



# Flurabstandsprognose für das Rheinische Braunkohlenrevier

Ermittlung von Gebieten mit potenziellen  
Geländevernässungen in der Nachbergbauphase

[LANUV-Fachbericht 146](#)



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>5</b>
1.1	Anlass und Ziel .....	5
1.2	Untersuchungsgebiet .....	6
1.3	Methodisches Vorgehen .....	7
1.4	Information der Öffentlichkeit .....	8
<b>2</b>	<b>Bodenbewegungsprognose</b> .....	<b>9</b>
2.1	Mechanismen .....	9
2.2	Prüfung von Berechnungsmöglichkeiten .....	11
2.3	Bodenbewegungsmodell.....	12
2.3.1	Organikhaltige Schichten .....	13
2.3.2	Punktauswahl .....	15
2.3.3	Datengrundlagen .....	17
2.3.4	Ergebnis der Bodenbewegungsprognose .....	18
2.4	Konstruktion der Geländeoberfläche für 2200 .....	19
2.5	Karten der Geländeoberfläche .....	22
2.5.1	Referenzszenario.....	22
2.5.2	Bergbauszenario.....	23
<b>3</b>	<b>Grundwasserstandsprognose</b> .....	<b>24</b>
3.1	Grundwassermodell .....	24
3.1.1	Modellbeschreibung.....	24
3.1.2	Datengrundlagen .....	25
3.1.3	Kalibrierung .....	32
3.2	Szenariendefinition .....	33
3.2.1	Bergbauszenario.....	33
3.2.2	Referenzszenario.....	35
3.3	Modellergebnisse.....	37
3.3.1	Referenzszenario.....	37
3.3.2	Bergbauszenario.....	38
<b>4</b>	<b>Erstellung der Flurabstandskarten</b> .....	<b>39</b>
4.1	Szenarien ohne Wasserhaltungsmaßnahmen.....	39
4.1.1	Referenzszenario.....	40
4.1.2	Bergbauszenario.....	42
4.2	Szenarien mit Wasserhaltungsmaßnahmen.....	43
4.2.1	Referenzszenario.....	43
4.2.2	Bergbauszenario.....	44

<b>5</b>	<b>Auswertung der Flurabstandskarten</b> .....	<b>45</b>
5.1	Identifikation potenzieller Vernässungsbereiche .....	45
5.1.1	Szenarien ohne Wasserhaltungsmaßnahmen.....	45
5.1.1.1	Referenzszenario .....	45
5.1.1.2	Bergbauszenario .....	46
5.1.2	Szenarien mit Wasserhaltungsmaßnahmen.....	47
5.1.2.1	Referenzszenario .....	47
5.1.2.2	Bergbauszenario .....	48
5.2	Ermittlung des Bergbaueinflusses.....	49
5.2.1	Szenarien ohne Wasserhaltungsmaßnahmen.....	49
5.2.2	Szenarien mit Wasserhaltungsmaßnahmen.....	53
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit</b> .....	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>56</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>57</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>58</b>
	<b>Anhang</b> .....	<b>59</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis Anhang</b> .....	<b>205</b>

# 1 Einführung

Für die Gewinnung von Braunkohle im Rheinischen Revier in den bereits ausgekohnten Tagebauen der Ville sowie den drei derzeit noch aktiven Tagebauen Hambach, Garzweiler und Inden wurde und wird das Grundwasser großflächig gesümpft. Die Sümpfung ist für die Trockenhaltung der Tagebaue notwendig, sie hat jedoch verschiedene Folgen für den Naturhaushalt. So führen die Sümpfungsmaßnahmen zu einer großräumigen Grundwasserabsenkung, die nicht auf die eigentlichen Tagebaufelder begrenzt bleibt. Im nahen Umfeld um die Tagebaue ist diese Absenkung maximal und abhängig von der Tiefe des Tagebaus. Von der Grundwasserabsenkung sind mehrere Grundwasserstockwerke betroffen, in den tiefen Grundwasserleitern findet eine Entspannung des Druckspiegels statt. Das Ausmaß der Grundwasserabsenkung nimmt mit zunehmender Entfernung vom Tagebau ab. Die Ausdehnung der betroffenen Fläche beträgt über alle Grundwasserleiter heute insgesamt etwa 3300 km<sup>2</sup>; im oberen Grundwasserleiter noch 1600 km<sup>2</sup>. Je nach Ausmaß der Grundwasserabsenkung und in Abhängigkeit von der lithologischen Zusammensetzung können als Folge (nur teilweise reversible) Bodensetzungen auftreten. Diese sind ebenfalls im Umfeld der Tagebaue am größten.

Mit dem Ende des Braunkohleabbaus steigt ab etwa Mitte dieses Jahrhunderts das Grundwasser großräumig wieder an (in Teilbereichen hat der Grundwasserwiederanstieg bereits begonnen) und wird langfristig weitgehend die vorbergbaulichen Grundwasserstände erreichen. In Gebieten mit vorbergbaulich geringen Flurabständen kann es dadurch zu Konflikten mit bestehender Bebauung kommen. In den von Bodensetzungen betroffenen Gebieten führt der Grundwasserwiederanstieg zu Bodenhebungen. Da die Bodensetzungen aber nicht vollständig reversibel sind, kann nicht ausgeschlossen werden, dass es trotz der Bodenhebungen zusätzliche Bereiche mit geringen Flurabständen – also geringen Abständen zwischen Geländeoberfläche und Grundwasserspiegel – geben wird. Die Bereiche, in denen geringe Flurabstände möglicherweise zu Konflikten mit Siedlungsstrukturen führen können, werden in diesem Bericht als potenzielle Vernässungsbereiche bezeichnet. Von potenziellen Vernässungen können in erster Linie Siedlungsgebiete mit ehemals geringem Flurabstand und gleichzeitig größeren Bodensetzungen betroffen sein. Aus diesem Grund wurde der gesamte braunkohlenbergbaubeeinflusste Bereich des Rheinischen Reviers betrachtet.

## 1.1 Anlass und Ziel

Vor dem Hintergrund einer möglichen Vernässungsproblematik wurde in der Koalitionsvereinbarung der damaligen Landesregierung NRW (2012 bis 2017) vereinbart:

*„Das Problem des Grundwasserwiederanstiegs nach Beendigung der Kohleförderung und die damit verbundenen Risiken für Bergschäden sollen untersucht und mögliche Konsequenzen daraus für die Bauleitplanung mit den Kommunen im Rheinischen Revier gezogen werden.“*

Das Land NRW hat es sich deshalb zum Ziel gesetzt, eine Methodik zu entwickeln, um mögliche Geländevernässungen in Siedlungsgebieten im Zusammenhang mit Bodenbewegungen im gesamten Einflussgebiet der Braunkohlensümpfung nach Ende des Grundwasserwiederanstiegs (für den stationären Endzustand ca. 2200) zu identifizieren und zu untersuchen. Die zu bearbeitenden Aufgaben waren:

- Erstellung von Flurabstandskarten für den stationären Endzustand
- Ausweisung potenzieller Vernässungsbereiche
- Ursachenanalyse für die Vernässung (Abschätzung eines bergbauinduzierten Anteils)

Die notwendigen fachlichen Arbeiten wurden im Projekt „Flurabstandsprognose“ (Projektphase 2016–2020) vom LANUV in Begleitung einer Facharbeitsgruppe durchgeführt. Die Fragen wurden dabei durch grundwassermodellgestützte Vergleichsrechnungen und Bodenbewegungsprognosen beantwortet.

## 1.2 Untersuchungsgebiet

Es wurde das gesamte Gebiet, das durch die Sumpfung für die bereits ausgekohnten und noch aktiven Braunkohlentagebaue beeinflusst und durch das LANUV-Grundwassermodell abgedeckt ist, betrachtet (Abb. 1).

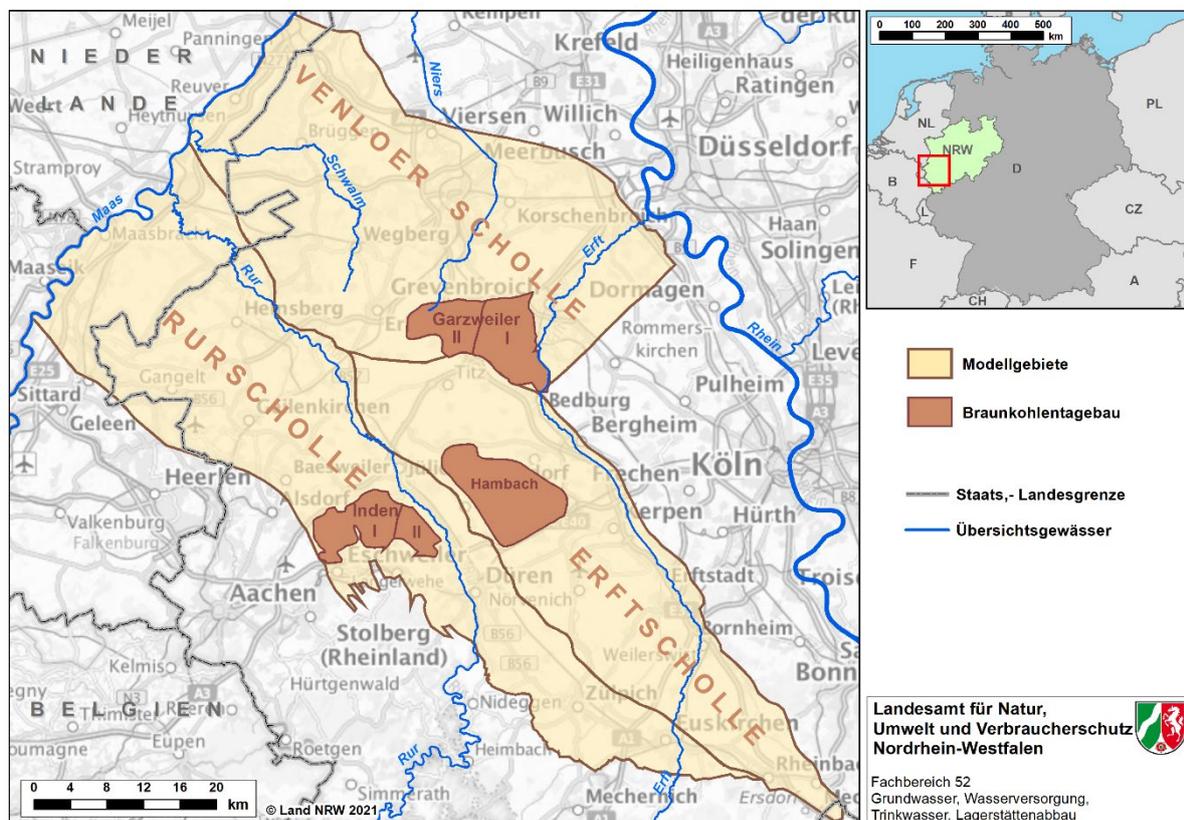


Abbildung 1: Übersicht des Untersuchungsgebiets

### 1.3 Methodisches Vorgehen

Um eine Flurabstandskarte des stationären Endzustands für das Untersuchungsgebiet zu erstellen, müssen sowohl die Grundwasserstände als auch die Geländeoberfläche flächendeckend prognostiziert werden.

Für die Darstellung und Prognose von Absenkung und Wiederanstieg des Grundwasserspiegels ist ein Grundwassermodell ein geeignetes Instrument. Im LANUV wird seit Mitte der 1980er-Jahre ein großräumiges Grundwassermodell betrieben und kontinuierlich weiterentwickelt bzw. an die jeweils aktuell damit zu beantwortende Fragestellung angepasst. Mit diesem dreidimensionalen, instationären Grundwassermodell können die Grundwasserstände und Strömungsrichtungen für die relevanten Grundwasserstockwerke berechnet und für die Zukunft prognostiziert werden. Die dem Projekt zugrundeliegenden Planungen hinsichtlich Tagebau und Rekultivierung entsprechen einem Stand von ca. 2018. Neue Tagebauplanungen, die sich aus der Leitentscheidung 2021 hinsichtlich Abbau/Rekultivierung ergeben, konnten im Rahmen des Projekts nicht berücksichtigt werden. Durch die Leitentscheidung 2021 wird insbesondere der Tagebau Hambach verkleinert und der Tagebausee deshalb in Kubatur und Ausdehnung verändert werden. Die Grundwassermodellierungen werden deshalb überarbeitet werden müssen, wenn dem LANUV die aktualisierte Planung vorliegt. In Kapitel 3 wird das Grundwassermodell mit den im Rahmen des Projektes Flurabstandsprognose durchgeführten Anpassungen beschrieben.

Im Einflussbereich der Tagebausümpfung verändert sich die Geländehöhe über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren. Da das Ausmaß der Sümpfung abhängig von den Tagebauplanungen ist, entsprechen die in die Bodenbewegungsprognose eingehenden Datengrundlagen ebenfalls einem Stand von ca. 2018. In der Leitentscheidung 2021 wird vor allem eine Verkleinerung des Abbaufelds Hambach vorgegeben. Dadurch wird der Tagebau Hambach weniger tief als ursprünglich geplant werden und das Ausmaß der Sümpfungen in diesem Bereich reduziert. Das wird auch die zu erwartenden Bodensetzungen und -hebungen beeinflussen, sodass auch die Bodenbewegungsprognosen auf Grundlage neuer Planungen aktualisiert werden müssen. Mit Hilfe eines Bodenbewegungsmodells werden die Geländehöhen bis zum stationären Endzustand prognostiziert. Die Vorgehensweise für die Prognose von Bodenbewegungen mit dem verwendeten Bodenbewegungsmodell und die Konstruktion der daraus resultierenden Geländeoberfläche wird in Kapitel 2 beschrieben.

Durch Differenzenbildung aus prognostizierter Geländeoberfläche und prognostizierter Grundwasseroberfläche lassen sich die gewünschten Flurabstandskarten berechnen. Der Vergleich der Ergebnisse aus verschiedenen Szenarien bildet die Grundlage für eine Interpretation der Flurabstandskarten und die damit verbundene Ursachenanalyse. Diese Szenarien bilden zum einen den Zustand ab, der unter den derzeit gültigen Vorgaben voraussichtlich nach Bergbauende und erfolgtem Grundwasserwiederanstieg stationär eintreten würde (Bergbauszenario). Zum anderen werden Szenarien berechnet, die einen hypothetischen Zustand darstellen, der sich ohne Bergbautätigkeit voraussichtlich eingestellt haben würde (Referenzszenario). Zusätzlich werden in einigen Szenarien die vom Erftverband geplanten Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erfttaue berücksichtigt, die die potenziell betroffenen Siedlungsbereiche mit vorbergbaulich geringen Flurabständen ( $\leq 3$  m) nach Grundwasserwiederanstieg vor einer Vernässung schützen sollen.

## 1.4 Information der Öffentlichkeit

Die Protokolle und Ergebnisse (Methodenauswahl und -beschreibung, Projektbericht und Berichte der im Auftrag des LANUV durchgeführten Arbeiten, Karten der Flurabstände oder potenziellen Vernässungsbereiche) sind auf der Internetseite veröffentlicht:

<https://www.lanuv.nrw.de/grundwasserwiederanstieg>.

Außerdem wurde der Fortschritt des Projekts in Berichten an den Landtag dokumentiert:

- Landtagsbericht vom 27.04.2017 (Vorlage 16/4998)
- Landtagsbericht vom 09.01.2018 (Vorlage 17/434)
- Landtagsbericht vom 10.12.2019 (Vorlage 17/2828)
- Landtagsbericht vom 03.03.2022 (Vorlage 17/6515)
- Landtagsbericht vom 03.05.2022 (Vorlage 17/6766, ergänzt den vorigen Bericht vom 03.03.2022)

Die Berichte sind auf der Internetseite des Landtags frei zugänglich.

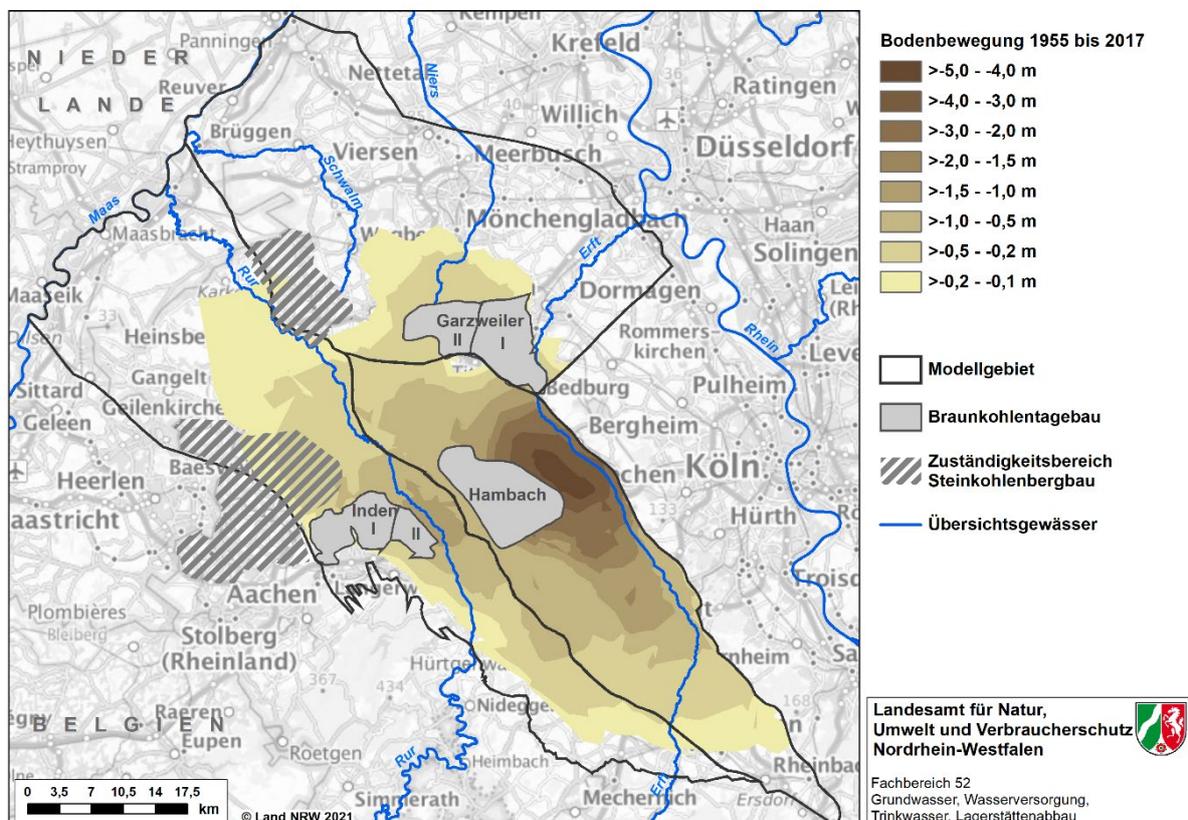
## 2 Bodenbewegungsprognose

Für die Konstruktion von Flurabstandskarten werden flächige Darstellungen der Geländeoberflächen benötigt. Diese werden auf Grundlage der bereits gemessenen Bodenbewegungen erarbeitet.

### 2.1 Mechanismen

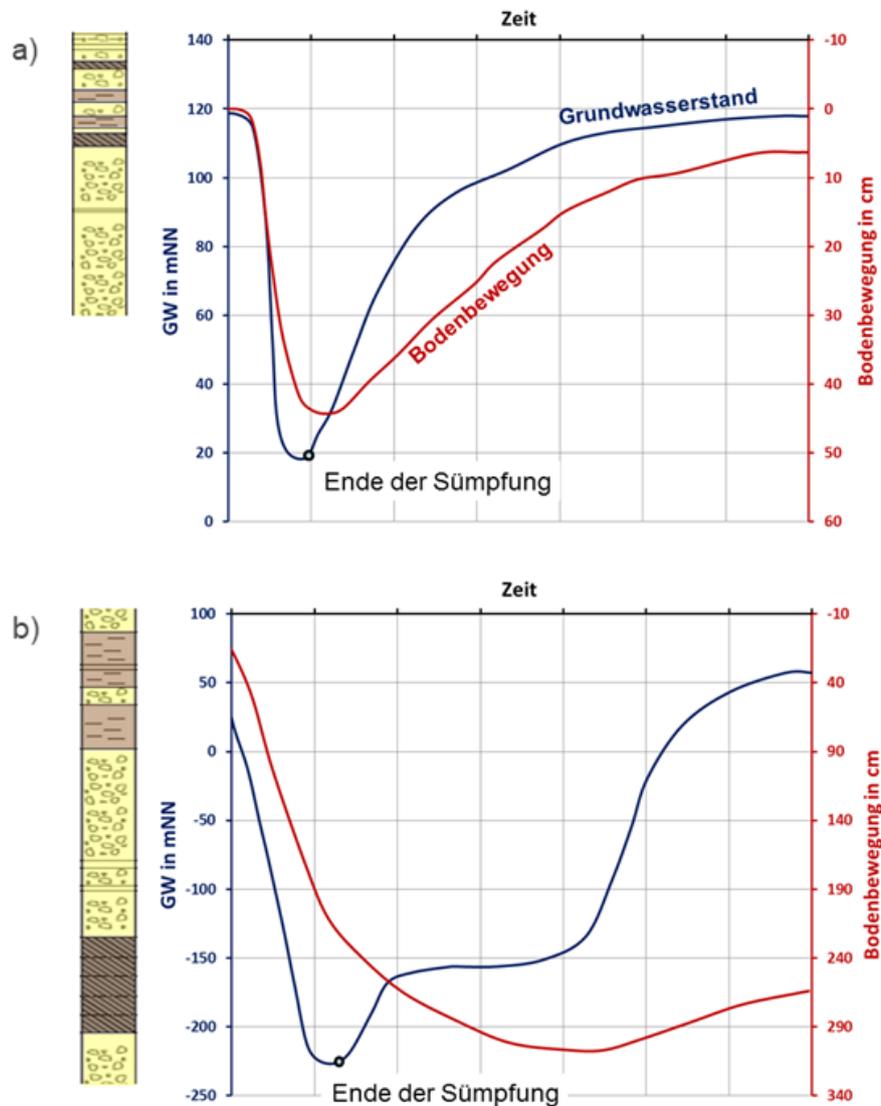
Bodenbewegungen können infolge von Veränderungen des Grundwasserstands in den verschiedenen Grundwasserleitern auftreten. Bei einer Absenkung oder Entspannung des Grundwassers kommt es zu Bodensetzungen, die zum Teil bei Grundwasserwiederanstieg reversibel sein können. Das Ausmaß von Bodensetzung und -hebung ist von verschiedenen Faktoren abhängig.

Wichtigster Einflussfaktor für die Bodensetzung ist das Ausmaß der Grundwasserabsenkung. Im Rheinischen Revier werden durch die Sumpfung für den Tagebau Hambach die größten Grundwasserabsenkungen erreicht. Zusätzlich sind die Mächtigkeiten der beeinflussten geologischen Schichten der Erft-Scholle in diesem Bereich besonders groß. Dementsprechend werden die größten Bodensetzungen im Umfeld dieses Abbaufeldes (Abb. 2) gemessen. Mit zunehmender Entfernung von den Tagebauen nimmt das Ausmaß der Sumpfung und somit auch das Ausmaß der Bodensetzung ab [1, 2]. Die maximalen Sumpfungstiefen und auch die Bodensetzungen sind bei den beiden anderen Tagebauen geringer.



**Abbildung 2:** Ausdehnung der durch Braunkohlenbergbau verursachten Bodenbewegungen 1955–2017 (Daten von Geobasis NRW und RWE Power AG)

Neben dem Ausmaß der Sumpfung beeinflusst der (petrografische) Aufbau des geologischen Untergrunds die Bodenbewegungen. Der Zusammenhang ist schematisch in Abb. 3 anhand von zwei fiktiven Beispielen dargestellt.



**Abbildung 3:** Beispiele möglicher Bodenbewegungs-Szenarien (nach [3]). a) Größtenteils Sande und Kiese; Tone und Braunkohlen sind geringmächtig. b) Mächtige Ton- und Braunkohlenlagen

Liegen vornehmlich Sande und Kiese mit nur geringmächtigen Tonen und Braunkohlen vor (Abb. 3 a), ist davon auszugehen, dass die Bodensetzungen größtenteils reversibel sind. Das Grundwasser wird während des Tagebaubetriebs abgesenkt und steigt mit dem Ende der Sumpfung wieder an. Aufgrund der hohen hydraulischen Durchlässigkeit der Sande und Kiese verlaufen die Bodenbewegungen weitgehend proportional zum Grundwasserstand. Das bedeutet, dass bei Grundwasserabsenkung entsprechend Bodensenkungen auftreten und bei Grundwasserwiederanstieg folglich Bodenhebungen. Sind jedoch mächtige Ton- und Braunkohlenschichten vorhanden (Abb. 3 b), verläuft der Prozess der Bodensetzung vor allem aufgrund der geringen hydraulischen Durchlässigkeit in diesen Schichten langsamer und findet

auch nach Ende der Sümpfung weiterhin statt (nachlaufende Setzung). Somit verläuft der Prozess der Bodenhebungen deutlich zeitverzögert ab und Bodensetzungen sind weniger reversibel.

Zusätzlich kann es in den obersten entwässerten Bodenschichten zu irreversiblen Setzungen kommen, wenn sie organische Anteile enthalten, die durch eine Grundwasserabsenkung in Kontakt mit Sauerstoff kommen und dann Gefügeveränderungen und Zersetzungsprozessen unterliegen.

## **2.2 Prüfung von Berechnungsmöglichkeiten**

Für die Prognose zukünftiger Grundwasserflurabstände (im stationären Endzustand) ist es notwendig, die zu erwartende zukünftige Geländeoberkante zu ermitteln. Punkthafte Berechnungen der Bodenbewegungen waren bereits vor Projektbeginn im Auftrag der RWE Power AG von der ZAI GmbH mit einem eigenen dafür entwickelten Prognosemodell durchgeführt worden. Aus diesem Grund wurde untersucht, ob das verwendete Prognosemodell auch für die Bodenbewegungsprognosen im Projekt Flurabstandsprognose eingesetzt werden kann. Dafür wurde im Rahmen von drei Vergaben durch eine Sensitivitätsstudie, eine Literatur-/Methodenrecherche sowie durch einen Methodenvergleich überprüft, ob andere Methoden vorhanden sind und daraus das am besten geeignete Verfahren ermittelt.

Um die bisher im Rheinischen Revier gewählte Vorgehensweise in die Literatur einzuordnen und mit anderen Methoden zu vergleichen und um sie anschließend zu bewerten, wurde eine Literaturrecherche mit Expertenbefragung durch Deltares, einem unabhängigen niederländischen Institut für angewandte Forschung in den Bereichen Wasser und Untergrund, durchgeführt [4]. Für den Vergleich der jeweils angewandten Methode wurden die Anwendungsbeispiele hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit mit dem Referenzfall „Rheinisches Braunkohlenrevier“ ausgewählt. Die Bewertung erfolgte anhand von in Abstimmung mit der Facharbeitsgruppe definierten Kriterien. Der Vergleich zeigt, dass das bereits verwendete Modell für die Prognose von Bodenbewegungen sehr gut geeignet ist. Dennoch sollte praktisch untersucht werden, ob weitere Programme gegebenenfalls auch geeignet sind und welchen Einfluss weitere, bisher nicht berücksichtigte Prozesse auf die Berechnungen haben. Zusätzlich wurden Methoden recherchiert, mit denen an Einzelpunkten gemessene oder prognostizierte Bodenbewegungen in die Fläche interpoliert werden können. Als eine geeignete Methode wurde hier die Triangulation oder auch Dreiecksvermaschung beschrieben. Diese Methode wurde in verschiedenen Fällen bereits angewendet, unter anderem im Rheinischen Revier. Dabei wird ein Dreiecknetz aus einer meistens unregelmäßig verteilten Punktemenge erzeugt. Dafür muss gewährleistet werden, dass die Punktdichte ausreichend hoch ist [4].

Aufbauend auf den Empfehlungen des Berichts wurde ein Methodenvergleich durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Programme für die Berechnung von Bodenbewegungen verwendet und miteinander sowie mit dem von der ZAI GmbH entwickelten Bodenbewegungsmodell verglichen. Des Weiteren wurde die Relevanz des Kriechprozesses und der hydraulisch-mechanischen Kopplung, die im Bodenbewegungsmodell der ZAI GmbH nicht berücksichtigt werden, untersucht. Mit Kriechen wird in der Mechanik eine langsame plastische Verformung unter gleichbleibender Last bezeichnet. Unter einer hydraulisch-mechanischen Kopplung versteht man die gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen Grundwasserströmung und Bodenbewegungen. Dafür wurden Vergleichsrechnungen durchgeführt, bei denen jeweils die Prozesse

berücksichtigt/nicht berücksichtigt wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass von den anderen Programmen nur ein weiteres für die Berechnungen geeignet ist, und dass die Ergebnisse nur geringfügig von den Ergebnissen des Bodenbewegungsmodells der ZAI GmbH abweichen. Der Einfluss der Prozesse Kriechen und hydraulisch-mechanische Kopplung auf die Bodenbewegung ist vernachlässigbar gering [5].

Des Weiteren wurden die in die Berechnung der Bodenbewegungen eingehenden Daten und Parameter im Rahmen einer durch die ZAI GmbH durchgeführten Sensitivitätsanalyse hinsichtlich ihres Einflusses auf die Prognose untersucht. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass sich gemessene Bodenbewegungen mit dem Modell sehr gut nachrechnen lassen aber auch, dass die Hebungsfaktoren mit der größten Unsicherheit behaftet sind. Deshalb ist es für eine korrekte Abbildung des Bodenbewegungsverhaltens sinnvoll, in regelmäßigen Abständen eine Nachkalibrierung des Modells durchzuführen [6].

### **Entscheidung für Methode**

Die oben beschriebenen im Auftrag des LANUV durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass das Modell der ZAI GmbH für die Bodenbewegungsprognose am besten geeignet ist. Damit wird es für die Berechnungen im Projekt Flurabstandsprognose verwendet. Bei diesem Modell erfolgt die Berechnung für Einzelpunkte, weshalb anschließend eine Interpolation in die Fläche notwendig ist.

Dafür wird die Triangulation verwendet, da bei dieser Methode die Werte an den Einzelpunkten exakt erhalten bleiben und nicht mit Schätzwerten überschrieben werden. Weitere Gründe sind, dass die Interpolation zwischen den einzelnen Punkten linear erfolgt und dass diese Methode die einzige ist, mit der es möglich ist, Bruchkanten zu definieren, über die nicht hinweg interpoliert wird. Dadurch kann die Wirkung der Störungen zwischen den einzelnen Schollen berücksichtigt werden.

## **2.3 Bodenbewegungsmodell**

Die Berechnung der Bodenbewegungen für ausgewählte Punkte erfolgt durch die ZAI GmbH im Rahmen des Projektes „Berechnung und Prognose von Bodenbewegungen mit Sensitivitätsanalyse im Rheinischen Braunkohlerevier“ [6], basierend auf dem von der ZAI GmbH entwickelten Prognosemodell. Die Berechnung der Bodenbewegungen erfolgt anhand der sich aufgrund der Grundwasserstandsänderungen in den geologischen Schichten einstellenden Spannungsänderungen und basiert dabei auf allgemeingültigen bodenmechanischen Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhängen (Theorie der effektiven und totalen Spannungen, Kompressions- und Konsolidationstheorie [7]). Dadurch wird auch die Abbildung des zeitverzögerten Setzungs- und auch Hebungsverhaltens der bindigen Schichten ermöglicht. Das Prognosemodell wird für jeden Punkt anhand von Leitnivelementsmessungen kalibriert. Anschließend wird die zukünftige Geländehöhe an dem ausgewählten Punkt berechnet.

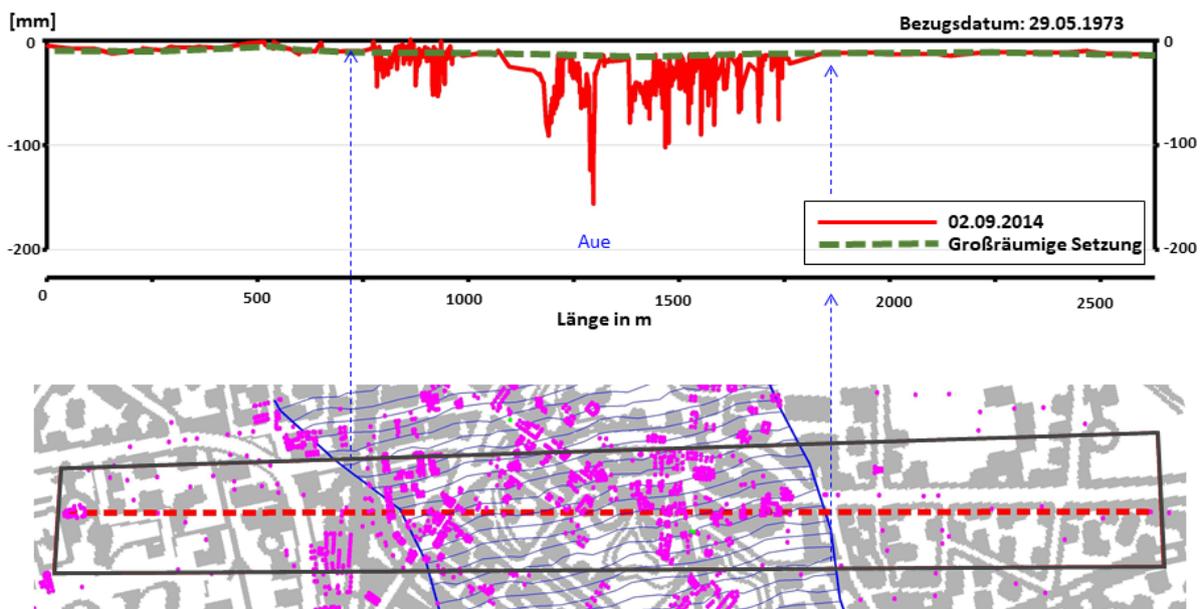
In dem Projekt wurden zusätzlich die sich aufgrund von Parameterunsicherheiten ergebenden theoretischen und wahrscheinlichen Streuweiten der Geländehöhe berechnet. Die zugrundeliegenden bodenmechanischen Zusammenhänge sowie das methodische Vorgehen sind im Projektbericht ausführlich beschrieben [6].

Die Ergebnisse der Sensitivitätsstudie haben gezeigt, dass die Beschreibung des Hebevhaltens die größten Unsicherheiten birgt. Um einen Worst Case und einen Best Case der Geländehöhe zu ermitteln, wurden an allen Berechnungspunkten die Hebungs-faktoren innerhalb des theoretischen und des wahrscheinlichen Parameterspektrums variiert. Dadurch wird an jedem Punkt zusätzlich zu der Prognose der Bodenbewegung eine Spannweite berechnet, die den Bereich widerspiegelt, in dem sich der berechnete Wert der prognostizierten Bodenbewegung wahrscheinlich bewegen wird.

### 2.3.1 Organikhaltige Schichten

Bei der Betrachtung von Bodenbewegungen im Rheinischen Revier stellen stark organikhaltige Schichten einen Sonderfall dar, da sie sich bei der Entwässerung anders verhalten als geologische Schichten mineralischen Ursprungs. Die großräumige Entwässerung führt zu einem Verlust des Auftriebs durch das Porenwasser. Dadurch verändert sich das Gefüge der geologischen Schichten und das Volumen nimmt ab. Organikhaltige Schichten werden dabei aufgrund ihres großen Porenvolumens und dem hohen Anteil von Grobporen vergleichsweise stark zusammengedrückt [9]. Die aus dieser Sackung (im Rheinischen Revier auch Auesetzung genannt) resultierende Verringerung des Volumens ist als Setzung an der Geländeoberkante messbar. Bei Torfen mit einem organischen Anteil von 30 % oder mehr spricht man von Torfsackung. Zusätzlich findet bei der Belüftung von Torfen durch Grundwasserabsenkung eine Aufzehrung der organischen Anteile und somit eine Verringerung des Volumens statt, die ebenfalls zu Setzungen an der Geländeoberfläche führt.

Für eine flächenhafte und systematische Berücksichtigung der Sackung organikhaltiger Schichten in der prognostizierten zukünftigen Geländeoberkante müssten sowohl bereits erfolgte als auch zukünftig auftretende Sackungen betrachtet werden.



**Abbildung 4:** Beispiel von gemessenen Setzungen in einer Ortslage mit ursprünglich oberflächennahen Grundwasserständen und organisch durchsetzten Gründungsschichten und einem Messnetz höherer Messpunktdichte (nach [10])

## Theoretisches Vorgehen

Da die Sackung organischer Schichten irreversibel ist, könnten für die Prognose der zukünftigen Geländeoberkante die daraus resultierenden Setzungsbeträge nur dann direkt berücksichtigt werden, wenn sie entweder gemessen wurden oder verlässlich vorhergesagt werden können. Dafür notwendig wären flächendeckende Messungen seit 1955 in einer hohen räumlichen Auflösung, um die bereits erfolgten Sackungen zu erfassen. Zukünftig auftretende Sackungen ließen sich systematisch nur prognostizieren, wenn alle Vorkommen von organischer Substanz in oberflächennahen Schichten, die zukünftig von Sumpfung betroffen sein werden, bekannt wären. Dies beinhaltet neben der Mächtigkeit auch den organischen Anteil des Vorkommens.

## Datenlage

Neben den Höhenmesspunkten des Leitnivelements liegen weitere Messnetze mit höherer Messpunktdichte vor, mit denen das Bodenbewegungsverhalten höher aufgelöst abgebildet werden kann. Am Beispiel der dargestellten Ortslage ist erkennbar, dass neben der großräumigen gleichmäßigen Schollensetzung auch kleinräumige Torfsackungen erfasst wurden (Abb. 4). Allerdings wurden Sackungen meist erst ab den 1960/70er Jahren erfasst, und es gibt keine für das gesamte Rheinische Revier flächendeckend vorliegenden Messungen. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, die bereits erfolgten Sackungen systematisch zu dokumentieren.

Der Vergleich der vorhandenen Höhenmessungen in Gebieten mit nachgewiesenen Sackungen mit dort vorliegenden Bodenkarten zeigt außerdem:

- Bodenkarten sind in älteren Siedlungsgebieten oftmals nicht vollständig vorhanden.
- Sackungen beschränken sich nicht auf eine einzelne Bodenart.
- Innerhalb einer kartierten Bodenart treten Sackungen heterogen verteilt auf.
- Die Informationen in den Bodenkarten sind somit zu grob und eine systematische Prognose von zukünftig auftretenden Sackungen ist deshalb nicht möglich.
- Die Sackungen können aufgrund ihrer kleinräumigen, heterogenen Verteilung nicht in der großräumigen Grundwassermodellierung berücksichtigt werden.

## Fazit

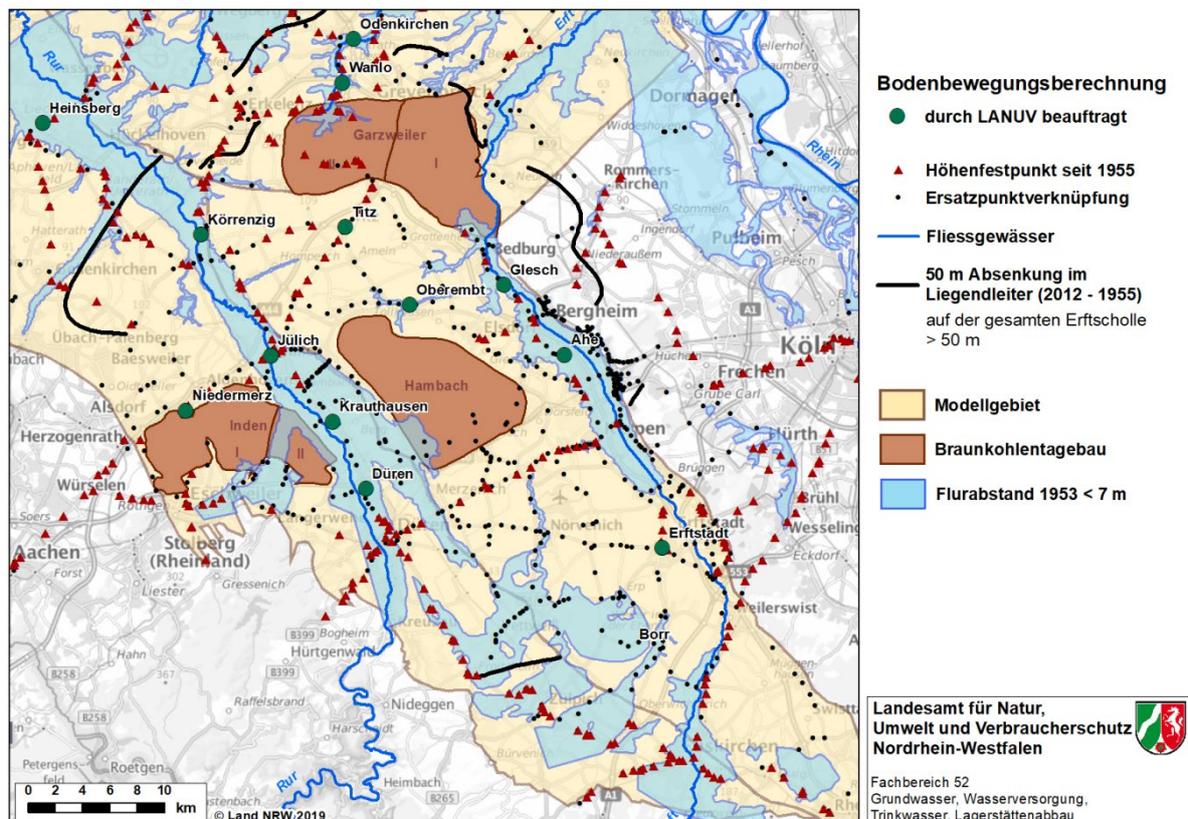
Eine flächenhafte und systematische Berücksichtigung der Sackungen organikhaltiger Schichten in der prognostizierten zukünftigen Geländeoberkante ist **nicht** möglich. Dies muss bei der Interpretation der Ergebniskarten berücksichtigt werden.

### 2.3.2 Punktauswahl

Die Punkte für die Bodenbewegungsberechnungen werden so ausgewählt, dass die Verteilung im Untersuchungsgebiet möglichst gleichmäßig ist. Die Auswahl der Punkte für die Bodenbewegungsprognose geschieht auf Grundlage von Fokusbereichen.

Für die Identifikation der Fokusbereiche werden zunächst Bereiche identifiziert, in denen unter fiktiven Worst-Case-Bedingungen die Wahrscheinlichkeit einer bergbauinduzierten Vernässung oder einer Mitverantwortung daran erhöht erscheint. Für diese Bereiche ist eine Bodenbewegungsberechnung von besonders großem Interesse. Es werden also Bereiche, in denen die vorbergbaulichen Flurabstände  $\leq 7$  m waren, mit den Bereichen verschnitten, in denen die Grundwasserabsenkung von 1955 bis 2012 im Liegend-Grundwasserleiter  $\geq 50$  m beträgt (Abb. 5). Durch diese Linie der 50 m-Absenkung im Liegendleiter wird annähernd ein Bereich, in dem Bodensetzungen von maximal 0,5 m stattgefunden haben, berücksichtigt, da der Vergleich der Beträge von Bodensetzung mit Grundwasserabsenkung gezeigt hat, dass die Bodensetzung weniger als 1 % von der Grundwasserabsenkung beträgt.

Der Ansatz stellt eine fiktive Worst-Case-Betrachtung dar, bei der der Einfluss der Vorfluter auf die Grundwasserstände nicht berücksichtigt wurde, um möglichst alle aufgrund von Bodenbewegungen potenziell vernässungsgefährdeten Gebiete zu erfassen. Unabhängig von den Bodenbewegungen kann es auch in Gebieten mit geringen vorbergbaulichen Flurabständen zu (Wieder-)Vernässungen kommen, die in diesem Projekt ebenfalls ermittelt werden.



**Abbildung 5:** Ausgewählte Punkte für durch das LANUV beauftragte Bodenbewegungsprognosen im Rheinischen Revier

Die ausgewählten Punkte liegen möglichst innerhalb der Fokusbereiche und zusätzlich bevorzugt in besiedelten Gebieten. Da bereits im Auftrag der RWE Power AG Bodenbewegungsprognosen berechnet worden waren (Abb. 6, violett markiert), liegen die zusätzlichen Punkte in Bereichen, die bisher noch nicht abgedeckt waren. Das für die Bodenbewegungsberechnung verwendete Modell wird an gemessenen Bodenbewegungen kalibriert, sodass an den ausgewählten Punkten Leitnivelemessungen von 1955 bis 2017 vorliegen müssen. Somit beschränkt sich die Punktauswahl auf in den Fokusbereichen liegende Höhenfestpunkte mit durchgängiger Messreihe. Dabei wird darauf geachtet, dass soweit möglich der gesamte Bereich abgedeckt wird, in dem Bodenbewegungsbeträge größer 10 cm gemessen wurden. Drei Punkte liegen deshalb außerhalb der Fokusbereiche, um auch den Randbereich in der Prognose zu berücksichtigen und eine möglichst gleichmäßige Verteilung zu erreichen. Die ausgewählten LANUV-Punkte sind in Abb. 6 (grün markiert) dargestellt.

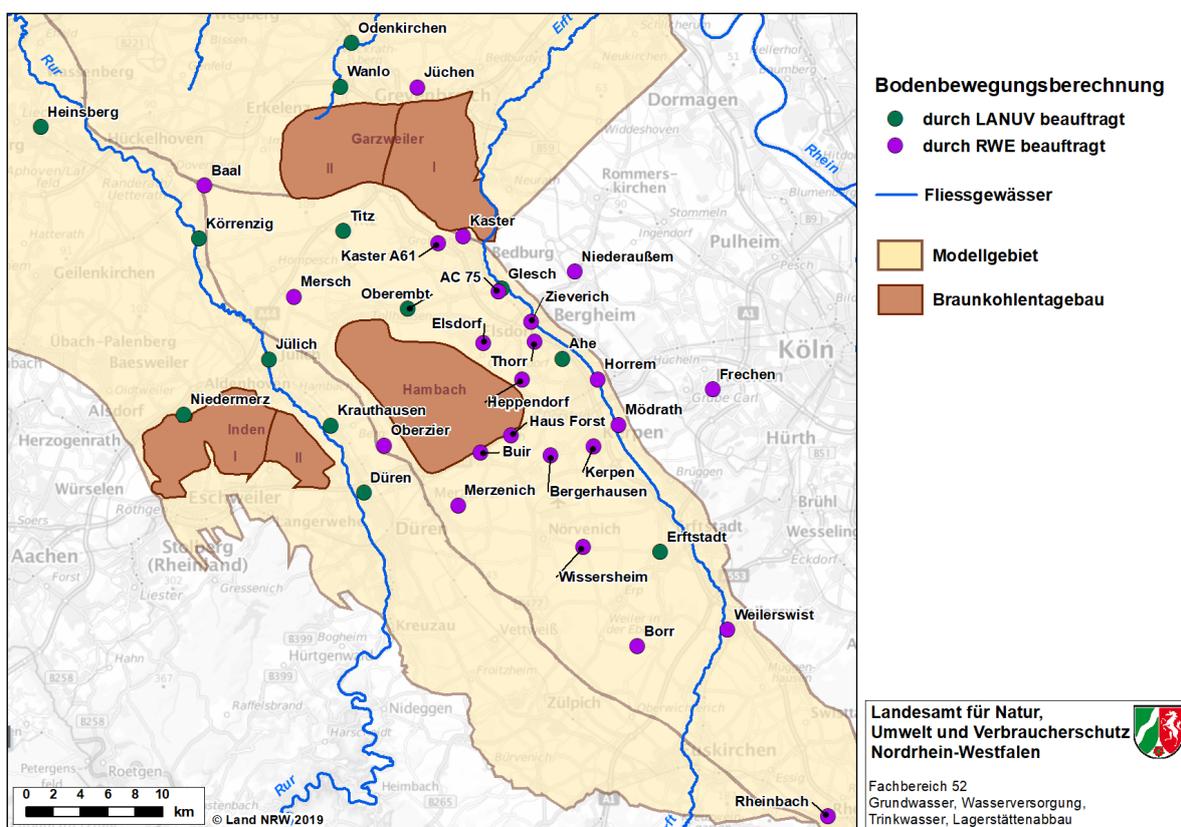


Abbildung 6: Punkte aller berechneten Bodenbewegungsprognosen im Rheinischen Revier

### 2.3.3 Datengrundlagen

Zur Berechnung einer Bodenbewegungsprognose an einem Punkt sind folgende Informationen erforderlich:

#### Geologisches Schichtprofil

Für die Bodenbewegungsprognose werden vertikale Schichtprofile aus dem geologischen 3D-Modell des GD NRW verwendet. Informationen über Abfolge von Grundwasserleitern, -stauern und Braunkohlenflözen sowie deren Teufe und Mächtigkeit werden für den Aufbau und die Parametrisierung des Bodenbewegungsmodells am betrachteten Punkt benötigt.

#### Grundwasserganglinien

Für die Setzungsberechnung mit dem Bodenbewegungsmodell werden Grundwasserganglinien für jeden Grundwasserleiter benötigt. Da es jedoch direkt an den ausgewählten Punkten keine über alle Stockwerke verfilterten Grundwassermessstellen mit den benötigten Zeitreihen (1955 – 2200) gibt, müssen die Ganglinien mithilfe folgender Informationen konstruiert werden.

1. *Grundwasserganglinien von Messstellen in der Umgebung*

Für die Konstruktion werden geeignete Messstellen von LANUV, Erftverband und RWE Power AG verwendet. Die jeweils ausgewählten Grundwasserganglinien müssen sich dabei zueinander ähnlich verhalten (z.B. auf derselben Seite einer Störung liegen). Dann können die Grundwasserstände unter Berücksichtigung des Abstands der Messstelle zum betrachteten Punkt für die Konstruktion übernommen werden.

2. *Grundwasserstände aus Gleichenplänen*

Grundwassergleichenpläne sind notwendig für die Einordnung des betrachteten Punktes in das Strömungsfeld. Außerdem werden Grundwasserstände aus den Gleichen an Punkten benötigt, an denen es keine Messstellen in der Nähe gibt oder diese nicht den kompletten Zeitraum 1955 – 2017 abdecken. Die verwendeten Grundwassergleichenpläne stammen vom LANUV, dem Erftverband und der RWE Power AG. Für den Anfangswert 1955 wurden abgestimmte Grundwassergleichen verwendet.

3. *Grundwasserganglinien aus dem Großraummodell des LANUV*

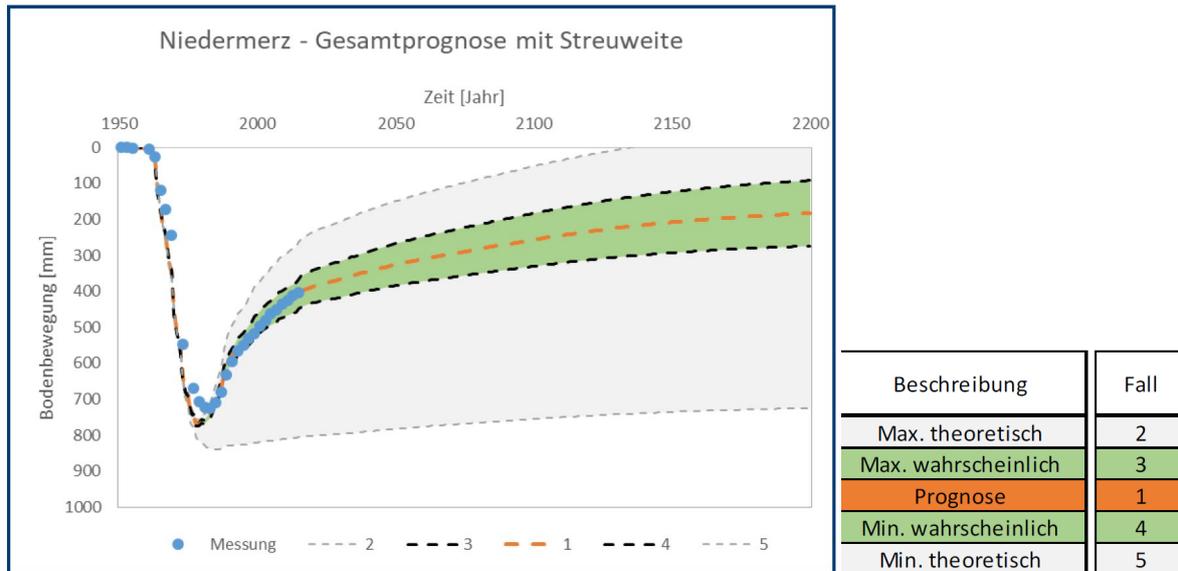
Für die Prognose im Zeitraum 2017 – 2200 werden leiterspezifische Grundwasserganglinien aus dem LANUV-Modell verwendet.

#### Höhenzeitfolge des Leitnivelements

Das Bodenbewegungsmodell wird individuell für jeden Punkt aufgebaut und kalibriert. Die Kalibrierung erfolgt anhand der gemessenen Höhenzeitfolge an dem jeweiligen Berechnungspunkt. Die Leitnivelementsmessungen, die diesen Daten zugrunde liegen, werden von Geobasis NRW durchgeführt und sind online verfügbar ([https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk\\_internet/geobasis/raumbezug/festpunktdaten/hoehenfestpunkte/index.html](https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/raumbezug/festpunktdaten/hoehenfestpunkte/index.html)).

### 2.3.4 Ergebnis der Bodenbewegungsprognose

Die für die Erarbeitung der Geländehöhen benötigten Bodenbewegungsprognosen wurden mit dem oben beschriebenen Bodenbewegungsmodell der ZAI GmbH durchgeführt. Dabei wurden die theoretischen und wahrscheinlichen Streuweiten, die sich durch Variation der Hebungsfaktoren ergeben, einbezogen. Die Vorgehensweise und die Ergebnisse sind im Projektbericht dokumentiert [6]. Exemplarisch werden im Folgenden die Ergebnisse der Bodenbewegungsprognose am Punkt Niedermerz nördlich des Tagebaus Inden beschrieben.



**Abbildung 7:** Bodenbewegungsprognose am Punkt Niedermerz mit theoretischer und wahrscheinlicher Streuweite [6]

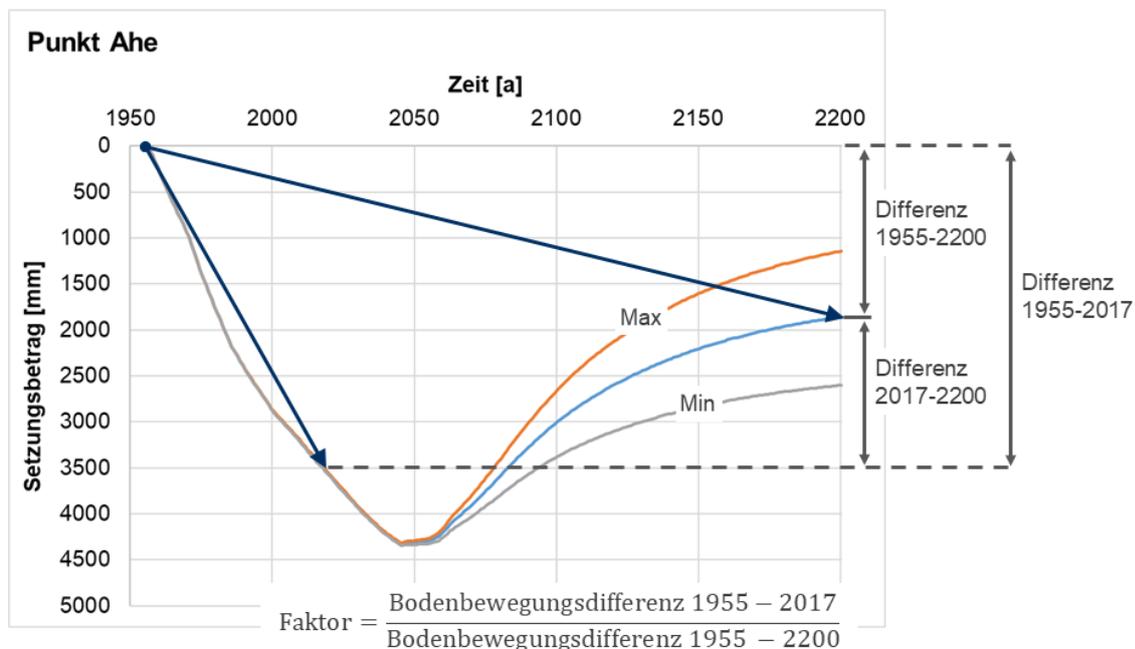
Die Ergebnisse am Punkt Niedermerz zeigen, dass das Bodenbewegungsmodell sehr gut an den gemessenen Bodenbewegungen kalibriert werden konnte und diese sehr gut abbildet. Die darauf aufbauende Prognose (2017-2200) auf Basis des Grundwasserwiederanstiegs zeigt, dass weitere Hebungen auftreten, diese aber erwartungsgemäß insgesamt geringer sein werden als die Setzungen, die bereits stattgefunden haben. Die ursprüngliche Geländehöhe wird also nicht erreicht. Die wahrscheinliche Streuweite liegt im Jahr 2200 voraussichtlich im Bereich von ca.  $\pm 10$  cm. Die theoretisch mögliche Streuweite wäre mit Abweichungen ca. +20 cm bis -50 cm deutlich größer, was allerdings aufgrund der großen Abweichungen im Verhältnis zu den gemessenen Werten unrealistisch erscheint [6]. Aus diesem Grund wird für die minimalen und maximalen Geländehöhen die wahrscheinliche Streuweite angesetzt.

## 2.4 Konstruktion der Geländeoberfläche für 2200

Um für den stationären Endzustand eine Flurabstandskarte zu erarbeiten, wird neben den mit einem Grundwassermodell errechneten Grundwasserständen auch die flächige Darstellung der Geländeoberfläche für das Jahr 2200 benötigt. Eine Prognose der Bodenbewegungsbeiträge bzw. der Geländehöhen erfolgt mit dem Bodenbewegungsmodell nur an 37 Punkten im Rheinischen Revier (Prognosepunkte). Deshalb ist eine Interpolation in die gesamte betrachtete Fläche dieser wenigen Werte zu ungenau.

Eine durchgängige Messung der Geländehöhen seit 1955 erfolgt im Rheinischen Revier an ca. 600 Höhenfestpunkten. Durch zusätzliche Anwendung der Methode der Ersatzpunktverknüpfung sind gemessene Bodenbewegungen für den Zeitraum 1955 – 2017 an etwa 700 zusätzlichen Punkten vorhanden. Bei der Interpolation wird die Gesamtmenge dieser Punkte (ca. 1300 Messpunkte) einbezogen.

Diese Vorgehensweise ist möglich, da sich die gemessenen Bodenbewegungen an nahe zueinander liegenden Messpunkten ähnlich verhalten [8].



**Abbildung 8:** Berechnung des Bodenbewegungsfaktors am Punkt Ahe

Ein weiterer Grund ist, dass auch das Verhältnis von bereits gemessenen zu prognostizierten Bodenbewegungen an benachbarten Prognosepunkten ähnlich ist. Somit erfolgt die Konstruktion der Geländeoberkante in mehreren Schritten:

1. Berechnung eines Faktors an allen Prognosepunkten

Der Faktor wird an allen 37 Prognosepunkten berechnet als das Verhältnis von gemessenen zu prognostizierten Bodenbewegungen

$$\text{Faktor} = \frac{\text{Bodenbewegungsdifferenz (1955 - 2017)}}{\text{Bodenbewegungsdifferenz (1955 - 2200)}}$$

In Abb. 8 ist die Berechnung am Beispiel des Punktes „Ahe“ dargestellt.

2. Triangulation des Faktors und Extraktion der Werte an jedem Messpunkt  
Der Faktor wird durch Triangulation in die Fläche interpoliert und an jedem der ~1300 Messpunkte mit durchgängiger Messreihe von 1955 bis 2017 extrahiert. Damit kann die Konstruktion der Geländeoberfläche mithilfe eines größeren Punktfelds durchgeführt werden.
3. Berechnung der prognostizierten Bodenbewegung an jedem Messpunkt  
An jedem der ~1300 Messpunkte werden die prognostizierten Bodenbewegungen aus der gemessenen Bodenbewegung und dem Faktor berechnet

$$Differenz(1955 - 2200) = \frac{Differenz(1955 - 2017)}{Faktor}$$

Daraus wird anschließend die Bodenbewegungsdifferenz 2017 – 2200 berechnet

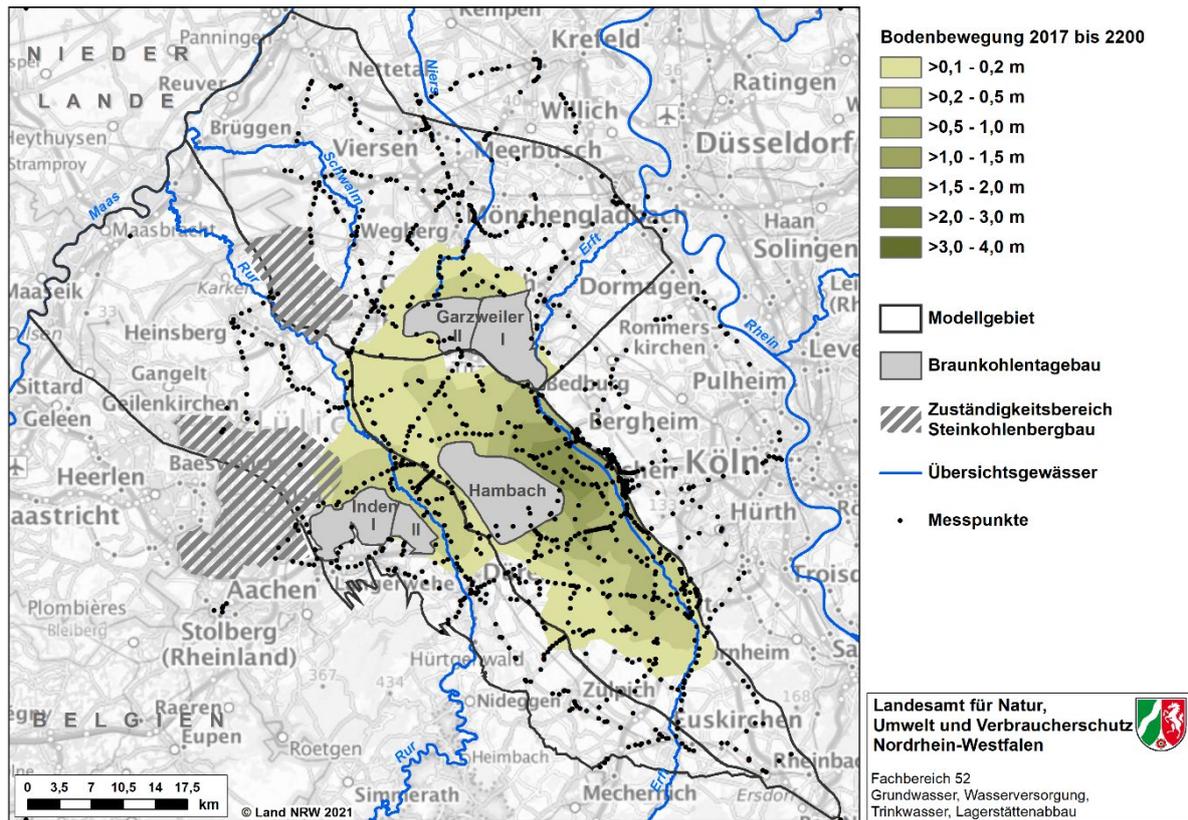
$$Differenz(2017 - 2200) = Differenz(1955 - 2200) - Differenz(1955 - 2017)$$

4. Triangulation der prognostizierten Bodenbewegungen und Extraktion an die Modellknoten  
Die so berechneten prognostizierten Bodenbewegungen werden von den Messpunkten durch Triangulation in die Fläche interpoliert (Abb. 9). Die Werte werden anschließend an die Modellknoten im Grundwassermodell extrahiert.
5. Berechnung der Geländeoberfläche für das Jahr 2200  
Aus den gemessenen Geländehöhen für das Jahr 2017 (DGM1) und der Bodenbewegungsdifferenz 2017 – 2200 ergibt sich die Geländehöhe 2200 für alle Modellknoten des Grundwassermodells.

Alle flächenhaften Interpolationen erfolgen mithilfe der Triangulation. In den Bereichen der Schollengrenzen und an weiteren Störungen werden sogenannte Bruchkanten definiert, die bei der Triangulation verhindern, dass über sie hinweg interpoliert wird.

Bei der Triangulation der Bodenbewegungsdifferenzen werden die bereits ausgekohlten und noch aktiven Tagebaue ausgespart, da es in diesen Bereichen keine durchgängigen Messungen gibt und die Geländeoberfläche in diesen Bereichen zudem durch die bergbauliche Inanspruchnahme verändert wurde bzw. wird. Da die Flurabstände in den Tagebauen selbst allerdings nicht von Interesse sind, werden in diesen Bereichen der Karte nicht die Flurabstände dargestellt, sondern weiterhin die Tagebaue eingezeichnet.

Bereiche mit Steinkohlenbergbau stellen für die Erstellung der Geländeoberfläche einen Sonderfall dar, da hier die großräumigen Bodenbewegungen durch lokal aufgetretene Bergsenkungen aus dem Steinkohlenbergbau überlagert werden. Die hier gemessenen Bergsenkungsbeträge werden nicht bei der Ermittlung der Bodenbewegungsdifferenzen 1955 – 2017 berücksichtigt. In den Karten werden die Bereiche mit Steinkohlenbergbau gekennzeichnet.



**Abbildung 9:** Bodenbewegungsdifferenz 2017 - 2200 mit dem Punktfeld, das der Triangulation zugrunde liegt

Wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, wird an jedem Punkt zusätzlich zu der Prognose der Bodenbewegung eine Spannbreite berechnet, die den Bereich widerspiegelt, in dem sich der berechnete Wert der prognostizierten Bodenbewegung mit großer Wahrscheinlichkeit bewegen wird. Dadurch wird an jedem Punkt eine minimale und eine maximale Bodenbewegungsdifferenz 2017–2200 ermittelt (Anlage 1). Dementsprechend wird das hier beschriebene Verfahren zur Konstruktion der Geländeoberfläche dreimal durchgeführt; für die sich wahrscheinlich einstellende Geländeoberfläche sowie für eine maximale und eine minimale Ausprägung.

## 2.5 Karten der Geländeoberfläche

Das Digitale Geländemodell (DGM1, Stand 2017) bildet die Grundlage für die Karten der Geländeoberfläche in den verschiedenen zu betrachtenden Szenarien (Abb. 10). Es wird durch die Bezirksregierung Köln (Geobasis NRW) mit einer Gitterweite von einem Meter bereitgestellt. Für die Erstellung werden die Messdaten verwendet, die aus dem Ergebnis des flugzeuggestützten Laserscanning gewonnen werden.

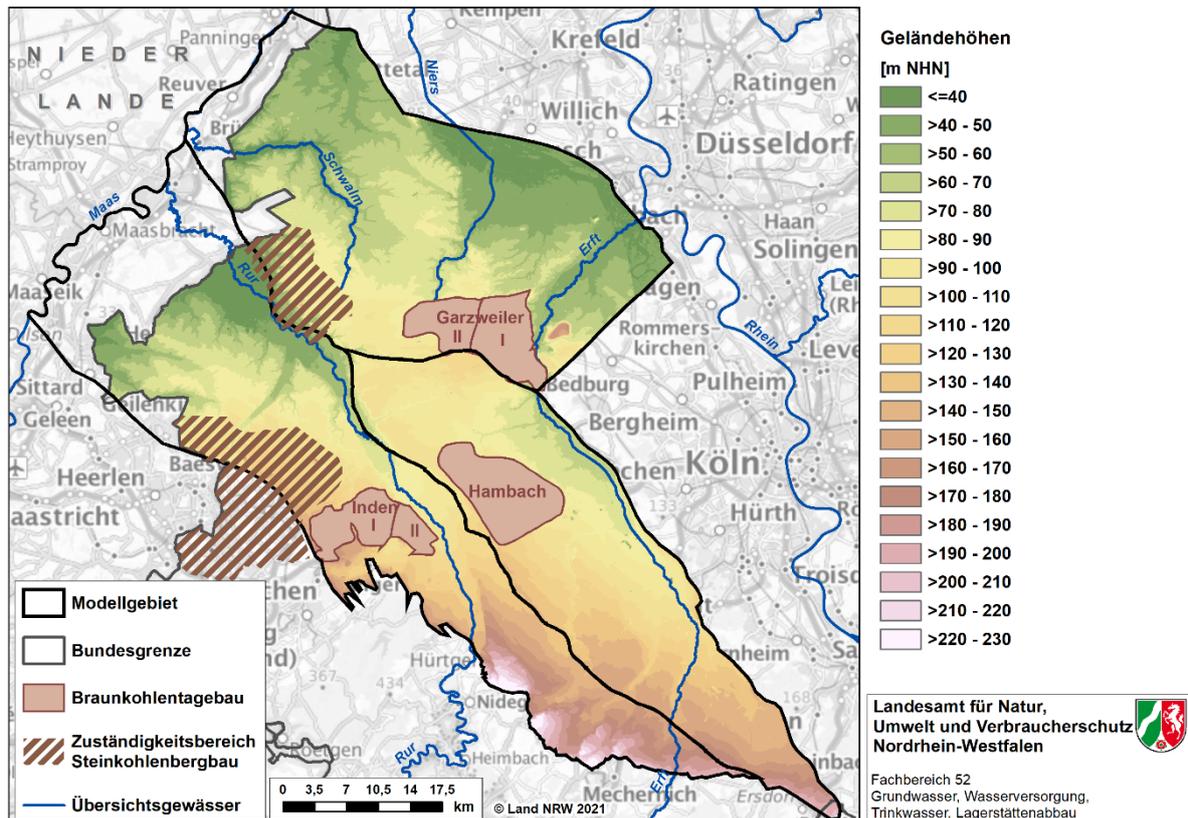


Abbildung 10: Heutige Geländehöhen (DGM1) im Untersuchungsgebiet

### 2.5.1 Referenzszenario

Die großräumigen Grundwasserabsenkungen, die für die Trockenhaltung der Tagebaue notwendig sind, verursachen weitestgehend gleichmäßige Bodensetzungen im Rheinischen Revier. Für das Referenzszenario ohne Bergbau wird deshalb eine Karte der Geländehöhen für die Zeit vor Beginn des Bergbaus benötigt. Da es keine hochaufgelöste flächige Darstellung der vorbergbaulichen Geländehöhen gibt, wird diese mithilfe der abgelaufenen Bodenbewegungen und dem Digitalen Geländemodell (DGM1, Stand 2017) berechnet. Als Grundlage für die Triangulation der Bodenbewegungen dienen ca. 1300 Messpunkte, an denen durchgängige Messreihen von 1955 bis 2017 vorliegen. Die Bereiche mit Steinkohlenbergbau werden, wie in Abschnitt 2.4 beschrieben, dabei nicht berücksichtigt. Die Referenz-Geländehöhe berechnet sich anschließend aus der Differenz der flächigen Darstellungen von DGM1 (Abb. 10) und Bodenbewegungsdifferenz 1955–2017 (Abb. 2).

## 2.5.2 Bergbauszenario

Der Grundwasserwiederanstieg nach Ende des Bergbaus wird großräumig zu Bodenhebungen führen. Für das Bergbauszenario, das den stationären Endzustand ca. 2200 abbildet, wird deshalb eine Karte der Geländehöhen für diesen Zustand benötigt. Diese wird mithilfe der prognostizierten Bodenbewegungen und dem DGM1 berechnet. Die Triangulation der Bodenbewegungen ist in Abschnitt 2.4 beschrieben. Die Geländehöhe im Bergbauszenario berechnet sich aus der Differenz der flächigen Darstellungen von DGM1 (Abb. 10) und Bodenbewegungsdifferenz 2017–2200 (Abb. 9). Im Rahmen der Bodenbewegungsprognosen wurden auch Spannbreiten ermittelt. Für maximale/minimale Bodenbewegungen wurden mit demselben Vorgehen auch minimale/maximale zu erwartende Geländehöhen berechnet.

### **3 Grundwasserstandsprognose**

Neben der flächigen Darstellung der Geländehöhen werden für die Flurabstandskarte von Referenz- und Bergbauszenario jeweils flächige Darstellungen der Grundwasserstände benötigt. Diese werden mit dem Grundwassermodell des LANUV ermittelt.

#### **3.1 Grundwassermodell**

Zur Simulation der Grundwasserströmung im Einflussbereich der drei zurzeit noch aktiven Braunkohlentagebaue im Rheinischen Revier wird seit 1990 das Grundwassermodell des LANUV für verschiedene Fragestellungen eingesetzt. Das Modell berechnet die instationäre, dreidimensionale, teilweise ungesättigte Strömung des Grundwassers auf der Basis der Finite Elemente Methode mit der Software FeFlow (DHI Wasy).

Im Folgenden werden Aufbau und Eingangsdaten des Modells für die bisherigen Simulationen beschrieben.

##### **3.1.1 Modellbeschreibung**

Das Modellgebiet mit einer Fläche von über 3.000 km<sup>2</sup> umfasst die Venloer Scholle, Erftscholle und Rurscholle (Abb. 1) und wurde in über 1,75 Mio. unregelmäßigen, dreidimensionalen, dreieckig-prismatischen Modellelementen diskretisiert.

Die horizontale Größe der Elemente variiert zwischen ca. 50 und ca. 1500 m. Die Diskretisierung wurde an für die Fragestellung wichtige punktuelle Daten (z.B. Infiltrationsanlagen oder Entnahmen) oder linienhafte Strukturen (z.B. geologische Ausstriche oder Gewässer) angepasst. Dabei wurden insbesondere die Tagebauränder, Feuchtgebiete, hydraulisch relevanten Störungsverläufe und die unmittelbare Umgebung von Förderbrunnen und Infiltrationsanlagen detailliert abgebildet.

In der Vertikalen umfasst das dreidimensionale Modell alle relevanten Grundwasserleiter und Grundwasserstauer bis unter das tiefste Braunkohlenflöz, das abgebaut wird. Entsprechend dem geologischen Aufbau der drei tektonischen Schollen ergeben sich daraus regionale Unterschiede im vertikalen Modellaufbau.

Der Modellierungszeitraum beginnt 1975 und endet entsprechend der jeweiligen Fragestellung. Der Berechnungszeitraum reicht für das Projekt Flurabstandsprognose bis zum stationären Endzustand (ca. im Jahr 2200) und kann bei Bedarf auch darüber hinaus verlängert werden.

### 3.1.2 Datengrundlagen

Zur Berechnung der Grundwasserströmung sind folgende Informationen erforderlich:

#### **Geländeoberfläche**

Die Geländeoberfläche wurde aus den im 1x1m Raster von Geobasis NRW erhobenen Daten des aktuellen DGM1 (Stand 2015/16, [https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk\\_internet/geobasis/hoehenmodelle/gelaendemodell/index.html](https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/hoehenmodelle/gelaendemodell/index.html)) auf die Modellknoten übertragen.

#### **Geologischer Aufbau des Modells**

Die geologischen Informationen für den Modellaufbau (Störungsverläufe, Höhenangaben zu Schichtoberkanten und –unterkanten sowie deren Verbreitungsgrenzen) werden den dreidimensionalen geologischen Modellen des Geologischen Dienstes NRW (GD NRW) entnommen. Die Konstruktionen des GD NRW erfolgen anhand aller Bohrinformationen der Bohrungsdatenbank DABO sowie Kartierungen und werden dabei im Rahmen des Arbeitskreises „Geologische Modellgrundlagen im Rheinischen Revier“ unter Beteiligung von Erftverband, RWE Power AG und LANUV und weiteren Behörden/Interessenvertretern abgestimmt.

Das Grundwassermodell umfasst die wesentlichen geologischen Schichten vom Quartär bis zur Tertiärbasis der drei abgebildeten geologischen Schollen. Da es Unterschiede im Aufbau der drei Schollen gibt, werden bis zu 10 Grundwasserleiter und bis zu 9 Grundwasserstauer berücksichtigt. Die Grundwasserleiter werden jeweils mit 1 Modellschicht (Ausnahme oberer Grundwasserleiter mit 4-8 Modellschichten) und die Grundwasserstauer mit 3 Modellschichten abgebildet. Daraus ergibt sich ein vertikaler Aufbau des Modells aus 40 Schichten (Tab. 3-1).

**Tabelle 1:** Vertikale Diskretisierung der Schichtenabfolge der einzelnen Teilschollen des Großraummodells

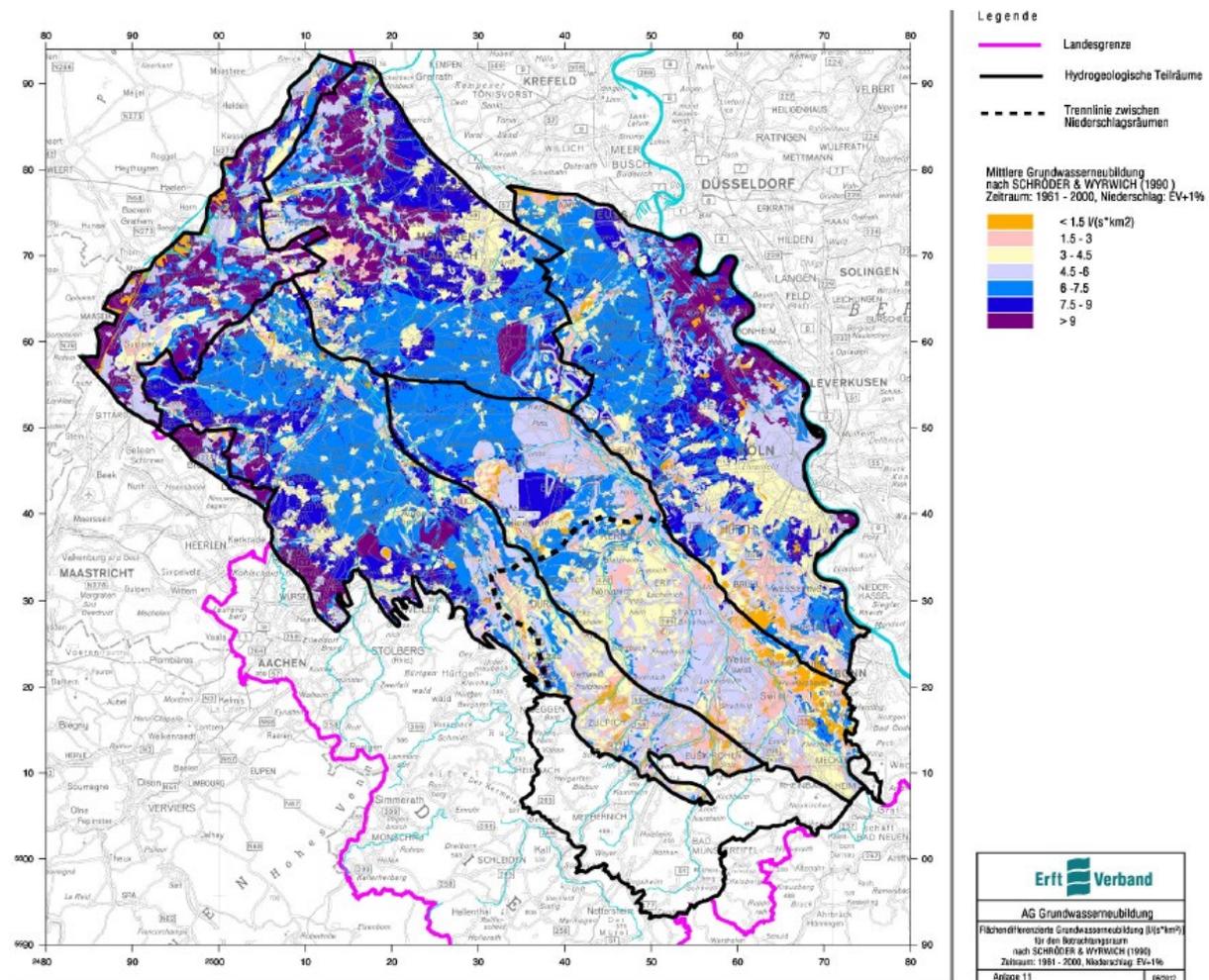
Layer des FEFLOW-Modells	Rurscholle (RS)	Erftscholle (ES)	Venloer Scholle (VS)
1	14-19	14-19	14-19
2			
3			
4			
5	Ton 13	Ton 13	
6			
7			
8	12	12	
9	Tone 11E/11A	Tone 11E/11A	Ton 13
10			
11			
12	10	10	12
13	Ton 9C	Ton 9C	11E
14			
15			
16	9B	9B	11D
17	Ton 9A	Ton 9A	11C
18			
19			
20	8	8	10/9B/8
21	Flöz 7F / Flöz 7B/7D	Flöz 7F/7E / Flöz 7B	Flöz 6E
22			
23			
24	7A	7A	6D
25	Flöz 6E	Flöz 6E	6C
26			
27			
28	6D	6D	6B
29	Flöz 6C	Flöz 6C	Flöz 6A
30			
31			
32	6B	6B	4-5
33	Flöz 6A	Flöz 6A	X
34			
35			
36	2 - 5	2 - 5	
37	Ton 1	Ton 1	
38			
39			
40	01-09	01 -09	

## Grundwasserneubildung

Für die Berücksichtigung der Grundwasserneubildung im Modell sind folgende Eingangsdaten erforderlich:

- räumliche Verteilung des langjährigen Mittelwerts der Grundwasserneubildung
- zeitliche Variation der Grundwasserneubildung in Jahresschritten

Für die räumliche Verteilung der mittleren Grundwasserneubildung wird nach Empfehlung der vom Erftverband geleiteten AG Grundwasserneubildung im Rheinischen Revier das Verfahren nach Schröder & Wyrwich (1990) verwendet (Abb. 11). Die genaue Vorgehensweise ist in dem Abschlussbericht der AG beschrieben [11].



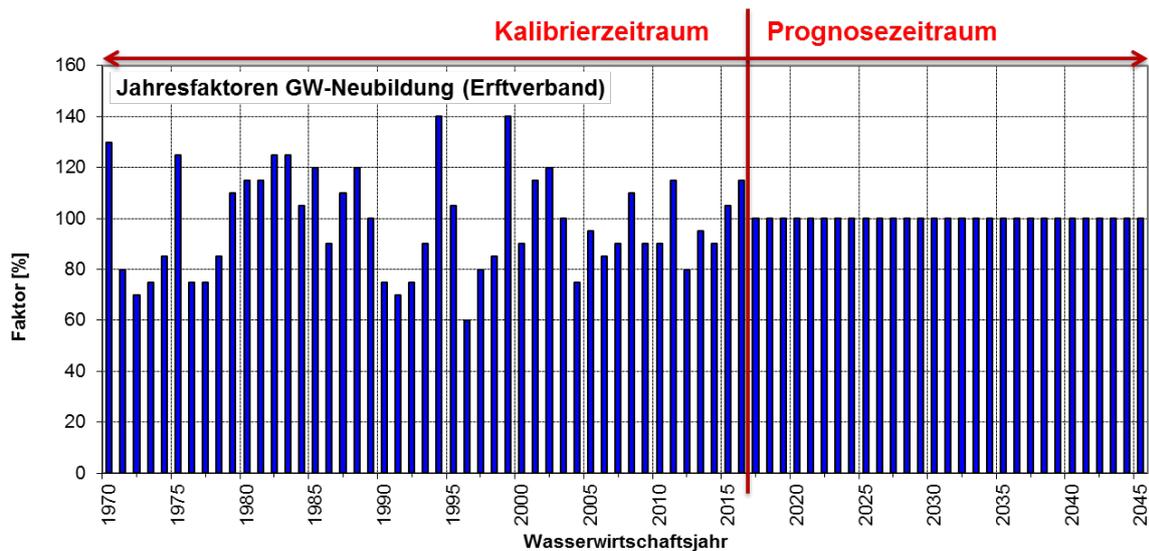
**Abbildung 11:** Räumliche Verteilung der Grundwasserneubildung nach dem Verfahren nach Schröder/Wyrwich (Mittelwert 1961-2000)

Die Landnutzung als wichtiger Eingangsfaktor zur Berechnung der Grundwasserneubildung stammt mit Ausnahme der aktiven Tagebaue aus den CORINE Landcover 2000 (CLC2000) Datenbeständen. Sie ändert sich im Grundwassermodell nur in den Abbaufeldern. Dementsprechend wird im Modell für die Tagebausefflächen und die rekultivierten Flächen die mittlere Grundwasserneubildung nach Tagebauende geändert. Die Flächen der Tagebauseen werden

mit einer mittleren Grundwasserneubildung von  $0 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$  berücksichtigt. Für die Kippenbereiche wird entsprechend der überwiegenden Nutzung als Acker- bzw. Grünlandflächen der Wert der benachbarten Acker-/Grünlandflächen übernommen.

Die zeitliche Variation der Grundwasserneubildung wird mit Jahreswerten im Modell berücksichtigt. Dafür wird die jährlich vom Erftverband für das gesamte Tätigkeitsgebiet berechnete Grundwasserneubildung verwendet. In Relation zum langjährigen Mittelwert wird daraus für jedes Jahr ein Faktor berechnet [12].

Für den Kalibrierungszeitraum (1975–2015) wird für jedes Jahr die Grundwasserneubildung durch Multiplikation des langjährigen Mittelwerts mit dem Jahresfaktor des Erftverbands ermittelt. Für den Prognosezeitraum wird konstant der langjährige Mittelwert verwendet (Abb. 12).

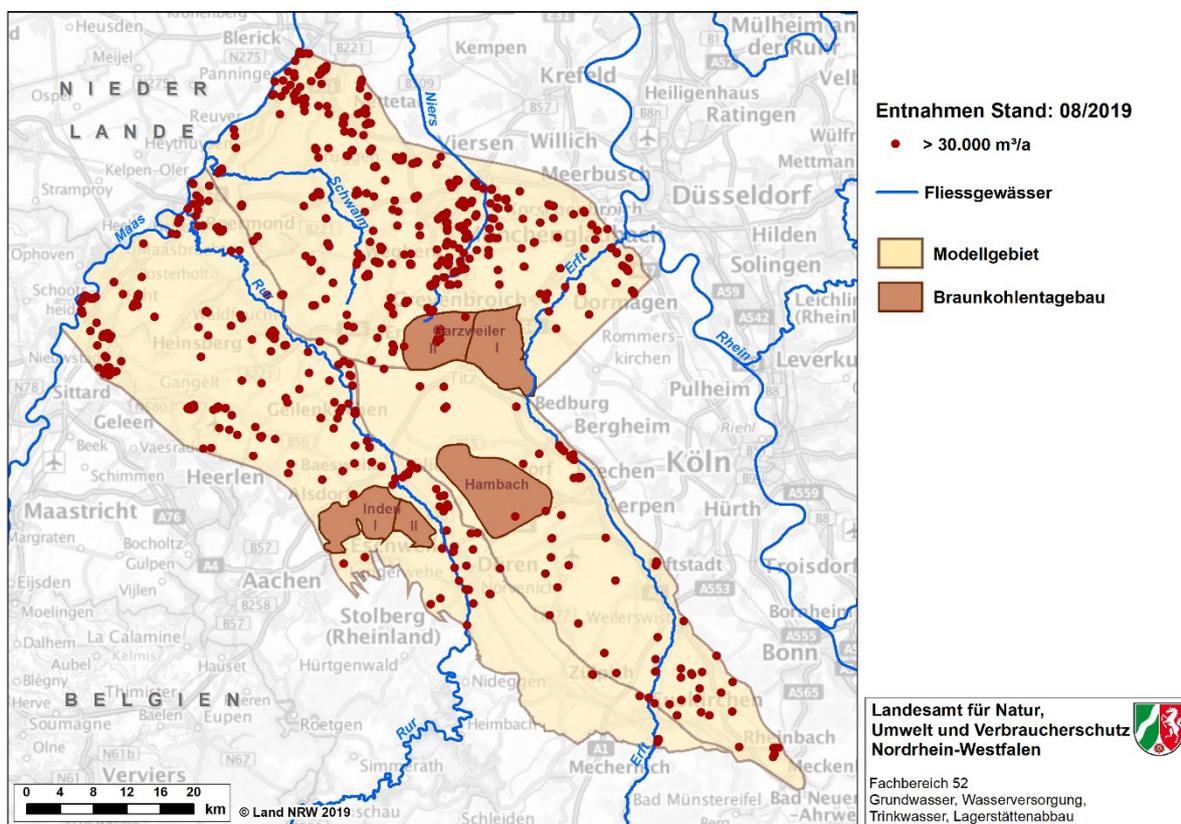


**Abbildung 12:** Zeitliche Variation der Grundwasserneubildung in Relation zum langjährigen Mittelwert (100 %)

### Grundwasserentnahmen Dritter

Im Grundwassermodell werden alle (bis 2017) aktuell vorhandenen Grundwasserentnahmen ab einem Wasserrecht  $>30.000 \text{ m}^3/\text{a}$  berücksichtigt (Abb. 13). Dafür wird auf die Datenbank des Erftverbands zurückgegriffen, die im Rahmen des Monitorings Garzweiler II aufgebaut wurde. Lage, Entnahmehorizont, Wasserrecht und jährliche Fördermenge werden aus der Datenbank übernommen. Die Einzelbrunnen werden entsprechend der Modelldiskretisierung den Modellknoten zugeordnet und gegebenenfalls zusammengefasst.

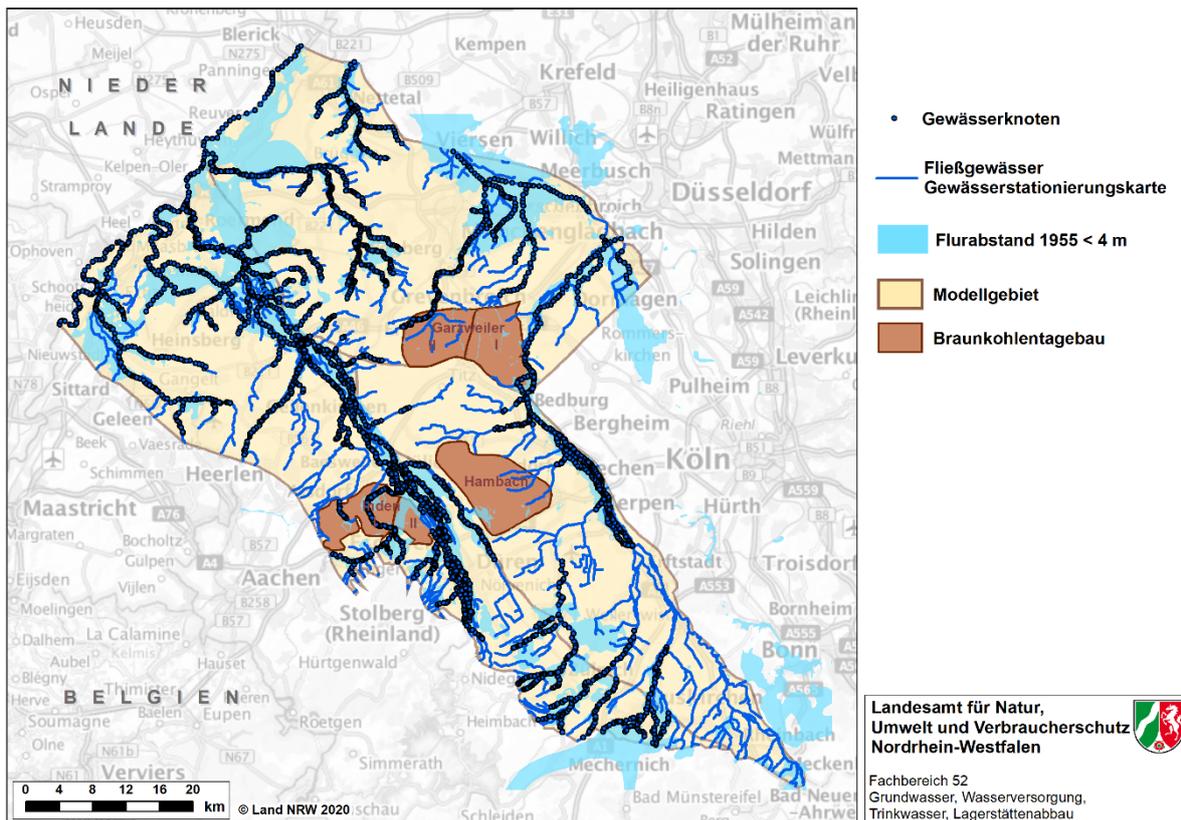
Bis zum Jahr 2017 sind die tatsächlichen Fördermengen berücksichtigt. Im Prognosezeitraum wird der letzte bekannte Jahreswert konstant angesetzt. Für den Prognosezeitraum werden zudem bereits geplante (z.T. bergbaubedingte) Verlegungen von Wasserwerksstandorten sowie geplante Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftaue berücksichtigt.



**Abbildung 13:** Lage aller im Grundwassermodell berücksichtigten Drittentnehmer

## Oberflächengewässer

Oberflächengewässer der Gewässerstationierungskarte GSK3 sind im Grundwassermodell berücksichtigt, wenn sie vorbergbaulich (vor 1955) Grundwasserkontakt hatten. Ob ein Gewässer Grundwasserkontakt hat, lässt sich anhand der Flurabstände an diesem Gewässer ableiten. Bei geringen Flurabständen von  $< 1$  m kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass ein Gewässer Kontakt zum Grundwasser hat. Um den vorbergbaulichen Grundwasserkontakt zu ermitteln, wird eine Flurabstandskarte 1955 aus den Grundwassergleichenplänen von 1955 (ohne Sümpfungstrichter) und der konstruierten Geländeoberfläche 1955 berechnet. Diese Flurabstandskarten und auch der eingehende Gleichenplan und die berechnete Geländeoberfläche sind aber zum Beispiel aufgrund der geringeren Datendichte mit Unsicherheiten behaftet. Deshalb wurde für die Auswahl der Gewässer, die im Grundwassermodell berücksichtigt werden, ein größerer Bereich mit Flurabständen von  $< 4$  m zu Grunde gelegt. Alle Gewässerabschnitte, die sich innerhalb dieses Bereiches befinden, werden im Modell durch eine Gewässerrandbedingung berücksichtigt (Abb. 14). Außerhalb dieses Bereichs liegende Oberflächengewässer, die ausschließlich ins Grundwasser infiltrieren, werden dadurch nicht abgebildet.



**Abbildung 14:** Lage der Modellknoten im Grundwassermodell mit Gewässerrandbedingung

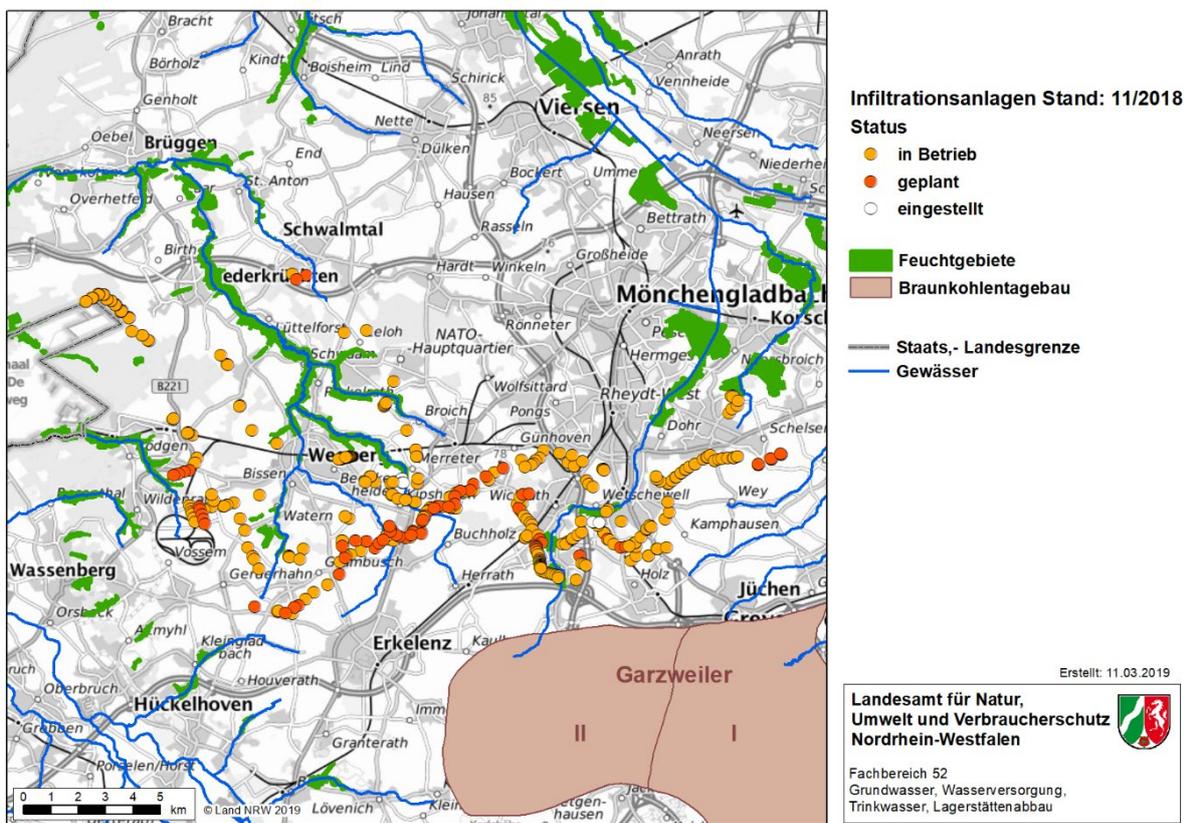
Für die Gewässerrandbedingung im Modell werden als Eingangsdaten Mittelwasserstände benötigt, die entweder aus Vermessungsdaten der jeweiligen zuständigen Wasserverbände, von Gewässerpegeln der Wasserverbände oder des LANUV stammen oder, falls keine anderen Daten vorhanden sind, aus dem DGM1 abgeleitet werden.

## Bergbaubedingte Eingangsdaten

Die bergbaubedingten Einflüsse auf den Grundwasserhaushalt sind zum einen das direkte Abbaugeschehen und zum anderen die dazugehörigen Ausgleichsmaßnahmen.

Die Tagebaudaten wie Abbaufortschritt, Sumpfungsmengen, Tagebauseekubatur werden von der RWE Power AG zur Verfügung gestellt. Für den Kalibrierungszeitraum wird die tatsächliche Sumpfungsmenge, für den Prognosezeitraum die prognostizierten Jahresmengen aus den Daten des RWE-Grundwassermodells übernommen.

Zum Ausgleich des Sumpfungseinflusses wird der Grundwasserspiegel in der Venloer Scholle durch zahlreiche Infiltrationsanlagen gestützt. Alle 308 im Jahr 2018 bereits bestehenden und ca. 100 geplante Anlagen sind im Modell berücksichtigt (Abb. 15). Die Daten bezüglich Lage, Verfilterung und Infiltrationsmenge werden von der RWE Power AG in einer Datenbank zur Verfügung gestellt. Entsprechend der Modelldiskretisierung können mehrere Anlagen auf einem Modellknoten zusammengefasst sein.



**Abbildung 15:** Lage der bestehenden und geplanten Infiltrationsanlagen (Stand 2018)

Für den Kalibrierungszeitraum werden die tatsächlichen Infiltrationsmengen aus der Datenbank übernommen, für den Prognosezeitraum werden die mit dem RWE-Modell prognostizierten Werte angesetzt (Abb. 16).

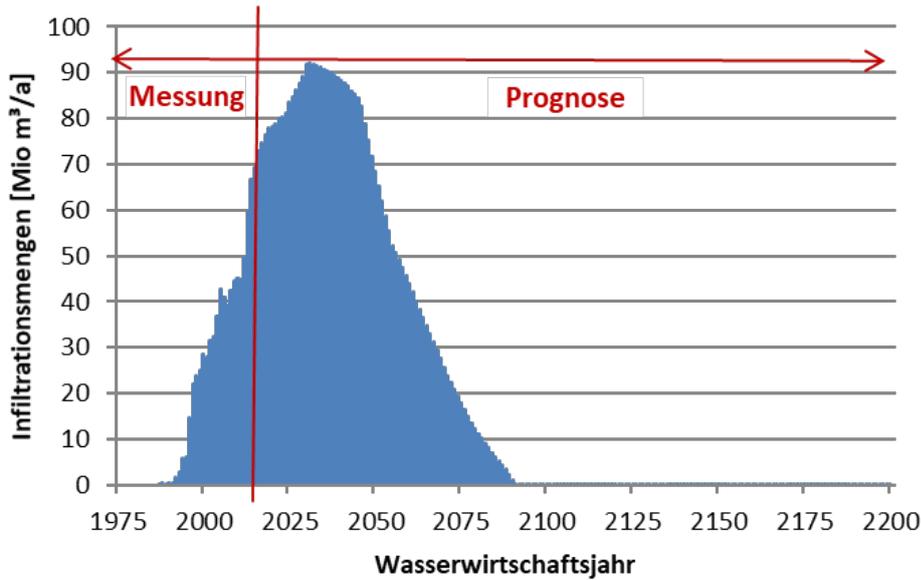


Abbildung 16: Gemessene und prognostizierte Infiltrationsmengen

### 3.1.3 Kalibrierung

Nach Modellaufbau und Dateneingabe erfolgt die Kalibrierung des Grundwassermodells. Dabei werden berechnete Grundwasserhöhen mit gemessenen Grundwasserständen verglichen. Durch Variation von Materialparametern wie der hydraulischen Durchlässigkeit ( $k_f$ -Wert) wird dabei die Anpassung der Modellberechnungen an die Messwerte optimiert.

Als Vergleichsgrundlage für die räumliche und zeitliche Modellanpassung werden dafür Grundwasserganglinien ausgewählter, geeigneter Messstellen aus der landeseigenen Datenbank HygrisC, sowie Grundwassergleichenpläne für ausgewählte Zeitpunkte und Grundwasserleiter, die vom Erftverband oder der RWE Power AG konstruiert wurden, verwendet.

Als Kalibrierungszeitraum wurde 1975 bis 2015 gewählt.

## 3.2 Szenariendefinition

Die für die Beantwortung der Fragestellungen im Projekt benötigten Grundwasserstände werden mit dem unter 3.1 beschriebenen Grundwassermodell des LANUV berechnet. Insgesamt werden acht verschiedene Szenarien erarbeitet (Abb. 17). Die Eingangsdaten und die Simulationssteuerung müssen dafür entsprechend angepasst werden.

ohne Wasserhaltungsmaßnahmen	mit Wasserhaltungsmaßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referenzszenario</li> <li>• Bergbauszenario</li> <li>• Bergbauszenario mit min. GOK</li> <li>• Bergbauszenario mit max. GOK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Referenzszenario</li> <li>• Bergbauszenario</li> <li>• Bergbauszenario mit min. GOK</li> <li>• Bergbauszenario mit max. GOK</li> </ul>

**Abbildung 17:** Übersicht über die mit dem Grundwassermodell berechneten Szenarien

Die Berechnungen der Szenarien erfolgen als quasistationäre Simulation. Dabei bleiben alle benötigten Eingangsdaten konstant, aber die Simulation erfolgt trotzdem instationär, d.h. die Grundwasserstände können sich im Zeitverlauf ändern. Werden stabile Grundwasserstände erreicht, wird die Simulation beendet.

### 3.2.1 Bergbauszenario

Das Bergbauszenario entspricht hinsichtlich der Grundwasserstandsprognose im Wesentlichen der unter 3.1 beschriebenen Modellrechnung für den stationären Endzustand. Dazu ist anzumerken, dass es sich um den Planungsstand bezüglich Abbau und Rekultivierung des Jahres 2018 handelt. Änderungen der Tagebauplanungen nach der Leitentscheidung 2021 können sich auf die Ergebnisse auswirken.

Für die Prognose der Grundwasserstände im Bergbauszenario werden folgende Anpassungen vorgenommen:

#### Oberflächengewässer

Im Bergbauszenario werden die Gewässer mit ihrem heutigen Verlauf sowie den geplanten Renaturierungsmaßnahmen (Erft) berücksichtigt.

Die Mittelwasserstände müssen für das Szenario um die von 2017 bis 2200 stattfindenden Bodenbewegungen inklusive ihrer Streuweite korrigiert werden (siehe auch Geländeoberfläche). Da ein besonderer Fokus auf der Erftaue liegt, wird für die Berechnung der Mittelwasserstände der Erft das beim Erftverband vorliegende gerinnehydraulische Modell verwendet. Die Modellierung erfolgt auf Grundlage der prognostizierten Sohlhöhen 2200, die sich aus den gemessenen Sohlhöhen von 2013 und den prognostizierten Bodenbewegungsbeträgen von 2013 bis 2200 berechnen lassen.

Für alle anderen Gewässer wird ein vereinfachter Ansatz verwendet. Hierbei wird folgendermaßen vorgegangen:

1. Auswahl der Knoten für die Anwendung des vereinfachten Ansatzes: der Mittelwasserstand wird angepasst, wenn das betreffende Gewässer (abschnittsweise) in einem Bereich mit Bodenbewegungen 1955-2017 von mehr als 50 cm liegt. An allen außerhalb dieses Bereichs liegenden Gewässer hat es aufgrund der geringen Setzungen kaum Änderungen des Mittelwasserstands gegeben, sodass dieser nicht angepasst werden muss.
2. Der Wasserstand 2017 wird für alle Gewässerknoten berechnet, an denen Daten aus früheren Jahren (zwischen 2005 und 2015) vorliegen. Dafür werden von der RWE Power bereitgestellte Bodenbewegungsraten verwendet. Als Bodenbewegungsrate wird der Betrag der mittleren Bodenbewegung pro Jahr bezeichnet. Die Bodenbewegungsrate wird berechnet aus dem Quotient des Bodenbewegungsbetrages 2005-2008 und dem Zeitraum (3 Jahre).

Bsp: Wasserstände liegen für 2013 vor, dann gilt:

$$\text{Wasserstand 2017} = \text{Wasserstand 2013} - \text{Bodenbewegungsrate} \times 4$$

Die Bodenbewegungsrate wird mit der Zeit zwischen den beiden Wasserständen multipliziert, in diesem Fall 4 Jahre (von 2013 bis 2017).

3. Berechnung der Mittelwasserstände von 2200 für alle Randbedingungsknoten des Gewässers als Summe aus Wasserstand 2017 und Bodenbewegungsbetrag der für die Geländeoberkante ermittelten Bodenbewegungen 2017-2200.

## **Tagebauseen**

Im Bergbauszenario werden die Tagebauseen mit ihrer Ausdehnung und Kubatur nach Planungsstand 2018 berücksichtigt. Änderungen, die sich beispielsweise aus der Leitentscheidung 2021 ergeben, betreffen vornehmlich die Tagebauseen Garzweiler und Hambach. Die Planung für die daraus resultierende Umgestaltung der Tagebauseen ist noch nicht abgeschlossen und deshalb in die hier berechneten Szenarien noch nicht eingegangen.

Die Seewasserspiegel orientieren sich an den Grundwasserständen, die vorbergbaulich im Bereich des zukünftigen Abstroms des Sees vorlagen. Daraus ergeben sich im Bergbauszenario folgende Seespiegel:

- Inden: 92 m üNN
- Garzweiler: 65 m üNN
- Hambach: 65 m üNN

## **Wasserhaltungsmaßnahmen Erftaue**

In der Erftaue mit vorbergbaulich geringen Flurabständen ( $\leq 3$  m) werden Maßnahmen zur dauerhaften Niedrighaltung des Grundwassers erforderlich. Mit den Sumpfungsmaßnahmen für den Aufschluss der Alt-Tagebaue Frechen und Fortuna-Garsdorf in den 1950er Jahren ergab sich durch das bergbaulich abgesenkte Grundwasserniveau für die Region die Möglichkeit, eine intensive Besiedlung der Erftaue vorzunehmen. Aufgrund der intensiven Nutzung

der Erftaue besteht ein gesellschaftlicher Konsens, die natürlicherweise flurnahen Grundwasserverhältnisse nicht mehr zuzulassen und die Grundwasserstände dauerhaft niedrig zu halten. Der Erftverband als zuständiger Wasserverband in der Region sieht sich in der Verpflichtung durch ein Grundwassermanagement den Grundwasserwiederanstieg nach Ende der aktiven Bergbautätigkeit auf ein für die bestehende Nutzung der Erftaue verträgliches Niveau zu begrenzen. Für die notwendigen Wasserhaltungsmaßnahmen wurde vom Erftverband eine Flächenkulisse abgeleitet, innerhalb derer die Grundwasserstände auf einem Niveau von 3 m unter Gelände gehalten werden sollen.

Um die Wirkung dieser Wasserhaltungsmaßnahmen einschätzen zu können, wurden weitere Szenarien mit Berücksichtigung dieser Maßnahmen gerechnet (Abb. 17). Dafür werden in der Flächenkulisse die Grundwasserstände so über eine Randbedingung festgehalten werden, dass ein Flurabstand von 3 m gewährleistet wird. Die Randbedingung leitet sich jeweils aus den prognostizierten Geländehöhen (wahrscheinlich zu erwartende sowie minimal und maximal zu erwartende Geländehöhen) ab.

### **3.2.2 Referenzszenario**

Das Referenzszenario stellt gegenüber dem Bergbauszenario eine hypothetische Berechnung des Zustands dar, der sich nach heutigem Kenntnisstand eingestellt hätte, wenn keine Bergbautätigkeit im Rheinischen Revier stattgefunden hätte. Es wird keine Berechnung für ein konkretes Jahr durchgeführt. Für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse bleiben alle Eingangsdaten im Referenzszenario gegenüber dem Bergbauszenario gleich, außer denen, die durch den Bergbau beeinflusst sind. Sie werden für das Referenzszenario wie folgt verändert:

#### **Geologie**

Durch den Braunkohlenabbau gibt es eine Veränderung der Geologie in den Tagebaufeldern. Der ursprüngliche Schichtaufbau wird durch den Abbau zunächst aufgehoben und dann durch Abraumkippen oder Tagebauseen ersetzt.

Im Bereich der Abbauflächen wird im Referenzszenario die ursprüngliche Geologie im Modell berücksichtigt. Die dafür benötigten Daten wurden vom GD NRW unter Einbeziehung der Daten der RWE Power AG erhoben und zur Verfügung gestellt.

#### **Grundwasserneubildung**

Im Referenzszenario muss die vorbergbauliche Verteilung der Grundwasserneubildung in den Abbaufeldern berücksichtigt werden. Für ihre Berechnung wird die vorbergbauliche Landnutzung aus der topographischen Karte der Preußischen Neuaufnahme (bis 1912) verwendet. Innerhalb eines Wertebereichs der Niederschlagsverteilung werden auf dieser Grundlage die Neubildungswerte außerhalb der Tagebauflächen für die unterschiedlichen Landnutzungsformen auf die jeweiligen Flächen innerhalb der offenen Tagebauflächen übertragen.

Die zeitliche Entwicklung der Grundwasserneubildung wird analog zum Bergbauszenario verwendet. Im Zeitraum 1975 bis 2018 wird der vom Erftverband ermittelte Jahresfaktor verwendet, im Prognosezeitraum wird der Mittelwert konstant angesetzt.

### **Grundwasserentnahmen Dritter**

Im Referenzszenario wird ebenso wie für den Prognosezeitraum für alle berücksichtigten Entnahmen der letzte bekannte Jahreswert konstant angesetzt. Zudem werden bereits geplante (z.T. bergbaubedingte) Verlegungen von Wasserwerksstandorten sowie geplante Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftaue berücksichtigt.

### **Oberflächengewässer**

Im Referenzszenario werden die Gewässer mit ihrem heutigen Verlauf sowie den geplanten Renaturierungsmaßnahmen (Erft) berücksichtigt. Ausnahme bilden die Inde und die Niers, die im Referenzszenario mit vorbergbaulichem Verlauf berücksichtigt werden, da die Verlegung beider Gewässer ausschließlich bergbaubedingt ist.

Die Mittelwasserstände müssen für das Szenario um die zwischen 1955 und 2017 erfolgten Bodenbewegungen korrigiert werden. Für die Berechnung der Mittelwasserstände der Erft wird ebenfalls das beim Erftverband vorliegende gerinnehydraulische Modell verwendet. Die Modellierung erfolgt auf Grundlage der Sohlhöhen 1955, die sich aus den gemessenen Sohlhöhen von 2013 und den Bodenbewegungsbeträgen von 1955 bis 2013 berechnen lassen.

Für alle anderen Gewässer wird dieselbe Vorgehensweise angewendet wie im Bergbauszenario. Im Gegensatz zum Bergbauszenario wird im Referenzszenario der Mittelwasserstand 1955 berechnet (Summe aus Wasserstand 2017 und Bodenbewegungsbetrag 1955-2017).

### **Wasserhaltungsmaßnahmen Erftaue**

In den Siedlungsbereichen der Erftaue werden – wie auch für das Bergbauszenario – in einer Variante des Referenzszenarios die Wasserhaltungsmaßnahmen in der abgestimmten Flächenkulisse berücksichtigt (Abb. 17). Dafür wird in dieser Kulisse ein Flurabstand von 3 m über H-Randbedingung festgehalten, welche sich aus den konstruierten vorbergbaulichen Geländehöhen ableitet.

### **Bergbaubedingte Eingangsdaten**

Sämtliche bergbaubedingte Eingangsdaten, die im Modell durch Randbedingungen berücksichtigt werden (Sümpfung, Infiltration), werden für das Referenzszenario aus dem Modell entfernt.

### 3.3 Modellergebnisse

Die oben beschriebenen Szenarien für die Berechnung der Grundwasserstände wurden im Auftrag des LANUV von der GCI GmbH mit dem Grundwassermodell durchgeführt und für das oberste Grundwasserstockwerk ausgewertet. Die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Modellierungen sind im Projektbericht dokumentiert ([13], Anlage 2). Exemplarisch werden im Folgenden die Ergebnisse der Grundwassermodellierung für mittlere Verhältnisse ohne Wasserhaltungsmaßnahmen von Referenz – und Bergbauszenario beschrieben.

#### 3.3.1 Referenzszenario

Die Grundwassergleichen für das Referenzszenario zeigen plausible Verläufe, die im Wesentlichen durch den Zu- und Abstrom von Grundwasser über die äußeren Modellränder und die entwässernde Wirkung der Gewässer geprägt sind (Abb. 18).

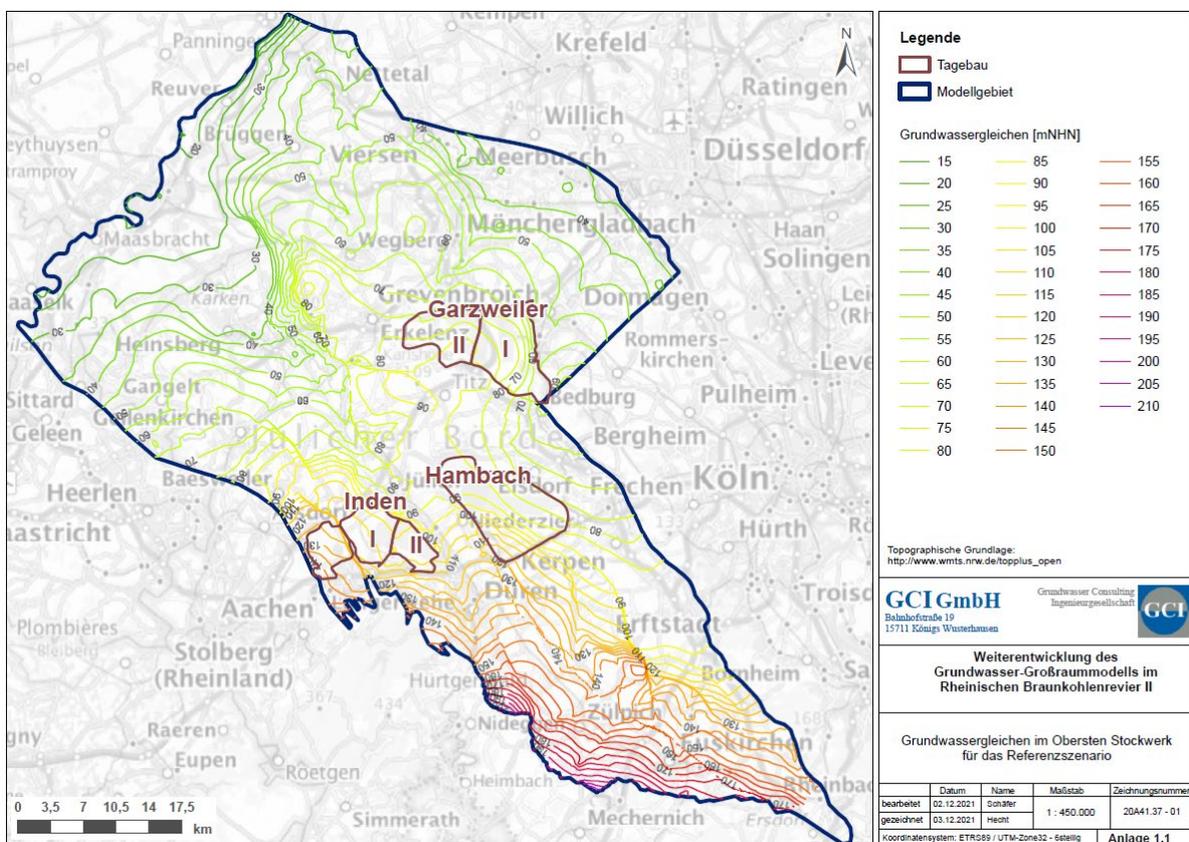


Abbildung 18: Grundwassergleichen im obersten Stockwerk für das Referenzszenario [13]

### 3.3.2 Bergbauszenario

Die Grundwassergleichen im stationären Endzustand für das Bergbauszenario sind großräumig ähnlich wie die Grundwassergleichen des Referenzszenarios. Im Umfeld der Tagebaue zeigt sich deutlich die Wirkung der Tagebauseen. Da die Seespiegelhöhen niedriger eingestellt werden, als die vorbergbaulichen Grundwasserhöhen in diesen Bereichen, werden die Grundwasserstände hier abgesenkt und die Fließgefälle vergleichmäßigt (Abb. 19).

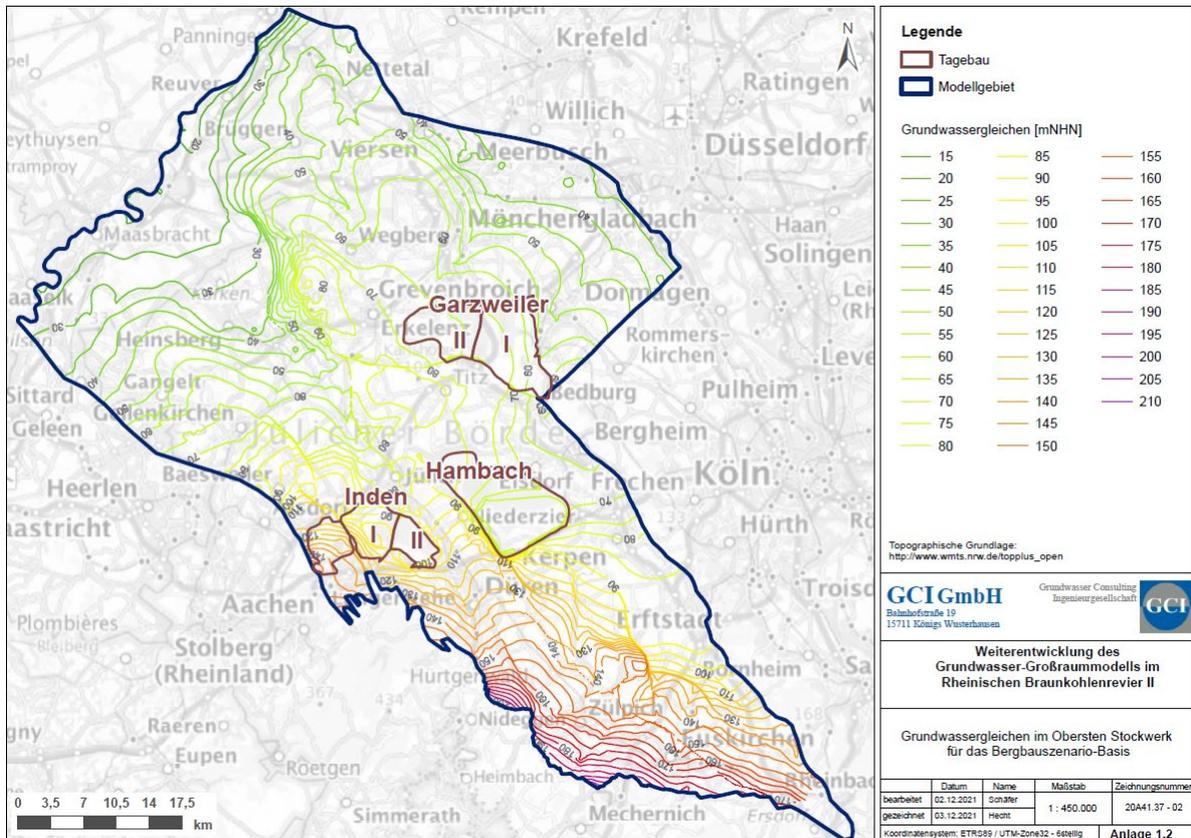


Abbildung 19: Grundwassergleichen im obersten Stockwerk für das Bergbauszenario [13]

## **4 Erstellung der Flurabstandskarten**

Aus den Berechnungen von Bodenbewegungsmodell und Grundwassermodell werden die Flurabstandskarten für Referenz- und Bergbauszenarien für den gesamten Bereich konstruiert, in dem sowohl DGM1-Daten als auch Modellergebnisse vorhanden sind. Die Modellergebnisse berücksichtigen dabei alle Planungen vor 2018, d.h. dass z.B. der Tagebausee Hambach noch mit der ursprünglich geplanten Fläche bzw. Kubatur im Bergbauszenario abgebildet ist. Für die Konstruktion wird die Differenz der Geländeoberfläche mit der jeweiligen berechneten mittleren Grundwasseroberfläche gebildet. Somit entsprechen die Flurabstände mittleren zu erwartenden Flurabständen nach Planungsstand ca. 2018. In den Karten werden jeweils die Flurabstandsklassen < 3 m und 3–7 m dargestellt (Anlagen .

### **4.1 Szenarien ohne Wasserhaltungsmaßnahmen**

Im Bereich der Siedlungen der Erftaue gibt es bereits Planungen bezüglich Wasserhaltungsmaßnahmen für siedlungsverträgliche Flurabstände. Um zu ermitteln, welche Flurabstände sich einstellen würden, wenn diese Maßnahmen nicht wirkten, werden Szenarien ohne Berücksichtigung der Wasserhaltungsmaßnahmen berechnet.

### 4.1.1 Referenzszenario

Die für das Referenzszenario ermittelten Flurabstände sind in Abb. 20 dargestellt. Sie stellen einen hypothetischen Zustand basierend auf bergbauunbeeinflussten Eingangsdaten dar, der theoretisch eintreten würde, hätte es den Braunkohlenbergbau nicht gegeben.

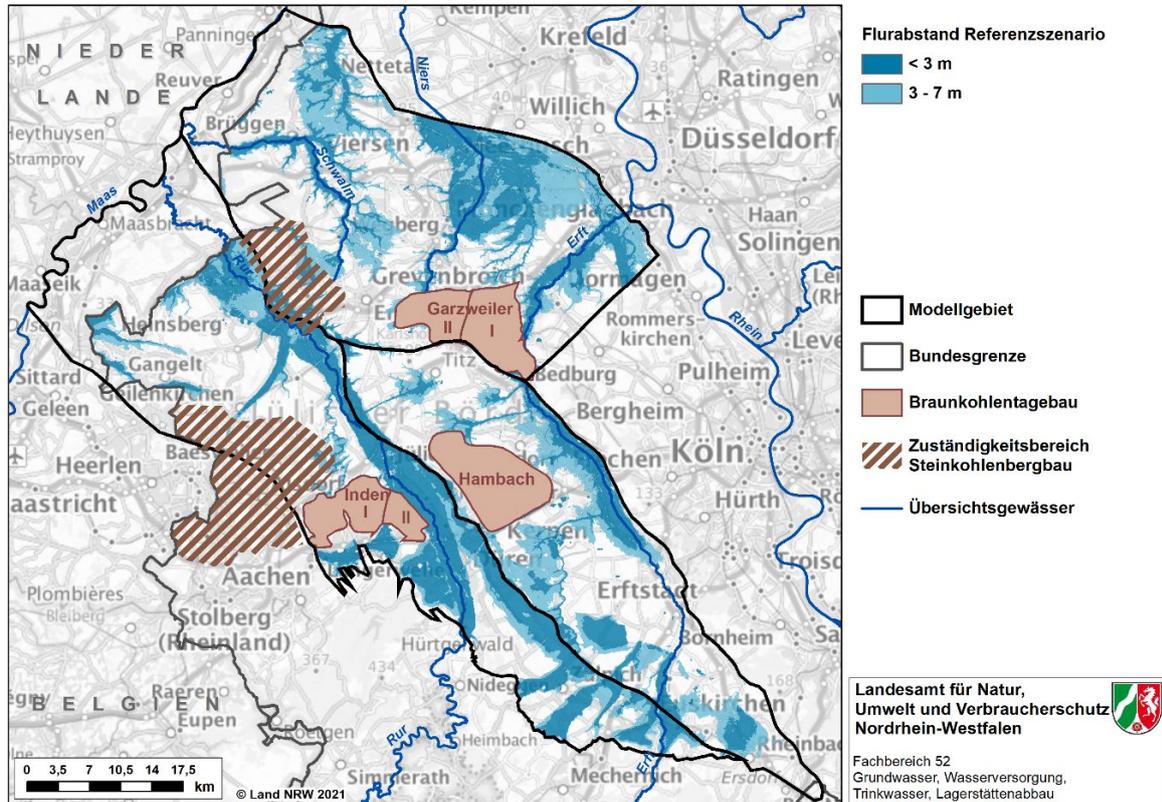


Abbildung 20: Flurabstände im Referenzszenario

Die Flurabstandskarte zeigt, dass insbesondere im Nahbereich der dargestellten Übersichtsgewässer und ihrer Zuflüsse sowie im Bereich der Stadt Mönchengladbach Flurabstände < 7 m bzw. < 3 m auftreten.

Für die Plausibilisierung der berechneten Flurabstände des Referenzszenarios werden diese mit historischen, konstruierten Flurabstandskarten von 1953 verglichen (Abb. 21). Berechnete und konstruierte Flurabstände zeigen großräumig eine sehr gute Übereinstimmung, die Lage der Bereiche mit geringen Flurabständen wird mit dem Referenzszenario gut abgebildet. In einigen Bereichen ist die Ausdehnung der Flächen mit geringen Flurabständen in der Berechnung etwas größer. Diese Unterschiede sind akzeptabel, da der für 1953 konstruierten Flurabstandskarte ein deutlich geringerer Datenbestand als heute vorhanden zugrunde liegt. Dadurch sind die Darstellungen von Geländeoberfläche und Grundwasserständen nicht exakt. Zusätzlich stellt die historische Karte eine andere Grundwasser-Situation als heute dar.

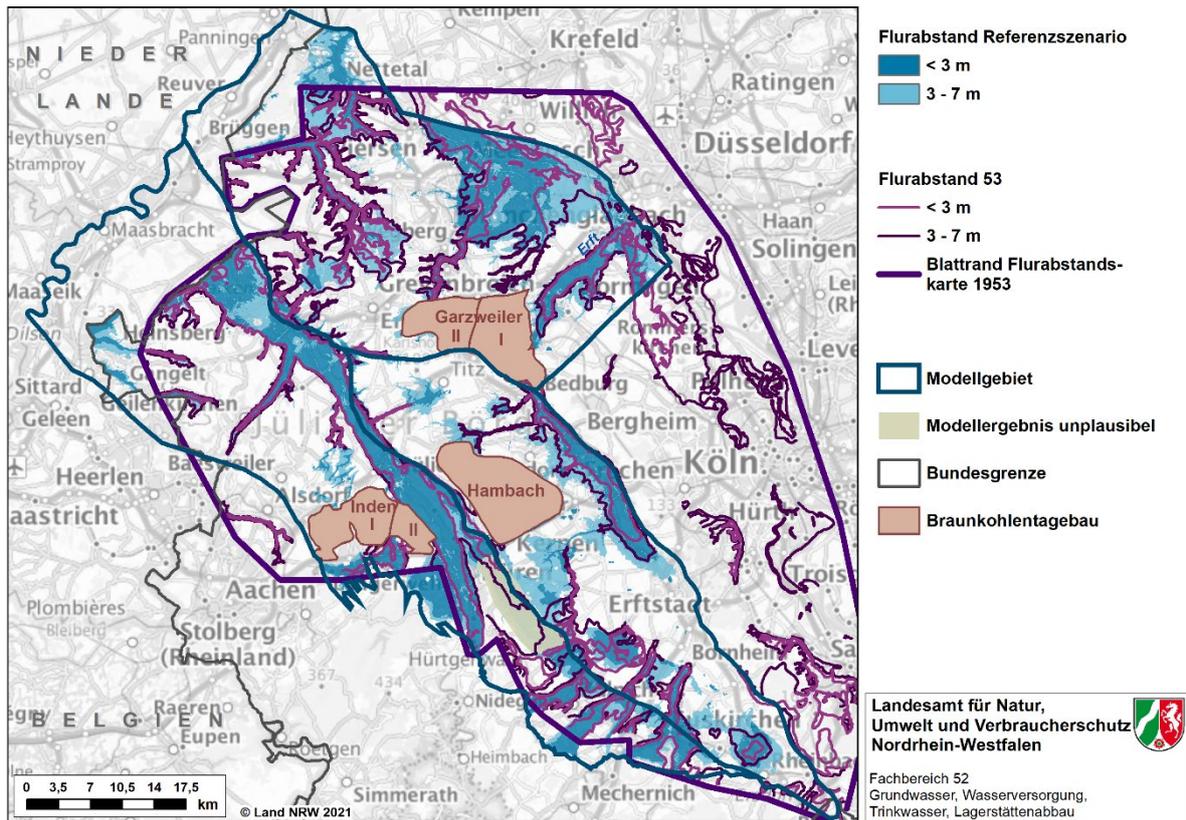


Abbildung 21: Flurabstände im Referenzszenario mit historischen Flurabständen von 1953

In zwei Bereichen weichen die berechneten Flurabstände < 3 m von den konstruierten Flurabständen ab.

1. An der Erft zwischen Kerpen und Erftstadt ist die Ausdehnung der Fläche in den konstruierten Karten geringer, da Grundwasser-Entnahmen im oberen Stockwerk hier zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels geführt hatten. Grund dafür sind historische Grundwasser-Entnahmen im oberen Stockwerk, die zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels und somit einer Vergrößerung der Flurabstände 1953 geführt hatten. Da diese Entnahmen zwischenzeitlich in tiefere Stockwerke verlegt wurden und somit in den Berechnungen nicht berücksichtigt sind (im obersten Stockwerk), ist der im Referenzszenario berechnete Flurabstand vergleichsweise geringer.
2. Am Übergang von Rur-Scholle zu Erft-Scholle (Rurrand) südlich des Tagebaus Hambach ist die Ausdehnung der 1953 konstruierten Fläche mit Flurabständen < 3 m deutlich kleiner als die Ausdehnung der berechneten Fläche. Da in diesem Bereich die Kalibrierung des Grundwassermodells noch nicht zu einer zufriedenstellenden Anpassung geführt hat und keine anderen Ursachen für einen Unterschied der beiden Darstellungen bekannt sind, sind die modellbasierten Ergebnisse hier als weniger belastbar einzustufen. Im Rahmen der nächsten Modellüberarbeitung wird dieser Bereich gezielt bearbeitet. In den Karten dieses Berichts wird dieser Bereich als unplausibel gekennzeichnet.

Da die Ergebnisse großräumig gut mit den historischen Daten übereinstimmen und nur im Bereich am Übergang von Rur-Scholle zu Erft-Scholle nicht erklärbare Unterschiede auftreten, konnten die berechneten Flurabstände somit plausibilisiert werden.

### 4.1.2 Bergbauszenario

Die für das Bergbauszenario ermittelten Flurabstände sind in Abb. 22 dargestellt. Sie stellen den stationären Zustand dar, der sich voraussichtlich unter den oben beschriebenen Annahmen nach dem mit dem Bergbauende eintretenden Grundwasseranstieg einstellen würde.

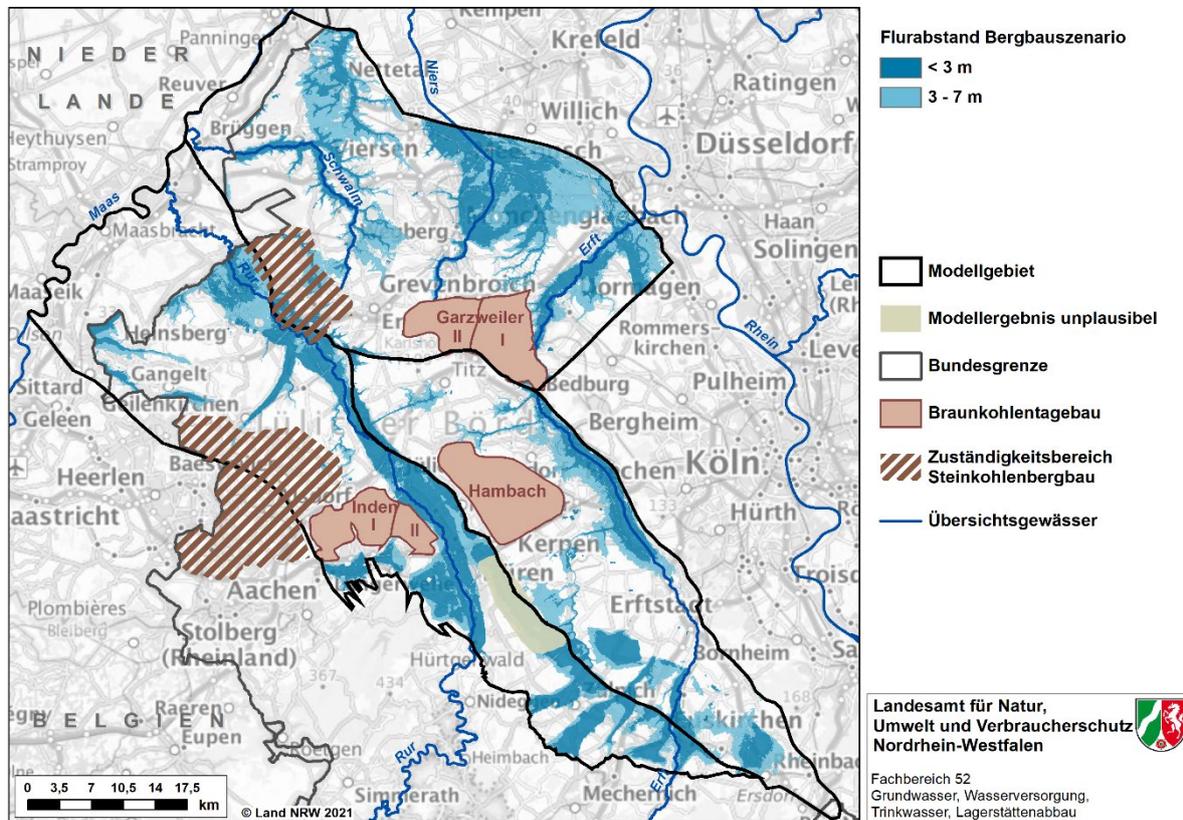


Abbildung 22: Flurabstände im Bergbauszenario

Großräumig stellen sich im Bergbauszenario ähnliche Flurabstände wie im Referenzszenario ein. Im Bereich um die Tageauseen sind die Flurabstände im Bergbauszenario größer als im Referenzszenario. Die angesetzten Seespiegelhöhen von 65 m üNN und 92 m üNN (Abschnitt 3.2.1) sind insbesondere im Anstrom der Seen niedriger als die vorbergbaulichen Grundwasserstände in diesem Bereich. Das Grundwasserniveau wird im Umfeld der Seen deshalb gegenüber den ursprünglichen Grundwasserständen abgesenkt [13]. Die Unterschiede zwischen Referenz- und Bergbauszenario werden am Beispiel der Erftaue in Abschnitt 5.2 näher erläutert.

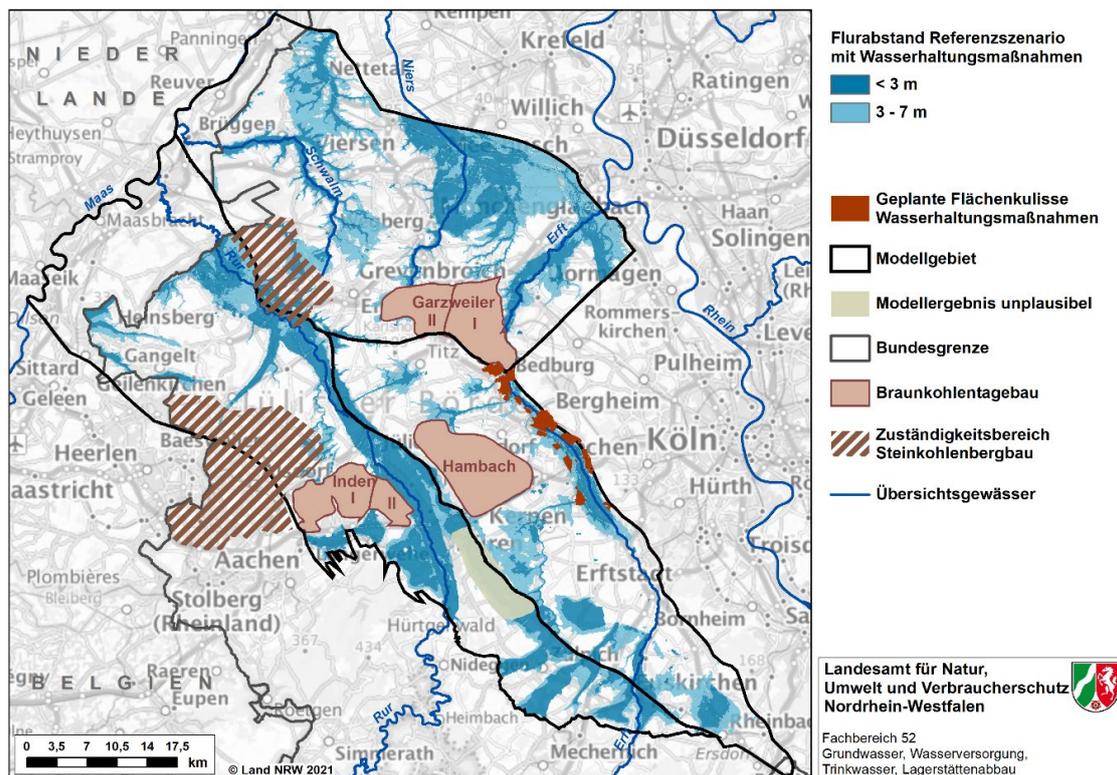
Aus der wahrscheinlichen Spannweite der prognostizierten Geländehöhen ergeben sich ein minimales und maximales Szenario für das Bergbauszenario. Aus den Ergebnissen der beiden Szenarien lassen sich ebenfalls Karten der minimal und maximal zu erwartenden Flurabstände ableiten. Diese zeigen, dass großräumig identische Flurabstände wie in Abb. 22 dargestellt zu erwarten sind. Lediglich im Bereich der Erftaue sind geringe Unterschiede durch die Spannweite der prognostizierten Geländehöhen vorhanden. Die Unterschiede, die sich aus der Prognoseunsicherheit für die Bodenbewegung für die Flurabstände ergeben, sind also gering und räumlich auf die Erftaue begrenzt.

## 4.2 Szenarien mit Wasserhaltungsmaßnahmen

Da es bereits Planungen bezüglich Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftaue gibt, wurden diese in weiteren Szenarienberechnungen berücksichtigt. Dadurch kann deren Einfluss auf die Flurabstände abgeschätzt werden. Innerhalb der Siedlungsbereiche der Erftaue wurden dafür flächige Randbedingungen definiert, die die Grundwasserstände auf einem Niveau von 3 m unterhalb der Geländeoberfläche festhalten (Abschnitt 3.2).

### 4.2.1 Referenzszenario

Die für das Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen ermittelten Flurabstände sind in Abb. 23 dargestellt. Sie stellen den hypothetischen Zustand basierend auf bergbauunbeeinflussten Eingangsdaten dar, der mit den in der Flächenkulisse der Erftaue geplanten Wasserhaltungsmaßnahmen ohne Bergbau eintreten würde. Die Flurabstandskarte zeigt, dass insbesondere im Nahbereich der Gewässer sowie im Bereich der Stadt Mönchengladbach Flurabstände  $< 7$  m bzw.  $< 3$  m auftreten. In den Bereichen der Erftaue, in denen die Wasserhaltungsmaßnahmen wirken, sind die Flurabstände trotz der Nähe zum Gewässer hingegen 3 m oder größer.



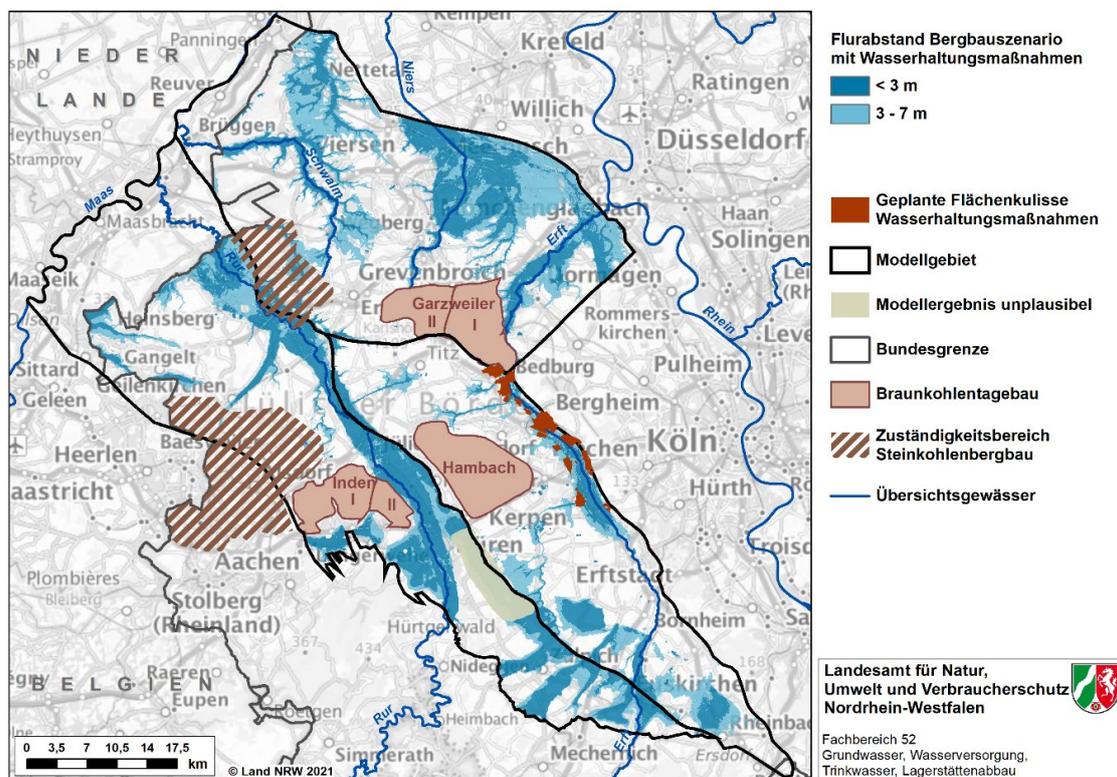
**Abbildung 23:** Flurabstände im Referenzszenario mit geplanten Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftaue

## 4.2.2 Bergbauszenario

In Abb. 24 sind die für das Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen berechneten Flurabstände dargestellt. Sie entsprechen dem Zustand, der sich voraussichtlich unter den oben beschriebenen Annahmen mit Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftau nach Grundwasseranstieg stationär einstellen würde.

Großräumig sind die Flurabstände ähnlich wie im Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen. Im Bereich um die Tagebauseen sind die Flurabstände im Bergbauszenario größer als im Referenzszenario, da das Grundwasserniveau im Umfeld der Seen gegenüber den Grundwasserständen im Referenzszenario abgesenkt ist.

Aufgrund der wahrscheinlichen Spannweite der prognostizierten Geländehöhen unterscheiden sich die zu erwartenden Flurabstände in der Erftau ebenfalls geringfügig. Die Ergebnisse von minimalem und maximalem Szenarien für das Bergbauszenario zeigen, dass die Flurabstände größtenteils identisch mit den in Abb. 24 dargestellten Flurabständen sind.



**Abbildung 24:** Flurabstände im Bergbauszenario mit geplanten Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftau

## 5 Auswertung der Flurabstandskarten

### 5.1 Identifikation potenzieller Vernässungsbereiche

Anhand der Karten lassen sich für Referenz- und Bergbauszenario die Bereiche ableiten, in denen die Flurabstände zu Konflikten mit Siedlungsgebieten führen können. Dafür werden die Bereiche mit einem Flurabstand von weniger als 3 m als potentielle Vernässungsbereiche dargestellt. Analog zu der Darstellung in den Flurabstandskarten werden die unplausiblen Ergebnisse in den nachfolgenden Karten gekennzeichnet. Durch Verschneidung mit Siedlungsflächen kann diese Karte als Grundlage für spätere Detailbetrachtungen (z.B. bei der Festlegung einer Kulisse für Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftaue) dienen.

#### 5.1.1 Szenarien ohne Wasserhaltungsmaßnahmen

##### 5.1.1.1 Referenzszenario

Die aus der Flurabstandskarte für das Referenzszenario ermittelten potenziellen Vernässungsbereiche sind in Abb. 25 dargestellt. Sie stellen die hypothetischen Vernässungsbereiche basierend auf bergbauunbeeinflussten Eingangsdaten dar, die theoretisch auftreten würden, hätte es den Braunkohlenbergbau nicht gegeben. Sie treten insbesondere in den Auenbereichen der Gewässer auf.

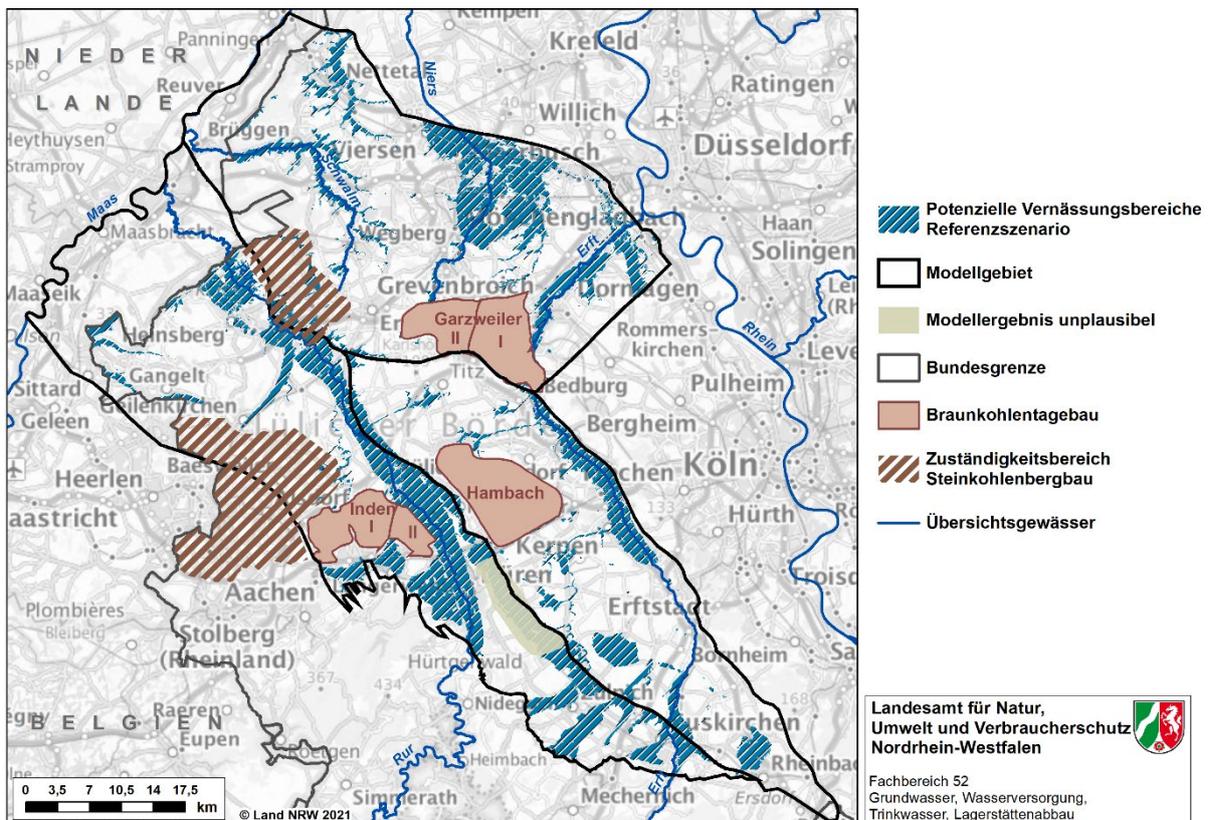
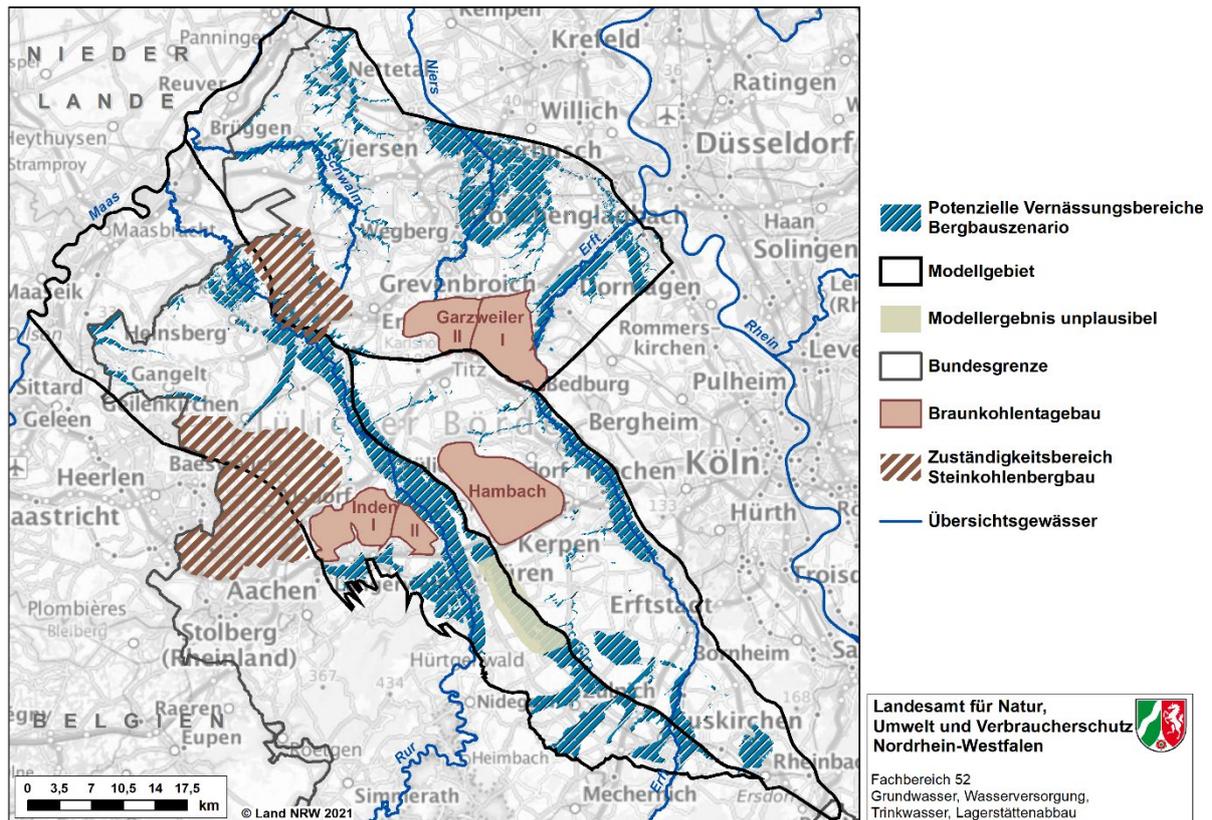


Abbildung 25: Potenzielle Vernässungsbereiche im Referenzszenario

### 5.1.1.2 Bergbauszenario

Die aus der Flurabstandskarte für das Bergbauszenario ermittelten potenziellen Vernässungsbereiche sind in Abb. 26 dargestellt. Sie stellen die zu erwartenden potenziellen Vernässungsbereiche im stationären Zustand dar, der mit Planungsstand 2018 voraussichtlich nach dem Grundwasserwiederanstieg nach Bergbauende ohne Wasserhaltungsmaßnahmen eintreten würde. Großräumig sind Verteilung und Ausdehnung dieser Bereiche voraussichtlich ähnlich wie im Referenzszenario. Dies gilt ebenfalls für die aus der Spannweite der prognostizierten Geländehöhen resultierenden potenziellen Vernässungsbereiche.



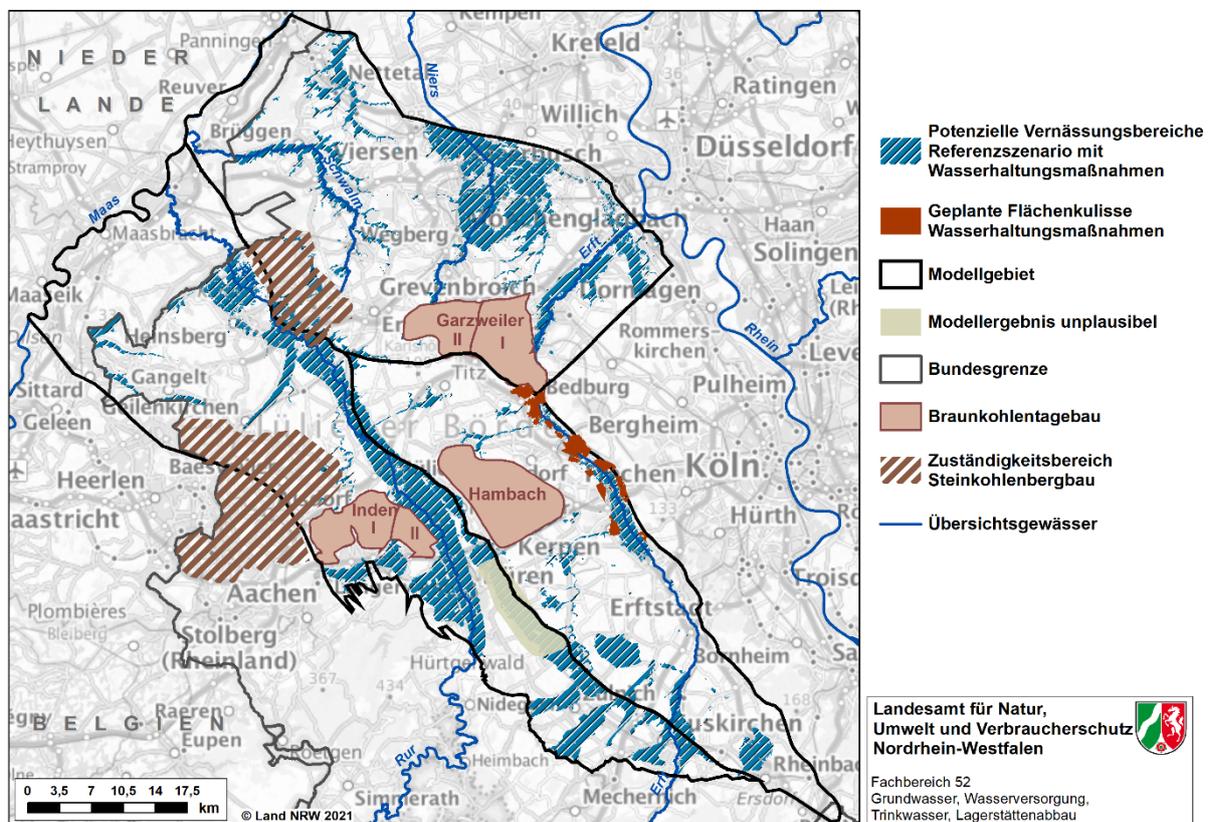
**Abbildung 26:** Potenzielle Vernässungsbereiche im Bergbauszenario

## 5.1.2 Szenarien mit Wasserhaltungsmaßnahmen

### 5.1.2.1 Referenzszenario

Die aus der Flurabstandskarte für das Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen ermittelten potenziellen Vernässungsbereiche sind in Abb. 27 dargestellt. Sie stellen die hypothetischen Vernässungsbereiche basierend auf bergbauunbeeinflussten Eingangsdaten dar, die theoretisch auftreten würden, hätte es den Braunkohlenbergbau nicht gegeben.

Da sich das Gebiet bisher geplanter Wasserhaltungsmaßnahmen auf die Erftaue beschränkt, zeigt der Vergleich zwischen den Referenzszenarien mit und ohne Wasserhaltungsmaßnahmen, dass die potenziellen Vernässungsbereiche großräumig (außerhalb der betroffenen Gebietskulisse) identisch sind und sich im Wesentlichen im Bereich der Erftaue unterscheiden. In den Bereichen der abgestimmten Flächenkulisse sowie darüber hinaus westlich der Erft sind die Vernässungsbereiche deshalb kleiner als ohne Wasserhaltungsmaßnahmen.



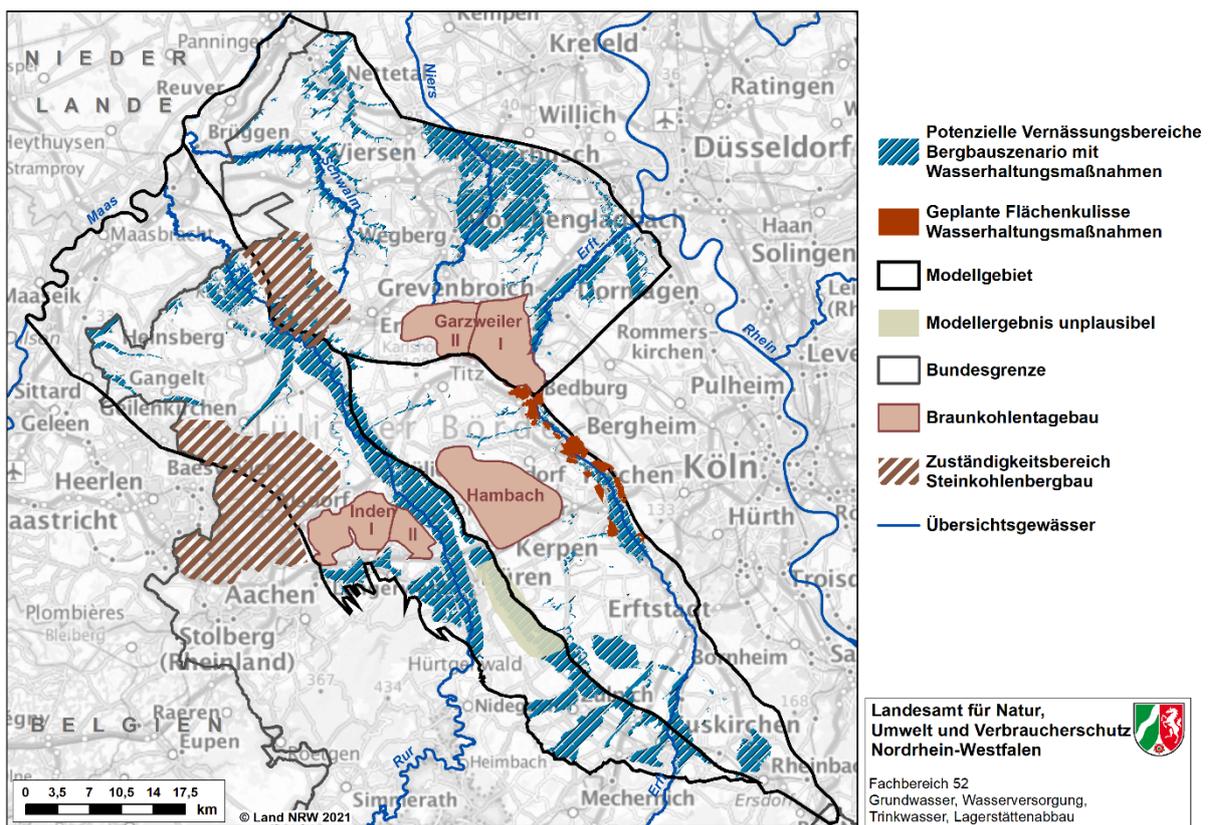
**Abbildung 27:** Potenzielle Vernässungsbereiche im Referenzszenario mit geplanten Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftaue

### 5.1.2.2 Bergbauszzenario

In Abb. 28 sind die für das Bergbauszzenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen ermittelten potenziellen Vernässungsbereiche dargestellt. Sie stellen die zu erwartenden potenziellen Vernässungsbereiche im stationären Zustand dar, der mit Planungsstand 2018 voraussichtlich nach dem Grundwasserwiederanstieg nach Bergbauende eintreten würde.

Großräumig entsprechen die potenziellen Vernässungsbereiche im Bergbauszzenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen denen im Bergbauszzenario ohne Wasserhaltungsmaßnahmen. Im Bereich der Erftaue beeinflussen die Wasserhaltungsmaßnahmen die Ausdehnung der potenziellen Vernässungsbereiche. Durch diese sind die Vernässungsbereiche vergleichsweise kleiner. Das beschränkt sich nicht auf die Bereiche, in denen Flurabstände von mindestens 3 m aufgrund bisher geplanter Maßnahmen gehalten werden, sondern geht auch darüber hinaus.

Dasselbe gilt ebenfalls für die aus der Spannweite der prognostizierten Geländehöhen resultierenden potenziellen Vernässungsbereiche. Insgesamt zeigen die Karten, dass die Wasserhaltungsmaßnahmen in den von ihnen beeinflussten Bereichen in Referenz- und Bergbauszzenarien vergleichbar wirken.



**Abbildung 28:** Potenzielle Vernässungsbereiche im Bergbauszzenario mit geplanten Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftaue

## 5.2 Ermittlung des Bergbaueinflusses

Zur Ursachenanalyse potenzieller Vernässungen werden die Flurabstandskarten für Referenzszenario und Bergbauszenario gegenübergestellt. Dadurch lässt sich feststellen, ob durch den Einfluss des Bergbaus mögliche Vernässungsbereiche auftreten. Diese weiterführenden Auswertungen werden am Beispiel der Erftaue durchgeführt. Sie dienen als Beispiel für ein mögliches Vorgehen bzw. als Interpretationshilfe für spätere weitere Auswertungen.

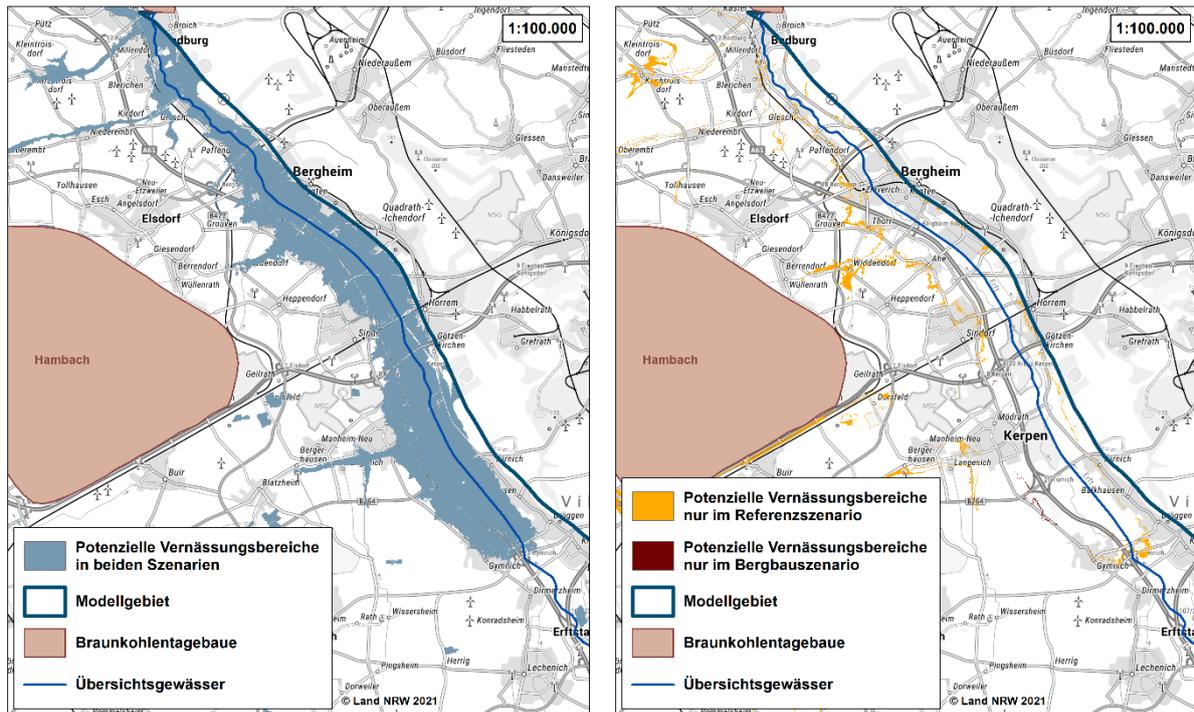
Durch Verschneidung der potenziellen Vernässungsflächen von Bergbau- und Referenzszenario lassen sich die Flächen ermitteln, die sowohl in beiden Szenarien beziehungsweise nur in jeweils einem der beiden Szenarien auftreten (Abb. 29). Anhand der Vernässungsflächen, die nur in einem Szenario vorkommen, zeigt sich wo ein Bergbaueinfluss vorkommt und wie er sich auswirkt.

### 5.2.1 Szenarien ohne Wasserhaltungsmaßnahmen

Die Ergebnisse der Verschneidung zeigen, dass die potenziellen Vernässungsbereiche im Bereich der Erftaue in Bergbau- und Referenzszenario größtenteils identisch sind (Abb. 29 links). In der rechten Darstellung von Abb. 29 sind die Bereiche dargestellt, für die sich unterschiedliche Ergebnisse zeigen. Einige Vernässungsbereiche treten nur im Referenzszenario auf und andere sind nur im Bergbauszenario zu erkennen. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um Flächen, die nur im Referenzszenario einen Flurabstand kleiner als 3 m haben. Im Bergbauszenario sind durch den Tagebausee die Grundwasserstände bis in den Bereich der Erftaue gegenüber dem Referenzszenario abgesenkt. Daraus ergeben sich im Bergbauszenario größere Flurabstände und die potentiellen Vernässungsbereiche sind kleiner als die, die sich ohne Bergbau einstellen würden.

Lediglich in einem kleinen Bereich westlich der Anschlussstelle Türnich zeigt die Verschneidung, dass hier ausschließlich die Flurabstände im Bergbauszenario kleiner als 3 m sind (rotbraune Fläche, Abb. 29 rechts). In diesem Bereich ist als Ursache für diese potentielle Vernässung demnach die Bergbautätigkeit anzusehen.

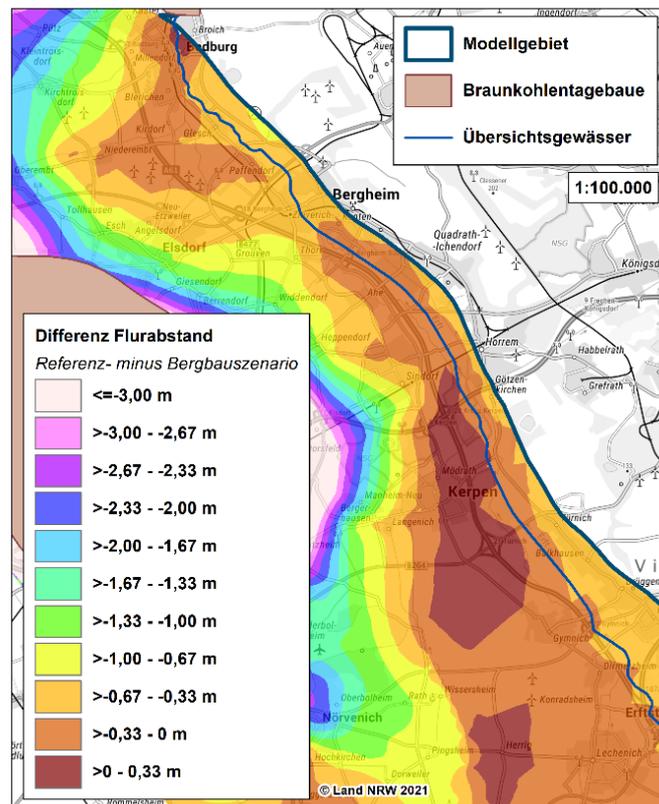
In den Bergbauszenarien sind durch die Spannbreite der prognostizierten Geländehöhen lediglich geringe Unterschiede im Bereich Kerpen zu erkennen. Hier ist die Ausdehnung der bergbaubedingten potenziellen Vernässungsfläche mit minimaler Geländehöhe etwas größer beziehungsweise mit maximaler Geländehöhe etwas kleiner.



**Abbildung 29:** Potenzielle Vernässungsbereiche in beiden Szenarien (links, entspricht Überschneidungsbereich) bzw. in jeweils einem der beiden Szenarien (rechts) im Bereich der Erftaue zwischen Bedburg und Erftstadt

Die Plausibilität der Ergebnisse wird anhand der Differenzen der Flurabstände, Grundwasserstände und Geländehöhen von Referenz- und Bergbauszenario geprüft.

Die Differenzen der Flurabstände sind in Abb. 30 dargestellt. Die Differenzen sind nahezu im gesamten betrachteten Bereich der Erftaue negativ. Das bedeutet, dass die Flurabstände größtenteils im Referenzszenario geringer sind, beziehungsweise dass davon auszugehen ist, dass sich durch den Bergbaueinfluss (hier den Tagebausee) in weiten Bereichen größere Flurabstände einstellen werden. Die Differenzen zeigen, dass die Bereiche mit potenziellen Vernässungen im Referenzszenario größer sind als im Bergbauszenario und korrelieren mit den Ergebnissen der Verschneidung (Abb. 29 rechts). Im Bereich Kerpen sind die Differenzen leicht positiv und die Flurabstände somit im Bergbauszenario geringer. Durch die Bildung der Flurabstandsklassen ist demnach hier die Klasse < 3 m im Bergbauszenario etwas größer. Das bedeutet, dass die Ergebnisse der Verschneidung, die eine potenzielle Vernässungsfläche ausschließlich im Bergbauszenario zeigen, plausibel sind.

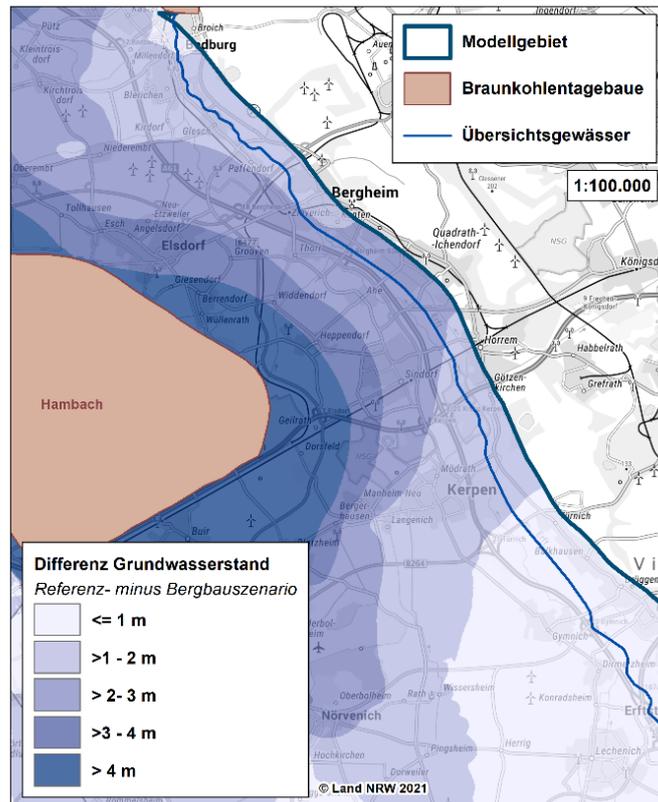


**Abbildung 30:** Differenz der Flurabstände von Referenz- und Bergbauszenario im Bereich der Erftaue

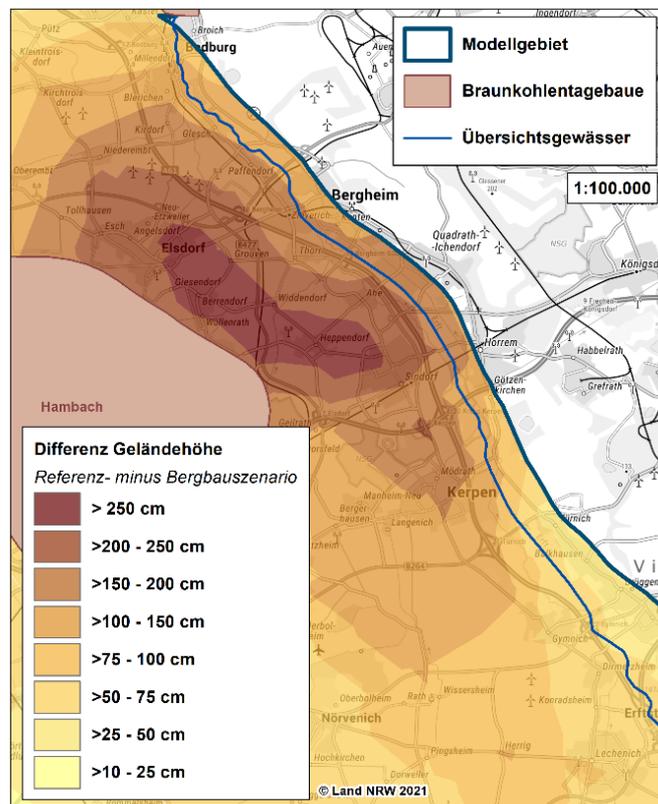
Die Flurabstände werden aus der Differenz der Geländeoberfläche mit der jeweiligen berechneten mittleren Grundwasseroberfläche gebildet. Demnach liegt die Ursache für die berechneten Unterschiede in diesen beiden Faktoren.

Die Differenzen der prognostizierten mittleren Grundwasserstände beider Szenarien sind in Abb. 31 dargestellt. Sie sind in der gesamten Erftaue positiv und betragen in einigen Bereichen mehr als 3 m. Das heißt, die Grundwasserstände sind im Referenzszenario zum Teil deutlich höher als im Bergbauszenario. Im Bergbauszenario beeinflusst der Wasserspiegel des Tagebausees Hambach die Grundwasserstände, wodurch diese im Umfeld des Tagebausees voraussichtlich dauerhaft niedriger sein werden.

Gleichzeitig sind die für das Referenzszenario ermittelten Geländehöhen höher als die für das Bergbauszenario prognostizierten (positive Differenz, Abb. 32). Dadurch wird der Effekt der ohne Bergbau höheren Grundwasserstände zum Teil relativiert. Da allerdings der Betrag der Geländehöhendifferenz geringer ist als der Differenzbetrag der Grundwasserstände, sind die Unterschiede der Flurabstände und somit auch der abgeleiteten potenziellen Vernässungsbereiche plausibel.



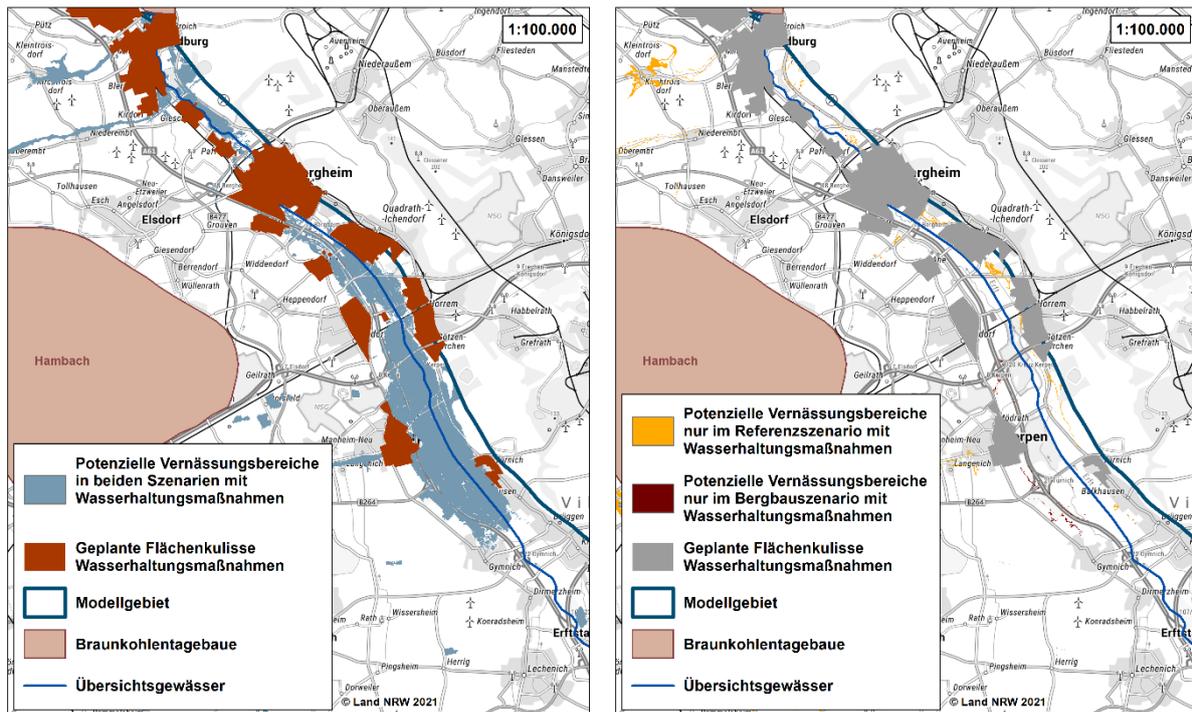
**Abbildung 31:** Differenz der Grundwasserstände von Referenz- und Bergbausenario im Bereich der Erftaue zwischen Bedburg und Erfstadt



**Abbildung 32:** Differenz der Geländehöhen von Referenz- und Bergbausenario im Bereich der Erftaue zwischen Bedburg und Erfstadt

## 5.2.2 Szenarien mit Wasserhaltungsmaßnahmen

Der Vergleich der potenziellen Vernässungsflächen in Bergbau- und Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen zeigen, dass diese in beiden Szenarien größtenteils identisch sind (Abb. 33 links). Im Unterschied zu den Szenarien ohne Wasserhaltungsmaßnahmen ist die identische Fläche in den Szenarien mit Wasserhaltungsmaßnahmen prozentual größer. Das heißt, dass die Bereiche, für die sich unterschiedliche Ergebnisse zeigen, verhältnismäßig kleiner sind (Abb. 33 rechts). Insbesondere die Flächenanteile, die nur im Referenzszenario einen Flurabstand kleiner als 3 m haben, sind wesentlich geringer.



**Abbildung 33:** Potenzielle Vernässungsbereiche in beiden Szenarien (links, entspricht Überschneidungsbereich) bzw. in jeweils einem der beiden Szenarien (rechts) im Bereich der Erfttau zwischen Bedburg und Erftstadt

Wie in den Szenarien ohne Wasserhaltungsmaßnahmen zeigt die Verschneidung in einem kleinen Bereich westlich der Anschlussstelle Türnich, dass hier ausschließlich die Flurabstände im Bergbauszenario kleiner als 3 m sind (rotbraune Fläche, Abb.33 rechts). Als Ursache für diese potentielle Vernässung ist demnach die Bergbautätigkeit anzusehen. Hier sind durch die Spannweite der prognostizierten Geländehöhen ebenfalls nur geringe Unterschiede in der Ausdehnung der bergbaubedingten potenziellen Vernässungsfläche zu erwarten. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Vernässungsbereiche in den Szenarien mit Wasserhaltung sich ähnlicher sind als die in den Szenarien ohne Wasserhaltung.

Die Wasserhaltungsmaßnahmen, die in beiden Szenarien das Ziel haben, für die gleiche Gebietskulisse die Grundwasserstände 3 m unter der Geländeoberfläche zu halten, führen in der Erfttau zu ähnlichen Flurabständen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen in den beiden Szenarien unterschiedliche Grundwassermengen gehoben werden. Im Bergbauszenario ist diese Grundwassermenge um etwa 16% geringer, da hier durch den Tagebausee die Grundwasserstände gegenüber dem Referenzszenario tiefer liegen.

## 6 Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen des Projekts „Flurabstandsprognose im Rheinischen Revier“ wurde die Vernässungsgefährdung von Gebieten im Einflussbereich der Tagebautätigkeit nach Beendigung des Braunkohlenbergbaus untersucht. Dabei wurden Methoden entwickelt, um Flurabstandskarten im Zusammenhang von Bodenbewegung und Grundwasserwiederanstieg zu erstellen, potenzielle Vernässungsbereiche zu identifizieren sowie den Bergbaueinfluss als mögliche Ursache für die Vernässung zu ermitteln bzw. dessen Anteil daran abzuschätzen. Die Grundlage waren Prognoserechnungen mit einem Bodenbewegungsmodell und einem Grundwassermodell, das das Rheinische Braunkohlenrevier umfasst. Beide Modelle wurden für die Aufgabenstellung weiterentwickelt. Die Ursachen wurden durch Gegenüberstellung unterschiedlicher Szenarien ermittelt.

Mit dem von der ZAI GmbH im Auftrag des LANUV entwickelten Bodenbewegungsmodell wurden die künftigen Bodenbewegungen mit ihrer realistischen Spannbreite, basierend auf der prognostizierten Entwicklung der Grundwasserstände mit Stand 2018 der Tagebauplanungen, berechnet. Daraus wurden Karten der Geländehöhen für einen wahrscheinlich zu erwartenden, einen maximalen und einen minimalen Zustand konstruiert.

Mit dem LANUV-Grundwassermodell wurden Varianten mit und ohne Bergbau sowie mit und ohne Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftaue berechnet. Die Szenarien mit Bergbau sind Prognosen der künftigen mittleren Grundwasserstände im stationären Endzustand, ausgehend vom heutigen Zustand. Dabei wurde der Stand der Tagebauplanung aus dem Jahr 2018 berücksichtigt. Die Referenzszenarien ohne Bergbau sind hypothetische Berechnungen der mittleren Grundwasserstände, die sich eingestellt hätten, wenn keine Bergbautätigkeit im Rheinischen Revier stattgefunden hätte.

Aus den Ergebnissen des Bodenbewegungsmodells und des Grundwassermodells lassen sich Flurabstandskarten für unterschiedliche Szenarien erstellen. Im Rahmen des Projekts wurden für insgesamt acht Szenarien Flurabstandskarten für mittlere hydrologische Verhältnisse erarbeitet.

Die Flurabstandskarten der verschiedenen Szenarien zeigen, dass großräumig ähnliche Flurabstände wie vor Beginn des Bergbaus zu erwarten sind. Geringe Flurabstände mit potenziellen Vernässungsbereichen treten unter den vorgegebenen Annahmen in allen Szenarien, insbesondere im Nahbereich der Gewässer auf. In den Bereichen um die Tagebauseen sind die Flächen potenzieller Vernässung im Bergbauszenario vergleichsweise kleiner, da hier die Tagebauseen in ihrem Einflussbereich die Grundwasserstände absenken. Dadurch werden auch die Flächenanteile mit einer Vernässungsgefährdung etwas reduziert. Das heißt, die verbleibende Bodensetzung wird durch den Einfluss der Tagebauseen langfristig überprägt. Dies gilt auch unter Berücksichtigung der Spannbreite der prognostizierten Bodenbewegungen.

Im Bereich der Erftaue ist im Vergleich zu den Flurabständen von 1953 allerdings sowohl im Bergbauszenario als auch im Referenzszenario eine größere Ausdehnung des potenziellen Vernässungsbereichs nach Süden zu erwarten, die folglich nicht bergbaubedingt ist, da sie in beiden Szenarien zu erkennen ist. Die Karten zeigen, dass die Bereiche einer potenziellen Vernässung, die innerhalb der Kulisse der geplanten Wasserhaltungsmaßnahmen liegen, durch diese Maßnahmen deutlich verkleinert werden. Es wird daher zu prüfen sein, ob die bisher abgestimmte Kulisse aufgrund der Ausdehnung der geringen Flurabstände nach Süden erweitert werden sollte.

Die diesem Projekt zugrundeliegenden Tagebauplanungen entsprechen einem Stand von ca. 2018. Neue Tagebauplanungen hinsichtlich Abbau und Rekultivierung konnten bei der Erarbeitung der Flurabstandskarten im Rahmen dieses Projektes nicht berücksichtigt werden. Es ist davon auszugehen, dass das vor Veröffentlichung der Leitentscheidung 2021 geplante Tagebautiefste des Tagebaus Hambach nicht mehr erreicht werden wird. Auch werden die Tagebauseen voraussichtlich in Kubatur und Ausdehnung verändert, womit sich auch die Ergebnisse der Bergbauszenarien verändern werden. Daneben werden weitere Datengrundlagen wie geologische Informationen oder Höhenmessungen, die in den Modellen verwendet werden, überarbeitet und fortgeführt. Aus diesem Grund sollten die Bodenbewegungsprognosen und Grundwassermodellierungen auf Grundlage aktualisierter Planungen sowie neuer verfügbarer Daten überarbeitet werden.

Im Rahmen des Projekts wurde der stationäre Endzustand nach Grundwasserwiederanstieg in einem großräumigen Maßstab betrachtet; für Detailaussagen sind die konstruierten Karten nicht nutzbar. Für die Kommunalplanung sind zusätzliche Zeitpunkte in der näheren Zukunft während des Grundwasserwiederanstiegs von Interesse und sollten deshalb ausgewertet werden. Für Fragestellungen in kleinem Maßstab sind weiterhin geeignete detaillierte Betrachtungen erforderlich.

Darüber hinaus stand die Ermittlung potenzieller Vernässungsbereiche in Siedlungsgebieten im Fokus. Für diese Fragestellung könnte es für einzelne Bereiche lokal von Interesse sein, zusätzlich zu mittleren Grundwasserstandsverhältnissen noch andere Szenarien näher zu betrachten. Für lokale Detailbetrachtungen sind zudem höchste zu erwartende Grundwasserstände (Bemessungsgrundwasserstände nach BWK M8) zu ermitteln. Auswirkungen auf die Wasserversorgung sowie grundwasserabhängige Ökosysteme und Gewässer im verbleibenden Endzustand wurden im Projekt ebenfalls nicht untersucht. Hier sollten insbesondere die Effekte der in Teilbereichen im Bergbauszenario berechneten größeren Flurabstände beziehungsweise niedrigeren Grundwasserstände sowie des Klimawandels untersucht werden.

## 7 Literaturverzeichnis

- Bericht der Landesregierung zu Höhenänderungen im Rheinischen Braunkohlerevier für die Sitzung des Unterausschusses Bergbausicherheit, 18.09.2015
- RWE Power AG, 27.03.2017. <http://www.rwe.com/web/cms/de/2374336/rwe-power-ag/energetraeger/braunkohle/bergschaeden/karten-und-fachinformationen/>
- Giese, S., 2010. Bodenbewegungen infolge von Sumpfungsmaßnahmen für tiefe Tagebaue am Beispiel des Rheinischen Braunkohlenreviers. Dissertation. RWTH Aachen
- LANUV-Fachbericht 88, 2018. Methodenrecherche Bodenbewegungsprognose für das Rheinische Braunkohlenrevier: Anwendungsfälle zur Berechnung von Bodenbewegungen infolge Grundwasserstandsänderungen.
- ZAI GmbH, 2019. Bericht zum Methodenvergleich Bodenbewegungsprognose.
- ZAI GmbH, 2019. Bericht zur Berechnung und Prognose von Bodenbewegungen mit Sensitivitätsanalyse im Rheinischen Braunkohlerevier.
- Kolymbas, D., 1998. Geotechnik – Bodenmechanik und Grundbau. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg.
- Poths, M., 2017. Markscheiderische Prognose von Bodenbewegungen. Vortragsfolien der 2. Sitzung der AG Flurabstandsprognose
- Göttlich, K. (Hrsg.), 1990. Moor- und Torfkunde. 3. Auflage. E. Schweizerbart.
- Poths, M., 2017. Auesetzung - Praktische Erkenntnisse und Auswirkungen. Vortragsfolien der 3. Sitzung der AG Flurabstandsprognose ([https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/wasser/pdf/20170313\\_Auesetzung.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/wasser/pdf/20170313_Auesetzung.pdf))
- AG Grundwasserneubildung, 2012. Flächendifferenzierte Ermittlung der Grundwasserneubildung im Rheinischen Braunkohlenrevier. Abschlussbericht.
- Simon S., Jaritz R., 2020. Ableitung von Zeitfaktoren der Grundwasserneubildung (Jahres- und Monatsfaktoren). Beitrag zum Workshop „Grundwasserneubildung“ im LANUV, 11.03.2020 und 27.03.2020
- GCI GmbH, 2022. Weiterentwicklung des Grundwasser-Großraummodells im Rheinischen Braunkohlenrevier II – Simulationen von Grundwasserständen für Grundwasserflurabstandskarten, Königs Wusterhausen

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	Übersicht des Untersuchungsgebiets .....	6
<b>Abbildung 2:</b>	Ausdehnung der durch Braunkohlenbergbau verursachten Bodenbewegungen 1955 - 2017 (Daten von Geobasis NRW und RWE Power AG) .....	9
<b>Abbildung 3:</b>	Beispiele möglicher Bodenbewegungs-Szenarien (nach [3]). a) Größtenteils Sande und Kiese; Tone und Braunkohlen sind geringmächtig. b) Mächtige Ton- und Braunkohlenlagen.....	10
<b>Abbildung 4:</b>	Beispiel von gemessenen Setzungen in einer Ortslage mit ursprünglich oberflächennahen Grundwasserständen und organisch durchsetzten Gründungsschichten und einem Messnetz höherer Messpunktdichte (nach [10]) .....	13
<b>Abbildung 5:</b>	Ausgewählte Punkte für durch das LANUV beauftragte Bodenbewegungsprognosen im Rheinischen Revier .....	15
<b>Abbildung 6:</b>	Punkte aller berechneten Bodenbewegungsprognosen im Rheinischen Revier .....	16
<b>Abbildung 7:</b>	Bodenbewegungsprognose am Punkt Niedermerz mit theoretischer und wahrscheinlicher Streuweite [6].....	18
<b>Abbildung 8:</b>	Berechnung des Bodenbewegungsfaktors am Punkt Ahe .....	19
<b>Abbildung 9:</b>	Bodenbewegungsdifferenz 2017 - 2200 mit dem Punktfeld, das der Triangulation zugrunde liegt.....	21
<b>Abbildung 10:</b>	Heutige Geländehöhen (DGM1) im Untersuchungsgebiet.....	22
<b>Abbildung 11:</b>	Räumliche Verteilung der Grundwasserneubildung nach dem Verfahren nach Schröder/Wyrwich (Mittelwert 1961-2000).....	27
<b>Abbildung 12:</b>	Zeitliche Variation der Grundwasserneubildung in Relation zum langjährigen Mittelwert (100 %).....	28
<b>Abbildung 13:</b>	Lage aller im Grundwassermodell berücksichtigten Drittentnehmer .....	29
<b>Abbildung 14:</b>	Lage der Modellknoten im Grundwassermodell mit Gewässerrandbedingung .....	30
<b>Abbildung 15:</b>	Lage der bestehenden und geplanten Infiltrationsanlagen (Stand 2018).....	31
<b>Abbildung 16:</b>	Gemessene und prognostizierte Infiltrationsmengen.....	32
<b>Abbildung 17:</b>	Übersicht über die mit dem Grundwassermodell berechneten Szenarien.....	33
<b>Abbildung 18:</b>	Grundwassergleichen im obersten Stockwerk für das Referenzszenario [13] .....	37
<b>Abbildung 19:</b>	Grundwassergleichen im obersten Stockwerk für das Bergbauszenario [13].....	38
<b>Abbildung 20:</b>	Flurabstände im Referenzszenario.....	40

<b>Abbildung 21:</b>	Flurabstände im Referenzszenario mit historischen Flurabständen von 1953 .....	41
<b>Abbildung 22:</b>	Flurabstände im Bergbauszenario .....	42
<b>Abbildung 23:</b>	Flurabstände im Referenzszenario mit geplanten Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftaue .....	43
<b>Abbildung 24:</b>	Flurabstände im Bergbauszenario mit geplanten Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftaue .....	44
<b>Abbildung 25:</b>	Potenzielle Vernässungsbereiche im Referenzszenario .....	45
<b>Abbildung 26:</b>	Potenzielle Vernässungsbereiche im Bergbauszenario .....	46
<b>Abbildung 27:</b>	Potenzielle Vernässungsbereiche im Referenzszenario mit geplanten Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftaue .....	47
<b>Abbildung 28:</b>	Potenzielle Vernässungsbereiche im Bergbauszenario mit geplanten Wasserhaltungsmaßnahmen in der Erftaue .....	48
<b>Abbildung 29:</b>	Potenzielle Vernässungsbereiche in beiden Szenarien (links, entspricht Überschneidungsbereich) bzw. in jeweils einem der beiden Szenarien (rechts) im Bereich der Erftaue zwischen Bedburg und Erftstadt .....	50
<b>Abbildung 30:</b>	Differenz der Flurabstände von Referenz- und Bergbauszenario im Bereich der Erftaue .....	51
<b>Abbildung 31:</b>	Differenz der Grundwasserstände von Referenz- und Bergbauszenario im Bereich der Erftaue zwischen Bedburg und Erftstadt .....	52
<b>Abbildung 32:</b>	Differenz der Geländehöhen von Referenz- und Bergbauszenario im Bereich der Erftaue zwischen Bedburg und Erftstadt .....	52
<b>Abbildung 33:</b>	Potenzielle Vernässungsbereiche in beiden Szenarien (links, entspricht Überschneidungsbereich) bzw. in jeweils einem der beiden Szenarien (rechts) im Bereich der Erftaue zwischen Bedburg und Erftstadt .....	53

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b>	Vertikale Diskretisierung der Schichtenabfolge der einzelnen Teilschollen des Großraummodells.....	26
-------------------	--	----

# Anhang

## Anlage 1: Karten der Bodenbewegungsdifferenz 2017 – 2200 Min-/Max-Szenario

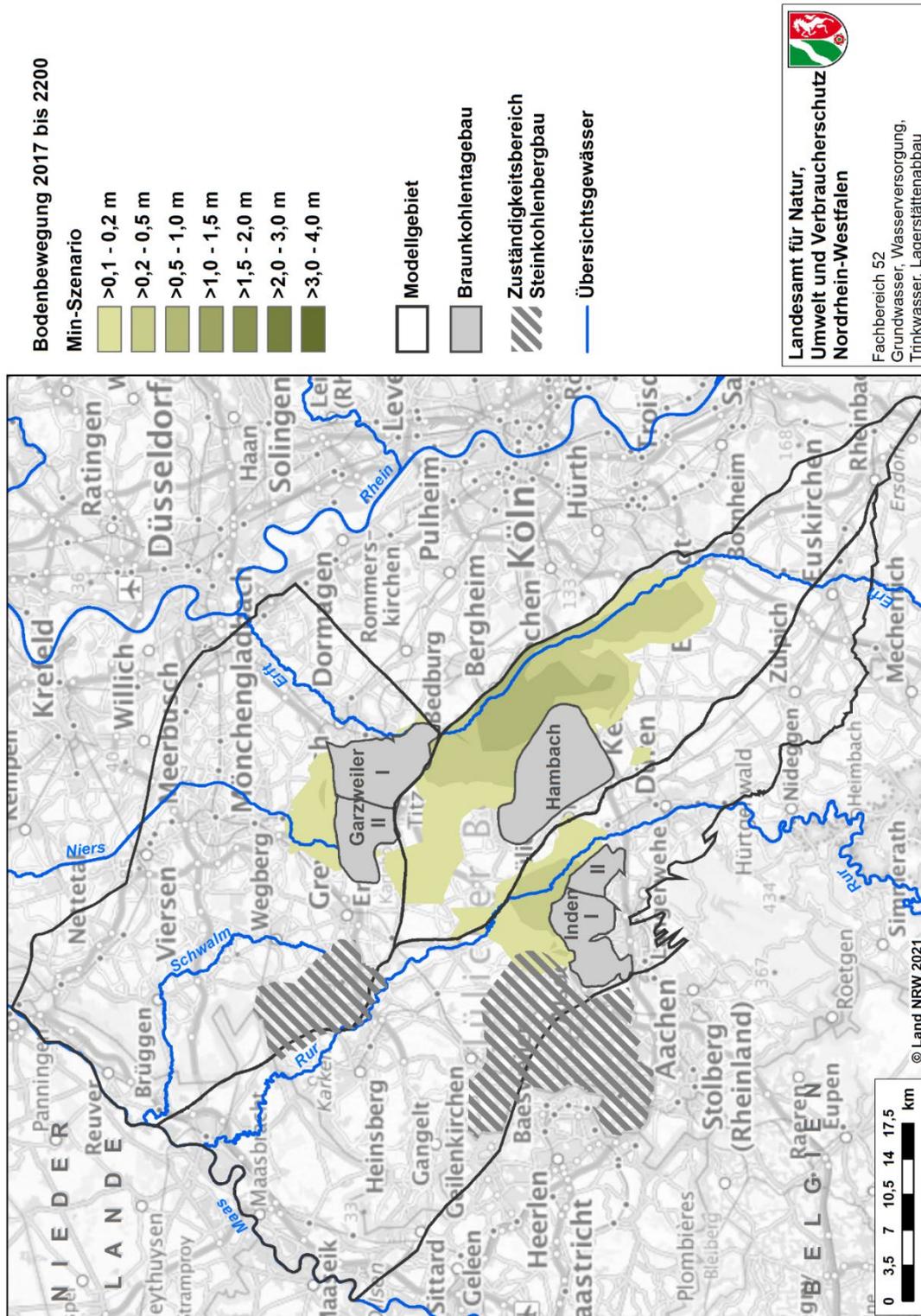


Abbildung A 1: Bodenbewegungsdifferenz 2017-2200 Min-Szenario

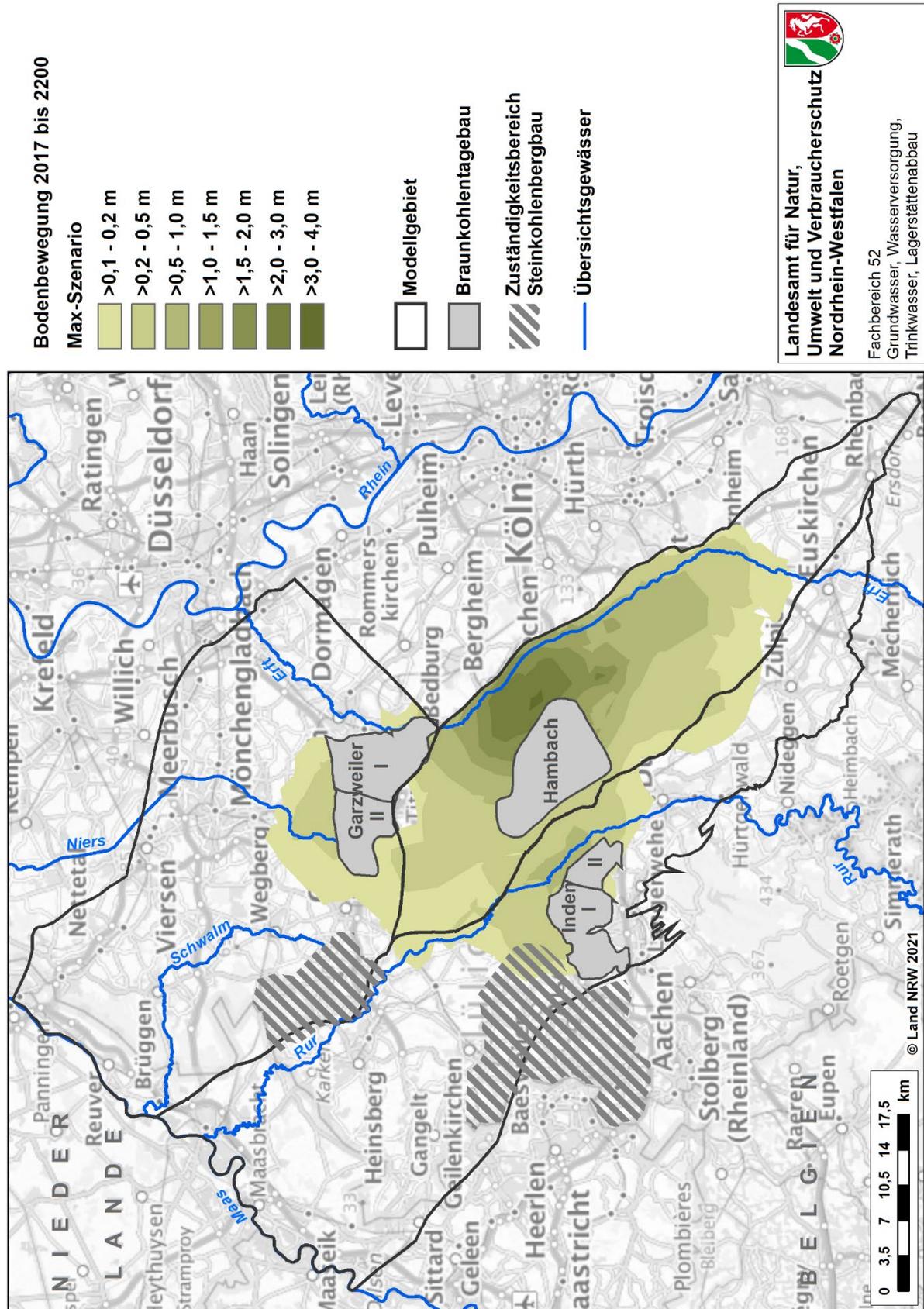
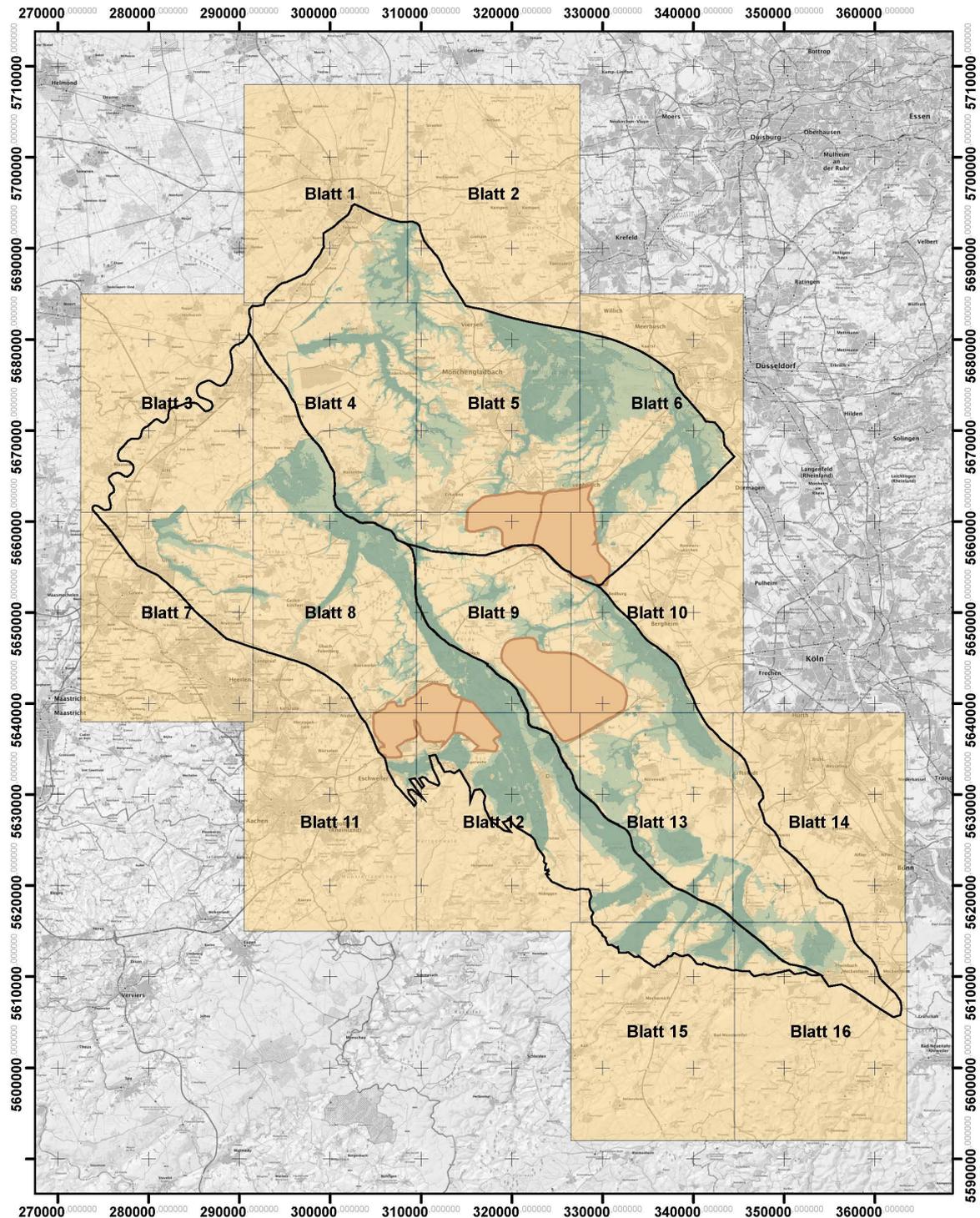


Abbildung A 2: Bodenbewegungsdifferenz 2017-2020 Max-Szenario

Anlage 2: Flurabstandskarten Referenzszenario



Landesamt für Natur,  
Umwelt und Verbraucherschutz  
Nordrhein-Westfalen



Fachbereich 52  
Grundwasser, Wasserversorgung,  
Trinkwasser, Lagerstättenabbau

Anlage 2: Flurabstandskarten Referenzszenario

Maßstab 1:100.000

Abbildung A 3: Flurabstandskarten Referenzszenario Übersicht

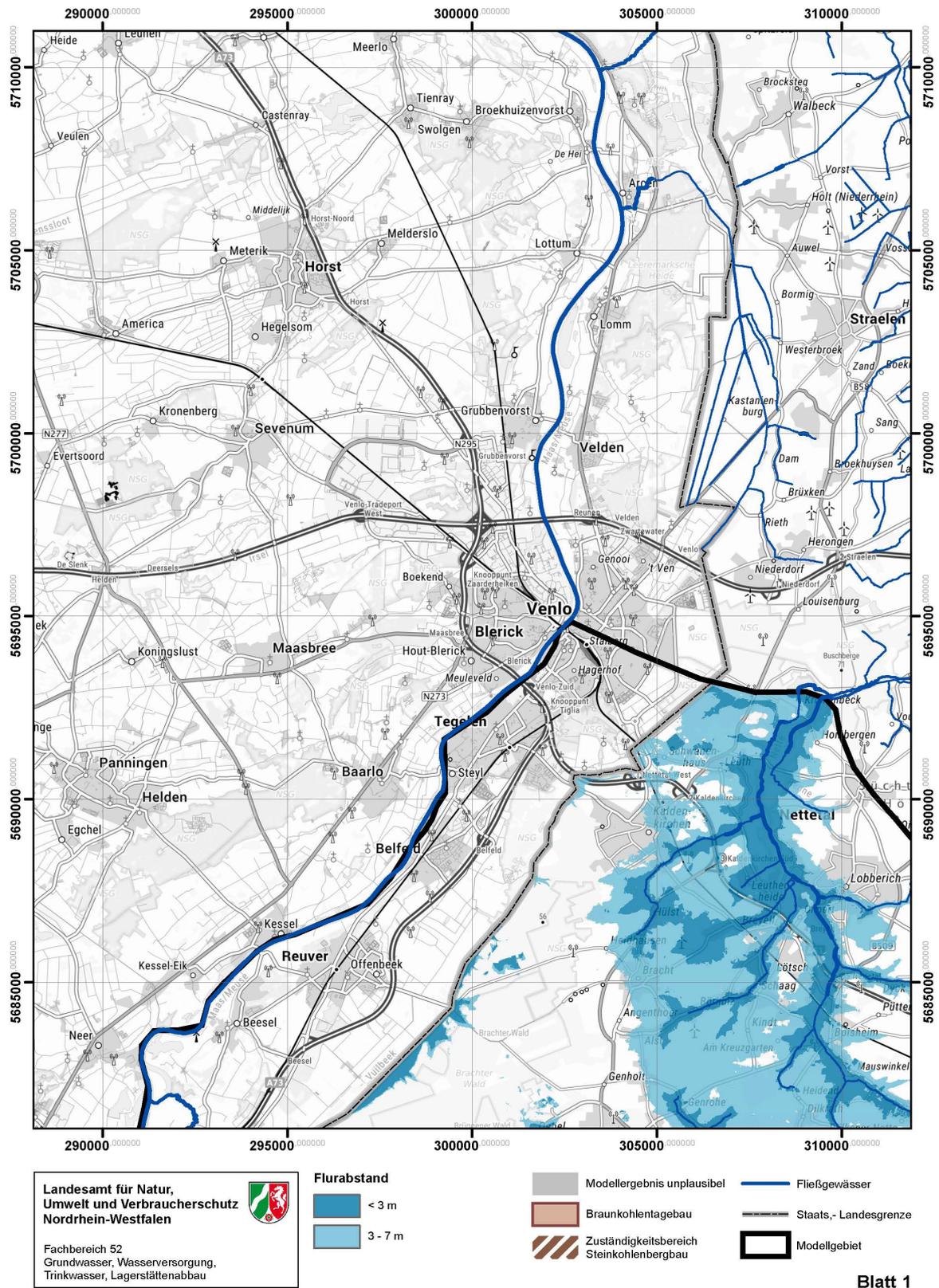


Abbildung A 4: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 1

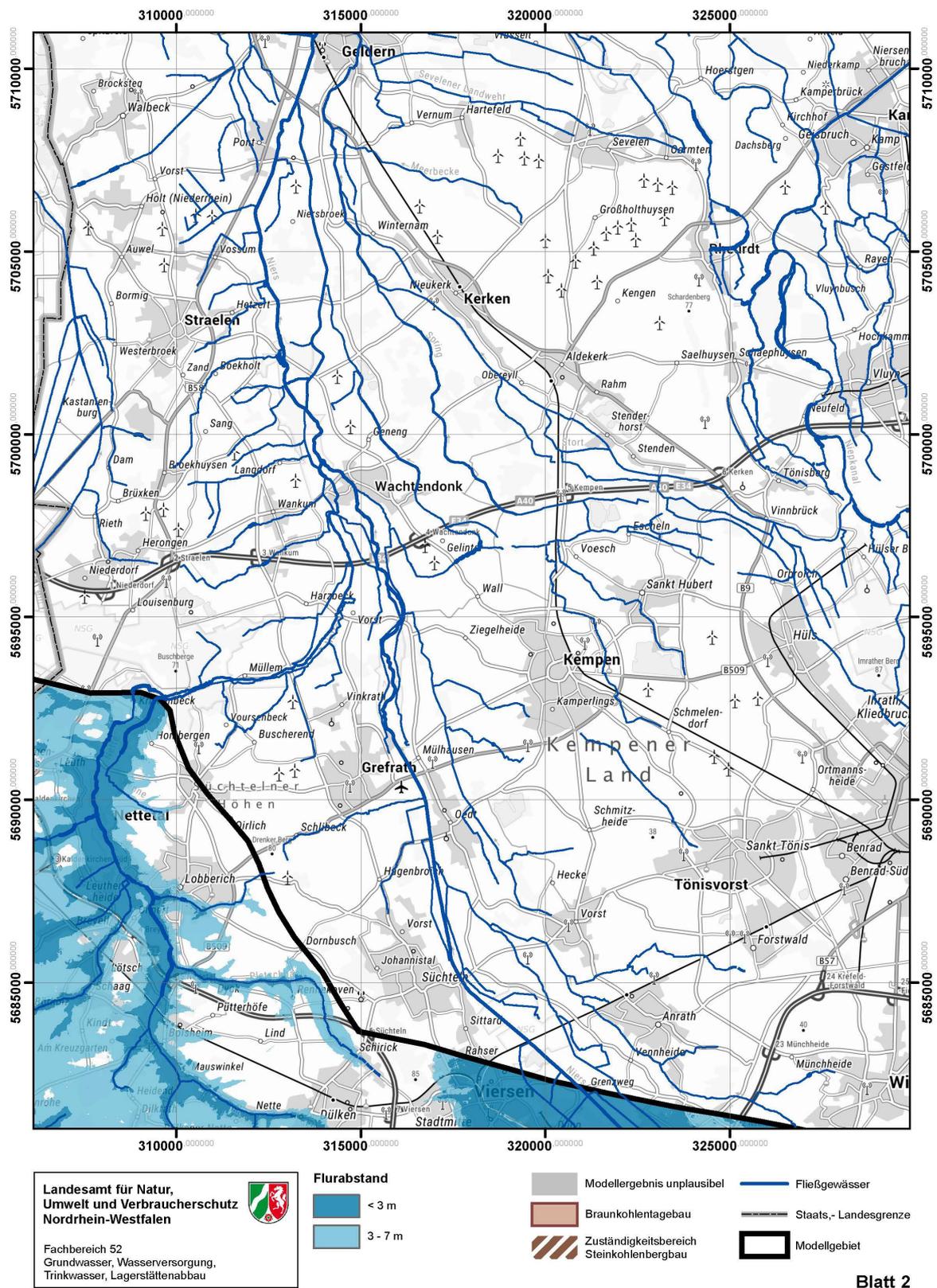


Abbildung A 5: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 2

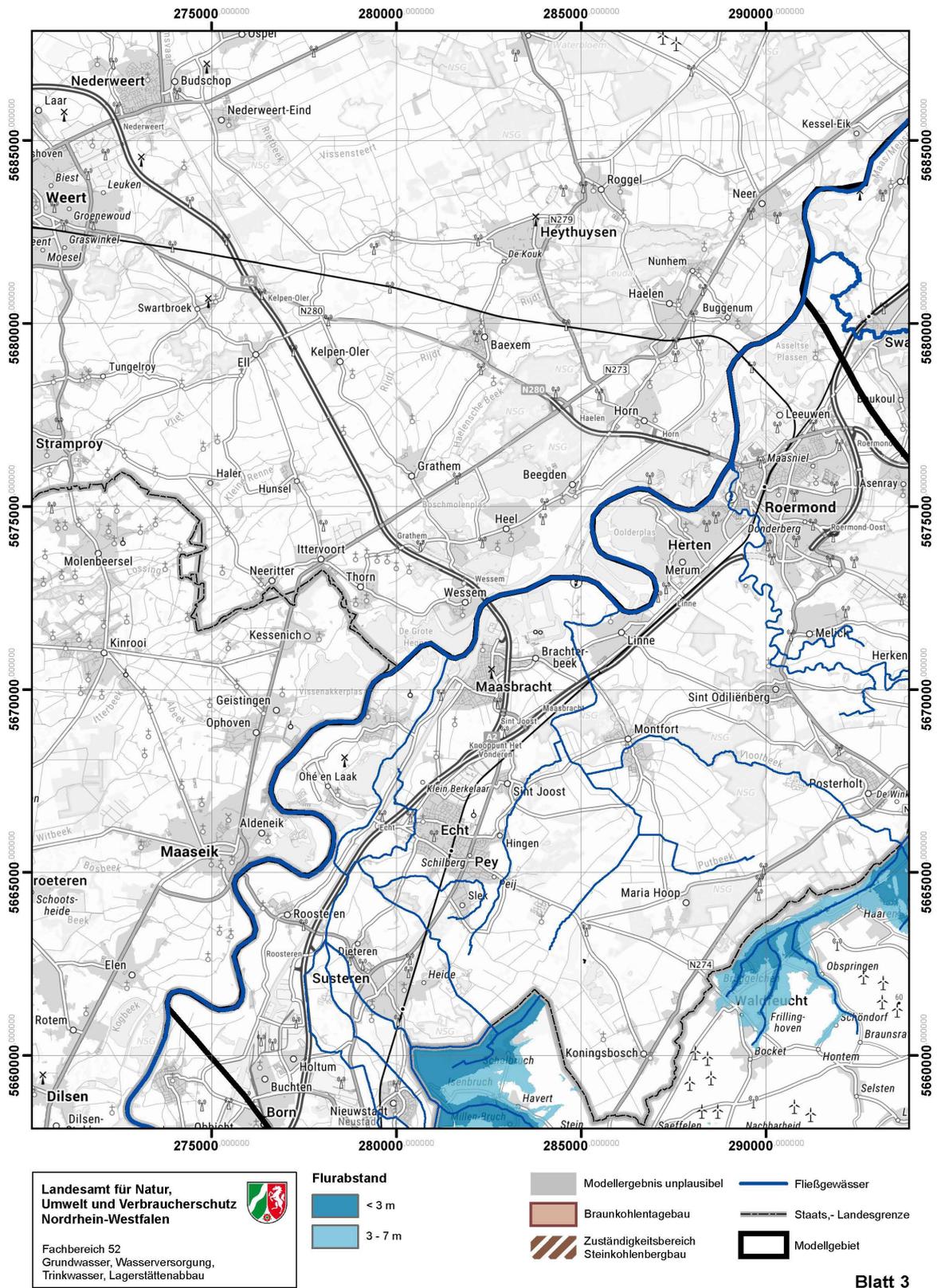


Abbildung A 6: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 3

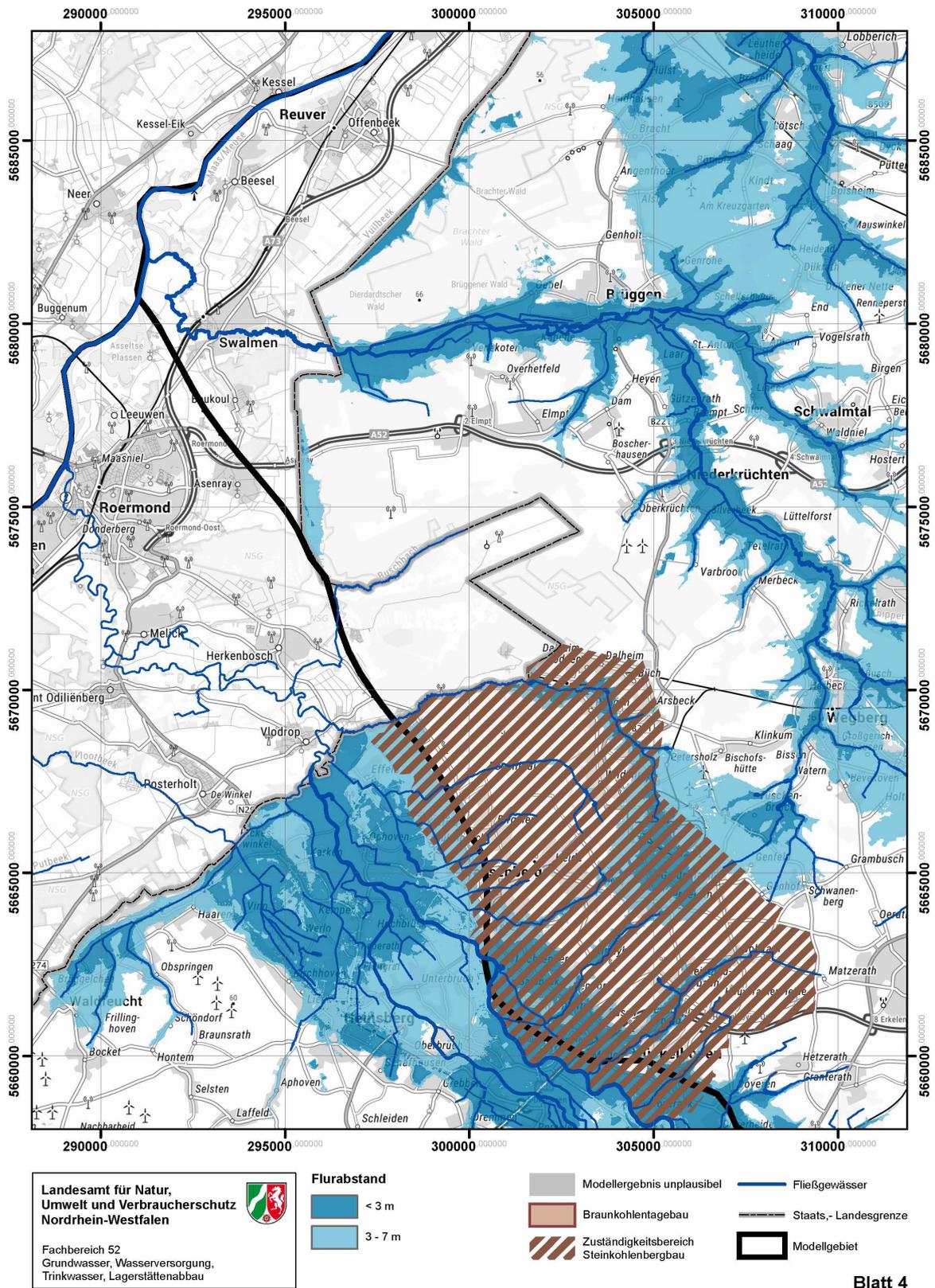


Abbildung A 7: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 4

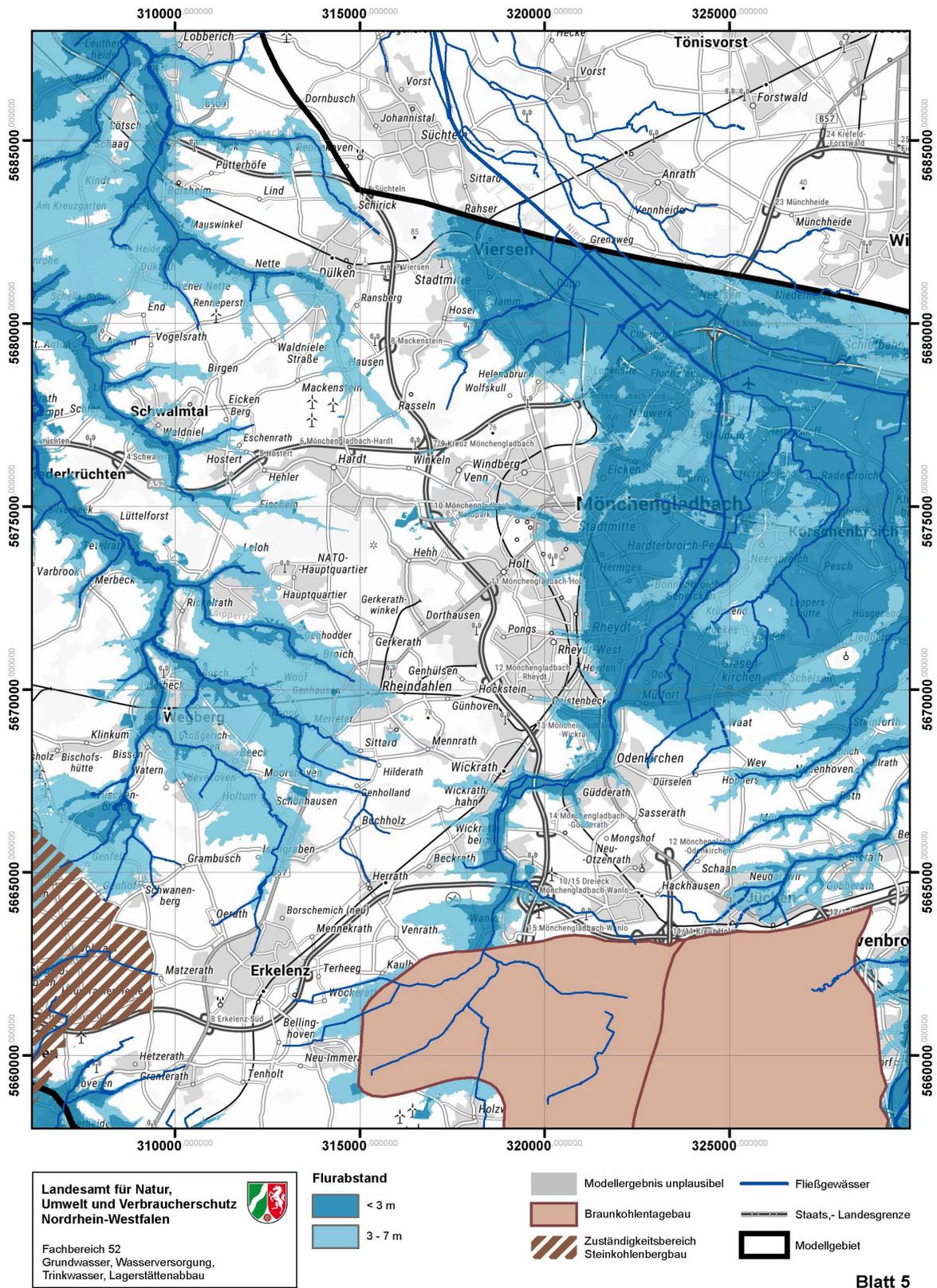


Abbildung A 8: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 5

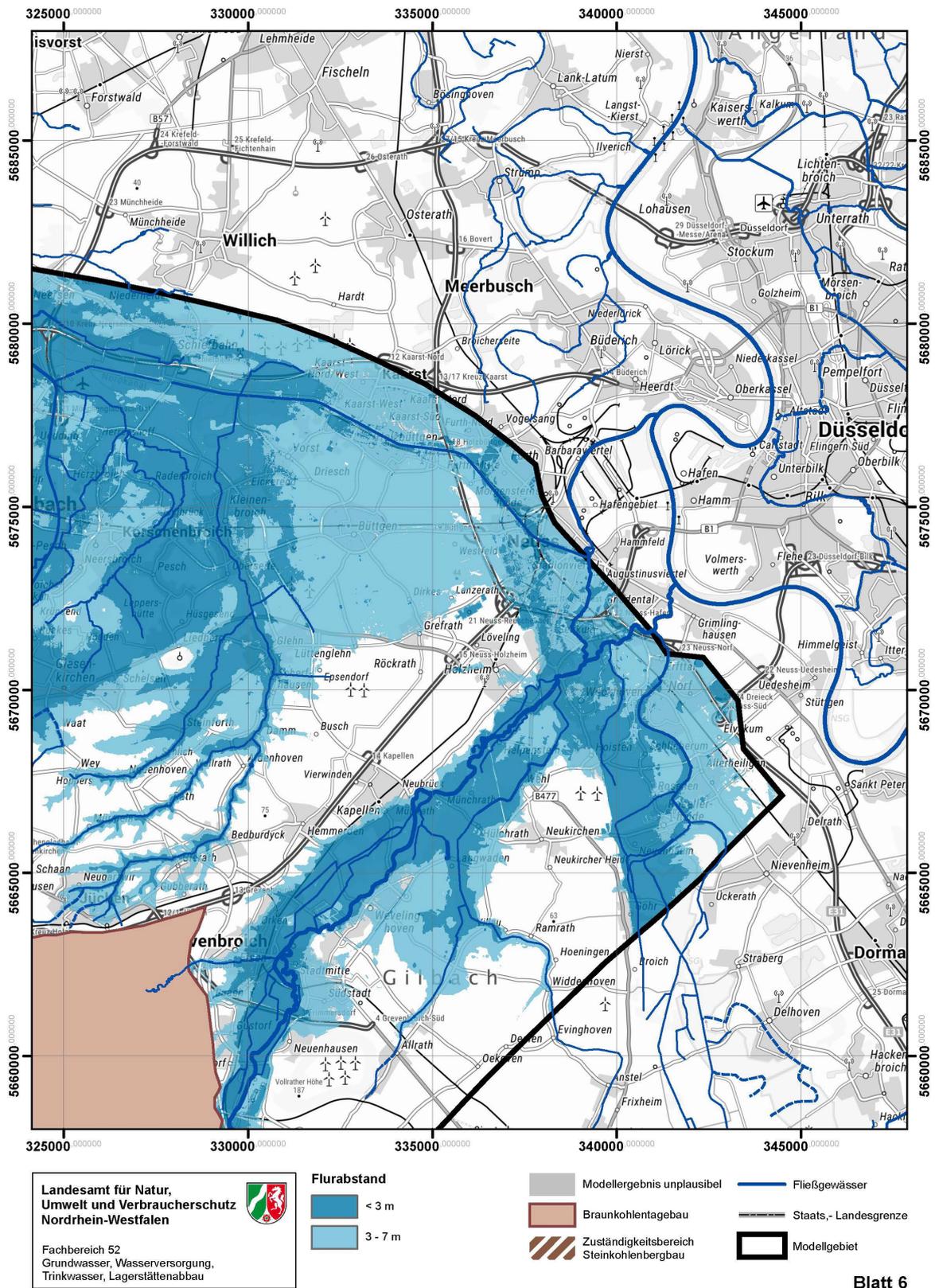


Abbildung A 9: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 6

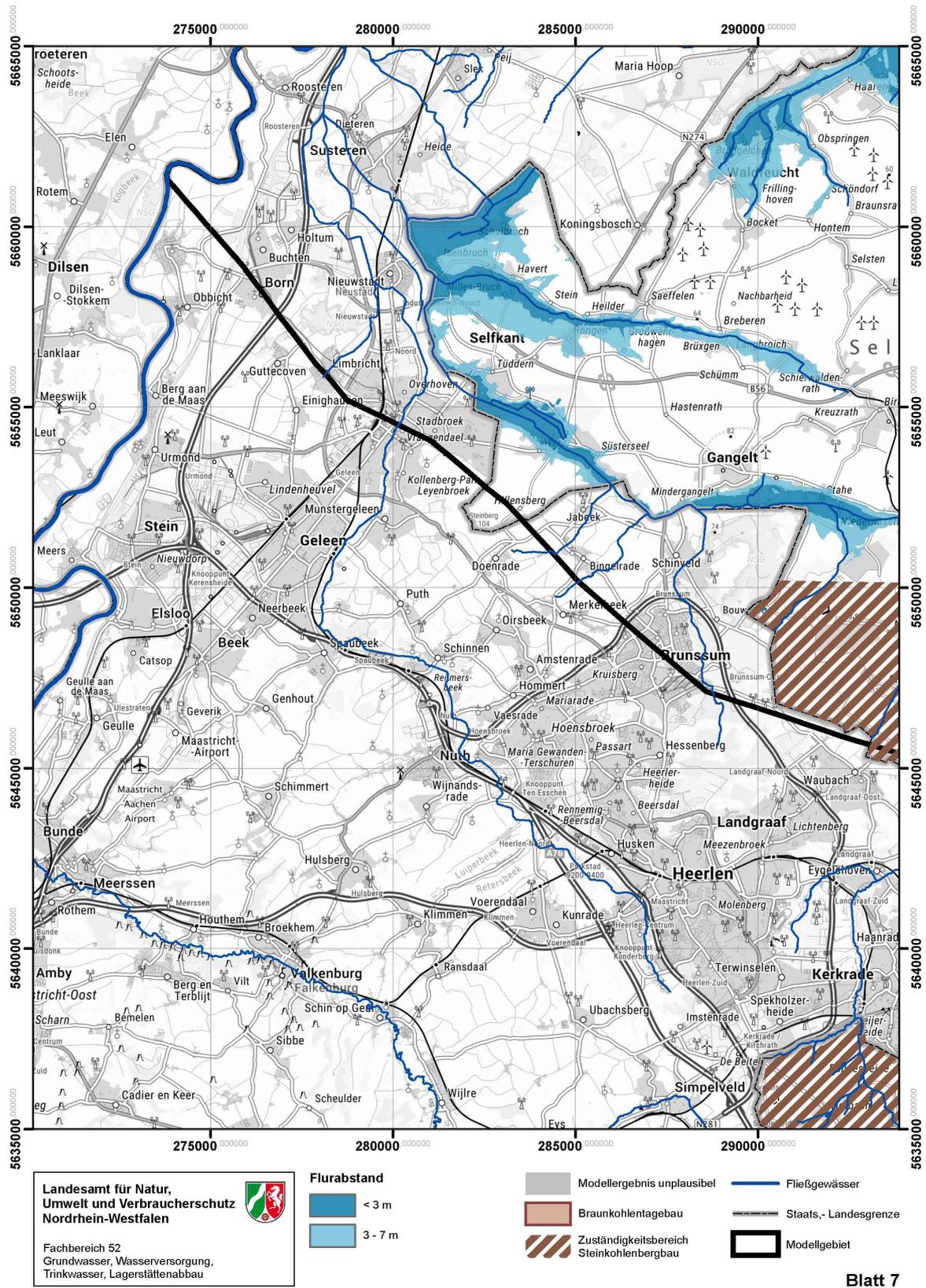


Abbildung A 10: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 7

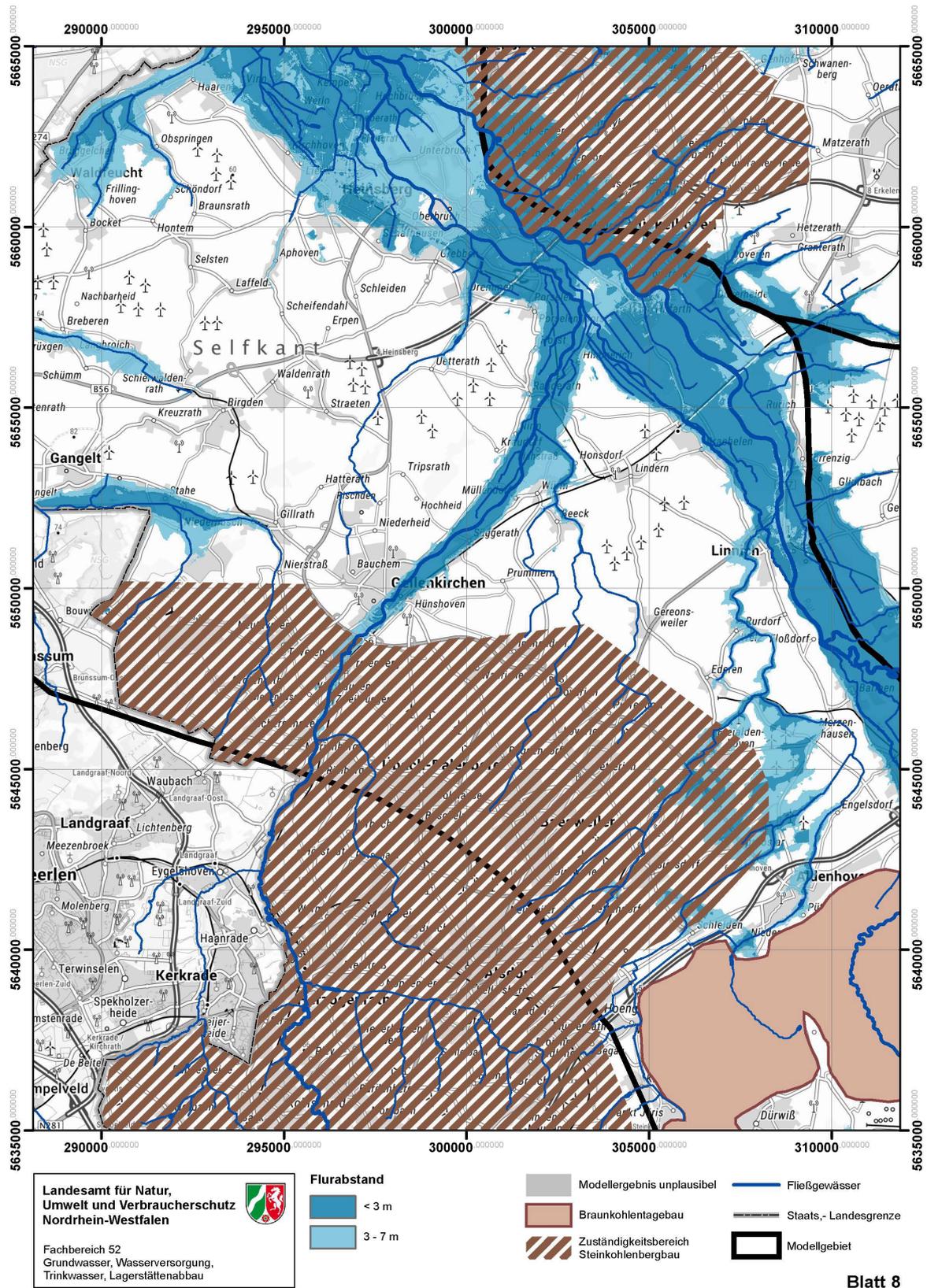


Abbildung A 11: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 8

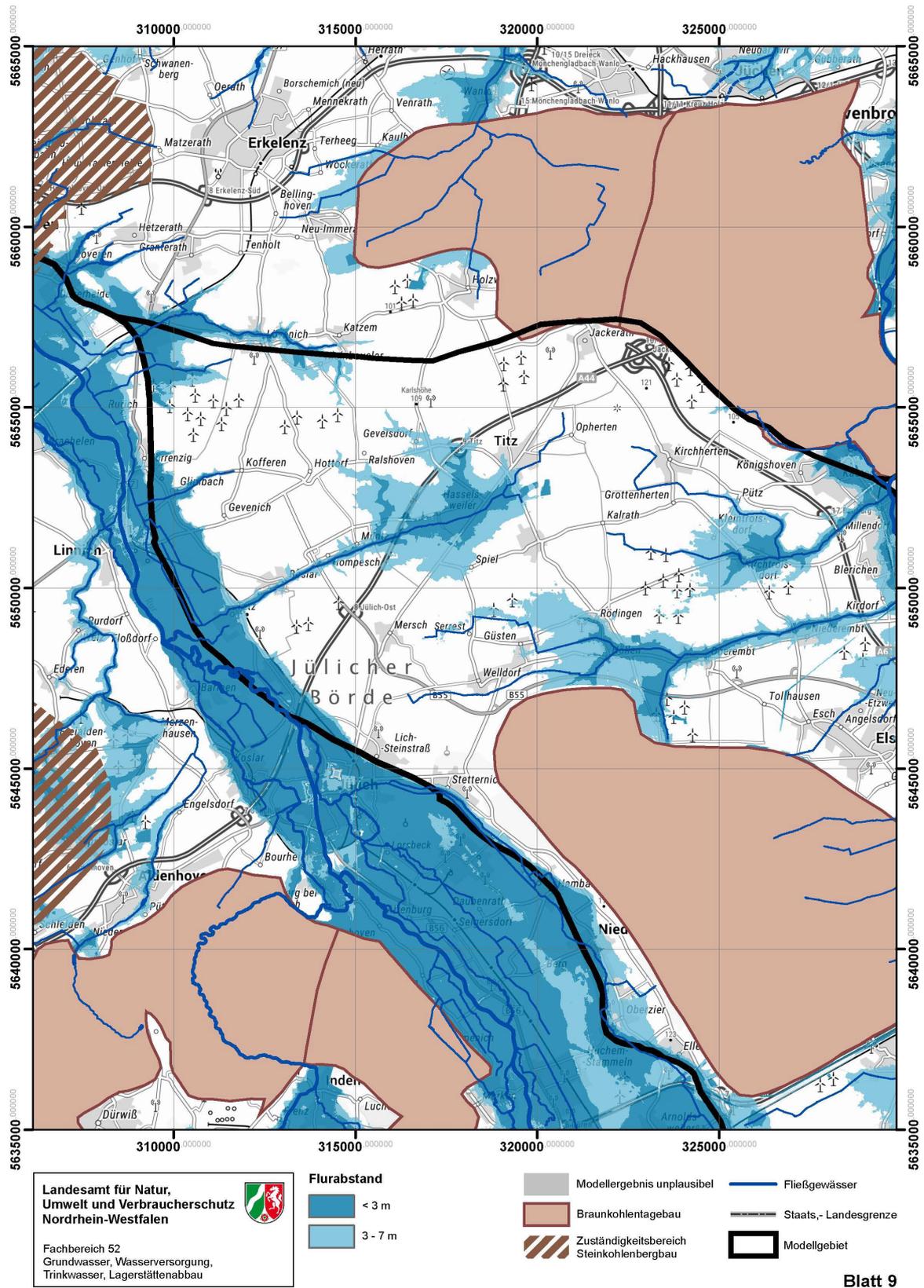


Abbildung A 12: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 9

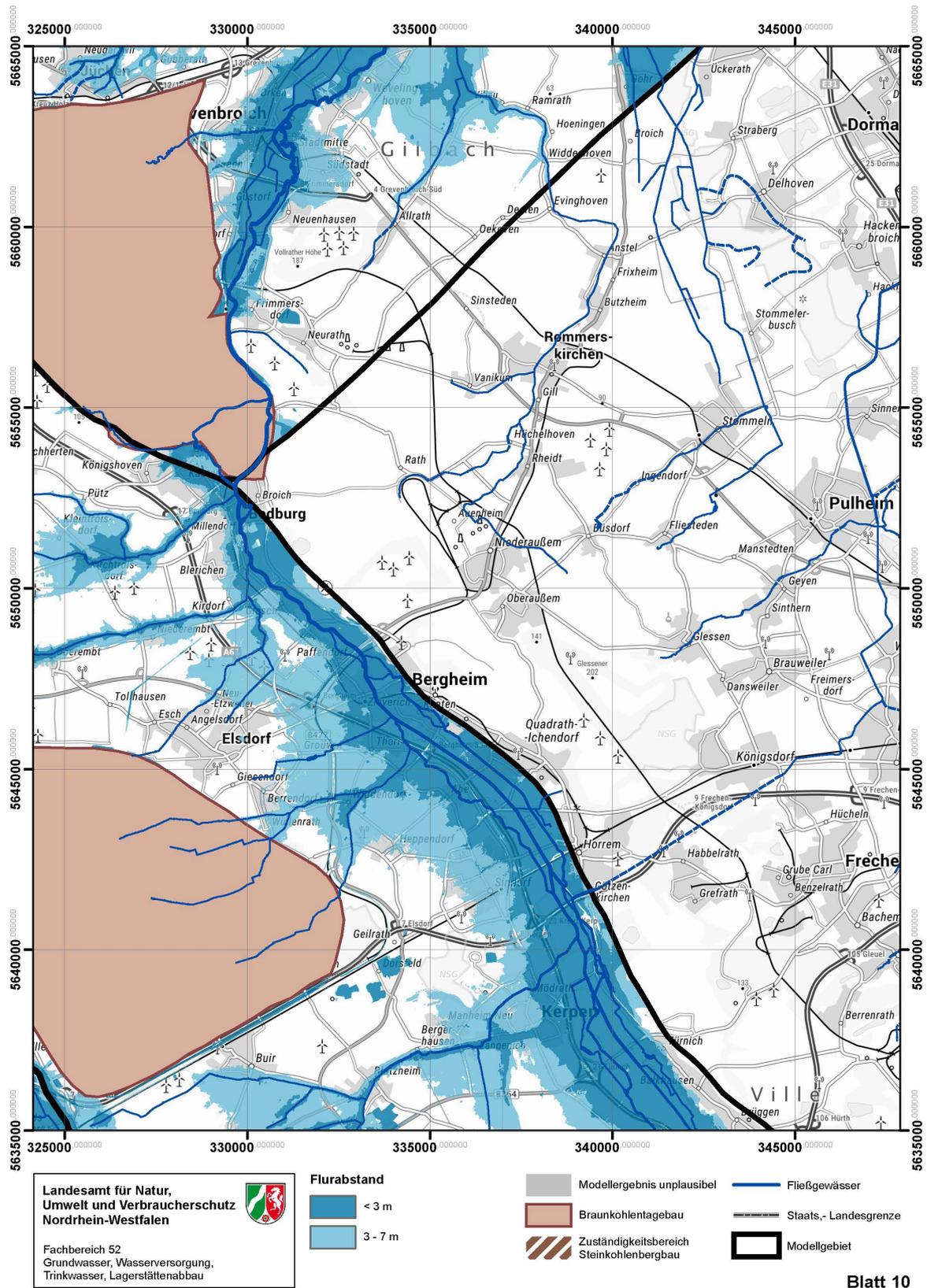


Abbildung A 13: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 10

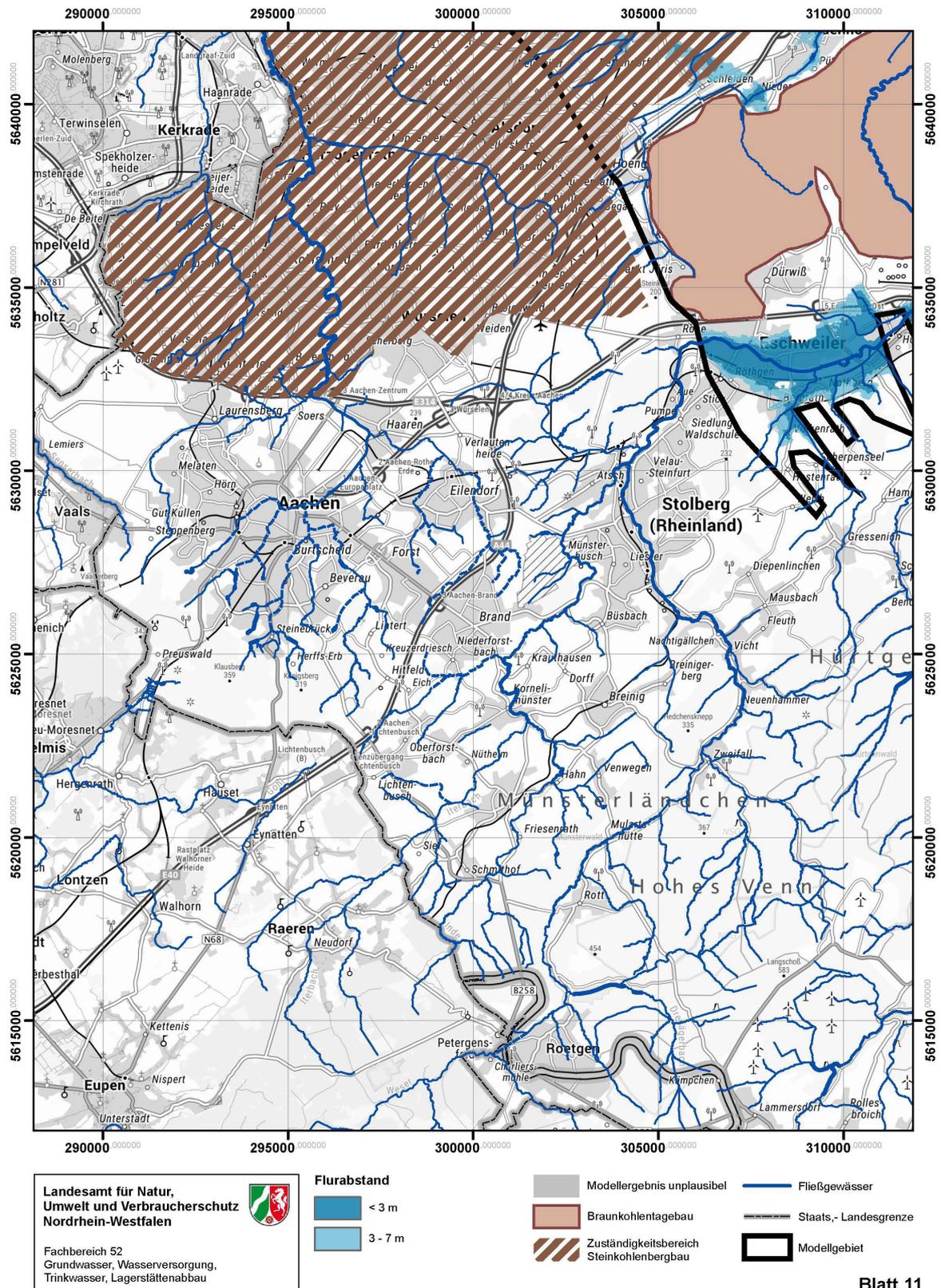


Abbildung A 14: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 11

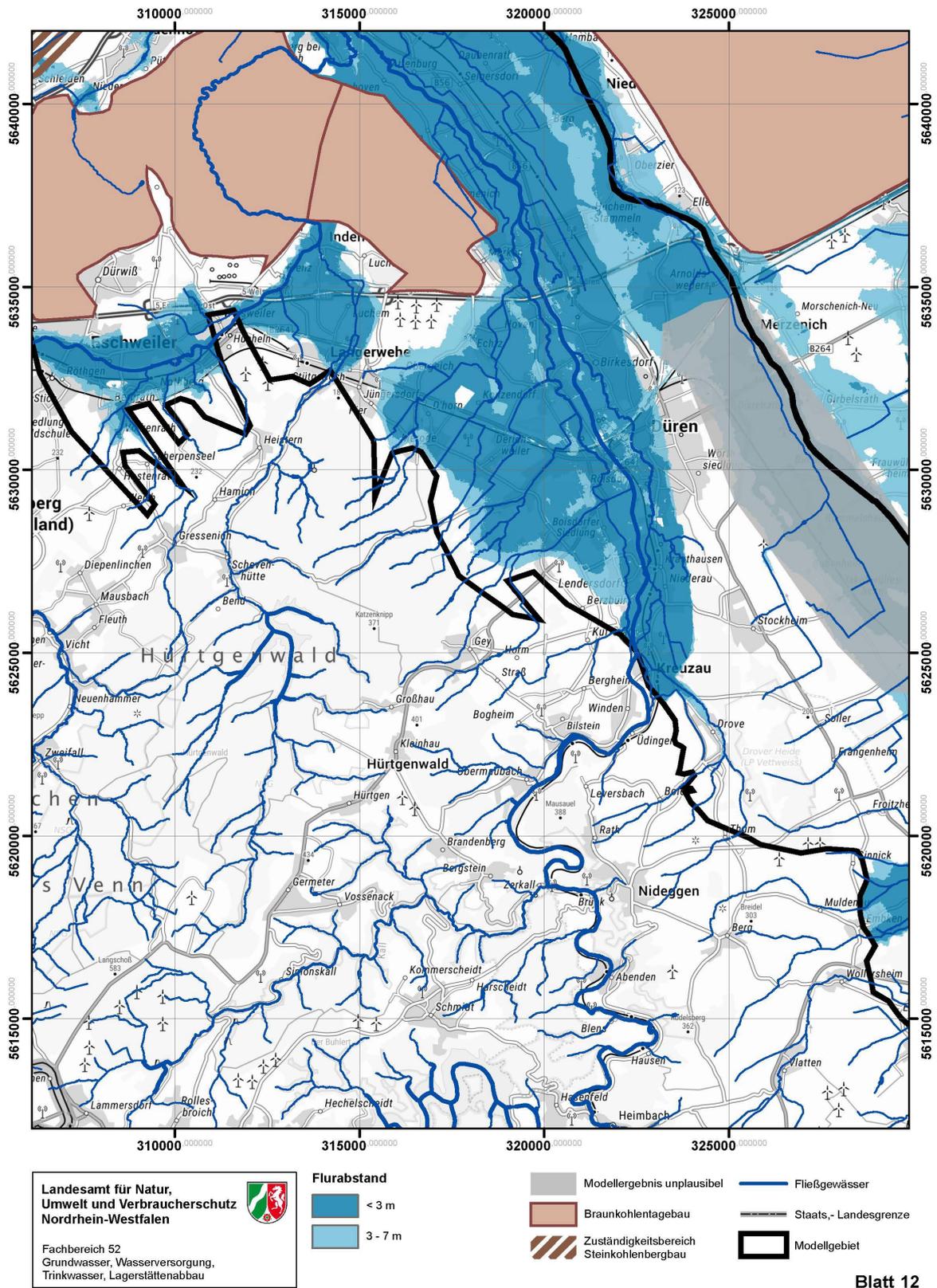


Abbildung A 15: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 12

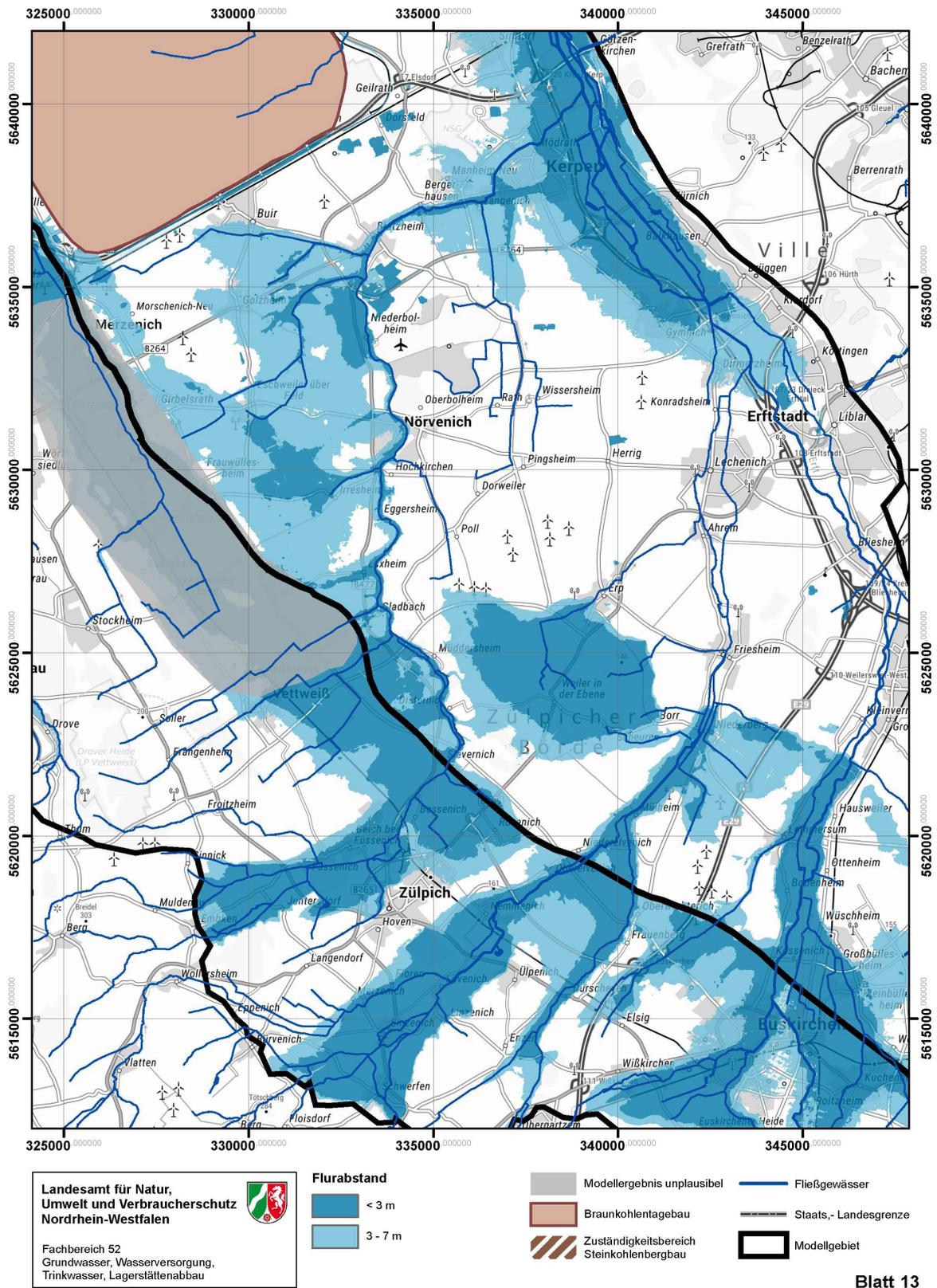


Abbildung A 16: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 13

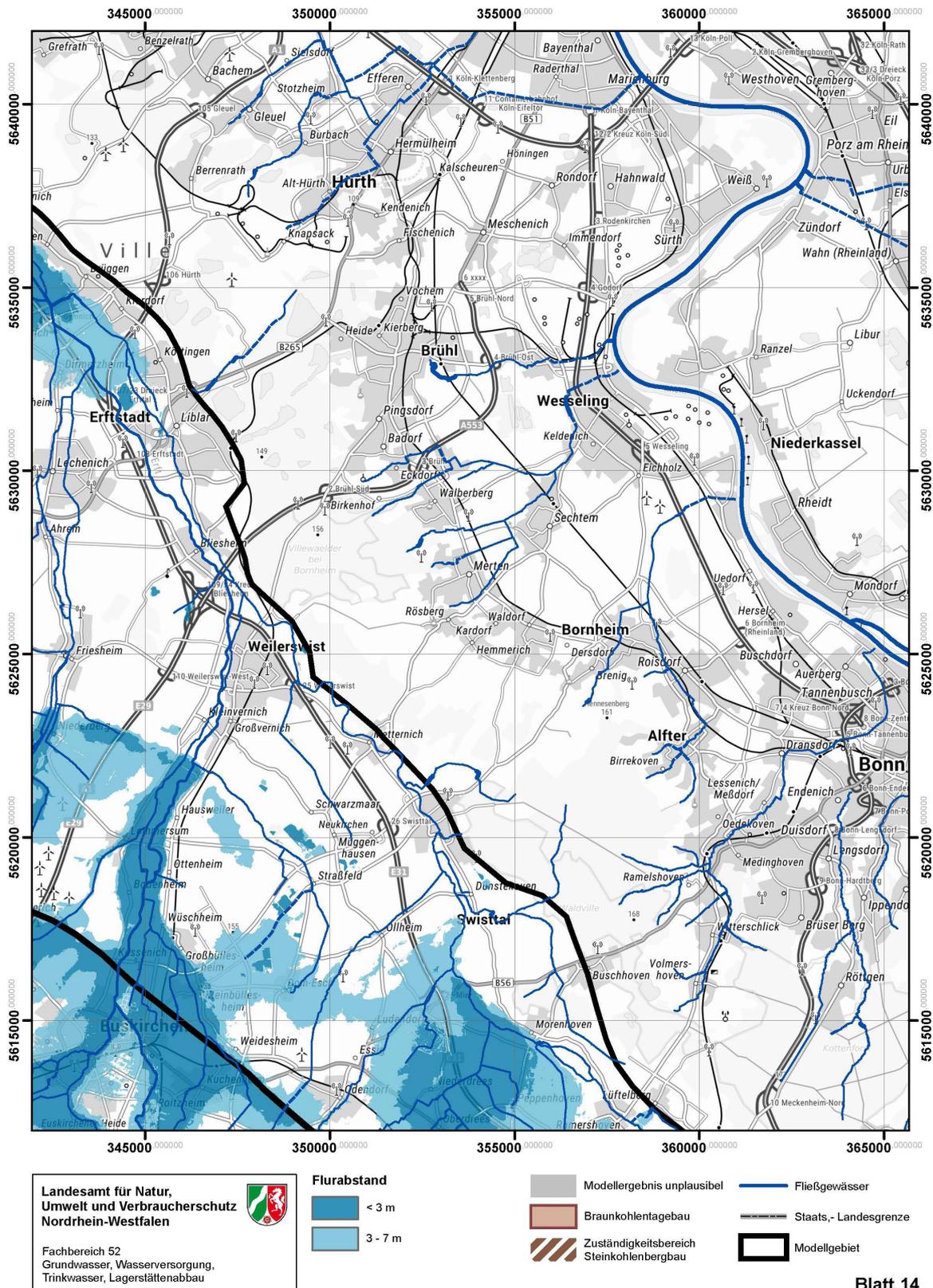


Abbildung A 17: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 14

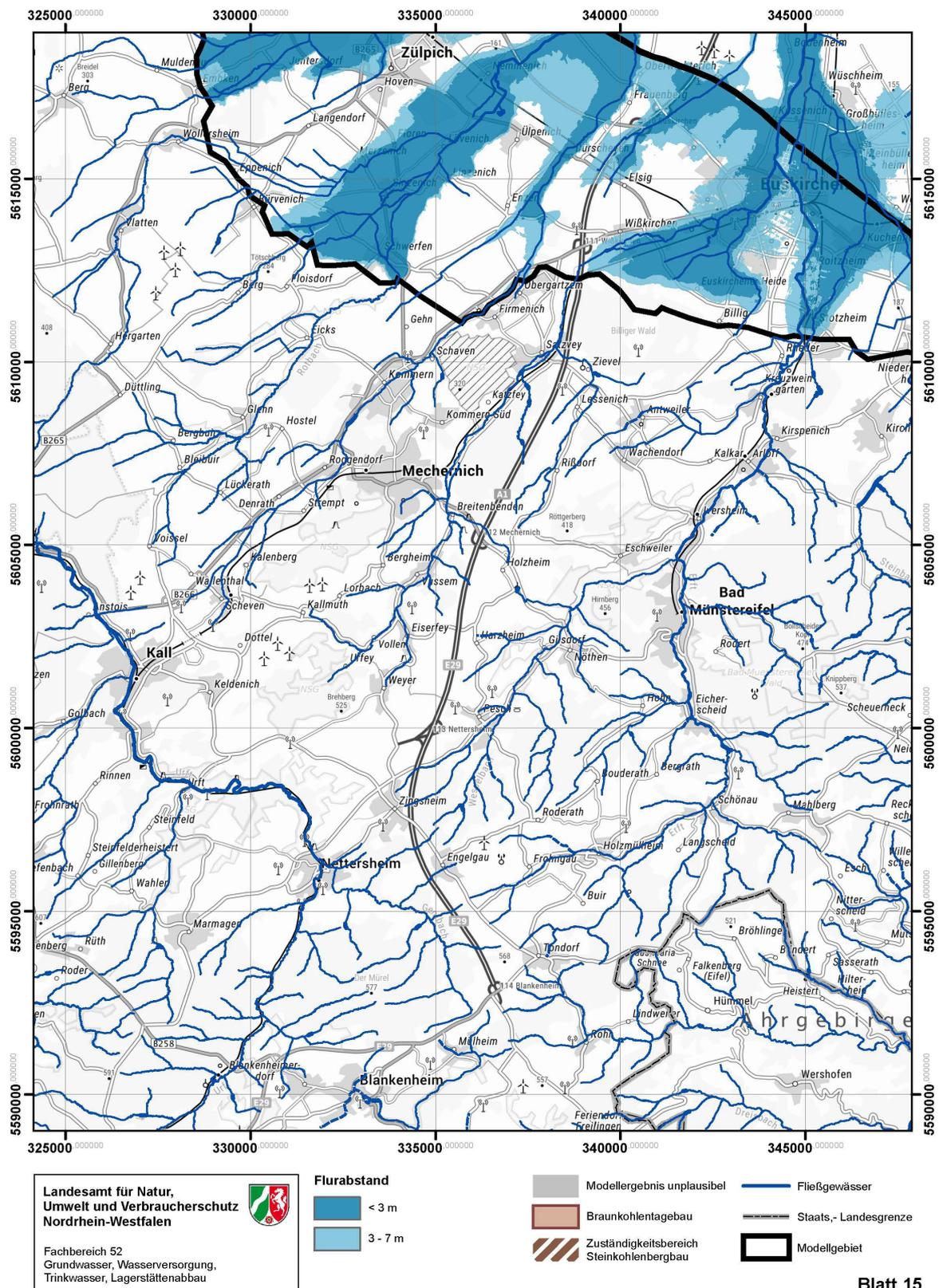


Abbildung A 18: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 15

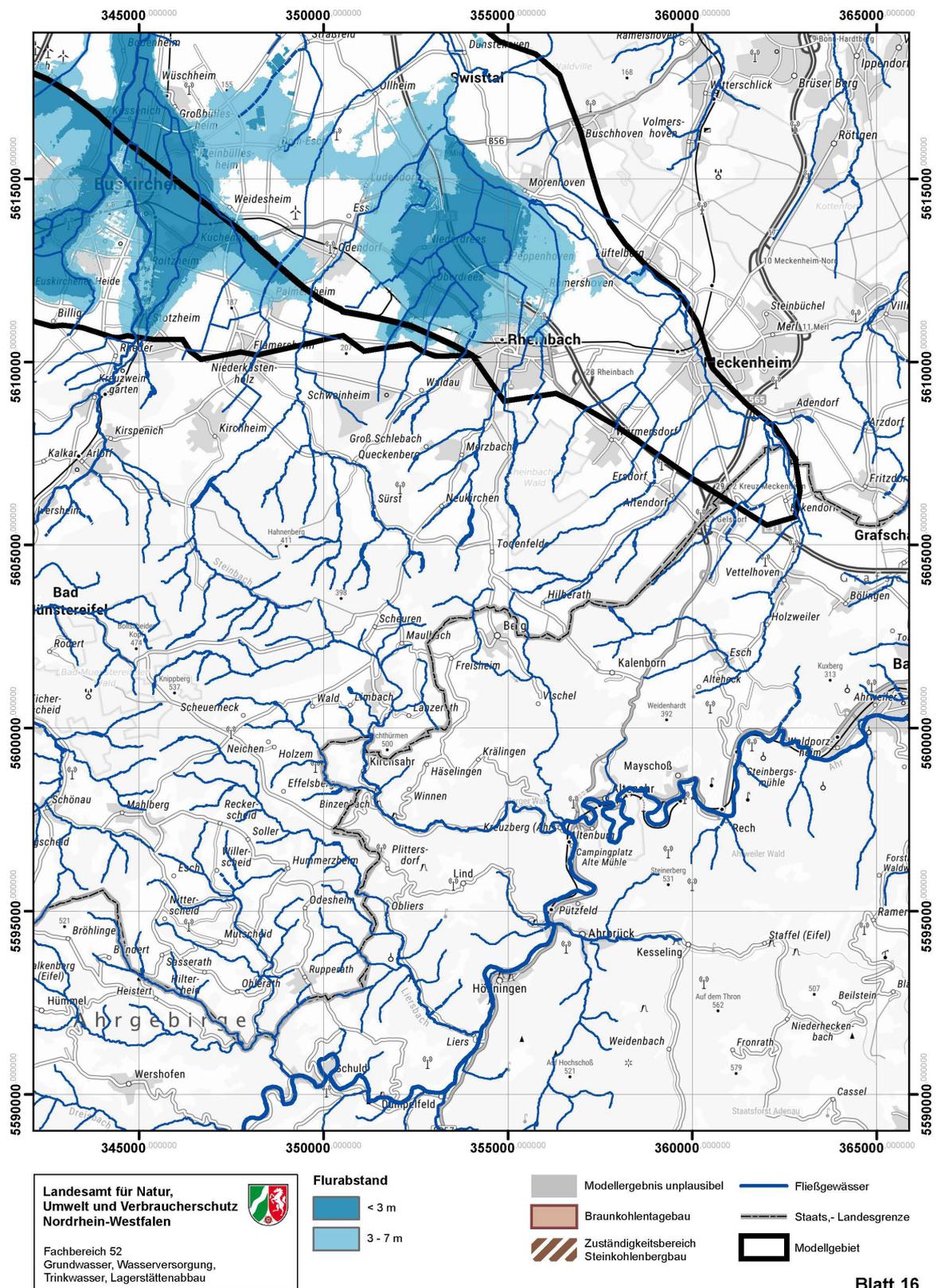


Abbildung A 19: Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 16

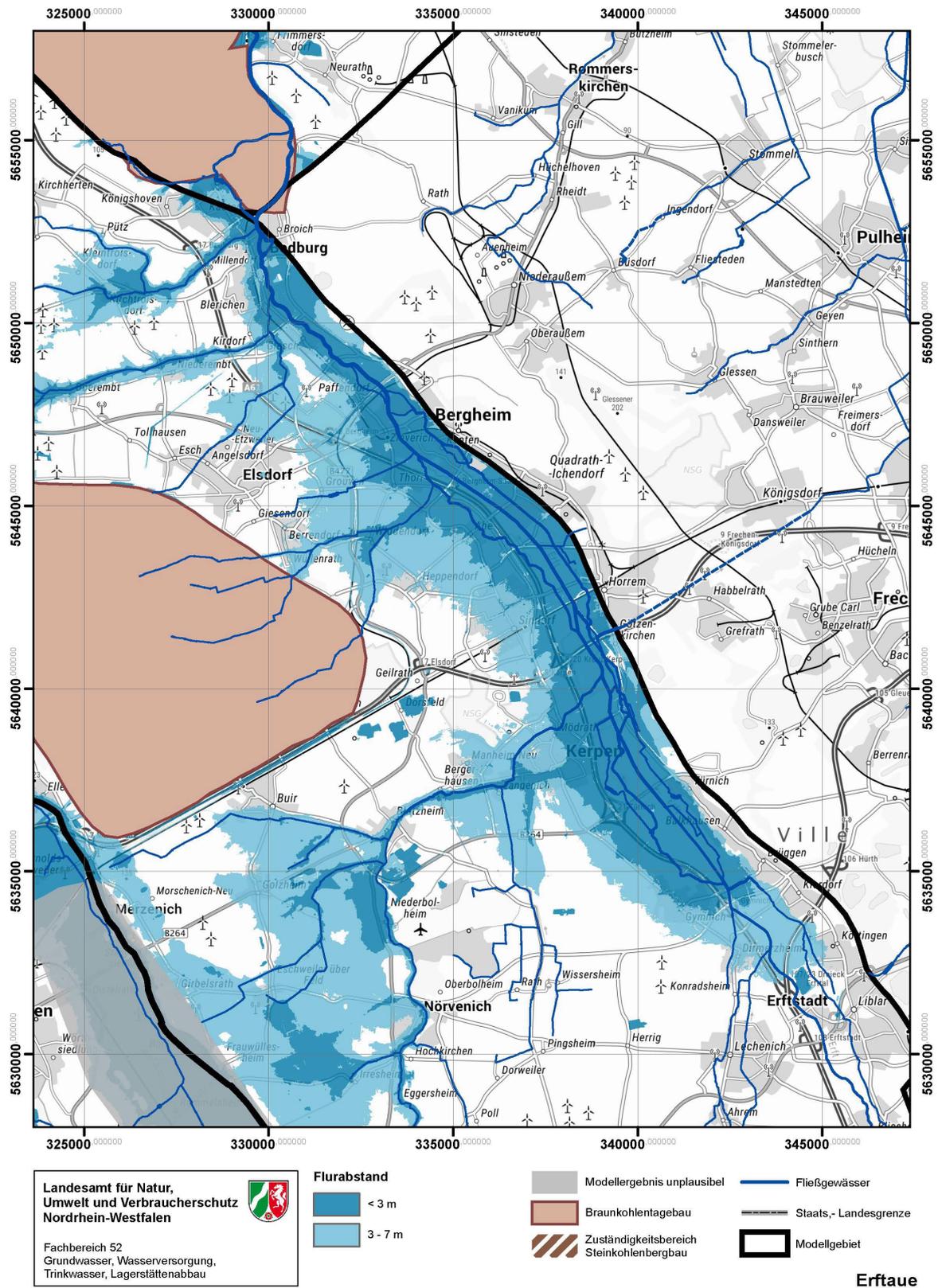


Abbildung A 20: Flurabstandskarten Referenzszenario Erftaue

Anlage 3: Flurabstandskarten Bergbauszenario

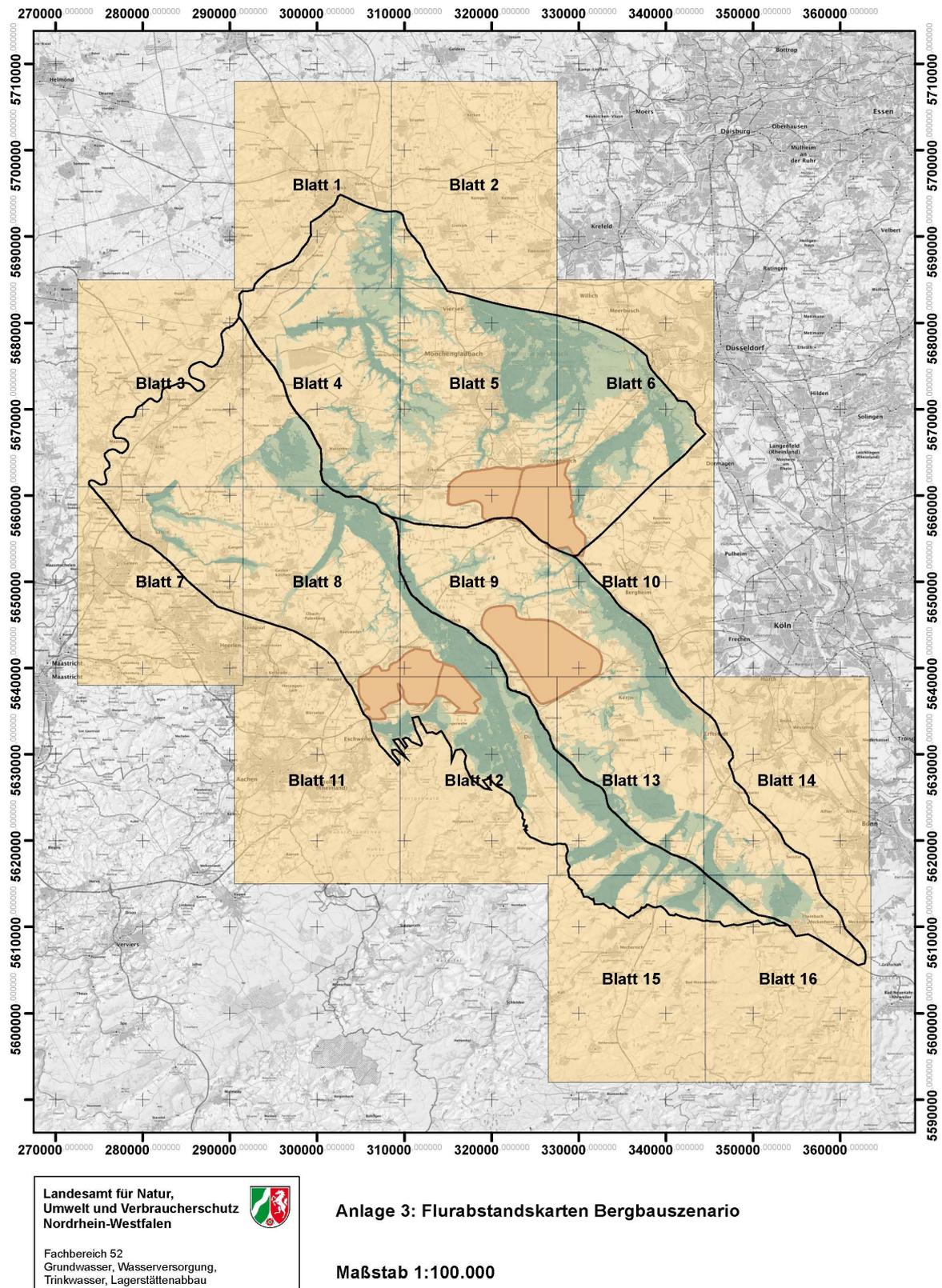


Abbildung A 21: Flurabstandskarten Bergbauszenario Übersicht

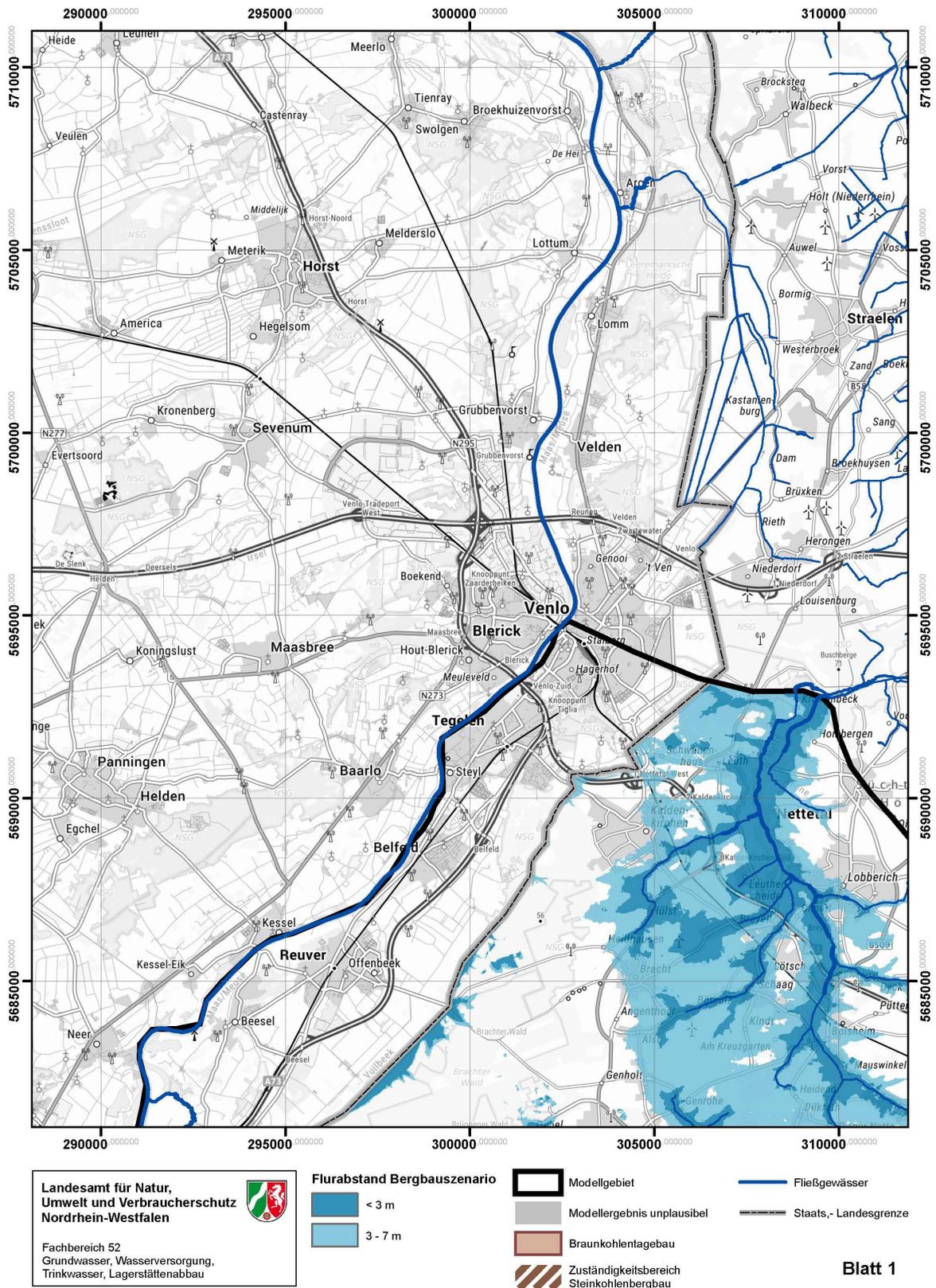


Abbildung A 22: Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 1

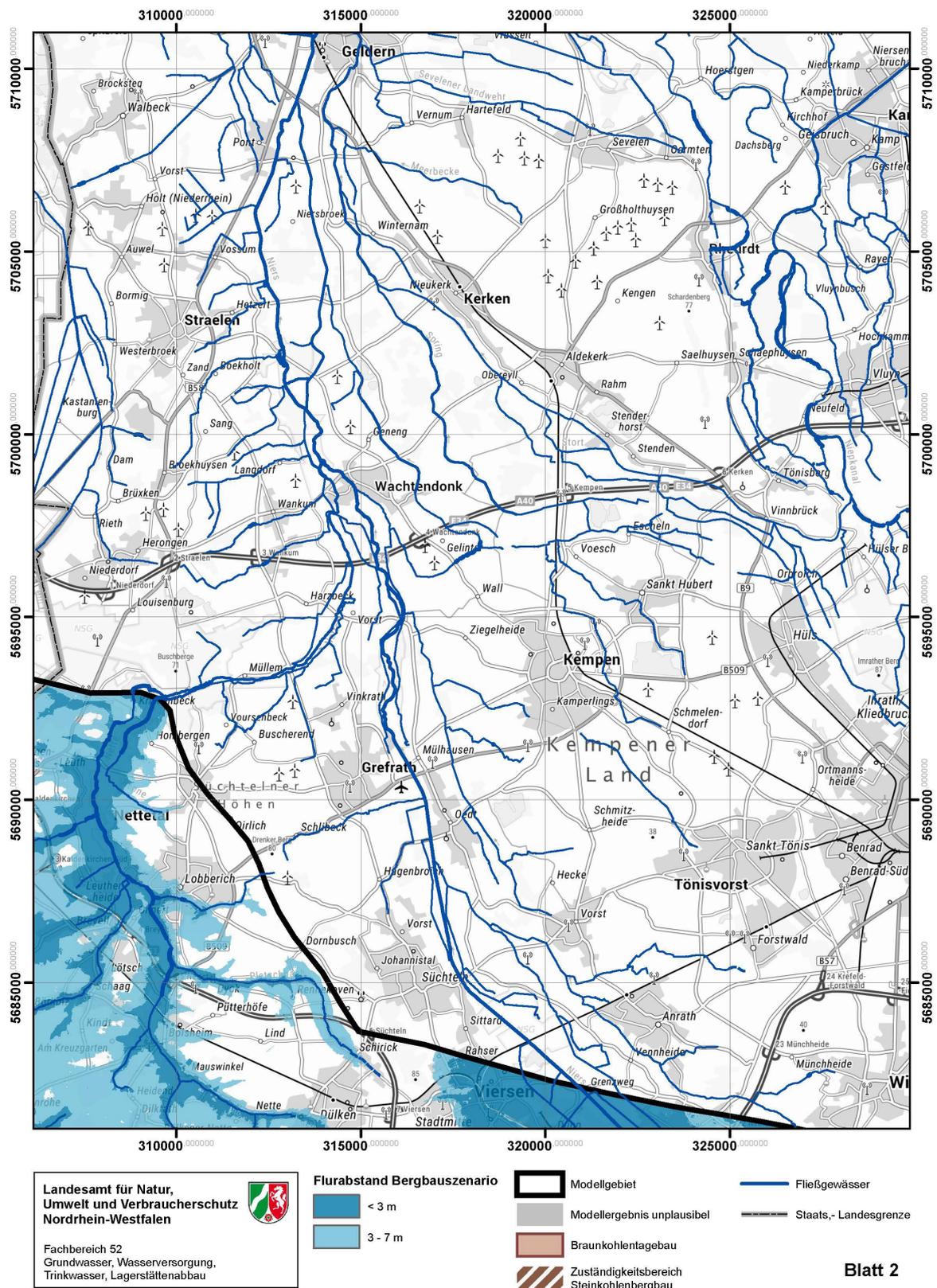


Abbildung A 23: Flurabstandskarten Bergbausenario Blatt 2

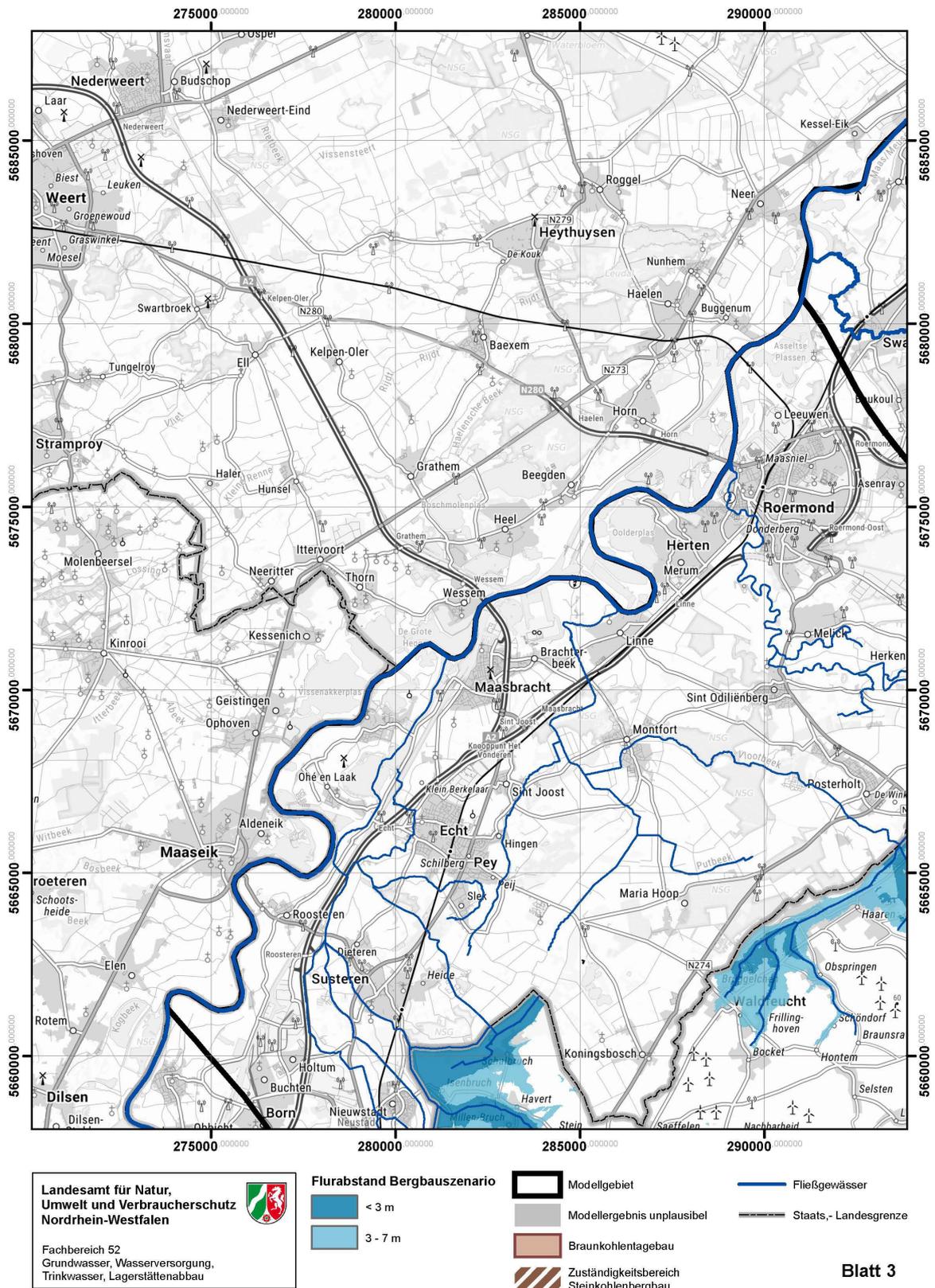


Abbildung A 24: Flurabstandskarten Bergbausenario Blatt 3

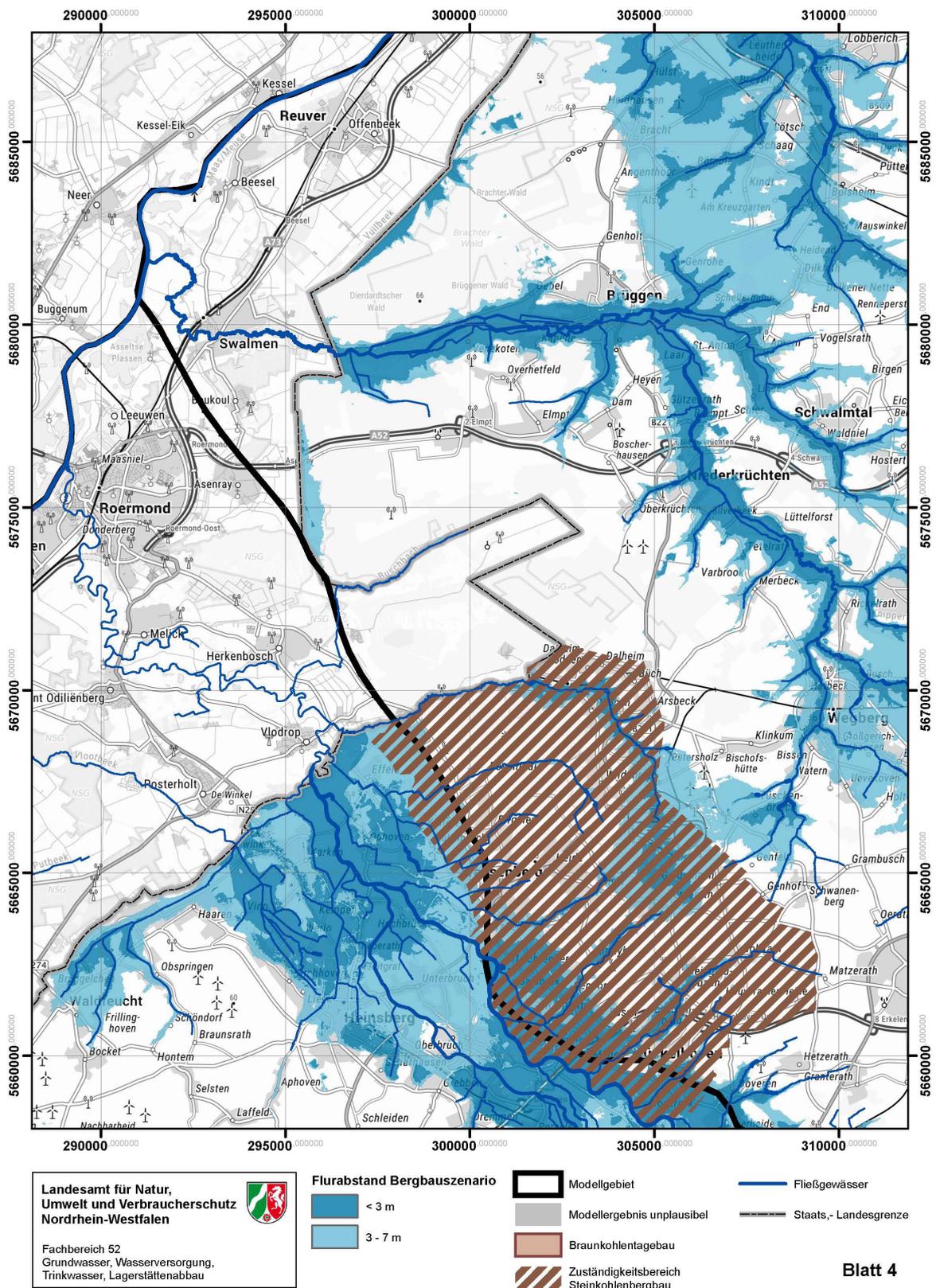


Abbildung A 25: Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 4

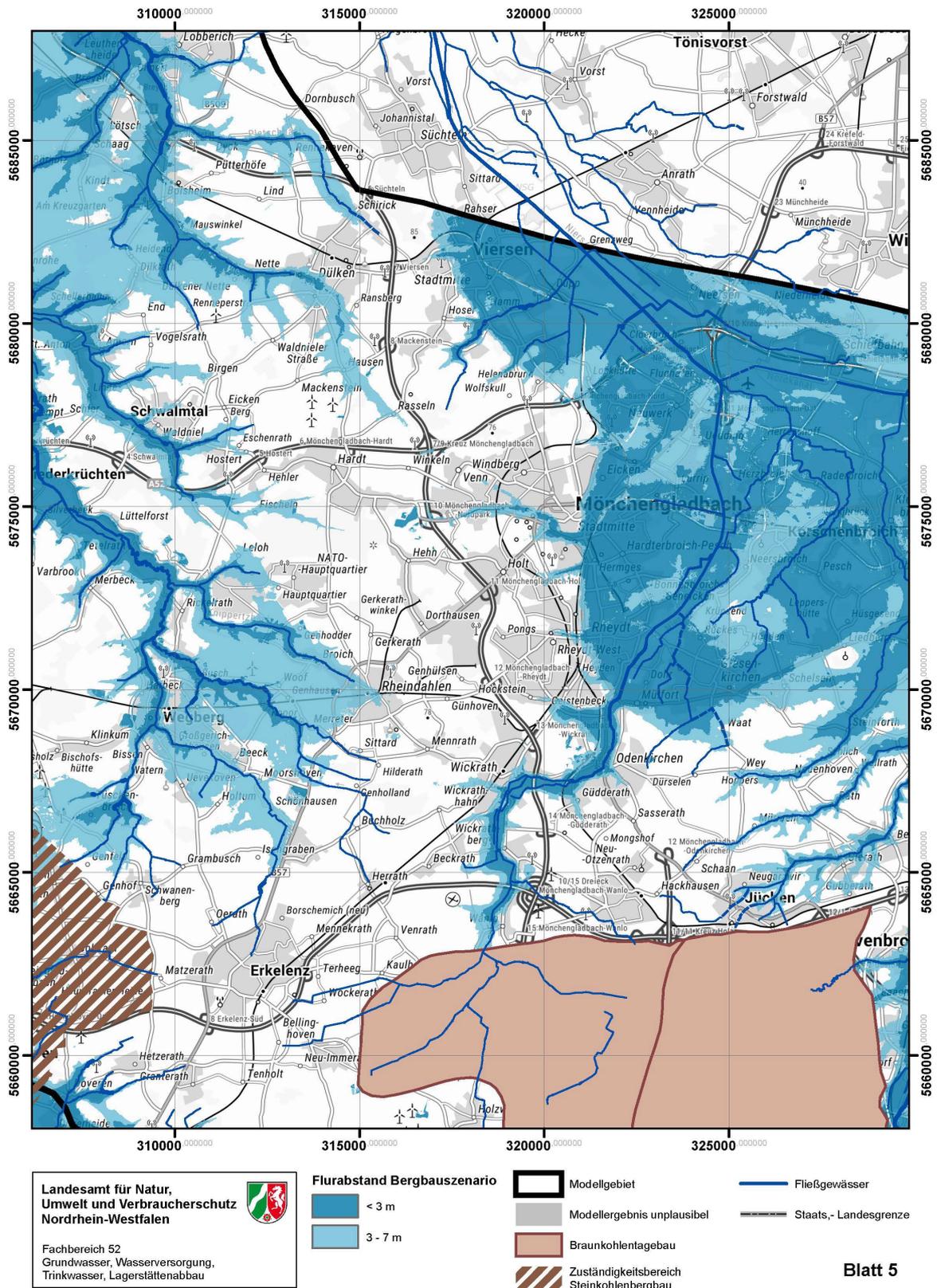


Abbildung A 26: Flurabstandskarten Bergbausenario Blatt 5

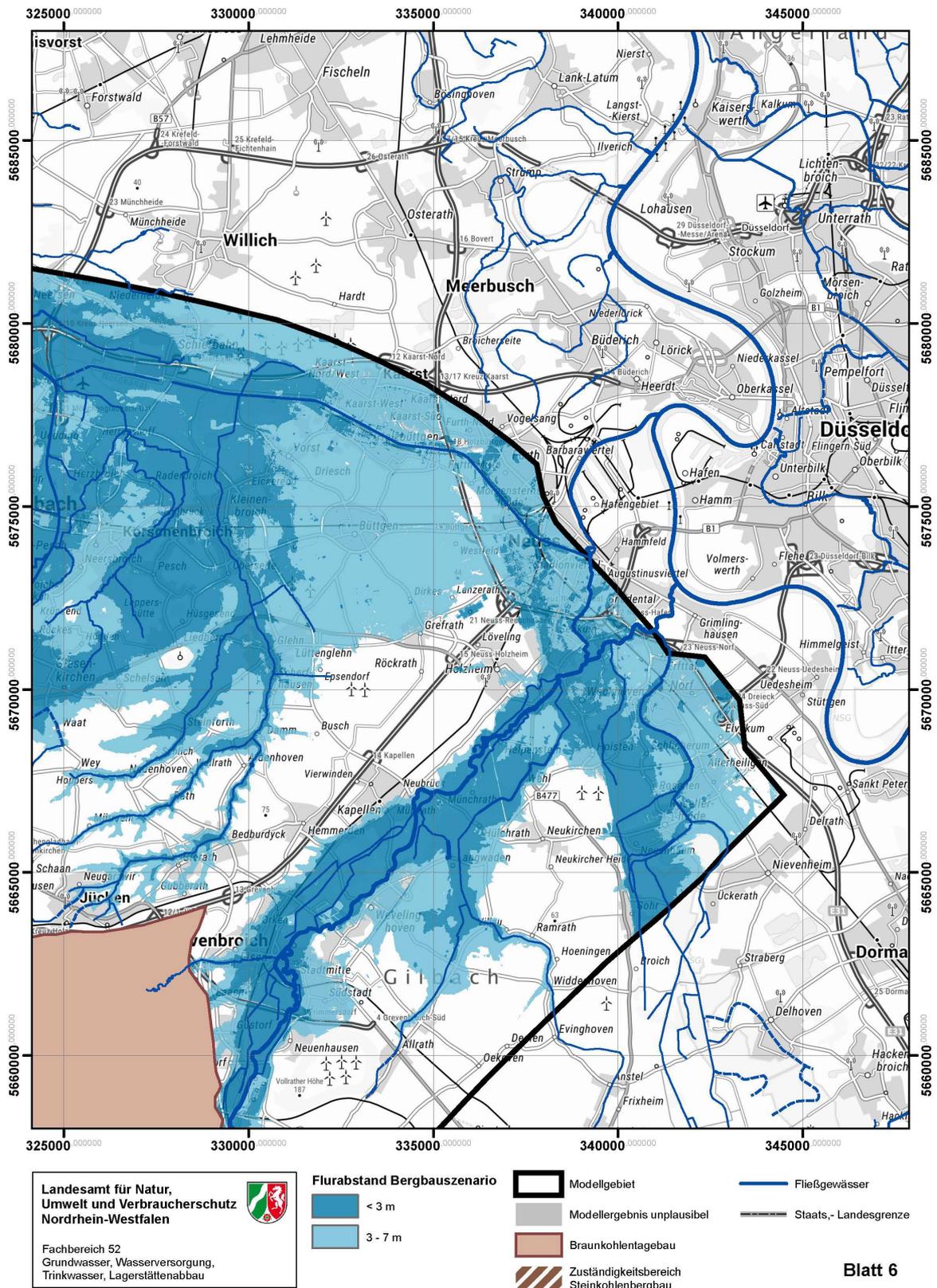


Abbildung A 27: Flurabstandskarten Bergbausenario Blatt 6

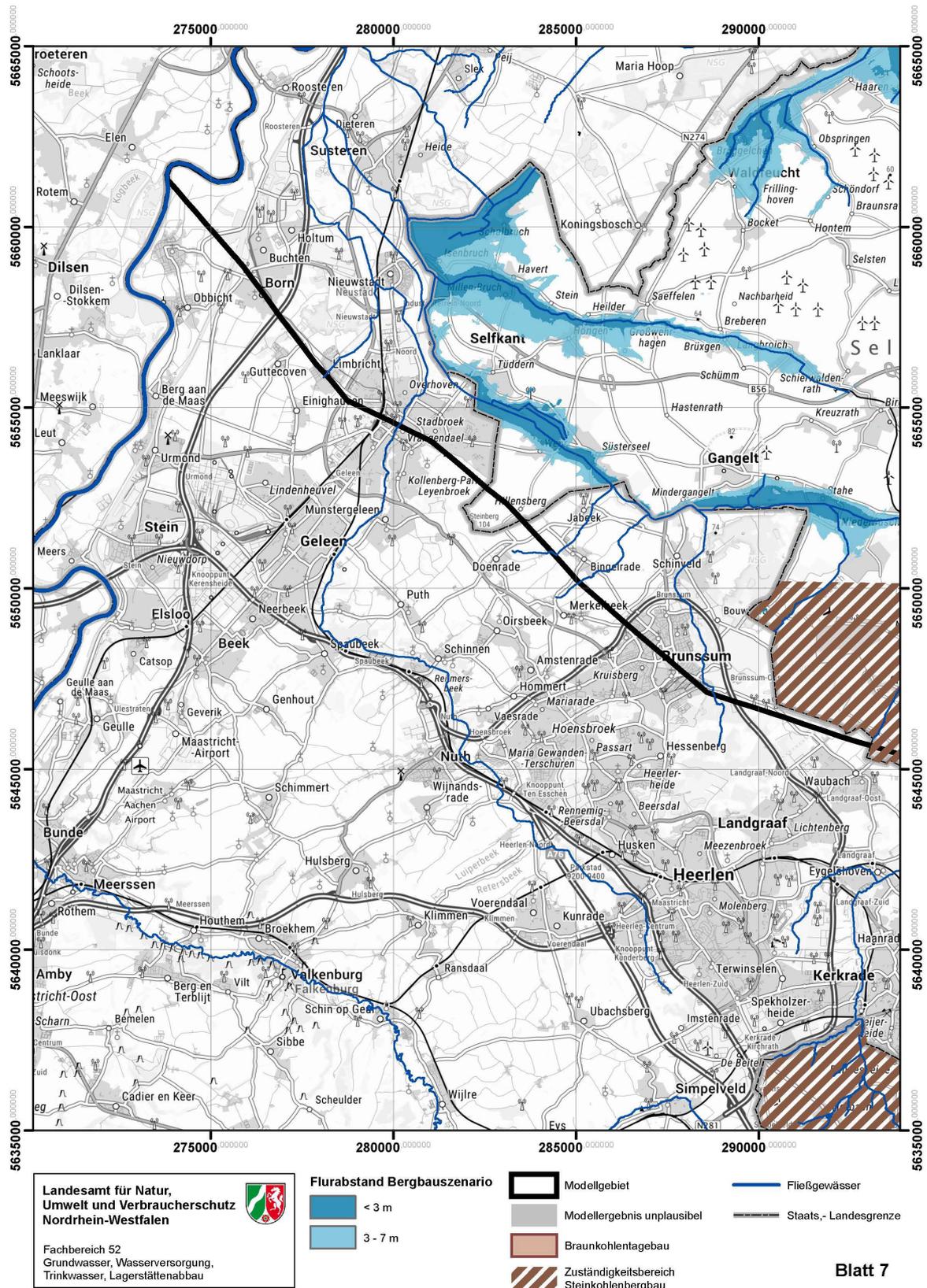


Abbildung A 28: Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 7

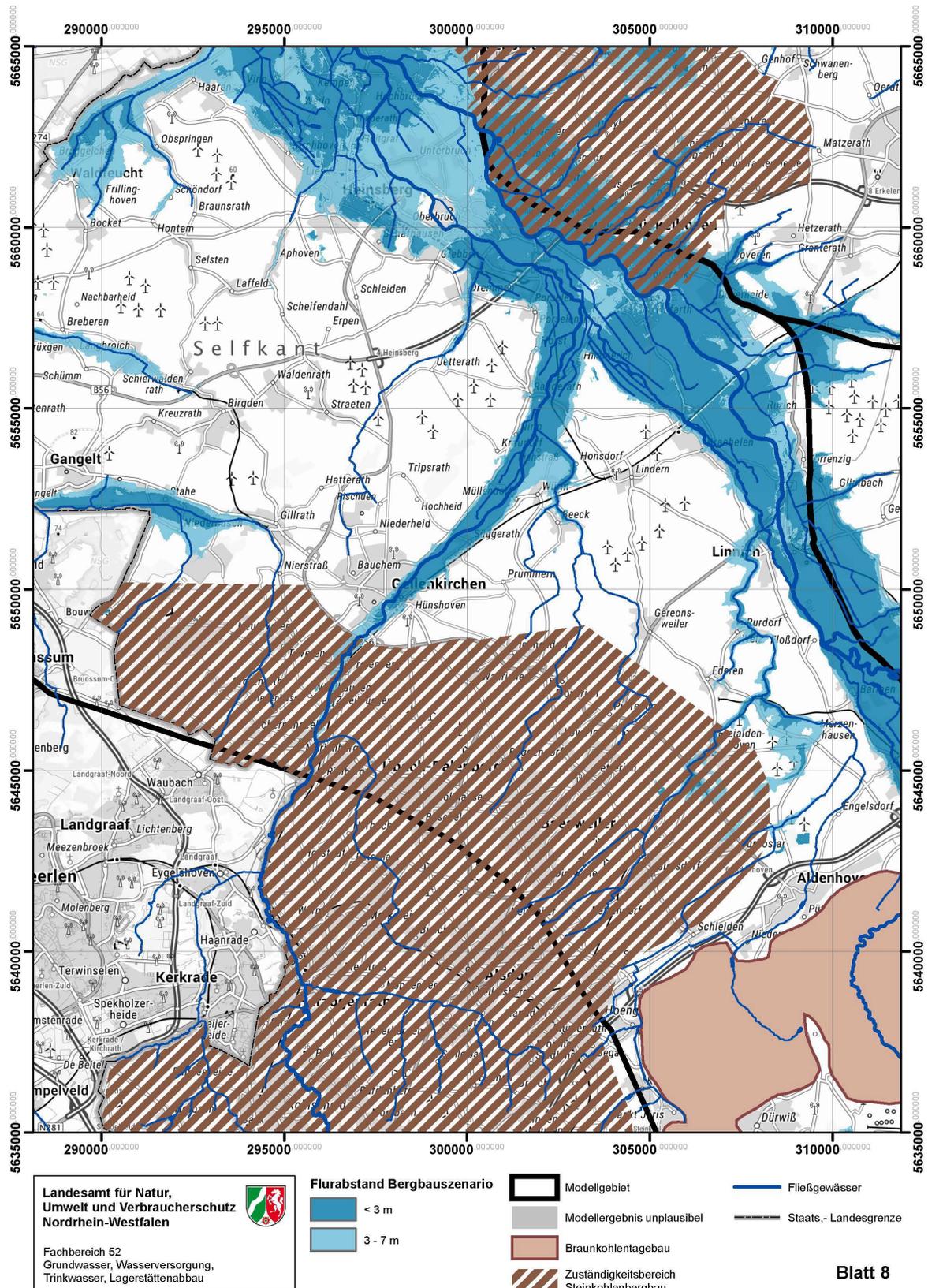


Abbildung A 29: Flurabstandskarten Bergbausenario Blatt 8

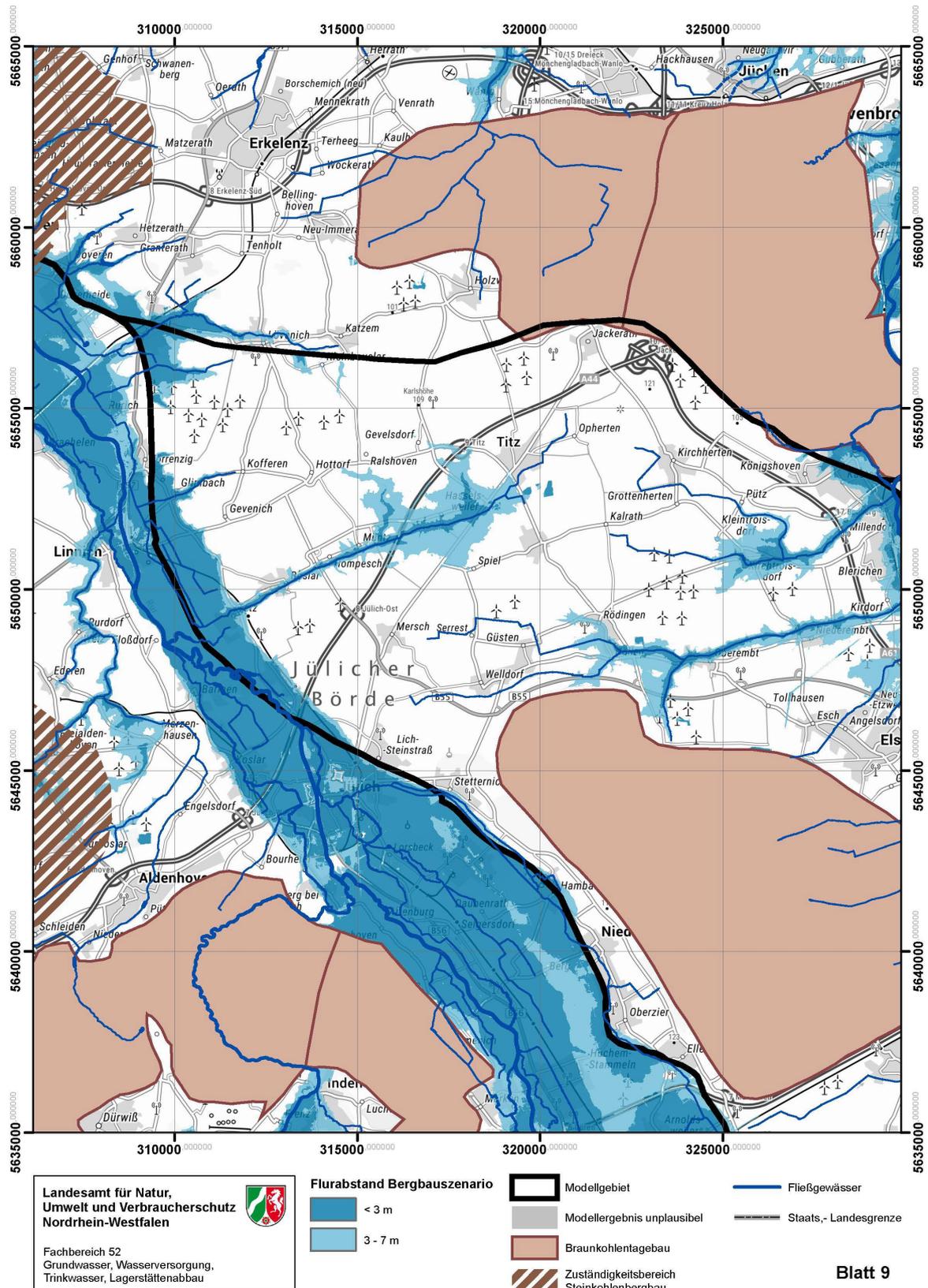


Abbildung A 30: Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 9

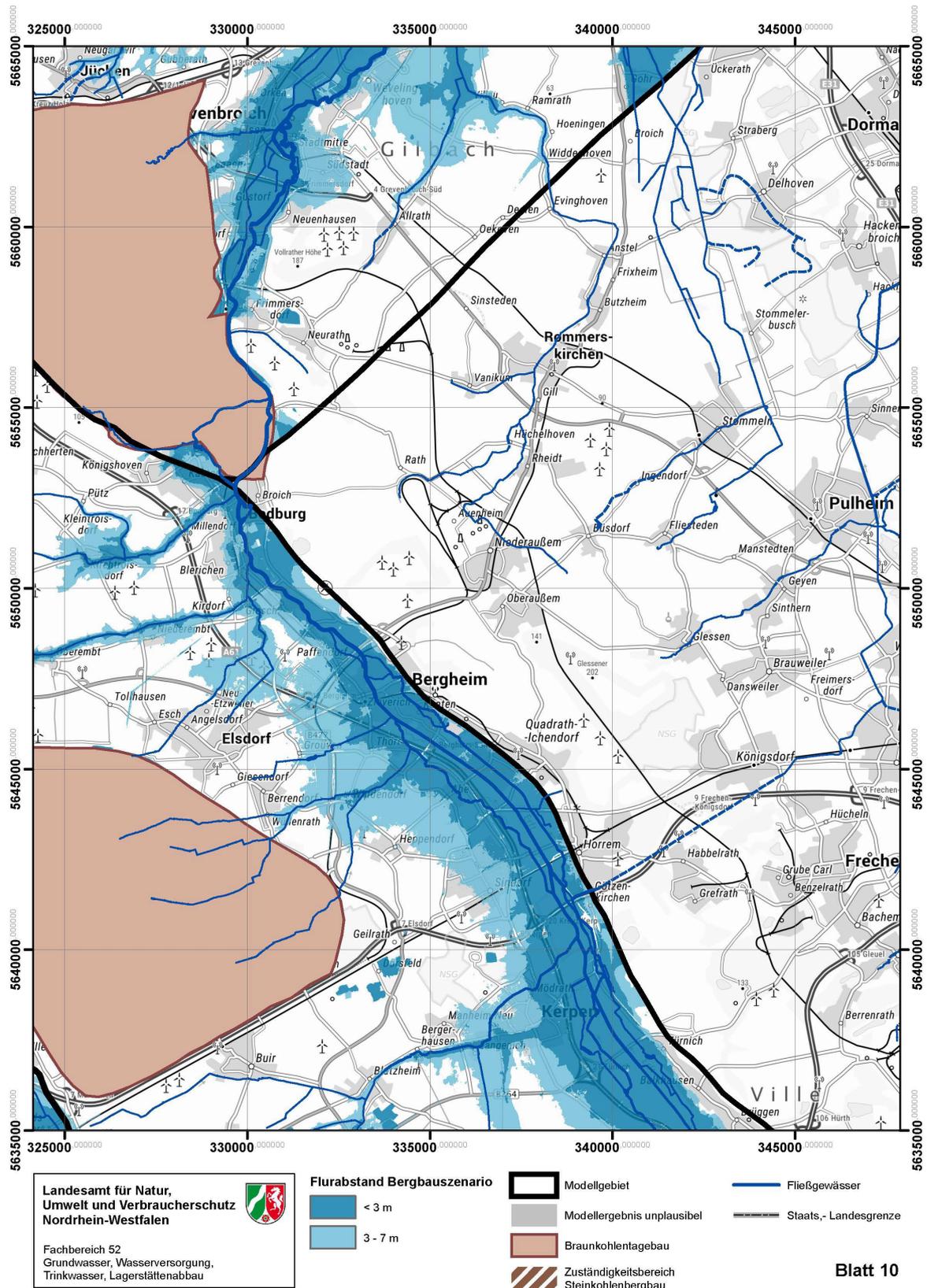


Abbildung A 31: Flurabstandskarten Bergbaubereich Blatt 10

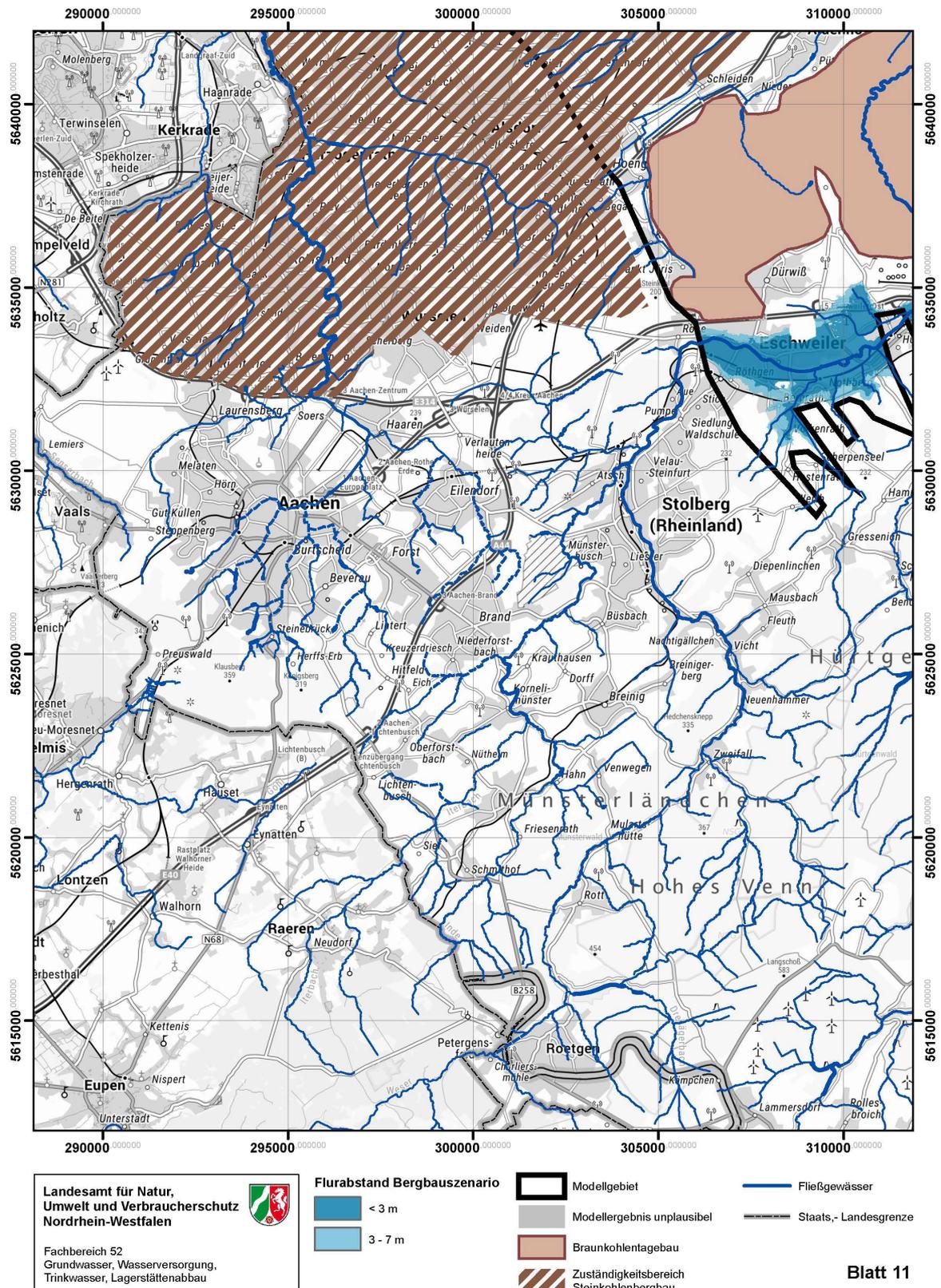


Abbildung A 32: Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 11

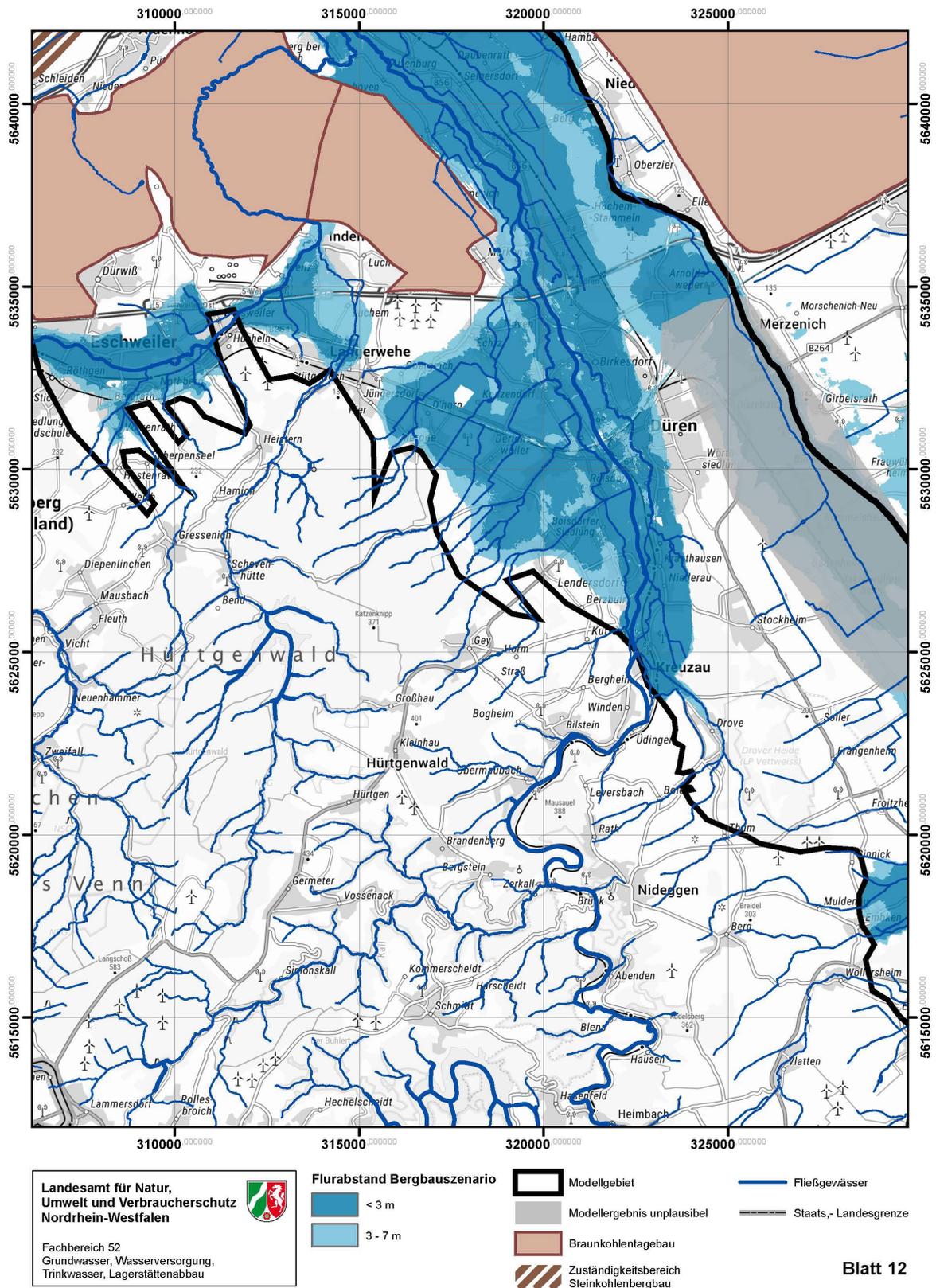


Abbildung A 33: Flurabstandskarten Bergbausenario Blatt 12

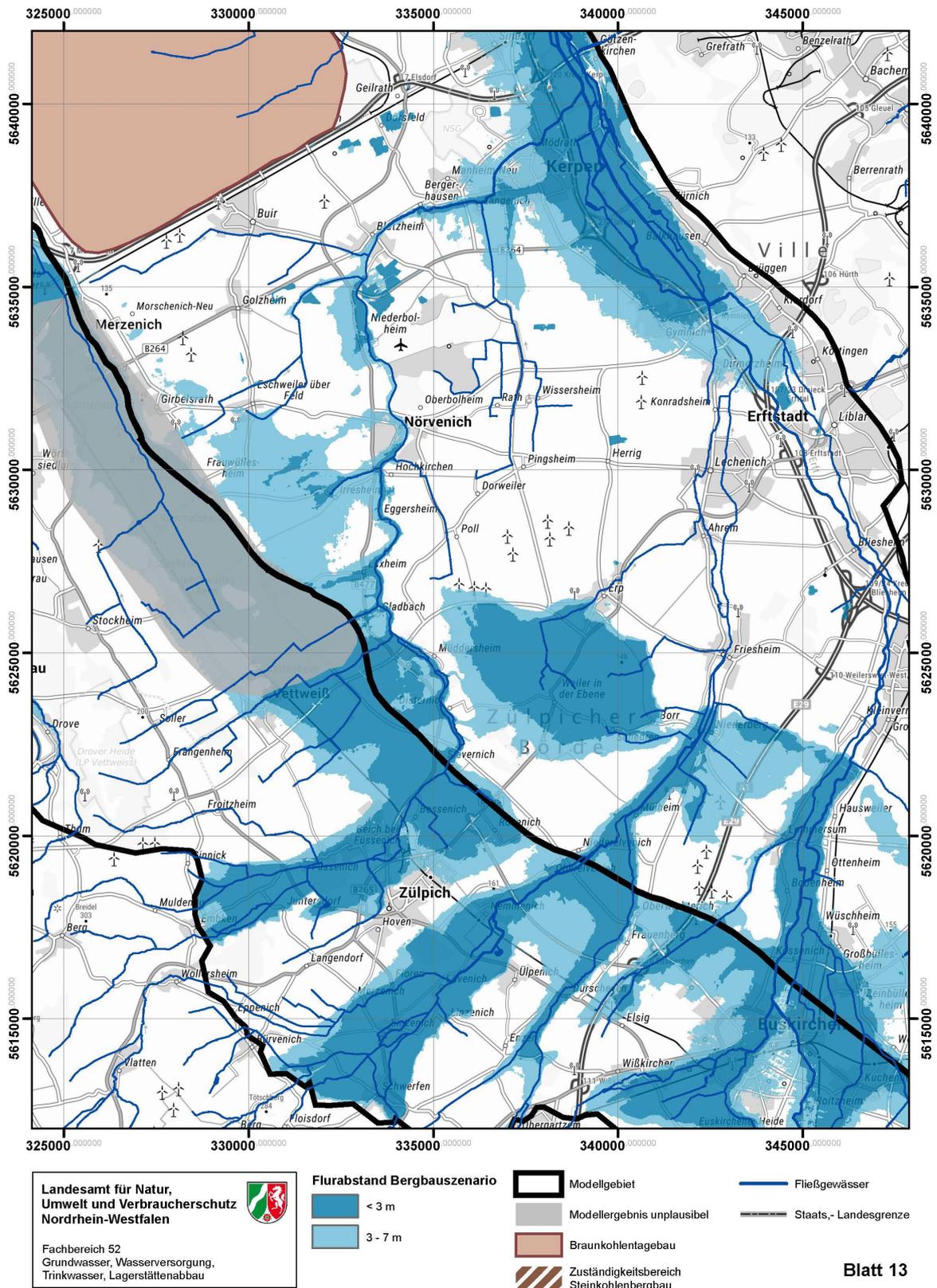


Abbildung A 34: Flurabstandskarten Bergbausenario Blatt 13

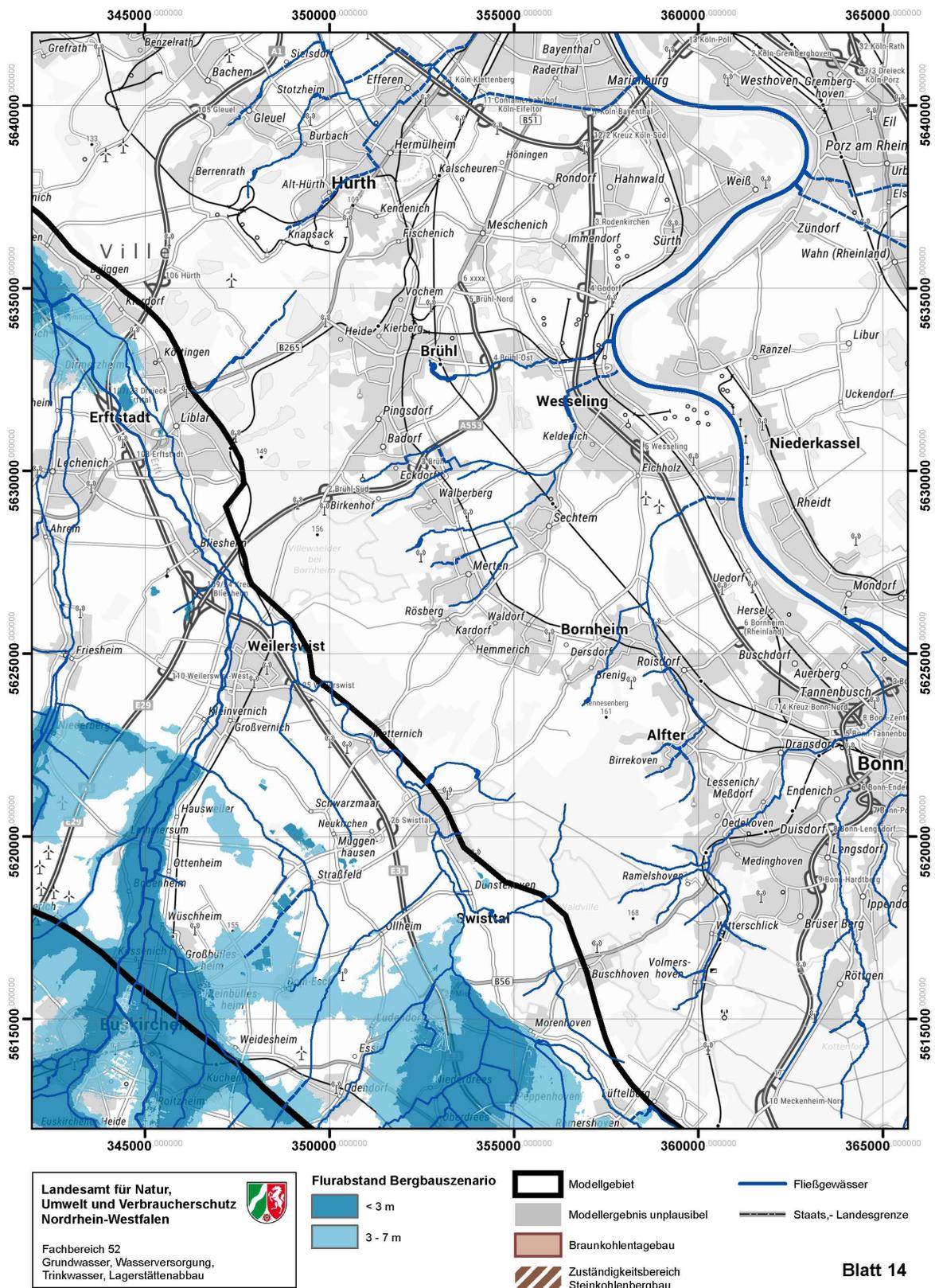


Abbildung A 35: Flurabstandskarten Bergbausenario Blatt 14

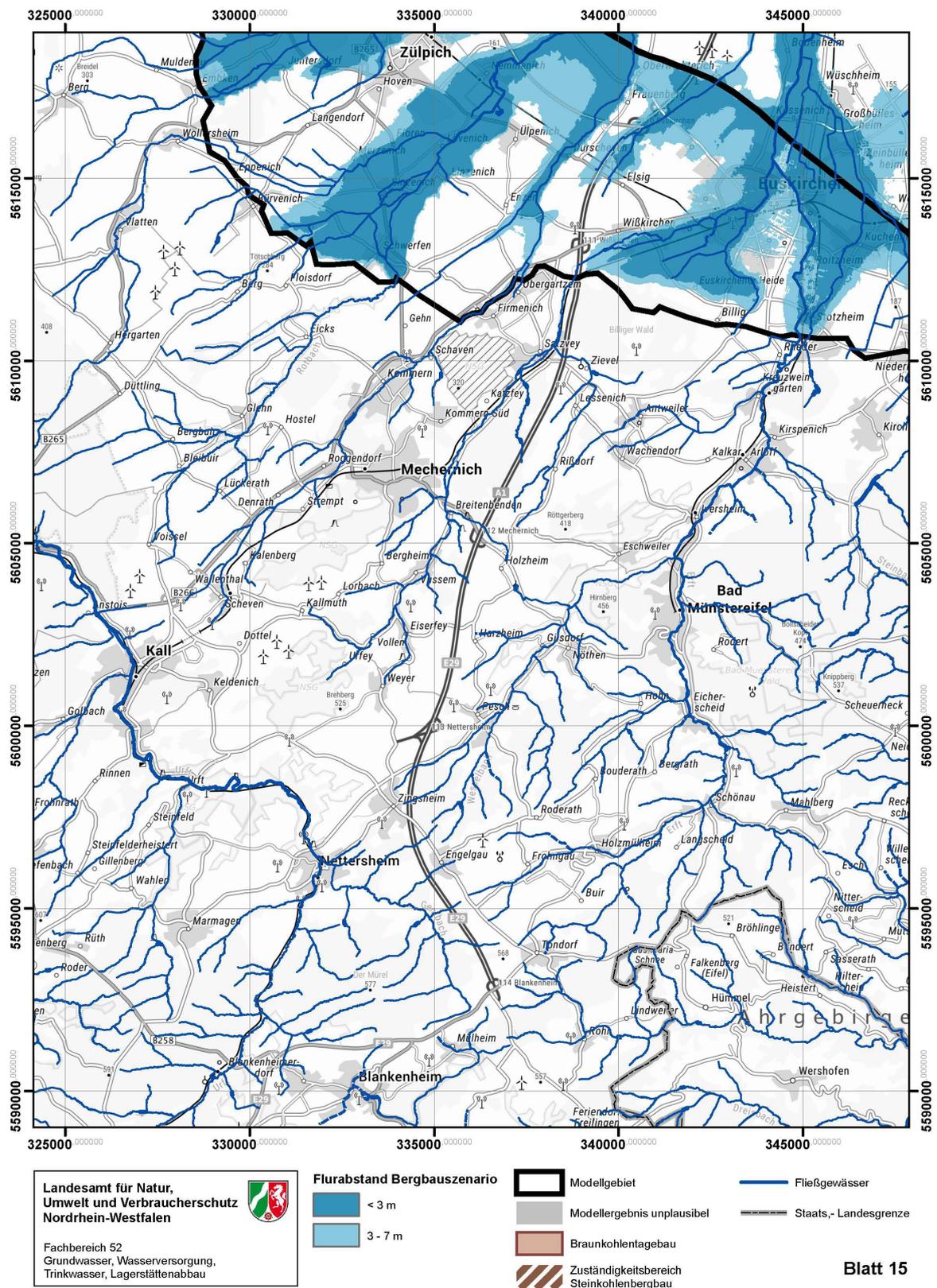


Abbildung A 36: Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 15

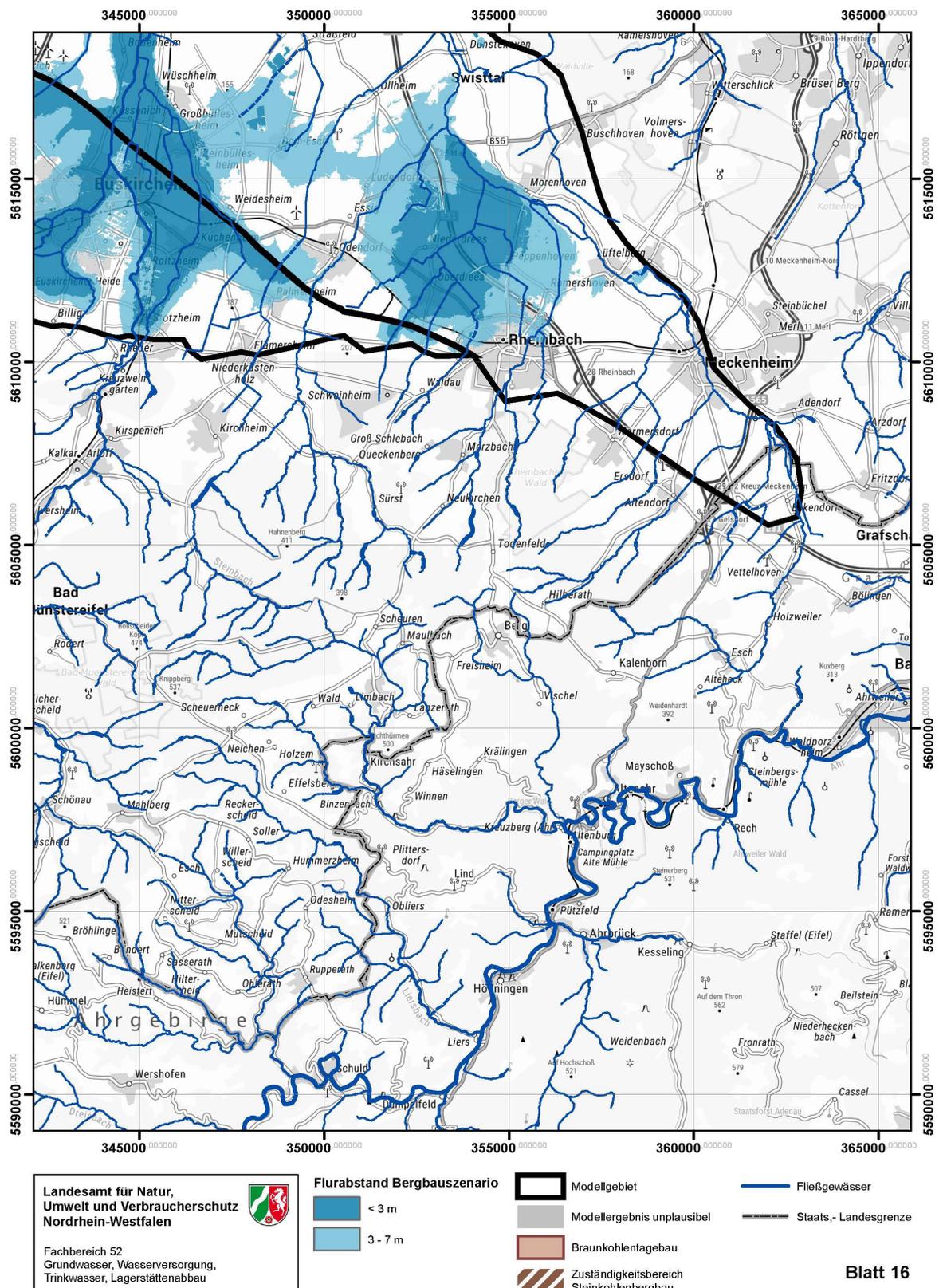


Abbildung A 37: Flurabstandskarten Bergbausenario Blatt 16

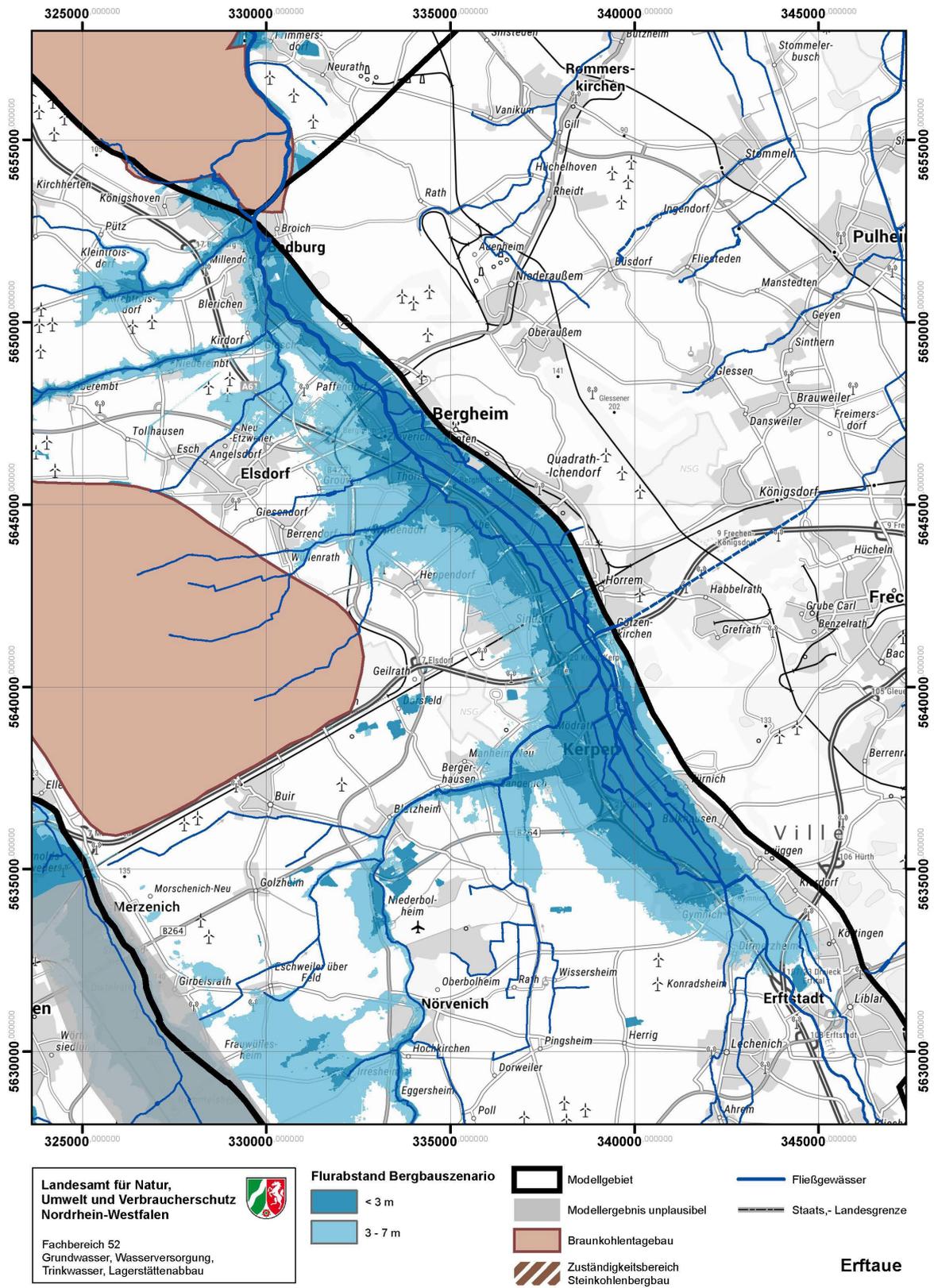


Abbildung A 38: Flurabstandskarten Bergbaueszenario Erftaue

Anlage 4: Flurabstandskarten Bergbau Min-Variante

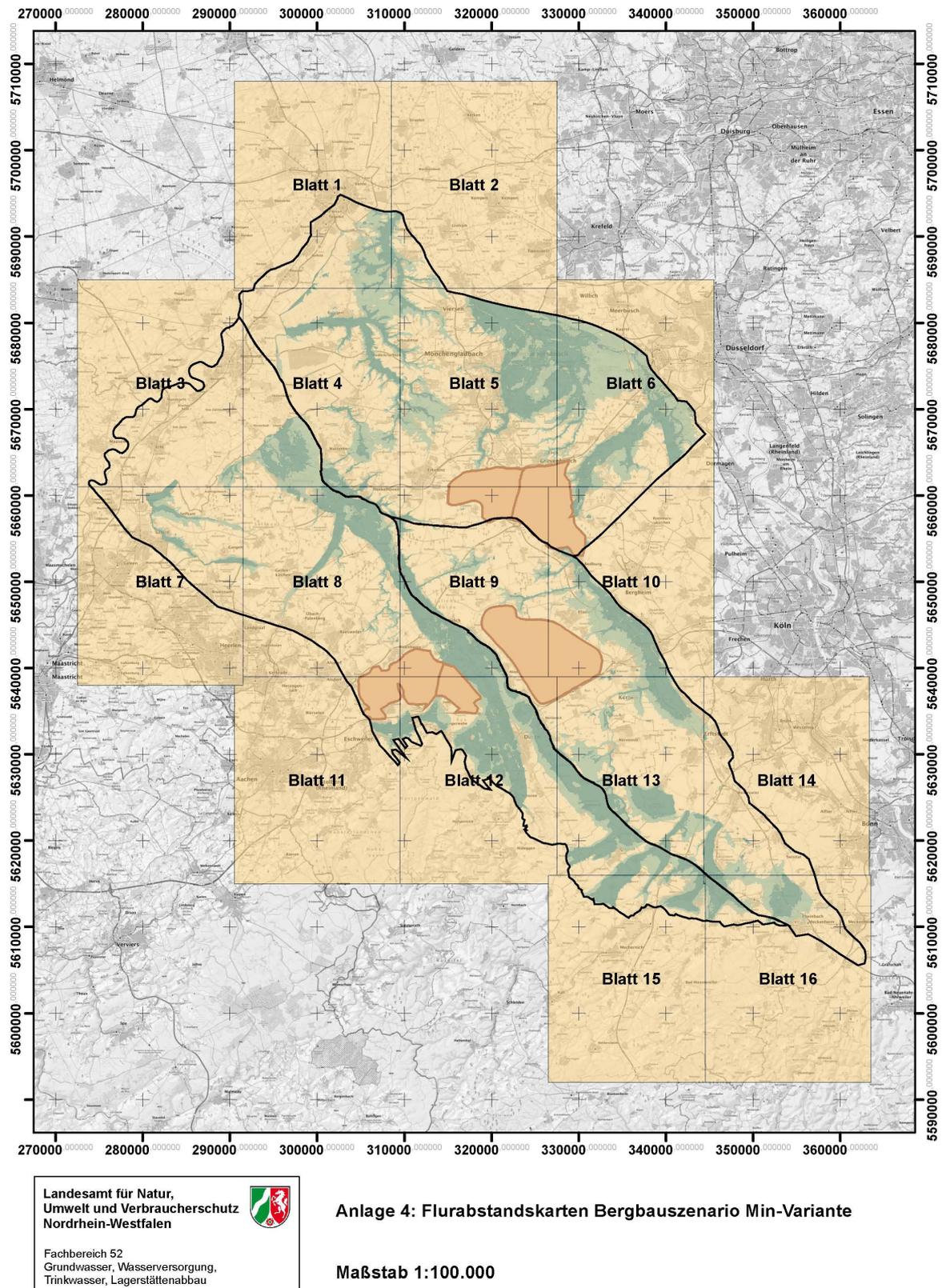


Abbildung A 39: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Übersicht

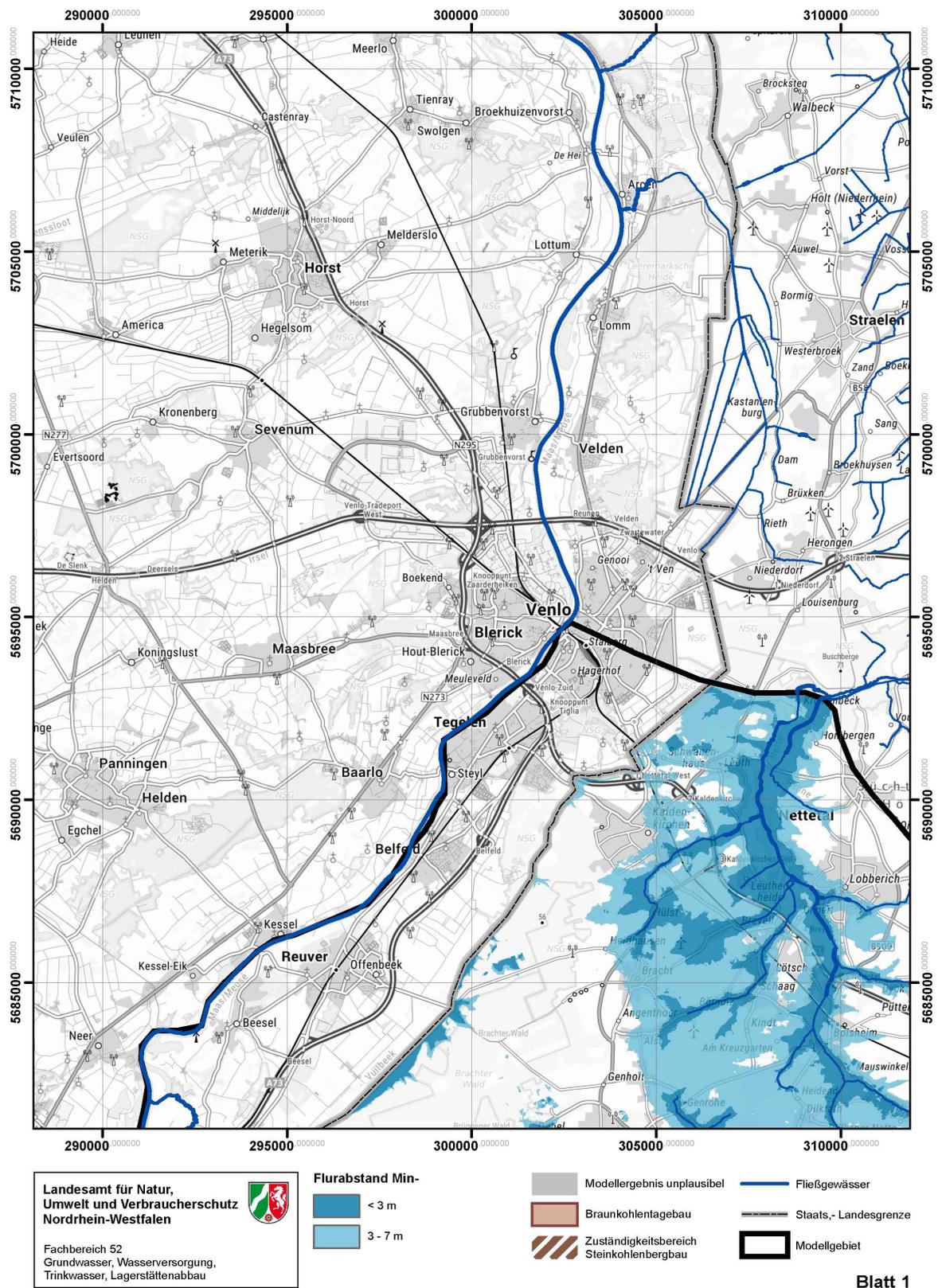


Abbildung A 40: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 1

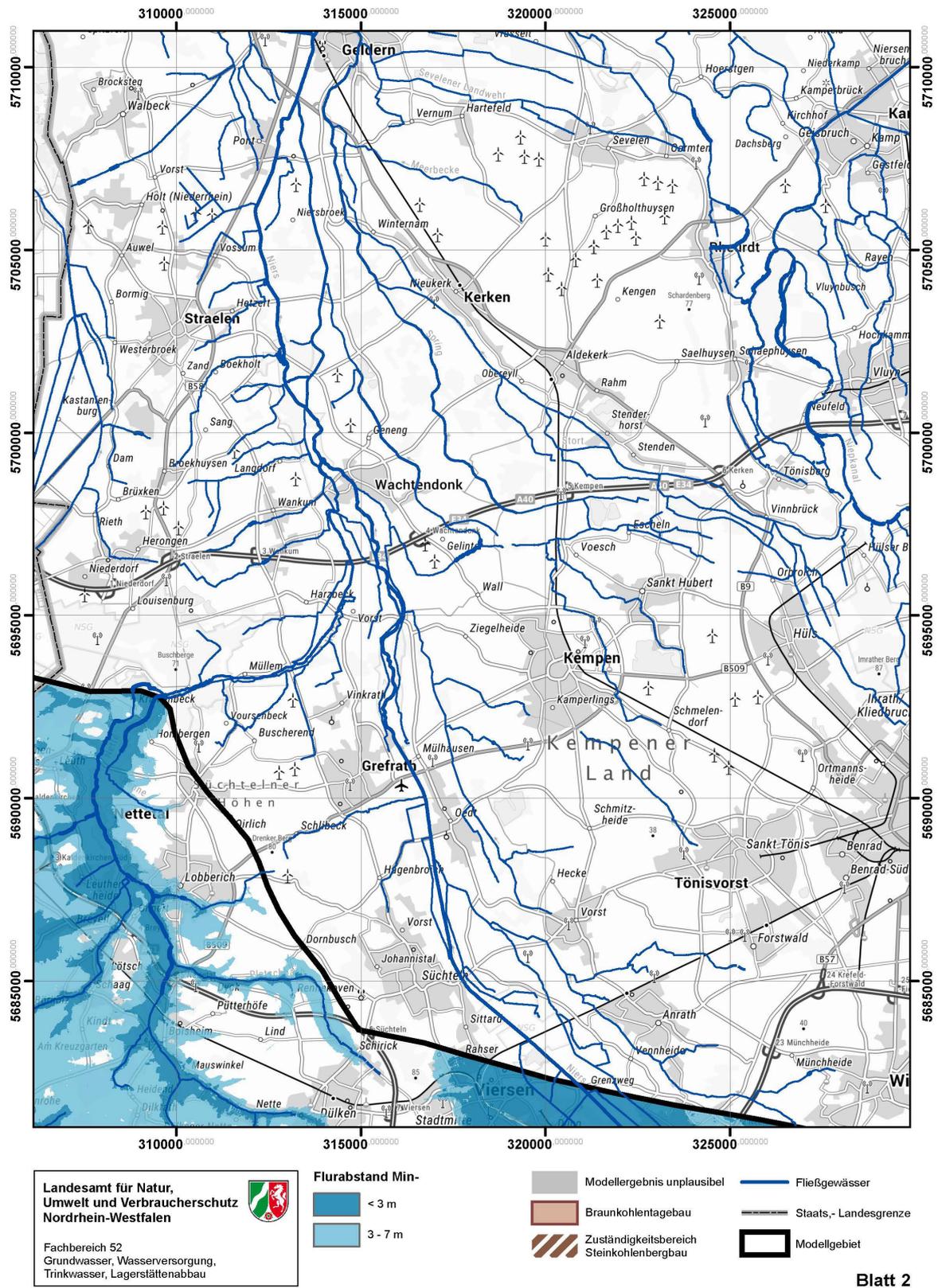


Abbildung A 41: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 2

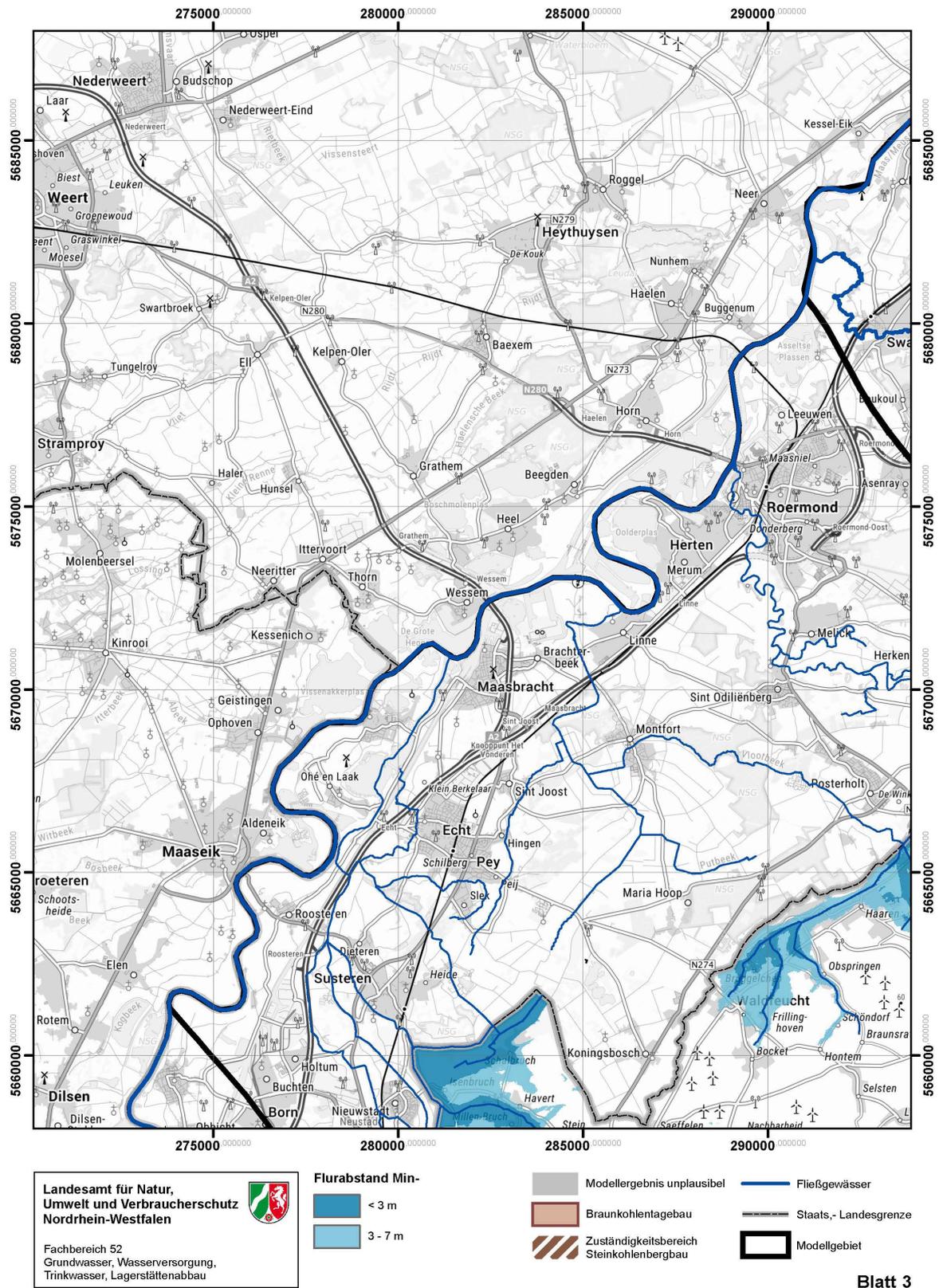


Abbildung A 42: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 3

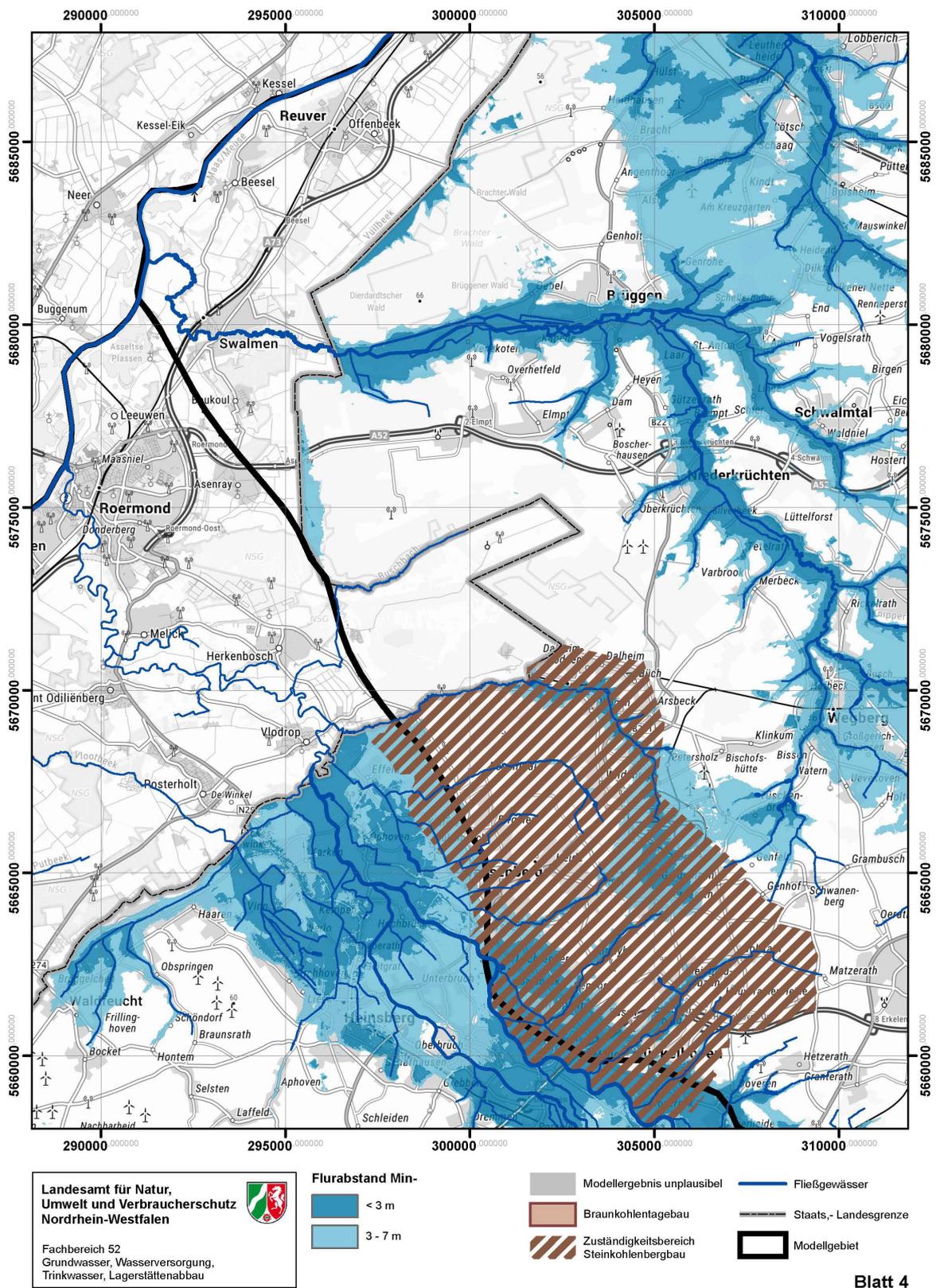


Abbildung A 43: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 4

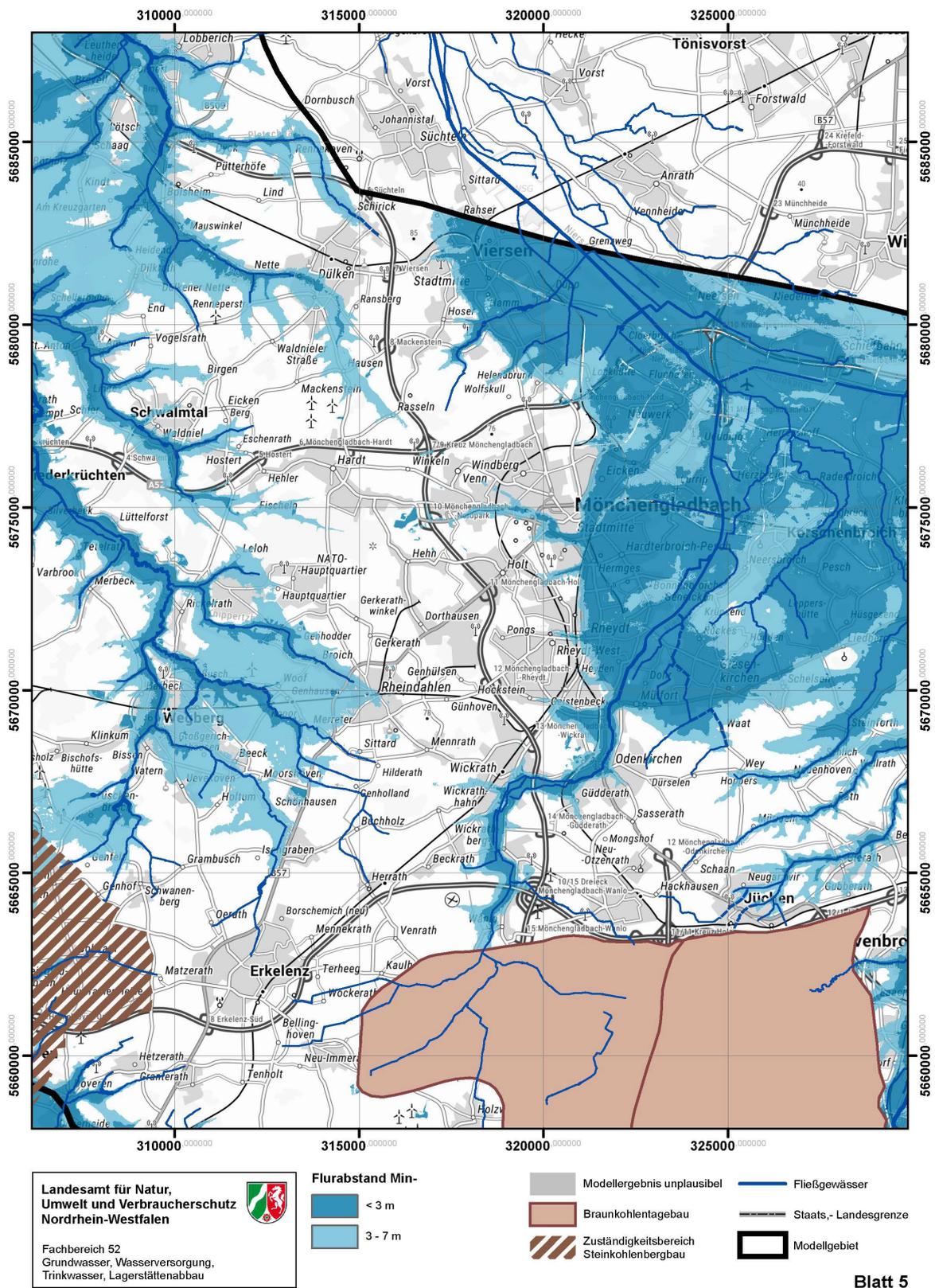


Abbildung A 44: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 5

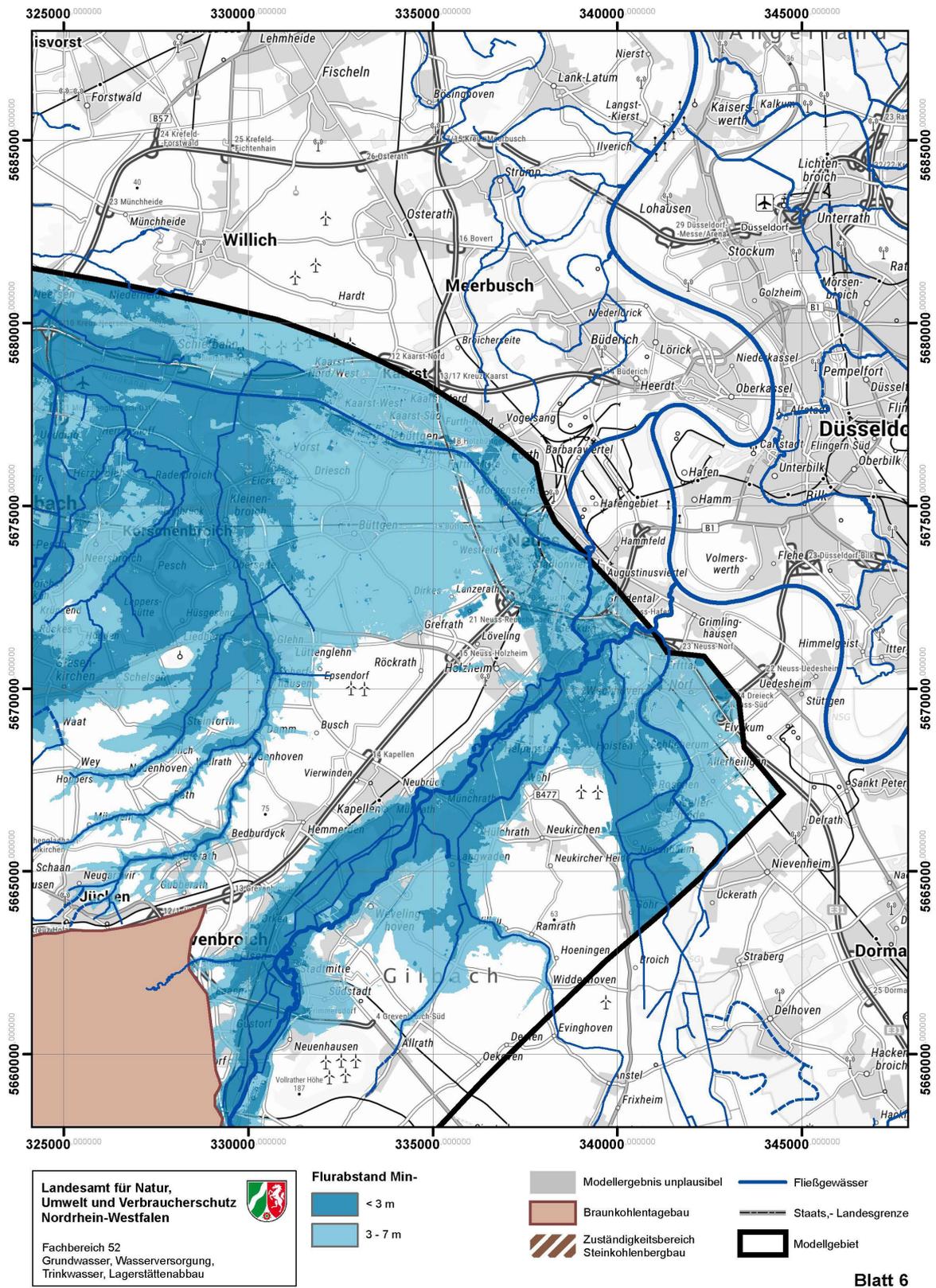


Abbildung A 45: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 6

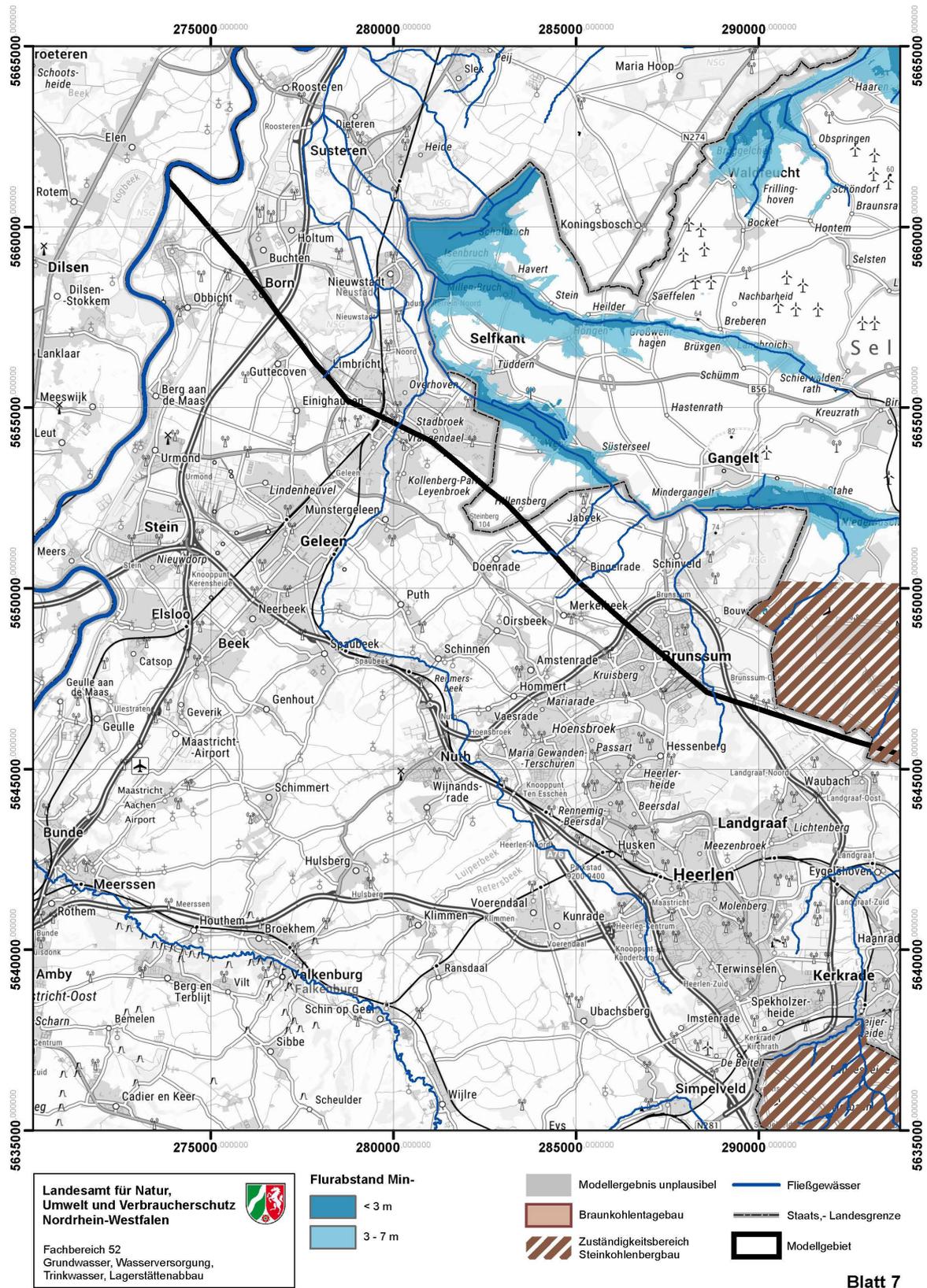


Abbildung A 46: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 7

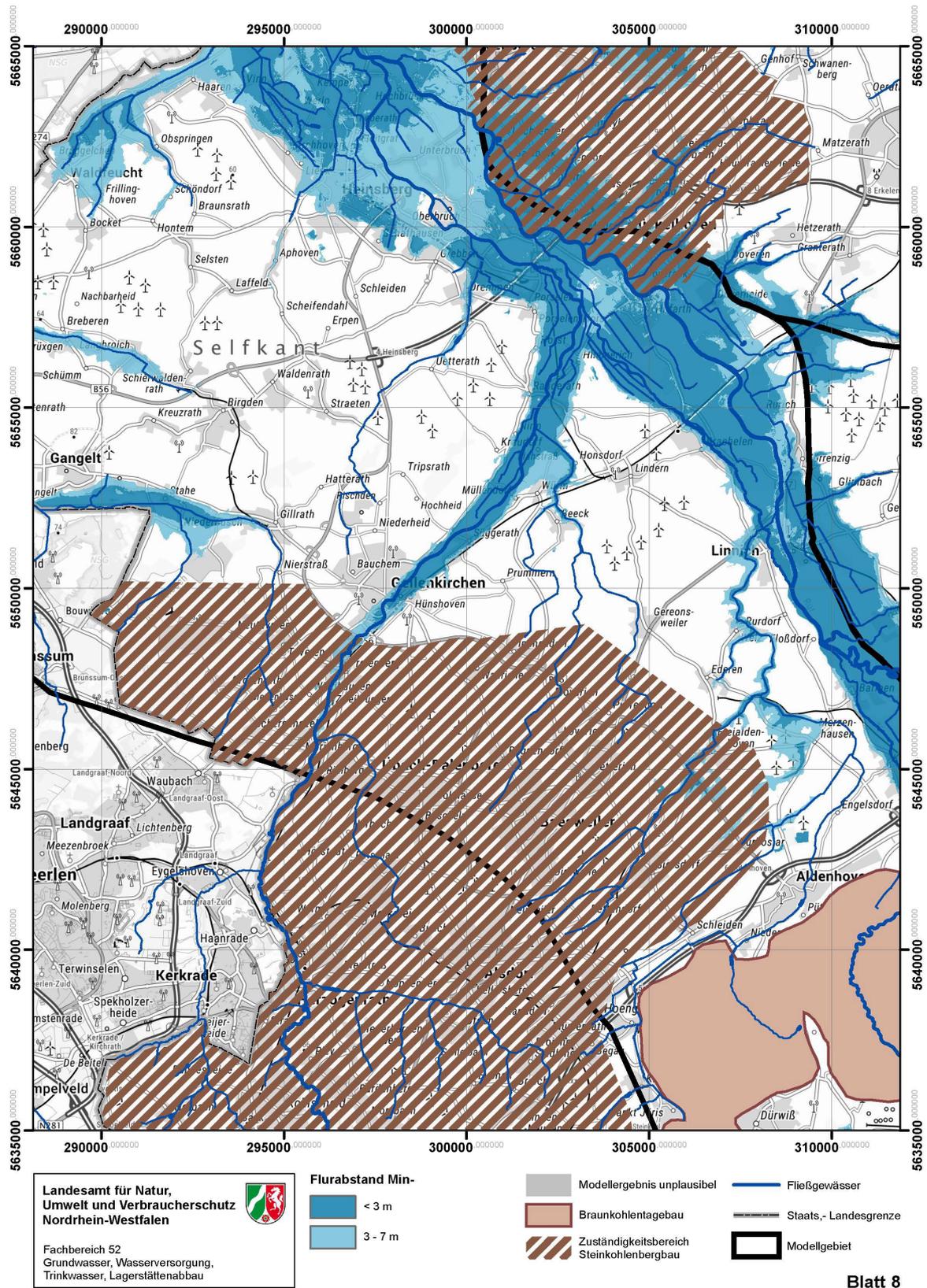


Abbildung A 47: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 8

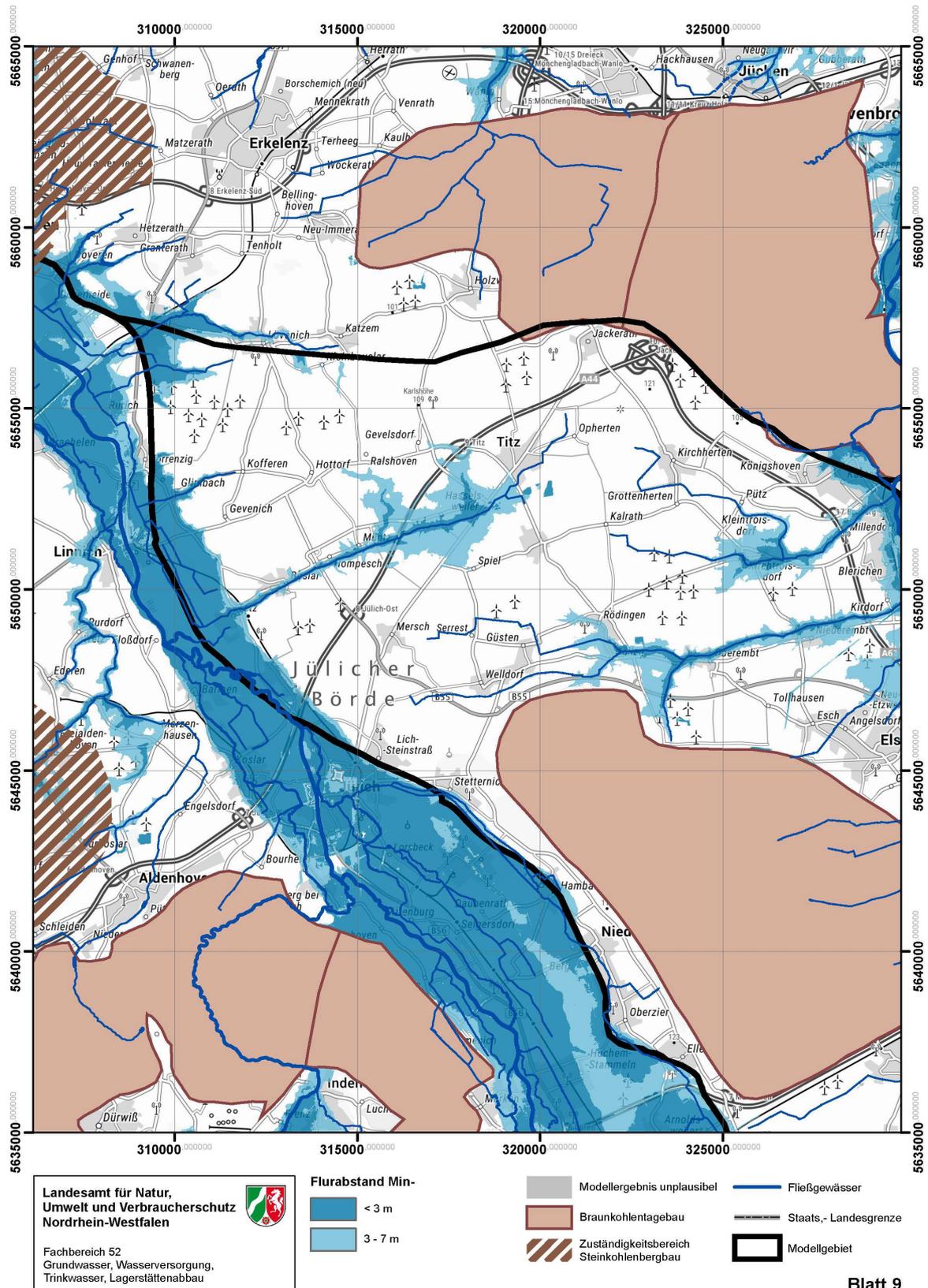


Abbildung A 48: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 9

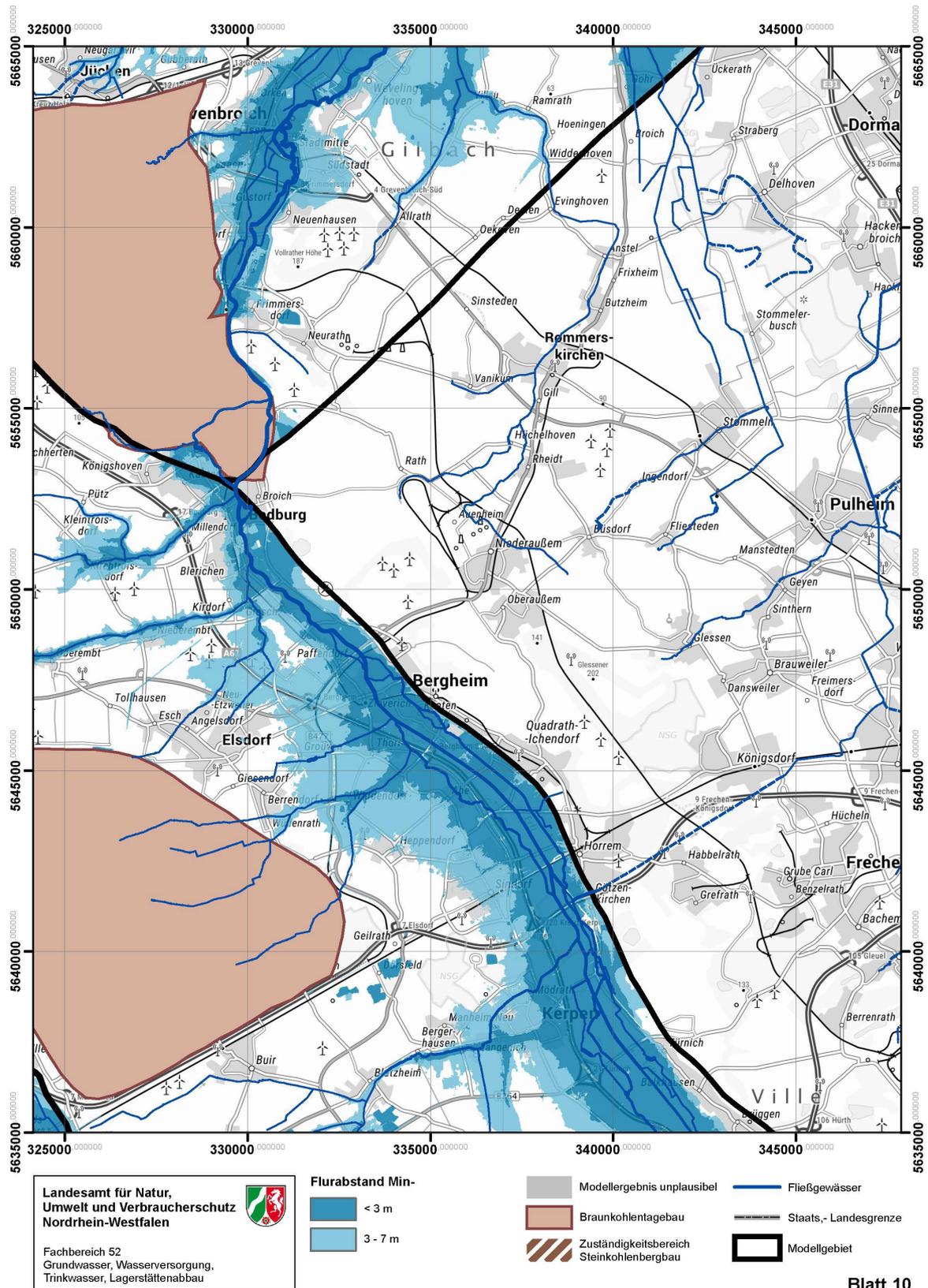


Abbildung A 49: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 10

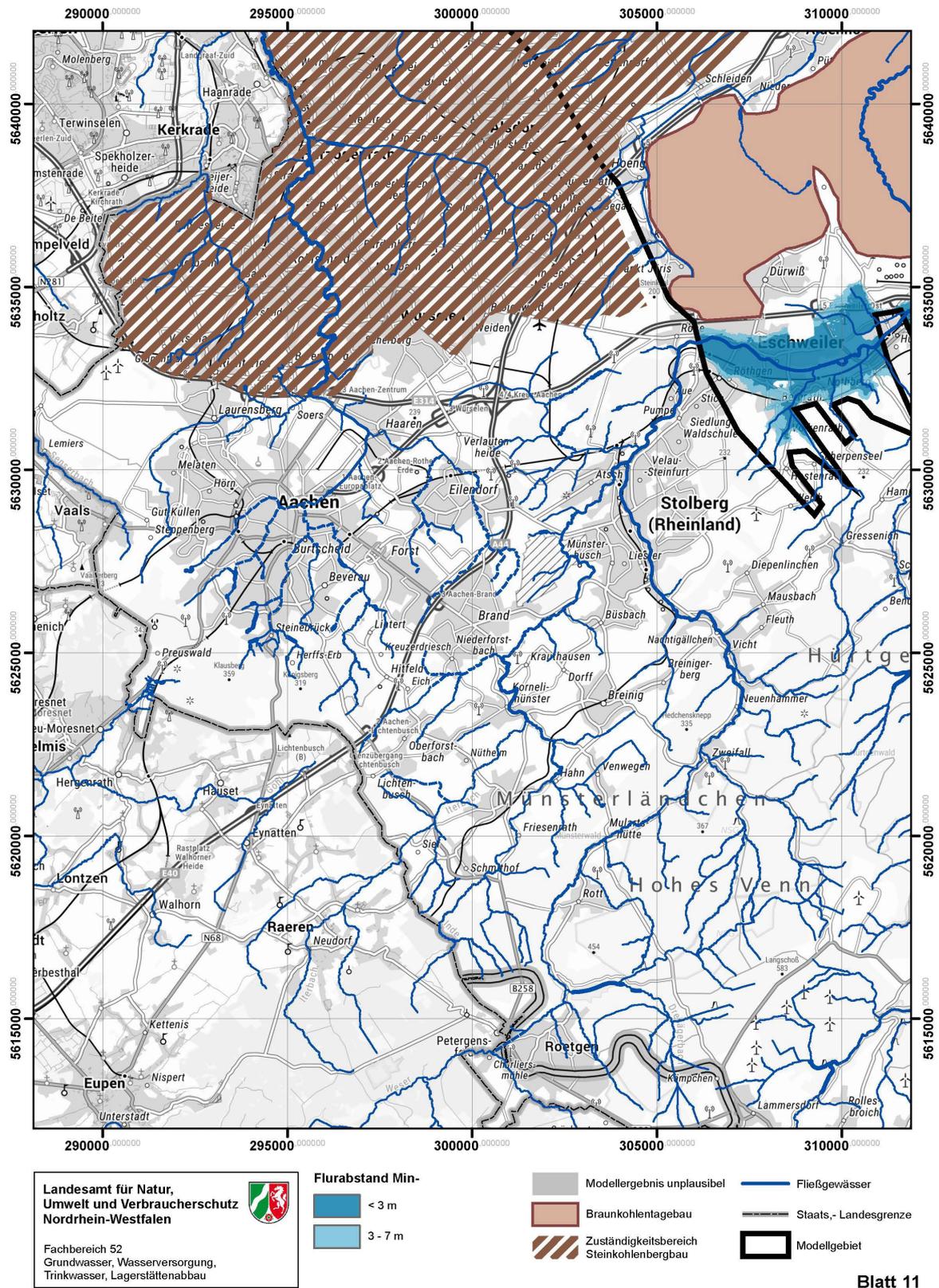


Abbildung A 50: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 11

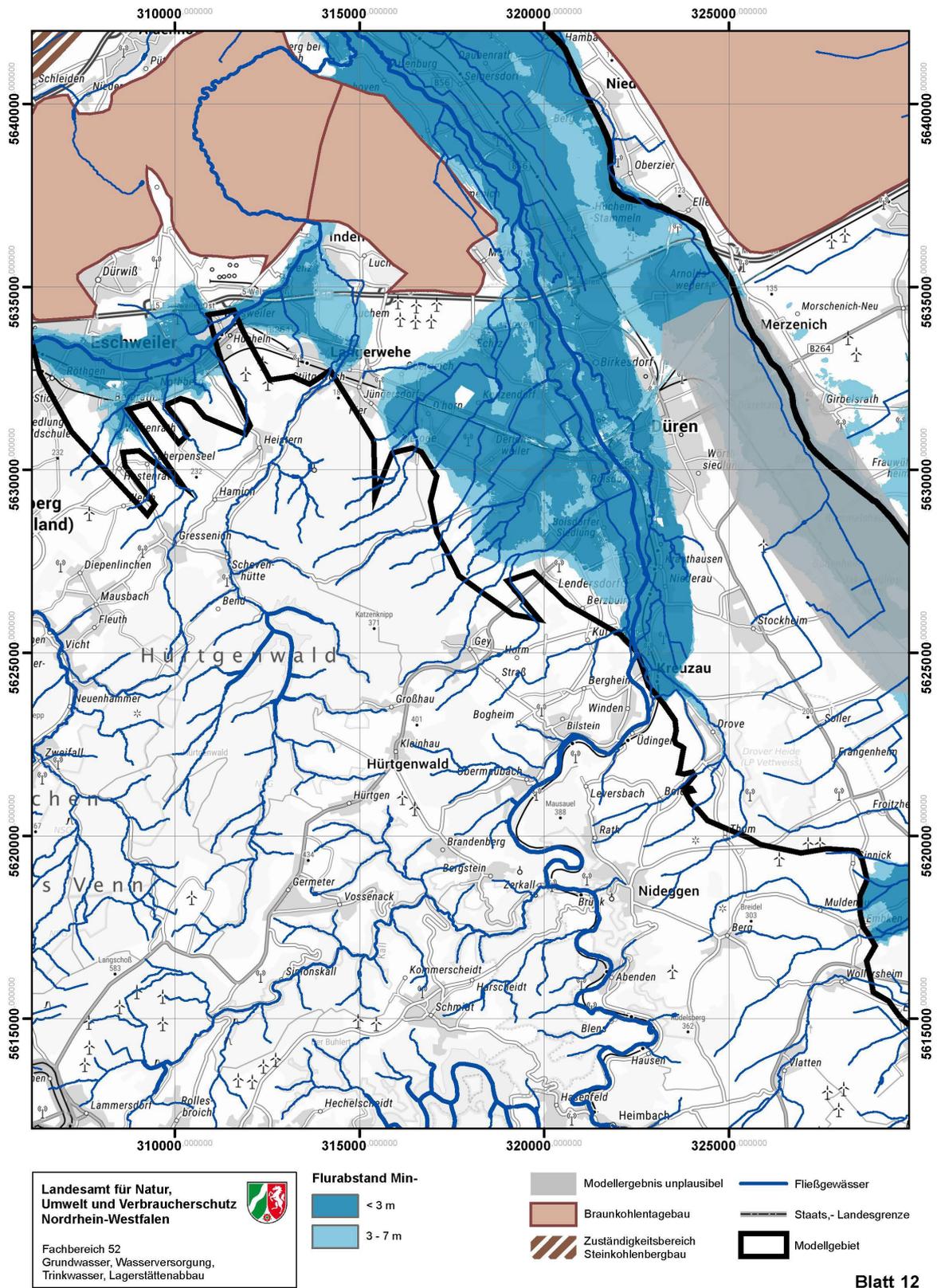


Abbildung A 51: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 12

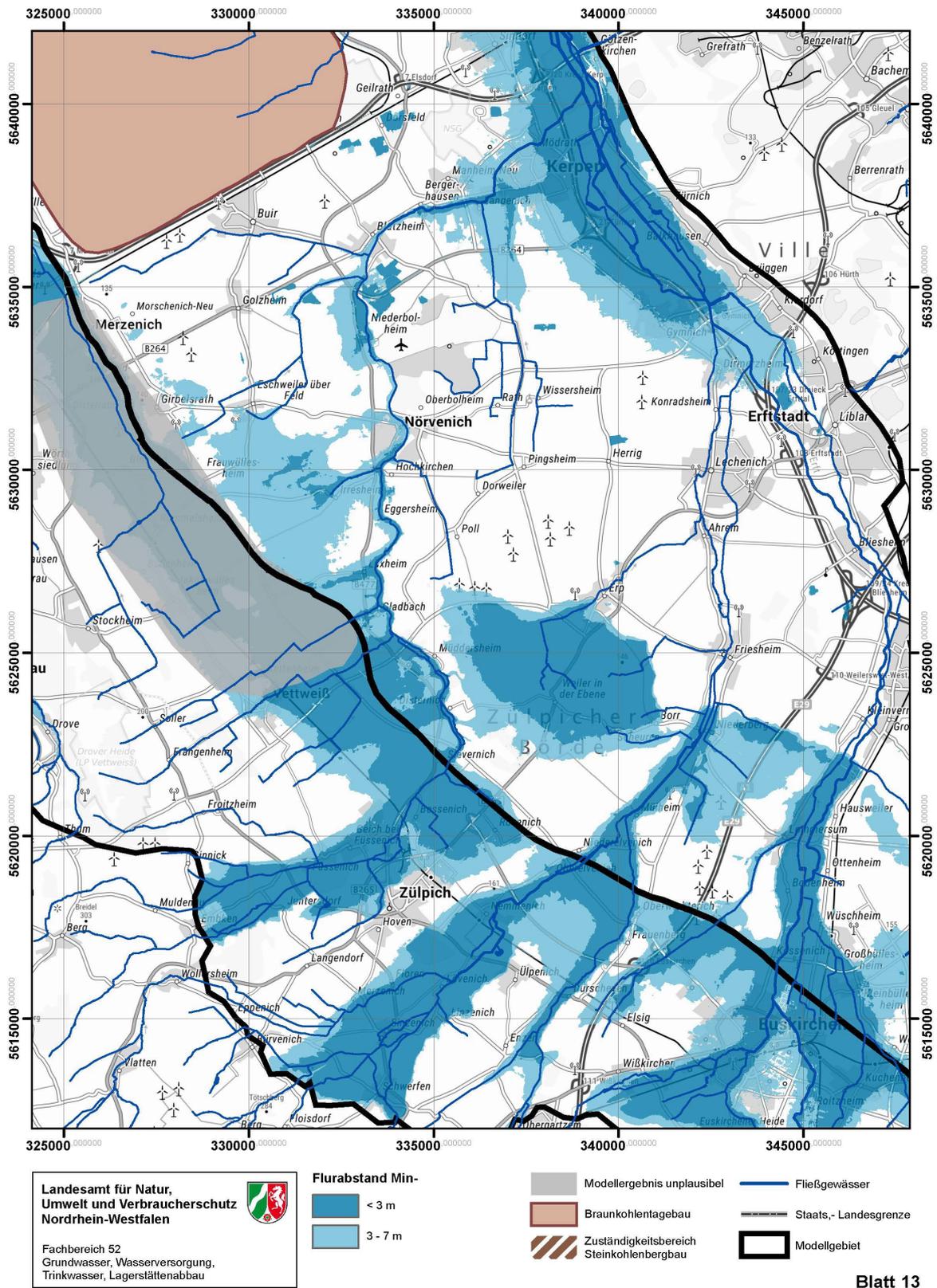


Abbildung A 52: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 13

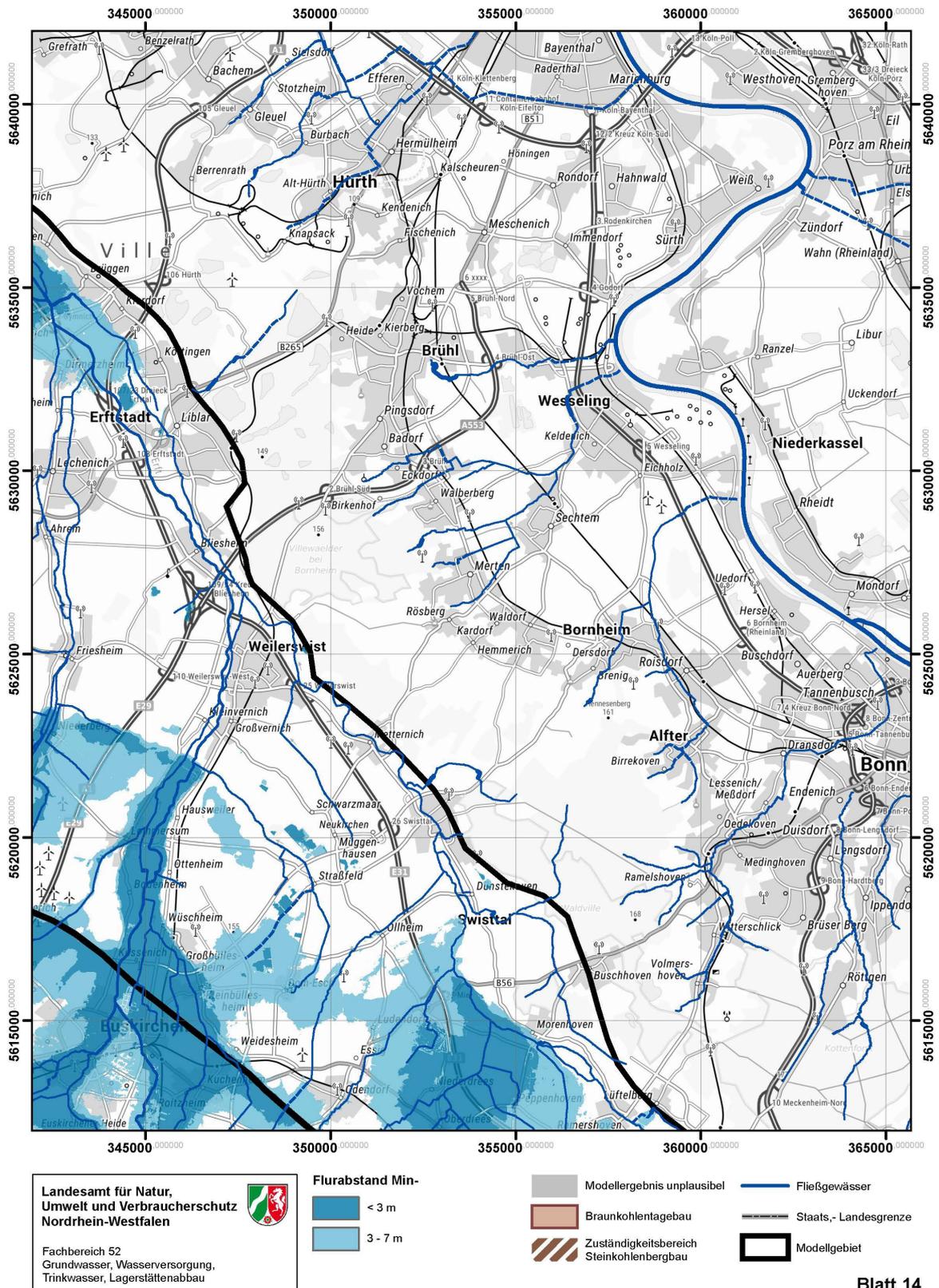


Abbildung A 53: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 14

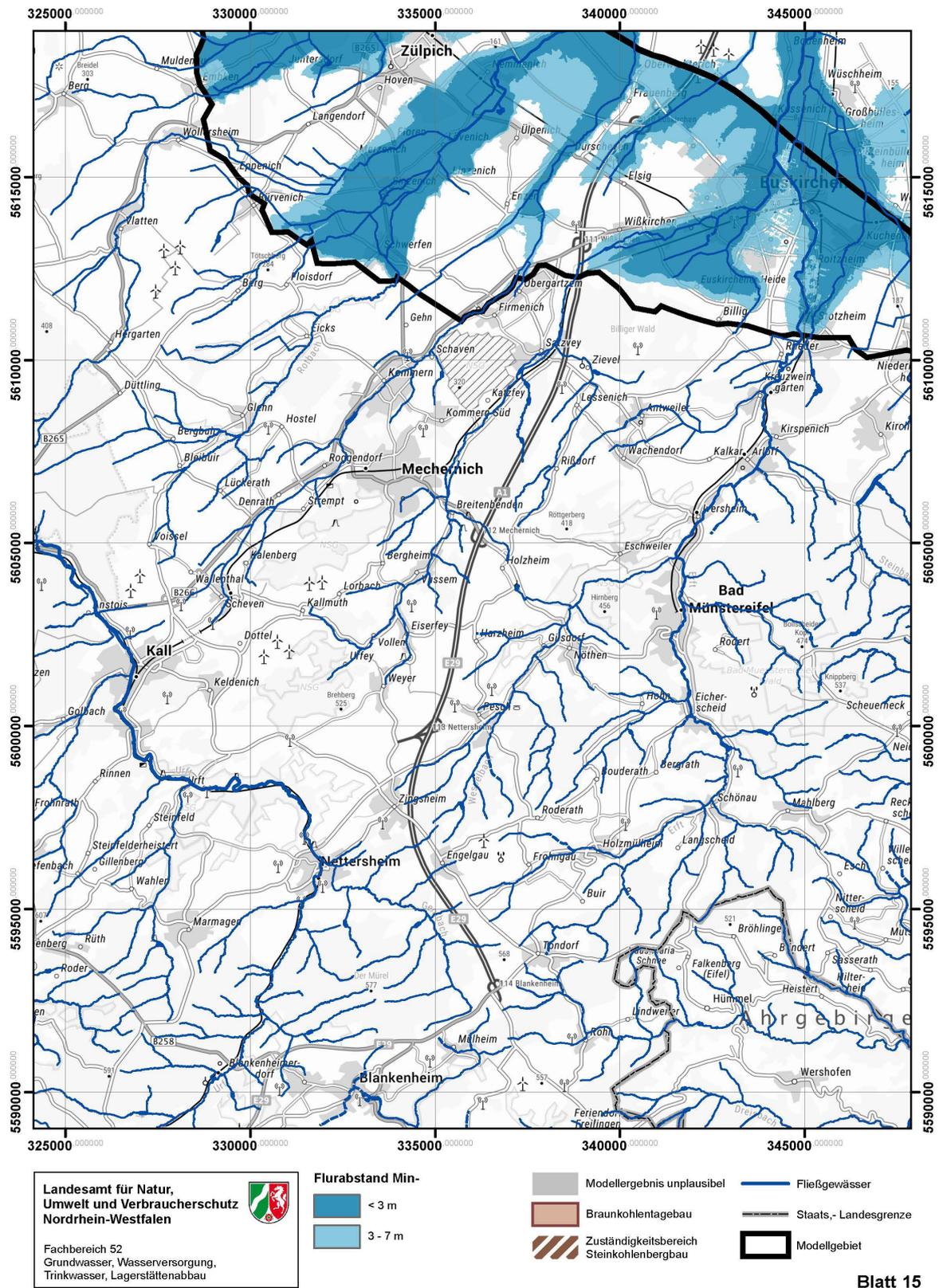


Abbildung A 54: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 15

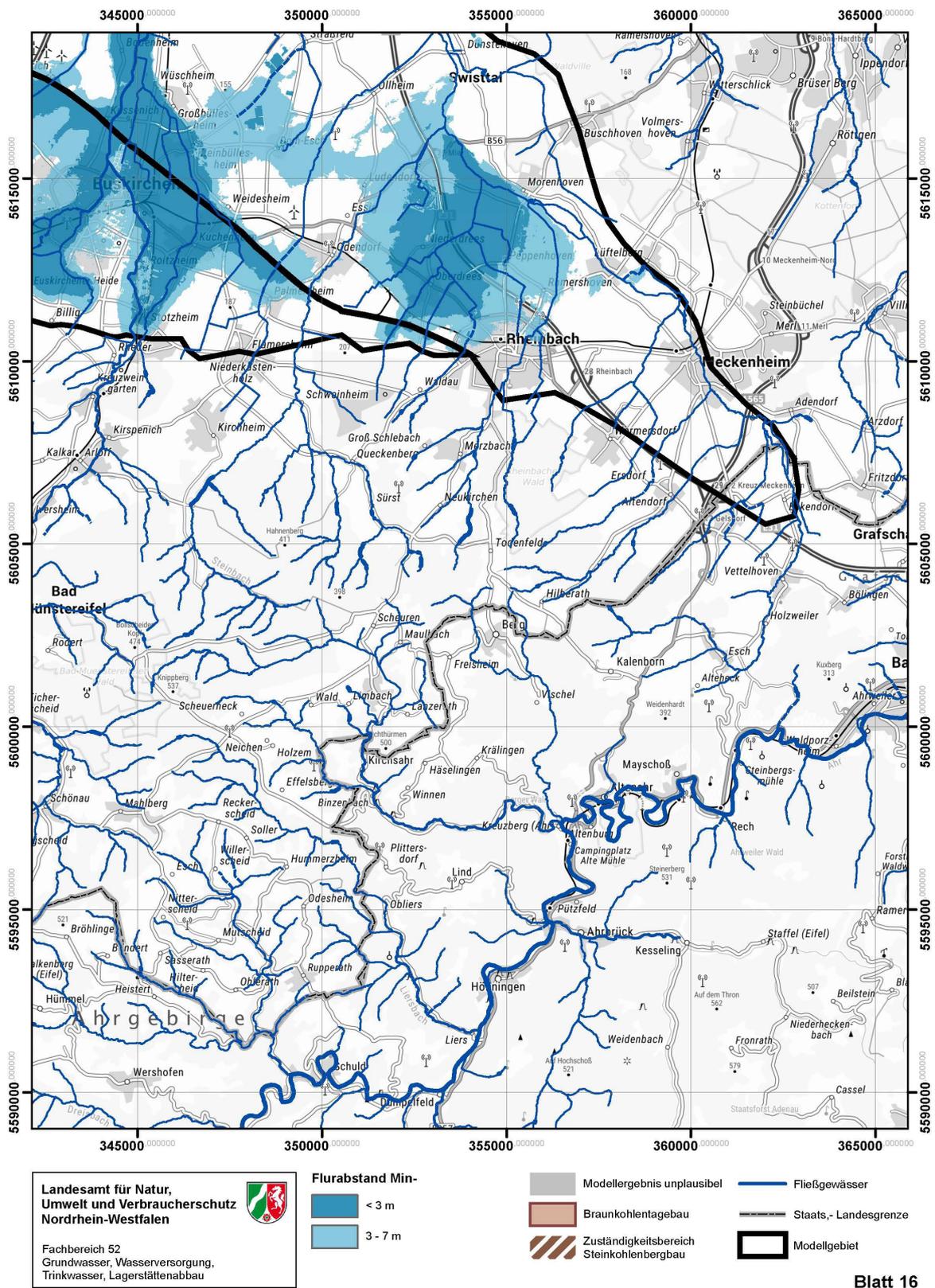


Abbildung A 55: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 16

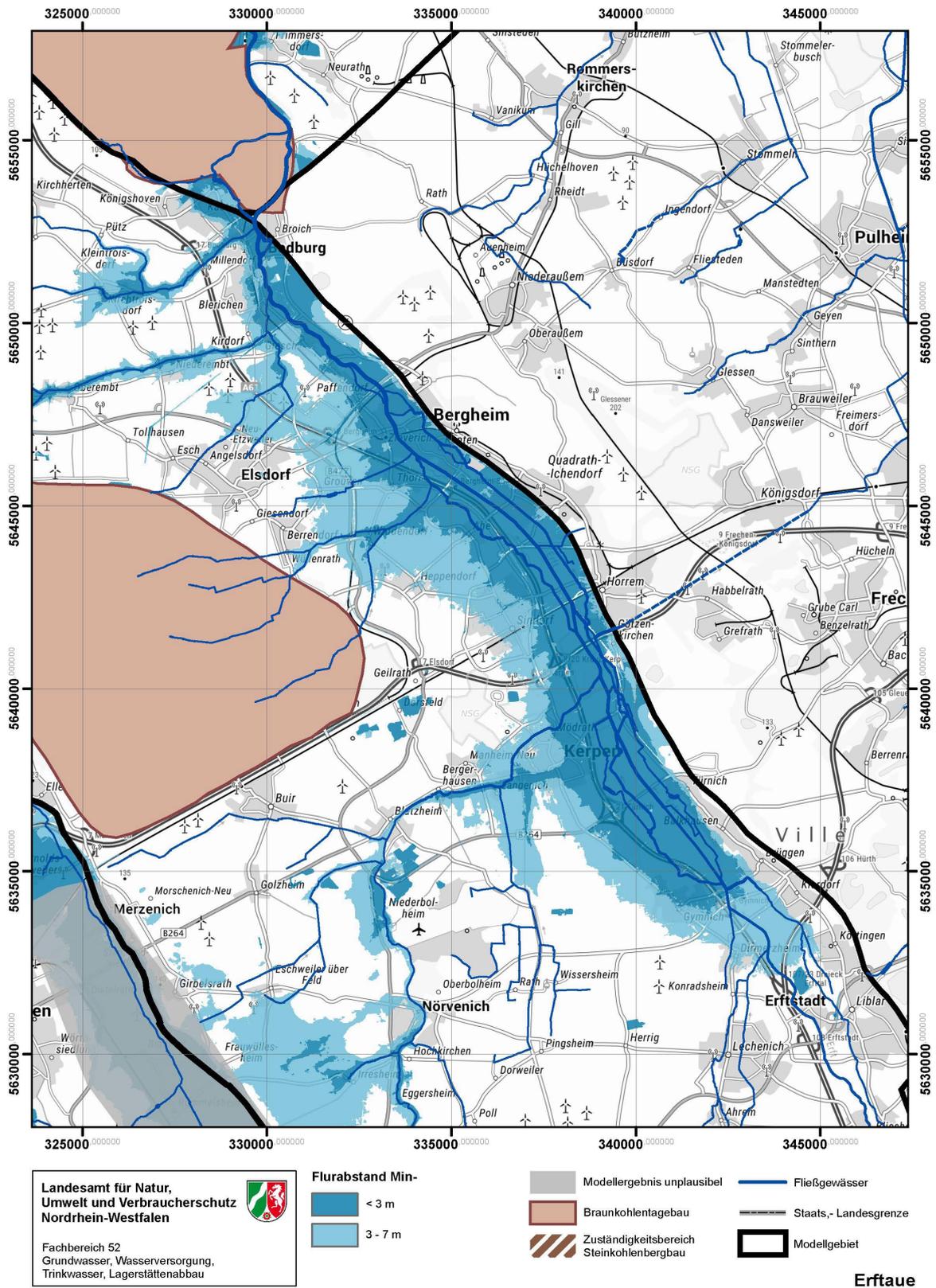
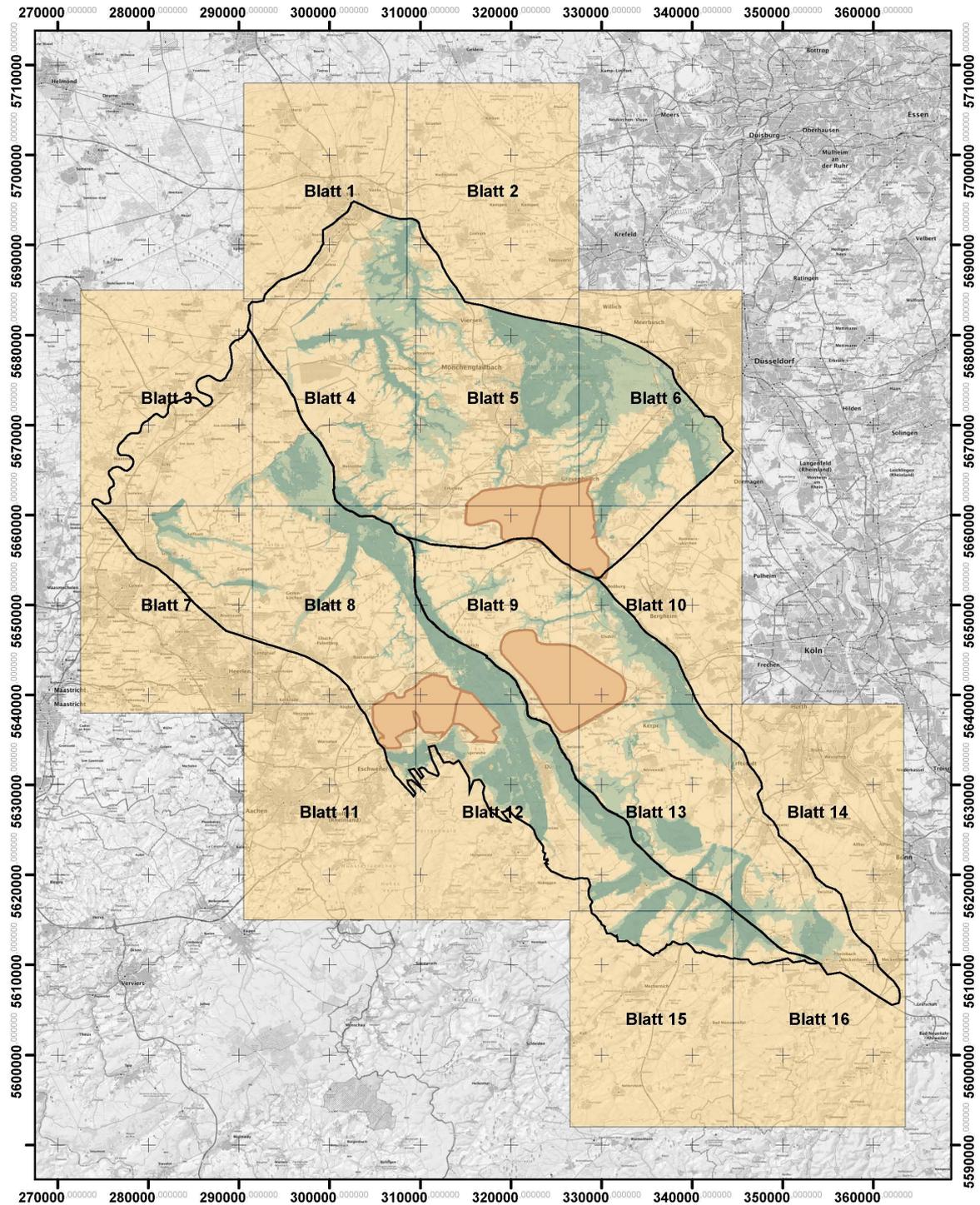


Abbildung A 56: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Erftaue

### Anlage 5: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante



Landesamt für Natur,  
Umwelt und Verbraucherschutz  
Nordrhein-Westfalen



Fachbereich 52  
Grundwasser, Wasserversorgung,  
Trinkwasser, Lagerstättenabbau

Anlage 5: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante

Maßstab 1:100.000

Abbildung A 57: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Übersicht

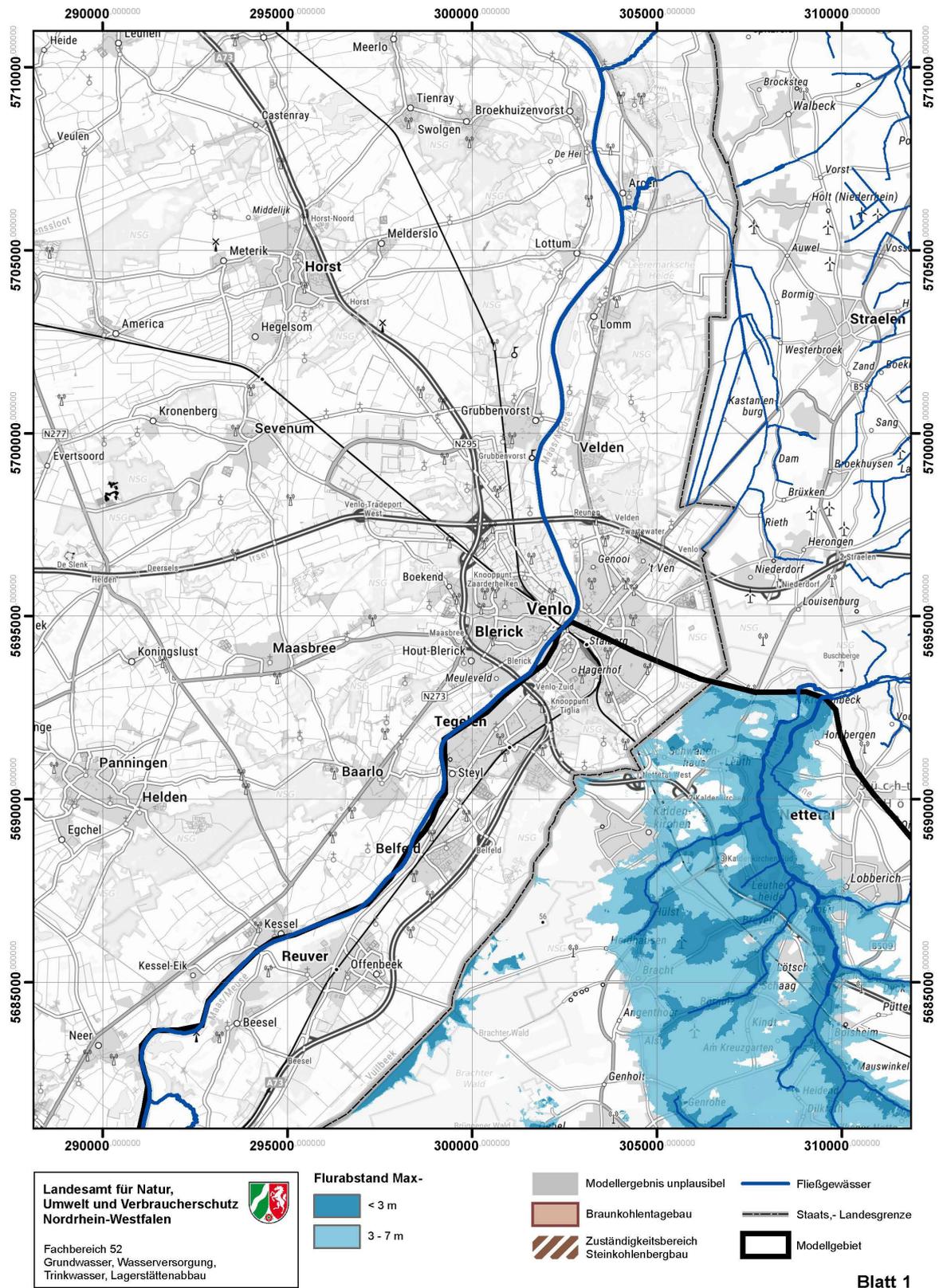


Abbildung A 58: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 1

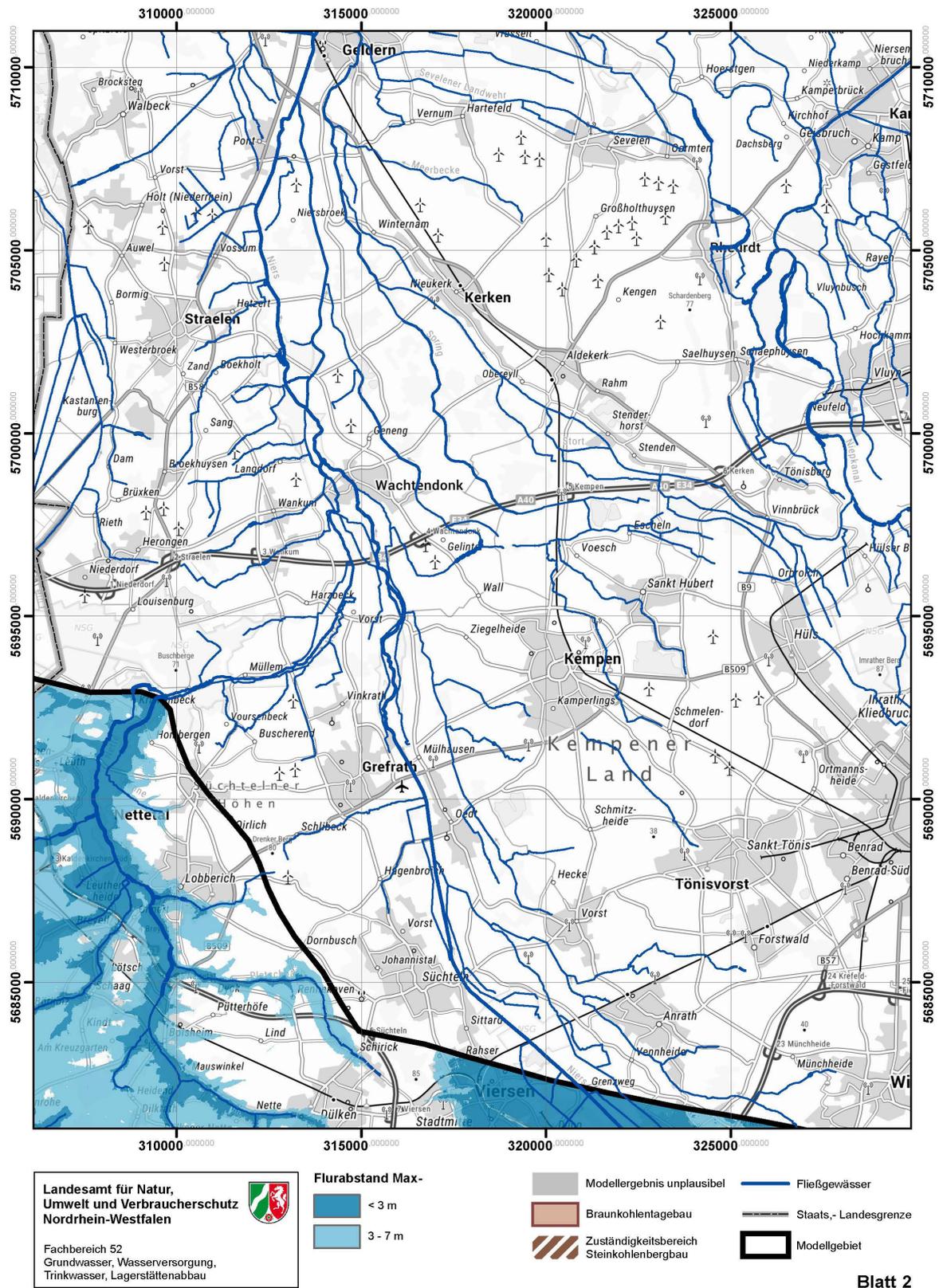


Abbildung A 59: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 2

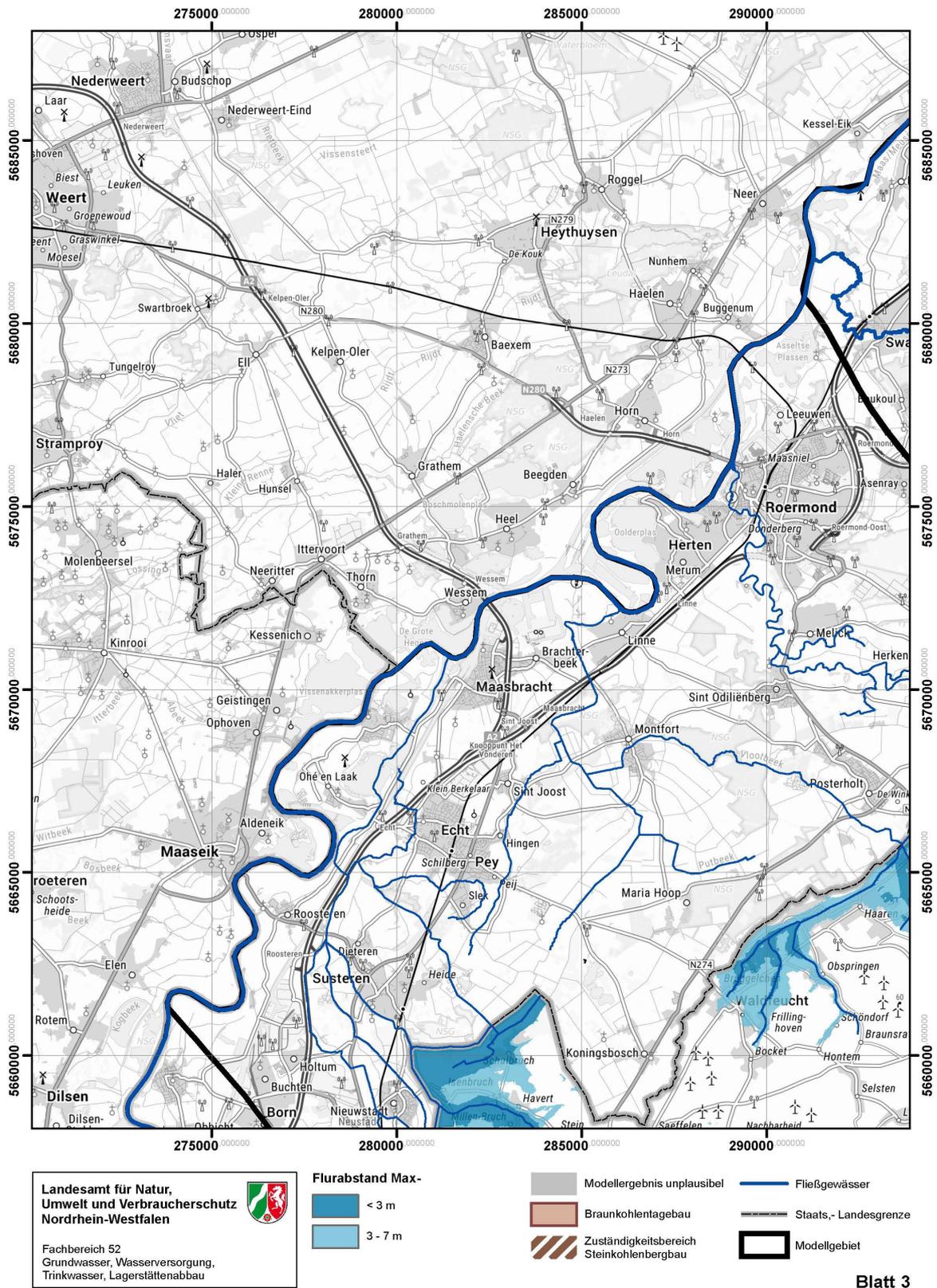


Abbildung A 60: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 3

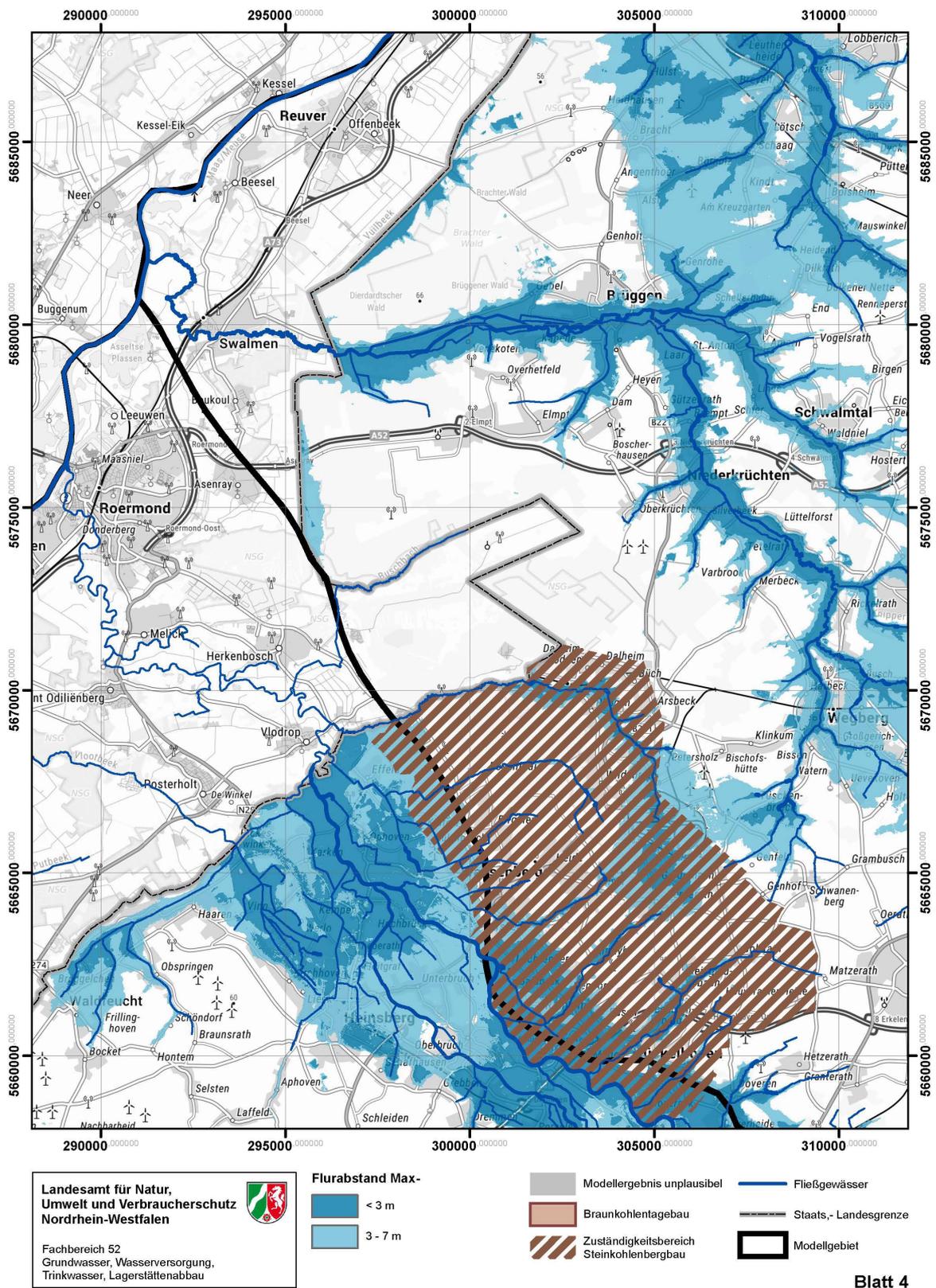


Abbildung A 61: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 4

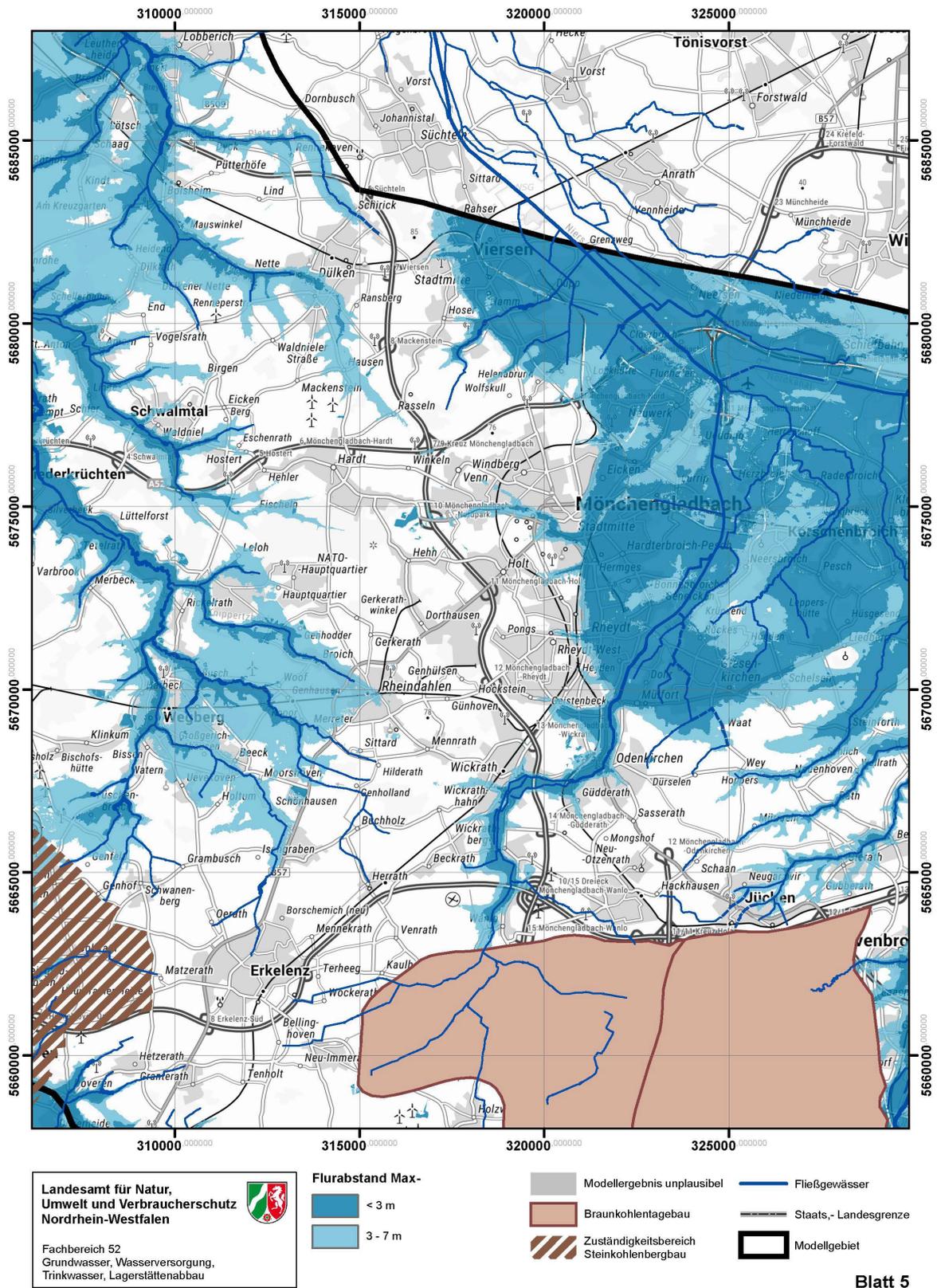


Abbildung A 62: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 5

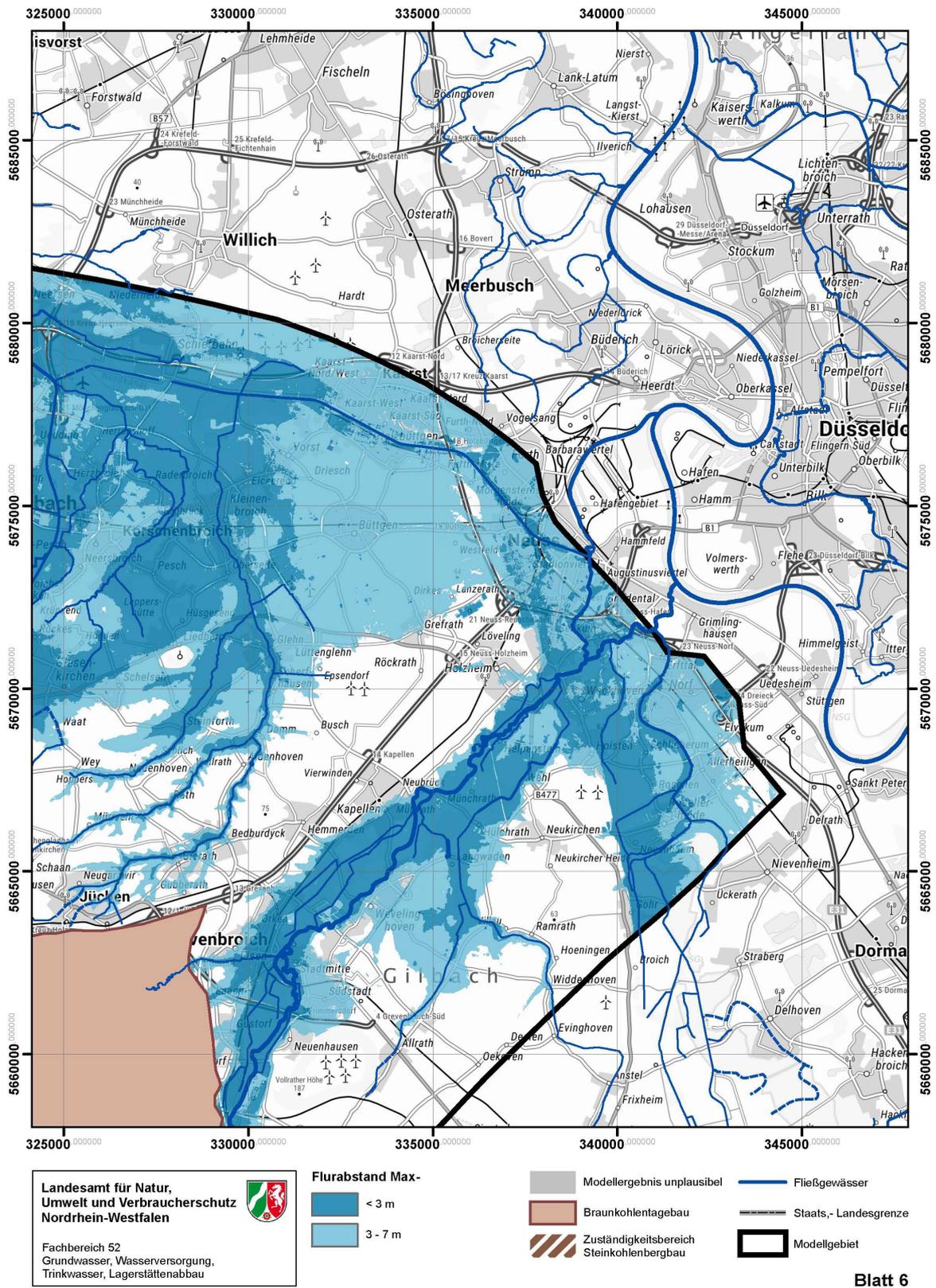


Abbildung A 63: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 6

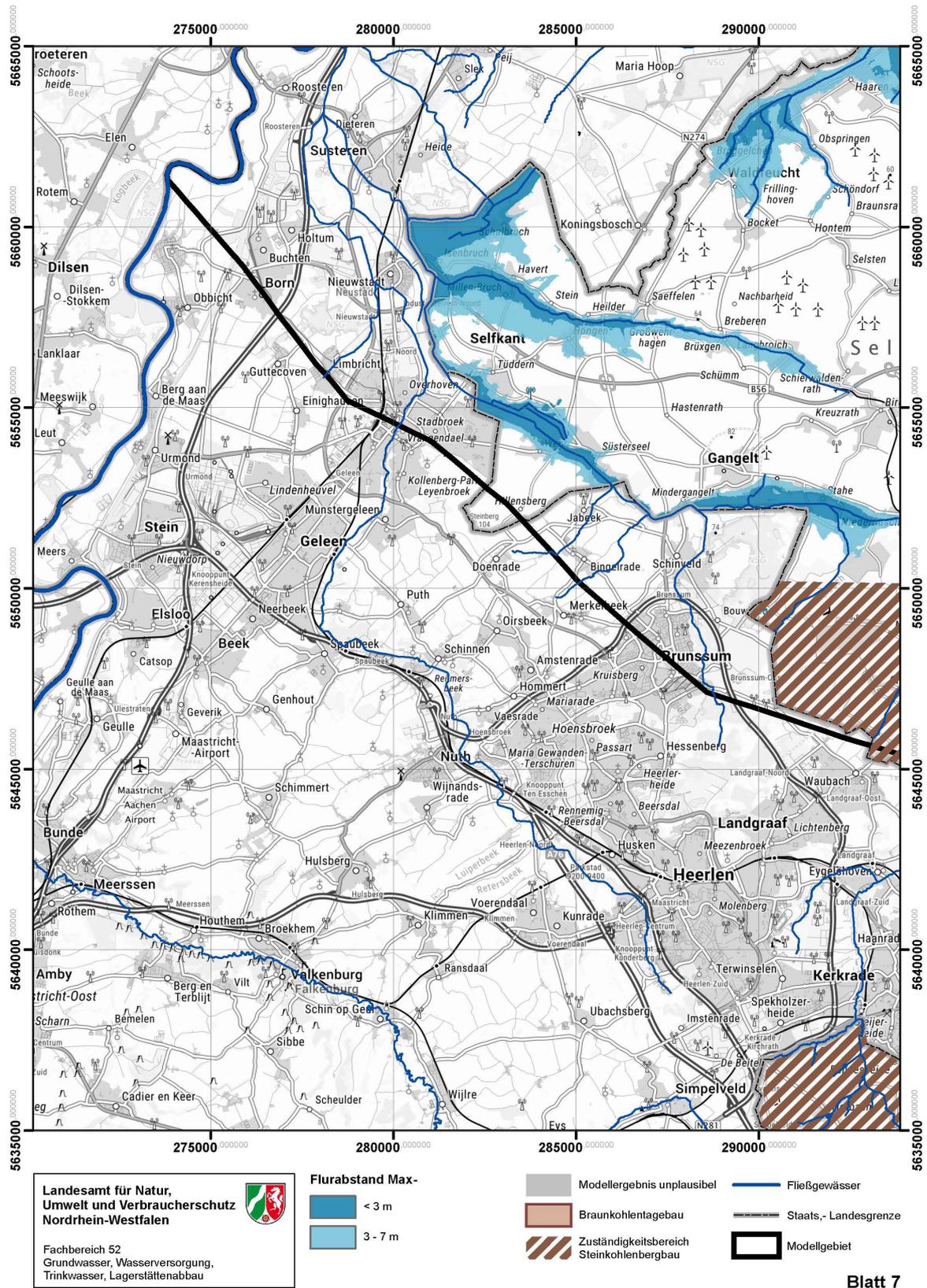


Abbildung A 64: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 7

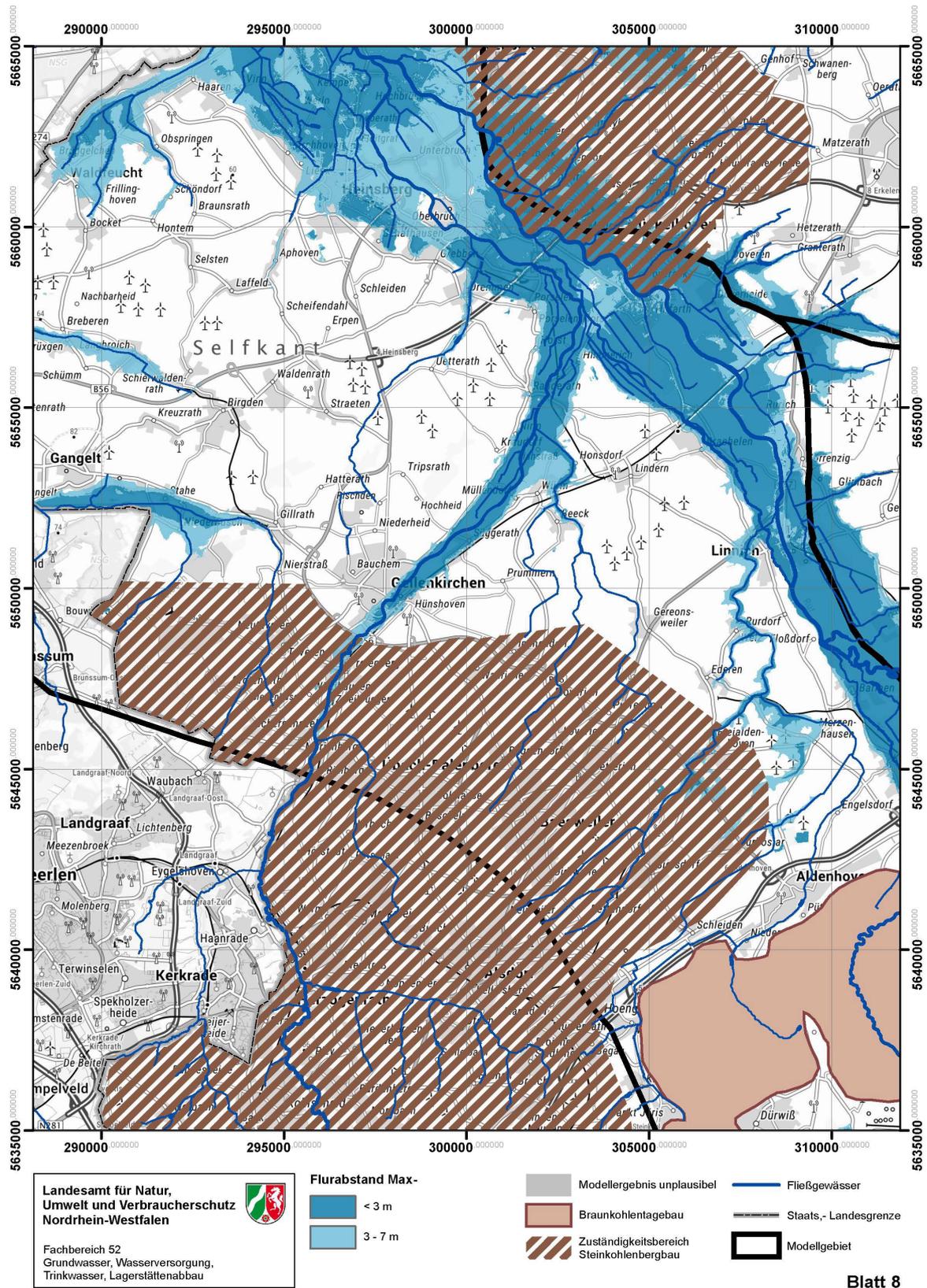


Abbildung A 65: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 8

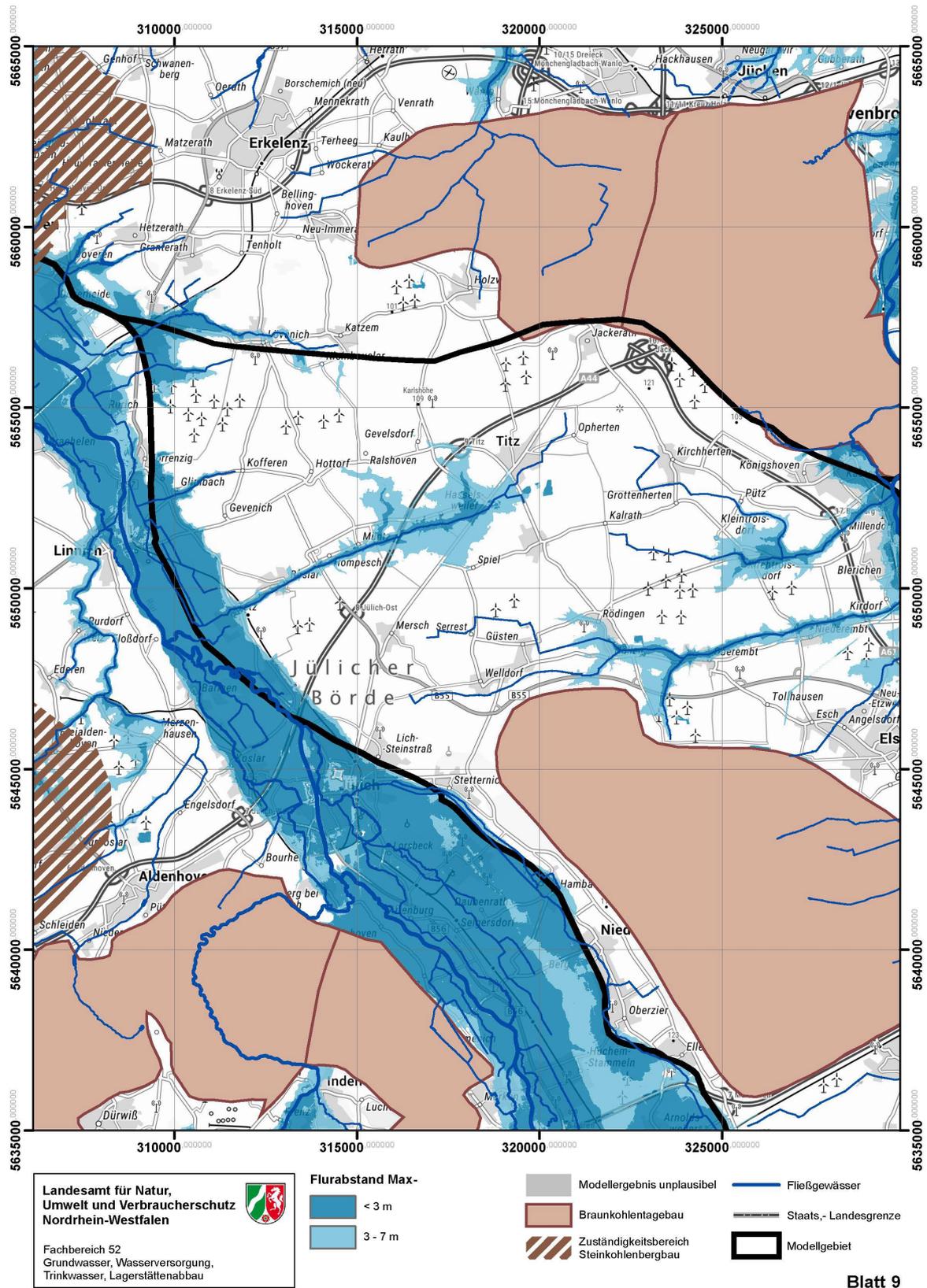


Abbildung A 66: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 9

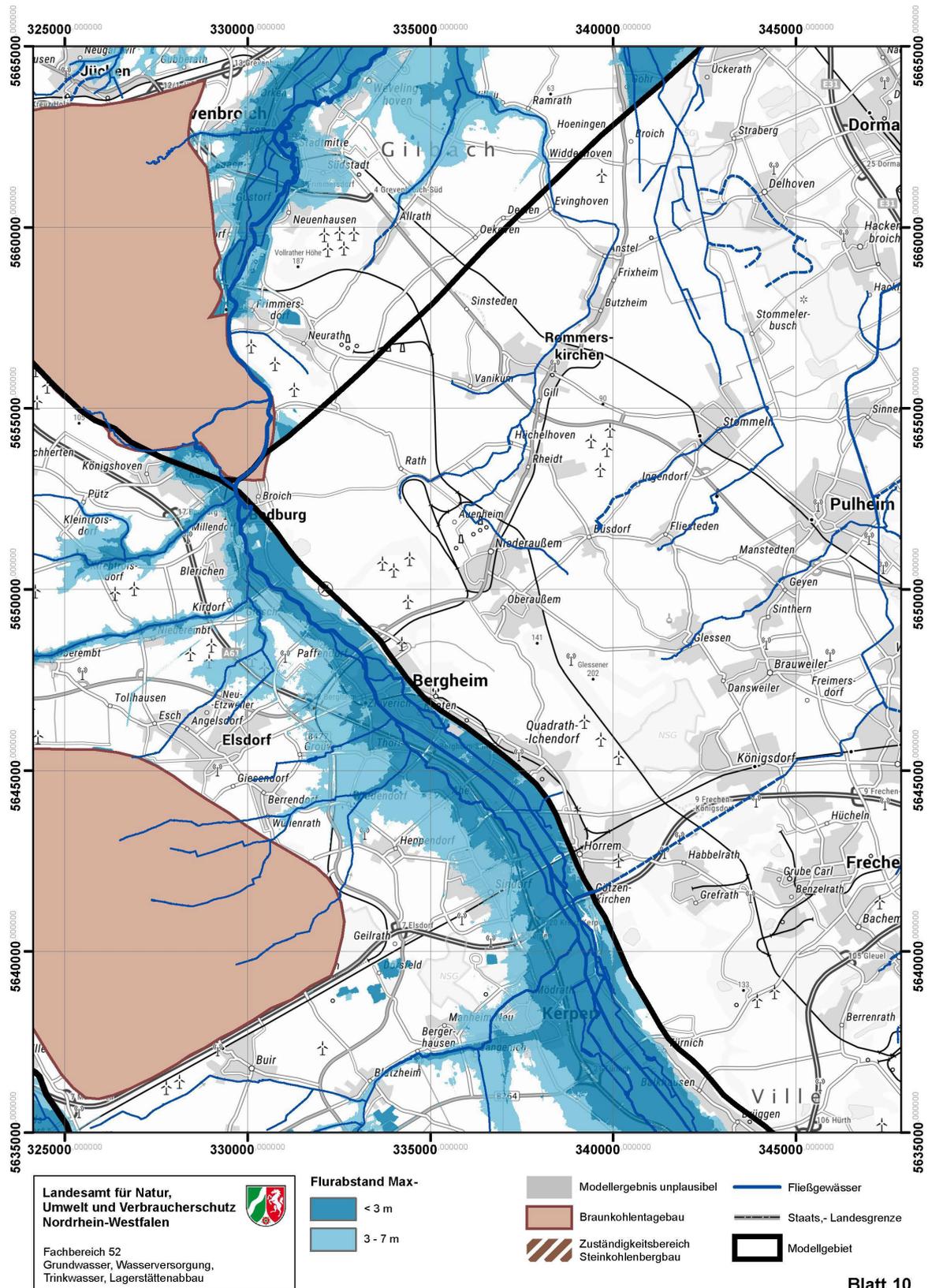


Abbildung A 67: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 10

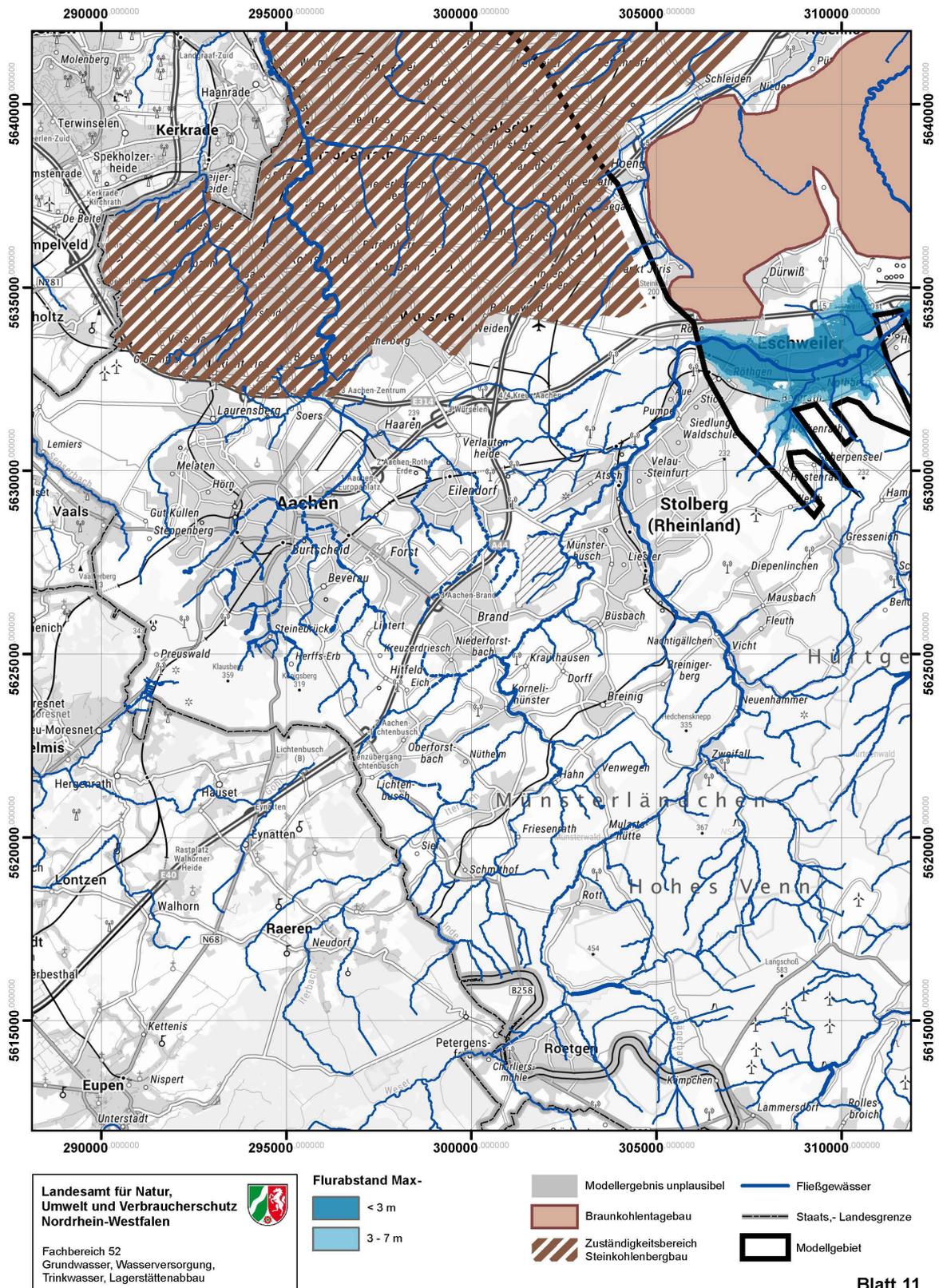


Abbildung A 68: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 11

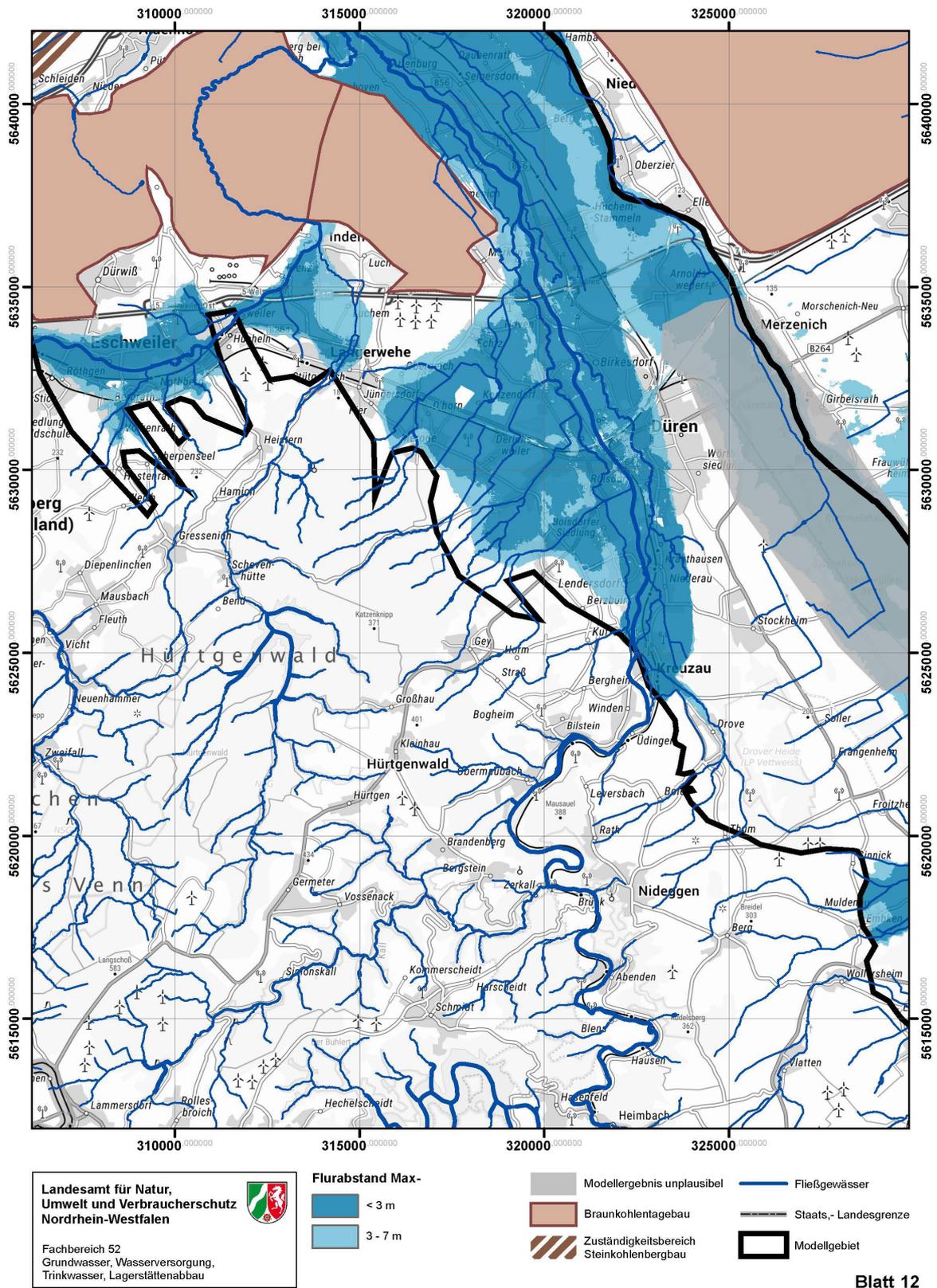


Abbildung A 69: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 12

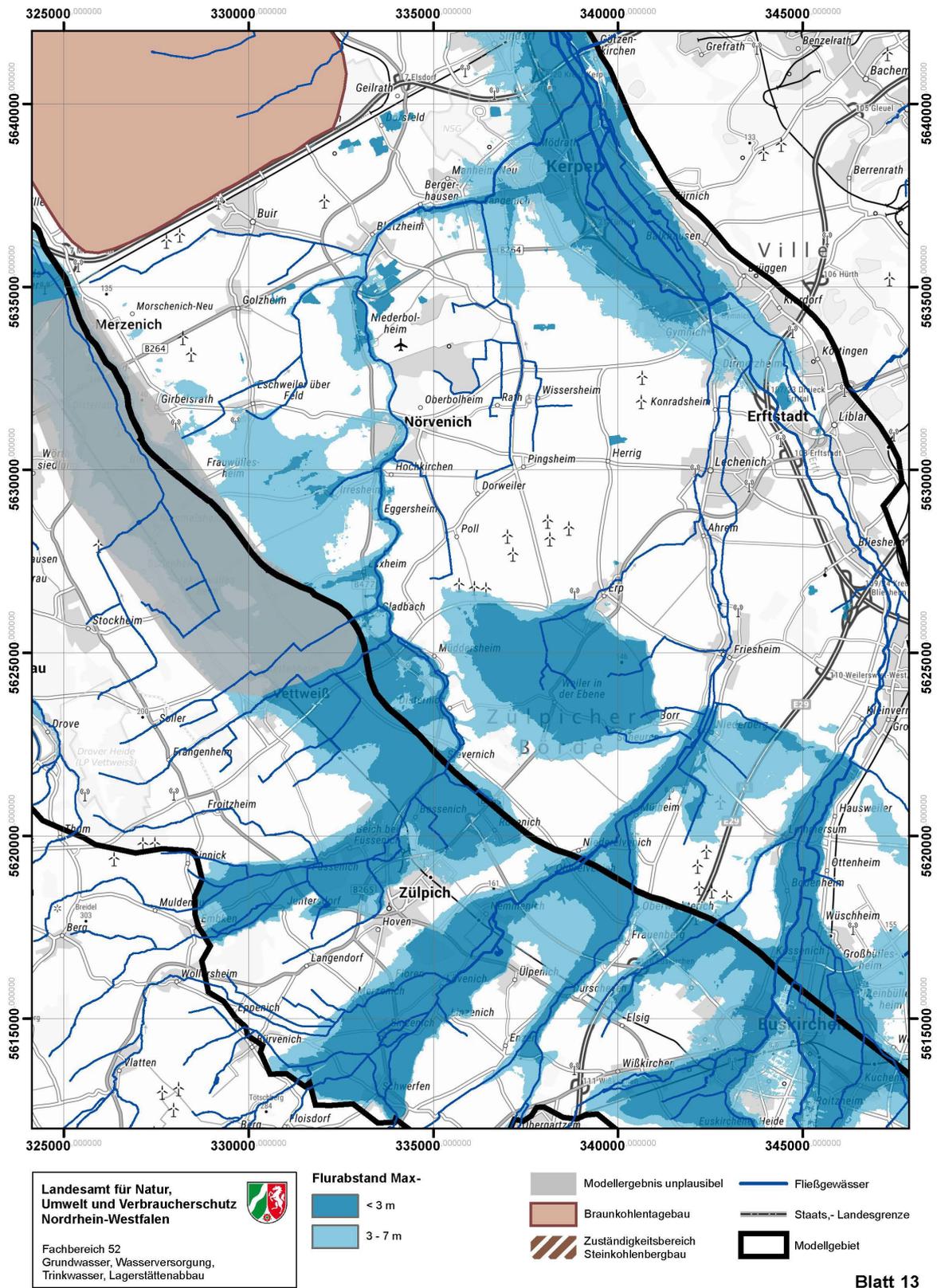


Abbildung A 70: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 13

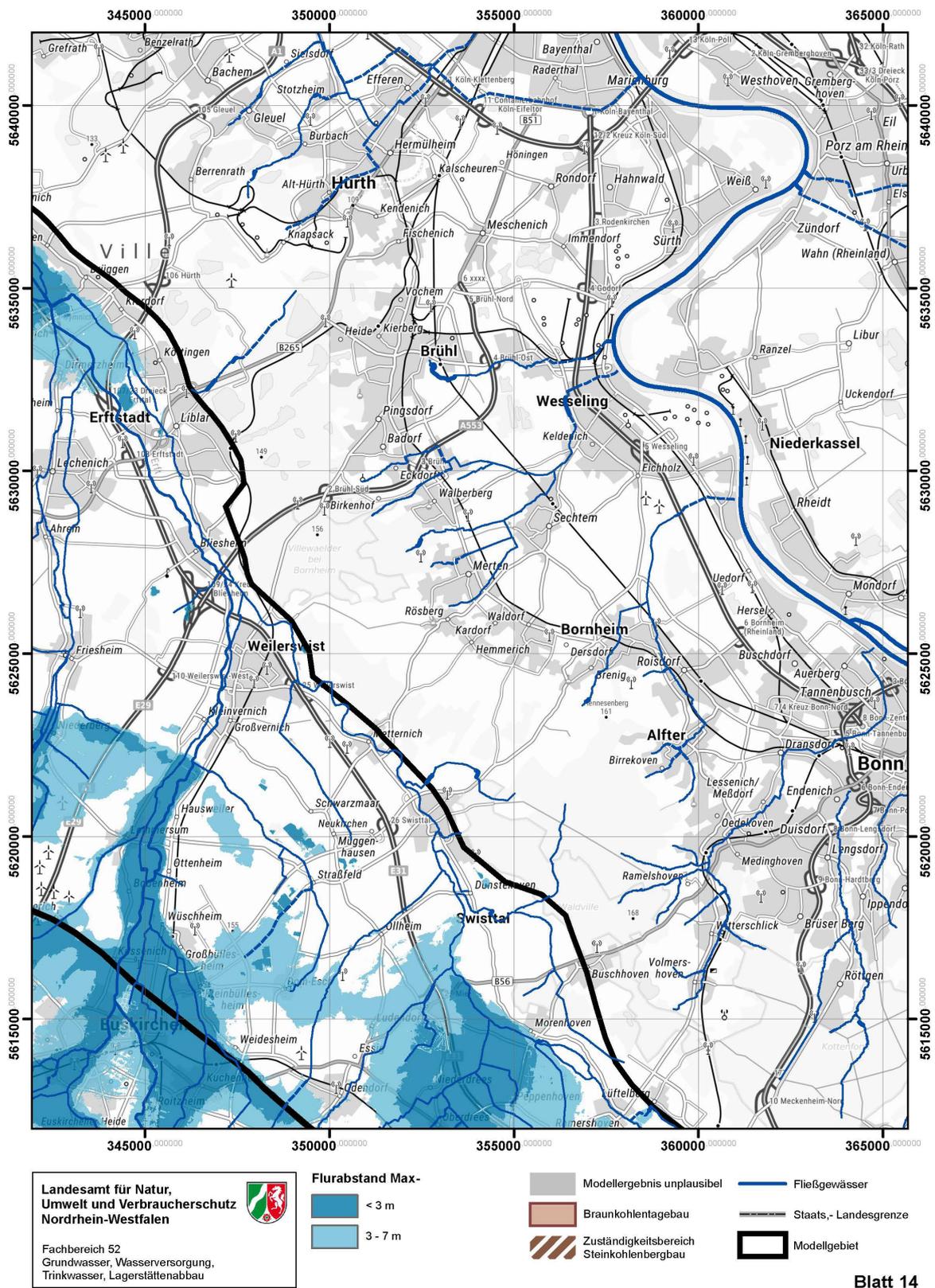


Abbildung A 71: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 14

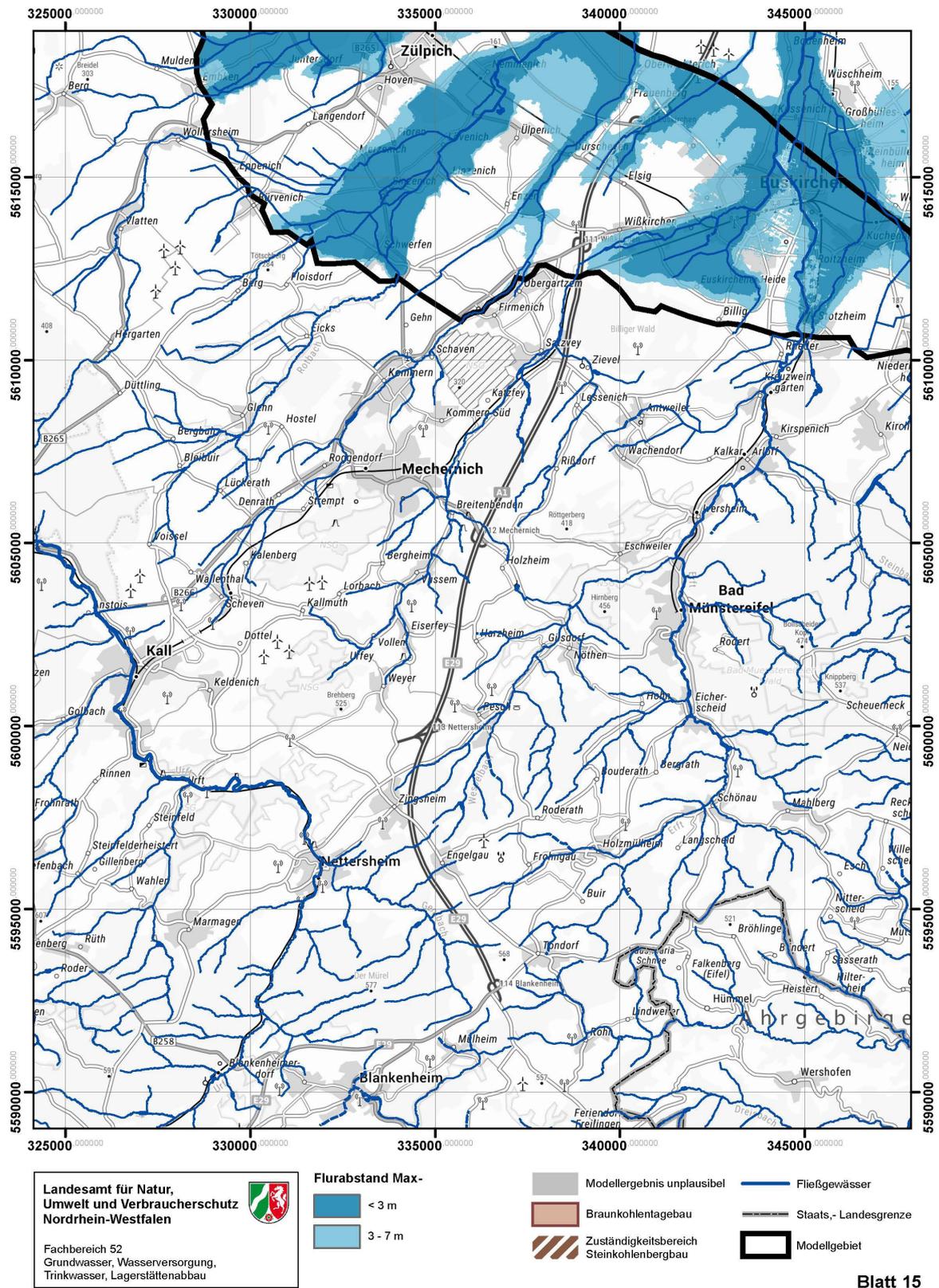


Abbildung A 72: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 15

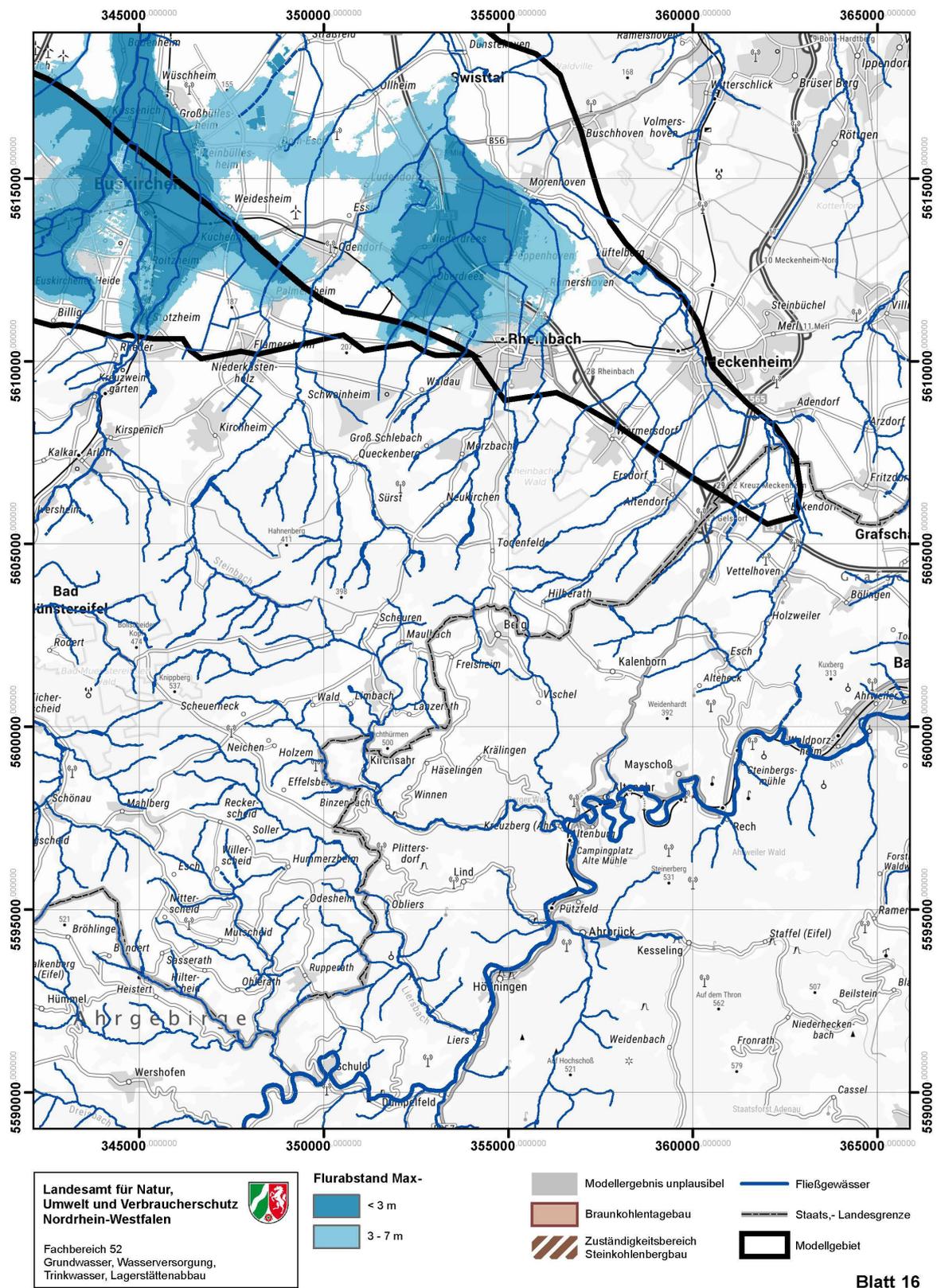


Abbildung A 73: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 16

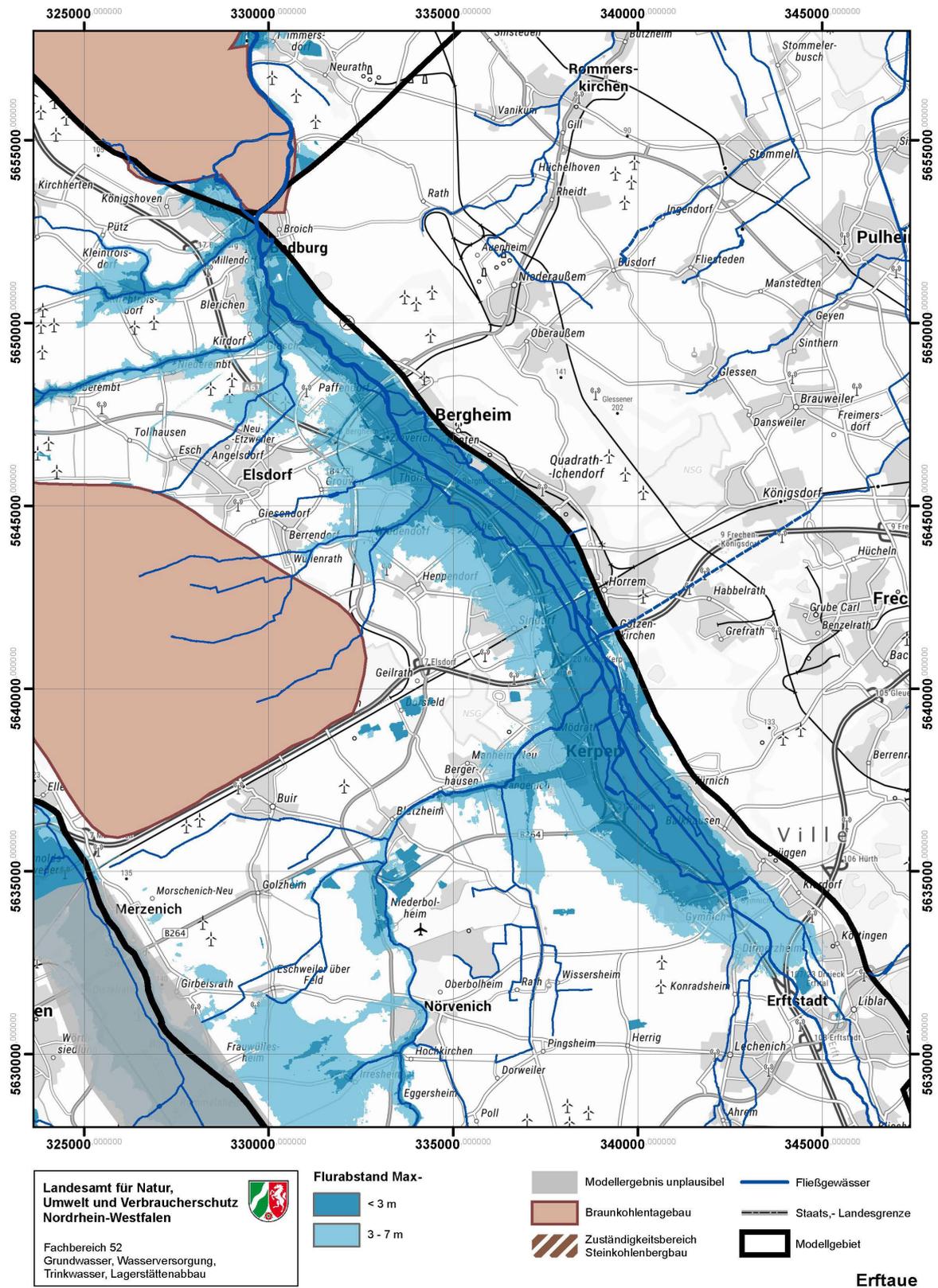
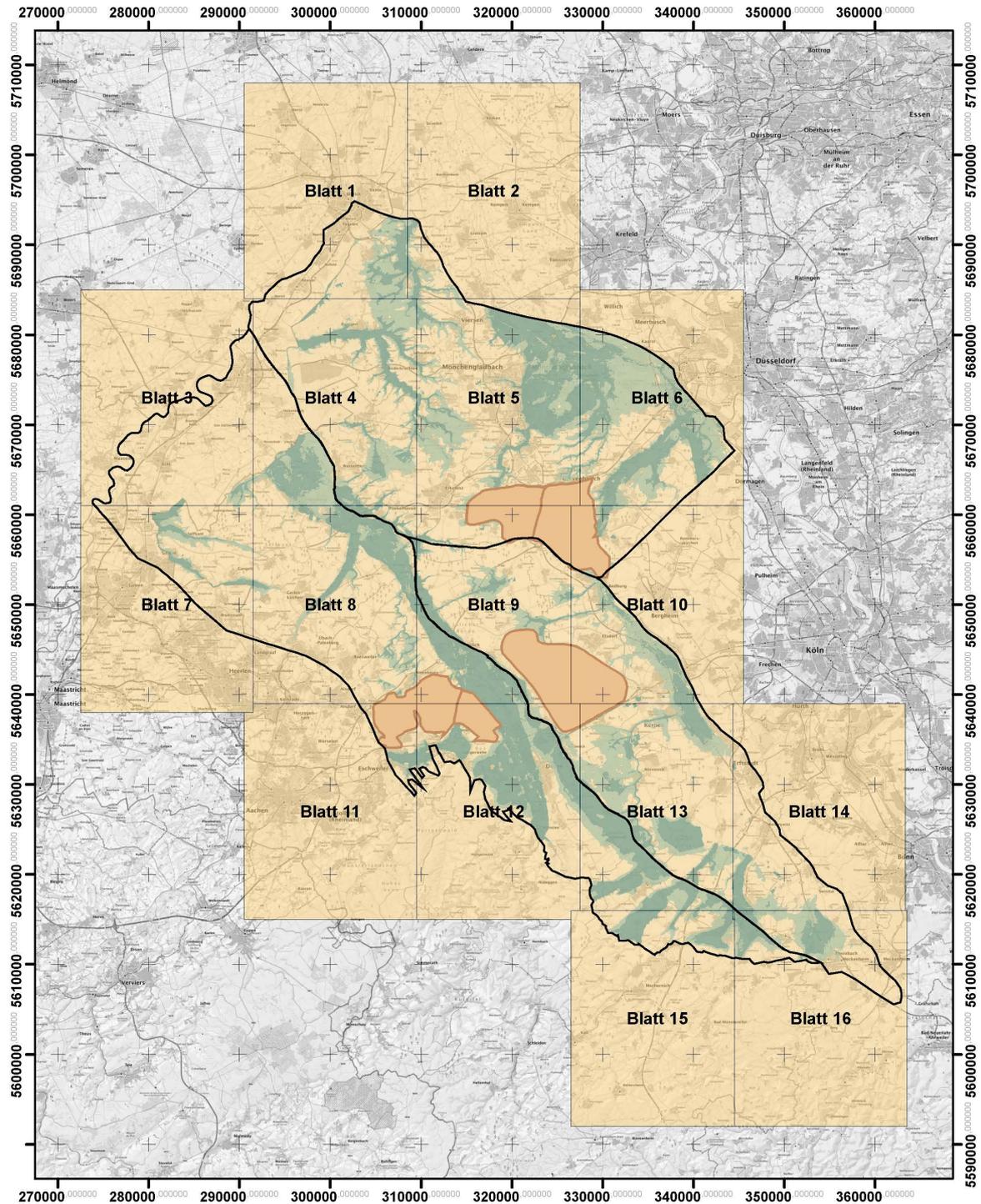


Abbildung A 74: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Erftaue

## Anlage 6: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen



Landesamt für Natur,  
Umwelt und Verbraucherschutz  
Nordrhein-Westfalen



Fachbereich 52  
Grundwasser, Wasserversorgung,  
Trinkwasser, Lagerstättenabbau

Anlage 6: Flurabstandskarten Referenzszenario  
mit Wasserhaltungsmaßnahmen

Maßstab 1:100.000

Abbildung A 75: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Übersicht

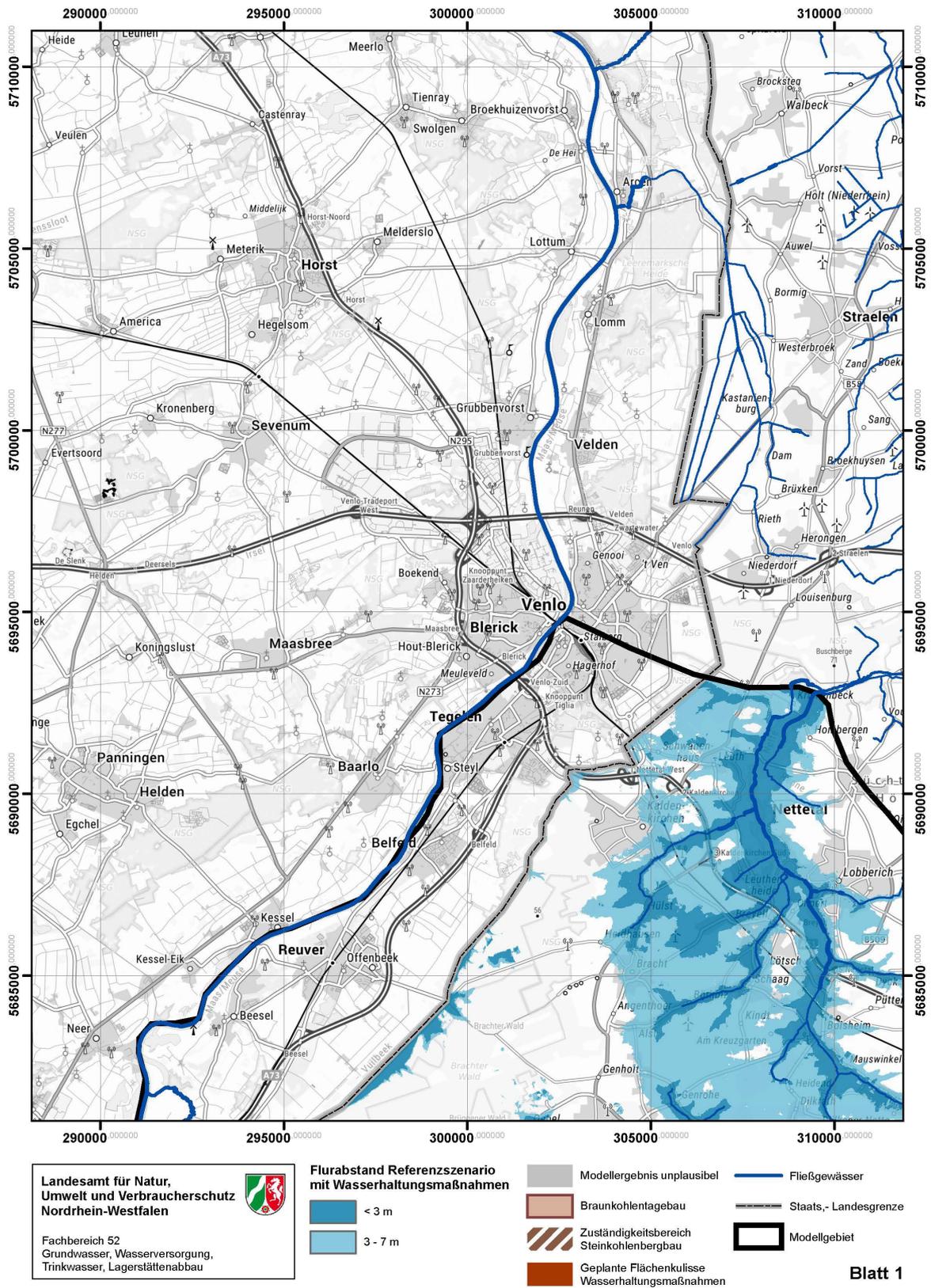


Abbildung A 76: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 1

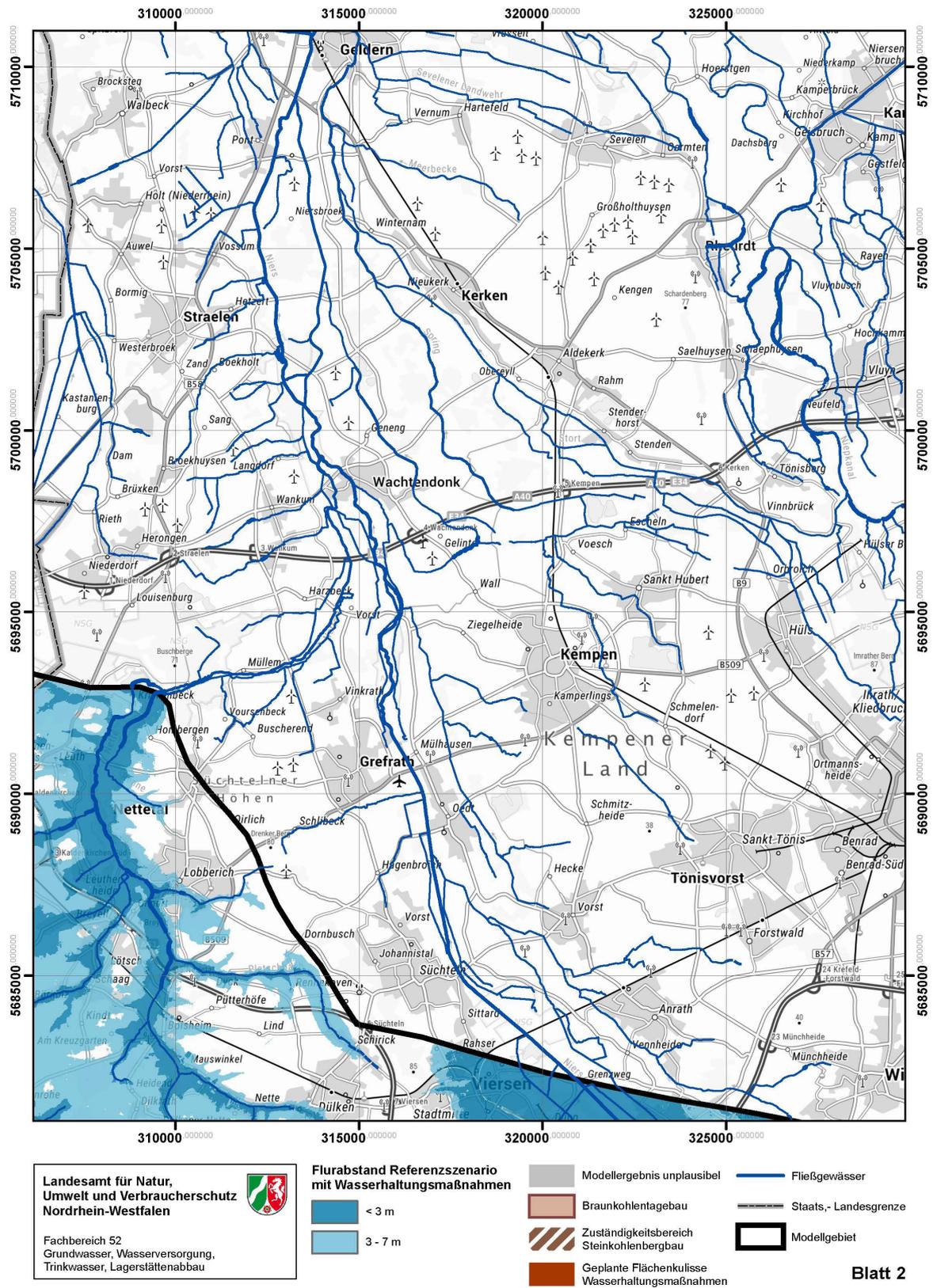


Abbildung A 77: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 2

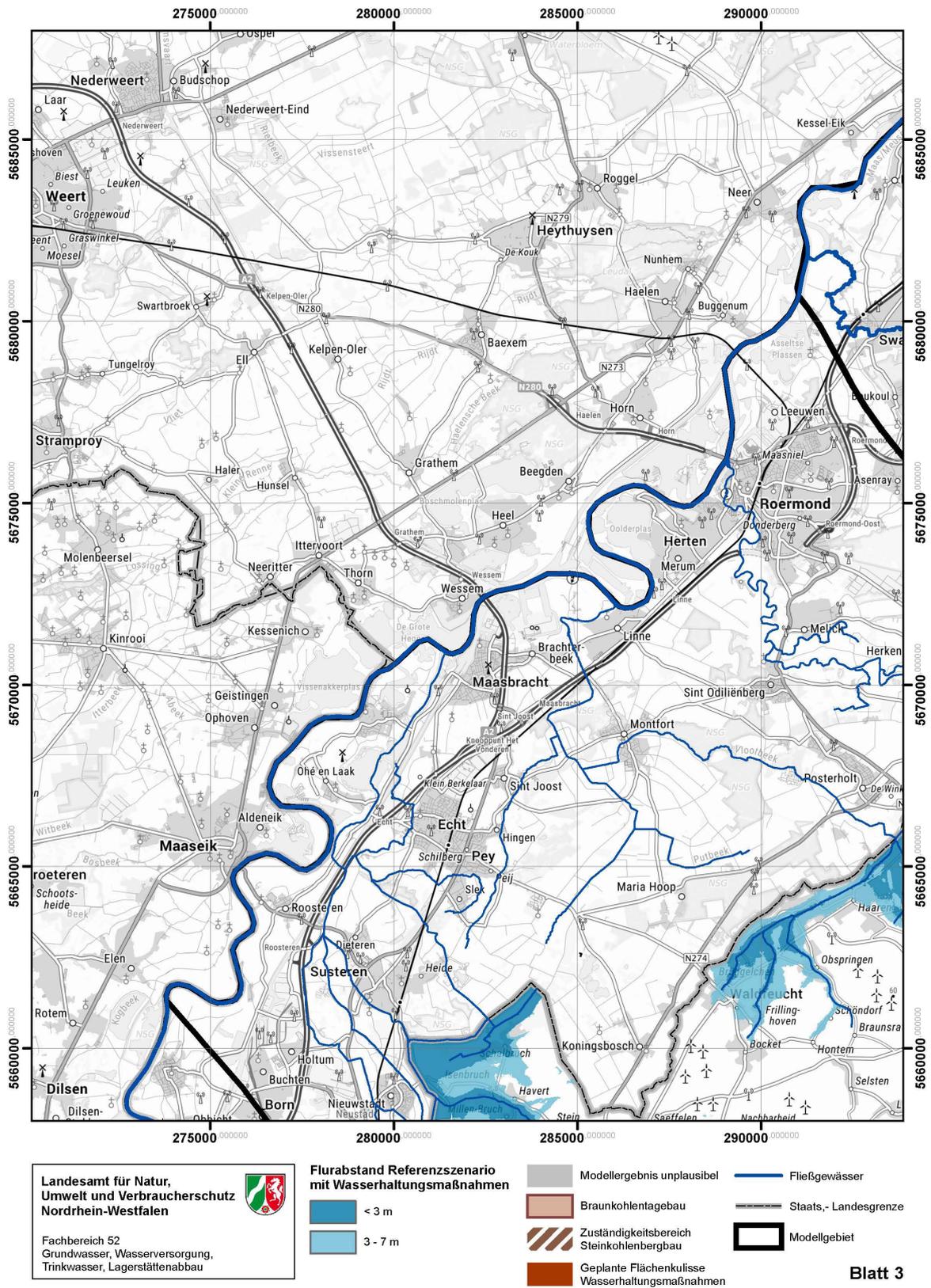


Abbildung A 78: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 3

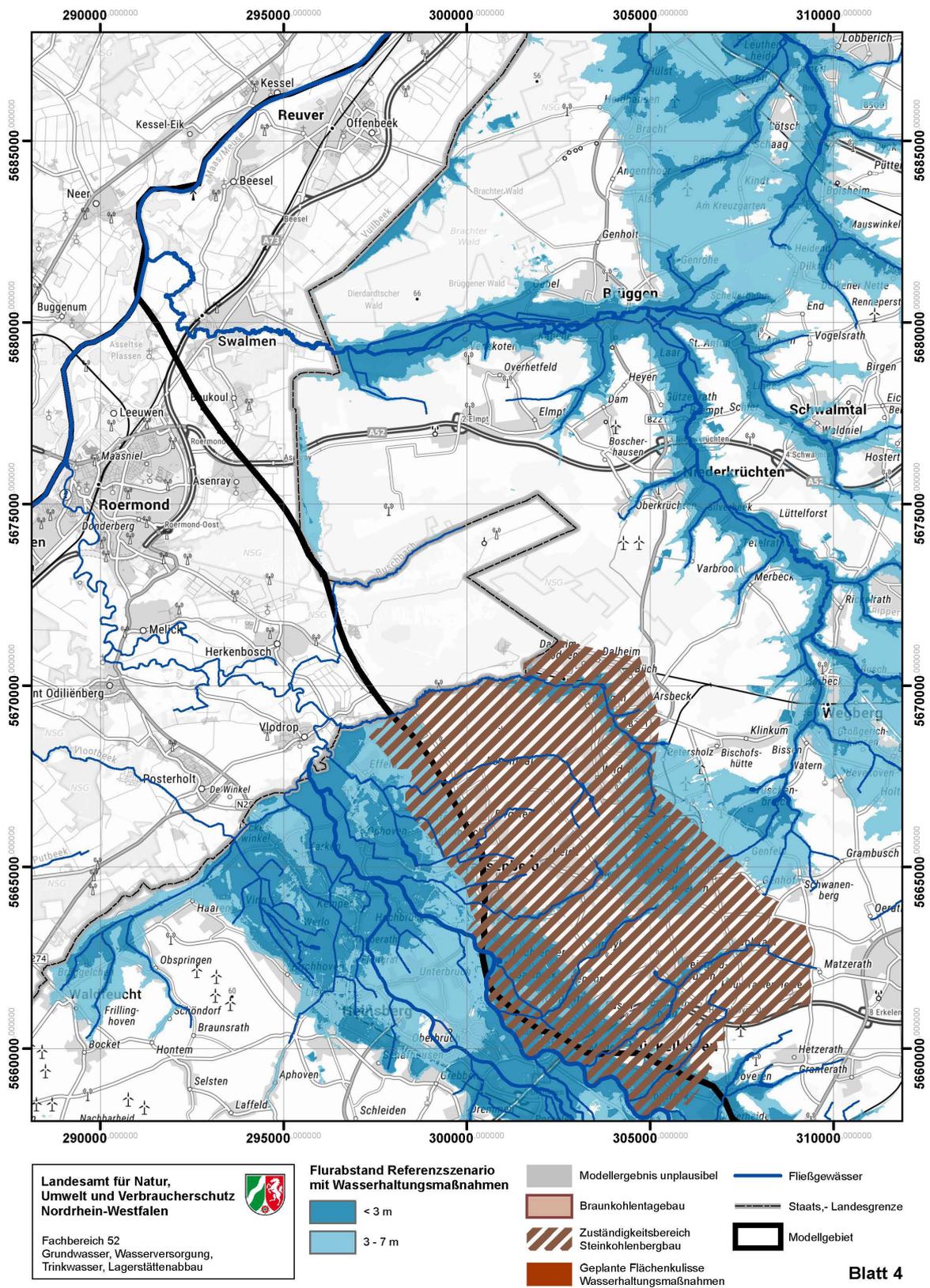


Abbildung A 79: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 4

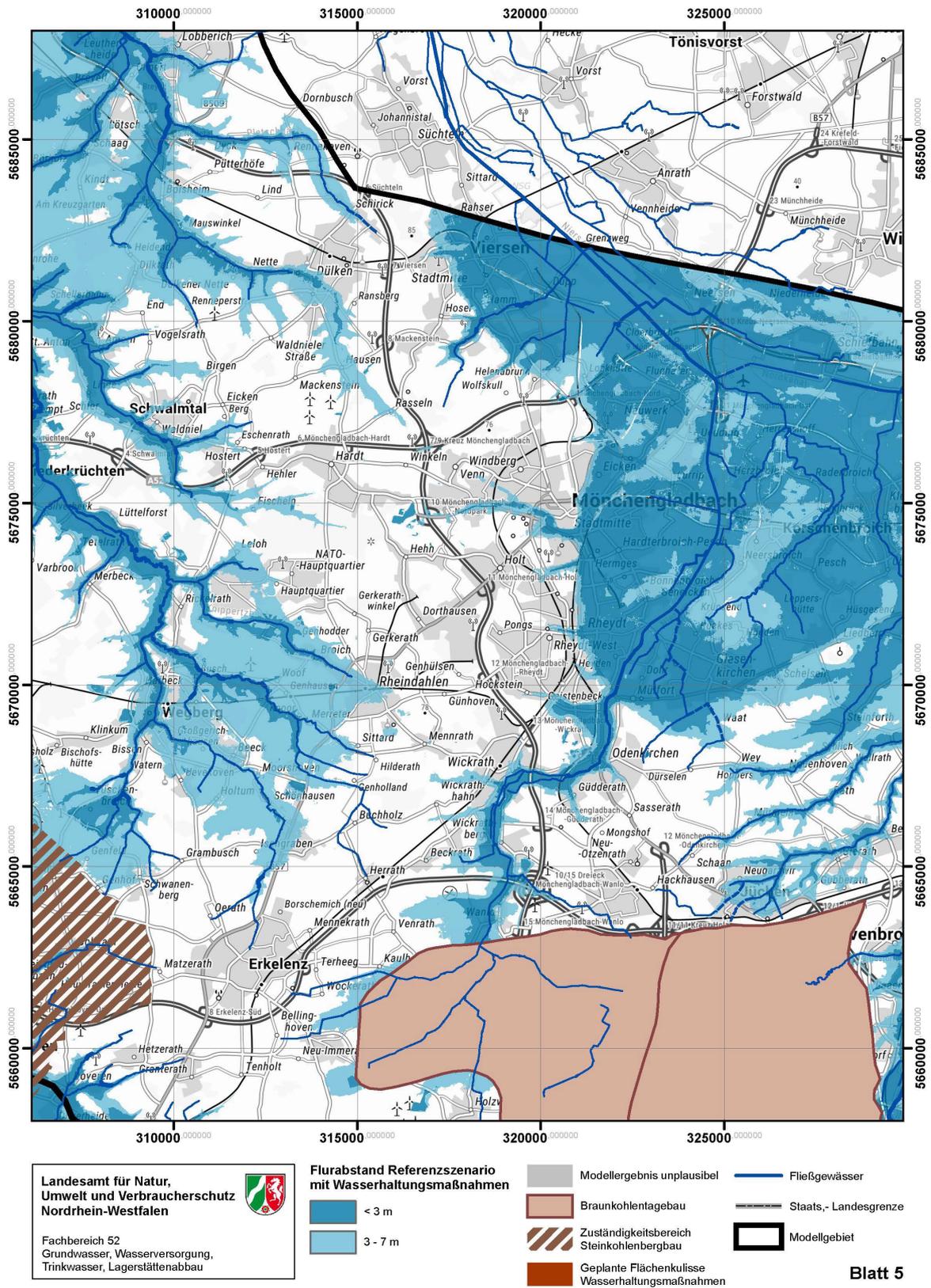


Abbildung A 80: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 5

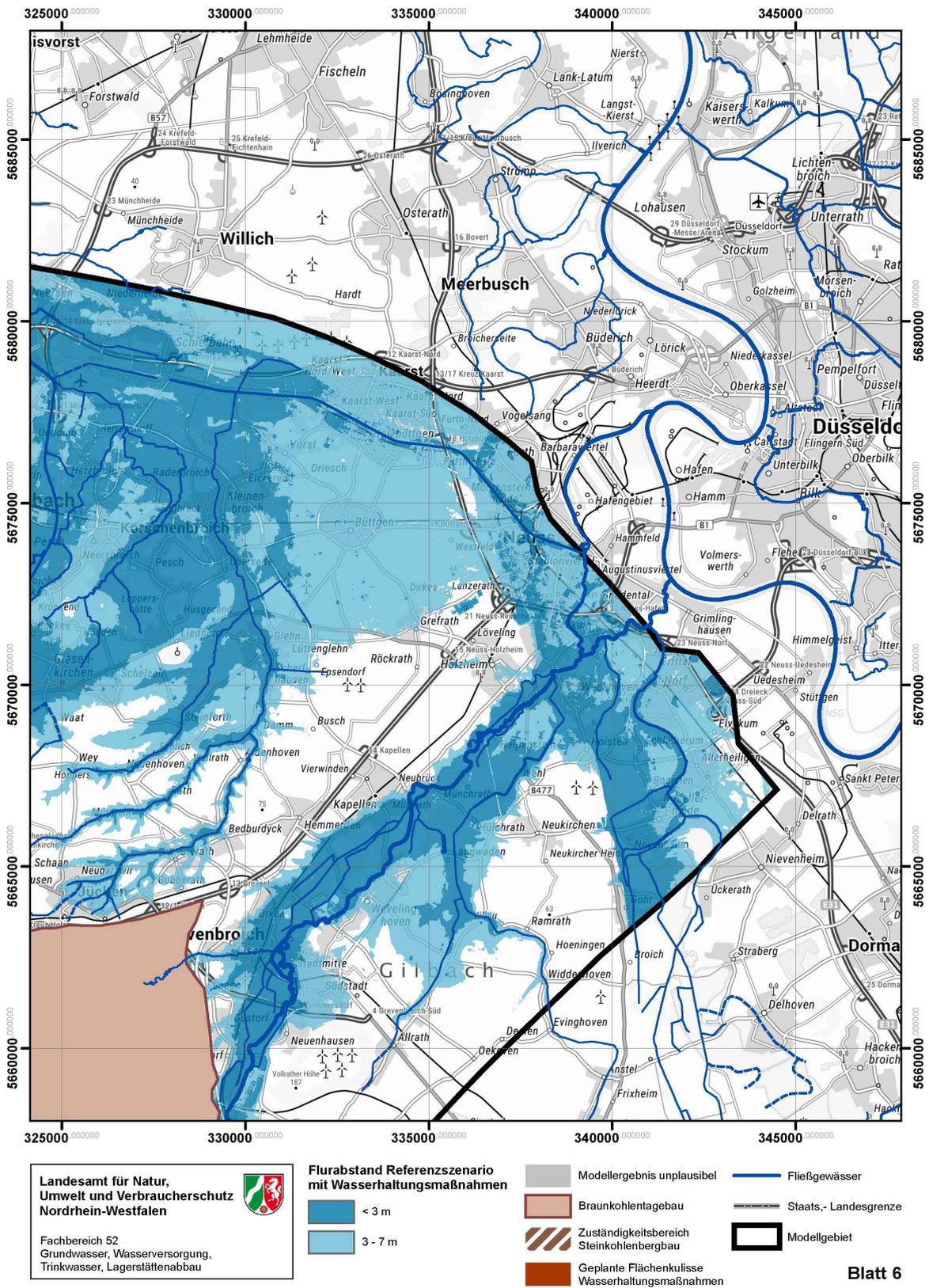


Abbildung A 81: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 6

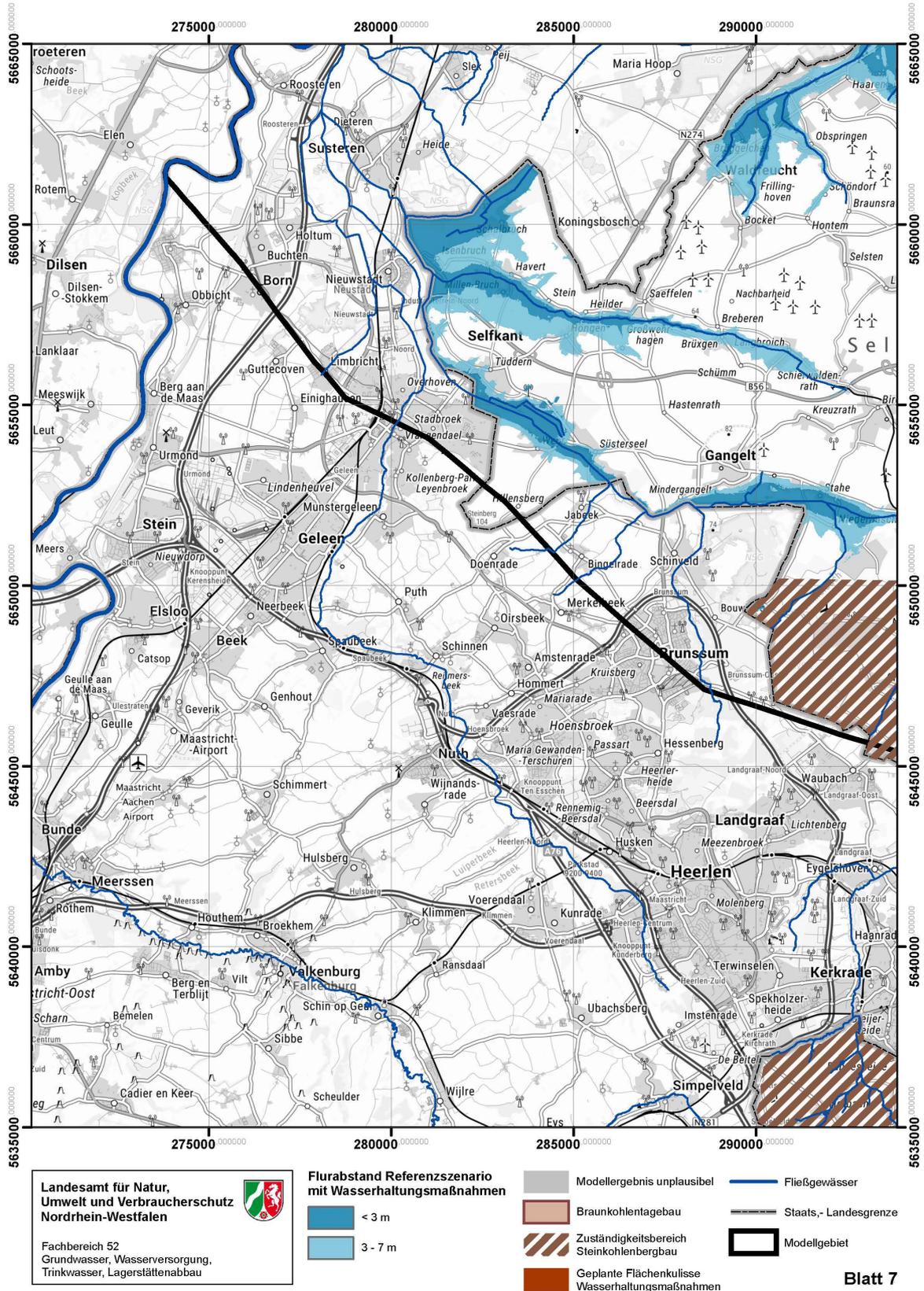


Abbildung A 82: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 7

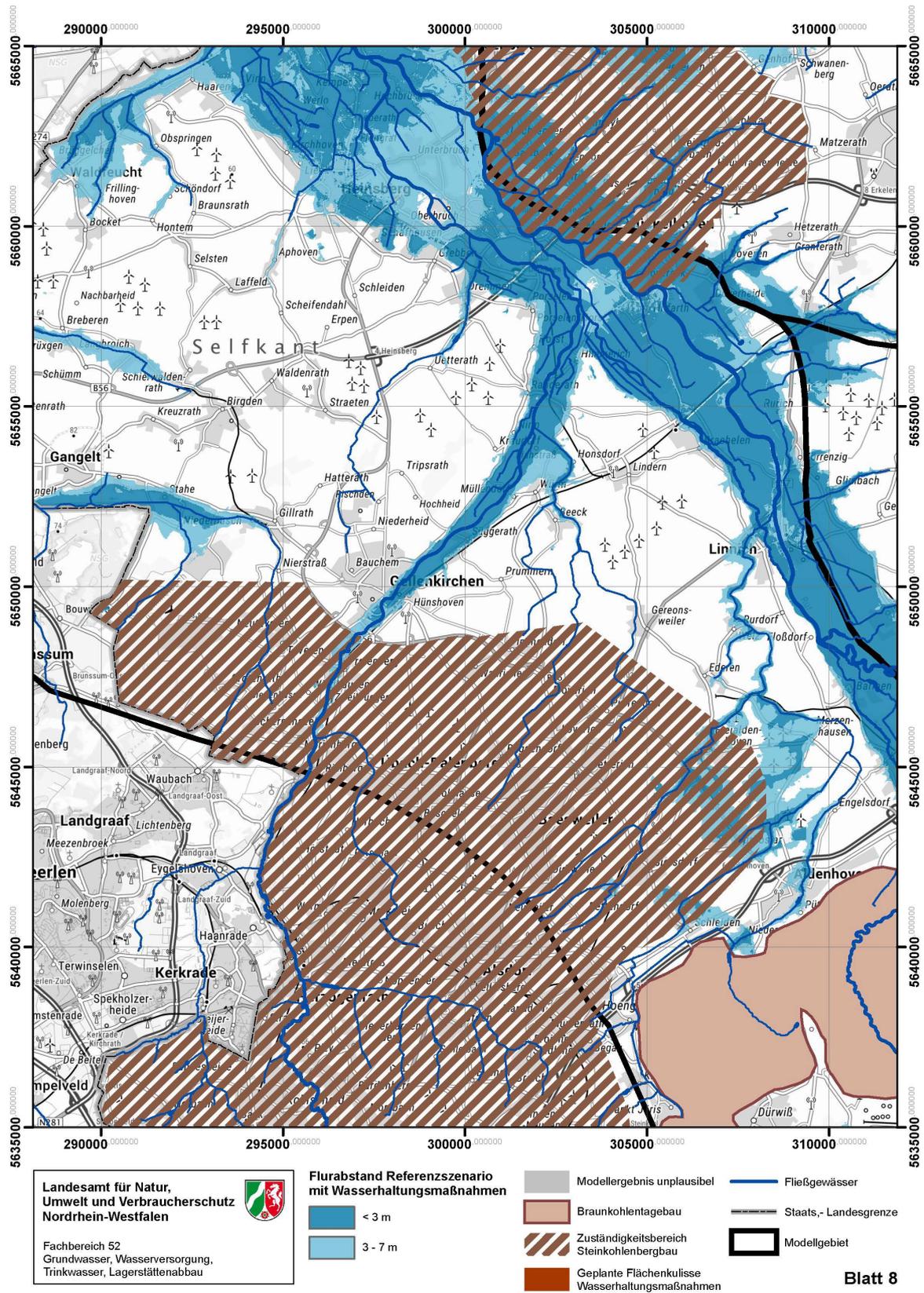


Abbildung A 83: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 8

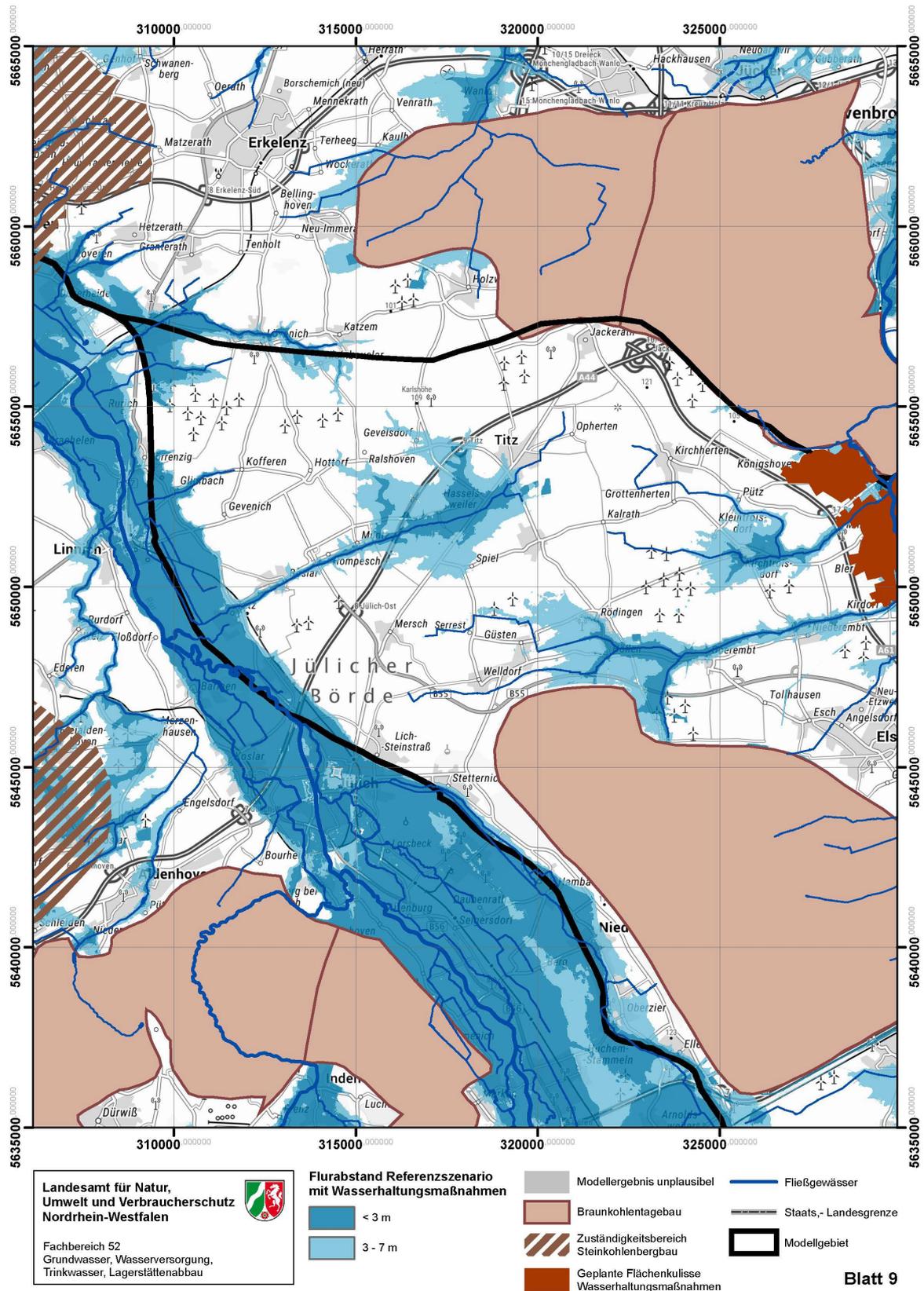


Abbildung A 84: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 9

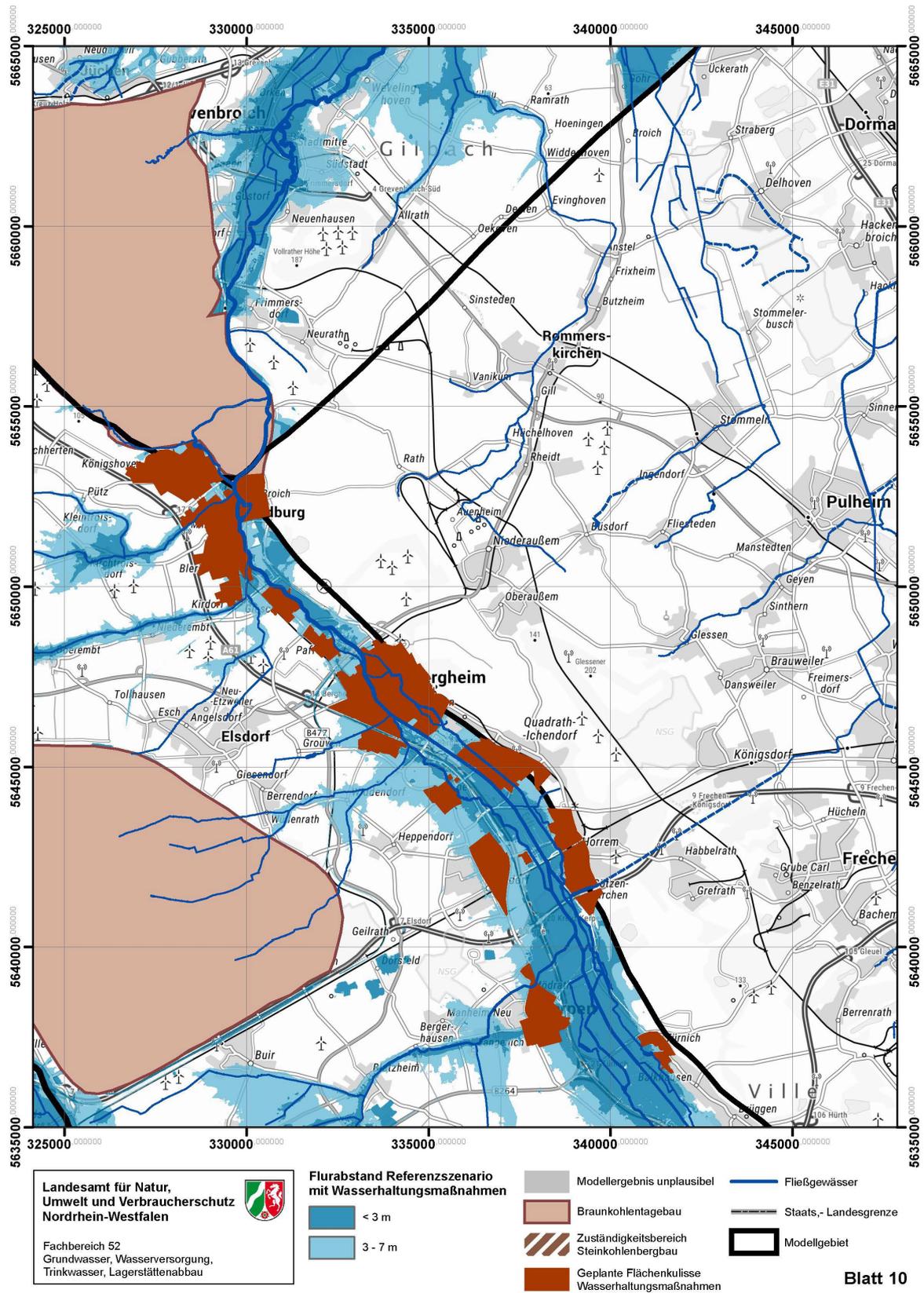


Abbildung A 85: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 10

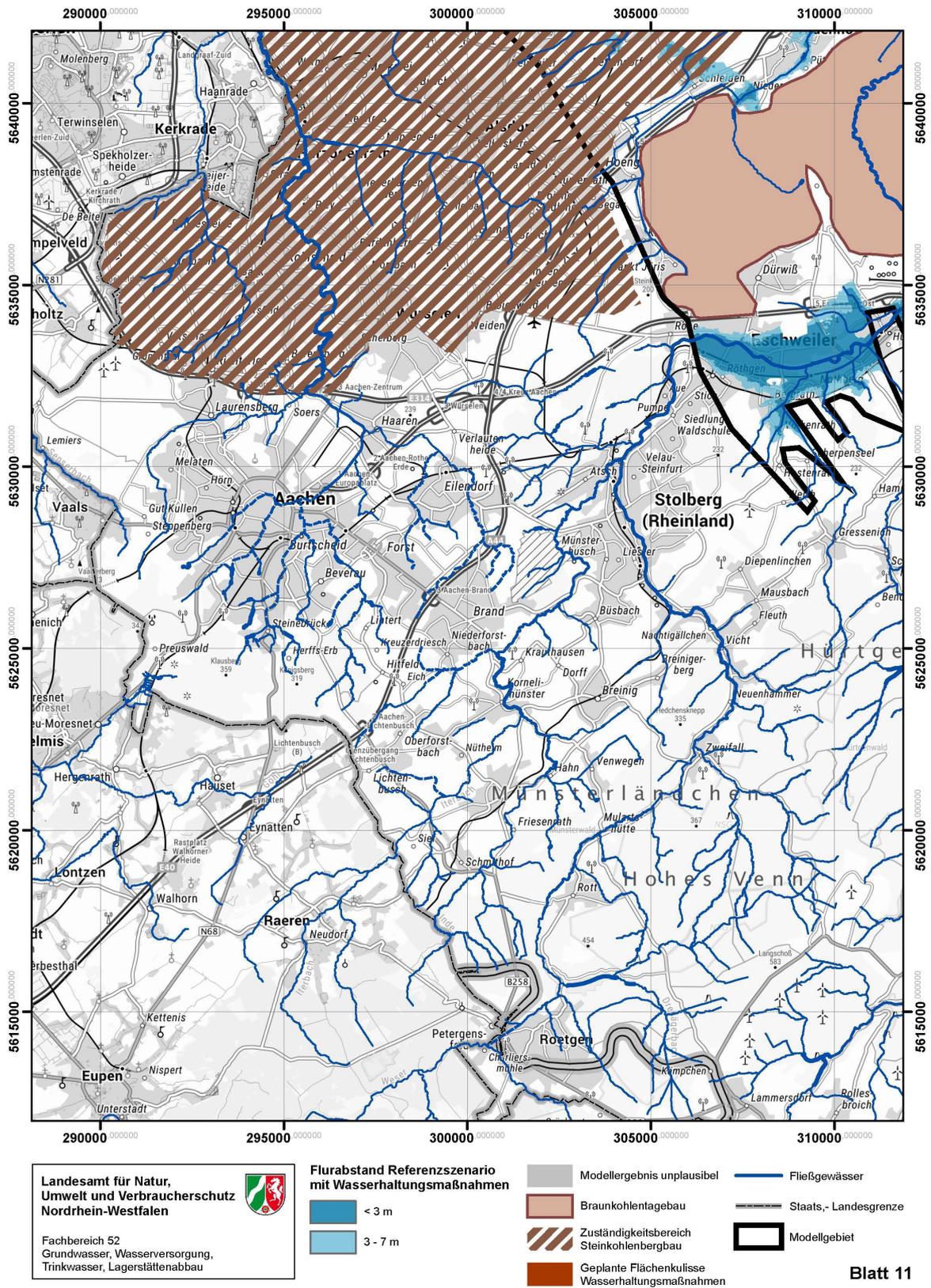


Abbildung A 86: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 11

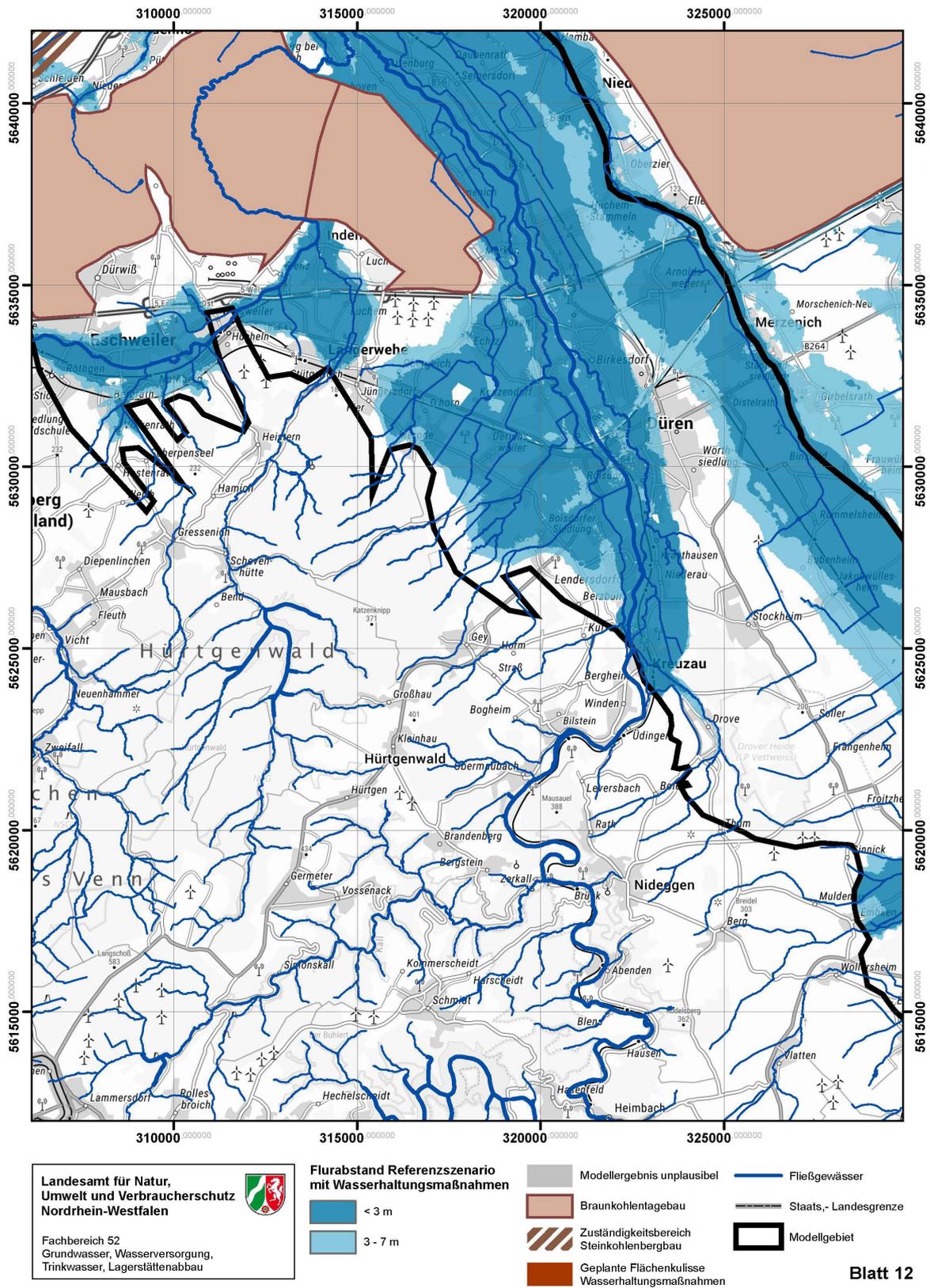


Abbildung A 87: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 12

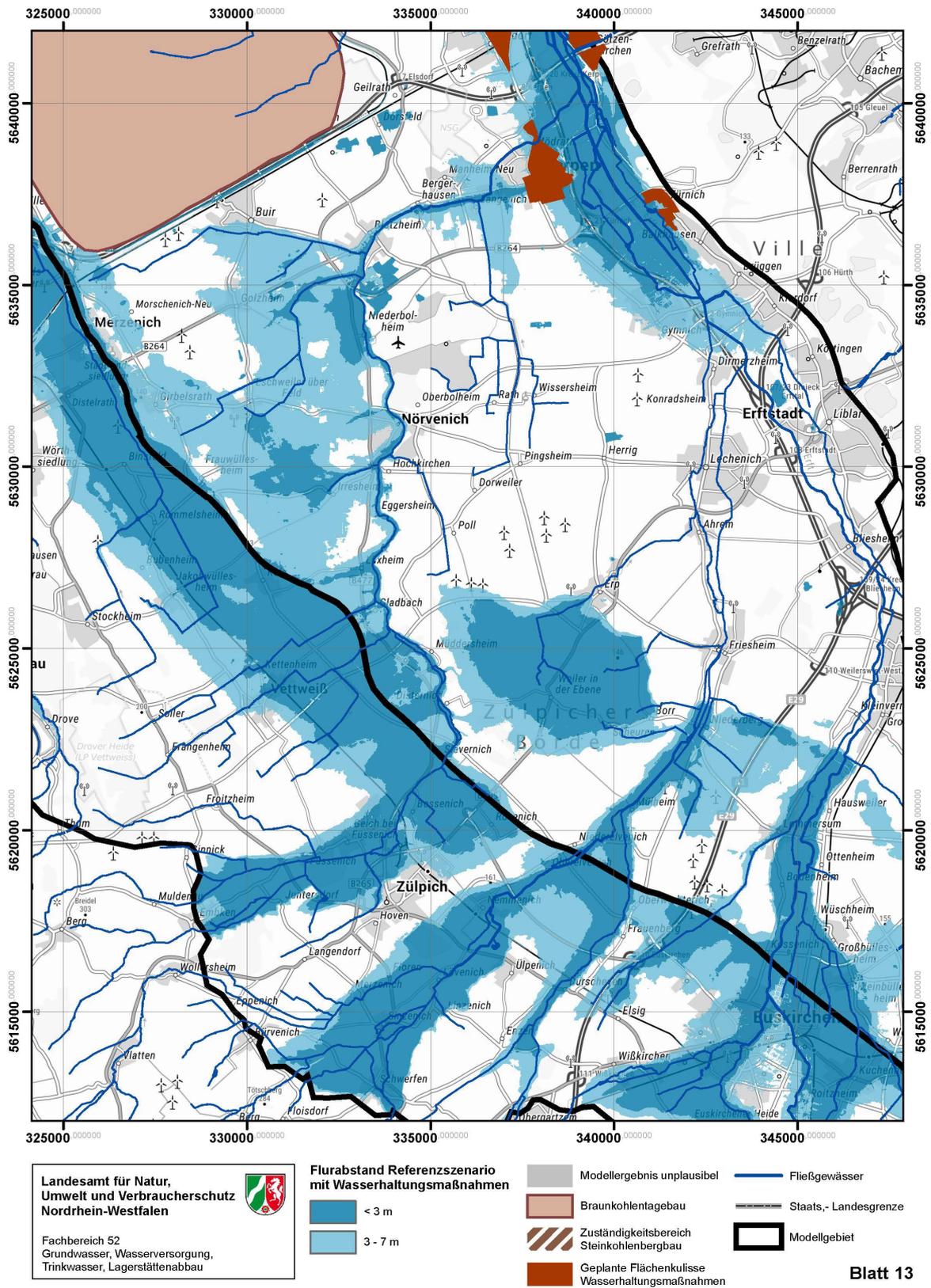


Abbildung A 88: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 13

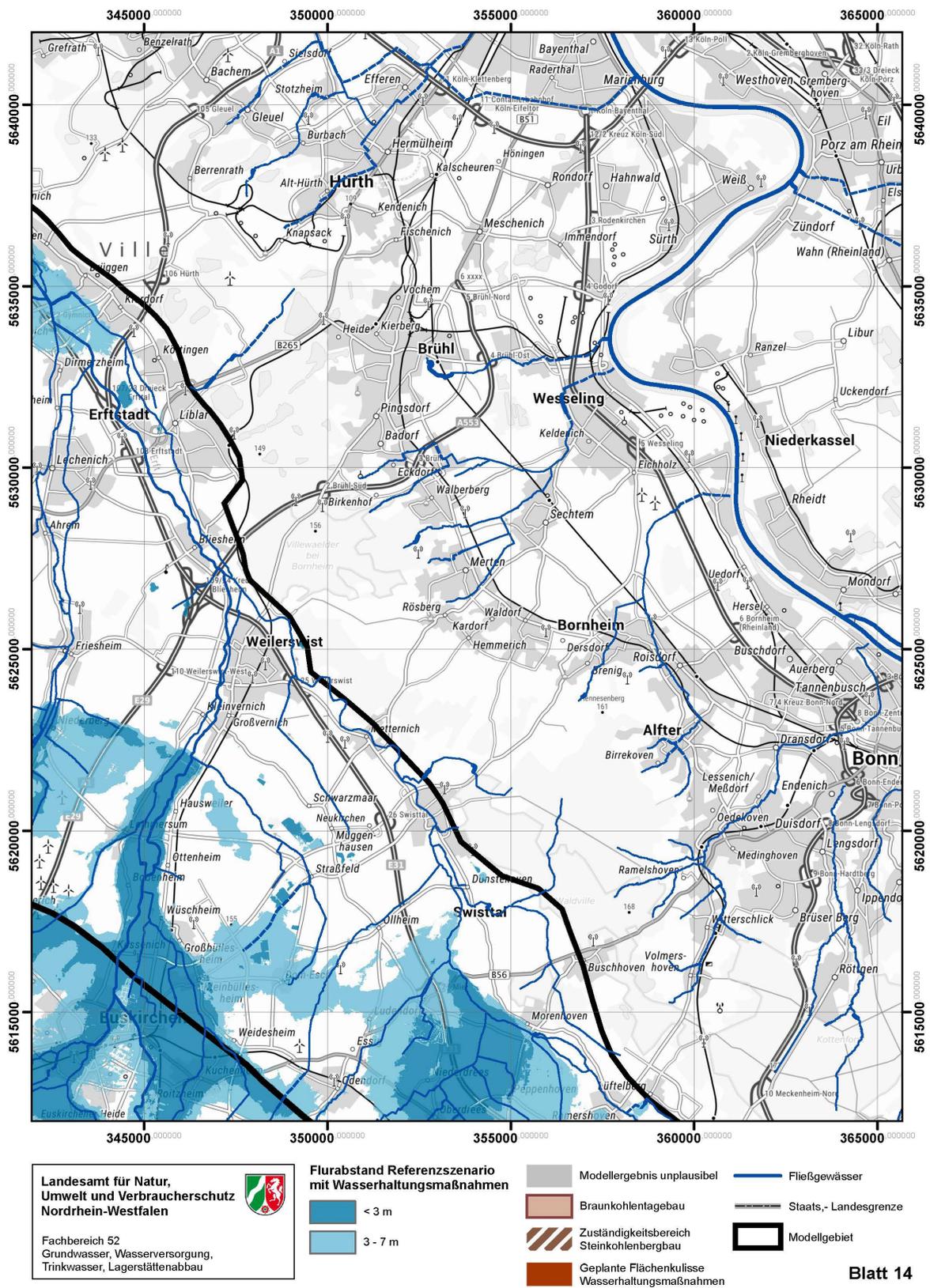


Abbildung A 89: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 14

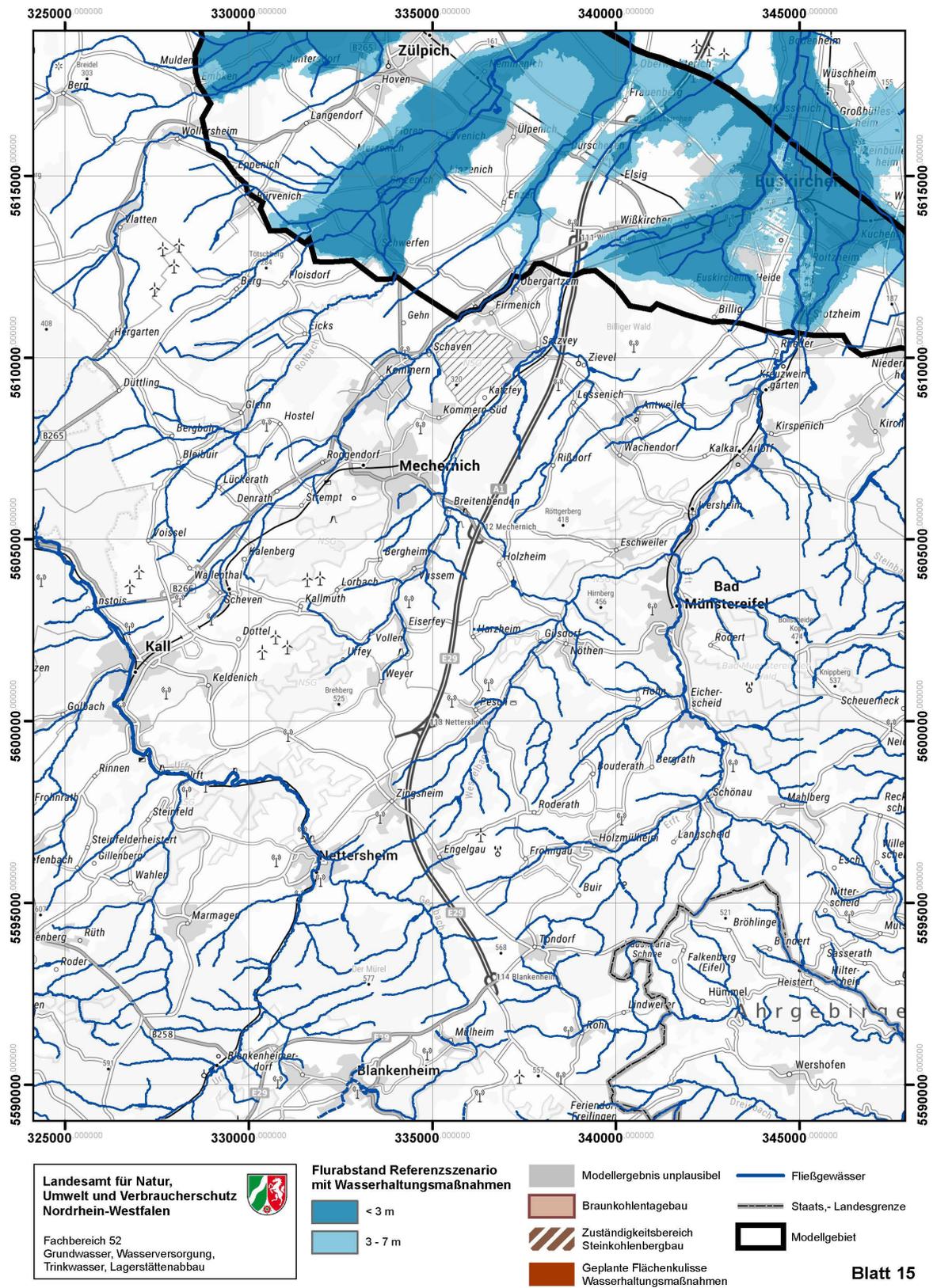


Abbildung A 90: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 15

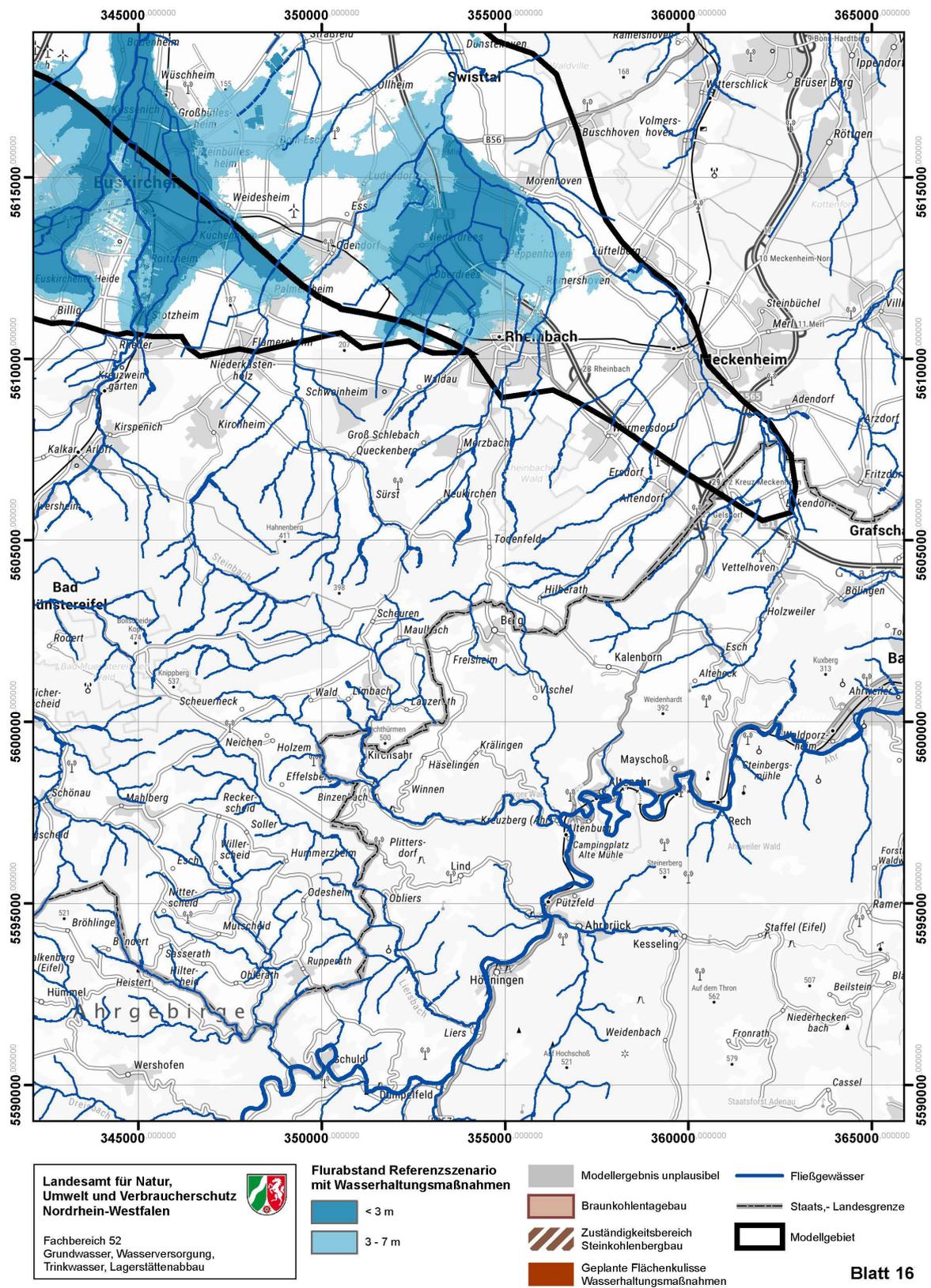


Abbildung A 91: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 16

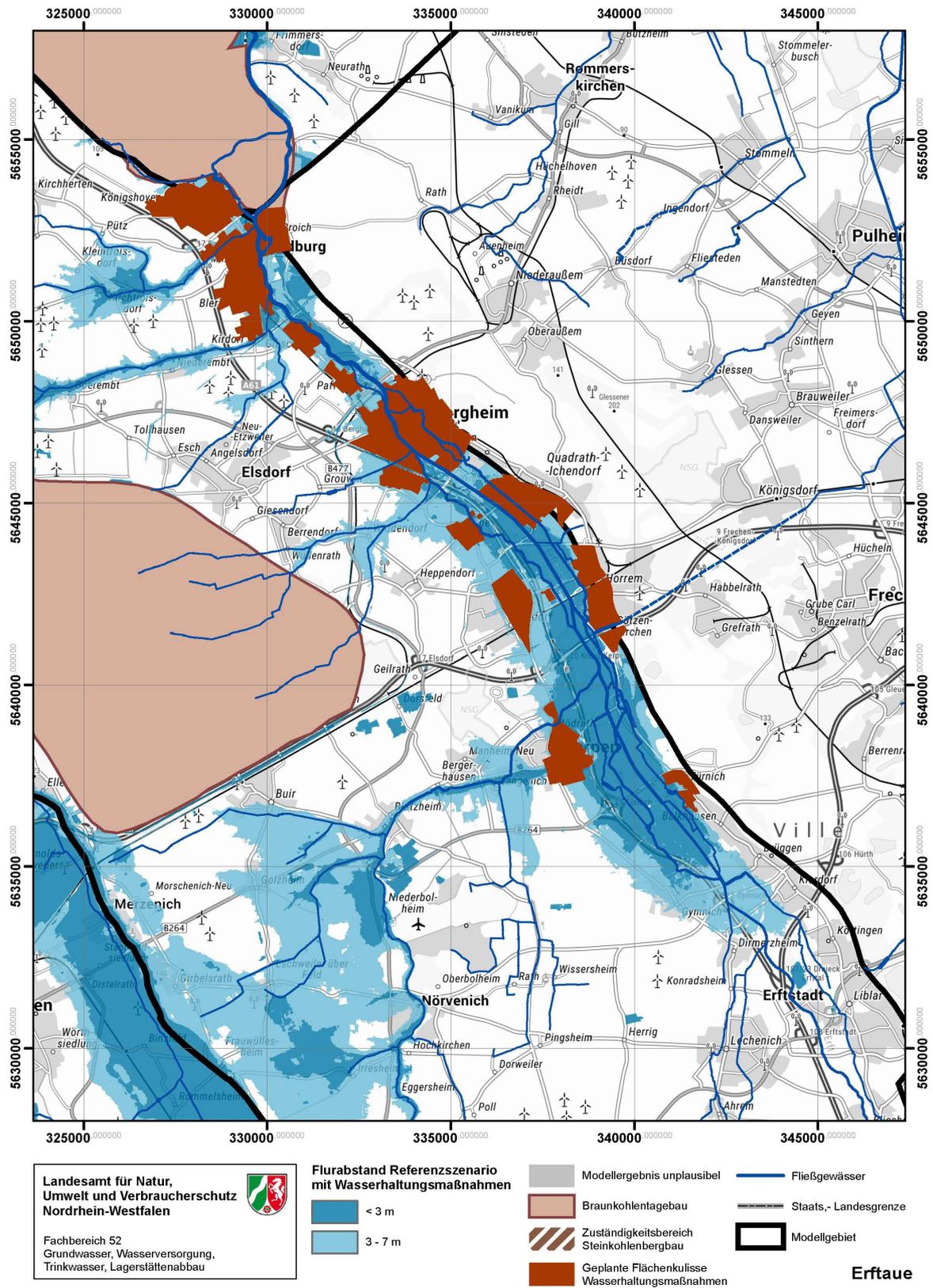
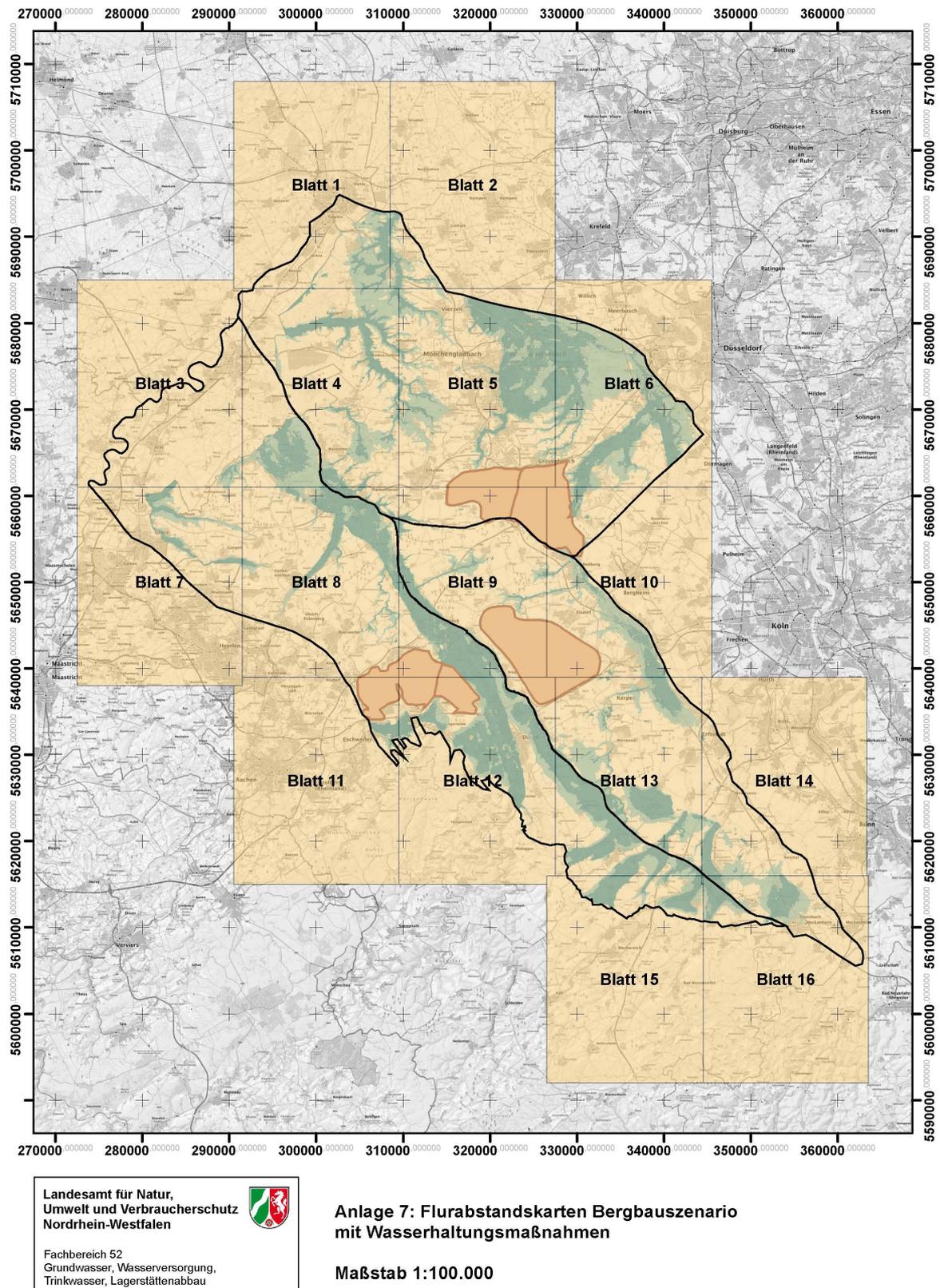


Abbildung A 92: Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Erftaue

**Anlage 7: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen**



**Abbildung A 93:** Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Übersicht

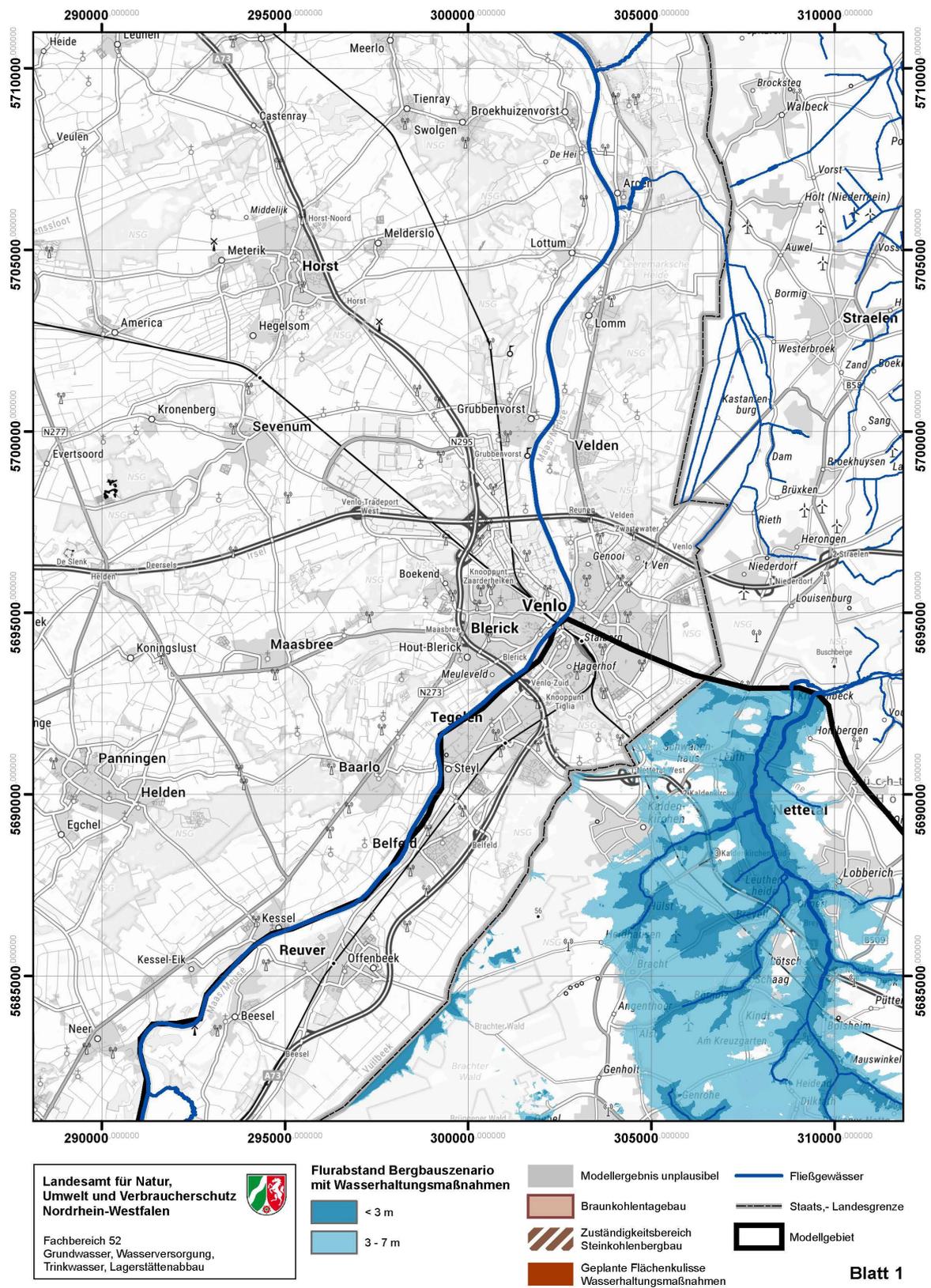


Abbildung A 94: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 1

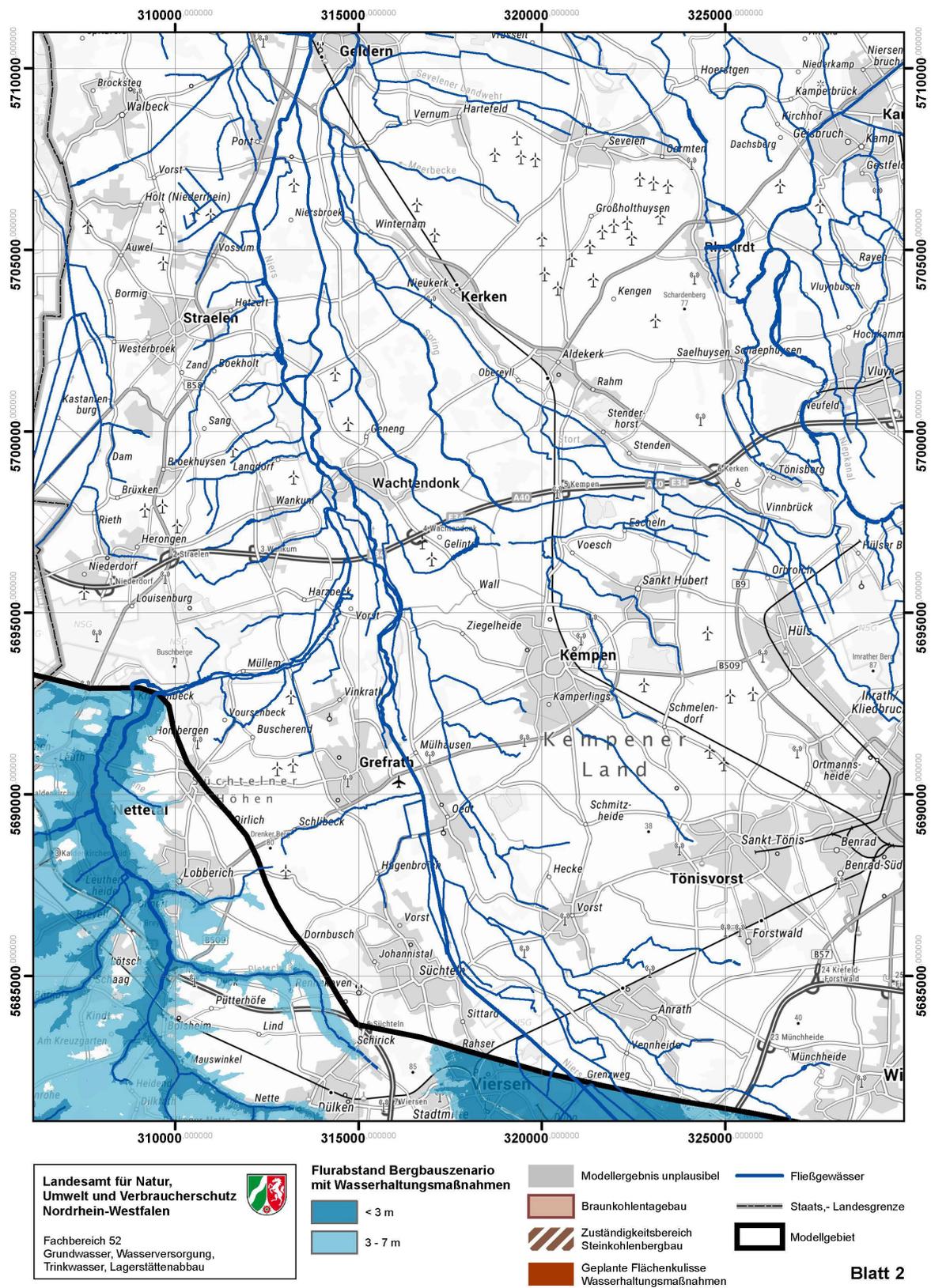


Abbildung A 95: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 2

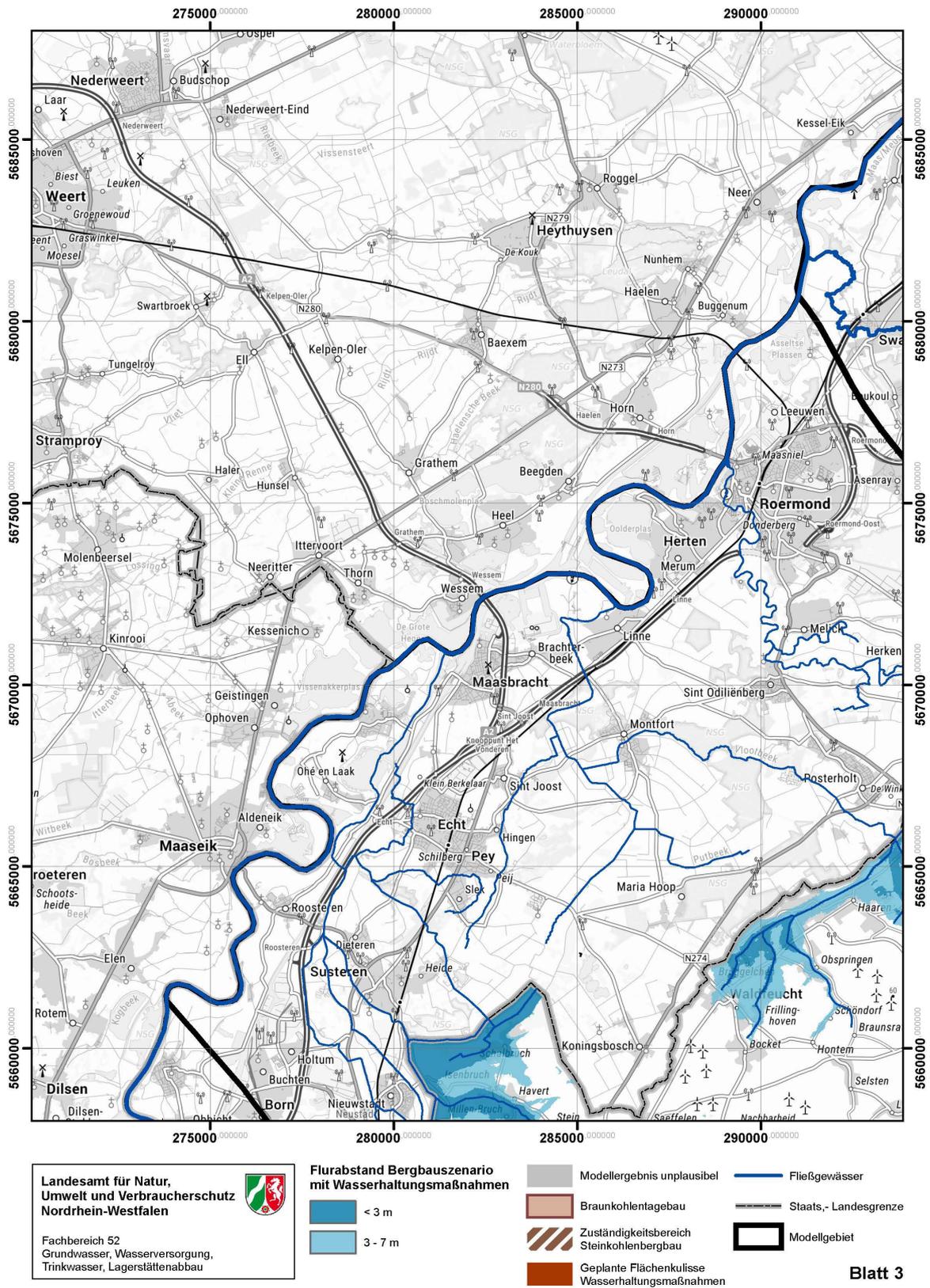


Abbildung A 96: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 3

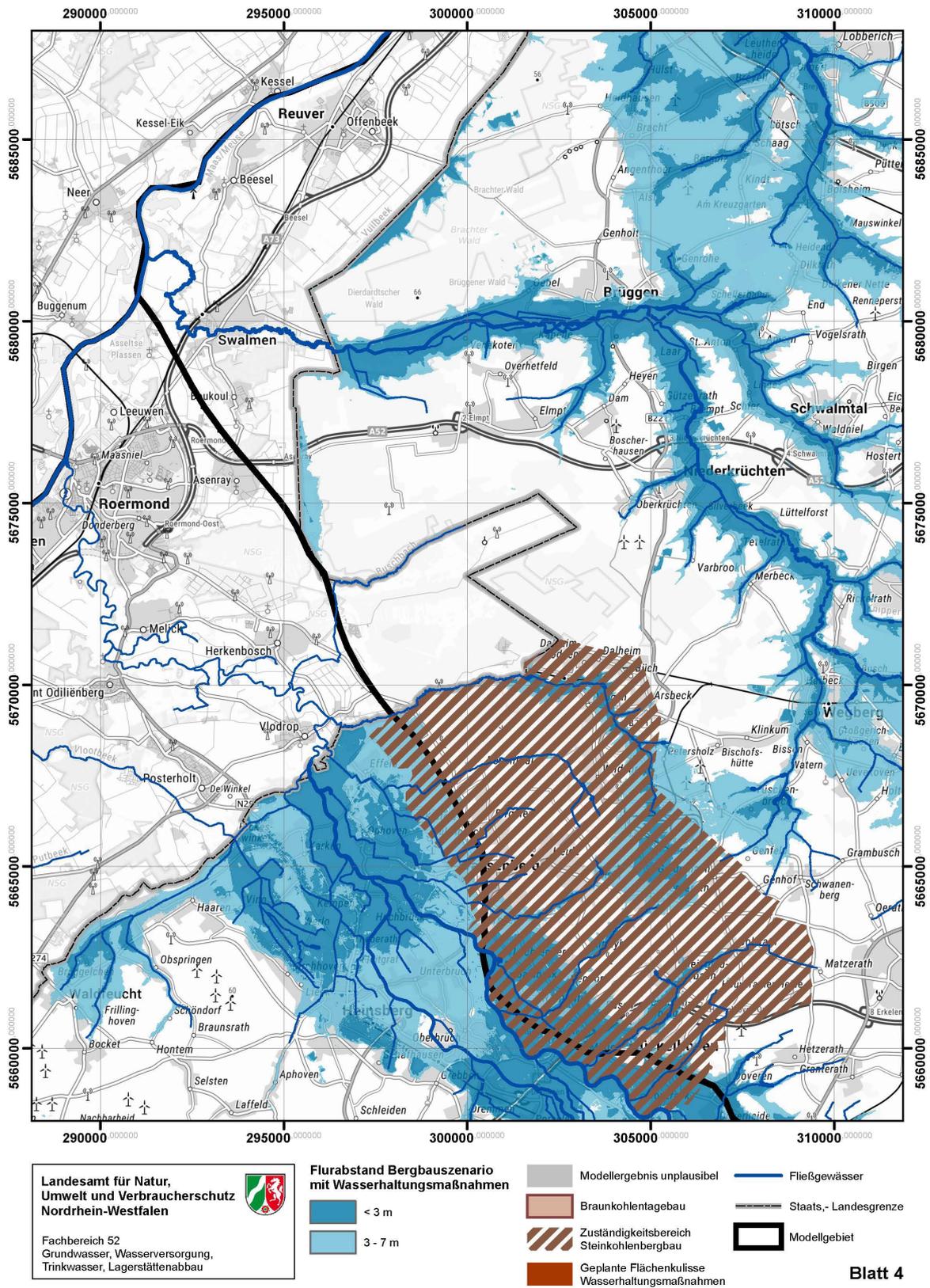


Abbildung A 97: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 4

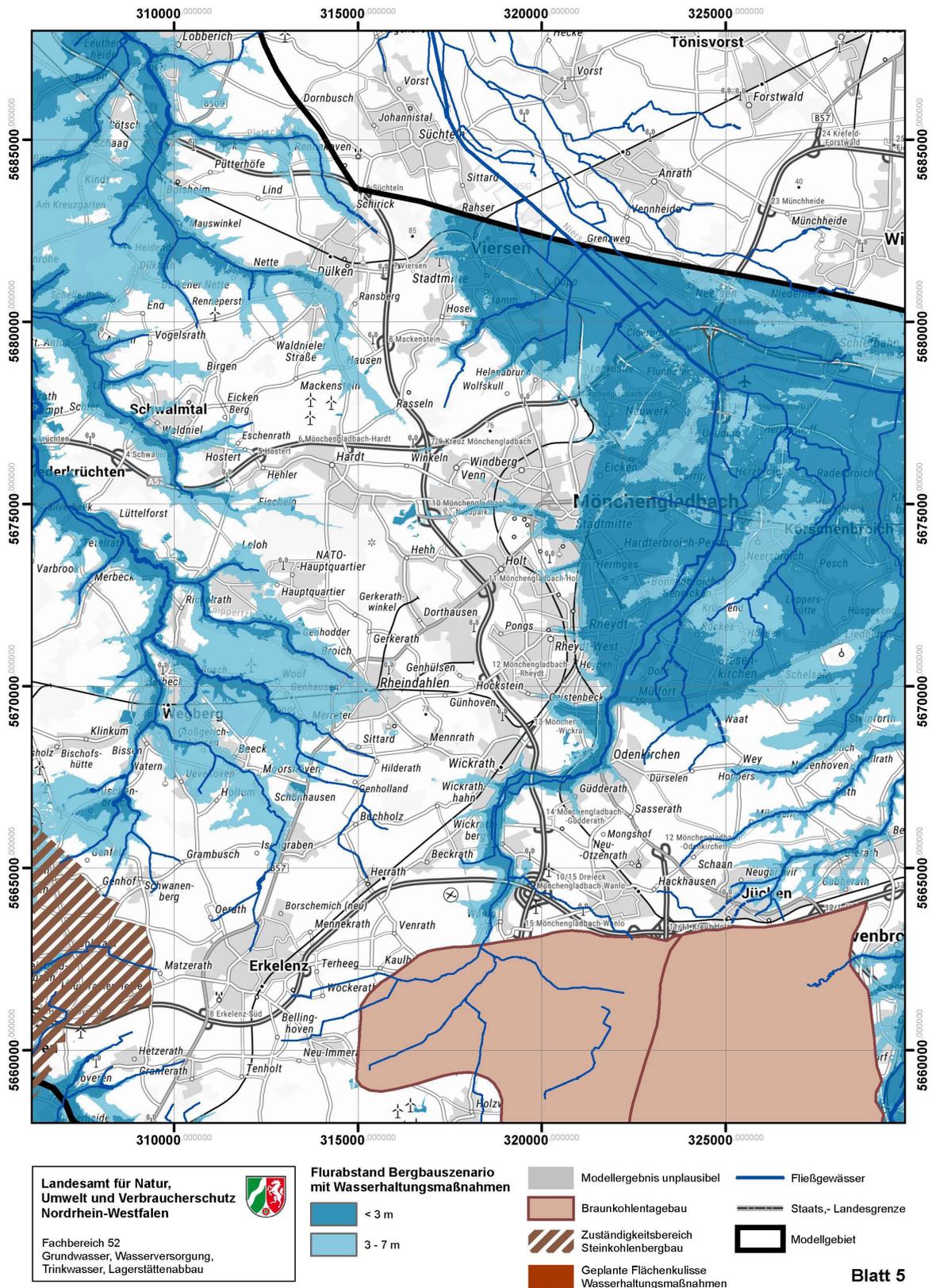


Abbildung A 98: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 5

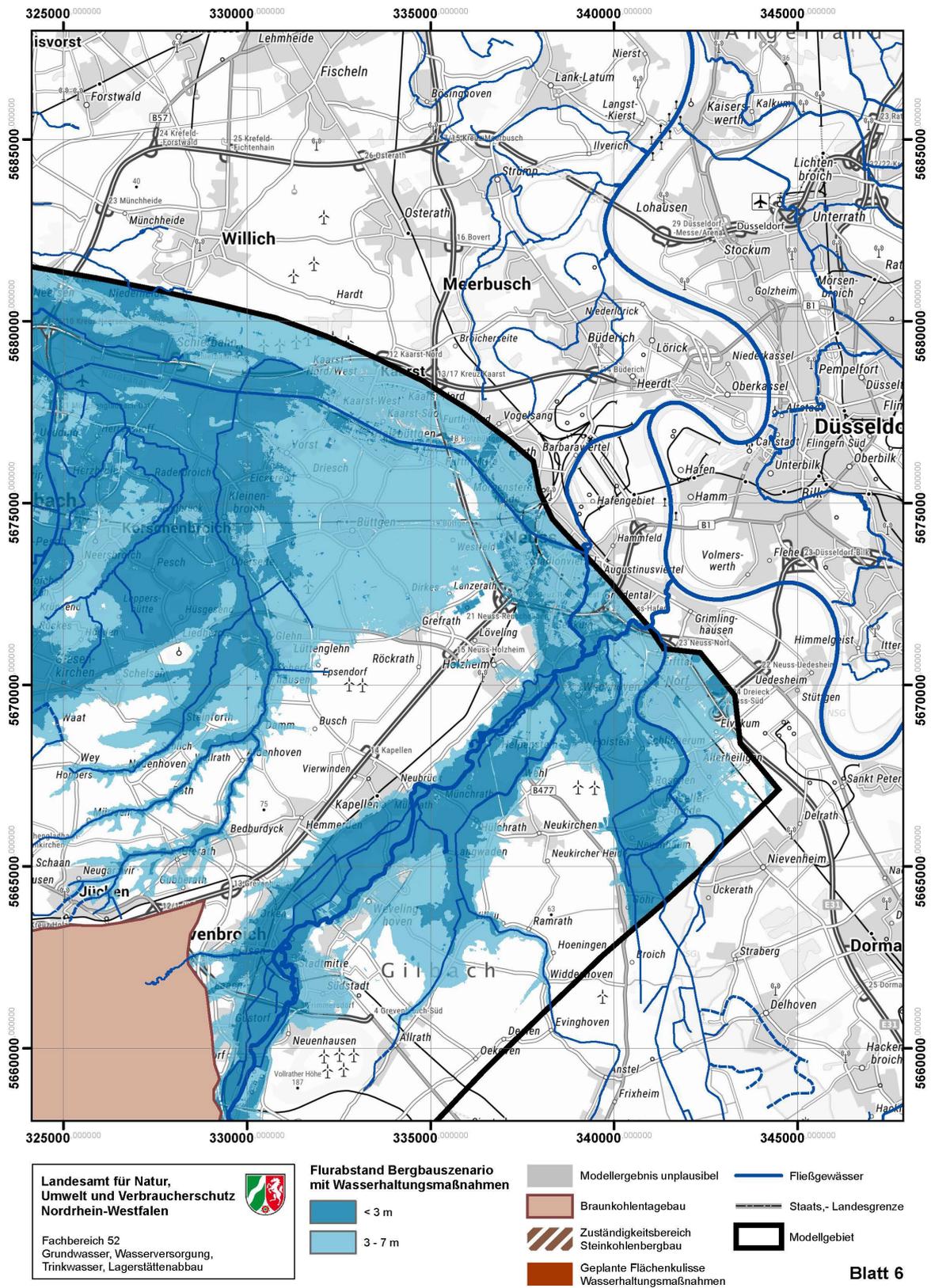


Abbildung A 99: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 6

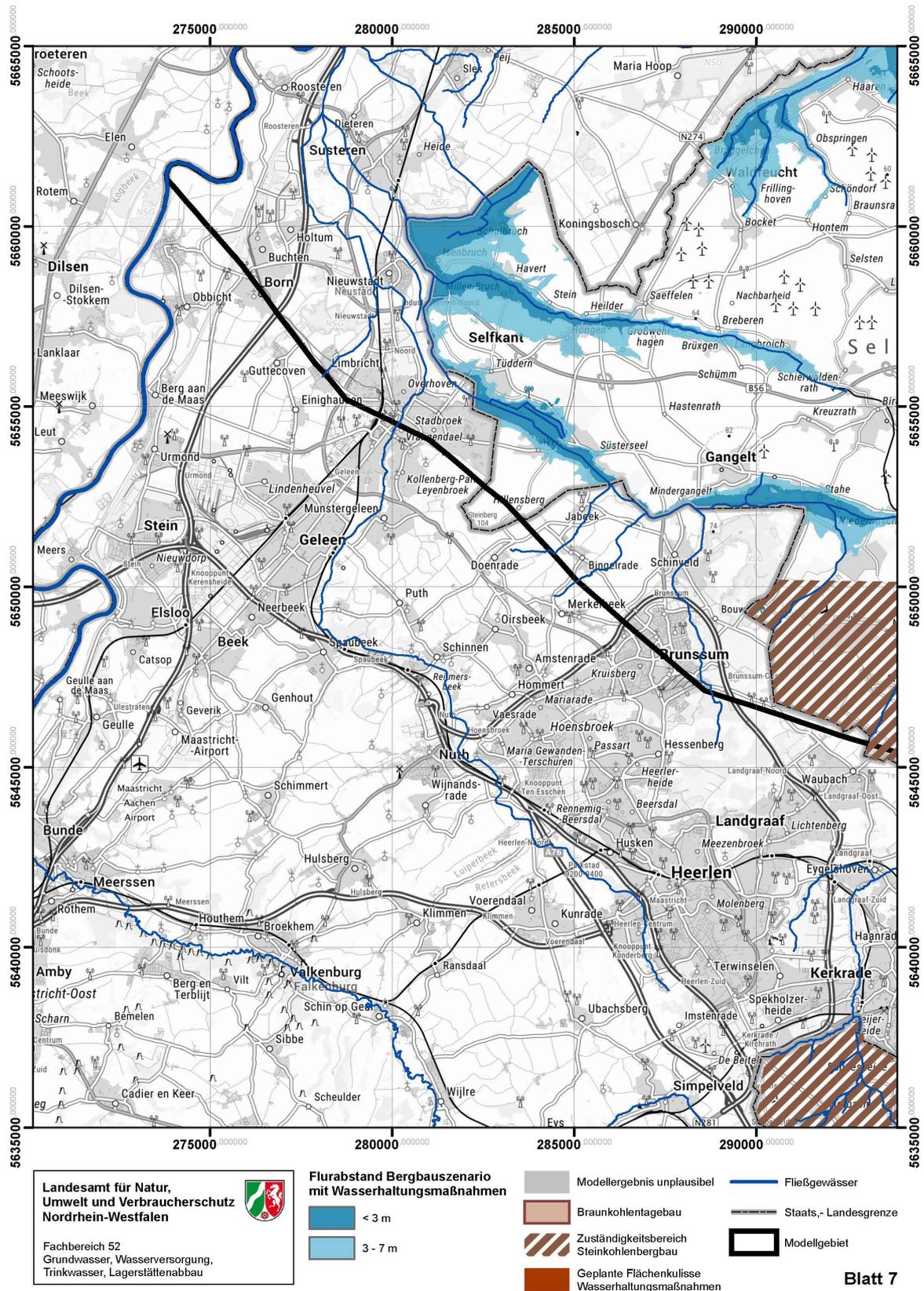


Abbildung A 100: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 7

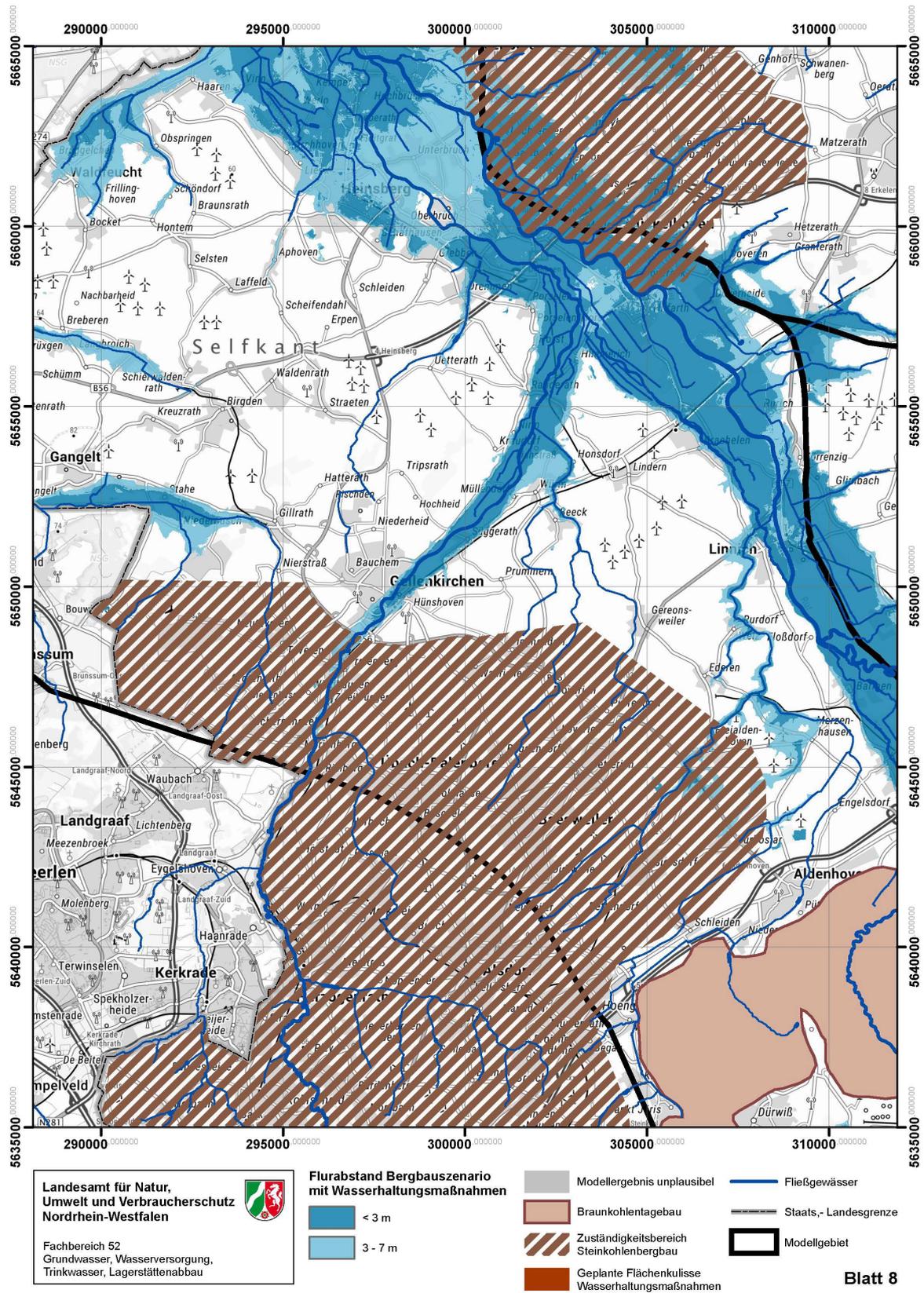


Abbildung A 101: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 8

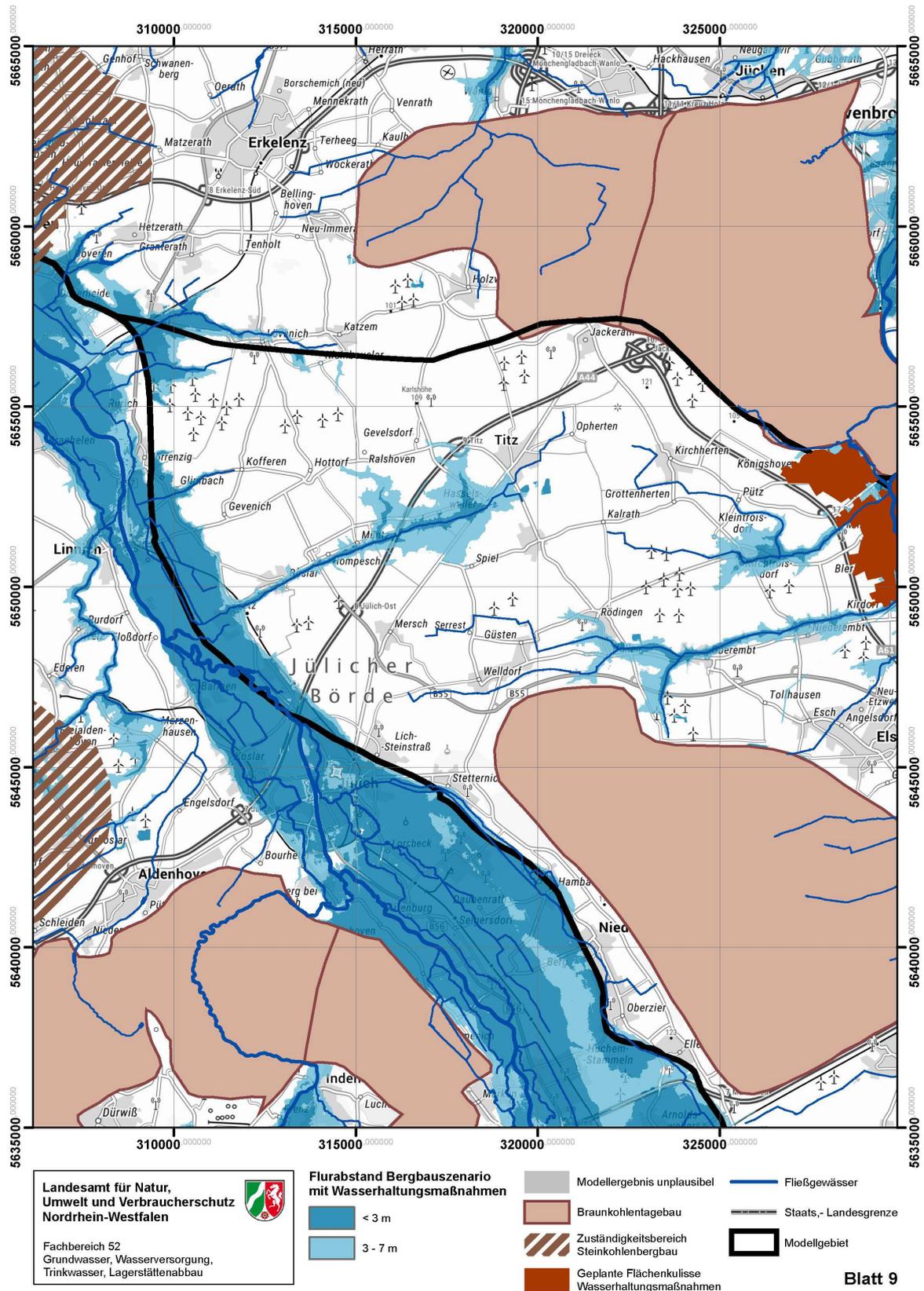


Abbildung A 102: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 9

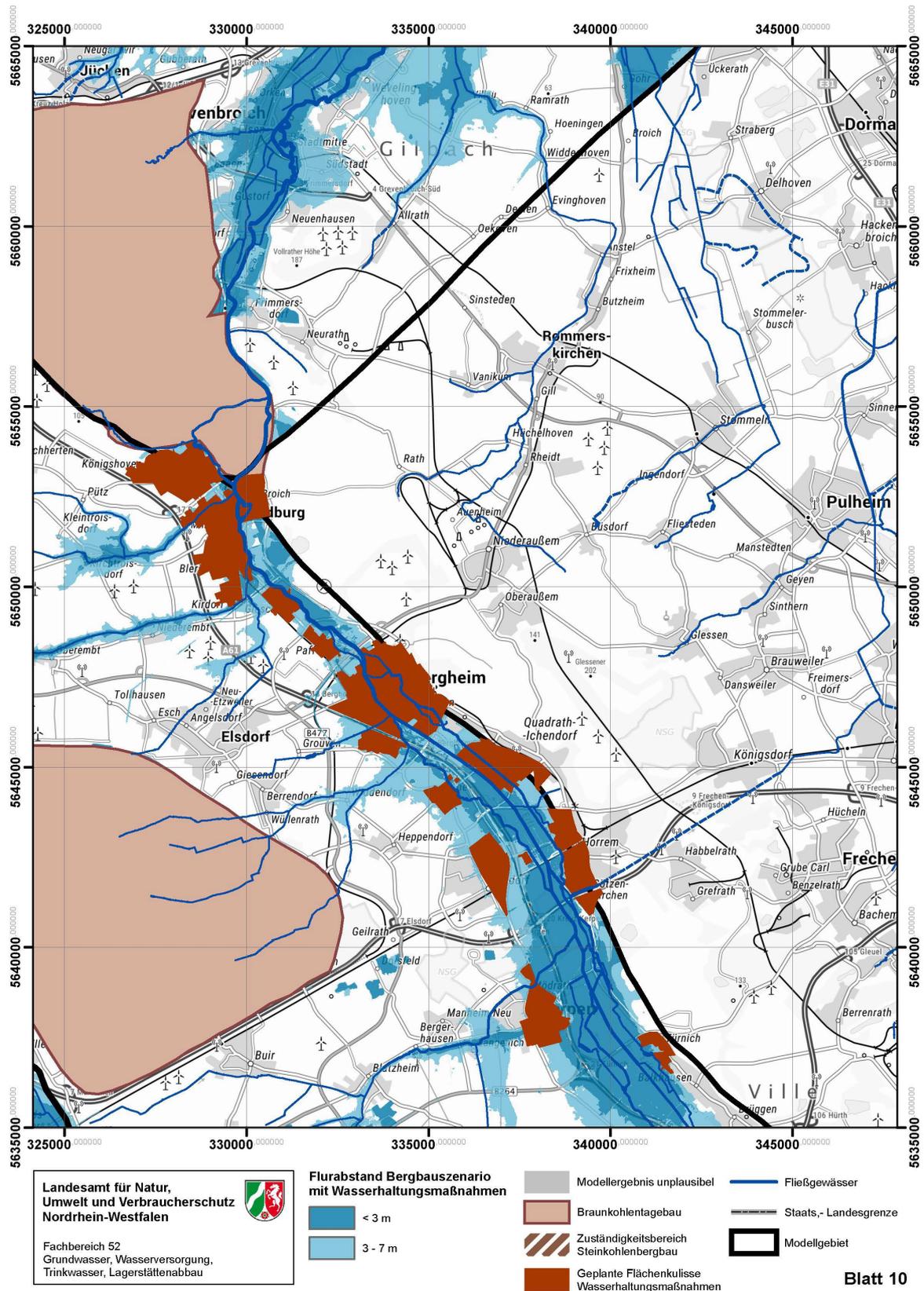


Abbildung A 103: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 10

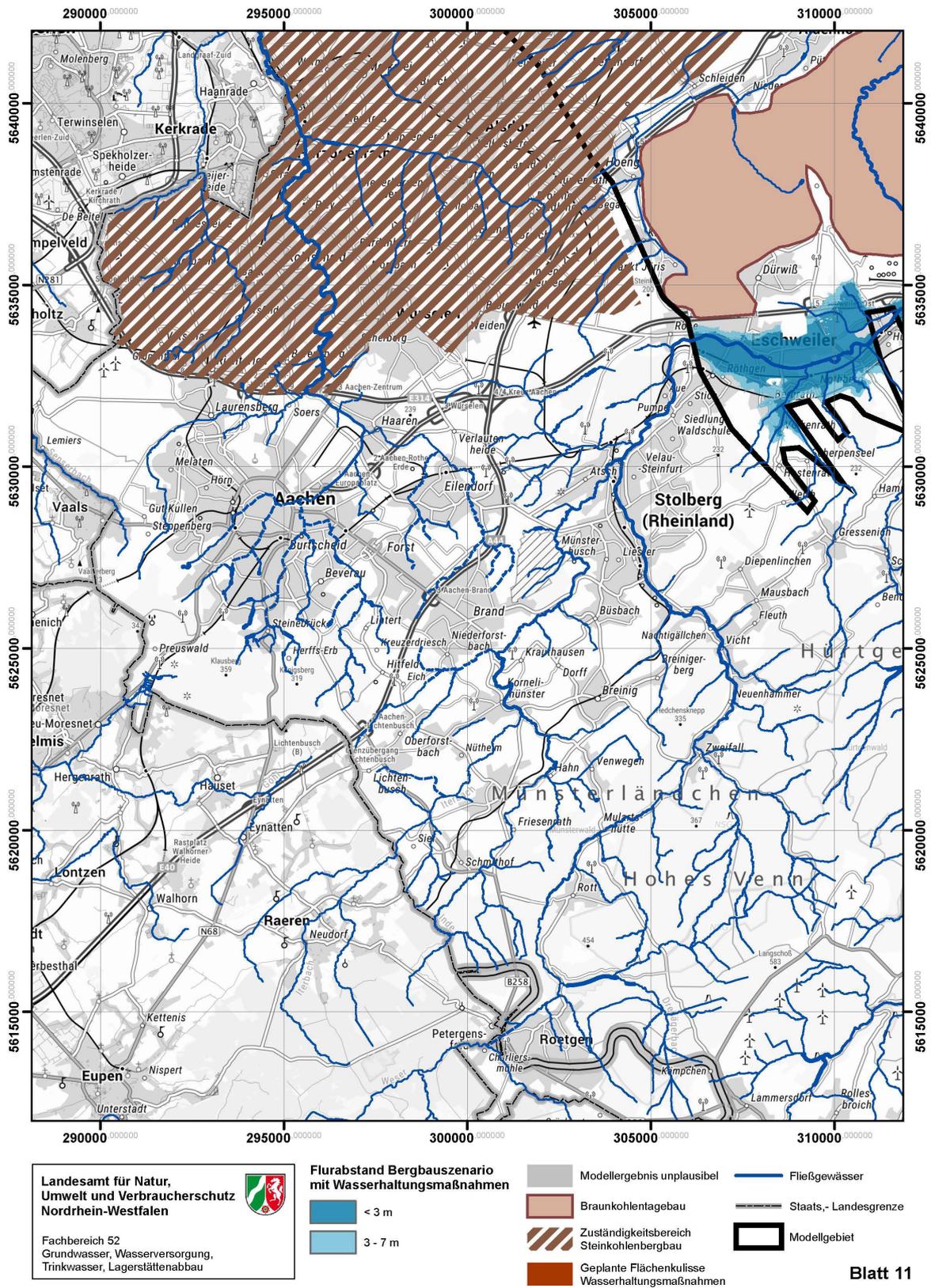


Abbildung A 104: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 11

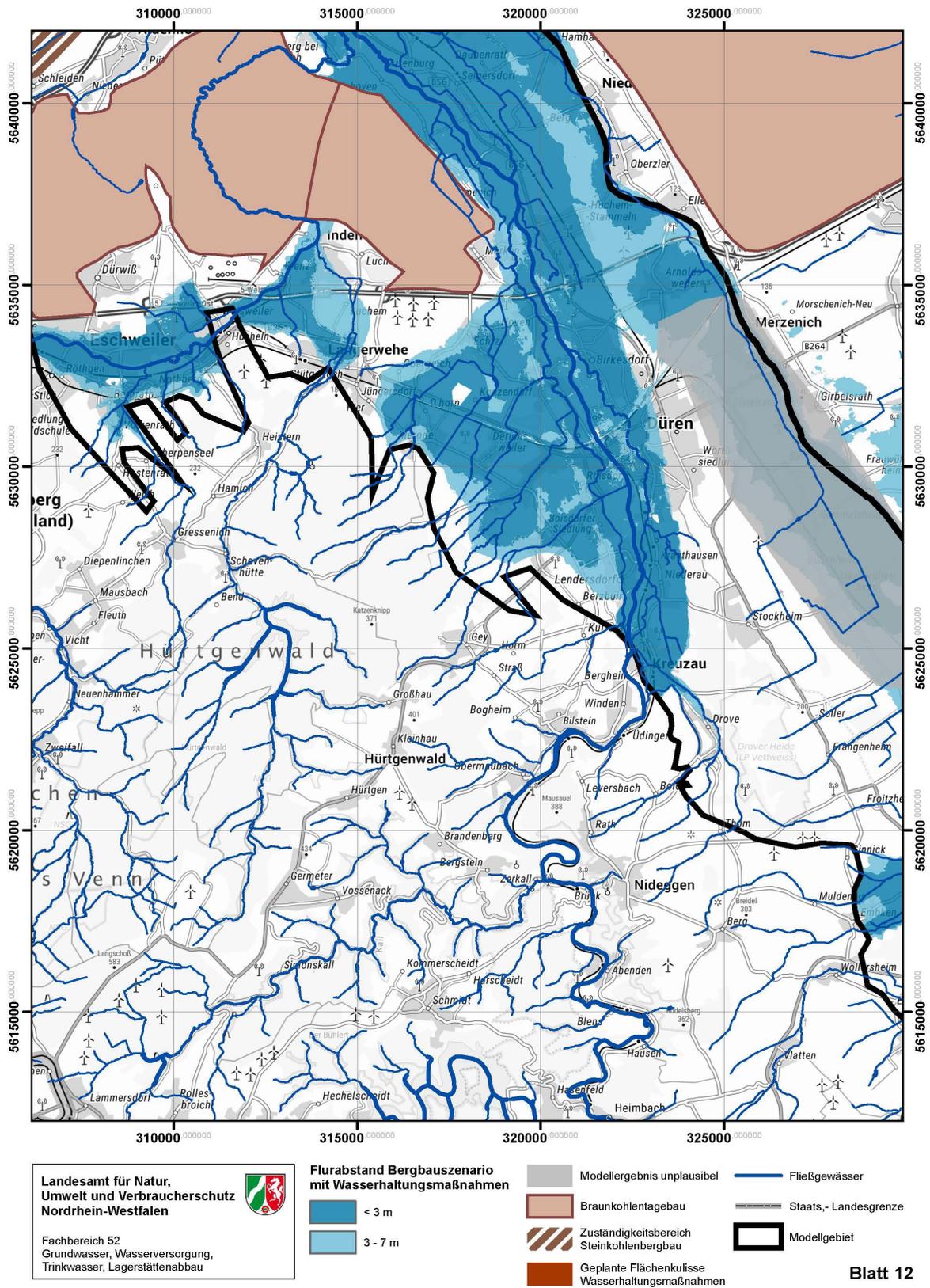


Abbildung A 105: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 12

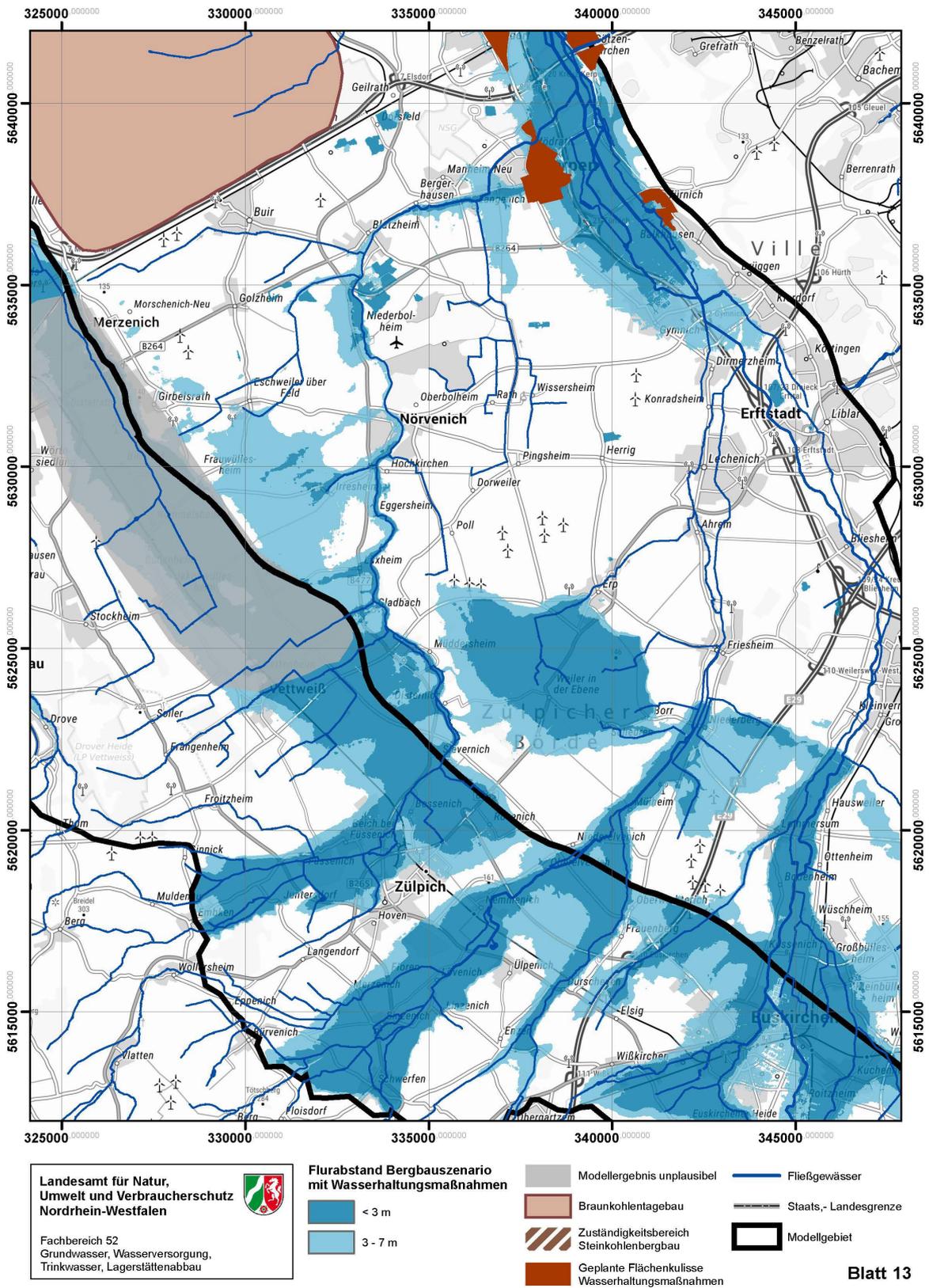


Abbildung A 106: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 13

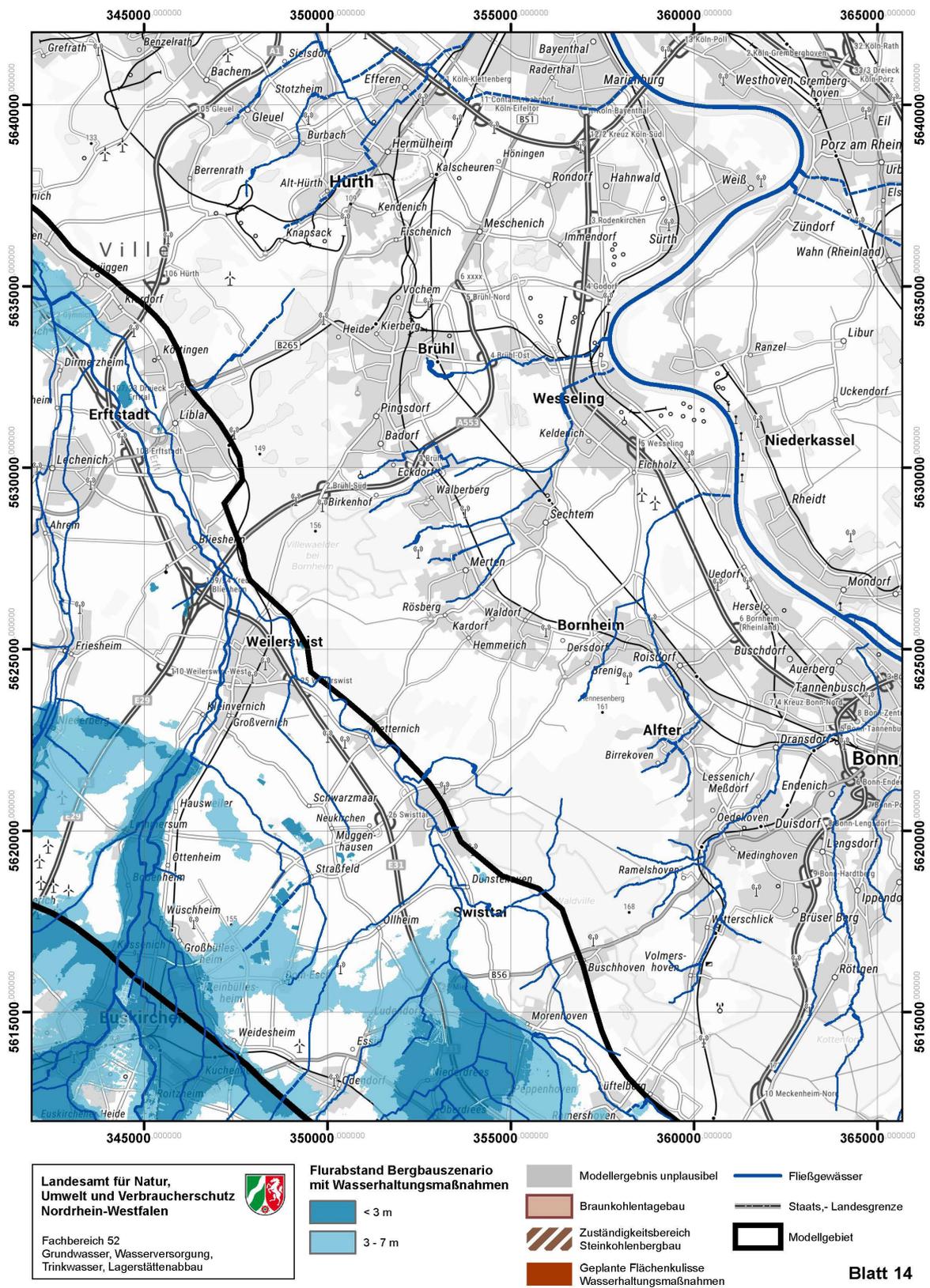


Abbildung A 107: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 14

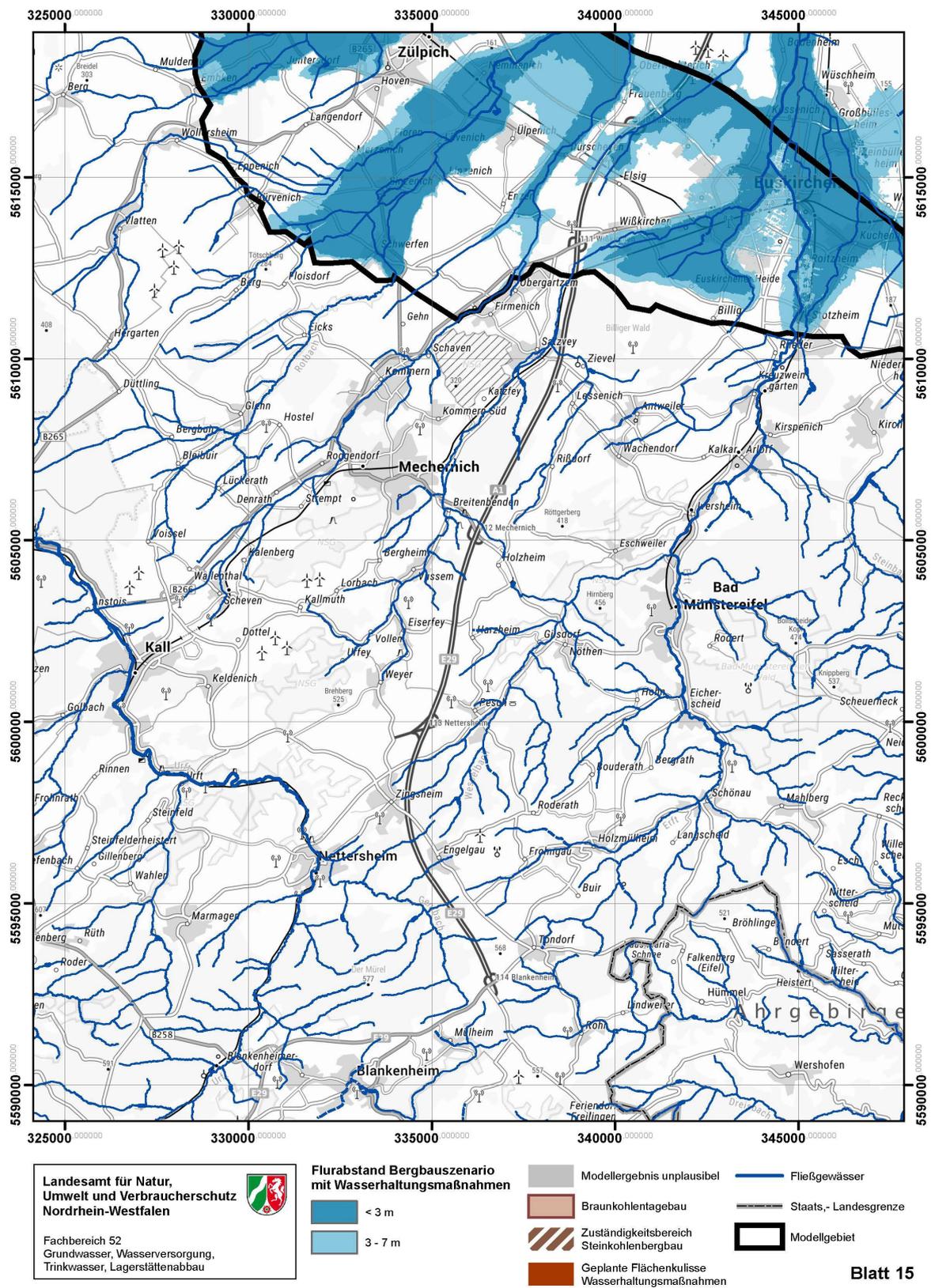


Abbildung A 108: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 15

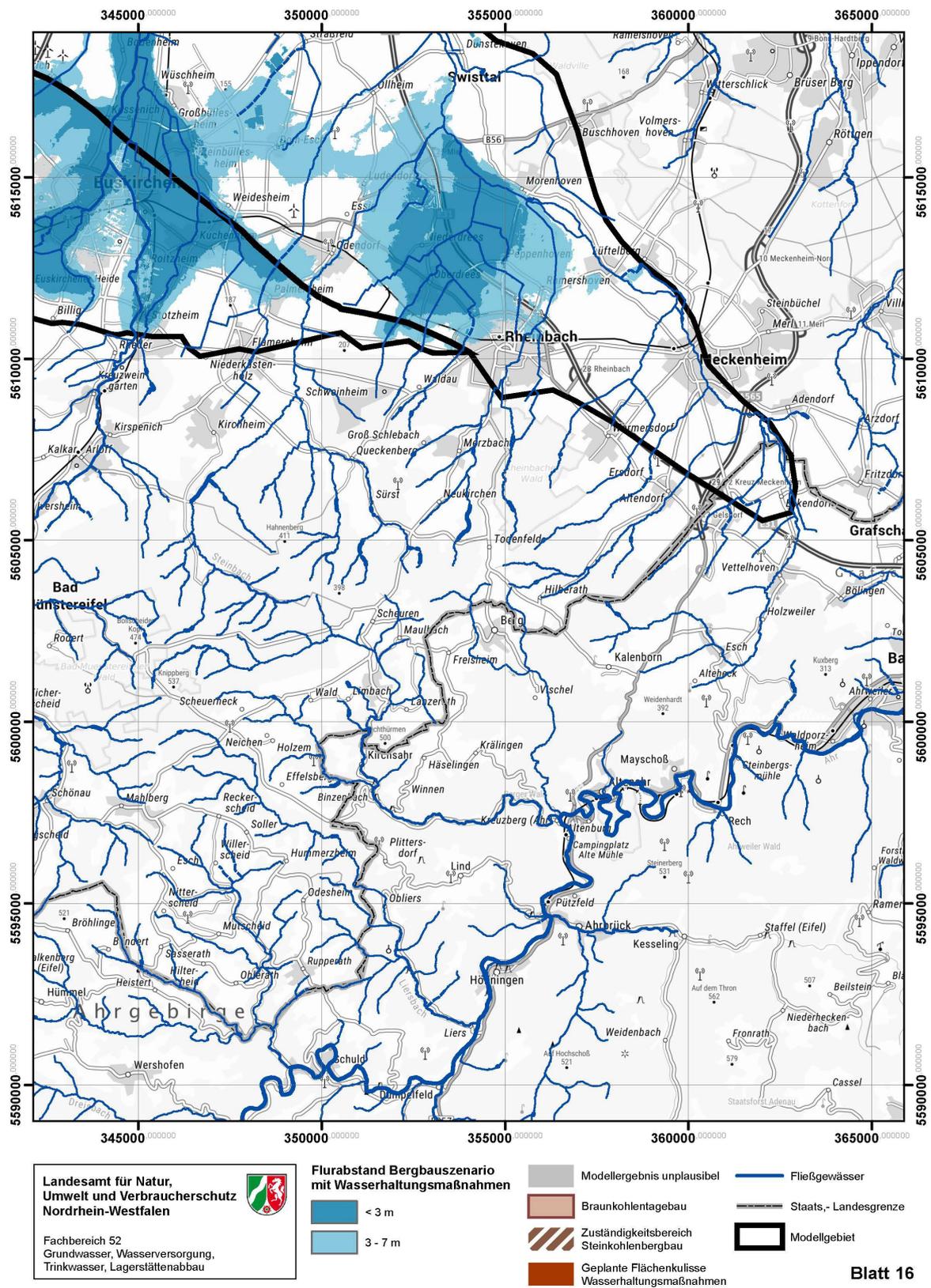


Abbildung A 109: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 16

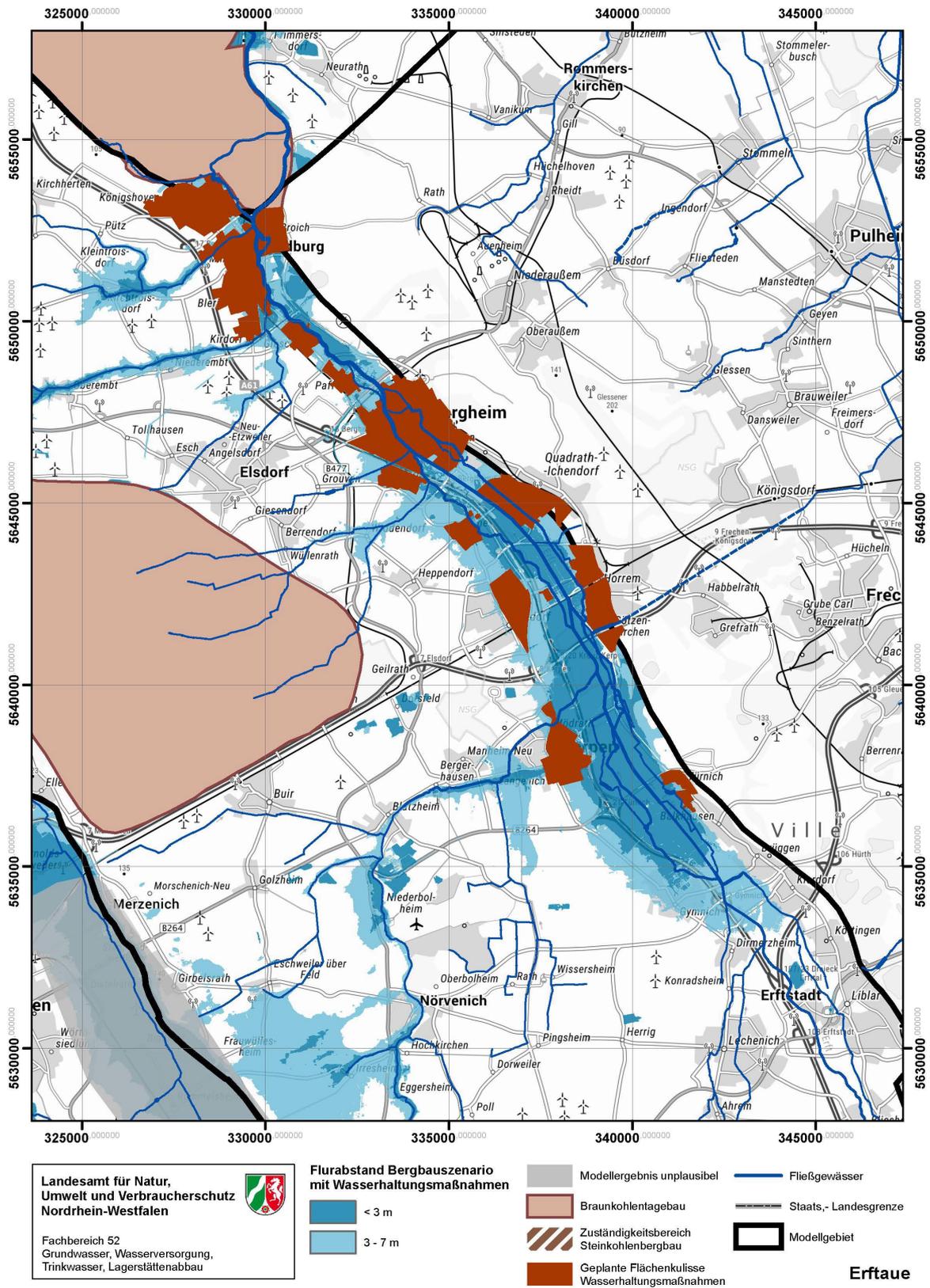
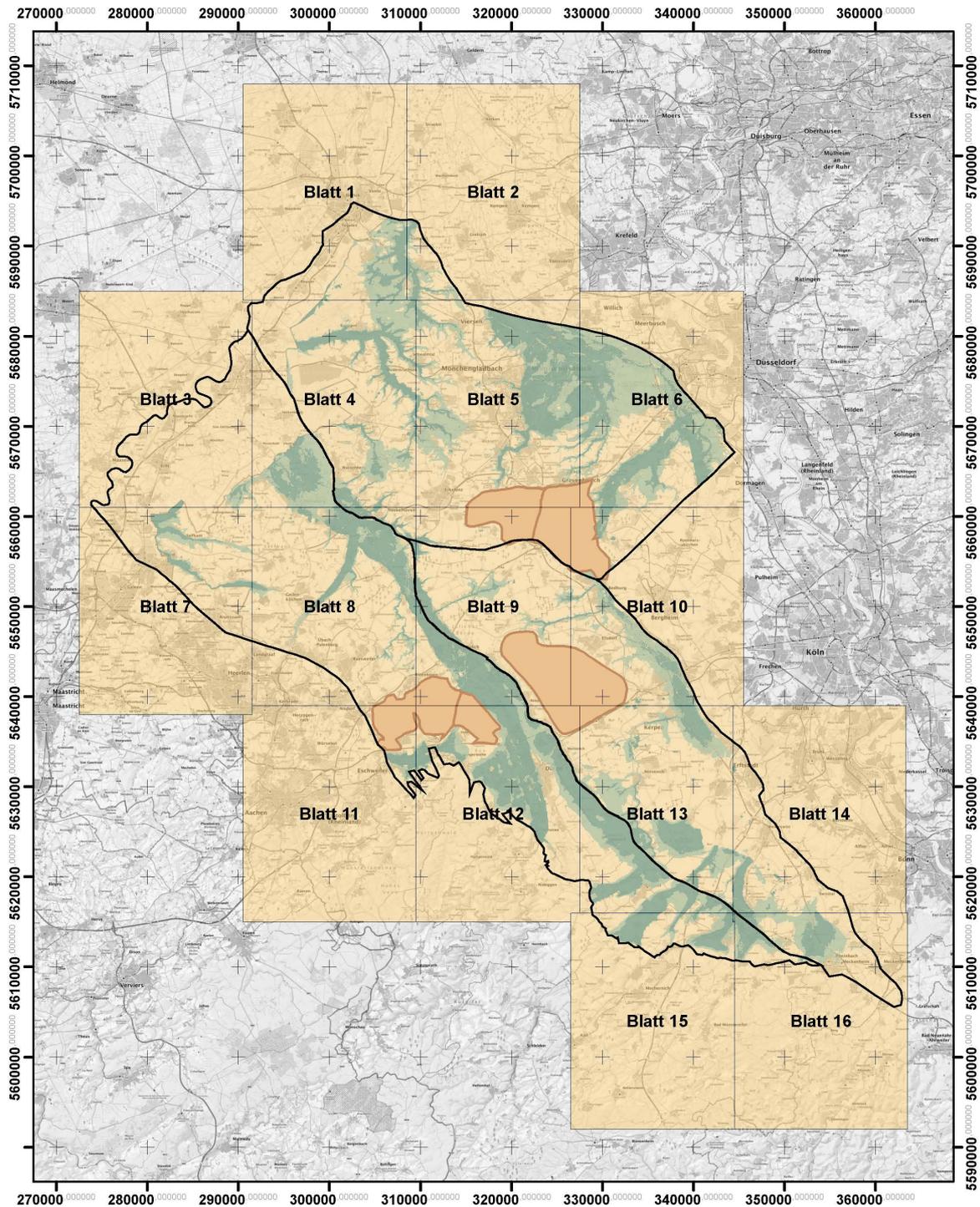


Abbildung A 110: Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Erftaue

**Anlage 8: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen**



Landesamt für Natur,  
Umwelt und Verbraucherschutz  
Nordrhein-Westfalen



Fachbereich 52  
Grundwasser, Wasserversorgung,  
Trinkwasser, Lagerstättenabbau

**Anlage 8: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen**

Maßstab 1:100.000

**Abbildung A 111:** Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Übersicht

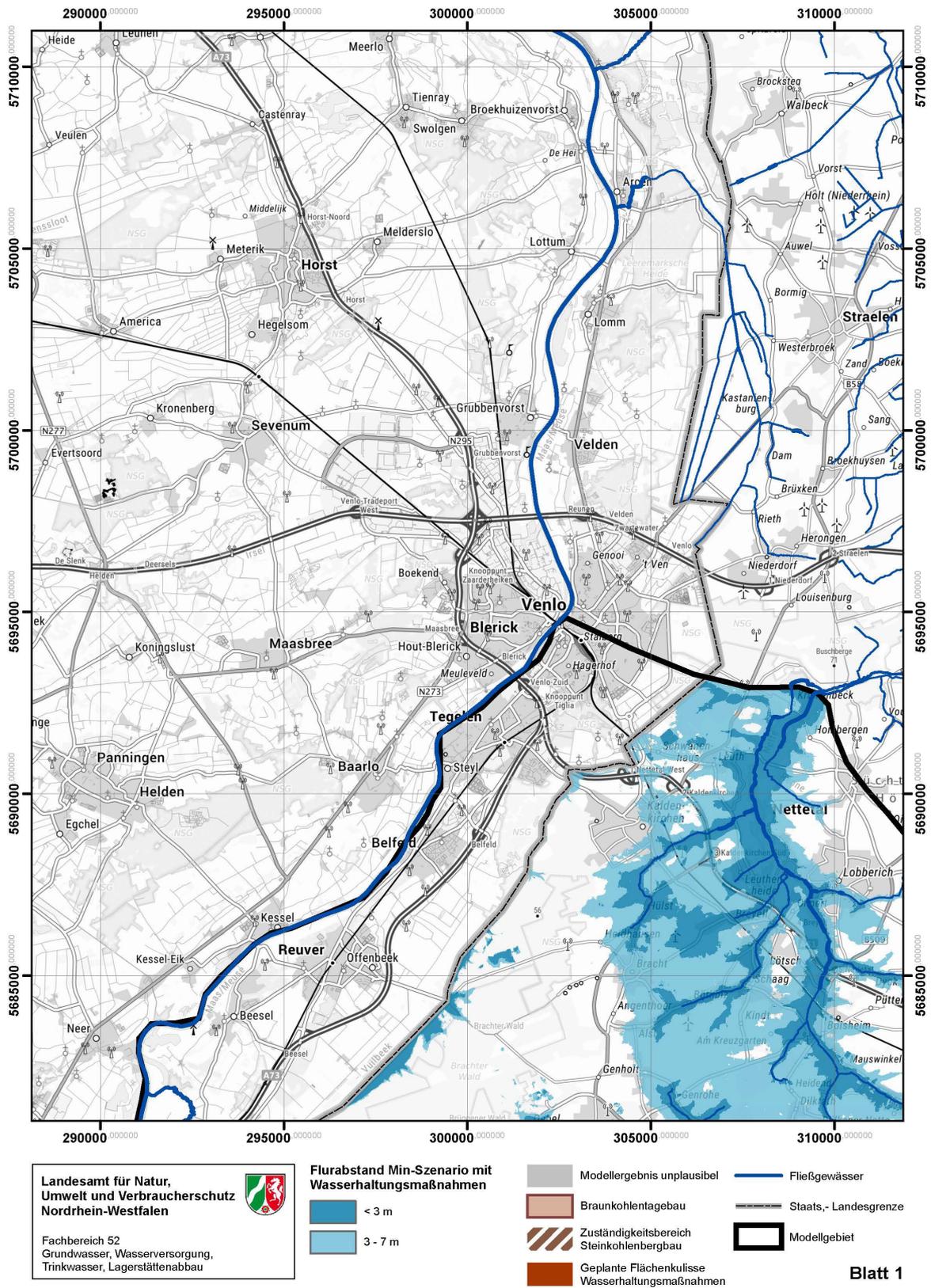


Abbildung A 112: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 1

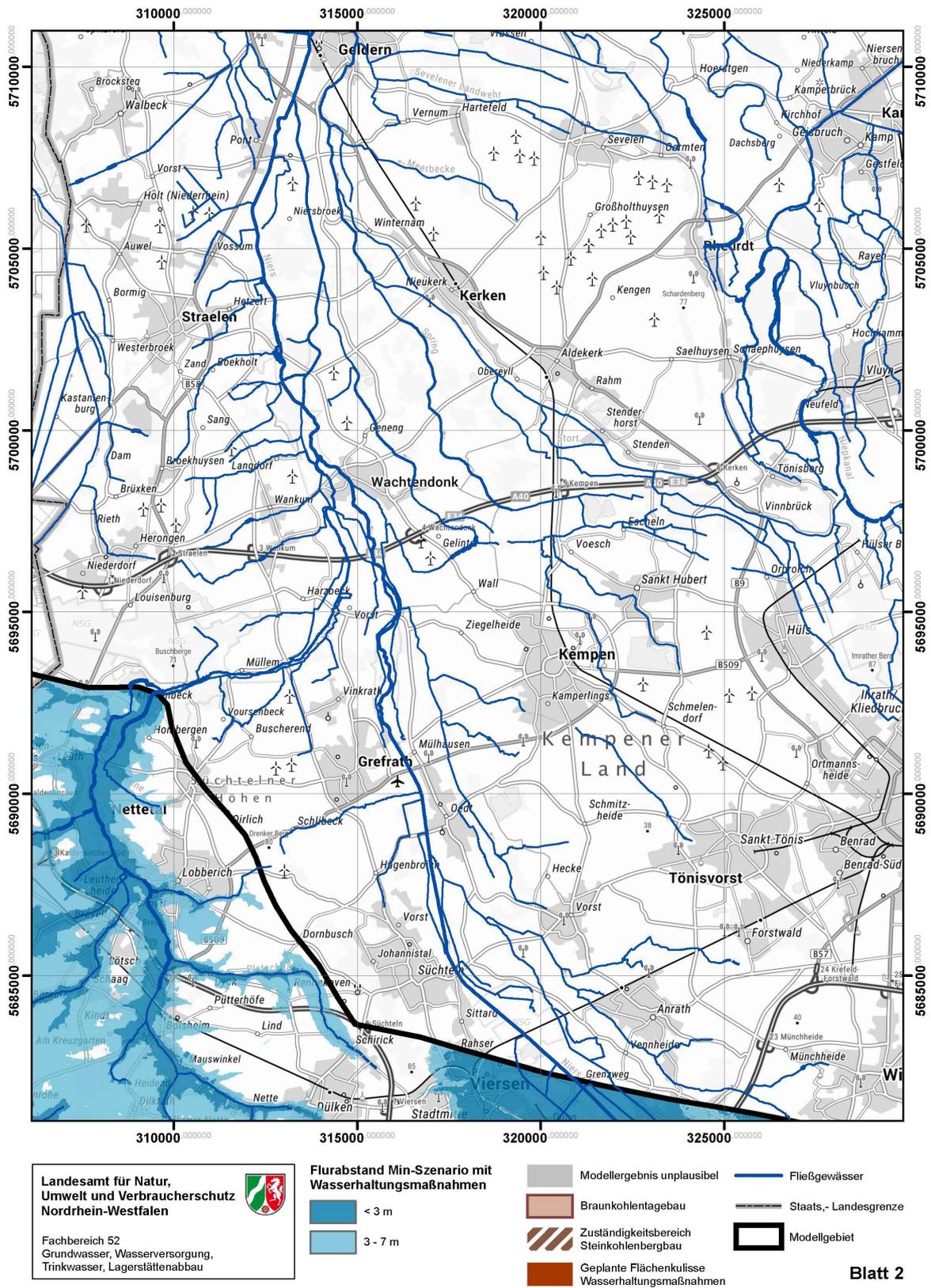


Abbildung A 113: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 2

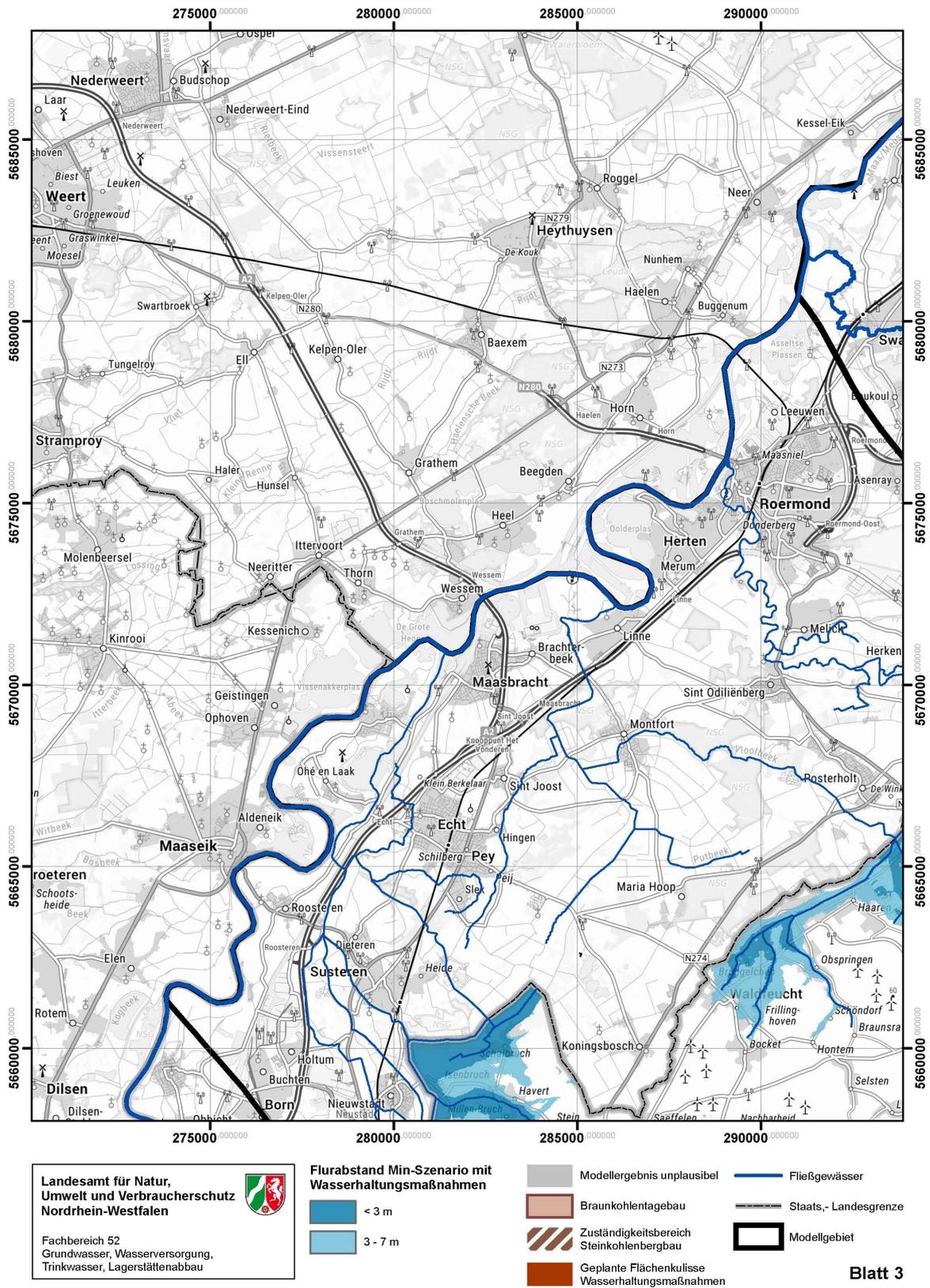


Abbildung A 114: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 3

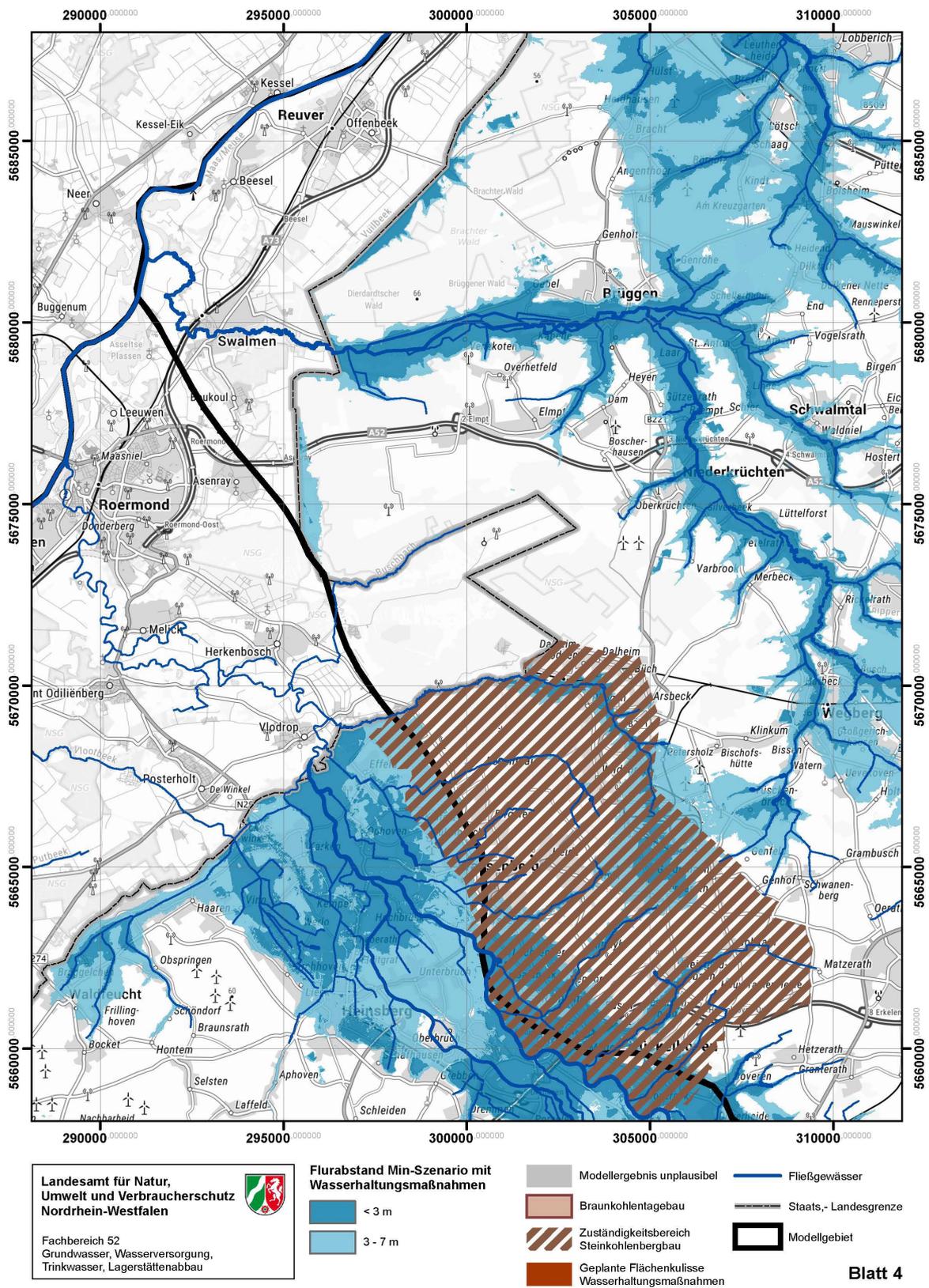


Abbildung A 115: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 4

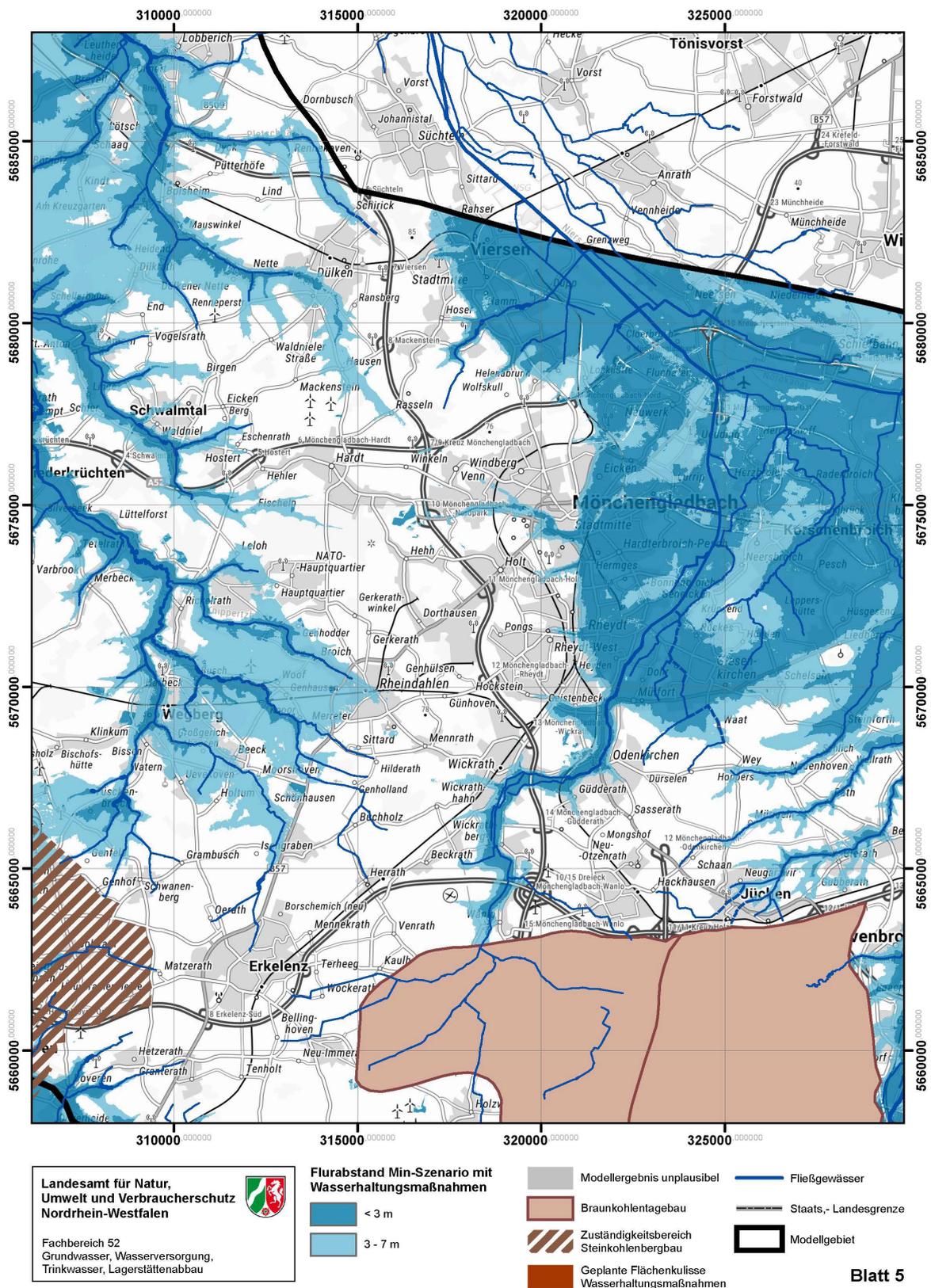


Abbildung A 116: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 5

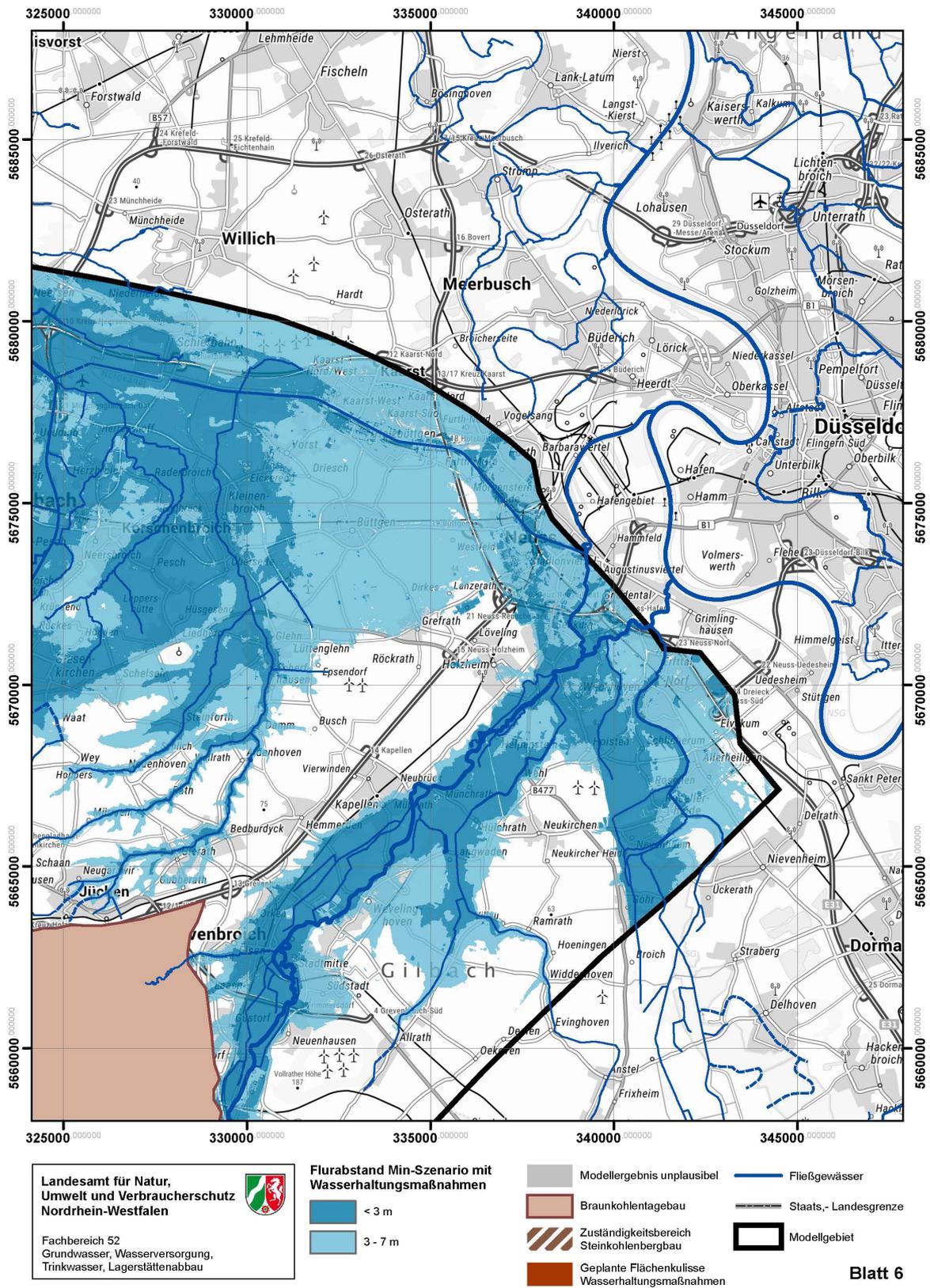


Abbildung A 117: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 6

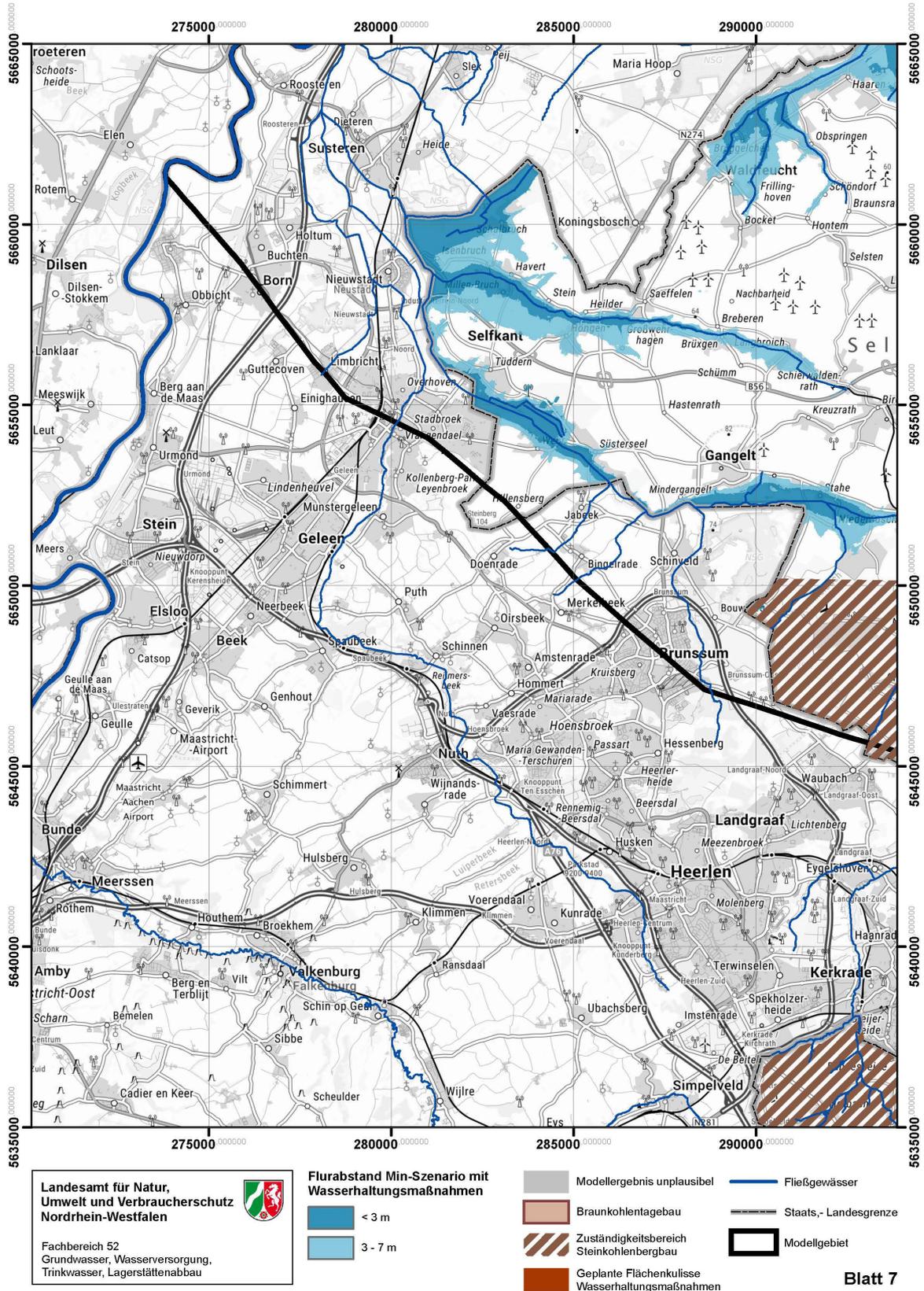


Abbildung A 118: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 7

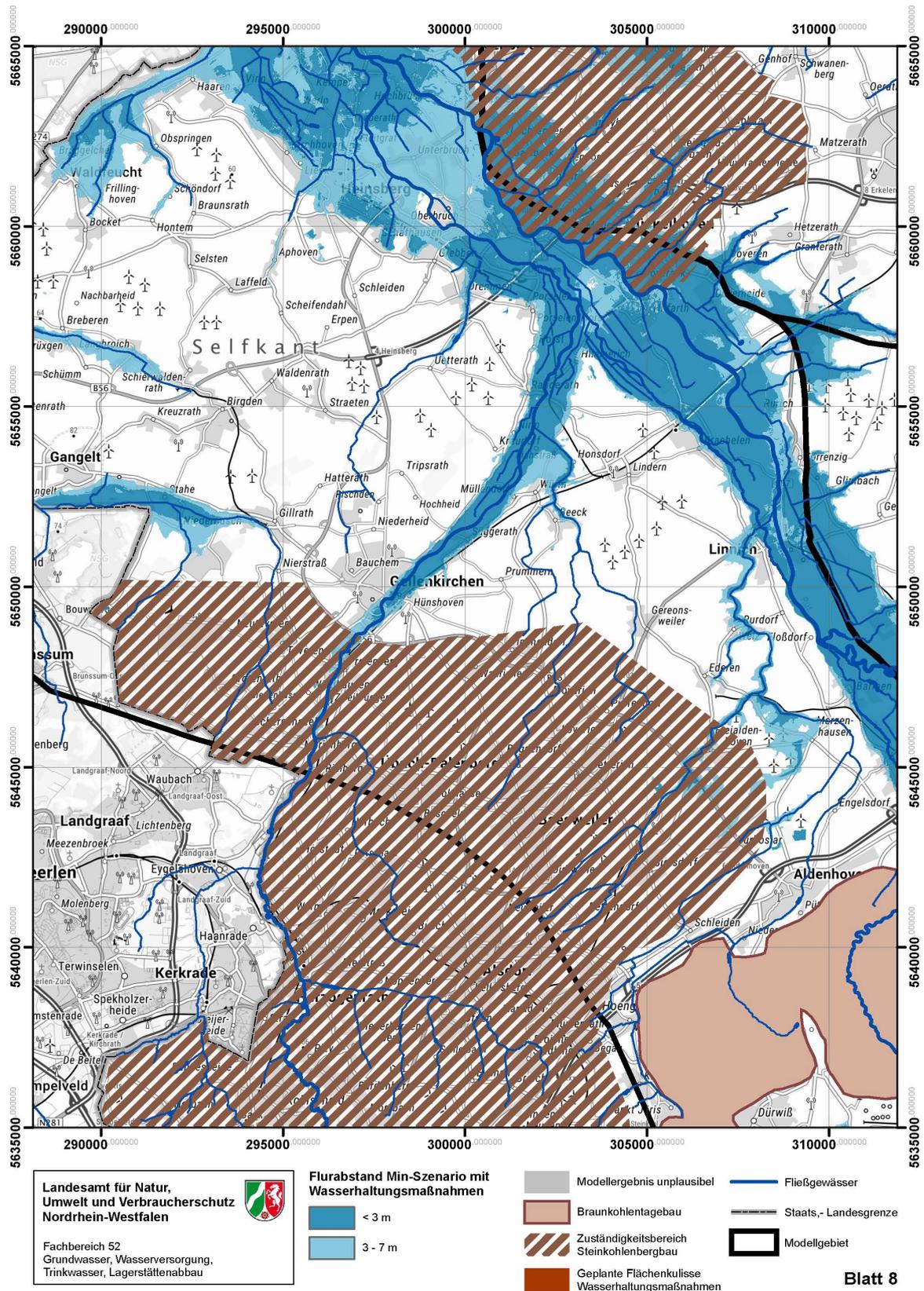


Abbildung A 119: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 8

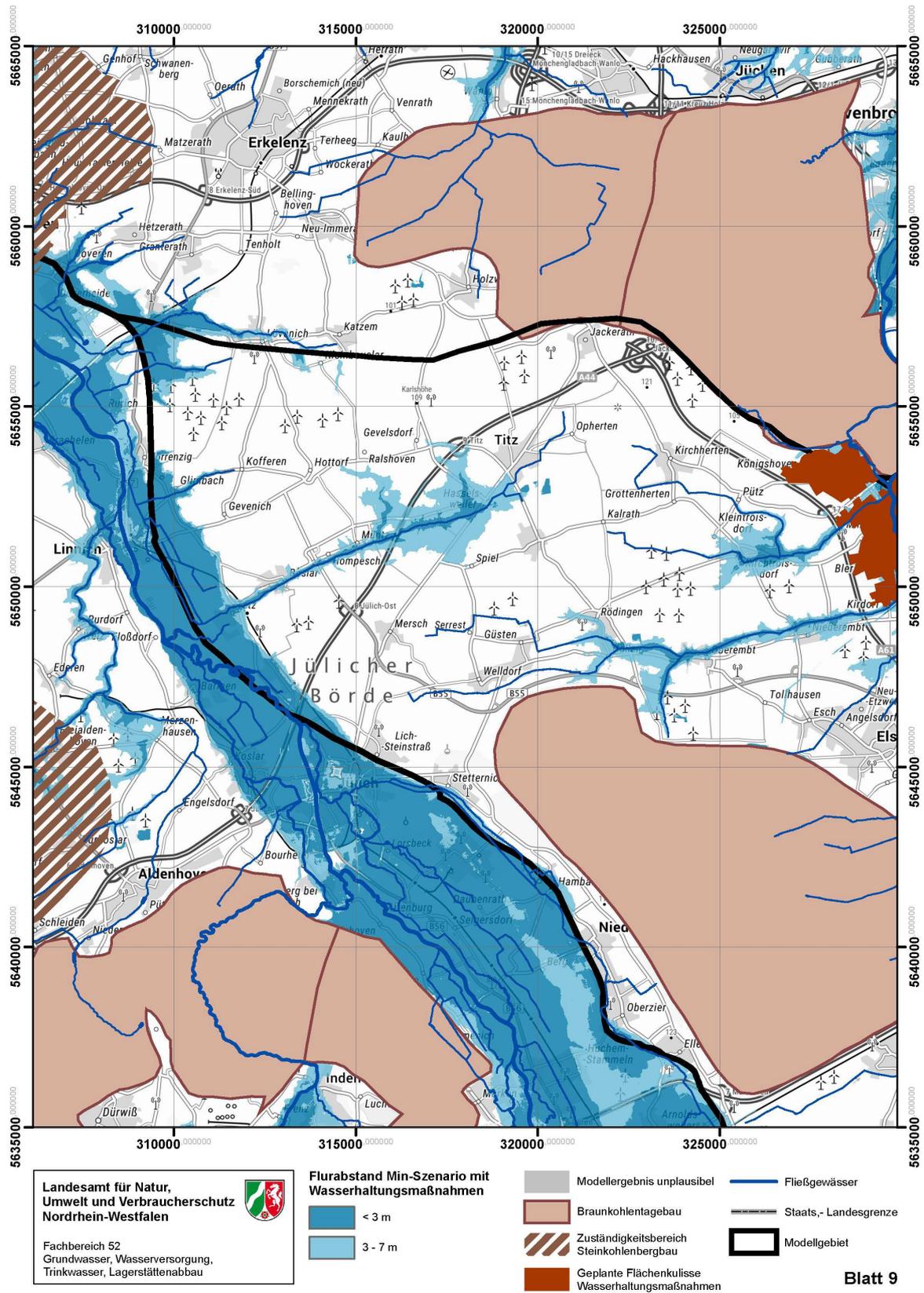


Abbildung A 120: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 9

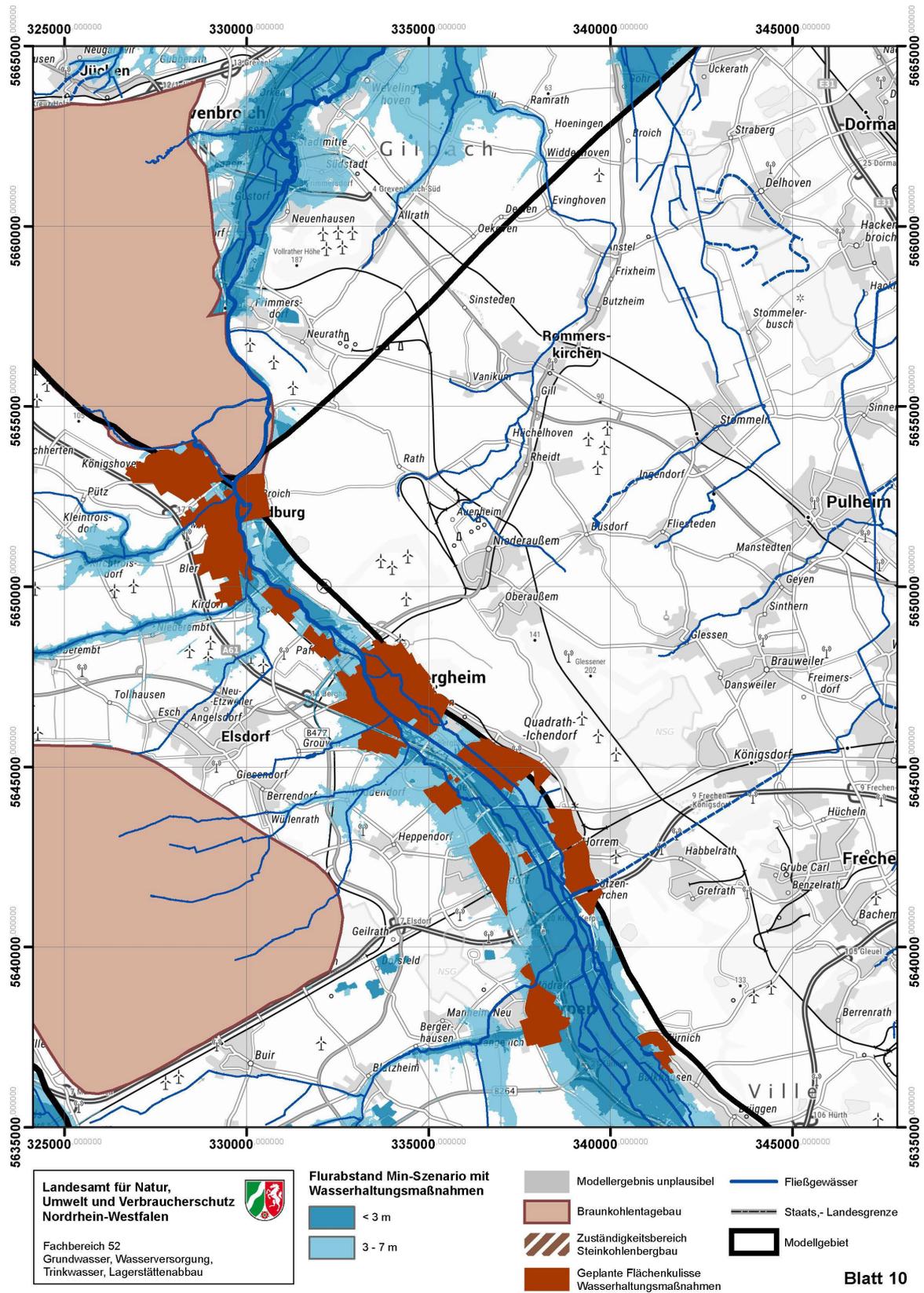


Abbildung A 121: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 10

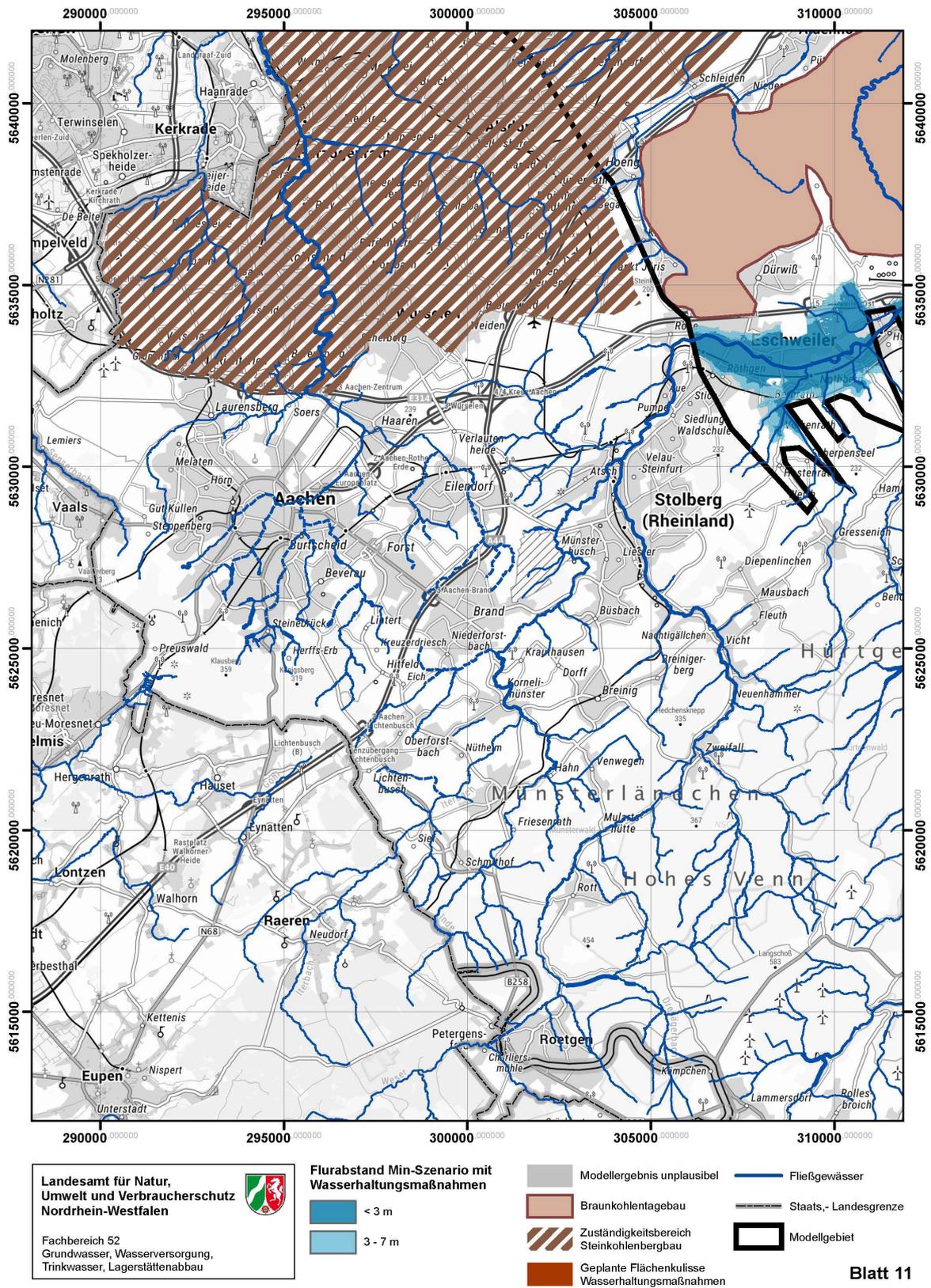


Abbildung A 122: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 11

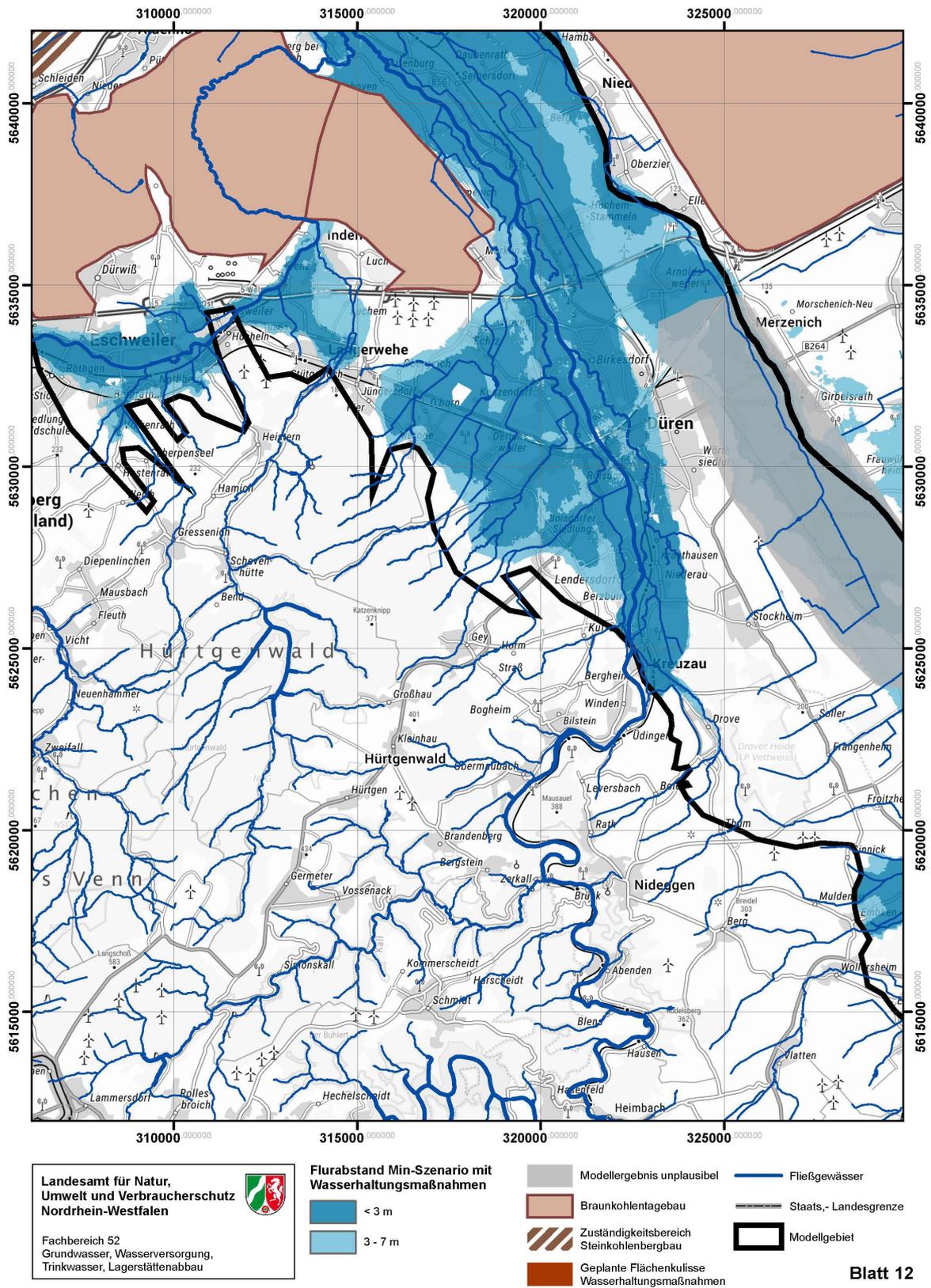


Abbildung A 123: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 12

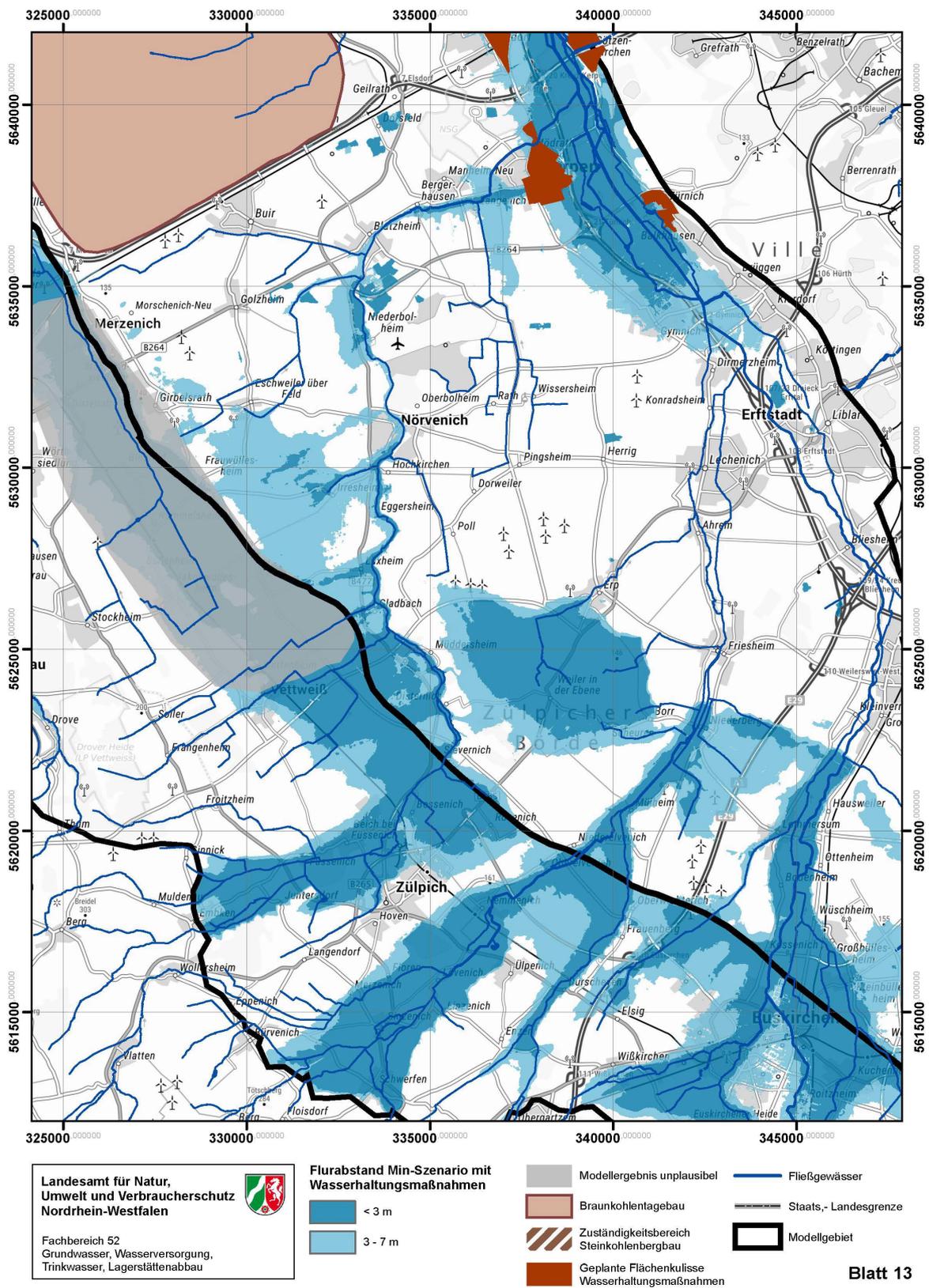


Abbildung A 124: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 13

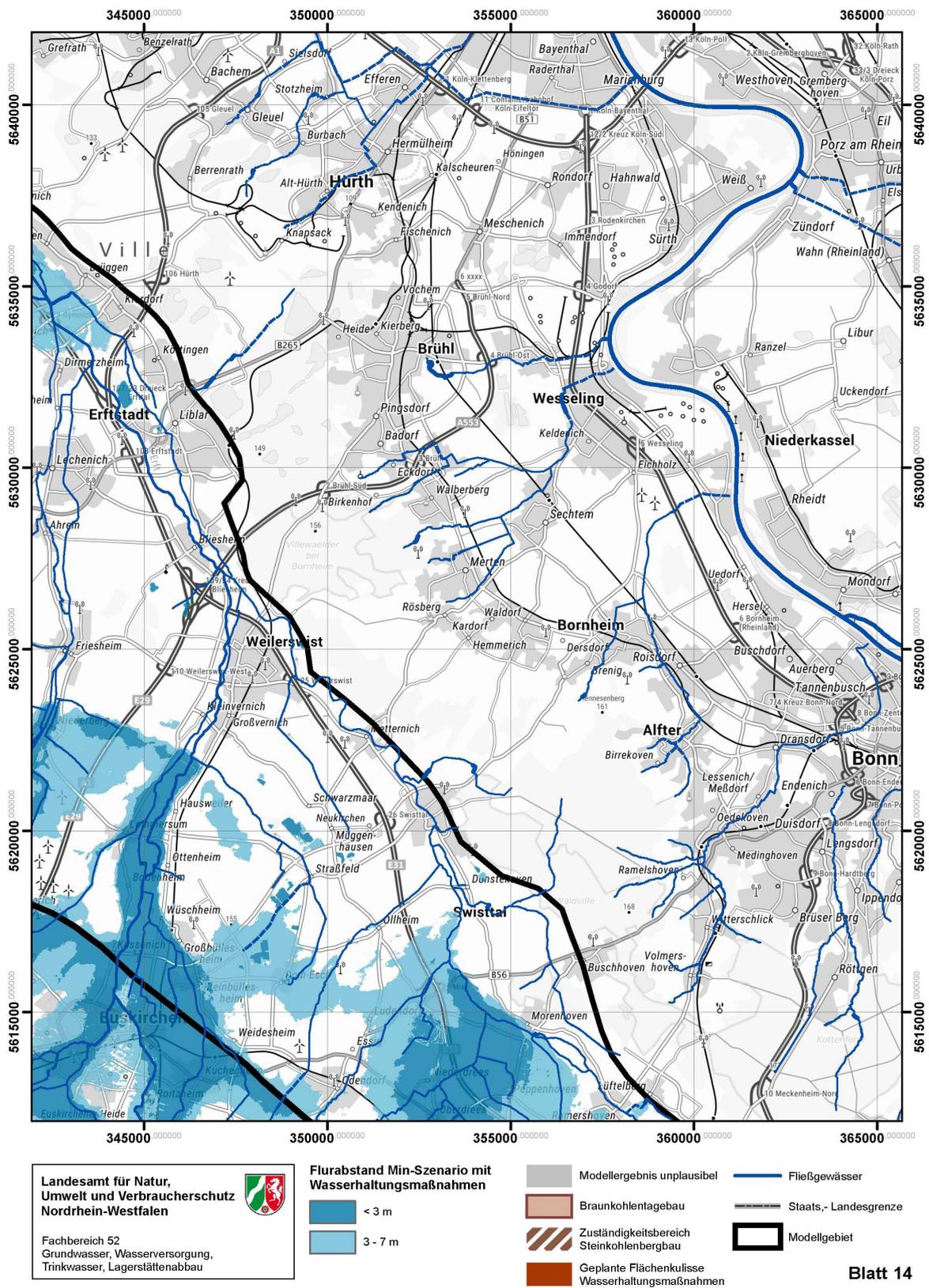


Abbildung A 125: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 14

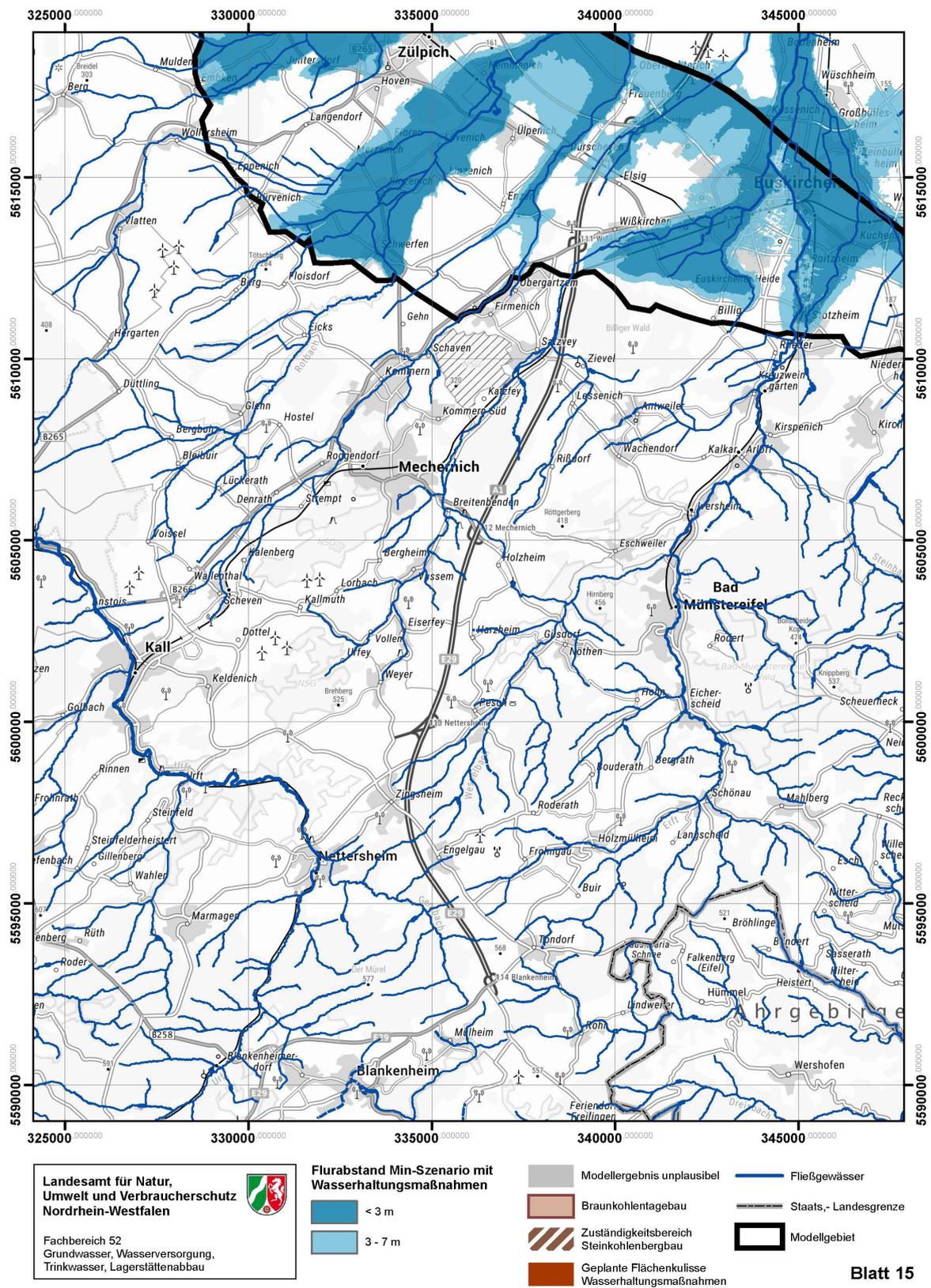


Abbildung A 126: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 15

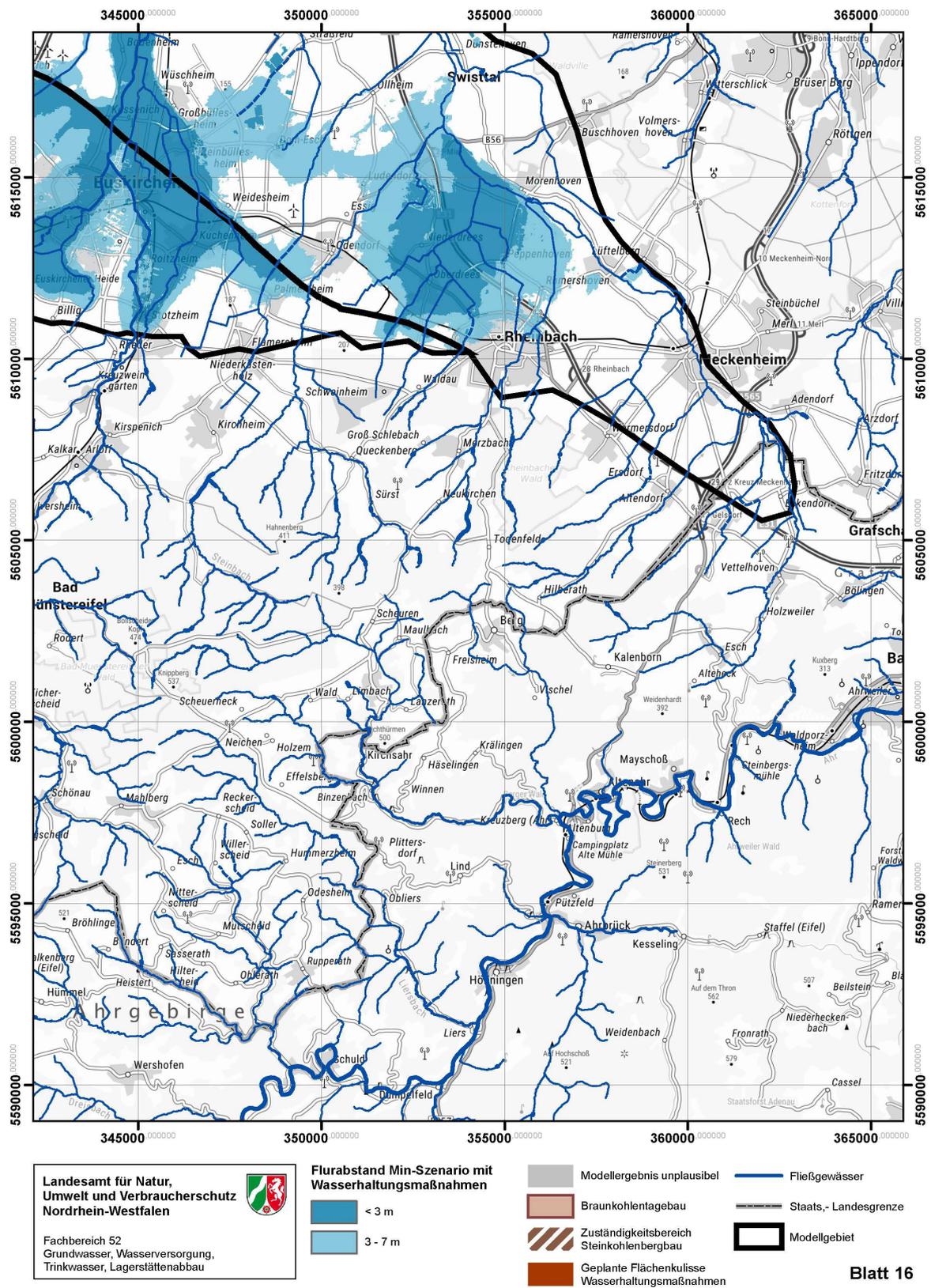


Abbildung A 127: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 16

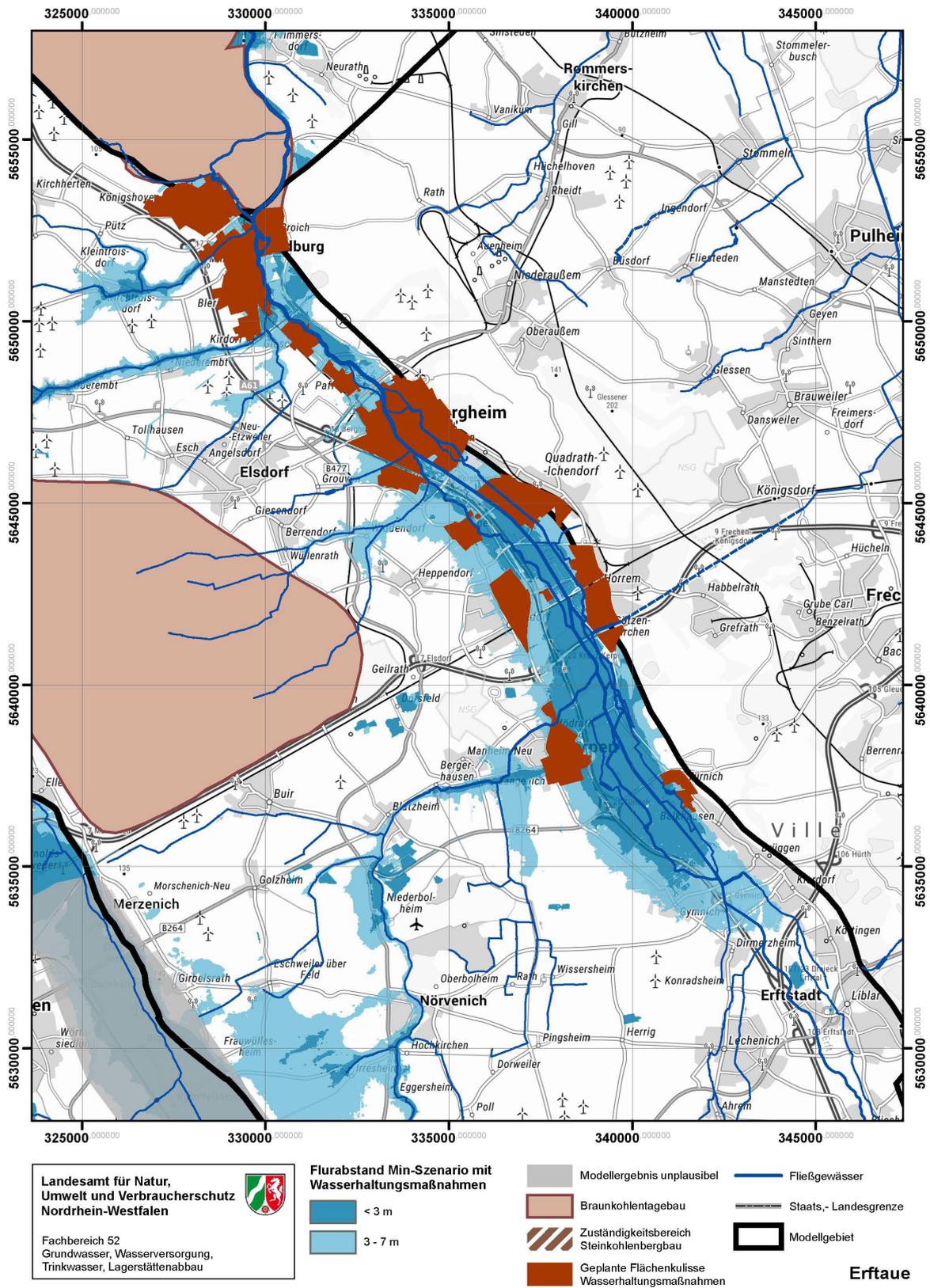
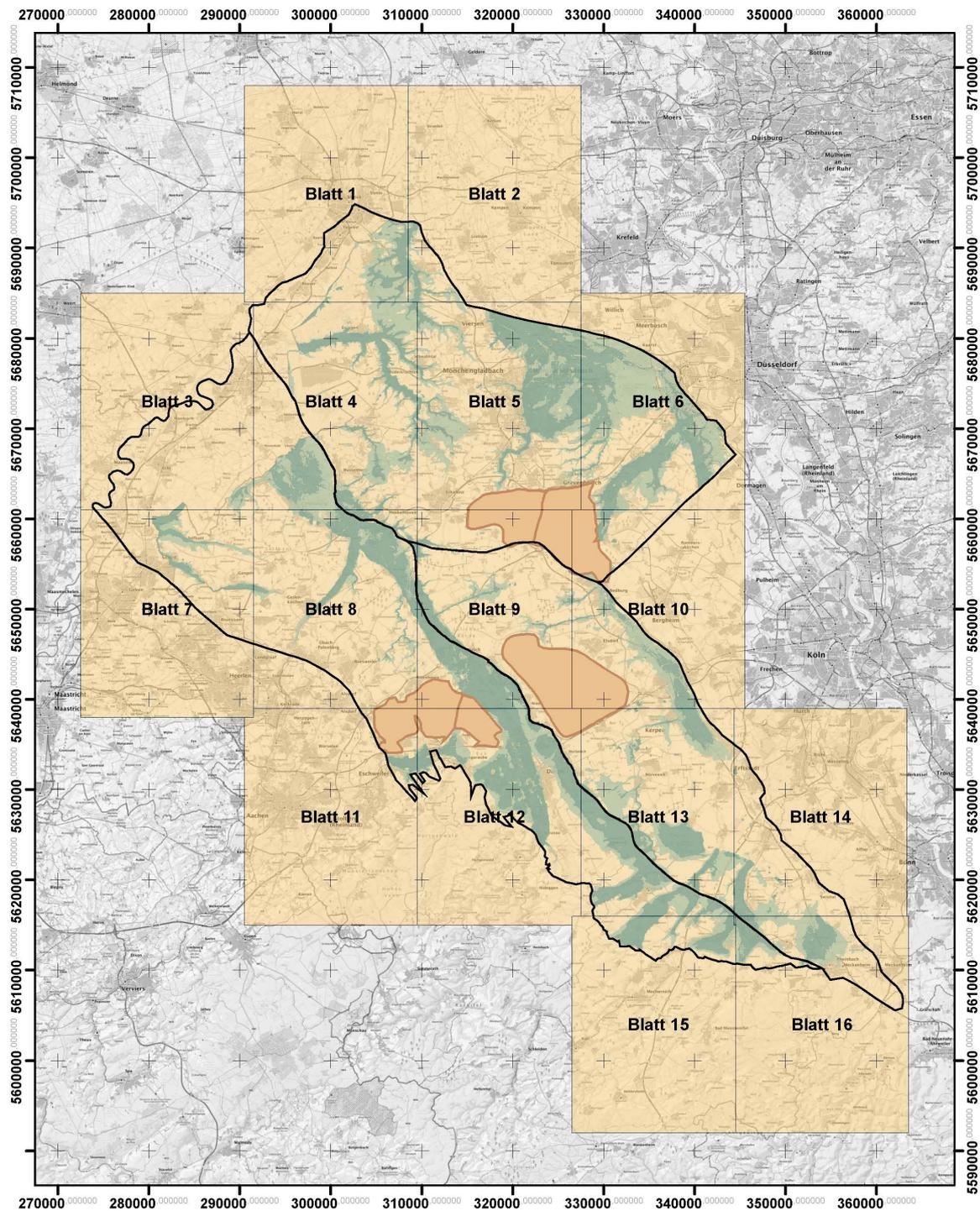


Abbildung A 128: Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Erftaue

### Anlage 9: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen



Landesamt für Natur,  
Umwelt und Verbraucherschutz  
Nordrhein-Westfalen



Fachbereich 52  
Grundwasser, Wasserversorgung,  
Trinkwasser, Lagerstättenabbau

#### Anlage 9: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen

Maßstab 1:100.000

Abbildung A 129: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Übersicht

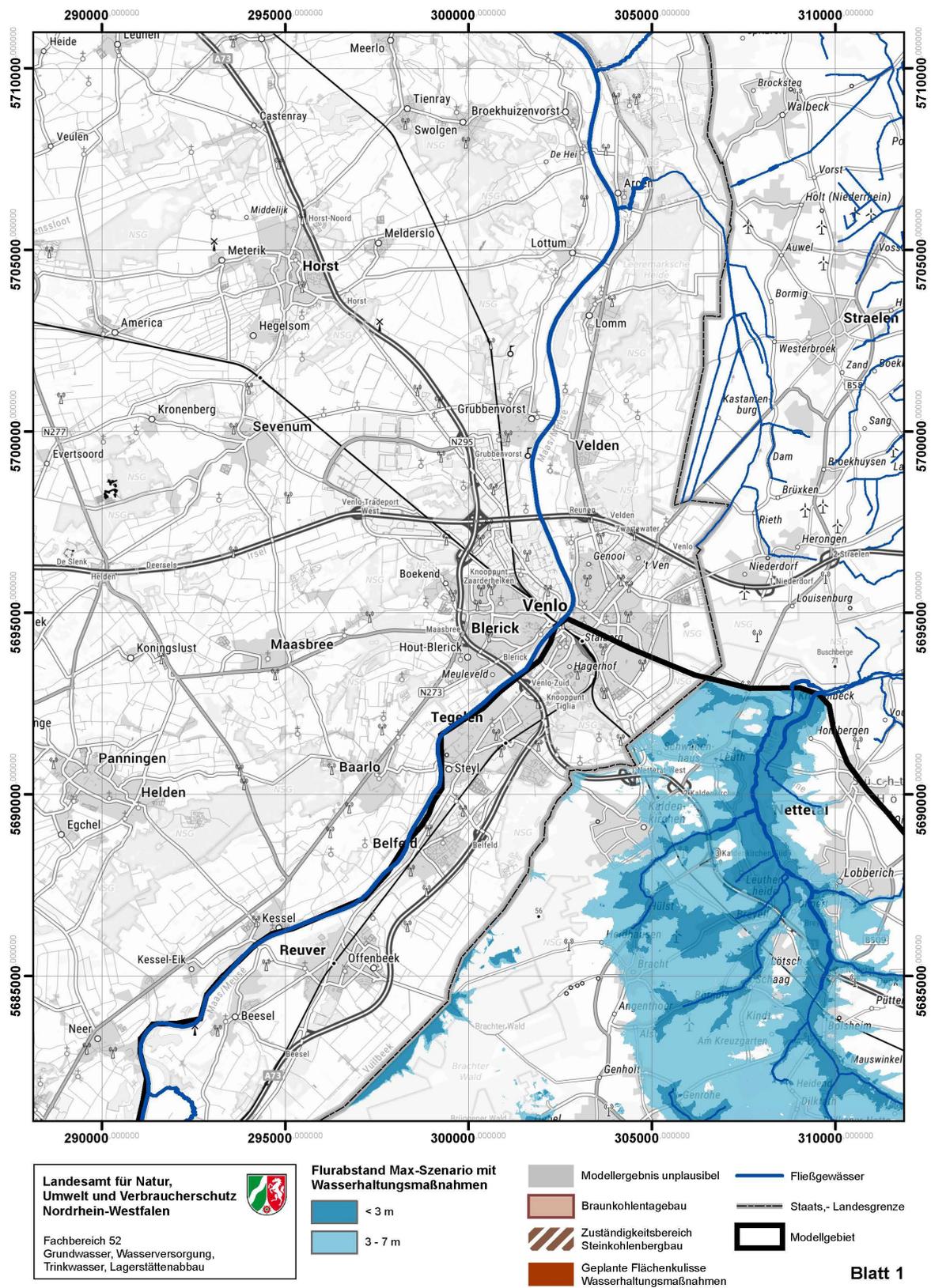


Abbildung A 130: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 1

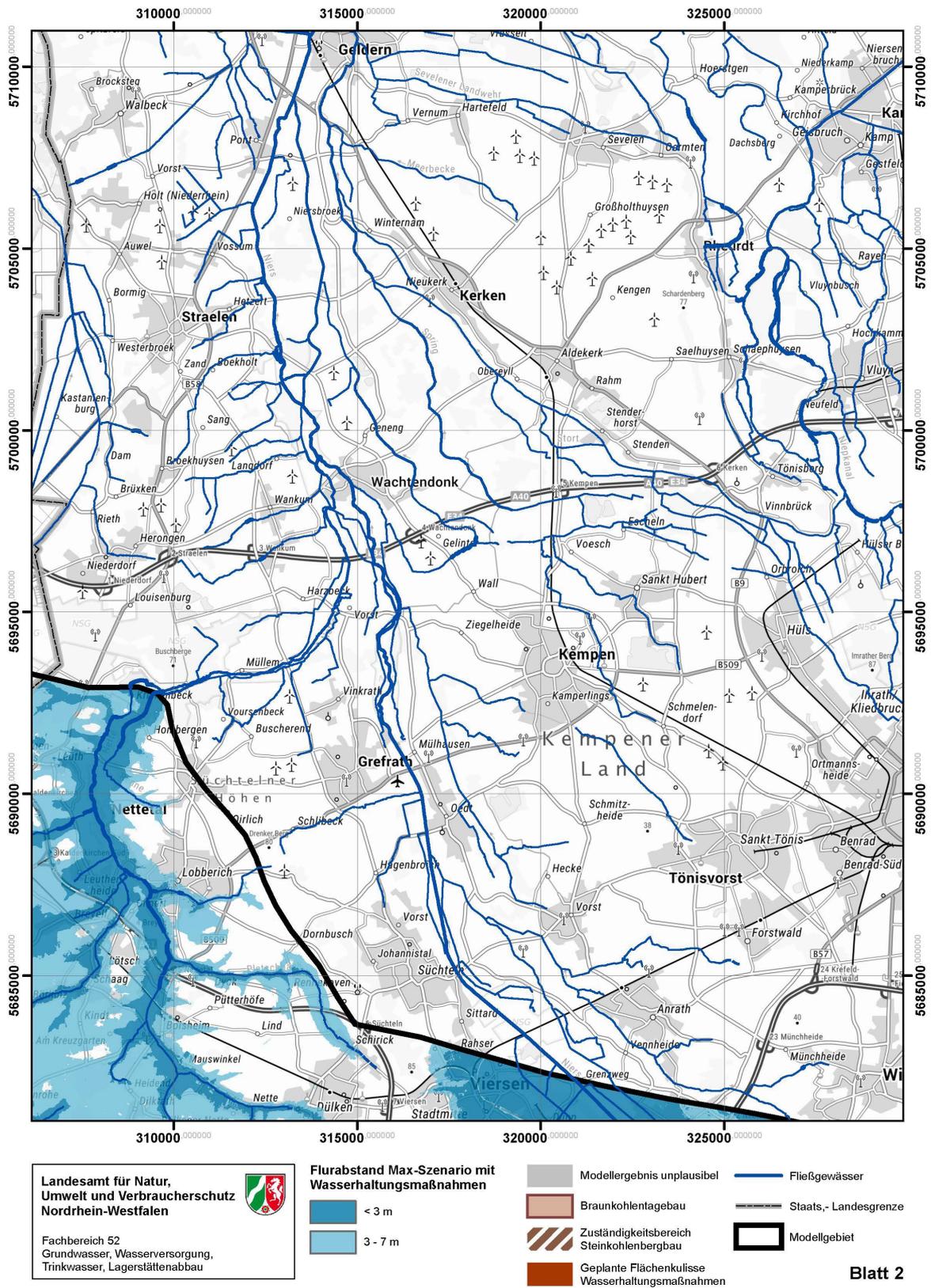


Abbildung A 131: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 2

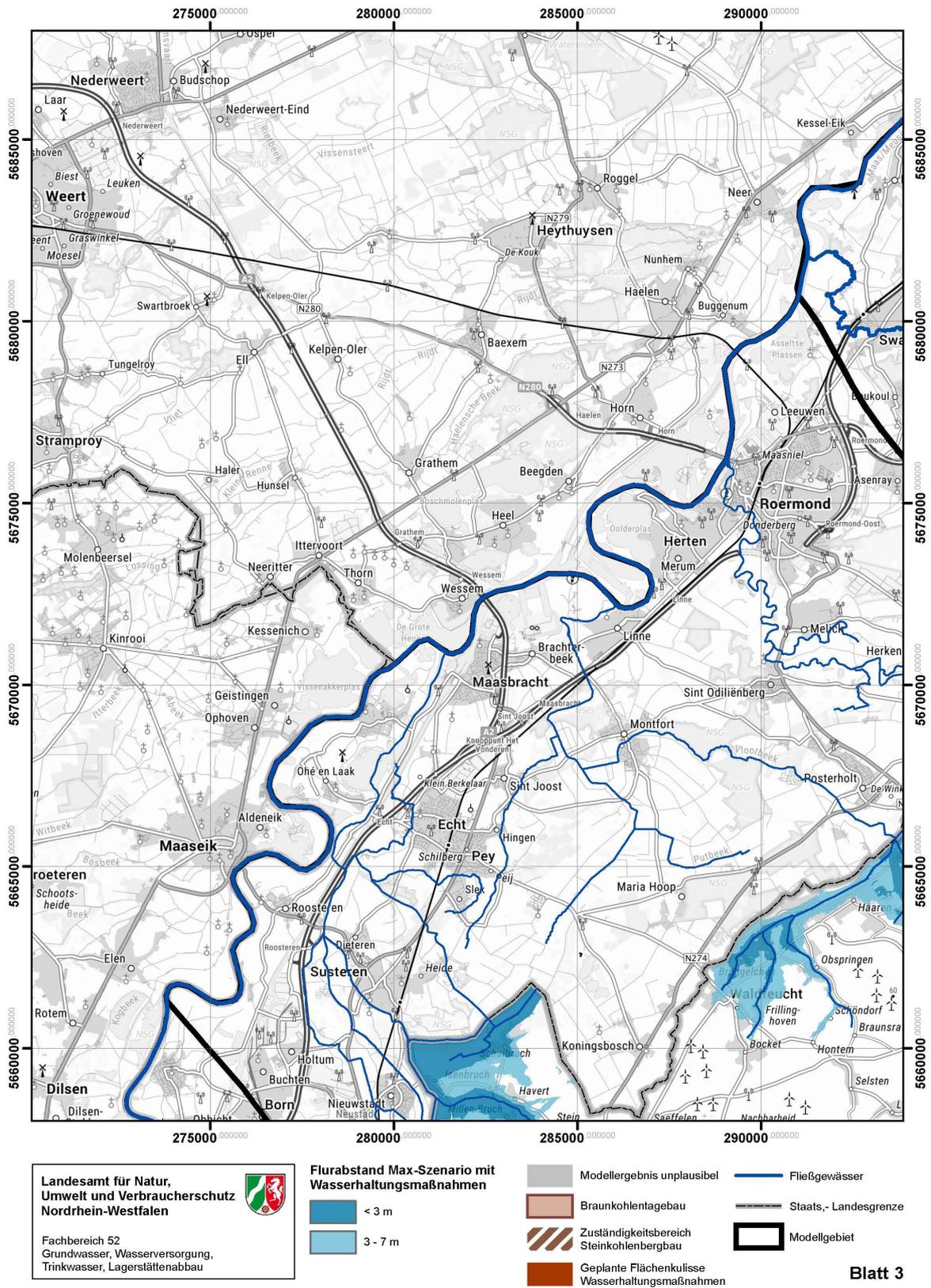


Abbildung A 132: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 3

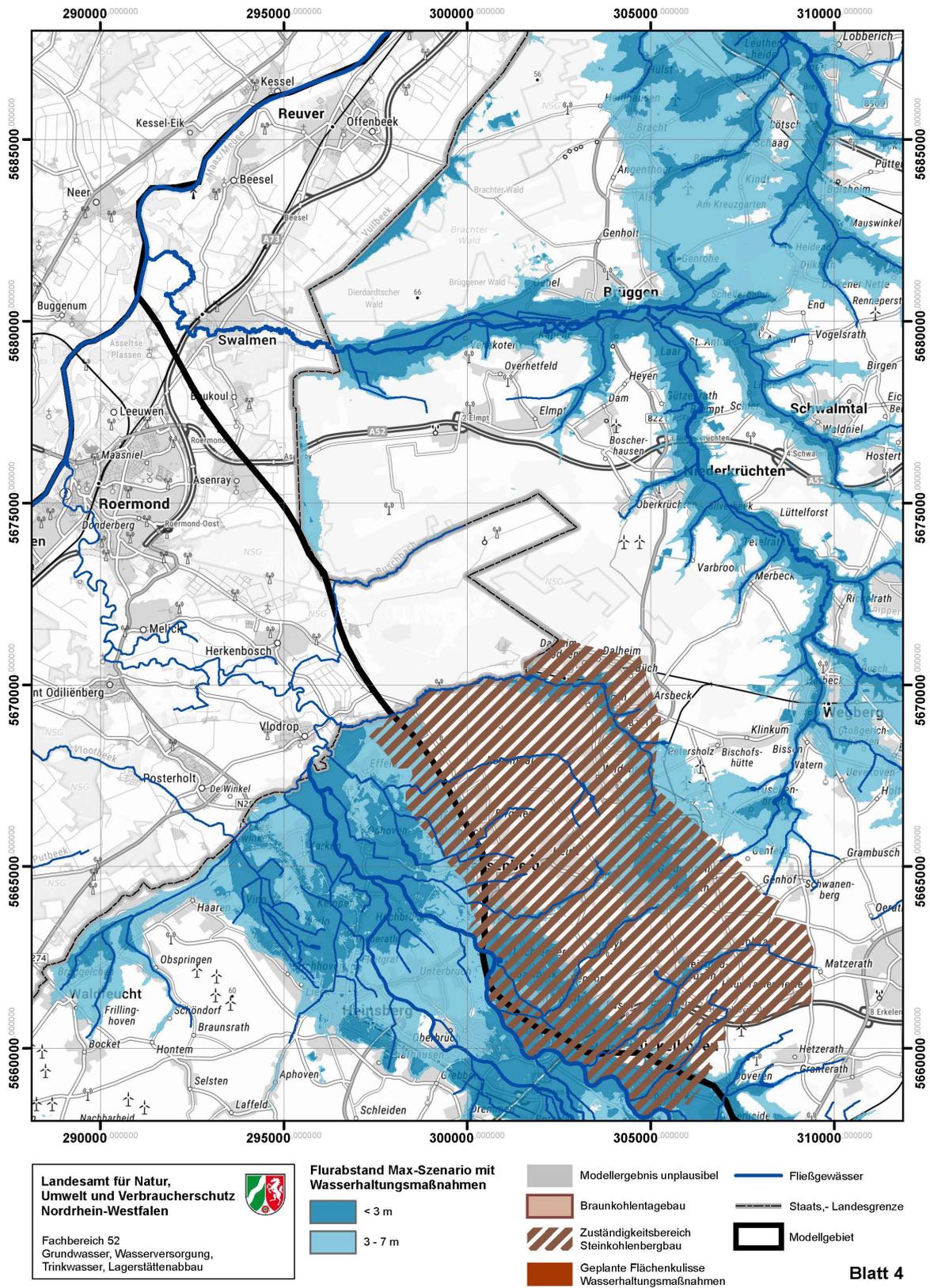


Abbildung A 133: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 4

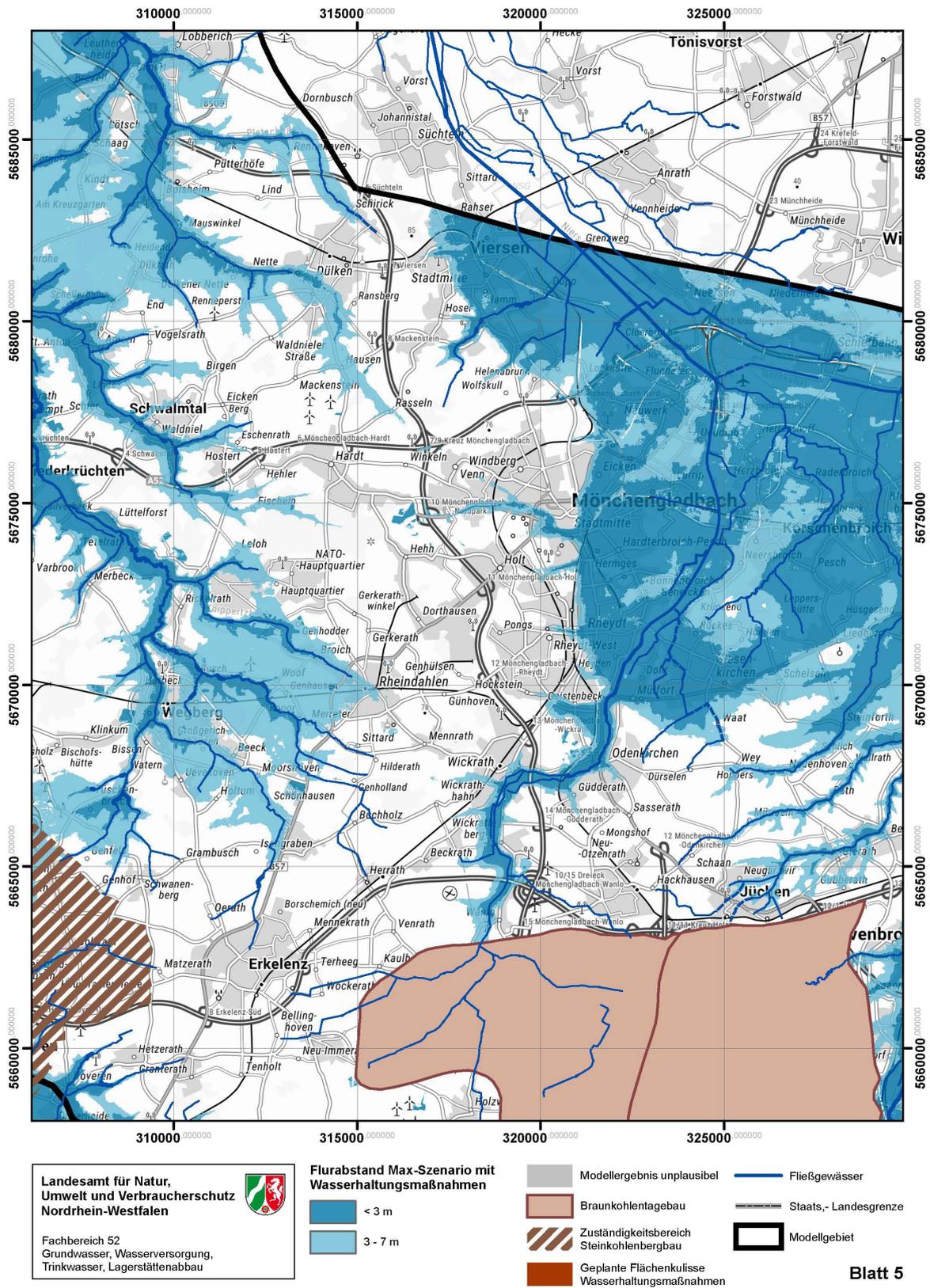


Abbildung A 134: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 5

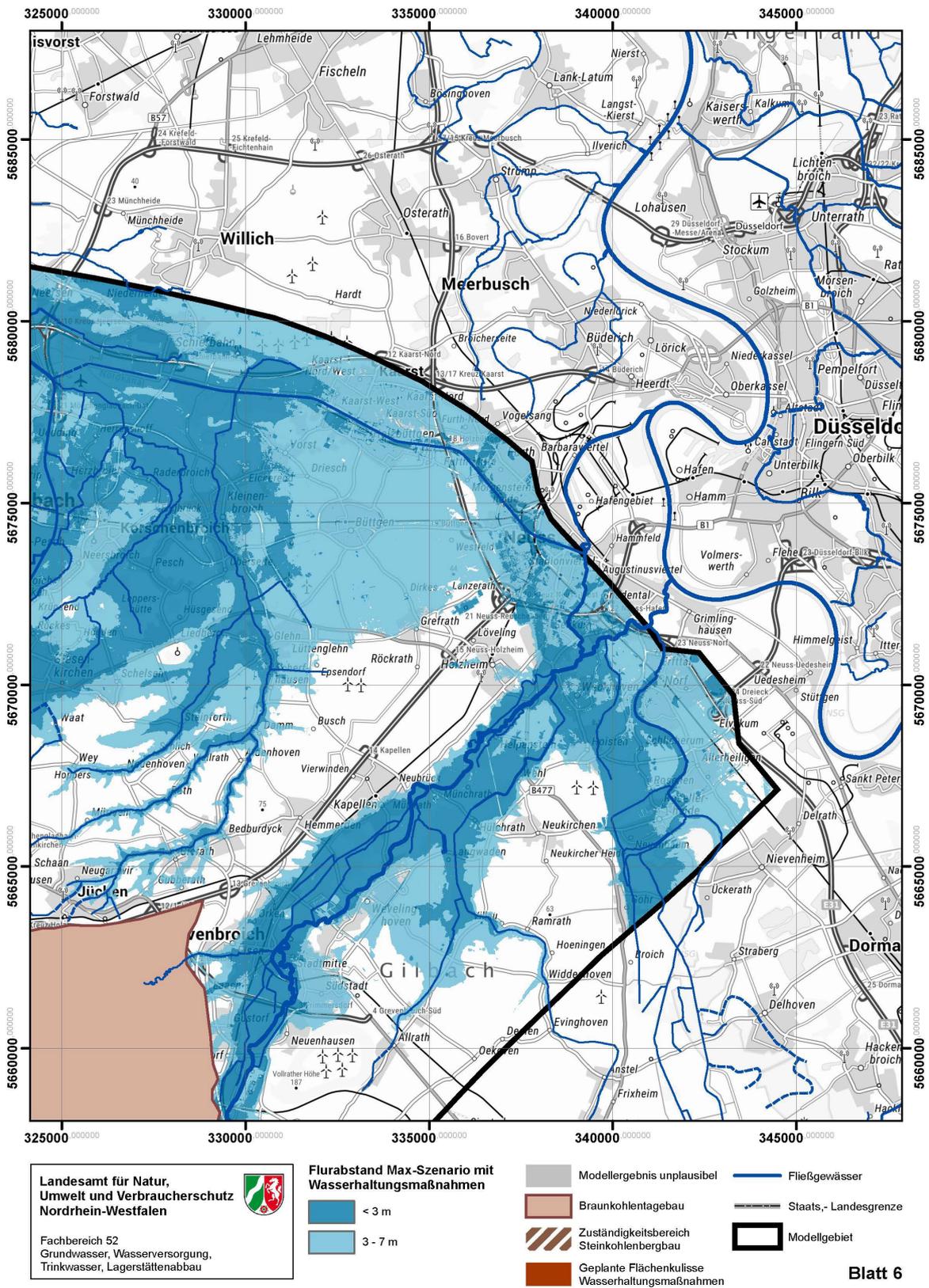


Abbildung A 135: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 6

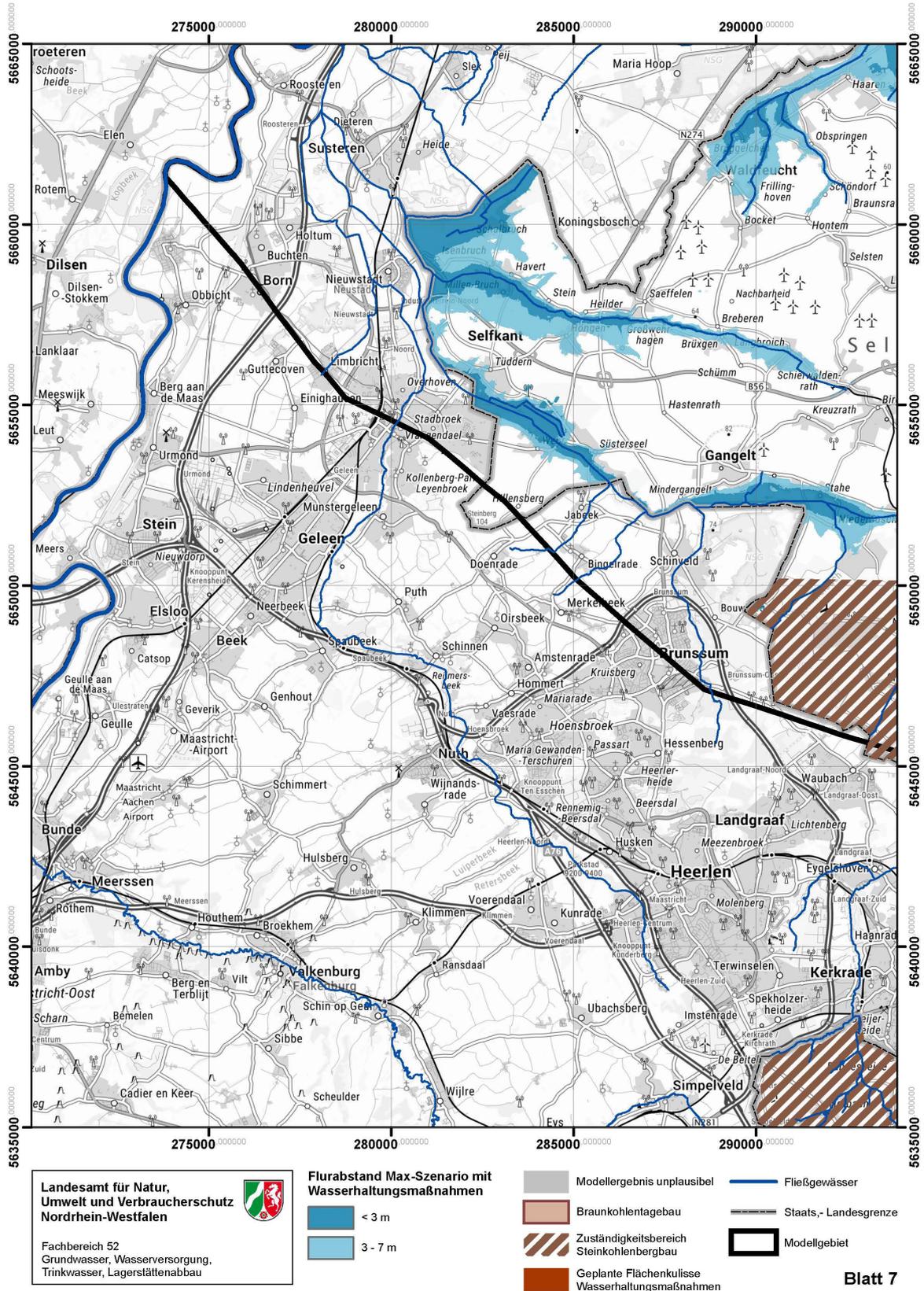


Abbildung A 136: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 7

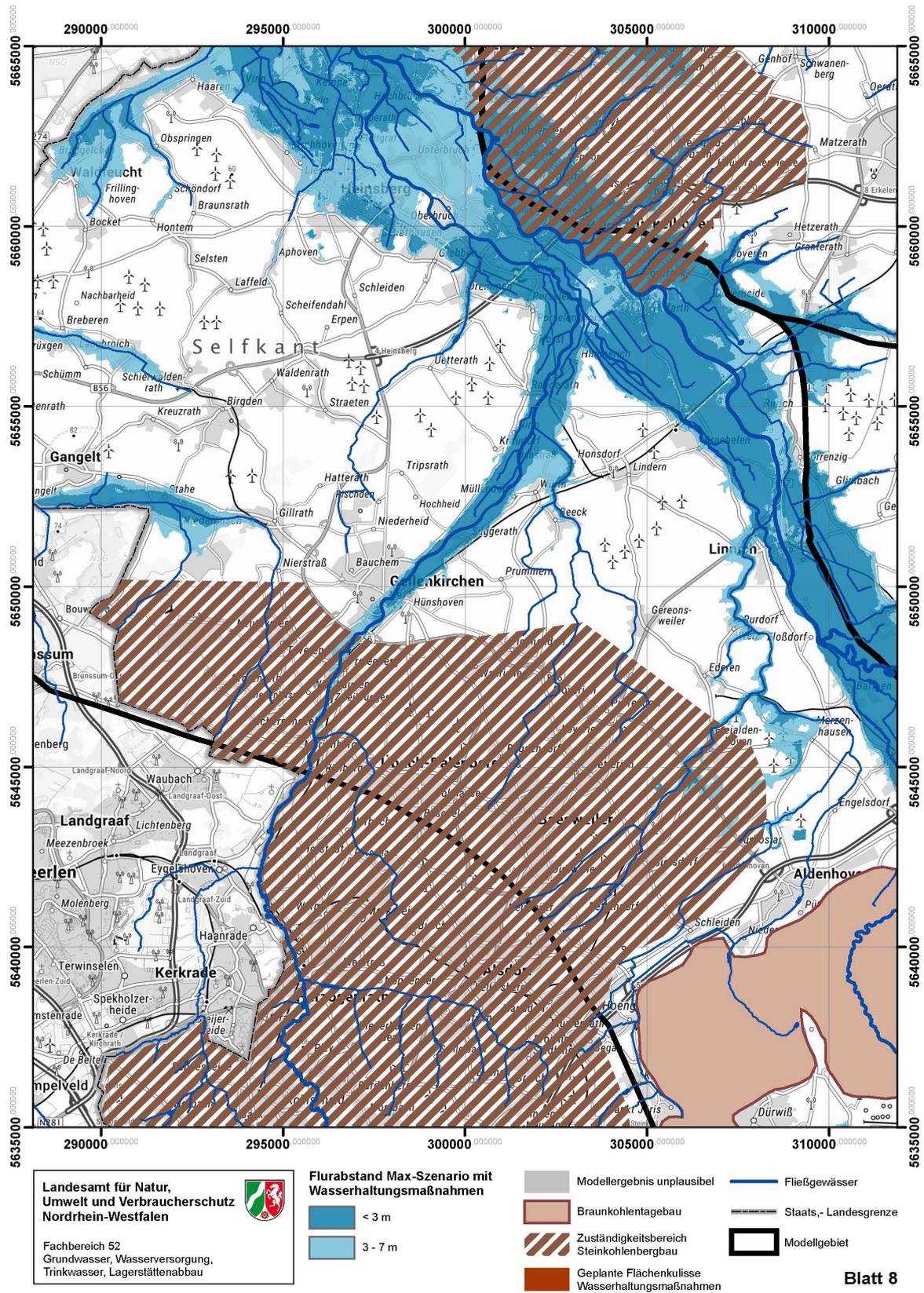


Abbildung A 137: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 8

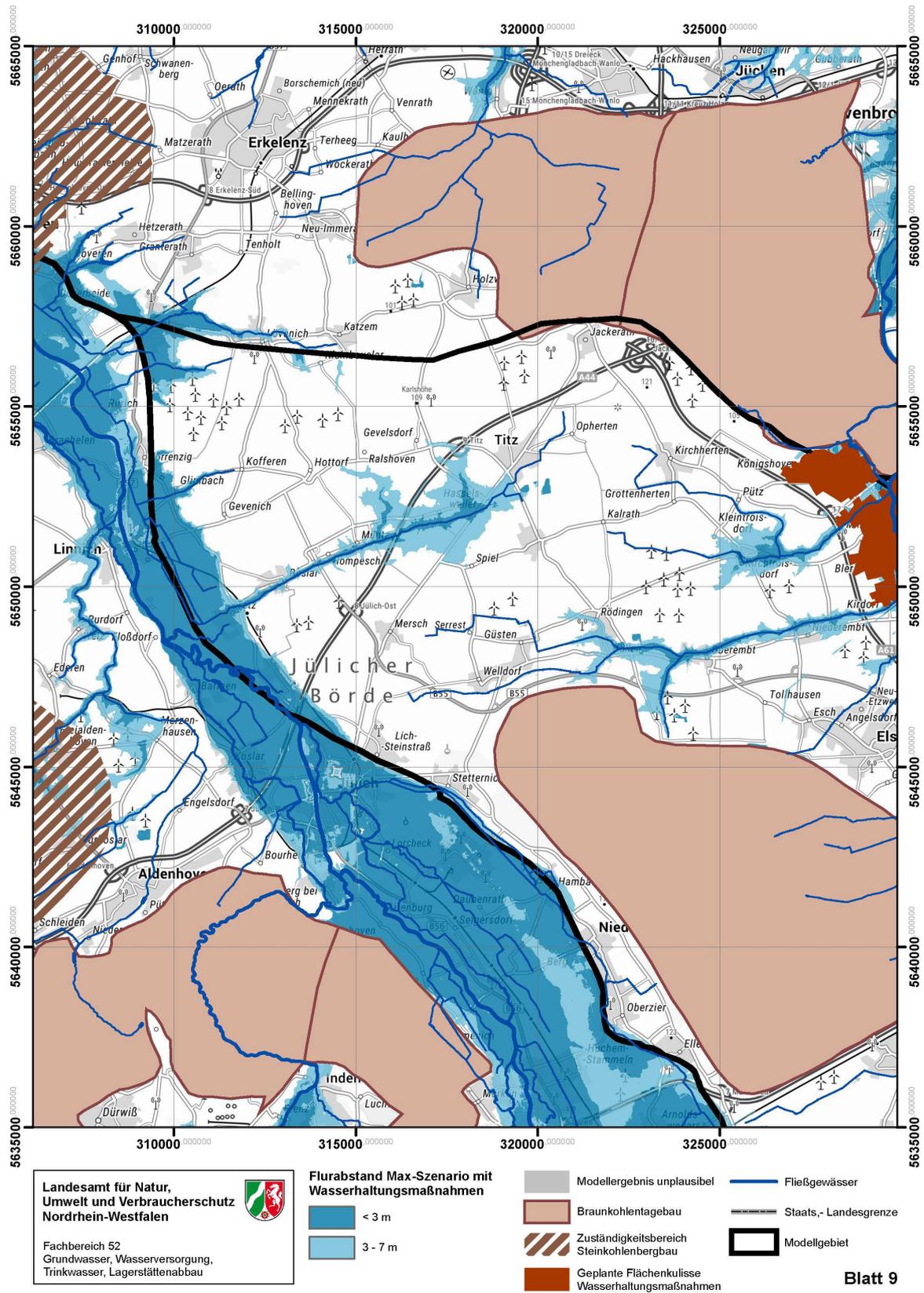


Abbildung A 138: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 9

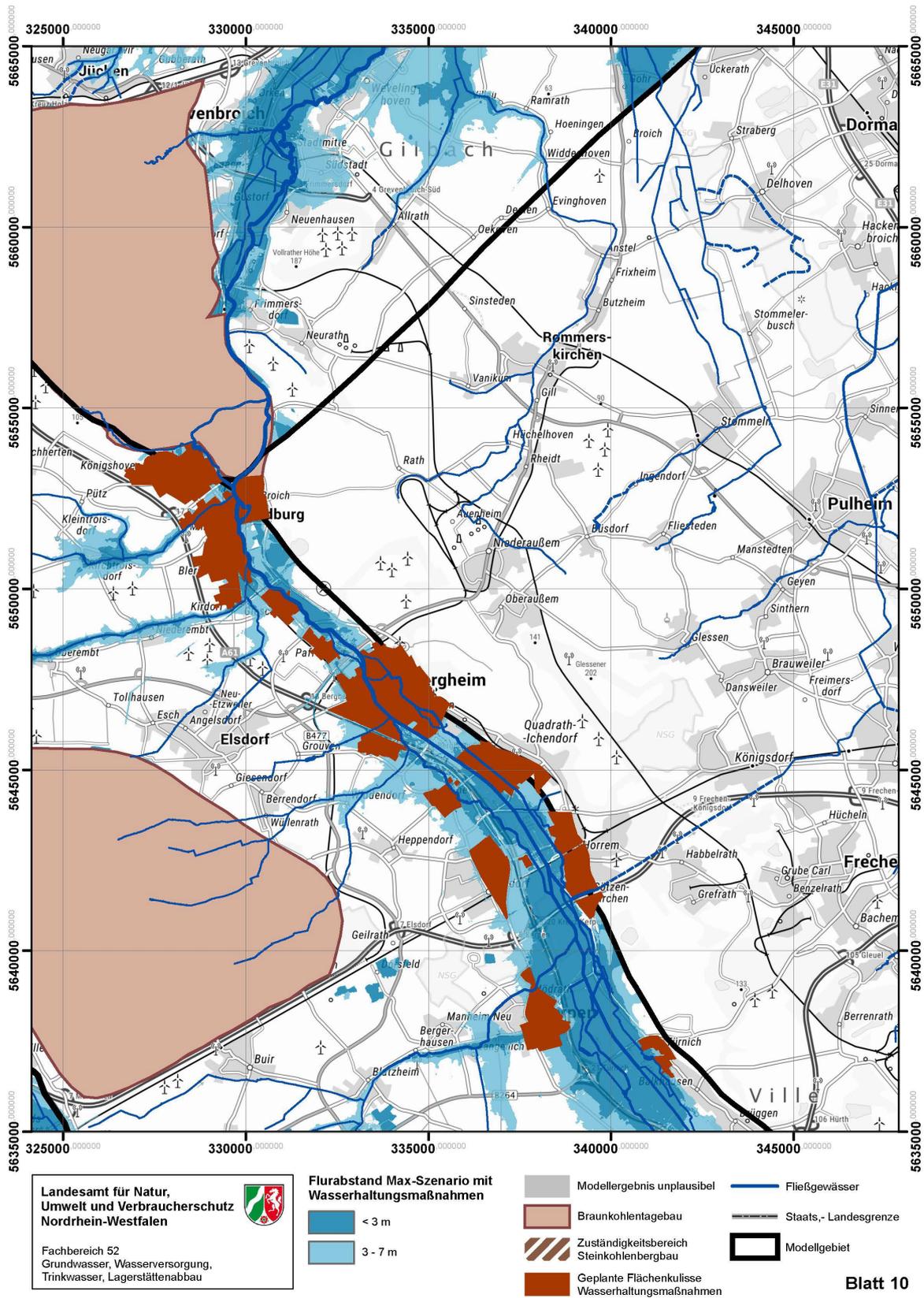


Abbildung A 139: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 10

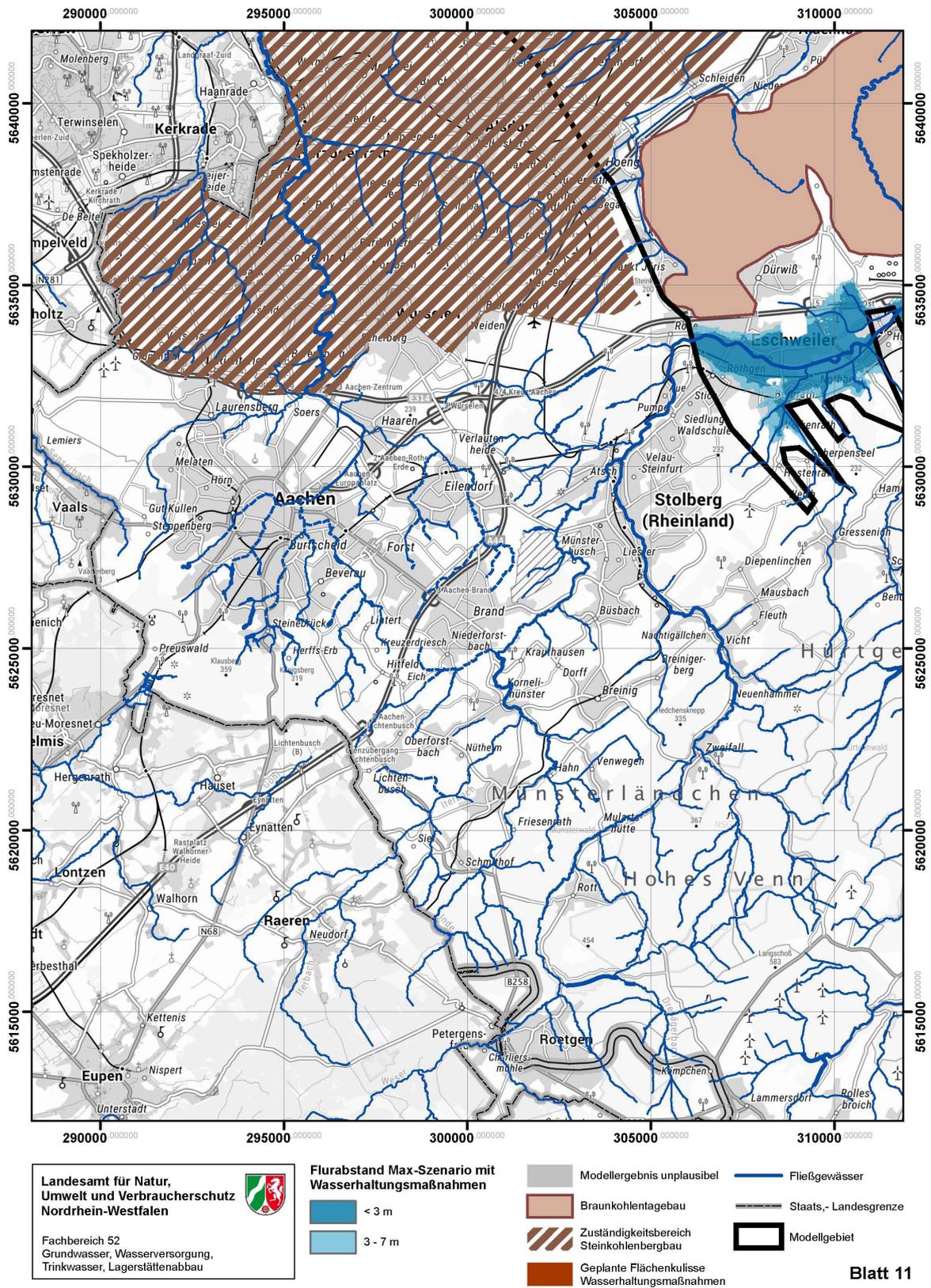


Abbildung A 140: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 11

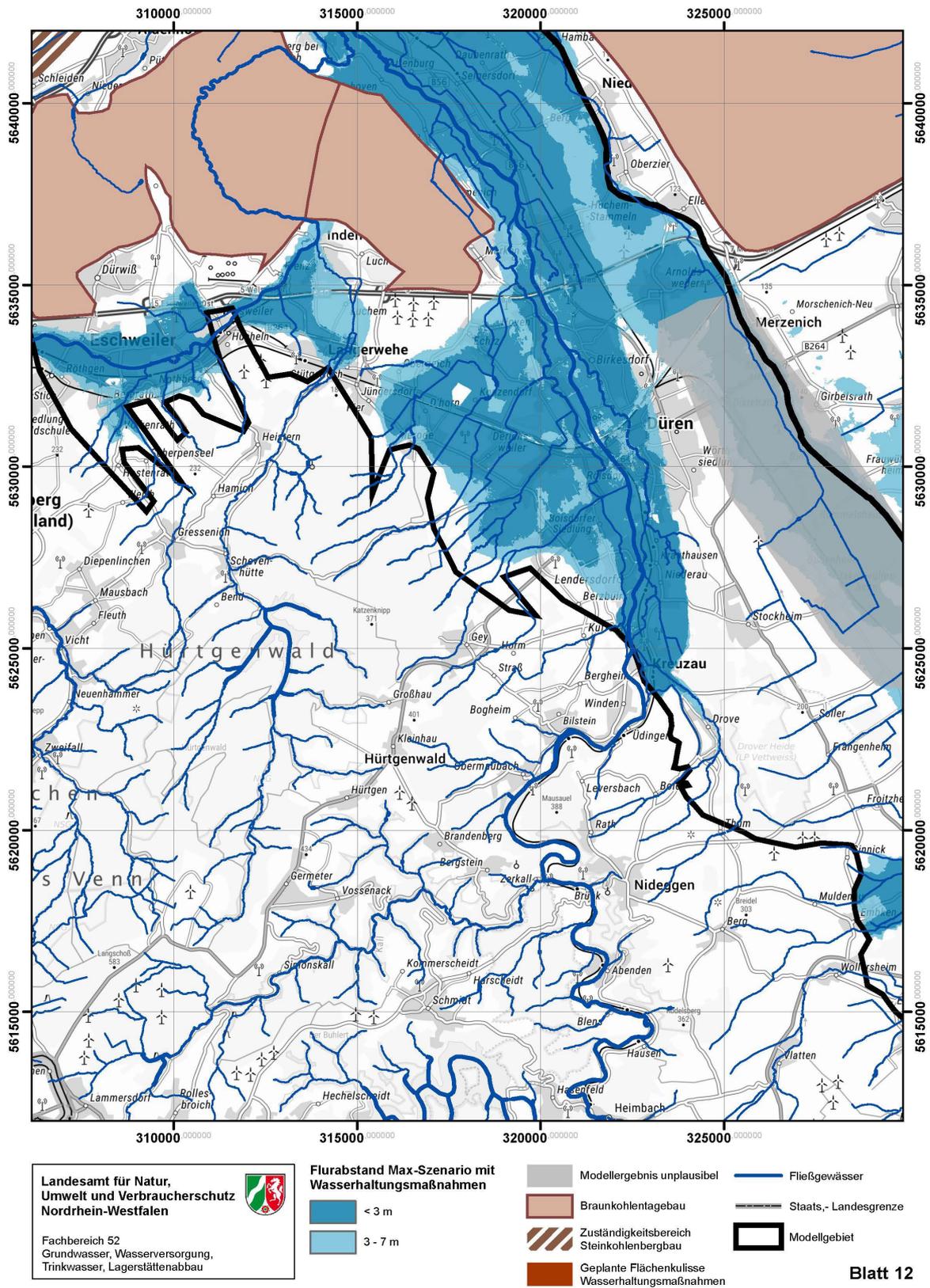


Abbildung A 141: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 12

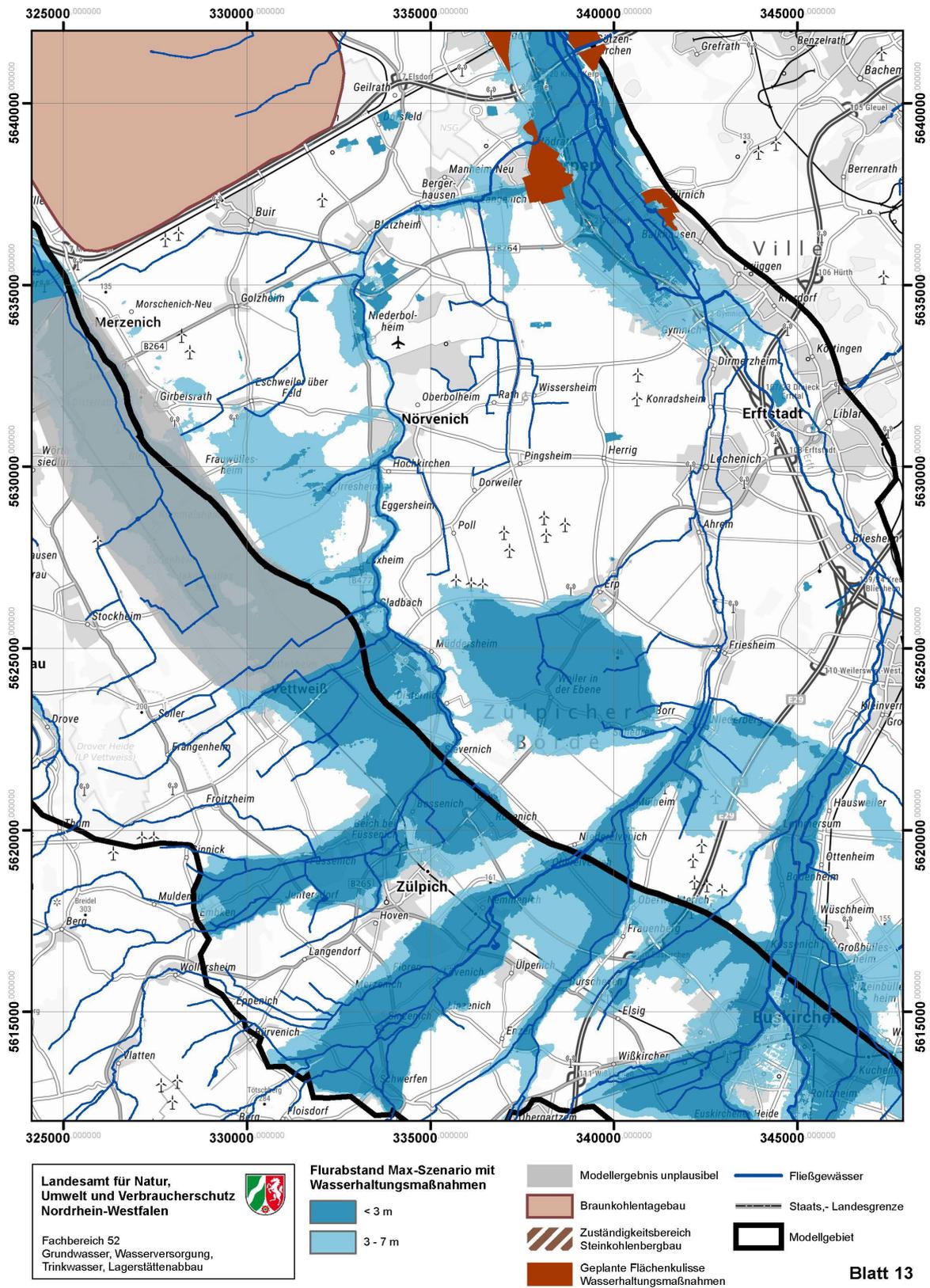


Abbildung A 142: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 13

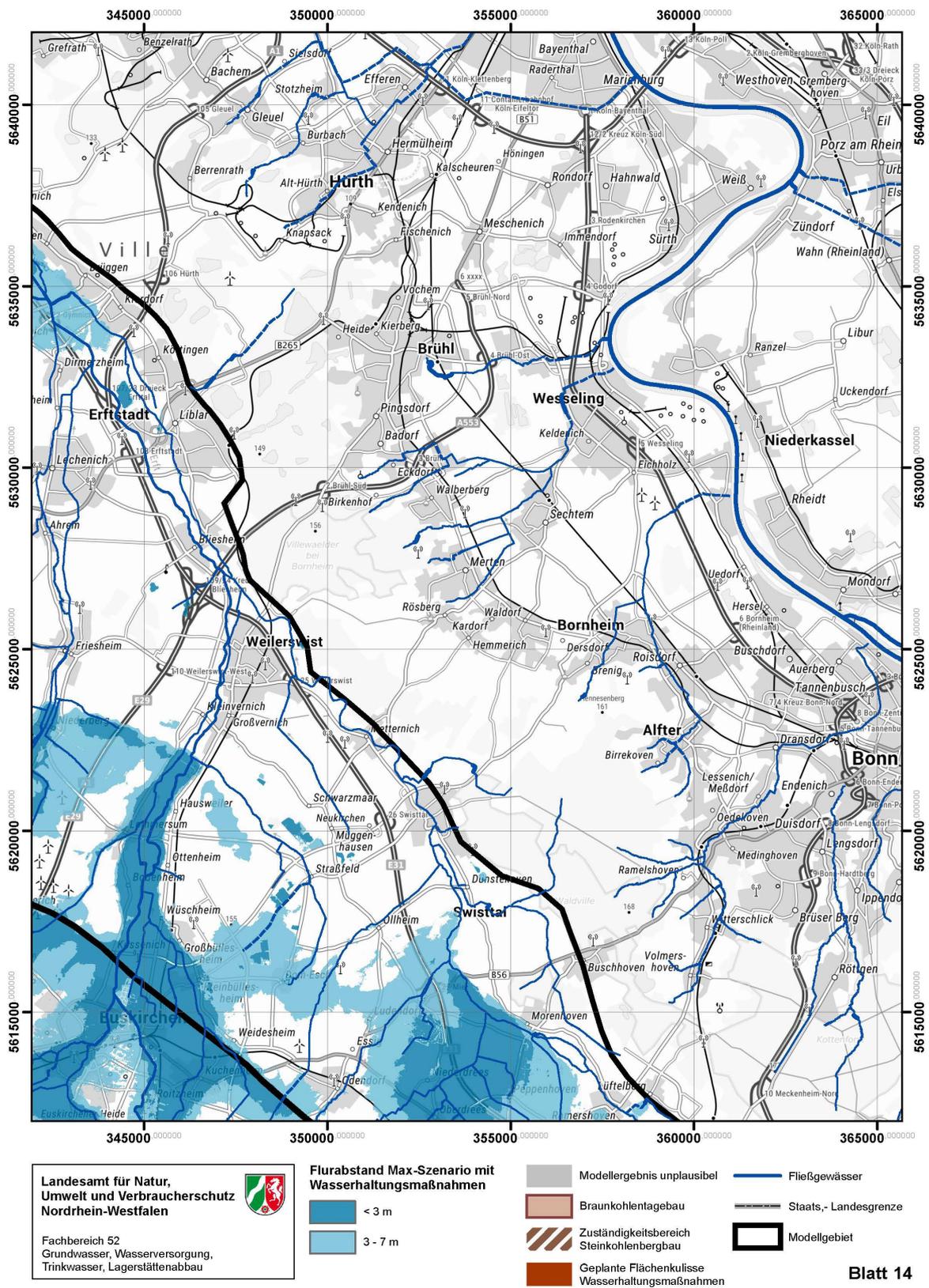


Abbildung A 143: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 14

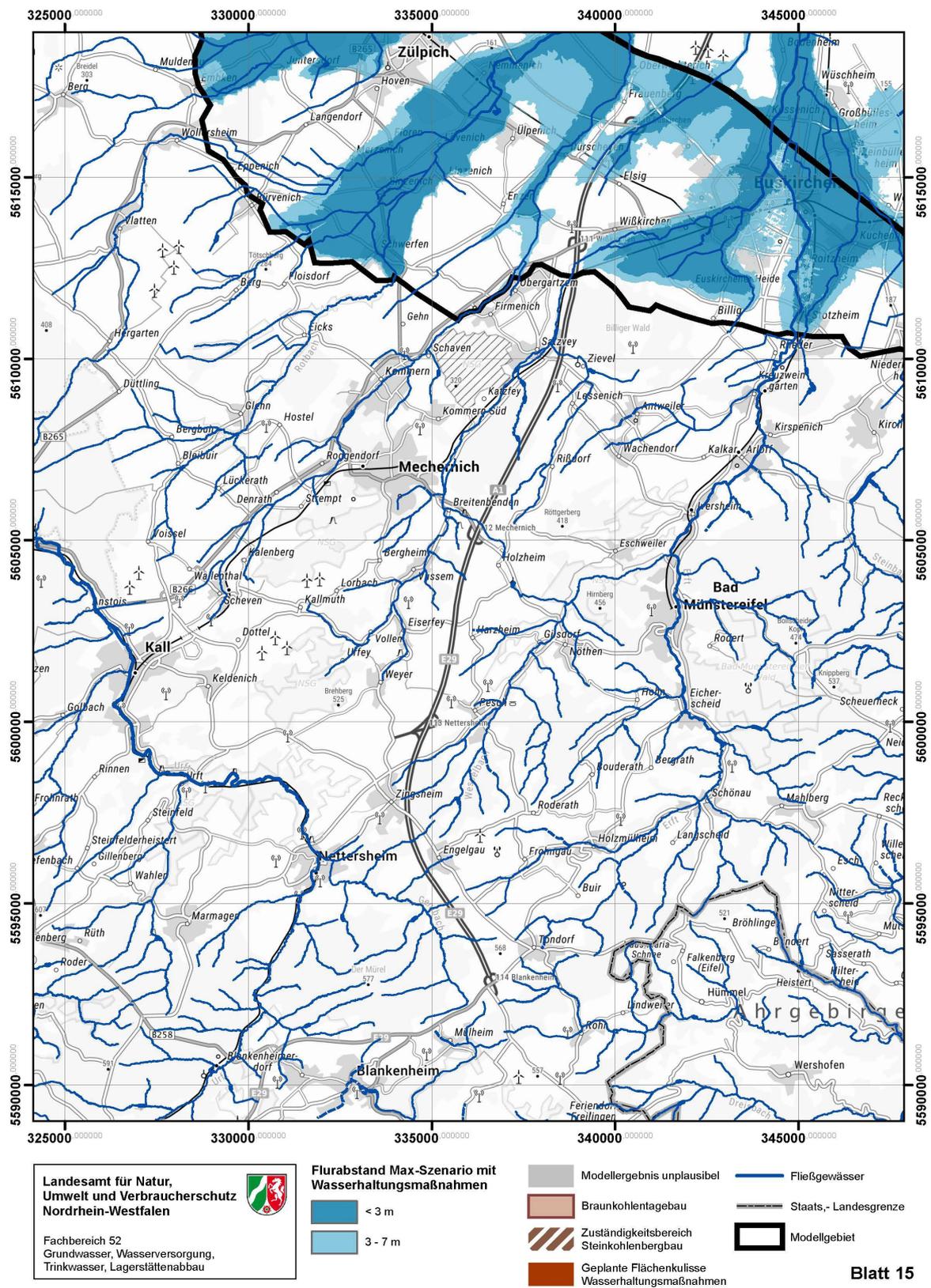


Abbildung A 144: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 15

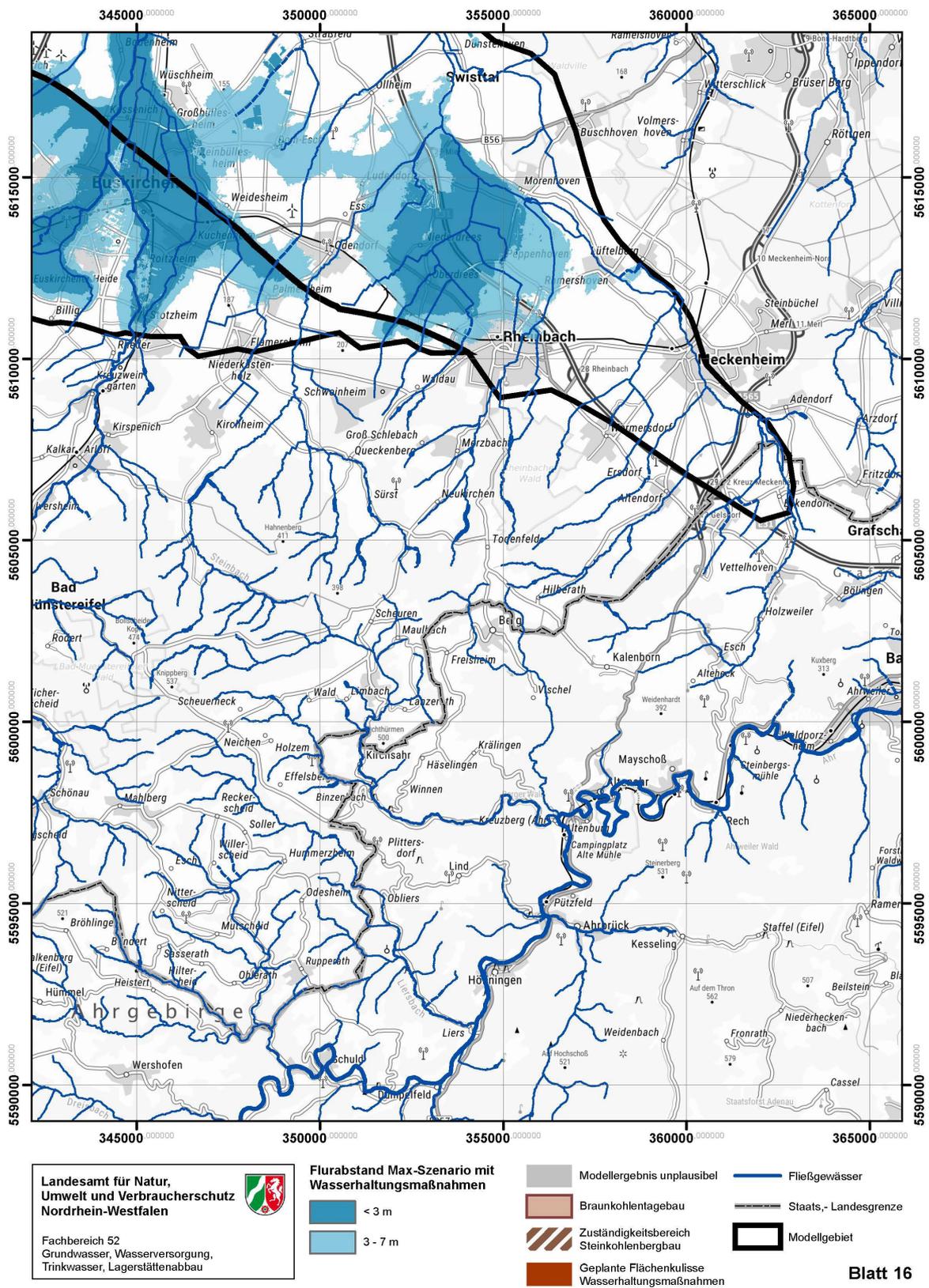


Abbildung A 145: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen  
Blatt 16

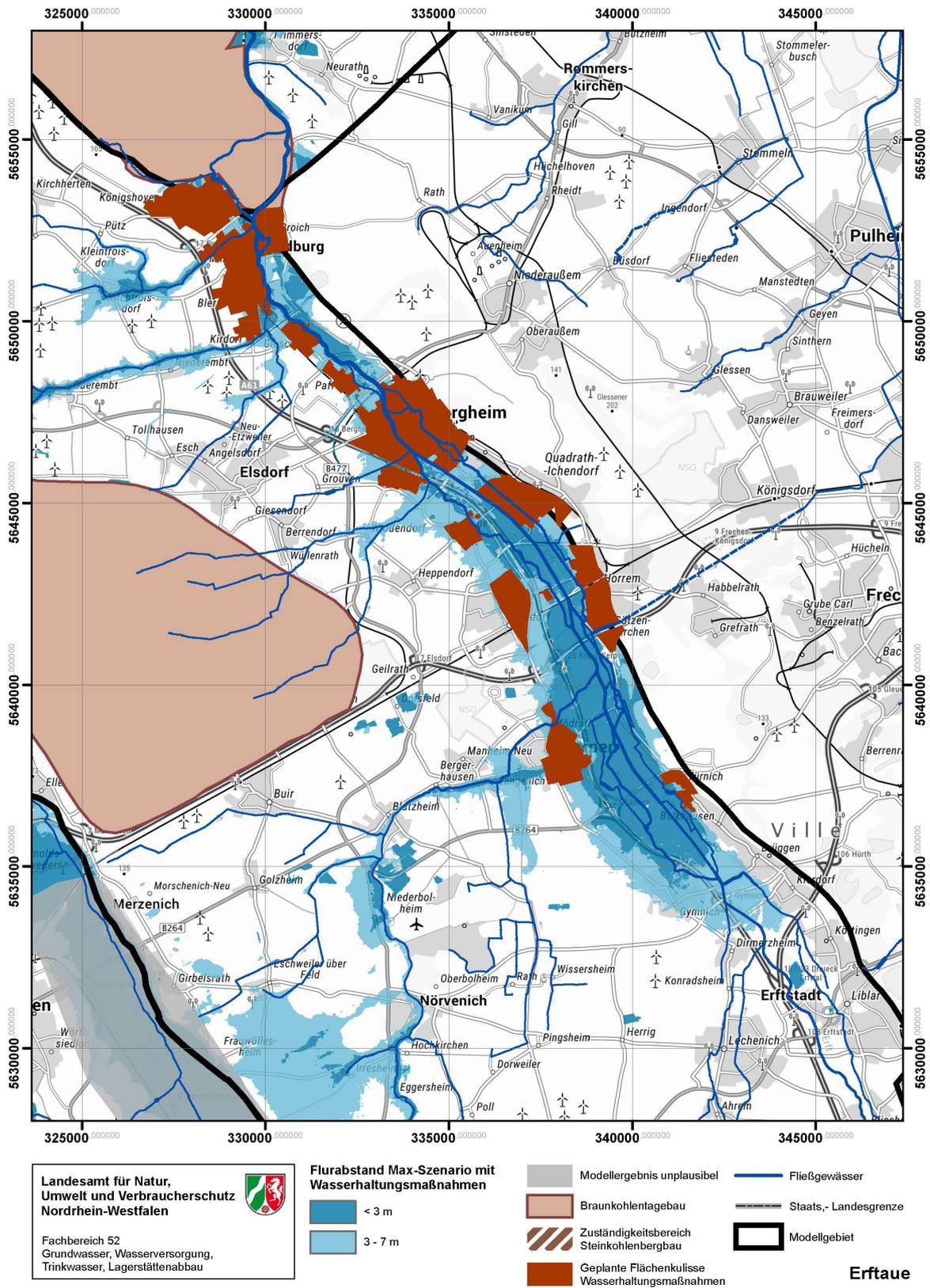


Abbildung A 146: Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Erftaue

## Abbildungsverzeichnis Anhang

<b>Abbildung A 1:</b>	Bodenbewegungsdifferenz 2017-2200 Min-Szenario.....	59
<b>Abbildung A 2:</b>	Bodenbewegungsdifferenz 2017-2200 Max-Szenario.....	60
<b>Abbildung A 3:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Übersicht .....	61
<b>Abbildung A 4:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 1 .....	62
<b>Abbildung A 5:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 2 .....	63
<b>Abbildung A 6:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 3 .....	64
<b>Abbildung A 7:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 4 .....	65
<b>Abbildung A 8:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 5 .....	66
<b>Abbildung A 9:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 6 .....	67
<b>Abbildung A 10:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 7 .....	68
<b>Abbildung A 11:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 8 .....	69
<b>Abbildung A 12:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 9 .....	70
<b>Abbildung A 13:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 10 .....	71
<b>Abbildung A 14:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 11 .....	72
<b>Abbildung A 15:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 12 .....	73
<b>Abbildung A 16:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 13 .....	74
<b>Abbildung A 17:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 14 .....	75
<b>Abbildung A 18:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 15 .....	76
<b>Abbildung A 19:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Blatt 16 .....	77
<b>Abbildung A 20:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario Erftaue.....	78
<b>Abbildung A 21:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Übersicht .....	79
<b>Abbildung A 22:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 1 .....	80
<b>Abbildung A 23:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 2 .....	81
<b>Abbildung A 24:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 3 .....	82
<b>Abbildung A 25:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 4 .....	83
<b>Abbildung A 26:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 5 .....	84
<b>Abbildung A 27:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 6 .....	85
<b>Abbildung A 28:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 7 .....	86
<b>Abbildung A 29:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 8 .....	87
<b>Abbildung A 30:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 9 .....	88
<b>Abbildung A 31:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 10 .....	89
<b>Abbildung A 32:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 11 .....	90

<b>Abbildung A 33:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 12 .....	91
<b>Abbildung A 34:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 13 .....	92
<b>Abbildung A 35:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 14 .....	93
<b>Abbildung A 36:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 15 .....	94
<b>Abbildung A 37:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Blatt 16 .....	95
<b>Abbildung A 38:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Erftaue .....	96
<b>Abbildung A 39:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Übersicht .....	97
<b>Abbildung A 40:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 1 .....	98
<b>Abbildung A 41:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 2 .....	99
<b>Abbildung A 42:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 3 .....	100
<b>Abbildung A 43:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 4 .....	101
<b>Abbildung A 44:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 5 .....	102
<b>Abbildung A 45:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 6 .....	103
<b>Abbildung A 46:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 7 .....	104
<b>Abbildung A 47:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 8 .....	105
<b>Abbildung A 48:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 9 .....	106
<b>Abbildung A 49:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 10 .....	107
<b>Abbildung A 50:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 11 .....	108
<b>Abbildung A 51:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 12 .....	109
<b>Abbildung A 52:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 13 .....	110
<b>Abbildung A 53:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 14 .....	111
<b>Abbildung A 54:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 15 .....	112
<b>Abbildung A 55:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Blatt 16 .....	113
<b>Abbildung A 56:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante Erftaue .....	114
<b>Abbildung A 57:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Übersicht .....	115
<b>Abbildung A 58:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 1 .....	116
<b>Abbildung A 59:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 2 .....	117
<b>Abbildung A 60:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 3 .....	118
<b>Abbildung A 61:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 4 .....	119
<b>Abbildung A 62:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 5 .....	120
<b>Abbildung A 63:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 6 .....	121
<b>Abbildung A 64:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 7 .....	122
<b>Abbildung A 65:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 8 .....	123
<b>Abbildung A 66:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 9 .....	124

<b>Abbildung A 67:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 10 .....	125
<b>Abbildung A 68:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 11 .....	126
<b>Abbildung A 69:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 12 .....	127
<b>Abbildung A 70:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 13 .....	128
<b>Abbildung A 71:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 14 .....	129
<b>Abbildung A 72:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 15 .....	130
<b>Abbildung A 73:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Blatt 16 .....	131
<b>Abbildung A 74:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante Erftaue .....	132
<b>Abbildung A 75:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Übersicht .....	133
<b>Abbildung A 76:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 1 .....	134
<b>Abbildung A 77:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 2 .....	135
<b>Abbildung A 78:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 3 .....	136
<b>Abbildung A 79:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 4 .....	137
<b>Abbildung A 80:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 5 .....	138
<b>Abbildung A 81:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 6 .....	139
<b>Abbildung A 82:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 7 .....	140
<b>Abbildung A 83:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 8 .....	141
<b>Abbildung A 84:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 9 .....	142
<b>Abbildung A 85:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 10 .....	143
<b>Abbildung A 86:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 11 .....	144
<b>Abbildung A 87:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 12 .....	145
<b>Abbildung A 88:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 13 .....	146
<b>Abbildung A 89:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 14 .....	147

<b>Abbildung A 90:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 15 .....	148
<b>Abbildung A 91:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 16 .....	149
<b>Abbildung A 92:</b>	Flurabstandskarten Referenzszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Erftaue.....	150
<b>Abbildung A 93:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Übersicht .....	151
<b>Abbildung A 94:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 1 .....	152
<b>Abbildung A 95:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 2 .....	153
<b>Abbildung A 96:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 3 .....	154
<b>Abbildung A 97:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 4 .....	155
<b>Abbildung A 98:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 5 .....	156
<b>Abbildung A 99:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 6 .....	157
<b>Abbildung A 100:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 7 .....	158
<b>Abbildung A 101:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 8 .....	159
<b>Abbildung A 102:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 9 .....	160
<b>Abbildung A 103:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 10 .....	161
<b>Abbildung A 104:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 11 .....	162
<b>Abbildung A 105:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 12 .....	163
<b>Abbildung A 106:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 13 .....	164
<b>Abbildung A 107:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 14 .....	165
<b>Abbildung A 108:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 15 .....	166
<b>Abbildung A 109:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 16 .....	167

<b>Abbildung A 110:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario mit Wasserhaltungsmaßnahmen Erftaue.....	168
<b>Abbildung A 111:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Übersicht .....	169
<b>Abbildung A 112:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 1 .....	170
<b>Abbildung A 113:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 2 .....	171
<b>Abbildung A 114:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 3 .....	172
<b>Abbildung A 115:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 4 .....	173
<b>Abbildung A 116:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 5 .....	174
<b>Abbildung A 117:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 6 .....	175
<b>Abbildung A 118:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 7 .....	176
<b>Abbildung A 119:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 8 .....	177
<b>Abbildung A 120:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 9 .....	178
<b>Abbildung A 121:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 10 .....	179
<b>Abbildung A 122:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 11 .....	180
<b>Abbildung A 123:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 12 .....	181
<b>Abbildung A 124:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 13 .....	182
<b>Abbildung A 125:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 14 .....	183
<b>Abbildung A 126:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 15 .....	184
<b>Abbildung A 127:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 16 .....	185
<b>Abbildung A 128:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Min-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Erftaue.....	186
<b>Abbildung A 129:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Übersicht .....	187

<b>Abbildung A 130:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 1 .....	188
<b>Abbildung A 131:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 2 .....	189
<b>Abbildung A 132:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 3 .....	190
<b>Abbildung A 133:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 4 .....	191
<b>Abbildung A 134:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 5 .....	192
<b>Abbildung A 135:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 6 .....	193
<b>Abbildung A 136:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 7 .....	194
<b>Abbildung A 137:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 8 .....	195
<b>Abbildung A 138:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 9 .....	196
<b>Abbildung A 139:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 10 .....	197
<b>Abbildung A 140:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 11 .....	198
<b>Abbildung A 141:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 12 .....	199
<b>Abbildung A 142:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 13 .....	200
<b>Abbildung A 143:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 14 .....	201
<b>Abbildung A 144:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 15 .....	202
<b>Abbildung A 145:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Blatt 16 .....	203
<b>Abbildung A 146:</b>	Flurabstandskarten Bergbauszenario Max-Variante mit Wasserhaltungsmaßnahmen Erftaue.....	204

# IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361 305-0 E-Mail: <a href="mailto:poststelle@lanuv.nrw.de">poststelle@lanuv.nrw.de</a>
Bearbeitung	Dr. Anke Boockmeyer
Veröffentlichung	Dezember 2023
Stand	Mai 2022
Titelbild	LANUV
ISSN	1864-3930 (Print), 2197-7690 (Internet), LANUV-Fachberichte
Informationsdienste	Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter • <a href="http://www.lanuv.nrw.de">www.lanuv.nrw.de</a> Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im • WDR-Videotext
Bereitschaftsdienst	Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV (24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

---

Landesamt für Natur, Umwelt und  
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Leibnizstraße 10  
45659 Recklinghausen  
Telefon 02361 305-0  
poststelle@lanuv.nrw.de

[www.lanuv.nrw.de](http://www.lanuv.nrw.de)