



Bezirksregierung Düsseldorf

Projektkurzbericht und Festsetzungskarten

Überschwemmungsgebiet HQ₁₀₀ Wupper



Dezember 2010

Hydrotec
Ingenieurgesellschaft für
Wasser und Umwelt mbH

Projektbearbeitung

Dipl.-Ing. Bettina Schaffmann
Dr.-Ing. Hartmut Sacher

Redaktion

M.A. Geogr. Birgitt Charl

Das Titelbild zeigt die Wupper bei km 32,1.

Aachen, Dezember 2010

(Dipl.-Ing. Bettina Schaffmann)

(Dr.-Ing. Hartmut Sacher)

© Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH
Bachstraße 62-64
D-52066 Aachen

Jegliche anderweitige, auch auszugsweise, Verwertung des Berichtes, der Anlagen und ggf. mitgelieferter Projekt-CD außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Auftraggebers unzulässig. Dies gilt insbesondere auch für Vervielfältigungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Projektnummer	P1040 / P1246
Anzahl der Ausfertigungen	12
Ausfertigungsnummer	12 - 1
Auflage	1

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
1 Einleitung / Allgemein	5
2 Gebietsdarstellung	5
2.1 Beschreibung des Einzugsgebietes.....	5
2.2 Gewässerverlauf	6
2.3 Böden	6
2.4 Flächennutzung.....	8
2.5 Besonderheiten	9
2.6 Übersicht Einzugsgebiet.....	10
3 Gelistete Datengrundlage	11
3.1 Karten	11
3.2 Geländedaten.....	11
3.3 Bodenarten / Geologie	12
3.4 Stadtentwässerung	12
3.5 Querprofilaufnahmen.....	13
3.6 Niederschlagszeitreihen	13
3.7 Klimazeitreihen.....	15
3.8 Pegeldaten.....	15
3.9 Berechnungsansätze für Rauheiten	16
4 Modelltechnik	17
4.1 Hydrologie.....	17
4.2 Hydraulik	17
4.2.1 Eindimensionales Modell.....	17
4.2.2 Zweidimensionale Modelle	18
4.3 Verwendete Software	19
4.4 Erläuterungen und Anwendungsbereiche 1D / 2D.....	19

5	Modellkalibrierung / Modellvalidierung	21
5.1	Abgleich der Simulation mit vorhandenen Pegeldaten (Kalibrierung)	21
5.1.1	Kalibrierung des hydraulischen Modells	21
5.1.2	Kalibrierung des hydrologischen Modells	21
5.2	Dokumentation der Anfangsbedingungen.....	23
6	Bewertung der Ergebnisse der hydraulischen Berechnung	23
7	Literatur	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Wupper und Nebengewässer uh. Wuppertalsperre (inkl. städtischer Flächen (rot).....	6
Abbildung 2-2:	Bodentypen im Einzugsgebiet der Unteren Wupper.....	7
Abbildung 2-3:	Anteile der Böden im Einzugsgebiet der Unteren Wupper.....	7
Abbildung 2-4:	Flächennutzung im Einzugsgebiet der Unteren Wupper.....	8
Abbildung 2-5:	Anteile der Flächennutzung im Einzugsgebiet der Unteren Wupper.....	9
Abbildung 2-6:	Übersicht Einzugsgebiet Wupper.....	10
Abbildung 3-1:	Übersicht Geländemodell Untere Wupper (Mündung bis Wuppertalsperre)	12
Abbildung 3-2:	Zuordnung der Bemessungszeitreihen Untere Wupper.....	14
Abbildung 3-3:	Zuordnung der Bemessungszeitreihen Obere Wupper.....	15
Abbildung 4-1:	Verwendete Berechnungsmodelle an der Wupper von der Mündung bis zur Wuppertalsperre (grün = 1D, rot = 2D).....	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Talsperren im Einzugsgebiet der Wupper.....	9
Tabelle 3-1:	Aktualität Laserscandaten entlang der Wupper.....	11
Tabelle 3-2:	Gefüllte Bereiche der Bemessungszeitreihen.....	13
Tabelle 3-3:	Gewässer- und Ablaufpegel im Einzugsgebiet der Wupper.....	16
Tabelle 3-4:	Talsperrenpegel im Einzugsgebiet der Wupper.....	16
Tabelle 4-1:	Kenndaten hydraulischer Datensatz der Wupper.....	18
Tabelle 4-2:	Zuordnung des verwendeten Berechnungsmodells zum Gewässerabschnitt der Wupper.....	20

1 Einleitung / Allgemein

Auf der Grundlage der §§ 76 WHG (Stand: März 2010) und 112 LWG werden Überschwemmungsgebiete (ÜSG) ermittelt und durch ordnungsbehördliche Verordnung festgesetzt.

Überschwemmungsgebiete sind in ihrer Funktion als Rückhalteflächen zu erhalten. In festgesetzten Überschwemmungsgebieten gelten besondere Schutzvorschriften.

Federführend für die Beauftragung der ÜSG an der Wupper war die BR Düsseldorf.

Am 26.09.2006 beauftragte die BR Düsseldorf die Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen, mit der Ermittlung der Überflutungsgebiete und Wassertiefenkarten der Wupper von der Mündung (Rhein) bis zur Wuppertalsperre, sowie der Erstellung der Festsetzungsunterlagen für die Neuausweisung des Überschwemmungsgebietes der Wupper.

Danach wurden weitere vertragliche Ergänzungen am 29.05.09, am 31.08.10 und am 15.09.10 vorgenommen, um das ÜSG durch ergänzende Vermessungsarbeiten und 2D-Modellierungen zu plausibilisieren.

Die hydraulischen und hydrologischen Modellgrundlagen basieren auf dem vom Wupperverband in 2007/2008 aufgestellten „Niederschlag-Abfluss-Modell Wupper“. Detaillierte Analysen, Darstellungen und Auflistungen sind im Bericht zum Niederschlag-Abfluss-Modell Wupper (Wupperverband, 2010) dokumentiert.

Die BR Düsseldorf wird die Wupper von km 13,8 bis km 66,6 wegen Übertragung der Zuständigkeit sowohl von der BR Köln wie auch der BR Arnsberg auf die BR Düsseldorf, durchgängig festsetzen. Die BR Köln wird die Wupper von km 0 – km 13,8 und km 66,6 – km 75,1 in einem eigenen Festsetzungsverfahren festsetzen.

Somit sind im gesamten Festsetzungsverfahren die Kommunen Leverkusen, Leichlingen, Solingen, Remscheid, Wuppertal, Schwelm, Ennepetal und Radevormwald zu beteiligen.

2 Gebietsdarstellung

2.1 Beschreibung des Einzugsgebietes

Bei dem Untersuchungsgebiet zur Aufstellung des N-A-Modells handelt es sich um das Einzugsgebiet der Wupper von der Quelle bis zur Einmündung der Dhünn in die Wupper einschließlich aller Nebengewässer. Das Einzugsgebiet mit der Gebietskennzahl 2736 hat eine Einzugsgebietsgröße von 614,87 km².

Im Modell wird aufgrund anthropogener Einflüsse eine Größe von 619,29 km² berücksichtigt.

Für die hydraulische Berechnung und Ermittlung der Überschwemmungsgebiete wurde die Untere Wupper, von der Wuppertalsperre bei km 75 bis zur Mündung der Wupper in den Rhein, betrachtet.

2.2 Gewässerverlauf

Die Wupper mündet bei Leverkusen in den Rhein. Zu den größten Nebengewässern unterhalb der Wuppertalsperre zählen Morsbach, Eschbach und Wiembach. Abbildung 2-1 zeigt die Wupper unterhalb der Wuppertalsperre mit den größten Nebengewässern.

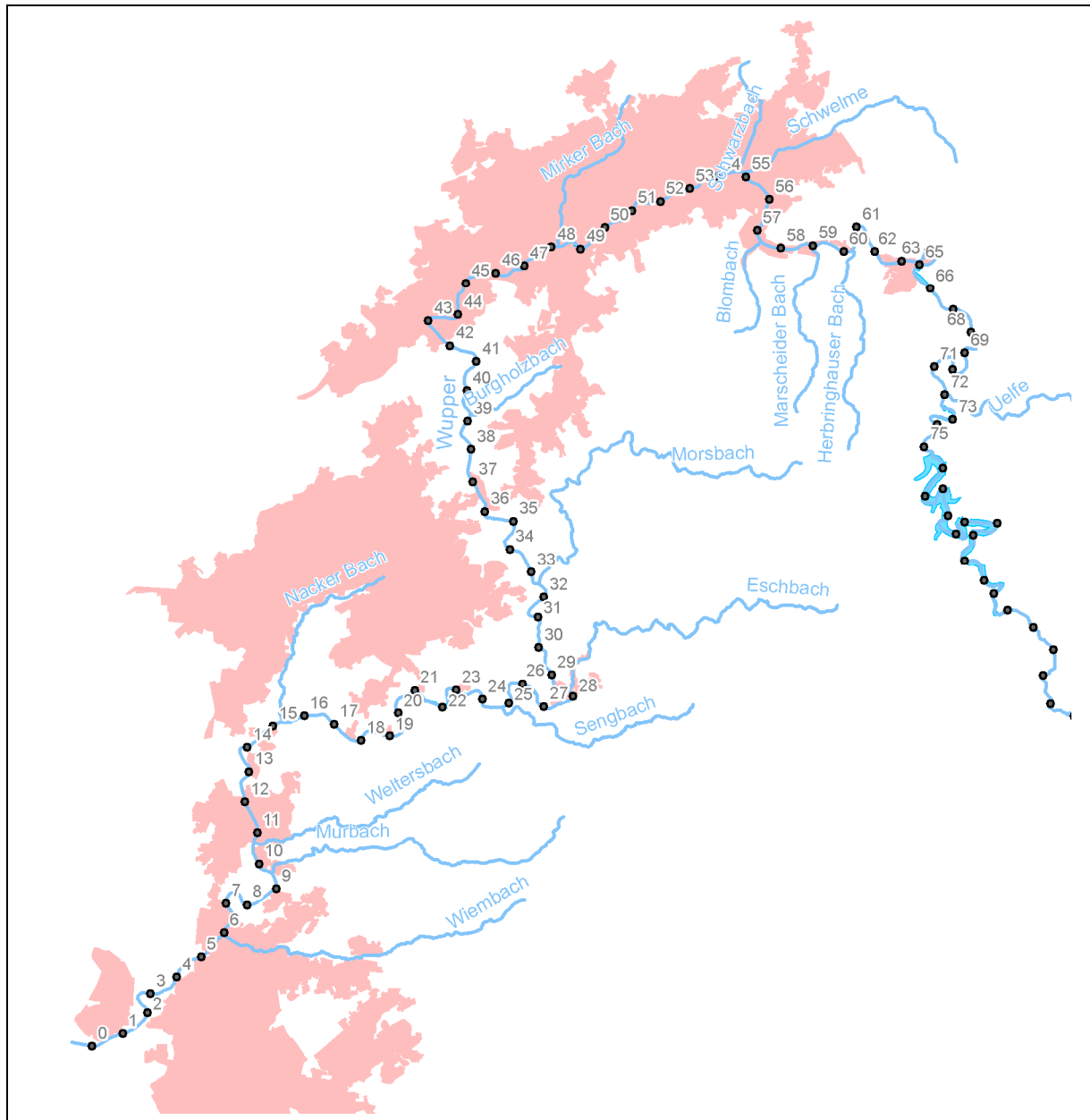


Abbildung 2-1: Wupper und Nebengewässer uh. Wuppertalsperre (inkl. städtischer Flächen (rot))

2.3 Böden

Die Lage der im Einzugsgebiet der Unteren Wupper vorkommenden Böden ist anhand der Bodenkarte (Abbildung 2-2) dokumentiert.

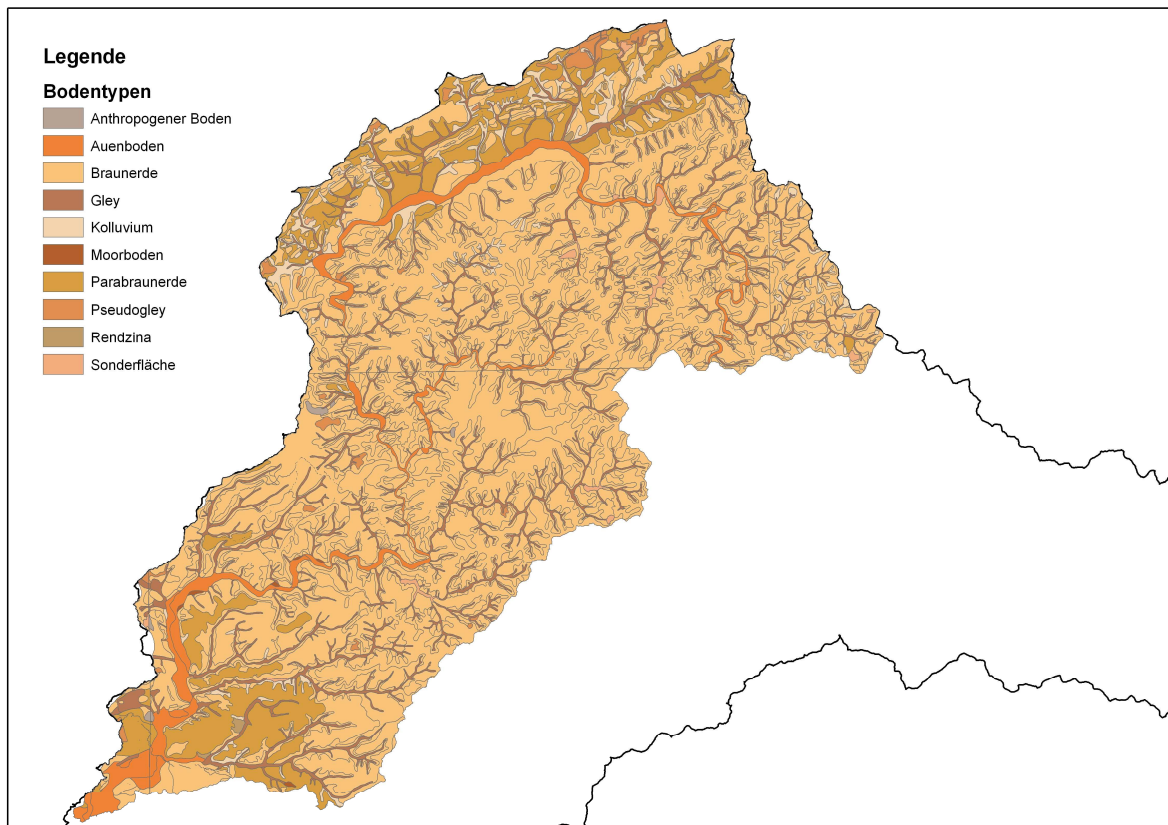


Abbildung 2-2: Bodentypen im Einzugsgebiet der Unteren Wupper

Im gesamten Einzugsgebiet der Unteren Wupper dominieren Braunerden und Parabraunerden. In den Tallagen finden sich Auenböden und Gleye. Die Böden weisen ein mittleres bis gutes Infiltrationsvermögen auf. Geringe Exfiltrationsraten in tieferen Schichten führen zu einem hohen Aufkommen an Zwischenabfluss.

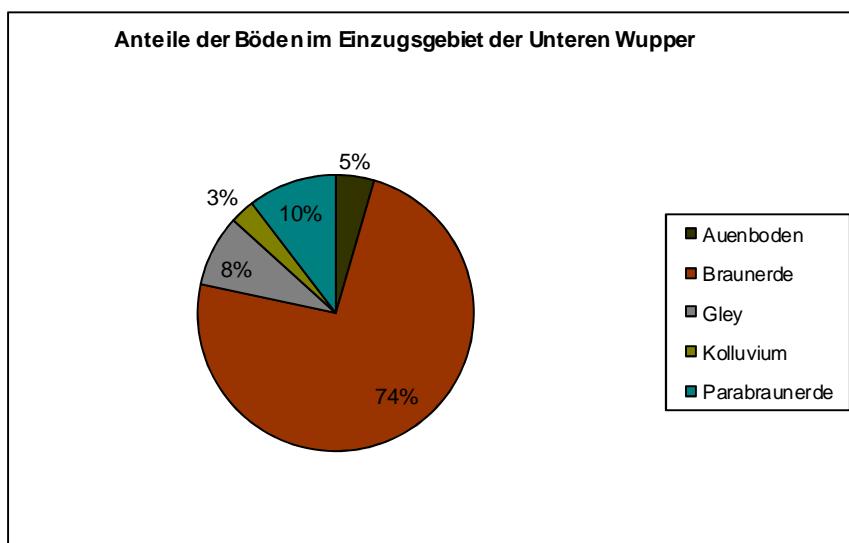


Abbildung 2-3: Anteile der Böden im Einzugsgebiet der Unteren Wupper

2.4 Flächennutzung

Die Flächennutzung im Einzugsgebiet der Unteren Wupper wurde aus den Daten des Digitalen Landschaftsmodells des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems, Basismaßstab 1:25.000 (ATKIS DLM25) erhoben.

In Abbildung 2-4 ist die Flächennutzung im Einzugsgebiet dargestellt.

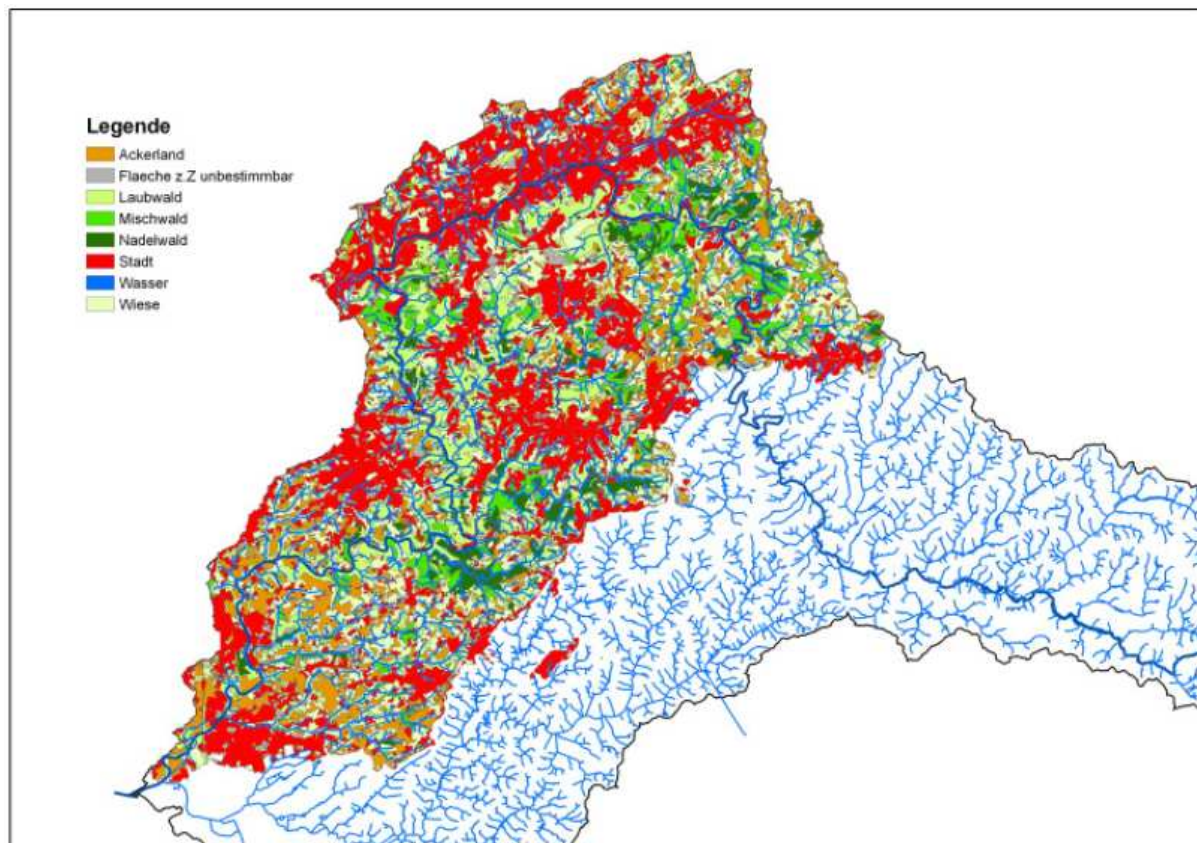


Abbildung 2-4: Flächennutzung im Einzugsgebiet der Unteren Wupper

Den größten Flächenanteil (34 %) nehmen städtische Flächen ein. Den zweitgrößten Anteil nehmen Waldflächen mit ca. 30 % der Fläche ein. Davon ist der größte Teil Laubwald.

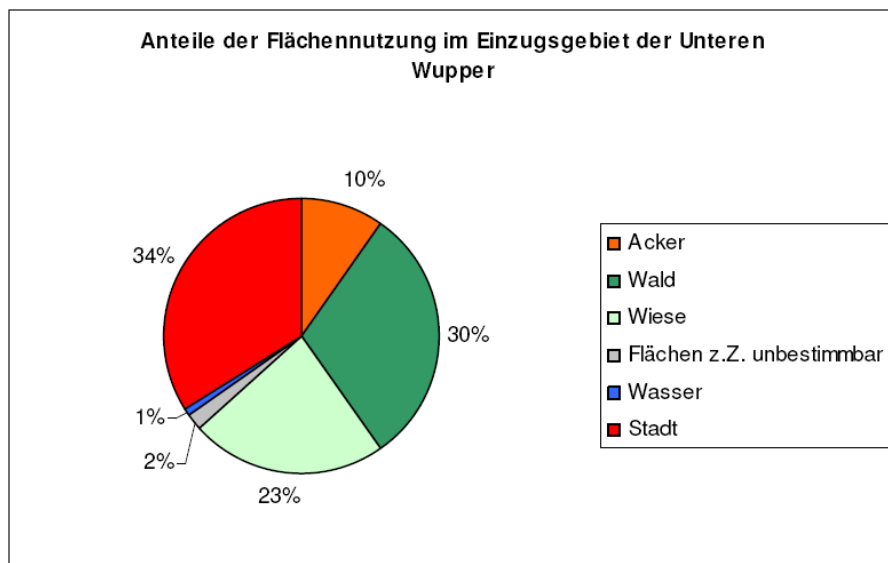


Abbildung 2-5: Anteile der Flächennutzung im Einzugsgebiet der Unteren Wupper

2.5 Besonderheiten

Im Untersuchungsgebiet befinden sich zahlreiche Talsperren die im N-A-Modell berücksichtigt werden. Sie sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Tabelle 2-1: Talsperren im Einzugsgebiet der Wupper

Talsperre	Eigentümer/ Betreiber	Volumen bei Stau- ziel [Mio. m ³]	Stauziel [ha]	Einzugs- gebiet [km ²]
Brucher-Talsperre	WV	3,36	369,77	5,8 ¹
Bever-Talsperre	WV	23,70	295,53	46,4 ²
Kerspe-Talsperre	Wuppertaler Stadt- werke	14,90	327,82	27,89
Lingese-Talsperre	WV	2,60	340,55	9,34
Neye-Talsperre	Energie und Wasser Remscheid / WV	6,00	303,20	21,2 ²
Panzer-Talsperre	WV	0,278	292,82	1,5
Schevelinger-Talsperre	WV	0,31	307,65	9,09 ²
Wuppertalsperre	WV	25,60	252,50	212
Stauanlage Dahlhausen	WV	0,073	217,70	212,83
Beyenburger Stausee	WV	0,465	197,00	245,11
Obere Herbringhauser Talsperre	Wuppertaler Stadt- werke	2,8	271,4	5,93
Ronsdorfer Talsperre	WV	0,119	258	
Eschbachtalsperre	Energie und Wasser Remscheid / WV	1,052	243,32	5,25

Talsperre	Eigentümer/ Betreiber	Volumen bei Stauziel [Mio. m³]	Stauziel [ha]	Einzugs- gebiet [km²]
Sengbachtalsperre Vor- sperre	Stadtwerke Solingen	0,1695	150,03	9,96
Sengbachtalsperre Hauptsperre	Stadtwerke Solingen	3,333	149,03	12,02
Diepental-Talsperre	Privat	0,326	104,90	15,6

¹ Einschließlich Überleitung der Wipper

² Einschließlich Überleitungen im Beverblock

Die Steuerregeln der Talsperren sind teilweise voneinander abhängig. Die derzeitigen Betriebsregeln aller Talsperren im Einzugsgebiet wurden im Modell abgebildet.

2.6 Übersicht Einzugsgebiet

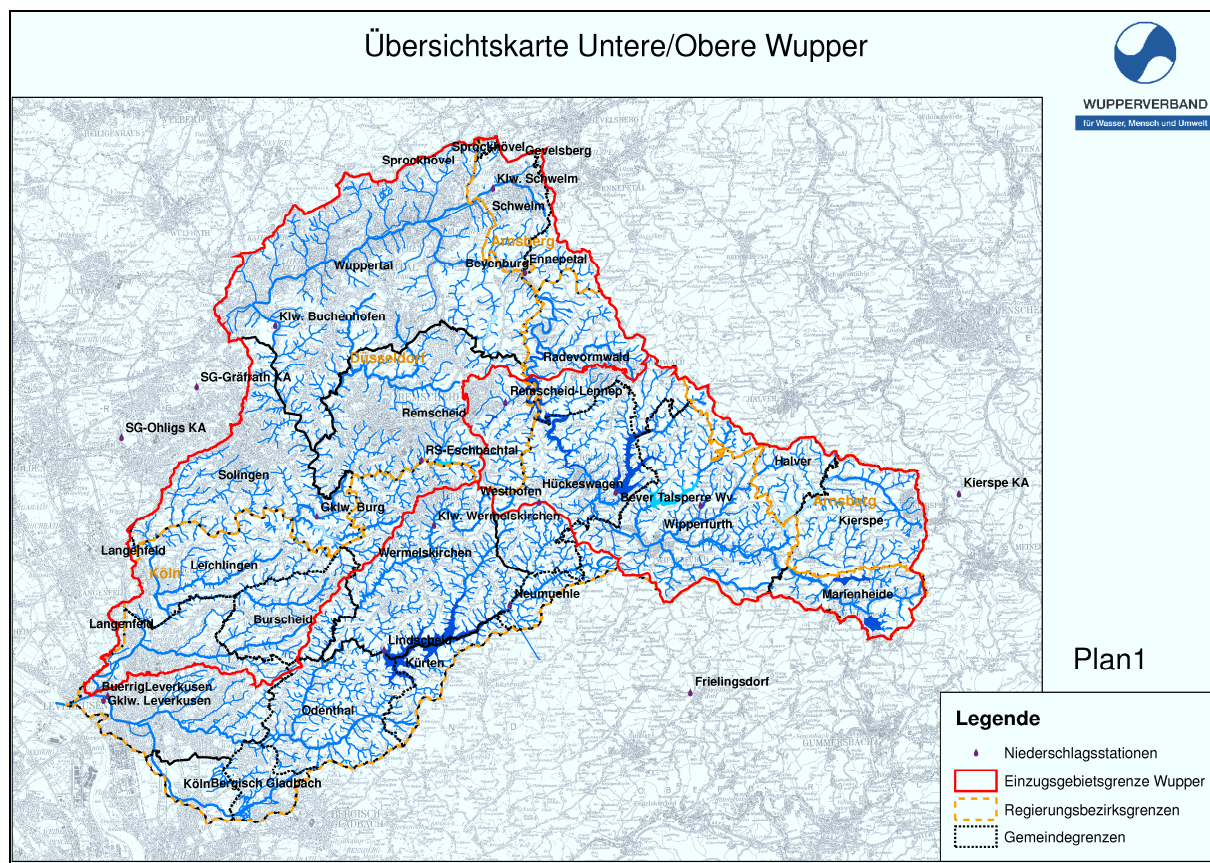


Abbildung 2-6: Übersicht Einzugsgebiet Wupper

3 Gelistete Datengrundlage

3.1 Karten

Die digitalen Kartengrundlagen wurden mit Projektbeginn im September 2006 von der Bezirksregierung Düsseldorf zur Verfügung gestellt. Für die DGK5-Blattschnitte im Bereich des Flussschlauches der Wupper erfolgte eine Aktualisierung der Daten im April 2010.

Für die Erstellung der Übersichtskarte im Maßstab 1:25.000 werden als Hintergrundinformationen die Topografischen Karten (TK25) als Rasterdateien im TIFF-Format genutzt.

Für die Erstellung der Karten im Maßstab 1:5.000 werden als Hintergrundinformationen die Deutschen Grundkarten (DGK5) als Rasterdateien im TIFF-Format verwendet.

3.2 Geländedaten

Tabelle 3-1 und Abbildung 3-1 geben einen Überblick über die Aktualität und den mittleren Punktabstand der Höhendaten aus der Laserscanbefliegung entlang der Wupper, welche als gefilterte Rohdaten zum Aufbau des Geländemodells mit Projektbeginn in 2006 durch die Bezirksregierung Düsseldorf zur Verfügung gestellt wurden.

Bereitgestellt wurden die Daten für den Verlauf der Wupper von der Mündung in den Rhein bis zur Wuppertalsperre (siehe Abbildung 3-1). Für diesen Bereich liegen flächendeckend Laserscandaten mit unterschiedlicher Aktualität vor. Der mittlere Punktabstand beträgt überwiegend 2-3 m.

Tabelle 3-1: Aktualität Laserscandaten entlang der Wupper

Station	Aktualität Laserscanbefliegung	Mittlerer Punktabstand
km 1 – km 2	2007 (Gewässerverlauf)	1 m
	1997 (Ortslage Bürriig – li Vorland)	1 – 2 m
km 2,0 – km 11,7	2004	2 - 3 m
km 11,7 – km 37,2	2001	2 - 3 m (km 11,7 – km 34,3)
		1 – 2 m (km 34,3 – km 37,2)
km 37,2 – km 42,3	2000	1 - 2 m
km 42,3 – km 75,1	2003	2 - 3 m
km 42,3 – km 75,1	2003	2 - 3 m

Die Höhendaten wurden in ArcGIS 9.3 zu einem Terrain zusammengefügt. Das Terrain ist Grundlage für die verschiedenen Auswertungen und Formate. Für die Profilverlängerung und die Ermittlung der hochwassergefährdeten Gebiete wurde aus dem Terrain ein GRID mit einer Rasterzellengröße von 1x1 m erstellt.

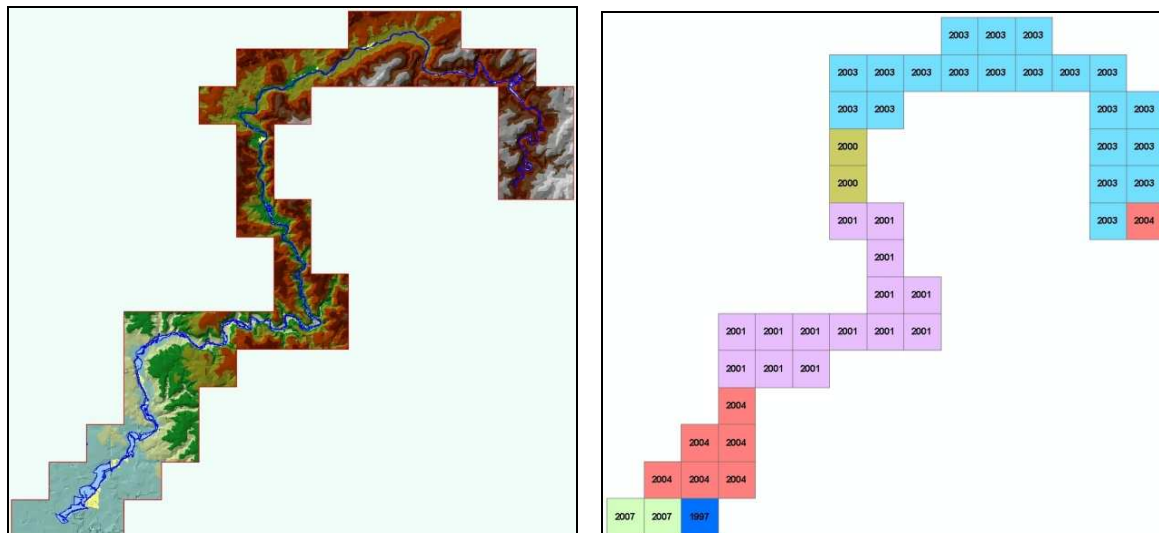


Abbildung 3-1: Übersicht Geländemodell Untere Wupper (Mündung bis Wuppertalsperre)

3.3 Bodenarten / Geologie

Boden

Digitale Bodenkarten wurden für das Untersuchungsgebiet im Maßstab 1:50.000 vom geologischen Landesamt (GLA) Nordrheinwestfalen bezogen. Die Daten definieren die Bodeneinheiten nach ihrer Lage, aufgenommen aus den im Druck veröffentlichten BK 50 im Maßstab 1:50.000. Die Bodeneinheiten sind in Signaturen gemäß der bodenkundlichen Kartieranleitung verschlüsselt.

Geologie

Das zum größten Teil dem Rheinischen Schiefergebirge zugehörige Untersuchungsgebiet ist aus geologischen Schichten des Unterdevon und Mitteldevon aufgebaut. Die Ablagerungen/Schichten bestehen vorwiegend aus Tonsteinen und Sandsteinen. Die Schichten bilden eine Wechselfolge von sandigem geschiefertem Tonsteinen, geschiefertem Tonstein, Sandstein und Grauwacke.

3.4 Stadtentwässerung

Im Untersuchungsgebiet liegen die Kläranlagen Hückeswagen, Marienheide, Radevormwald, Schwelm, Burg, Kohlfurth und Buchenhofen.

Außerhalb des Modellgebietes befindet sich die Kläranlage Leverkusen, zu der das Misch- und das Schmutzwasser von 6 Kommunen geleitet werden. Jedes der Kläranlageneinzugsgebiete hat seine Besonderheiten, die bei der Abbildung im N-A-Modell berücksichtigt werden mussten.

Die Daten der Stadtentwässerung wurden detailliert im N-A-Modell abgebildet. Dies war notwendig, um mit dem Modell auch Aussagen zu niedrigeren Jährlichkeiten treffen zu können.

3.5 Querprofilaufnahmen

Die geometrischen Daten des Gewässerbettes der Wupper wurden mittels terrestrischer Vermessung erhoben. Die Vermessung wurde vom Vermessungsbüro Wittke, Würselen, im Zeitraum von November 2006 bis März 2007 durchgeführt. Insgesamt wurden 1023 Profile (857 offene Profile, 120 geschlossene Bauwerke, 14 Wehre, 5 Abstürze, 27 Gleiten) vermessen.

Die Vorauswahl der Lage der Querprofile erfolgte im Vorfeld der Vermessung auf Basis der deutschen Grundkarte (DGK5). Die endgültige Festlegung der Profillagen, der Rauheiten und des Bewuchses erfolgte vor Ort.

Durch die gewählte Lage der Profile wird der jeweilige Gewässerabschnitt der Wupper in Geometrie, Rauheit und Bewuchs repräsentativ abgebildet. Als Grundlage für die Vermessung und Bezeichnung der Profile diente die amtliche Kilometrierung der Auflage 3b der Gewässerstationierungskarte des Landes NRW.

Im hydrologischen Modell wird der Gerinnetransport mithilfe einer Speicherkaskadenberechnung abgebildet (Kalinin-Miljukov-Verfahren). Dazu wird für jeden Gewässerabschnitt eines Teilgebietes und jedes Transportelement ein charakteristisches Profil bzw. eine Abflusskurve benötigt, um die Abflussverhältnisse genügend genau abzubilden.

Mithilfe des Wasserspiegellagenprogramms Jabron wurden die benötigten Abflusskurven aus den vermessenen Profildaten der Gewässerabschnitte ermittelt (TAPE18).

3.6 Niederschlagszeitreihen

Für die Durchführung der Langzeitsimulation mit NASIM wurden die verwendeten Bemessungszeitreihen mit den Bezirksregierungen Düsseldorf und Köln abgestimmt.

Die Bemessungszeitreihen bestehen in vielen Fällen aus Zeitreihen, die für den Simulationszeitraum von 30 Jahren nicht lang genug gewesen wären. Um jedoch die Informationen der Stationen, bei denen Daten der letzten 15 bis 20 Jahre vorliegen, nutzen zu können, wurde in Abstimmung mit der Bezirksregierung entschieden, diese Stationen sinnvoll zu ergänzen. Die Tabelle 3-2 gibt einen Überblick über die gefüllten Stationen.

Tabelle 3-2: Gefüllte Bereiche der Bemessungszeitreihen

Station	Daten vorhanden ab	gefüllt ab	gefüllt bis	Aufgefüllt mit	Faktor
Burg KA	13.09.1991	01.11.1974	13.09.1991	W-Buchenhofen	* 1,004
Beyenburg	02.11.1988	01.11.1974	02.11.1988	Schwelm KA	* 1,076
Kierspe	05.11.1993	01.11.1974	05.11.1993	Beventalsperre	* 0,96
Schevelingertalsperre	01.11.1990	01.11.1974	01.11.1990	Beventalsperre	* 1
Lenep	13.09.1996	01.11.1974	13.09.1996	Beventalsperre	* 1

Die Bemessungszeitreihe Wermelskirchen/Eschbachtal wurde aus den Zeitreihen Remscheid Eschbachtal, Westhofen und Wermelskirchen KA wie folgt zusammengesetzt:

02.01.1962 – 30.03.1982	Remscheid Eschbachtal * 0,98
01.04.1982 – 02.10.1990	Westhofen * 0,92
03.10.1990 – 13.12.2000	Wermelskirchen KA
14.12.2000 – 25.04.2001	Westhofen * 0,92
26.04.2001 – 28.06.2006	Wermelskirchen KA

Die Abbildung 3-2 und Abbildung 3-3 zeigen die Zuordnung der Teilgebiete zu den Niederschlagsstationen für die Langzeitsimulation.

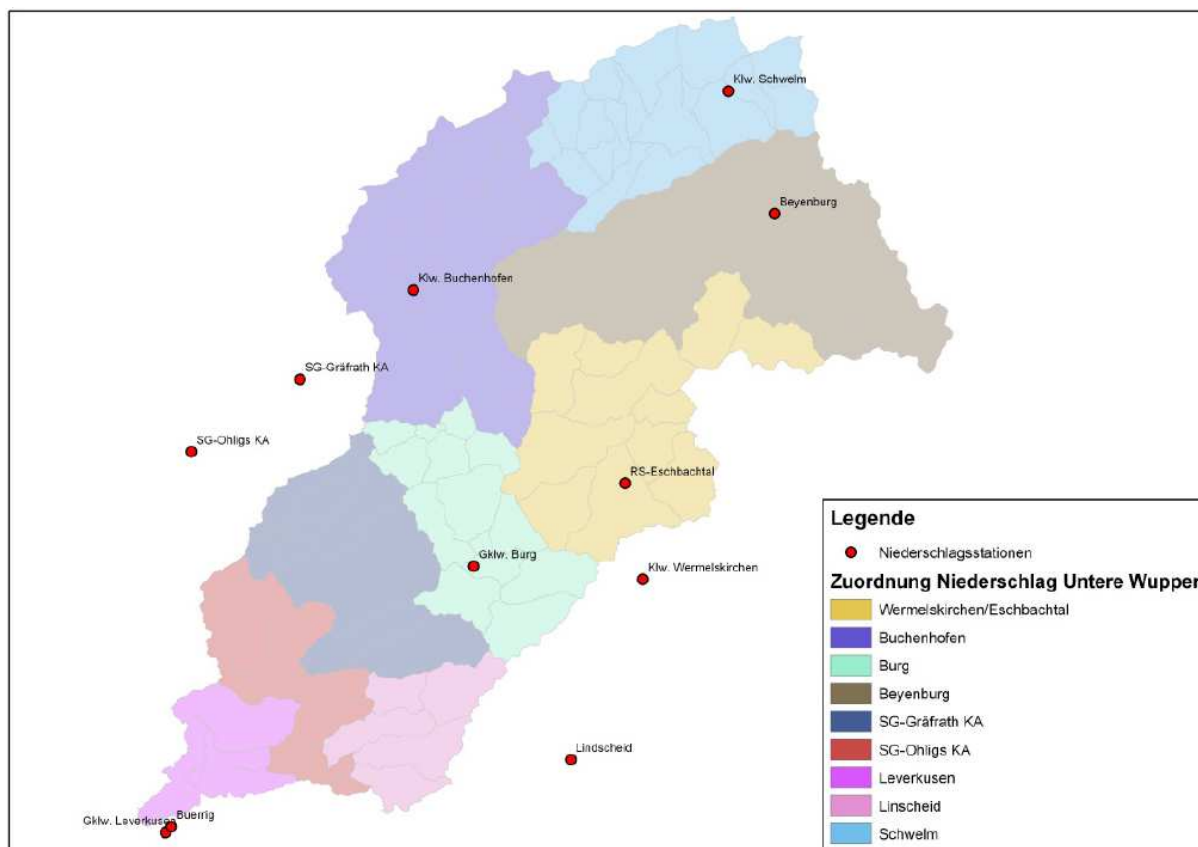


Abbildung 3-2: Zuordnung der Bemessungszeitreihen Untere Wupper

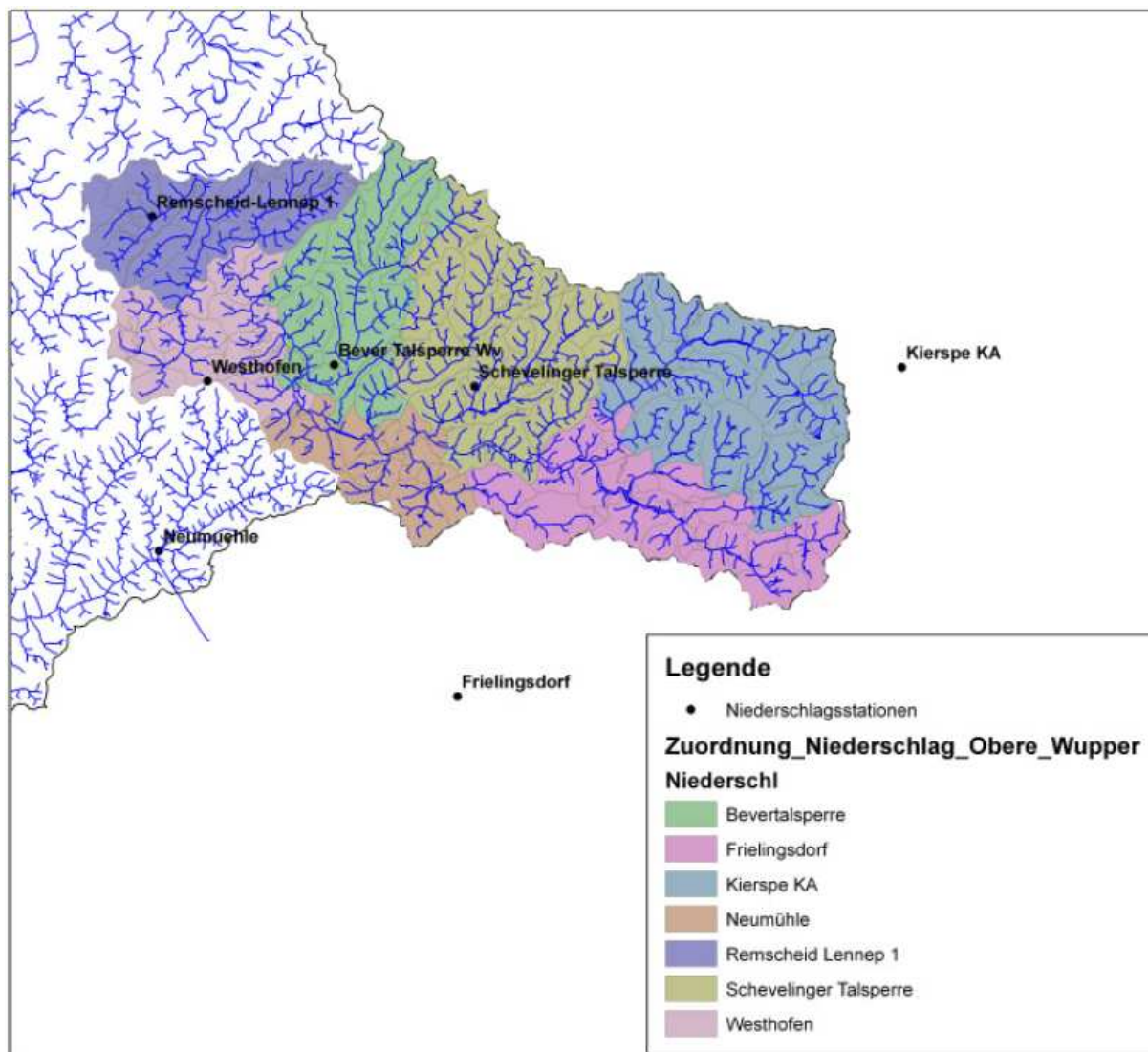


Abbildung 3-3: Zuordnung der Bemessungszeitreihen Obere Wupper

3.7 Klimazeitreihen

Als Klimastation wurde für das gesamte Einzugsgebiet der Wupper die Station Buchenhofen gewählt. Von dieser Station wurde sowohl die Temperaturzeitreihe als auch die berechnete Zeitreihe der potenziellen Verdunstung verwendet.

3.8 Pegeldaten

Die Qualität der Modellkalibrierung wird durch den Vergleich der gemessenen und der gerechneten Abflüsse überprüft. Die in Tabelle 3-3 und Tabelle 3-4 aufgeführten Pegel liegen im Einzugsgebiet und wurden für die Kalibrierung des N-A-Modells herangezogen.

Tabelle 3-3: Gewässer- und Ablaufpegel im Einzugsgebiet der Wupper

Pegel	Lage	Koordinaten		vorh. Zeitraum		Einzugsgebiet km ²	Bemerkungen
		Rechtswert	Hochwert	von	bis		
Wipperfließ	Abflusspegel Brucher Talsperre	2609180	5661880	04.11.1962	17.06.2008	2,58	
Schmitzwipper	Abflusspegel Lingese Talsperre	2607170	5663660	26.10.1964	16.11.1997	9,35	bis 1996 mit größere Lücken
Wippertörl	Gaulbach	2598540	5665240	07.02.2001	24.06.2006	11,30	40 Tage Lücken in 1996/1997 und 19,5 Tage Lücken in 2000/2001
				09.06.1993	30.11.1994		
				09.05.1995	14.07.2003		
Reinshagensbever	Abflusspegel Bevertalsperre	2595910	5668120	03.07.2008	01.11.1952	25,70	
				2594680	5668740	01.11.1987	17.06.2008
Hückeswagen	Wupper	2594680	5668740	01.11.1987	17.06.2008	163,00	
Hangberger Mühle	Dörpe	2590970	5671210	01.07.1988	24.06.2008	11,79	
Krebsöge	Abflusspegel Wuppertalsperre	2590880	5674750	01.11.1987	19.09.2006	213,66	7 Tage mit Stundenweisen Lücken in 2004 und 7 Tage Lücke in 2006
Neuenhammer	Ülfe	2592800	5676080	28.10.1992	04.04.2005	8,50	18 Tage Lücken in 2005/2006, Pegel nur für Ereignisse verwendbar
				01.09.2005	11.07.2008		
Beyenburg	Ablaufpegel Beyenburgerstausee	2590400	5680290	01.11.1953	05.09.2007	251,60	5 Tage Lücken in 2006 und 11 Tage Lücken in 2008
				23.08.2007	27.05.2008		
Laaken	Wupper	2586310	5680720	14.11.1999	27.05.2008	280,50	von 2004 bis 2008 viele kleine Lücken
Kluser Brücke	Wupper	2580920	5680720	22.05.1999	25.05.2008	337,82	
Rutenbeck	Wupper	2577260	5677610	19.12.1999	27.05.2008	374,30	von 2006 bis 2008 viele kleine Lücken
Buchenhofen	Wupper	2577260	5676670	01.01.1973	01.11.2005	376,49	
				31.12.2005	19.06.2007		
Beckeraus	Morsbach	2580460	5672090	20.12.1991	03.06.2008	46,30	
Kellershammer	Eschbach	2581280	5669520	02.01.1992	02.08.2008	22,40	19 Tage Lücken in 2007/2008
Glüder	Wupper	2578550	5667120	15.11.1996	01.11.2005	492,58	
				01.03.2006	02.05.2007		
Nacker Bach	Nacker Bach	2572050	5668392	18.10.2001	07.07.2006	6,80	22 Tage Lücken in 2007
Grünscheid	Murbach (Zufluss Diepentalsperre)	2575590	5663180	05.12.1995	18.07.2006	15,00	Pegel nur für Ereignisse geeignet
Opladen/Wiembach	Wiembach	2570500	5660130	05.07.1994	21.06.2005	21,00	ab 2000 mit größeren Lücken, nur für Einzelereignisse geeignet
Opladen	Wupper	2569710	5659920	13.02.1982	28.05.2008	606,00	3 Tage Lücken in 2008

Tabelle 3-4: Talsperrenpegel im Einzugsgebiet der Wupper

Pegel	Koordinaten		vorh. Zeitraum		Einzugsgebiet km ²	Bemerkungen
	Rechtswert	Hochwert	von	bis		
Wuppertalsperre	2591170	5674540	05.12.1989	19.09.2006	212	
Beyenburger Stausee	2590770	5680171	01.11.1961	27.05.2008	251	

Die Pegeldata für die Wupper lagen in guter bis sehr guter Qualität für längere Zeiträume vor. Die Pegeldata für Nebengewässer der Wupper lagen in unterschiedlich guter Qualität und für unterschiedliche Zeiträume vor. Da jedoch der Fokus auf die Wupper gerichtet war, ist dies von untergeordneter Bedeutung.

3.9 Berechnungsansätze für Rauheiten

Für die hydraulischen Berechnungen wurde im Modell das Fließgesetz nach Darcy-Weisbach verwendet. Die Berücksichtigung des Vorlandbewuchses (Großbewuchs) erfolgte auf Grundlage des DVWK-Merkblatts 220.

4 Modelltechnik

4.1 Hydrologie

Die für die Ermittlung der Überflutungsgebiete der Wupper erforderlichen Abflüsse wurden mit dem Niederschlag-Abfluss-Modell (N-A-Modell) der Wupper berechnet.

Dieses Gesamtmodell der Wupper (bis zur Einmündung der Dhünn) wurde vom Wupperverband in 2007/2008 aufgestellt und basiert auf verschiedenen Modellen, die seit 1999 in diversen Forschungsprojekten erarbeitet wurden.

Das aktuell vorliegende N-A-Modell wurde so verfeinert, dass es für Fragestellungen der Hochwassergefährdung (Überschwemmungsgebiete und Hochwassergefahrenkarten) genutzt werden kann. Eine detaillierte Beschreibung des Modells erfolgt im entsprechenden Bericht des Wupperverbandes (Wupperverband, 2010).

Für die Festlegung der Bemessungsabflüsse wurden verschiedene Lastfälle mit dem N-A-Modell untersucht und im hydraulischen Modell verglichen.

Als maßgeblicher Zustand für die Ermittlung der Überflutungsgebiete und der festzusetzenden Überschwemmungsgebiete der Wupper wurde abschließend der folgende Lastfall gewählt:

- Die Wuppertalsperre ist gefüllt und es steht kein Hochwasserschutzraum zur Verfügung. Lediglich die Seeretention der Talsperre wird angesetzt. Alle anderen Talsperren im Einzugsgebiet sind in Betrieb und werden den genehmigten Betriebsregeln gemäß betrieben.

Das HQ_{Extrem} wird über den Ansatz $HQ_{100} * 1,5$ ermittelt.

Der Zufluss der Dhünn wurde anhand einer Pegelstatistik berechnet. Der Wupperverband stellte Hydrotec die entsprechenden Abflüsse zur Verfügung. Für die resultierende Abflussmenge unterhalb der Einmündung der Dhünn wurde der Ansatz gewählt, dass Abflüsse gleicher Jährlichkeit in Dhünn und Wupper bei Hochwasser aufeinandertreffen.

4.2 Hydraulik

Für die hydraulische Modellierung von Überschwemmungsgebieten stehen zwei unterschiedliche Modellarten zur Verfügung: 1-dimensionale und 2-dimensionale Modelle.

Für die Berechnung der Wasserspiegellagen an der Wupper kamen beide Modellarten zum Einsatz.

4.2.1 Eindimensionales Modell

Die Aufstellung des hydraulischen 1D-Modells (Jabron 6.6) der Wupper erfolgte - auf Grundlage der aktuellen Vermessungsdaten - für den gesamten Verlauf von der Mündung bis zur Wuppertalsperre bei km 75,1. Der vermessene Flussstrang der alten Wupper (Länge 354 m) wurde als Nebenstrang in das hydraulische Modell integriert. Der Mühlengraben im Bereich der Wupper von km 1,8 bis km 4,5 wurde in Abstimmung mit dem AG nicht in das Modell übernommen.

Tabelle 4-1 listet Informationen zum hydraulischen Datensatz der Wupper auf. Dazu gehören die vermessene Gewässerlänge der Wupper, die Anzahl der Profile im hydraulischen Datensatz sowie die Anzahl der im Modell berücksichtigten Brückenbauwerke bzw. der Wehre und Abstürze.

Tabelle 4-1: Kenndaten hydraulischer Datensatz der Wupper

Gewässerlänge	Profile gesamt	Offene Profile	Brückenbauwerke	Wehre / Abstürze
75,098 km	982	831	109	42

Die vermessenen Profile wurden unter Verwendung des erarbeiteten Geländehöhenmodells soweit verlängert, dass für das gesamte Profil Wasserspiegel bis zu einem HQ_{Extrem} abgeführt werden können. Rauheitsbeiwerte wurden aus Nutzungsdaten (ATKIS) zugewiesen.

An der Wupper befinden sich zahlreiche Wehre. Einige von ihnen verfügen über bewegliche Elemente, mit welchen ein definiertes Stauziel eingehalten wird. Im hydraulischen Modell wurden die entsprechenden Einstellungen, die vom Wupperverband zur Verfügung gestellt wurden, berücksichtigt.

Hydraulische 1D-Berechnungen wurden für die in Tabelle 4-2 dokumentierten Bereiche durchgeführt.

4.2.2 Zweidimensionale Modelle

Im Bereich der Ortslagen Bürrig, Opladen, Leichlingen und Wuppertal bilden sich im Ausuferungsfall im Vorlandbereich Fließwege, unabhängig vom Hauptgewässer aus. Um dieses komplexere Fließverhalten abbilden zu können, wurden für diese Gewässerabschnitte 2D-Modelle erstellt (siehe auch Tabelle 4-2).

Die geometrische Basis für den Aufbau des Vorlandnetzes bilden die vom AG zur Verfügung gestellten Laserscan-Daten. Die hohe Punktdichte der zur Verfügung gestellten Laserscandaten erfordert vor der Modellerstellung eine Reduzierung der Höhenpunkte.

Vorliegende Gebäudepolygone wurden generalisiert und als innere Modellränder in das 2D-Modell eingebracht.

Die Grundlage für die Erstellung des Flussschlauchnetzes bilden die aktuell vermessenen Querprofilaten in Kombination mit den Uferlinien.

Aus den Vermessungspunkten einer Nachvermessung im Bereich des entlang der Wupper im linken Vorland verlaufenden Damms bei km 2,0 bis km 3,3 sowie aus den Straßenhöhen im Bereich südöstlich des Mühlengrabens bei Bürrig wurden 3D-Bruchkanten abgeleitet. Die Punkthöhen der Bruchkanten und der aufgemessenen Einzelpunkte werden bei der Netzgenerierung berücksichtigt; die Deichstrukturen wurden in das Modell übernommen.

Im 2D-Modell müssen flächenhafte Rauheitsparameter zugewiesen werden. Hierzu wurden den aus ATKIS-Daten stammenden Flächen gleicher Nutzung Rauheitsbeiwerte zugeordnet, welche mit den Elementen des Berechnungsnetzes verschnitten wurden.

4.3 Verwendete Software

Die hydrologischen Berechnungen wurden mit dem Programmsystem NASIM, Version 3.6.3 durchgeführt (NASIM[®], Version 3.6.3, Hydrotec, Aachen).

Die hydraulischen 1D-Berechnungen und grafischen Darstellungen der Daten und Ergebnisse erfolgten mit dem Programmsystem Jabron, Version 6.6 (Jabron, Version 6.6, Hydrotec, Aachen)

Die hydraulischen 2D-Berechnungen erfolgten mit dem Programmsystem HYDRO_AS-2D, Version 2.2 (HYRRO_AS-2D, Version 2.2, Dr.-Ing. M. Nujić).

Die Ausdünnung der Laserscan-Daten sowie die Montage der Geländedaten und der gesondert vorverarbeiteten Daten für den Flussschlauch, die Gebäude und die Widerlager wurden mit dem 3D-Softwarepaket Visualization Toolkit 5.0 (VTK) in Kombination mit Python-Skripten und ArcGIS-Geoprocessing durchgeführt.

Die Kartendarstellungen wurden mit dem Programm ArcGIS, Version 9.3 bearbeitet und dargestellt (ArcGIS[®], Version 9.3, ESRI, Redlands, CA, USA).

4.4 Erläuterungen und Anwendungsbereiche 1D / 2D

Abbildung 4-1 und Tabelle 4-2 stellen die Modellgrundlage für die Ermittlung der Überschwemmungsgebiete an der Unteren Wupper dar. Abschnitte der 1D-Berechnung sind grün, die der 2D-Berechnung rot dargestellt.

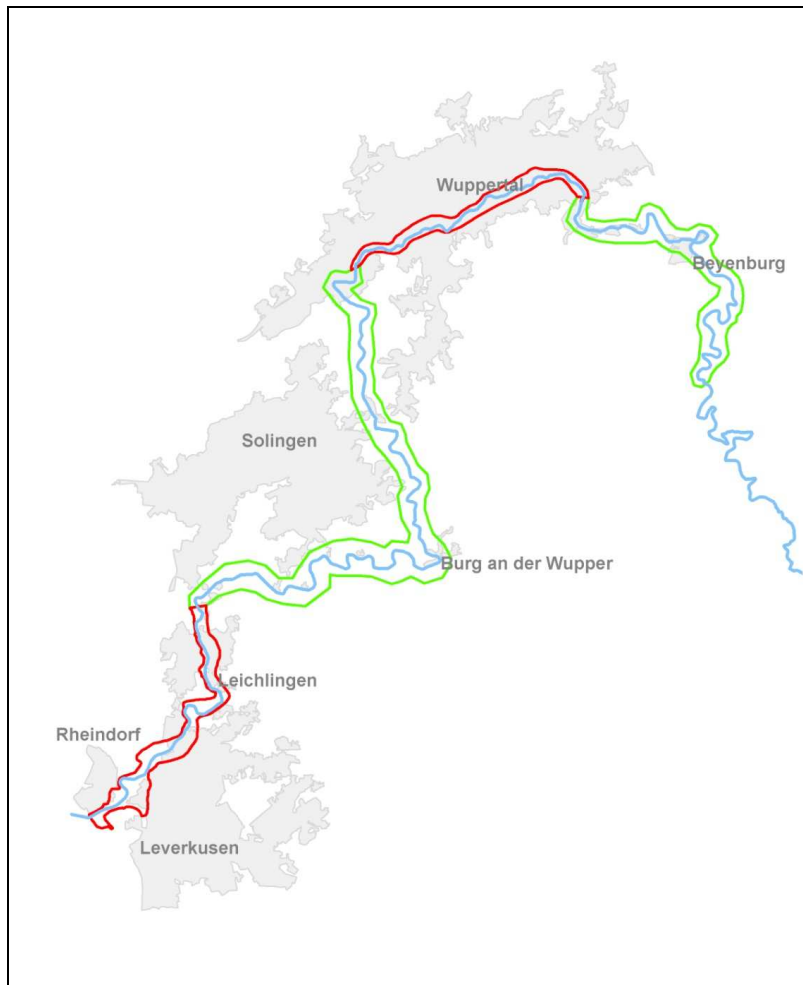


Abbildung 4-1: Verwendete Berechnungsmodelle an der Wupper von der Mündung bis zur Wuppertalsperre (grün = 1D, rot = 2D)

Tabelle 4-2: Zuordnung des verwendeten Berechnungsmodells zum Gewässerabschnitt der Wupper

Bereich	Berechnungsmodell	Bereich
0 – 13,4	2D-Modell	Mündung in den Rhein bis oh. Leichlingen
13,4 – 44,4	1D-Modell	oh. Leichlingen bis uh. Wuppertal
44,4 – 56,4	2D-Modell	Stadtbereich Wuppertal
56,4 – 75,1	1D-Modell	oh. Wuppertal bis Wuppertalsperre

5 Modellkalibrierung / Modellvalidierung

5.1 Abgleich der Simulation mit vorhandenen Pegeldaten (Kalibrierung)

5.1.1 Kalibrierung des hydraulischen Modells

Im Rahmen der Vermessung der Wupper wurde an den aufgemessenen Profilen jeweils der aktuelle Wasserstand am Vermessungstag aufgenommen. Die entsprechenden Abflüsse wurden Hydrotec vom AG zur Verfügung gestellt. Anhand dieser Daten konnte der Profildatensatz im Niedrigwasserbereich kalibriert werden. Die Anpassung der berechneten an die gemessenen Wasserspiegel ist insgesamt als gut zu bewerten. Abweichungen ergeben sich im Bereich von Ausleitungen, da hier die Menge der ausgeleiteten Wassermengen am Tag der Vermessung nicht bekannt ist.

Neben den Wasserspiegellagen aus der Vermessung standen zur Kalibrierung die Abflusskurven der Pegel Opladen, Glüder, Buchenhofen und Kluserbrücke zur Verfügung. Pegel Opladen und Kluserbrücke liegen im 2D-Modellgebiet. Für die 4 zu kalibrierenden Pegel wurden mit dem hydraulischen 1D- und 2D-Modell Berechnungen ab Gewässersohle mit stufenweise erhöhten Abflüssen bis zum maximalen Abfluss der Abflusskurve durchgeführt. Die berechnete Kurve wurde mit der Abflusskurve des jeweiligen Pegels verglichen.

Für die Pegel Glüder, Buchenhofen und Opladen konnte eine sehr gute bis gute Anpassung von Messwerten und Berechnungsergebnissen erzielt werden. Pegel Kluserbrücke zeigt bis zu einem HQ_1 eine sehr gute Übereinstimmung von Messung und Berechnungsergebnisse, im oberen Bereich der Kurve ergeben sich jedoch deutliche Abweichungen.

Betrachtet man die Profildaten am Pegel, so ist der berechnete Verlauf der Pegelkurve plausibel. Eine mögliche Erklärung für das Abflachen der amtlichen Kurve gegenüber der berechneten ist die Ausleitung in den Flutgraben, der ca. 300 m unterhalb des Pegels nach links sohlengleich zur Wupper abzweigt. Möglicherweise bewirkt der Graben, der im Modell in Abstimmung mit dem AG nicht berücksichtigt wurde, ein deutlicheres Absinken des Wasserstandes im Bereich größerer Abflüsse.

Mit dem hydraulischen Modell wird eine geringere Leistungsfähigkeit des Hauptgerinnes simuliert. Diese kritischere Abflusssituation im hydraulischen Modell bleibt jedoch bei einem HQ_{100} schadlos und führt nicht zu einer zusätzlichen Gefährdung, da es im Stadtgebiet Wuppertal erst ab HQ_{Extrem} zu Ausuferungen kommt.

Hochwassermarken konnten nicht zur Verifizierung der Ergebnisse herangezogen werden. Auch Überflutungsflächen abgelaufener und dokumentierter Hochwasserereignisse standen nicht zur Verfügung.

5.1.2 Kalibrierung des hydrologischen Modells

Die Kalibrierung beinhaltet das Anpassen der Modellparameter innerhalb plausibler Grenzen. Das Ziel ist die Annäherung der Systemantworten in der Summe an die realen Verhältnisse.

Zur Kalibrierung des Modells konnten folgende Pegel herangezogen werden:

- Pegel Wipperfließ
- Pegel Schmitzwipper

- Pegel Wipperfürth
- Pegel Reinshagensbever
- Pegel Hückeswagen
- Pegel Hangberger Mühle
- Pegel Krebsöge
- Pegel Beyenburg
- Pegel Laaken
- Pegel Kluser Brücke
- Pegel Rutenbeck
- Pegel Buchenhofen
- Pegel Beckeraue
- Pegel Kellershammer
- Pegel Glüder
- Pegel Nacker Bach
- Pegel Opladen
- Inhaltspegel Wuppertalsperre
- Inhaltspegel Beyenburgerstausee

Ziel der Kalibrierung ist es sowohl die langjährige Wasserbilanz als auch den Verlauf der Ereignisse wirklichkeitsnah abzubilden. Für die Kalibrierung wurden die Jahre 2001 bis 2006 in Zeitschritten von 60 Minuten gerechnet.

Sowohl die Jahreswasserbilanzen als auch die Ereignisverläufe und –summen können durch das kalibrierte Modell in der Wupper sehr gut wiedergegeben werden. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse erfolgt im Bericht „Wasserbilanzmodell Wupper“ (Wupperverband, 2010).

Bei der Auswertung der Kalibrierungsergebnisse fällt auf, dass die Abflüsse in der Wupper sehr stark vom Betrieb der Talsperren geprägt sind. Da die Steuerung der Talsperren im Modell den Faktor „Mensch“ nicht berücksichtigen kann, sondern die Regeln starr umgesetzt werden, kommt es zu Abweichungen in der Steuerung und somit zu Abweichungen bei einzelnen Ereignissen. Dies wird besonders deutlich im November, wenn für den Winter der Hochwasserschutzraum freigehalten werden muss. Die Regeln besagen, dass ab 1. November in der Wuppertalsperre 9,9 Mio. m³ Hochwasserschutzraum freizuhalten sind. Diese Regel gibt das Modell korrekt wieder. In der Realität ist es jedoch so, dass vorsichtshalber schon einige Wochen vorher damit begonnen wird den Hochwasserschutzraum zu leeren. Da diese Vorgehensweise zwar betrieblich sinnvoll ist, aber keinen starren Regeln unterliegt, ist sie im Modell nicht abbildbar und es kommt folglich zu Abweichungen zwischen Realität und Modell.

Diese Abweichungen sind nicht nur am Ablaufpegel (Krebsöge) der Wuppertalsperre zu sehen, sondern an allen unterhalb liegenden Pegeln in der Wupper. In den restlichen Monaten sind die Abweichungen sehr gering und die Mehrzahl der Ereignisse kann so wiedergegeben werden, dass sie sehr nah an der Realität liegen.

Zur Absicherung der Vermutung, dass Abweichungen in einzelnen Ereignissen auf die Steuerung der Talsperre zurückzuführen sind, ist ein weiterer Simulationslauf mit dem Pegel

Krebsöge als Eingangsganglinie in die Untere Wupper durchgeführt worden. Die Ergebnisse dieses Simulationslaufes bestätigen diese Vermutung.

Es ist zu erkennen, dass die Unterschätzung des Ereignisses im Modell nicht auftritt, bzw. deutlich geringer auftritt, wenn die Simulation der Wuppertalsperre durch ihren Abflusspegel Krebsöge ersetzt wird. Dies wirkt sich nicht nur direkt unterhalb der Wuppertalsperre am Pegel Beyenburg aus, sondern der Effekt ist auch am Pegel Opladen wenige Kilometer vor der Mündung der Wupper in den Rhein noch deutlich spürbar. Auswertungen für weitere Ereignisse und weitere Hauptpegel (Pegel Laaken, Pegel Kluserbrücke, Pegel Rutenbeck, Pegel Buchenhofen und Pegel Glüder) in der Wupper sind erfolgt und wurden dokumentiert.

5.2 Dokumentation der Anfangsbedingungen

Die Anfangswasserspiegellage im Mündungsbereich der Wupper für das 2D-Modell Leverkusen-Bürrig/Opladen wurde aus Ergebnissen der Berechnungen am Rhein ermittelt.

Dabei wurde die Kombination der aufeinandertreffenden Jährlichkeiten in der Wupper und im Rhein in Abstimmung mit dem AG über ein Verfahren ermittelt, dass in Baden-Württemberg für die Erstellung der Hochwasser-Gefahrenkarten verwendet wird. Das angewendete Verfahren bietet eine Möglichkeit, Aussagen über das zeitgleiche Zusammentreffen von Hochwasserscheiteln für eine Jährlichkeit HQ_T im Mündungsbereich zu erhalten. Dabei wird über die Abflussgrößen in Mündungsgewässer und Vorfluter oberhalb des Zusammenflusses auch das Verhältnis der Einzugsgebietsgrößen berücksichtigt.

Es ergibt sich damit als Anfangswasserstand für ein HQ_{100} der Wupper, der sich bei einem HQ_5 einstellende Wasserspiegel im Rhein.

Für die weiteren 1D- bzw. 2D-Modelle wurde als untere Randbedingung jeweils der Wasserstand am oberen Modellrand aus dem unterhalb liegenden Modell abgegriffen.

6 Bewertung der Ergebnisse der hydraulischen Berechnung

Die Überschwemmungsgebiete der Wupper für das HQ_{100} wurden für den folgenden Lastfall ermittelt und dargestellt:

- Wuppertalsperre ist gefüllt, es steht kein Hochwasserschutzraum zur Verfügung, alle anderen Talsperren im Einzugsgebiet sind in Betrieb und werden den genehmigten Betriebsregeln gemäß betrieben.

Die Überflutungsflächen im Bereich der **1D**-Hydraulik wurden durch Verschneidung der Wasserspiegellagen mit dem digitalen Geländemodell (1m-Raster) ermittelt. Die Verschneidung ist ein automatischer Prozess, welcher mithilfe der Schnittstelle Jabron 6.6 zu ArcGIS ausgeführt wird. Dabei können Inseln innerhalb der hochwassergefährdeten Gebiete sowie eingestaute Flächen in Mulden außerhalb des direkten Überflutungsgebietes (Druckwasserbereiche) entstehen. Diese Flächen, die keine Verbindung zum direkten Überschwemmungsgebiet haben, wurden in den Karten nicht dargestellt.

Es wurde zunächst eine automatische und anschließend eine manuelle Bearbeitung der Flächen durchgeführt und als Ergebnis ein Umringspolygon erzeugt.

Zur Ermittlung der Überflutungsflächen im Bereich der **2D**-Hydraulik wurden die Wasserspiegelnhöhen an den Netzknoten mit den Rasterdaten des Geländemodells verschneidet.

Die Überflutungsausbreitung (Vektordaten) erhält man durch eine Klassifikation der Überflutungstiefen in überschwemmte („positive“ Überflutungstiefen) und nicht überschwemmte Gebiete („negative“ Überflutungstiefen). Die Rasterdateien wurden anschließend in Polygone umgewandelt.

Maßgebliche Ausuferungsbereiche an der Wupper, bei denen potenziell Objekte Schaden nehmen können, liegen insbesondere in den im Folgenden aufgelisteten Ortslagen:

- Ortslage Nesselrath – km 14,5 bis km 15,0
- Klärwerk unterhalb Burg – km 26,7 bis km 27,0
- Ortslage Burg – km 28,2 bis km 28,7
- Ortslage Kohlfurth – km 36,4 bis km 37,0
- Ortslage Beyenburg – km 64,5 bis km 64,9

Die Karten zeigen, dass im gesamten Verlauf der Wupper von der Mündung bis zur Wuppertalsperre die natürlichen Retentionsräume bei einem HQ_{100} in Anspruch genommen werden. Hier sind i.d.R. keine Objektgefährdungen zu erwarten.

7 Literatur

Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V., BWK (1999): Hydraulische Berechnung von naturnahen Fließgewässern, Merkblatt Nr.1, Düsseldorf.

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., DVWK (Hrsg.) (1991): Hydraulische Berechnung von Fließgewässern. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 220, Hamburg.

Hydrotec (2010): Ermittlung von Überflutungsflächen und Überflutungstiefen an der Wupper.

LUBW (2007): HWGK Baden-Württemberg, Leistungsverzeichnis Hydraulik, Datenverarbeitungstechnischer Teil, unveröffentlicht.

Nujić, M. (2003): HYDRO_AS-2D, Ein zweidimensionales Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis, Benutzerhandbuch.

Wupperverband (2010): Wasserbilanzmodell Wupper, Wuppertal August 2010.

Verwendete EDV-Programmsysteme

ArcGIS®, Version 9.3	ESRI, Redlands, CA, USA
ArcView®, Version 3.3	ESRI, Redlands, CA, USA
Jabron, Version 6.6	Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen
JabPlot, Version 1.3	Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen
HYDRO_AS-2D, Vers. 2.2	Dr.-Ing. M. Nujić, Rosenheim
SMS, Version 9.0	Boss International, Madison (WI), USA
triangle, Version 1.5	University of California at Berkeley, CA, USA
VTK, Version 5.0	Kitware, Clifton Park, NY, USA