



## ***Geohydraulische Einschätzung: „Bauvorhaben INquartier“ in Ingolstadt***

Einschätzung einer möglichen  
geohydraulischen Auswirkung von Tiefengründungen  
im Grundwasserströmungsfeld

Auftraggeber: **M&P Ingenieurgesellschaft mbH**  
Widdersdorfer Str. 190, 50825 Köln

Auftragnehmer: **Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH**  
Nonnenstraße 9, 04229 Leipzig

Projekt Nr.: 2023/0026

Bearbeiter: Dipl.-Ing. A. Thom (IBGW)  
Mitwirkung Prof. Dr.-Ing. H. Mansel (IBGW)  
(Sachverständiger für Montanhydrologie)

Leipzig, 02.05.2023

Prof. Dr. Ing. H. Mansel  
Geschäftsführer IBGW

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>II</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>II</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>1 Veranlassung und Zielstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Methodik</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Hydrogeologische Verhältnisse</b> .....	<b>2</b>
3.1 Hydrogeologie .....	2
3.2 Hydraulische Durchlässigkeit .....	5
3.3 Grundwasserverhältnisse .....	5
<b>4 Grundwassermodell „Fallbeispiel Tiefengründung“</b> .....	<b>6</b>
4.1 0-Varianten ohne Tiefgarage (ungestörter Strömungsraum) .....	9
4.2 Varianten 1 mit Tiefgarage (gestörter Strömungsraum).....	10
4.3 Vertikal-ebene Betrachtung.....	11
<b>5 Fazit</b> .....	<b>12</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1	Lage des Untersuchungsraums „INquartier“	2
Abbildung 3-2	schematischer geologischer Schnitt (N nach S) aus (Jerz, H., Schmidt-Kaler, H., 1999)	3
Abbildung 3-3	mittlere Grundwassergleichen (Quelle: Umweltatlas Bayern)	6
Abbildung 4-1	Lage der Tiefengründung (Tiefgarage Block 11)	7
Abbildung 4-2	Lage der Schnittpur und der Tiefgarage im Grundwassermodell	8
Abbildung 4-3	Berechnete Grundwasserströmung „ohne Tiefgarage“	9
Abbildung 4-4	Berechnete Grundwasserströmung mit Tiefgarage	10
Abbildung 4-5	Vertikal-ebene Betrachtung der Grundwasserverhältnisse mit und ohne Tiefgarage	11

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Stratigraphische Gliederung des Untersuchungsgebietes (Jerz, H., Schmidt-Kaler, H., 1999)	3
Tabelle 5-2	Hydrogeologische Charakterisierung	5

## Literaturverzeichnis

Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH, 2003. *PCGEOFIM - Anwenderdokumentation, Version 8.4*, Leipzig: s.n.

Jerz, H., Schmidt-Kaler, H., 1999. *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayer, Blatt Nr. 7234 Ingolstadt*, München: Bayerisches Geologisches Landesamt.

Köhler, S., 2019. *Evaluierung der Software PCGEOFIM zur numerischen Berechnung von Grundwasserströmung unter besonderer Berücksichtigung tagebauspezifischer Aufgabenstellungen*, Dresden: Technische Universität Dresden.

Mull & Partner Ingenieurgesellschaft mbH, 2021-2022. *BV INquartier Ingolstadt - Geotechnische Berichte*, Köln: Mull & Partner Ingenieurgesellschaft mbH.

Mull & Partner Ingenieurgesellschaft mbH, 2021. *BV INquartier Ingolstadt – Grundwassermonitoring der Abstromsicherung, 1. Monitoringbericht*, Köln: Mull & Partner Ingenieurgesellschaft mbH.

R&H Umwelt, 2022. *INquartier Bericht Machbarkeit Geothermie*, Nürnberg: R&H Umwelt.

## 1 Veranlassung und Zielstellung

Die GERCH Einkaufs GbR Ingolstadt INquartier setzt derzeit als Neueigentümer die Umnutzung des ehemaligen Rieter-Geländes in Ingolstadt im Wesentlichen zu Wohnzwecken mit den Abbrucharbeiten der Bausubstanz mit Ausnahme von 4 denkmalgeschützten und zu erhaltenden Gebäude um.

Es sind Tiefgaragen mit bis zu zwei Stockwerken geplant. Auf Grund der Einbindetiefe in die oberen quartären Sedimente der Donauterrassen stellt sich die Frage, inwieweit die Tiefbauten das lokale Grundwasserfließgeschehen beeinflussen und somit Auswirkungen auf den aktuellen Baubestand und die Grundwassernutzung haben.

Um eine mögliche Barrierewirkung der geplanten Tiefengründung zu überprüfen, wurden vereinfachte numerische Modellierungen durchgeführt. Es wird hierbei ein Variantenvergleich mit und ohne Tiefengründung durchgeführt.

Das Grundwasserströmungsmodell abstrahiert die Standortverhältnisse. Die hydrogeologischen Kennwerte liefern die Baugrundgutachten der Mull und Partner Köln (MuP Köln).

## 2 Methodik

Das Grundwassermodell (GWM) soll in einem Variantenvergleich den möglichen Einfluss der Tiefengründung auf die Grundwasserverhältnisse sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Ausrichtung zeigen. Dafür ist ein vereinfachter Modell- bzw. Randbedingungsansatz zum Ansatz gebracht worden. Die Berechnung erfolgt daher stationär, d.h. variable klimatische Bedingungen oder der Einfluss verschiedener Abflussszenarien der Donau finden keine Berücksichtigung. Das GWM ist als 3-dimensionales Mehrschichtmodell konzipiert. An den Modellrändern können über das Grundwasser Austauschprozesse mit den angrenzenden Gebieten erfolgen. Die Wahl der Modellränder wurde so definiert, dass eine Beeinflussung durch die Tiefengründung ausgeschlossen werden kann. Dieser vereinfachte Ansatz kann als hinreichend aussagefähig angesehen werden. Er ersetzt nicht ein komplexes Modell für eine eventuelle Bauwasserhaltung.

Die mit dem GWM betrachteten Grundwasserströmungsverhältnisse sind dem onlineDatenspeicher des Umweltatlas Bayern (<https://www.umweltatlas.bayern.de/> Stand 19.04.2023) entnommen und repräsentieren mittlere Grundwasserstände. Die beobachteten Grundwasserverhältnisse gehen als Anfangsbedingung in das Grundwasserströmungsmodell ein.

Hydrogeologisch erfolgt die Modellbildung auf Basis der geotechnischen Untersuchungen der MuP Köln auf dem ehemaligen Rieter-Gelände. Der daraus abgeleitete hydrogeologischen Profilschnitt bildet die Grundlage des Grundwasserströmungsmodells.

Die Maschenweite des Netzes muss sich an der Informationsdichte, der Geometrie des aufzulösenden Modellrandes und den aufzulösenden Piezometerhöhengradienten orientieren. Die Verwendung von Zellen möglichst kleiner Kantenlängen verbessert die Effizienz der Rechnung. Insbesondere die Auflösung des Bereichs die Tiefgarage verlangt eine hohe räumliche Auflösung in horizontaler sowie in vertikaler Richtung.

Das Modellgebiet besitzt eine West-Ost-Erstreckung und Nord-Süd-Erstreckung von 500 m x 500 m. Die Nord- und Südgrenzen sind undurchlässig. Das Grundwassermodell besitzt eine Maschenweite von 5 m x 5 m in horizontaler Richtung. In der Vertikalen beträgt die

Gesamtmächtigkeit 20 m und berücksichtigt somit die hydraulisch relevanten quartären und tertiären Sedimente. Mit einer Elementdicke von 0,5 m ist die modellseitige Abbildung einer Tiefengründung räumlich sowie in ihrer hydraulischen Wirkung gewährleistet.

### 3 Hydrogeologische Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet ist nördlich der Donau im innerstädtischen Bereich Ingolstadts gelegen. Die Geländeoberfläche ist relativ gleichmäßig und liegt bei +370 bis +375 mNHN. Die vorgesehene Tiefengründung bindet in die am Standort verbreiteten rolligen quartären Sedimente nahezu vollständig ein.

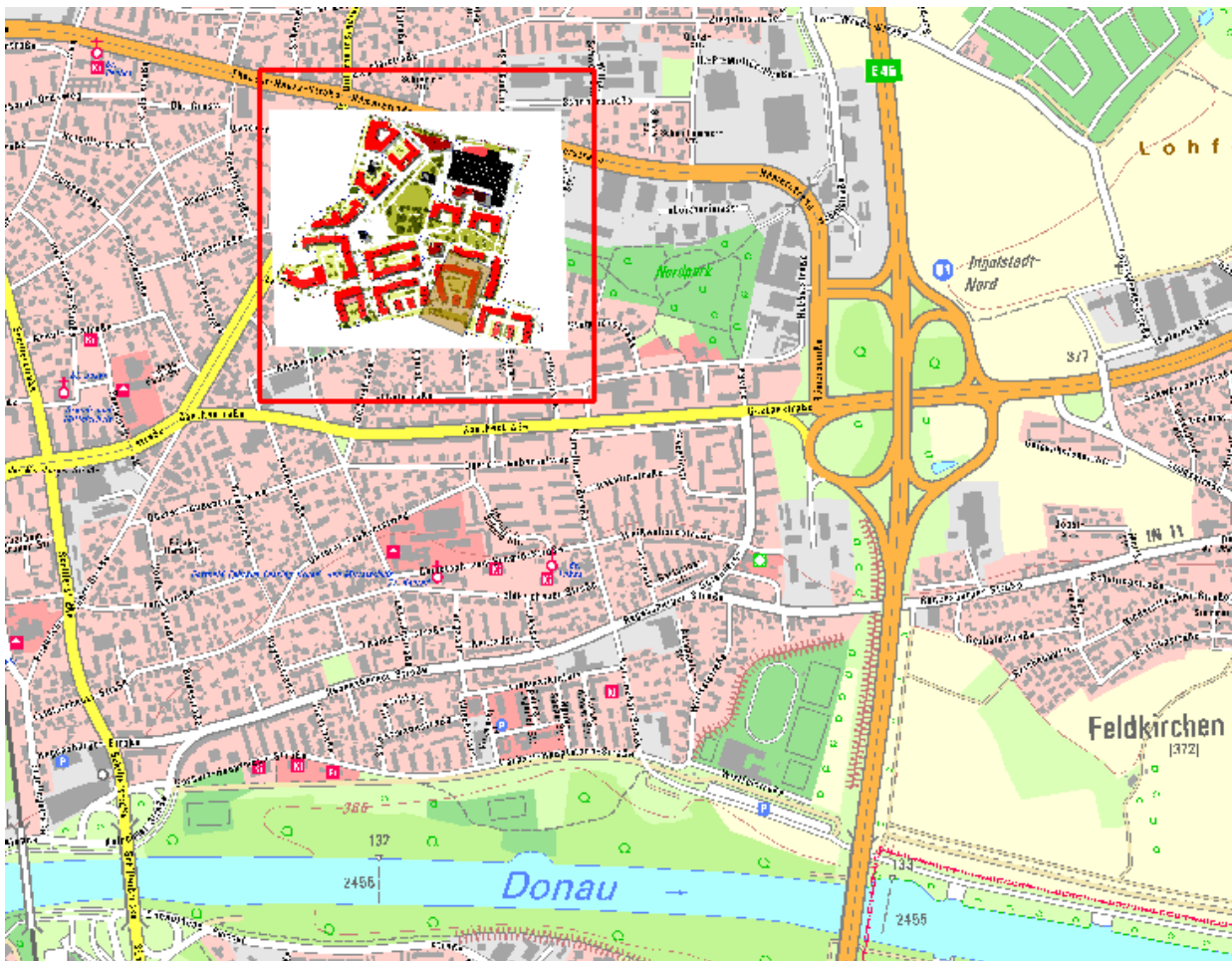


Abbildung 3-1 Lage des Untersuchungsraums „INquartier“

#### 3.1 Hydrogeologie

Der Standort des ehem. Betriebsgeländes der Rieter GmbH liegt regionalgeologisch gesehen innerhalb des Ingolstädter Beckens („Ingolstädter Bucht“) zwischen den beiden Großlandschaften Südliche Frankenalp und Tertiär-Hügelland (Jerz, H., Schmidt-Kaler, H., 1999).



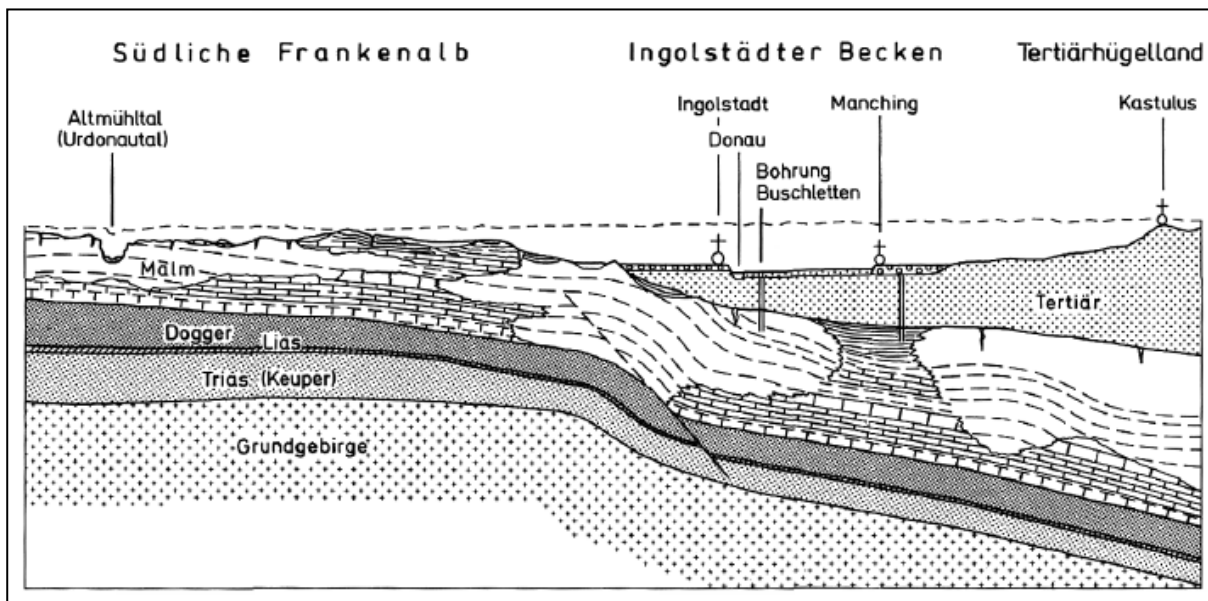


Abbildung 3-2 schematischer geologischer Schnitt (N nach S) aus (Jerz, H., Schmidt-Kaler, H., 1999)

Wie in Abbildung 3-2 erkennbar werden die bei Ingolstadt nach Süden hin abtauchenden prätertiären Gesteinsschichten durch mächtige tertiäre Ablagerungen des voralpinen Molassebecken (Voralpentrog) überlagert. Im Laufe des Quartärs tiefte sich die Donau stufenweise bis unter das heutige Talniveau ein und formte durch wiederholtes Einschneiden und Aufschütten von Sedimenten das heutige Landschaftsbild (Jerz, H., Schmidt-Kaler, H., 1999) bzw. (Mull & Partner Ingenieurgesellschaft mbH, 2021).

Tabelle 1: Stratigraphische Gliederung des Untersuchungsgebietes (Jerz, H., Schmidt-Kaler, H., 1999)

System	Serie	Formation	Petrographische Beschreibung
Quartär	Holozän		anthropogene Ablagerungen
	Pleistozän		Hochflutlehme
		Rissglazial	fluviatile Hochterrassenschotter (Kiese und Sande)
Tertiär	Miozän	Ältere Obere Süßwassermolasse	glimmereicher, schluffiger Feinsand
Prätertiär	Jura	Malm	Ungegliederte Dolomite und Kalke (Malmkarst)

### Tertiär

Mit Einsetzen des Tertiärs vor 65 Mio. Jahren wurden die kreidezeitlichen Sedimente vollständig erodiert, so dass die tertiären Schichten direkt dem prätertiären Untergrund aus jurazeitlichen Ablagerungen (Malm) aufliegen. Gegen Ende des Untermiozäns (vor ca. 23 Mio. a) erreichte der vor den sich herausbildenden Alpen einsenkende und sich sukzessive mit Erosionsmaterial füllende Molassetrog das heutige Untersuchungsgebiet.

Der schwindende Einfluss brackischer Faziesbedingungen markierte den Übergang zur Oberen Süßwassermolasse. Durch die von SE her eingreifenden großräumigen Flusssysteme wurden mächtige kalkhaltige feinkörnige Glimmersande und schluffige Sedimente in das Gebiet

eingetragen, aus der die heute im Untersuchungsgebiet anstehenden tertiären Gesteinsschichten hervorgingen (Jerz, H., Schmidt-Kaler, H., 1999).

Die Mächtigkeit der tertiären Sedimentabfolge liegt bei wenigen Dekametern und wurde im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen nicht erbohrt. Die schluffigen Feinsande bilden hydraulisch gesehen einen Grundwasserstauer, der nur vereinzelt durch eingeschaltete Sande und Kies geringmächtig wasserführend sein kann (R&H Umwelt, 2022).

### Quartär

Durch die mit dem Quartär einsetzenden wechselnden Klimabedingungen mit langen und kürzeren Kalt- und Warmzeiten unterlag die tertiäre Geländeoberfläche einer ausgeprägten erosiven Reliefbildung. Die im Rahmen der Baugrunderkundung abgeteuften Bohrungen ergaben ein Höhengniveau zwischen +367,5 und 364,0 m NHN (4 - 13 m u. GOK) (Mull & Partner Ingenieurgesellschaft mbH, 2021-2022).

### Pleistozän

Die pleistozäne Schichtenfolge ist stark durch fluviatile Prozesse im Zusammenhang mit sich verlagernden Flussläufen der Donau geprägt. Die im Rahmen der Baugrunderkundung (Mull & Partner Ingenieurgesellschaft mbH, 2021-2022) erbohrten Hochterrassenschotter der Donau wurden gegen Ende der Riß-Eiszeit aufgeschüttet. Die bis zu 10 m mächtigen Fluss- und Schmelzwasserschotter bilden den obersten gut durchlässigen Aquifer im Untersuchungsgebiet.

### Holozän

Die pleistozänen Kiese und Sande werden lokal von geringmächtigem Hochflutlehm holozänen Alters überlagert. Die Auflandungen im jüngeren Holozän sind das Ergebnis der Klimaänderungen gegen Ende des Subboreals sowie der starken Rodungsphasen zwischen der Bronzezeit bis ins späte Mittelalter. Die in einigen Bohrungen nachgewiesenen teils schluffig ausgebildeten bindigen Schichten erreichen eine Mächtigkeit zwischen 0,5 und 1 m (Mull & Partner Ingenieurgesellschaft mbH, 2021-2022).

Die jüngsten Schichten im Untersuchungsgebiet sind überwiegend anthropogener Herkunft.



### 3.2 Hydraulische Durchlässigkeit

Der Grundwasserleiterkomplex lässt sich in einen gut durchlässigen oberen Grundwasserleiter und einen eher gering durchlässigen unteren Grundwasserleiter gliedern. Formal sind die Grundwasserleiter (GWL) uneingeschränkt gekoppelt. Aus den in Kap. 3.1 beschriebenen hydrogeologischen Verhältnissen lassen sich die hydraulischen Eigenschaften wie folgt zusammenfassen:

**Tabelle 3-2 Hydrogeologische Charakterisierung**

Einheit	Charakteristik	Hydraulische Leitfähigkeit
Auffüllung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- wenige Meter stark heterogene rollige bis bindige Materialien,</li> <li>- schwach schluffiger Kies / Sand,</li> <li>- sehr gut durchlässig,</li> </ul>	$\geq 1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s
Quartär	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fluviatile Hochterrassenschotter</li> <li>- Sande / Kiese,</li> <li>- gut durchlässig,</li> </ul>	$10^{-4}$ bis $10^{-3}$ m/s
Tertiär	<ul style="list-style-type: none"> <li>- stark schluffige Feinsande (Molasse),</li> <li>- Feinsand, schluffig bis stark schluffig,</li> <li>- gering durchlässig,</li> </ul>	$< 10^{-4}$ m/s

Trotz der formalen uneingeschränkten Kopplung der Grundwasserleiter setzt sich jeder natürliche GWL aus mehr oder weniger parallelen Schichten unterschiedlicher Leitfähigkeit zusammen, die jede für sich homogen und isotrop sein können. Dies bedeutet, dass die hydraulische Durchlässigkeit innerhalb einer hydrogeologischen Einheit als konstant und richtungsunabhängig angenommen werden kann. Zusammengenommen wirken die GWL eines Grundwasserstockwerks als heterogen und anisotrop.

Meistens ist die hydraulische Durchlässigkeit eines natürlich abgelagerten Porengrundwasserleiters in horizontaler Richtung wesentlich größer als in vertikaler Richtung. Da es praktisch nicht möglich ist, im Feldversuch und bei einer rechnerischen Behandlung von Strömungsproblemen im porösen Medium jede horizontale oder vertikale gesättigte Wasserbewegung (Sickerströmung) für jede Einzelschicht in verschiedene Strömungskomponenten aufzugliedern, wird in der Regel auf Literaturangaben zurückgegriffen. Bei natürlichen abgelagerten Sedimenten wird ein Anisotropieverhältnis von horizontaler zu vertikaler hydraulischer Durchlässigkeit von 1:2 bis 1:10 ausgewiesen. Modellseitig wird eine Anisotropie von 1:10 angenommen.

### 3.3 Grundwasserströmungsverhältnisse

Die großräumigen Grundwasserströmungsverhältnisse entsprechen nahezu den morphologischen Verhältnissen. Der Grundwasserabstrom im nördlichen Stadtgebiet erfolgt von Nordwesten nach Süden in Richtung des Vorfluters Donau.

Es liegt ein Grundwassergleichenplan für mittlere hydrologische Verhältnissen vor. Es sind sehr flache Gradienten der GW-Oberfläche zu beobachten. Eine Wasserhaltung liegt im nordöstlichen Bearbeitungsgebiet mit keinen nennenswerten Absenkungsbeträgen. Die Grundwasserstände liegen bei +366...368 m NHN und liegen damit ca. 4 bis 5 m uGOK.

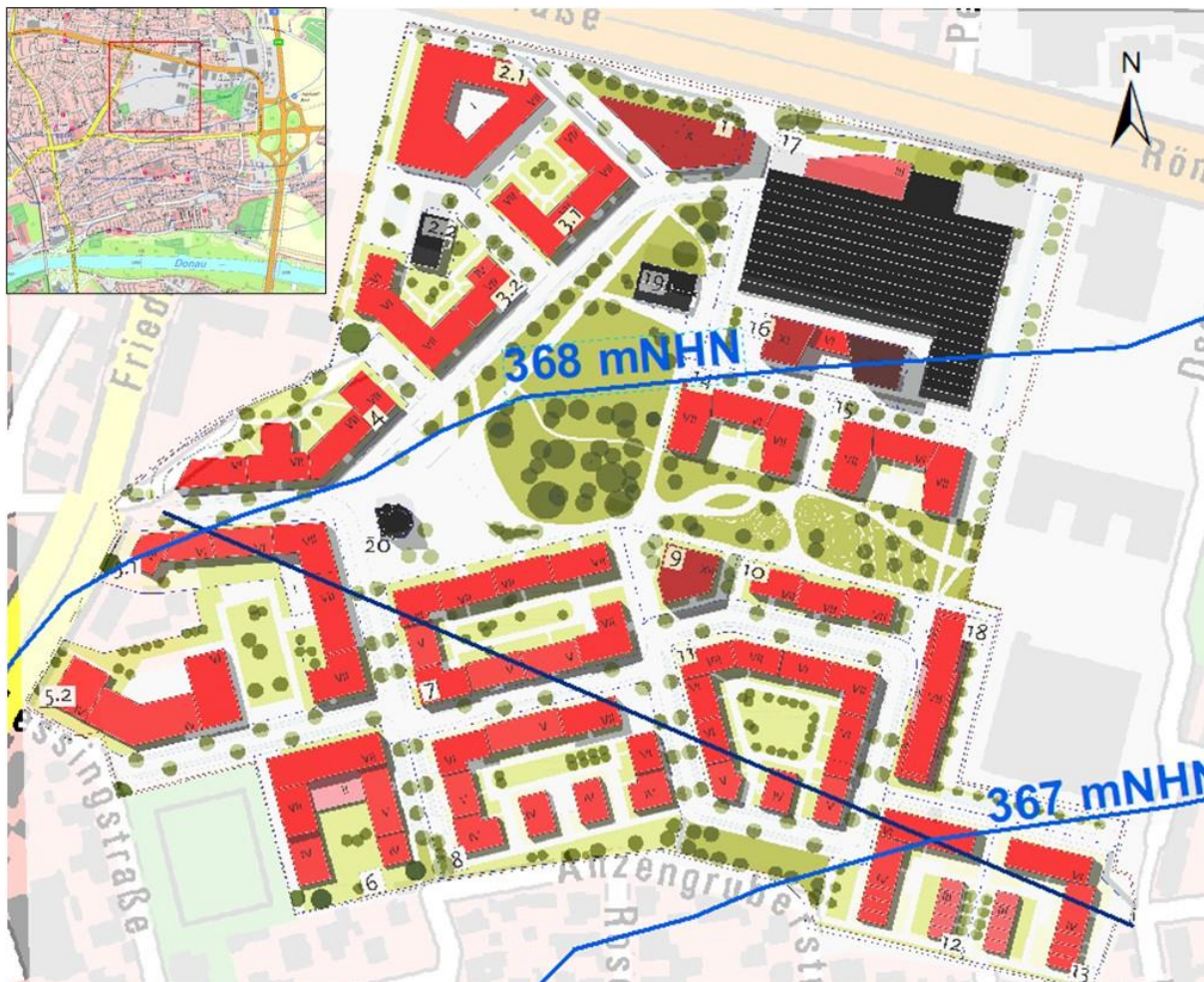
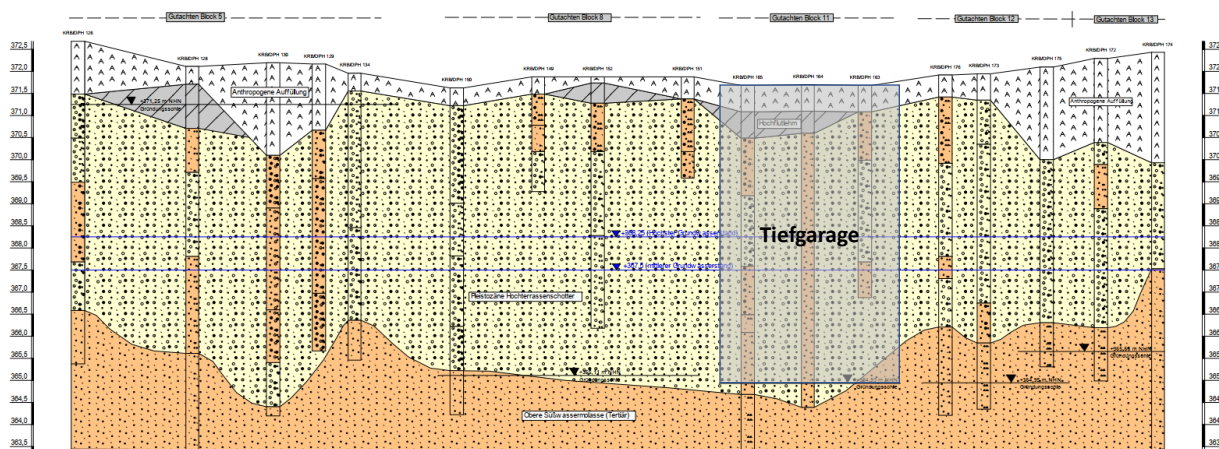


Abbildung 3-3 mittlere Grundwassergleichen (Quelle: Umweltatlas Bayern)

#### 4 Grundwassermodell „Fallbeispiel Tiefengründung“

Das Grundwassermodell (GWM) ist als ein unter hydrogeologischen Gesichtspunkten an die realen Standortbedingungen angelehntes vereinfachtes Grundwasserströmungsmodell konzipiert. Das GWM berücksichtigt die hydrogeologischen Verhältnisse auf Basis eines hydrogeologischen Schnitts (Abbildung 4-1).



**Abbildung 4-1 Lage der Tiefengründung (Tiefgarage Block 11)**

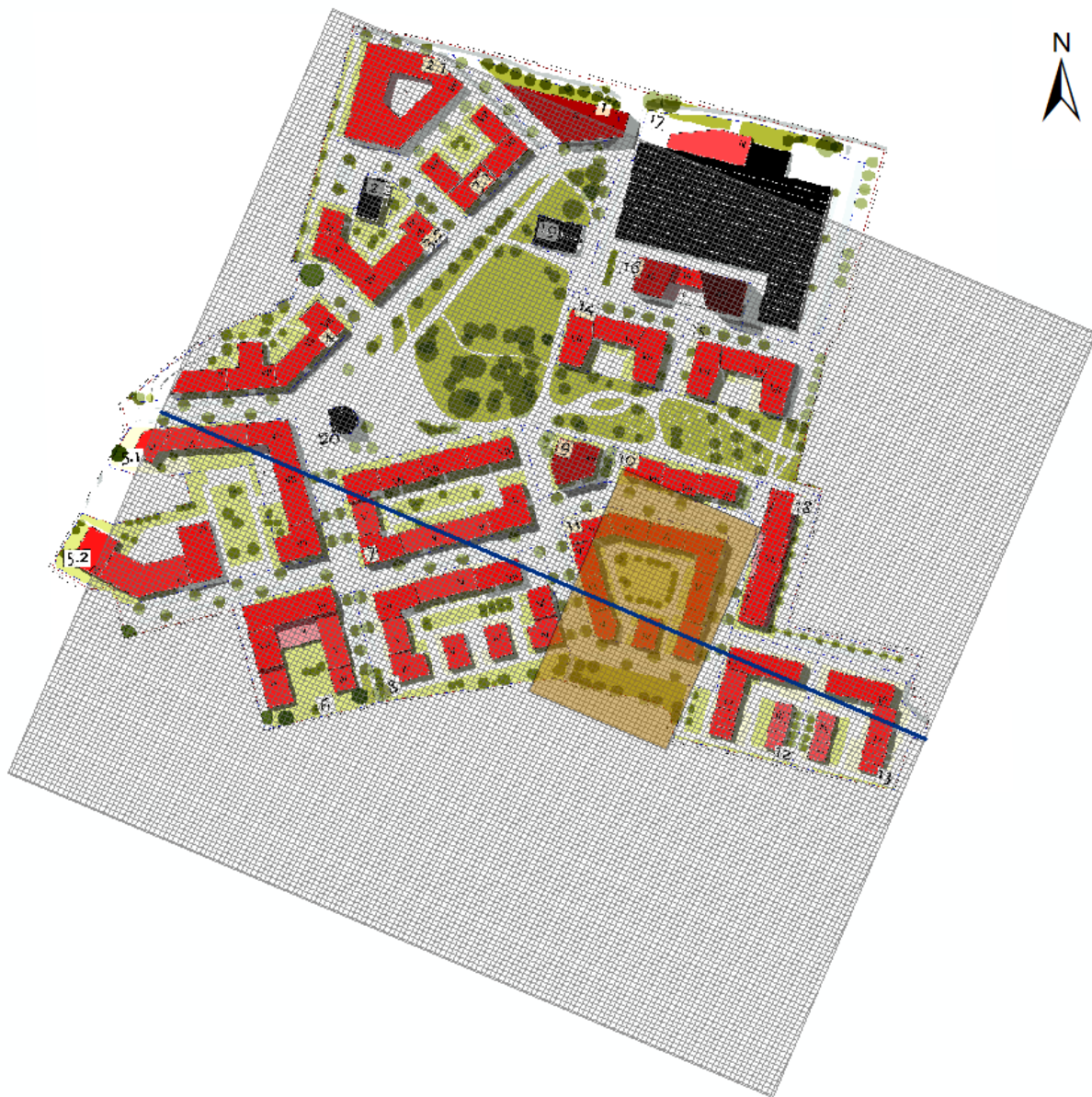
Der Profilschnitt wurde aus den geotechnischen Untersuchungen der Mull und Partner Köln erstellt (Mull & Partner Ingenieurgesellschaft mbH, 2021-2022). Der Schnitt ist 10-fach überhöht. Die Schnittpur verläuft in West-Ost-Richtung in der Mitte des Modellgebietes.

Gemäß der Baugrunderkundung (MuP Köln: Geotechnischer Bericht Block 11, 01/2022) liegt im Untersuchungsraum ein Grundwasserstockwerk vor. Das obere Stockwerk wird durch hydraulisch gut leitende quartäre Sande und Kiese gebildet. Im unteren Stockwerk sind geringer durchlässige tertiäre Sedimente ( $< 10^{-4}$  m/s), die sog. Süßwassermolasse, anzutreffen. Beide Grundwasserhorizonte werden innerhalb des Untersuchungsraumes als uneingeschränkt hydraulisch gekoppelt angenommen.

Die Abbildung 4-1 zeigt die Lage des Grundwassermodells im Untersuchungsgebietes. Die dargestellte Tiefgarage entspricht geometrisch dem Block 11 (Mull & Partner Ingenieurgesellschaft mbH, 2021-2022).

Die Abbildung der Tiefgarage erfolgt über eine No-Flow-Randbedingung, d.h. im Bereich der Tiefgarage wird der Strömungsraum durch Deaktivierung entsprechender Modellzellen hydraulisch unterbrochen. In dem hier dargestellten Fallbeispiel besitzt die Tiefgarage eine horizontale Ausdehnung von 150 m x 100 m und bindet mit einer Tiefe von ca. 7 m u GOK in den Grundwasserkomplex ein.





**Abbildung 4-2 Lage der Schnittpur und der Tiefgarage im Grundwassermodell**

Im Folgenden werden die zwei Varianten vergleichend betrachtet:

- **0-Variante: ohne Einbindung einer Tiefgarage in den oberen GWL**
- **Variante 1: mit Einbindung einer Tiefgarage in den oberen GWL.**

Die Darstellung der Grundwasserströmung erfolgt im Folgenden „horizontal-eben“ sowie „vertikal-eben“. Die Betrachtung Fließrichtung erfolgt durch Strombahnen und ist nur für die stationäre Strömung sinnvoll. Im Gebietsinneren wirken keine Quellen und Senken.

#### 4.1 0-Varianten ohne Tiefgarage (ungestörter Strömungsraum)

Abbildung 4-3 zeigt die ungestörte (ohne Tiefgarage) horizontale Grundwasserströmung. Die Fließrichtung, dargestellt durch Strombahnen (Fließpfeile), zeigt eine von Westen nach Osten senkrecht zum Modellrand gerichtete Grundwasserfließrichtung.

Im westlichen Gebiet liegt ein nahezu konstantes Grundwassergefälle vor. Im Unterschied dazu kommt es im östlichen Verlauf durch eine geringere Mächtigkeit der hydraulisch sehr gut leitenden quartären Sedimente zur Änderung (Versteilung) des Gefälles.

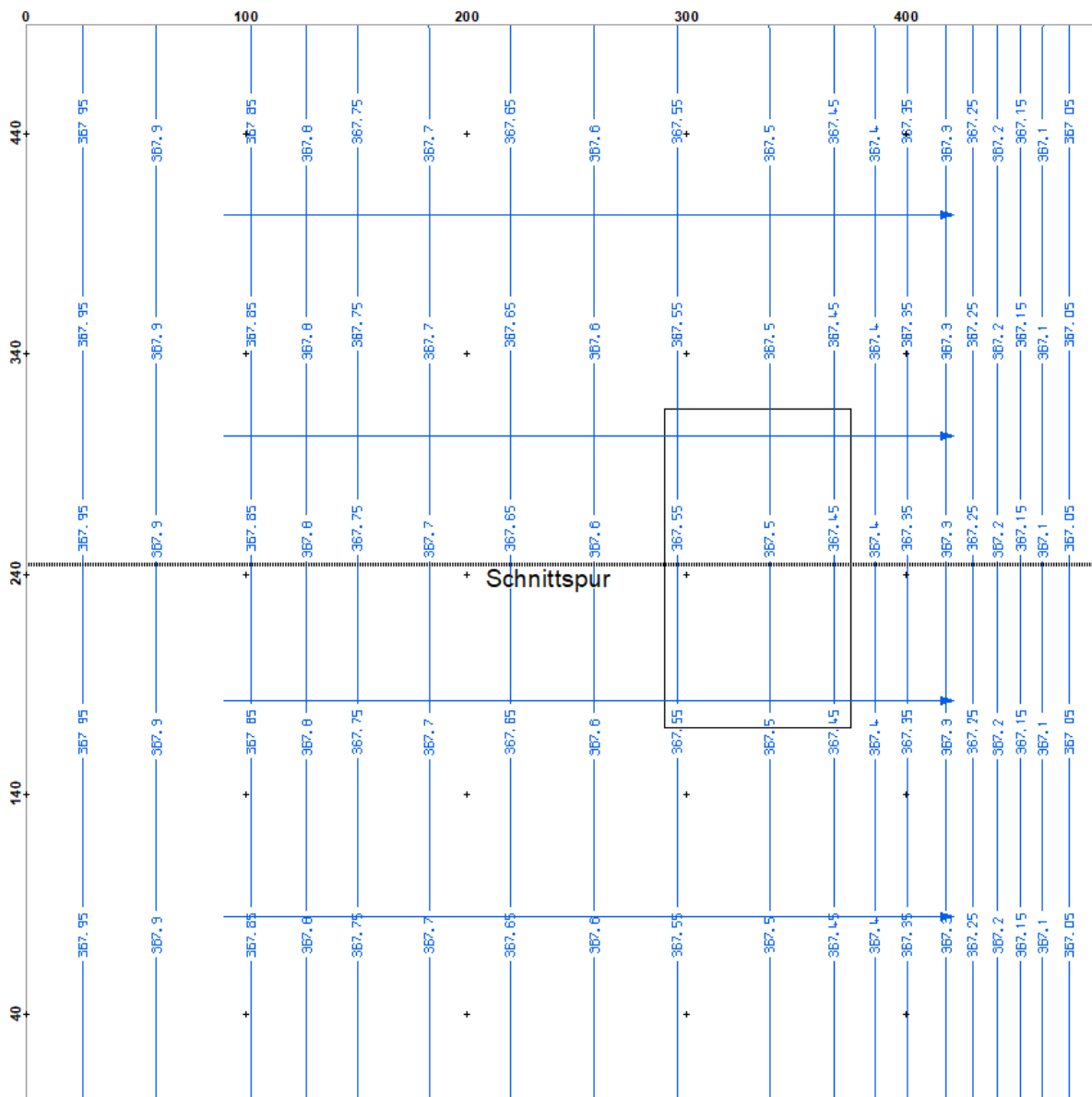
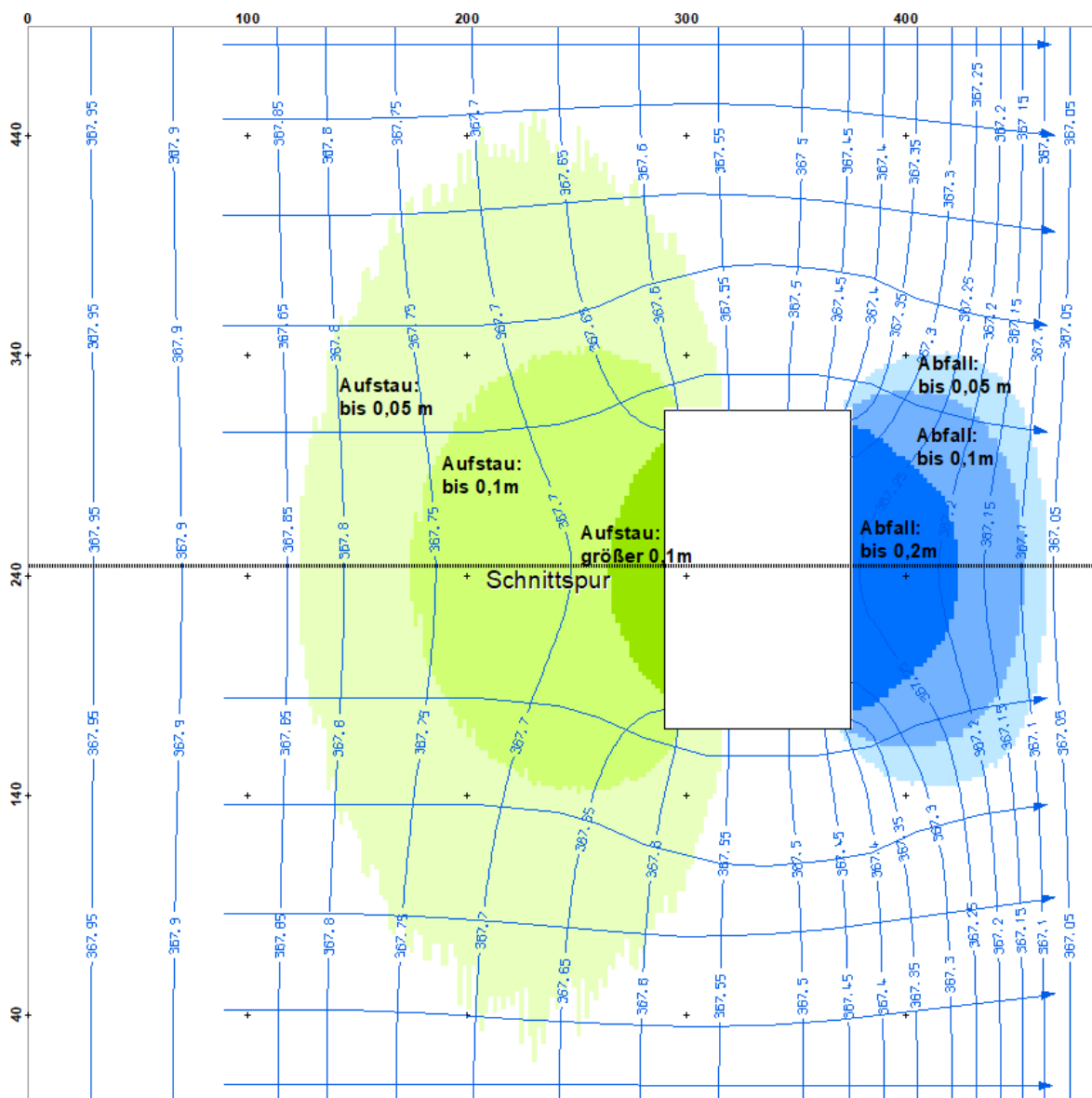


Abbildung 4-3 Berechnete Grundwasserströmung „ohne Tiefgarage“

## 4.2 Varianten 1 mit Tiefgarage (gestörter Strömungsraum)

Abbildung 4-3 zeigt eine durch die Tiefgarage „gestörte“ horizontale Grundwasserströmung. Vergleicht man das Strömungsbild mit Abbildung 4-2 zeigt sich eine deutliche Asymmetrie. Die Tiefgarage wirkt als hydraulische Barriere und wird in horizontaler Richtung umströmt (siehe Fließpfeile).

Eine Veränderung der Grundwasserverhältnisse ist nur unmittelbar im Bereich der Tiefgarage zu erkennen. Die berechneten Differenzen liegen im Dezimeterbereich. Die Differenzenbildung erfolgte durch den Vergleich der Grundwasserverhältnisse „ungestört“ minus „gestört“.



**Abbildung 4-4** Berechnete Grundwasserströmung mit Tiefgarage



### 4.3 Vertikal-ebene Betrachtung

Abbildung 4-5 zeigt die vertikal-ebene Betrachtung der Grundwasserverhältnisse. Die rote Linie stellt die Sickerlinie (bzw. die Grundwasseroberfläche) ohne Tiefgarage dar. Der Vergleich beider Sickerlinien verdeutlicht die horizontal-ebene Betrachtung.

Es ist mit einem Grundwasseraufstau in Anstromrichtung und mit einem Abfall der Grundwasserstände in Abstromrichtung in unmittelbarer Nähe zur Tiefgarage zu rechnen. Eine signifikante Beeinflussung kann anhand der Modellrechnung nicht nachgewiesen werden.

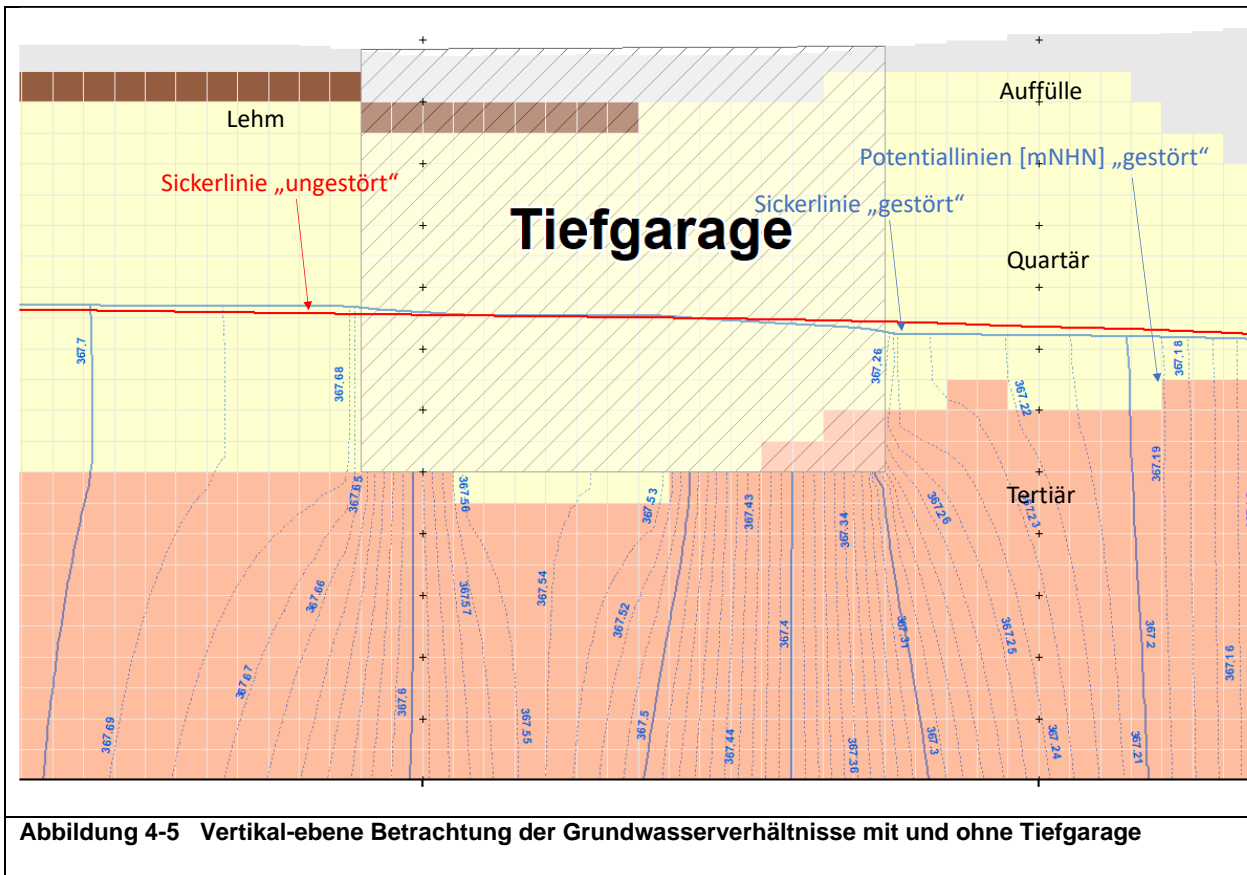


Abbildung 4-5 Vertikal-ebene Betrachtung der Grundwasserverhältnisse mit und ohne Tiefgarage

## 5 Fazit

Die Erstellung des Grundwasserströmungsmodells wurde mit dem Programmsystem PCGEOFIM (Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH, 2003) realisiert. Das Grundwasserströmungsmodell vergleicht abstrahiert die Grundwasserströmungsverhältnisse mit und ohne Tiefengründung. Dafür wurde ein vereinfachter Modell- bzw. Randbedingungsansatz verwendet.

Die geotechnische sowie geologische Datenbasis wurde durch die MuP Köln bereitgestellt. Die hydrogeologischen / hydrodynamischen Eckdaten wurden aus dem Datenspeicher des Freistaats Bayern bezogen.

Die Betrachtung deutet darauf hin, dass mit einer großräumigen Beeinträchtigung der Grundwasserverhältnisse nicht zu rechnen ist. Die Absenkungs- bzw. Grundwasseranstiege liegen im Dezimeterbereich. Grundlegende Beeinträchtigungen hinsichtlich des Wasserdargebots im Abstrom der Tiefgarage sind nicht zu erwarten.

Folgende Sachverhalte lassen sich aus dieser Betrachtung ableiten:

- Je tiefer die Einbindung der Tiefgarage in den Grundwasserleiterkomplex, desto höher der Aufstau.
- Je größer der hydraulische Gradient, desto höher der Aufstau.
- Je größer der Unterschied der hydraulischen Durchlässigkeit zwischen Quartär und Tertiär, je höher der Aufstau.

Allgemein ist ein Grundwasserströmungsmodell ein geeignetes Werkzeug in der geohydraulischen Berechnung verschiedenster Fragestellungen. Durch eine Präzisierung des im Zuge dieser Arbeit erstellten Grundwasserströmungsmodell können verschiedene Planungsstände und notwendige Untersuchung hinsichtlich ihrer Wirkung und Effizienz (z.B. Bauwasserhaltungen) bewertet werden.