	Simulation Q_{ab} [m³]	Messwert Q_{ab} [m³]	Sim/Mess -1 Q_{ab} [m³]
RÜB Horrem	625	4.313	2.031	112,3%
RÜB Kerpen Süd	629	6.357	6.097	4,3%
RÜB Tünnich *	633	1.598	2.859	-44,1%
RÜB Hüttengraben	635	5.929	9.914	-40,2%
RÜB Kenten	218	31.719	25.659	23,6%

* $Q_{dr, sim} = \max Q_{ab}$ aus Messdaten

Ereignis 8	Anfang Datum	Anfang Zeit	Ende Datum	Ende Zeit
Wiederkehrhäufigkeit	03.08.2008	23:30:00 Uhr	04.08.2008	00:35:00 Uhr
Regendauer [min]	n=2/a			
Vorlauf [h]	65			
Nachlauf [h]	11,5			
Regensumme [mm]	11,5			
Regenspende [l/(s*ha)]	11,31			
	28,99			
Bezeichnung	Betr. Nr.	Simulation Q_{ab} [m³]	Messwert Q_{ab} [m³]	Sim/Mess -1 Q_{ab} [m³]
RÜB Horrem	625	4.386	5.462	-19,7%
RÜB Kerpen Süd	629	7.353	6.311	16,5%
RÜB Tünnich *	633	8.239	6.351	29,7%
RÜB Hüttengraben	635	6.145	9.906	-38,0%
RÜB Kenten	218	35.503	-	-

* $Q_{dr, sim} = \max Q_{ab}$ aus Messdaten

Ereignis 9	Anfang Datum	Anfang Zeit	Ende Datum	Ende Zeit
Wiederkehrhäufigkeit	17.04.2009	08:35:00 Uhr	17.04.2009	10:10:10 Uhr
Regendauer [min]	n=1/a			
Vorlauf [h]	95			
Nachlauf [h]	8,5			
Regensumme [mm]	14			
Regenspende [l/(s*ha)]	17,95			
	31,50			
Bezeichnung	Betr. Nr.	Simulation Q_{ab} [m³]	Messwert Q_{ab} [m³]	Sim/Mess -1 Q_{ab} [m³]
RÜB Horrem	625	5.174	2.260	128,9%
RÜB Kerpen Süd	629	9.545	7.898	20,9%
RÜB Tünnich *	633	11.449	10.525	8,8%
RÜB Hüttengraben	635	7.012	10.716	-34,6%
RÜB Kenten	218	42.233	42.016	0,5%

* $Q_{dr, sim} = \max Q_{ab}$ aus Messdaten

Tabelle 6-2: Vergleich simulierter und gemessener Werte für Q_{ab} (= Q_{dr}) für die Niederschlagsereignisse 12, 16

Ereignis 12	Anfang Datum	Anfang Zeit	Ende Datum	Ende Zeit
Wiederkehrhäufigkeit	14.07.2009	20:50:00 Uhr	14.07.2009	22:00:00 Uhr
Regendauer [min]	n=2/a			
Vorlauf [h]	70			
Nachlauf [h]	8,5			
Regensumme [mm]	14			
Regenspende [l/(s*ha)]	11,81			
	28,12			
Bezeichnung	Betr. Nr.	Simulation Q_{ab} [m³]	Messwert Q_{ab} [m³]	Sim/Mess -1 Q_{ab} [m³]
RÜB Horrem	625	4.896	2.992	63,6%
RÜB Kerpen Süd	629	6.638	6.930	-4,2%
RÜB Tünnich *	633	1.663	7.153	-76,8%
RÜB Hüttengraben	635	6.572	6.529	0,7%
RÜB Kenten	218	35.113	39.260	-10,6%

* $Q_{dr, sim} = \max Q_{ab}$ aus Messdaten

Ereignis 16	Anfang Datum	Anfang Zeit	Ende Datum	Ende Zeit
Wiederkehrhäufigkeit	02.05.2010	14:35:00 Uhr	02.05.2010	14:55:00 Uhr
Regendauer [min]	n=2/a			
Vorlauf [h]	20			
Nachlauf [h]	14,5			
Regensumme [mm]	9			
Regenspende [l/(s*ha)]	7,25			
	60,43			
Bezeichnung	Betr. Nr.	Simulation Q_{ab} [m³]	Messwert Q_{ab} [m³]	Sim/Mess -1 Q_{ab} [m³]
RÜB Horrem	625	3.612	3.175	13,8%
RÜB Kerpen Süd	629	6.150	5.490	12,0%
RÜB Tünnich *	633	3.494	6.318	-44,7%
RÜB Hüttengraben	635	5.118	5.537	-7,6%
RÜB Kenten	218	29.238	31.469	-7,1%

* $Q_{dr, sim} = \max Q_{ab}$ aus Messdaten

6.4 Modell EXTRAN

6.4.1 Berechnungsmodell

Das hydrodynamische Modell EXTRAN bildet den Ist-Zustand ab und stellt die Grundlage für das Optimierungstool SIWA SEWER dar. Anschließend wird anhand von Simulationsergebnissen ein Abgleich zwischen den beiden Modellen durchgeführt.

Grundlage für den Aufbau des Simulationsmodells bildet der IsyBau-Datenbestand (Typ k) des Erftverbands. Diese Daten liefern die erforderlichen Informationen wie Kanallänge,

Die Drosselleistungen der im Berechnungsmodell berücksichtigten Anlagen werden entsprechend dem vorliegenden Fließschema (Anlage 2) implementiert.

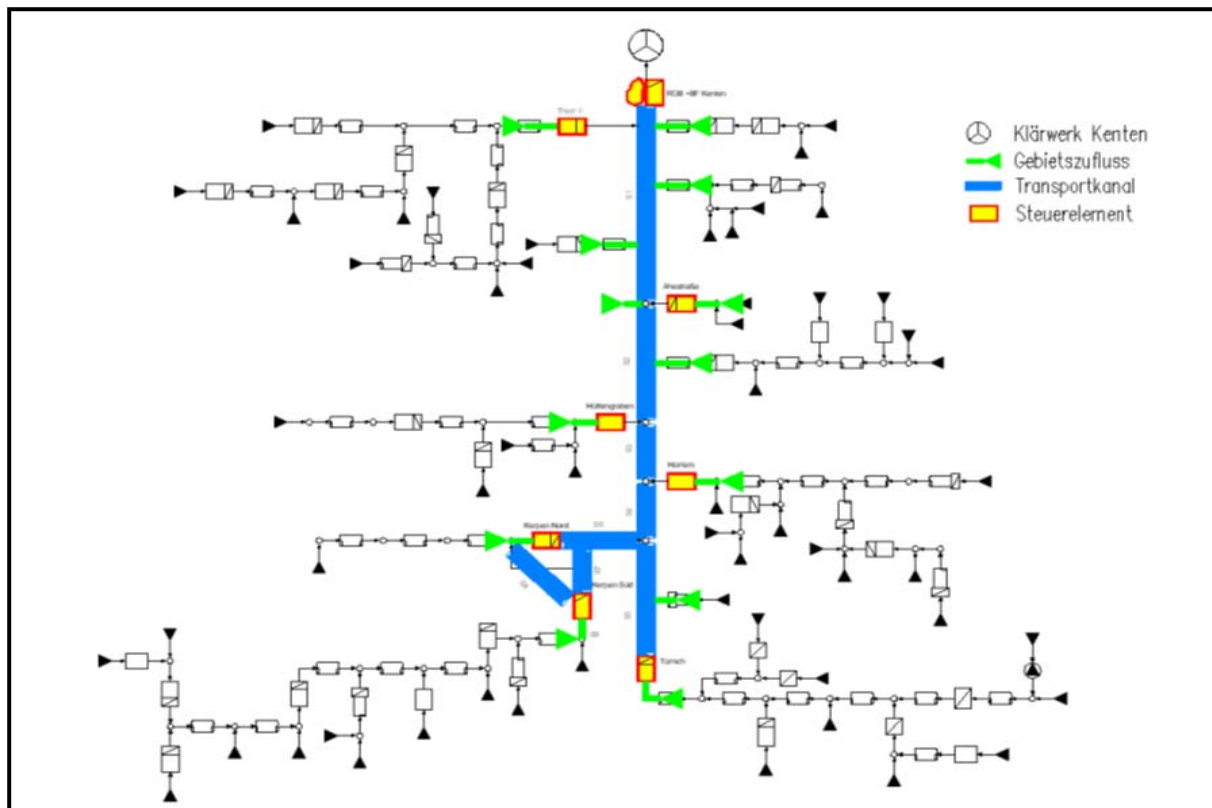


Bild 6-4: Grobnetzmodell für das EZG des GKW Kenten

6.4.2 Kalibrierung des Berechnungsmodells

Das auf die oben beschriebene Weise erstellte Berechnungsmodell wird mit Hilfe der unter Abschnitt 6.3 beschriebenen Zuflusswellen der ausgewählten Niederschlagsereignisse (siehe Tabelle 4-4) anhand der vorhandenen Messdaten kalibriert, um den Prozess des Abflusstransportes im Kanalnetz nachzubilden.

Die Kalibrierung des Niederschlag-Abflussprozesses ist bereits in Abschnitt 6.3 Modell MOMENT durchgeführt und beschrieben. Im Transportmodell EXTRAN erfolgt die Berechnung des Abflusses im Kanal nach dem Gleichungssystem von ST. VENANT, das aus der Kontinuitätsbeziehung und dem Energiesatz besteht. Dieses Gleichungssystem berücksichtigt Parameter rein physikalischer Natur, die keine reale Möglichkeit der Kalibrierung bieten. Lediglich der Rauigkeitsbeiwert bietet einen gewissen Spielraum.

Bei der Kalibrierung ist zu berücksichtigen, dass innerhalb des Zeitraumes der Abflussregistrierung die Drosselleistungen der steuerungswürdigen Anlagen eingestellt und schließlich entsprechend den Ergebnissen der Schmutzfrachtberechnungen angepasst werden. Dabei

sind die jeweiligen Schaltstufen der Pumpen anhand der vorliegenden Messdaten in Verbindung mit den Berechnungsergebnissen grob abgeschätzt.

Wie im Kapitel 6.3 beschrieben, erfolgt die Erstellung der Zuflusswellen mit Hilfe der drei Niederschlagsstationen. Dabei ergeben sich für die jährliche Bilanzierung gute Übereinstimmungen mit den aufgezeichneten Werten im Zufluss des Gruppenklärwerks Kanten. Für die Einzelereignissimulation sind Abweichungen zu erwarten, da die tatsächlichen Fließwege und evtl. vorhandene Einstausituationen durch die vorgelagerten innerstädtischen Entwässerungssysteme wesentlich beeinflusst werden. Diese führen zu zeitlichen Verzögerungen und zu einer Verformung der Zuflusswelle, die sich in den registrierten Daten widerspiegeln, aber nicht simuliert werden können. Da nicht an jedem Zuflussknoten Abflussregistrierungen vorliegen, ist die Verwendung der über das Simulationsprogramm MOMENT erzeugten Zuflusswellen die bevorzugte Möglichkeit, das Gesamtsystem des Erftverbands hydraulisch nachzubilden.

Die Berücksichtigung von drei Niederschlagsstationen bei der Erstellung der Zuflusswellen erfasst eine räumlich unterschiedliche Niederschlagsverteilung. Aufgrund der räumlichen Ausdehnung des Entwässerungssystems ist zu erwarten, dass dieser Effekt noch wesentlich deutlicher in den registrierten Daten hervortritt. Es ist zu empfehlen, die Dichte der Niederschlagsstation für die Kanalnetzsteuerung zu erhöhen bzw. auf Radarmessungen umzusteigen, was für die nachfolgende Projektphase angedacht wird.

Die oben beschriebenen Einflüsse führen zu einer Abweichung zwischen den registrierten Daten und den mit dem Modell berechneten Werten. Da für die Kanalnetzsteuerung der Einfluss von Abflussspitzen und die Dauer von Einstauphasen besonders bedeutsam sind, wird die Modellkalibrierung hauptsächlich daran ausgerichtet. Die entscheidenden Auswirkungen auf die Abflussspitzen und Einstauphasen gehen von der Modellierung der Drosseleinrichtungen aus.

Durch die Variation der Drosseleinstellungen werden die Bedingungen im Kanalnetz so nachgebildet, wie sie zum Zeitpunkt der Messungen bestanden haben. Durch den Vergleich der gemessenen mit den simulierten Ganglinien ist eine objektive Beurteilung über die Zuverlässigkeit des Simulationsmodells möglich. Der Erfolg einer Kalibrierung wird in erster Näherung durch die optische Übereinstimmung der Ganglinienformen geprüft.

Die Überprüfung der Einstausituation erfolgt qualitativ. In der Realität sind die zur Verfügung stehenden Retentionsvolumina der einzelnen Anlagen auf verschiedene Becken bzw. Stauraumkanäle aufgeteilt. Eine solche Aufteilung kann bei der Anwendung eines Berechnungsmodells nicht geeignet nachgebildet werden. Das zur Verfügung stehende Volumen wird als ein Gesamtspeicherbecken berücksichtigt. Die registrierten Wasserspiegellagen der vorhandenen Beckenanlagen werden qualitativ über die Einstauzeit überprüft.

Die Kalibrierung anhand der gemessenen Abflüsse und Einstauzeiten wird für folgende Entlastungsanlagen vorgenommen:

- Törnich RÜB 633
- Kerpen Süd RÜB 629
- Kerpen Nord RÜB 628
- Horrem RÜB 625
- Sinsdorf / Hüttengraben RÜB 635
- Kanten RÜB 218 nur Wasserstand

Der Modellvergleich wird für fünf ausgewählte Niederschlagsereignisse mit Vorlauf/ Nachlauf und einer Wiederkehrhäufigkeit von $n = 1/a$ bzw. $n = 2/a$ durchgeführt (Tabelle 6-4).

Tabelle 6-4: Ausgewählte N-Ereignisse mit Vorlauf/ Nachlauf

Ereignis Nr.	Zeitraum	Häufigkeit
Ereignis 4	28.05.2008 12:00 Uhr bis 01.06.2008 22:40 Uhr	$n = 1/a$
Ereignis 8	03.08.2008 00:00 Uhr bis 06.08.2008 22:05 Uhr	$n = 1/a$
Ereignis 9	16.04.2009 12:00 Uhr bis 20.04.2009 06:25 Uhr	$n = 1/a$
Ereignis 12	13.07.2009 00:00 Uhr bis 16.07.2009 16:55 Uhr	$n = 2/a$
Ereignis 16	01.05.2010 12:00 Uhr bis 04.05.2010 06:30 Uhr	$n = 2/a$

Die Auswertung bzw. optische Kontrolle erfolgt zunächst für eine Messstelle und ein ausgewähltes Niederschlagsereignis. Zeigen sich deutliche Abweichungen sind die Ursachen für diese Abweichungen zu untersuchen. Im vorliegenden Untersuchungssystem wird der Abflussbildungs- und -konzentrationsprozess aufgrund der vorgegebenen Zuflusswellen unverändert übernommen. Die Anpassung bezieht sich auf die Nachbildung der Drosselabflüsse und die zu berücksichtigenden Schaltstufen an den Entlastungsanlagen.

In Bild 6-5 sind die aufgezeichneten und berechneten Ganglinien für den Weiterleitungsabfluss bzw. die Einstausituation aus dem Becken Kerpen Nord und Horrem grafisch gegenübergestellt. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse ist in Anlage 3 dokumentiert.

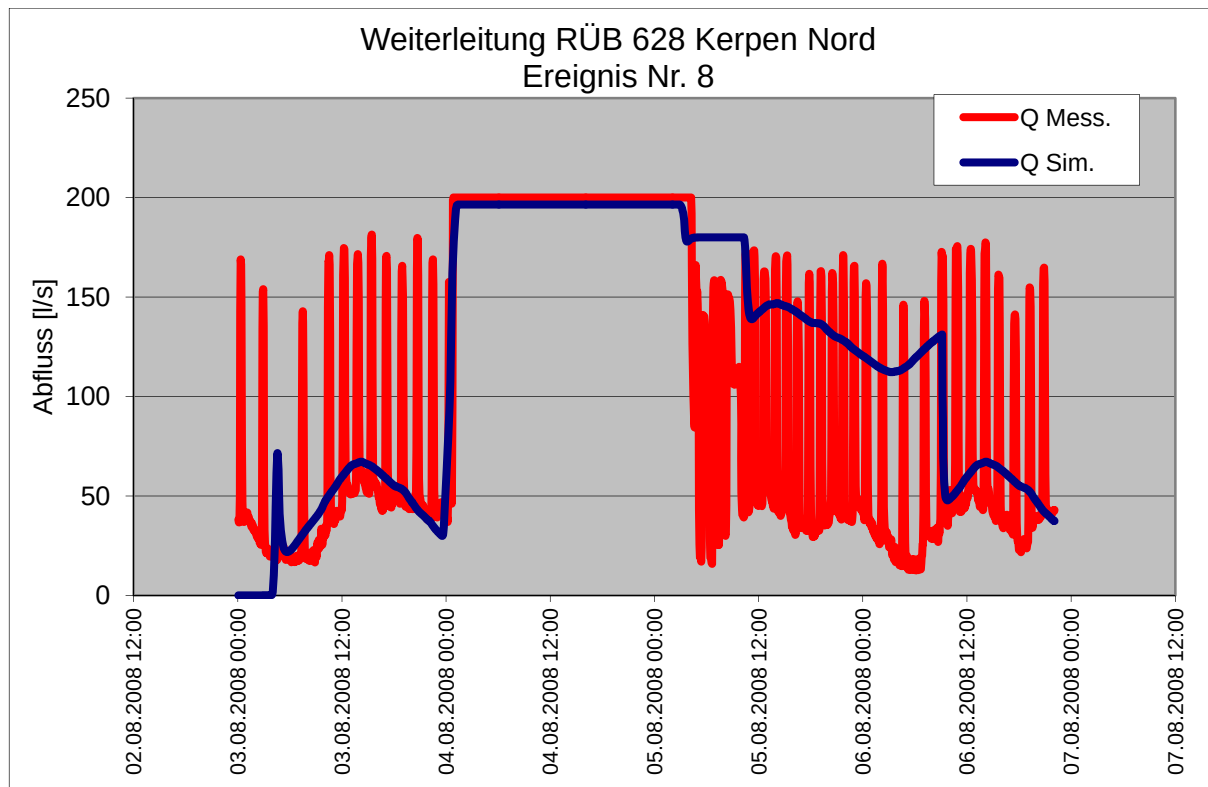


Bild 6-5: Ganglinienvergleich RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 8

Das Bild 6-5 zeigt eine optisch sehr gute Übereinstimmung der aufgezeichneten Daten mit den simulierten Ergebnissen des Berechnungsmodells. Der Anstieg bis zur maximalen Förderleistung und die Dauer dieser Phase werden vom Berechnungsmodell sehr gut nachgebildet. Die kurzfristigen Spitzenfördermengen im Vor- und Nachlauf der Volllastphase sind darauf zurückzuführen, dass die Messstelle, an der die Weiterleitungsmenge vom RÜB 628 Kerpen Nord erfasst wird, teilweise von den Abflüssen des Beckens RÜB 629 Kerpen Süd beeinflusst wird. Die Messstelle für den Weiterleitungsabfluss des RÜB 628 Kerpen Nord befindet sich unterhalb des Zuflusses vom Verteilerbauwerk TB 251 (siehe Fließschema Anlage 1). An dieser Stelle ist der vom RÜB 628 Kerpen Nord weitergeleitete Abfluss bereits mit dem Anteil des Weiterleitungsabflusses vom RÜB 629 Kerpen Süd vermischt, der über das TB 251 direkt auf den Transportsammler zum GKW Kanten einbindet. Da die Schaltstufen für die Pumpen an den Becken RÜB 628 und RÜB 629 abgeschätzt werden, kann dies zu den dargestellten Abweichungen führen.

Die Übereinstimmung des Einstauverhaltens, ausgedrückt über die Einstauzeit, wird entsprechend Bild 6-6 für das RÜB 625 Horrem sehr gut vom Modell nachgebildet. Dies ist auch für die übrigen für die Kalibrierung berücksichtigten Anlagen der Fall, wie die Grafiken in Anlage 3 bestätigen.

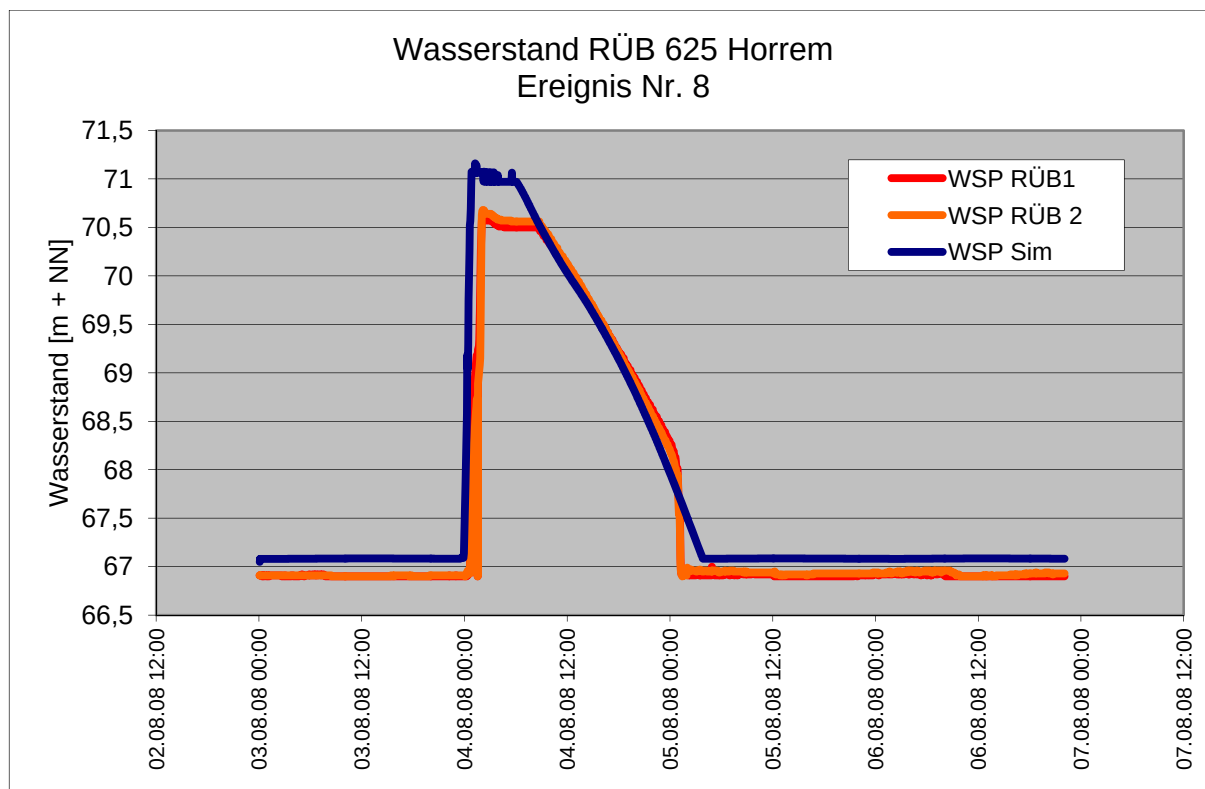


Bild 6-6: Ganglinienvergleich RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 8

In der Tabelle 6-5 ist eine Beurteilung der durchgeführten Kalibrierungsberechnungen zusammengefasst. Die entsprechenden grafischen Auswertungen sind in Anlage 3 zusammengestellt.

Tabelle 6-5: Beurteilung der Kalibrierungsergebnisse

Anlage	Ereignis Nr. 4	Ereignis Nr. 8	Ereignis Nr. 9	Ereignis Nr. 12	Ereignis Nr. 16
RÜB 633 Türnich	gut	gut	gut	gut	brauchbar
RÜB 629 Kerpen Süd	gut	sehr gut	gut	gut	gut
RÜB 628 Kerpen Nord	gut	sehr gut	gut	gut	sehr gut
RÜB 635 Sinsdorf	gut	sehr gut	brauchbar	brauchbar	brauchbar
RÜB 625 Horrem	brauchbar	gut	Störung	brauchbar	brauchbar
RÜB 218 Kenten	gut	brauchbar	brauchbar	sehr gut	Störung

Die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen zeigen überwiegend gute optische Übereinstimmungen mit den aufgezeichneten Abflussdaten.

Das Modell wird im Anschluss an diese Berechnungen hinsichtlich der einzustellenden Weiterleitungsmengen entsprechend dem Fließschema (siehe Anlage 1) modifiziert und bildet so die Grundlage für den Aufbau des Berechnungsmodells SIWA SEWER.

6.5 SIWA SEWER ASSIST

SIWA SEWER ASSIST ist ein simulations- und optimierungsbasiertes Assistenz- und Steuerungssystem zum verbesserten Kanalnetzbetrieb: Die aktuellen Vorgänge im Netz werden betriebsbegleitend simuliert („Soft Sensors“), auf zu erwartende Verläufe wird unter Einbezug von Zuflussprognosen eine simulative Vorschau gegeben, unterschiedliche Betriebsentscheidungen können simulativ durchgespielt und evaluiert werden. Durch die in SIWA SEWER ASSIST integrierte mathematische Optimierung auf Grundlage von SQP-Algorithmen (Sequentielle Quadratische Programmierung) wird es dem System ermöglicht, Vorschläge für eine optimierte Betriebsweise zu liefern, so dass dies zur Kanalnetzsteuerung eingesetzt werden kann.

Dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit wird im SIWA SEWER ASSIST auf besondere Weise Rechnung getragen, da durch den Einsatz von mathematischen Optimierungsalgorithmen die Entwicklung anlagenspezifischer Einzellösungen, wie z.B. regelbasierter Steuerungsansätze vermieden wird. Der Endanwender soll dabei in der Lage sein, das Modell eigenhändig zu projektieren und das System selbstständig zu pflegen.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes dient SIWA SEWER ASSIST zur Modellierung des Ist-Zustands, zur Berechnung optimierter Steuereingriffe und zum simulativen Vergleich zwischen ungesteuertem und gesteuertem Zustand. Das zugrundeliegende vereinfachte Netz entspricht dem in EXTRAN abgebildeten Netz, die Zuflussganglinien sind, wie in EXTRAN, aus MOMENT generiert. Damit stimmen die Grundlagen der beiden Modelle SIWA SEWER ASSIST und EXTRAN überein, so dass ein direkter Vergleich der Ergebnisse möglich ist.

6.5.1 SIWA SEWER ASSIST Module

SIWA SEWER ASSIST zeichnet sich durch einen modularen Aufbau aus. Die Module Simulation und Optimierung bilden dessen Kern. Das Gesamtsystem mit allen Modulen ist in Bild 6-7 dargestellt.

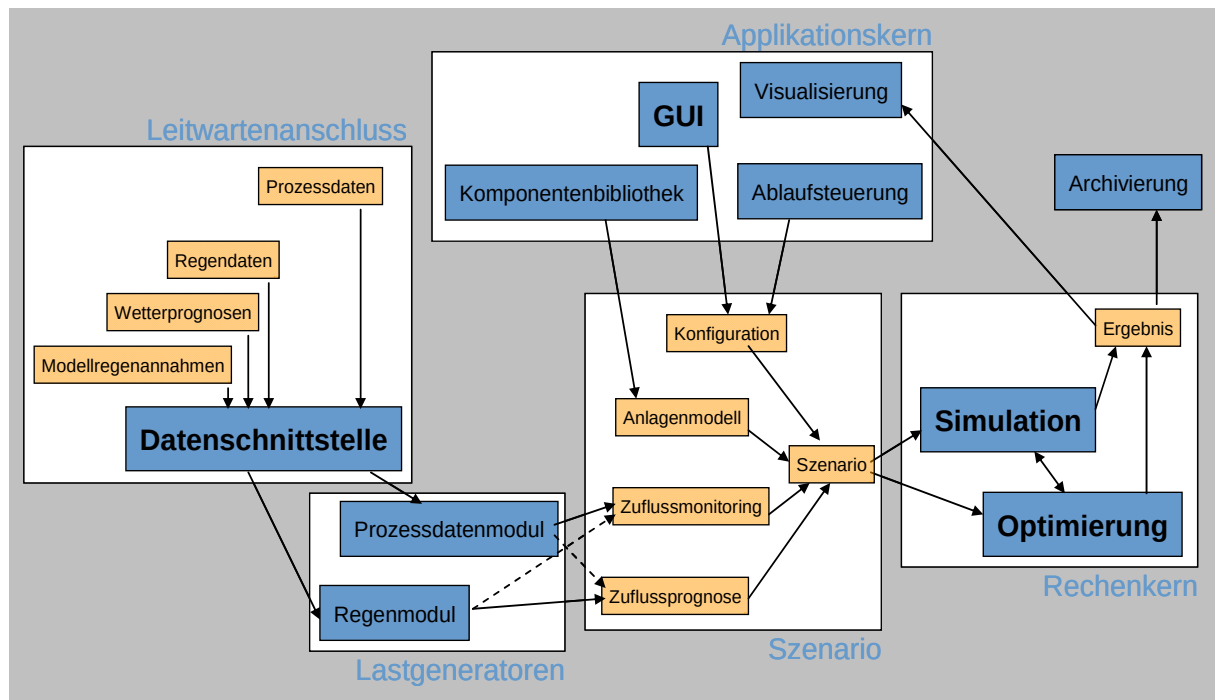


Bild 6-7: SIWA SEWER ASSIST Module im Gesamtüberblick

Im Rahmen des aktuellen Forschungsprojekts wurde der Nutzen der Kanalnetzsteuerung auf Basis ausgewählter Beispielszenarien demonstriert. Eine Leitwartenanbindung war daher noch nicht nötig. Zuflussganglinien wurden für die ausgewählten Beispielzeiträume direkt zur Verfügung gestellt. Die SIWA SEWER ASSIST Module der Lastgenerierung kamen nicht zum Einsatz. Ebenso entfiel das für den Online-Betrieb so wichtige Module der Ablaufsteuerung, das die Aufrufe der betriebsbegleitenden Simulation und Optimierung koordiniert. Die damit eingesetzten Module sind in Bild 6-8 dargestellt (nicht relevante Module sind blass dargestellt).

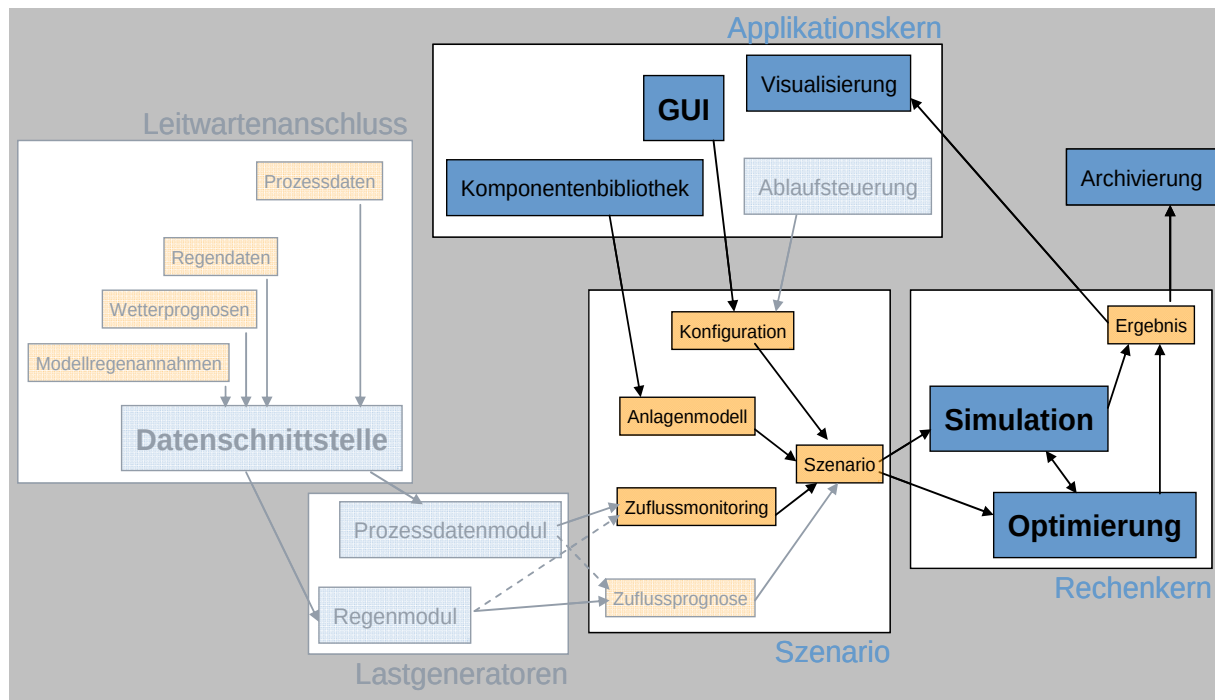


Bild 6-8: SIWA SEWER ASSIST Module im Forschungsprojekt

In Fortsetzung zu dem aktuellen Forschungsprojekt soll in Phase 2 SIWA SEWER ASSIST als Online-Assistenzsystem mit Optimierungskern für das Einzugsgebiet des GWK Kenten umgesetzt werden. Prozessdaten (insbesondere Flüsse und Füllstände) werden dann online von der Anlage durch SIWA SEWER ASSIST übernommen. Zuflussprognosen auf Basis von Regendaten werden dem System zur Verfügung gestellt. Die in dieser Phase 2 eingesetzten SIWA SEWER ASSIST Module sind in Bild 6-9 dargestellt.

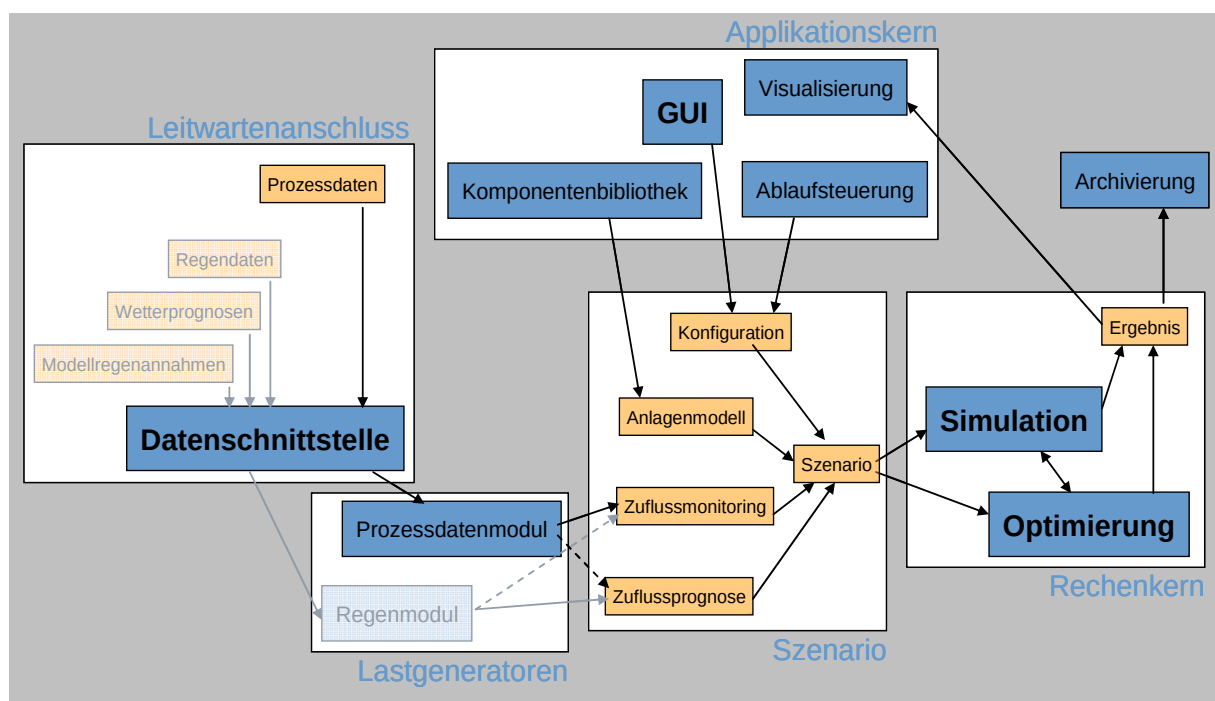


Bild 6-9: SIWA SEWER ASSIST Module in Fortsetzung des Forschungsprojekts

6.5.2 SIWA SEWER ASSIST Komponenten

SIWA SEWER ASSIST nutzt MS Visio zum Aufbau des Anlagenmodells aus Bibliothekskomponenten. Komponenten werden dabei per Drag & Drop im MS Visio Flowsheet angelegt und können dort verbunden werden. Über ein Kontextmenü können zu den Komponenten Parameterdialoge geöffnet werden, in denen der Komponentename sowie die Parameterwerte und einzelne Initialwerte vergeben werden.

Folgende Komponenten stehen zur Verfügung:

6.5.2.1 Zufluss

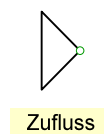


Bild 6-10: SIWA SEWER ASSIST Shape Zufluss

Zuflüsse können entweder manuell über den Parameterdialog konfiguriert werden oder zur Simulationslaufzeit eingelesen werden. Eingelesene Werte haben dabei immer Priorität vor den parametrisierten Werten, d.h. werden Werte zur Simulationszeit eingelesen, so werden die Werte aus dem Parameterdialog ignoriert. Werden weder Zuflüsse zur Simulationszeit eingelesen noch ein Zuflussverlauf im Parameterdialog eingegeben, so wird ein konstanter Zufluss in Höhe des parametrisierten Initialwertes Fluss angenommen.

6.5.2.2 Kanal

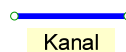


Bild 6-11: SIWA SEWER ASSIST Shape Kanal

Der Verlauf des Kanals wird über Abschnitte mit zugehörigen Sohlhöhen und Distanzen parametrisiert. Bei der Spezifizierung des Kanalprofils können neben den Standardformen Rechteck/Trapez, Rohr und Ei auch spezielle Formen (z.B. mit Rinne) über eine Wertetabelle angegeben werden. SIWA SEWER ASSIST verfügt über ein eigenes Modul zur Berechnung dieser Wertetabellen auf Basis abschnittweiser Kombination von elementaren Formen wie Ellipse, Rechteck, etc. Initialwerte definieren einen Ausgangszustand für die Berechnungen, wenn kein gespeicherter Gesamtzustand des Anlagenmodells (z.B. aus früheren Rechnungen) vorliegt. Für die Optimierung kann ein Maximalabfluss angegeben werden, bei dessen Überschreitung von einem Überstau gesprochen werden kann, sowie eine Gewichtung zur Bewertung des Überstaus in der Zielfunktion.

6.5.2.3 Düker

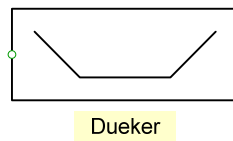


Bild 6-12: SIWA SEWER ASSIST Shape Dükер

Die Komponente Dükер entspricht in der Parametrierung und Modellierung der Komponente Kanal.

6.5.2.4 Verzweigung / Zusammenfluss

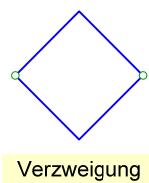


Bild 6-13: SIWA SEWER ASSIST Shape Verzweigung

Diese Komponente ermöglicht es, mehrere Kanäle zusammenfließen zu lassen, bzw. einen Kanal in mehrere Kanäle aufzuzweigen.

6.5.2.5 Becken

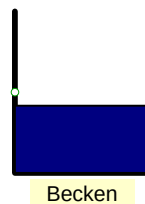


Bild 6-14: SIWA SEWER ASSIST Shape Becken

Becken werden über Wasserhöhen und zugehörige Füllvolumina parametrieren. Zur Optimierung kann ein Gewicht zur Bewertung des Einstaus in der Zielfunktion angegeben werden.

6.5.2.6 Schwelle / Wehr

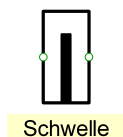


Bild 6-15: SIWA SEWER ASSIST Shape Schwelle

Die Parametrierung der Schwelle umfasst Schwellhöhe, -breite und Überfallbeiwert. Zur Optimierung kann ein Gewicht zur Bewertung des Wehrüberfalls in der Zielfunktion angegeben werden.

6.5.2.7 Pumpe

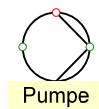


Bild 6-16: SIWA SEWER ASSIST Shape Pumpe

Zur Parametrisierung sind eine maximale Leistung, sowie eine Starthöhe, bei der die Pumpe einsetzt, und eine Zielhöhe, bei der die eingestellte Leistung der Pumpe erreicht wird, anzugeben. Die sich so ergebene aktuelle Leistung der Pumpe kann über den Signaleingang der Pumpe überschrieben werden. Über diesen Signaleingang werden optimierte Steuergrößen an die Pumpen weitergegeben. Soll die Pumpe gesteuert werden, müssen Maximal- und Minimaleistung angegeben werden. Bei Gleichheit der beiden Parameter wird von einer ungesteuerten Pumpe ausgegangen. Daneben kann ein Gewicht zur Bewertung des Flusses (insbesondere bei Einsatz zur Beckenentleerung) in der Zielfunktion angegeben werden.

6.5.2.8 Ventil



Bild 6-17: SIWA SEWER ASSIST Shape Ventil

Das Ventil ist relativ komplex und beinhaltet verschiedene Funktionalitäten:

- Es kann durch Vorgabe eines Maximaldurchflusses („Durchflussregelventil“) oder durch Vorgabe des Öffnungsgrades eingestellt werden.
- Es kann die Funktion einer Rückschlagklappe haben, indem es einen Fluss nur in einer Richtung erlaubt.

Wie bei der Pumpe werden auch hier die parametrisierten Werte durch Signaleingänge überschrieben werden. Auf diese Weise können wiederum optimierte Steuergrößen übergeben werden. Soll das Ventil gesteuert werden, müssen Maximal- und Minimaldurchfluss angegeben werden. Bei Gleichheit der beiden Parameter wird von einem ungesteuerten Ventil ausgegangen. Daneben kann ein Gewicht zur Bewertung des Flusses (insbesondere bei Einsatz zur Beckenentleerung) in der Zielfunktion angegeben werden.

6.5.2.9 Verbinder



Bild 6-18: SIWA SEWER ASSIST Shape Verbinder

Mit der Connection (Verbinder) werden einzelne Komponenten miteinander zu einem Netz verbunden. Die Connection wird dabei von Port zu Port gezogen. Die Ports sind an den

Komponenten als Kreise zu erkennen. Sie sind gerichtet. In-Ports dürfen über eine Connection nur mit Out-Ports verbunden werden. Es wird zudem nach Sewerport (physikalischer Port) und Signalport unterscheiden. Sewerports dürfen nur mit Sewerports, Signalports nur mit Signalports verbunden werden. Die Ports können entweder ein- oder mehrwertig sein, d.h. erlauben nur eine oder aber auch mehrere Connections.

6.5.3 SIWA SEWER ASSIST Modelle Einzugsgebiet Kanten

6.5.3.1 Visio Modell

Das erstellte Visio-Modell entspricht dem in EXTRAN abgebildeten Netz und ist in folgendem Bild dargestellt.

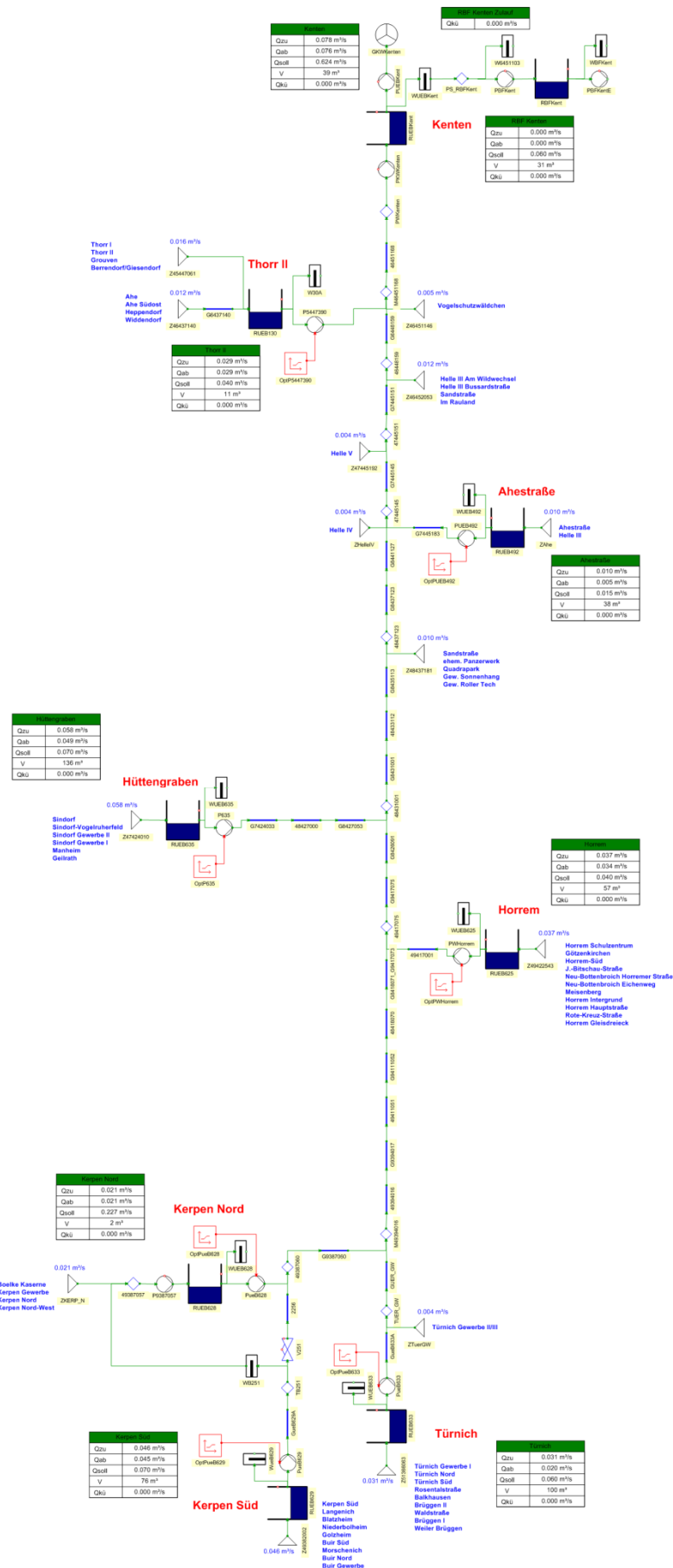


Bild 6-19: SIWA SEWER ASSIST Visio Modell Einzugsgebiet Kanten

6.5.3.2 Simulationsmodell

Das Visio-Modell wird in ein internes Simulationsmodell übersetzt. Es besteht dabei eine 1-1-Beziehung zwischen Komponenten des Visio-Modells und Komponenten des Simulationsmodells.

6.5.3.3 Optimierungsmodell

Das Visio-Modell wird in ein internes Optimierungsmodell übersetzt. Die Optimierung erfordert aus Gründen der Rechenzeit einen höheren Grad an Abstraktion als die Simulation. Daher sind gewisse Einschränkungen bzgl. Aufbau des Visio-Modells einzuhalten. Mehrere Einzelkomponenten des Visio-Modells werden zu einer Komponente des Optimierungsmodells zusammengefasst. Dieser Mechanismus erfolgt automatisiert und muss nicht vom Anwender manuell durchgeführt werden.

Einschränkungen bzgl. Optimierung:

- Becken, Pumpe/Ventil und optional Schwelle werden zu einem Becken der Optimierung zusammengefasst.
- Verzweigung/Zusammenfluss, Pumpe/Ventil und optional Schwelle werden zu einer Weiterleitungskomponente der Optimierung zusammengefasst.
- Weitere Verzweigungen/Zusammenflüsse dürfen lediglich in der Ausprägung Zusammenfluss vorliegen.
- Weitere Konstellationen mit den genannten Komponenten (Becken, Verzweigung/Zusammenfluss, Pumpe, Ventil, Schwelle) sind nicht zulässig.

6.6 Modellvergleich EXTRAN – SIWA SEWER

Für die Abflusssteuerung gibt es derzeit noch kein einheitliches Genehmigungsverfahren (siehe Abschnitt 0) und auch kein Standardwerkzeug zum Nachweis der Effizienz einer Steuerung. In Nordrhein-Westfalen ist für den Nachweis der Mischwasserbehandlung das hydrologische Modell MOMENT anerkannt. Die Simulation und Realisierung einer Abflusssteuerung erfordert jedoch die Abbildung der hydrodynamischen Vorgänge im Kanalnetz. In diesem Projekt wurde deshalb als erster Schritt ein Vergleich der Modellergebnisse von MOMENT und EXTRAN durchgeführt, um zu zeigen, dass die vorgenommene Vereinfachung des Netzes auf den Hauptstrang für die Simulation zulässig ist. Die weitere Kalibrierung des Modells in EXTRAN erfolgte anhand von Messdaten. Das nun vorliegende kalibrierte Modell wurde für den Import in SIWA SEWER bereitgestellt und anschließend beide Modelle mit den gleichen hydrologisch simulierten Zuflüssen belastet.

Ergeben sich gleiche Ergebnisse bei gleichen Eingangsdaten für den Ist-Zustand, ist davon auszugehen, dass beide Modelle vergleichbar sind und auch für beliebige andere Zustände ähnliche Ergebnisse bei gleicher Datengrundlage und gleicher Belastung zu erwarten sind.

Unter dieser Voraussetzung kann angenommen werden, dass der abgebildete gesteuerte Zustand in SIWA SEWER plausibel ist und richtige Steuerentscheidungen getroffen werden, sofern das Optimierungsproblem korrekt formuliert und gelöst wird. Letzteres kann durch Mitsimulation und Nachfahren von ungesteuertem und gesteuertem Zustand in einem Off-line-Test überprüft und das ermittelte Steuerpotenzial validiert werden.

Der Vergleich der Berechnungsergebnisse von EXTRAN und SIWA SEWER erfolgt mit den in Tabelle 4-4 zusammengestellten Niederschlagsereignissen für folgende Stellen:

- RÜB 633 Türnich,
- RÜB 628 Kerpen Süd,
- RÜB 629 Kerpen Nord,
- RÜB 625 Horrem,
- RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben,
- RÜB 492 Ahestraße und den
- Zufluss zum GKW Kanten

Die Förderleistungen werden entsprechend dem Fließschema (siehe Anlage 1) in beiden Modellen berücksichtigt. Diese weichen aus den unter Punkt 6.4.1 genannten Gründen teilweise von denen der Kalibrierung ab, wodurch sich für einzelne Ereignisse unterschiedliche Abflussganglinien und Wasserstandsverläufe im Vergleich zu den Kalibrierungsergebnissen ergeben.

Die Darstellung aller ausgewerteten Ganglinien wird in Anlage 4 geliefert. Im Folgenden werden beispielsweise der Vergleich der Ergebnisse des Niederschlagsereignisses Nr. 4 (siehe Bild 6-20) für den Weiterleitungsabfluss des RRBs 628 Kerpen Süd und für das Volumen im RÜB 629 Kerpen Nord dargestellt (Bild 6-21).

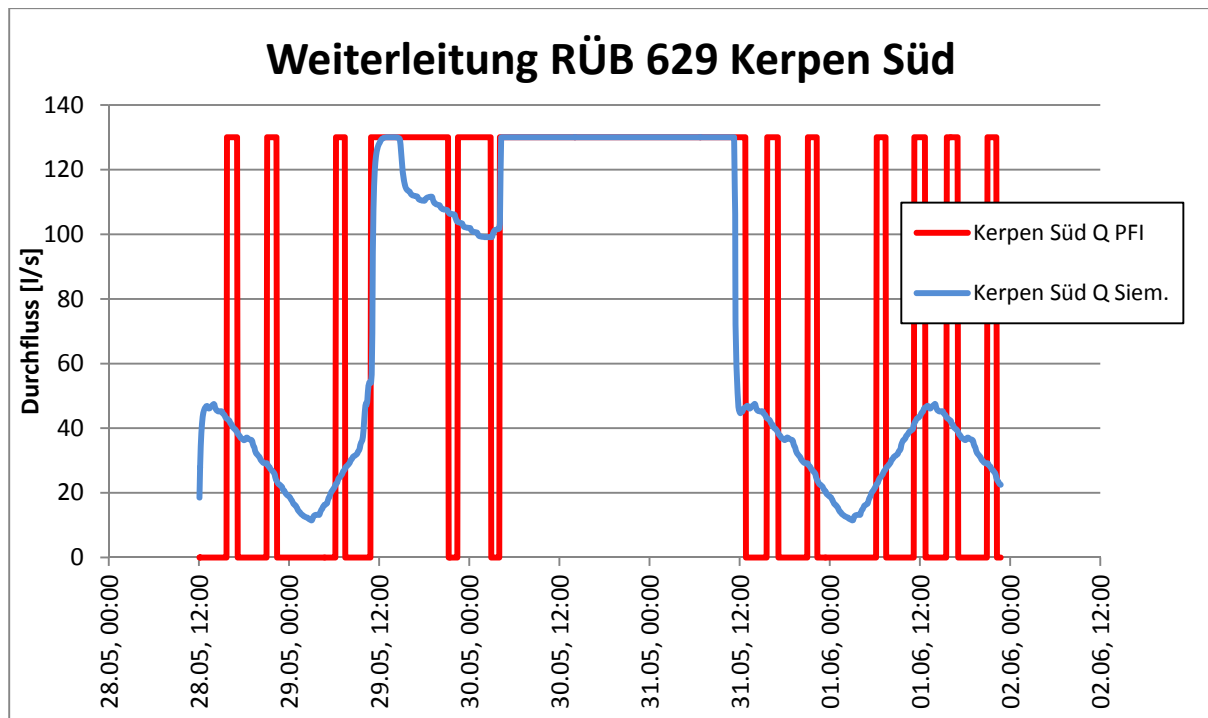


Bild 6-20: Vergleich der Modellergebnisse SIWA SEWER / EXTRAN, Ereignis Nr.4, Weiterleitungsabfluss RÜB 629 Kerpen Süd

Das Bild 6-21 zeigt einen unterschiedlichen Verlauf der Ganglinien, die aber im Spitzenwert und im Zeitpunkt, an dem dieser erreicht wird, sowie in der Dauer der maximalen Förderleistung sehr gut übereinstimmt.

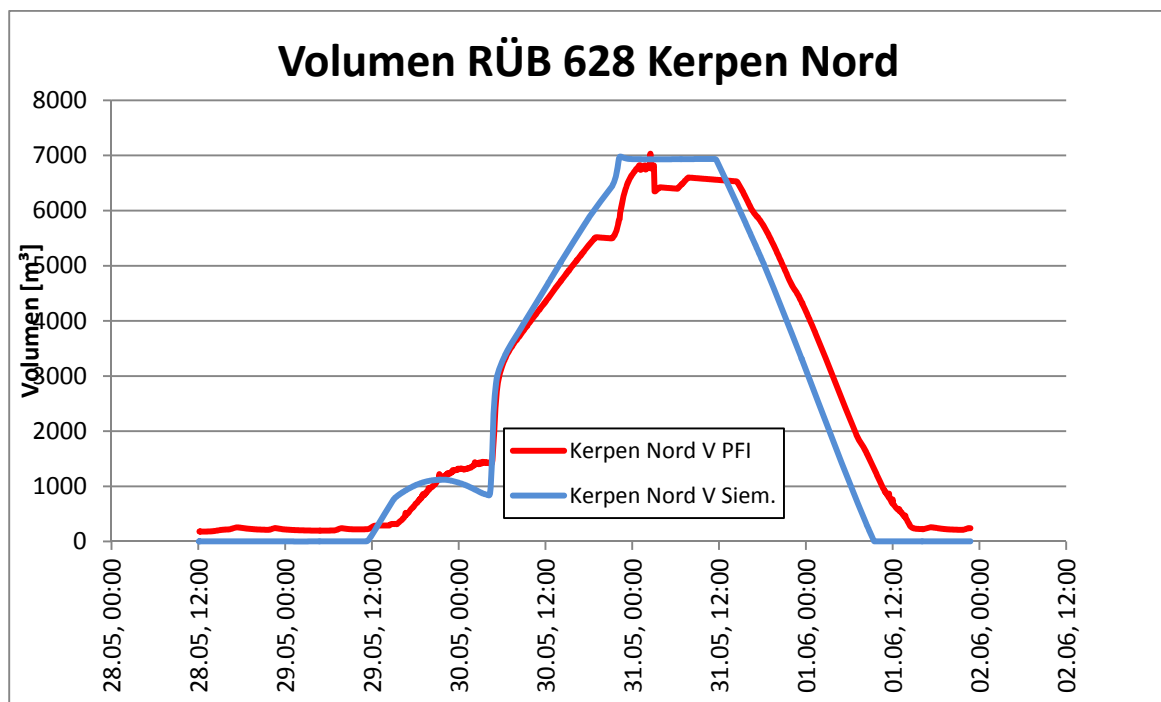


Bild 6-21: Vergleich der Modellergebnisse SIWA SEWER / EXTRAN, Ereignis Nr.4, Volumen RÜB 628 Kerpen Nord

Der Vergleich der Berechnungsergebnisse der Modelle EXTRAN und SIWA SEWER zeigt einen signifikanten Unterschied bei der Nachbildung des Weiterleitungsabflusses der einzelnen Regenüberlaufbecken. Während im Modell EXTRAN die in der Realität vorhandenen Schaltstufen der Förderpumpen berücksichtigt werden, orientiert sich das Modell SIWA SEWER ausschließlich an den vom Programm MOMENT erzeugten Zu- und Abflussganglinien. Da es sich bei dem Programm MOMENT um ein hydrologisches Simulationsmodell handelt, werden dort die durch die Förderstufen hervorgerufenen diskontinuierlichen Einflüsse auf die Abflussganglinien nicht berücksichtigt. Das Modell SIWA SEWER ist in der Lage, diese diskontinuierlichen Einflüsse durch die Pumpenschaltstufen zu berücksichtigen. Eine Anpassung des Modells ist in der 2. Projektphase vorgesehen.

In der folgenden Tabelle 6-6 ist eine Beurteilung der Simulationsergebnisse für alle relevanten Anlagen der geplanten Kanalnetzsteuerung zusammengefasst.

Tabelle 6-6: Beurteilung des Vergleiches der Ergebnisse EXTRAN / SIWA SEWER

Bauwerk	Vergleichs- wert	Ereignis Nr. 04	Ereignis Nr. 08	Ereignis Nr. 09	Ereignis Nr. 12	Ereignis Nr. 16
RÜB 633 Türnich	Weiterleitung	+	+	++	+	+
	Volumen	+	+	+	+	0
	Abschlag	++	++	+	-	++
RÜB 635 Sinsdorf Hütten- graben	Weiterleitung	+	+	+	+	+
	Volumen	++	++	++	+	++
	Abschlag	++	++	++	++	++
RÜB 629 Kerpen Süd	Weiterleitung	+	+	+	+	+
	Volumen	+	+	0	0	0
	Abschlag	++	++	+	++	++
RÜB 628 Kerpen Nord	Weiterleitung	++	0	+	+	+
	Volumen	++	+	++	+	+
	Abschlag	-	-	-	++	++
RÜB 625 Horrem	Weiterleitung	++	++	++	++	+
	Volumen	0	0	0	0	0
	Abschlag	+	+	+	0	+
RÜB 492 Ahe- straße	Weiterleitung	--	--	--	--	--
	Volumen	0	0	0	0	0
	Abschlag	++	-	0	++	++
RÜB 682 Kenten	Zufluss GKW	+	++	++	+	++
	Volumen	--	+	++	-	0
	Abschlag	++	+	++	++	++
RBF 218 Kenten	Weiterleitung	++	0	0	++	++
	Volumen	++	-	--	++	++
	Abschlag	++	++	+	++	++
++		Sehr gute Übereinstimmung				
+		Gute Übereinstimmung				
0		Befriedigende Übereinstimmung				
-		Schlechte Übereinstimmung				
--		Sehr schlechte Übereinstimmung				

Die in Tabelle 6-6 dargestellte Auswertung der Beurteilung der Simulationsergebnisse zeigt für das RÜB 633 Türnich für fast alle Ereignisse gute bis sehr gute Übereinstimmungen der Ergebnisse von EXTRAN und SIWA SEWER. Die Abweichungen sind auf den nicht berücksichtigten diskontinuierlichen Verlauf der Weiterleitungsabflüsse zurückzuführen.

Für das Becken RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben ergeben sich für alle betrachteten Messstellen sehr gute Übereinstimmungen zwischen den Simulationsmodellen.

Am Becken RÜB 629 Kerpen Süd ergibt der Vergleich des Weiterleitungsabflusses durchgehend eine gute Übereinstimmung. Es ist zu vermuten, dass diese Übereinstimmung unter Berücksichtigung der diskontinuierlichen Einflüsse der einzelnen Schaltstufen im Modell

SIWA SEWER sich weiter dem Modell EXTRAN annähern. Für das zwischengespeicherte Volumen zeigt der Vergleich für die Ereignisse Nr. 9, 12 und 16 nur eine befriedigende Übereinstimmung. Insgesamt zeigt sich, dass im Modell EXTRAN ein geringerer Teil des Abflusses zwischengespeichert wird. Der Unterschied wird damit begründet, dass die Zulaufmenge zum Becken diskontinuierlich gefördert wird, was im Modell SIWA SEWER erst in der 2. Projektphase abgebildet wird. Durch diese unregelmäßige Beschickung des Beckens wird weniger Volumen (entsprechend der Förderleistung) in das Becken gefördert als bei kontinuierlichem Zufluss. Der Vergleich der Entlastungstätigkeit zeigt für beide Modelle eine sehr gute Übereinstimmung bezüglich des Entlastungsbeginns und dem Ende der Entlastung, sodass insgesamt von einer guten Übereinstimmung der Berechnungsergebnisse gesprochen werden kann.

Bei dem Becken RÜB 628 Kerpen Nord fällt auf, dass sich für die Weiterleitung und das zwischengespeicherte Volumen in beiden Modellen gute bis sehr gute Übereinstimmungen ergeben, während für den Abschlag die Übereinstimmung als schlecht einzustufen ist, sofern ein Abschlag auftritt. Die tendenziell zu hohe Entlastung, die durch das Simulationsmodell ermittelt wird, sollte durch einen detaillierteren Abgleich der Modelle in der 2. Projektphase angepasst werden.

Die Diskrepanzen im Speichervolumen und im Abschlag für das RÜB 625 Horrem werden dadurch erklärt, dass das Retentionsvolumen, welches im Fließschema (Anlage 1) aufgeführt ist, rd. 900 m³ auf den vorgelagerten Zulaufkanal entfallen, aus dem über Schneckenpumpen in das eigentliche RÜB gefördert wird. Dies wird im Modell SIWA SEWER vereinfachend zusammengefasst, während im Modell EXTRAN die tatsächlichen Verhältnisse nachgebildet werden. Eine Anpassung des Modelles SIWA SEWER in der 2. Projektphase ist vorgesehen.

Das Becken RÜB 492 Ahestraße ist im Modell SIWA SEWER aufgrund verschiedener Dateninformationen mit einer anderen Weiterleitungsmenge simuliert worden als in EXTRAN, Dadurch sind die Ergebnisse an allen betrachteten Messstellen zwischen EXTRAN und SIWA SEWER nicht direkt vergleichbar. Die Anpassung des Weiterleitungsabflusses erfolgt zeitnah, die Ergebnisse werden in der zweiten Projektphase verwendet.

Die Zuflussganglinien zum GKW Kanten und damit verbunden auch die Daten für das RÜB 218 Kanten und den RBF 628 Kanten zeigen in beiden Modellen ähnliche Verläufe. Kleinere Abweichungen lassen sich auf die oben beschriebenen Unterschiede (diskontinuierlicher Verlauf durch Schneckenpumpen, Aufteilung des Retentionsvolumens, abweichende Weiterleitungsmenge, etc.) zurückführen.

Insgesamt ergibt der Vergleich der beiden eingesetzten Simulationsmodelle eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse, die noch an wenigen Stellen in der zweiten Projektphase präzisiert werden. Da die mit dem Simulationsmodell EXTRAN durchgeführte Kalibrierung eine

gute Anpassung ergibt (vergleiche Punkt 6.4.2), liefert auch das Modell SIWA SEWER eine realistische Abbildung des Abflussgeschehens im Einzugsgebiet des GWK Kanten.

6.7 Formulierung der Steuerziele

Die Abflusssteuerung im Netz Kanten soll die Entlastungsmengen reduzieren. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Weiterleitung zum Klärwerk Kanten optimiert und weitere Randbedingungen beachtet werden. Beispielsweise soll der Retentionsbodenfilter Kanten (RBF + RÜB) möglichst gut ausgelastet, aber Abschlüge in jedem Fall vermieden werden. Weitere Abhängigkeiten ergeben sich durch die hydraulische Leistungsfähigkeit der Transportsammler, die technisch einstellbaren Drosselbereiche, den Maximalzufluss zur Kläranlage, die Fließzeiten, das Mischungsverhältnis (TW zu RW) sowie das aufnehmende Gewässer.

Diese Ziele, Randbedingungen und Abhängigkeiten werden in einer Zielfunktion formuliert, deren Lösung in einem nichtlinearen Optimierungsproblem besteht. Die Zielfunktion besteht aus mehreren Termen, die mit Wichtungsfaktoren multipliziert werden, um die unterschiedlichen Ziele und Randbedingungen zu priorisieren. Die Lösung besteht in der Minimierung der Zielfunktion, wobei als Steuergröße die Drosselwassermenge der ausgewählten Becken fungiert.

Die Zielfunktion und die Wichtungsfaktoren haben entscheidenden Einfluss auf das Steuerungsergebnis und werden daher in den folgenden Abschnitten kurz erläutert.

6.7.1 Kanalnetzsteuerung als nichtlineares Optimierungsproblem

Bei einem nichtlinearen Optimierungsproblem (NLO) sind Zielfunktion und Nebenbedingungen allgemeine, nichtlineare Funktionen der Optimierungsvariablen.

Ein effizientes Standard-Verfahren für diese Optimierungsaufgabe ist die Sequentielle Quadratische Programmierung (SQP-Verfahren). Ausgehend von zulässigen Startwerten für die Optimierungsvariablen werden diese iterativ verbessert. Dabei wird die nichtlineare Zielgröße durch eine quadratische Ersatzfunktion approximiert und die Nebenbedingungen werden um die aktuelle Startlösung linearisiert. Für die Realisierung dieser Näherung werden die Gradienten der Zielgröße und der Nebenbedingungen verwendet. Dann wird die Lösung des Ersatzproblems berechnet. Diese Lösung wird, sofern das Ersatzproblem eine genügend gute Näherung des originalen Optimierungsproblems darstellt, auch eine Verbesserung der nichtlinearen Zielgröße bewirken sowie die nichtlinearen Nebenbedingungen erfüllen. Falls dies nicht der Fall ist, so wird dies durch eine Änderung der Schrittweite für die Korrektur der gesuchten Optimierungsvariablen erreicht („Line Search“). Nach jeder Iteration, d.h. Verbesserung der gesuchten Werte der Optimierungsvariablen, werden erneut die Gradienten von

Zielgröße und Nebenbedingungen aus dem Originalproblem berechnet und mit diesen das neue Ersatzproblem aufgestellt. Die Iterationen werden solange wiederholt, bis keine Verbesserung mehr erzielbar ist, weil entweder der Gradient der Zielgröße der Nullvektor ist oder jede weitere Verbesserung des Wertes der Zielgröße eine Restriktion verletzen würde.

Bei der Kanalnetzsteuerung sind die Steuerfunktionen die Abflüsse von steuerbaren Netzelementen. Beim zeitlichen Verlauf der Abflüsse wird das interessierende Zeitintervall in feste Zeitschritte unterteilt, in denen die Abflüsse mit konstanten Werten vorgegeben werden. Die konstanten Vorgaben für die einzelnen Zeitabschnitte stellen dann die Optimierungsvariablen dar, für welche optimale Werte gesucht werden. Jedes Netzelement kann entsprechend seiner Modellierung nichtlineare Nebenbedingungen in Form von Gleichungen und/oder Ungleichungen beitragen. Weiterhin kann jedes Netzelement einen nichtlinearen Term für die gemeinsame Zielfunktion beitragen.

In die Berechnung der Zielgröße und der Nebenbedingungen gehen Zustandsvariablen wie z.B. Füllstände ein. Diese Zustandsvariablen werden durch ein entsprechendes Verhaltensmodell des Kanalnetzes festgelegt. Das für die Abflusssteuerung von Kanalnetzen verwendete mathematische Modell beinhaltet die Kontinuitätsgleichung und die Impulsgleichung.

Damit können für jede Rückhalteinlage eine Zu-/Abflussbilanz und für Kanalstrecken ein hydrodynamisches Modell der Abflussmengen modelliert werden. Wichtig ist, dass damit die Berechnung der Fließzeiten in den Kanalstrecken, das Sohlengefälle und die Füllhöhe berücksichtigt werden. Dies gewährleistet eine realitätsnahe Nachbildung des gesamten Kanalnetzes.

Die Wirkung der im Modell und in den Zuflussprognosen enthaltenen Ungenauigkeiten bleibt begrenzt, wenn das Optimierungsproblem zu jedem Zeitschritt erneut, mit jeweils aktualisiertem Anfangszustand und erneuten Zuflussvorhersagen, gelöst wird.

6.7.2 Zielfunktion

Die Zielfunktion besteht für die Steuerungsaufgabe im EZG Kanten aus folgenden Termen:

Entlastungsterm E

Der Entlastungsterm beinhaltet die Summe der gewichteten Entlastungen im Netz über den gesamten Optimierungszeitraum. Seine Einheit ist $[m^3]$. Das Gewicht wird in der Komponente Schwelle spezifiziert. Ziel ist die **Minimierung der Entlastungen**.

Überlastterm Ü

Der Überlastterm beinhaltet die Summe der gewichteten Überlasten (Flüsse minus Überlastgrenzen) im Netz über den gesamten Optimierungszeitraum. Seine Einheit ist $[m^3]$. Die

Grenze, ab der von einer Überlastsituation ausgegangen werden kann, sowie das Gewicht wird in der Komponente Kanal spezifiziert. Ziel ist die **Minimierung der Überlasten**.

Einstauterm S

Der Einstauterm beinhaltet die gewichteten Einstauvolumina der Becken gemittelt über den gesamten Optimierungszeitraum. Seine Einheit ist [m³]. Das Gewicht wird in der Komponente Becken spezifiziert. Ziel ist die **Minimierung des Beckeneinstaus**.

Entleerungsterm L

Der Entleerungsterm beinhaltet die gewichteten Entleerungen aus den Becken im aktuell nächsten Optimierungszeitschritt. Seine Einheit ist [m³]. Das Gewicht wird in der Komponente Becken spezifiziert. Ziel ist die **frühzeitige Beckenentleerung**.

Zuflussterm Kläranlage K

Der Zuflussterm Kläranlage beinhaltet den gewichteten Zufluss zur Kläranlage über den gesamten Optimierungszeitraum. Seine Einheit ist [m³]. Das Gewicht wird in der Komponente Kläranlage spezifiziert. Ziel ist die **Maximierung der Kläranlagenzufuhr**.

Zielfunktion Z

Die zu minimierende Zielfunktion ergibt sich demnach zu $Z = E + \ddot{U} + S - L - K$.

Die für das EZG Kanten gewählten Wichtungsfaktoren werden im folgenden Kapitel erläutert.

6.7.3 Wichtungsfaktoren

Die Wichtungsfaktoren sind Bestandteil der zu optimierenden Zielfunktion. Sie stehen als Multiplikator in den verschiedenen Termen der Zielfunktion und priorisieren damit die formulierten Ziele und Randbedingungen. Die Wichtungsfaktoren haben entscheidenden Einfluss auf das Steuerungsergebnis und sind für jede Steuerungsvariable festzulegen. Für die Abflusssteuerung in Kanten werden die Variablen Drosselabfluss, Beckeneinstau, Beckenüberlauf und Überstau im Sammler in der Zielfunktion berücksichtigt. Die Priorität einer Variablen nimmt mit steigendem Wichtungsfaktor zu, da die Lösung der Zielfunktion in der Minimierung besteht. Beispielsweise bedeutet eine Belegung des Beckenüberlaufs mit einem Wichtungsfaktor von 400 und des Beckeneinstaus mit 10, dass die Vermeidung des Beckenüberlaufs wichtiger ist als die Vermeidung des Beckeneinstaus.

Der Wichtungsfaktor für den Drosselabfluss ist mit 0 für alle Becken gleich gewählt, d.h. es gibt keine Priorität, welche Drossel zuerst gesteuert werden soll.

Die Bandbreite der Wichtungsfaktoren für den Beckeneinstau liegt zwischen 10 und 90, für den Beckenüberlauf zwischen 100 und 900 und für den Überstau im Sammler bei 10.000.

Die unterschiedlichen Zehnerpotenzen für die Wichtungsfaktoren verschiedener Variablen gewährleisten, dass die verschiedenen Variablen klar abgegrenzt bleiben, d.h. ein Beckenüberlauf immer vor einem Beckeneinstau vermieden werden muss. Die Festlegung der Steuerpriorität verschiedenen Becken erfolgt über die Differenzierung der Wichtungsfaktoren innerhalb einer Zehnerpotenz, d.h. der Beckenüberlauf am RÜB X ist eher zu vermeiden als an RÜB Y, wenn der Wichtungsfaktor an RÜB X mit 70 und an RÜB Y mit 20 belegt ist.

Im Folgenden werden die Grundgedanken zu den Wichtungsfaktoren und deren Herleitung auf Grundlage der erstellten Bewertungsmatrix erläutert.

6.7.3.1 Grundgedanken

1. Es soll möglichst viel zum Gruppenklärwerk Kanten weitergeleitet werden. Maßgebend für die Weiterleitung der Mischwassermengen ist der Drosselabfluss. Um den Vorteil der Weiterleitung zu bewirken, wird für die Variable Drosselabfluss ein niedriger (einstelliger) Wichtungsfaktor berücksichtigt.
2. Auch das in den Regenüberlaufbecken zwischengespeicherte Mischwasser wird zum Gruppenklärwerk Kanten weitergeleitet und ist deshalb als günstig zu bewerten. Jedoch vermindert ein Beckeneinstau das für folgende Niederschlagsereignisse zur Verfügung stehende Retentionsvolumen, wodurch die Möglichkeit eines Beckenüberlaufs zunimmt. Aus diesem Grund werden für die Variablen Beckeneinstau höhere (zweistellige) Wichtungsfaktoren angesetzt.
3. Mit dem Beckenüberlauf geht eine Entlastung von Mischwasser einher, was entsprechend der formulierten Steuerungsziele möglichst zu vermeiden bzw. zu minimieren ist. Ein Beckenüberlauf ist daher relevanter als ein Beckeneinstau und muss mit einem höheren Wichtungsfaktor (dreistellig) belegt werden.
4. Ein Überstau aus dem Transportsammlersystem kann Schäden verursachen und ist entsprechend der Steuerungsziele möglichst vollständig zu vermeiden. Der Wichtungsfaktor für dieses Entscheidungskriterium wird daher am höchsten (vierstellig) gewählt.
5. Die Differenzierung zwischen gleichartigen Steuervariablen (z. B. Beckenüberlauf) ist in einer großen Bandbreite möglich (Wichtungsfaktoren 100 - 2000).

Erläuterung der Einzelwichtungen und der Bewertungsmatrix

Im Folgenden werden die in der Tabelle 6-7 ermittelten Wichtungsfaktoren erläutert.

Tabelle 6-7: Wichtungsfaktoren

Becken und Sammler in Fließrichtung	Drosselabfluss [l/s]			Beckeneinstau [m NN]		Beckenüberlauf		Überstau Sammler	
	min	eingest. Wert	max tech. mögl.	min	max	min	max	min	max
RÜB Türnich	60	140	200	78,43	80,75	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			40		400 ^{a)}			
S5 Türnich - Kerpen/Türnich / GUER_GW	----	----	----	----	----	----	----	0	268
Wichtungsfaktor								10.000	
RÜB KerpenSüd	70	130	260	70,91	72,85	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			60		800 ^{b)}			
S8 KerpenSüd - KerpenNord / 49394016	70	70	70	----	----	----	----	0	598
Wichtungsfaktor	0							10.000	
S7 KerpenSüd - Kerpen/Türnich / G9417075	60	60	60	----	----	----	----	0	858
Wichtungsfaktor	0							10.000	
RÜB KerpenNord	70	96	260	73,71	76,01	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			70		700			
S6 Kerpen - Kerpen/Türnich / G8431001	----	----	----	----	----	----	----	0	858
Wichtungsfaktor								10.000	
S4 Kerpen/Türnich - Horrem / G8437123	----	----	----	----	----	----	----	0	871
Wichtungsfaktor								10.000	
RÜB Horrem	40	70	90	68,15	70,97	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			70		500			
S3 Horrem-Hüttengraben / G7445145	----	----	----	----	----	----	----	0	875
Wichtungsfaktor								10.000	
RÜB Hüttengraben	70	105	300	65,66	68,14	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			80		900			
S2 Hüttengraben -Ahestr / G7445151	----	----	----	----	----	----	----	0	878
Wichtungsfaktor								10.000	
RÜB Ahestr.	15	26	50	63,95	67,18	0	2505		
Wichtungsfaktor	0			60		750			
S1 Ahestr-GKW / G6448159	----	----	----	----	----	----	----	0	890
Wichtungsfaktor	-							10.000	
RÜB / PW Thor	40	150	200			0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			50		750			
S0 Thor - RÜB Kenten / 46451168	----	----	----	----	----	----	----	0	896
Wichtungsfaktor	0							10.000	
RÜB Kenten	624	624	624	64,4	66,67	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			10		2.000 *			
RBF Kenten	60	60	60	63,97	65,6	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			10		2000 *			

*) bis Vollfüllung RBF: 100; nach Vollfüllung RBF: 2000
 *a) die Simulationen wurden mit Faktor 300 durchgeführt
 *b) die Simulationen wurden mit Faktor 300 durchgeführt

6.7.3.2 Drosselabfluss

Für die vollständige Ausnutzung der Abflusssteuerung (anstelle der heute installierten starr eingestellten Drosseln) wird für alle Anlagen der gleiche Wichtungsfaktor berücksichtigt. Dies wird mit einer Belegung durch den Faktor 0 realisiert. Denkbar ist auch eine unterschiedliche Wertung der einzelnen Anlagen, um beispielsweise den Kläranlagenzufluss immer als die günstigste Form der Steuerung von Abflüssen, die von der Kläranlage behandelt werden können, zu erreichen.

6.7.3.3 Beckenüberlauf

Zur Herleitung der Wichtungsfaktoren für den Beckenüberlauf werden acht verschiedene Kriterien für die einzelnen Bauwerke mit Punkten zwischen 0 und 9 bewertet (Tabelle 6-8).

Tabelle 6-8: Kriterien zur Herleitung der Faktoren für den Beckenüberlauf (vollständig in Anlage 5.1)

Nr.	Bezeichnung	Entlastungs- rate e_o	mittleres Mischungs- verhältnis	mittl. entl. Schmutz- fracht CSB	Einleit-menge für $n = 1$	Einleitmenge	Gewässer- empfind- lichkeit	MNQ Gewässer	Q _{ein} / MNQ
		%	RW / SW	t / a	l/s	m³/a		l/s	-
a	b	k	l	m	n	o	q	r	s
633	RÜB Türnich	28	34	19,5	3.195	123.000	niedrig	1200	2,7
629	RÜB Kerpen Süd	15	13	28,0	7.266	169.000	mittel	50	145,3
628	RÜB Kerpen Nord	33	10	16,1	3.251	130.000	mittel	50	65,0
625	RÜB Horrem	38	19	28,6	3.002	137.000	niedrig	1500	2,0
635	RÜB Hüttengraben	31	10	47,9	5.245	205.000	hoch	300	17,5
492	RÜB Ahestr.	6	54	1,3	1.963	51.000	hoch	300	6,5
130	RÜB / PW Thorr	17	28	< 1	1	1	hoch	300	0,0
218	RÜB Kanten	30	9	< 5	400	30.000	niedrig	1800	0,2
218	RBF Kanten	<< 10	-	< 2	60	80.000	niedrig	1800	0,0
76	GKW Kanten	-	-	-	-	-	niedrig	1800	-
gelb unterlegt: eher ungünstige Verhältnisse									

Je höher die Punktzahl ist, desto ungünstiger ist die Ausprägung des Kriteriums. Aus der Summe der Bewertungspunkte wird der Wichtungsfaktor für den Beckenüberlauf über einen Multiplikationsfaktor hergeleitet. In Tabelle 6-9 ist ein Auszug aus der Bewertungstabelle dargestellt. Die vollständige Tabelle mit Erläuterung des Punktesystems ist in Anlage 5.1 enthalten.

Tabelle 6-9: Bewertete Kriterien und Ableitung des Wichtungsfaktors für den Beckenüberlauf (vollständig in Anlage 5.1)

Nr.	Bezeichnung	Entlastungs- rate e_o	mittleres Mischungs- verhältnis	mittl. entl. Schmutz- fracht CSB	Einleit-menge für $n = 1$	Einleitmenge	Gewässer- empfind- lichkeit	MNQ Gewässer	Q _{ein} / MNQ	Summe	Vorschlag für Wichtungsfaktor (z3 * 15 und runden auf ganze
a	b	t	u	v	w	x	y	z1	z2	z3	z4
633	RÜB Türnich	6	0	3	6	5	0	0	5	25	400 ^(*)
629	RÜB Kerpen Süd	3	5	6	9	7	5	9	9	53	800 ^(*)
628	RÜB Kerpen Nord	7	5	3	6	5	5	9	9	49	700
625	RÜB Horrem	8	2	6	6	5	0	0	5	32	500
635	RÜB Hüttengraben	7	5	9	9	9	9	5	9	62	900
492	RÜB Ahestr.	2	0	1	4	2	9	5	9	32	750 ^(*)
130	RÜB / PW Thorr	4	0	1	0	0	9	5	0	19	750 ^(*)
218	RÜB Kanten	6	5	1	0	0	0	0	0	12	100 bzw. 2000 ^(*)
218	RBF Kanten	0	0	1	0	2	0	0	0	3	100 bzw. 2000 ^(*)
76	GKW Kanten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*1) Heraufgestuft wg. Gewässerempfindlichkeit auf mindestens 750

*2) bis zur Vollfüllung RBF: 100; nach Vollfüllung RBF: 2000

Die ermittelten Wichtungsfaktoren sind ein erster Ansatz und können in der praktischen Umsetzung noch optimiert werden. Sie spiegeln die örtlichen Gegebenheiten wider, ihre Bedeutung ist nachfolgend für die einzelnen Becken im Klartext formuliert.

RÜB und RBF Kanten

In den Steuerzielen ist formuliert, dass die Anlagen bestmöglich ausgelastet aber nicht überlastet (Überlauf) werden sollen. Als „Übersetzung dieses Ziels“ in der Zielfunktion werden der Einstau als günstig (Faktor 10) und der Überlauf als ungünstig (Faktor 2000) eingestuft.

RÜB Ahestraße

Die hohe Empfindlichkeit des Gewässers „Kleine Erft“ gegenüber Mischwassereinleitungen wird als ungünstig betrachtet, wobei eine Entlastung an diesem Becken gegenüber einem Abschlag über das RÜB bzw. RBF Kanten vorzuziehen ist und erhält daher einen geringeren Wichtungsfaktor für den Beckenüberlauf von 750.

RÜB Hüttengraben

Die ermittelten Entlastungsdaten für das Becken Hüttengraben werden ungünstig eingestuft. An dieser Stelle wird die größte Schmutzfracht des Systems entlastet (Wichtungsfaktor 900).

RÜB Horrem

Die Entlastungsdaten des Beckens Horrem sind etwas günstiger als die des Beckens Hüttengraben. Die Empfindlichkeit des Gewässers ist gering. Dies führt zu der Entscheidung, dass es günstiger ist, am Becken Horrem zu entlasten als am Becken Hüttengraben. Der Wichtungsfaktor ergibt sich aus der Bewertungsmatrix zu 500.

RÜB Türnich

Am Becken Türnich sind alle Faktoren, die bei einem Beckenüberlauf zu beachten sind, als günstig einzustufen. Aus diesem Grund wird der Wichtungsfaktor des Überlaufs für dieses Becken minimal (400). Dies sollte bei der Optimierung dazu führen, dass im Falle einer Entlastung, diese zuerst am Becken Türnich erfolgt.

RÜB Kerpen Nord

Eine Entlastung aus dem Becken Kerpen Nord wird durch die mittlere Empfindlichkeit des Gewässers Neffelbach beeinflusst. Die entlastete Schmutzfracht ist entsprechend den vorliegenden Daten gering und das Beckenvolumen sehr groß. Eine Entlastung aus diesem Becken wird durch die Bewertungskriterien günstiger eingeschätzt (Wichtungsfaktor von 700) als aus dem Becken Hüttengraben.

RÜB Kerpen Süd

Für das Becken Kerpen Süd gelten die gleichen Einleitungsbedingungen wie für das Becken Kerpen Nord. Der Wichtungsfaktor ergibt sich aus den bewerteten Kriterien zu 800.

RÜB Thorr

Die Empfindlichkeit des Gewässers „Große Erft“ gegenüber Mischwasserentlastungen ist hoch, weshalb eine Entlastung aus dem Becken möglichst vermieden werden soll. Da

gleichzeitig nur ein geringes Retentionsvolumen zur Verfügung steht, wird der berechnete Wichtungsfaktor noch auf 750 heraufgestuft.

6.7.3.4 Beckeneinstau

Zur Herleitung der Wichtungsfaktoren für den Beckeneinstau werden fünf verschiedene Kriterien für die einzelnen Bauwerke mit Punkten zwischen 0 und 9 bewertet (orange markiert in Tabelle 6-10).

Tabelle 6-10: Kriterien zur Herleitung der Faktoren für den Beckeneinstau (vollständig in Anlage 5.2)

Nr.	Bezeichnung	RÜB Volumen	max. Entleerungszeit	Summe Qzu oberhalb	Au (direkt)	Qt ₂₄	Qab	Faktor Beckenüberlauf
		m ³	h	l/s	ha	l/s	l/s	-
a	b	c	d	e	f	g	h	z4
633	RÜB Türnich	3.998	11	~ 550	36,1	18	125	400 ^{a)}
629	RÜB Kerpen Süd	3.121	7	109	68	14	130	800 ^{b)}
628	RÜB Kerpen Nord	6.907	53	70	63	28	99	700
625	RÜB Horrem	3.670	22	208	78,4	21	74	500
635	RÜB Hüttengraben	7.318	62	125	81,6	34	99	900
492	RÜB Ahestr.	3.964	25	0	33,1	6,2	50	750
130	RÜB / PW Thorr	321	2	110	< 1	18	150	750
218	RÜB Kenten	3.814	19	~ 600	< 1	165	624	100 bzw. 2000 ^{*1)}
218	RBF Kenten	4.246	12	~ 600	0	-	60	100 bzw. 2000 ^{*1)}
76	GKW Kenten	0	0	624	0	165	-	

*1) bis zur Vollfüllung RBF: 100; nach Vollfüllung RBF: 2000

*a) die Simulationen wurden mit Faktor 300 durchgeführt

*b) die Simulationen wurden mit Faktor 700 durchgeführt

Analog zur Bewertungsmatrix für den Beckenüberlauf gilt auch hier, dass die Ausprägung des Kriteriums ungünstiger bei hoher Punktzahl ist. In Abhängigkeit der Summe der Bewertungspunkte wird der Wichtungsfaktor für den Beckeneinstau ermittelt. In Tabelle 6-11 ist ein Auszug aus der Bewertungstabelle dargestellt. Die vollständige Tabelle mit Erläuterung des Punktesystems ist in Anlage 5.2 enthalten.

Tabelle 6-11: Bewertete Kriterien und Ableitung des Wichtungsfaktors für den Beckeneinstau (vollständig in Anlage 5.2)

Nr.	Bezeichnung	Volumen	Entleerungszeit	Au	Qt	Faktor Beckenüberlauf	Summe	Wichtungsfaktor
a	b	c1	d1	f1	g1	z5	z6	z7
633	RÜB Türnich	5	1	4	3	4	17	50
629	RÜB Kerpen Süd	5	1	7	1	8	22	60
628	RÜB Kerpen Nord	1	9	6	3	7	26	70
625	RÜB Horrem	5	5	8	3	5	26	70
635	RÜB Hüttengraben	1	9	8	5	9	32	80
492	RÜB Ahestr.	5	5	3	1	7	21	60
130	RÜB / PW Thorr	9	1	0	3	7	20	50
218	RÜB Kenten	5	5	0	9	9	28	10 ^{*2)}
218	RBF Kenten	3	3	0	1	9	16	10 ^{*2)}

*2) vorzugsweise ist hier Beckeneinstau gewünscht, jedoch nur bis zur Vollfüllung

Auch die für den Beckeneinstau ermittelten Wichtungsfaktoren sind ein erster Ansatz und können in der praktischen Umsetzung noch optimiert werden. Für die einzelnen Becken wird nachfolgend noch einmal die Bedeutung des jeweiligen Wichtungsfaktors beschrieben.

RÜB und RBF Kanten

Entsprechend den Zielen der Kanalnetzsteuerung sollen RÜB und RBF Kanten möglichst hoch ausgelastet werden. Der sehr geringe Wichtungsfaktor (10) stellt sicher, dass eine Befüllung der Anlagen gewährleistet wird.

RÜB Ahestraße

Die Entleerungszeit für das Becken Ahestraße beträgt 25 h. Dies erhöht die Möglichkeit, dass ein nachfolgendes Niederschlagsereignis auf ein teilgefülltes Becken trifft und eine Entlastung in das sensible Gewässer „Kleine Erft“ zur Folge haben kann. Der höhere Wichtungsfaktor von 60 für den Beckeneinstau in RÜB Ahestraße drückt aus, dass es besser ist, Wasser zunächst zu speichern und später zum Gruppenklärwerk Kanten zu fördern als eine Entlastung in Kauf zu nehmen. Stehen jedoch andere Becken für die Zwischenspeicherung zur Verfügung, werden diese bevorzugt genutzt.

RÜB Hüttengraben

Das Becken Hüttengraben weist als ungünstige Faktoren eine hohe Entleerungszeit, ein großes Einzugsgebiet sowie eine hohe Entlastungsrate e_0 auf. Positiv ist anzumerken, dass die Empfindlichkeit des Gewässers Hüttengraben in Bezug auf eine Entlastung gering ist und das am Becken zur Verfügung stehende Volumen mit rd. 7.300 m³ sehr groß ist. Aufgrund der Bewertungskriterien ergibt sich ein Wichtungsfaktor von 80.

RÜB Horrem

Ungünstig für eine Befüllung des Beckens Horrem sind das große Einzugsgebiet und die hohe Entlastungsrate. Die Entleerungszeit liegt knapp unter einem Tag (22 h) und die Empfindlichkeit des infolge eines Beckenüberlaufs beaufschlagten Gewässers ist gering. Aus diesen Gründen wird ein Einstau des Beckens hier günstiger bewertet (Wichtungsfaktor 70) als beim Becken Hüttengraben.

RÜB Törnich

Das Becken Törnich hat eine kurze Entleerungszeit bei einem hohen potenziellen Speichervolumen. Die Entlastungsgrößen sind als günstig zu bewerten und das beaufschlagte Gewässer Erft ist als unempfindlich gegenüber Mischwasserentlastungen einzustufen. Es ist daher günstig, das vorhandene Beckenvolumen auszunutzen (Wichtungsfaktor 50).

RÜB Kerpen Nord

Ungünstige Faktoren für den Einstau am Becken Kerpen Nord sind die lange Entleerungszeit und eine hohe Entlastungsrate, sowie eine mittlere Empfindlichkeit des Neffelbachs gegen-

über Mischwassereinleitungen. Günstig wird hier das relativ große Speichervolumen von rd. 6.900 m³ gewertet, was zu einem Wichtungsfaktor von 70 führt.

RÜB Kerpen Süd

Den Einstau des Beckens Kerpen Süd begünstigen die kurze Entleerungszeit und die ermittelten Entlastungsdaten (Entlastungsrate, Mischungsverhältnis und Schmutzfrachtentlastung). Ungünstig ist dagegen die Empfindlichkeit des Gewässers Neffelbach zu bewerten. Die Schutzbedürftigkeit dieses Gewässers wird auch im Wichtungsfaktor von 60 berücksichtigt.

RÜB Thorr

Das geringe Beckenvolumen und die hohe Empfindlichkeit des Gewässers „Große Erft“ wirken sich ungünstig aus, wohingegen die geringe Entleerungszeit und die Transportzeit zum Gruppenklärwerk Kenten günstige Faktoren sind. Für den Beckeneinstau ergibt sich der Faktor zu 50.

6.7.3.5 Überstau

Der Überstau aus dem Transportsammler als Ursache einer ungünstigen Überlagerung der Abflusswellen aus den Becken und dem natürlichen Einzugsgebiet ist grundsätzlich zu vermeiden. Daher wird für alle Knotenpunkte des Transportsammlers der Wichtungsfaktor mit 10000 angesetzt.

6.7.4 Optimierungshorizont

Die Optimierung wird mit rollendem Zeithorizont realisiert, d.h. in kurzen zeitlichen Abständen werden Optimierungsläufe über längere Vorausschauzeiträume berechnet. Jeweils das aktuellste Optimierungsergebnis wird an die Anlage weitergegeben.

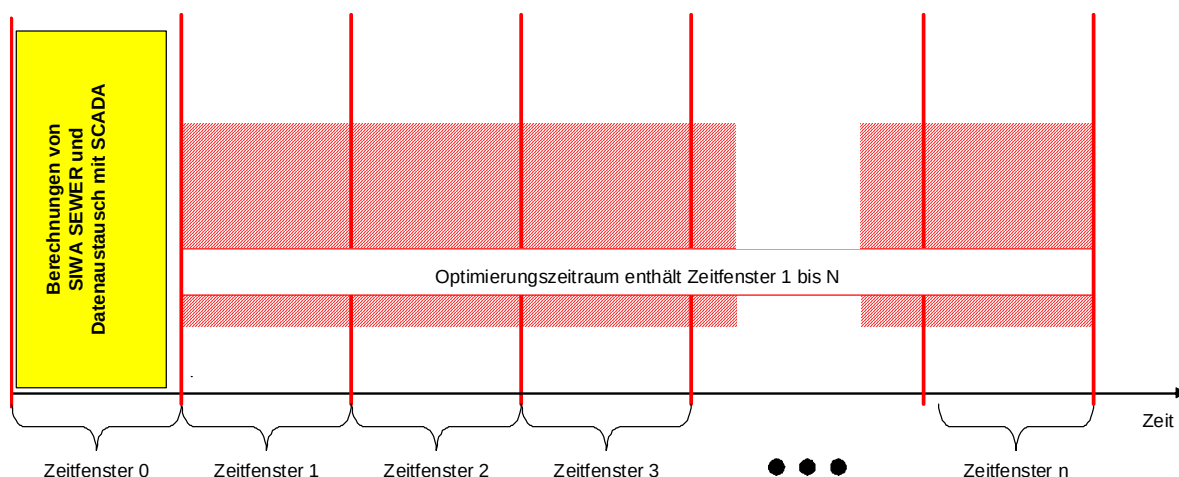


Bild 6-22: Optimierung mit rollendem Zeithorizont

Mit Hilfe der Optimierungsverfahren werden Solldurchflüsse für den Vorausschauzeitraum optimal eingestellt, genauer gesagt für den Optimierungszeitraum, welcher Teil des Vorausschauzeitraums ist: Der Vorausschauzeitraum wird in $n+1$ Zeitfenster unterteilt, wie in obiger Abbildung dargestellt. Das erste Zeitfenster hat die Nummer Null und das Anlagenverhalten ist für dieses Zeitfenster bereits berechenbar: Für dieses Zeitfenster sind die Zuflüsse an den Einspeisestellen bekannt und die Solldurchflüsse festgelegt. Letztere wurden entweder manuell eingegeben oder stammen aus den letzten Berechnungen. Zur Berechnung des Anlagenverhaltens im Zeitfenster Null übernimmt das Optimierungsverfahren als erstes die aktualisierten Prognosewerte für die Zuflüsse sowie aktualisierte Messwerte für das Kanalnetz. Dann erfolgt die Berechnung des Anlagenzustands für das Zeitfenster Null bis zum Startzeitpunkt des Zeitfensters mit der Nummer Eins. Ab diesem Zeitpunkt beginnt der Optimierungszeitraum, für den aufgrund der Prognosen die optimalen Vorgaben für die Solldurchflüsse berechnet werden. Diese Berechnung muss noch rechtzeitig vor dem Ende des Zeitfensters Null abgeschlossen sein, damit die neuen Werte von Solldurchflüssen für das Zeitfenster Nummer Eins an die reale Anlage auch rechtzeitig übergeben werden können. Am Ende von Zeitfenster Null startet dann automatisch der nächste Rechenlauf, in welchem das bisherige Zeitfenster Nummer Eins zum neuen Zeitfenster Nummer Null wird.

Die Größe und Anzahl der Zeitfenster können als Parameter der Optimierung vom Anwender gesetzt werden und richten sich unter anderem nach den Zulaufzeiten im betrachteten Gebiet. Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden mit 96 Zeitfenstern der Länge 5 Minuten berechnet, d.h. alle fünf Minuten wurde eine Optimierung über einen Vorausschauzeitraum von 8 Stunden durchgeführt. Eingeflossen in diese Wahl ist die maximale Fließzeit von 6 Stunden zum GKW Kanten. Der Vorausschauzeitraum von 8 Stunden wurde bewusst etwas größer als diese Fließzeit gewählt, um den Einfluss der Steuerentscheidung auf RÜB und RBF Kanten ausreichend zu berücksichtigen.

Die Anzahl der Optimierungsvariablen pro Steuergröße wird aus Effizienzgründen durch Bündelung von Zeitfenstern auf 10 begrenzt. Die Bündelung wird dabei immer umfassender, je weiter wir uns in die Zukunft bewegen.

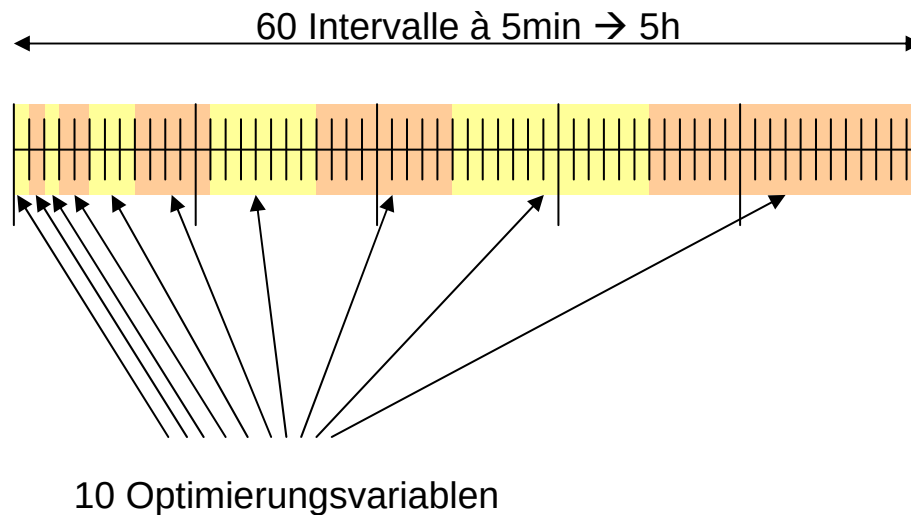


Bild 6-23: Begrenzung auf 10 Optimierungsvariablen (hier für 60 Zeitfenster)

6.7.5 Zusätzliche Einschränkungen

Bezüglich der Nutzung des RBF Kanten gelten besondere Einschränkungen. Gemäß RBF Handbuch NRW sollte die max. Einstaudauer von 48 Std. nicht öfter als einmal im Jahr auftreten bzw. überschritten werden (MUNLV 2003). Bei längeren Einstauzeiten stellen sich anaerobe Zustände ein, die zu unerwünschten Rücklösungen von Metallen führen.

Da das Netz Kanten sehr lange Nachlaufzeiten hat, wurden in der Vergangenheit schon öfter lange Einstauzeiten beobachtet. Diese sollten mit Hilfe der Netzsteuerung deutlich minimiert bzw. optimiert werden.

Aufgrund des ungünstigen Mischungsverhältnisses sollte möglichst eine hohe Mischwassermenge zum RBF geführt werden, weil dort eine hohe Reinigungsleistung erbracht wird. Bei Vollfüllung des RBF ist es jedoch deutlich günstiger, wenn dezentral auf den jeweiligen RÜB (die ein besseres Mischungsverhältnis aufweisen) entlastet wird.

Entsprechend ist eine Steuerung zu implementieren, die diese Situation abbildet. Die Zulaufmenge zur Kläranlage ist auf 624 l/s begrenzt, was durch die Drossel am Verteilerbauwerk vor der Kläranlage gewährleistet wird. Mischwassermengen darüber hinaus gelangen vom Verteilerbauwerk in das RÜB mit nachgeschaltetem RBF. Nach Vollfüllung des RÜB und RBF Kanten (was unter Umständen auch bis zu 12 Std. dauern kann) ist die Zulaufmenge zum RBF auf 60 l/s begrenzt. Dem Verteilerbauwerk können dann über 12 Std. (steuerungstechnisch) $624 \text{ l/s} + 60 \text{ l/s} = 684 \text{ l/s}$ zufließen, ohne dass eine Entlastung aus dem RÜB stattfindet. Anschließend wird der RBF für 48 Std. nicht beschickt, d.h. eine Entlastung aus dem RÜB erfolgt bereits bei Überschreitung der Zulaufmenge zum Verteilerbauwerk von 624 l/s (entspricht Zulauf zur Kläranlage). Entsprechend den Betriebserfahrungen dauert die Nachlaufzeit auch noch mal rd. 12 Std. und die Entleerungszeit des RBF noch mal rd. 12 Std.

Damit wurde folgende Randbedingung für das RBF Kanten formuliert: Das RBF darf maximal 24h beschickt werden, davon maximal 12h ab Vollfüllung. Die Vollfüllung gilt bei 95% des Füllvolumens als erreicht. Danach ist über 48h keine Beschickung mehr möglich.

Diese Randbedingung wird realisiert, indem die Gewichtung für die Entlastung aus dem RÜB Kanten ab dem Zeitpunkt massiv erhöht wird, ab dem eine Beschickung des RBFs nicht mehr zulässig ist (siehe Tabelle 6-12).

6.8 Ergebnisse ungesteuerter / gesteuerter Zustand

Im Folgenden wird ein Vergleich zwischen gesteuertem und ungesteuertem Zustand für die fünf ausgewählten Regenereignisse durchgeführt, um das Steuerpotenzial zu quantifizieren. Es werden die Simulationsergebnisse aus SIWA SEWER ASSIST für den ungesteuerten Betrieb denen des gesteuerten Betriebs gegenübergestellt. Beide Simulationsrechnungen basieren auf dem gleichen Modell bei gleichen Zuflüssen. Für den ungesteuerten Betrieb werden die aktuell eingestellten Drosselwerte benutzt, für den gesteuerten Betrieb die von der SIWA SEWER ASSIST Optimierung berechneten optimalen Drosselstellungen.

Für Zielfunktion und Drosselbereiche des zu lösenden Optimierungsproblems wurden dabei die folgenden Parameter (soweit nicht anders spezifiziert) verwendet:

Tabelle 6-12: Gewichtungsfaktoren der Becken

RÜB		Gewichtung		
		Drosselabfluss	Beckeneinstau	Beckenüberlauf
633	RÜB Türnich	0	40	300
629	RÜB KerpenSüd	0	60	700
628	RÜB KerpenNord	0	70	700
625	RÜB Horrem	0	70	500
635	RÜB Hüttengraben	0	80	900
492	RÜB Ahestr.	0	60	750
130	RÜB/PW Thorr	0	50	750
218	RÜB Kanten	0	10	2000 *
218	RBF Kanten	0	10	2000

(* bei Vollfüllung RBF)

Tabelle 6-13: Gewichtungsfaktoren Überstau

Kanal	Überstau	
	Max. zulässiger Abfluss	Gewichtung
GUER_GW	268	10000
49394016	598	10000
G9417075	858	10000
G8431001	858	10000
G8437123	871	10000
G7445145	875	10000
G7445151	878	10000
G6448159	890	10000
46451168	896	10000

Tabelle 6-14: Drosselbereiche

RÜB		Drosselabfluss [l/s]	
		Eingestellter Wert	Drosselbereich
633	RÜB Törnich	140	60 - 200
629	RÜB KerpenSüd	130	70 - 260
628	RÜB KerpenNord	96	70 - 260
625	RÜB Horrem	70	40 - 90
635	RÜB Hüttengraben	105	70 - 300
492	RÜB Ahestr.	26	15 - 50
130	RÜB/PW Thorr	150	40 - 200
218	RÜB Kenten	624	-
218	RBF Kenten	60	-

6.8.1 Ereignis 4

Ereignis 4 (28.05.2008 12:00 Uhr bis 01.06.2008 22:40 Uhr) stellt ein Regenereignis der Häufigkeit $n = 1/a$ dar. Es ist sehr lokal ausgeprägt mit starkem Niederschlag im zentralen Bereich des Einzugsgebietes (Hüttengraben, Horrem und Ahestraße). Im nördlichen und südlichen Einzugsgebiet sind deutlich schwächere Niederschläge zu verzeichnen. Hüttengraben und Horrem entlasten im ungesteuerten Betrieb massiv, später in kleinerem Umfang entlastet auch Kerpen Nord.

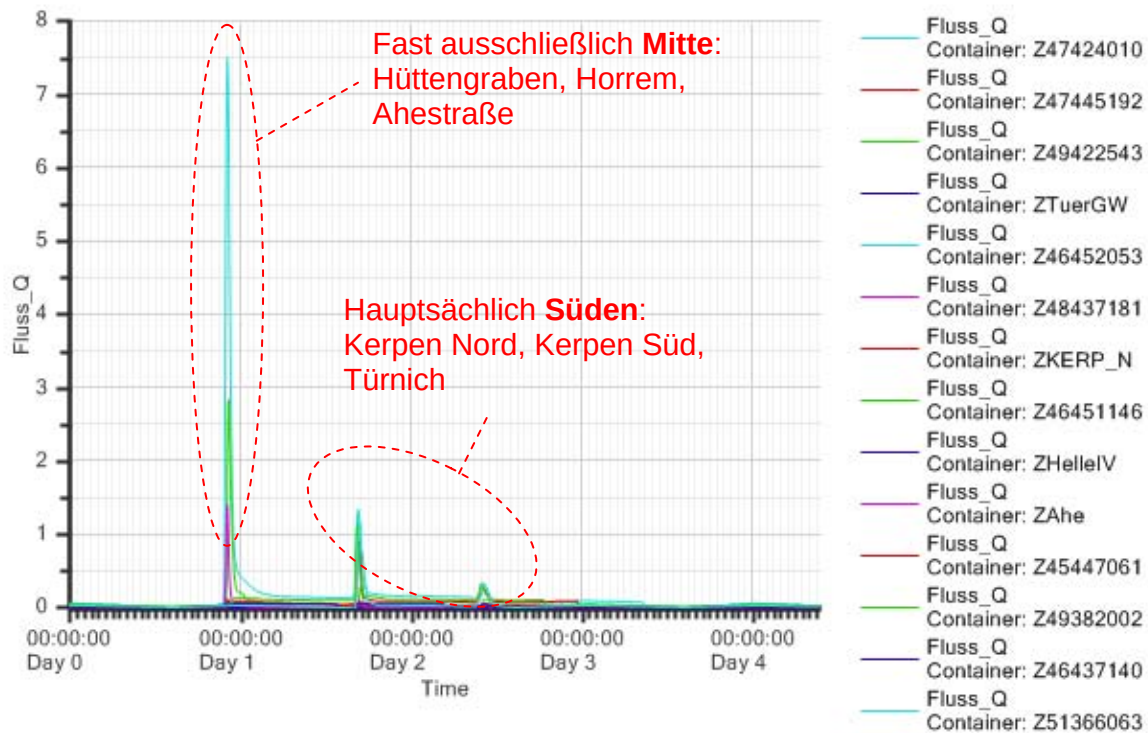


Bild 6-24: Ereignis 4, Zuflüsse [m³/s]

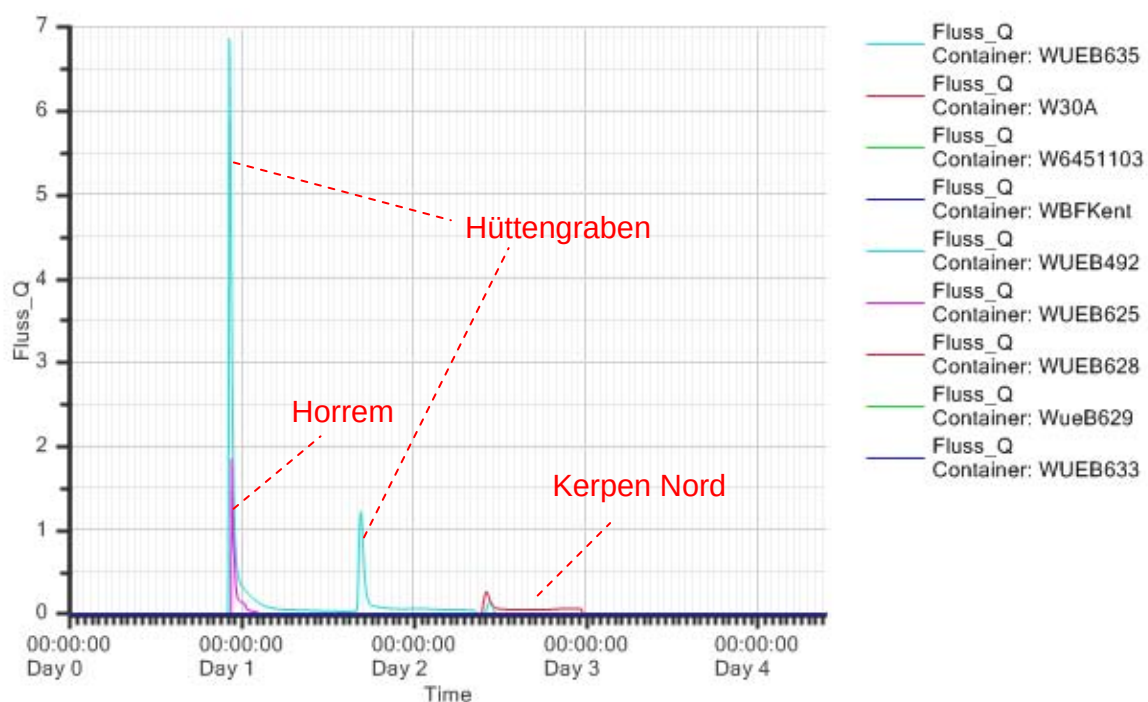


Bild 6-25: Ereignis 4, Entlastungen ungesteuert [m³/s]

Aufgrund des lokalen Charakters des Ereignisses besteht ein großes Potenzial für eine Kanalnetzsteuerung. Gebiete mit geringerem Niederschlag können Regenmengen in ihren Rückhaltebauwerken zurückhalten, während Gebiete mit starkem Regen vermehrt weiterleiten. Die Entlastungen aus den Bauwerken können so reduziert werden. Eine komplette Vermeidung der Abschlüge ist allerdings nicht möglich, da die Weiterleitungsmenge technisch nach oben begrenzt ist.

Eine Kanalnetzsteuerung mit SIWA SEWER ASSIST vermag in diesem Beispiel die Abschlüge um 52% zu reduzieren. Die Abschlüge in Hüttengraben werden etwa halbiert, in Kerpen Nord können sie komplett vermieden werden.

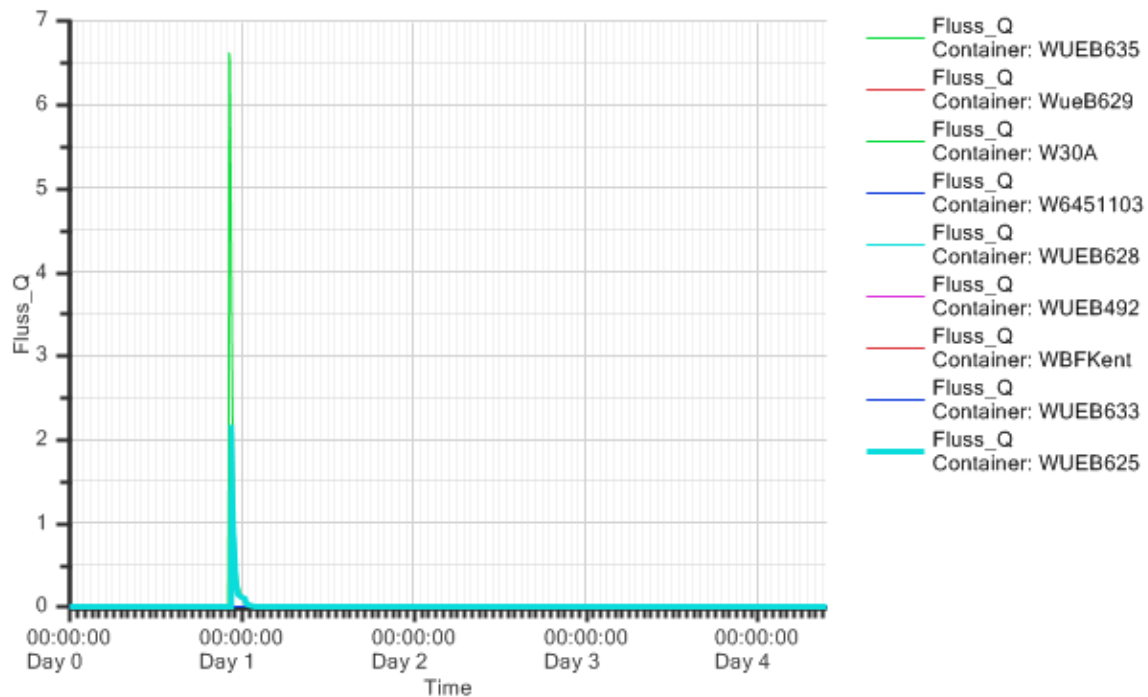


Bild 6-26: Ereignis 4, Entlastungen gesteuert [m³/s]

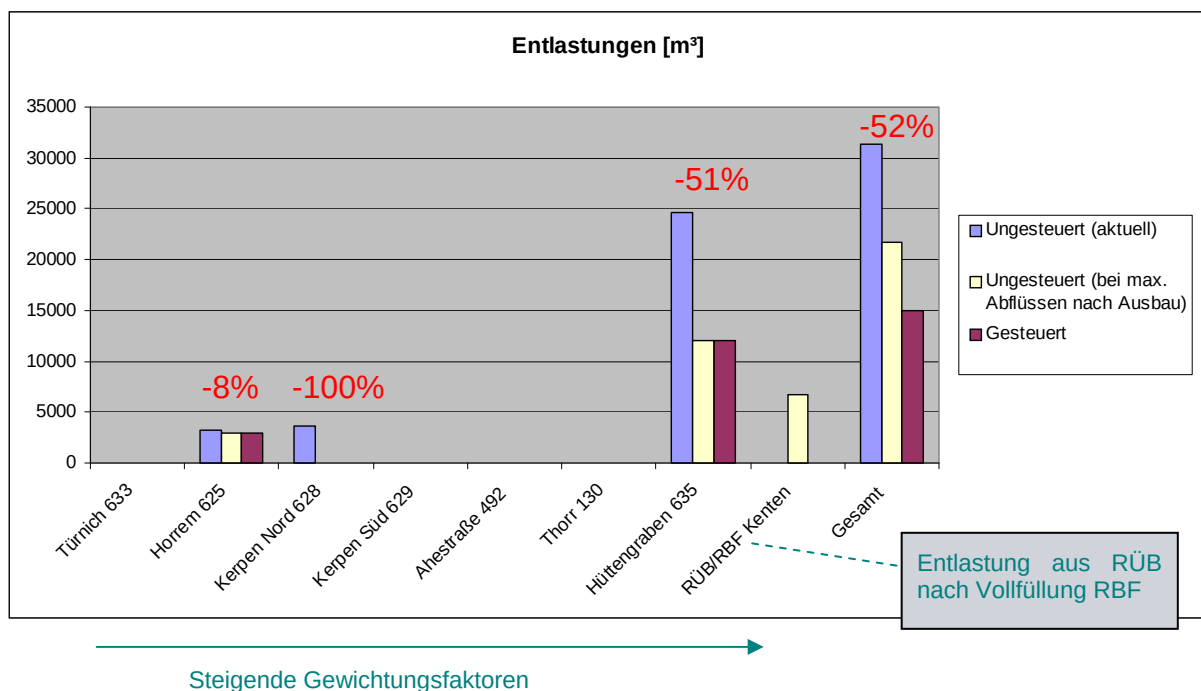


Bild 6-27: Ereignis 4, Entlastungen im Vergleich [m³/s]

In obigem Bild geben die gelben Balken die Entlastungen bei theoretisch möglicher maximaler Weiterleitung an. Sie stellen in den gesteuerten Rückhaltebauwerken eine Untergrenze für die Entlastungen und damit die nicht vermeidbaren Entlastungen dar. Die maximale Weiterleitung aus allen Rückhaltebauwerken ist keine sinnvolle Alternative zur Kanalnetzsteuer-

rung, denn sie würde zu großen Entlastungen im RÜB/RBF Kanten und zum Überstau im Kanalhauptstrang führen. Wie die Graphik zeigt, vermag die Kanalnetzsteuerung mit SIWA SEWER ASSIST dies zu vermeiden und erreicht dennoch das Optimum in den Rückhaltebauwerken. Bis auf den unvermeidbaren Anteil können die Abschläge für dieses Szenario komplett vermieden werden.

Details sind in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 6-15: Ereignis 4, Entlastungen im Vergleich

RÜB		Entlastungen [m³]			
		Ungesteuert	Gesteuert	Differenz	
				absolut	prozentual
633	RÜB Türnich	0	0	0	
625	RÜB Horrem	3.164	2.902	-262	-8%
628	RÜB Kerpen Nord	3.582	0	-3.582	-100%
629	RÜB Kerpen Süd	0	0	0	
492	RÜB Ahestraße	0	0	0	
130	RÜB Thorr	0	0	0	
635	RÜB Hüttengraben	24.652	12.097	-12.556	-51%
218	RÜB/RBF Kanten	0	0	0	
Gesamt		31.398	14.999	-16.399	-52%

Ein Vergleich der Zuflüsse zum GKW Kanten zeigt, dass mittels Kanalnetzsteuerung zum einen die Zufuhr zum GKW erhöht und zum anderen die Entleerung der Becken beschleunigt werden kann. Gleichzeitig wird aber auch ein Überstau im Kanal vermieden.

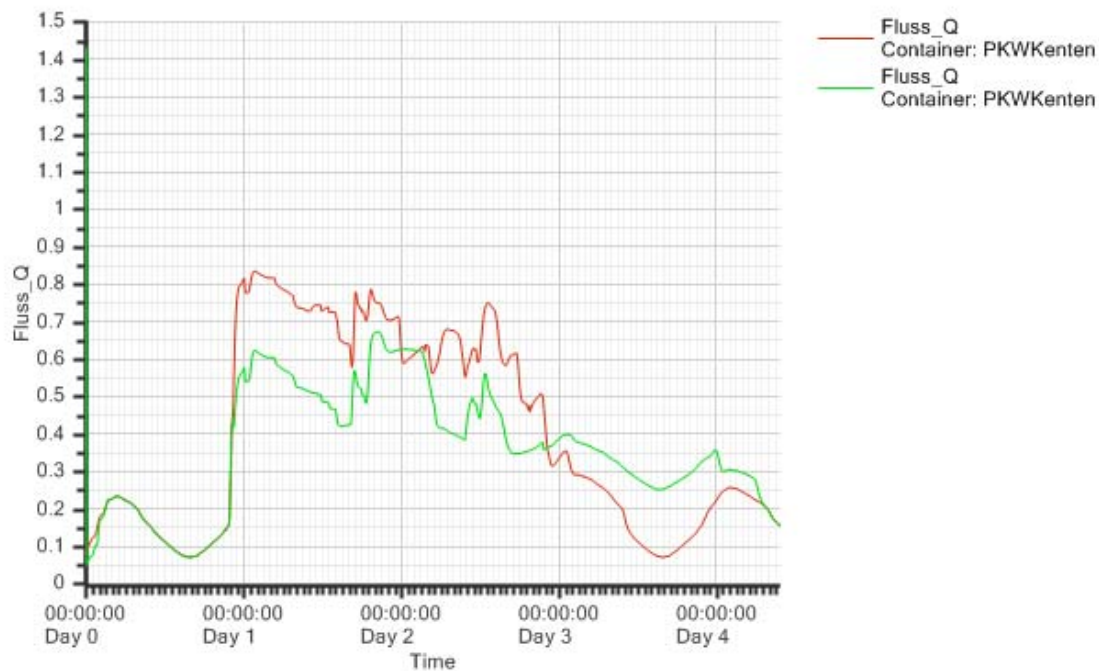


Bild 6-28: Ereignis 4, Zufluss GWK [m³/s] (grün ungesteuert, rot gesteuert)

6.8.2 Ereignis 8

Ereignis 8 (03.08.2008 00:00 Uhr bis 06.08.2008 22:05 Uhr) stellt ein Regenereignis der Häufigkeit $n = 1/a$ dar. Es erstreckt sich über das gesamte Einzugsgebiet. Alle Bauwerke außer Thorr entlasten.

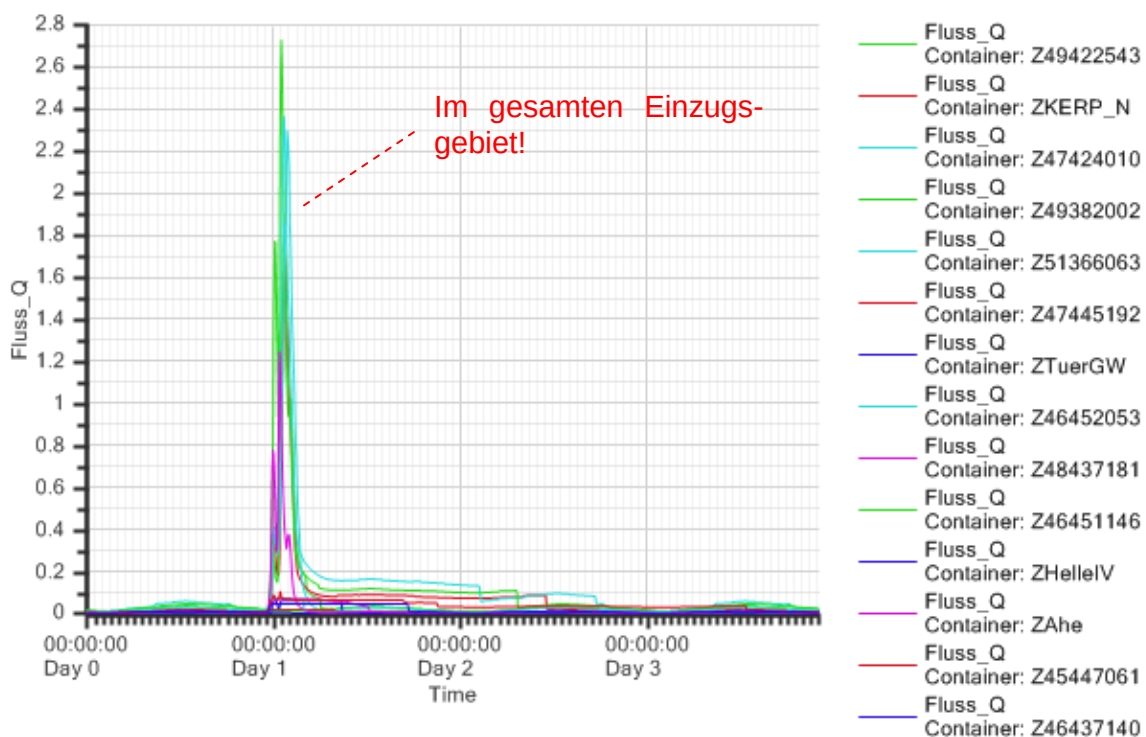


Bild 6-29: Ereignis 8 Zuflüsse [m³/s]

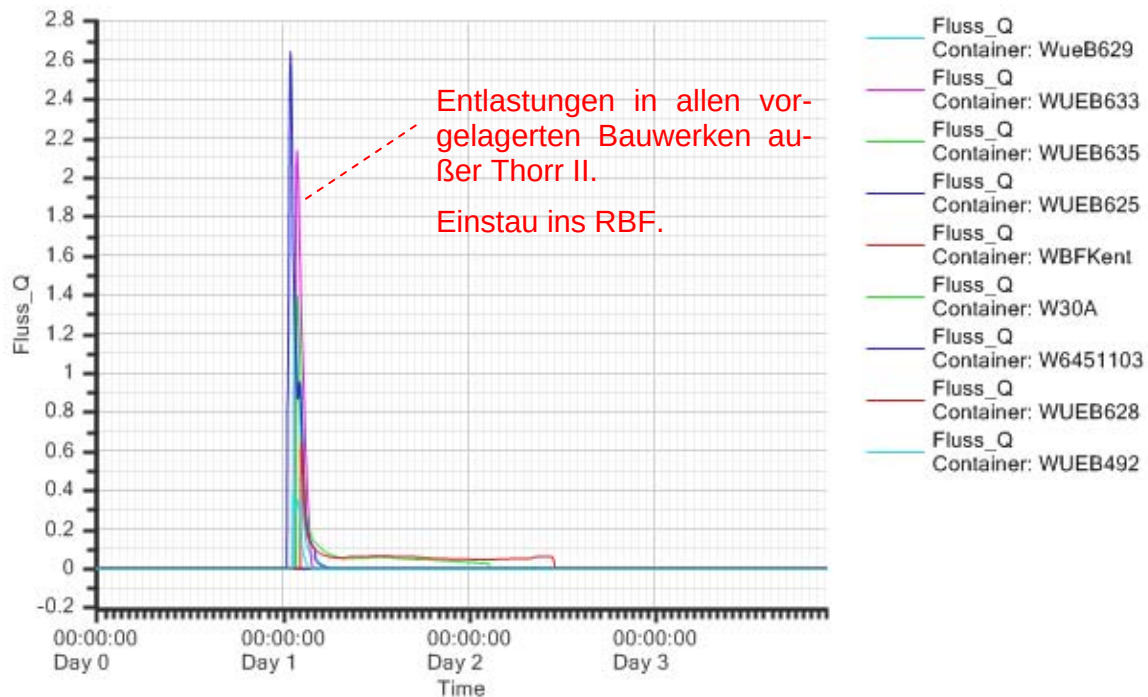


Bild 6-30: Ereignis 8, Entlastungen ungesteuert [m³/s]

Aufgrund der gleichmäßigen Verteilung des Regens über das Einzugsgebiet und dessen Stärke ist hier das Potenzial für eine Kanalnetzsteuerung geringer als für Ereignis 4.

Dennoch vermag die Kanalnetzsteuerung mit SIWA SEWER ASSIST in diesem Beispiel die Abschlüge um 21% zu reduzieren. Es ist daneben eine Verlagerung der Abschlüge in Richtung der niedriger gewichteten Bauwerke zu beobachten. Im hoch gewichteten Bauwerk Hüttengraben ist eine deutliche Reduzierung der Abschlüge zu verzeichnen. Überstau tritt im Kanal nicht auf.

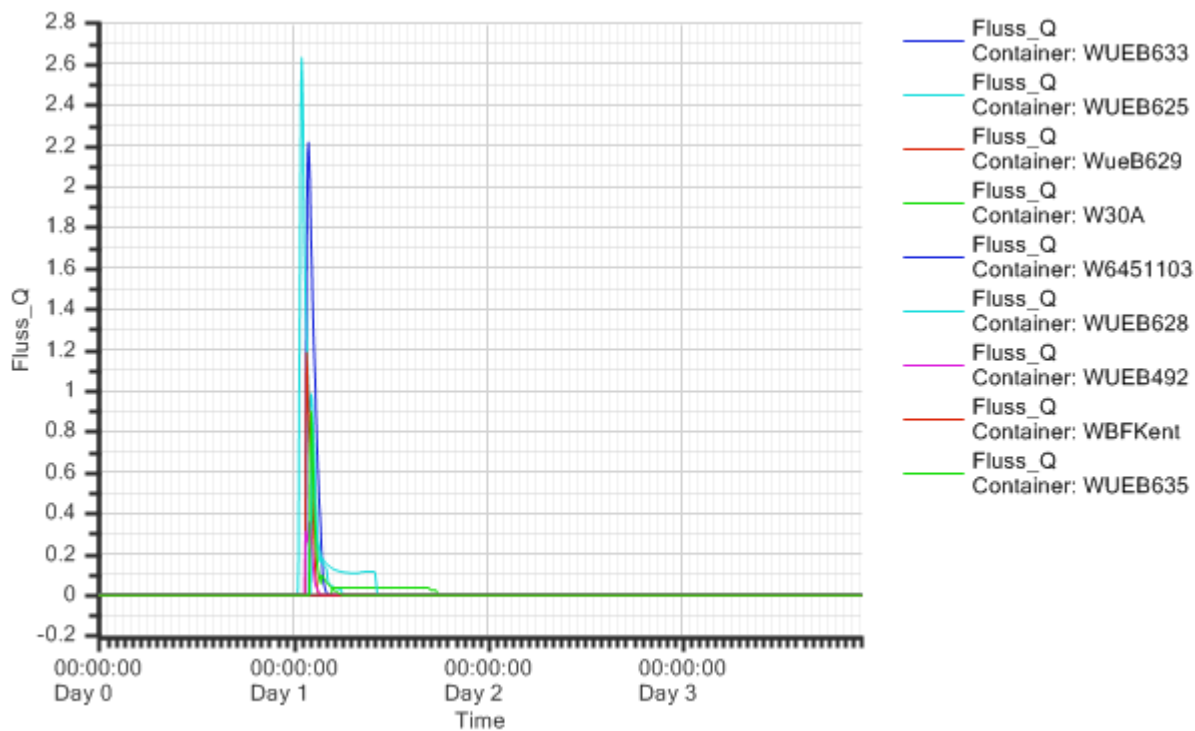
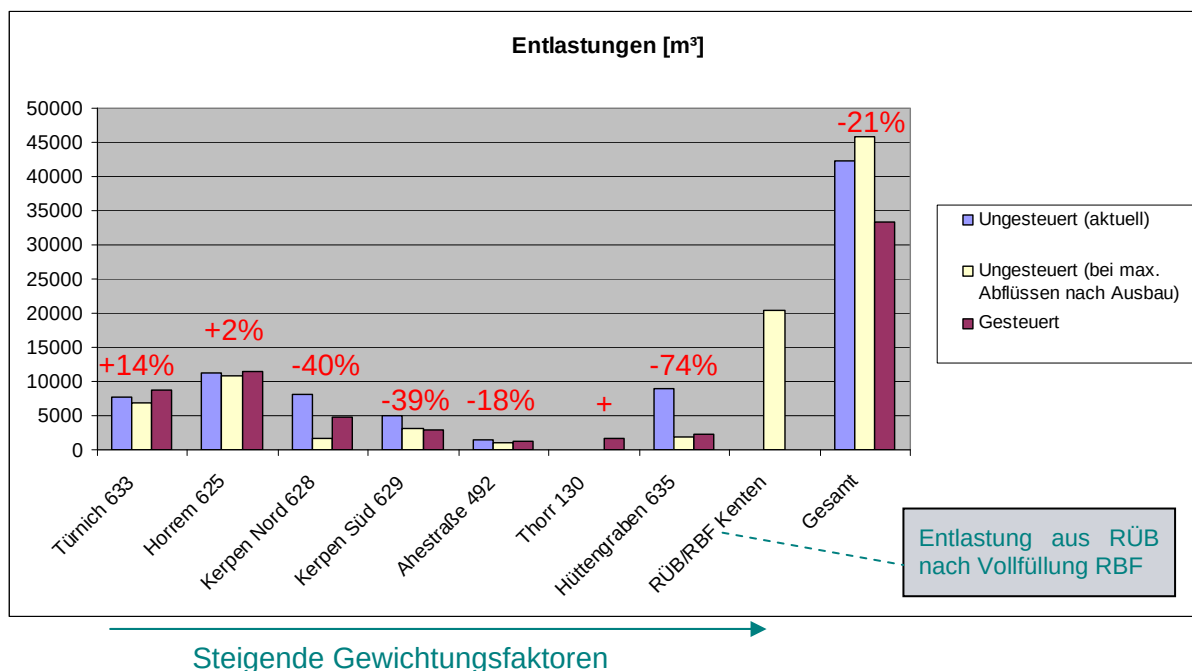
Bild 6-31: Ereignis 8, Entlastungen gesteuert [m^3/s]Bild 6-32: Ereignis 8, Entlastungen im Vergleich [m^3/s]

Tabelle 6-16: Ereignis 8, Entlastungen im Vergleich

RÜB		Entlastungen [m³]			
		Ungesteuert	Gesteuert	Differenz	
				absolut	prozentual
633	RÜB Türnich	7.648	8.697	1.049	+14%
625	RÜB Horrem	11.301	11.543	242	+2%
628	RÜB Kerpen Nord	8.089	4.851	-3.237	-40%
629	RÜB Kerpen Süd	4.912	3.008	-1.904	-39%
492	RÜB Ahestraße	1.440	1.184	-256	-18%
130	RÜB Thorr	0	1.703	1.703	
635	RÜB Hüttengraben	8.932	2.321	-6.610	-74%
218	RÜB/RBF Kanten	0	0	0	
Gesamt		42.322	33.307	-9.015	-21%

Wie zuvor zeigt auch hier ein Vergleich der Zuflüsse zum GWK Kanten, dass mittels Kanalnetzsteuerung zum einen die Zufuhr zum GWK erhöht und zum anderen die Entleerung der Becken beschleunigt werden kann. Ein Überstau im Kanal wird vermieden.

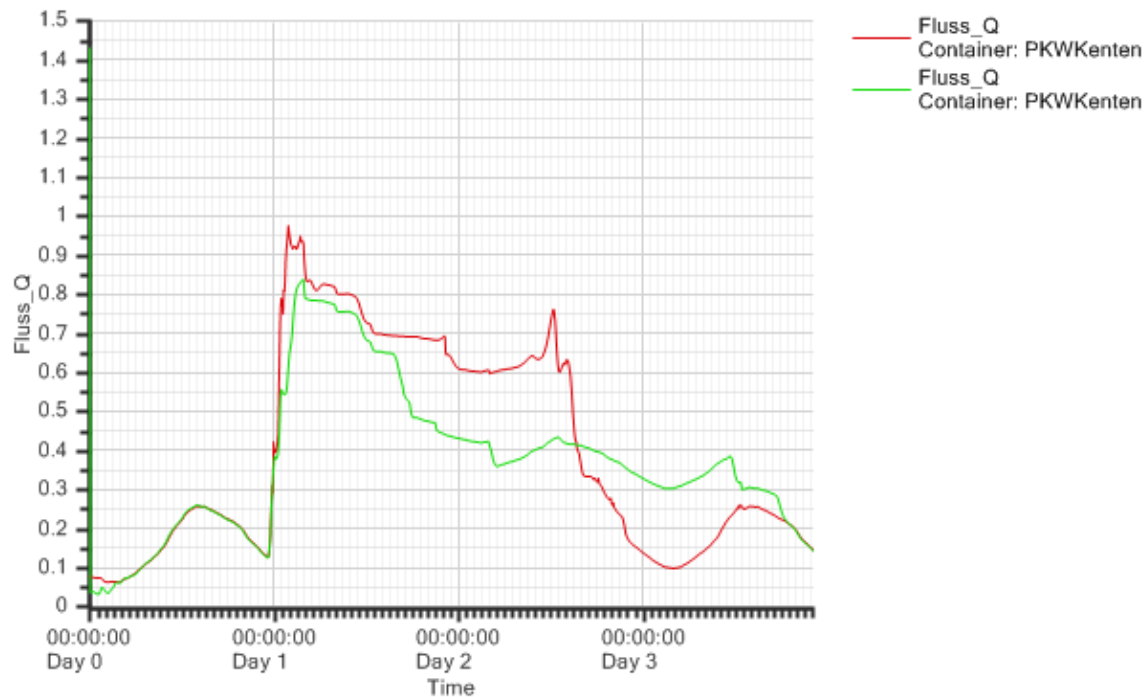


Bild 6-33: Ereignis 8, Zufluss GWK [m³/s] (grün ungesteuert, rot gesteuert)

6.8.3 Ereignis 9

Ereignis 9 (16.04.2009 12:00 Uhr bis 20.04.2009 06:25 Uhr) stellt ein Regenereignis der Häufigkeit $n = 1/a$ dar. Es ist im gesamten Einzugsgebiet zu beobachten und erstreckt sich über einen langen Zeitraum von etwa einer Nacht. Alle Rückhaltebauwerke außer Thorr II entlasten massiv, selbst aus dem RBF Kanten sind Abschlüge zu verzeichnen.

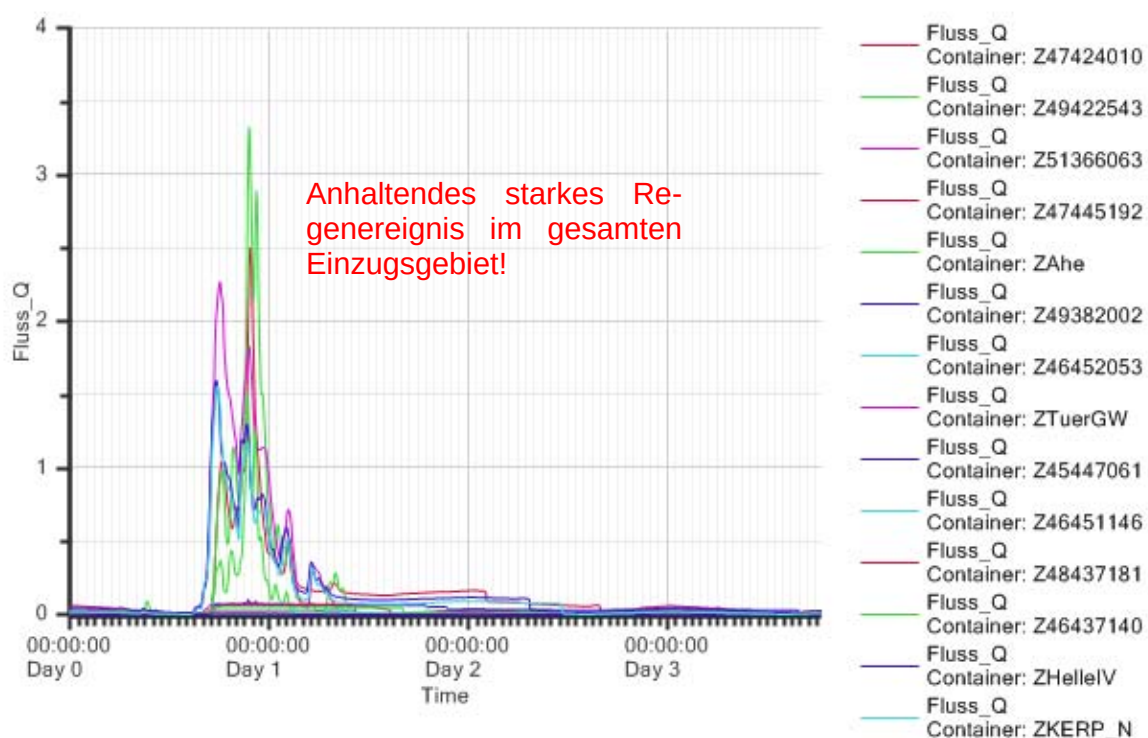
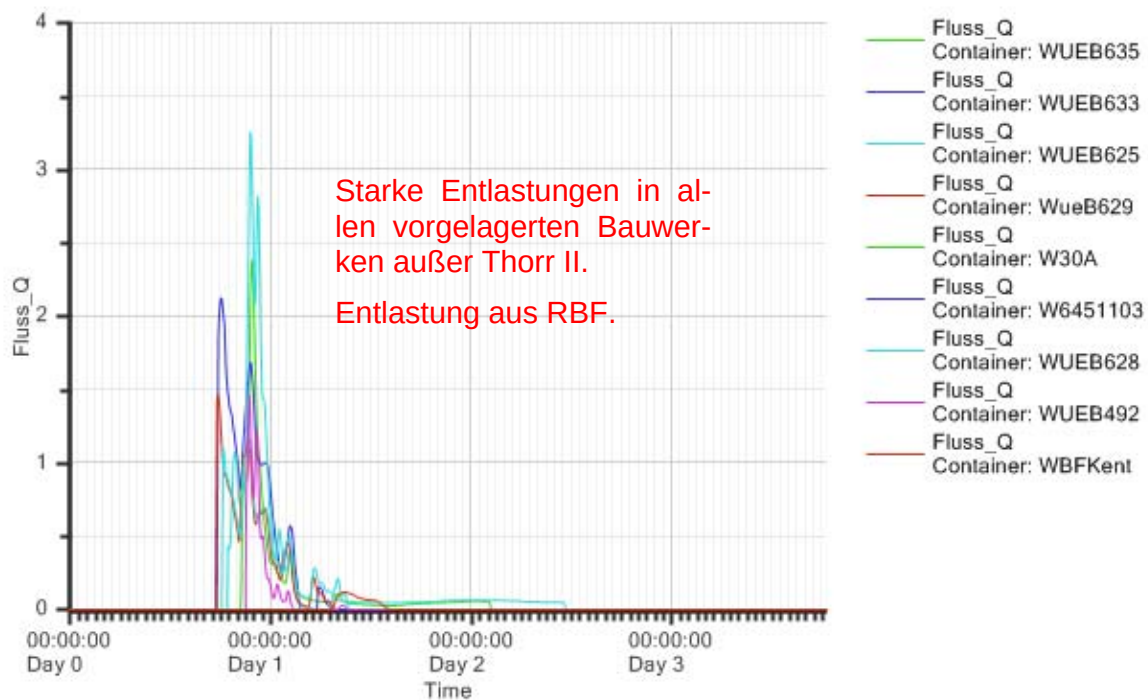


Bild 6-34: Ereignis 9 Zuflüsse [m³/s]**Bild 6-35: Ereignis 9, Entlastungen ungesteuert [m³/s]**

Aufgrund der Stärke, Dauer und räumlichen Ausbreitung des Niederschlagsereignisses gerät das Netz hier an seine Grenzen. Weder das Kanalnetz selbst noch die Rückhaltebauwerke können mehr Wasser aufzunehmen. Auch eine Kanalnetzsteuerung kann hier die Abschlüge nicht reduzieren oder vermeiden. Es ist jedoch zu beobachten, dass SIWA SEWER ASSIST eine Verschiebung der Abschlüge in Richtung niedriger gewichteten und damit weniger kritischen Bauwerken erzielt. Auch ein Überstau im Kanal kann trotz der Stärke des Ereignisses vermieden werden.

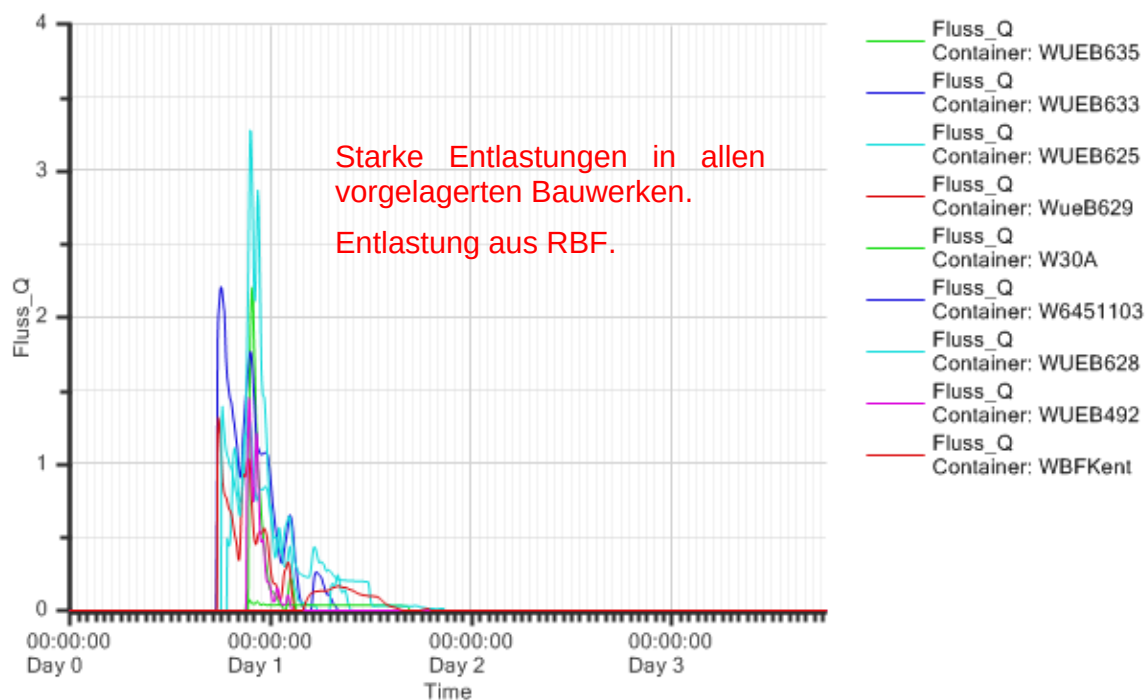


Bild 6-36: Ereignis 9, Entlastungen gesteuert [m³/s]

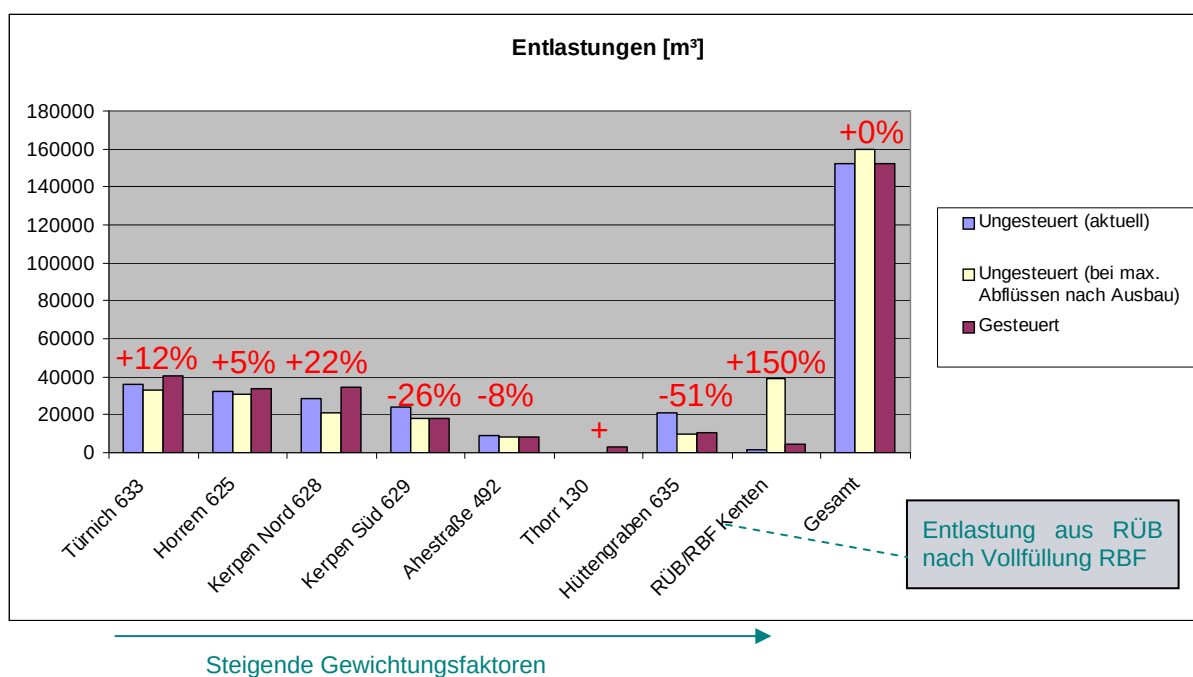


Bild 6-37: Ereignis 9, Entlastungen im Vergleich

Tabelle 6-17: Ereignis 9, Entlastungen im Vergleich

RÜB		Entlastungen [m³]			
		Ungesteuert	Gesteuert	Differenz	
				absolut	prozentual
633	RÜB Türnich	35.854	40.267	4.413	+12%
625	RÜB Horrem	32.281	33.902	1.621	+5%
628	RÜB Kerpen Nord	28.362	34.672	6.310	+22%
629	RÜB Kerpen Süd	24.219	17.866	-6.353	-26%
492	RÜB Ahestraße	8.847	8.130	-716	-8%
130	RÜB Thorr	0	2.749	2.749	
635	RÜB Hüttengraben	20.902	10.197	-10.705	-51%
218	RÜB/RBF Kenten	1.795	4.495	2.699	+150%
Gesamt		152.261	152.280	18	+/-0%

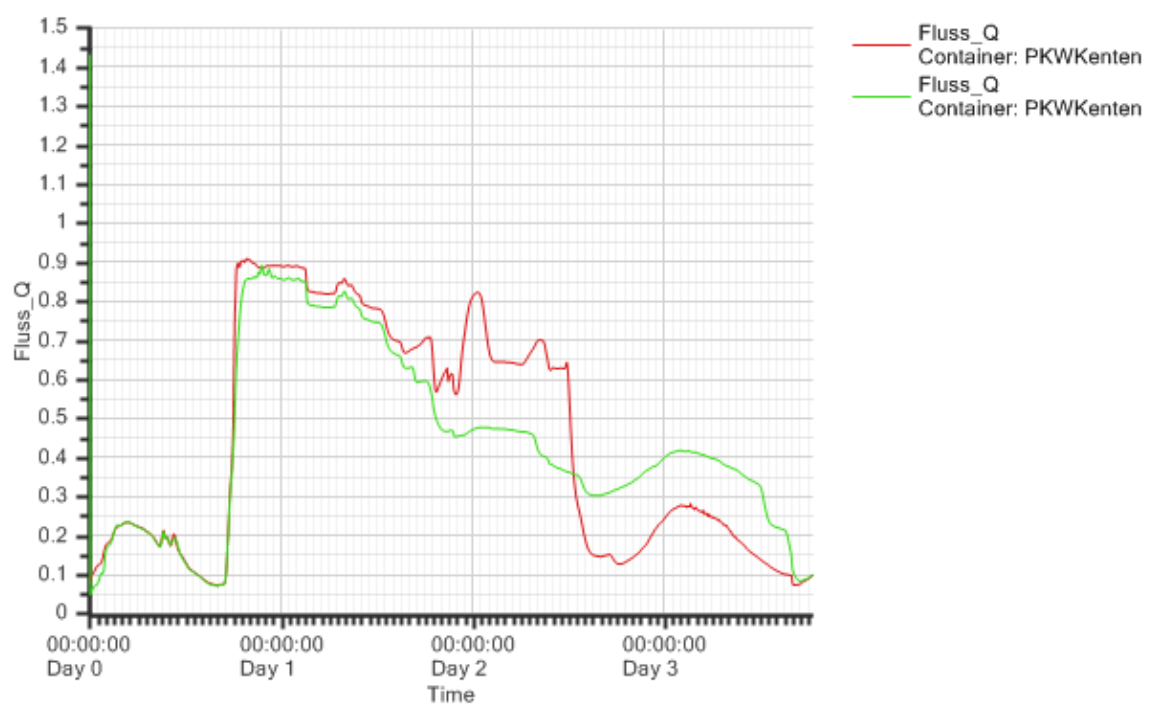


Bild 6-38: Ereignis 9, Zufluss GKW [m³/s] (grün ungesteuert, rot gesteuert)

Neben einer tendenziellen Verschiebung der Abschlge in Richtung weniger kritischer Bauwerke ist immer auch eine Vergleichmäßigung der Abschlge über alle Bauwerke zu beobachten, d.h. Bauwerke die zuvor gar nicht oder sehr wenig im Vergleich zu anderen Bauwerken entlastet haben, entlasten nun etwas mehr (im Vergleich aber immer noch sehr wenig). Dies ist im vorliegenden Ereignis an Thorr II und RBF Kanten zu erkennen. Soll eine Entlastung aus Kanten prinzipiell vermieden werden, ist der Gewichtungsfaktor für die Entlastung aus dem RBF dementsprechend größer zu wählen.

6.8.4 Ereignis 12

Ereignis 12 (13.07.2009 00:00 Uhr bis 16.07.2009 16:55 Uhr) stellt ein Regenereignis der Häufigkeit $n = 2/a$ dar. Es ist im gesamten Einzugsgebiet zu beobachten, ist aber zeitlich begrenzt. Entlastungen sind zunächst in Trnich und Horrem zu beobachten, später dann in Kerpen Nord. In ihrer Höhe liegen die Entlastungen deutlich unter denen der zuvor beobachteten Ereignisse 4, 8 und 9.

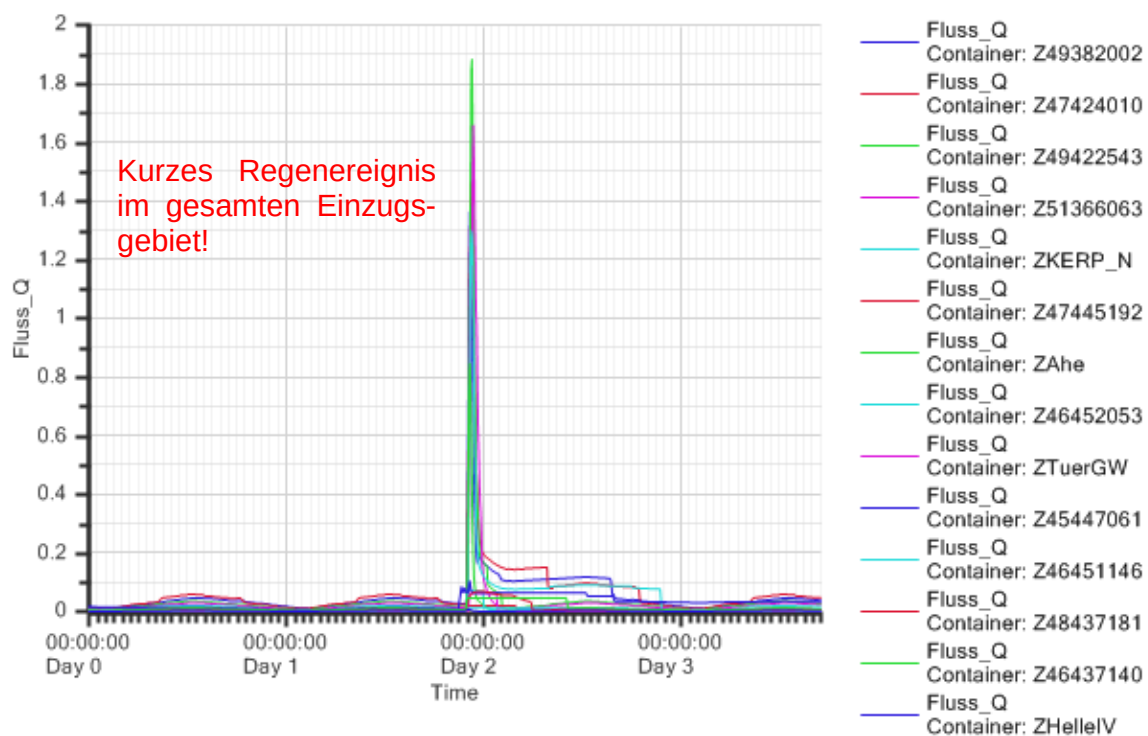


Bild 6-39: Ereignis 12, Zuflüsse [m³/s]

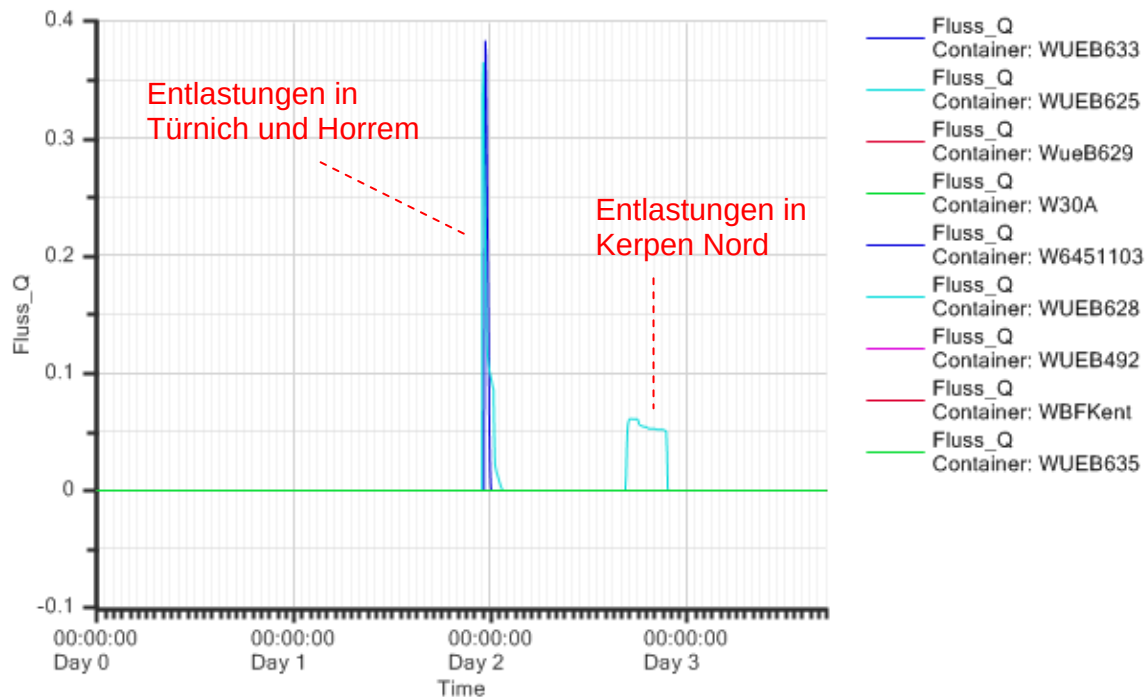


Bild 6-40: Ereignis 12, Entlastungen ungesteuert [m³/s]

Aufgrund der begrenzten Stärke des Ereignisses und der zeitlich auseinander liegenden Entlastungen besteht ein großes Potential für eine Kanalnetzsteuerung. Bauwerke, die noch nicht voll ausgelastet sind, können zusätzliche Regenmengen zurückhalten, während Bauwerke mit Entlastungen vermehrt weiterleiten. Die Entlastungen können somit in Summe reduziert werden. Eine komplette Vermeidung der Abschlüge ist allerdings auch hier nicht überall möglich, da die Weiterleitungsmenge technisch nach oben begrenzt ist.

Eine Kanalnetzsteuerung mit SIWA SEWER ASSIST vermag in diesem Beispiel die Abschlüge um 45% zu reduzieren. Insbesondere die Abschlüge in Kerpen Nord können komplett vermieden werden.

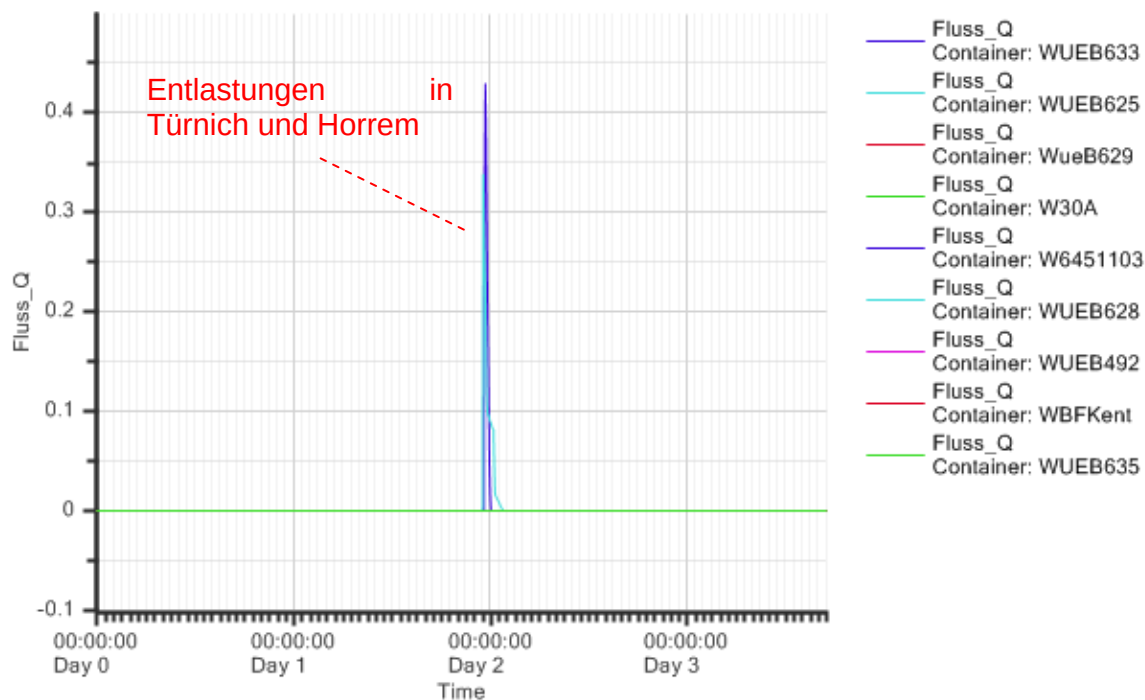


Bild 6-41: Ereignis 12, Entlastungen gesteuert [m³/s]

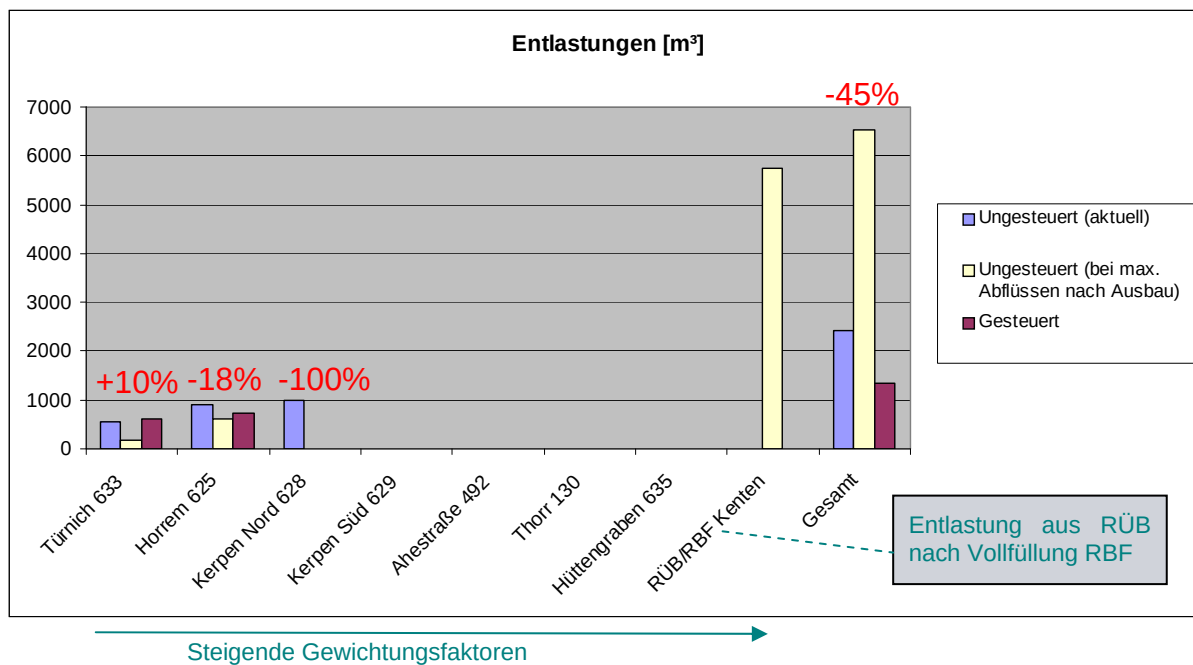
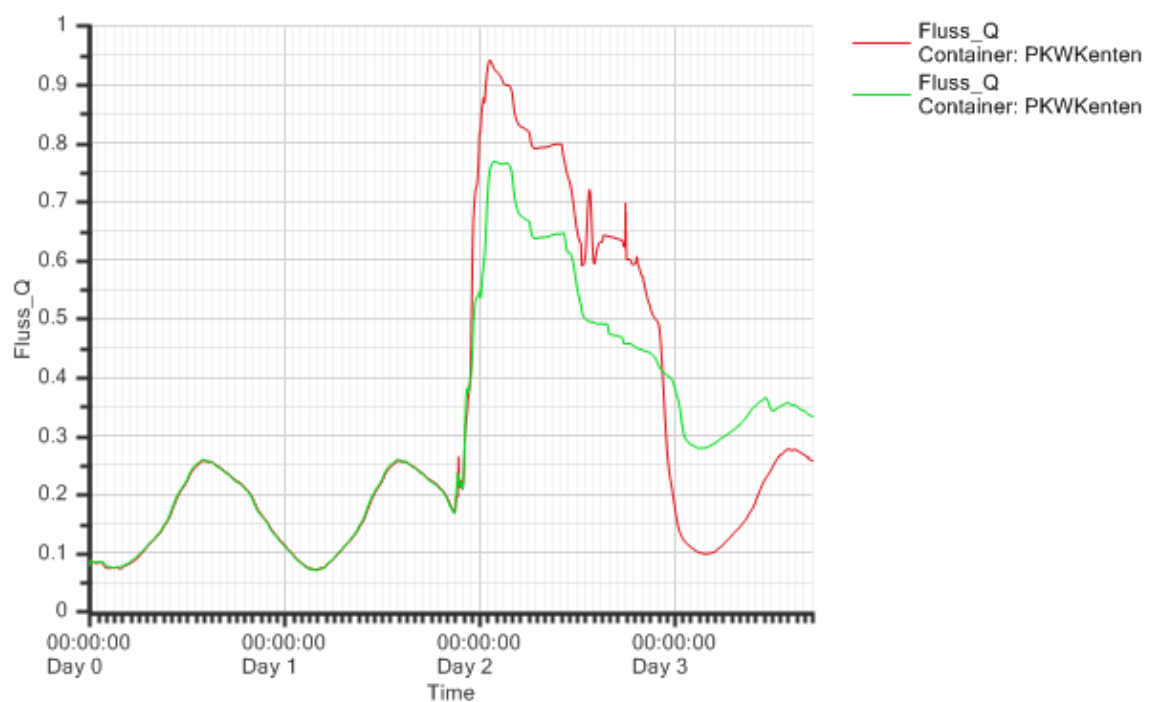


Bild 6-42: Ereignis 12, Entlastungen im Vergleich

Tabelle 6-18: Ereignis 12 Entlastungen im Vergleich

RÜB		Entlastungen [m³]			
		Ungesteuert	Gesteuert	Differenz	
				absolut	prozentual
633	RÜB Türnich	557	612	55	+10%
625	RÜB Horrem	891	731	-159	-18%
628	RÜB Kerpen Nord	980	0	-980	-100%
629	RÜB Kerpen Süd	0	0	0	
492	RÜB Ahestraße	0	0	0	
130	RÜB Thorr	0	0	0	
635	RÜB Hüttengraben	0	0	0	
218	RÜB/RBF Kenten	0	0	0	
Gesamt		2.428	1.343	-1.085	-45%

**Bild 6-43: Ereignis 12, Zufluss GKW [m³/s] (grün ungesteuert, rot gesteuert)**

6.8.5 Ereignis 16

Ereignis 16 (01.05.2010 12:00 Uhr bis 04.05.2010 06:30 Uhr) stellt ein Ereignis der Häufigkeit $n = 2/a$ dar. Es setzt sich aus mehreren lokal begrenzten Regengüssen zusammen. Zunächst ist das südliche, später das nördliche Einzugsgebiet betroffen. Das Rückhaltebauwerk Horrem entlastet. Bezogen auf die Abschlagsmenge ist es das schwächste der betrachteten Ereignisse.

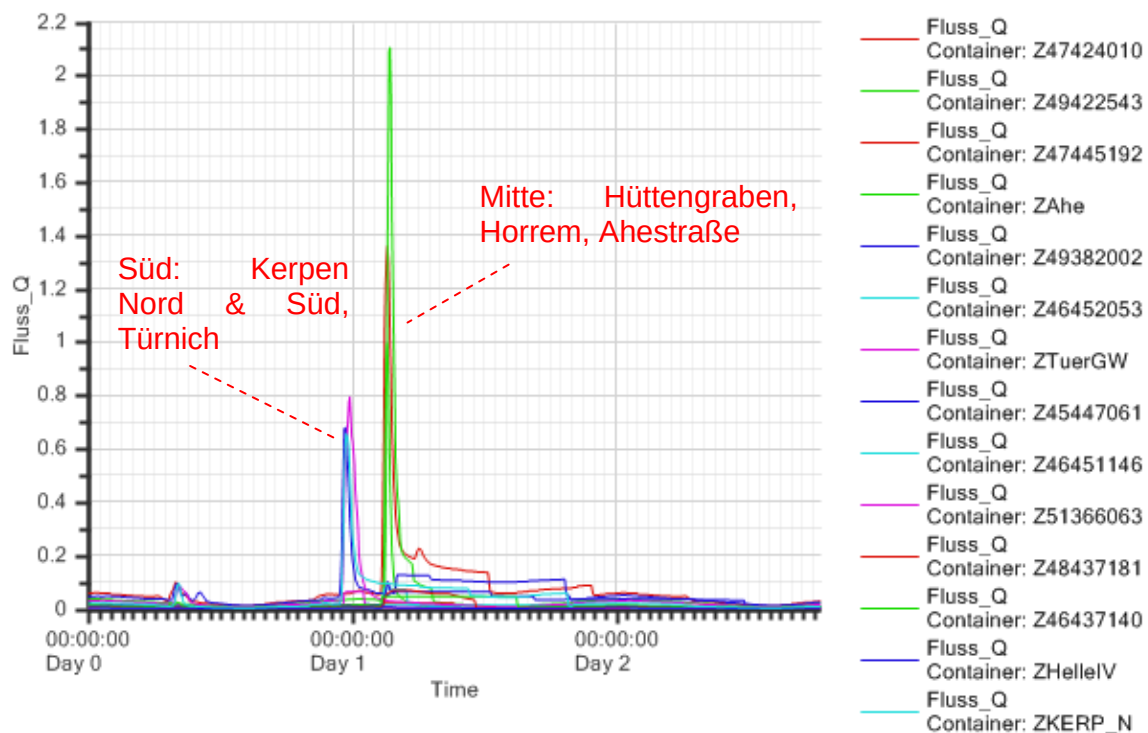


Bild 6-44: Ereignis 16, Zuflüsse [m³/s]

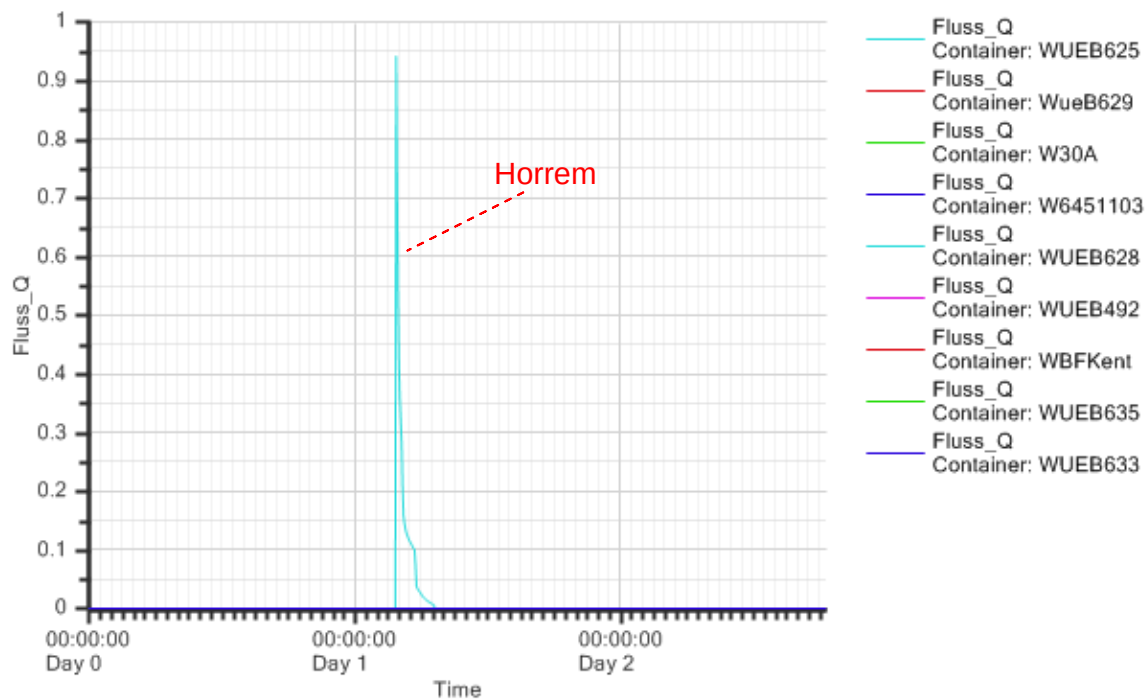


Bild 6-45: Ereignis 16, Entlastungen ungesteuert [m³/s]

Aufgrund der begrenzten Stärke des Ereignisses und der lokalen Verteilung besteht auch hier Potential für eine Kanalnetzsteuerung. Allerdings ist die Weiterleitungsmenge in Horrem auf lediglich 90l/s begrenzt, so dass die Abschlüsse nur zu einem gewissen Maß reduziert werden können.

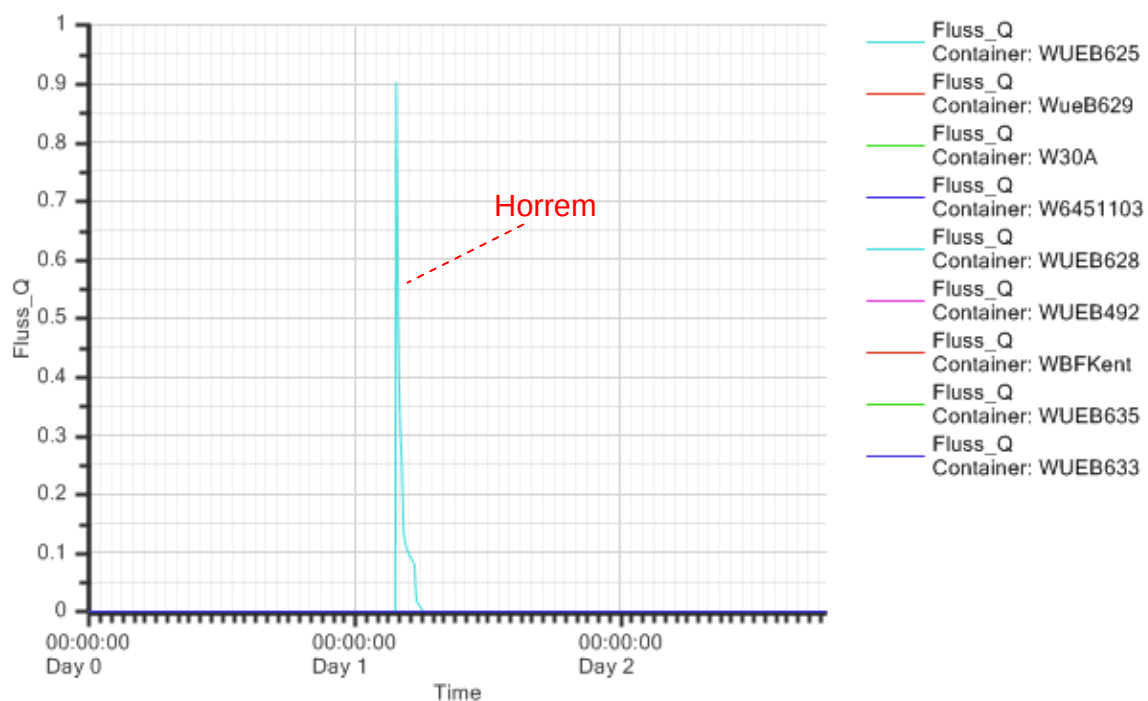


Bild 6-46: Ereignis 16, Entlastungen gesteuert [m³/s]

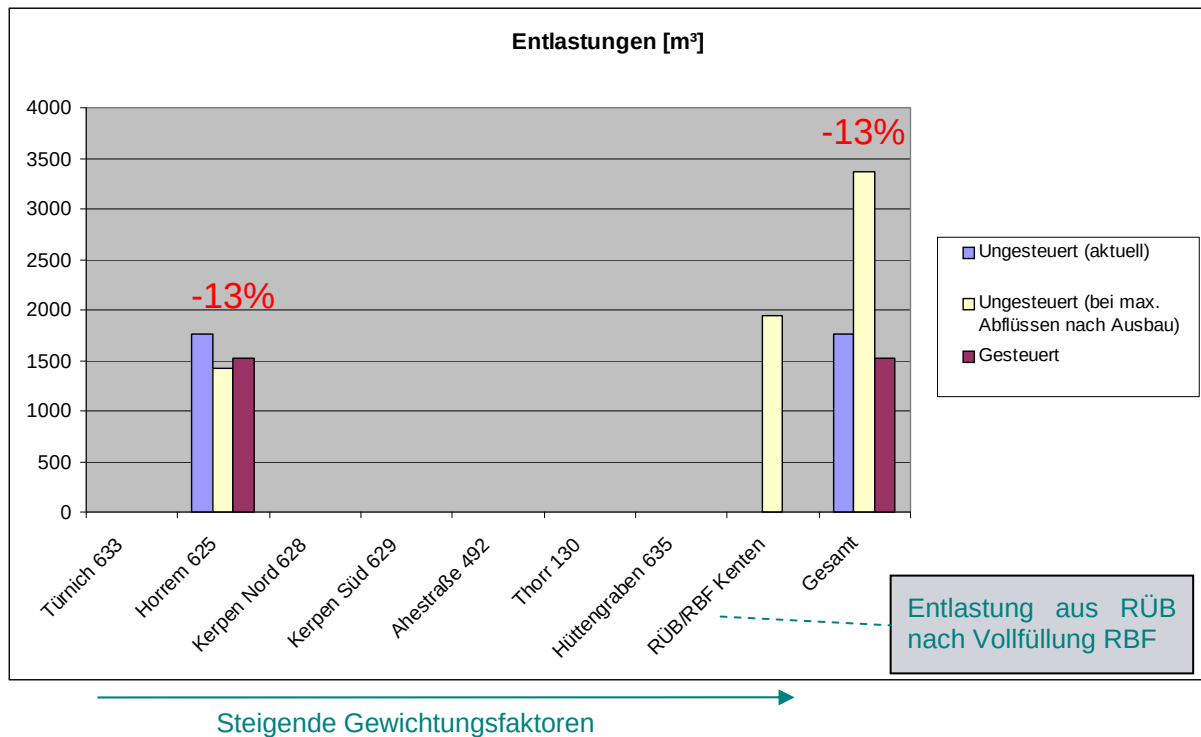


Bild 6-47: Ereignis 16, Entlastungen im Vergleich

Tabelle 6-19: Ereignis 16 Entlastungen im Vergleich

RÜB		Entlastungen [m³]			
		Ungesteuert	Gesteuert	Differenz	
				absolut	prozentual
633	RÜB Türnich	0	0	0	
625	RÜB Horrem	1.756	1.527	-229	-13%
628	RÜB Kerpen Nord	0	0	0	
629	RÜB Kerpen Süd	0	0	0	
492	RÜB Ahestraße	0	0	0	
130	RÜB Thorr	0	0	0	
635	RÜB Hüttengraben	0	0	0	
218	RÜB/RBF Kanten	0	0	0	
Gesamt		1.756	1.5278	-229	-13%

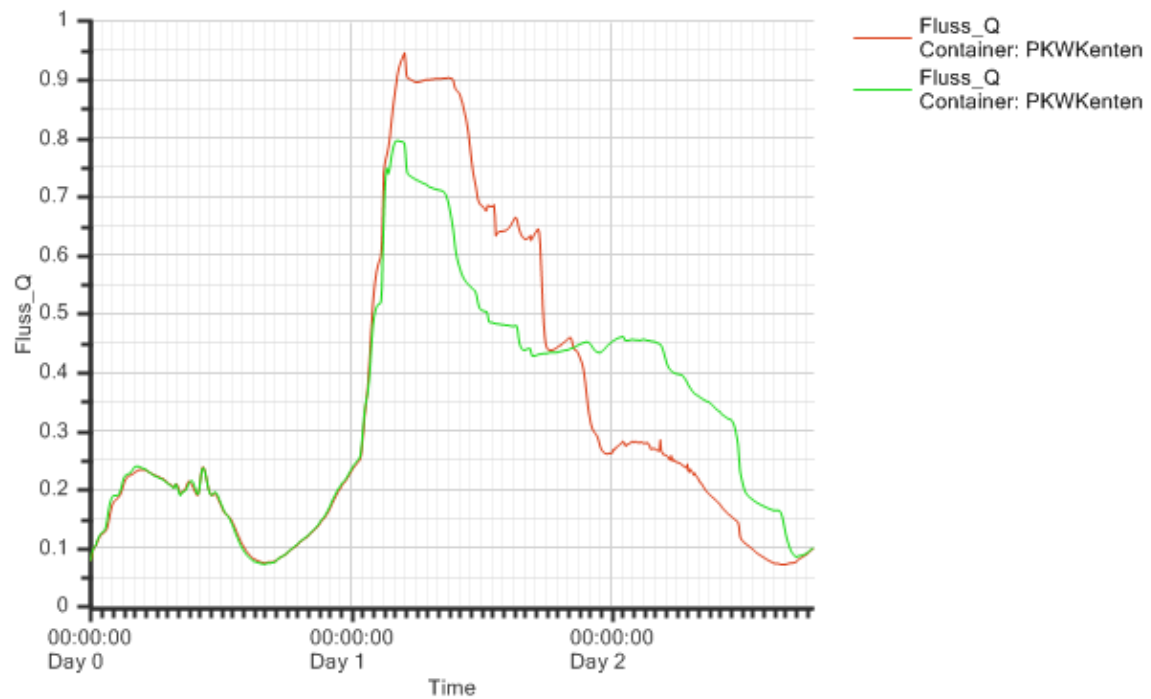


Bild 6-48: Ereignis 16, Zufluss GWK [m³/s] (grün ungesteuert, rot gesteuert)

6.9 Risiko- und Störungsanalyse und Ausfallstrategie

Mit der Einführung einer Steuerung wird dynamisch in das Abflussgeschehen der Kanalnetzsteuerung eingegriffen. Hierbei werden Zustandsinformationen aus unterschiedlichen Teilen des Kanalnetzes für die Ableitung von Steuerungseingriffen berücksichtigt. Für den Erfolg der Steuerung sind die Güte, die Aktualität und die Zuverlässigkeit der Zustandsinformationen entscheidend. Falsche und nicht aktuelle Zustandsinformationen können zu falschen Steuerungseingriffen führen, die die Ziele der Steuerung negativ beeinflussen. Daher wird für die Steuerung der Bereich der Zustandsinformationen in einer Risiko- und Störungsanalyse genauer betrachtet, als wesentliche Randbedingung vor dem Einsatz und für die Genehmigungsfähigkeit der Steuerung.

Die Risiko- und Störungsanalyse umfasst alle Bau- und EMSRN-technischen Elemente des betrachteten Netzes und das übergeordnete Leitsystem, sofern dieses für die Funktionssicherheit relevant ist. Berücksichtigt werden müssen in diesem Zusammenhang auch die Betriebsorganisation und die Personalressourcen (N.N. 2009b).

Entsprechend DWA (2005): DWA-Merkblatt M 180 sind die Risiken und Auswirkungen von Störungen und Ausfällen einzelner Anlagenteile und in Kombination mit anderen Anlagenteilen zu prüfen, zu bewerten und erforderliche Gegenmaßnahmen abzuleiten. Es ist hierbei grundsätzlich davon auszugehen, dass jedes Anlagenteil (z. B. Messgerät, Antrieb, SPS, Stromversorgung) ausfallen kann und die Auswirkungen sehr vielschichtig sein können.

Zur Einrichtung einer Abflusssteuerung im Einzugsgebiet des GKW sind noch technische Einrichtungen zu ergänzen bzw. auszutauschen (wie derzeit die Messungen zur Erfassung des Höhenstands an einigen Bauwerken) und auch die Leittechnik nachzurüsten. Da sich dies unmittelbar auf das Ergebnis der Risiko- und Störungsanalyse auswirkt, wird im Folgenden das generelle Vorgehen einer detaillierten Analyse beschrieben, welches in der Phase 2 des Forschungsprojekts mit konkreten Inhalten gefüllt werden soll.

6.9.1 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse

Eine praxisnahe Vorgehensweise für die Erstellung einer Risiko- und Störungsanalyse ist die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse bzw. Ausfalleffektanalyse. Diese eröffnet die Möglichkeit, sich frühzeitig mit möglichen technischen Fehlern und deren Auswirkungen zu befassen. Ziel ist die Entwicklung einer Strategie der Vorbeugung bzw. der Fehlervermeidung.

Relevante Bearbeitungsschritte der Analysen sind dabei:

- Festlegung des Teilnehmerkreises
- Sammlung/Auflistung der möglichen Fehler zu jeder Funktion und Eigenschaft (Störungskette)
- Beschreibung der Auswirkungen (Fehlerfolge) auf die jeweilige Anlage oder das Gesamtsystem (Bewertungsmatrix)

- Suche und Beschreibung der Ursachen der Fehler unter Berücksichtigung von Betriebserfahrungen
- Festlegung der Wahrscheinlichkeit (W) des Eintretens eines Fehlers (Bewertungsmatrix)
- Festlegung der Bedeutung (B) des Fehlers für den Betrieb im Hinblick auf die Funktionsfähigkeit (Bewertungsmatrix)
- Ermittlung des Gesamtrisikos jedes Fehlers durch Multiplikation von $W \times B$ (Bewertungsmatrix)
- Erarbeitung von präventiven / korrektiven Maßnahmen zur Risikobewältigung (Handlungsanweisungen)
- Dokumentation der Analyse

6.9.2 Teilnehmerkreis

Im ersten Schritt werden die Teilnehmer für die Durchführung der Fehler- und Störungsanalysen festgelegt, d.h. welche Personen von der planenden Seite und welche von der Seite des Betreibers mitwirken.

Die ersten Arbeitsergebnisse werden von der planenden Seite vorgelegt, mit dem Betriebspersonal diskutiert und mit den Erfahrungen des Betreibers präzisiert. Diese Dokumentation dient dann als Grundlage zur Vorstellung bei der Genehmigungsbehörde, damit unter Einbeziehung der letzteren eine einvernehmliche Genehmigungsunterlage erstellt werden kann.

6.9.3 Erstellung einer Störungskette

Als Grundlage erster Betrachtungen zur Auflistung möglicher Fehler wird eine Störungskette in tabellarischer Form erstellt.

In der so aufgebauten Tabelle „Störungskette“ sind nacheinander jeweils vertikal und horizontal alle einzelnen Anlagenteile des Bauwerkes aufgelistet. Die Anlagenteile sind aufgeführt nach Aggregaten, Antriebe der Aggregate, Vor-Ort-Steuerungen soweit vorhanden, Messgeräte (Durchfluss, Füllstand) und zugehörige Visualisierungsgeräte, Signalgeber, lokale SPS, Datenfernübertragungsanlagen und Stromversorgung des Bauwerkes.

Die Beeinflussungen und die Auswirkungen bei Ausfall oder Störung der aufgeführten Anlagenteile innerhalb des Bauwerks und bauwerksübergreifend werden durch eine Wichtung mit einer Skala zwischen 1 und 10 versehen und gewertet.

Die Bedeutung (B) bei Ausfall oder Störung der aufgeführten Anlagenteile für den Betrieb und deren Folgen für die Einflussbereiche

- lokales Steuerbauwerk
- andere Steuerbauwerke
- Steuerungszentrale
- Klärwerk

- Kanalbetrieb
- Klärwerksbetrieb
- Gewässer

werden ebenfalls mit einer Wichtung der Skala zwischen 1 und 10 festgelegt. Weiterhin sind die ermittelten Einzelauswirkungen der Anlagenteile insgesamt und für jedes Bauwerk einzeln aufzusummieren. Die Summe der Einzelauswirkungen wird dann mit der Ausfallwahrscheinlichkeit multipliziert.

6.9.4 Erstellung einer Bewertungsmatrix

Die Erstellung einer Bewertungsmatrix erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird das Gesamtrisiko der einzelnen Anlagenteile ermittelt. Im zweiten Schritt werden diese Ergebnisse mit dem Betreiber der Steuerbauwerke diskutiert und die Ergebnisse in der Tabelle „Bewertungsmatrix mit Betreibererfahrung“ dargestellt.

Zunächst wird für die schon in der Tabelle „Störungskette“ aufgeführten Anlagenteile die Ausfallwahrscheinlichkeit (W) (Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Fehlers) als Erstein-schätzung festgelegt.

Das Produkt der Multiplikation Ausfallwahrscheinlichkeit (W) mit der Summe der Einzelauswirkungen (A) aus der Tabelle Störungskette stellt ein erstes Indiz für das Risiko bestimmter Anlagenteile hinsichtlich seiner vielfältigen Auswirkungen auf andere Anlagenteile dar. Die Werte schwanken. Anlagenteile mit Werten über 1000 stellen Anlagenteile mit hohem Risiko dar.

Weiterhin wird in der „Bewertungsmatrix ohne Betreibererfahrung“ in der Spalte $W \times B$ das Gesamtrisiko ermittelt. Das Gesamtrisiko eines Fehlers (Ausfalls) für das entsprechende Anlagenteil ergibt sich aus der Multiplikation der Ausfallwahrscheinlichkeit (W) mit der Bedeutung (B) des Fehlers und dessen Folgen auf bestimmte Bereiche der Abflusssteuerung. Für die Bedeutung (B) wird der in der Tabelle „Störungskette“ festgelegte Wert für die Einflussbereiche lokales Steuerbauwerk, andere Steuerbauwerke, Steuerungszentrale, Klärwerk, Kanalbetrieb, Klärwerksbetrieb und Gewässer verwendet. Das Produkt ($W \times B$) kann maximal 100 betragen. Tendenziell korrespondiert das Gesamtrisiko der Anlagenteile mit den aus den Einzelauswirkungen resultierenden Werten,.

Nach erfolgter Vorstellung und ausführlicher Diskussion der Bewertungsmatrix mit dem Betreiber wird die Tabelle (Bewertungsmatrix ohne Betreibererfahrung) ergänzt um die Spalten „Einschätzung W durch Betreiber“ und Bedeutung (B) für die einzelnen Bereiche. Dabei ist oft festzustellen, dass aus den gesammelten Betriebserfahrungen die Ausfallwahrscheinlichkeit (W) niedriger und teilweise die Bedeutung (B) höher eingestuft wird.

Zur Vereinfachung für die Weiterbearbeitung wird festgelegt, dass Anlagenteile, die das gleiche Aggregat betreffen, nicht mehr differenziert betrachtet werden. So werden z. B. die An-

lagenteile Regelschieber, Antrieb und Vor-Ort-Steuerstelle für weitere Betrachtungen nur noch als Regelschieber zusammengefasst und aufgeführt. Anlagenteile, die keinen Einfluss auf die Abflusssteuerung haben, werden ebenfalls nicht mehr berücksichtigt.

Die ursprünglich festgelegten Einflussbereiche der Anlagenteile, werden teilweise zusammengefasst und auf die Einflussbereiche lokales Steuerbauwerk, Gesamtsystem, Gewässer und Klärwerk (es entfallen andere Steuerbauwerke, Steuerungszentrale, Kanalnetz- und Klärwerksbetrieb) reduziert.

Im zweiten Schritt werden die „bereinigten“ Diskussionsergebnisse in einer neuen Tabelle „Bewertungsmatrix mit Betreibererfahrungen“ dargestellt. Zusätzlich wird die Spalte „Ausfallszenario / Annahmen, Regionale Steuerung bei Regenwetter, ungünstigster Fall“ in die Tabelle eingefügt.

6.9.5 Einführung eines Bagatellwertes

Nach dem Bearbeitungsstand der Tabelle „Bewertungsmatrix mit Betreibererfahrungen“ werden für jedes Bauwerk die Ausfallwahrscheinlichkeiten W , die Bedeutung B und das Gesamtrisiko $R = W \times B$ in Diagrammen dargestellt.

Im Diagramm Gesamtrisiko wird ein Bagatellwert mit 5 von 100 eingeführt. Alle Anlagenteile, die ein Gesamtrisiko von kleiner gleich 5 aufweisen, werden für die Erarbeitung von Maßnahmen zur Risikobehandlung nicht herangezogen, da sie ein kleines Risiko darstellen und die Wahrscheinlichkeit des Einflusses auf die regionale Steuerung gering ist.

Die verbleibenden Anlagenteile werden in einer neuen Tabelle mit Angaben zur Risikobehandlung (Handlungsanweisungen) zusammengefasst.

6.9.6 Handlungsanweisungen

In der Tabelle (Bewertungsmatrix mit Betreibererfahrung) sind die Anlagenteile der einzelnen Bauwerke, das Ausfallszenario als ungünstigster Fall und die Handlungsanweisungen aufgeführt. Die Handlungsanweisungen betreffen sowohl den Betriebsführer der Leitwarte als auch den Anlagenfahrer des Netzbetriebs. In der Tabelle sind die Maßnahmen der Risikobewältigung für jedes Anlagenteil farblich für jeden Bereich unterschieden. Zur Übersicht werden für die Anlagenteile auch die Ausfallwahrscheinlichkeit und das Gesamtrisiko aufgeführt.

Bei den Maßnahmen für den Bereich Leitwarte handelt es sich in erster Linie um die Registrierung der Störmeldung und deren Weiterleitung an den Betrieb, damit die Störung möglichst vor Ort beseitigt werden kann. Bei Störungen bzw. Ausfall von Anlagenteilen, die durch geeignete Maßnahmen an anderen Anlagenteilen kompensiert werden können, ist nach genauer Vorgabe von Einstellwerten über den Fern-Hand-Betrieb ein Eingriff der Leitwarte möglich bzw. erforderlich. Nach Beseitigung der Störung ist durch die Leitwarte der ordnungsgemäße Automatikbetrieb zu überprüfen.

Die Maßnahmen für den Bereich Betrieb betreffen nach Information über die Störung durch die Leitwarte in erster Linie die Überprüfung des Anlagenteils vor Ort und die Störungsbeseitigung. Zur praktischen Handhabung der Handlungsanweisungen sollten diese in Form eines Störungshandbuches in geeigneter Form aufbereitet werden und sowohl der Leitwarte als auch dem Betrieb uneingeschränkt zur Verfügung stehen. Entsprechende Schulungen für den Störbetrieb können die Effizienz der Umsetzung entsprechender Maßnahmen erhöhen.

Nachfolgend wird eine mögliche Form für die ersten 3 Seiten aus einem Störungshandbuch vorgeschlagen.

Kanalnetzsteuerung - regionale Verbundsteuerung

Seite 1 von 11

Störungshandbuch

SBW 1 - Steuerbauwerk 1
 RBW - Rechenbauwerk
 SBW 4 - Steuerbauwerk 4
 SBW 5 - Steuerbauwerk 5

W = Ausfallwahrscheinlichkeit
 B = Bedeutung
 R = Gesamtrisiko = B x W

01	Regelschieber DN 1200
02	Regelschieber DN 800
03	MID DN 1200
04	MID DN 800
05	Füllstandsmesssonde F2 (vor Wehr)
06	Entlastungswehr
07	Signalgeber Entlastung Stauschild
08	Überflutungssonde Betriebsraum
09	lokale SPS
10	Fernübertragung zur Leitwarte
11	Fernübertragung zur Leitwarte

Bauwerk	Ild.-Nr.	Name des Anlagenteils	W	Gesamtrisiko				Ausfallszenario / Annahmen Regionale Steuerung bei Regenwetter, ungünstigster Fall	Reaktion regionale Verbundsteuerung
				lokales Bauwerk	Gesamtsystem	Vorfluter	Kläwerk		
				R	R	R	R		
SBW 1	01	Regelschieber (RS) DN 1200	4	32	20	12	8	Schieber in Grundposition (teilgeschlossen), keine Drosselung möglich. Nur bei Ausfall bereits im TW, da sonst Regelschieber schon teilgeschlossen (Regelposition) im RW-Fall	Reduzierung Drosselabfluß SBW 4 und 5
Handlungsanweisung									
Betriebsführer Leitwarte Abwasser (B) / Anlagenfahrer (Bereitschaft) Betrieb Netze (A)									
Störmeldung									
B: Überprüfung: Drosselabflüsse (einzeln und gesamt) Überprüfung des Automatikbetriebs nach Störungsbeseitigung Fern-Hand-Betrieb: bei Überschreitung max. Gesamt-QDr Absperrschieber DN 1200 zufahren und Regelschieber DN 800 auf festgelegte Drosselposition fahren Überprüfung des Automatikbetriebs nach Störungsbeseitigung									
A: Ursache vor Ort überprüfen / Störung beseitigen									

Bild 6-49

Seite 1 für SBW 1, Muster Störungshandbuch

Kanalnetzsteuerung - regionale Verbundsteuerung

Seite 2 von 11

Störungshandbuch

SBW 1 - Steuerbauwerk 1
 RBW - Rechenbauwerk
 SBW 4 - Steuerbauwerk 4
 SBW 5 - Steuerbauwerk 5

W = Ausfallwahrscheinlichkeit
 B = Bedeutung
 R = Gesamtrisiko = B x W

01	Regelschieber DN 1200
02	Regelschieber DN 800
03	MID DN 1200
04	MID DN 800
05	Füllstandsmesssonde F2 (vor Wehr)
06	Entlastungswehr
07	Signalgeber Entlastung Stauschild
08	Überflutungssonde Betriebsraum
09	lokale SPS
10	Fernübertragung zur Leitwarte
11	Fernübertragung zur Leitwarte

Bau- werk	Ild.-Nr.	Name des Anlagenteils	w	Gesamtrisiko				Ausfallszenario / Annahmen Regionale Steuerung bei Regenwetter, ungünstigster Fall	Reaktion regionale Verbundsteuerung
				lokales Bauwerk	Gesamtsystem	Vorfluter	Klärwerk		
				R	R	R	R		
SBW 1	02	Regelschieber (RS) DN 800	3	24	15	9	6	Schieber offen, keine Drosselung möglich	Reduzierung Drosselabfluß SBW 4 und 5

Handlungsanweisung

Betriebsführer Leitwarte Abwasser (B) / Anlagenfahrer (Bereitschaft) Betrieb Netze (A)

Störmeldung

B: Überprüfung: Drosselabflüsse (einzeln- und gesamt)

Fern-Hand-Betrieb: bei Überschreitung max. Gesamt-Q_D Absperrschieber DN 800 zufahren und Regelschieber DN 1200 auf festgelegte Drosselposition fahren

Überprüfung des Automatikbetriebs nach Störungsbeseitigung

A: Ursache vor Ort überprüfen - Störung beseitigen

Bild 6-50: Seite 2 für SBW 1, Muster Störungshandbuch

Kanalnetzsteuerung - regionale Verbundsteuerung

Seite 3 von 11

Störungshandbuch

SBW 1 - Steuerbauwerk 1
 RBW - Rechenbauwerk
 SBW 4 - Steuerbauwerk 4
 SBW 5 - Steuerbauwerk 5

W = Ausfallwahrscheinlichkeit
 B = Bedeutung
 R = Gesamtrisiko = B x W

01	Regelschieber DN 1200
02	Regelschieber DN 800
03	MID DN 1200
04	MID DN 800
05	Füllstandsmesssonde F2 (vor Wehr)
06	Entlastungswehr
07	Signalgeber Entlastung Stauschild
08	Überflutungssonde Betriebsraum
09	lokale SPS
10	Fernübertragung zur Leitwarte
11	Fernübertragung zur Leitwarte

Bau- werk	Ild.-Nr.	Name des Anlagenteils	w	Gesamtrisiko				Ausfallszenario / Annahmen Regionale Steuerung bei Regenwetter, ungünstigster Fall	Reaktion regionale Verbundsteuerung
				lokales Bauwerk	Gesamtsystem	Vorfluter	Klärwerk		
				R	R	R	R		
SBW 1	03	MID DN 1200	6	48	60	36	42	kein Messwert, also wird 0 als falscher Messwert angezeigt und in der Regelung verwendet	Umschaltung auf lokale Steuerung

Handlungsanweisung

Betriebsführer Leitwarte Abwasser (B) / Anlagenfahrer (Bereitschaft) Betrieb Netze (A)

Störmeldung

B: Überprüfung: Position RS 1200 / MID 800 SBW 1 und Q Dr / andere SBWs

Fern-Hand-Betrieb: RS DN 1200 zu fahren / RS 1200 bei Trockenwetter wieder auffahren

Überprüfung des Automatikbetriebs nach Störungsbeseitigung

A: Ursache vor Ort überprüfen - Störung beseitigen

Bild 6-51: Seite 3 für SBW 1, Muster Störungshandbuch

6.9.7 Ausfallstrategie

Neben der Risiko- und Störungsanalyse und Handlungsanweisungen bei Ausfall einzelner oder mehrerer Anlagenteile ist auch eine Ausfallstrategie zu erarbeiten und im Steuerungsprogramm zu hinterlegen. Diese Ausfallstrategie wird verfolgt, wenn die eigentliche Steuerung, in Kenten die Lösung des Optimierungsproblems nicht mehr sinnvoll möglich ist.

Die Kanalnetzsteuerung im Einzugsgebiet des GKW Kenten ist als Verbundsteuerung geplant, wobei 8 Becken gesteuert werden sollen. Für eine Ausfallstrategie sind die Prioritäten der einzelnen Becken für die Verbundsteuerung festzustellen, d.h. welche Becken für die Steuerung unbedingt erforderlich sind, so dass auch bei Ausfall einiger Bauwerke eingeschränkt gesteuert werden kann bzw. wann in den ungesteuerten Zustand zurückgefahren werden muss. Anhand der Messdaten und Störungsmeldungen wird für jedes einzelne Becken für definierte Zeitpunkte bestimmt, ob es „steuerbar“ oder „nicht steuerbar“ ist. Voraussetzung dafür ist, zu analysieren, welche Messwerte und Störmeldungen an jedem Becken vorhanden und darüber hinaus steuerungsrelevant sind. Beispiele für steuerungsrelevante Störungen sind z.B. die Störung der Steuerspannung oder Netzspannung, Störung der Messungen für Abflussmenge, Schieberstellung, Durchfluss, Störungen von Regelschiebern, Absperrklappen, Pumpen, Störungen von Sollwerten. Im Einzelnen gehören zu einer Ausfallstrategie folgende Punkte:

- Vorgehensweise bei Fehlen einzelner Monitoringgrößen
- Vorgehensweise bei Ausfall einzelner Steuerungsaggregate
- Vorgehensweise bei zeitweisem Ausfall der Optimierung
- Erstellung von Fallbackszenarien (z. B. mit genehmigten Defaulteinstellungen)

In diesem Zusammenhang kann auch geprüft werden, inwieweit unplausible Messungen logisch ersetzt werden können, so dass die Plausibilität an einem Becken wiederhergestellt ist. Ein Beispiel soll dies erläutern. Es wird an einem Becken ein Überlauf gemessen, obwohl die Füllstandsmessung „leer“ meldet. Die Abflussmenge entspricht aber dem Sollwert für die Abgabe bei gefülltem Becken. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass das Becken voll ist und die Füllstandsmessung nicht funktioniert. Somit kann das Becken zwar nicht gesteuert werden, aber die Informationen über die Abflussmengen und Überlaufmengen können für die Verbundsteuerung verwendet werden.

Die Erarbeitung einer Ausfallstrategie und Hinterlegung im Steuerungsprogramm kann in Phase 2 erfolgen. Um eine Abflusssteuerung möglichst schnell in Betrieb nehmen zu können, kann zunächst mit einer „vereinfachten Ausfallstrategie“ gearbeitet werden, d.h. sobald eine oder mehrere Komponenten nicht ordnungsgemäß funktionieren bzw. die Signalübertragung an einer Stelle unterbrochen ist, wird der Zustand „nicht steuerbar“ gesetzt und in die Default-Einstellungen zurückgefahren.

Für die geplante Steuerung im EZG des GKW Kanten müssen in den Vor-Ort-Steuerungen ca. 30 Messwerte fehlerfrei erfasst werden und ca. 20 Aggregate einwandfrei funktionieren sowie die Signalübertragung auf zehn Fernwirkstrecken störungsfrei laufen, damit alle die Steuerung direkt beeinflussenden Komponenten fehlerfrei laufen. Die Anzahl der Komponenten ist damit überschaubar und erfahrungsgemäß relativ schnell ein betrieblich stabiler Zustand zu erreichen, so dass die komplexere Ausfallstrategie später implementiert werden kann.

7 Genehmigungsverfahren – „Behördenkatalog“

Die Anforderungen zum Nachweis der Mischwasserbehandlung sind in Deutschland länder-spezifisch. Für die Genehmigung von Abflussteuerungen gibt es in Deutschland und auf Länderebene kein einheitliches Verfahren, so dass bisher für jedes Praxisbeispiel neu entschieden werden muss. Ein standardisiertes Verfahren würde den Aufwand sowohl für die Betreiber als auch für die genehmigenden Behörden verringern und gewährleisten, dass bestimmte Mindestanforderungen erfüllt werden.

Aus den Erfahrungen bisheriger Forschungsprojekte wurde die nachstehende Checkliste (Tabelle 7-1) erstellt, die als Orientierung dienen soll, um zu prüfen, ob alle Voraussetzungen für die Genehmigung einer Abflussteuerung erfüllt sind.

Die Checkliste ist eine Inhaltsbeschreibung. Denkbar sind in Zukunft auch Standardisierungen für einzelne Punkte, wie die Festlegung einer maßgebenden Niederschlagsbelastung oder einer verbindlichen Testphase vor Inbetriebnahme der Steuerung. Jedoch werden diese Standardisierungen auch in Zukunft immer mit den Zielen den jeweiligen Steuerungen korrespondieren.

Tabelle 7-1: Checkliste für die Genehmigung einer Abflusssteuerung

Inhalt	zugehörige Unterlagen	vorhanden bzw. erfüllt ✓
Beschreibung Projektgebiet		
Gebiets- und Netzdaten	Projektbericht, Netzanzeige, Schmutzfrachtberechnung, ...	
Niederschlagsbelastung	Projektbericht, N-Stationen	
Besonderheiten (Schutzgebiete,...)	...	
Emissionsnachweis	ggf. länderpezifisch	
Angewendetes Verfahren bzw. Programm		
Zulässigkeit Entlastungen an Einleitstellen		
(Immissionsnachweis)		
Nach BWK-M3 bzw. BWK-M7		
Darlegung Steuerziele		
z.B. Reduzierung Mischwasserentlastung, Optimierung Kanal- bzw. Kläranlagenbetrieb, Einsparung Speichervolumen		
Steuerpotenzial		
Abschätzung mit PASST	Ergebnis: vermutlich steuerungswürdig / für Steuerung prädestiniert	
Rechn. Nachweis durch Simulation	Ergebnis: Steuerpotenzial, zu steuernde Elemente	
Verwendete Programme, Niederschlagsbelastung		
Modellkalibrierung/ -verifizierung	verw. Datengrundlage, Umgang mit Fehlwerten, unplausiblen Werten	
Simulation Ist-Zustand	Modell/ Programm:	
Simulation gesteuerter Betrieb	Modell/ Programm:	
Vergleich Ist-Zustand und gesteuerter Betrieb	Ergebnis: Reduzierung Mischwasserentlastung in m³ od.%, Einsparung Speichervolumen in %, m³, ...	
Erläuterung Steuerstrategie		
Beschreibung der zu steuernden Elemente	Kenndaten V, Qdr, Hmax, ...	
Steueralgorithmus (Regeln, Optimierungsgleichung,...)		
Risiko- und Störungsanalyse		
Handlungsplan zur Störungsbeseitigung		
Ausfallstrategie	Vorgehen bei Fehlen von Aggregaten, Messgrößen, Optimierung	
EMSRN-Technik		
Bestand und Bedarf für zu steuernde Elemente	Betriebsdaten	
Steueralgorithmus (Regeln, Optimierung...)		
Planungsablauf Steuerung		
Theoretischer Nachweis		
Praktische Umsetzung mit Testphase		
Besonderheiten		
...		
...		

8 Immissionsbetrachtungen

8.1 Allgemeines, Datenlage, Gewässerschutzziele

Allgemeine Kriterien zur Betrachtung von Mischwasserentlastungen aus Sicht des Gewässers sind in den Merkblättern BWK M3 und M7, sowie im DWA-M-153 beschrieben (siehe auch Abschnitt 3.4). Auch in der DIN EN 752-4 (DIN 2008) sind Faktoren genannt, die berücksichtigt werden müssen, um die zulässigen Einleitungen und die Auswirkungen von Regenentlastungen auf Gewässer in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten zu betrachten. Dazu gehören die Lage der Regenentlastungen, die Schmutzfrachten, die Dauer und die Häufigkeit der Einleitungen, die Schadstoffkonzentration und der hydrobiologische Stress (DIN 2008). Daneben gibt es Hinweise aus den Ausarbeitungen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie, z.B. aus den Gewässersteckbriefen.

Im Hinblick auf die im vorliegenden Projekt definierten Steuerziele sind die Gewässerschutzkriterien und die Immissionsbetrachtungen von entscheidender Bedeutung. Da die Messung von Stoffparametern in Mischwasserabschlägen noch keine gängige Praxis und damit die Erfassung von entlasteten Schmutzfrachten schwierig ist, werden allgemeine Kriterien aus den Merkblättern BWK M3 und M7, sowie aus DWA-M-153 für eine immissionsseitige Bewertung zugrunde gelegt. Neben den hydraulischen Grenzwertbetrachtungen ($HQ1_{prog} < HQ2_{pnat}$) können dafür die folgenden Kriterien herangezogen werden:

- Mischungsverhältnis: Schmutzwasser zu Niederschlagswasser der Mischwasserentlastung (gemäß ATV A 128 bzw. ATV-DVWK M 177)
- Entlastungsrate (vergleichmäßigen)
- Sensible Gewässerabschnitte (Quellbereich, Dauerstau, sehr langsam fließend, WRRL: Trittstein- und Strahlwirkungspotential, Versickerung,...)
- Wiederbesiedlungspotential (BWK M3 / M7)
- Wasserführung (MNQ)
- Verhältnis: Einleitmenge (bei $n=1$) zu MNQ
- Bewertung gem. WRRL (allg. Degradation)

Für die Einleitstellen der steuerwürdigen Regenbecken wird eine Bewertung entsprechend der obengenannten Grundlagendaten vorgenommen und in einer Bewertungsmatrix zusammengestellt (Tabelle 8-1 und Tabelle 8-2, Anlagen 5.1 und 5.2). Diese Bewertungsmatrix („Beckenüberlauf“) wurde bereits in Abschnitt 6.7.3 ausführlich erläutert.

Tabelle 8-1: Auszug aus der Tabelle „Grundlagendaten für die Bewertungsmatrix“ (Anlage 5.1 und Anlage 5.2)

Nr.	Bezeichnung	Entlastungs- rate e _o	mittleres Mischungs- verhältnis	mittl. entl. Schmutz- fracht CSB	Einleit-menge für n = 1	Einleitmenge	Gewässer- empfind- lichkeit	MNQ Gewässer	Q _{ein} / MNQ
		%	RW / SW	t / a	l/s	m³/a		l/s	-
a	b	k	l	m	n	o	q	r	s
633	RÜB Türrnich	28	34	19,5	3.195	123.000	niedrig	1200	2,7
629	RÜB Kerpen Süd	15	13	28,0	7.266	169.000	mittel	50	145,3
628	RÜB Kerpen Nord	33	10	16,1	3.251	130.000	mittel	50	65,0
625	RÜB Horrem	38	19	28,6	3.002	137.000	niedrig	1500	2,0
635	RÜB Hüttengraben	31	10	47,9	5.245	205.000	hoch	300	17,5
492	RÜB Ahestr.	6	54	1,3	1.963	51.000	hoch	300	6,5
130	RÜB / PW Thorr	17	28	< 1	1	1	hoch	300	0,0
218	RÜB Kenten	30	9	< 5	400	30.000	niedrig	1800	0,2
218	RBF Kenten	<< 10	-	< 2	60	80.000	niedrig	1800	0,0
76	GKW Kenten	-	-	-	-	-	niedrig	1800	-
gelb unterlegt: eher ungünstige Verhältnisse									

Tabelle 8-2: Auszug aus der Tabelle „Bewertungsmatrix“ (Anlage 5.1 und Anlage 5.2)

Nr.	Bezeichnung	Entlastungs- rate e _o	mittleres Mischungs- verhältnis	mittl. entl. Schmutz- fracht CSB	Einleit-menge für n = 1	Einleitmenge	Gewässer- empfind- lichkeit	MNQ Gewässer	Q _{ein} / MNQ	Summe	Vorschlag für Wichtungsfaktor [z3 * 15 und runden auf ganze
a	b	t	u	v	w	x	y	z1	z2	z3	z4
633	RÜB Türrnich	6	0	3	6	5	0	0	5	25	400 ^(*)
629	RÜB Kerpen Süd	3	5	6	9	7	5	9	9	53	800 ^(*)
628	RÜB Kerpen Nord	7	5	3	6	5	5	9	9	49	700
625	RÜB Horrem	8	2	6	6	5	0	0	5	32	500
635	RÜB Hüttengraben	7	5	9	9	9	9	5	9	62	900
492	RÜB Ahestr.	2	0	1	4	2	9	5	9	32	750 ^(*)
130	RÜB / PW Thorr	4	0	1	0	0	9	5	0	19	750 ^(*)
218	RÜB Kenten	6	5	1	0	0	0	0	0	12	100 bzw. 2000 ^(*)
218	RBF Kenten	0	0	1	0	2	0	0	0	3	100 bzw. 2000 ^(*)
76	GKW Kenten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Die im Forschungsprojekt betroffenen Gewässer: Erft, Neffelbach, Kleine und Große Erft werden in der Spalte „Gewässerempfindlichkeit“ in drei Stufen „niedrig“, „mittel“ und „hoch“ eingestuft. Hierzu werden

- die Gewässerbeurteilungen bzw. die Gewässergüte gem. WRRL (allg. Degradation aus: Steckbriefe der Planungseinheit Erft)
- die Untersuchungsergebnisse des Erftverbands (EV 2010, Kapitel 3 „Ergebnisse der biologischen Gewässeruntersuchungen“), z.B. Wiederbesiedlungspotenzial sowie
- die Wasserführung bei MNQ/ Fließgeschwindigkeiten und
- die Hochwassergefährdung herangezogen.

Daraus folgt die Einstufung „niedrige“ Gewässerempfindlichkeit für den Erftmittellauf, „mittel“ für den Neffelbach und „hoch“ für die Kleine und Große Erft.

Insgesamt werden acht Kriterien bewertet und mit einer Punktzahl zwischen 0 bis 9 versehen, je höher die Punktzahl, desto ungünstiger. Entsprechend der Summe der Einzelbewertungen ergibt sich dann der Faktor.

Die Bewertungsmatrix ist die Basis zur Ableitung von Wichtungsfaktoren (Abschnitt 6.7.3), die zur Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten in die Zielfunktion der Optimierungsgleichung für die Steuerung einfließen. Für die steuerwürdigen Becken im EZG des GKW Kenten liegen die Wichtungsfaktoren zwischen 100 und 2.000 als Ersteinschätzung. Die Faktoren können im laufenden Forschungsprojekt geändert und optimiert werden bzw. ist auch zu prüfen, ob weitere Schutzkriterien in einer Bewertungsmatrix aufzunehmen sind.

8.2 Entlastungsfrachten im ungesteuerten und gesteuerten Zustand

Im Kapitel 6.8 sind die Entlastungsvolumina für den ungesteuerten und den gesteuerten Betrieb gegenübergestellt, die mit SIWA SEWER ASSIST berechnet wurden. Aus Immissions-sicht ist aber auch die entlastete Schmutzfracht entscheidend. Allerdings sind Messeinrichtungen von Stoffparametern für Mischwasserabschläge noch keine gängige Praxis, so dass die entlastete Schmutzfracht durch Simulation ermittelt wird.

Das zur Berechnung der Entlastungsvolumina verwendete SIWA SEWER kann prinzipiell auch Frachten rechnen, allerdings sind Erweiterungen erforderlich, um Frachten in die Optimierung zu integrieren und eine frachtbasierte Kanalnetzsteuerung zu implementieren.

Die entlastete CSB-Schmutzfracht wird hier abgeschätzt aus dem Produkt der mit SIWA SEWER berechneten Entlastungsvolumina und den mit dem hydrologischen Langzeitsimulationsmodell MOMENT (BGS 2009) ermittelten Verschmutzungskonzentrationen. Die CSB-Konzentrationen werden für jedes Ereignis und jedes Becken unter Zugrundelegung einer ungleichmäßigen Überregnung (siehe Abschnitt 4.3) ermittelt.

Für die Berechnung der Verschmutzungskonzentration in MOMENT liegen folgende modell-spezifische Annahmen zugrunde. Der Schmutzeintrag in das Kanalnetz erfolgt über den Trockenwetterzufluss kanalisierter Flächen, Einzeleinleiter und den Regenwetterabfluss. Die Kenngrößen des Trockenwetterabflusses werden gemäß der Netzanzeige von 2010 angesetzt. Der Abfluss durchlässiger Flächen wird als unverschmutzt angenommen, wohingegen undurchlässigen Flächenanteilen nach ATV Arbeitsblatt A 128 (ATV, 1992) ein jährliches Schmutzpotenzial von 600 kg CSB/(ha*a) zugewiesen wird. Für den Schmutzfrachttransport wird ein konservatives Transportverhalten angesetzt, da keine detaillierten Kenntnisse über die Umsetzungsvorgänge im Kanal vorliegen.

Die simulierten Verschmutzungskonzentrationen hängen von der Mischungskonzentration und ortsspezifischen Parametern ab und differieren daher für die einzelnen Bauwerke. Der

hohe Wert beim RÜB/RBF Kenten (Nr. 218) ist auf die Lage unmittelbar vor der Kläranlage zurückzuführen. Durch Entlastungen an überliegenden Regenüberlaufbauwerken wird verhältnismäßig hoch belastetes Mischwasser dem Gruppenklärwerk zugeführt.

Die folgenden Tabellen stellen die berechneten Entlastungsvolumina (aus SIWA SEWER), die CSB-Entlastungskonzentrationen (aus MOMENT) und die daraus resultierende Schmutzfracht für den ungesteuerten und gesteuerten Betrieb für die fünf Einzelereignisse und als Summe aller Ereignisse dar.

Tabelle 8-3: Vergleich entlasteter Schmutzfrachten für das Einzelereignis 4

Ereignis 4	Entlastungsvolumina [m ³]		C _{CSB}	entlastete Schmutzfracht [kg CSB]		Differenz [%]
	ungesteuert	gesteuert		ungesteuert	gesteuert	
RÜB			MOMENT			
633 RÜB Türnich	0	0	0	0	0	
625 RÜB Horrem	3.164	2.902	145	459	421	-8%
628 RÜB Kerpen Nord	3.582	0	0	0	0	
629 RÜB Kerpen Süd	0	0	0	0	0	
492 RÜB Ahestraße	0	0	0	0	0	
130 RÜB Thorr	0	0	0	0	0	
635 RÜB Hüttengraben	24.652	12.097	152	3.747	1.839	-51%
218 RÜB/RBF Kenten	0	0	0	0	0	
Gesamt	31.398	14.999		4.206	2.259	-46%

Für Einzelereignis 4 werden lediglich drei der acht zu steuernden Bauwerke überlastet. An RÜB Kerpen Nord findet nach hydrodynamischer Simulation eine Entlastung statt, aber in der Berechnung mit MOMENT nicht, weshalb hier die Entlastungskonzentration Null ist. Auch bei den folgenden simulierten Ereignissen ist die Entlastungskonzentration Null, wenn nach MOMENT kein Abschlag stattfindet, auch wenn nach hydrodynamischer Simulation entlastet wird.

An zwei der drei Regenüberlaufbecken (625, 635) wird die punktuell entlastete Schmutzfracht im gesteuerten Zustand reduziert. Insgesamt ergibt sich eine Reduzierung der Schmutzfracht um 46 % bei diesem Ereignis.

Tabelle 8-4: Vergleich entlasteter Schmutzfrachten für das Einzelereignis 8

Ereignis 8	Entlastungsvolumina [m ³]		c _{CSB}	entlastete Schmutzfracht [kg CSB]		Differenz
	Ungesteuert	Gesteuert		ungesteuert	gesteuert	
RÜB			MOMENT			[%]
633 RÜB Türnich	7.648	8.697	133	1.017	1.157	14%
625 RÜB Horrem	11.301	11.543	134	1.514	1.547	2%
628 RÜB Kerpen Nord	8.089	4.851	134	1.084	650	-40%
629 RÜB Kerpen Süd	4.912	3.008	136	668	409	-39%
492 RÜB Ahestraße	1.440	1.184	133	192	158	-18%
130 RÜB Thorr	0	1.703	0	0	0	
635 RÜB Hüttengraben	8.932	2.321	164	1.465	381	-74%
218 RÜB/RBF Kenten	0	0	158	0	0	
Gesamt	42.322	33.307		5.940	4.301	-28%

Für das Einzelereignis 8 wird an zwei Bauwerken (633, 625) mehr Schmutzfracht entlastet, jedoch liegt die modelltechnisch ausgewiesene Verschmutzungskonzentration in einem mittleren Bereich. Der vergleichsweise stofflich höher belastete Volumenstrom am RÜB Hüttengraben erfährt eine reduzierte Überlastung, so dass dortig sowohl eine akute Gewässerbelastung (hohe Verschmutzungskonzentration) sowie eine schmutzfrachtbedingte Beeinträchtigung des Gewässers reduziert werden. Insgesamt wird die Schmutzfracht um 28 % reduziert.

Tabelle 8-5: Vergleich entlasteter Schmutzfrachten für das Einzelereignis 9

Ereignis 9	Entlastungsvolumina [m ³]		c _{CSB}	entlastete Schmutzfracht [kg CSB]		Differenz
	Ungesteuert	Gesteuert		ungesteuert	gesteuert	
RÜB			MOMENT			[%]
633 RÜB Türnich	35.854	40.267	142	5.091	5.718	12%
625 RÜB Horrem	32.281	33.902	145	4.681	4.916	5%
628 RÜB Kerpen Nord	28.362	34.672	143	4.056	4.958	22%
629 RÜB Kerpen Süd	24.219	17.866	146	3.536	2.608	-26%
492 RÜB Ahestraße	8.847	8.130	139	1.230	1.130	-8%
130 RÜB Thorr	0	2.749	0	0	0	
635 RÜB Hüttengraben	20.902	10.197	163	3.407	1.662	-51%
218 RÜB/RBF Kenten	1.795	4.495	164	294	737	150%
Gesamt	152.261	152.280		22.295	21.730	-3%

Für Einzelereignis 9 wird insgesamt eine Reduzierung der entlasteten Schmutzfracht um 3 % Prozent erzielt. Hier findet eine Verschiebung der Entlastung statt. Während an vier mit geringeren Verschmutzungskonzentrationen punktuell mehr Schmutzfracht emittiert wird, wird weniger höher belastetes Mischwasser an RÜB Hüttengraben abgeschlagen, so dass dort eine reduzierte Schmutzfrachtemission von 51 % vorliegt. Für dieses Ereignis ist kritisch anzumerken, dass an dem zentral vor dem Gruppenklärwerk gelegenen Überlaufbauwerk RÜB

Kenten bei gesteuertem Betrieb mehr entlastet wird. Zwar soll durch die Optimierungsroutine der Retentionsbodenfilter vor dem Klärwerk Kenten optimiert beschickt werden, jedoch ist eine Entlastung unmittelbar vor der Kläranlage (RÜB Kenten) aufgrund der stofflichen Belastung des Michwassers zu reduzieren. In der zugrundeliegenden Optimierungsgleichung können die Wichtungsfaktoren geändert bzw. Randbedingungen anders definiert werden, wenn ein Abschlag aus Kenten in jedem Fall ganz vermieden werden soll. Dies sind Aspekte, die in der Phase 2 des Projekts zu diskutieren sind.

Tabelle 8-6: Vergleich entlasteter Schmutzfrachten für das Einzelereignis 12

Ereignis 12	Entlastungsvolumina [m ³]		c _{CSB}	entlastete Schmutzfracht [kg CSB]		Differenz
	Ungesteuert	Gesteuert		ungesteuert	gesteuert	
RÜB			MOMENT			[%]
633 RÜB Türnich	557	612	0	0	0	
625 RÜB Horrem	891	731	137	122	100	-18%
628 RÜB Kerpen Nord	980	0	0	0	0	
629 RÜB Kerpen Süd	0	0	0	0	0	
492 RÜB Ahestraße	0	0	0	0	0	
130 RÜB Thorr	0	0	0	0	0	
635 RÜB Hüttengraben	0	0	0	0	0	
218 RÜB/RBF Kenten	0	0	0	0	0	
Gesamt	2.428	1.343		122	100	-18%

Für Ereignis 12 wird nur für RÜB Horrem eine Entlastung in beiden Modellen simuliert, wobei die entlastete Schmutzfracht im gesteuerten Betrieb geringer ausfällt. Für die RÜB Türnich und RÜB Kerpen Nord ist zwar keine Berechnung der Schmutzfracht möglich, aber durch die Tatsache, dass weniger Volumen abgeschlagen wird, verringert sich in jedem Fall auch die Entlastungsfracht im gesteuerten Betrieb.

Tabelle 8-7: Vergleich entlasteter Schmutzfrachten für das Einzelereignis 16

Ereignis 16	Entlastungsvolumina [m ³]		c _{CSB}	entlastete Schmutzfracht [kg CSB]		Differenz
	Ungesteuert	Gesteuert		ungesteuert	gesteuert	
RÜB			MOMENT			[%]
633 RÜB Türnich	0	0	0	0	0	
625 RÜB Horrem	1.756	1.527	148	260	226	-13%
628 RÜB Kerpen Nord	0	0	0	0	0	
629 RÜB Kerpen Süd	0	0	0	0	0	
492 RÜB Ahestraße	0	0	0	0	0	
130 RÜB Thorr	0	0	0	0	0	
635 RÜB Hüttengraben	0	0	0	0	0	
218 RÜB/RBF Kenten	0	0	0	0	0	
Gesamt	1.756	1.527		260	226	-13%

Beim Einzelereignis 16 entlastet lediglich das RÜB Horrem. Beim gesteuerten Betrieb werden die Schmutzfrachtemissionen um 13 % reduziert.

In Tabelle 8-8 sind die entlasteten Volumina und Schmutzfrachten als Summe aller betrachteten Ereignisse für jedes Bauwerk zusammengefasst. Dabei zeigt sich, dass die Reduzierung der Entlastungen durch Steuerung in der gleichen Größenordnung liegt, 12 % Reduktion im Volumen und 13 % Reduktion in der Fracht.

Tabelle 8-8: Vergleich entlasteter Schmutzfrachten, Mittel über alle Ereignisse

Summe Ereignisse 4, 8, 9, 12, 16	Entlastungsvolumina [m ³]		Differenz	entlastete Schmutzfracht [kg CSB]		Differenz
	Ungesteuert	Gesteuert		ungesteuert	gesteuert	
RÜB			[%]			[%]
633 RÜB Türnich	44.059	49.576	13%	6.108	6.875	13%
625 RÜB Horrem	49.393	50.606	2%	7.036	7.210	2%
628 RÜB Kerpen Nord	41.013	39.523	-4%	5.140	5.608	9%
629 RÜB Kerpen Süd	29.131	20.874	-28%	4.204	3.018	-28%
492 RÜB Ahestraße	10.287	9.315	-9%	1.421	1.288	-9%
130 RÜB Thorr	0	4.452		0	0	0%
635 RÜB Hüttengraben	54.486	24.615	-55%	8.619	3.882	-55%
218 RÜB/RBF Kenten	1.795	4.495	150%	294	737	150%
Gesamt	230.164	203.455	-12%	32.823	28.616	-13%

Hier ist anzumerken, dass in der Realität die Reduzierung der Entlastung noch größer ist, als die relativ kleine Prozentzahl vermuten lässt. Denn bei den fünf betrachteten Ereignissen mit einer Wiederkehrhäufigkeit von 1/a und 2/a werden bereits in Summe 4.200 kg/CSB eingespart. Bei Ereignissen mit größerer Wiederkehrhäufigkeit handelt es sich in der Regel um kleinere Ereignisse, bei denen an vielen Becken Abschlüsse ganz vermieden werden können und so ein noch größeres Steuerpotenzial bieten.

8.3 Fazit

Die in den vorigen Abschnitten ausgeführten Immissionsbetrachtungen können in diesem Projekt rein simulativ umgesetzt werden, da keine Messeinrichtungen zur Erfassung der entlasteten Schmutzfrachten im Gewässer vorhanden oder geplant sind. Im simulations- und optimierungsbasierten Assistenz- und Steuerungssystem SIWA SEWER ASSIST können z.B. für Frachten Festwerte an einzelnen Becken eingestellt oder als ein Parameter hinterlegt werden, somit die berechneten Abflusswerte beeinflussen und zu veränderten, d.h. frachtop-optimierten Steuerentscheidungen führen. Der praktische Nachweis geeigneter Festwerte oder Parameter kann nur messtechnisch erbracht werden. Die Installation und der Betrieb derartiger Messtechnik gehören derzeit aber noch zum Stand der Forschung und sind unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit für dieses Projekt nicht empfehlenswert. Grundsätzlich würde sich eine frachtbasierte Steuerung insbesondere für Gebiete mit inhomogenem Ver-

schmutzungspotenzial anbieten, um das gesamte Steuerpotenzial bestmöglich ausschöpfen zu können.

Der Vergleich der ungesteuerten und gesteuerten Entlastungsfrachten im vorhergehenden Abschnitt hat gezeigt, dass mit einer volumenorientierten Steuerung in jedem Fall auch eine Frachtreduzierung erzielt wird. Unter Einbeziehung der örtlichen Gegebenheiten, wie es in diesem Projekt durch die Wichtungsfaktoren in der Optimierungsgleichung realisiert ist, ist davon auszugehen, dass die erzielbare Frachtreduzierung mindestens in gleicher Höhe wie die erzielbare Volumenreduzierung ausfällt.

Vor diesem Hintergrund wird auf den Einsatz einer Messtechnik zur Erfassung von Verschmutzungskonzentrationen in diesem Projekt verzichtet, um dem wirtschaftlichen Aspekt gerecht zu werden und ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erreichen.

9 Handlungsempfehlung zur Installation einer ASS unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftliche Gründe sind ein Hauptargument dafür, dass die Abflusssteuerung in Kanalnetzen bisher wenig praktisch umgesetzt wird. Wie und wann eine Abflusssteuerung wirtschaftlich sein kann bzw. welche Aspekte dafür betrachtet und welche Voraussetzungen gegeben sein müssen, wird in diesem Abschnitt erläutert.

Die DWA hat im Merkblatt M 180 (DWA 2005) mit dem Programmpaket PASST ein Instrument zur Verfügung gestellt, welches eine Ersteinschätzung der Steuerwürdigkeit eines Netzes ermöglicht. Dafür werden das Entwässerungsgebiet, der Abwasseranfall, das Kanalnetz, das betriebliche Netzverhalten, das Gewässer und die Kläranlage mit ihren Kenndaten grob eingeordnet. Auch wenn die Einschätzung ergibt, dass ein Netz für die „Steuerung prädestiniert“ ist, sind noch keine Aussagen zur Umsetzung der ASS bzw. zu wirtschaftlichen Aspekten der Umsetzung einer ASS möglich.

Die Einschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Abflusssteuerung ist in den meisten Fällen schwierig, da die erzielbaren Vorteile nicht alle unmittelbar monetär bewertet werden können. Werden Investitionskosten eingespart, weil durch die Steuerung vorhandenes Speichervolumen genutzt und damit nicht neu gebaut werden muss, ist eine Quantifizierung noch relativ gut möglich. Jedoch wird es schon schwieriger, die Optimierung des Kanalbetriebs durch Steuerung (z.B. Verringerung von Ablagerungen und damit weniger Reinigungsaufwand) genau zu beziffern oder die Reduzierung von Mischwassereinleitungen und den positiven Effekt auf das Gewässer monetär zu bewerten.

Dennoch ist eine qualitative Aussage möglich, welche Voraussetzungen sich günstig und welche sich ungünstig auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis bei der Installation einer Abflusssteuerung auswirken. Ähnlich zu der Einschätzung der Steuerwürdigkeit eines Netzes durch PASST, wurde hier eine Bewertungsmatrix für die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer ASS entwickelt (Tabelle 9-1), die auf dem Ergebnis von PASST aufbaut (Bild 9-1)

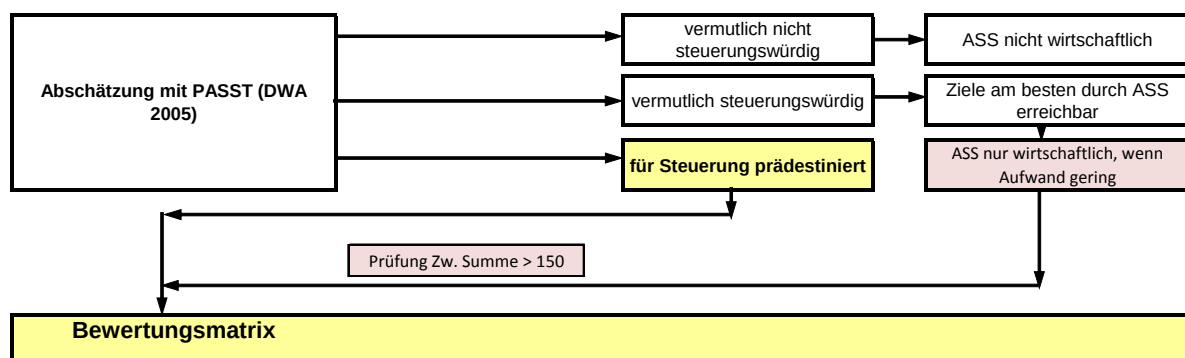


Bild 9-1: Vorgehen zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer ASS

Ergibt die Bewertung mit PASST, dass das Netz „vermutlich nicht steuerungswürdig“ ist, kann davon ausgegangen werden, dass wenig oder gar kein Steuerpotenzial vorhanden ist und eine Abflusssteuerung nicht wirtschaftlich sein wird. Die Bewertungsmatrix kommt nicht zur Anwendung. Falls die Ersteinschätzung „vermutlich steuerungswürdig“ ergibt, kann eine Abflusssteuerung sinnvoll sein (Ziele und der erwartete Nutzen sind noch einmal sorgfältig zu prüfen), aber führt voraussichtlich nur zu einem günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis, wenn der Aufwand zur Installation der Steuerung sehr gering ist, was durch die Bewertungsmatrix abgeschätzt werden kann. Ist ein Netz für die „Steuerung prädestiniert“, sollte auf jeden Fall eine Einschätzung anhand der Bewertungsmatrix (Tabelle 9-1) vorgenommen werden.

Die Matrix enthält sieben zu bewertende Aspekte mit z.T. mehreren Unterpunkten:

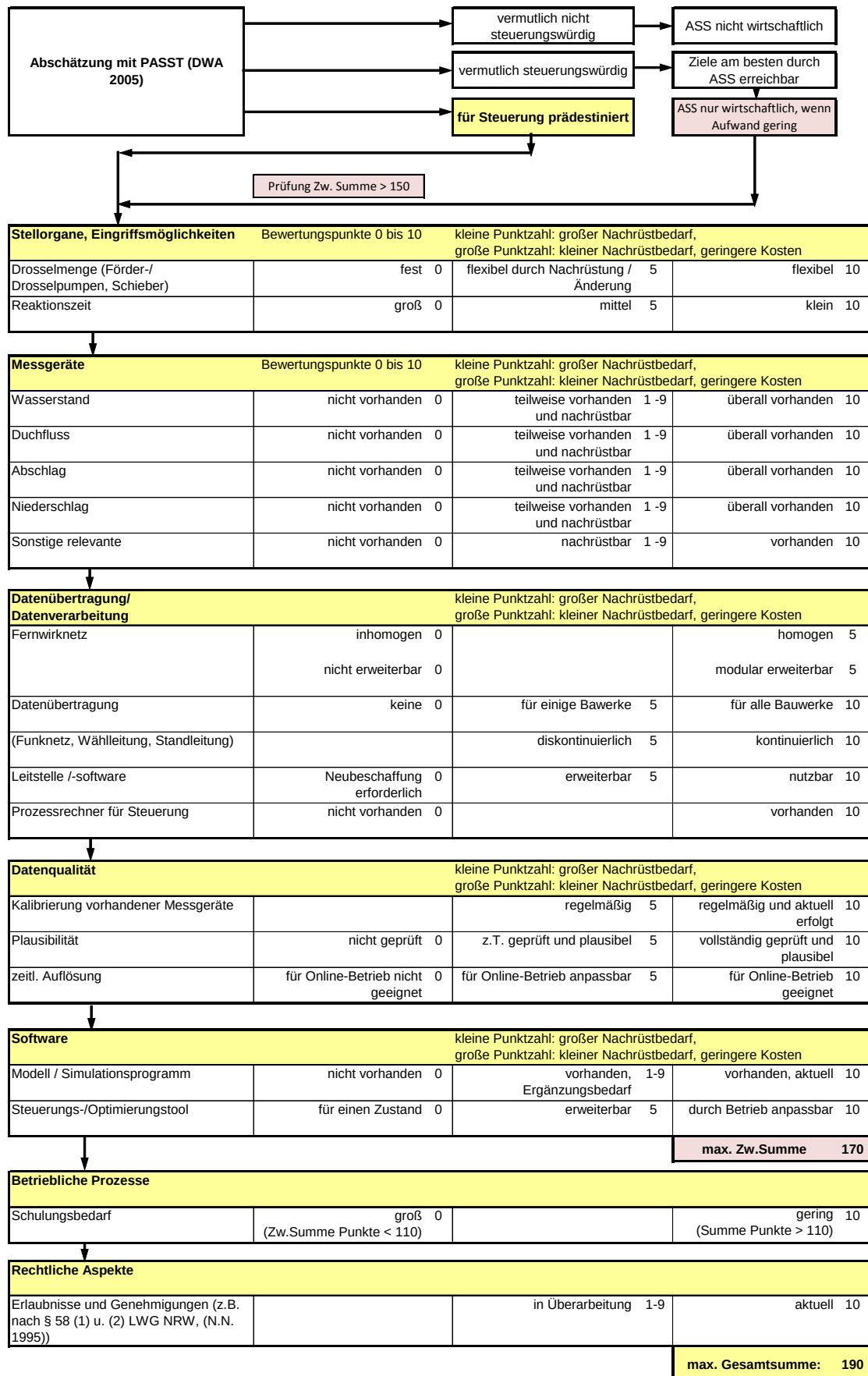
- Stellorgane, Eingriffsmöglichkeiten
- Messgeräte
- Datenübertragung, Datenverarbeitung
- Datenqualität
- Software
- Betriebliche Prozesse
- Rechtliche Aspekte

Die Grundidee der Bewertung ist dabei: je mehr Ausrüstung bereits vorhanden ist und genutzt werden kann, je besser (vollständig und geprüft) die Datenlage ist, je mehr Kenntnisse vorliegen (Softwareprogramme) desto wirtschaftlicher kann die Installation einer Abflusssteuerung erfolgen.

Alle Aspekte werden mit einer Punktzahl zwischen 1 und 10 bewertet, wobei eine hohe Punktzahl einen geringen Nachrüstbedarf und damit geringere Kosten bedeutet. Eine Wichtung der Aspekte untereinander wird für diese Erstabschätzung nicht vorgenommen, ist aber in der Weiterentwicklung der Matrix genauso denkbar wie die Ergänzung weiterer Aspekte bzw. eine höhere Detaillierung selbiger.

„Betriebliche Prozesse“ und „Rechtliche Aspekte“ sind keine technischen Aspekte. Der Schulungsbedarf unter „Betriebliche Prozesse“ ergibt sich daher in Abhängigkeit (Zwischensumme) der vorhergehenden Bewertung unter der Annahme, dass ein großer Schulungsbedarf notwendig ist, wenn viel Ausrüstung zusätzlich installiert werden muss. Der Aufwand, der sich durch „rechtliche Aspekte“ ergibt, ist auch schwer fassbar (verursacht aber Kosten), da es kein einheitliches Verfahren zur Genehmigung von Abflusssteuerungen gibt. Hier kann nur bewertet werden, ob der Aufwand zur Beschaffung der erforderlichen Unterlagen groß oder klein ist.

Tabelle 9-1: Bewertungsmatrix zur Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte bei einer ASS



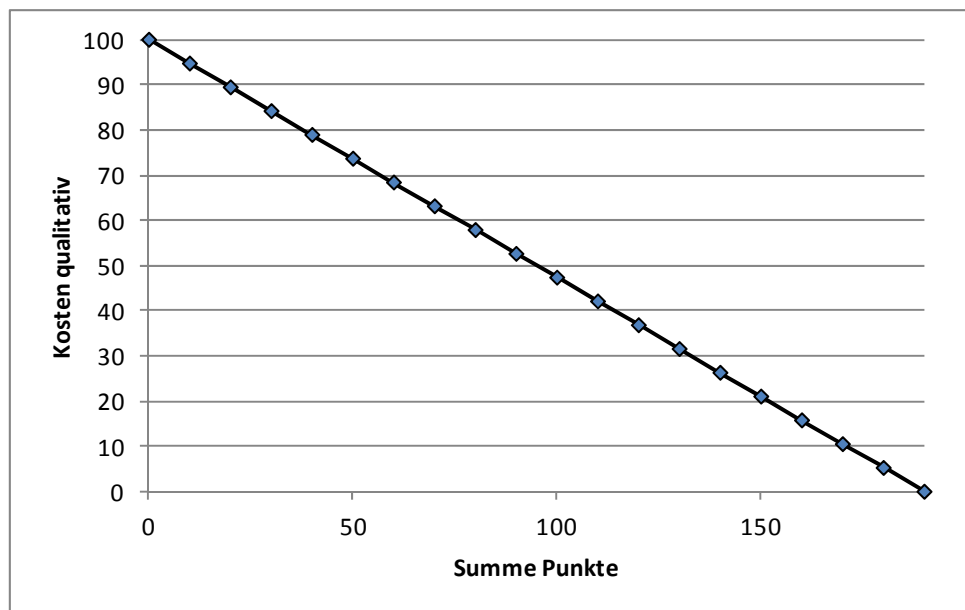


Bild 9-2: Qualitativer Zusammenhang zwischen Kostenabschätzung und Summe der Bewertungspunkte

Die maximal erreichbare Gesamtsumme in der Matrix beträgt 190 Punkte. Dies würde beste Voraussetzungen, überall installierte, nutzbare Ausrüstung und umfassende Kenntnisse bedeuten, so dass eine Steuerung mit geringem Aufwand installiert werden kann, auch wenn das Netz vielleicht nur als „vermutlich steuerungswürdig“ durch PASST eingestuft wird. Bei einer Gesamtsumme über 90 und der Einschätzung des Netzes als „prädestiniert für Steuerung“ lohnt sich eine detailliertere Betrachtung (z.B. ob die Ausrüstung an relevanten Bauwerken vorhanden ist usw.). Mit geringerer Gesamtpunktzahl nimmt auch die Wahrscheinlichkeit ab, dass eine Steuerung unter wirtschaftlichen Aspekten betrachtet, als uneingeschränkte Empfehlung ausgesprochen werden kann.

10 Ausblick Phase 2

Der vorliegende Bericht fasst die Phase 1 des Pilotvorhabens „Großtechnische Erprobung eines standardisierten Optimierungs- und Simulationswerkzeugs zur Online-Kanalnetzsteuerung am Beispiel des Einzugsgebiets der Kläranlage Kenten im Erftverbandsgebiet“ zusammen, in der die Abflusssteuerung im Einzugsgebiet des Gruppenklärwerks (GKW) Kenten unter theoretischen Gesichtspunkten betrachtet wurde.

Die Ergebnisse der theoretischen Betrachtungen zeigen, dass durch die Abflusssteuerung die Entlastungsmenge reduziert werden kann (je nach Niederschlagsereignis wird das Entlastungsvolumen bis zu 50 % reduziert) und somit die Gewässergüte positiv beeinflusst. Darüber hinaus wurde die Anwendbarkeit des Optimierungstools SIWA SEWER ASSIST gezeigt, welches als innovatives Instrument die Umsetzung einer Abflusssteuerung erleichtert und die netzspezifischen Gegebenheiten in der Optimierungsgleichung sehr gut berücksichtigen kann.

Die Untersuchungen in Phase 1 ergaben auch, dass die Annahme einer ungleichmäßigen Überregnung zu genaueren Ergebnissen führt. Für eine praktische Umsetzung würde sich die Einbindung von Radardaten zur Niederschlagsprognose anbieten, da der Erftverband bereits Erfahrungen auf diesem Gebiet durch das Projekt HOWIS hat (EV, Bezreg 2011).

An dieser Stelle erscheint es daher sinnvoll, die praktische Umsetzung der Abflusssteuerung in EZG der Kläranlage Kenten in einer zweiten Projektphase umzusetzen, um die theoretisch erarbeiteten Ergebnisse in der Praxis zu verifizieren. Die Grundlagen, die für die praktische Umsetzung erforderlich sind, liegen für das Gebiet vor und das Betriebspersonal ist einer Abflusssteuerung gegenüber positiv eingestellt, wie ein auf der Kläranlage durchgeführter Workshop gezeigt hat.

Durch die praktische Realisierung der Abflusssteuerung im EZG der Kläranlage Kenten würde ein weiteres praktisches Beispiel für die Fachwelt zur Diskussion stehen. Da Abflusssteuerungsprojekte dieser Größenordnung bisher nur selten umgesetzt wurden und im Rahmen der Klimawandeldiskussionen die Abflusssteuerung als ein mögliches Instrument aufgeführt wird, wird diesbezüglich auch ein großes Interesse der Fachwelt erwartet. Ebenfalls von großem Interesse für Netzbetreiber ist die Betrachtung des Wirtschaftlichkeitsaspekts bei der praktischen Umsetzung einer Abflusssteuerung, da die Kosten von Maßnahmen einen wesentlichen Einfluss auf ihre Umsetzung haben.

Wesentliche Inhalte der praktischen Umsetzung der Abflusssteuerung im EZG der Kläranlage Kenten sind die Durchführung einer detaillierten Risiko- und Störungsanalyse und Ausfallstrategie, wie in Kapitel 6 beschrieben als Voraussetzung für die Realisierung und Genehmigung der Steuerung, und die Begleitung der Abflusssteuerung mit Datenauswertung zur Beurteilung der Effizienz der Steuerung und des Kosten-Nutzen-Verhältnisses.

Nur durch praktisch umgesetzte, erfolgreiche Projekte kann das Interesse für Abflusssteuerung bei Netzbetreibern geweckt und so als Instrument zur weiteren Verbesserung der Gewässerbeschaffenheit vorangetrieben werden.

11 Quellen

- ATV (Abwassertechnische Vereinigung) (1992): Arbeitsblatt A 128 - Richtlinie für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, ATV Regelwerk, April 1992
- ATV-DVWK (2001): Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen - Erläuterungen und Beispiele – Merkblatt M 177, ATV-DVWK-Regelwerk, Juni 2001, Hennef.
- BGS - Water- Brandt Gerdes Sitzmann Wasserwirtschaft GmbH 2009: MOMENT 8, Modellierung von Mischwasserentlastungen, Dokumentation Teil III, Anwendungshinweise Version 8, Juli 2009
- Bongards, M. (2010): Steuern und Regeln in Kanal und Klärwerk, UmweltMagazin Oktober-November 2010, s. 14-15.
- Bongards, M., Stockmann, A. (2011): Regelung des Kanalnetzes der Stadt Emmerich zur Vergleichmäßigung des Kläranlagen-Belastung, Vortrag auf der 74. Sitzung der DWA Arbeitsgruppe Integrale Abflusssteuerung (ES 2.4) am 14./15.11.2011, Köln, unveröffentlicht.
- BWK - Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (2007): Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse, Merkblatt 3, November 2007.
- BWK - Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (2008): Detaillierte Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen gemäß BWK-Merkblatt 3, Merkblatt 7, November 2008.
- Christoffels, E. (2008): Monitoring und Modellanwendung – Entwicklung eines Immissionsinventars am Beispiel der Erft, Eigenverlag, Bergheim.
- Dahmen, H., Beeneken, T. (2006): Projekt zur Steuerung des RBF Bendstraße in Glehn, unveröffentlichter Bericht, Erftverband.
- DIN – Deutsches Institut für Normung (2008): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden; Deutsche Fassung EN 752:2008, Beuth-Verlag.
- DWA (2005): DWA-Merkblatt M 180 - Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen – mit Programmpaket PASST, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Dezember 2005, Hennef.

- DWA (2007): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser, Merkblatt DWA-M 153, August 2007, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.
- DWA (2006): Leitlinien der integralen Entwässerungsplanung, DWA-A 100. DWA Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef, 2006.
- Erftverband (2010): Jahresbericht 2010; abrufbar unter <http://www.erftverband.de/aktuelles/jahresbericht/>.
- Erftverband (2011): Auszug aus dem Datenbestand des Erftverbands.
- Erftverband (2011a): Kanalnetzanzeige 2011 des Erftverbandes gem. § 58 Abs. 1 LWG: Einzugsgebiet GKW Kenten – Prognose 2022
- EV, Bezreg - Erftverband und Bezirksregierung Köln (2011): Fernerkundungsgestütztes Hochwasservorhersage- und Informationssystem für das Erfteinzugsgebiet (Howis Erft).
- Fuchs, L.; Beeneken, T., Nowak, R., Pfannhauser, G. (2007): Entwicklung und Implementierung einer Abflusssteuerung für das Kanalnetz der Stadt Wien, Korrespondenz Abwasser 2007 (54) Nr. 7, S. 680-689.
- Graner, M. (2011): Forschungsprojekt Kanalnetzsteuerung (KANNST), Vortrag auf der 74. Sitzung der DWA Arbeitsgruppe Integrale Abflusssteuerung (ES 2.4) am 14./15.11.2011, Köln, unveröffentlicht.
- Gruber, G., Kainz, H., Sprung, W., Flamisch, N., Pressl, A., Winkler, S. (2006): Langzeiterfahrungen mit dem Betrieb von Kanal-Online-Messstationen in Österreich. Tagungsband zur Tagung Abflusssteuerung – Schwallspülung – Gewässerschutz, 30. Und 31. August 2006, Zentrum für Umweltkommunikation, Osnabrück
- Grüning, H. (2005): Anwendungsspektren für Stoffparametermessungen in Misch- und Regenwasserkanälen. Online: http://www.ta-hannover.de/newsletter/2005/08_05/gruening.pdf, Stand Mai 2011
- Grüning, H., Tandler, R. (2006): Entlastungsfrachten simulieren – Entwicklung technischer Möglichkeiten. Tagungsband zur Tagung Abflusssteuerung – Schwallspülung – Gewässerschutz, 30. Und 31. August 2006, Zentrum für Umweltkommunikation, Osnabrück
- Grüning, H. (2008): Abflusssteuerung – quo vadis? Korrespondenz Abwasser Nr. 4, 2008, S.358 – 364
- Hüben, S., Lange, M., Rolfs, T., Einfalt, T., Wagner, R. (2009): Überarbeiteter Leitfaden zur Abflusssteuerung, erarbeitet im Rahmen des Projekts „Errichtung einer Abfluss-

- steuerung in den Einzugsgebieten der Kläranlagen Eschweiler und Schleiden, Teil 2“, gefördert durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, unveröffentlicht.
- Hüben, S., Lange, M., Rolfs, T., Einfalt, T., Wagner, R. (2009a): Abschlussbericht zum Pilotprojekt „Errichtung einer Abflussteuerung in den Einzugsgebieten der Kläranlagen Eschweiler und Schleiden, Teil 2“, Einzugsgebiet der Kläranlage Eschweiler, gefördert durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (AZ 54-2-3.3-1823-vMe), unveröffentlicht.
- Londong, J., Hoppe, H., Weiland, M., Orth, H., Erbe, V., Böcker, K. (2003): Ein integrales Gesamtkonzept für Einzugsgebiet, Kanalnetz, Kläranlage und Gewässer. 36. Essener Tagung in Aachen, 2003, GWA (Gewässerschutz, Wasser, Abwasser) Band 190, ISBN 3-932590-83-X.
- MKULNV (2009): MKULNV-Steckbriefe der Planungseinheit 2009: Erft; abrufbar unter www.umwelt.nrw.de.
- MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2003): Retentionsbodenfilter. Handbuch für Planung, Bau und Betrieb (1. Aufl.). Düsseldorf.
- N.N. (1995): Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen- LWG-Landeswassergesetz. In der Fassung vom 25. Juni 1995.
- N.N. (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts, WHG – Wasserhaushaltsgesetz. In der Fassung vom 31. Juli 2009.
- N.N. (2009a): Abschlussbericht, Entwicklung eines Simulationsverfahrens zur Minderung von Schmutzfrachtausträgen aus mittleren bis großen Kanalisationsnetzen durch Einsatz moderner Steuerungselemente, Projekt AZ 23419/23-2, gefördert durch die DBU - Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
- N.N. (2009b): Risiko- und Störungsanalysen bei Einsatz von Abflussteuerungen in Kanalnetzen, Gemeinsamer Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppen ES-2.4 „Integrale Abflussteuerung“ und ES-7.3 „Betrieb und Unterhalt von Kanalnetzen“, Korrespondenz Abwasser Nr. 2, 2009 (56), S. 139-143.
- Pabst, M., Beier, M., Rosenwinkel, K.-H., Schütze, M., Alex, J., Peikert, D., Niclas, C. (2010): Adaption und Entwicklung einer vorkonfektionierten Steuerungsbox zur Abflussteuerung von Kanalnetzen, Korrespondenz Abwasser 2010 (57), Nr. 6. S. 551-557.

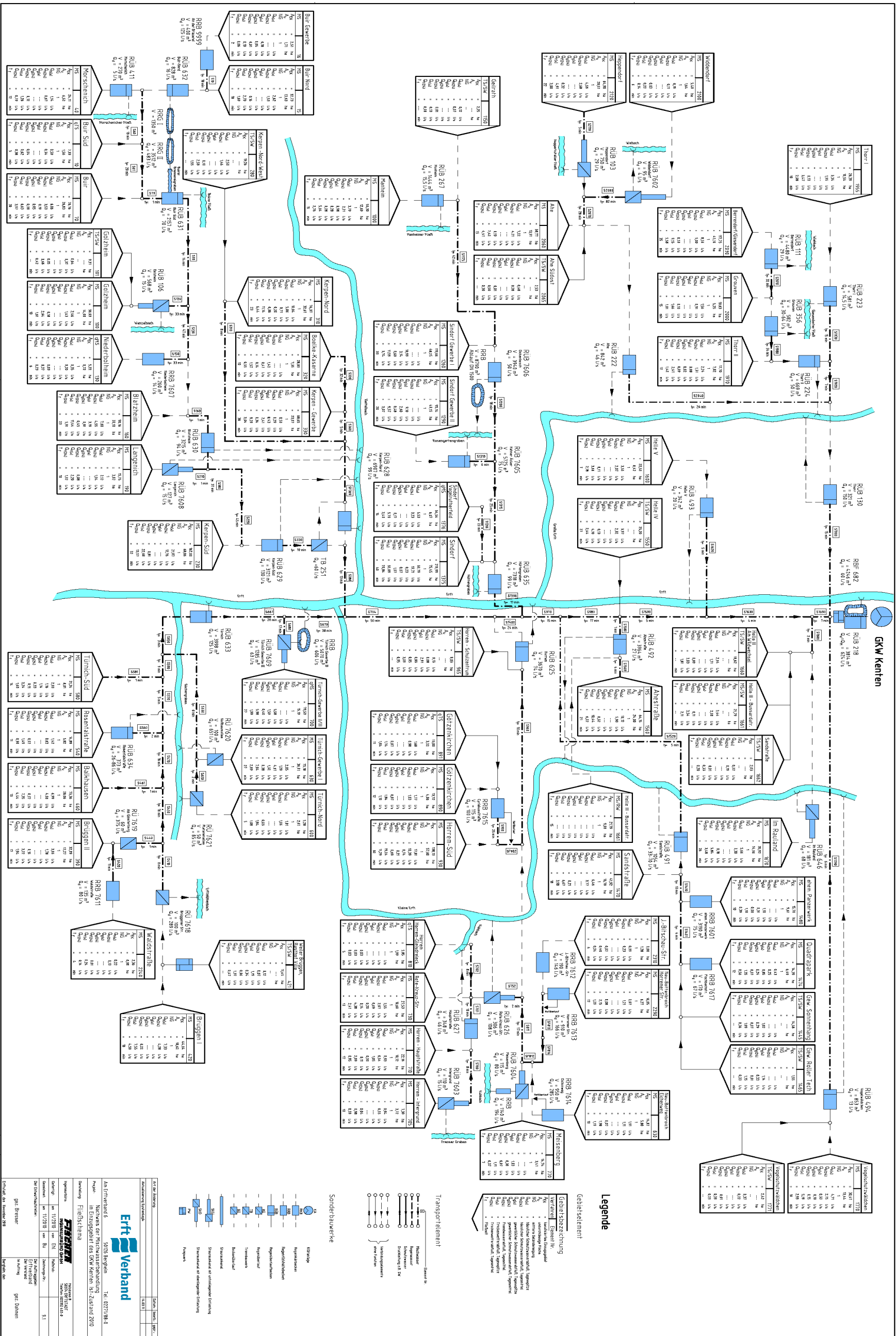
- Peikert, D. (2011): Erfahrungen bei der Implementierung von ADESBA in Hildesheim, Vortrag auf der 74. Sitzung der DWA Arbeitsgruppe Integrale Abflusssteuerung (ES 2.4) am 14./15.11.2011, Köln, unveröffentlicht.
- Rohlfing, R., Nietzschmann, C., Weilandt, M. (2007): Erfahrungen mit der Abflusssteuerung in Leipzig, Vortrag auf dem 8. Kölner Kanal Kolloquium 2007, Aachener Schriften zur Stadtentwässerung Band 11.
- Schmitt, T. (2012): Aktuelle Entwicklungen im technischen Regelwerk für Regenwetterabflüsse, Vortrag auf der 45. Essener Tagung, 14.03.- 16.03.2012 in Essen.
- Seggelke, K., Träncker, J., Fuchs, L., Krebs, P. (2009): Fuzzybasierte Regelung des Mischwasserzuflusses, Großtechnische Untersuchung zur Integration von Kanalnetz und Kläranlage, Korrespondenz Abwasser 2009 (56), Nr. 2, S. 144-151.
- Seggelke, K. (2011): Kanalnetz- und Kläranlagenzuflussteuerung, Beispiel Wilhelmshaven, Vortrag auf der 74. Sitzung der DWA Arbeitsgruppe Integrale Abflusssteuerung (ES 2.4) am 14./15.11.2011, Köln, unveröffentlicht.
- Theilen, U., Beckder, T., Abel, C., Eschke, P., Scheer, M. (2006): Onlinemessungen im F+E Projekt ASTREIN. Tagungsband zur Tagung Abflusssteuerung – Schwallspülung – Gewässerschutz, 30. Und 31. August 2006, Zentrum für Umweltkommunikation, Osnabrück

12 Anlagen

- Anlage 1:** Fließschema Kanalnetz Kanten
- Anlage 2:** Grobnetz für das EZG des GKW Kanten in EXTRAN
- Anlage 3:** Vergleich Simulationsergebnisse EXTRAN - Messwerte
- Anlage 4:** Vergleich Simulationsergebnisse EXTRAN – SIWA SEWER ASSIST
- Anlage 5:**
- Anlage 5.1:** Grundlagendaten und Bewertungsmatrix für Beckenüberlauf
- Anlage 5.2:** Grundlagendaten und Bewertungsmatrix für den Beckeneinstau
- Anlage 6:** Wichtungsfaktoren
- Anlage 7:** SIWA SEWER ASSIST, Visio Modell Einzugsgebiet Kanten
- Anlage 8:** BDS-Anbindung Kanten für Abflusssteuerung
- Anlage 9:** Datenblätter zu den Einleitstellen

Anlage 1

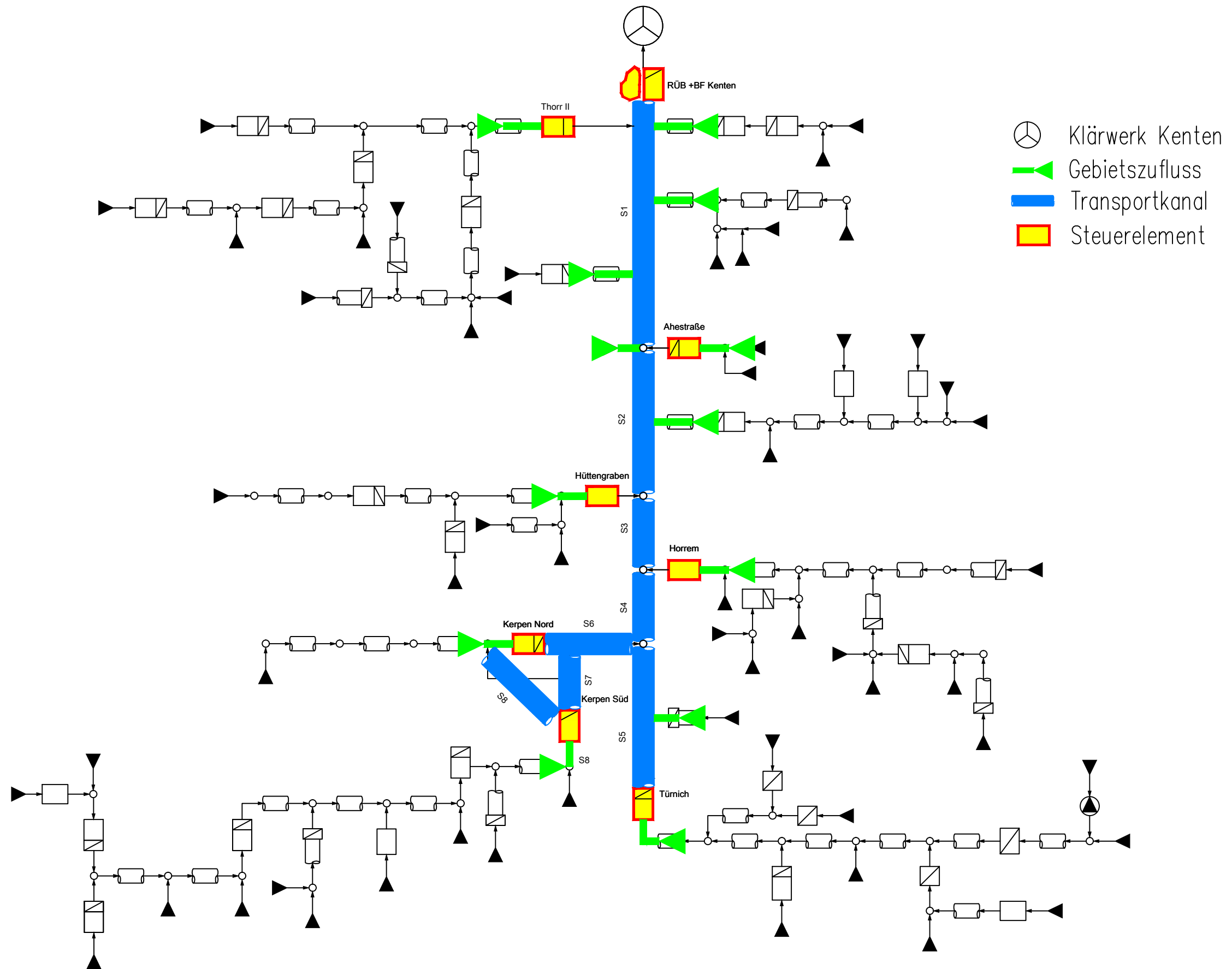
Fließschema Kanalnetz Kenten

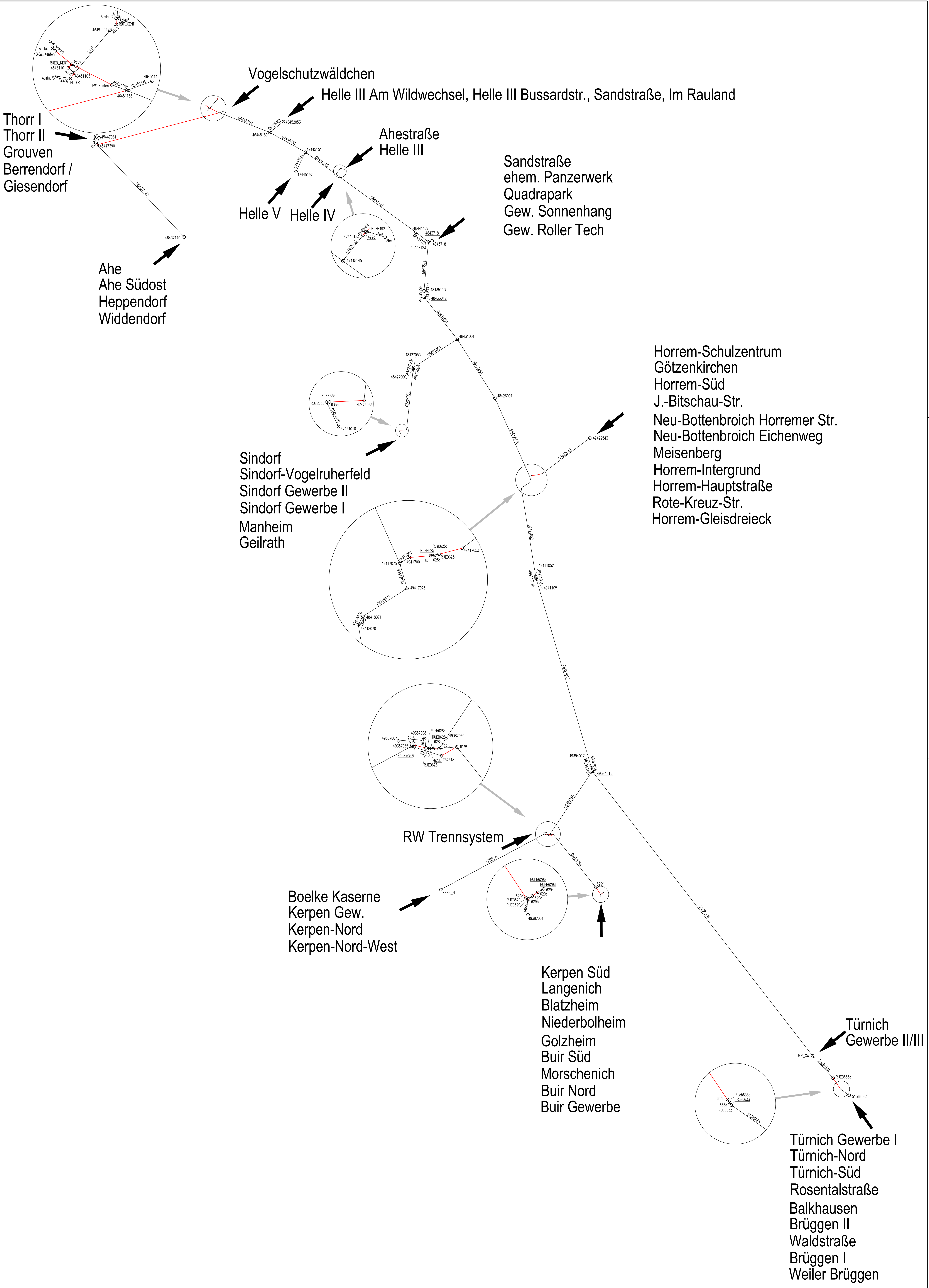


Anlage 1: Fließschema Kanalnetz Kerten

Anlage 2

Grobnetz für das EZG des GKW Kenten in EXTRAN



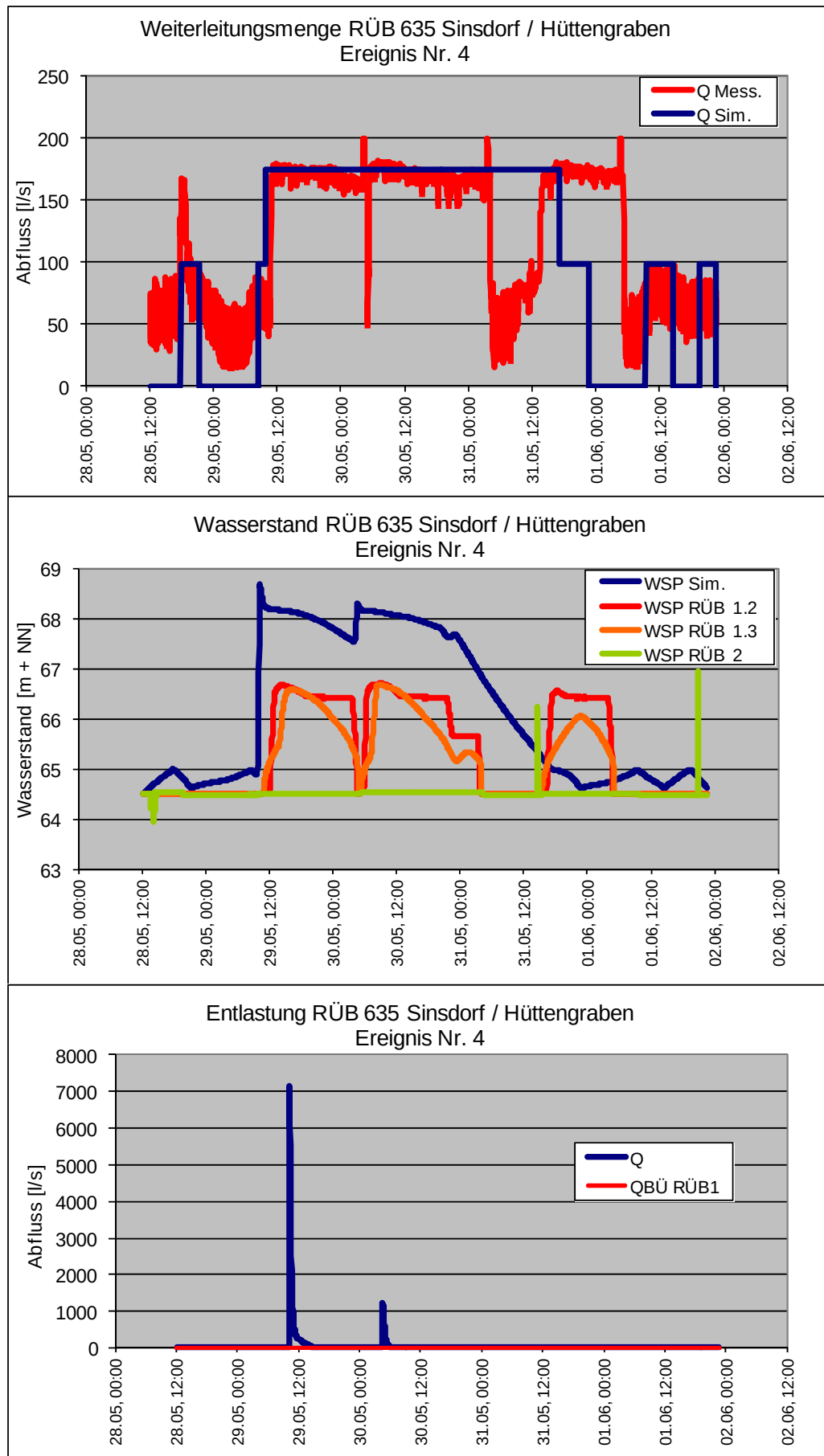


Anlage 2: Grobnetz für das EZG des GKW Kenten

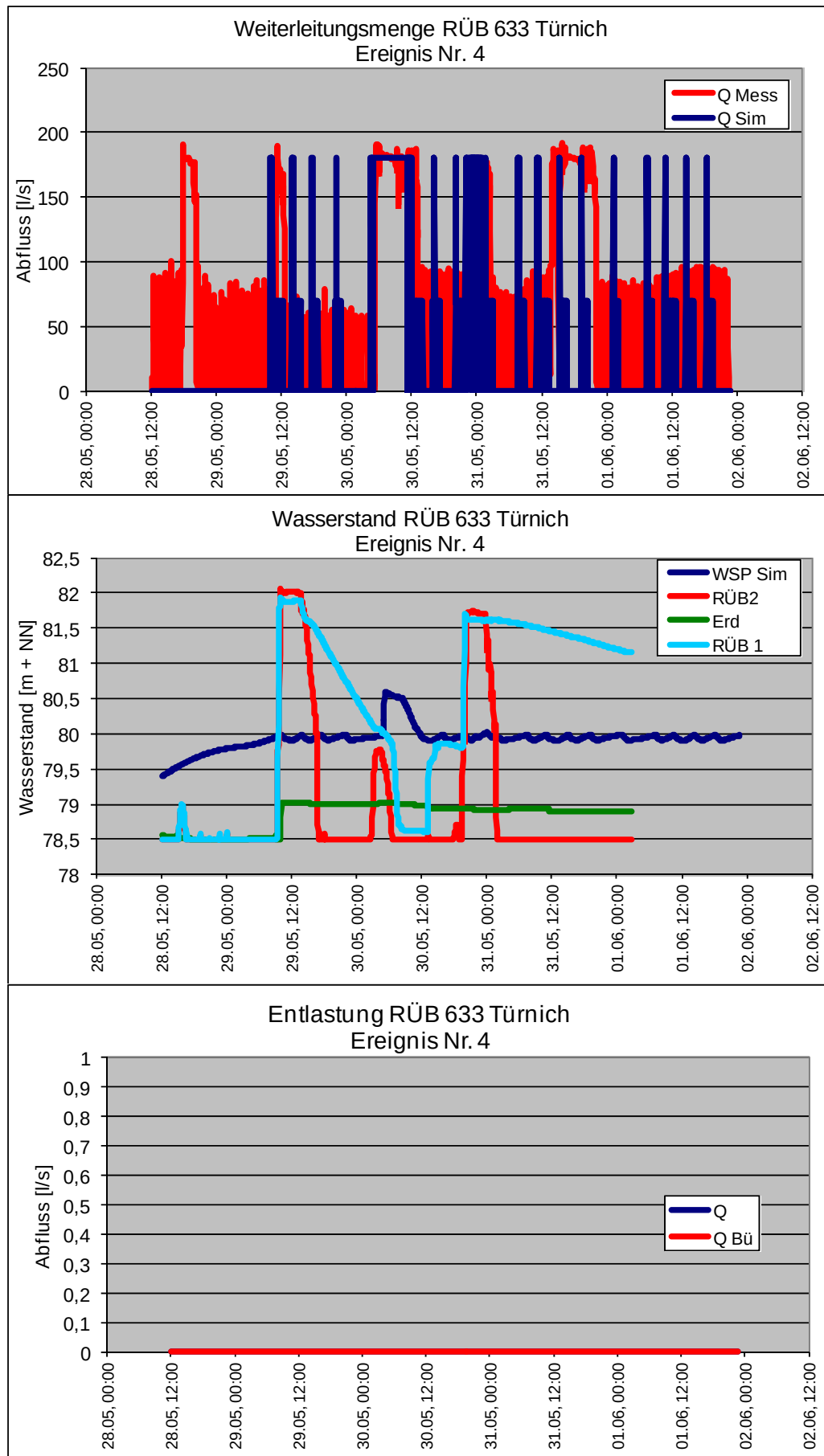
Abflusssteuerung in Kanalnetzen unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit	
Übersichtslageplan Grobnetz	
Datum: 18.01.2012	
Maßstab: 1:10000	
bearbeitet: Gerke	gezeichnet: Schl.
Projekt Nr.: 401-03	Blatt Nr.: 1
PFI Planungsgemeinschaft GbR Beratende Ingenieure Dr.-Ing. Reiner Boll Dr.-Ing. Richard Rohlfing Prof. Dr.-Ing. Johannes Müller-Schäper	
Karl-Inhoff-Weg 4 30165 Hannover Tel. (0511) 3 58 51-0 Fax (0511) 3 58 51-43 info@pfi.de www.pfi.de	

Anlage 3

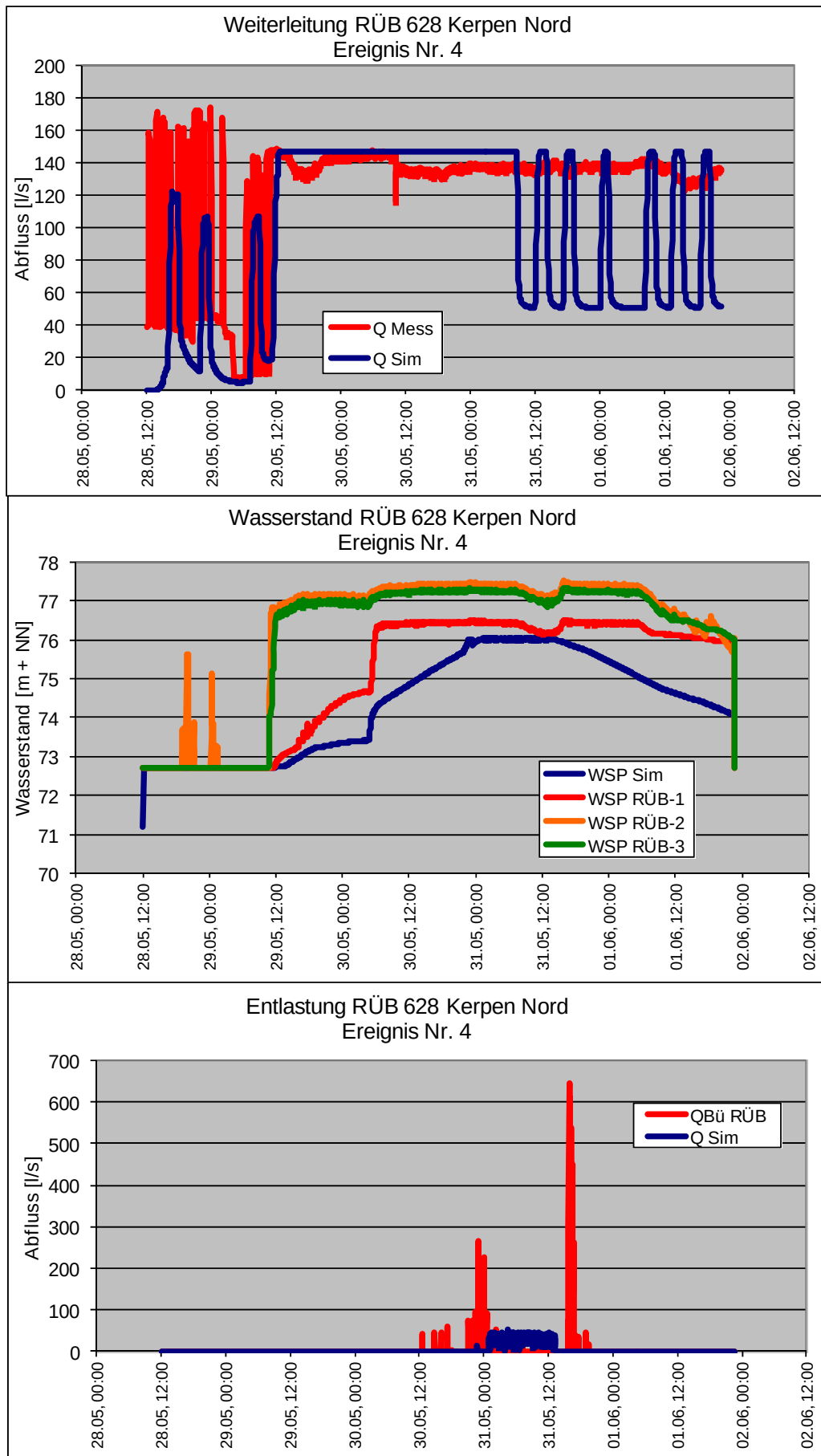
Vergleich Simulationsergebnisse EXTRAN - Messwerte



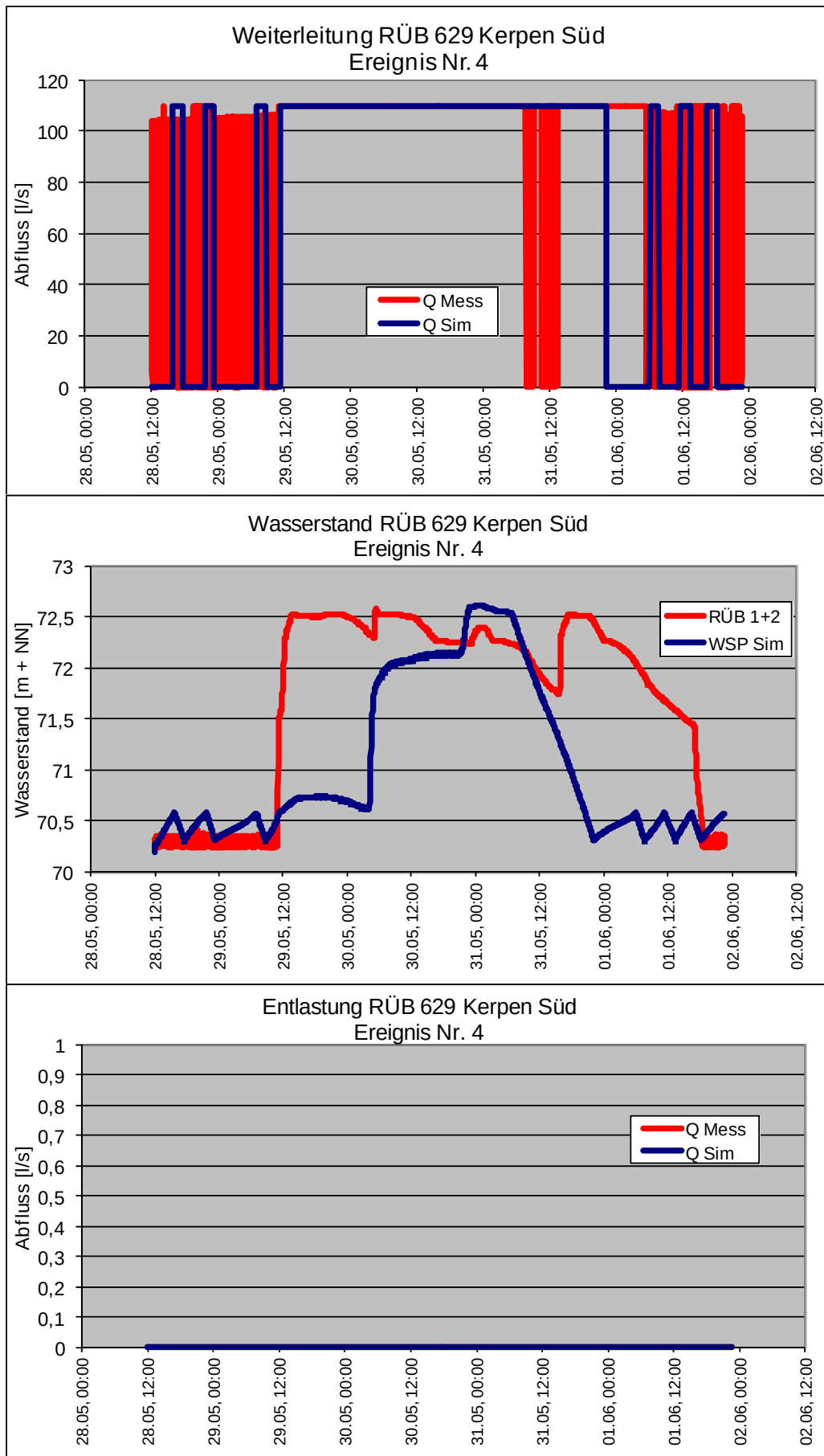
Anlage 3-1: RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 4



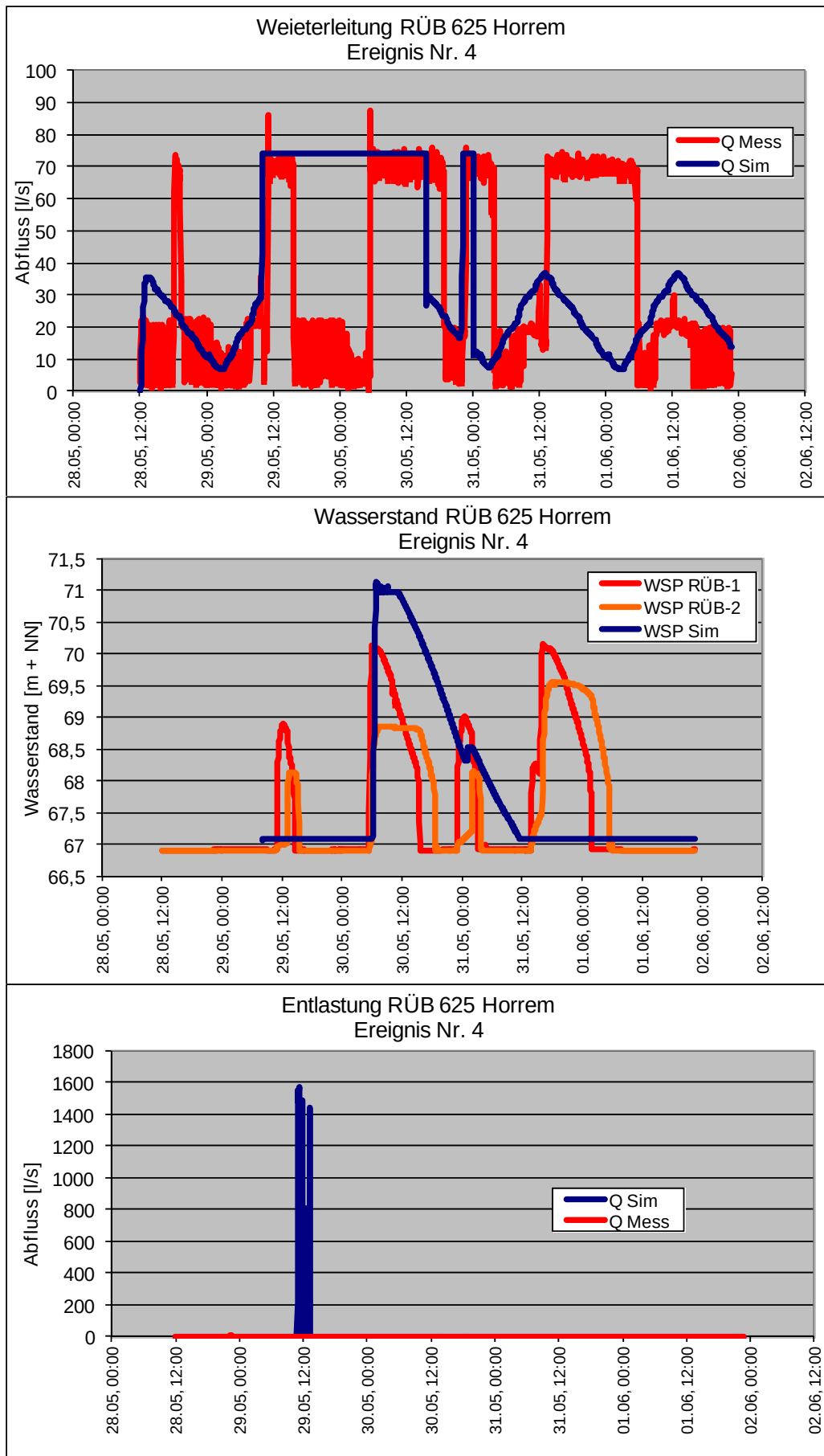
Anlage 3-2: RÜB 633 Türnich, Ereignis Nr. 4



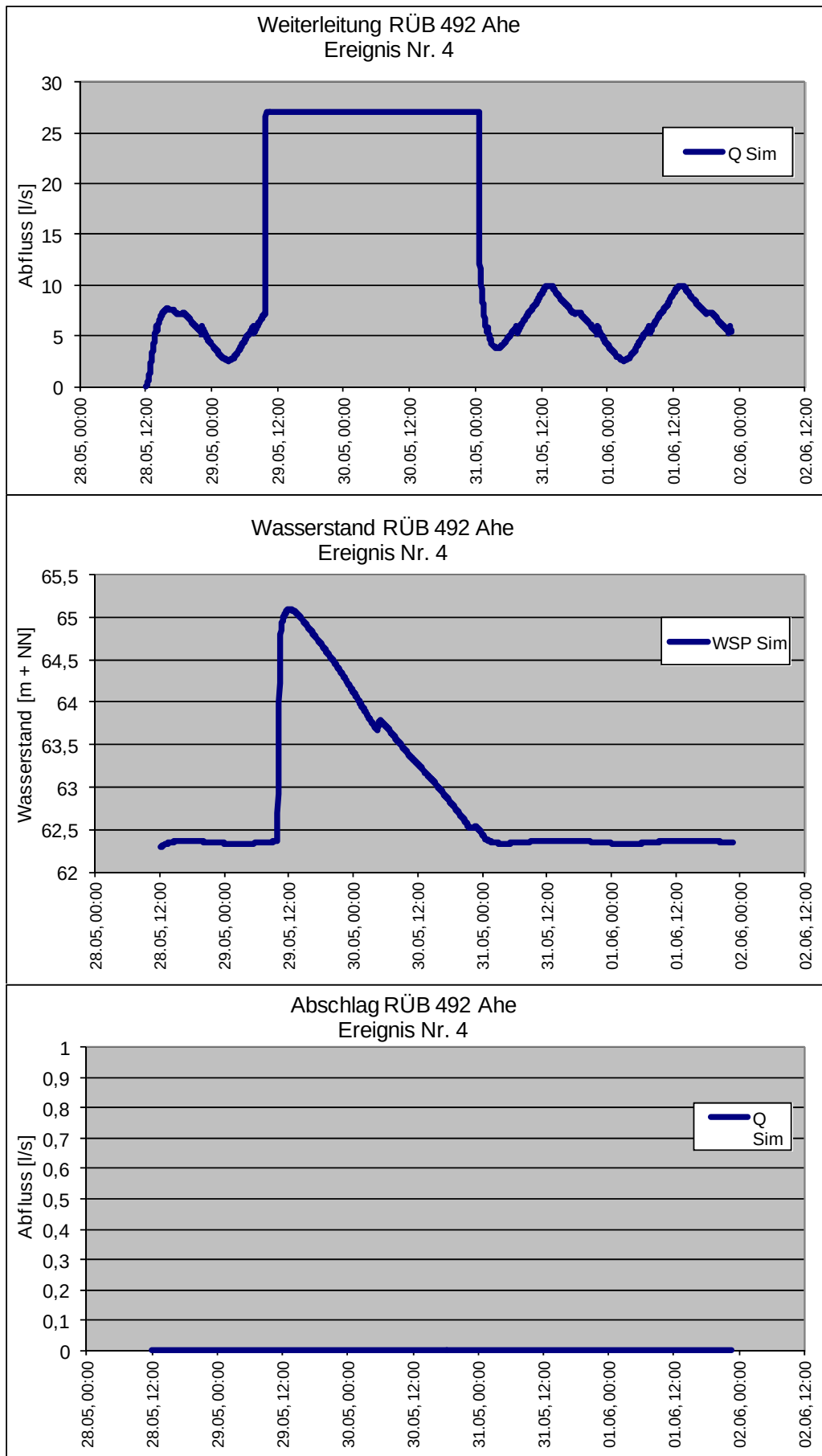
Anlage 3-3: RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 4



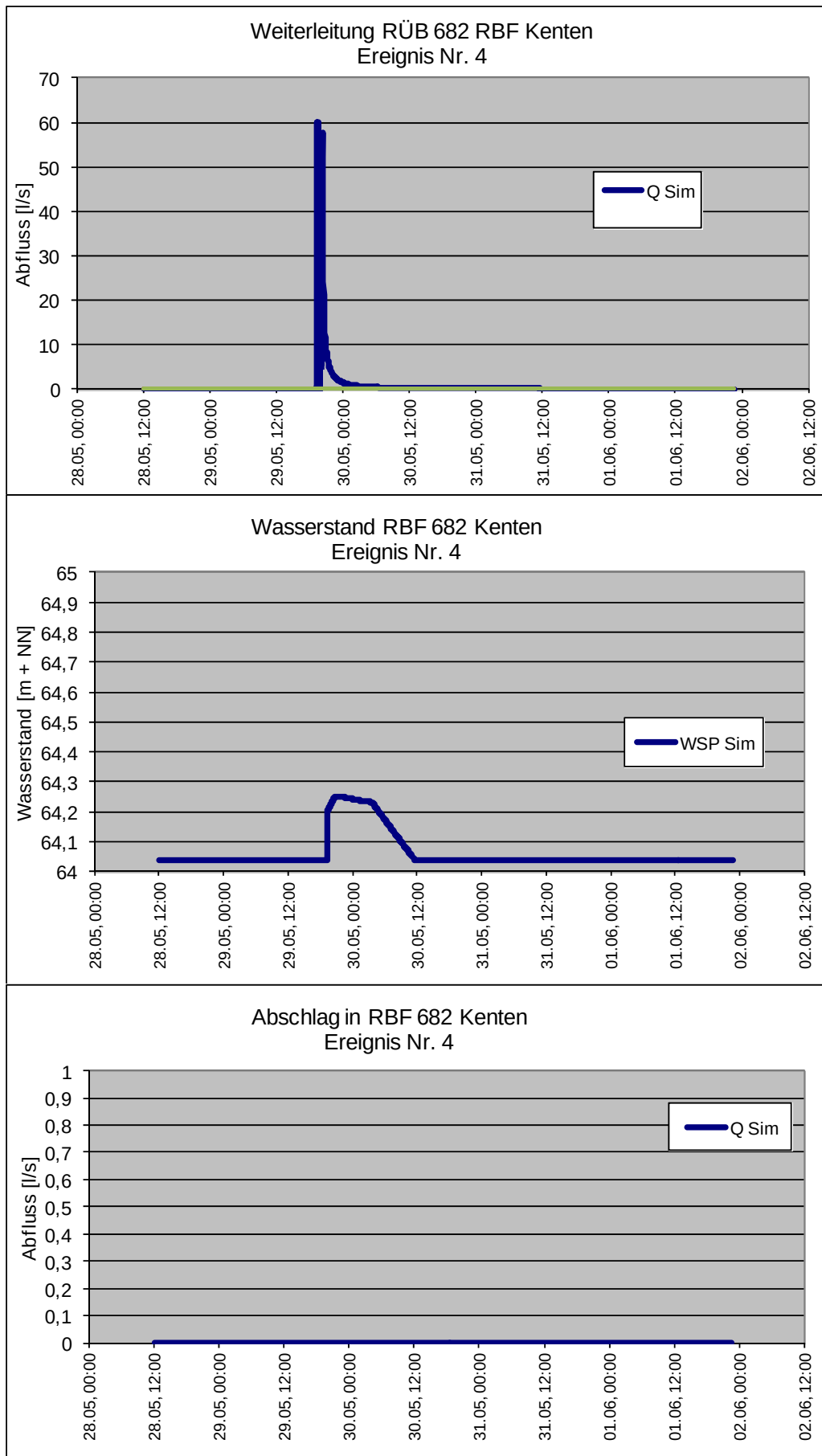
Anlage 3-4: RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 4



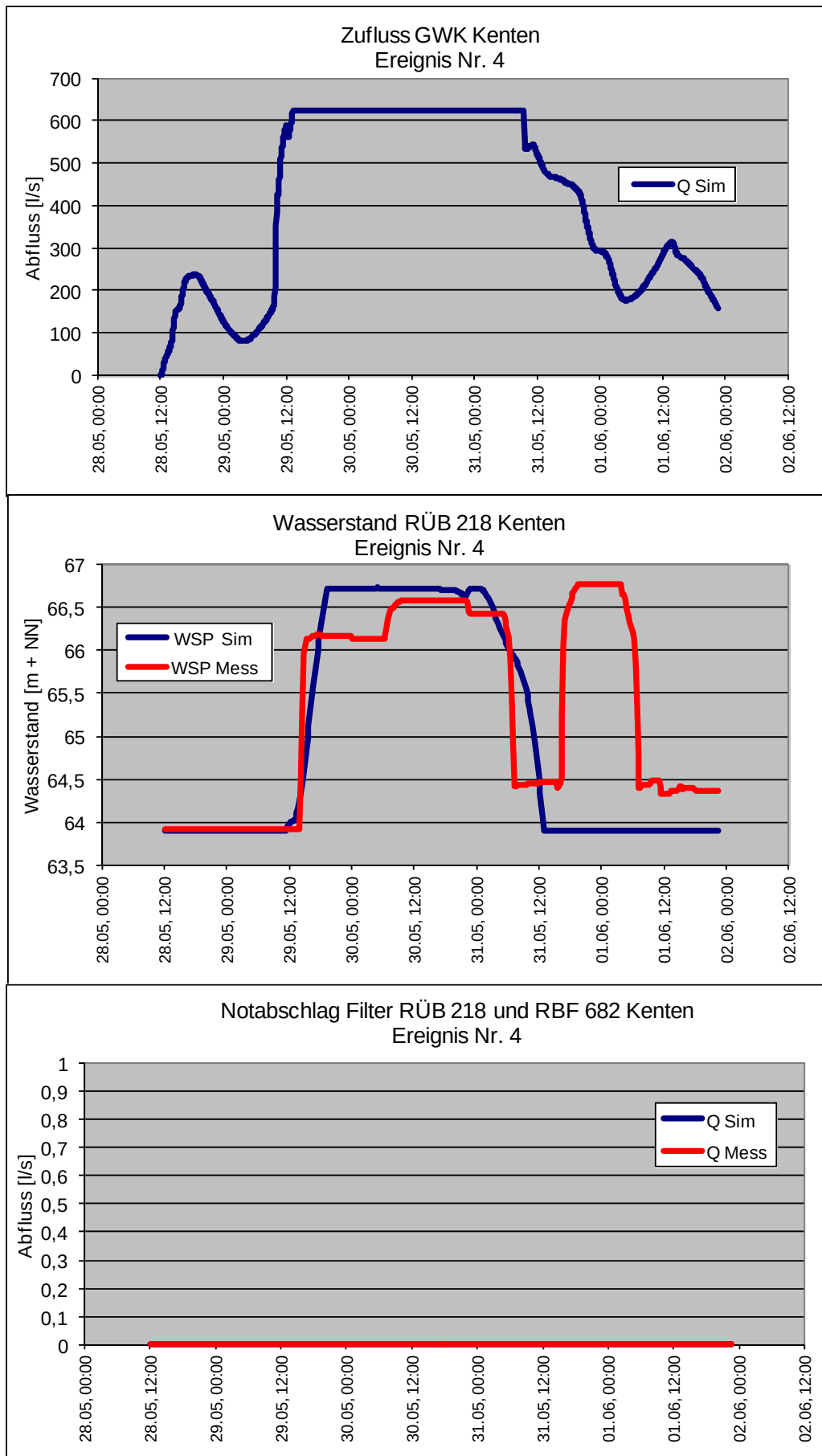
Anlage 3-5: RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 4



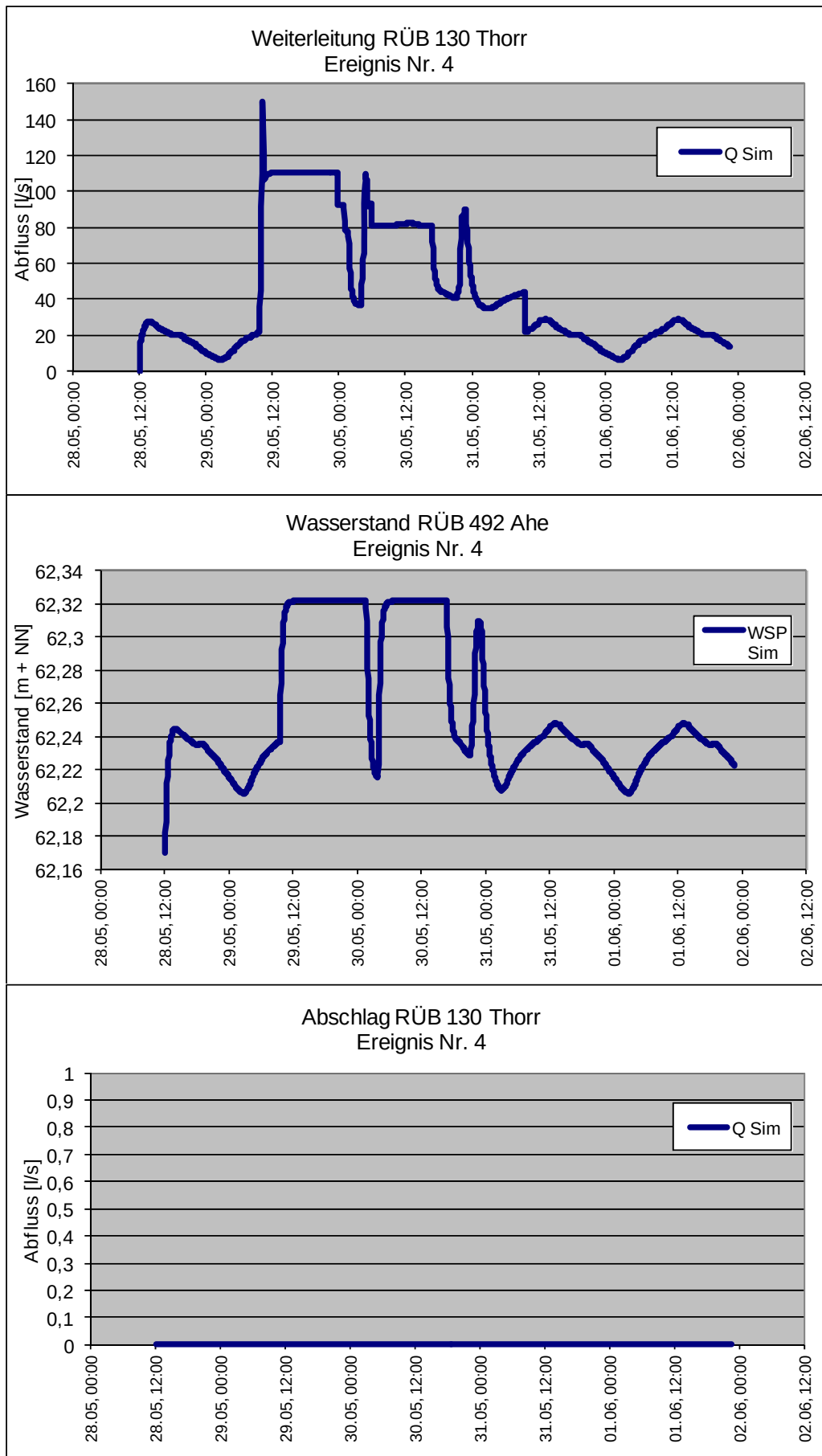
Anlage 3-6: RÜB 492 Ahe, Ereignis Nr. 4



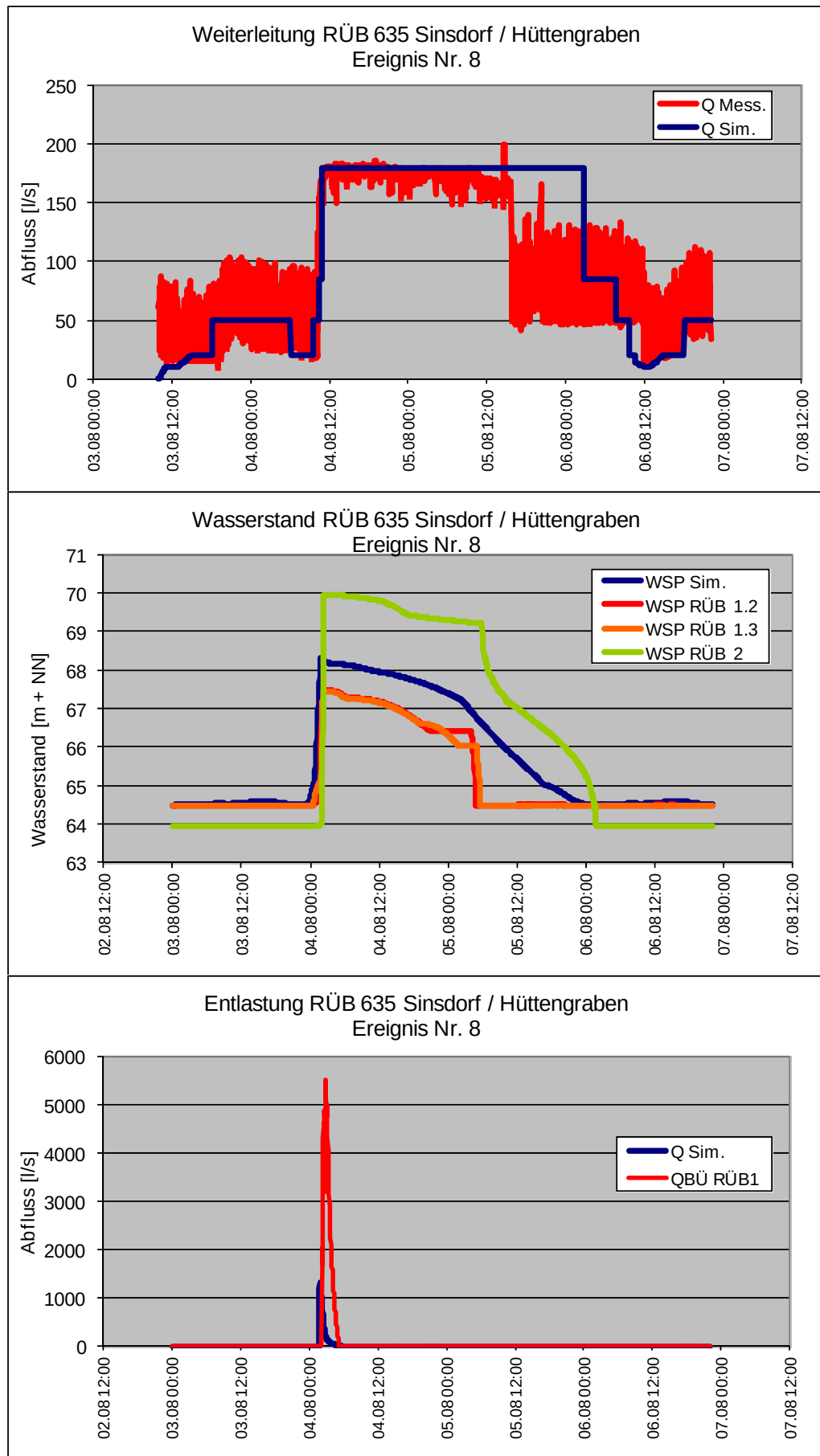
Anlage 3-7: RÜB 682 u. RBF Kenten, Ereignis Nr. 4



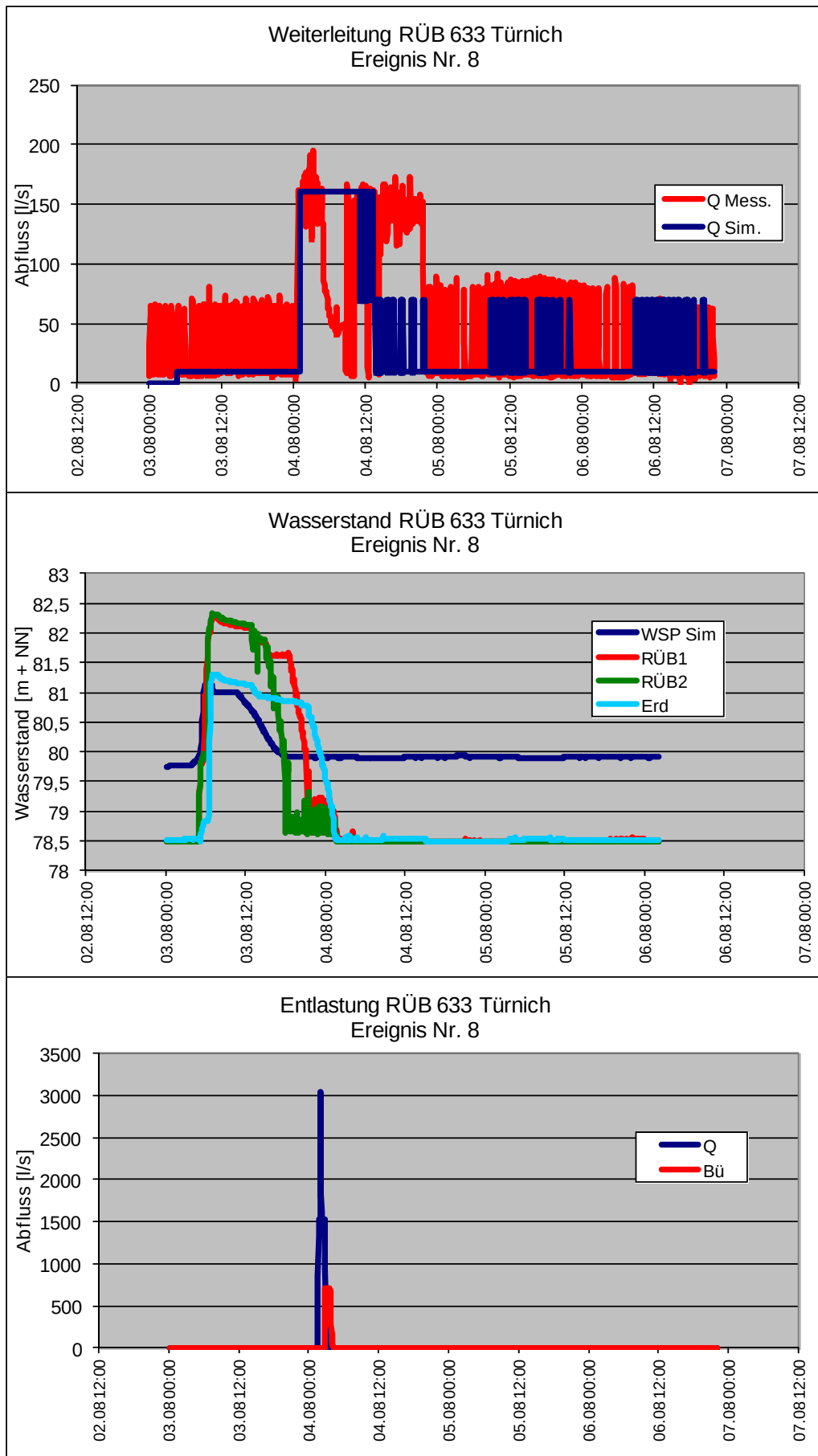
Anlage 3-8: GWK, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 4



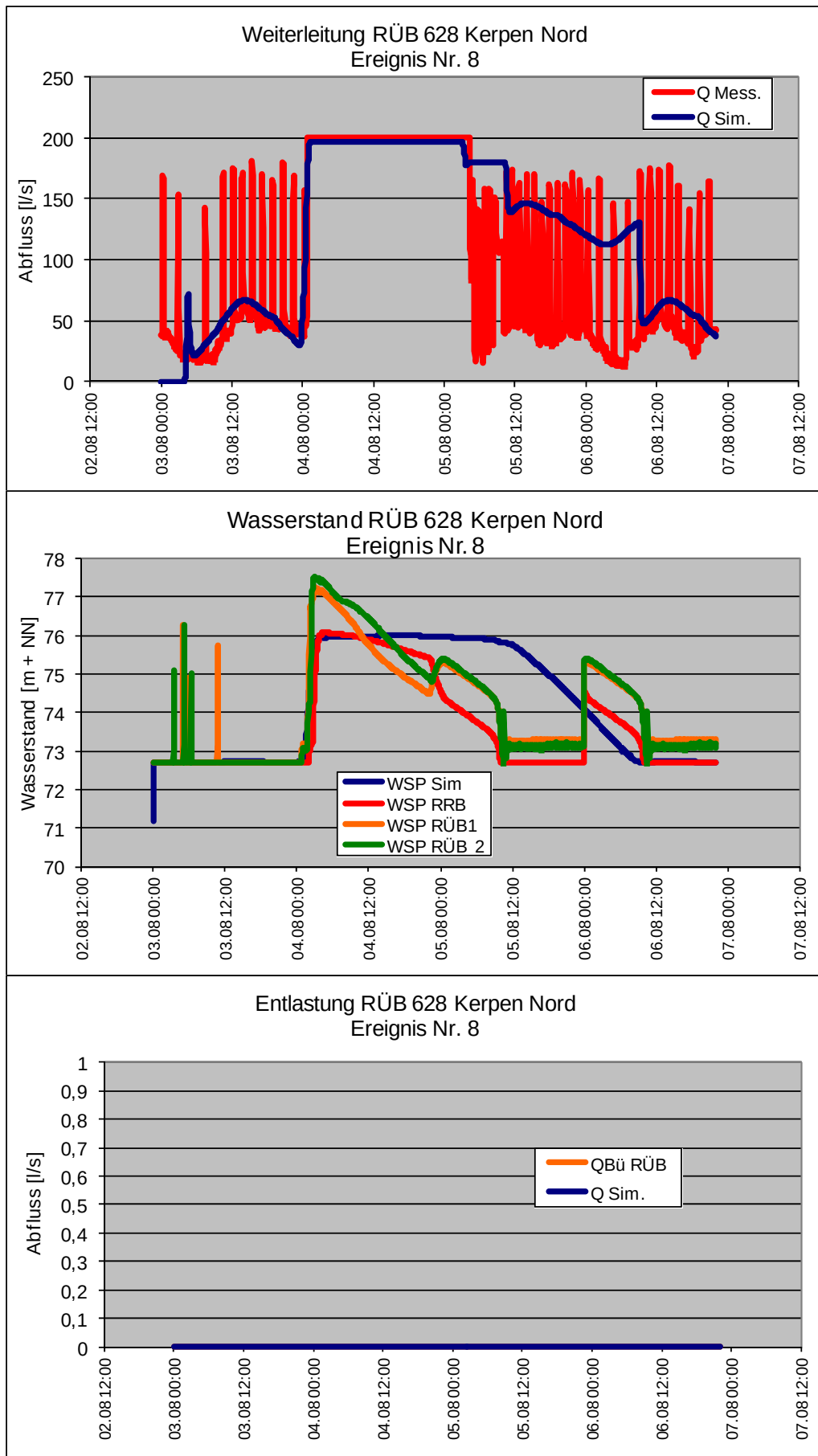
Anlage 3-9: RÜB 130 Thorr, Ereignis Nr. 4



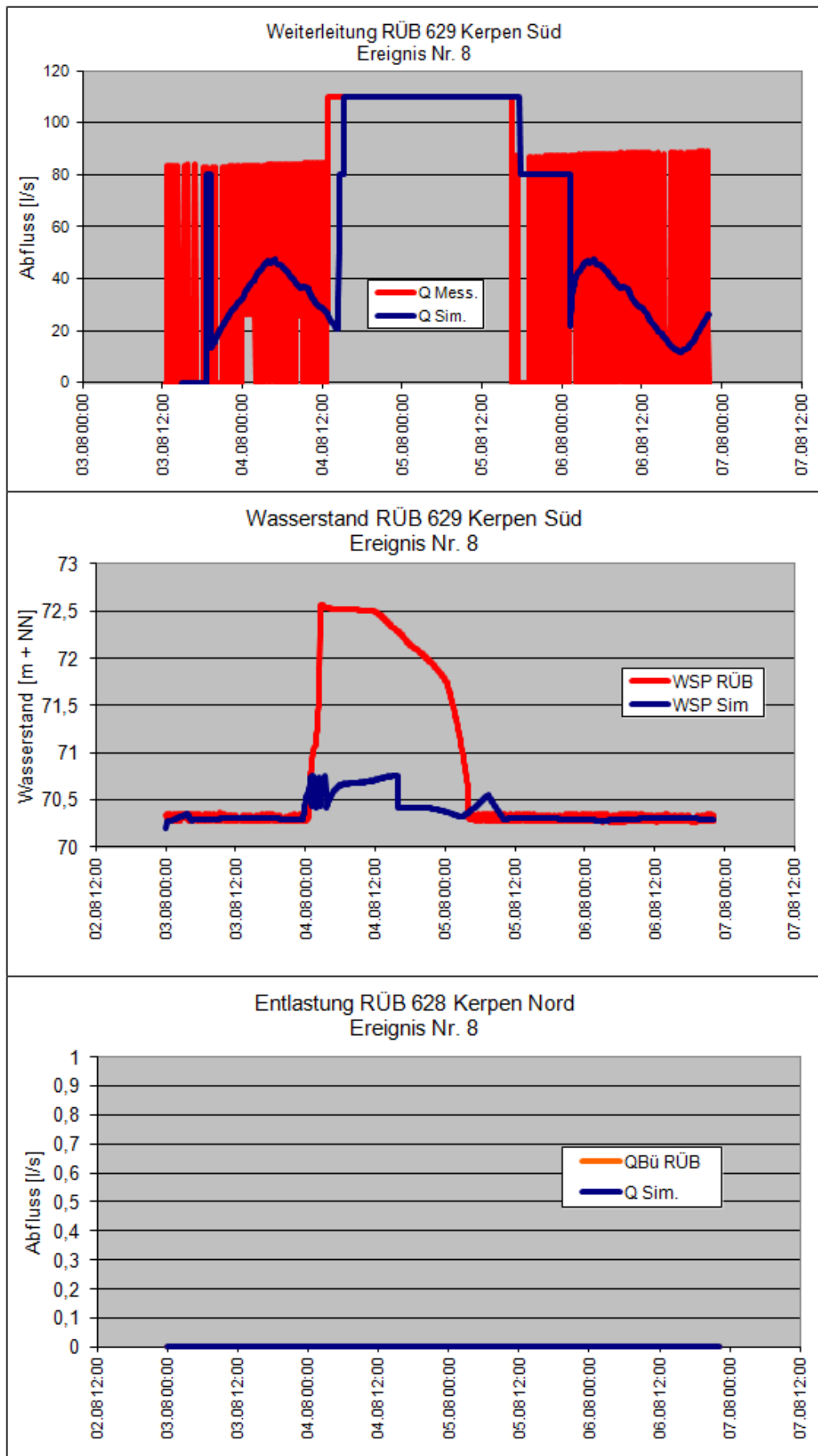
Anlage 3-10: RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 8



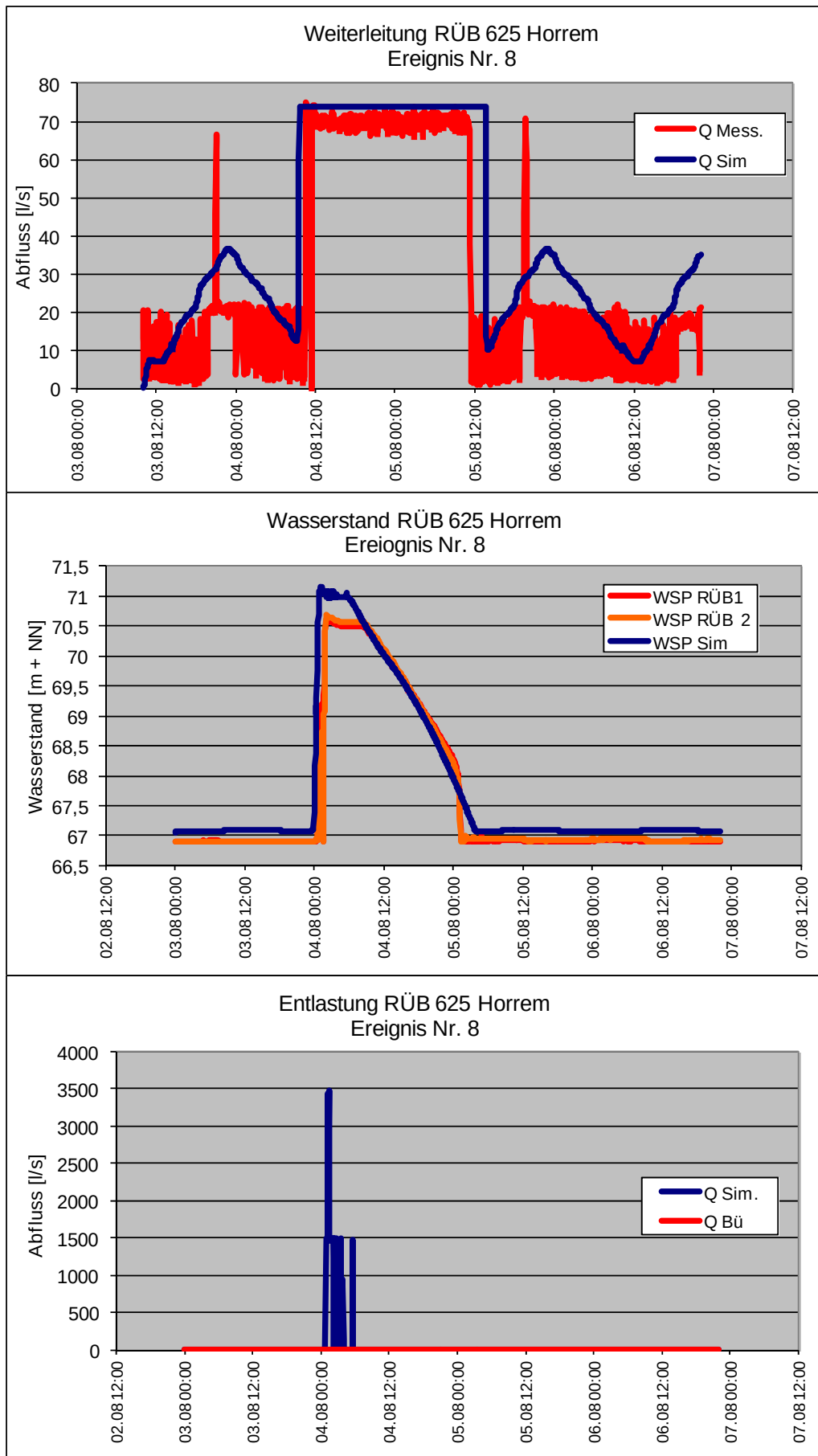
Anlage 3-11: RÜB 633 Türrich, Ereignis Nr.8



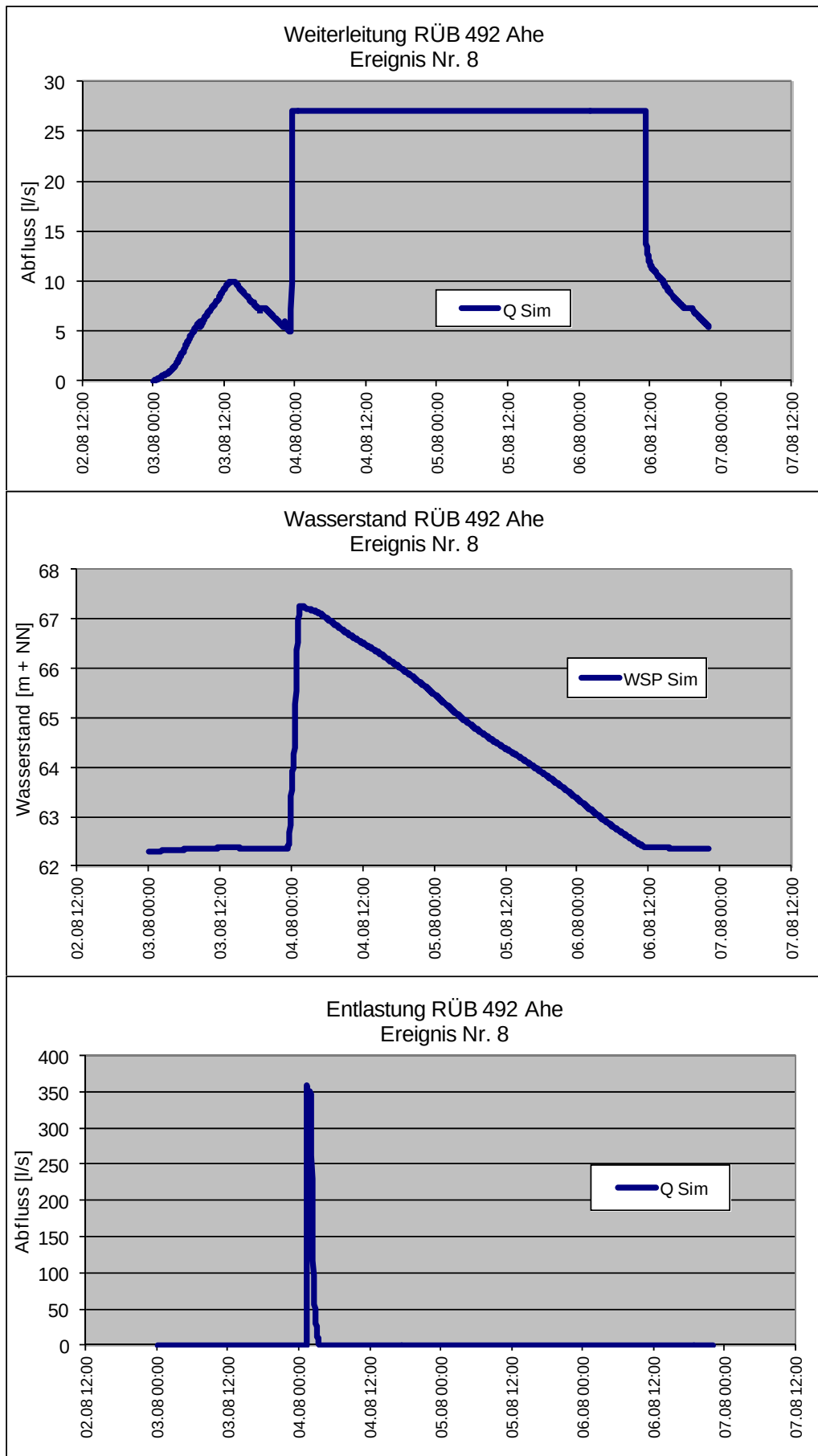
Anlage 3-12: RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 8



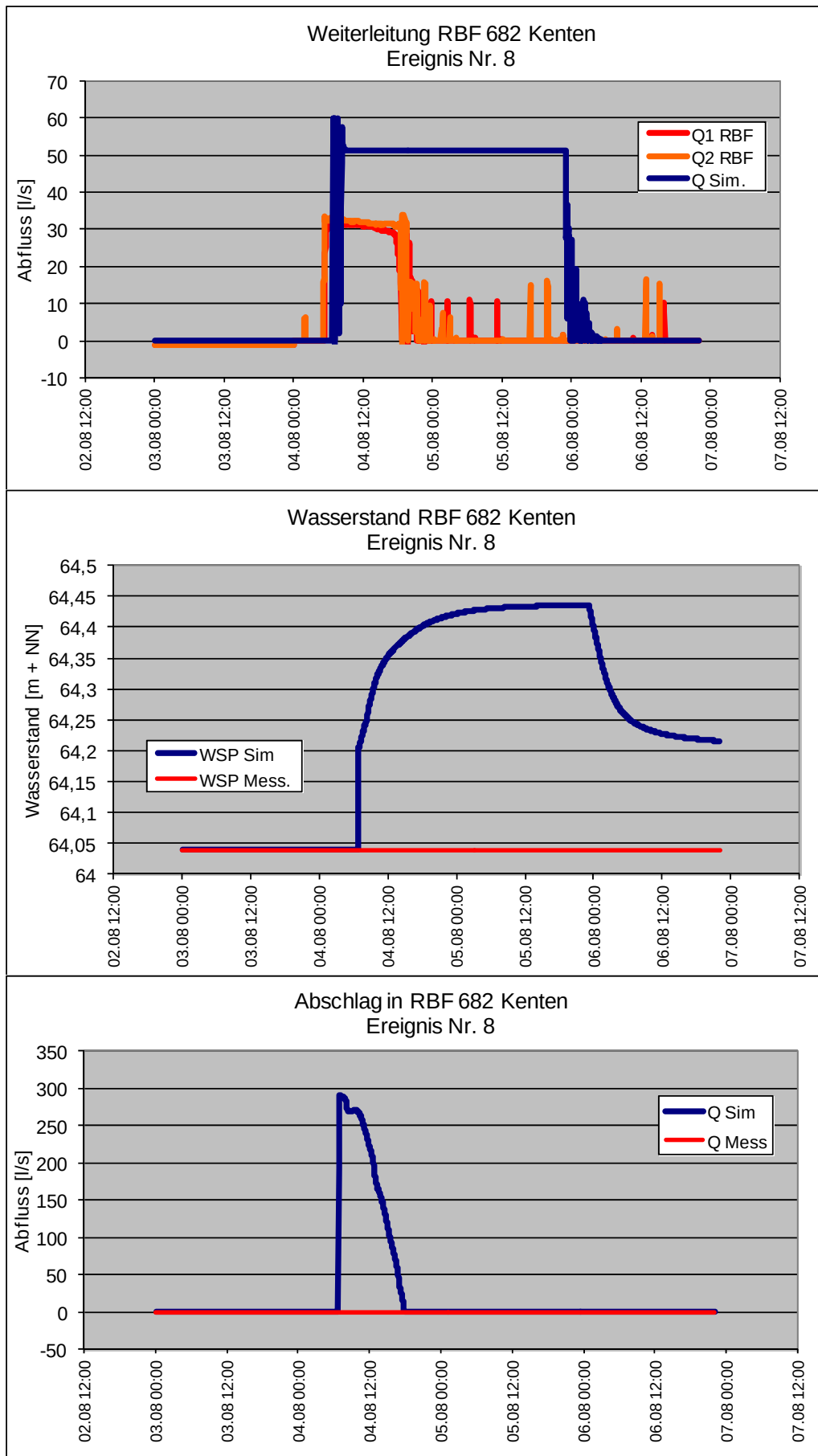
Anlage 3-13: RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 8



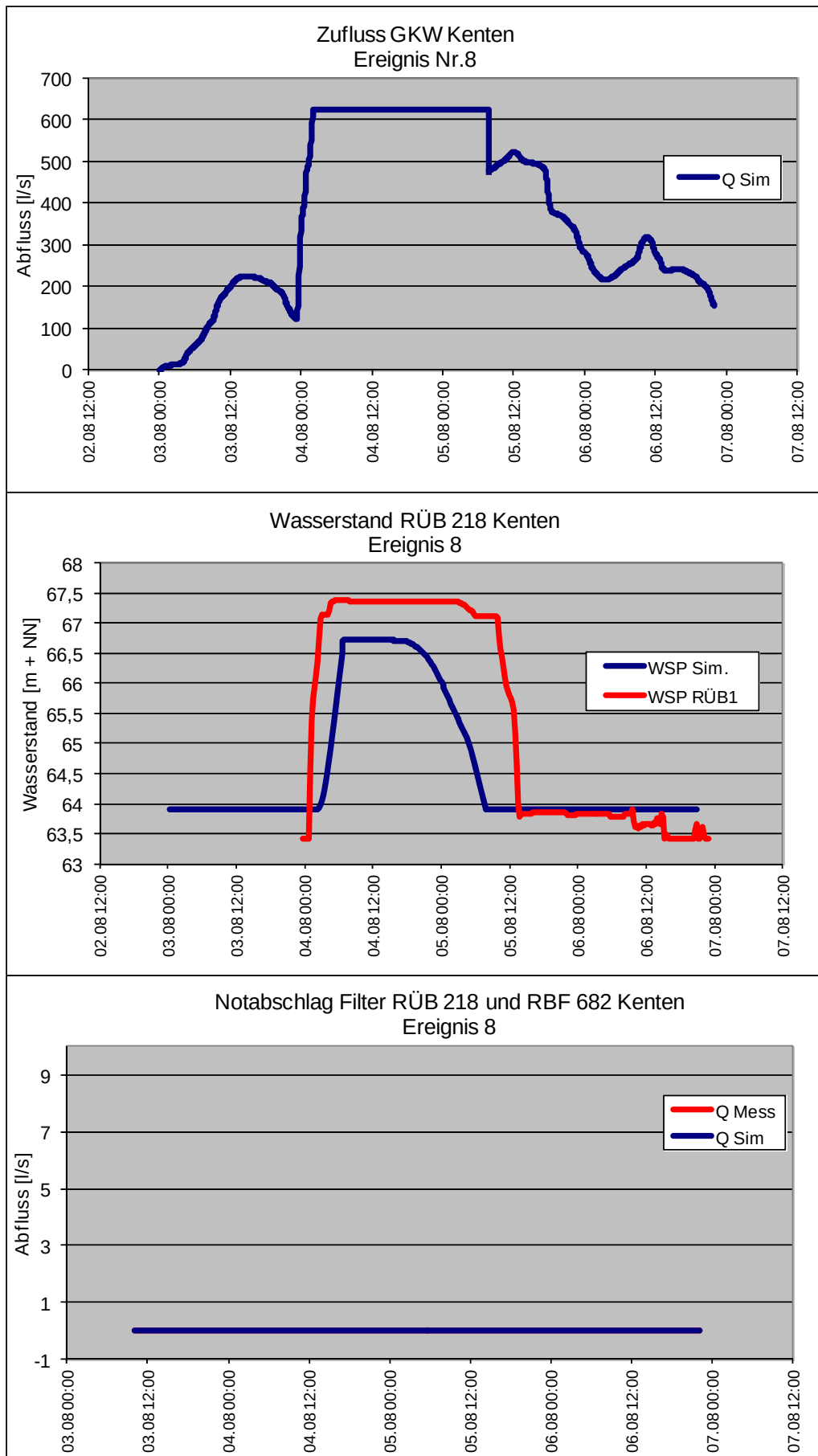
Anlage 3-14: RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 8



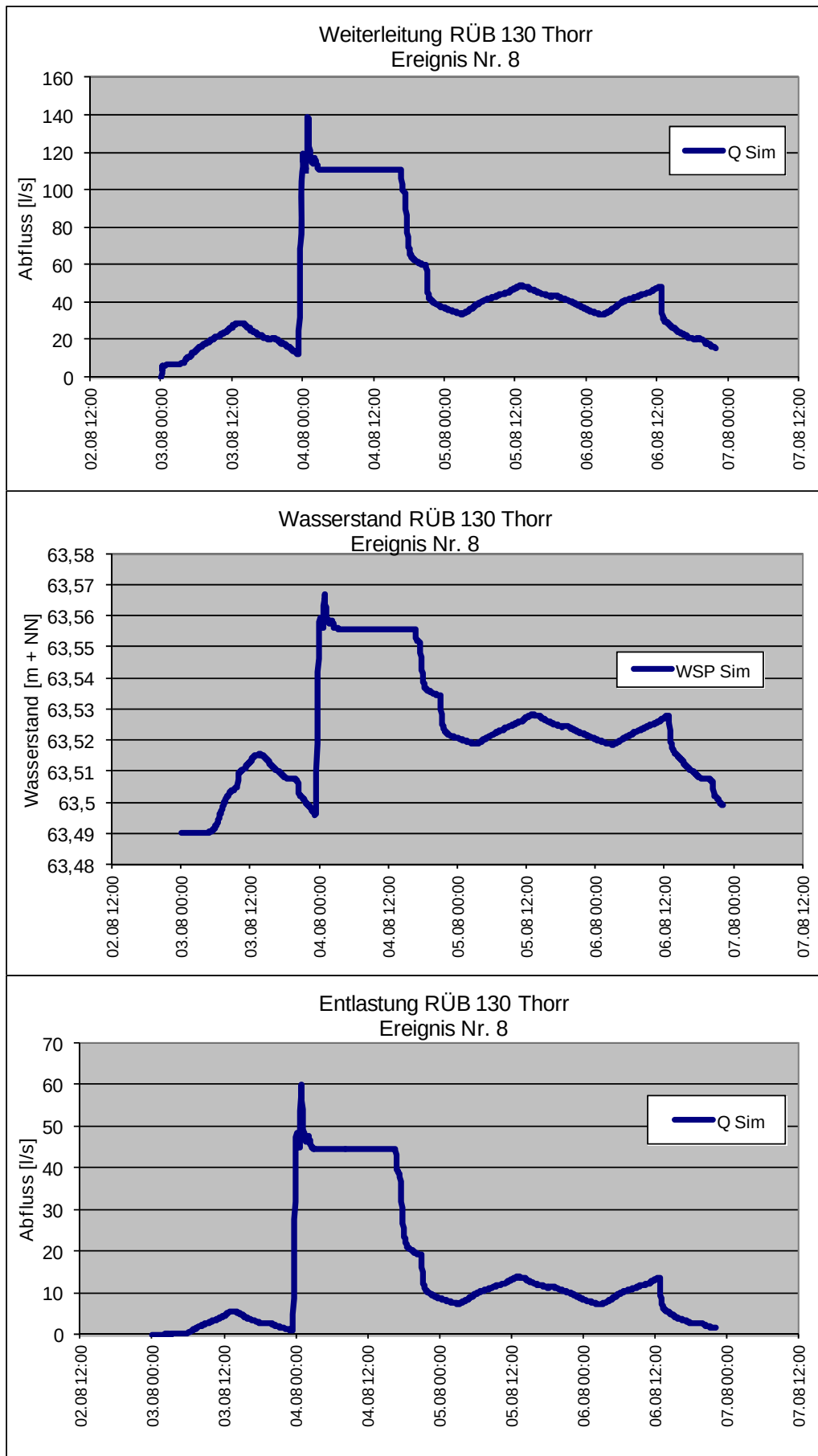
Anlage 3-15: RÜB 492 Ahe, Ereignis Nr. 8



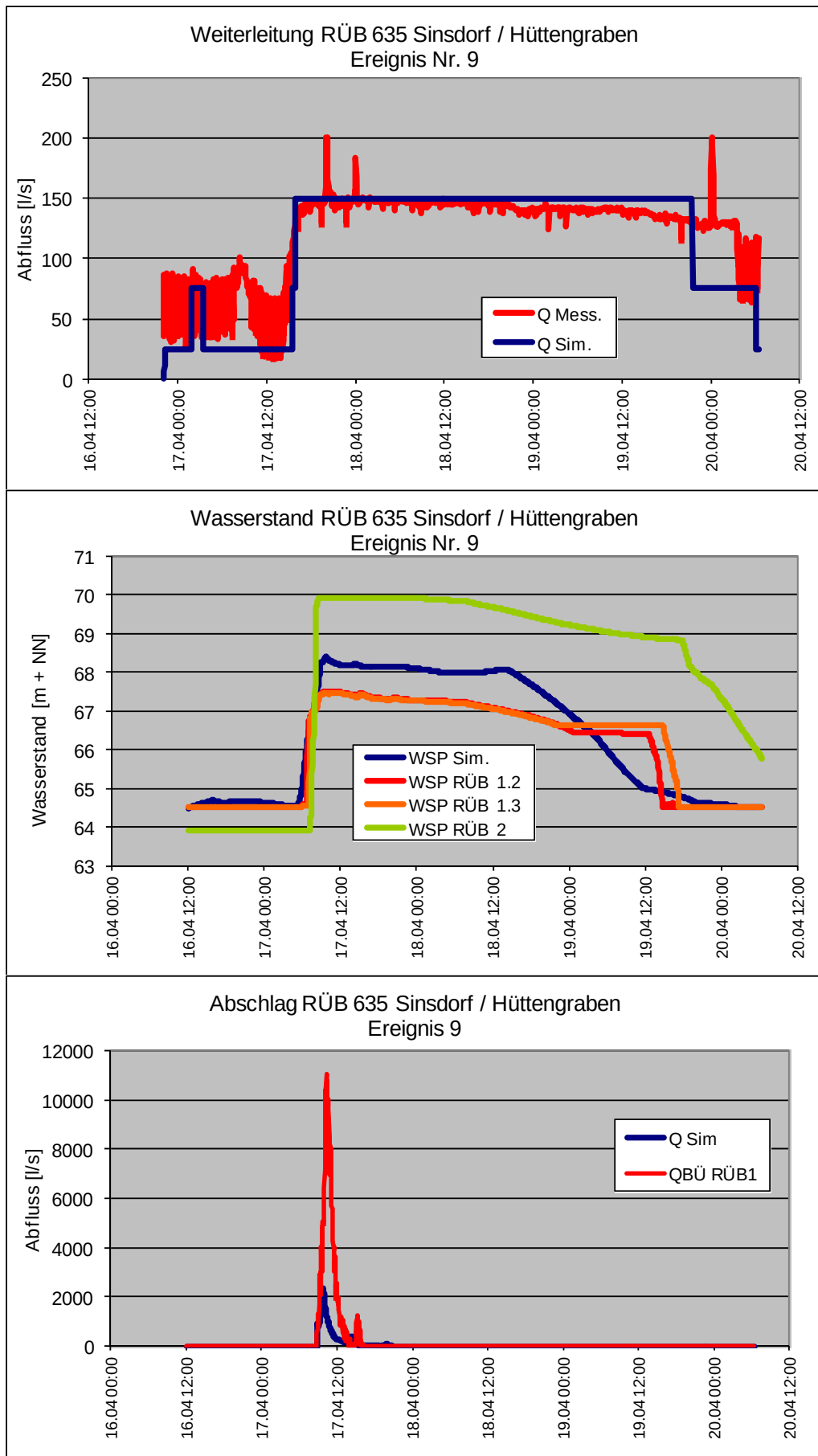
Anlage 3-16: RBF 682 Kanten, Ereignis Nr. 8



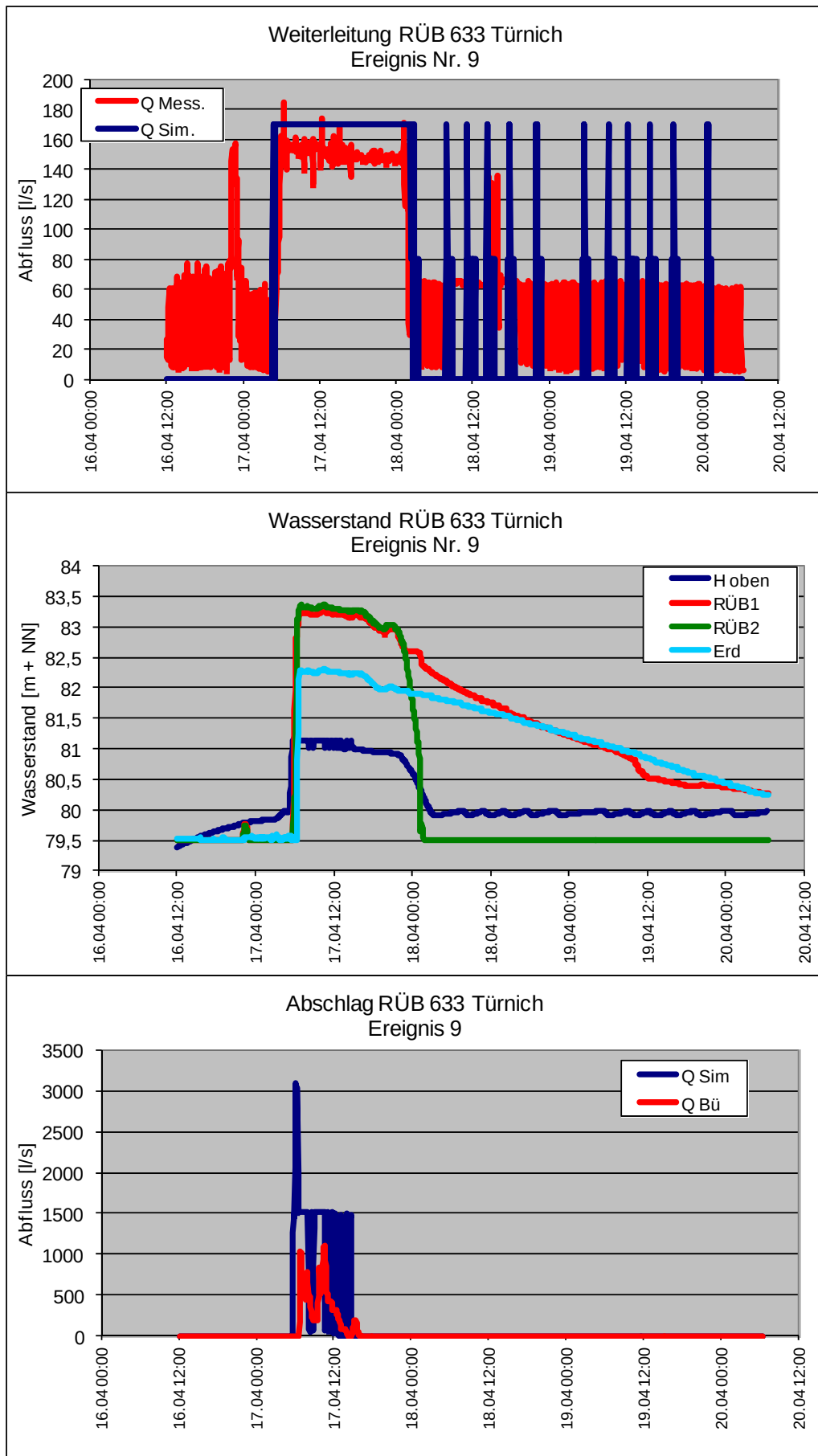
Anlage 3-17: GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 8



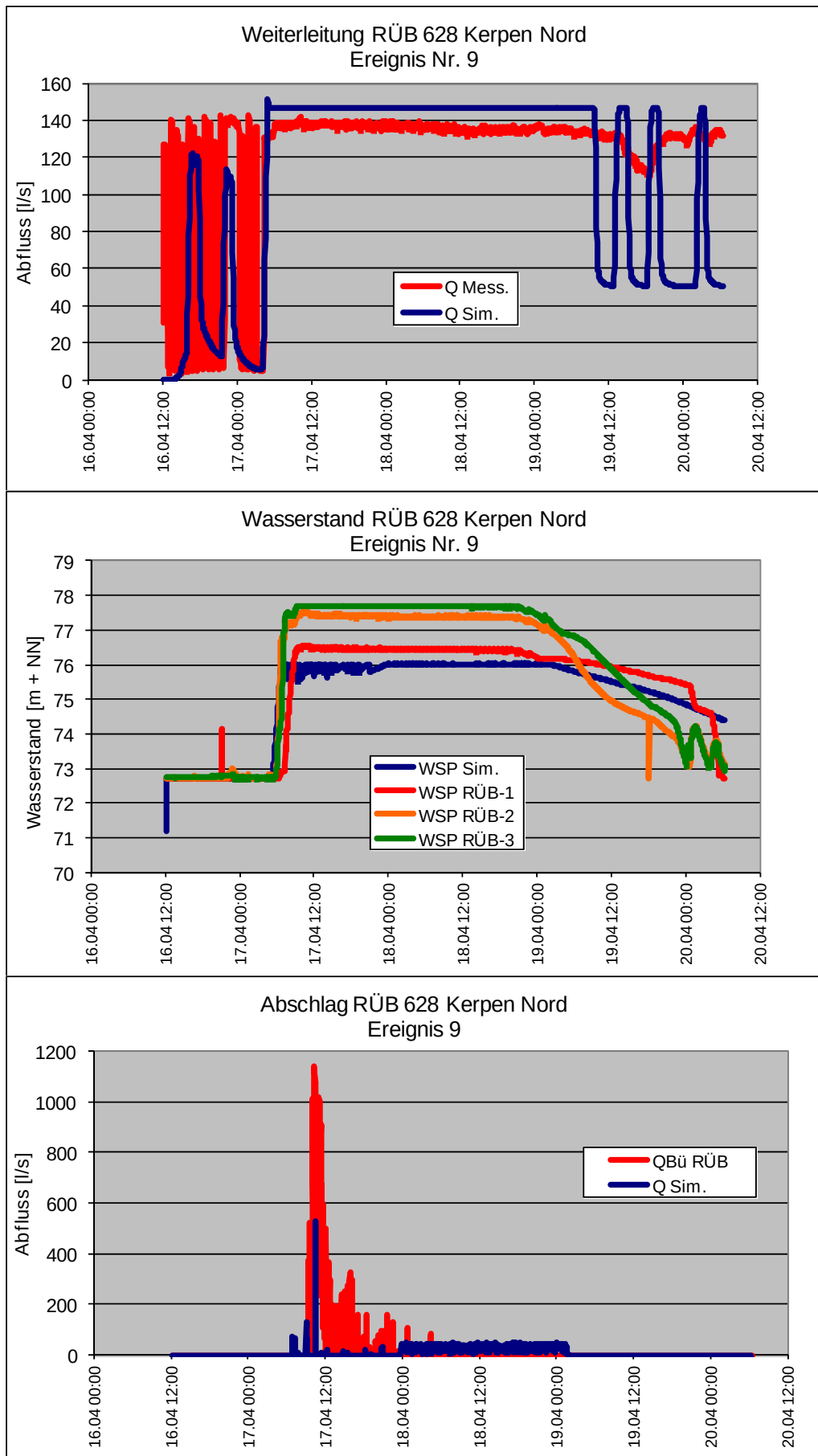
Anlage 3-18: RÜB 130 Thorr, Ereignis Nr. 8



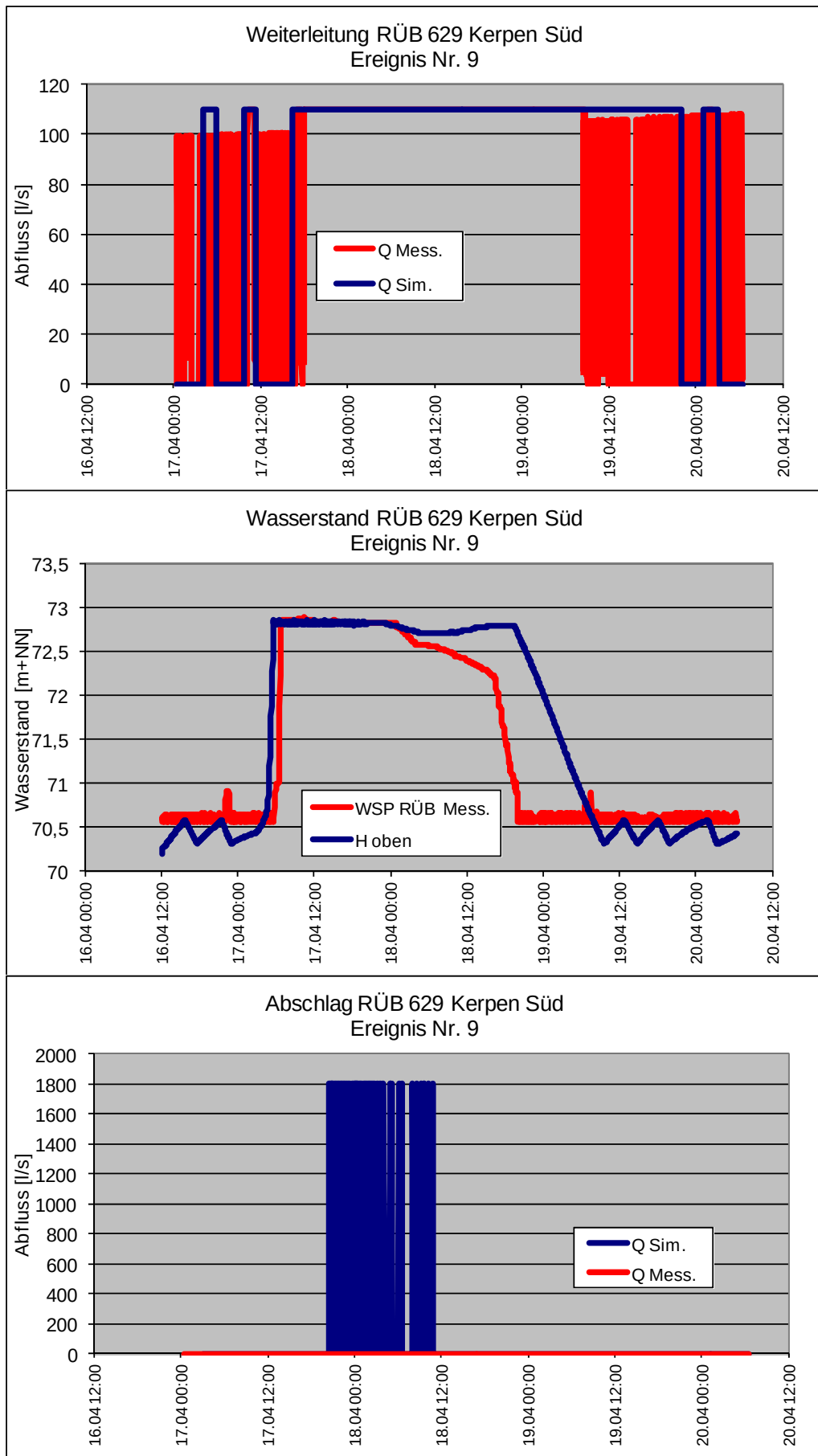
Anlage 3-19: RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 9



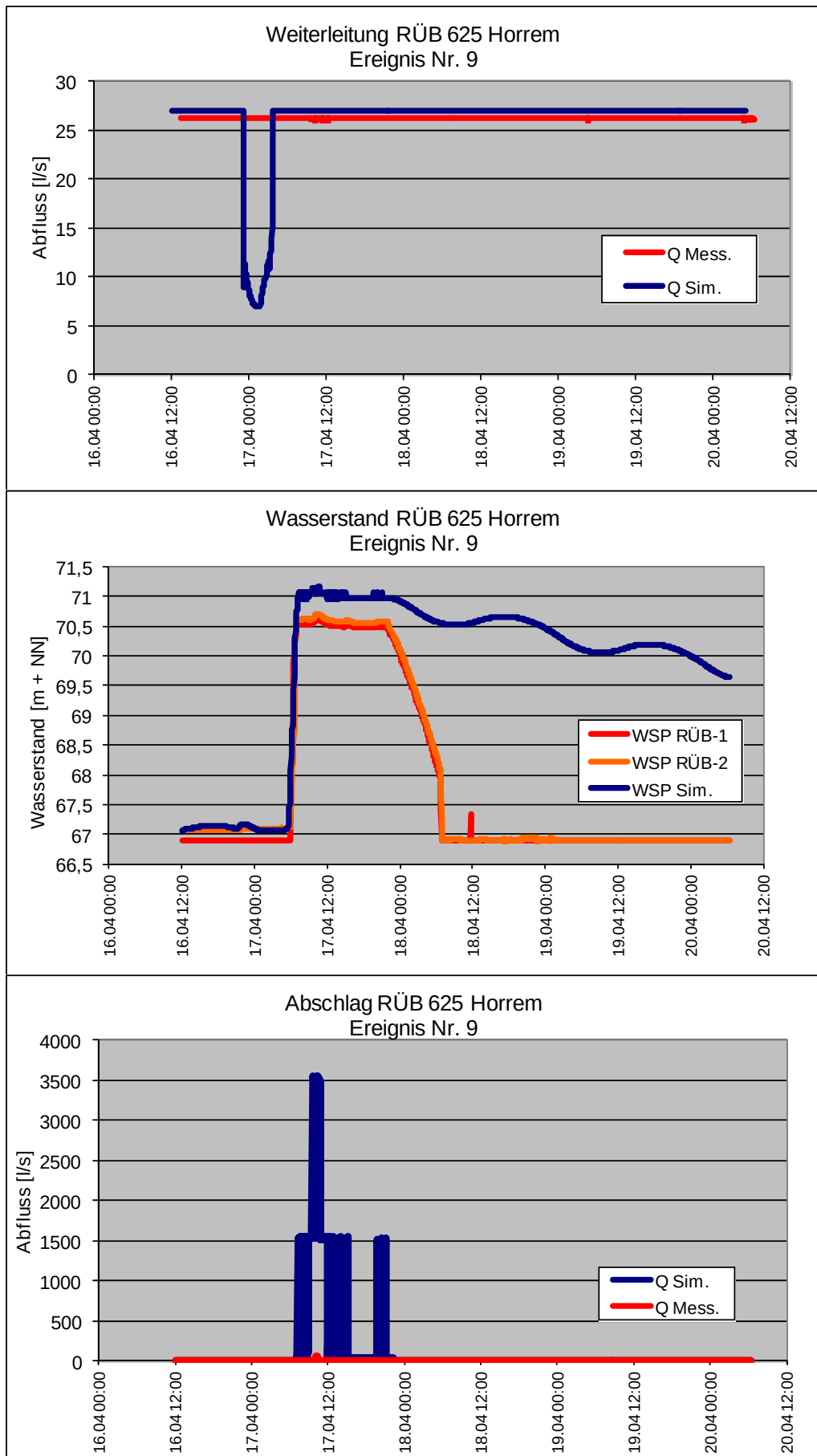
Anlage 3-20: RÜB 633 Türrnich, Ereignis Nr. 9



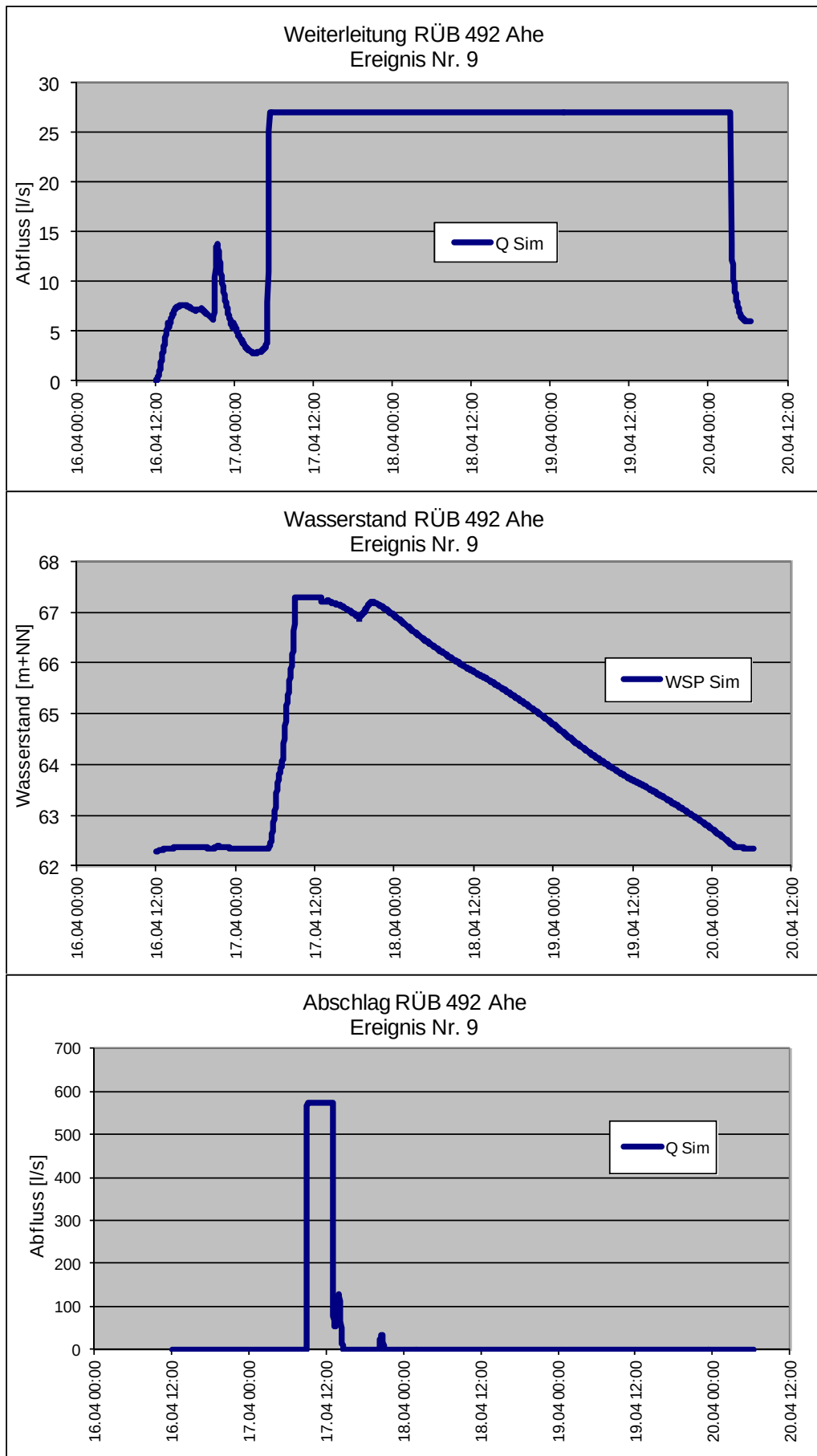
Anlage 3-21: RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 9



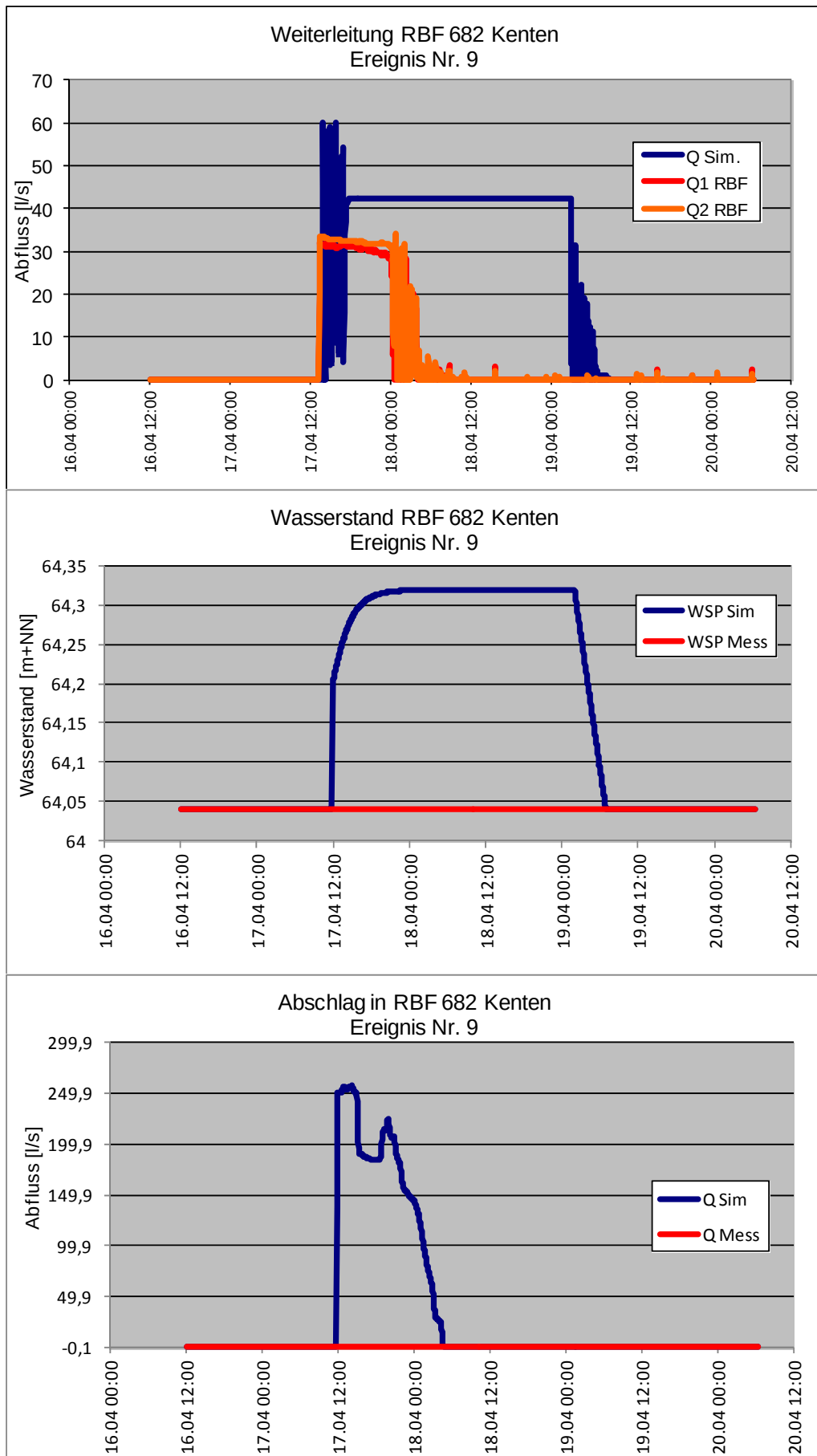
Anlage 3-22: RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 9



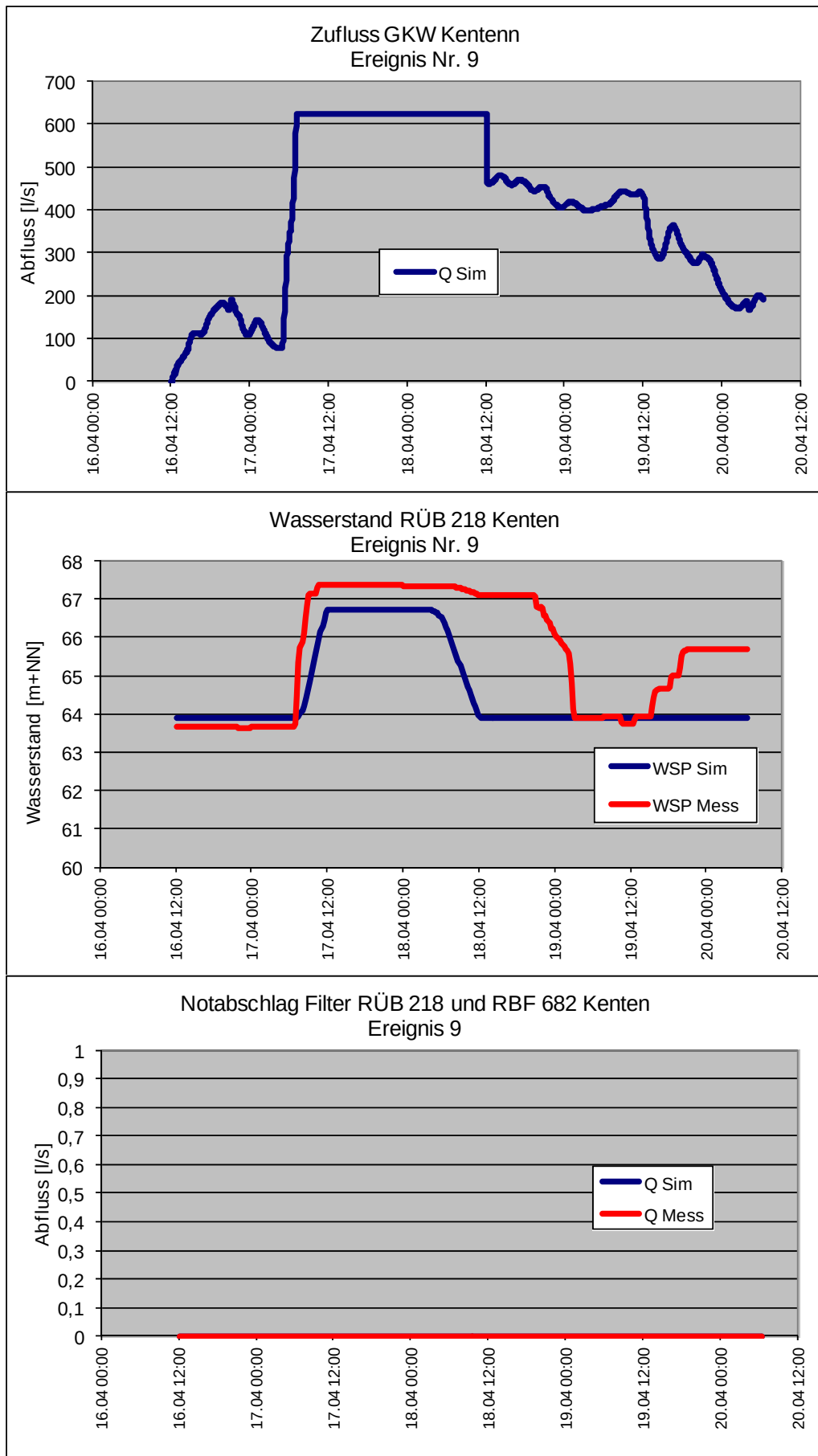
Anlage 3-23: RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 9



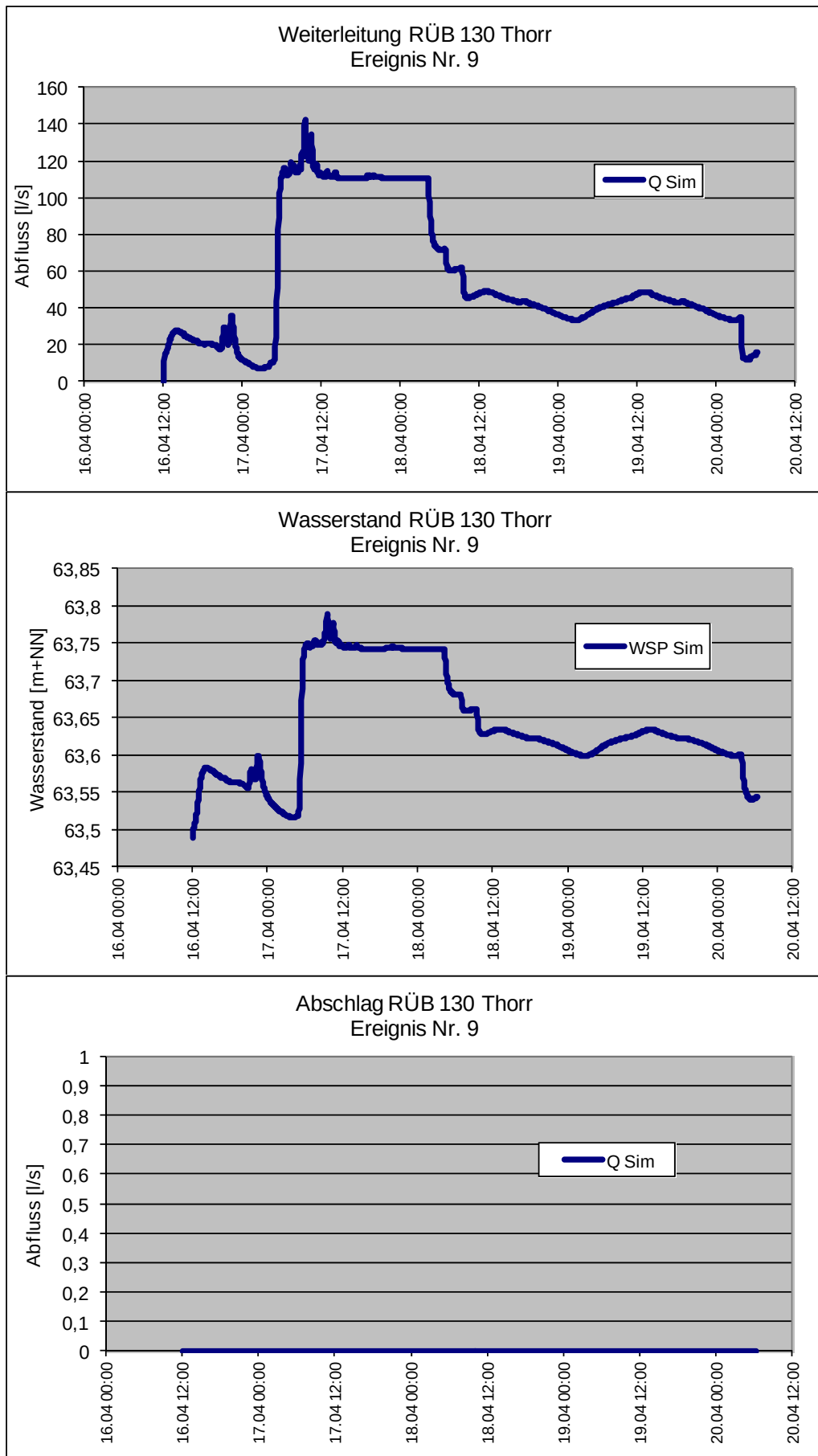
Anlage 3-24: RÜB 492 Ahe, Ereignis Nr. 9



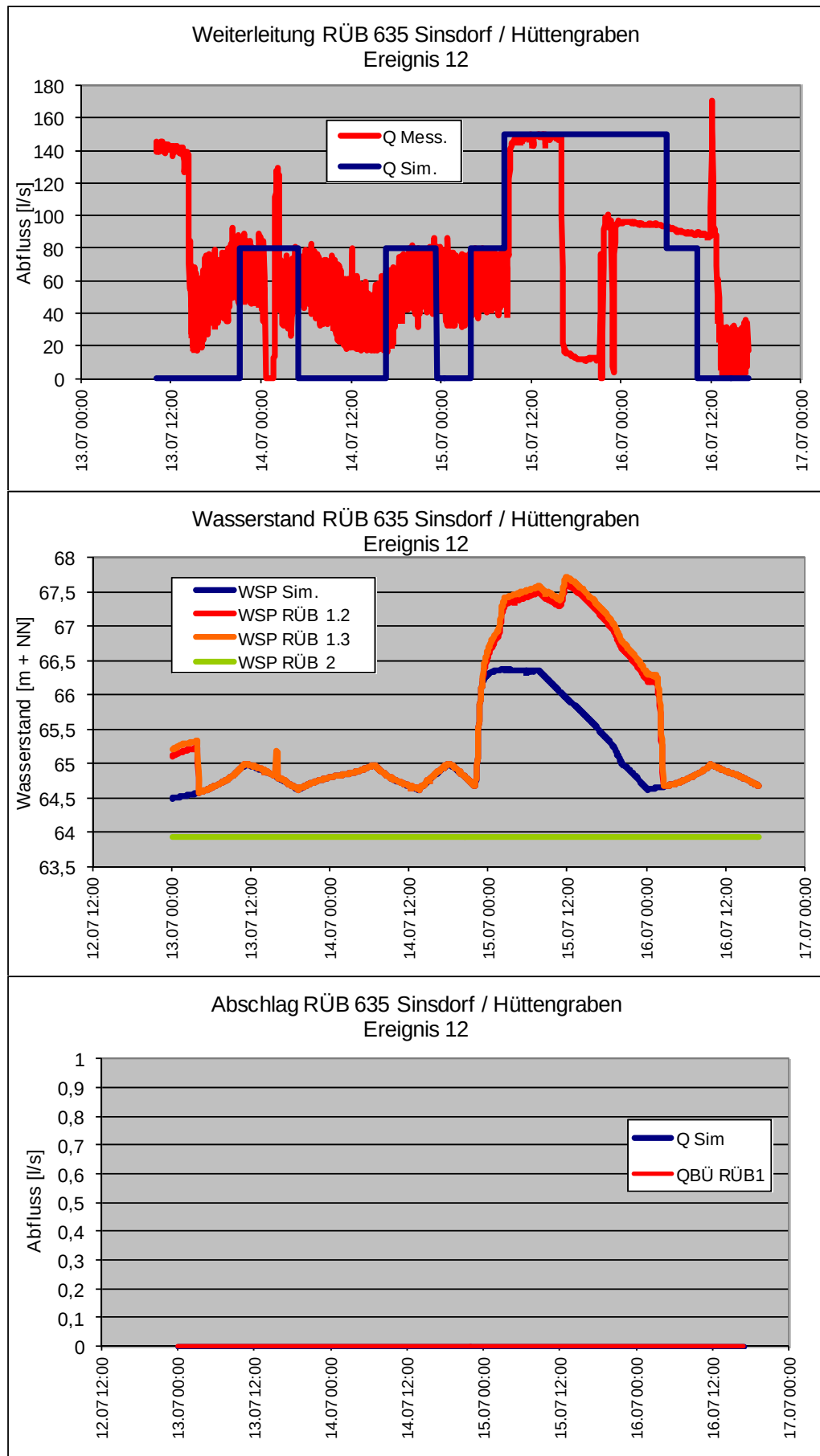
Anlage 3-25: RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 9



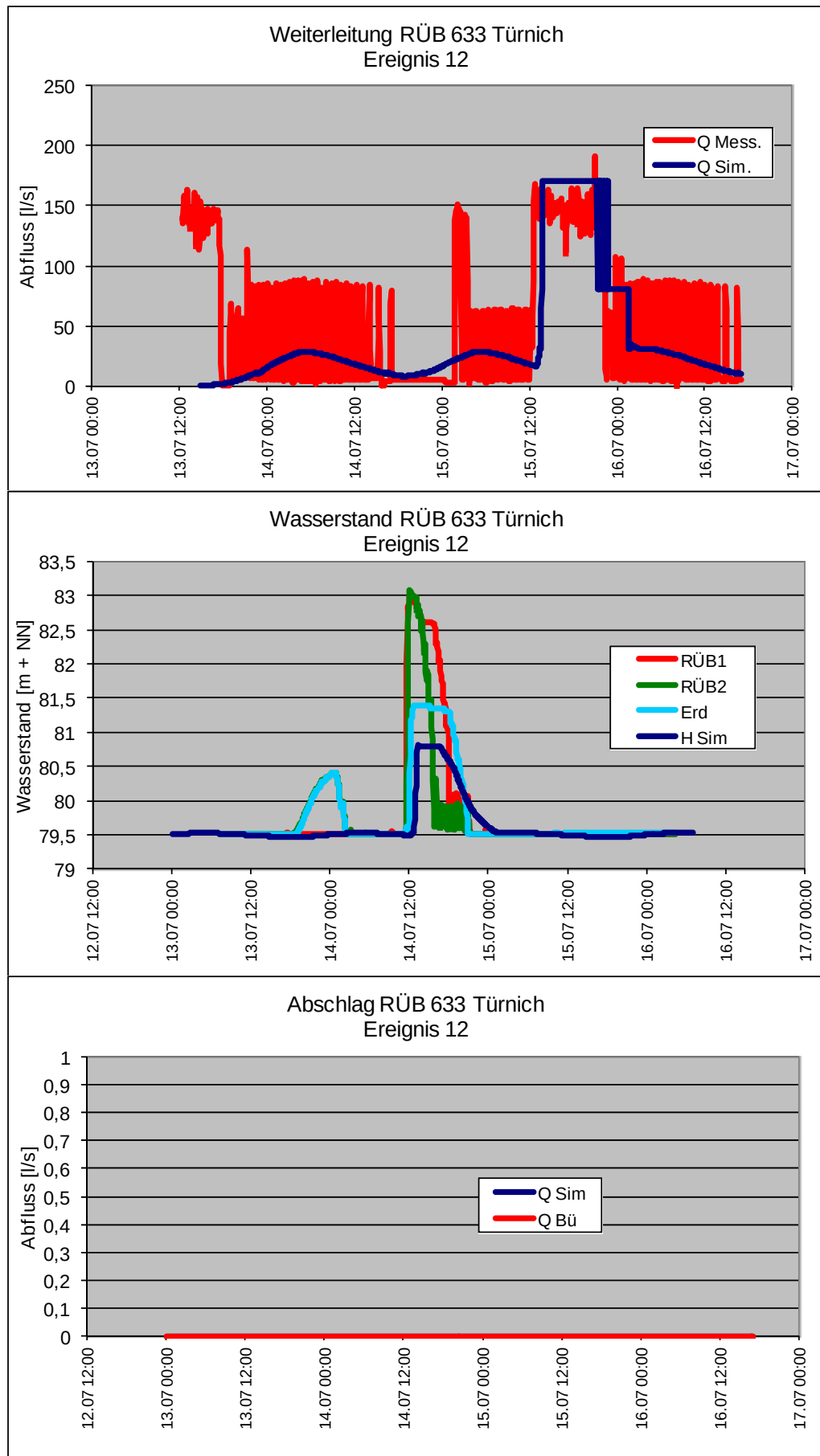
Anlage 3-26: GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 9



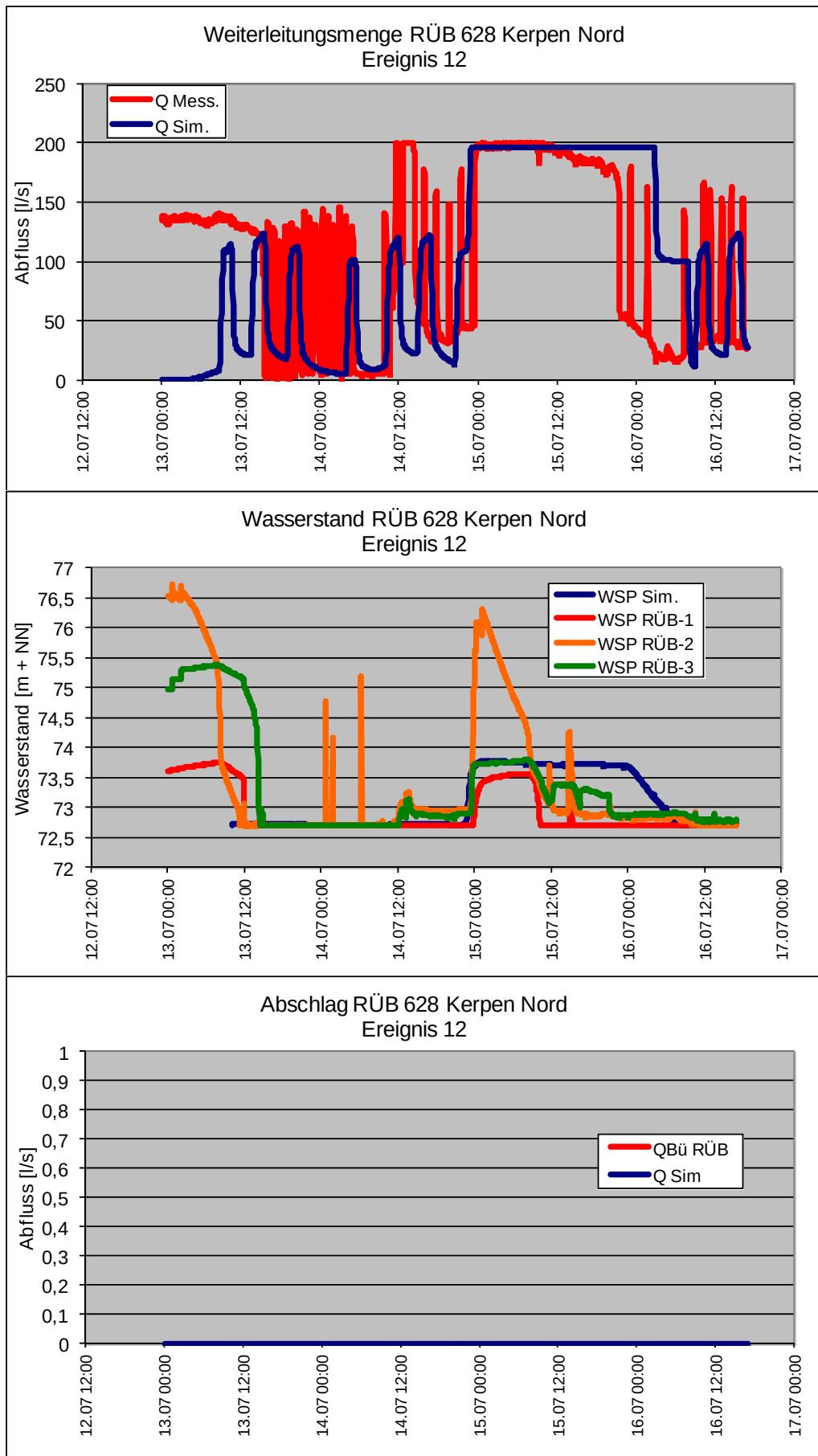
Anlage 3-27: RÜB 130 Thorr, Ereignis Nr. 9



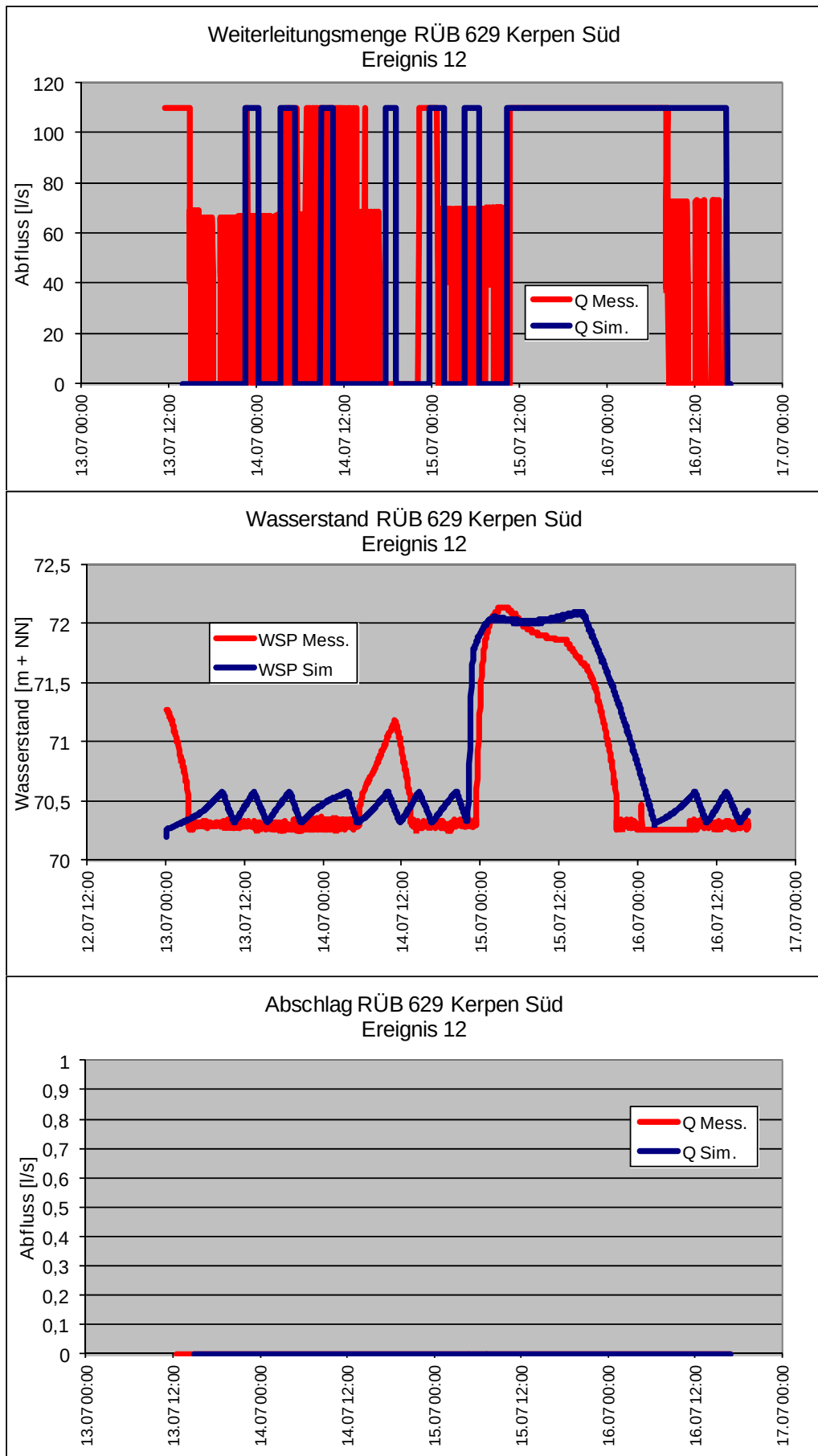
Anlage 3-28: RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 12



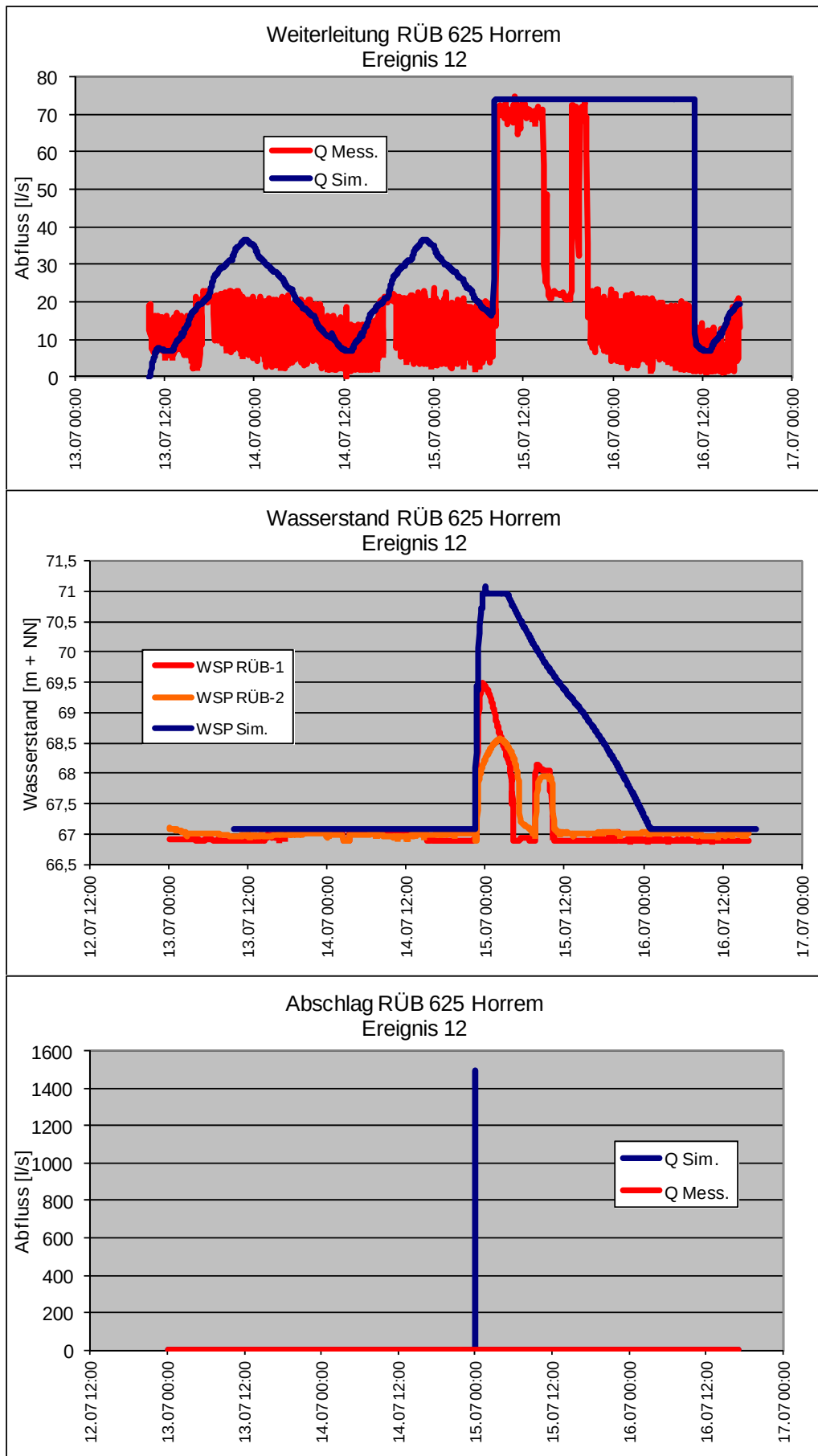
Anlage 3-29: RÜB 633 Türrnich, Ereignis Nr. 12



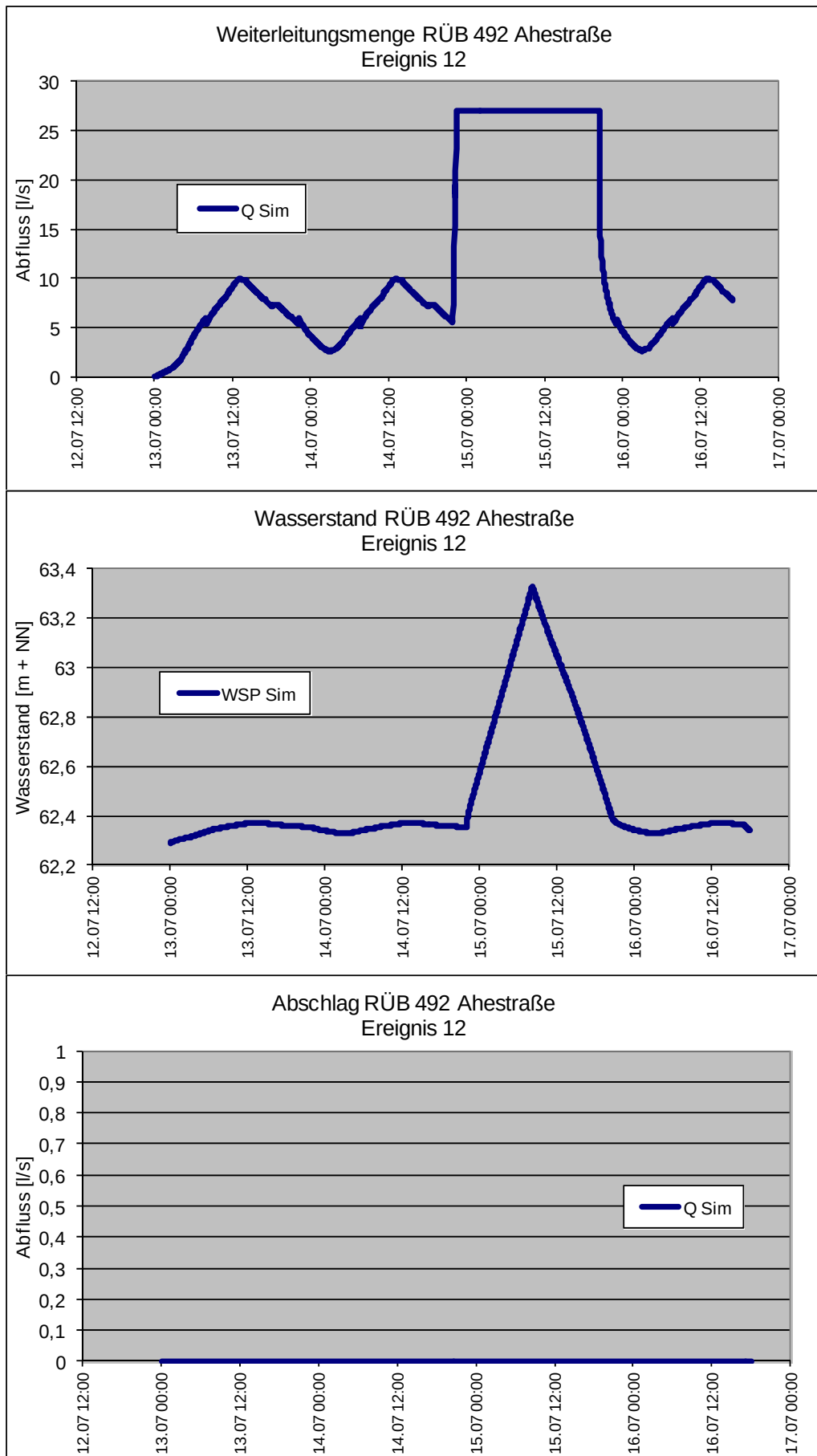
Anlage 3-30: RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 12



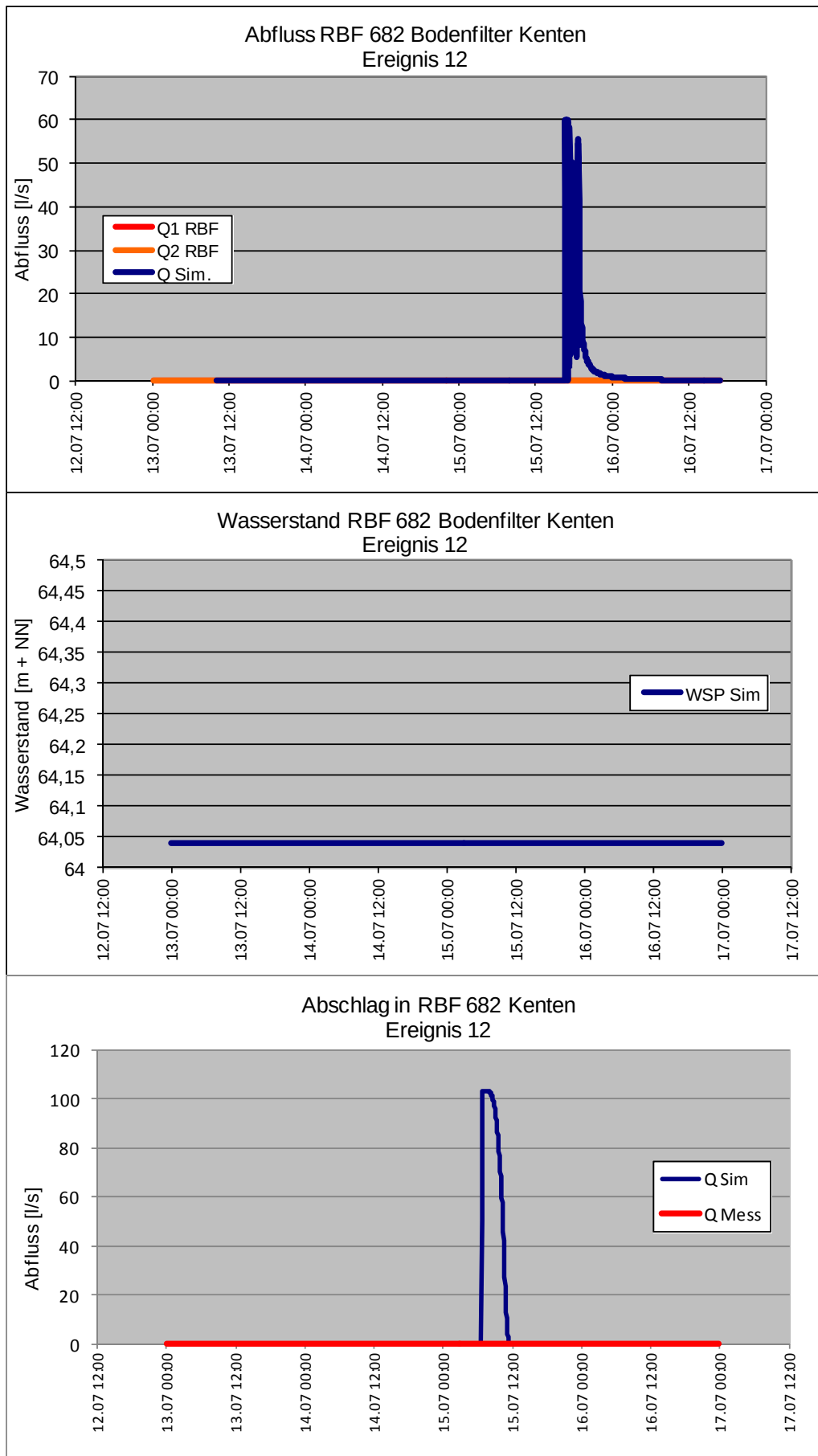
Anlage 3-31: RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 12

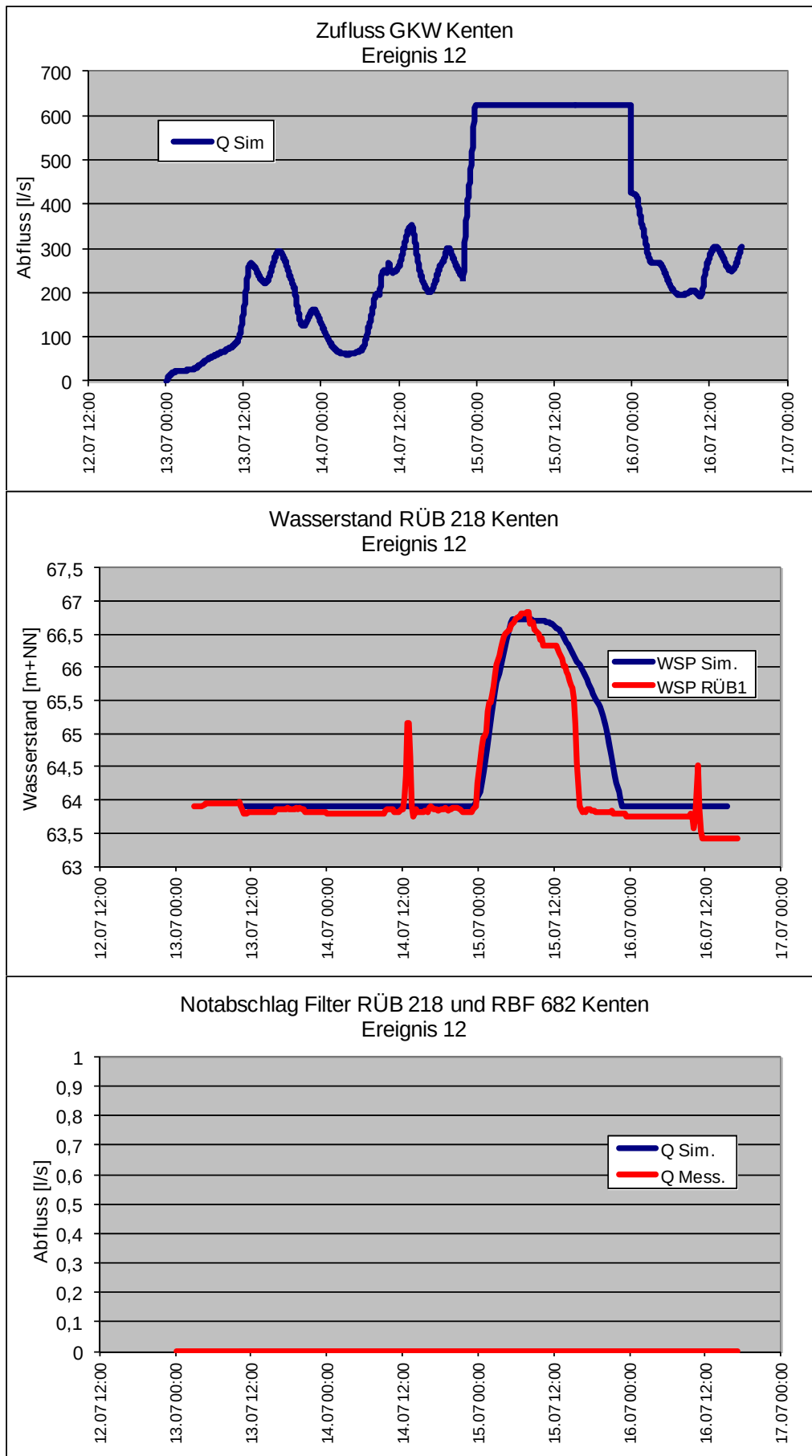


Anlage 3-32: RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 12

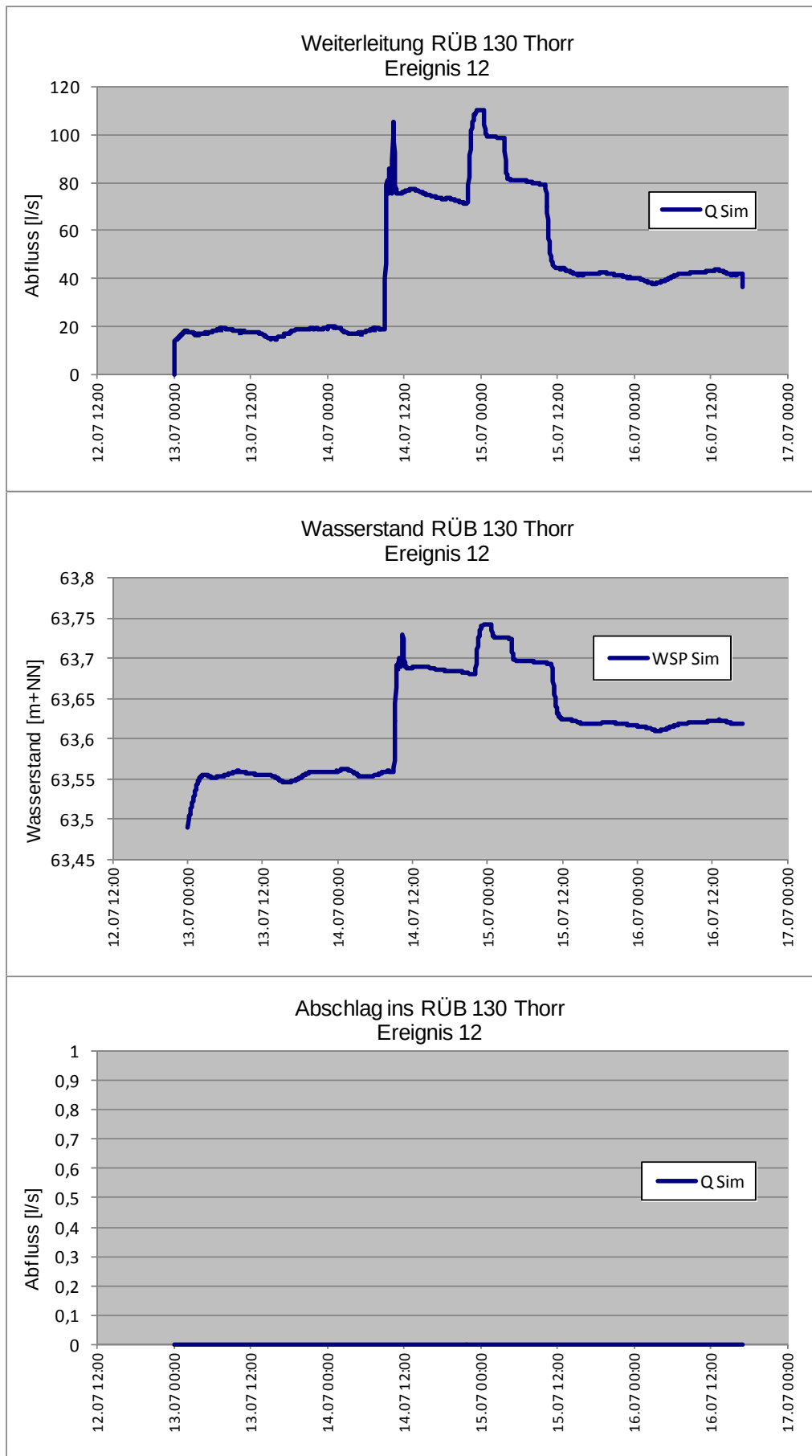


Anlage 3-33: RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 12

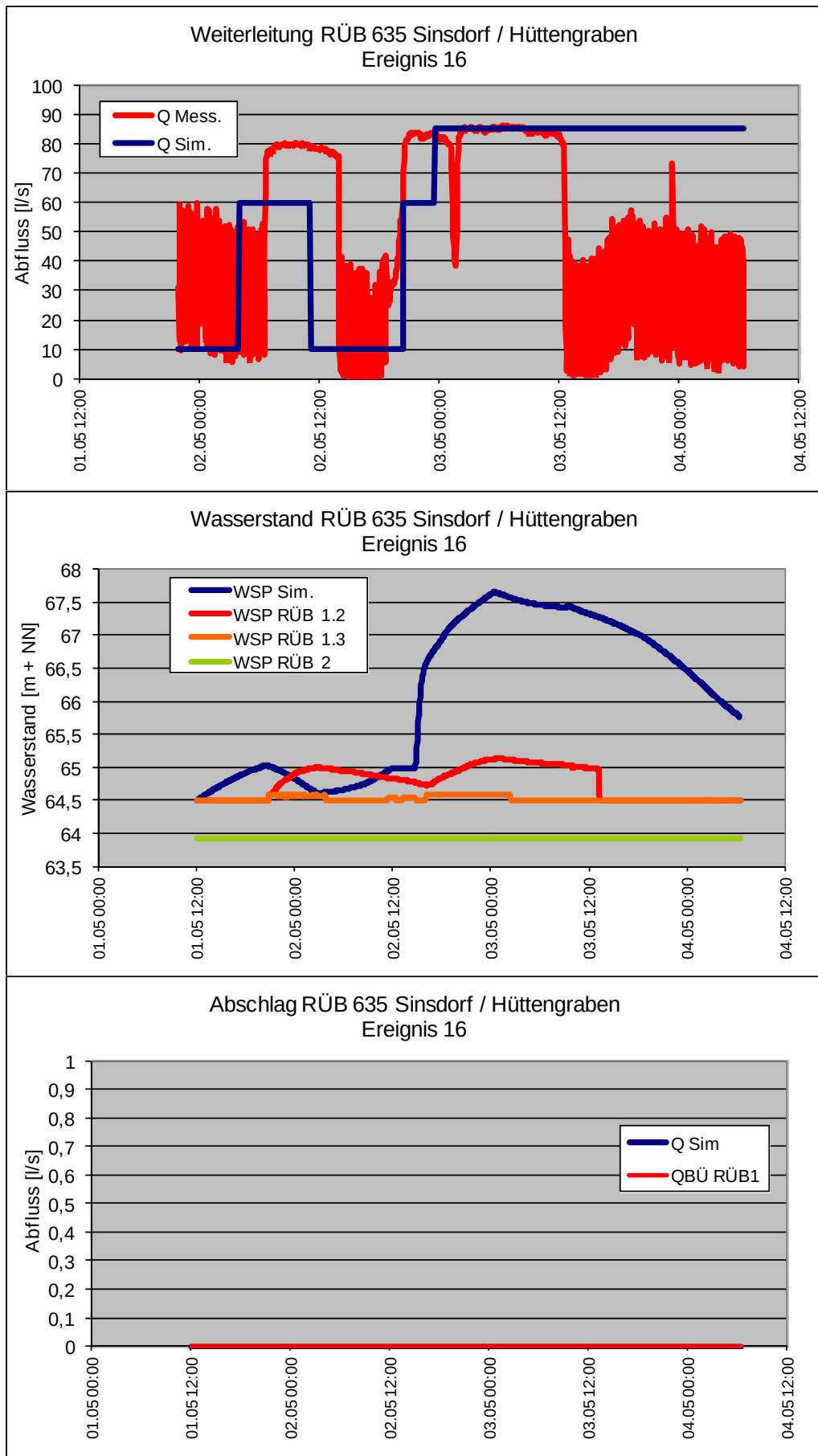
**Anlage 3-34: RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 12**



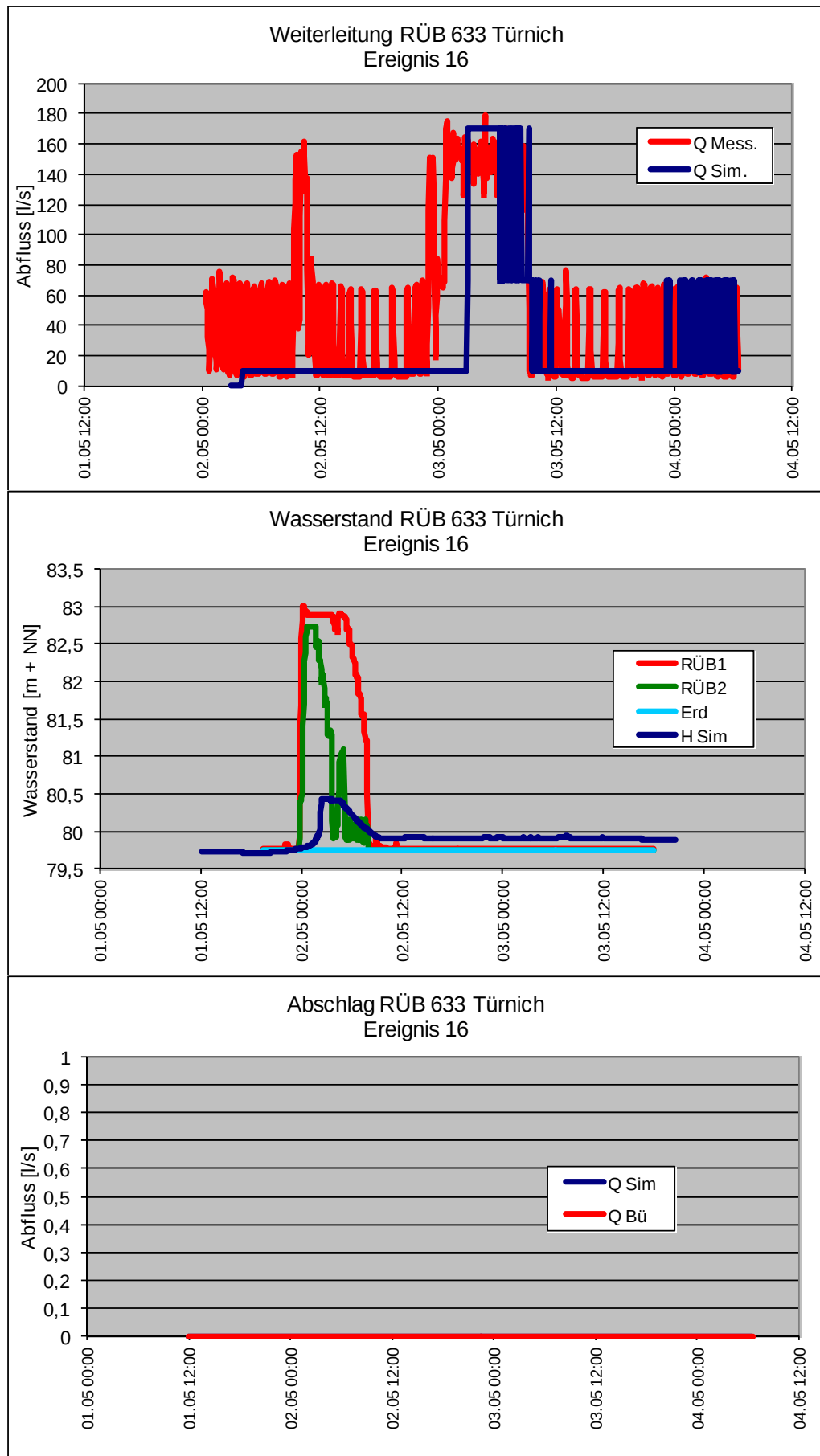
Anlage 3-35: GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 12



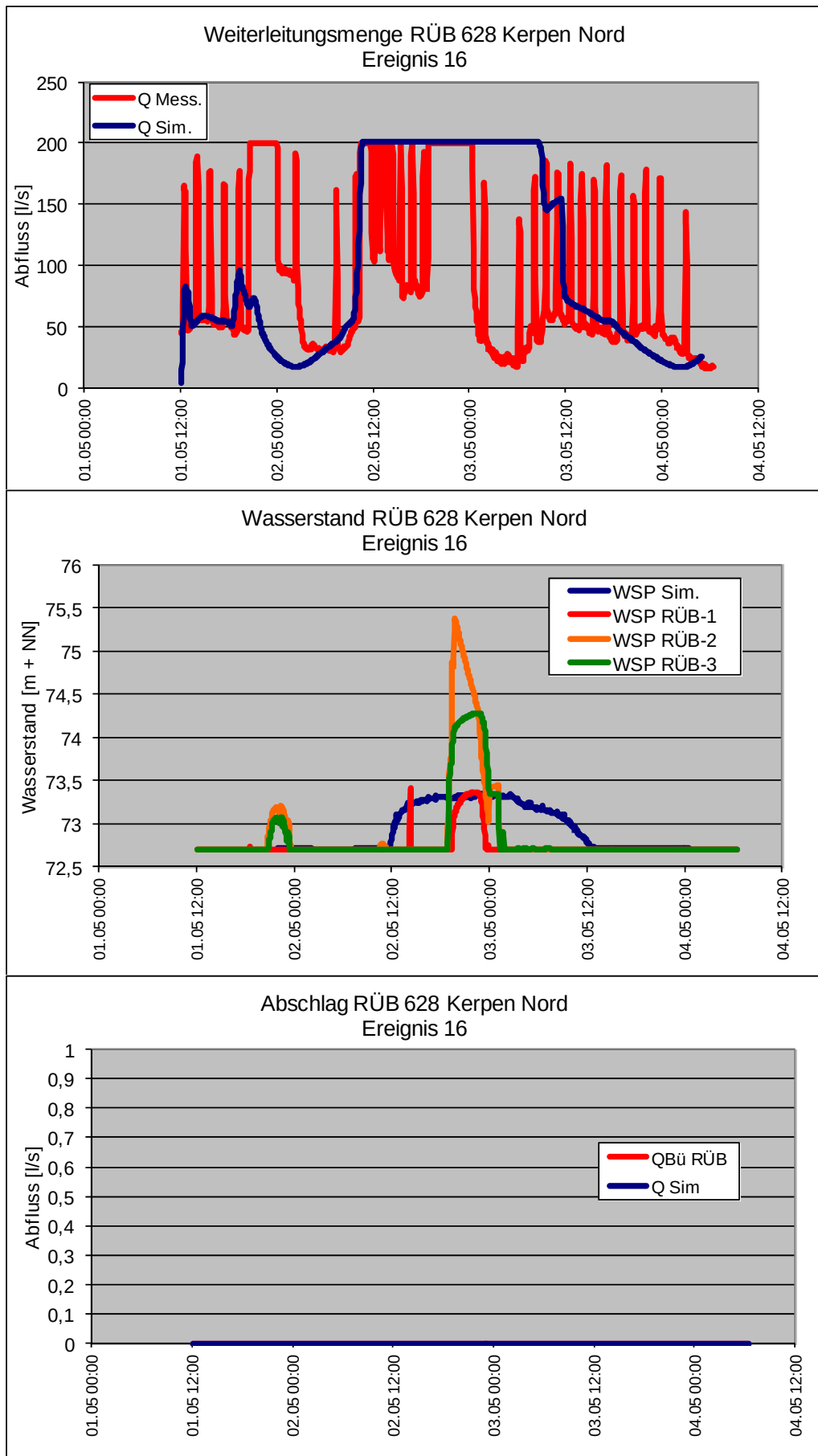
Anlage 3-36: RÜB 130 Thorr, Ereignis Nr. 12



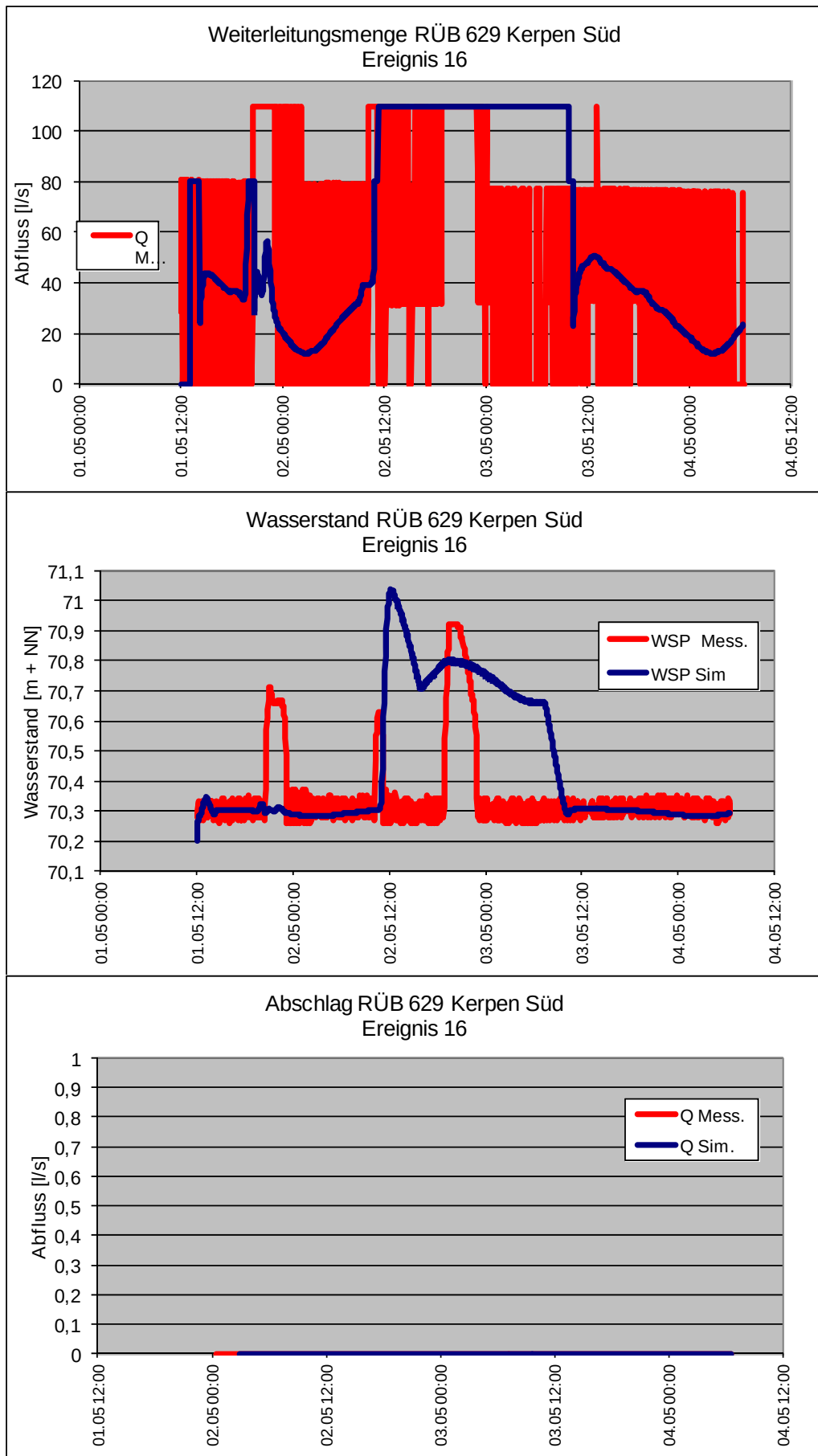
Anlage 3-37: RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 16



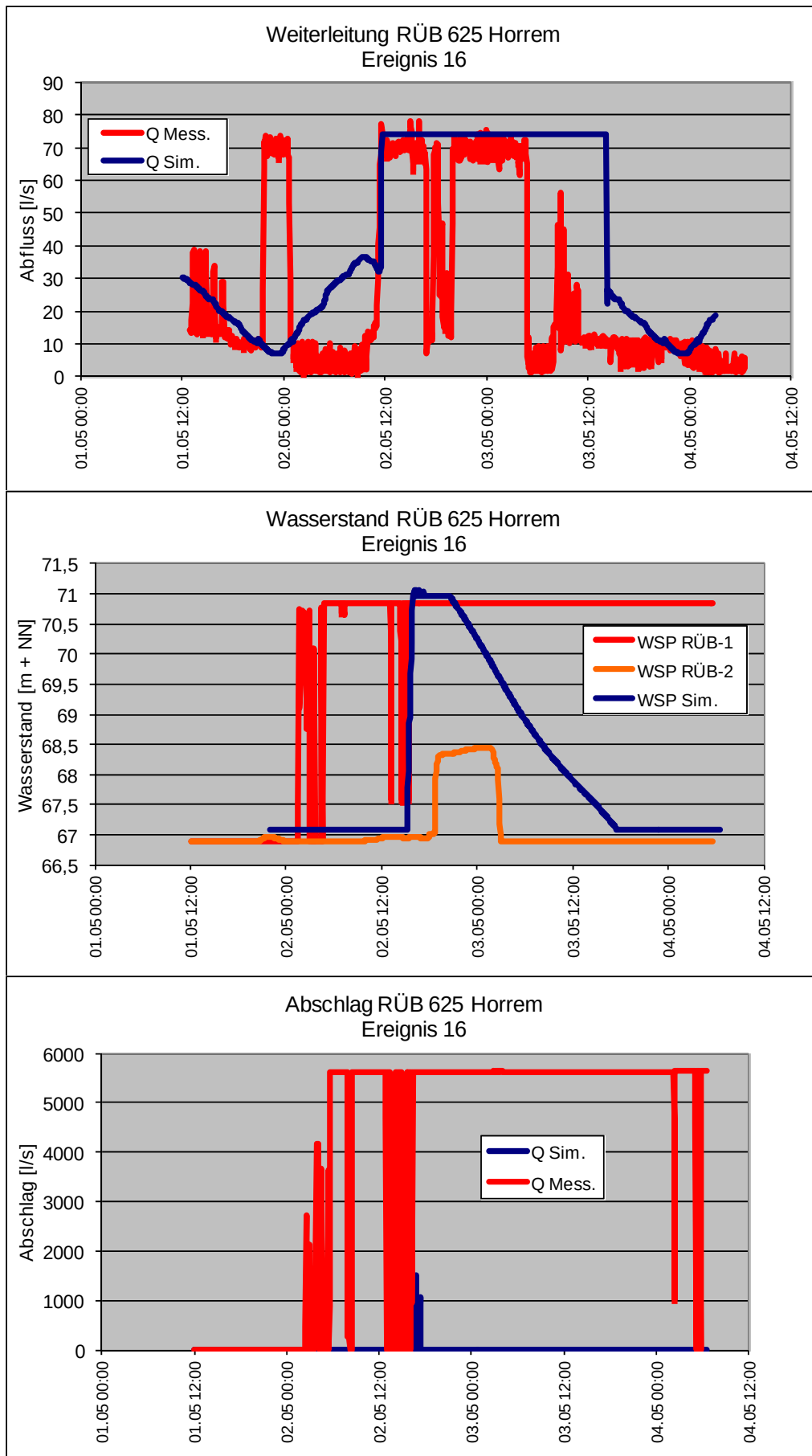
Anlage 3-38: RÜB 633 Türrnich, Ereignis Nr. 16



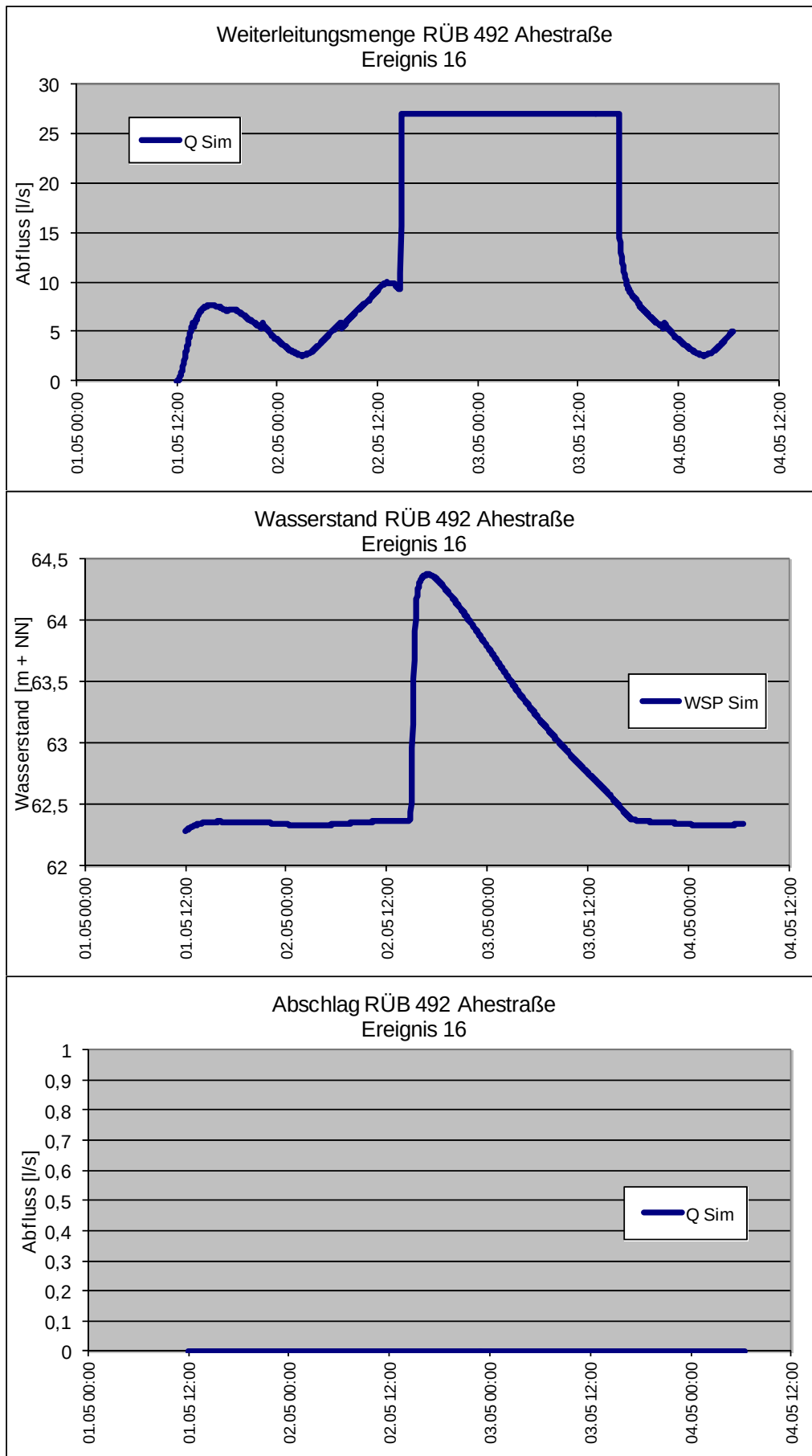
Anlage 3-39: RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 16



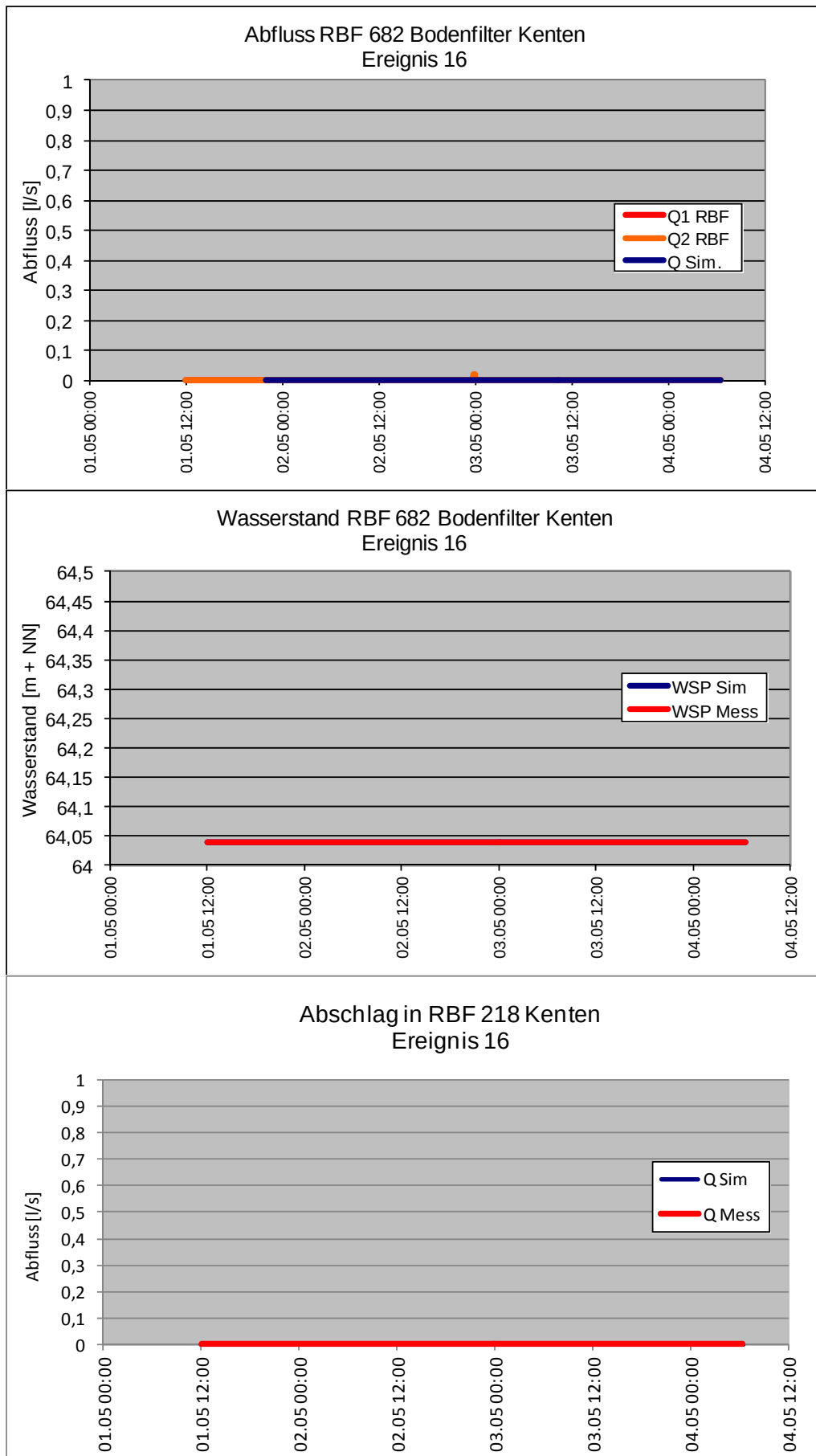
Anlage 3-40: RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 16



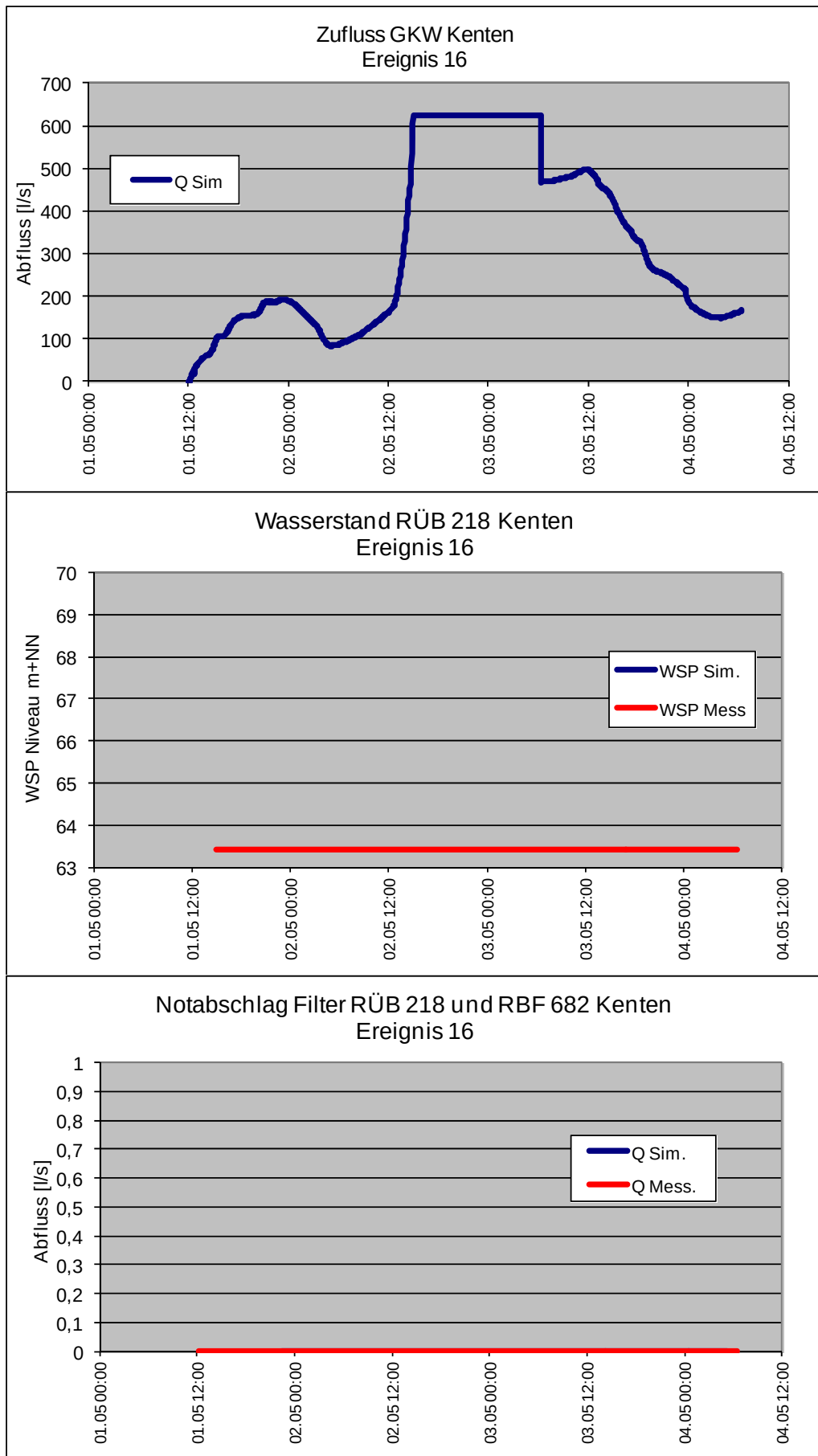
Anlage 3-41: RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 16



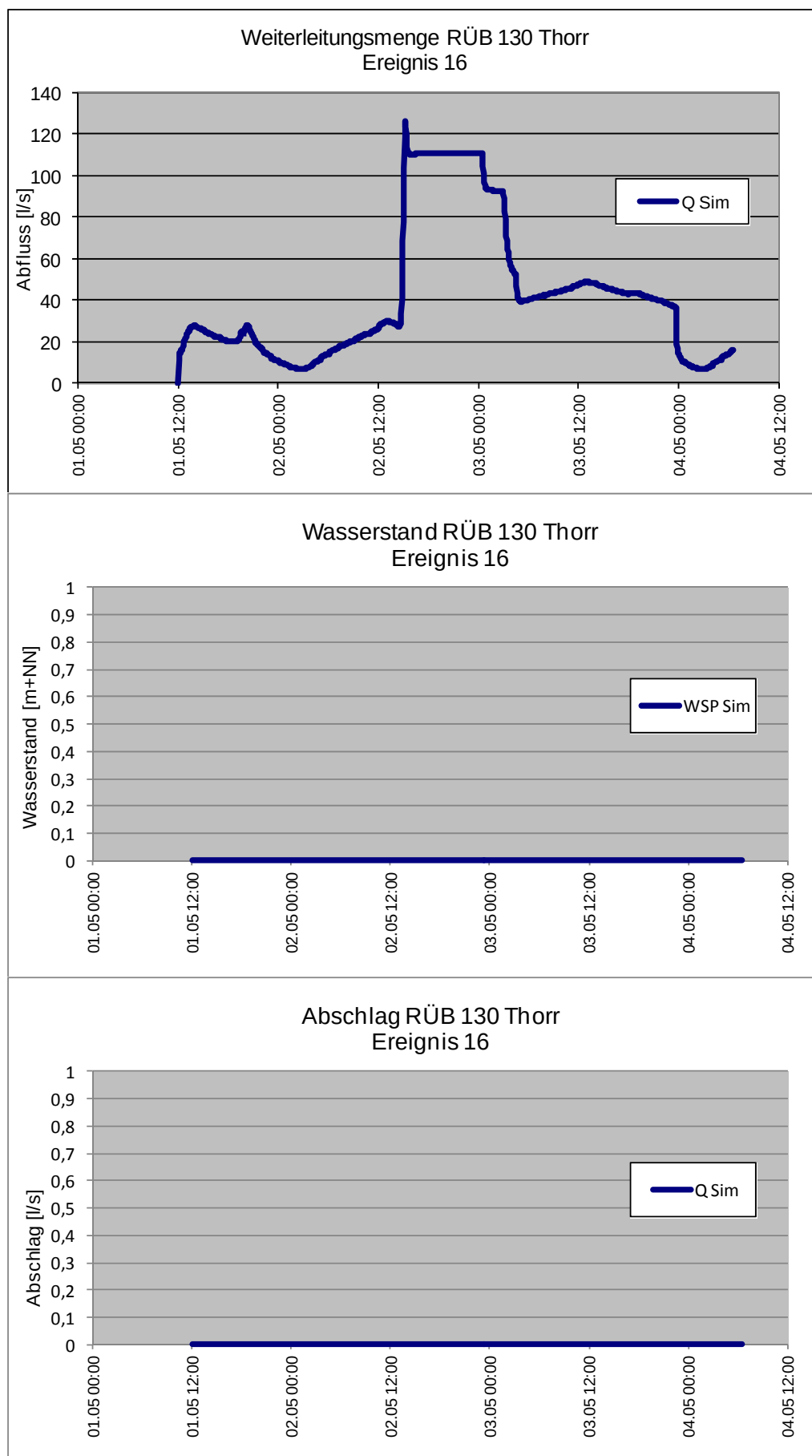
Anlage 3-42: RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 16



Anlage 3-43: RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 16



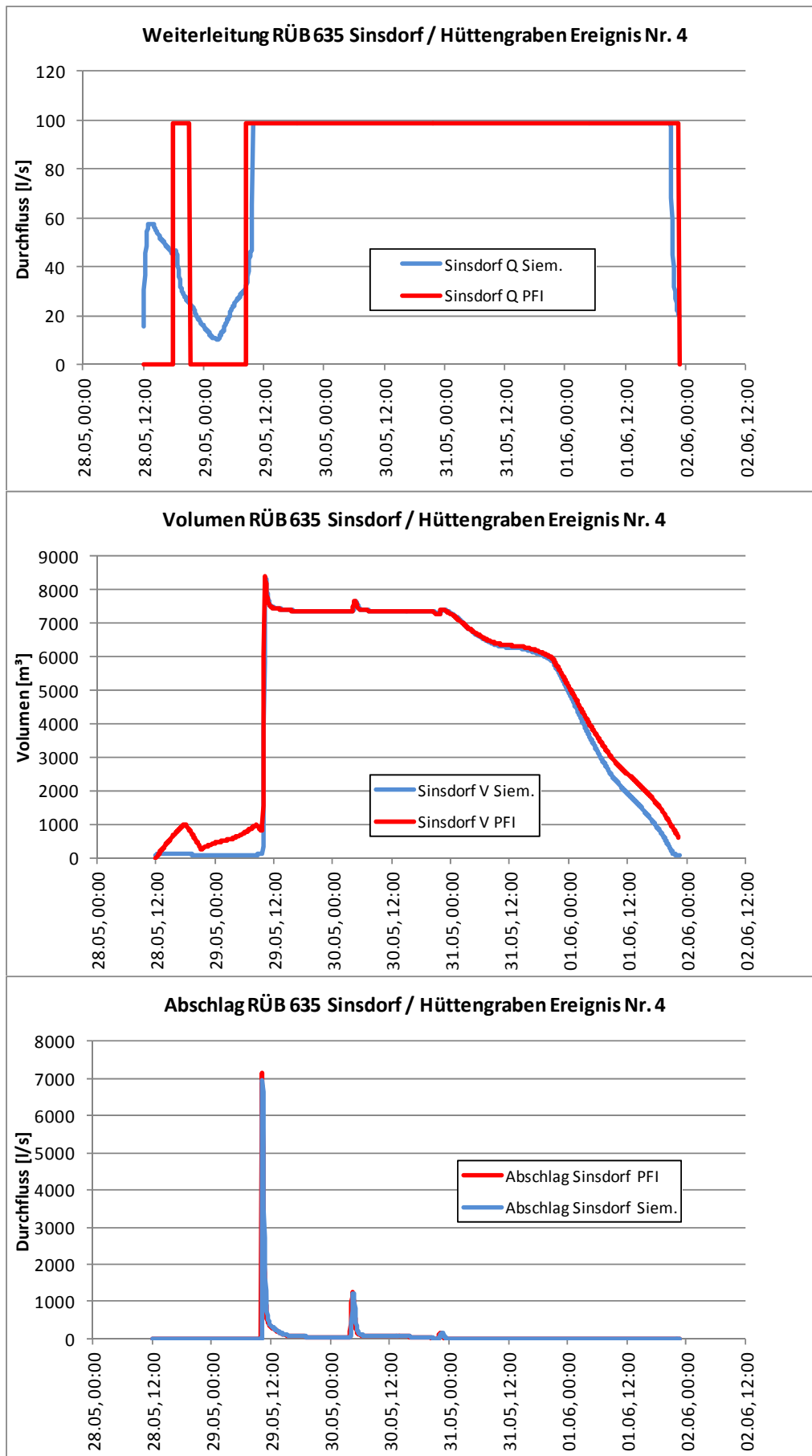
Anlage 3-44: GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 16



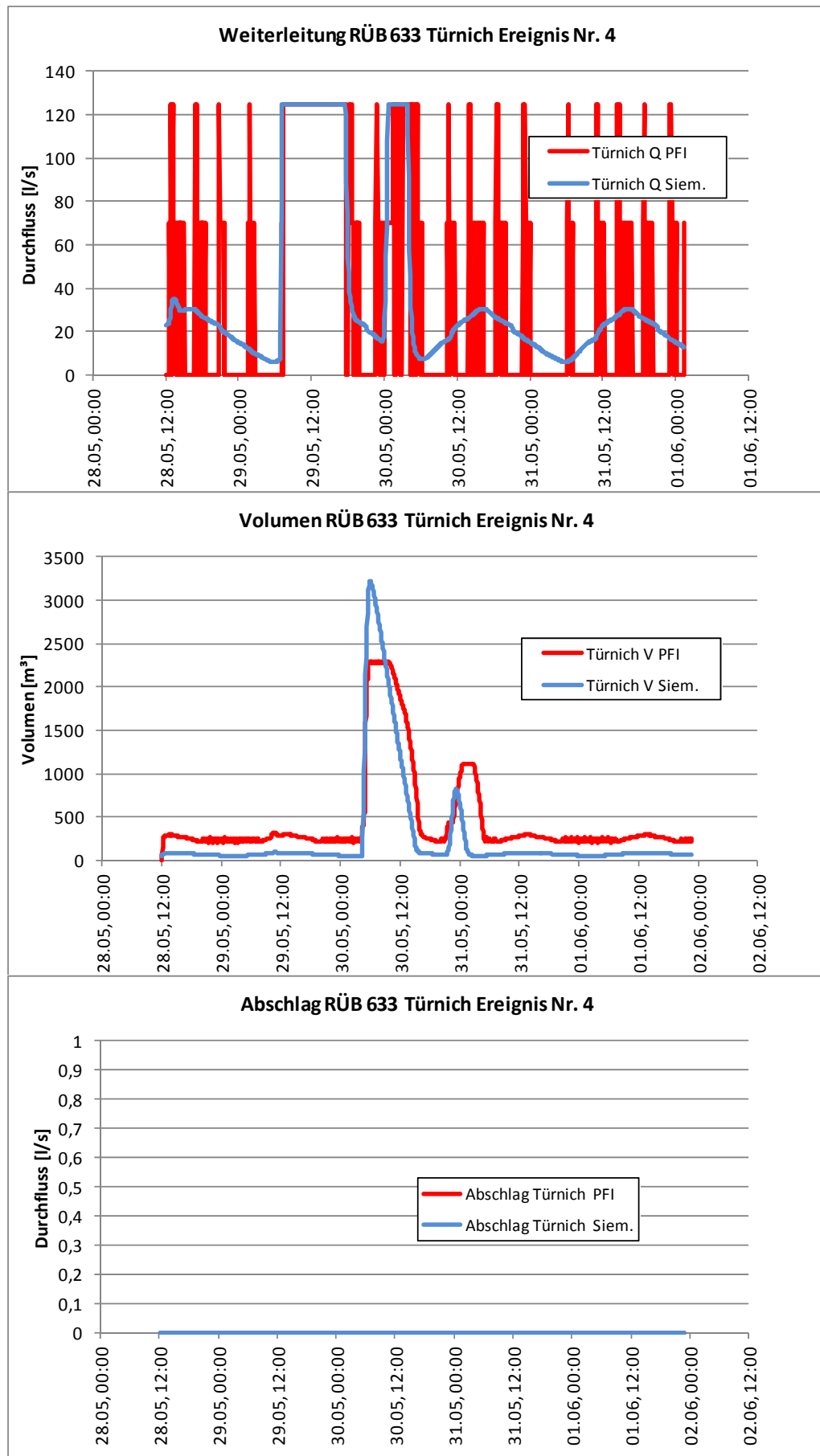
Anlage 3-45: RÜB 130 Thorr, Ereignis Nr. 16

Anlage 4

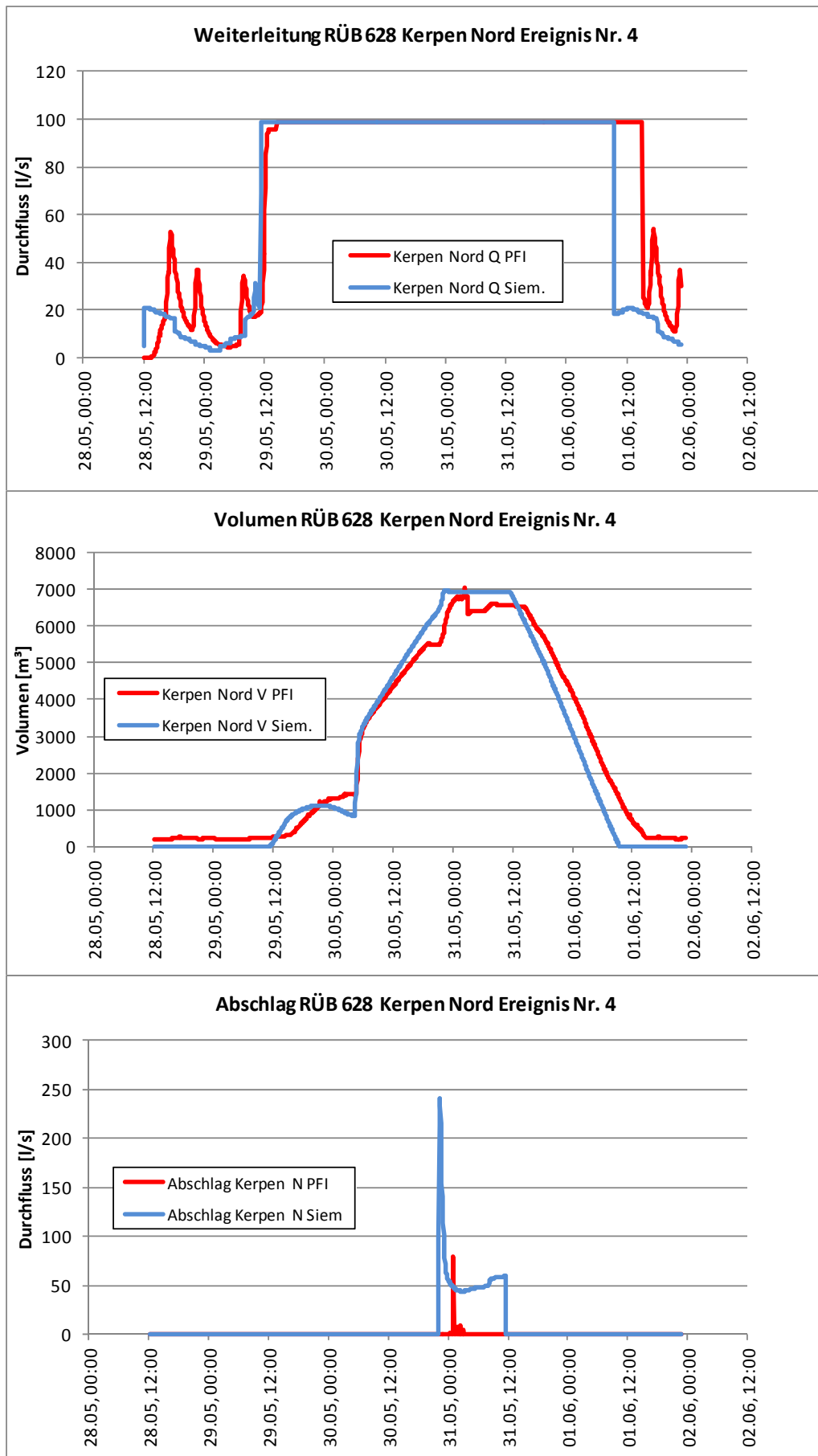
**Vergleich Simulationsergebnisse
EXTRAN – SIWA SEWER ASSIST**



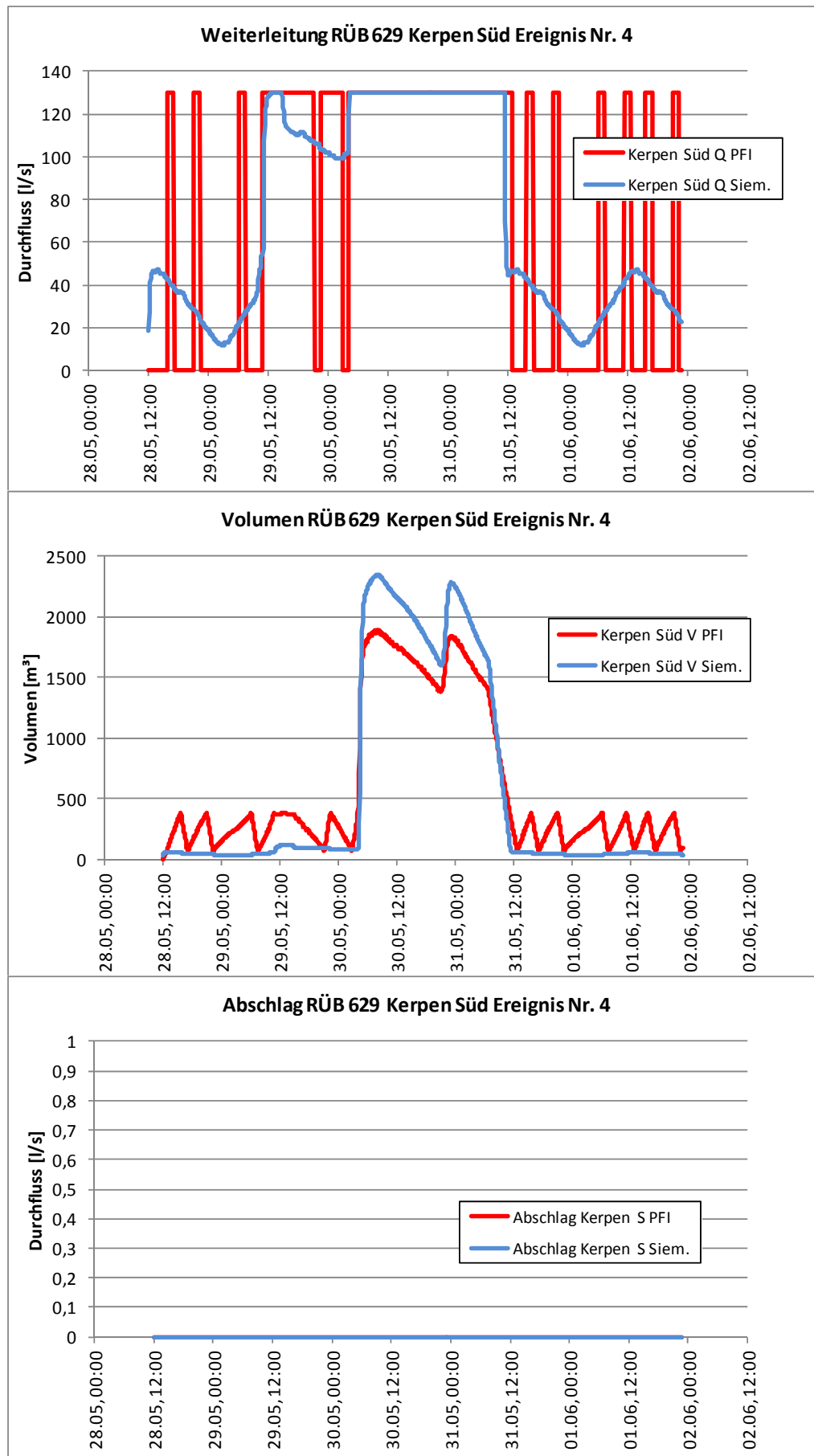
Anlage 4-1: RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 4



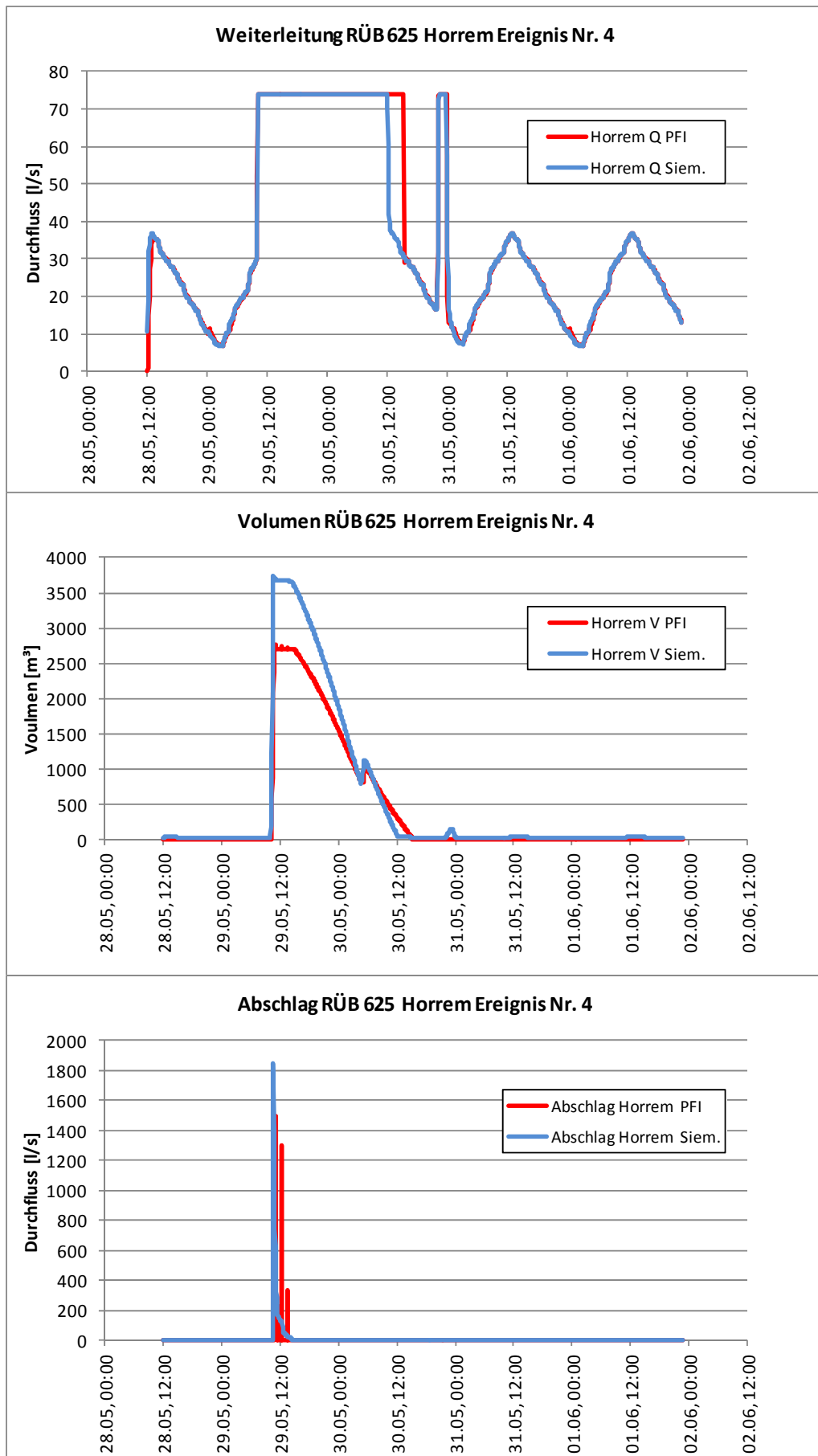
Anlage 4-2: RÜB 633 Türnich, Ereignis Nr. 4



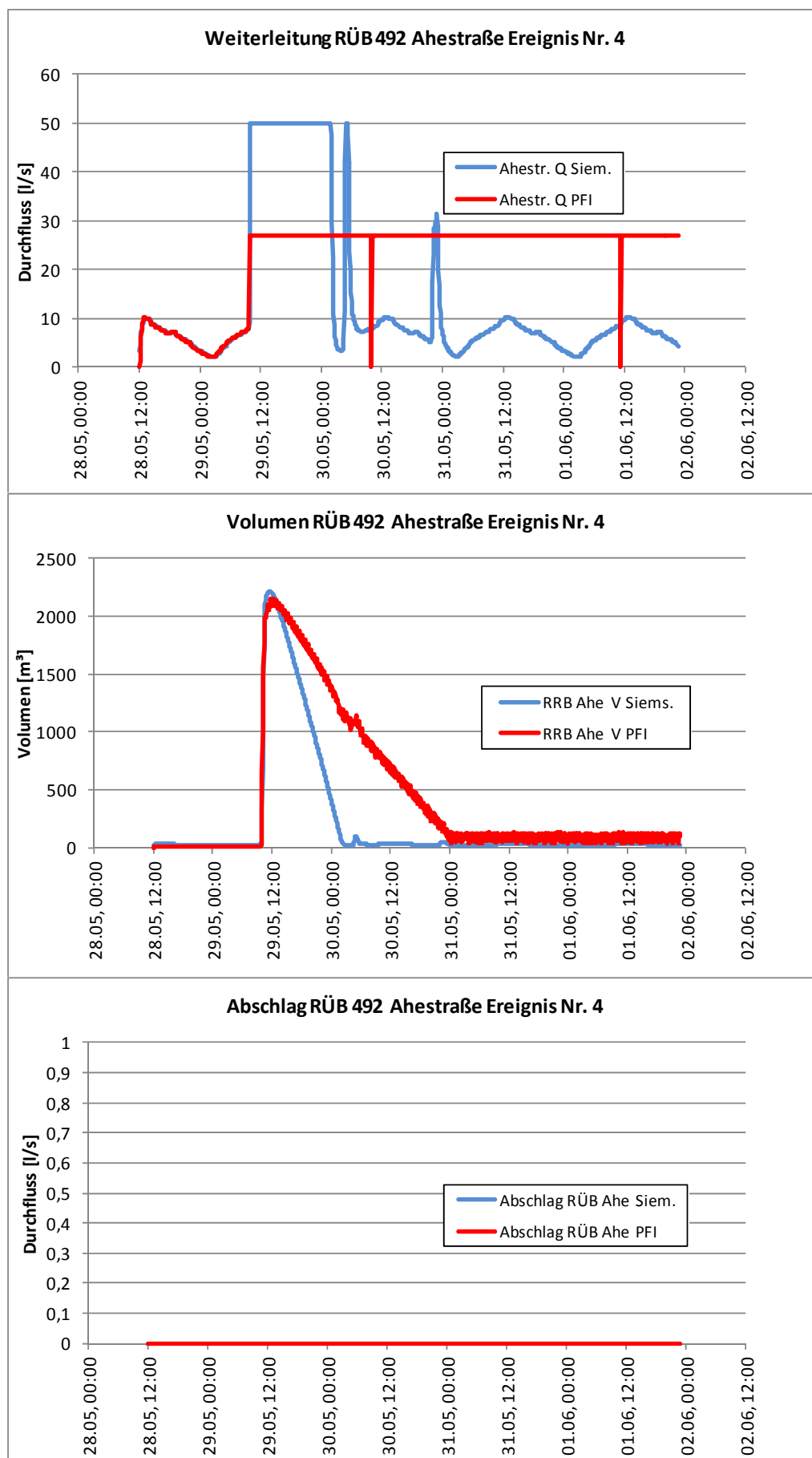
Anlage 4-3: RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 4



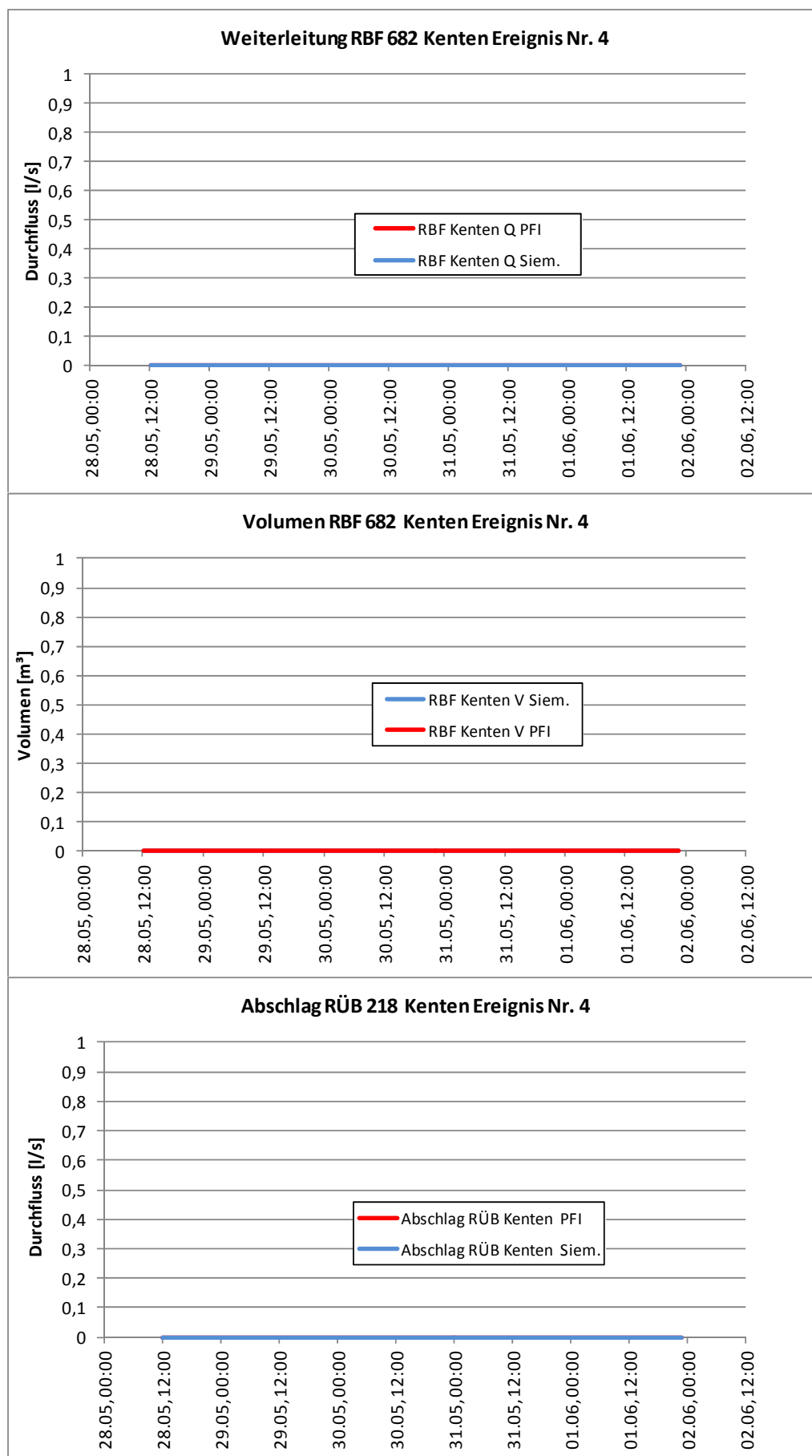
Anlage 4-4: RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 4



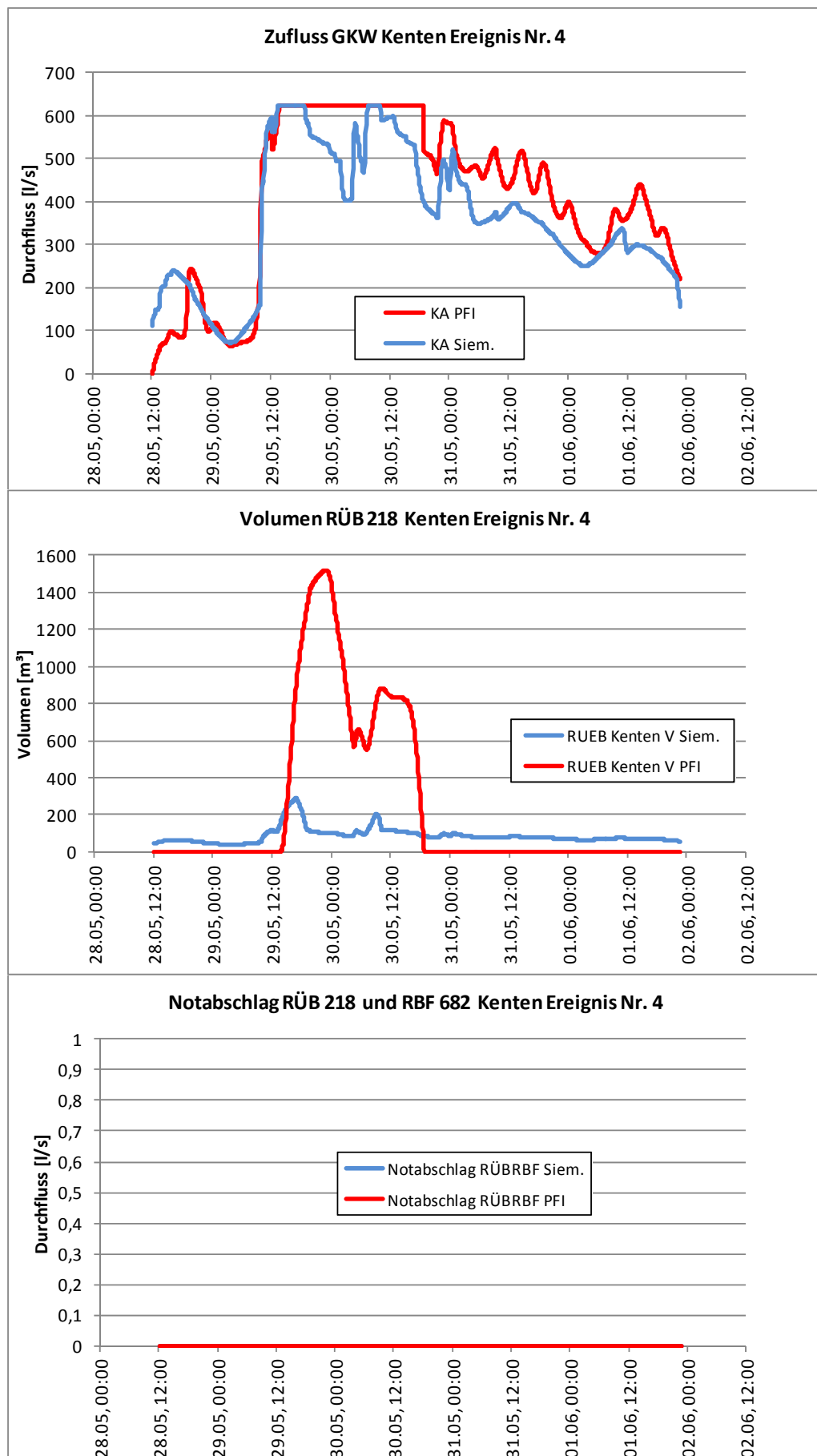
Anlage 4-5 RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 4



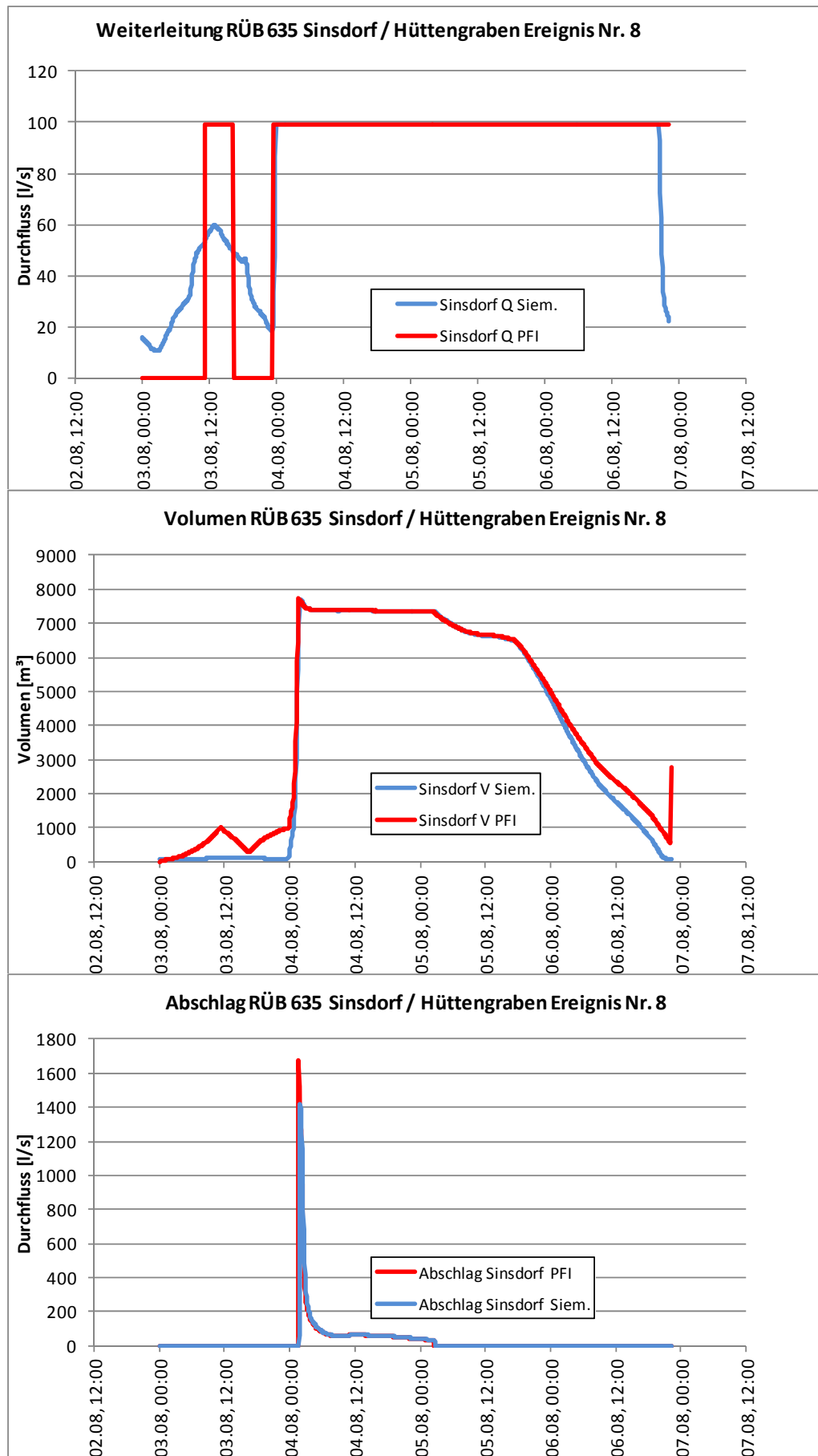
Anlage 4-6: RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 4



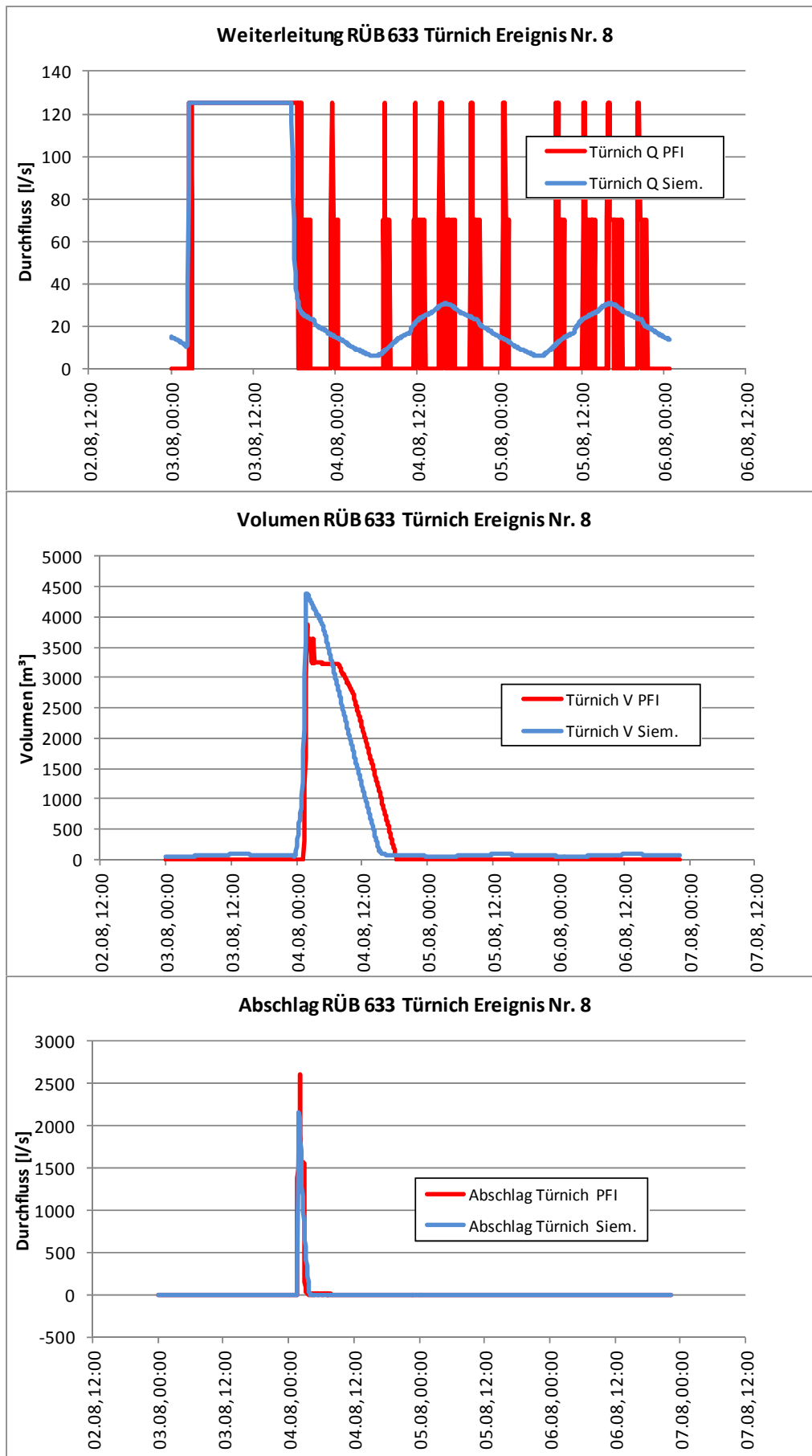
Anlage 4-7: RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 4



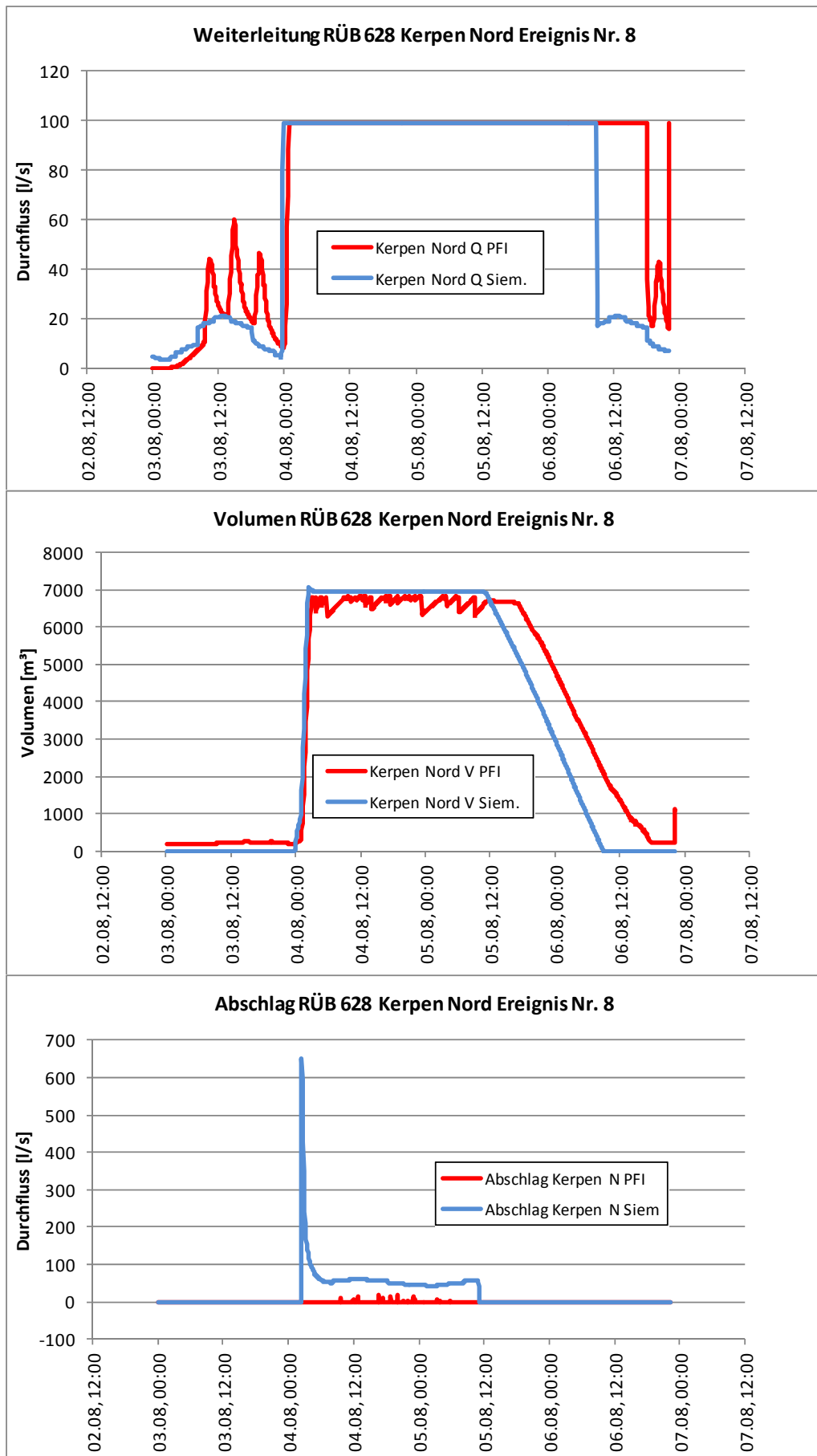
Anlage 4-8: GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 4



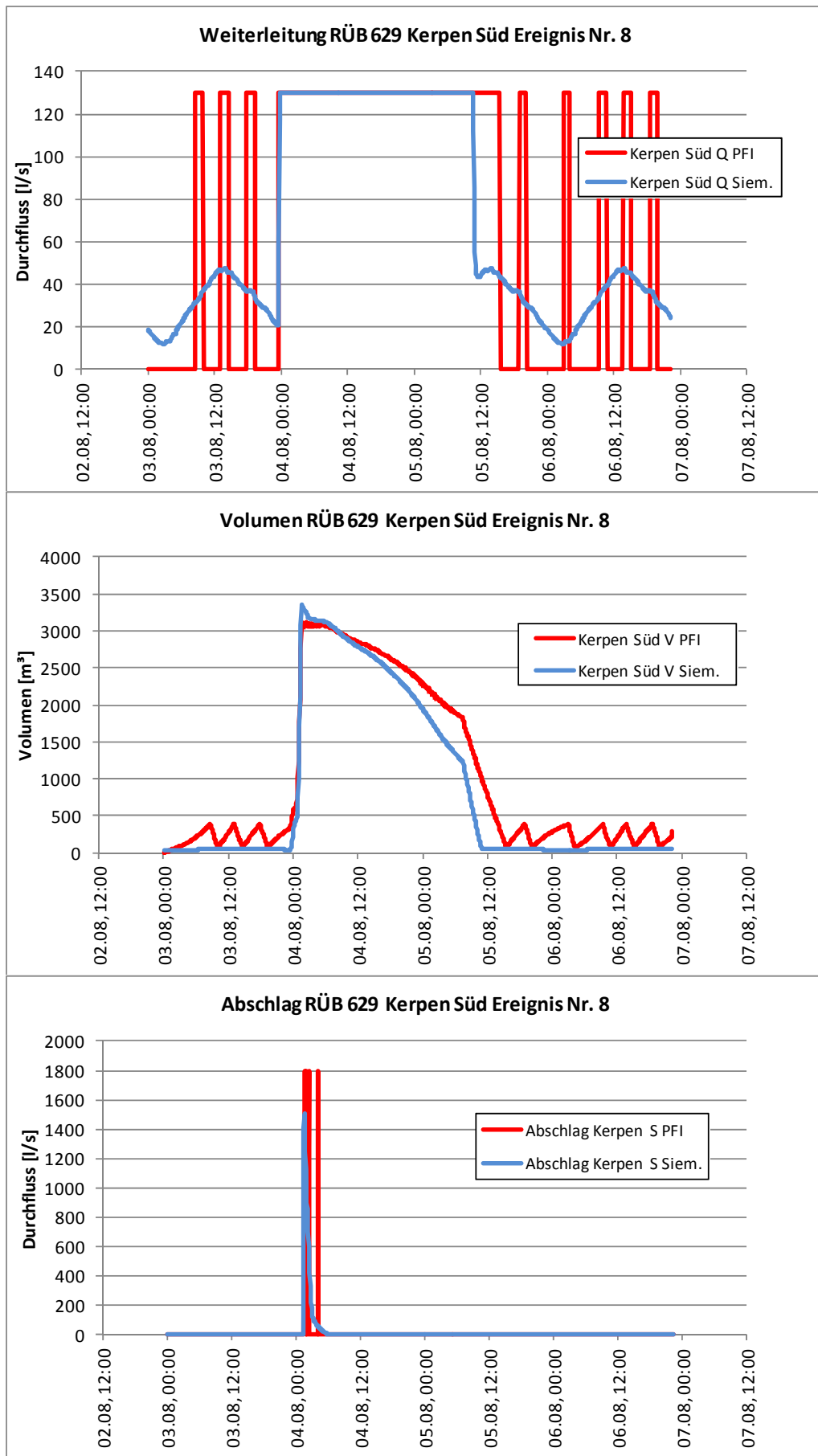
Anlage 4-9: RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 8



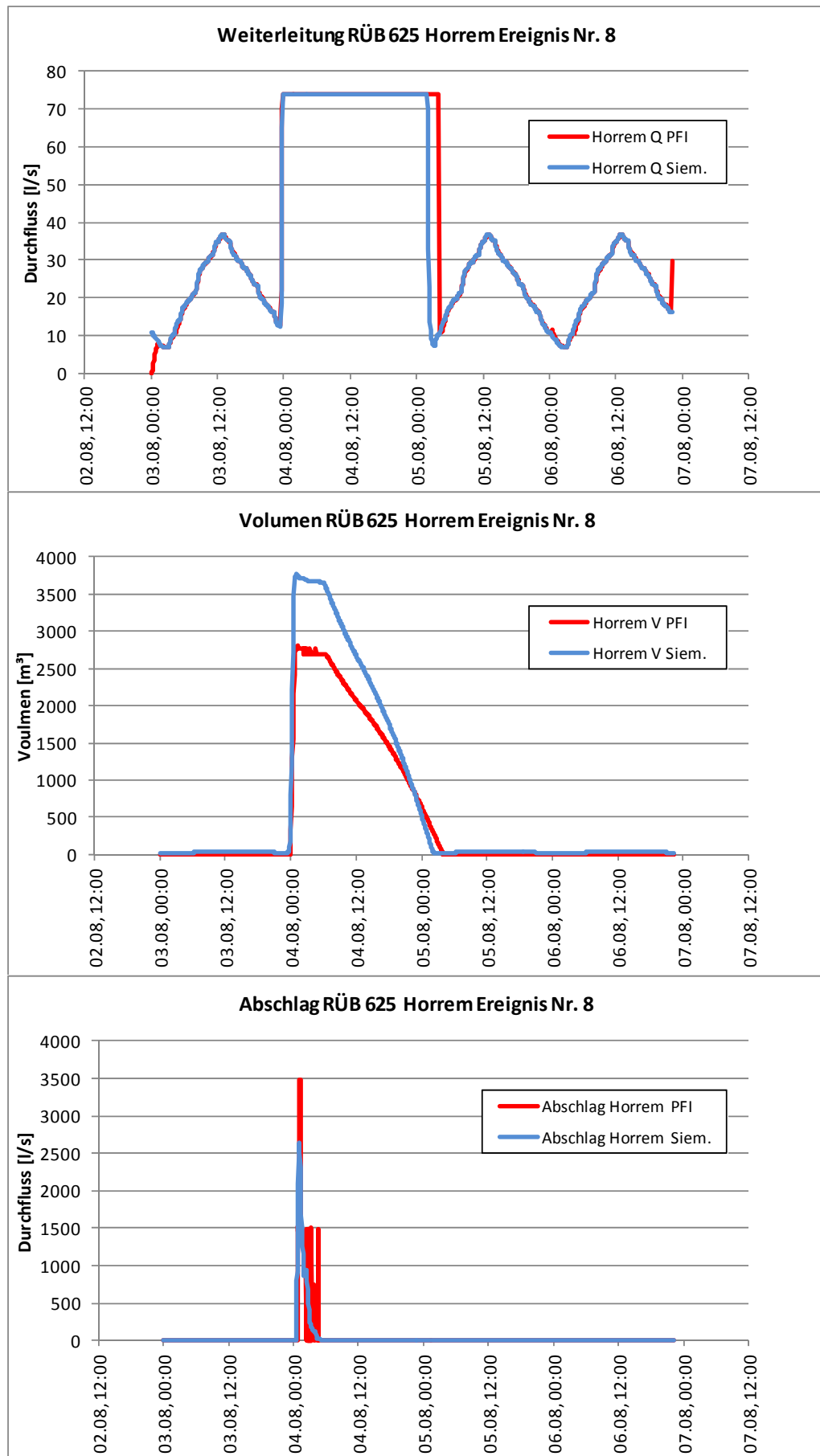
Anlage 4-10: RÜB 633 Türrich, Ereignis Nr. 8



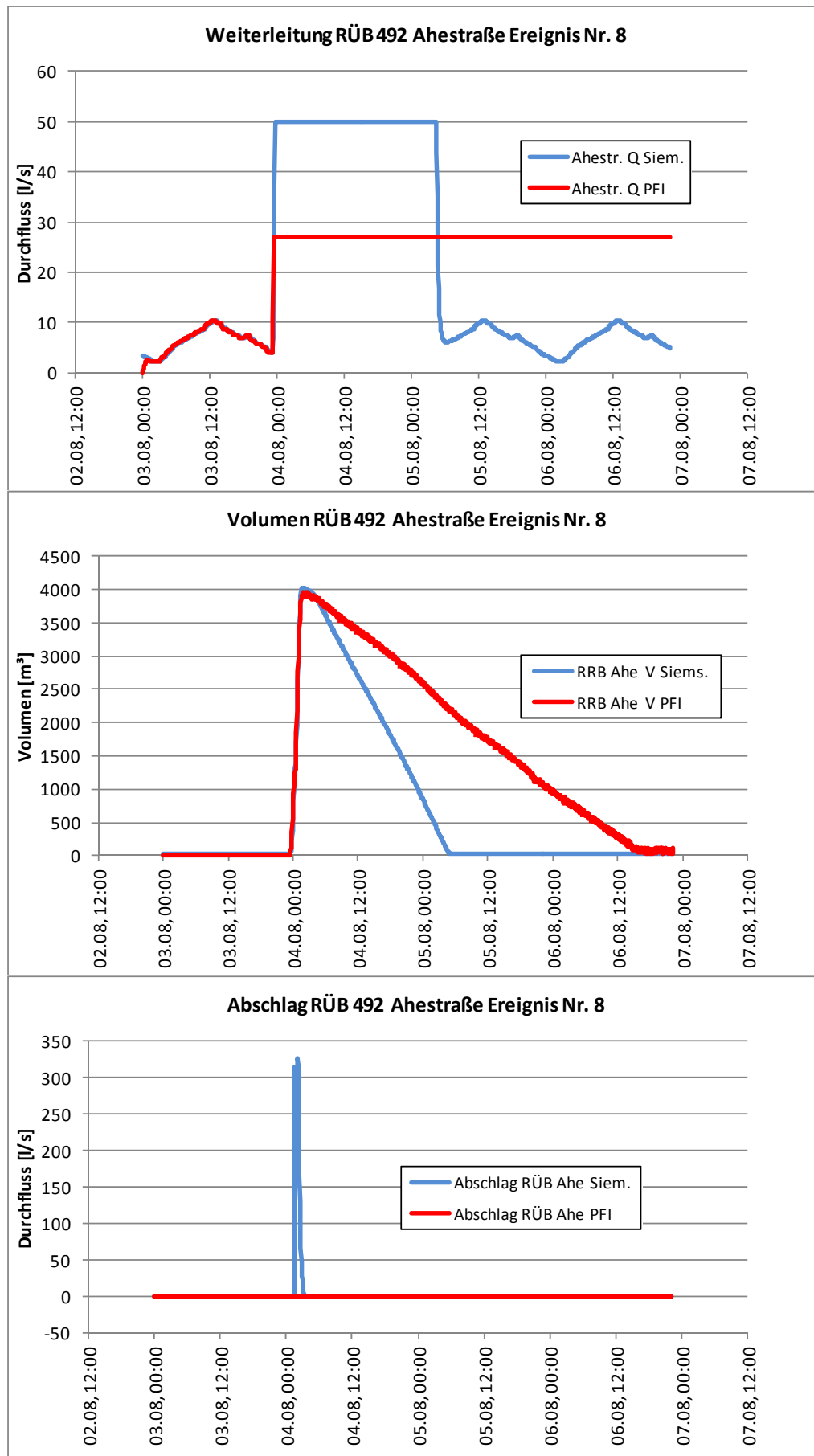
Anlage 4-11: RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 8



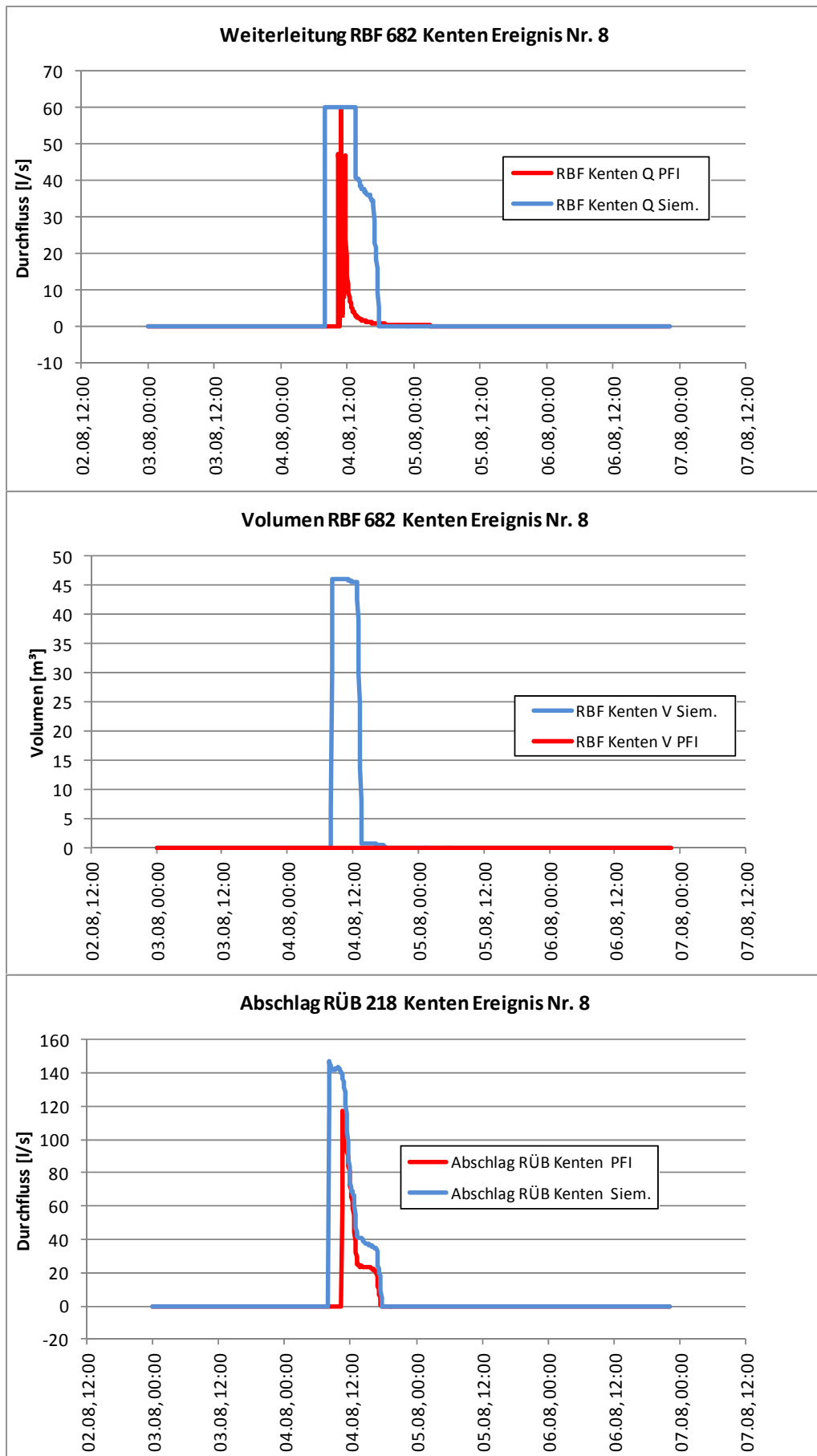
Anlage 4-12: RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 8



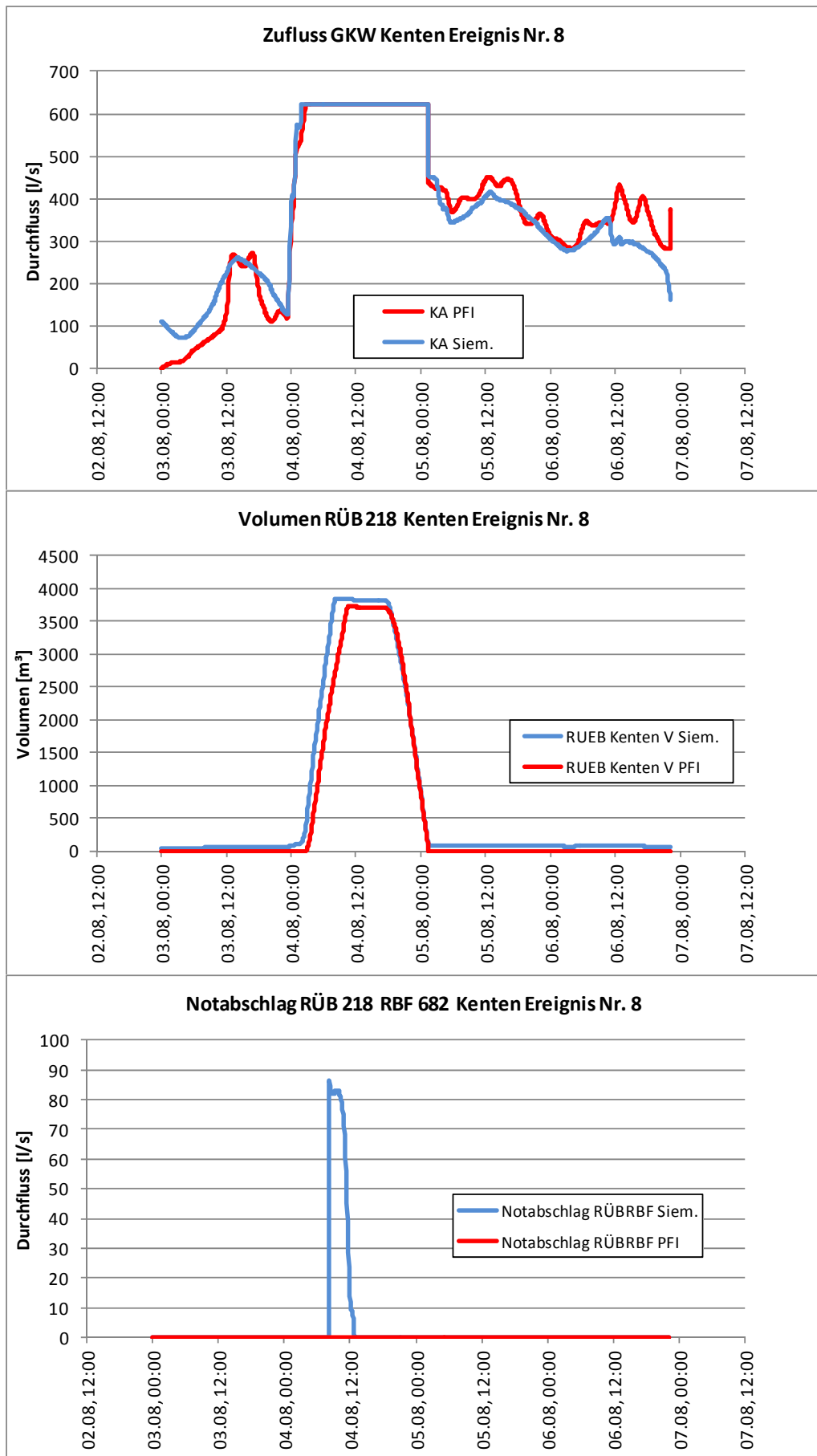
Anlage 4-13: RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 8



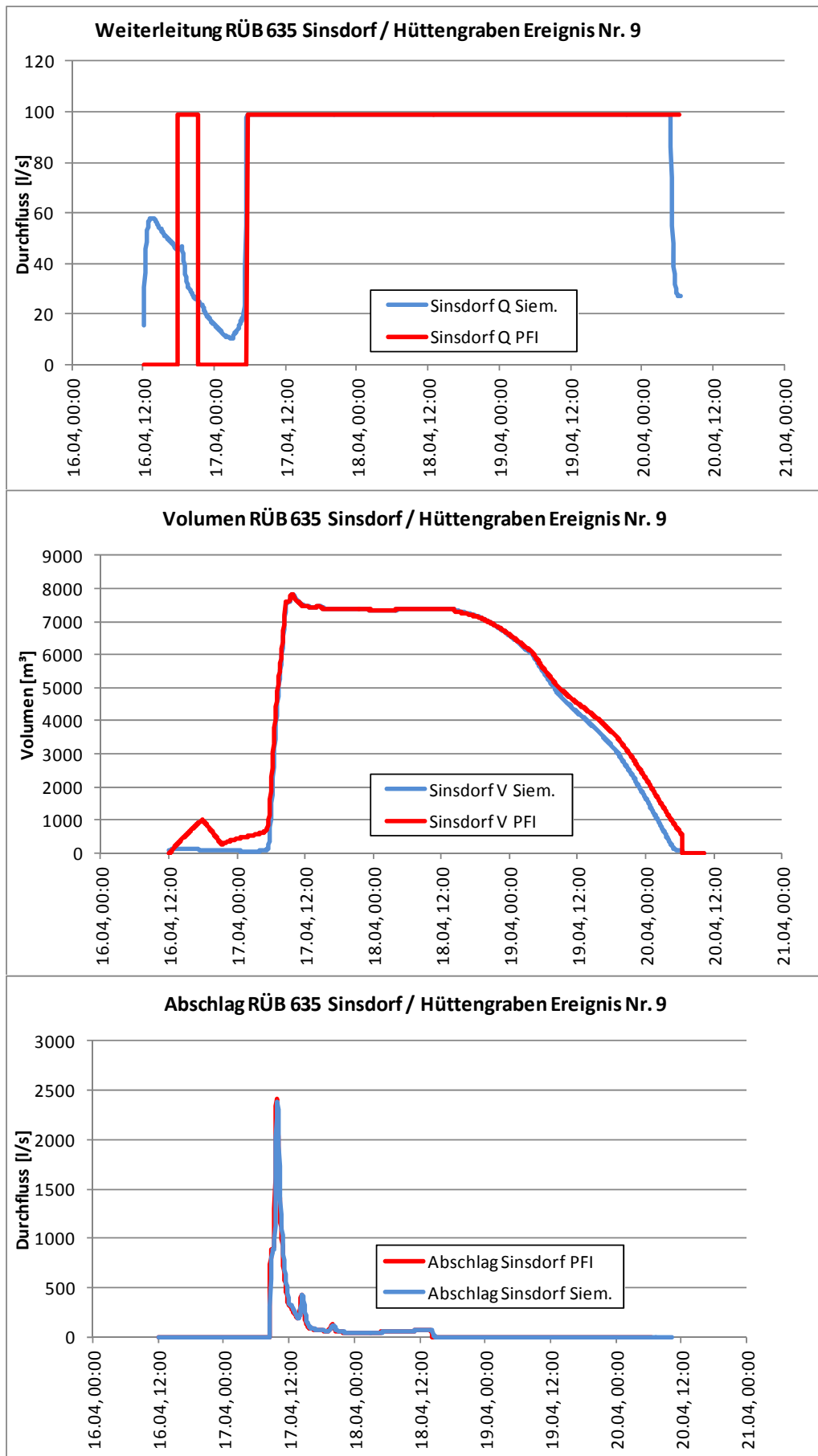
Anlage 4-14: RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 8



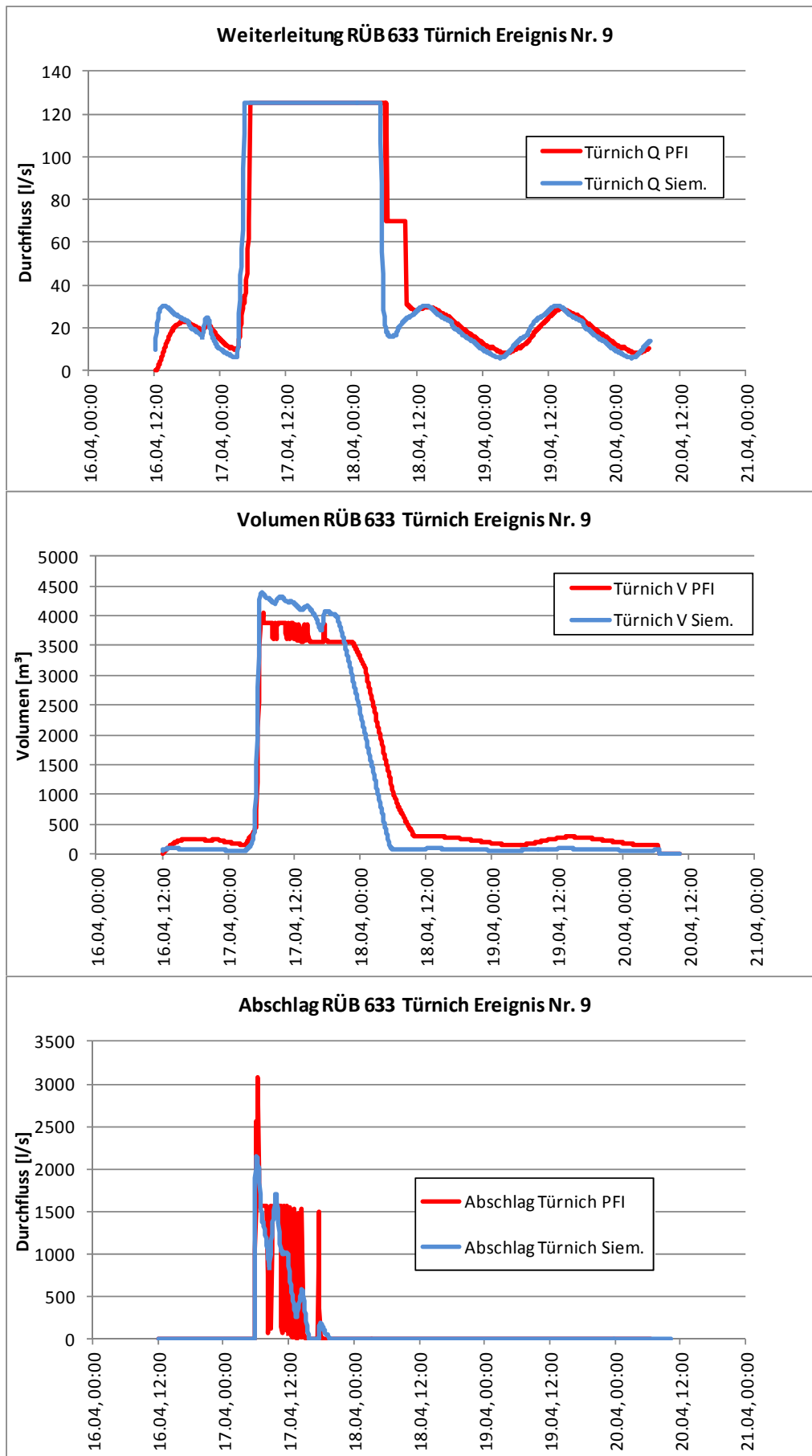
Anlage 4-15: RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 8



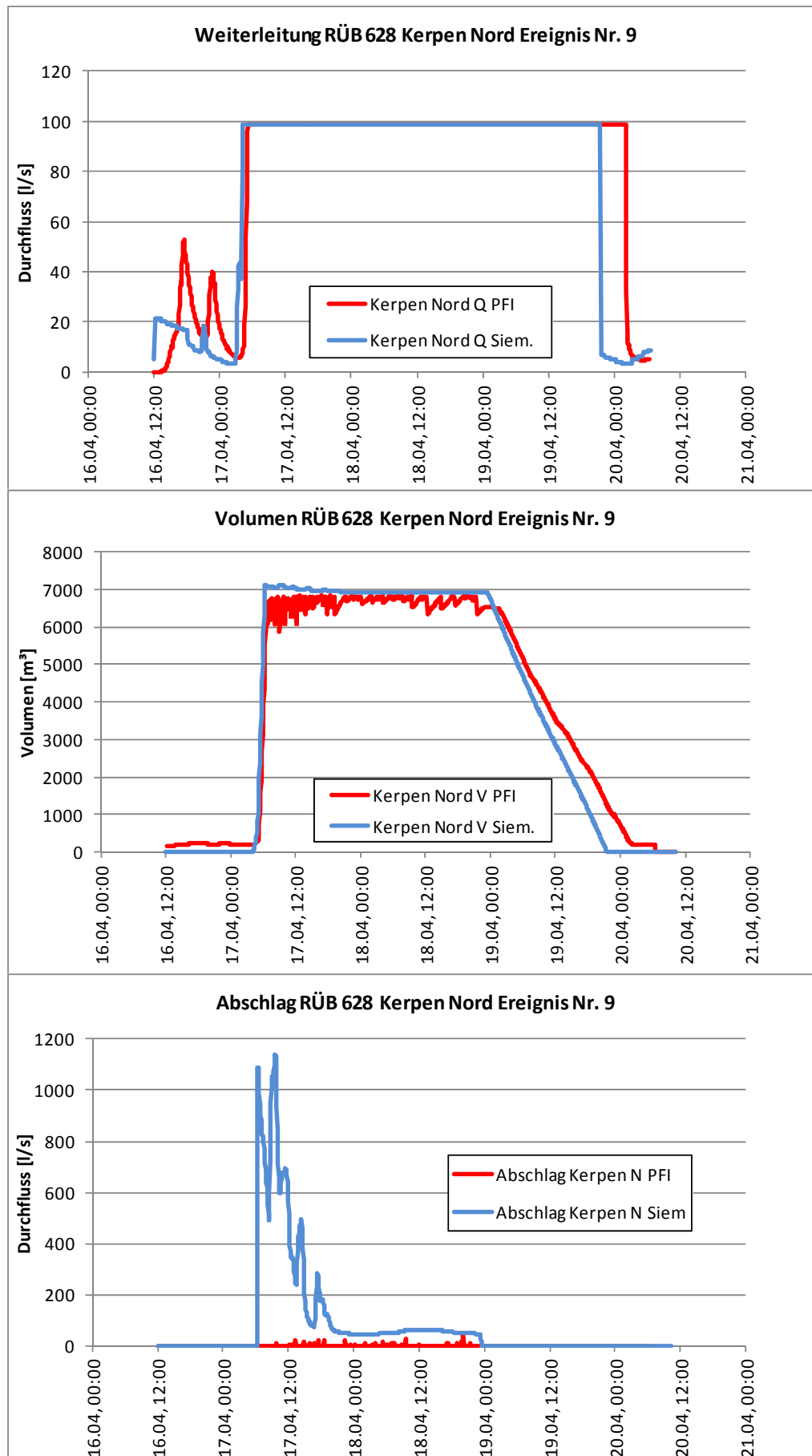
Anlage 4-16: GWK, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 8



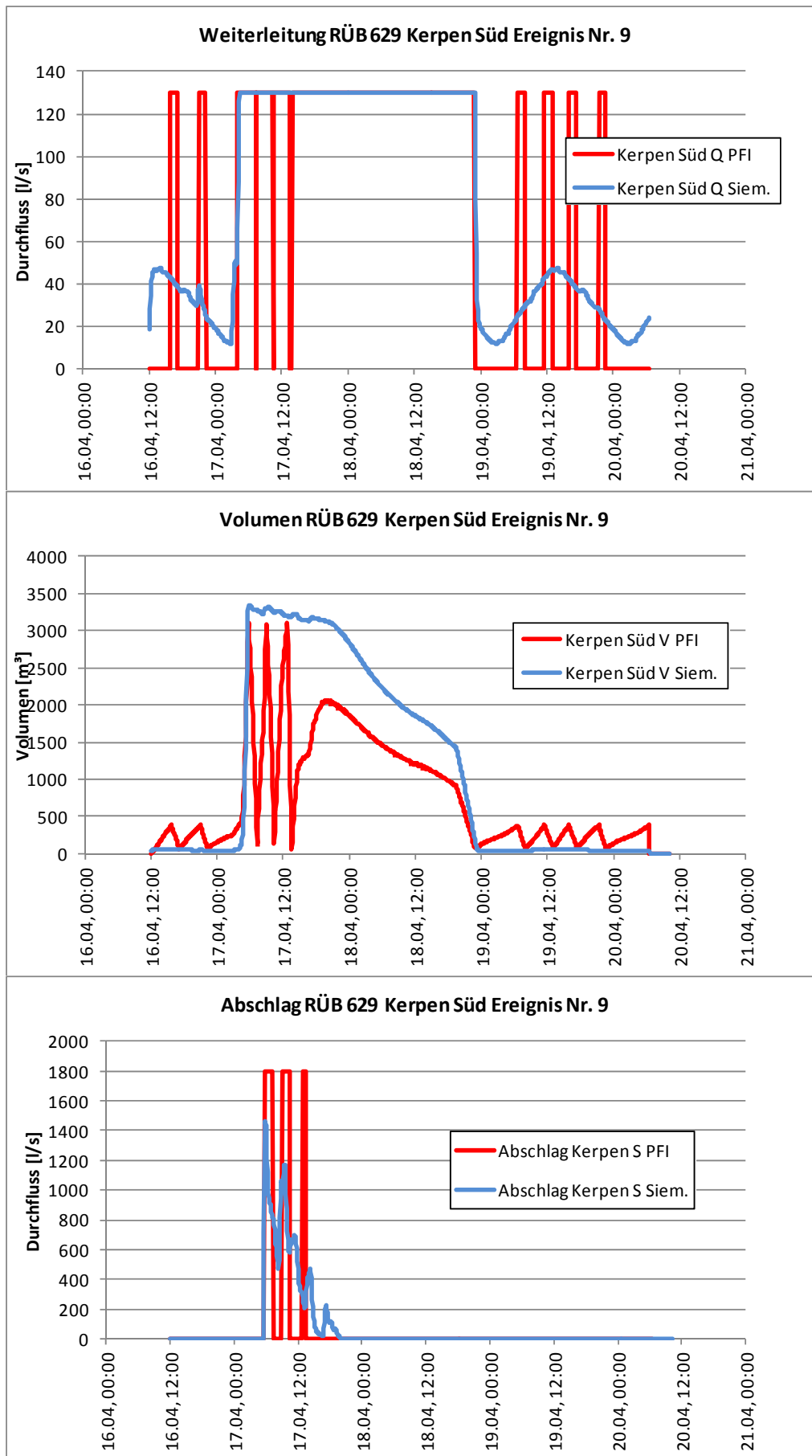
Anlage 4-17: RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 9



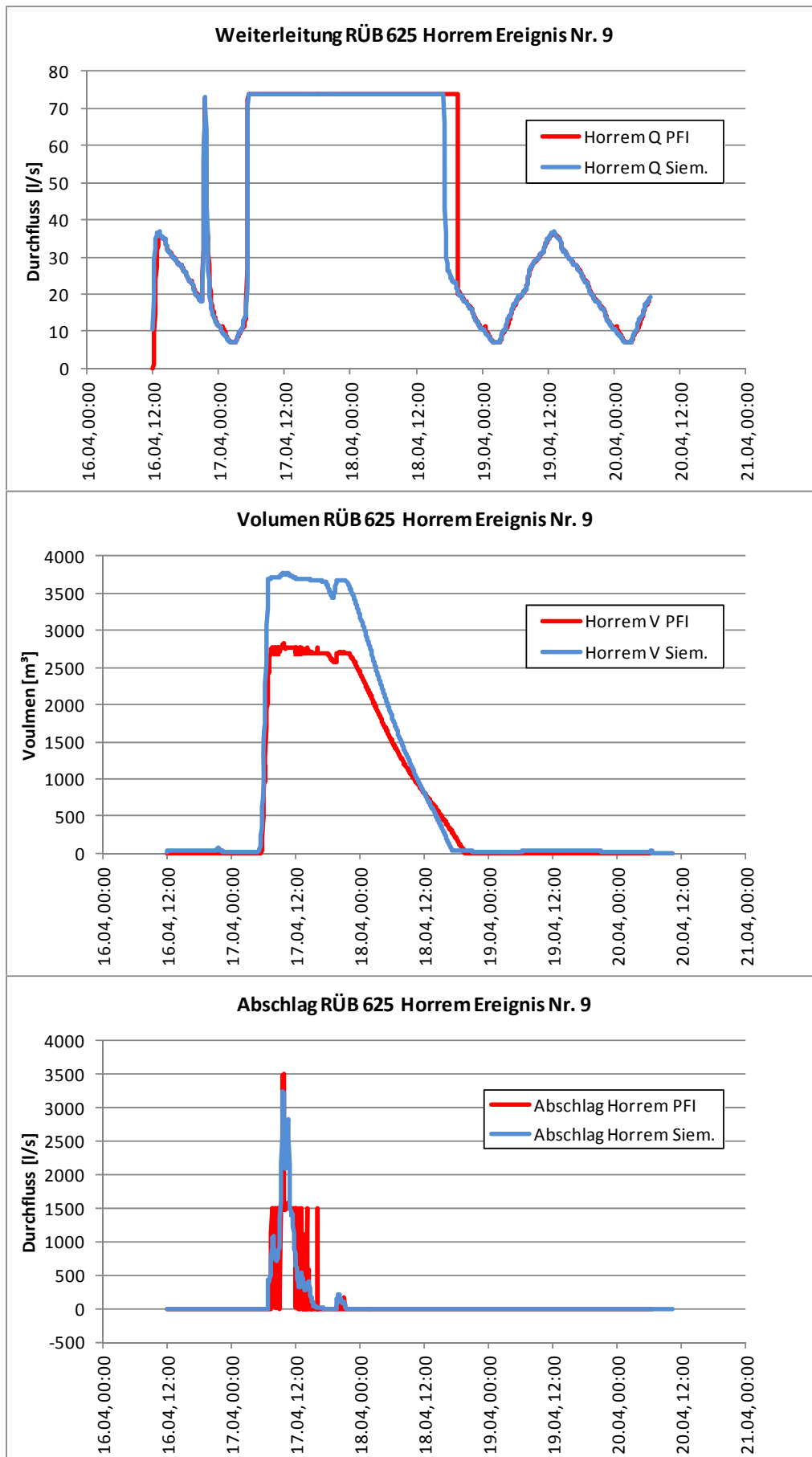
Anlage 4-18: RÜB 633 Türrnich, Ereignis Nr. 9



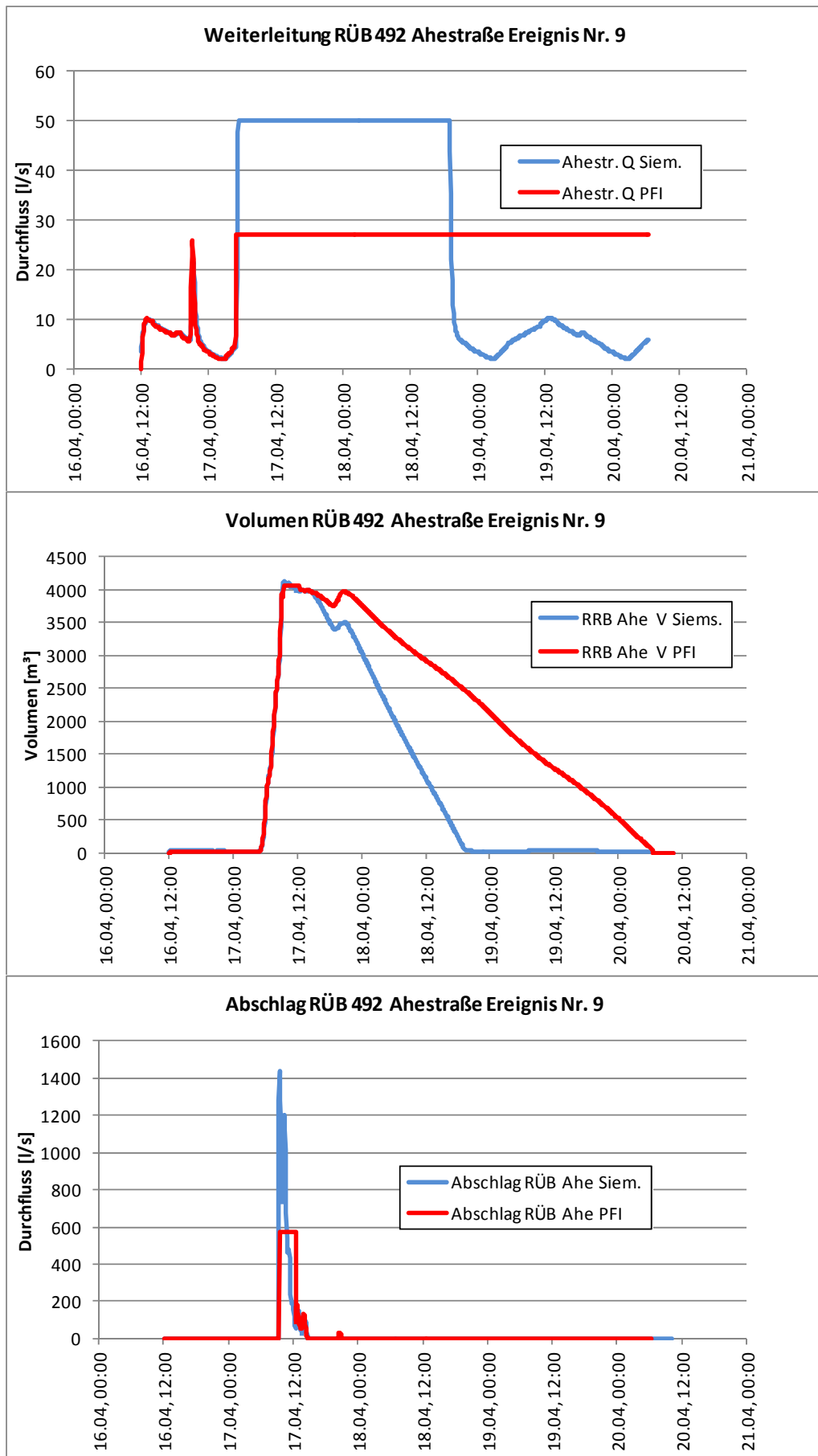
Anlage 4-19: RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 9



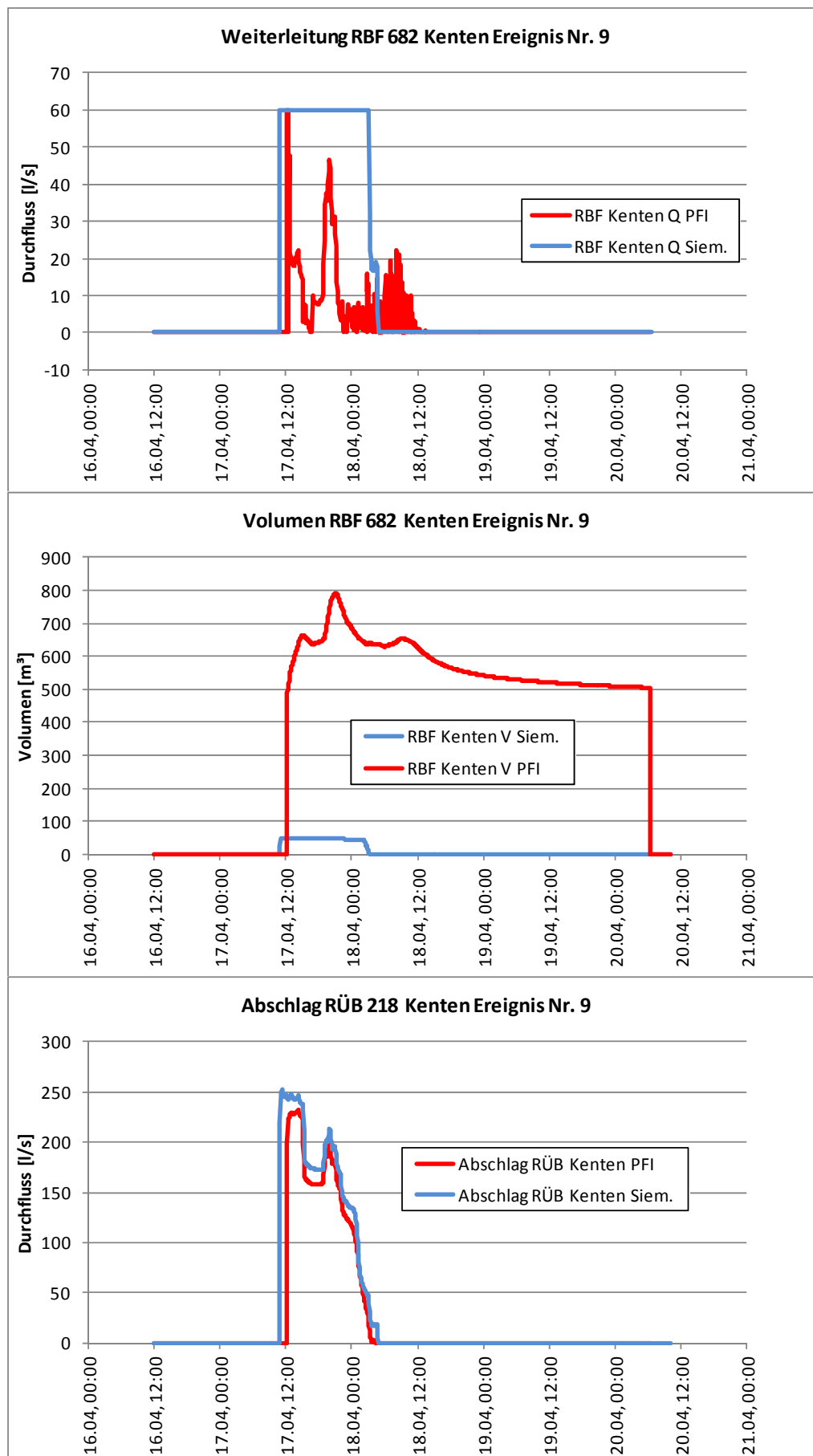
Anlage 4-20: RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 9



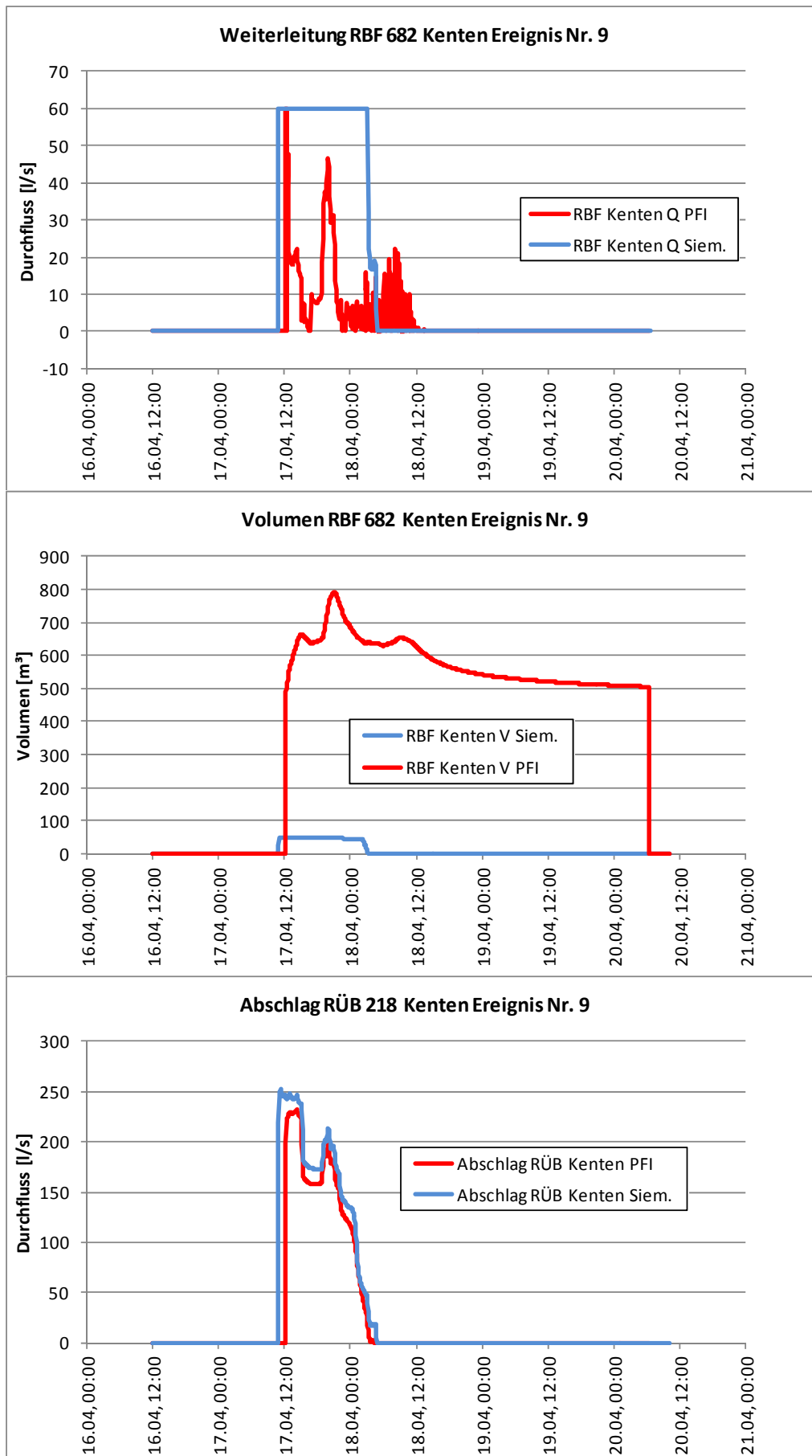
Anlage 4-21: RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 9



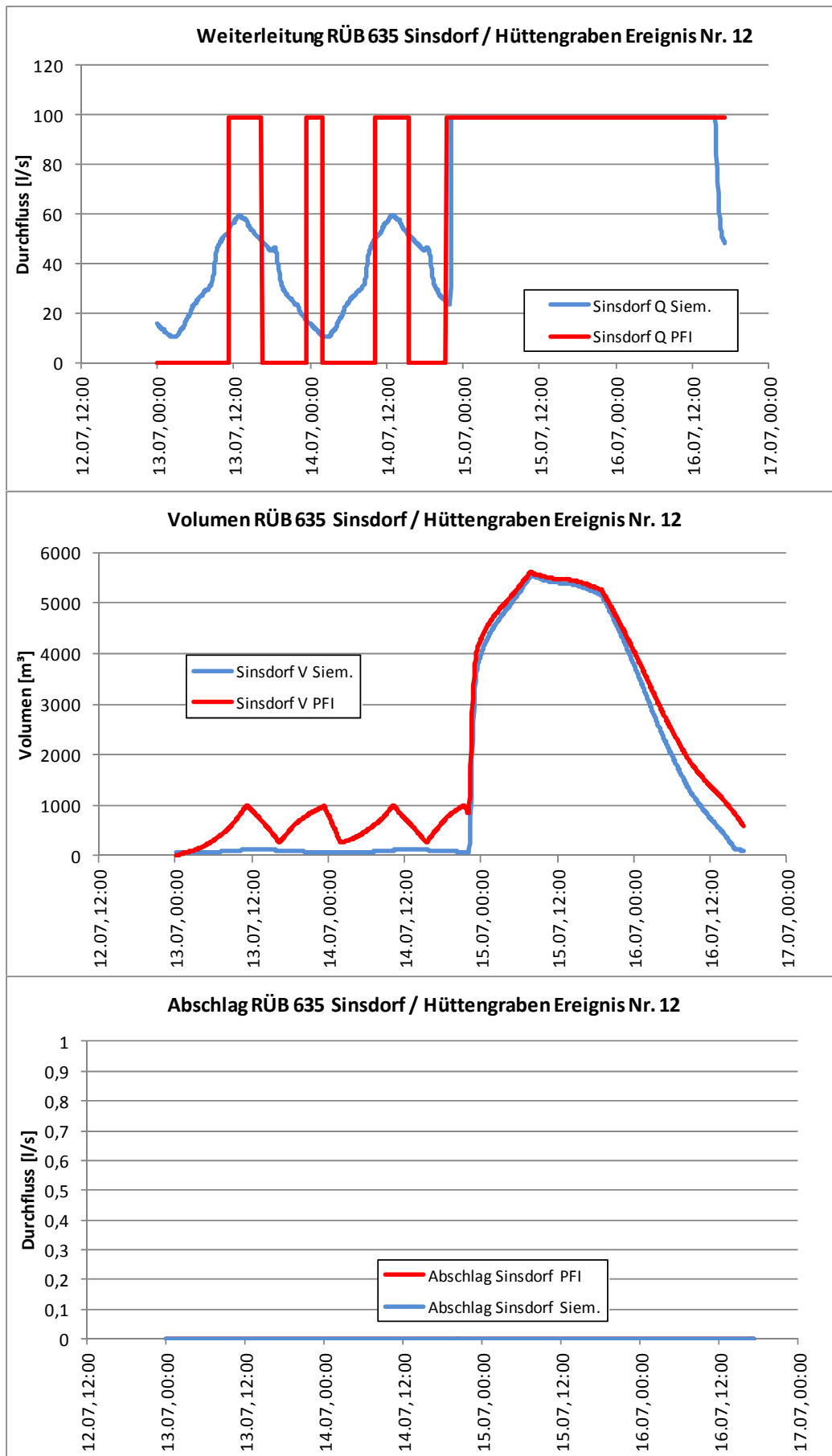
Anlage 4-22: RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 9



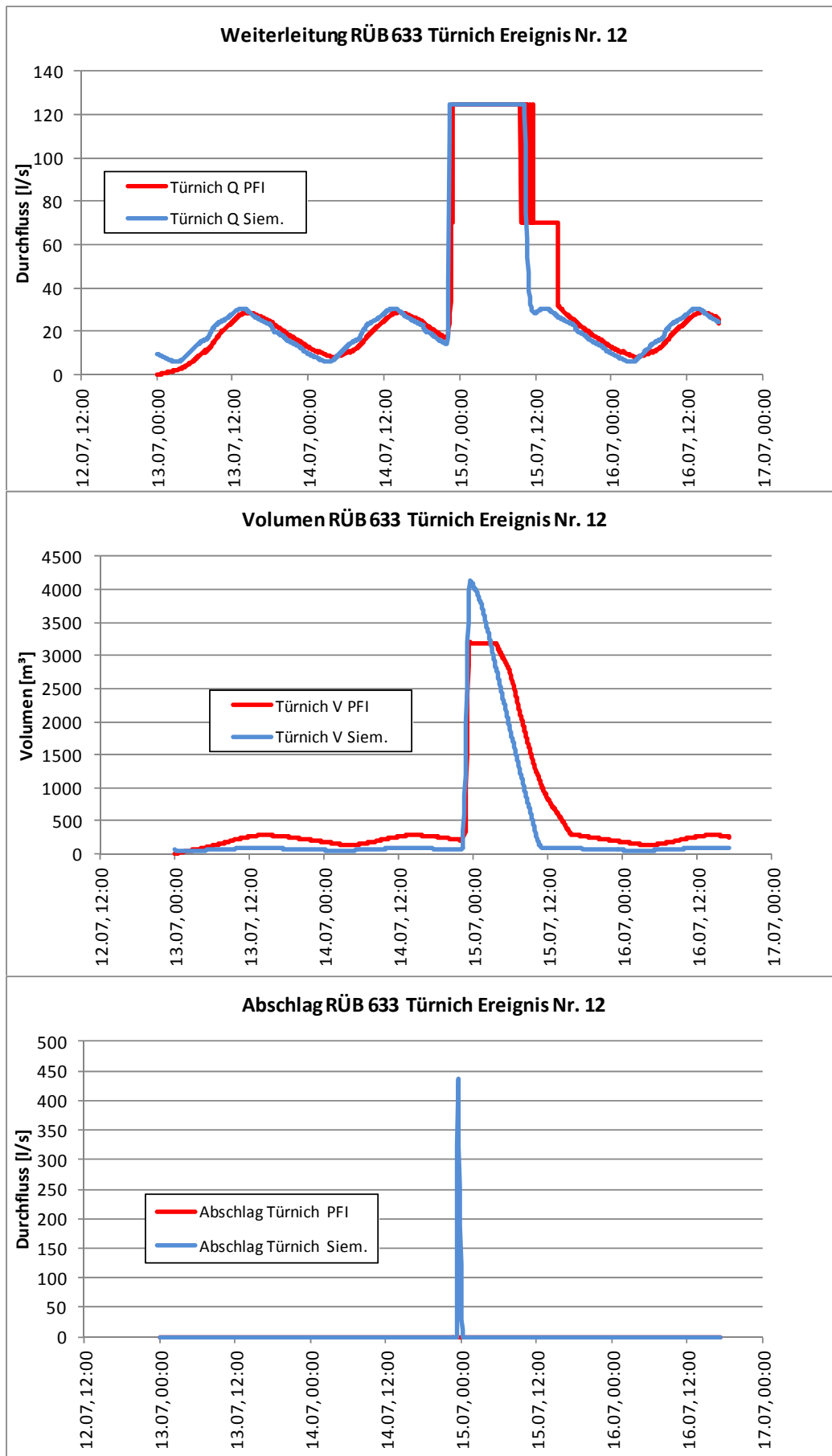
Anlage 4-23: RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 9



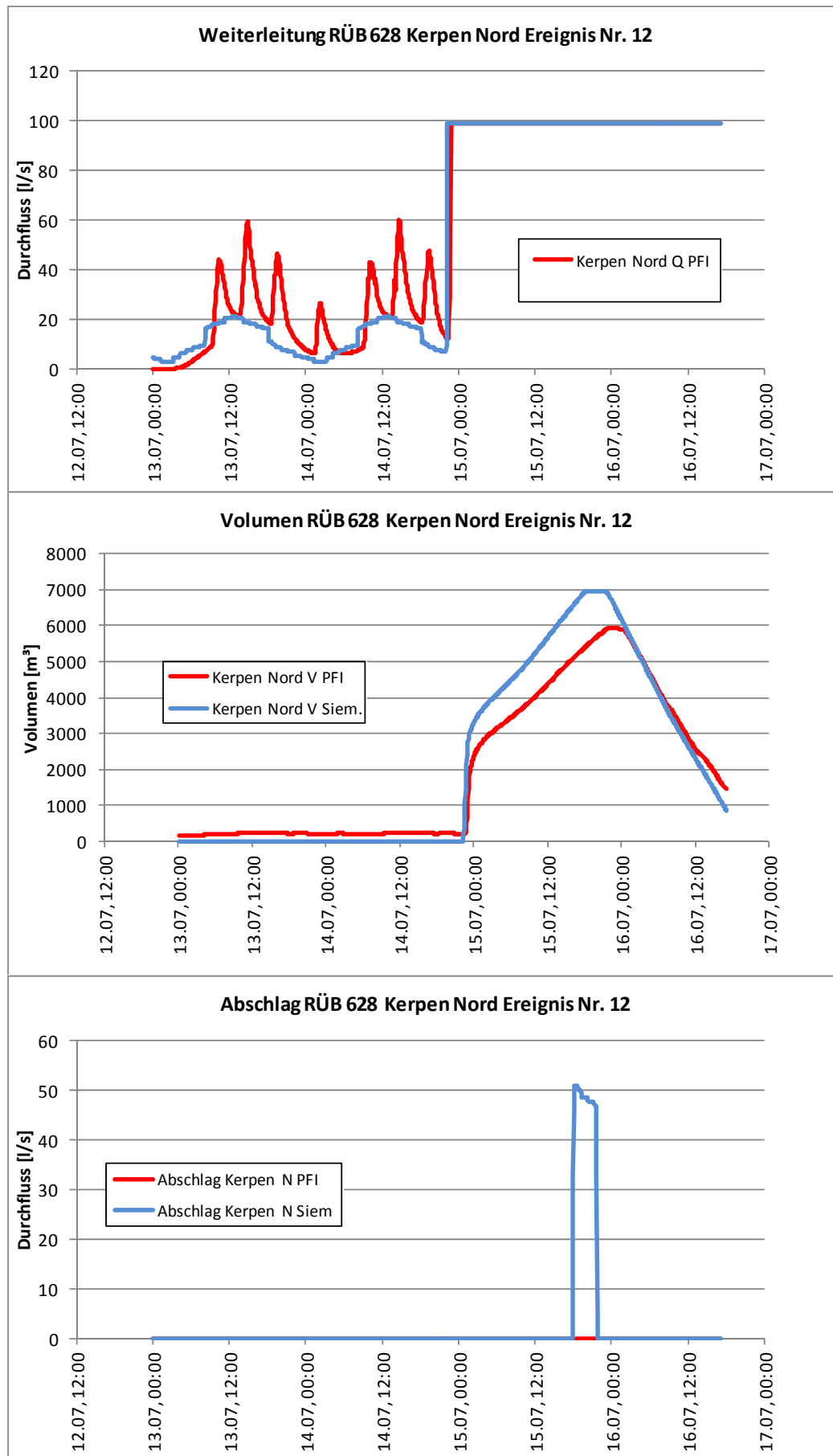
Anlage 4-24: GWK, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 9



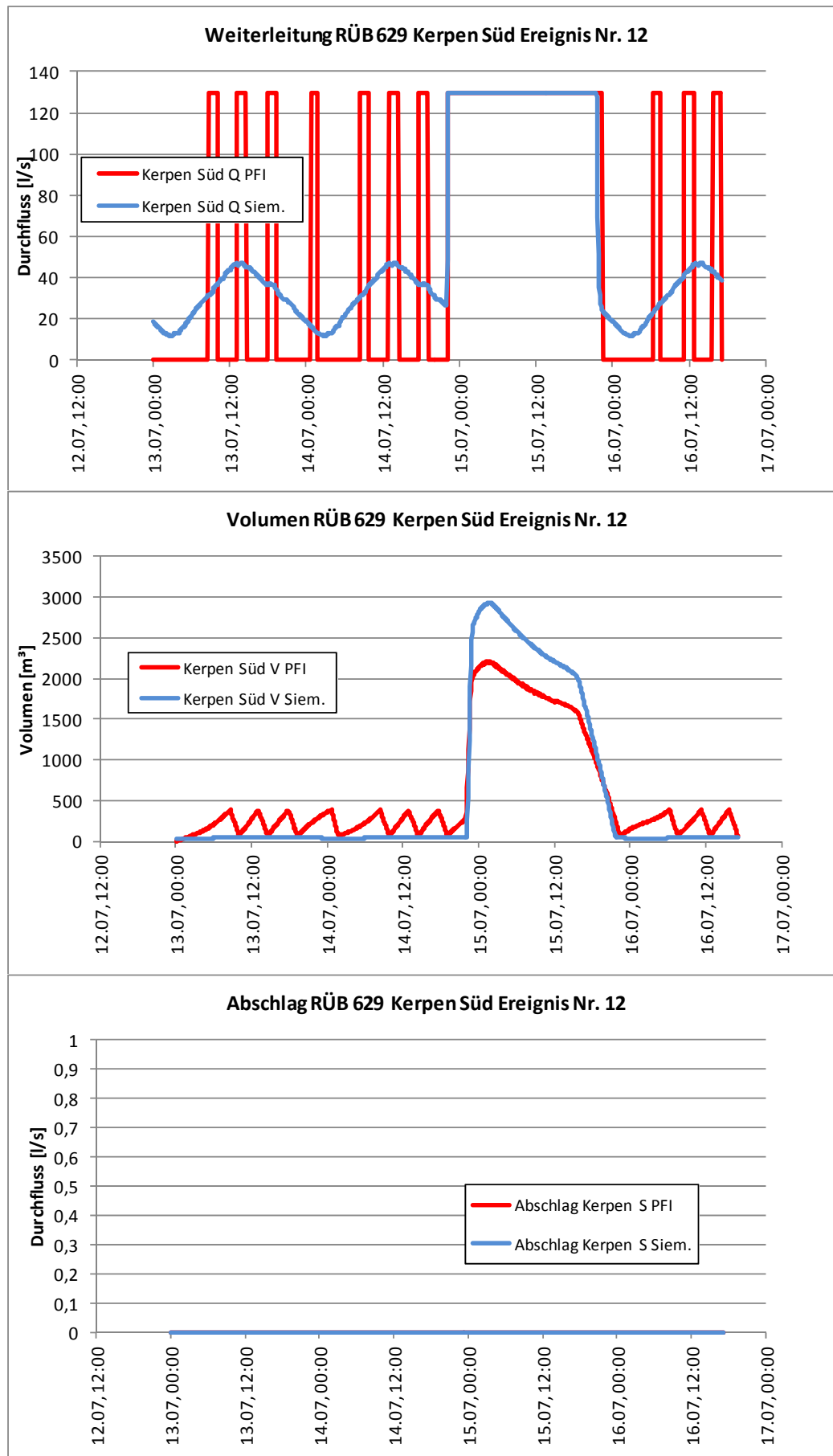
Anlage 4-25: RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 12



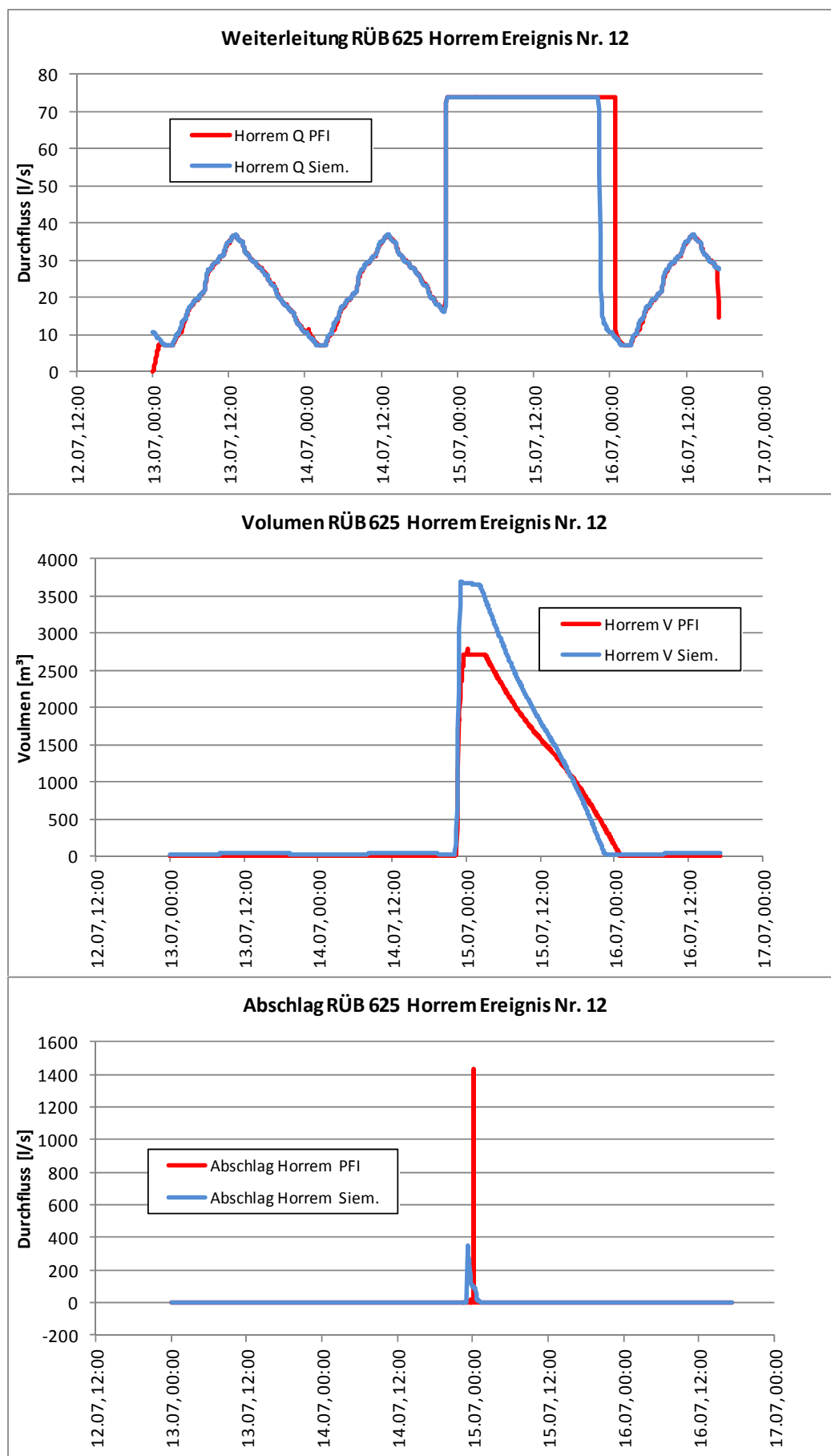
Anlage 4-26: RÜB 633 Türnich, Ereignis Nr. 12



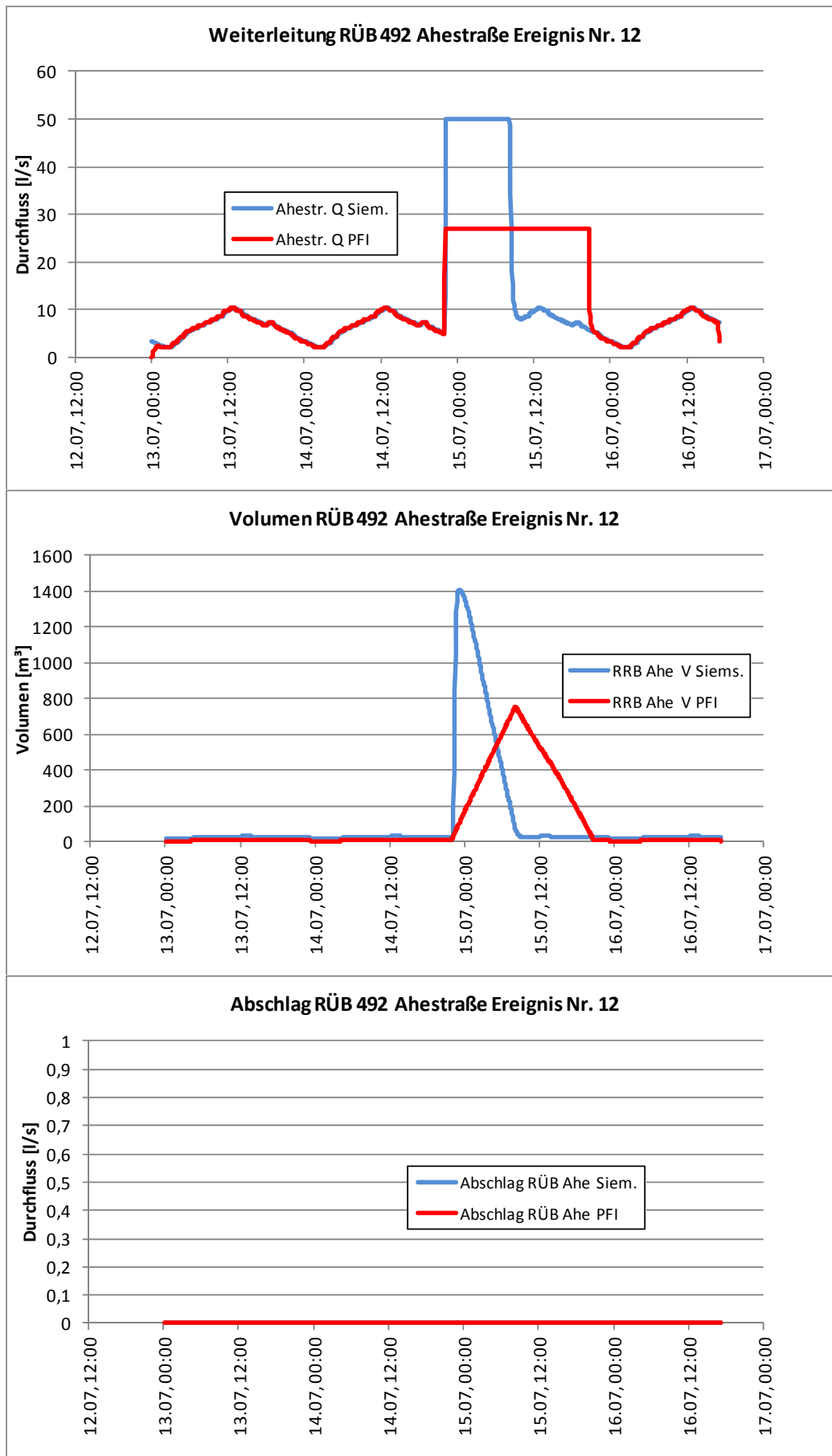
Anlage 4-27: RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 12



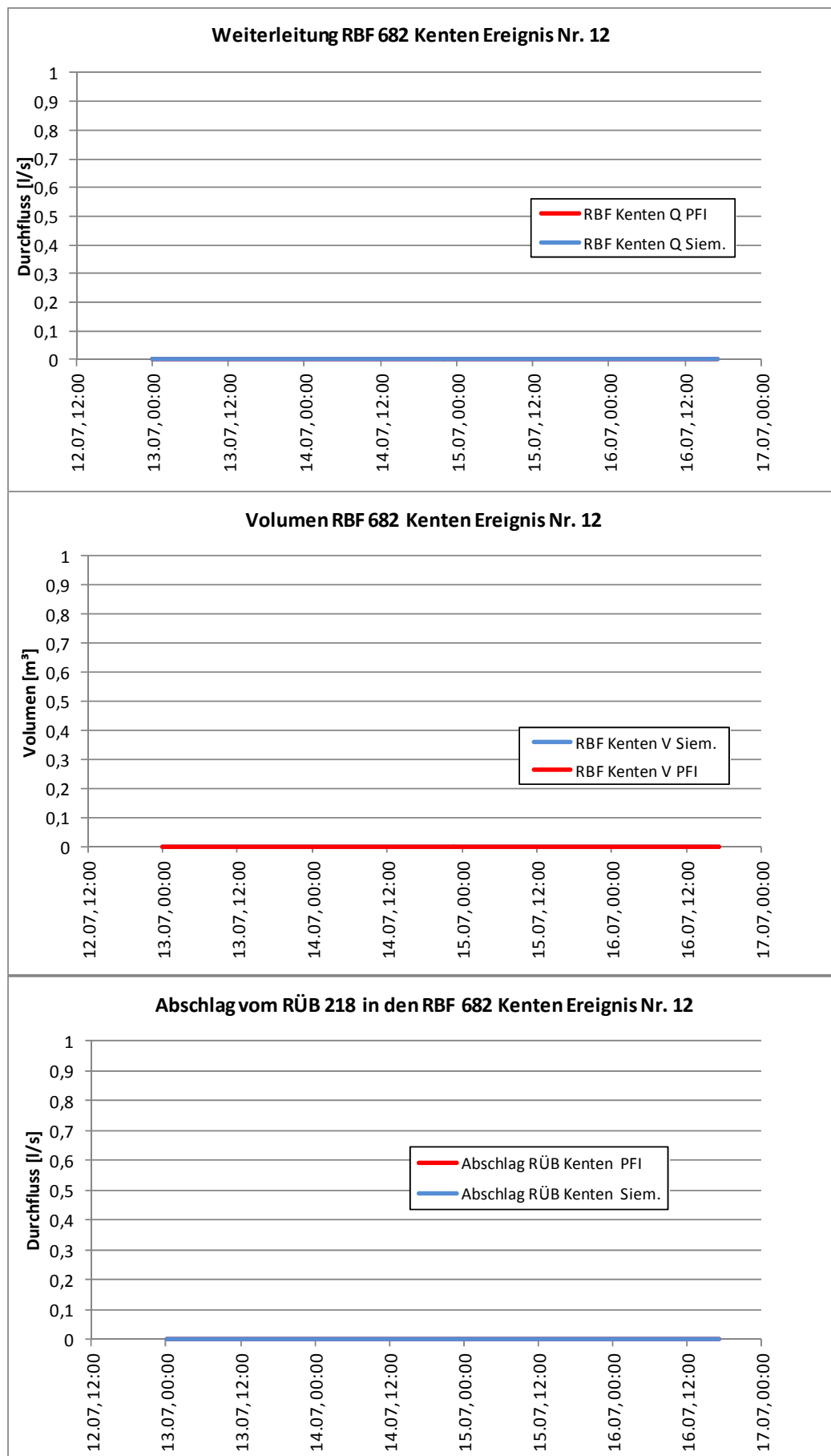
Anlage 4-28: RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 12



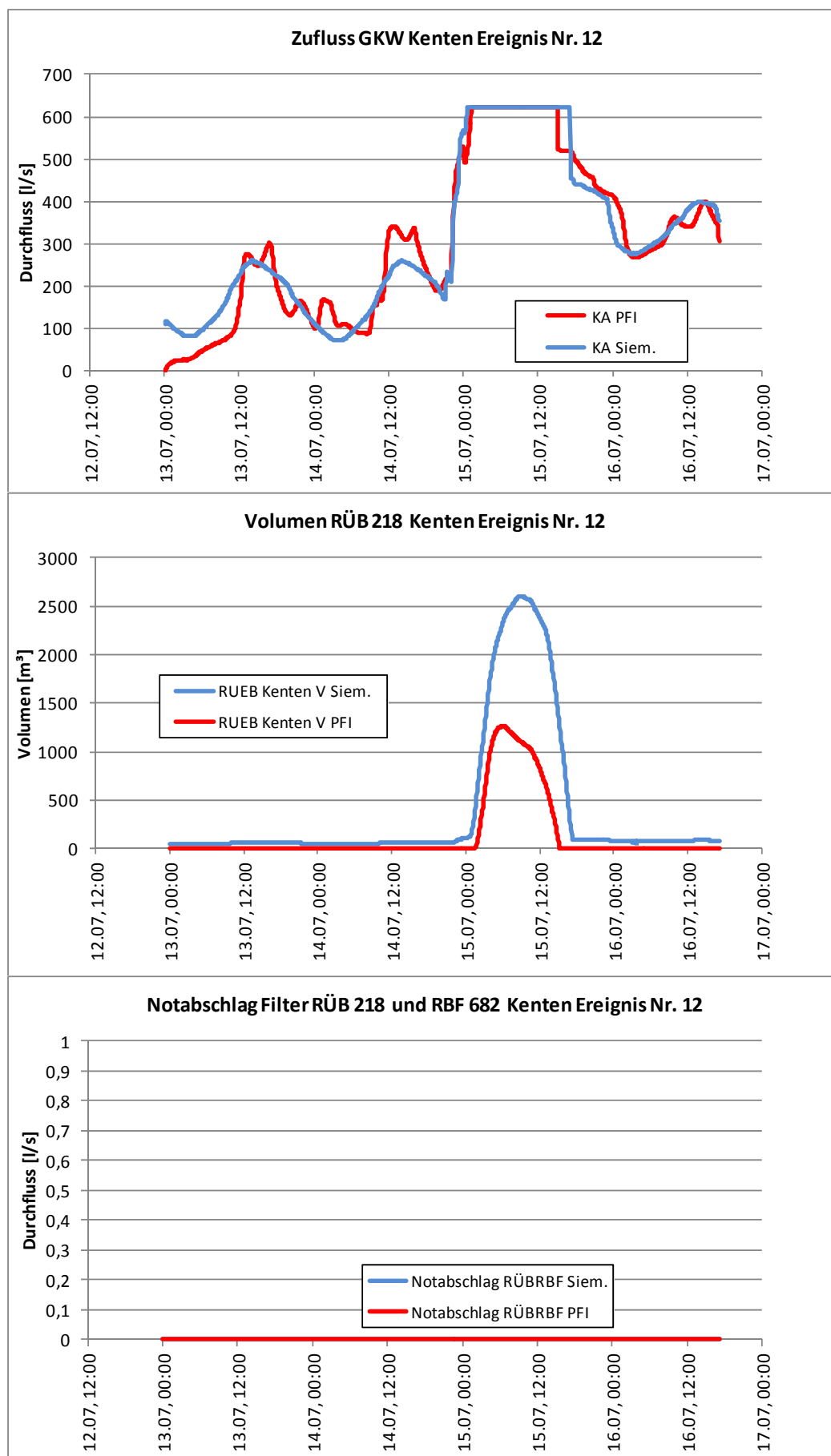
Anlage 4-29: RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 12



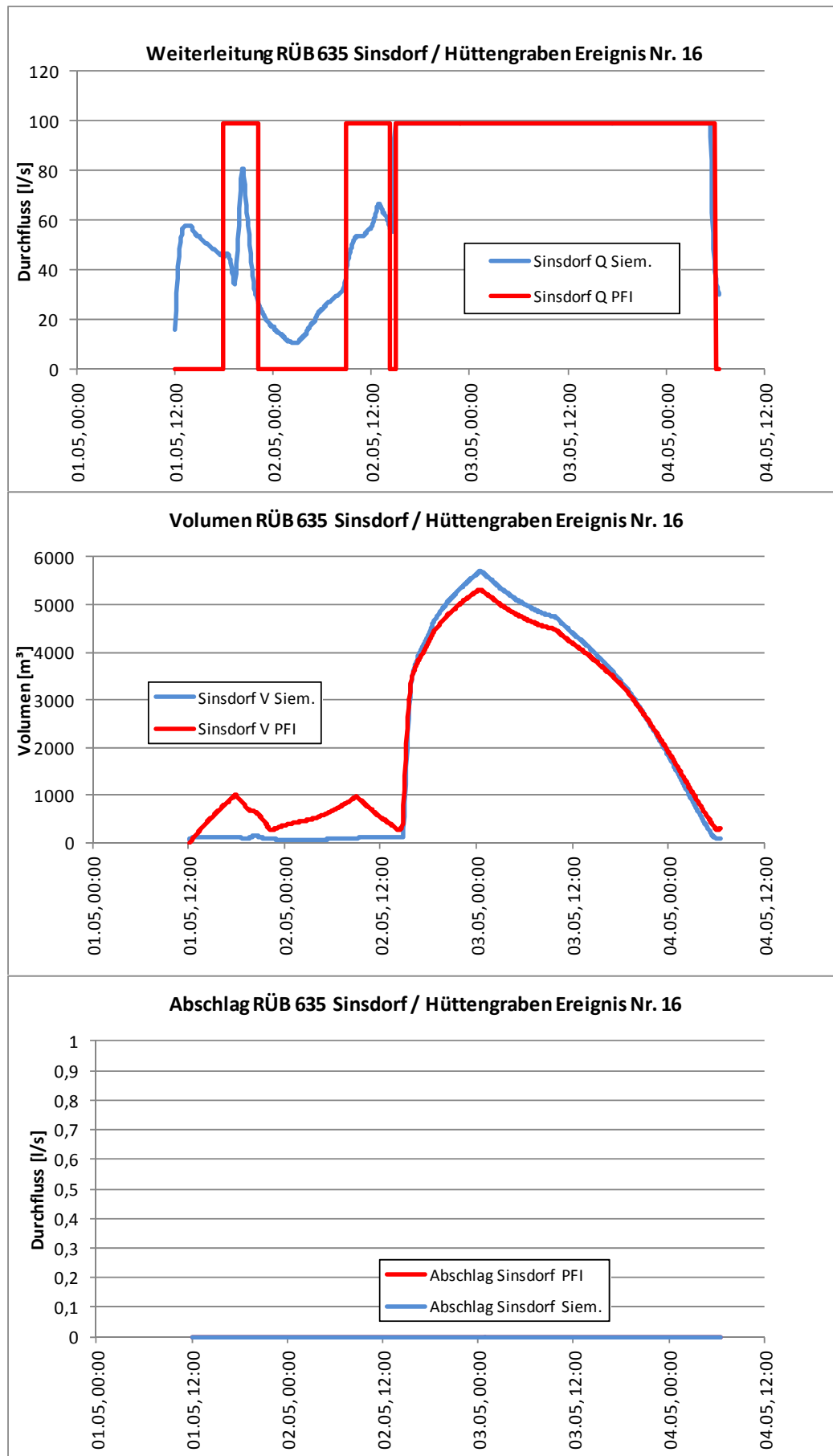
Anlage 4-30: RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 12



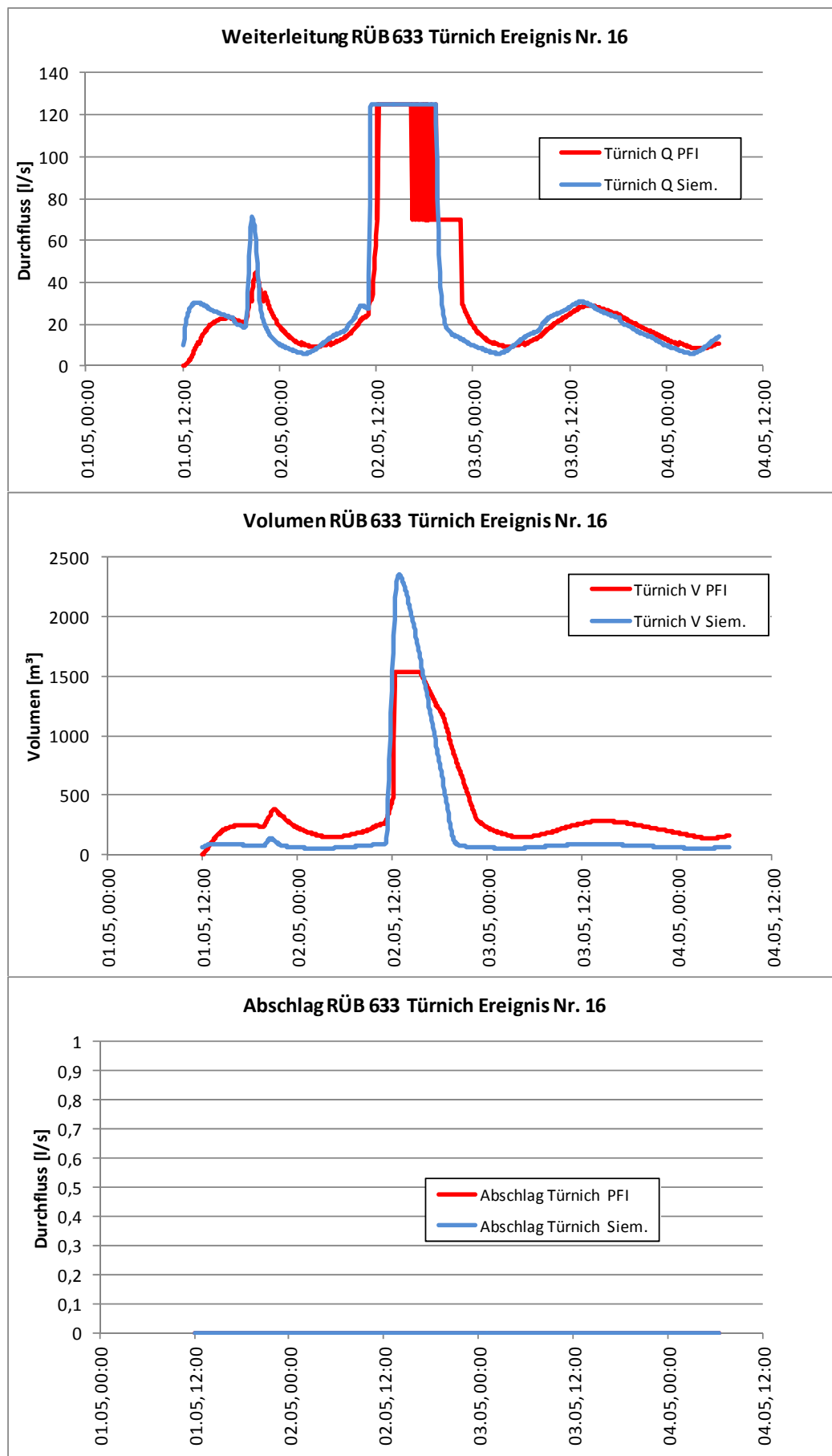
Anlage 4-31: RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 12



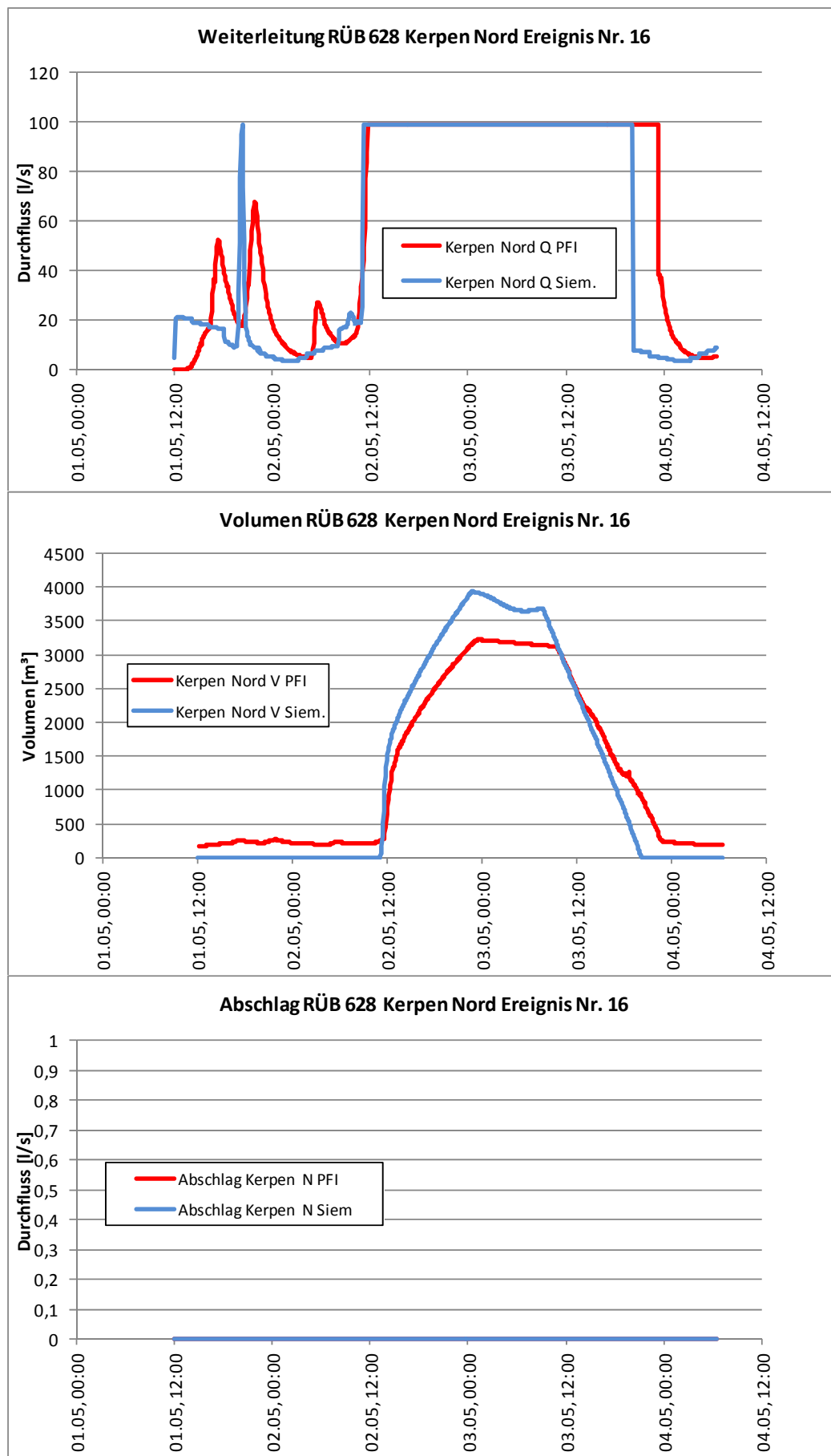
Anlage 4-32: GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 12



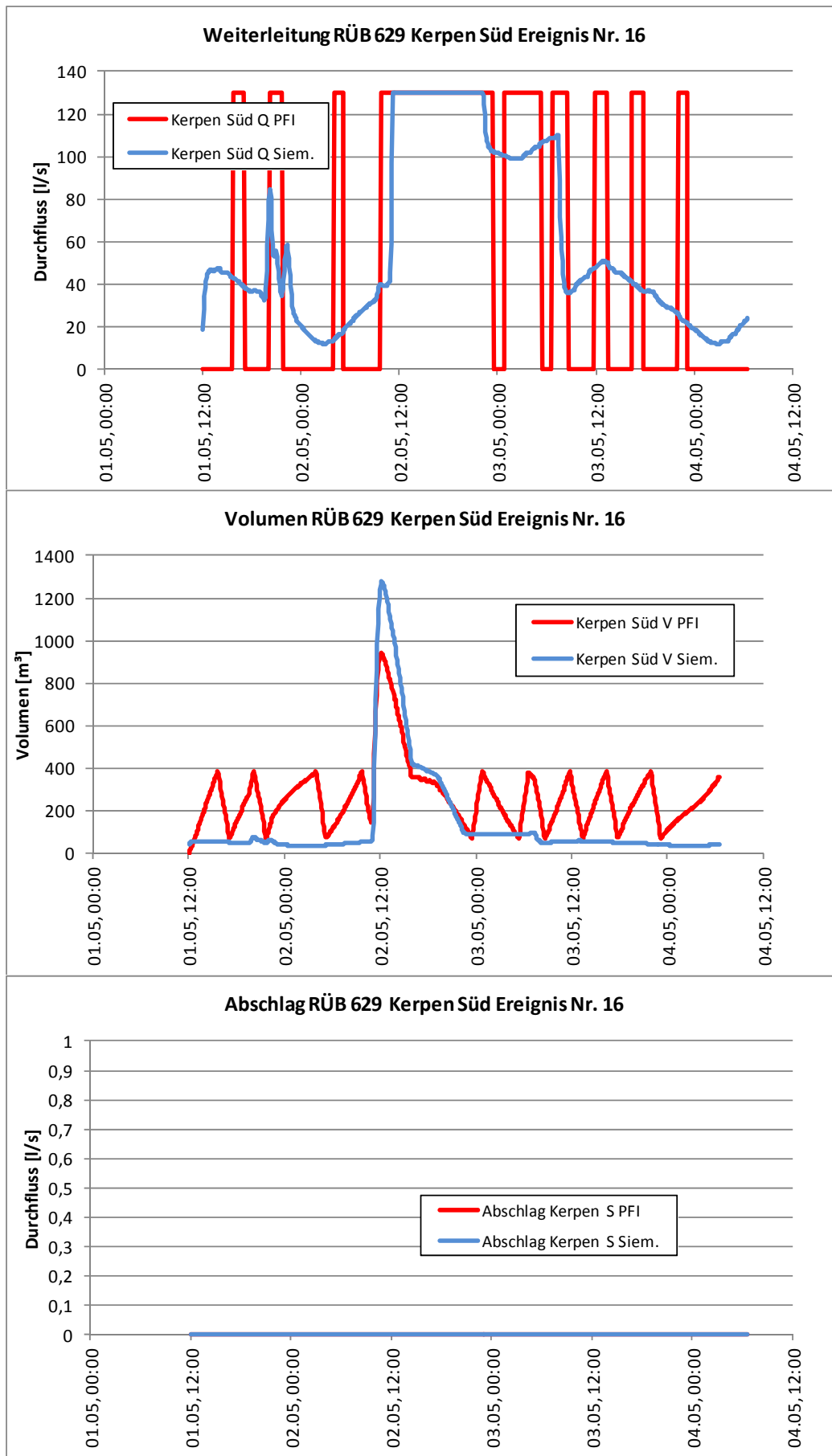
Anlage 4-33: RÜB 635 Sinsdorf / Hüttengraben, Ereignis Nr. 16



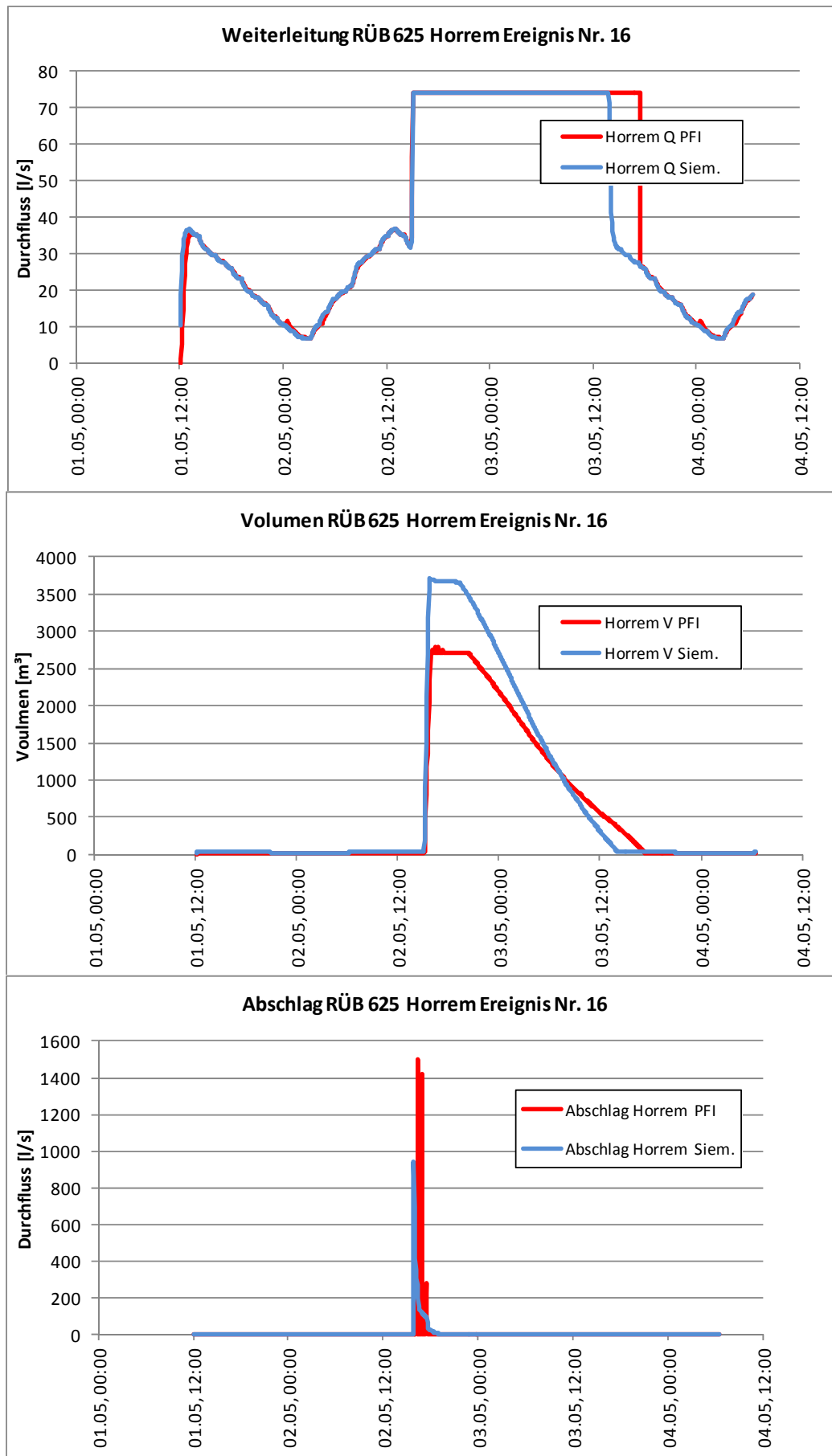
Anlage 4-34: RÜB 633 Türnich, Ereignis Nr. 16



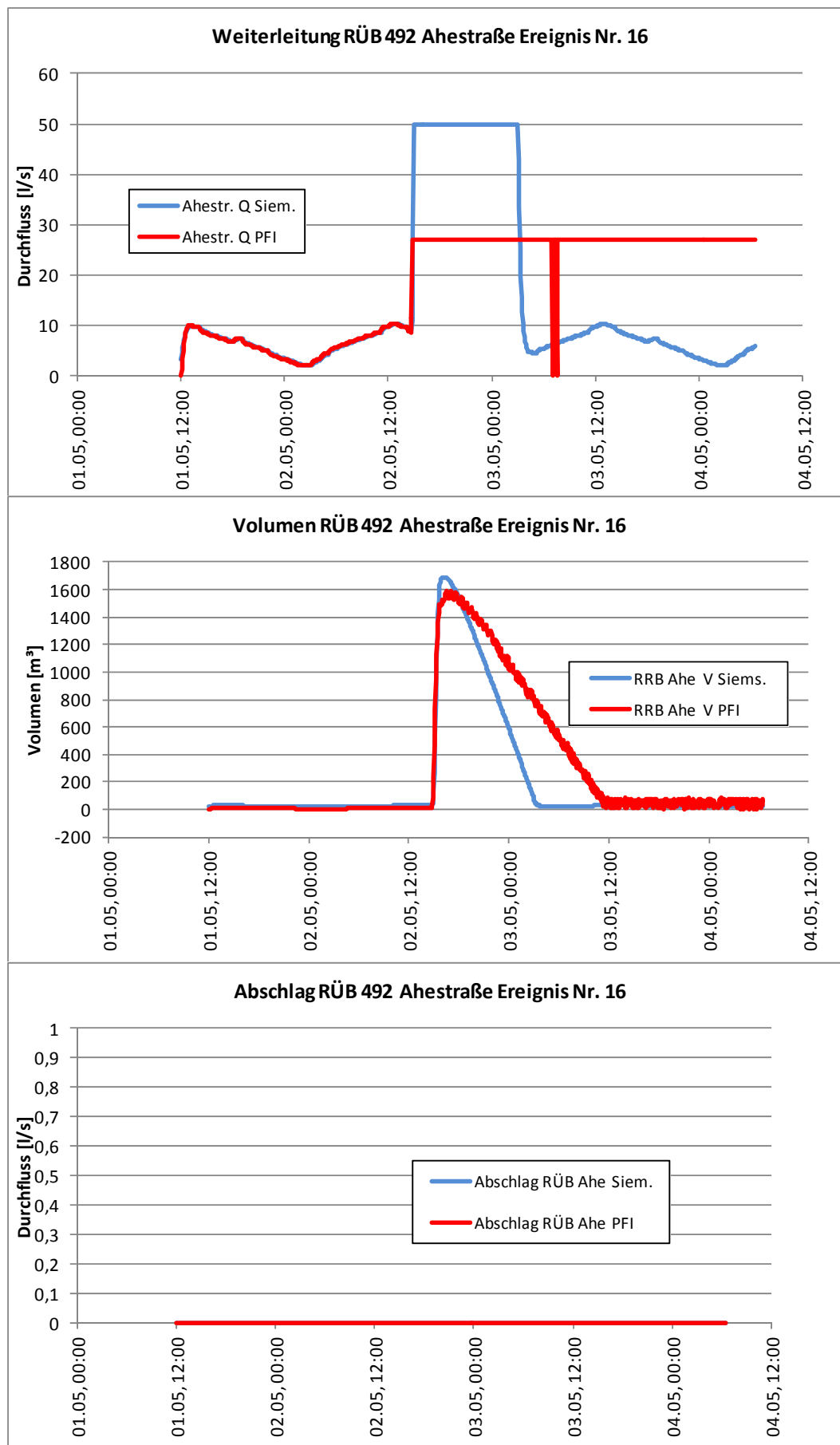
Anlage 4-35: RÜB 628 Kerpen Nord, Ereignis Nr. 16



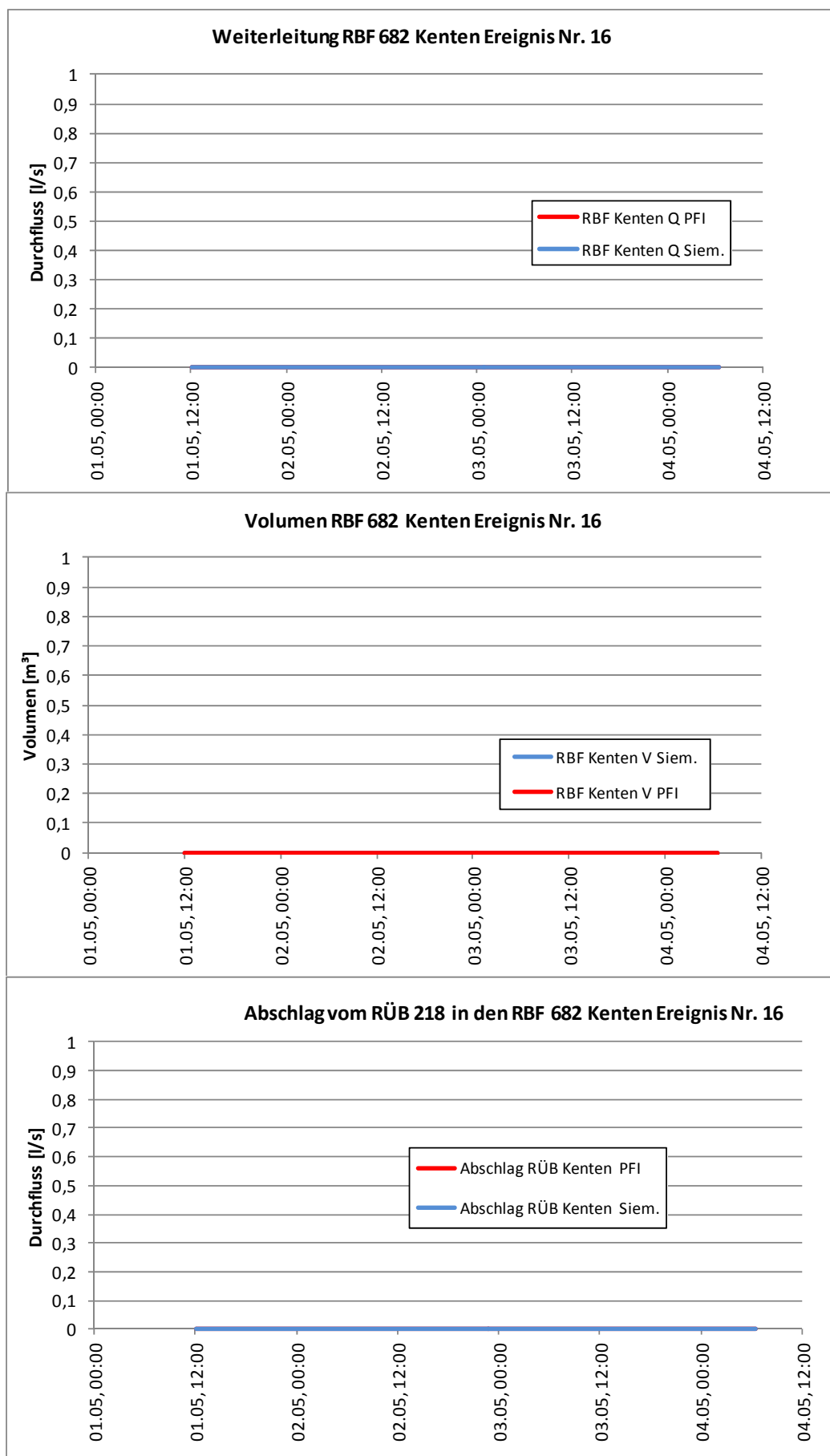
Anlage 4-36: RÜB 629 Kerpen Süd, Ereignis Nr. 16



Anlage 4-37: RÜB 625 Horrem, Ereignis Nr. 16



Anlage 4-38: RÜB 492 Ahestraße, Ereignis Nr. 16



Anlage 4- 39: GKW, RÜB 218 und RBF 682 Kenten, Ereignis Nr. 16

Anlage 5

- 5.1 Grundlagendaten und Bewertungsmatrix
für Beckenüberlauf**
- 5.2 Grundlagendaten und Bewertungsmatrix
für den Beckeneinstau**

Nr.	Bezeichnung	RÜB Volumen	max. Ent- leerungszeit	Summe Qzu oberhalb	Au (direkt)	Qt ₂₄	Qab	Faktor Qab / Qt ₂₄	Fließzeit bis GKW	Gewässer
		m³	h	l/s	ha	l/s	l/s	-	max. h	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	p
633	RÜB Türnich	3.998	11	~ 550	36,1	18	125	6,9	6	Erft
629	RÜB Kerpen Süd	3.121	7	109	68	14	130	9,3	5	Neffelbach
628	RÜB Kerpen Nord	6.907	53	70	63	28	99	3,5	4,5	Neffelbach
625	RÜB Horrem	3.670	22	208	78,4	21	74	3,5	2,5	Erft
635	RÜB Hüttengraben	7.318	62	125	81,6	34	99	2,9	2,5	Hüttengraben / Große Erft
492	RÜB Ahestr.	3.964	25	0	33,1	6,2	50	8,1	0,5	Kleine Erft
130	RÜB / PW Thorr	321	2	110	< 1	18	150	8,3	0,25	Große Erft
218	RÜB Kenten	3.814	19	~ 600	< 1	165	624	3,8	0	Erft
218	RBF Kenten	4.246	12	~ 600	0	-	60	-	-	Erft
76	GKW Kenten	0	0	624	0	165	-	-	0	Erft

Nr.	Bezeichnung	Entlastungs- rate e _o	mittleres Mischungs- verhältnis	mittl. entl. Schmutz- fracht CSB	Einleit-menge für n = 1	Einleitmenge	Gewässer- empfind- lichkeit	MNQ Gewässer	Qein / MNQ
		%	RW / SW	t / a	l/s	m³/a		l/s	-
a	b	k	l	m	n	o	q	r	s
633	RÜB Türnich	28	34	19,5	3.195	123.000	niedrig	1200	2,7
629	RÜB Kerpen Süd	15	13	28,0	7.266	169.000	mittel	50	145,3
628	RÜB Kerpen Nord	33	10	16,1	3.251	130.000	mittel	50	65,0
625	RÜB Horrem	38	19	28,6	3.002	137.000	niedrig	1500	2,0
635	RÜB Hüttengraben	31	10	47,9	5.245	205.000	hoch	300	17,5
492	RÜB Ahestr.	6	54	1,3	1.963	51.000	hoch	300	6,5
130	RÜB / PW Thorr	17	28	< 1	1	1	hoch	300	0,0
218	RÜB Kenten	30	9	< 5	400	30.000	niedrig	1800	0,2
218	RBF Kenten	<< 10	-	< 2	60	80.000	niedrig	1800	0,0
76	GKW Kenten	-	-	-	-	-	niedrig	1800	-
gelb unterlegt: eher ungünstige Verhältnisse									

Bewertungsmatrix

Nr.	Bezeichnung	Entlastungs- rate e _o	mittleres Mischungs- verhältnis	mittl. entl. Schmutz- fracht CSB	Einleit-menge für n = 1	Einleitmenge	Gewässer- empfind- lichkeit	MNQ Gewässer	Qein / MNQ	Summe	Vorschlag für Wichtungsfaktor [z3 * 15 und runden auf glatte
a	b	t	u	v	w	x	y	z1	z2	z3	z4
633	RÜB Türnich	6	0	3	6	5	0	0	5	25	400 ^{*a)}
629	RÜB Kerpen Süd	3	5	6	9	7	5	9	9	53	800 ^{*b)}
628	RÜB Kerpen Nord	7	5	3	6	5	5	9	9	49	700
625	RÜB Horrem	8	2	6	6	5	0	0	5	32	500
635	RÜB Hüttengraben	7	5	9	9	9	9	5	9	62	900
492	RÜB Ahestr.	2	0	1	4	2	9	5	9	32	750 ^{*1)}
130	RÜB / PW Thorr	4	0	1	0	0	9	5	0	19	750 ^{*1)}
218	RÜB Kenten	6	5	1	0	0	0	0	0	12	100 bzw. 2000 ^{*2)}
218	RBF Kenten	0	0	1	0	2	0	0	0	3	100 bzw. 2000 ^{*2)}
76	GKW Kenten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Erläuterungen für Punktergabe

Punkte von 0 bis 9; je höher desto ungünstiger
Spalte k → t je 5 % Wert = 1 Punkt (P.)
Spalte l → u <7 = 9 Punkte (P.); 8-14 = 5 P.; 15-21 = 2 P.; >22 = 0 P.
Spalte m → v < 10 t = 1 P.; 11-20 t = 3 P.; 21-30 t = 6 P.; > 31 t = 9 P.
Spalte n → w < 500 = 0 P.; < 1000=2 P.; < 2000=4 P.; < 4000=6 P.; > 4001=9 P.
Spalte o → x < 50.000 = 0 P.; < 100.000 =2 P.; < 150.000 =5 P.; < 200.000 =7 P.;> 201.000 =9 P.
Spalte q → y niedrig = 0 P.; mittel = 5 P.; hoch = 9 P. = Faktor auf >=750
Spalte r → z1 < 100 = 9 P.; < 1000 = 5 P.; > 1001 = 0 P.
Spalte s → z2 < 1 = 0 P.; 1,1 - 5 = 5 P.; >5,1 = 9 P.

*1) Heraufgestuft wg. Gewässerempfindlichkeit auf mindestens 750

*2) bis zur Vollfüllung RBF: 100; nach Vollfüllung RBF: 2000

*a) die Simulationen wurden mit Faktor 300 durchgeführt

*b) die Simulationen wurden mit Faktor 700 durchgeführt

Anlage 5.1: Grundlagendaten und Bewertungsmatrix für Beckenüberlauf

Nr.	Bezeichnung	RÜB Volumen	max. Entleerungszeit	Summe Qzu oberhalb	Au (direkt)	Qt ₂₄	Qab	Faktor Beckenüberlauf
		m³	h	l/s	ha	l/s	l/s	-
a	b	c	d	e	f	g	h	z4
633	RÜB Türnich	3.998	11	~ 550	36,1	18	125	400 ^{a)}
629	RÜB Kerpen Süd	3.121	7	109	68	14	130	800 ^{b)}
628	RÜB Kerpen Nord	6.907	53	70	63	28	99	700
625	RÜB Horrem	3.670	22	208	78,4	21	74	500
635	RÜB Hüttengraben	7.318	62	125	81,6	34	99	900
492	RÜB Ahestr.	3.964	25	0	33,1	6,2	50	750
130	RÜB / PW Thorrr	321	2	110	< 1	18	150	750
218	RÜB Kenten	3.814	19	~ 600	< 1	165	624	100 bzw. 2000 ^{*1)}
218	RBF Kenten	4.246	12	~ 600	0	-	60	100 bzw. 2000 ^{*1)}
76	GKW Kenten	0	0	624	0	165	-	

*1) bis zur Vollfüllung RBF: 100; nach Vollfüllung RBF: 2000

*a) die Simulationen wurden mit Faktor 300 durchgeführt

*b) die Simulationen wurden mit Faktor 700 durchgeführt

Bewertungsmatrix

Nr.	Bezeichnung	Volumen	Entleerungszeit	Au	Qt	Faktor Beckenüberlauf	Summe	Wichtungsfaktor
a	b	c1	d1	f1	g1	z5	z6	z7
633	RÜB Türnich	5	1	4	3	4	17	50
629	RÜB Kerpen Süd	5	1	7	1	8	22	60
628	RÜB Kerpen Nord	1	9	6	3	7	26	70
625	RÜB Horrem	5	5	8	3	5	26	70
635	RÜB Hüttengraben	1	9	8	5	9	32	80
492	RÜB Ahestr.	5	5	3	1	7	21	60
130	RÜB / PW Thorrr	9	1	0	3	7	20	50
218	RÜB Kenten	5	5	0	9	9	28	10 ^{*2)}
218	RBF Kenten	3	3	0	1	9	16	10 ^{*2)}

*2) vorzugsweise ist hier Beckeneinstau gewünscht, jedoch nur bis zur Vollfüllung

Erläuterungen für Punktvergabe							
Spalte c → c1	<= 1.000 = 9 P.; 1.000 - 3.000 = 7 P.; 3.000 - 4.000 = 5 P.; 4.000 - 5.000 = 3 P.; > 5.000 = 1 P.						
Spalte d → d1	<12 = 1 P.; 12 -18 = 3 P.; 18-30 = 5 P.; 30 - 50 = 7 P.; >50 = 9 P.						
Spalte f → f1	0 - 90 = Au / 10						
Spalte g → g1	< 15 = 1 P.; 15 - 30 =3 P.; 30 - 45 =5 P.; 45 - 60 = 7 P.; > 60 = 9 P.						
Spalte z4 → z5	Faktor BÜ / 100						
Spalte z6 → z7	< 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	30 - 35	> 35
	30	40	50	60	70	80	90

Anlage 6

Wichtungsfaktoren

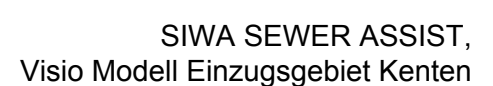
Becken und Sammler in Fließrichtung	Drosselabfluss [l/s]			Beckeneinstau [m NN]		Beckenüberlauf		Überstau Sammler	
	min	eingest. Wert	max tech. mögl.	min	max	min	max	min	max
RÜB Türnich	60	140	200	78,43	80,75	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			40		400 ^{a)}			
S5 Türnich - Kerpen/Türnich / GUER_GW	----	----	----	----	----	----	----	0	268
Wichtungsfaktor								10.000	
RÜB KerpenSüd	70	130	260	70,91	72,85	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			60		800 ^{b)}			
S8 KerpenSüd - KerpenNord / 49394016	70	70	70	----	----	----	----	0	598
Wichtungsfaktor	0							10.000	
S7 KerpenSüd - Kerpen/Türnich / G9417075	60	60	60	----	----	----	----	0	858
Wichtungsfaktor	0							10.000	
RÜB KerpenNord	70	96	260	73,71	76,01	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			70		700			
S6 Kerpen - Kerpen/Türnich / G8431001	----	----	----	----	----	----	----	0	858
Wichtungsfaktor								10.000	
S4 Kerpen/Türnich - Horrem / G8437123	----	----	----	----	----	----	----	0	871
Wichtungsfaktor								10.000	
RÜB Horrem	40	70	90	68,15	70,97	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			70		500			
S3 Horrem-Hüttengraben / G7445145	----	----	----	----	----	----	----	0	875
Wichtungsfaktor								10.000	
RÜB Hüttengraben	70	105	300	65,66	68,14	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			80		900			
S2 Hüttengraben -Ahestr / G7445151	----	----	----	----	----	----	----	0	878
Wichtungsfaktor								10.000	
RÜB Ahestr.	15	26	50	63,95	67,18	0	2505		
Wichtungsfaktor	0			60		750			
S1 Ahestr-GKW / G6448159	----	----	----	----	----	----	----	0	890
Wichtungsfaktor	-							10.000	
RÜB / PW Thorr	40	150	200			0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			50		750			
S0 Thorr - RÜB Kenten / 46451168	----	----	----	----	----	----	----	0	896
Wichtungsfaktor	0							10.000	
RÜB Kenten	624	624	624	64,4	66,67	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			10		2.000 *			
RBF Kenten	60	60	60	63,97	65,6	0	unbegrenzt	----	----
Wichtungsfaktor	0			10		2000 *			
*) bis Vollfüllung RBF: 100; nach Vollfüllung RBF: 2000 *a) die Simulationen wurden mit Faktor 300 durchgeführt *b) die Simulationen wurden mit Faktor 300 durchgeführt									

Anlage 6: Wichtungsfaktoren

Anlage 7

SIWA SEWER ASSIST

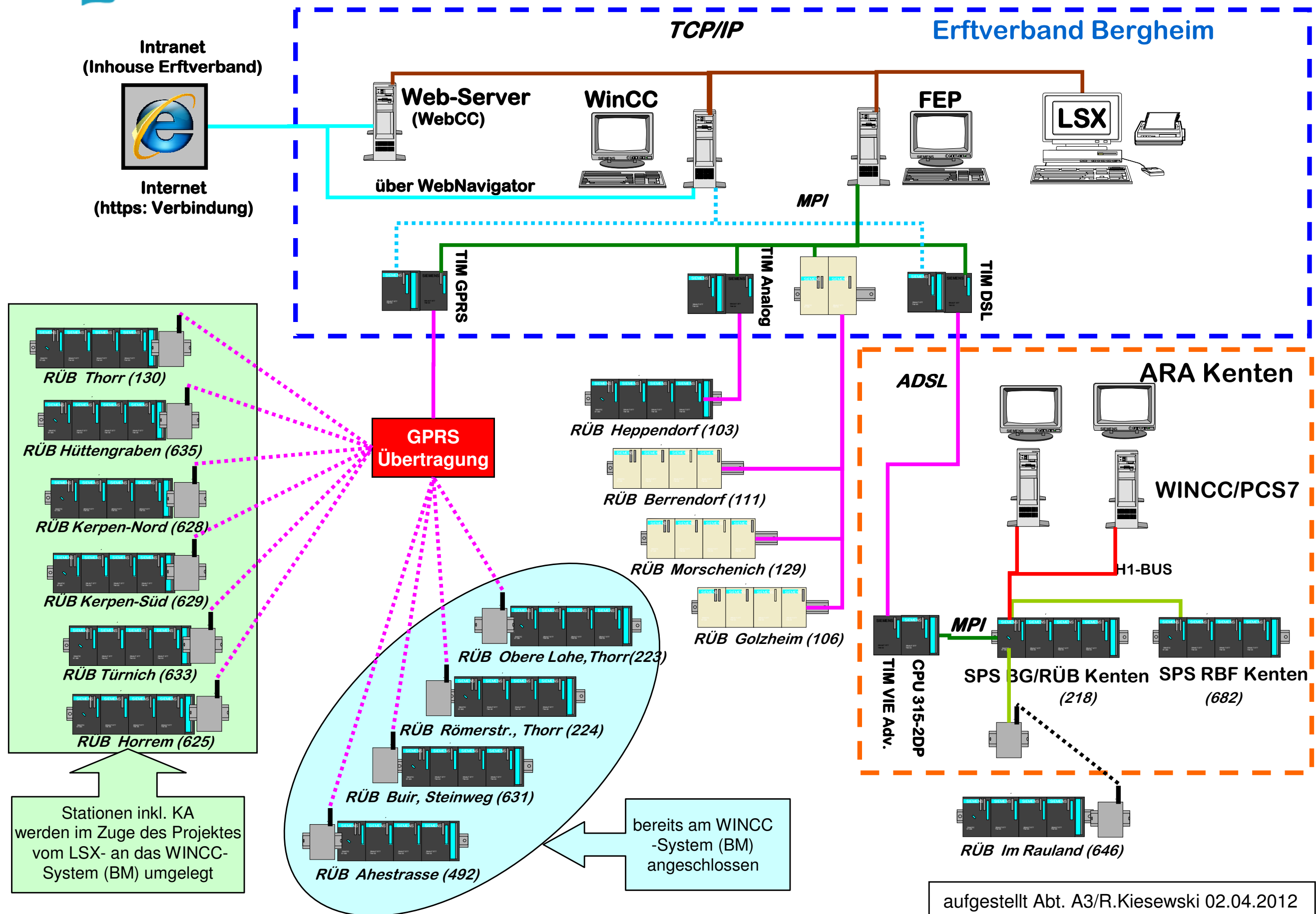
Visio Modell Einzugsgebiet Kenten



Anlage 8

BDS-Anbindung Kanten für Abflusssteuerung

Systemkonfiguration Kanalnetzsteuerung GKW Kenten



Anlage 9

Datenblätter zu den Einleitstellen



Blick auf die Einleitung.
(Datum: 09.09.2008)



Blick unterhalb der Einleitung, in Fließrichtung. (Datum: 09.09.2008)

Daten zur Einleitung RÜB Thorr:

Beschreibung	Einleitstelle
ID der Einleitung	EL 130
Betreiber	Erftverband
Abwasserbeseitigungspflichtiger	Erftverband
Einleitung der Ortslage	Thorr
Gewässer	Große Erft
Gewässertyp nach WRRL	Kleines Niederungsfließgewässer
Zuständigkeit Gewässer	Erftverband
GKZ	27472
Stationierung ja/nein	Ja
Flusskilometer	1+000
Kategorie Oberflächengewässerkörper nach WRRL	natürlich
Größe des natürlichen Einzugsgebietes	~ 15,1 km²
Ausbauzustand Gewässer	Begradigt, Regelprofil
Wiederbesiedlungspotenzial	gering
Lage im Wasserschutzgebiet	nein
Nr. des geschlossenen Siedlungsgebietes	
Anzahl der Einleitungen im geschlossenen Siedlungsgebiet	33
Vorgeschaltetes Bauwerk	RÜB

Wiederbesiedlungspotenzial:

Das Wiederbesiedlungspotenzial ist aufgrund eigener Erhebung nach BWK M3 Verfahren II gering (Erhebung von Gewässerstrukturgütemerkmalen).

Beschreibung:

Unterhalb der Einleitung ist die Große Erft stark begradigt und massiv im Böschungsfußbereich mit Steinen gesichert. Beidseitig ist dichter Baum- Stauchbewuchs. Bis zur Böschungsoberkante befindet sich beidseitig ein gewässerbegleitender Weg mit angrenzendem Freizeit - / Naherholungsgebiet. Oberhalb der Einleitung ist das Gewässer nicht befestigt, es haben sich Bermen gebildet und das Profil ist stark variierend. Ober- und unterhalb der Einleitung gibt es keine relevanten Wanderungshindernisse. Erosionen aufgrund der Einleitung sind nicht zu erkennen.

Ca. 55m oberhalb der Einleitung ist der Einmündungsbereich des Wiebaches (künstlich mit ephemerem Abfluss). Hier ist der Nachweisort für die Niederschlagswassereinleitungen, die in den Wiebach erfolgen.

Kategorie / Nachweisführung am Nachweisort:

Die Große Erft ist ein künstliches Gewässer mit erhöhter Wasserführung aufgrund der Speisung mittels fester Wehrschwelle im Bereich Götzenkirchen, Kategorie 2.11 gemäß dem Handlungskonzept zur immissionsorientierten Nachweisführung (Erftverband 2005).



Blick auf die Einleitestelle
(Datum 09.09.2008)



Blick unterhalb der Einmündung Hüttengra-
ben / Große Erft in Fließrichtung
(Datum:09.09.2008)

Daten zur Einleitung RÜB Hüttengraben Sindorf:

Beschreibung	Einleitstelle	Nachweisort
ID der Einleitung	EL 635	
Betreiber	Erftverband	
Abwasserbeseitigungs- pflichtiger	Erftverband	
Einleitung der Ortslage	Sindorf	
Gewässer	Hüttengraben	Große Erft
Gewässertyp nach WRRL	%	Kleines Niederungs- fließgewäs- ser
Zuständigkeit Gewäs- ser	Erftverband	Erftverband
GKZ		27472
Stationierung ja/nein	Ja	Ja
Flusskilometer	0+600	4+880
Kategorie Oberflächen- wasserkörper nach WRRL	%	natürlich
Größe des natürlichen Einzugsgebietes		~ 4,3 km ²
Ausbauzustand Gewässer	Begradigt, Regelprofil	Begradigt, Regelprofil
Wiederbesiedlungs- potenzial		Gering
Lage im Wasser- schutzgebiet ?	nein	Nein
Nr. des geschlossenen Siedlungsgebietes		?
Anzahl der Einleitun- gen im geschlossenen Siedlungsgebiet		1
Vorgesaltetes Bau- werk	RÜB	

Wiederbesiedlungspotenzial:

Das Wiederbesiedlungspotenzial ist auf-
grund eigener Erhebung nach BWK M3 Ver-
fahren II gering (Erhebung von Gewässer-
strukturgütemerkmalen).

Beschreibung:

Die Einleitung erfolgt in den trockenen und
massiv mit Beton verbauten Hüttengraben.
Bis zur Einmündung in die große Erft nach
ca. 600m sind auf der Strecke deutlich fauli-
ge Rückstände vorhanden.

Die Einmündung entspricht dem Nachwei-
sort.

Die Große Erft ist in dem betrachteten Ab-
schnitt nicht befestigt und beidseitig ist ein
dichter Baum- und Strauchsaum vorhanden.
Ober- und unterhalb des Nachweisortes gibt
es keine relevanten Wanderungshindernisse.
Erosionen aufgrund der Einleitung sind
nicht zu erkennen.

Kategorie / Nachweisführung am Nach- weisort:

Der Hüttengraben ist ein anthropogen be-
dingtes ephemeres Gewässer, Kategorie 2.8
gemäß dem Handlungskonzept zur immissi-
onsorientierten Nachweisführung (Erftver-
band 2005).

Die Große Erft ist ein künstliches Gewässer
mit erhöhter Wasserführung aufgrund der
Speisung mittels fester Wehrschwelle im
Bereich Götzenkirchen, Kategorie 2.11 ge-
mäß dem Handlungskonzept zur immissi-
onsorientierten Nachweisführung (Erftver-
band 2005).



Blick auf die Einleitung
(Datum: 17.12.2008)



Blick unterhalb der Einleitung, in Fließrichtung
(Datum: 17.12.2008)

Daten zur Einleitung RUB / RBF Kenten vor dem GWK:

Beschreibung	Einleitstelle
ID der Einleitung	EL 218
Betreiber	Erftverband
Abwasserbeseitigungspflichtiger	Erftverband
Einleitung der Ortslage	Kenten
Gewässer	Erft
Gewässertyp nach WRRL	Kiesgeprägter Tieflandfluß
Zuständigkeit Gewässer	Erftverband
GKZ	274
Stationierung ja/nein	Ja
Flusskilometer	40+160
Kategorie Oberflächengewässerkörper nach WRRL	Künstlich
Größe des natürlichen Einzugsgebietes	~ 1160 km ²
Ausbauzustand Gewässer	Begradigt, Regelprofil
Wiederbesiedlungspotenzial	Hoch
Lage im Wasserschutzgebiet	nein
Nr. des geschlossenen Siedlungsgebietes	
Anzahl der Einleitungen im geschlossenen Siedlungsgebiet	33
Vorgeschaltetes Bauwerk	RÜB / RBF

Wiederbesiedlungspotenzial:

Das Wiederbesiedlungspotenzial wurde nach Verfahren I bestimmt. Es ist am Nachweisort aufgrund der Gewässerstrukturgüte (Strukturgüteklasse 4 bis 5) hoch.

Beschreibung:

Die Einleitung erfolgt südlich von Bergheim-Kenten in die Erft. Im Abstand von etwa 50m unterhalb erfolgt die Einleitung des GWK Kenten (EL76). Nach weiteren 225m befindet sich die Wiebachleitung (ES832I005). Etwa 20m oberhalb der Einleitstelle mündet die Flutmulde Römerstraße in die Erft. Unterhalb mündet der ephemere Bruchgraben ein.

Im gesamten betrachteten Abschnitt ist der Böschungsfuß mit Steinen gesichert. Ober- und unterhalb der Einleitung gibt es keine relevanten Wanderungshindernisse. Erosionen aufgrund der Einleitung sind nicht zu erkennen.

Kategorie / Nachweisführung am Nachweisort:

Die Erft ist ein künstliches Gewässer mit Ein- und Ausleitungen von Nebengräben sowie Aussickerungen, Kategorie 2.11 gemäß dem Handlungskonzept zur immissionsorientierten Nachweisführung (Erftverband 2005).



Blick auf die Einleitestelle
(Datum: 27.02.2008)



Blick unterhalb der Einleitestelle, in Fließrichtung
(Datum: 27.02.2008)

Daten zur Einleitung RÜB Mödrath:

Beschreibung	Einleitestelle
ID der Einleitung	EL628
Betreiber	Erftverband
Abwasserbeseitigungspflichtiger	Erftverband
Einleitung der Ortslage	Kerpen
Gewässer	Neffelbach
Gewässertyp nach WRRL	Kiesgeprägter Tieflandfluß
Zuständigkeit Gewässer	Erftverband
GKZ	2746
Stationierung ja/nein	Ja
Flusskilometer	Km 1+450
Kategorie Oberflächengewässerkörper nach WRRL	Natürlich
Größe des natürlichen Einzugsgebietes	~ 228,3 km²
Ausbauzustand Gewässer	Regelprofil
Wiederbesiedlungspotenzial	Mittel
Lage im Wasserschutzgebiet	Nein
Nr. des geschlossenen Siedlungsgebietes	
Anzahl der Einleitungen im geschlossenen Siedlungsgebiet	5
Vorgeschaltetes Bauwerk	RÜB

Wiederbesiedlungspotenzial:

Das Wiederbesiedlungspotenzial wurde nach Verfahren I bestimmt. Es ist am Nachweisort aufgrund der Gewässerstrukturgüte (Strukturgüteklasse 4 bis 5) mittel.

Beschreibung:

Die Einleitung erfolgt unterhalb der Ortschaft Kerpen in den Neffelbach. Gegenüber der Einleitestelle ist die Böschung mit Steinen verbaut. In Abschnitten ist der Böschungsfuß mit Weidengeflecht gesichert. Im gesamten Einflussbereich der Einleitung haben sich Bermen gebildet. Oberhalb der Einleitung befindet sich rechtsseitig ein Baum- und Strauchbewuchs mit angrenzender Weidenlandnutzung, auf der linken Gewässerseite grenzen landwirtschaftlich genutzte Flächen bis an die Böschungsoberkante. Unterhalb durchfließt der Neffelbach ein bewaldetes Gebiet.

Ober- und unterhalb der Einleitung gibt es keine relevanten Wanderungshindernisse. Erosionen aufgrund der Einleitung sind nicht zu erkennen.

Etwa 350m unterhalb der Einleitung mündet der Vorflutgraben BAB61 in den Neffelbach. Hier ist der Nachweisort für die Einleitung EL629 (RÜB7 Kerpen-Süd).

Kategorie / Nachweisführung am Nachweisort:

Der Neffelbach ist ein permanent wasserführendes Gewässer, Kategorie 2.13 gemäß dem Handlungskonzept zur immissionsorientierten Nachweisführung (Erftverband 2005).



Blick auf die Einleitestelle
(Datum 27.02.2008)



Einmündungsbereich, Vorflutgraben BAB61
von rechts in den Neffelbach.
(Datum:27.02.2008)

Daten zur Einleitung RÜB 7 Kerpen-Süd:

Beschreibung	Einleitestelle	Nachweisort
ID der Einleitung	EL 629	
Betreiber	Erftverband	
Abwasserbeseitigungs- pflichtiger	Erftverband	
Einleitung der Ortslage	Kerpen-Süd	
Gewässer	Vorflutgraben BAB 61	Neffelbach
Gewässertyp nach WRRL	%	Kiesgeprägter Tieflandfluß
Zuständigkeit Gewässer	Erftverband	Erftverband
GKZ		2746
Stationierung ja/nein	Nein	Ja
Flusskilometer	%	1+100
Kategorie Oberflächen- wasserkörper nach WRRL	%	natürlich
Größe des natürlichen Einzugsgebietes		~ 228,9 km²
Ausbauzustand Gewässer	Begradigt, Regelprofil	Begradigt, Regelprofil
Wiederbesiedlungspotenzial		Gering
Lage im Wasserschutzgebiet ?	nein	Nein
Nr. des geschlossenen Siedlungsgebietes		
Anzahl der Einleitungen im geschlossenen Siedlungsgebiet		5
Vorgeschaltetes Bauwerk	RÜB	

Wiederbesiedlungspotenzial:

Das Wiederbesiedlungspotenzial ist aufgrund eigener Erhebung nach BWK M3 Verfahren II gering (Erhebung von Gewässerstrukturgütemerkmalen).

Beschreibung:

Die Einleitung erfolgt in den trockenen Vorflutgraben BAB 61. Die Sohle ist durchgängig labil mit Steinen gesichert. Auf der rechten Seite befindet sich der Autobahndamm, auf der linken Seite erfolgt die landwirtschaftliche Nutzung bis an die Böschungsoberkante. Es sind starke Verunreinigungen im Bereich der Einleitung zu erkennen.

Nach ca. 810m mündet der Vorflutgraben in den Neffelbach. Die betrachteten 600m durchfließen ein bewaldetes Gebiet.

Der Neffelbach ist stark begradigt. Ein geringes Wanderungshindernis stellt die ca. 20m unterhalb der Einmündung befindliche BAB 61 dar, sie ist massiv mit Steinen in Beton im Böschungs- sowie im Sohlbereich gesichert. Oberhalb des Nachweisortes gibt es keine relevanten Wanderungshindernisse. Erosionen aufgrund der Einleitung sind nicht zu erkennen.

Etwa 350m oberhalb der Einmündung des Vorflutgraben BAB61 in den Neffelbach befindet sich die Einleitung EL628 (RÜB-Mödrath).

Kategorie / Nachweisführung am Nachweisort:

Der Vorflutgraben BAB 61 ist ein anthropogen bedingtes ephemeres Gewässer, Kategorie 2.12 gemäß dem Handlungskonzept zur immissionsorientierten Nachweisführung (Erftverband 2005).

Der Neffelbach ist ein permanent wasserführendes Gewässer, Kategorie 2.13 gemäß dem Handlungskonzept zur immissionsorientierten Nachweisführung (Erftverband 2005).



Blick auf die Einleitung.
(Datum: 16.02.2011)



Blick oberhalb der Einleitung, in Fließrichtung.
(Datum: 24.06.2008)

Daten zur Einleitung RÜB Türrich (11):

Beschreibung	Einleitstelle
ID der Einleitung	EL 633
Betreiber	Erftverband
Abwasserbeseitigungspflichtiger	Erftverband
Einleitung der Ortslage	Türrich
Gewässer	Erft
Gewässertyp nach WRRL	Kiesgeprägter Tief- landfluss
Zuständigkeit Gewässer	Erftverband
GKZ	274
Stationierung ja/nein	Ja
Flusskilometer	Km 50+450
Kategorie Oberflächen- wasserkörper nach WRRL	Künstlich
Größe des natürlichen Einzugsgebietes	~ 8,84 km²
Ausbauzustand Gewässer	Begradigt, Regelprofil
Wiederbesiedlungspotenzial	Mittel
Lage im Wasserschutzgebiet	Nein
Nr. des geschlossenen Siedlungsgebietes	?
Anzahl der Einleitungen im geschlossenen Siedlungsgebiet	6
Vorgeschaltetes Bauwerk	RÜB

Beschreibung:

Der gesamte betrachtete Abschnitt ist begradigt und im Bereich des Böschungsfußes massiv befestigt. Rechtsseitig befindet sich ein asphaltierter Weg auf der Böschungsoberkante mit angrenzender Obstplantage. Auf der linken Seite ist ein breiter Baum- und Strauchbewuchs. Oberhalb und unterhalb der Einleitung gibt es keine relevanten Wanderungshindernisse. Erosionen aufgrund der Einleitung sind nicht zu erkennen.

Kategorie / Nachweisführung am Nachweisort:

Die Erft ist ein künstliches Gewässer mit Ein- und Ausleitungen von Nebengräben sowie Aussickerungen, Kategorie 2.11 gemäß dem Handlungskonzept zur immissionsorientierten Nachweisführung (Erftverband 2005).

Wiederbesiedlungspotenzial:

Das Wiederbesiedlungspotenzial wurde nach Verfahren I bestimmt. Es ist am Nachweisort aufgrund der Gewässerstrukturgüte (Strukturgüteklasse 5 bis 6) mittel.



Blick auf die Einleitung.
(Datum: 13.08.2008)



Blick unterhalb der Einleitung, entgegen der
Fließrichtung. (Datum: 13.08.2008)

Daten zur Einleitung RÜB Horrem (17):

Beschreibung	Einleitstelle
ID der Einleitung	EL625
Betreiber	Erftverband
Abwasserbeseitigungs- pflichtiger	Erftverband
Einleitung der Ortslage	Horrem
Gewässer	Erft
Gewässertyp nach WRRL	Kiesgeprägter Tieflandfluß
Zuständigkeit Gewässer	Erftverband
GKZ	274
Stationierung ja/nein	Ja
Flusskilometer	Km 44+550
Kategorie Oberflächen- wasserkörper nach WRRL	Künstlich
Größe des natürlichen Einzugsgebietes	~ 1144,5 km ²
Ausbauzustand Gewässer	Begradigt, Regelprofil
Wiederbesiedlungspotenzial	Gering
Lage im Wasserschutzgebiet	Nein
Nr. des geschlossenen Siedlungsgebietes	
Anzahl der Einleitungen im geschlossenen Siedlungsgebiet	3
Vorgeschaltetes Bauwerk	RÜB

Wiederbesiedlungspotenzial:

Das Wiederbesiedlungspotenzial ist aufgrund eigener Erhebung nach BWK M3 Verfahren II gering (Erhebung von Gewässerstrukturgütemerkmalen).

Beschreibung:

Die Einleitung in die Erft. In dem betrachteten Abschnitt ist der Böschungsfuß massiv befestigt.

Ca. 80m oberhalb der Einleitung befindet sich eine Eisenbahnbrücke. Die Betonsohle in diesem Bereich ist ein hohes Wanderungshindernis.

Ca. 50m oberhalb mündet von rechts der Überlauf des Kölner Randkanals in die Erft. Beidseitig ist z.T. dichter Baum- und Strauchbewuchs.

Unterhalb der Einleitung gibt es keine relevanten Wanderungshindernisse. Erosionen aufgrund der Einleitung sind nicht zu erkennen.

Kategorie / Nachweisführung am Nachweisort:

Die Erft ist ein künstliches Gewässer mit Ein- und Ausleitungen von Nebengräben sowie Aussickerungen, Kategorie 2.11 gemäß dem Handlungskonzept zur immissionsorientierten Nachweisführung (Erftverband 2005).



Blick auf die Einleitung.
(Datum: 27.08.2008)



Blick unterhalb der Einleitung, in Fließrichtung.
(Datum: 27.08.2008)

Daten zur Einleitung RÜB Ahestraße Quadrath-Ichendorf:

Beschreibung	Einleitstelle
ID der Einleitung	EL492
Betreiber	Erftverband
Abwasserbeseitigungspflichtiger	Erftverband
Einleitung der Ortslage	Quadrath-Ichendorf
Gewässer	Kleine Erft
Gewässertyp nach WRRL	Kleines Niederungsfließgewässer
Zuständigkeit Gewässer	Erftverband
GKZ	27456
Stationierung ja/nein	Ja
Flusskilometer	4+950
Kategorie Oberflächengewässerkörper nach WRRL	verbaut
Größe des natürlichen Einzugsgebietes	~ 30,4 km²
Ausbauzustand Gewässer	Begradigt, Regelprofil
Wiederbesiedlungspotenzial	gering
Lage im Wasserschutzgebiet	nein
Nr. des geschlossenen Siedlungsgebietes	?
Anzahl der Einleitungen im geschlossenen Siedlungsgebiet	18
Vorgeschaltetes Bauwerk	RÜB

Wiederbesiedlungspotenzial:

Das Wiederbesiedlungspotenzial wurde nach Verfahren I bestimmt. Es ist am Nachweisort aufgrund der Gewässerstrukturgüte (Strukturgütekategorie 6) gering.

Beschreibung:

Die Einleitung erfolgt in die Kleine Erft. Im betrachteten Abschnitt ist diese stark begradigt. Im Bereich der Einleitung ist der Böschungsbereich befestigt. Erosionen aufgrund der Einleitung sind deutlich erkennbar. Auf der linken Seite des Gewässers befindet sich ein oberhalb asphaltierter, unterhalb wassergebundener Weg. Rechtsseitig erfolgt die Privatgartennutzung bis zur Böschungsoberkante.

Ober- und unterhalb der Einleitung gibt es keine relevanten Wanderungshindernisse.

Kategorie / Nachweisführung am Nachweisort:

Die Kleine Erft ist ein künstliches Gewässer, welches aus der Erft mittels Wehranlage im Bereich Gymnich gespeist wird, Kategorie 2.11 gemäß dem Handlungskonzept zur immissionsorientierten Nachweisführung (Erftverband 2005).