Umweltamt
Landeshauptstadt Düsseldorf

Auswirkung tiefgreifender Bauwerke auf das Grundwasser im Bereich der Innenstadt der Landeshauptstadt Düsseldorf

Umweltamt
Landeshauptstadt Düsseldorf

Auswirkung tiefgreifender Bauwerke auf das Grundwasser im Bereich der Innenstadt der Landeshauptstadt Düsseldorf

Die Vielzahl der Sperrbauwerke, die derzeit im Umfeld des Bebauungsplangebietes (u.a. Investorenbauwerk, U-Bahn Wehrhahnlinie) gebaut werden und in Planung sind (z.B. Parkhaus Steigenberger Parkhotel und Geschäftshaus Bleichstraße), in Verbindung mit den bereits bestehenden Sperrbauwerken erfordern eine Gesamtbetrachtung der Auswirkungen sperrender und auch teilsperrender Bauwerke auf das Grundwasser.

Zur Überprüfung der dauerhaften hydraulischen Auswirkungen (Grundwasserstandsänderungen, Änderung der Strömungsgeschwindigkeit und -richtung) der zusätzlich geplanten Sperrbauwerke wurden Grundwassermodellierungen durchgeführt. In den Modellberechnungen wurden die Veränderungen der Grundwasserstände und –strömungsverhältnisse durch die Sperrbauwerke betrachtet. Die Ergebnisse sind im anliegenden Bericht dargestellt.

Es zeigt sich, dass die geplanten Sperrbauwerke, die zu einer weiteren Verdichtung von Sperrbauwerken im Plangebiet führen würden, großräumig erhebliche Veränderungen der Grundwasserstände, der Grundwasserströmungsrichtungen und Fließgeschwindigkeiten zur Folge hätten. Die Änderung der Fliesrichtung würde u.a. zur Verlagerung vorhandener Grundwasserverunreinigungen führen. Dadurch würden die Verunreinigungen in bisher nicht verunreinigte Bereiche verlagert, die Wirksamkeit laufender Sanierungsmaßnahmen reduziert oder bestehende bzw. zukünftige Grundwasserbenutzungen erschwert. Eine wesentliche Veränderung der Fliessgeschwindigkeit, wie in den Simulationen ermittelt, kann darüber hinaus zu Feinkornverlagerungen führen und diese wiederum zu instabilen Bodenverhältnissen, die zu Schäden an Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen führen können. Zusätzlich werden durch Sperrbauwerke die resultierenden Grundwasserstände verändert, wodurch ebenfalls Schäden an bestehenden Gebäuden hervorgerufen werden können.

Wegen der erheblichen großräumigen Auswirkungen sind weitere großflächige Tiefbauwerke in den Feldern MK 1 bis MK 4 wasserrechtlich nur erlaubnisfähig, wenn eine ausreichende Restdurchlässigkeit des quartären Grundwasserleiters auf Dauer erhalten bleibt. Der maximal erlaubnisfähige Tiefeneingriff wird daher durch entsprechende textliche Festsetzungen begrenzt.

Für sämtliche in den Grundwasserleiter eingreifende Bauwerke im gesamten Bebauungsplan sind daher die wasserwirtschaftlichen Auswirkungen unter Berücksichtigung der im Umfeld bereits bestehenden und zu erwartenden hydraulischen Randbedingungen durch entsprechende hydraulische und hydrogeologische Gutachten zu ermitteln und im Rahmen der wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren darzulegen, wie im Bereich der Baukörper die erforderliche Durchströmbarkeit des Quartärs sichergestellt wird. Weitere das Quartär vollständig absperrende Tiefenbauwerke sind wasserrechtlich nicht erlaubnisfähig.

31.03.2011

Grundwassermodell
Düsseldorf Innenstadt

Bericht

Auswirkung von Sperrwirkungen von tief gründenden Bauwerken

delta h Ingenieurgesellschaft mbH • Parkweg 67 • 58453 Witten

Grundwassermodell Düsseldorf Innenstadt

Auswirkung von Sperrwirkungen von tiefgründenden Bauwerken

Im Auftrag von:

Stadt Düsseldorf
- Umweltamt –
Brinckmannstr. 7
40225 Düsseldorf

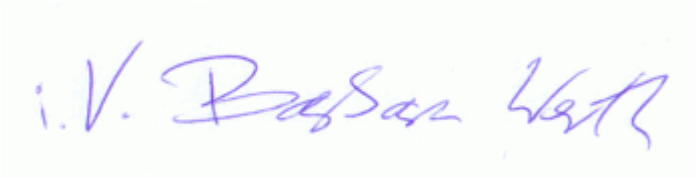
Bearbeitung: delta h Ingenieurgesellschaft mbH
Prof. Dr.-Ing. Christoph König
Dipl.-Ing. Barbara Werth
Parkweg 67
58453 Witten

Tel.-Durchwahl: 02302 / 91 406 - 21
Fax: 02302 / 91 406 - 20

E-Mail: bw@delta-h.de

Witten, den 19. Januar 2011

delta h Ingenieurgesellschaft mbH



i.V. Dipl.-Ing. Barbara Werth

Inhaltsverzeichnis

1 Veranlassung 6
2 Modellhistorie 6
3 Randbedingungen 7
3.1 Rheinwasserstand 7
3.2 Fördermengen und Sanierungswassermengen 7
3.3 Szenarien für den Bebauungszustand im Innenstadtbereich 7
3.3.1 Genereller Ausgangszustand (A) 7
3.3.2 Szenarien für Endzustände 7
4 Ergebnisse der Berechnungen 10
4.1 Grundwasserstandsänderung 10
4.2 Geschwindigkeitsänderung 24
4.3 Stromlinienberechnung 36
4.4 Fließrichtungsänderung 48
5 Literatur- und Quellenangaben 60

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Grundwasserstandsänderung bei Situation C 11
Abb. 2: Grundwasserstandsänderung bei Situation D 12
Abb. 3: Grundwasserstandsänderung bei Situation E 13
Abb. 4: Grundwasserstandsänderung bei Situation E1 14
Abb. 5: Grundwasserstandsänderung bei Situation E2 15
Abb. 6: Grundwasserstandsänderung bei Situation E3 16
Abb. 7: Grundwasserstandsänderung bei Situation E3* 17
Abb. 8: Grundwasserstandsänderung bei Situation E6 18
Abb. 9: Grundwasserstandsänderung bei Situation E6* 19
Abb. 10: Grundwasserstandsänderung bei Situation F 20
Abb. 11: Grundwasserstandsänderung bei Situation F3 21

Abb. 12: Grundwasserstandsänderung bei Situation F3* 22
Abb. 13: Grundwasserstandsänderung bei Situation F6 23
Abb. 14: Grundwasserstandsänderung bei Situation F6* 24
Abb. 15: Geschwindigkeitsänderung bei Situation D 25
Abb. 16: Geschwindigkeitsänderung bei Situation E1 26
Abb. 17: Geschwindigkeitsänderung bei Situation E2 27
Abb. 18: Geschwindigkeitsänderung bei Situation E3 28
Abb. 19: Geschwindigkeitsänderung bei Situation E3* 29
Abb. 20: Geschwindigkeitsänderung bei Situation E6 30
Abb. 21: Geschwindigkeitsänderung bei Situation E6* 31
Abb. 22: Geschwindigkeitsänderung bei Situation F3 32
Abb. 23: Geschwindigkeitsänderung bei Situation F3* 33
Abb. 24: Geschwindigkeitsänderung bei Situation F6 34
Abb. 25: Geschwindigkeitsänderung bei Situation F6* 35
Abb. 26: Stromlinien bei Situation D 37
Abb. 27: Stromlinien bei Situation E1 38
Abb. 28: Stromlinien bei Situation E2 39
Abb. 29: Stromlinien bei Situation E3 40
Abb. 30: Stromlinien bei Situation E3* 41
Abb. 31: Stromlinien bei Situation E6 42
Abb. 32: Stromlinien bei Situation E6* 43
Abb. 33: Stromlinien bei Situation F3 44
Abb. 34: Stromlinien bei Situation F3* 45
Abb. 35: Stromlinien bei Situation F6 46
Abb. 36: Stromlinien bei Situation F6* 47
Abb. 37: Fließrichtungsänderung bei Situation D 49
Abb. 38: Fließrichtungsänderung bei Situation E1 50
Abb. 39: Fließrichtungsänderung bei Situation E2 51
Abb. 40: Fließrichtungsänderung bei Situation E3 52

Abb. 41: Fließrichtungsänderung bei Situation E3* 53

Abb. 42: Fließrichtungsänderung bei Situation E6 54

Abb. 43: Fließrichtungsänderung bei Situation E6* 55

Abb. 44: Fließrichtungsänderung bei Situation F3 56

Abb. 45: Fließrichtungsänderung bei Situation F3* 57

Abb. 46: Fließrichtungsänderung bei Situation F6 58

Abb. 47: Fließrichtungsänderung bei Situation F6* 59

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Szenarien im Bereich Kö-Bogen 9

Tab. 2: Durchgeführte Kombinationen der Szenarien mit den Zuständen E, F und G 9

Tab. 3: Übersicht der erstellten Karten 10

1 Veranlassung

Im Düsseldorfer Innenstadt-Bereich gründen verschiedene vorhandene und geplante Bauwerke soweit in den Baugrund ein, dass signifikante Änderungen auf die Grundwasserströmung entstehen.

Bisher wurde die Abschätzung der grundwasserhydraulischen Auswirkungen solcher Bauwerke weitestgehend einzeln durchgeführt und der Bezug auf eine mögliche Grundwasserstandsänderung auf den Zustand mit dem jeweils vorhandenem Bauwerksbestand (ohne das jeweils geplante Bauwerk) hergestellt.

Aufgrund der zunehmenden Nähe zwischen geplanten Bauwerken, die eine voll- oder teilsperrende Wirkung auf das Grundwasser haben, ist jedoch mit signifikanten Überlagerungseffekten aus den einzelnen Auswirkungen zu rechnen.

Um die Summe der Sperrwirkungen im Innenstadtbereich von Düsseldorf abschätzen zu können, wurden bei den hier durchgeführten Prognoseberechnungen ein genereller Ausgangszustand und mehrere Szenarien mit Endzuständen festgelegt. Die jeweils resultierenden Differenzenzustände hinsichtlich Wasserstandsänderung, Fließrichtungsänderung und Geschwindigkeitsänderung wurden ausgewiesen. Außerdem wurden für die Endzustände Stromlinienberechnungen durchgeführt.

Der generelle Ausgangszustand bildet den Düsseldorfer Innenstadtbereich ohne jegliche teil- oder vollsperrenden Bauwerke ab. Eine Beschreibung bzw. Auflistung der Endzustände erfolgt in Kapitel 3.3.

2 Modellhistorie

Die durchgeführten Modellrechnungen basieren auf dem kalibrierten Grundwassermodell „Düsseldorf-Innenstadt“ (vergl. [1] bis [4]).

Verschiedene relevante Eingangsgrößen, wie z.B. Fördermengen wurden mit der Datenaktualisierung in 2010 (vergl. [5]) auf den Stand 2009 gebracht.

Die Durchlässigkeiten für das Tertiär wurden mit Hilfe von Pumpversuchen an der Flurstraße (vergl. [7]) und anhand der Restwasserhaltung am Startschacht Bilk (vergl. [8]) ermittelt.

Die geometrischen Randbedingungen für die sich im Bau befindende Wehrhahnlinie (vergl. [8]) sowie des geplanten Kö-Bogens inklusive der angrenzenden Verkehrsanlage (vergl. [6] und [9]) entsprechen den Angaben aus den jeweiligen Gutachten.

3 Randbedingungen

Für alle berechneten Zustände wurde der gleiche Rheinwasserstand (Kapitel 3.1) und die gleichen Fördermengen und Sanierungswassermengen (Kapitel 3.2) angesetzt. Die Zustände unterscheiden sich also nur durch den Bebauungszustand mit teil- und vollsperrenden Bauwerken.

3.1 Rheinwasserstand

Für die vier Berechnungsvarianten wurde jeweils der gleiche mittlere Rheinwasserstand angesetzt. Dieser mittlere Rheinwasserstand wurde aus dem Zeitraum 1998 bis Mitte 2003 bestimmt und ergibt sich rechnerisch am Pegel Düsseldorf zu 27,93 mNN.

3.2 Fördermengen und Sanierungswassermengen

Für die Brunnen, die nicht der Sanierung dienen, wurden im Grundwassermodell die bei der 2010 durchgeführten Datenaktualisierung angesetzten Fördermengen aus 2009 verwendet.

Wie bei allen bisher mit dem Grundwassermodell ermittelten Sperrwirkungen von Bauwerken im Bereich der Düsseldorfer Innenstadt werden die Sanierungsmaßnahmen als abgeschlossen angesehen. Somit erfolgt keine Grundwasserentnahme für Sanierungszwecke.

3.3 Szenarien für den Bebauungszustand im Innenstadtbereich

3.3.1 Genereller Ausgangszustand (A)

Für den generellen Ausgangszustand, der den Zustand ohne teil- und vollsperrende Bauwerke in der Düsseldorfer Innenstadt abbildet, wurden sämtliche voll- und teilsperrenden Bauwerke aus dem aktuellen Modell entfernt. An den entsprechenden Netzelementen wurden in Abhängigkeit der geologischen Schicht Durchlässigkeitsbeiwerte aus den Nachbar-Elementen angesetzt.

3.3.2 Szenarien für Endzustände

Als Endzustände wurden verschiedenste Bebauungszustände definiert.

Zunächst sind vom Umweltamt insgesamt zusätzlich zur Situation ohne Bebauung (A) (entspricht generellem Ausgangszustand) sechs weitere Planungszustände definiert worden. Dies sind:

- Situation 1997 (B) (vergl. [10]) :
  vorhandene Sperr- und Teilsperrbauwerke
- Situation 2010 (C):
  vorhandene Sperr- und Teilsperrbauwerke (Stand 01.11.2010)
- Situation 2010 **A** (D):
  vorhandene Sperr- und Teilsperrbauwerke
  in **A**usführung: Wehrhahnlinie
- Situation 2010 **A** (E):
  vorhandene Sperr- und Teilsperrbauwerke
  in **A**usführung: Wehrhahnlinie und Investorenbauwerk
- Situation 2010 **A**+**G** (F):
  vorhandene Sperr- und Teilsperrbauwerke
  in **A**usführung: Wehrhahnlinie und Investorenbauwerk
  genehmigte Sperrbauwerke: Bürogebäude Schadow-Bleichstraße
- Situation 2010 **A**+**G**+**P** (G):
  vorhandene Sperr- und Teilsperrbauwerke
  in **A**usführung: Wehrhahnlinie und Investorenbauwerk
  genehmigte Sperrbauwerke: Bürogebäude Schadow-Bleichstraße
  ge**p**lante Sperrbauwerke außerhalb des Kö-Bogens: Andreasquartier, Ratinger Tor

In Bezug auf die Fragestellungen und Genehmigungen im Bereich des Kö-Bogens sind insgesamt verschiedenste Szenarien definiert worden. Diese Szenarien betrachten die verschiedenen geplanten Gebäude im Bereich des Kö-Bogens. Tab. 1 zeigt eine Übersicht bei welchem Szenario welche Bauwerke berücksichtigt werden. Bei dem Gebäude Kö-Bogen II B-Plan am Schauspielhaus ist die Art der Sperrwirkung noch offen, daher wurden beide Fälle betrachtet. Bei den Szenarien mit einem * wurde das Gebäude als teilsperrend und bei den Szenarien ohne Zusatz wurde das Gebäude als vollsperrend berücksichtigt.

Tab. 1: Szenarien im Bereich Kö-Bogen

Szenarien-Kö-Bogen	Kö-Bogen Verkehrsanlagen 1. BA	Kö-Bogen Verkehrsanlagen 2. BA	TG Steigenberger	Kö-Bogen II B-Plan	TG Tuchtinsel	TG Schadow Arkaden
Szenario 1	x					
Szenario 2	x	x				
Szenario 3	x	x		x		
Szenario 3*	x	x		x		
Szenario 4	x	x	x	x		
Szenario 5	x	x	x	x	x	
Szenario 6	x	x	x	x		x
Szenario 6*	x	x	x	x		x
Szenario 7	x	x	x	x	x	x

Die in Tab. 1 genannten Szenarien sollen bzw. können mit den Situationen E, F und G kombiniert werden. Bisher sind nicht alle Kombinationen durchgeführt worden. Tab. 2 stellt die bisher durchgeführten Prognoseberechnungen zusammen.

Tab. 2: Durchgeführte Kombinationen der Szenarien mit den Zuständen E, F und G

	Situation E	Situation F	Situation G
Szenario 1	X		
Szenario 2	X		
Szenario 3	X	X	
Szenario 3*	X	X	
Szenario 4			
Szenario 5			
Szenario 6	X	X	
Szenario 6*	X	X	
Szenario 7			

4 Ergebnisse der Berechnungen

Die Auswertung der Berechnungen erfolgte auf unterschiedliche Weise. Die Auswirkungen auf das Grundwasser infolge von voll- bzw. teilsperrenden Bauwerken sind nicht nur durch einen Aufstau bzw. durch eine Absenkung des Grundwasserstandes infolge des Bauwerkes gegeben. Ein voll- bzw. teilsperrendes Bauwerk hat auch Einfluss auf die Fließgeschwindigkeit und auch auf die Fließrichtung des Grundwassers. In den folgenden Kapiteln sind diese Auswirkungen auf das Grundwasser dargestellt. Die Tab. 3 enthält eine Übersicht zu den erstellten Karten. Die Differenzen der Geschwindigkeitsänderung, der Fließrichtungsänderung und der Grundwasserstandsänderung beziehen sich immer auf den generellen Ausgangszustand ohne Bebauung (A).

Tab. 3: Übersicht der erstellten Karten

Situation	Stromlinien Darstellung	Grundwasserstandsänderung	Geschwindigkeitsänderung	Fließrichtungsänderung
C		x		
D	x	x	x	x
E		x		
E1	x	x	x	x
E2	x	x	x	x
E3	x	x	x	x
E3*	x	x	x	x
E6	x	x	x	x
E6*	x	x	x	x
F		x		
F3	x	x	x	x
F3*	x	x	x	x
F6	x	x	x	x
F6*	x	x	x	x

Zur Situation G sind noch keine Berechnungen durchgeführt worden, daher ist auf eine Auflistung der möglichen Darstellungen in Tab. 3 verzichtet worden.

4.1 Grundwasserstandsänderung

Ein voll- bzw. teilsperrendes Bauwerk verursacht im Anstrombereich einen Aufstau des Grundwassers und im Abstrom eine Absenkung des Grundwassers. In den folgenden

Abbildungen (Abb. 1 bis Abb. 14) sind die Auswirkungen auf den Grundwasserstand infolge der voll- bzw. teilsperrenden Bauwerke für die einzelnen Situationen dargestellt.

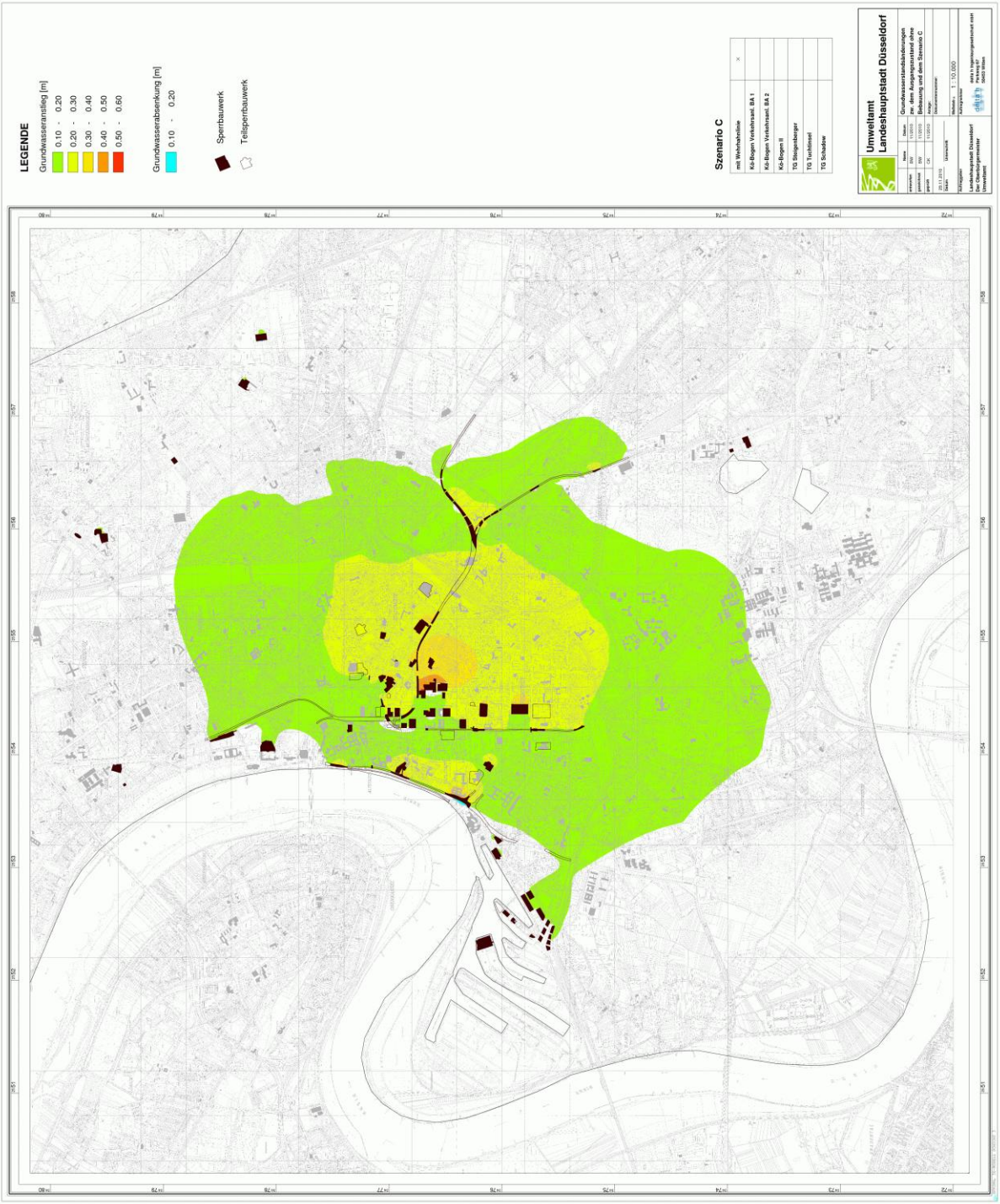


Abb. 1: Grundwasserstandsänderung bei Situation C

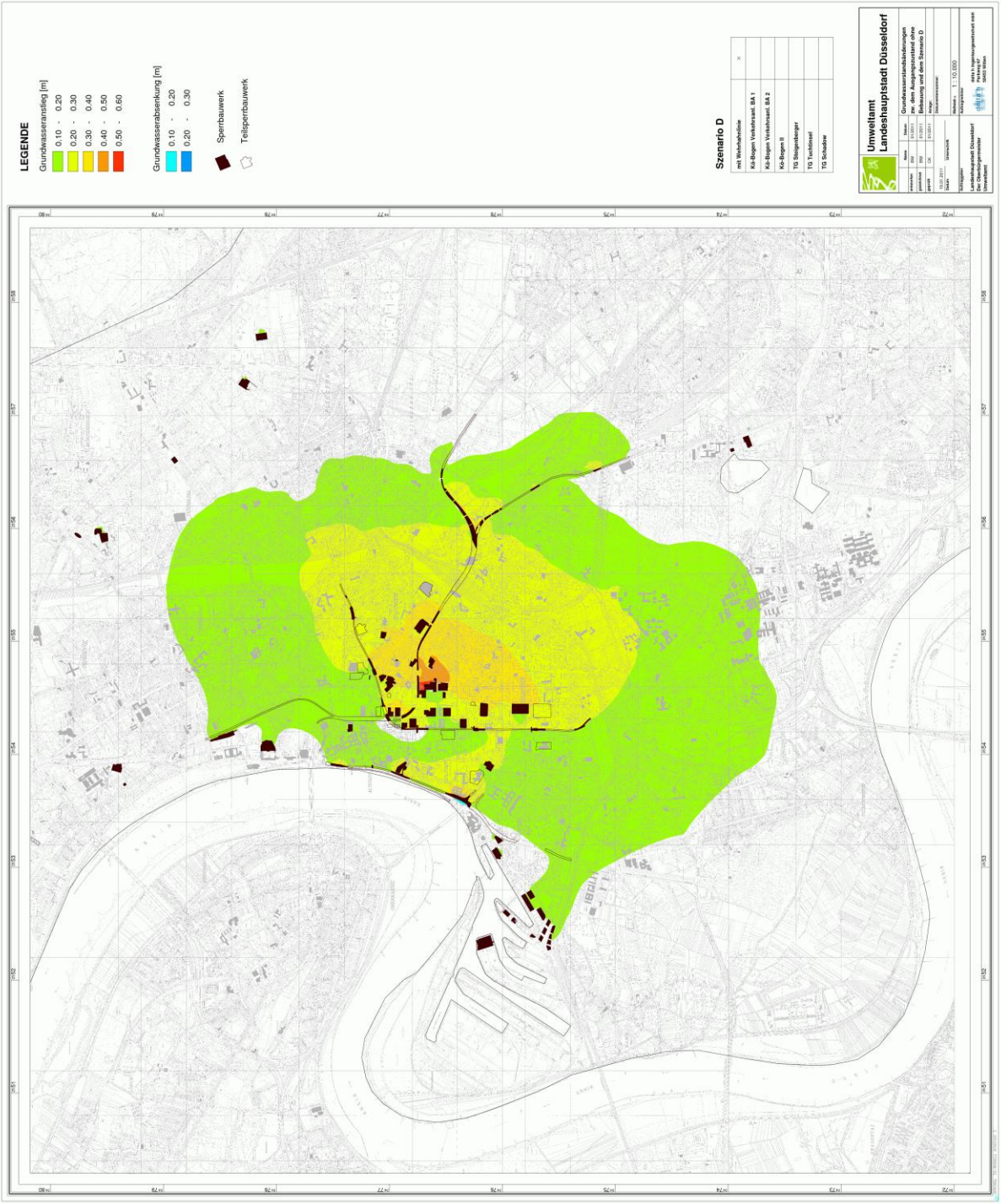


Abb. 2: Grundwasserstandsänderung bei Situation D

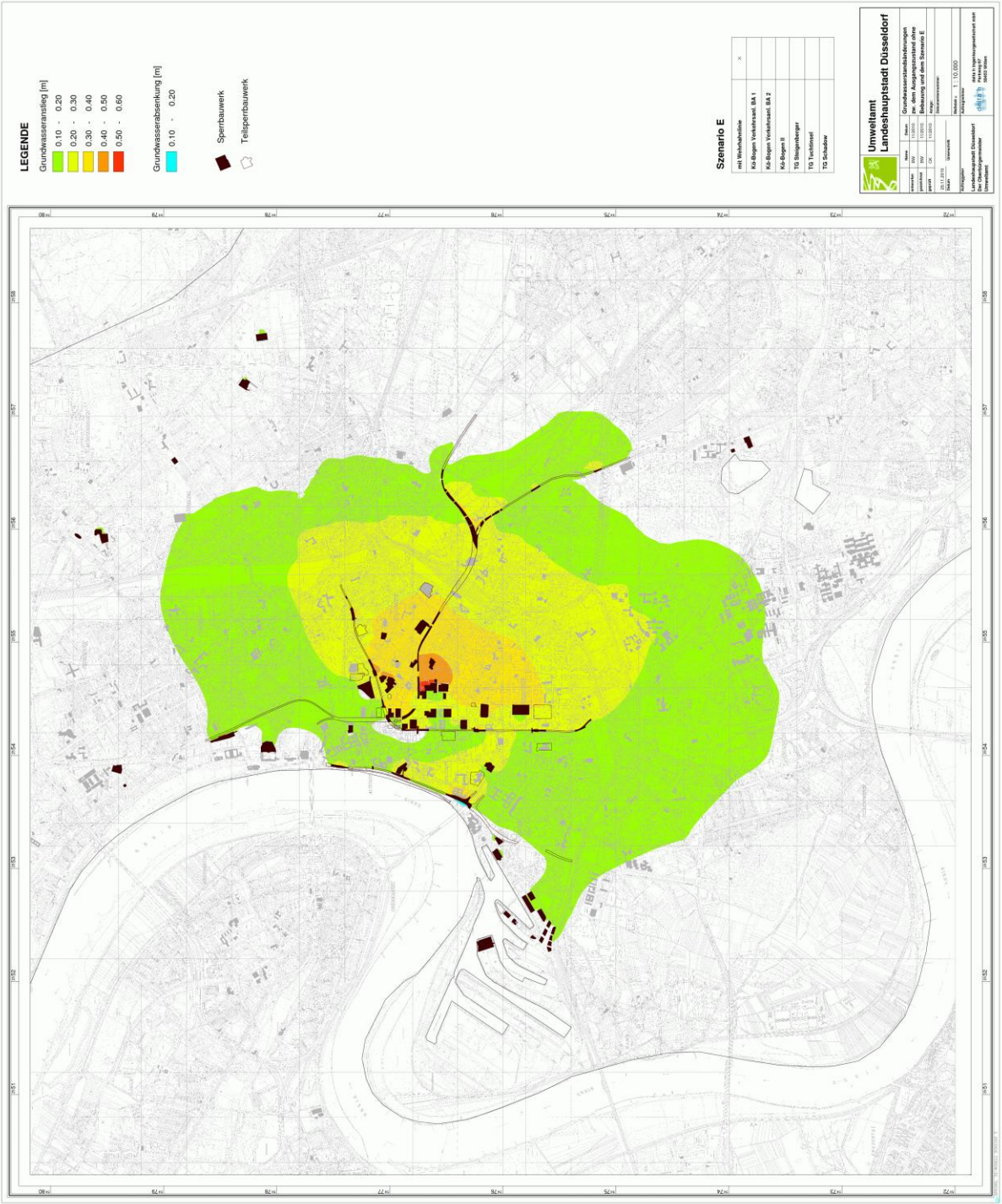


Abb. 3: Grundwasserstandsänderung bei Situation E

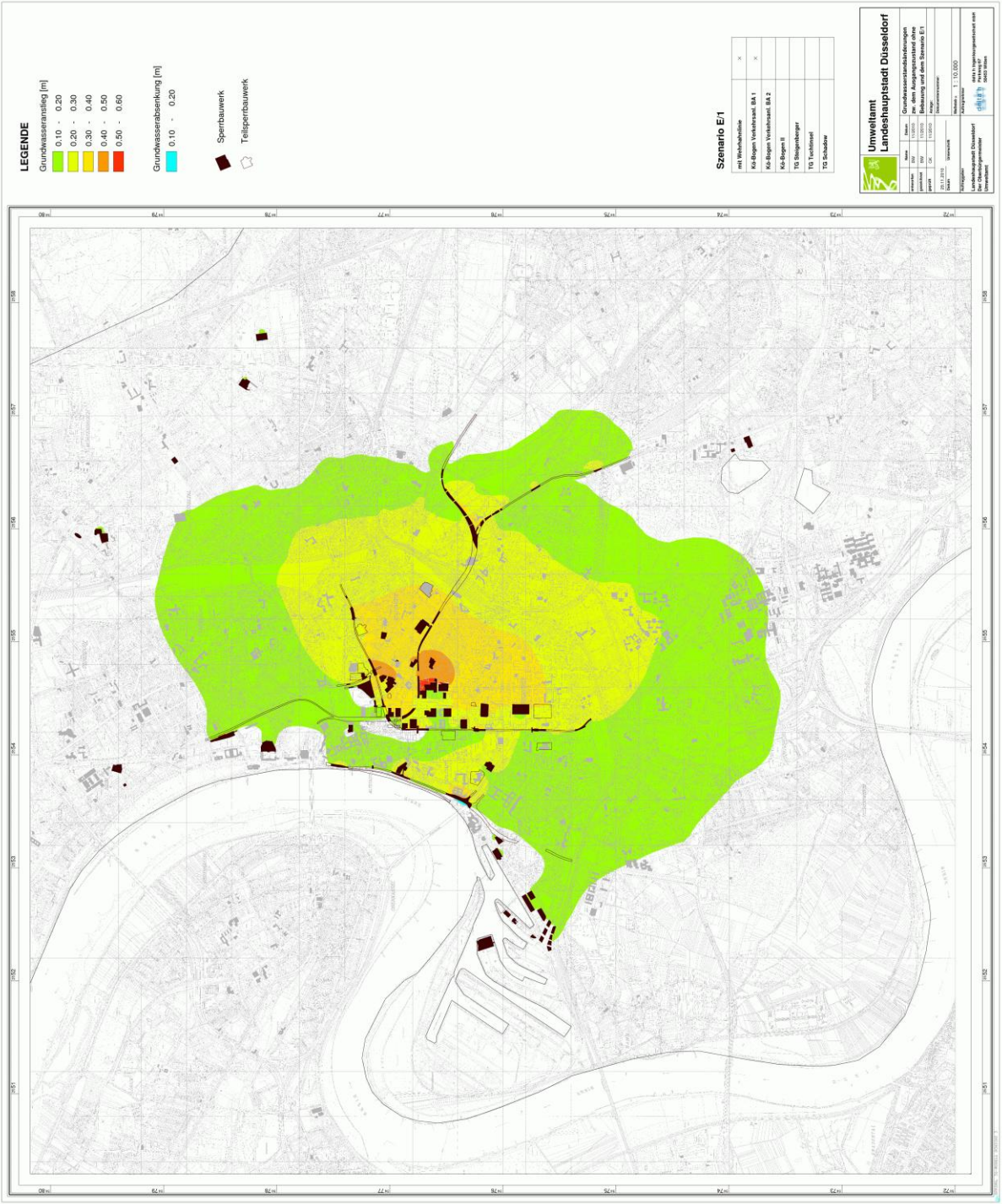


Abb. 4: Grundwasserstandsänderung bei Situation E1

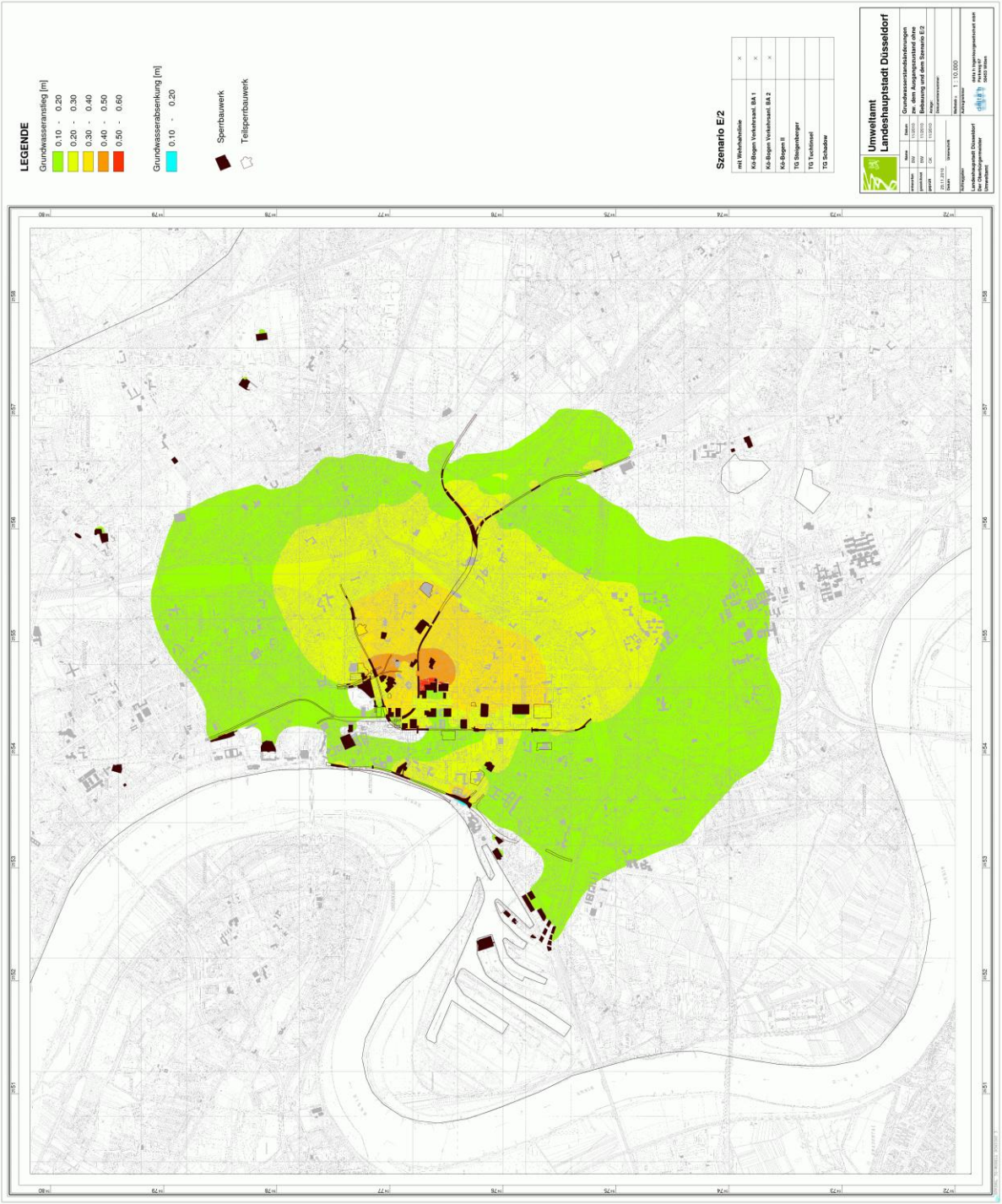


Abb. 5: Grundwasserstandsänderung bei Situation E2

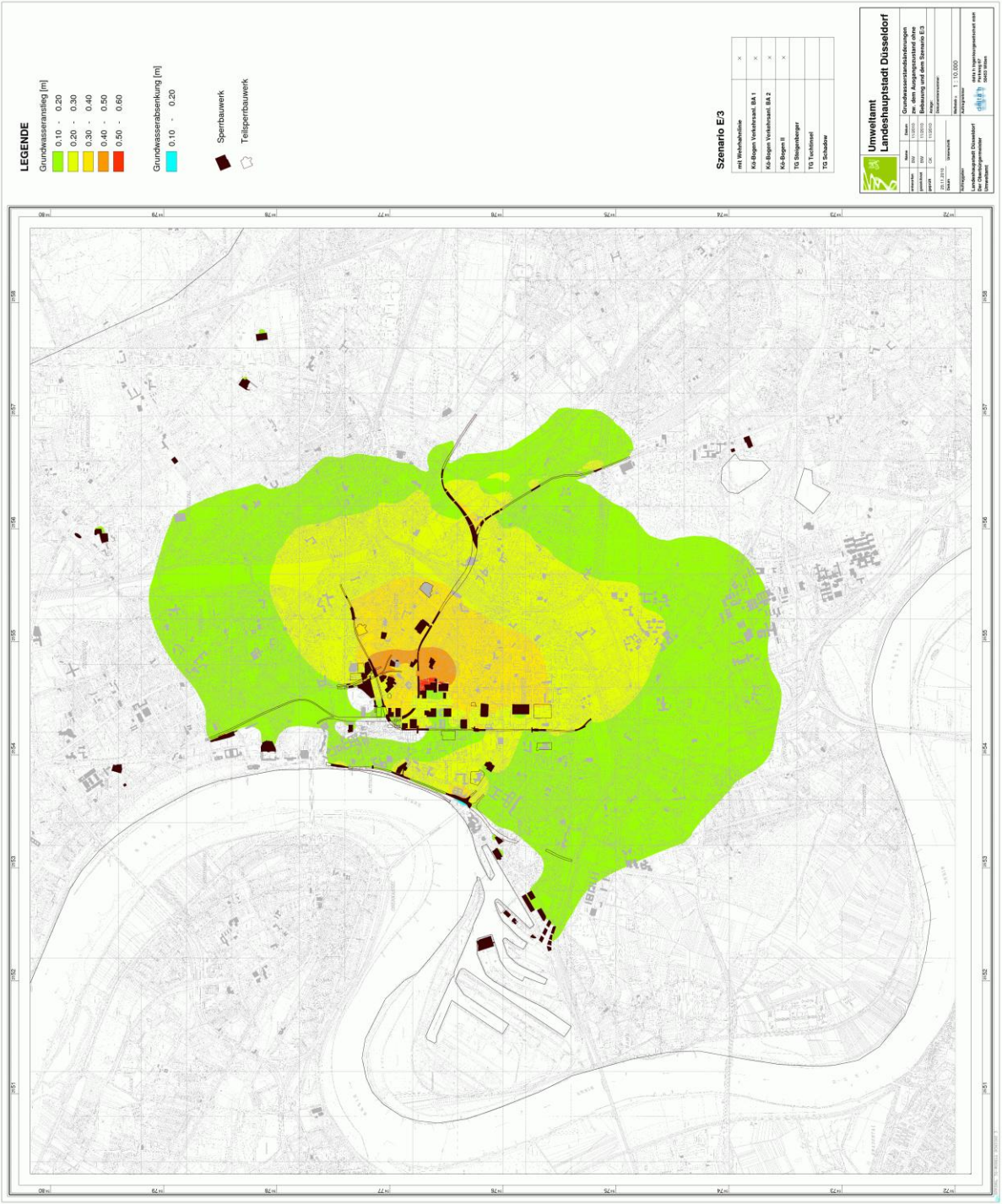


Abb. 6: Grundwasserstandsänderung bei Situation E3

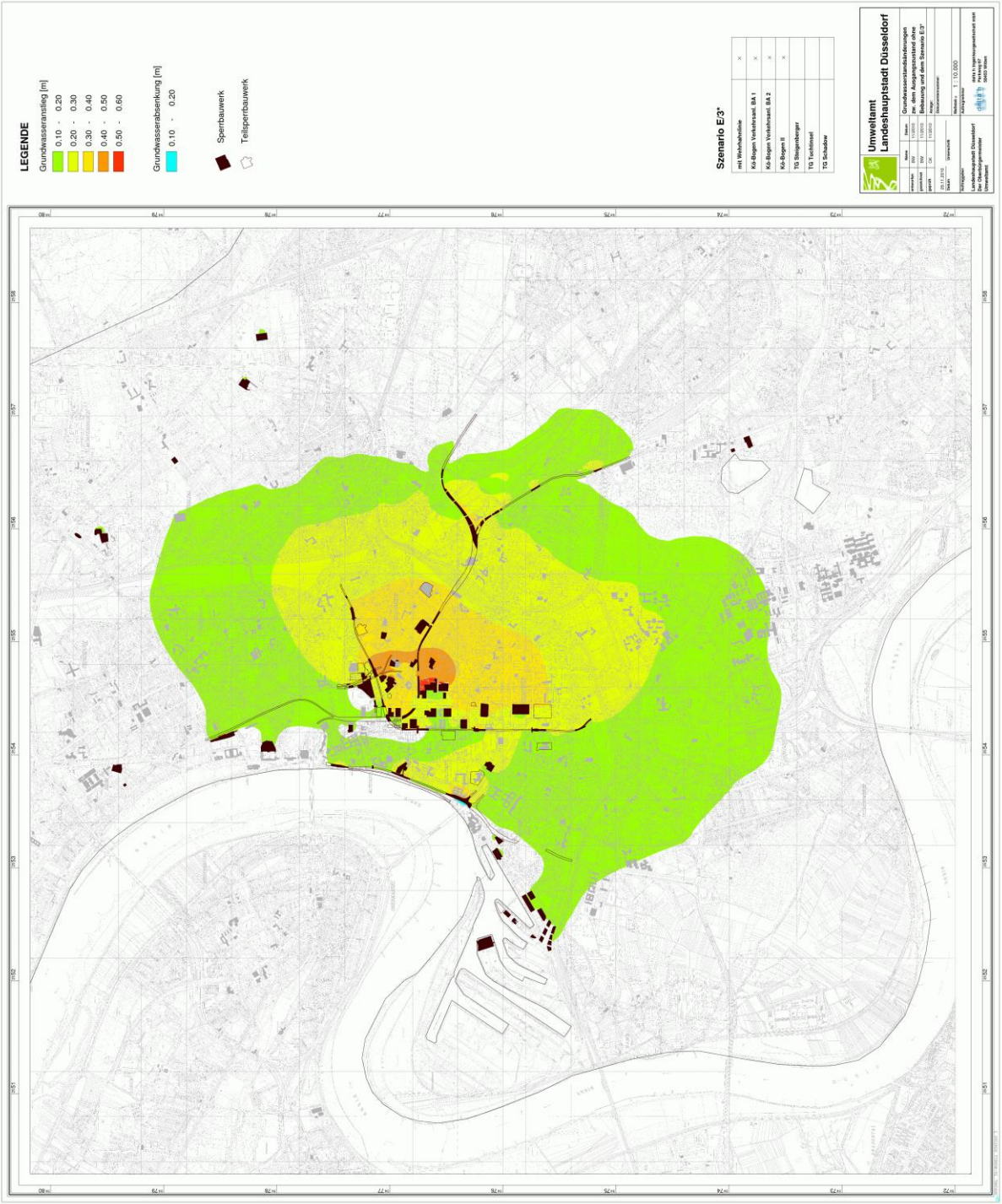


*Abb. 7: Grundwasserstandsänderung bei Situation E3**

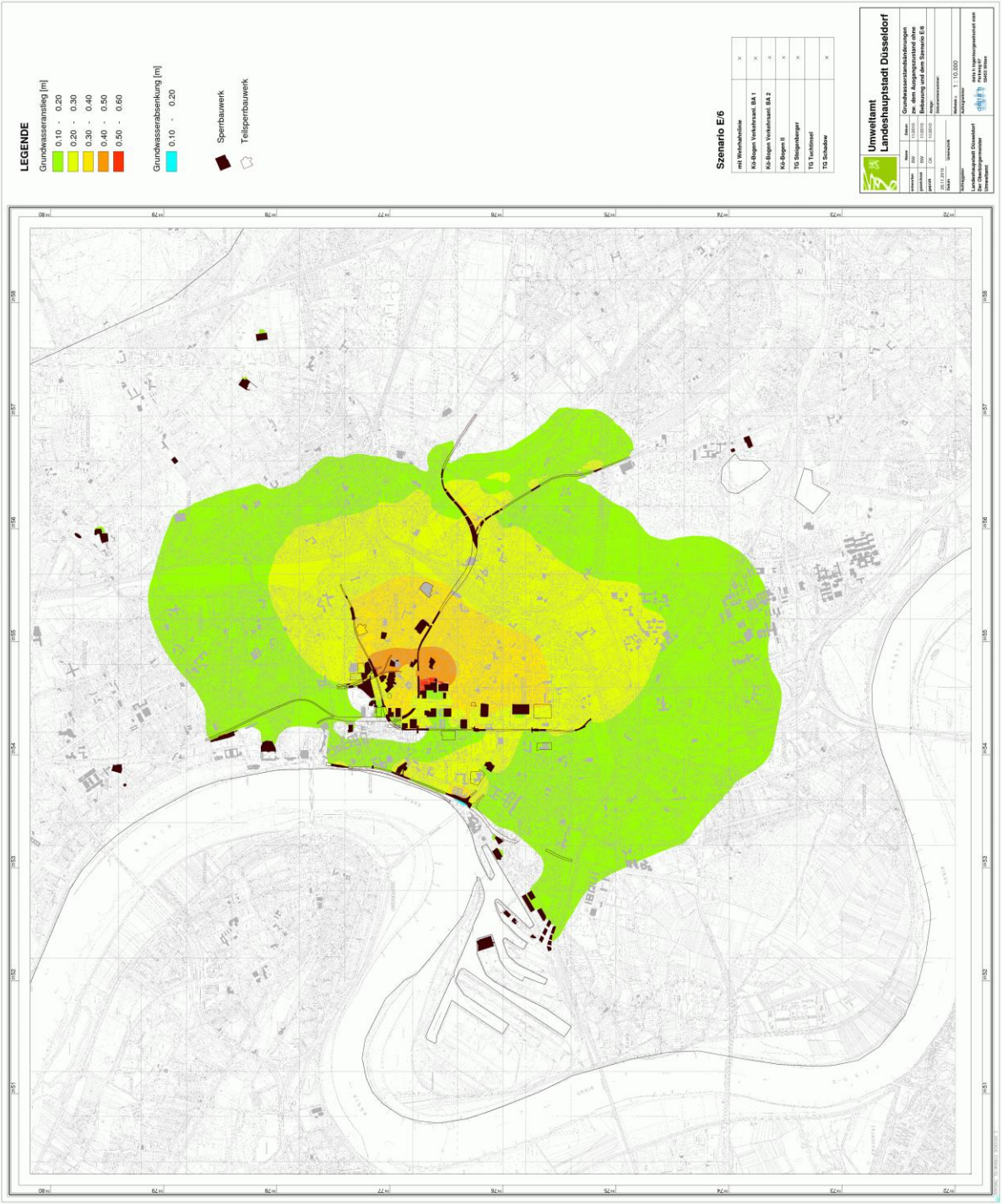


Abb. 8: Grundwasserstandsänderung bei Situation E6

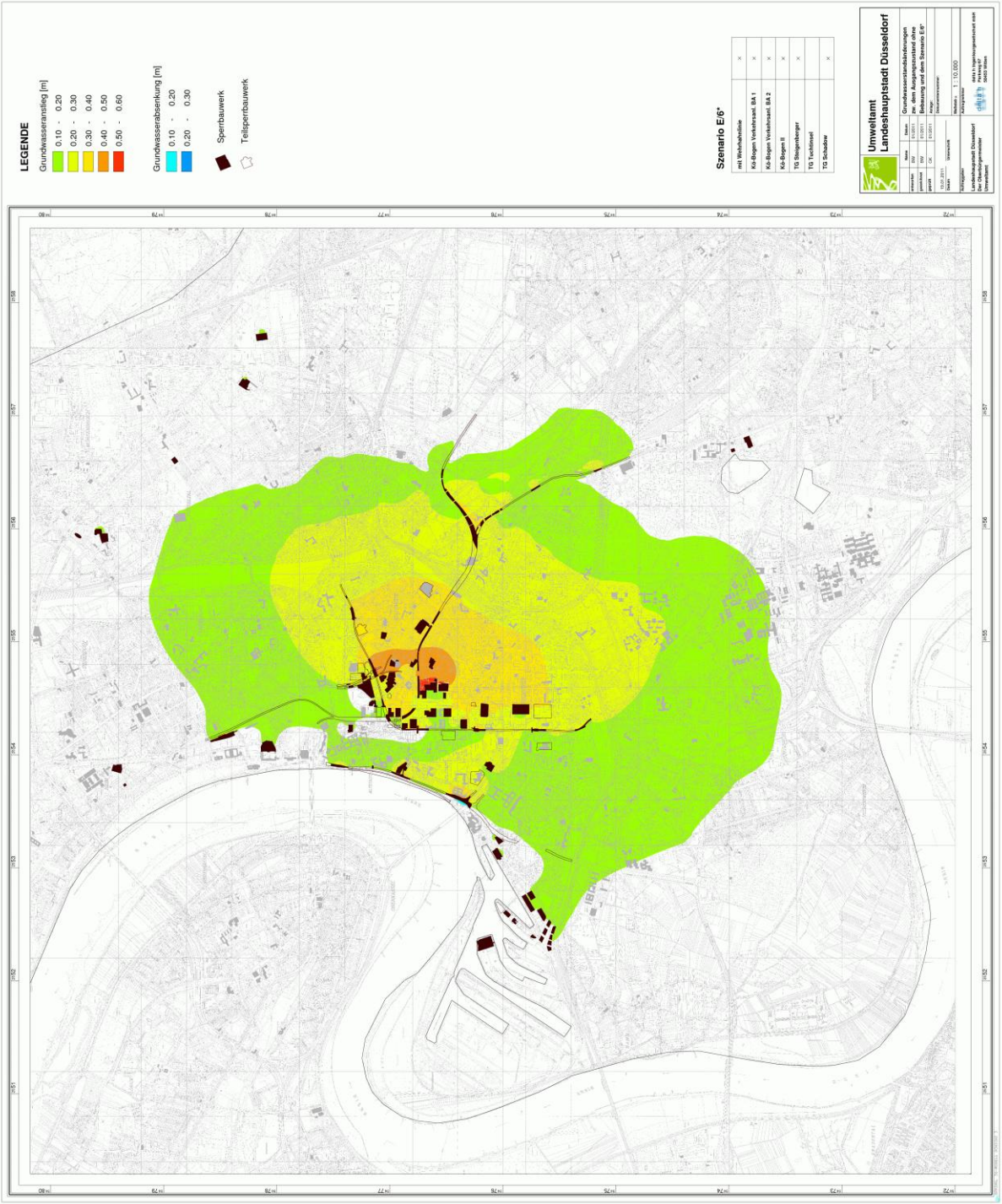


*Abb. 9: Grundwasserstandsänderung bei Situation E6**

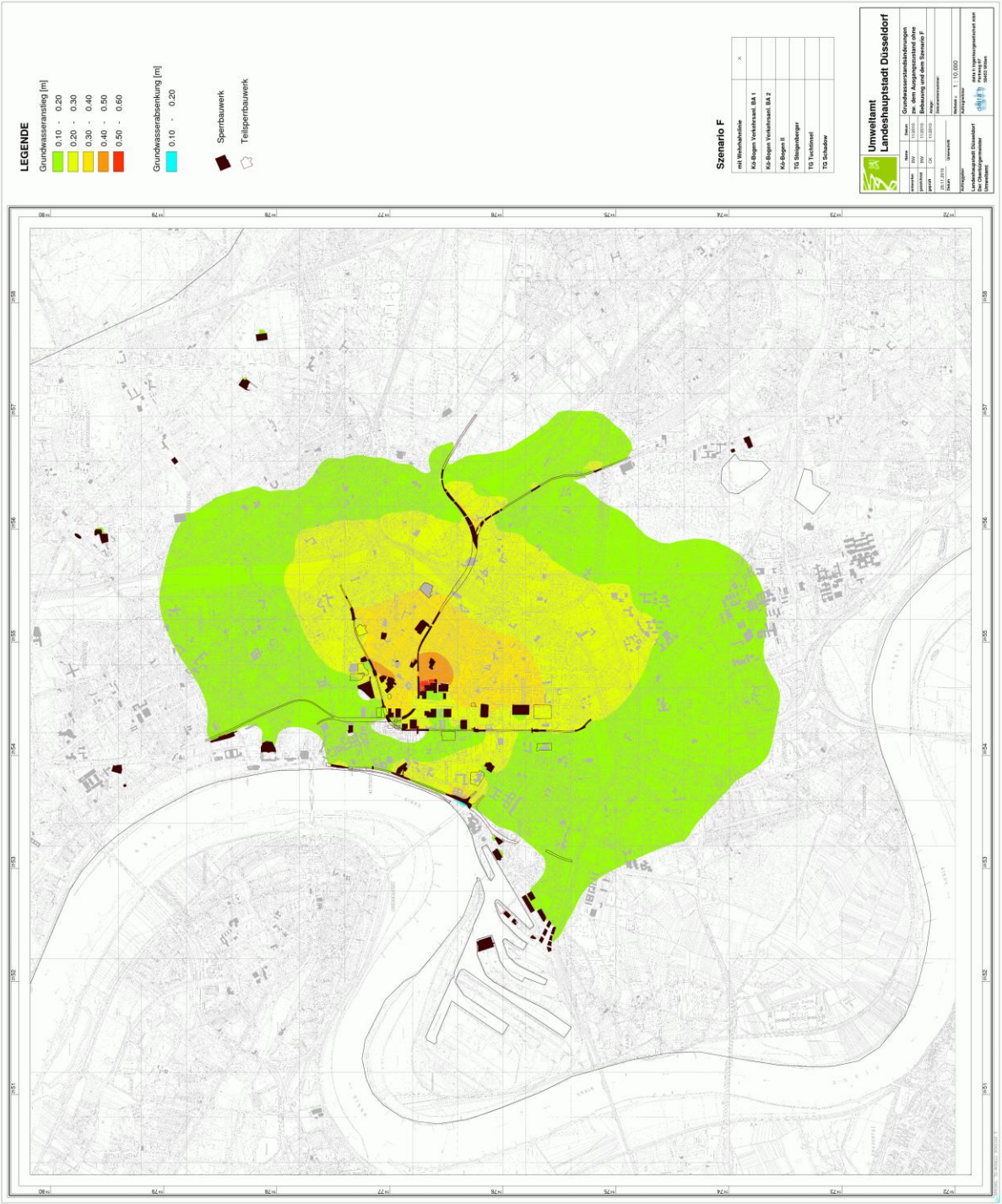


Abb. 10: Grundwasserstandsänderung bei Situation F

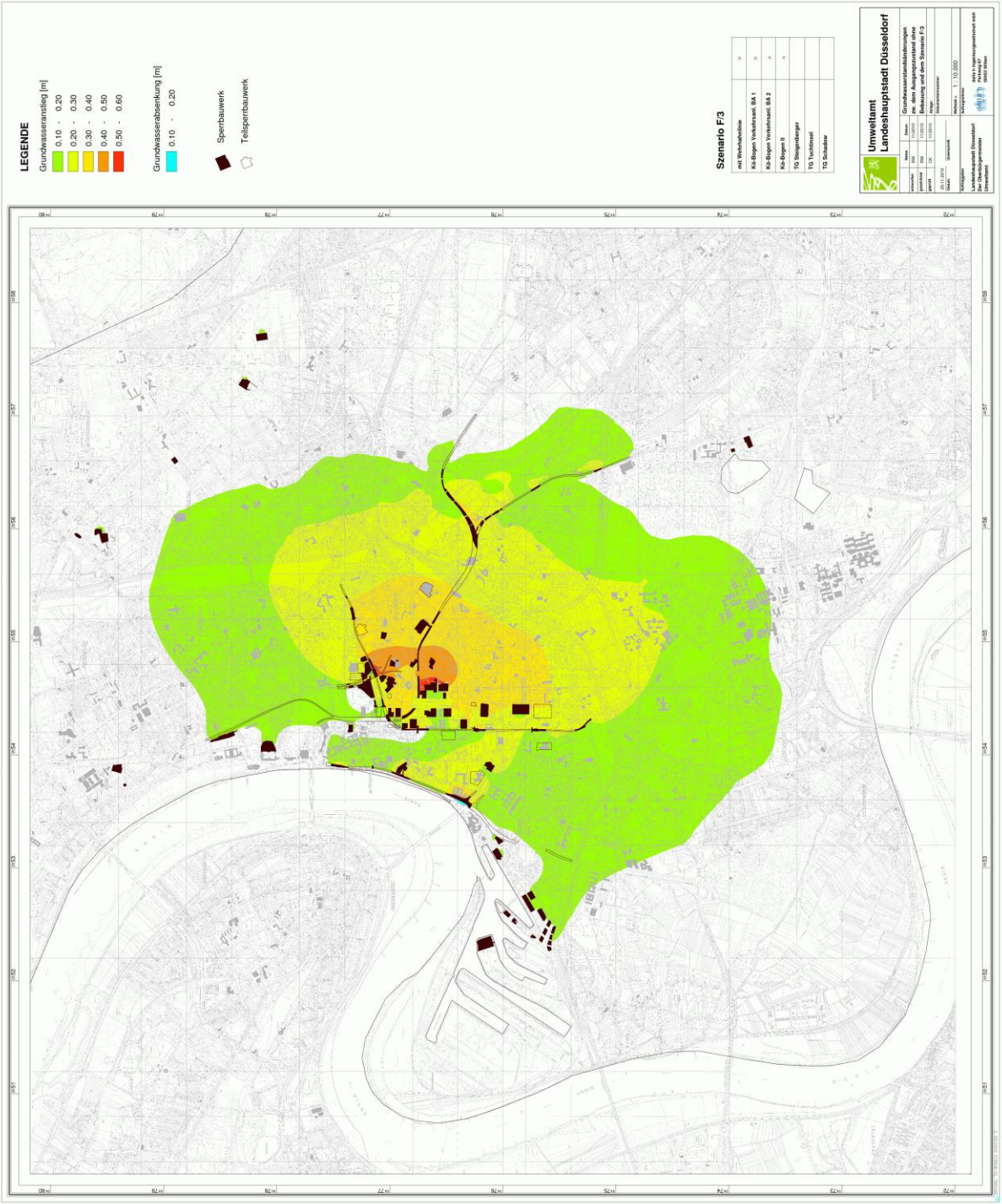


Abb. 11: Grundwasserstandsänderung bei Situation F3

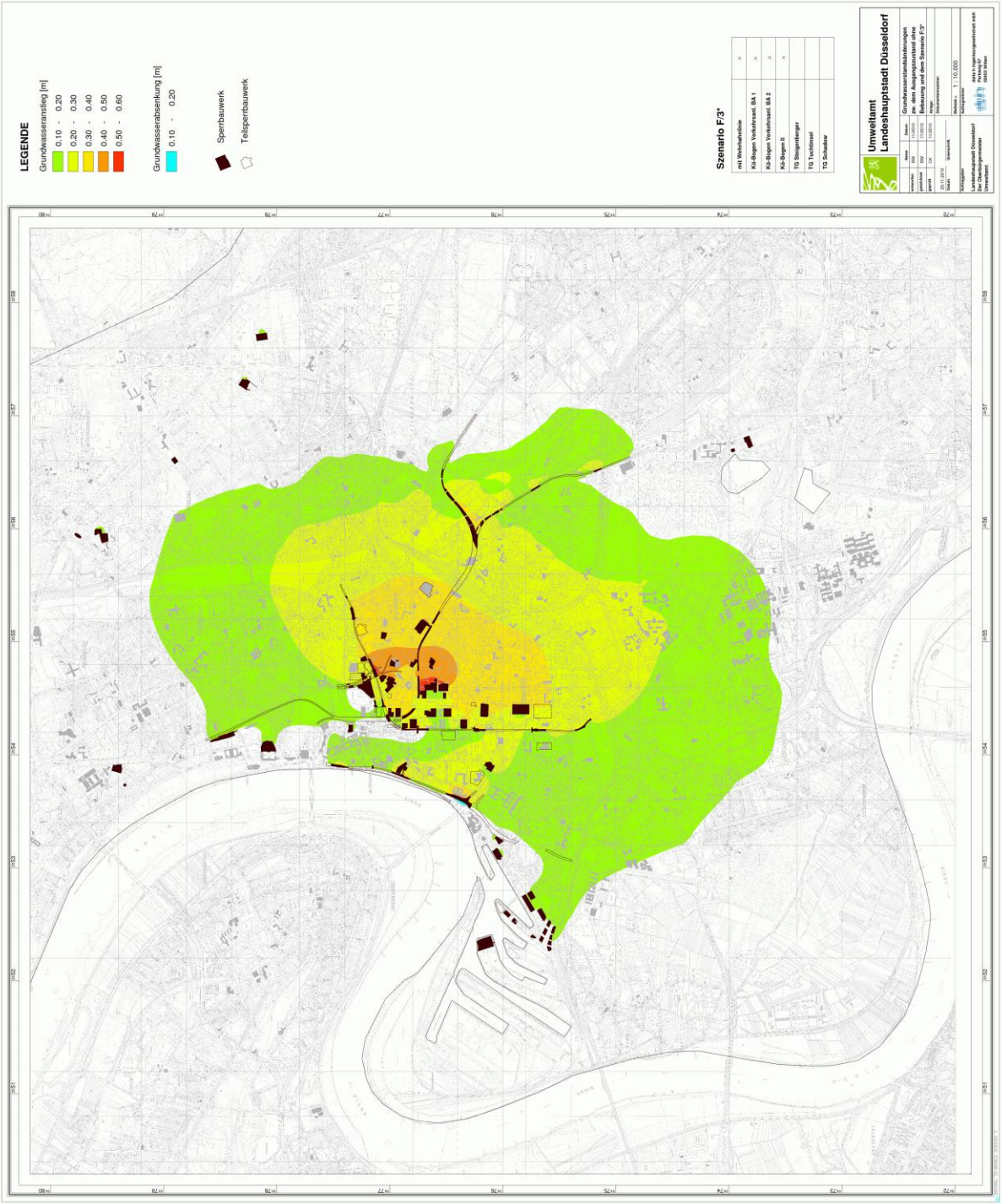


*Abb. 12: Grundwasserstandsänderung bei Situation F3**

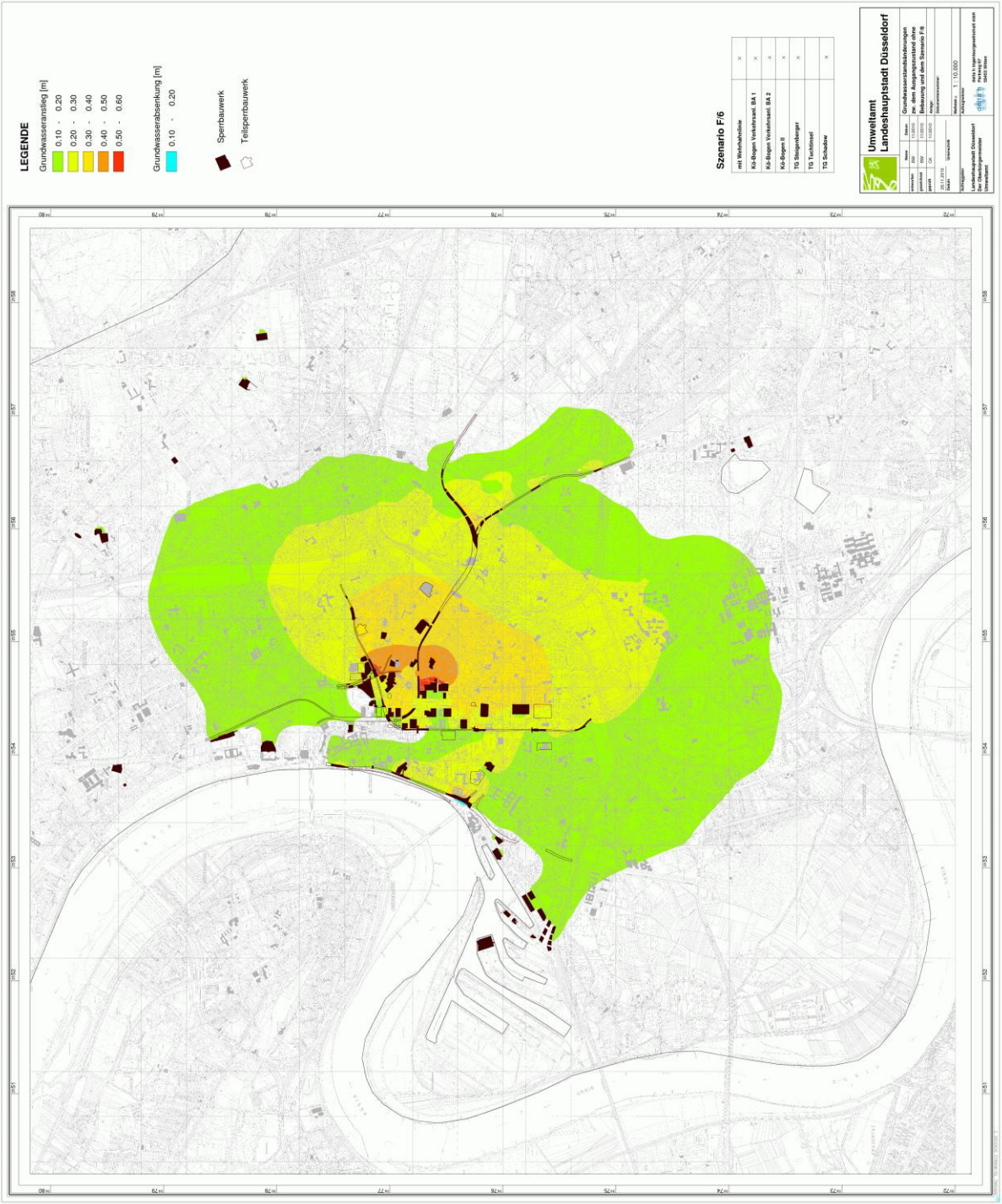


Abb. 13: Grundwasserstandsänderung bei Situation F6

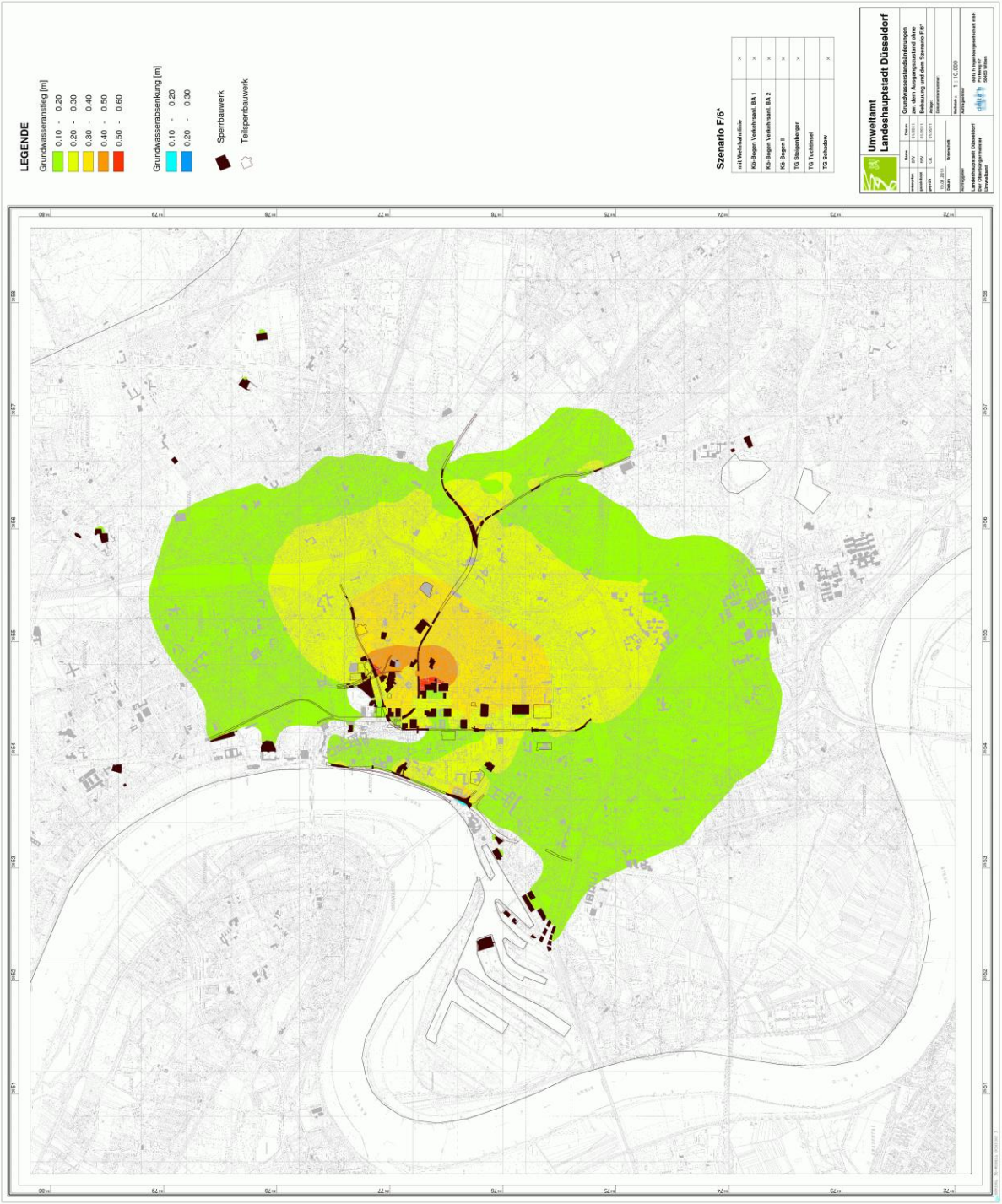


*Abb. 14: Grundwasserstandsänderung bei Situation F6**

4.2 Geschwindigkeitsänderung

Durch ein voll- bzw. teilsperrendes Bauwerk ändert sich die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers. In den folgenden Abbildungen (Abb. 15 bis Abb. 25) sind für die einzelnen Situationen die Geschwindigkeitsänderungen ausgewiesen. Es erfolgte eine Auswertung für die Klassifizierung höhere Geschwindigkeiten, geringere Geschwindigkeiten und Geschwindigkeitsänderung < 5%.

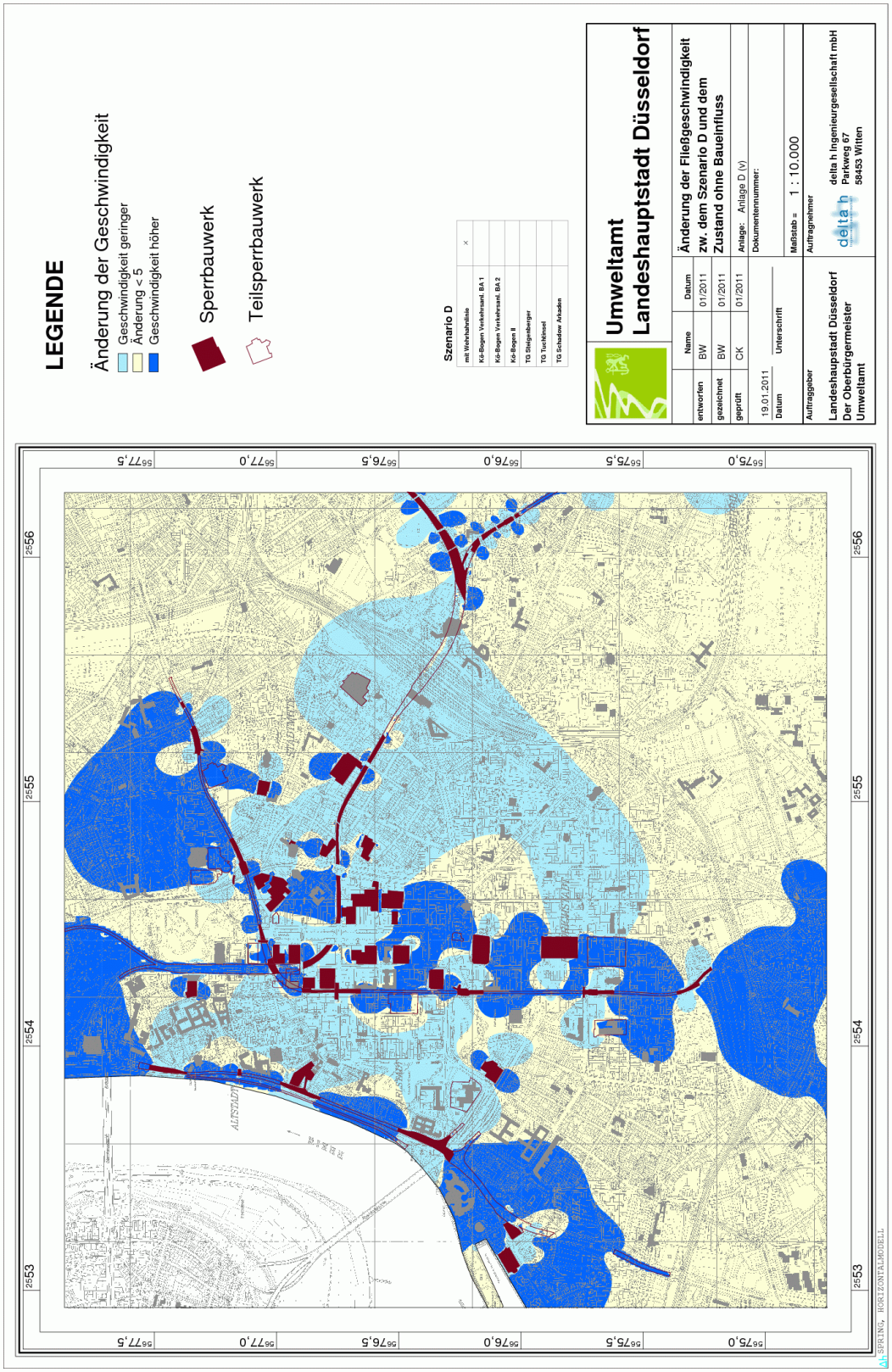


Abb. 15: Geschwindigkeitsänderung bei Situation D

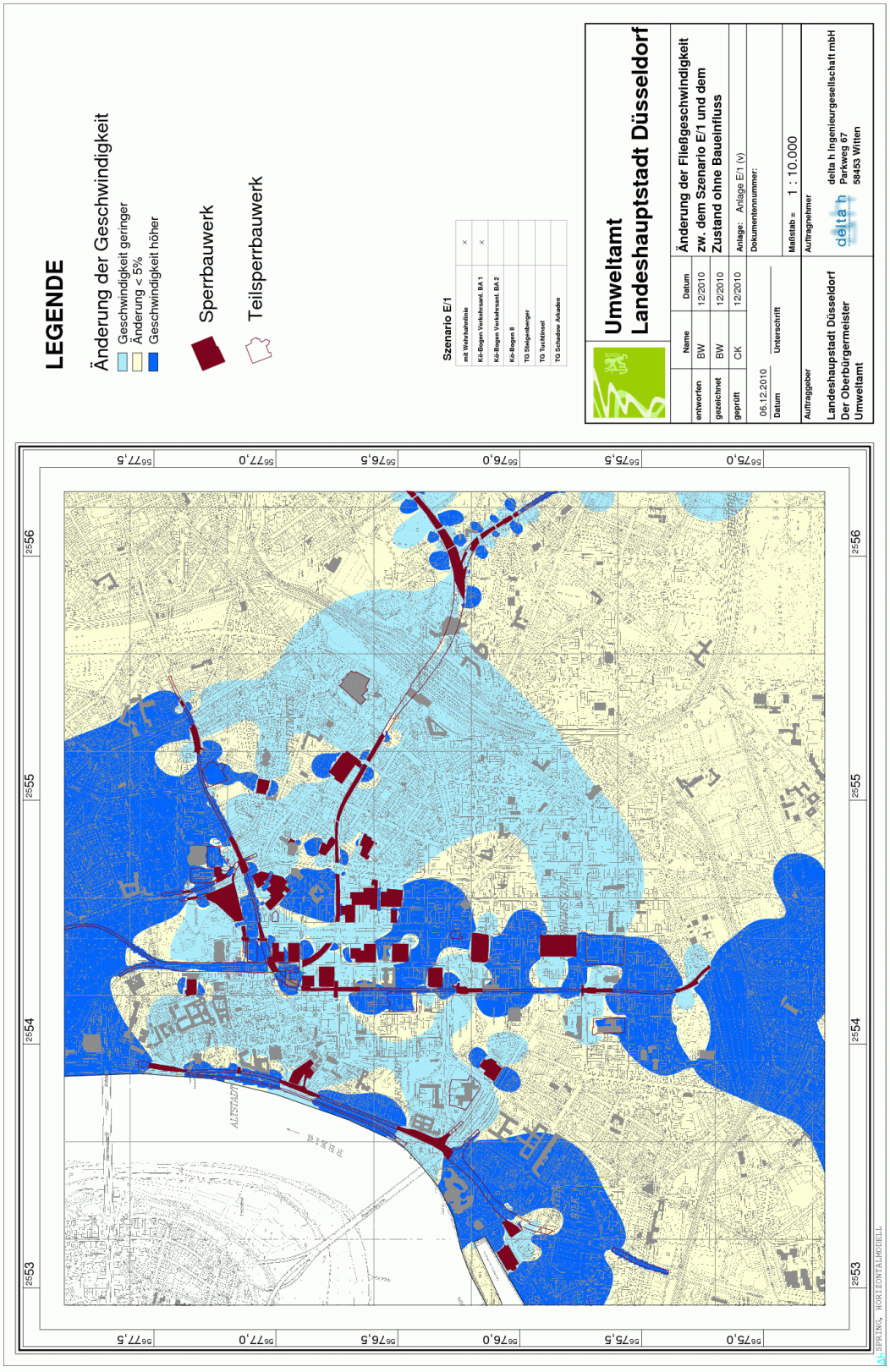


Abb. 16: Geschwindigkeitsänderung bei Situation E1

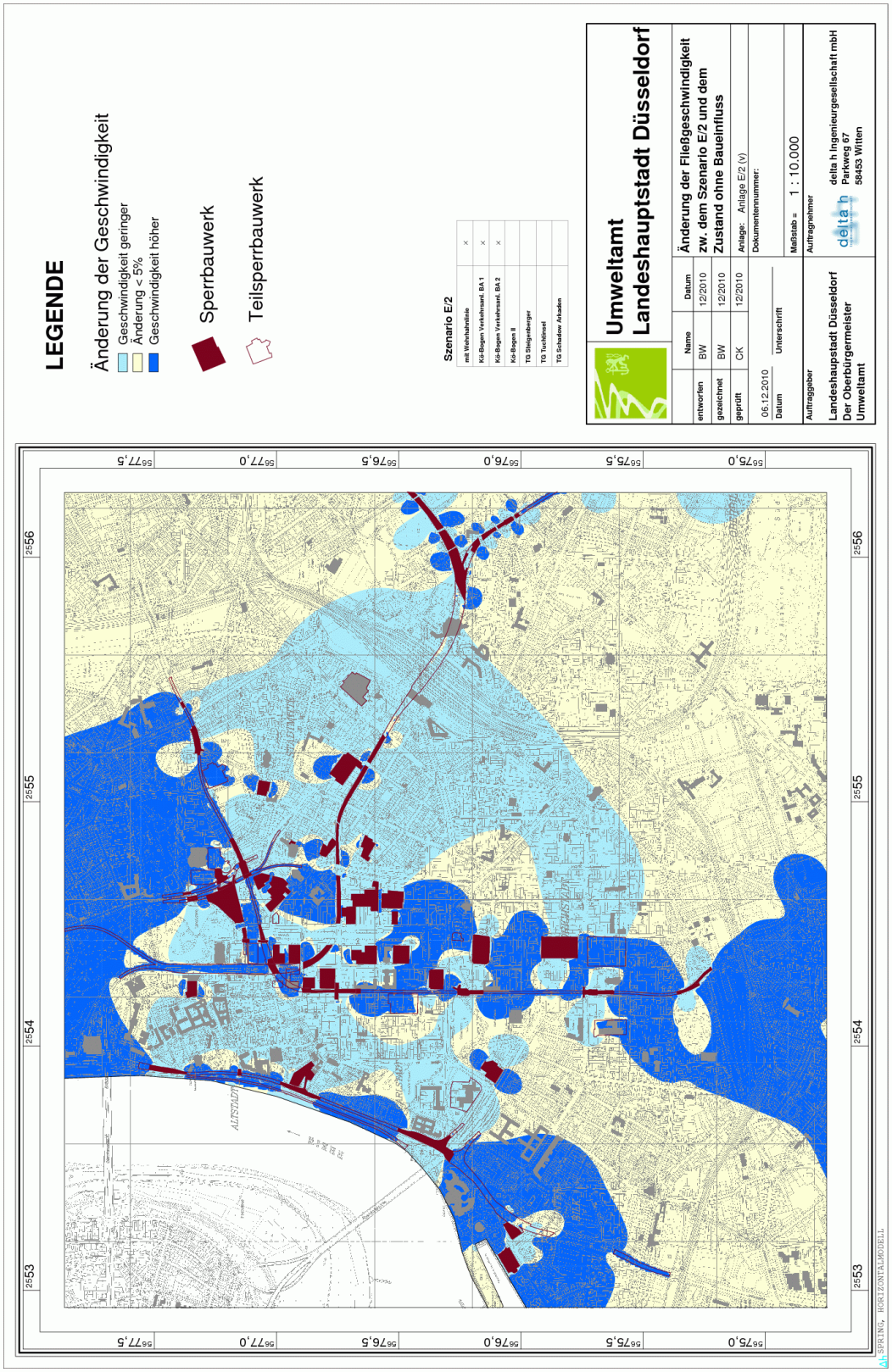


Abb. 17: Geschwindigkeitsänderung bei Situation E2

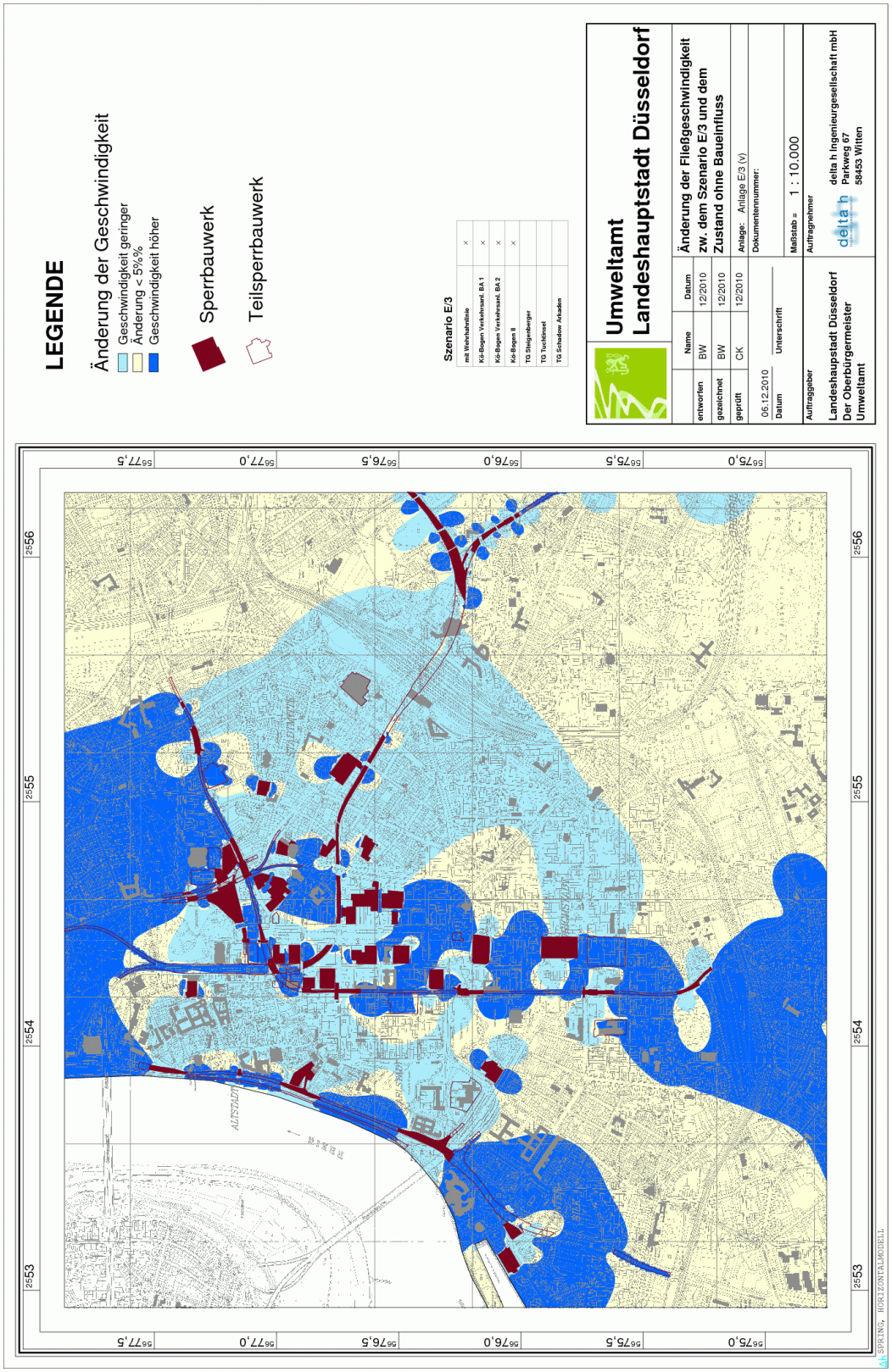


Abb. 18: Geschwindigkeitsänderung bei Situation E3

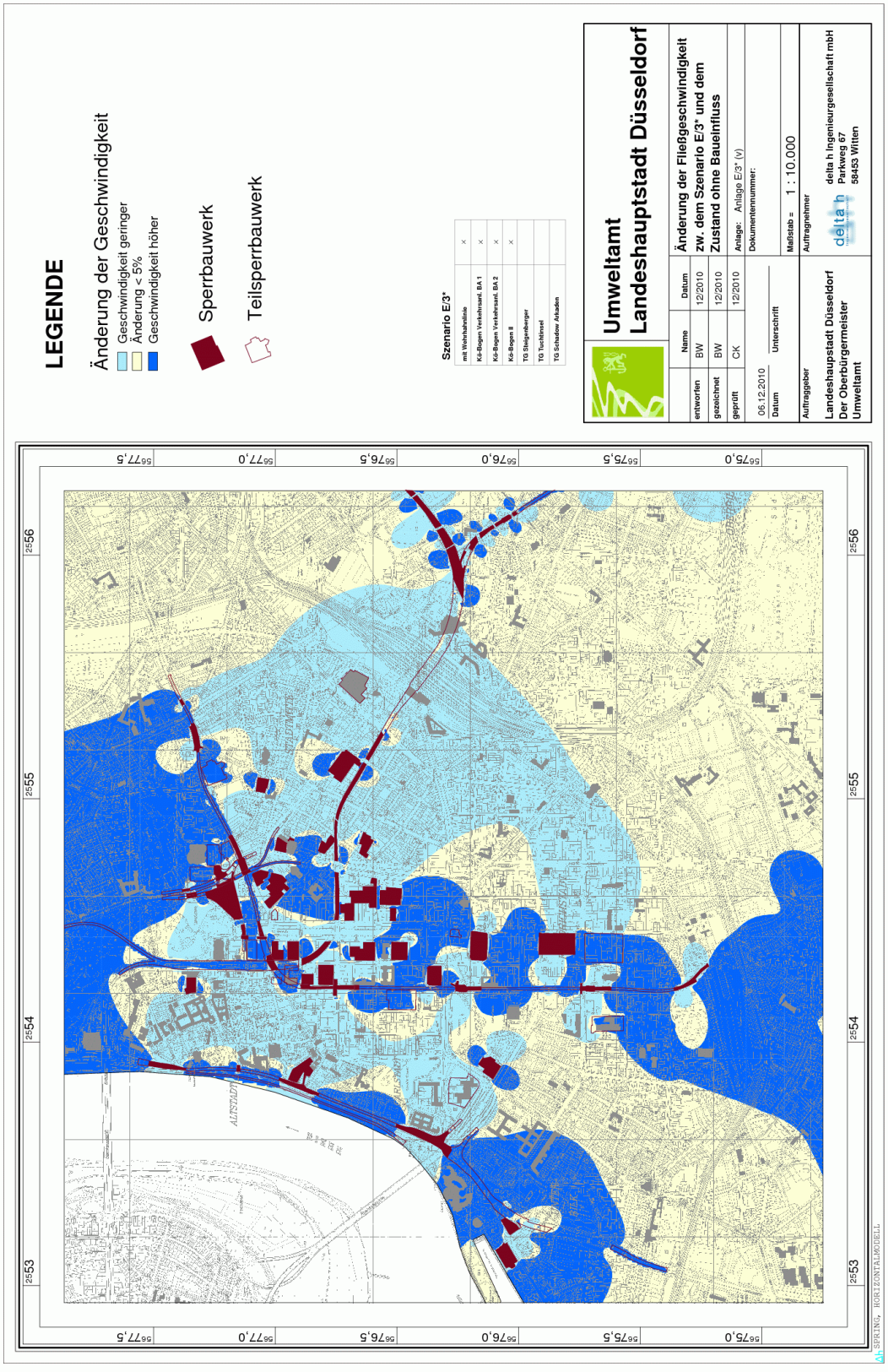


*Abb. 19: Geschwindigkeitsänderung bei Situation E3**

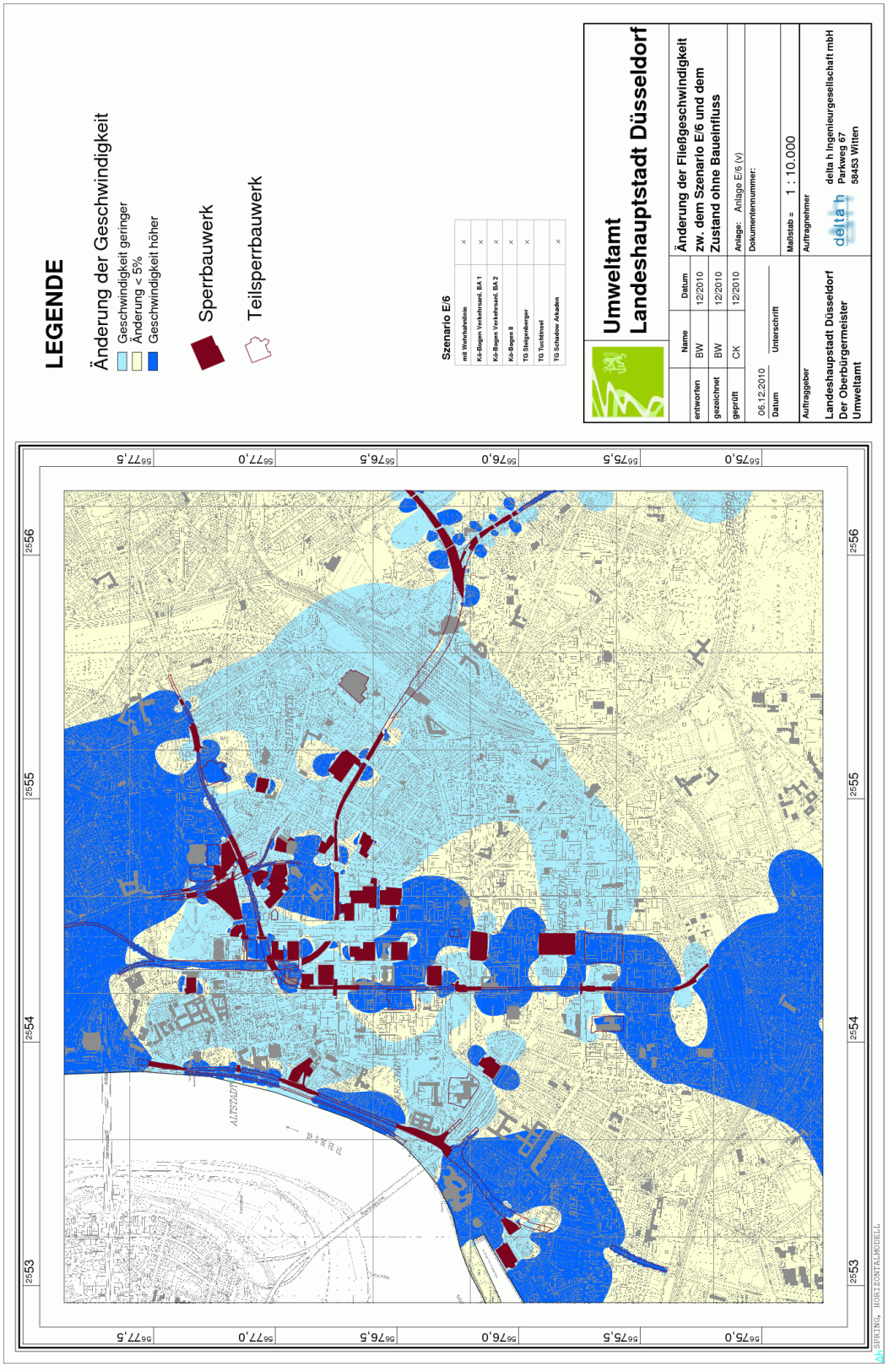


Abb. 20: Geschwindigkeitsänderung bei Situation E6

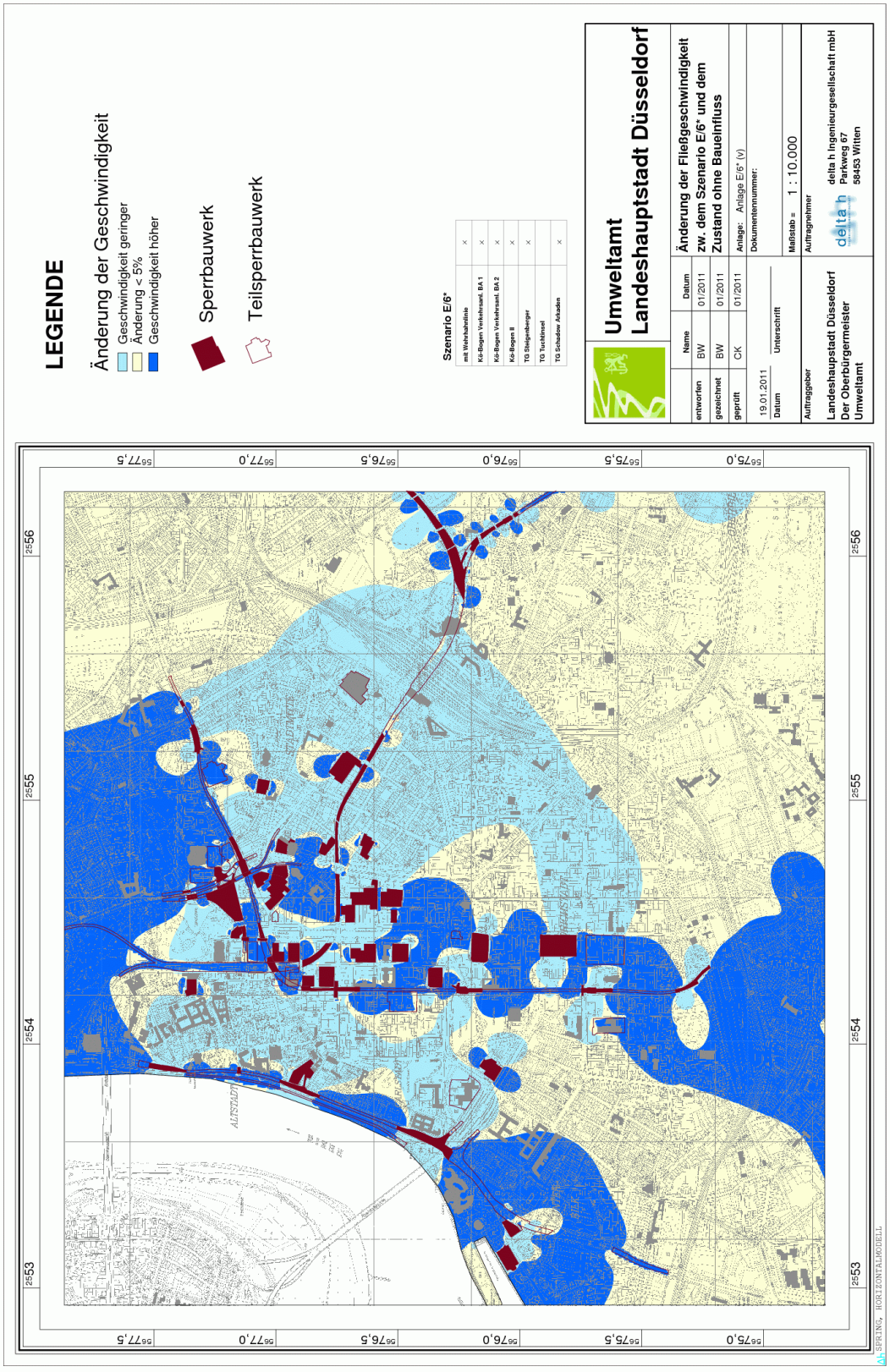


*Abb. 21: Geschwindigkeitsänderung bei Situation E6**

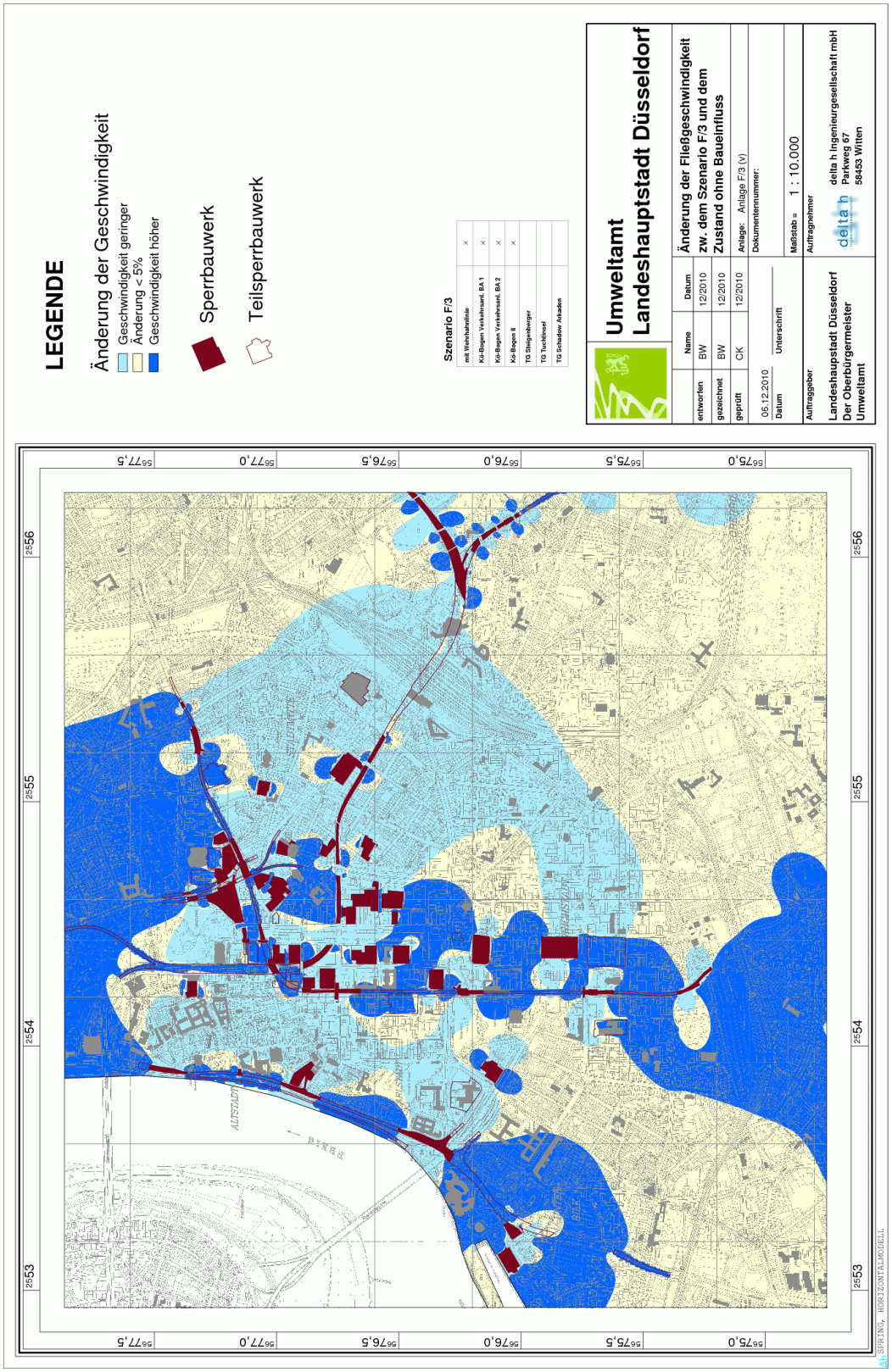


Abb. 22: Geschwindigkeitsänderung bei Situation F3

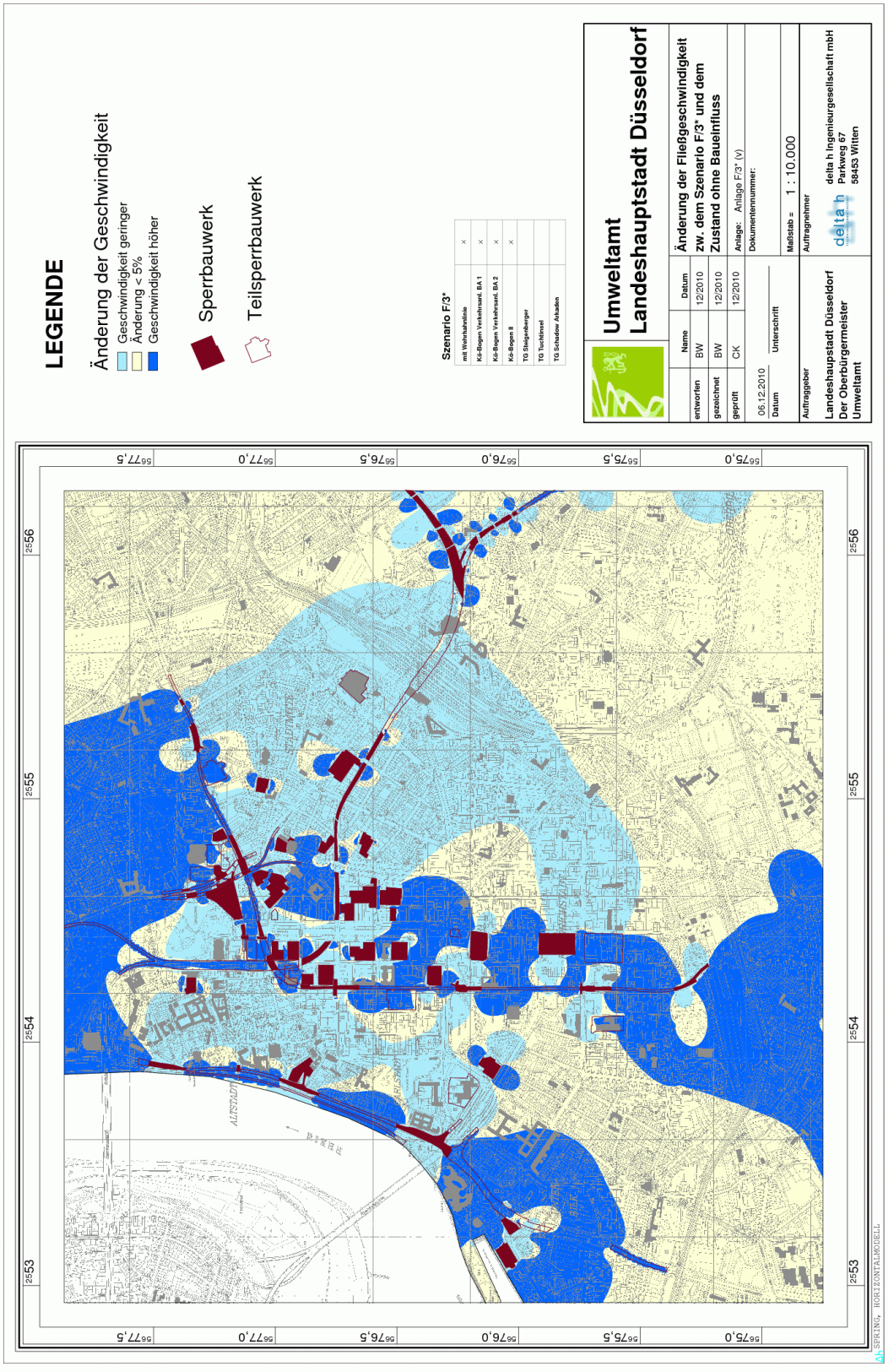


*Abb. 23: Geschwindigkeitsänderung bei Situation F3**

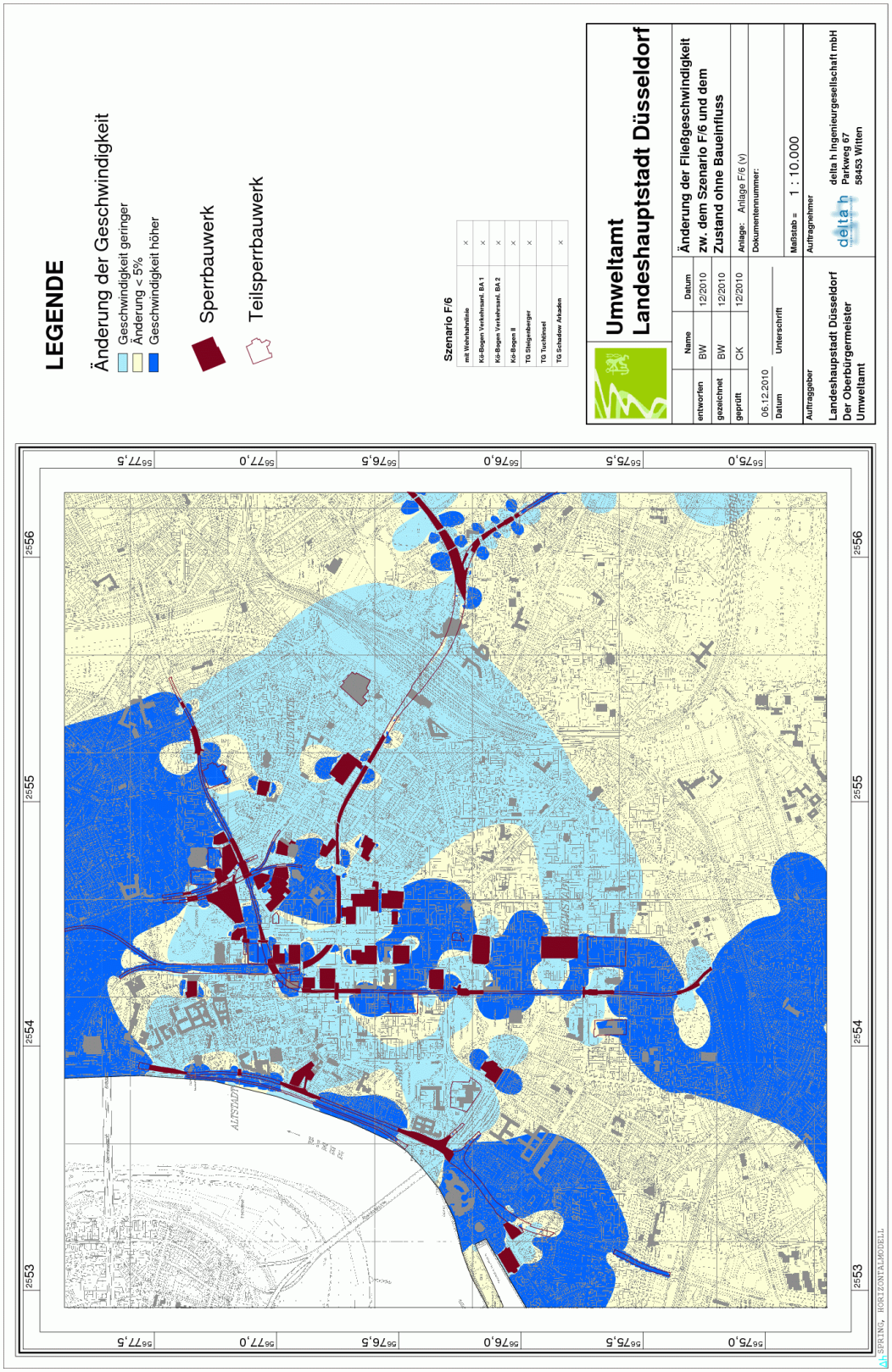


Abb. 24: Geschwindigkeitsänderung bei Situation F6

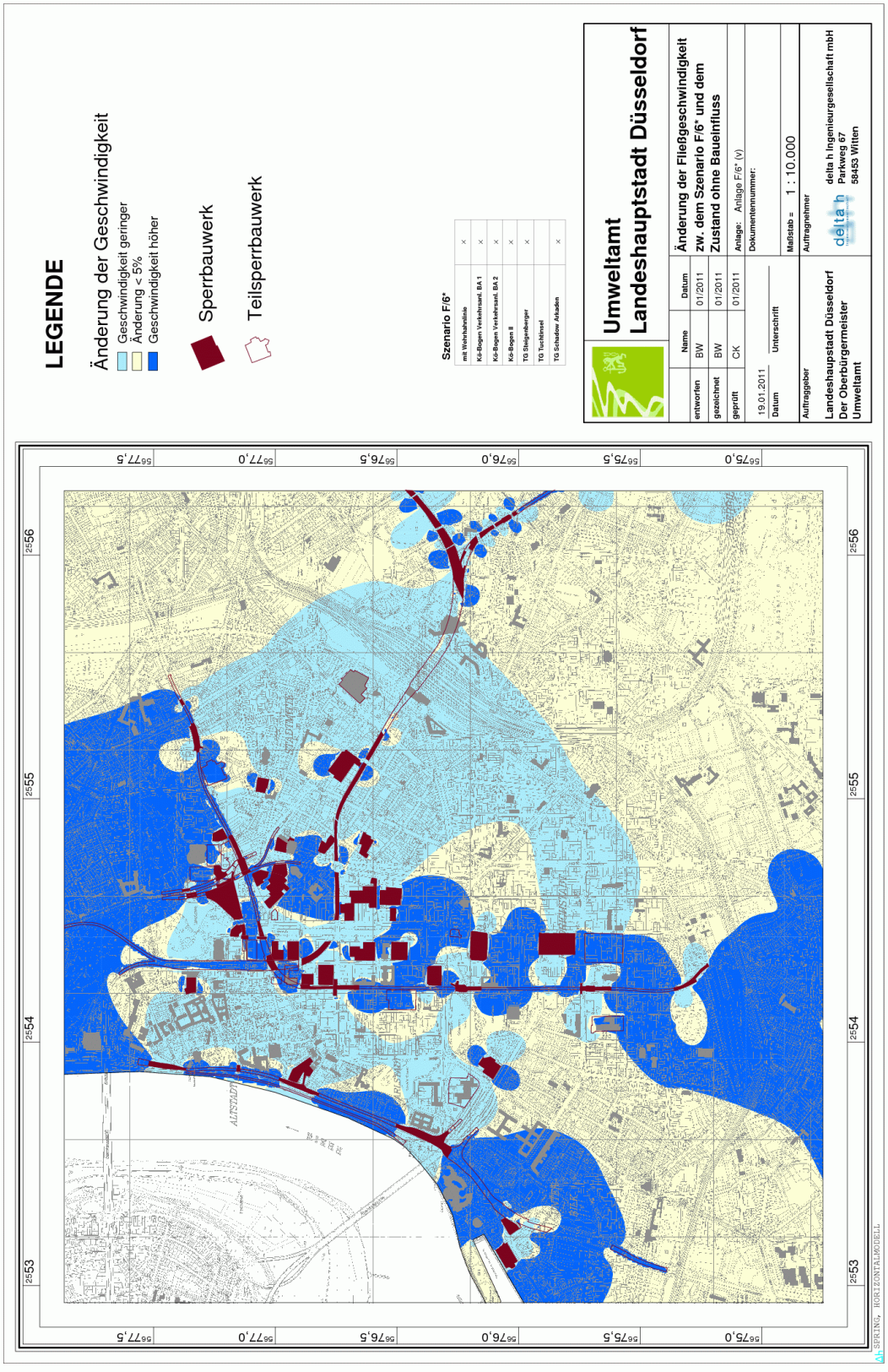


*Abb. 25: Geschwindigkeitsänderung bei Situation F6**

4.3 Stromlinienberechnung

Um die Auswirkungen auf eine Fließrichtungsänderung infolge eines voll- bzw. teilsperrenden Bauwerks zu visualisieren, wurden zum einen Stromlinienberechnungen durchgeführt und zum anderen eine Auswertung der Winkeländerung der Geschwindigkeiten (siehe Kapitel 4.4) vorgenommen. In den folgenden Abbildungen (Abb. 26 bis Abb. 36) sind die berechneten Stromlinien für die einzelnen Situationen dargestellt.

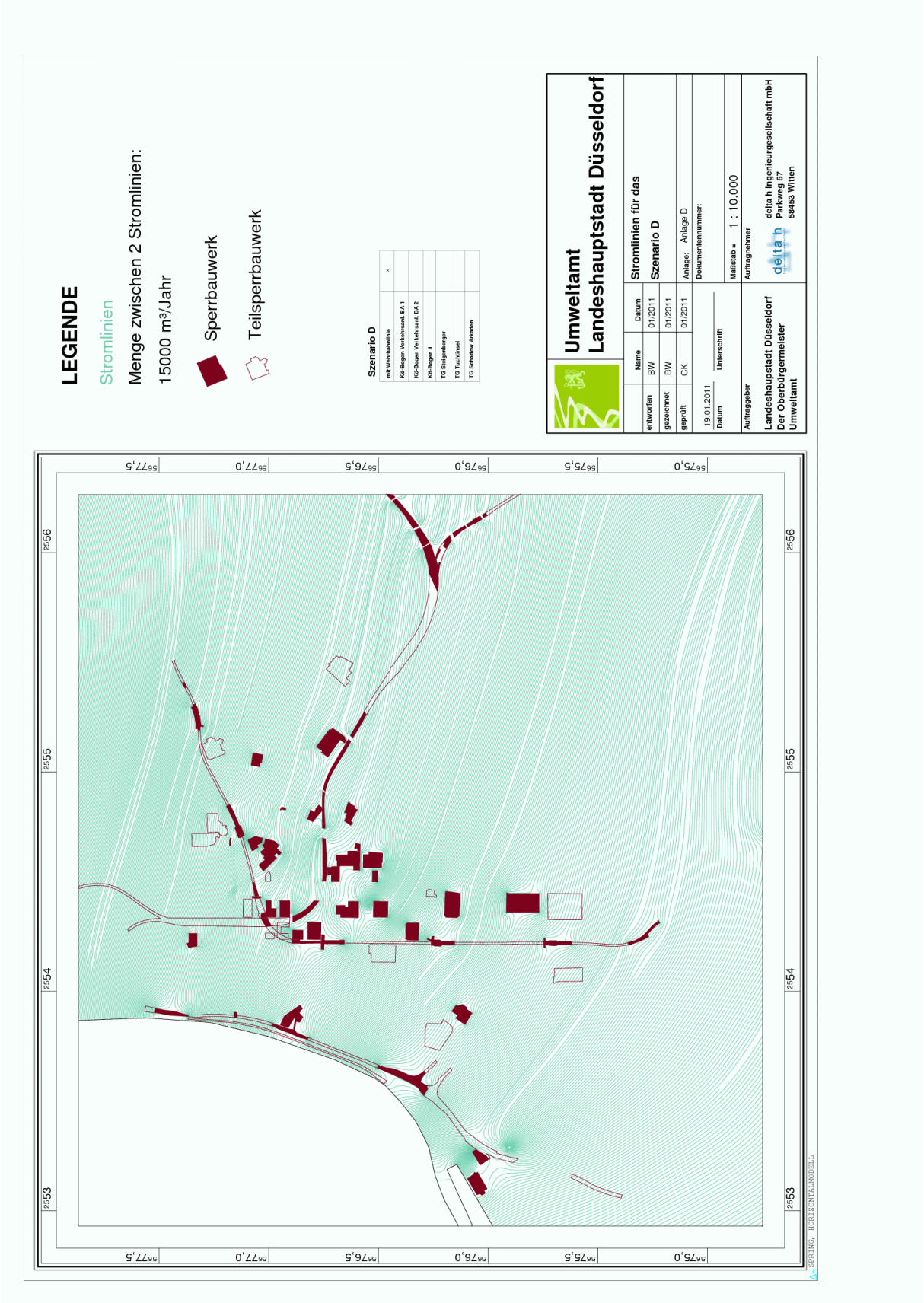


Abb. 26: Stromlinien bei Situation D

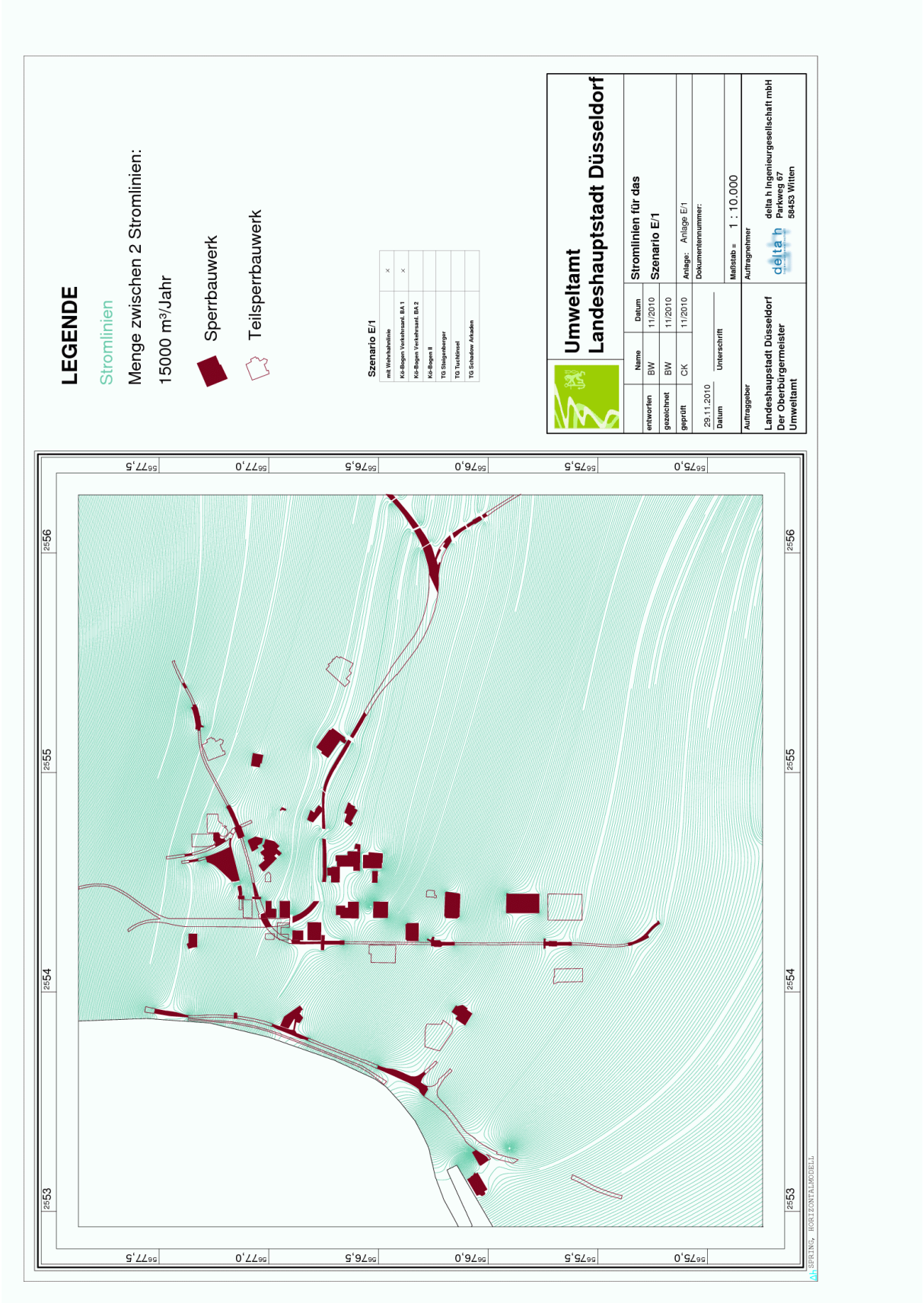


Abb. 27: Stromlinien bei Situation E1

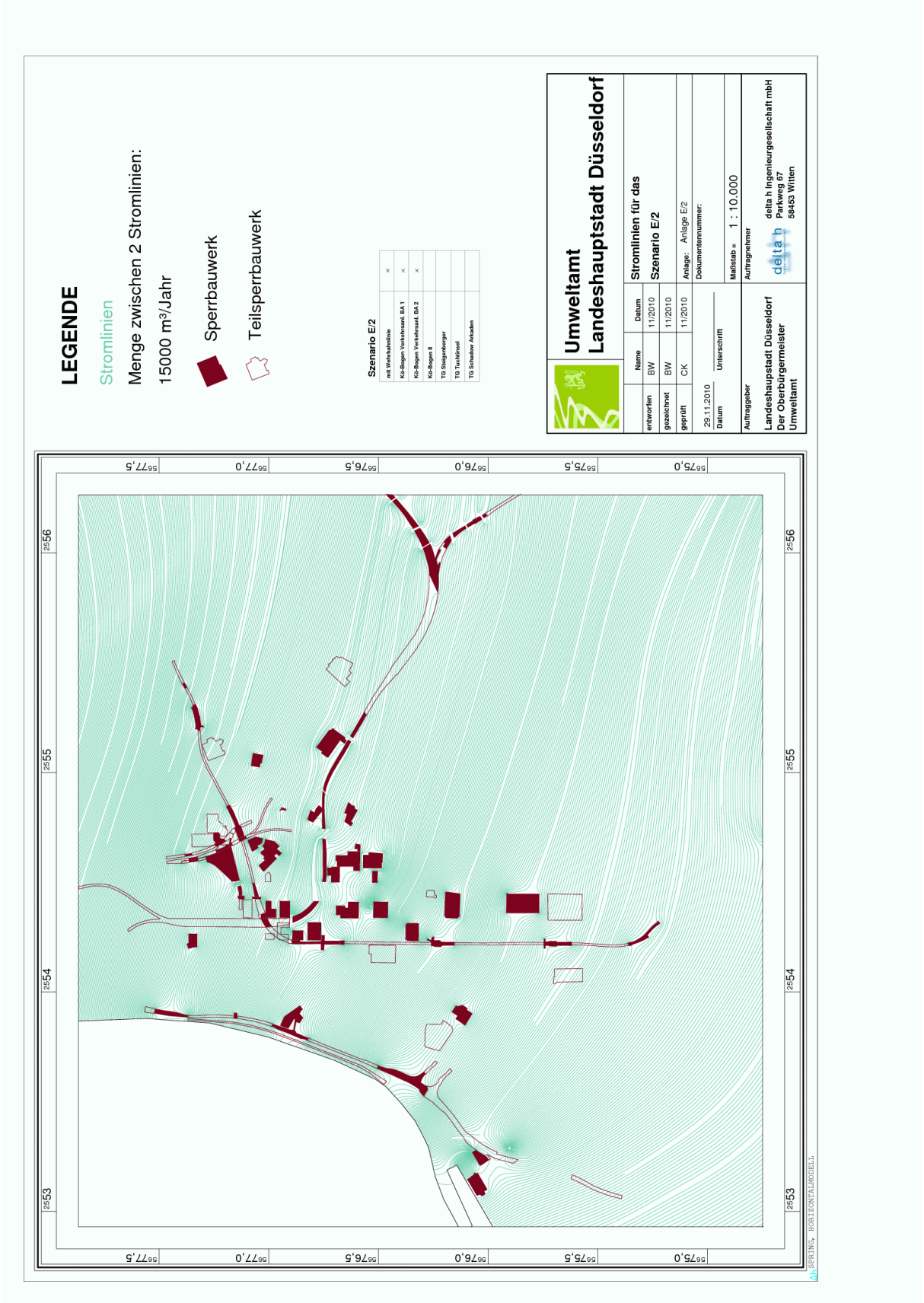


Abb. 28: Stromlinien bei Situation E2

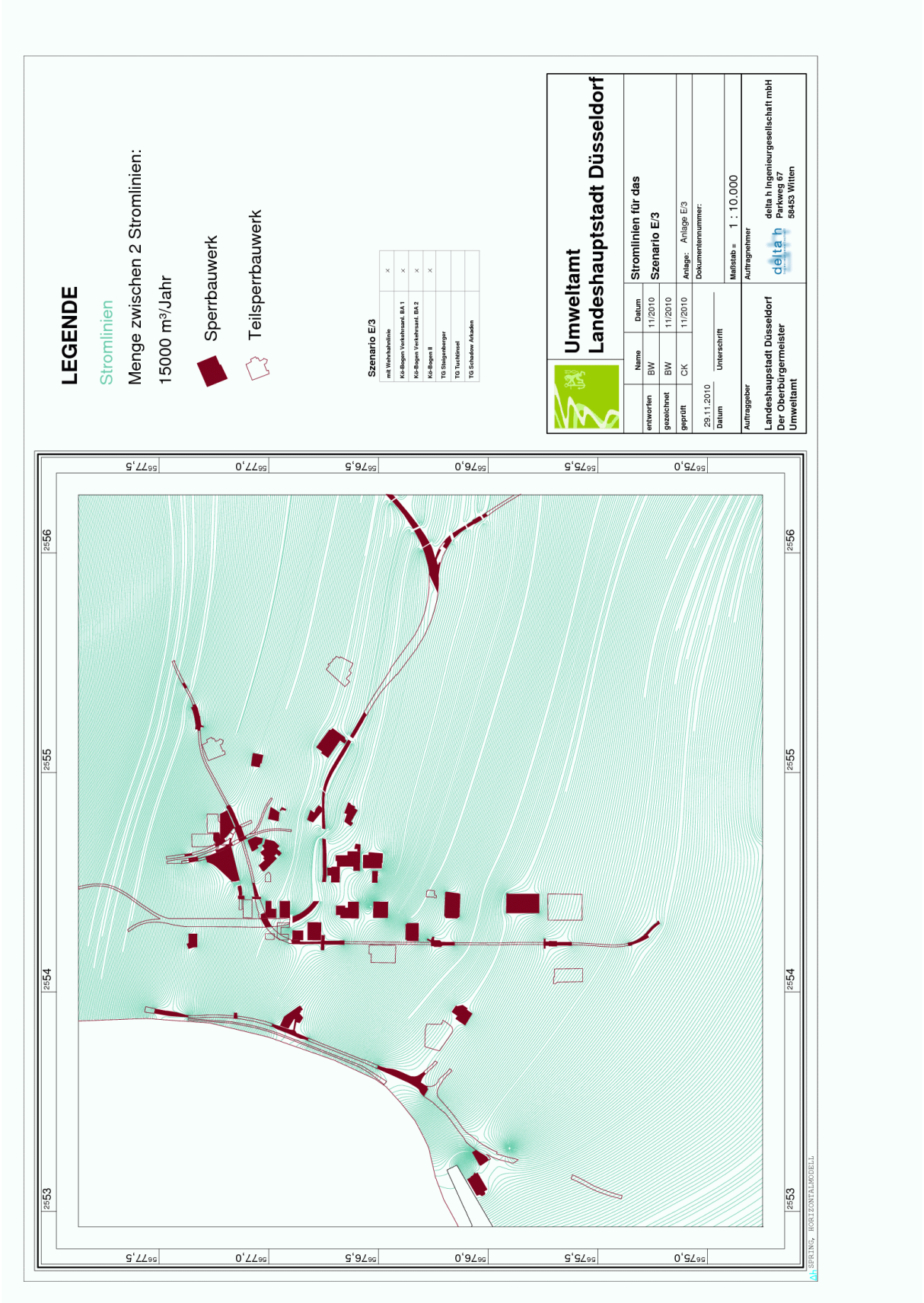


Abb. 29: Stromlinien bei Situation E3

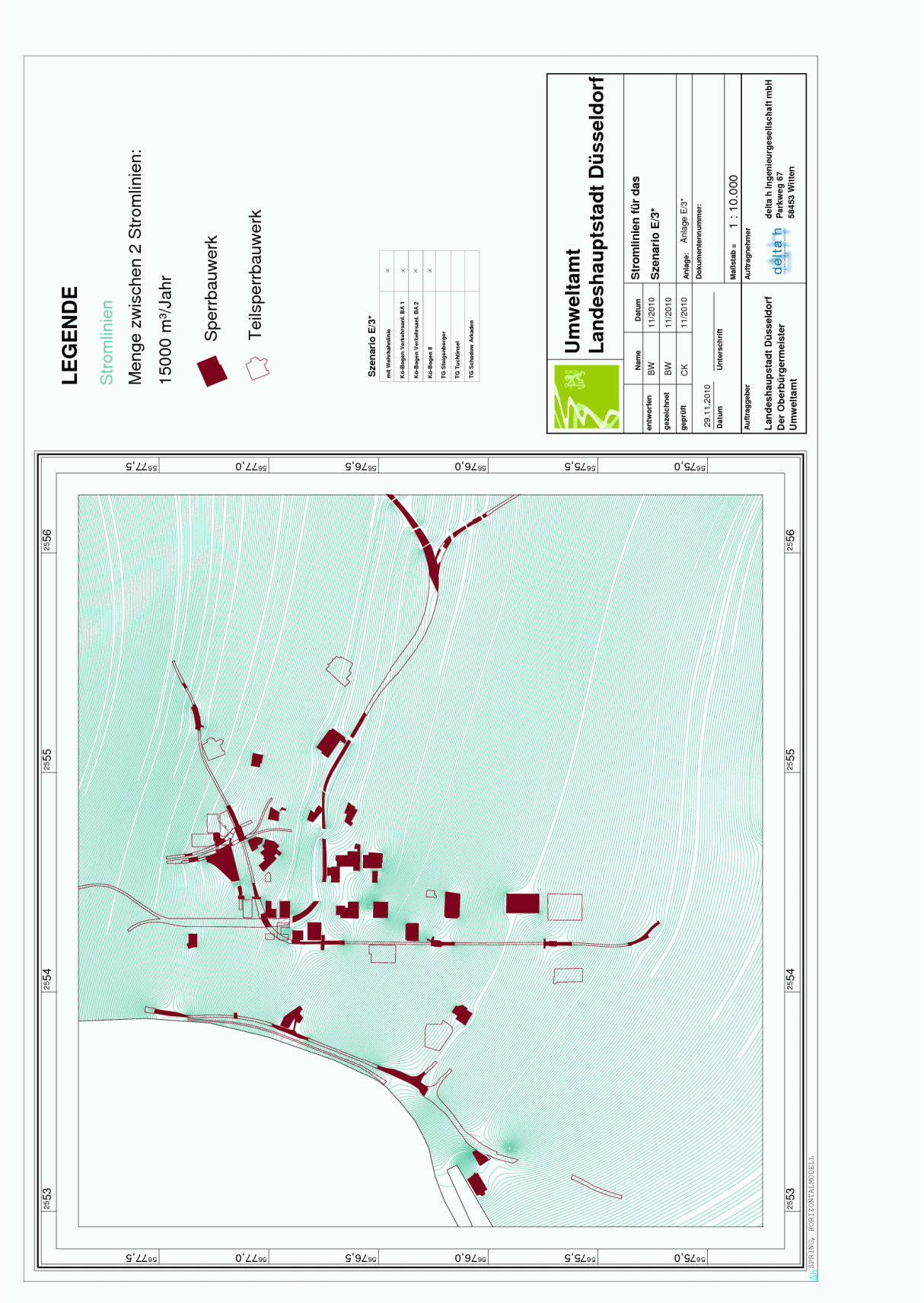


*Abb. 30: Stromlinien bei Situation E3**

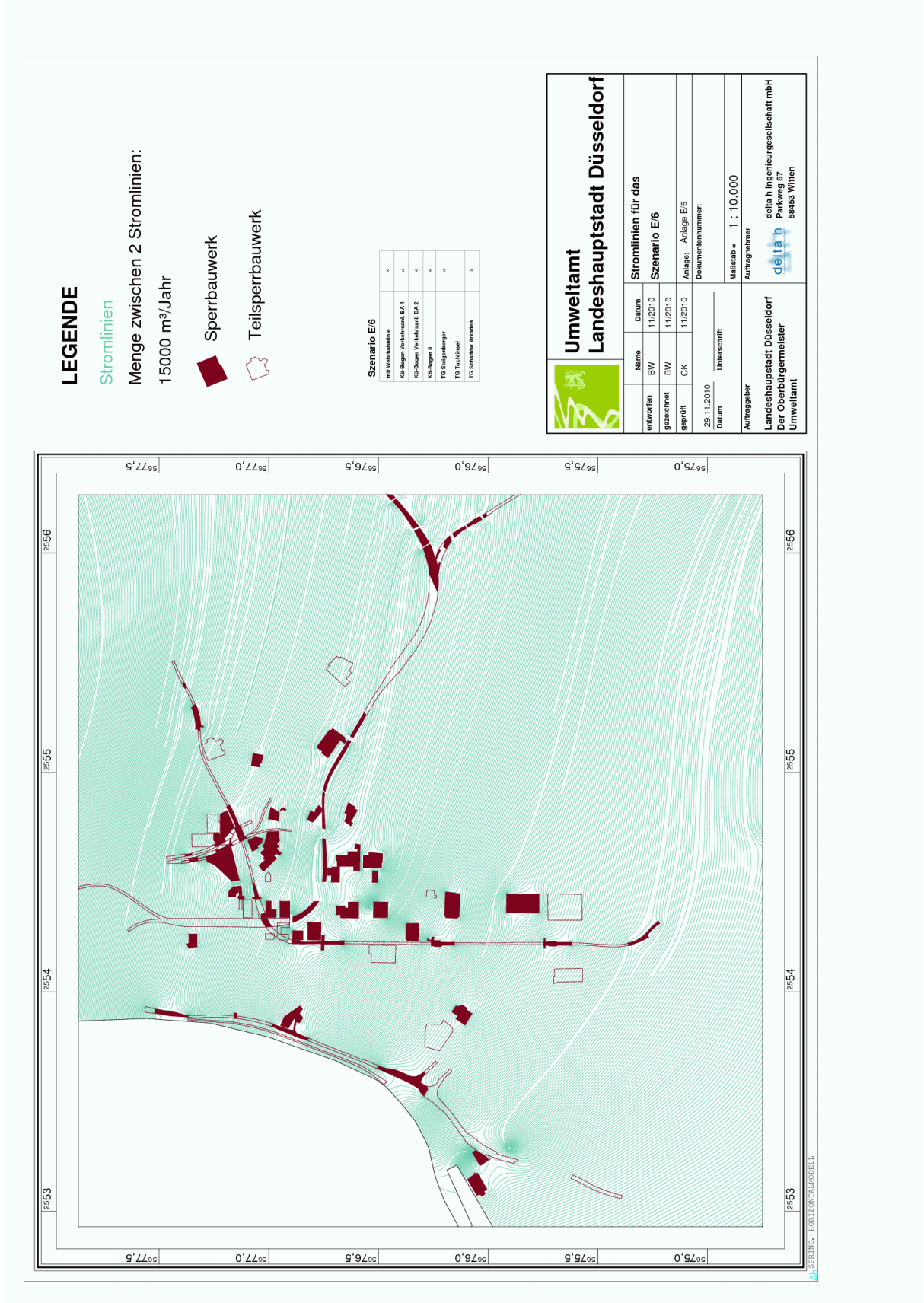


Abb. 31: Stromlinien bei Situation E6

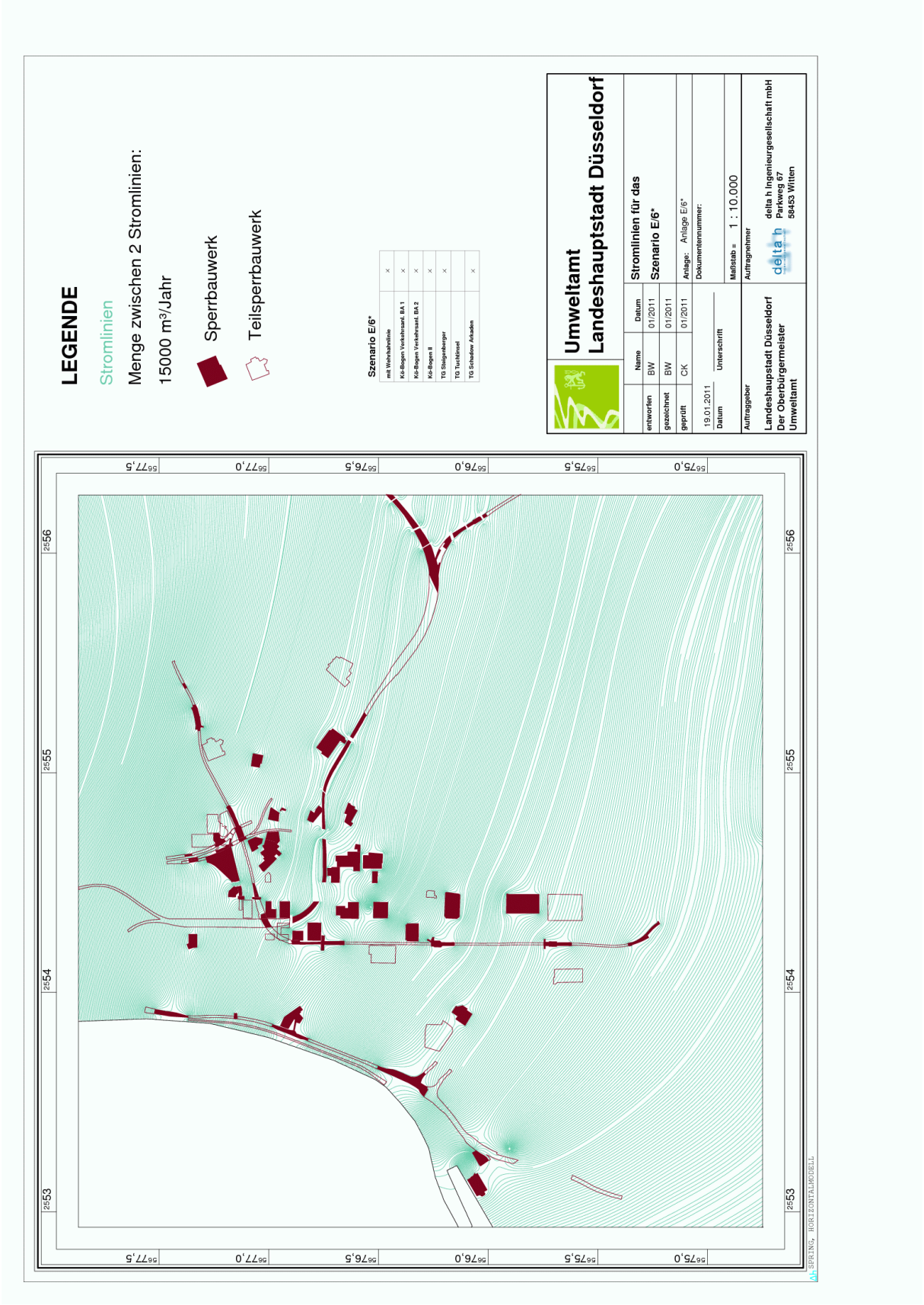


*Abb. 32: Stromlinien bei Situation E6**

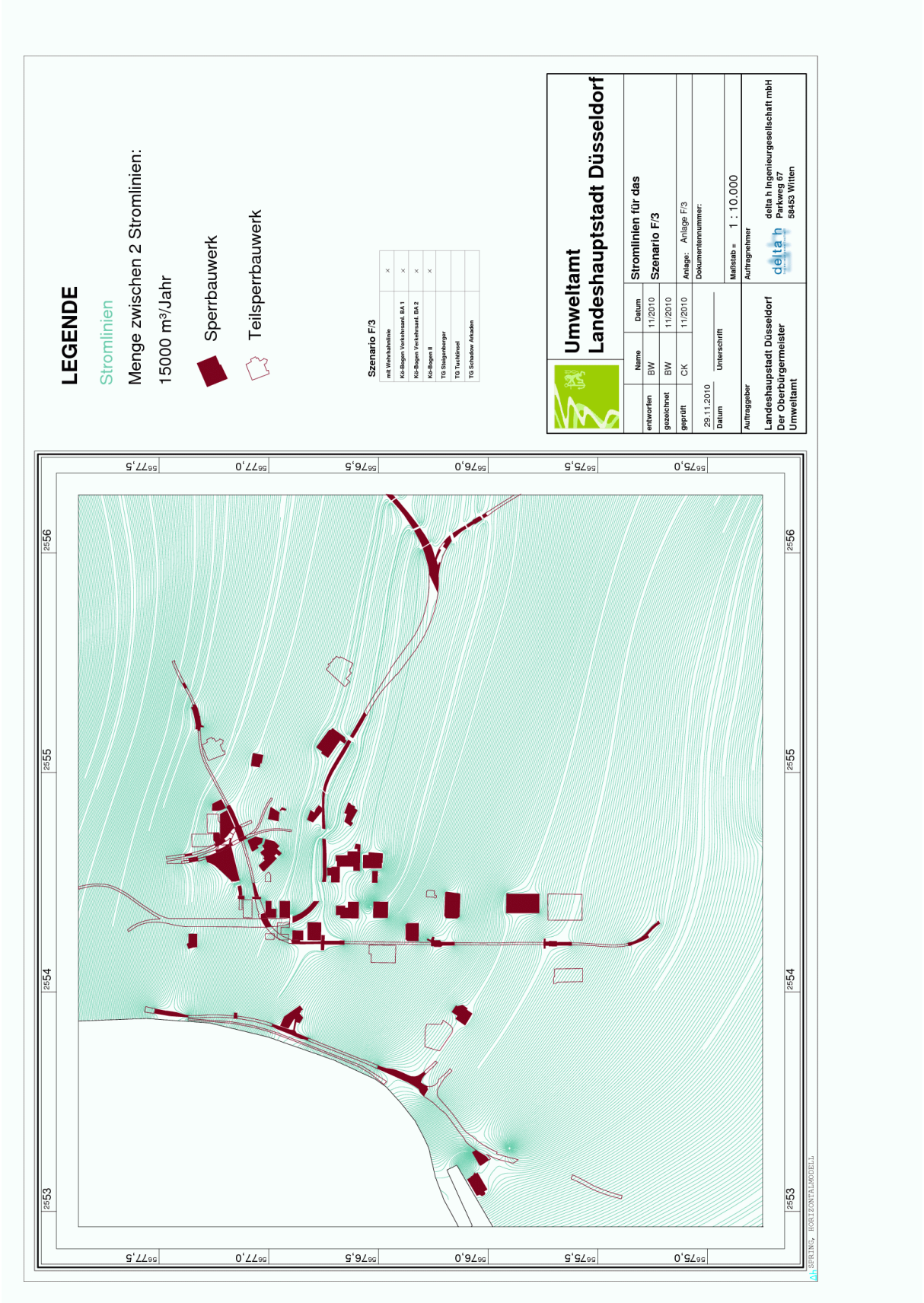


Abb. 33: Stromlinien bei Situation F3

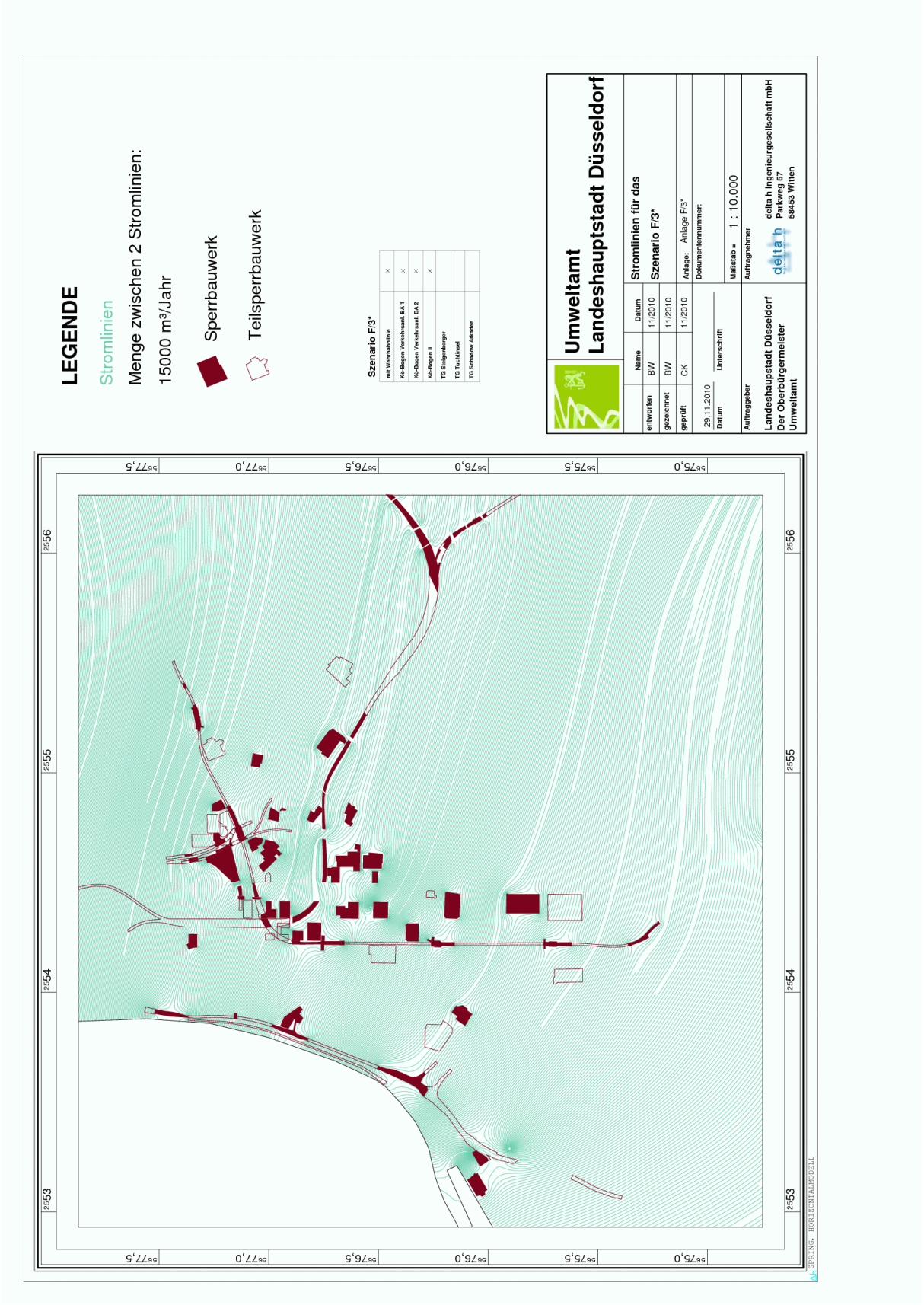


*Abb. 34: Stromlinien bei Situation F3**

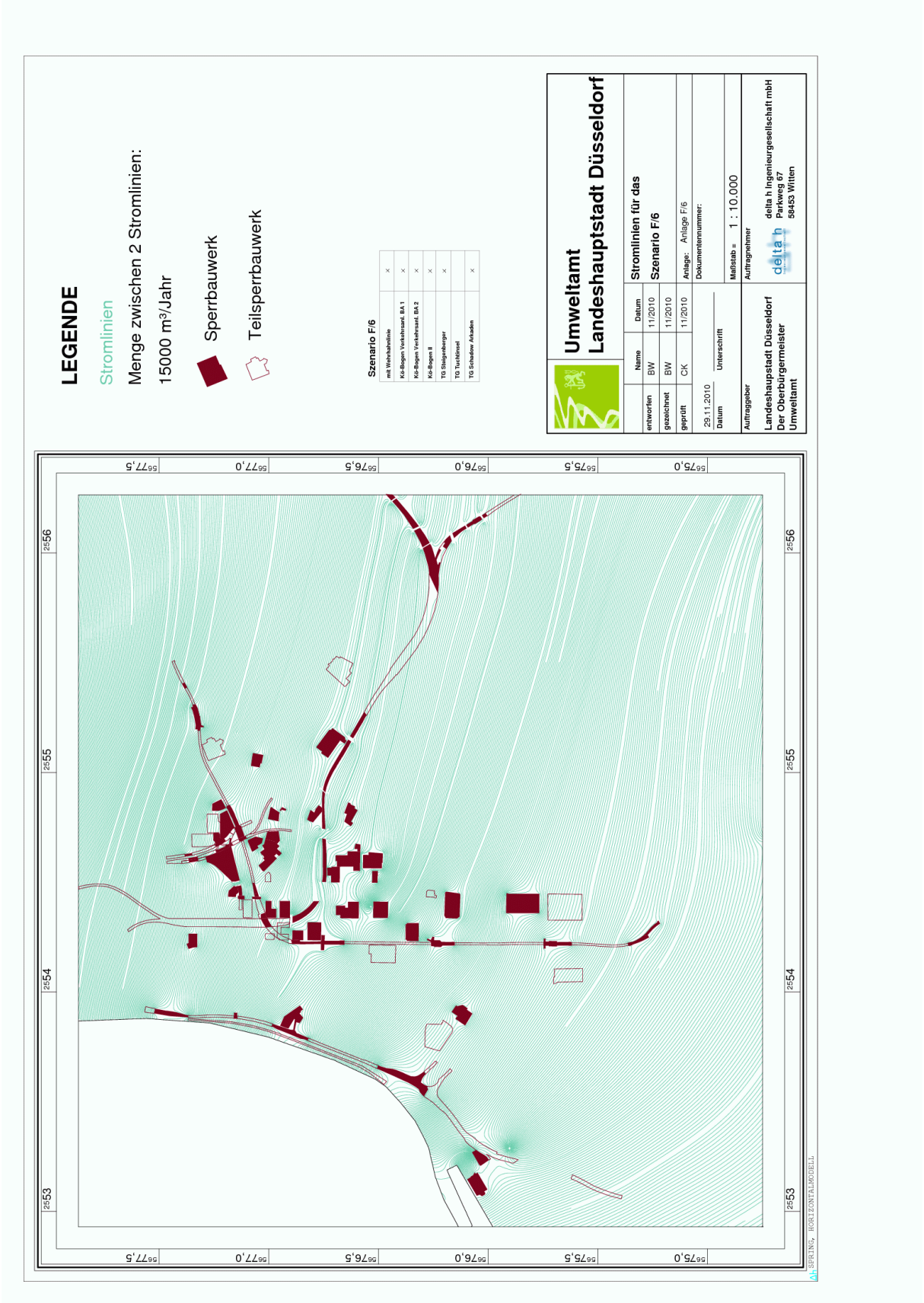


Abb. 35: Stromlinien bei Situation F6

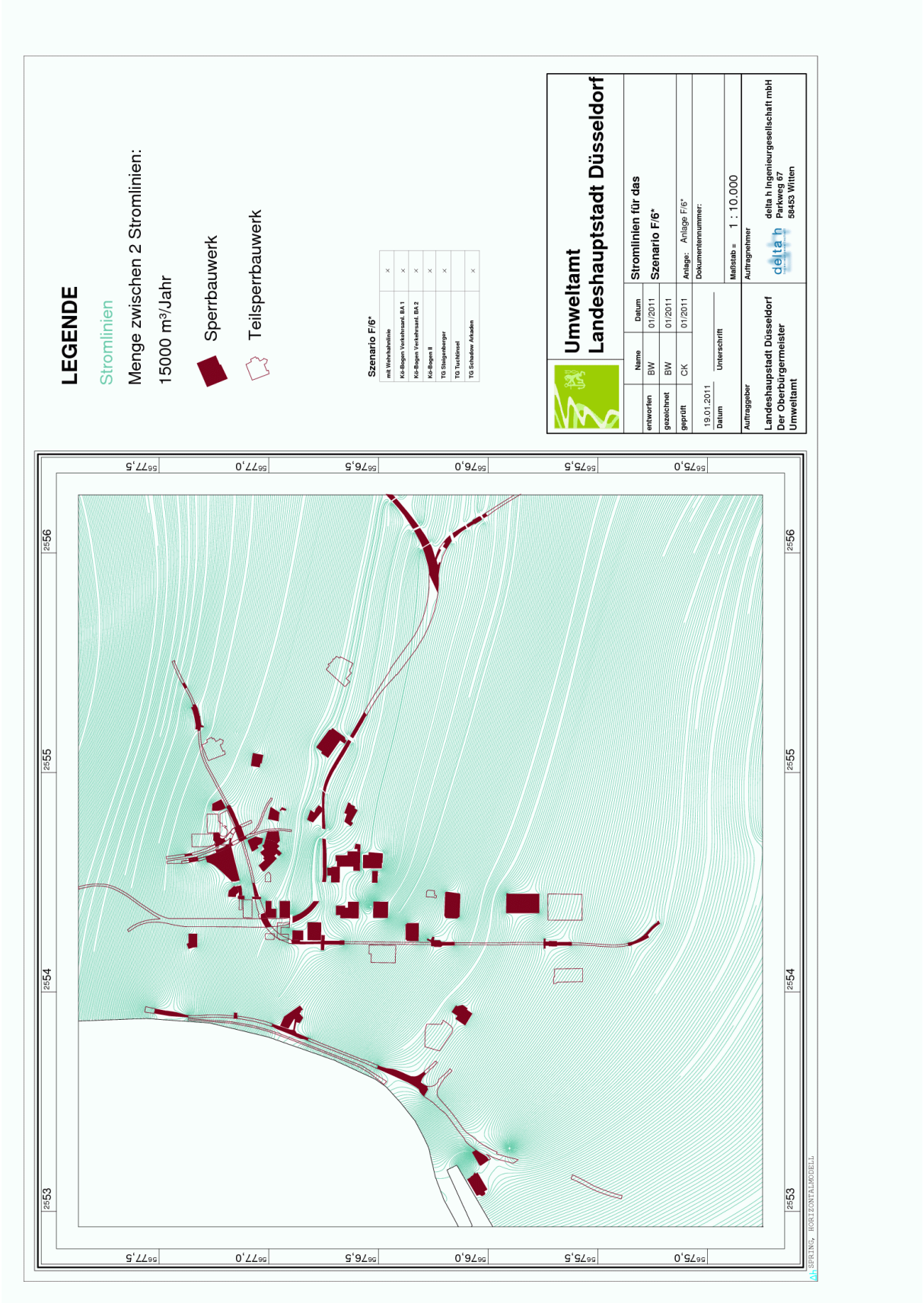


*Abb. 36: Stromlinien bei Situation F6**

4.4 Fließrichtungsänderung

Wie schon in Kapitel 4.3 erwähnt, erfolgte neben Stromlinienberechnungen auch eine Auswertung der Winkeländerung der berechneten Geschwindigkeiten. In den folgenden Abbildungen (Abb. 37 bis Abb. 47) sind die Winkeländerungen größer 10° für die verschiedenen Situationen dargestellt.

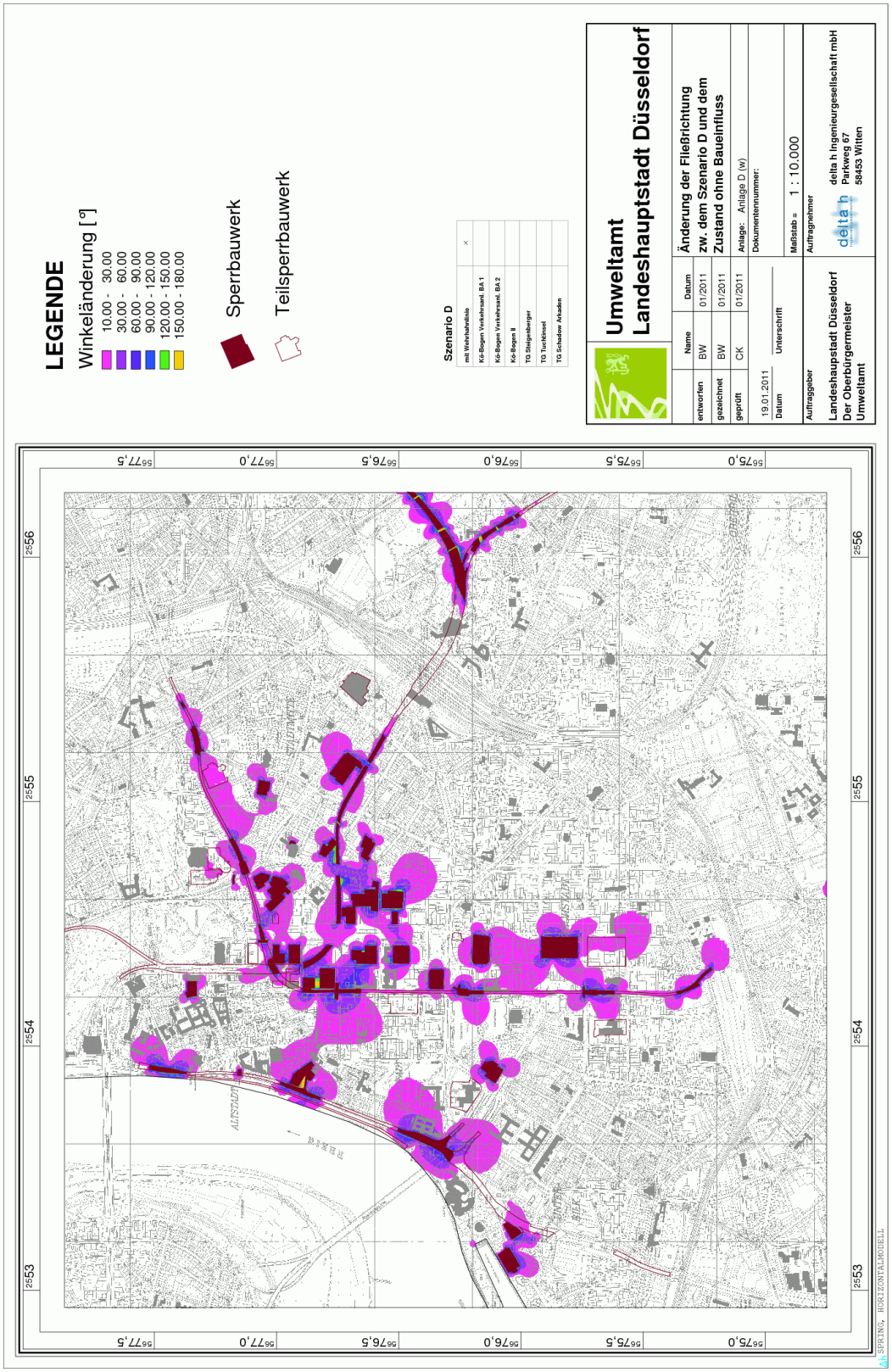


Abb. 37: Fließrichtungsänderung bei Situation D

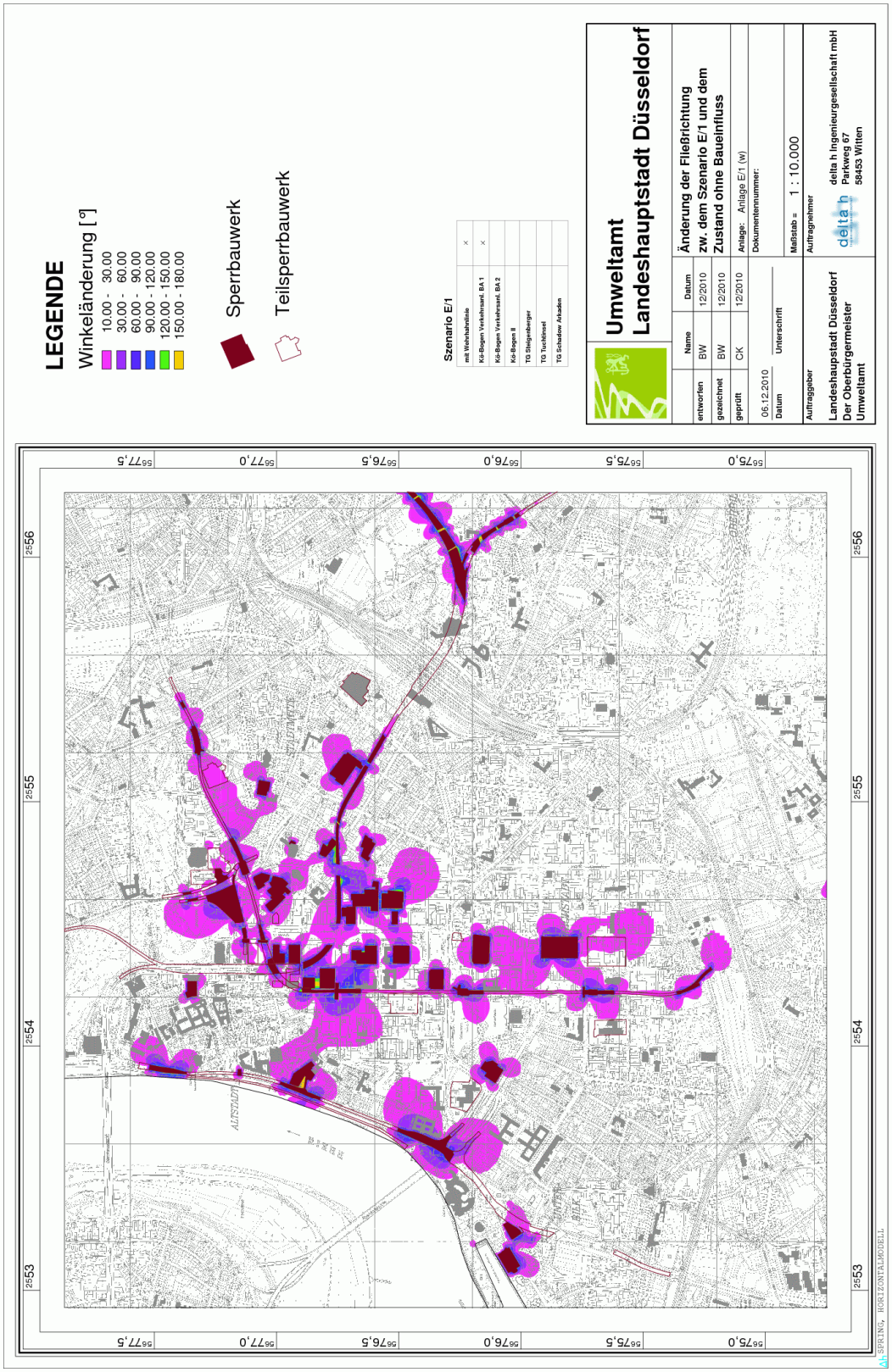


Abb. 38: Fließrichtungsänderung bei Situation E1

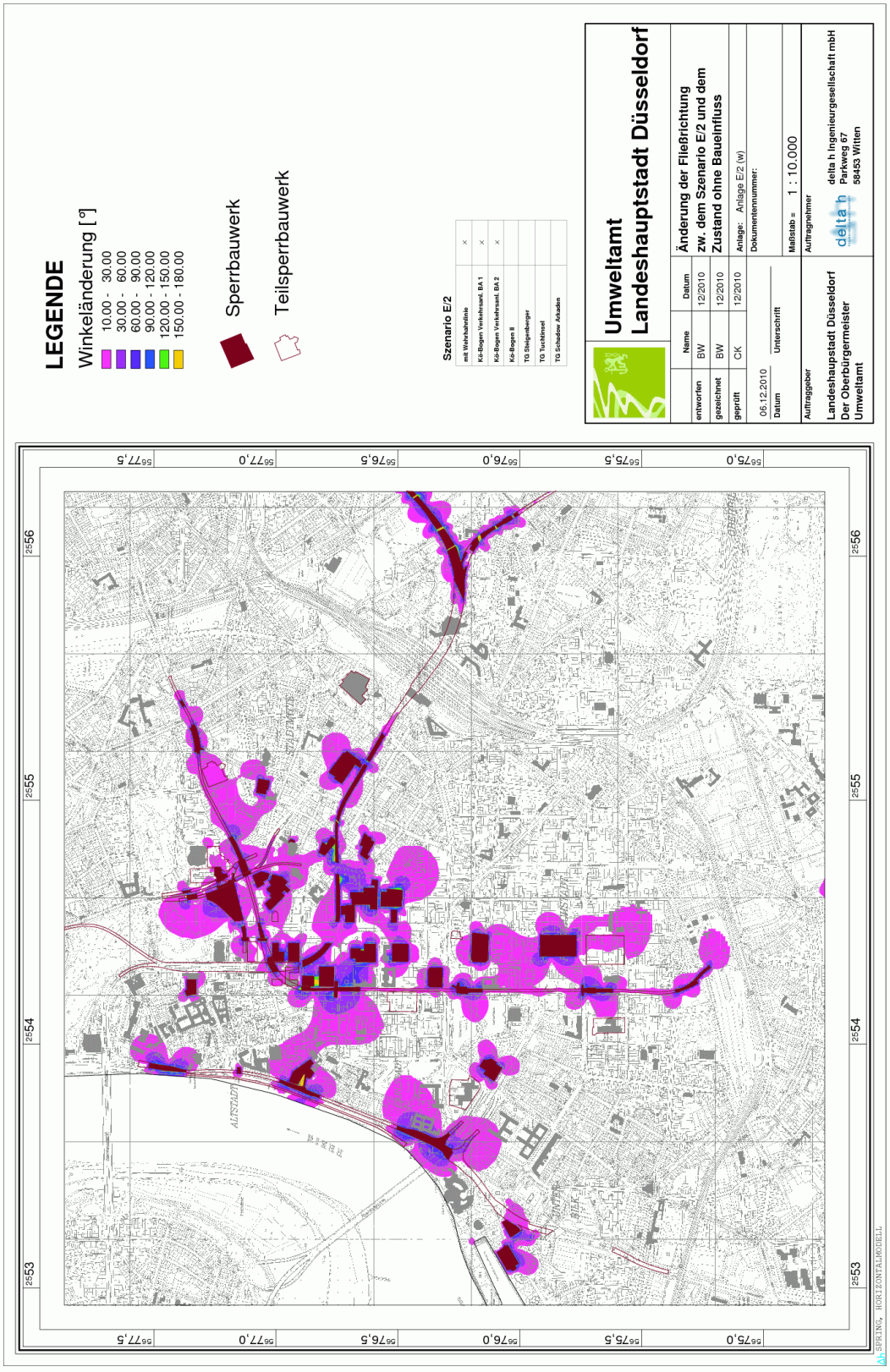


Abb. 39: Fließrichtungsänderung bei Situation E2

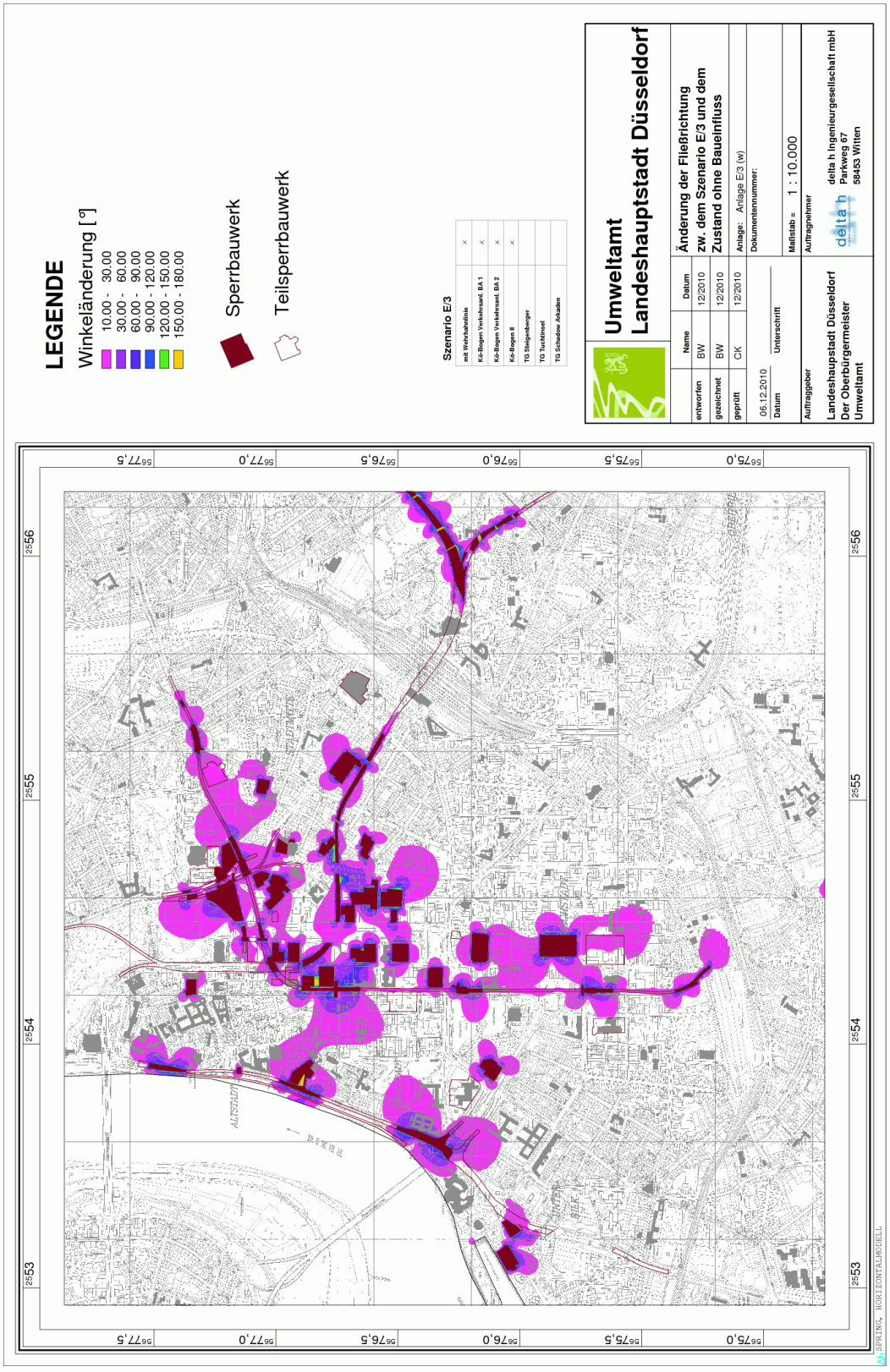


Abb. 40: Fließrichtungsänderung bei Situation E3

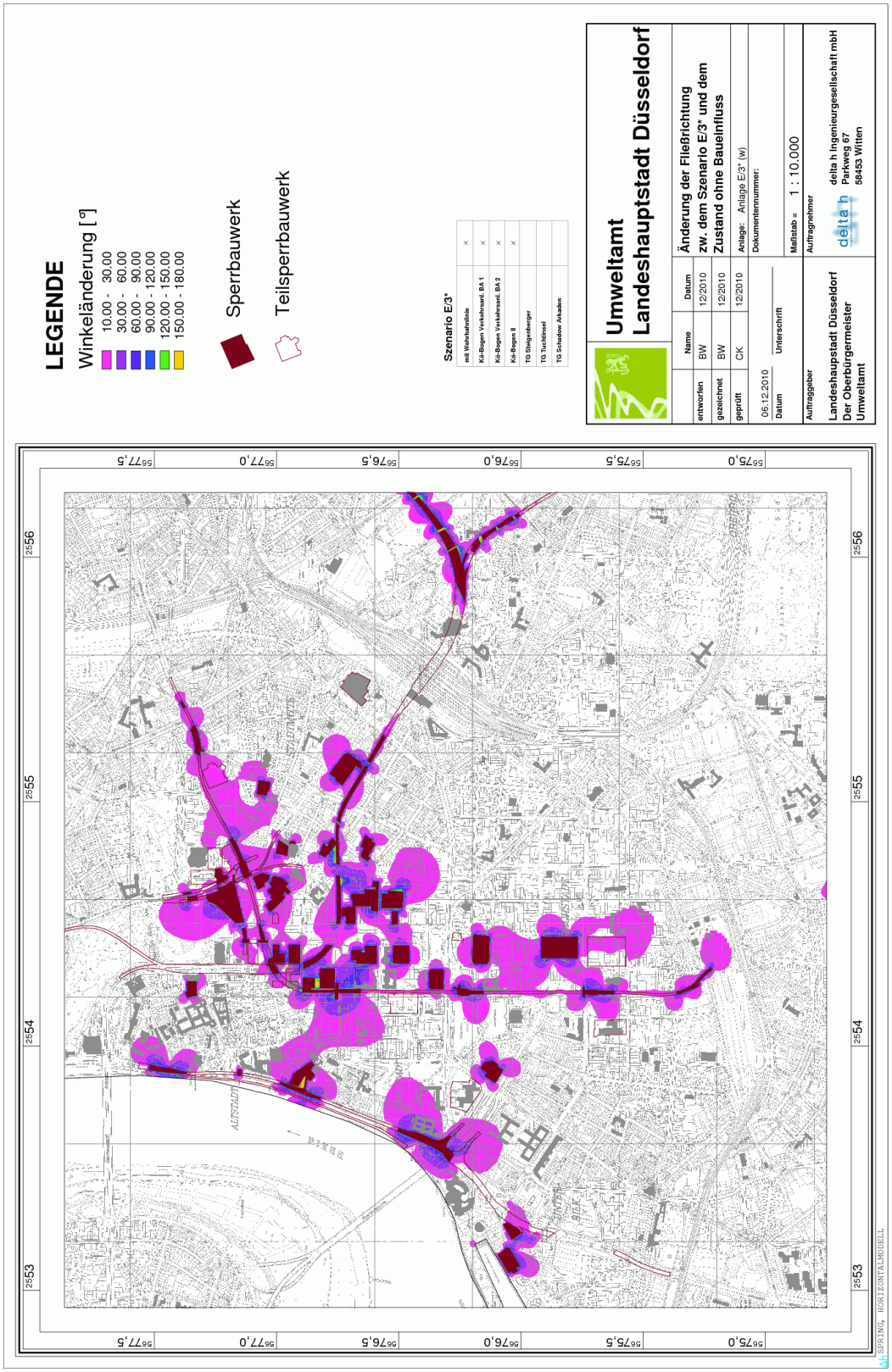


*Abb. 41: Fließrichtungsänderung bei Situation E3**

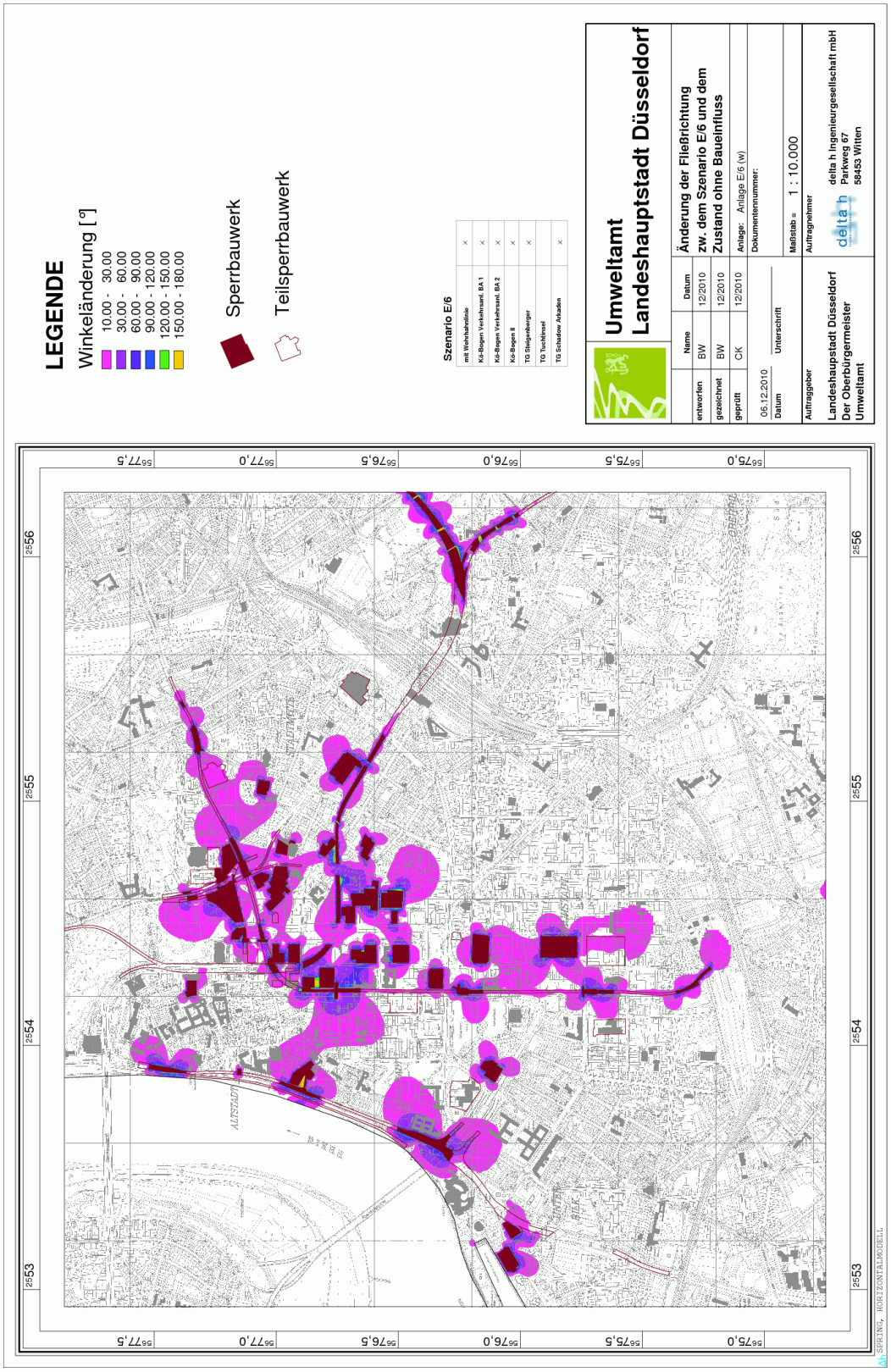


Abb. 42: Fließrichtungsänderung bei Situation E6

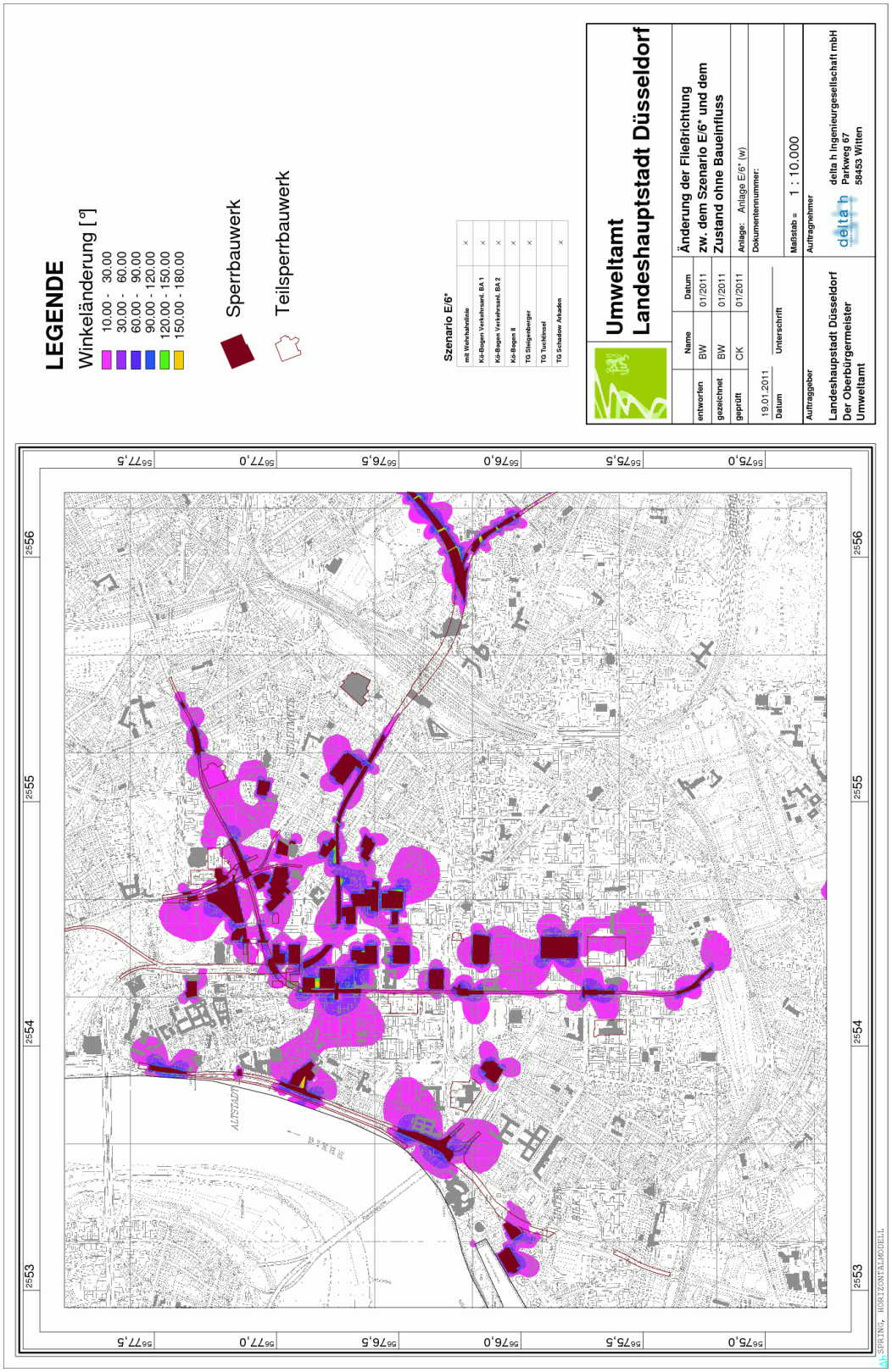


*Abb. 43: Fließrichtungsänderung bei Situation E6**

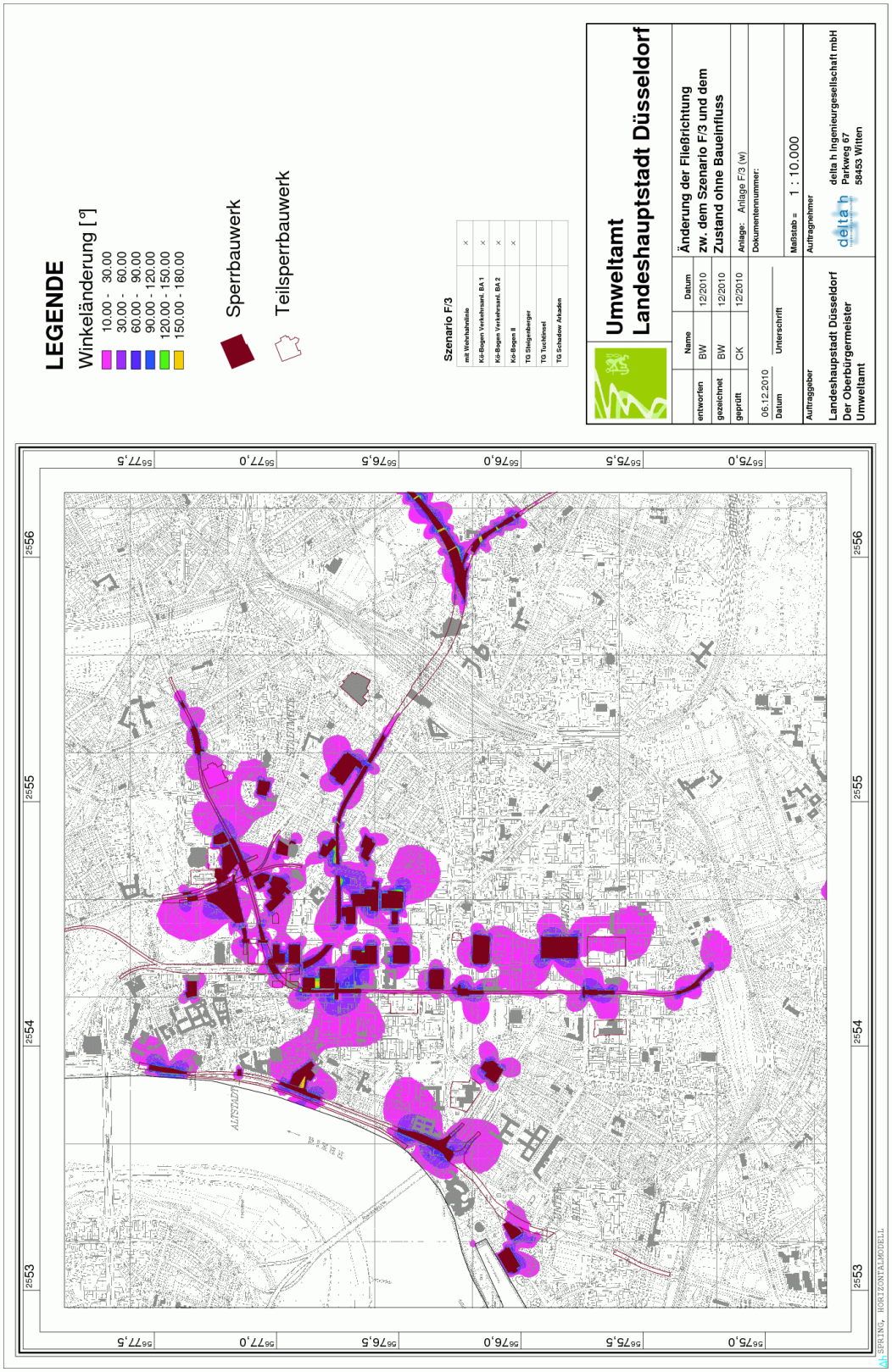


Abb. 44: Fließrichtungsänderung bei Situation F3

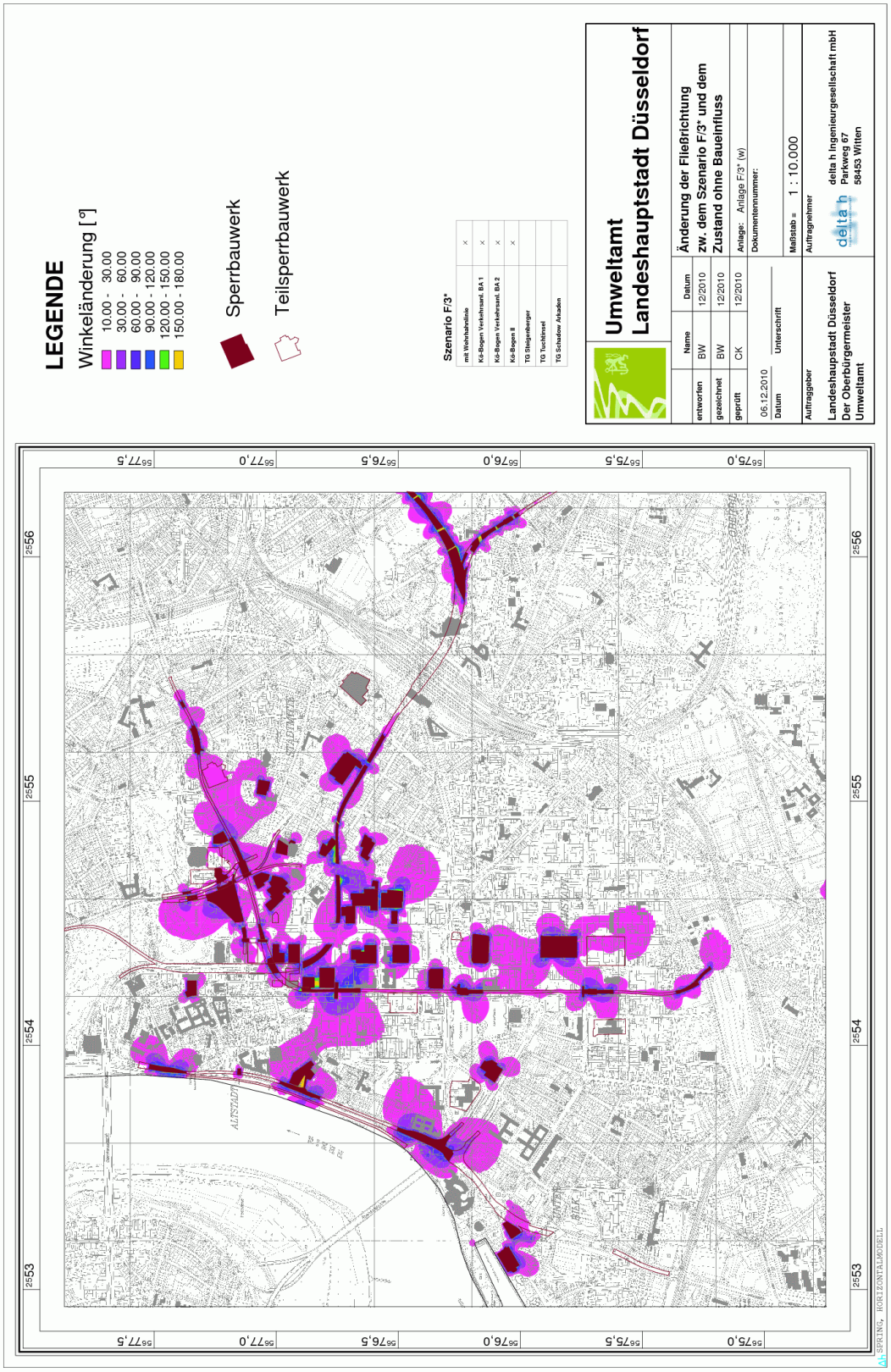


*Abb. 45: Fließrichtungsänderung bei Situation F3**

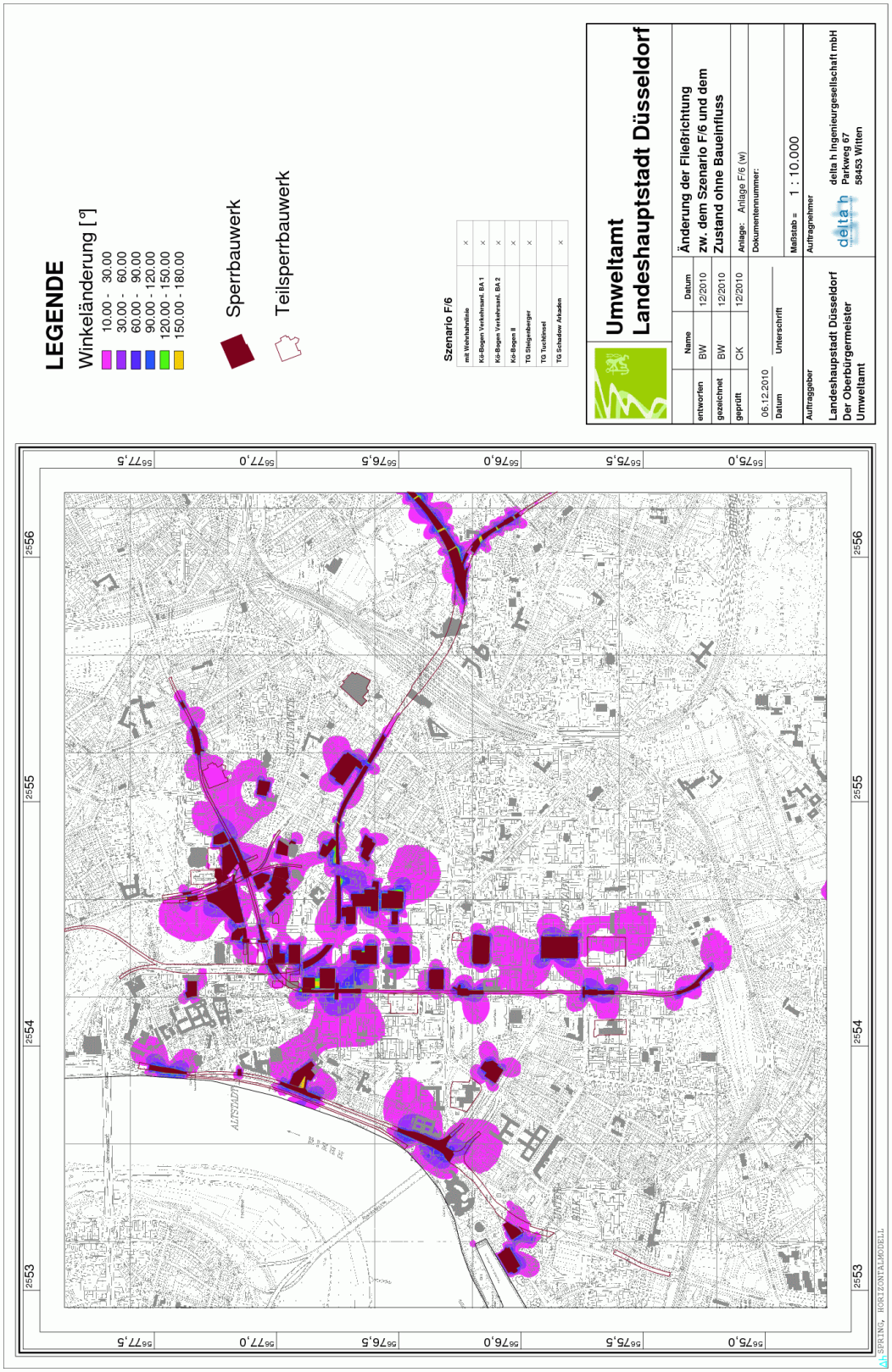


Abb. 46: Fließrichtungsänderung bei Situation F6

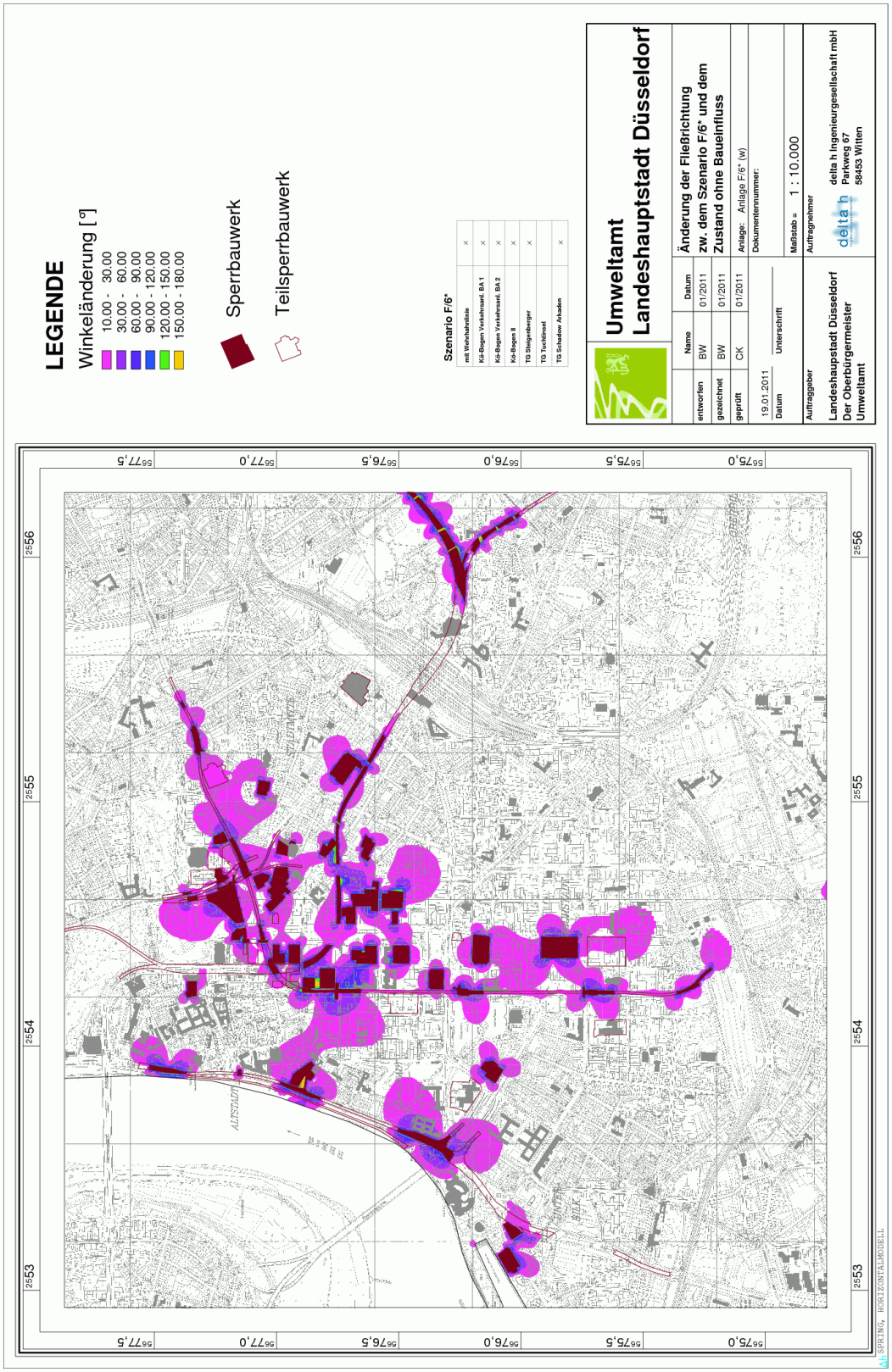


*Abb. 47: Fließrichtungsänderung bei Situation F6**

5 Literatur- und Quellenangaben

[1] DELTA H INGENIEURGESELLSCHAFT MBH: Beschleunigte Sanierung der Grundwasserverunreinigungen in der Innenstadt: Erläuterungsbericht zur Modellerstellung und Kalibrierung; unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Düsseldorf; 2006

[2] DELTA H INGENIEURGESELLSCHAFT MBH: 3D-Grundwassermodell; Beschleunigte Sanierung der Grundwasserverunreinigungen in der Innenstadt; Modellerstellung und Kalibrierung II; unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Düsseldorf; 2006

[3] DELTA H INGENIEURGESELLSCHAFT MBH: 3D-Grundwassermodell; Düsseldorf Innenstadtsanierung; Datenaktualisierung und Nachkalibrierung des Grundwassermodells 2008; unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Düsseldorf; 2008

[4] DELTA H INGENIEURGESELLSCHAFT MBH: halbjährliche Grundwassergleichenpläne für den Zeitraum 1998 bis 2007, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Düsseldorf, 2009

[5] DELTA H INGENIEURGESELLSCHAFT MBH: Datenaktualisierung 2010, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Düsseldorf, 2010

[6] DELTA H INGENIEURGESELLSCHAFT MBH: Sperrwirkung des Kö-Bogens (Düsseldorf), unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag von ICG Leonhardt-Veith GmbH & Co. KG, 2009

[7] DELTA H INGENIEURGESELLSCHAFT MBH: Aussagegebietserweiterung und tertiäre Pumpversuche an der Flurstraße, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Düsseldorf, 2010

[8] DELTA H INGENIEURGESELLSCHAFT MBH: Instationäre Betrachtung des Baus der Wehrhahnlinie unter Berücksichtigung zweier stationärer Mittelwasserzustände des Rheins, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Düsseldorf, 2010

[9] DELTA H INGENIEURGESELLSCHAFT MBH: Sperrwirkung der Verkehrsanlagen im Bereich des Kö-Bogens - Ausführungsvariante 3 -, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Düsseldorf, 2010

[10] DELTA H INGENIEURGESELLSCHAFT MBH: Überlagerungen der Sperrwirkungen im Innenstadtbereich, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stadt Düsseldorf, 2010